تجزیه و تحلیل توسعه رویکرد اکولوژی صنعتی در معادن زغال سنگ
مطالعه موردی: معدن زغالسنگ پروده طبس

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

۱*- دانشجوی دکتری برنامه ریزی محیط زیست، پردیس البرز ، دانشگاه تهران

۲-استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست ، دانشگاه تهران

۳-دانشیار گروه برنامه ریزی محیط زیست، دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست، دانشگاه تهران

*ایمیل نویسنده مسئول: nasimhashemi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت : ۹۸/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش : ۹۸/۰۶/۲۵

چکیده

چالش پیش رو در صنعت زغال سنگ، ایجاد اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف منابع و انتشار آلاینده ها است. یک رویکرد مناسب به منظور بهره برداری پایدار از معادن زغال‌سنگ بهره گیری از مفهوم اکولوژی صنعتی است. هدف اصلی اکولوژی صنعتی بهینه سازی منابع، انرژی و سرمایه است. صنعت معدنکاری، منبع مبنا است و به انرژی و سرمایه زیادی نیاز دارد، لذا گزینه مناسبی برای اجرای این رویکرد است. ارتباط بین صنایع و محیطزیست از طریق جریان مواد و انرژی برقرار می شود و راه اصلی برای مدیریت بهینه آن، ایجاد شبکه همزیستی صنعتی با استقرار پارک صنعتی اکولوژیک می باشد. هدف این مطالعه برقراری شبکه همزیستی صنعتی در حوضه معادن زغال سنگ طبس می باشد. بدین منظور باید برنامه ها و اقدامات مرتبط با هدف افزایش نرخ بازفراوری باطله ها، بازیافت پساب و بازیابی گاز متان در دستورکار قرار گیرد. مطالعات نشان می دهد توسعه منطقه معدنی زغال سنگ بر اساس اصول اکولوژی صنعتی، راه حلی موثر و کارامد در راستای توسعه پایدار و رفع مشکلات زیست محیطی است. به طوریکه علاوه بر بهینه سازی مصرف منابع و انرژی، کنترل آلاینده ها و مدیریت اصولی دفع پسماند، اثرات مثبت اقتصادی و اجتماعی بسیاری دارد.

کلمات کلیدی

" اکولوژی صنعتی"، "پارک صنعتی اکولوژیک"، " همزیستی صنعتی "، " معدن زغال سنگ "

Analysis of industrial ecology approach in coal mines: A case study of Parvade coal mine in Tabas

Nasim Hashemi[1*] , Gholam Reza Nabi Bidhendi[2], Ahmad Reza Yavari[3]

[1*]Ph.D student in Environmental palnning, Alborz Campus, University of Tehran

[*]Email Address: nasimhashemi@ut.ac.ir

Abstract

The challenges in the coal industry are the environmental impacts caused by consumption of resources and emission of pollutants. An appropriate approach to exploitation of coal mines is the concept of industrial ecology. The main objective of industrial ecology is to optimize the three important factors include resources, energy, and capital. The mining industry is the base source and requires a lot of energy and capital, so it is a suitable option to implement industrial ecology. The relationship between industry and environment is established through the flow of material and energy, and the main way for best management is to create an industrial coexistence network with the establishment of ecological industrial parks. This study aims to establish an industrial coexistence network in Tabas coal mine. So planning to increase the rate of tailing and wastewater recycle, and methane gas recovery should be on the agenda. Applying industrial ecology and multilevel consumption of energy, material, and water, is an effective solution to sustainable development and resolving environmental problems; Furthermore, there are many positive economic and social impacts.

Keywords

“Industrial ecology”, “eco industrial park”, “industrial coexistence”, “coal mine”

مقدمه

امروزه توسعه فعالیت هـای صـنعتی و بهـره بـرداری بـ یش از حـد از معادن، به دلیل پتانسیل بالای آن در بوجود آوردن اثرات مخرب زیست محیطی، به عنوان یکی از مسائل و مشکلات در برنامـه ریـزی طـرح های توسعه ای و صنعتی مطرح می باشد. با توجه به اینکه کشـورهای در حال توسعه مانند ایران برای پیشرفت خود ناچار بـه توسـعه معـادن هستند، بنابراین برای توسعه پایدار صنعت و معدن کشور لازم است تـا جنبه های محیط زیستی معادنی از جمله زغال سنگ مورد توجـه قـرار گیرد. زغال سنگ به عنوان یک ی از منـابع مهـم انـرژی تجدیدناپـذیر شناخته می شود و جزو منابعی است که بیشترین آثار زیست محیطی را برجای می گذارد. منطقه معدن زغال سنگ، یک سیستم پیچیده اسـت که در هر مرحله از فرایندهای معدن کاری زغال سنگ شامل پردازش، حمل و نقل و استفاده، میزان انرژی زیادی مصرف می شـود و مقـادیر زیادی آلاینده تولید می گردد؛ به طوری که صـنعت زغـال سـنگ بـه عنوان یکی از نه صنعتی است که مصرف انرژی بالا و تولی د ضـایعات زی ادی دارد(Chen et al.,2010; Zhao,2010). مـدل سـنتی توسعه صنعت زغال سنگ به صورت جریانی یک طرفـه و خط ی از " منابع-محصول-پسماند" است که مشخصه آن سرمایه گذاری، مصرف و انتشار بالا و افزایش مداوم بار زیست محیطی برای رسیدن به توسعه اقتصادی است. با توجه به گستره وسیعی از نگرانی‌هـا در مـورد اثـرات زیست محیطی مرتبط با معادن زغال سنگ، و لزوم به حداقل رسـاندن اثرات فعالیت های معدنکاری بر محیط‌زیست، باید روش‌های جدیـدی را جستجو کنیم کـه ارزیـابی و بهینه‌سـازی فرآینـدهای معـدنکاری را ممکن سازد(Feng et al.,2010). راه‌حل تقلیل یا حل مشـکلات زیست محیطی و پیشگیری از بروز مشکلات آتـ ی بـ ی تردی د نیازمنـد تعریف سیاست ها، راهکارها و اقدامات بسیاری اسـت. روش مطلـوب برای کاهش اثراث مخرب این فعالیت ها بر روی طبیعت، بهره گی ری از دیدگاهی است که نه در پی نفی کامل تکنولوژی است و نه به دنبال کنار گذاشتن طبیعت. بلکه از یک طرف بکوشد تا آثار سوء رشد صنعتی بر محیط زیست را کاهش داده و از طرف دیگر با استفاده از فـن آوری های نو، آلودگی ها و تخریب های ایجاد شده توسط صـنایع را کنتـرل نماید. یک رویکرد مناسب در پاسخ به این نگرانی هـا، بهـره گی ری از مفهوم اکولوژی صنعتی است(Lebre & Corder,2015). هـدف از این رویکرد، به حداقل رساندن ورودی مواد خام و انـرژی و نیـز اثـر تمامی خروجی ها و ضایعات از نظر کمی و کیفی و کاهش زیان هـای ناشی از این تاثیرات است. فعالیت های معدنکاری با علوم متعـددی در ارتباطند و فعل و انفعـالات پیچی ده ای بـ ین سیسـتم هـای طبیع ی و صنعتی در آن برقرار است. سیستم صنعتی نمی‌توانـد جـدای از محـ یط اطرافش بررسی شود و لی ن مهمتـرین دلی ل بـرای اجـرای چـارچوب اکولوژی صـنعتی در فراینـد معـدن‌کاری اسـت. سـه فـاکتور مهـم در اکولوژی صنعتی وجود دارد و هدف اصلی اکولوژی صنعتی بهینه سازی آن هـا اسـت(Graedel & Allenby,2003): منـابع، انـرژی و سرمایه. معدن‌کاری و صنایع معـدنی، منبـع مبنـا هسـتند و انـرژی و سرمایه زیادی نیاز دارند. بنابراین این صنعت بهترین گزینه برای اجرای اکولوژی صنعتی است(Basu & van Zyl,2006).

توسعه رویکرد اکولوژی صنعتی در معادن

اکولوژی صنعتی یک اصل جدید در راستای دستیابی به توسعه پایدار و رویکردی سیستمی و مبتنی بر اصول اکولوژی و سیستم های مهندسی است و با توجه به سـیر تحـولات اقتصـادی، فرهنگـی و تکنولـوژیکی منجر به دستیابی و حفظ ظرفیت برد مطلوب می گردد(Graedel & Allenby,2003). در این مفهوم، سیسـتم صـنعتی جـدا از محـیط اطراف نیست بلکه هماهنگ با آن در نظر گرفتـه مـی شـود و فعـل و انفعالات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بین سیستم های اکولوژیـک و صنعتی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سیستم های صنعتی بر اساس رونـد تکامل مفهوم اکولوژی صنعتی ۳نوع هستند(Tibbs,1992):

نوع ۱) در سیستم های تولیدی که به شـکل خطـی و بـاز عمـل مـی کنند. منابع در حد نامحدود متصور می شوند و چنین پنداشته می شـود که طبیعت قادر به جذب کلیه پسـماندهای خـارج شـده از ضـایعات از طریق سیستم های تولیدی مزبور است.

نوع ۲) در سیستم های تولیدی که به صـورت نیمـه بـاز هسـتند و در حال حاضر رواج یافته اند ضایعات با روش هایی همچون بازیافـت، تـا حدودی کاهش می یابد.

نوع ۳) در سیستم های مبتنی بر اکولوژی صنعتی، ضایعات یک واحد، به عنوان مواد خام توسط بخش های دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. در این حالت از یک سو بر میزان درآمد واحد اول افزوده شده و از منابع طبیعی کمتر استفاده می شود و از سـوی دیگـر، بـه دلیـل عـدم ورود آلودگی‌ها به محیط، از هزینه هایی که قبلاً به جامعه تحمیل می شـد، جلوگیری می‌گردد. کاربرد اصـول اکولـوژی صـنعتی در فراینـد معـدن کاری گامی منطقی است. اجرای چارچوب اکولوژی صنعتی، اسـتراتژی های کاهش استفاده از منابع، تولید پاکتر و کاهش آلودگی را در فعالیت های صنعتی با هم ادغام می کند و با ترکیب ایـن مفـاهیم در سـطوح مختلف، کارایی عملکرد را افزایش و اثرات منفی فعالیت های صـنعتی بر سیستم های اکولوژیک را کاهش می دهد(DOE,2010). در حال حاضر سالانه حدود ۷.۵ میلیارد تن زغال‌سنگ در جهان تولید می‌شـود (Enerdata,2018). در انتخاب تکنولوژی معدن‌کاری باید ایمنی و بهره وری تولید را در کنار بـه حـداقل رسـاندن تـاثیرات منفـی آن بـر محیط‌زیسـت، در نظـ ر گرفـت(Kowalska,2014). مهمتـرین جنبه‌های منفی زیست‌محیطی در معادن زغال‌سنگ شامل: تولید مقادیر زیادی باطله معدنی، فاضلاب و انتشار متان و در نتیجه آلودگی محیط(آب، خاک و هوا) می باشد(Durucan,2006). مدیریت باطله هـای معدنی و فراوری ضایعات نیازمند در نظر گرفتن موارد متعددی همراه با جنبه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی است(Ju et al., 2016).

توسعه شبکه همزیستی صنعتی

شبکه های همزیستی با بهینه سازی زنجیره‌های صـنعتی بـه صـورت عمودی و افقی، طبق اصول چرخه مواد و همزیستی سازگار بین محیط زیست و صنایع شکل می‌گیرند (Zhang et al.,2013). شرکت‌ها، سازمان‌های دولتی و سازمان‌های غیر دولتی زیادی در سراسر جهان به دنبال ایجـاد شـبکه همزیسـتی صـنعتی هسـتند (Boons et al., 2011; Laybourn & Lombardi, 2012). بـا شـناخت مکانیسم تکامل شبکه همزیستی صنعتی متوجـه مـی شـویم کـه آیـا

سیستم در جهت توسعه پایدار حرکت می‌کند یا خیر. مدل تکامل همزیستی صنعتی در حالت خود سازماندهی شامل سه‌مرحله ی پیدایش, شکوفایی و نهادینه سازی می باشد (Chertow & Ehrenfeld,2012). محققین با مطالعه بر روی پارک صنعتی اکولوژیک ریژائو، نیروی های محرک و مسیر تکامل شبکه همزیستی صنعتی را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد که عوامل مهم شامل مزایای اقتصادی، کمک های مالی، مشوق‌های مالیاتی، و مزایای جایگزینی مواد هستند(Yu et al.,2015). دانشمندان دریافتند همانطور که صنایع تمایل به پیچیدگی دارند، سازمان صنعتی نیز باید در سطح شبکه همزیستی بررسی شود، لذا تجزیه و تحلیل‌های ساده جریان مواد برای برآورده کردن تقاضای توسعه، از پیش شکست‌خورده است (Posch et al.,2011). عدم موفقیت تعداد زیادی از پروژه‌ها، محققین را بر آن داشت تا عوامل موثر بر عملکرد پروژه را بررسی کنند. این عوامل عبارتند از: سیاست، فن‌آوری اطلاعات، و سرمایه اجتماعی(Spekkink, 2013). در مطالعات متعددی تاثیر مداخله سیاست های پسماند بر تکامل همزیستی صنعتی، از جمله سیاست‌ها و مقررات منعطف مدیریت ضایعات و همچنین معیارهای محکم اقتصادی و سازمانی(Costa.,et al,2010) و اثرات فرهنگ و سیاست بر شبکه همزیستی صنعتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت(Baas,2008) و تاثیرات اجرای مقررات زیست محیطی بر همزیستی صنعتی بررسی گردید (salmi et.,2012). محققین دریافتند که فن‌آوری اطلاعات نقش مهمی در شکل‌گیری و توسعه همزیستی صنعتی ایفا می‌کند(Grant et al.,2010). در سال های اخیر، تمرکز تحقیقات همزیستی صنعتی به سمت تاثیر عوامل اجتماعی بر توسعه این شبکه ها معطوف شده است(Doménech & Davies,2011). نتایج تحقیقات نشان می دهد که اعتماد به مدیریت و سرمایه اجتماعی به شدت بر توسعه همزیستی صنعتی تاثیرگذار است(Ashton & Bain,2012). حفظ پایداری سیستم برای توسعه بلندمدت کل سیستم همزیستی ضروری است. براساس مفهوم" ارتباطات و تنوع سیستم " در علم اکولوژی، دانشمندان ارتباط و تنوع در سیستم همزیستی صنعتی را به منظور ارزیابی ثبات و پایداری آن، مورد مطالعه قرار دادند (Wright et al., 2009) و یک مدل شبیه سازی پویا را به منظور تجزیه و تحلیل ثبات و اعتبار عملکرد یک سیستم همزیستی صنعتی ارائه کردند (Hsu & Rohmer, 2010)). محققین دریافتند که شناسایی عنصر کلیدی در شبکه و حصول اطمینان از کارایی آن می‌تواند از واکنش زنجیره‌ای ناشی از شکست شبکه جلوگیری کند((Zeng et al.,2013. برای اطمینان از ثبات شبکه، توسعه هسته مرکزی شبکه (Conticelli & Tondelli, 2014) و توجه به ارتباط بین عملکرد پایدار و مداخله سیاست (Jiao & boons,2014) ضروری است.

ساختار شبکه همزیستی صنعتی در معادن زغالسنگ:

مسیر جریان مرسوم در سیستم صنعتی معدنکاری زغال سنگ شامل: استخراج← تولید و فرآوری← حمل و نقل← مصرف← احیای زمین← محیط زیست طبیعی می باشد. این جریان خطی یکطرفه موجب بروز مشکلات جدی زیست‌محیطی شده است (Kuai et al, 2015). مدیریت منابع با طراحی یک شبکه همزیستی صنعتی می تواند، این جریان خطی را به یک چرخه بسته تبدیل کند و به این صورت فشار وارد بر منابع طبیعی و محیطزیست را کاهش دهد(Li & Wang, 2015). در شبکه همزیستی صنعتی زغال سنگ، متابولیسم صنعتی و رابطه همزیستی بین صنایع، از طریق گسترش عمودی و افقی جریان ماده و انرژی شکل می گیرد. گسترش عمودی مربوط به روند پردازش و جریان مواد بر پایه منابع زغال‌سنگ است. گسترش افقی, مربوط به روند پردازش و نحوه استفاده از محصولات جانبی و پسماندهای تولید شده در گسترش عمودی است (Yao et al.,2015). در مقایسه با پارک های صنعتی اکولوژیک مرسوم، شرایط محیط رشد ارتباطات صنعتی در شبکه همزیستی صنعتی معادن زغال سنگ منحصر به فرد و نیازمند شرایط باثبات تر است. به عنوان مثال، در مراحل ایجاد و توسعه این شبکه ها، مواردی همچون نزدیکی جغرافیایی و نزدیکی سازمانی، شرکت ها را به سمت یک منبع و فعالیت خاص سوق می دهند. علاوه بر این، به دلیل نقص های ذاتی ساختار درونی و مداخله سازمان های حکمرانی محلی، موقعیت و کارکردهای این نوع از مناطق معدنی به چارچوب صنایع انرژی مبنا محدود شده و تنوع شبکه‌های همزیستی صنعتی زغال سنگ را به طور جدی کاهش داده‌است. تمامی این عوامل باعث محدودیت ظرفیت انطباق این شبکه ها در پاسخ به تنش های خارجی می‌شوند و تغییر اندکی در عوامل اقتصادی یا زیست محیطی ممکن است موجب اختلال تولید و عملکرد شرکت‌ها در زنجیره همزیستی شود (Martin & Sunley, 2015). پارک صنعتی اکولوژیک زغال سنگ، مبتنی بر شرکت زغال‌سنگ و ایجاد ارتباط با توالی از صنایع پایین دستی است. بخصوص صنایعی که به لحاظ مسافت به معادن زغال‌سنگ وابسته اند و در فاصله نزدیک به آن قرار دارند. شبکه همزیستی زغال سنگ شامل دو زیر سیستم می‌باشد: صنعت اصلی و صنعت توسعه‌یافته. اولی به سیستم تولید در معدن زغال‌سنگ و صنایع فرآوری آن اشاره دارد. دومی شامل صنایع مصرف کننده زغال‌سنگ(به عنوان مواد خام) و صنایع پایین‌دستی مرتبط با آن هاست. مانند صنایع شیمیایی، الکترونیک، مصالح ساختمانی، فلزی و غیره (Mathews & Tan,2011; Yao et al.,2015).

توسعه پارک صنعتی اکولوژیک در معادن

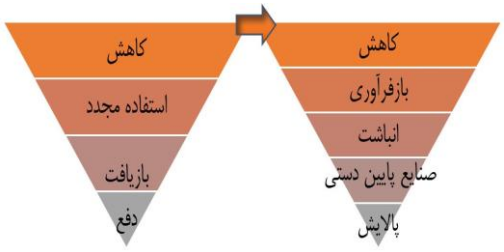
همزمان با رشد بحران کمبود منابع طبیعی، رقابت بر سر دستیابی و بهره برداری از منابع طبیعی، جهان با یک دوره تخریب گسترده مواجه شده است؛ که صنایع را ناگزیر به تطبیق خود با تهدیدات کلان از طریق بکارگیری استراتژی های کاملا متفاوت در سطوح خرد، جهت مقابله با کمبود نموده است(Hart & Milstein, 2003). در اکوسیستم صنعتی معدن، ارتباط بین صنایع و محیطزیست از طریق جریان مواد و انرژی برقرار می شود و بهترین گزینه برای مدیریت بهینه این جریان ها، ایجاد پارک صنعتی اکولوژیک است که به عنوان حوزه عملیاتی رویکرد اکولوژی صنعتی شناخته شده و با مصرف چند سطحی انرژی، مواد و آب، ارتباطات میان صنایع مرتبط را در منطقه معدنی شکل می‌دهد(Erkman, 1997; Chertow, 2000). پارک صنعتی اکولوژیک بر مبنای تولید پاکتر و با ویژگی هایی چون

انتشار پایین ضایعات، استفاده کمتر از منابع، نرخ بالای اشتغال و سود بیشتر تعریف می شود(Geng et al.,2012). چرخه صنعتی اکولوژیک معدن، از اصول گردش مواد و انرژی در اکوسیستم های طبیعی پیروی می کند و ساختار گردش مواد خام، محصول و ضایعات فرآیندهای مختلف را بر پایه استخراج، فرآوری، بازفرآوری و دفع ایمن ضایعات ایجاد می نماید(Le & Wu,2010). با اجرای سه اصل مهم اکولوژی صنعتی شامل: کاهش[1]، استفاده مجدد[2] و بازیافت[3] در پارک صنعتی اکولوژیک معادن، منافع اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی زیادی حاصل می شود.

-**کاهش:** هدف از آن بهینه سازی مصرف ماده و انرژی، و کاهش تولید ضایعات در طی فرایندهای مختلف بهره برداری از معادن از طریق مکانیزه کردن، کاهش نرخ تلفات سنگ معدن و کاهش انتشار آلاینده ها می باشد(Wang,2005).

-**استفاده مجدد:** مربوط به رویه است و با هدف افزایش زمان کارایی محصولات و خدمات انجام می شود.

-**بازیافت :** از طریق بازفراوری باطله های معدنی و تصفیه فاضلاب، موجب کاهش تولید پسماند و خروج مواد از سیستم می شود. لذا منابع مجددا در دسترس قرار می گیرند و می توانند وارد بازار شوند یا در فرایندهای تولید ثانویه مورد استفاده قرار گیرند(Zhao et al.,,2012). پساب و پسماندهای معادن باید به عنوان منابع بالقوه ماده و انرژی در نظر گرفته شوند. از آنجایی که ضایعات معادن با ضایعات تولید شده در اکثر صنایع متفاوت است، در نتیجه هرم مدیریت پسماند باید با وضعیت معادن انطباق یابد(شکل۱).

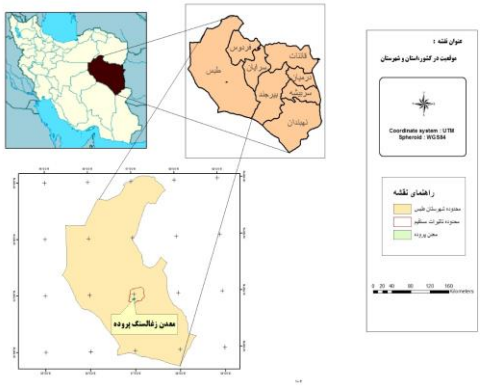


شکل۱- هرم متداول مدیریت پسماند(چپ)؛ هرم مدیریت باطله های معدنی(راست).

در هرم پیشنهادی مدیریت پسماند معادن، جلوگیری از تولید پسماند همچنان در اولویت قرار دارد. پس از آن گزینه بازفرآوری دنبال می شود که بخشی از مواد باارزش باقی مانده در پسماند را بازیابی و استخراج می کند.اگر شرایط اقتصادی برای بازفرآوری مطلوب نباشد، باطله ها انباشت و ذخیره می شوند تا زمانی که بازفرآوری به فعالیتی سودآور تبدیل گردد. وقتی مواد باقی مانده در باطله غیر قابل بازیابی تشخیص داده شوند آنگاه باطله ها می توانند برای اهداف دیگر و در صنایع پایین دستی مثلا به عنوان مصالح ساختمانی، راه سازی یا پرکردن گودال معدن استفاده شوند. در نهایت پالایش و احیای محل، انجام می شود. با این حال، این پنج گزینه یکدیگر را مستثنی نمی کنند و می توان آن ها را به منظور بهینه سازی سود اقتصادی و کاهش اثرات زیست محیطی با هم ادغام نمود(Lèbre & Corder,2015). در ۱۰ سال اخیر، شبکه‌های همزیستی صنعتی زغال سنگ با ساخت پارک‌های صنعتی اکولوژیک در بیش از ۴۰ منطقه معدنی در چین توسعه یافته است. مانند: گروه معدنکاری هوینان، گروه صنعتی زغالسنگ پینگ دینگ شان، شرکت گروه معدنکاری زینون، شرکت نیروی برق و زغال سنگ زیشان و گروه معدنکاری یان زو، پارک صنعتی اکولوژیک لونان، دالو، یوشن و غیره.

محدوده مورد مطالعه

حوضه زغال دار طبس با وسعتی بالغ بر ۳۰۰۰۰ کیلومتر مربع و ذخیره اکتشافی ۲.۷۵ میلیارد تن زغال سنگ کک شو و حرارتی، غنی ترین و بزرگ ترین ناحیه زغالی ایران محسوب می شود که حدود ۷۶ درصد ذخایر زغالی کشور را در خود جای داده است. میزان تولید ذغالسنگ این حوضه (۲ میلیون تن در سال) با کل تولید ذغال از سایر معادن ایران برابری می کند.(Tabas Coal Mine Project, 2005) ناحیه زغال دار پروده با وسعت ۱۲۰۰ کیلومتر مربع و ذخیره زمین شناسی ۱.۵ میلیارد تن زغال سنگ کک شو، یکی از چهار ناحیه حوزه زغالی طبس و بزرگترین حوضه زغال سنگ کک شو ایران است که در غرب استان خراسان جنوبی و در فاصله ۷۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر طبس در محدوده عرض های جغرافیایی ´ ۵۰ °۳۲ تا ´ ۰۵ °۳۳ درجه شمالی و طول های جغرافیایی ´ ۴۵ °۵۶ تا ´ ۱۵ °۵۷ درجه شرقی واقع شده است. محدوده مورد مطالعه در شکل۲ نشان داده شده است. یکی از محورهای مهم سند چشم انداز توسعه شهرستان طبس در افق ۱۴۰۴، تغییر از پایتخت زغال سنگ خاورمیانه به پایتخت صنعت زغال سنگ خاورمیانه می باشد. سالانه به میزان ۹۰۰هزارتن زغال سنگ از معدن مکانیزه و ۷۰۰هزارتن از معادن سنتی استخراج می شود. عملیات فرآوری زغال خام استخراج شده در کارخانه زغالشویی که در جوار معدن واقع شده، انجام می شود. در فرایند زغالشویی، خاکستر زغال خام جهت تولید کنسانتره از حدود ۵۰-۳۰ درصد به ۱۰.۵ درصد کاهش یافته و کنسانتره به واحدهای کک سازی ارسال می شود. این کارخانه با ظرفیت خوراک دهی ۳۰۰ تن بر ساعت، بزرگترین واحد زغالشویی کشور است و سالانه ۶۰۰هزارتن کنسانتره تولید می کند.



شکل ۲- محدوده مورد مطالعه

1 Reduce
2 Reuse
3 Recycle

در این پژوهش ناحیه معدن زغال سنگ طبس به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است؛ چراکه چندین عامل شاخص در ارتباط با موضوع پژوهش در آن مشهود است. ۱- این ناحیه شامل بیشترین ذخایر زغالسنگ کشور و دارای چندین پروژه معدنی (جاری و آینده) است. ۲- با توجه به نیاز بالای معدنکاری به منابع آب و قرارگیری این حوزه در منطقه کویری، به لحاظ کاهش کمیت و کیفیت آب، بسیار آسیب‌پذیر است. از سال ۱۳۵۶ که عملیات اکتشافی در منطقه آغاز شده، تعداد ۲۱۷ حلقه چاه به متراژ تقریبی ۵۸۰۰۰ متر، ۱۸۰ ترانشه و ۳۸ اکلون حفر گردیده است. ۳- موقعیت استراتژیک طبس به عنوان پهناورترین شهرستان ایران با مساحت ۵۷ هزار کیلومترمربع و شرایط امنیت مناسب از نقطه نظر قرارگیری در مرکز ایران و دسترسی به خطوط ریلی حائز اهمیت است. طبس در مسیر تردد چند استان مهم کشور قرار گرفته است و می‌تواند محل تحقق اقتصاد مقاومتی و سرمایه‌گذاری دولت و بخش خصوصی باشد. ۴- به علت دسترسی مناسب به مواد اولیه، پتانسیل بالایی برای توسعه صنایع پایین دستی معادن زغال سنگ وجود دارد. ۵- بخش اعظمی از منطقه معدنی پروده جزو منطقه حفاظت شده حیات وحش نایبندان می باشد که وسیعترین پناهگاه حیات وحش کشور (با وسعت ۱۴۲۲۰۰۰ هکتار) می باشد و تنوع جانوری منحصر به فردی را در جهان حفظ می‌کند.

الگوی پارک صنعتی اکولوژیک در معدن زغال‌سنگ پروده طبس

فعالیت های معدنی می تواند باعث تخریب منابع طبیعی، به هم خوردن تعادل اکولوژیک و گسترش آلودگی محیط زیست گردد. آلودگی های ناشی از معادن زغالسنگ را می توان در سه گروه باطله های جامد، پساب و گاز متان دسته بندی نمود. در حال حاضر، تولید زغال‌سنگ در ایران حدود ۸۵۰ میلیون تن در سال است. حجم زیادی از کل زغال‌سنگ استخراج شده(به طور متوسط ۶۳درصد) از معادن، طی فرایندهای مختلف معدنکاری و زغال شویی به عنوان باطله به هدر می رود و مورد استفاده قرار نمی گیرد. این میانگین بالای تولید باطله، 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. در حال حاضر، تنها حدود۳۰درصد از باطله ها، با استفاده از روش های ثقلی و با استفاده از تجهیزاتی از قبیل جیگ و اسپیرال بازفرآوری شده و به زغال سنگ حرارتی تبدیل می شود. دپو شدن باطله های زغال سنگ در مدت زمان طولانی علاوه بر بوجود آوردن مشکلات زیست محیطی، فضای زیادی را اشغال می کند به طوریکه هر هزار مترمکعب از باطله زغالسنگ به ۴۰مترمربع فضا نیاز دارد(Haibin& Zhenling,2010). درحال حاضر معدن زغال سنگ پروده در مرحله ابتدایی توسعه چرخه بسته و تبدیل به پارک اکولوژیک صنعتی قرار دارد. برای دستیابی به مدل چرخه بسته، احداث صنایع مرتبط با این فرآورده معدنی با هدف افزایش نرخ بازیافت باطله ها، استحصال گاز متان، بازچرخش پساب معدنکاری و احیای زمین بهره برداری شده، ضروری به‌نظر می‌رسد. بدین منظور، توسعه صنایع دارای امکانسنجی مثبت در منطقه، توجه به ایجاد صنایع جوار معدنی، تکمیل زنجیره صنایع و محصولات مرتبط با زغالسنگ، و همچنین ایجاد ارزش افزوده در منطقه بایستی در دستورکار قرار گیرد.

بازفراوری باطله های زغال سنگ:

باطله زغالسنگ یکی از مهمترین محصولات جانبی در فرآیند معدنکاری است و شامل آن دسته از مواد جامدی است که در طی مراحل مختلف معدنکاری اعم از استخراج، فرآوری و ذوب حاصل می شود(Tayebi-Khorami et.al,20190). در معادن زغالسنگ پروده، سالانه یک میلیون تن باطله شامل کانسنگ کم ارزش و لجن تولید می شود که ۷۰۰هزارتن آن باطله خشک و ۳۰۰هزارتن نیز به صورت پسماند لجن می باشد. این باطله ها[1] شامل موادی است که پس از جداسازی کنسانتره با ارزش در کارخانه زغالشویی، به عنوان مواد فاقد ارزش اقتصادی انباشت می شوند. مدیریت ضایعات نیازمند در نظر گرفتن موارد متعددی همراه با جنبه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی است(Kowalska,2014). برخی موارد استفاده بهینه از باطله های معدنی در ادامه شرح داده می شود.

۱-کودارگانیک کشاورزی:

-کود هیومیک اسید: زغالسنگ منبع اصلی هیومیک اسید است(Das et al.,2015) و استفاده از باطله زغالسنگ با استخراج هیومیک اسید از آن، یک ایده جدید برای بهره برداری از پسماند زغالسنگ میباشد(Baruah et al., 2013). مقدار هیومیک اسید در زغالسنگ های نارس به آسانی قابل استخراج است و دارای عملکرد بالاتری نسبت به زغال های رسیده تر مانند بیتامینوس است(Asing et al. 2009).این کود ارگانیک، برای محیط زیست، حیوانات، گیاهان و انسان کاملا بی خطر است؛ مواد آلی خاک را دو تا سه برابر افزایش می دهد و موجب بهبود ساختمان خاک و کاهش فرسایش و شوری خاک می شود.به علاوه، ظرفیت نگهداری آب و جذب مواد مغذی را افزایش می دهد و سبب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به شرایط کم آبی، سرما و شوری آب و خاک می شود (Tsetsegmaa et al.,2018).

-لجن زغالشویی: مزایای استفاده از لجن فاضلاب به عنوان یک ماده مغذی افزودنی به خاک، شناخته شده است. چرا که می‌تواند مواد نیتروژن، فسفر و مواد آلی را به خاک اضافه کند. لجن فاضلاب زمانی می‌تواند به طور موثر به عنوان یک ماده افزودنی مغذی مورد استفاده قرار گیرد که ۱- به صورت جامد باشد، زیرا در استفاده از ماده آلی نسبت به مایع کارآمدتر است. ۲- منبع لجن به محل استفاده نزدیک باشد تا هزینه حمل و نقل به حداقل برسد. ۳- لجن در محل اختصاصی ذخیره شود تا با سایر مواد مورد استفاده در سایت معدن ترکیب نشود. ۴- سطح نیتروژن ارگانیک آن به اندازه کافی بالا و فلزات سنگین آن به اندازه کافی پایین و در حد مجاز باشد.

۲-مصالح ساختمانی:

مقدار خاکستر موجود در زغال‌سنگ زیاد است و در آن عناصر شیمیایی مشابه سیلیکات وجود دارد که مواد خام ایده‌آلی برای مصالح ساختمانی محسوب می شوند. در حال حاضر مهم‌ترین مصالح ساختمانی قابل تولید از باطله های معدنی عبارتند از:

[1] Tailing

– **آجر:** از باطله زغال‌سنگ به منظور تخلخل‌زایی در بدنه آجر با هدف کاهش چگالی و سبک شدن و همچنین ایجاد خاصیت عایق حرارتی استفاده می‌شود. کاهش چگالی آجر باعث کاهش جرم ساختمان و در نتیجه افزایش مقاومت آن در برابر زلزله می‌شود.

– **سیمان:** تولید سیمان با استفاده از باطله های معدنی به جای خاک رس اولین بار در جهان در سال۱۹۷۶، در کارخانه سیمان ژانگدیان چین با موفقیت آزمایش شد. اجرای این طرح باعث شد تا علاوه بر کاهش اثرات باطله‌های زغال‌سنگ بر محیط‌زیست و آزادسازی چندین هکتار از زمین‌های زراعی، هزینه های تولید سیمان نیز به علت تامین بخشی از مواداولیه و صرفه‌جویی در مصرف سوخت فسیلی، به‌طور چشمگیری کاهش یابد؛ به طوریکه در مدت۴سال با استفاده از ۱ میلیون تن پسماند معدنی، در حدود۳.۳۸ میلیون تن سیمان تولید و مقدار ۰.۶میلیون تن زغال سنگ صرفه جویی و ذخیره شد. شهرستان طبس از توان بالایی جهت تأمین مواد اولیه سیمان با مرغوبیت بسیار بالا برخوردار است. در حال حاضر پروژه احداث کارخانه یک میلیون تنی در شمال شرق طبس در حال پیگیری است.

– **بلوک سیمانی توخالی:** ساخت دیوار با بلوک سیمانی توخالی تولید شده از باطله ها در مقایسه با آجر ساخته شده از خاک رس، موجب کاهش مصرف ملات سیمان تا ۹۰ درصد، کاهش وزن دیوار تا ۴۰درصد و کاهش زمان انجام پروژه تا۲۵درصد می شود(Yuan,1987).

– **سایر مصالح ساختمانی:** طبق شرایط و الزامات خاص محلی، مصالح ساختمانی متفاوتی نظیر کاشی و سرامیک، خاکدانه سبک، سیمان سفید و غیره از باطله های معدنی ساخته می شود.

۳-تکنولوژیکی و شیمیایی:

– **آلیاژ فروسیلیس آلومینیوم:** در باطله زغالسنگ عنصر آلومینیوم وجود دارد که پس از استخراج و ترکیب با عناصر دیگری تبدیل به آلیاژ فروسیلیس آلومینیوم می‌شود. این آلیاژ سختی آهن و فولاد را دارد، اما به سبکی آلومینیوم است و کاربرد گسترده‌ای در صنایع فلزی و هواپیما سازی دارد. درحال حاضر، بزرگترین کارخانه تولید آلیاژ فروسیلیس آلومینیوم در جهان، با ظرفیت تولید سالانه ۱۰۸ هزار تن در طبس، در حال احداث است. مواد اولیه اصلی این کارخانه باطله‌های زغالسنگ است، و دلیل اصلی اجرای این طرح در منطقه پروده بخاطر دسترسی مناسب به مواد اولیه می باشد.

– **استخراج پنتا اکسیدآلومینیوم و وانادیم:** این عناصر ارزشمند در تولید آلیاژهای آهن و آلومینیم و همچنین آلیاژهای غیر آهنی به کار می‌رود. به علاوه می‌تواند به عنوان کاتالیزور در کارخانه‌های تولید سولفات و آمونیاک، و منعقدکننده مناسب برای تصفیه آب آشامیدنی استفاده شود.

–**استخراج عناصر کمیاب خاکی:** یکی از راهکارهایی که می تواند موجب افزایش بازدهی و ایجاد ارزش افزوده در صنعت زغال سنگ ایران گردد، استحصال عناصر کمیاب و ارزشمند از زغالسنگ است. مهمترین عناصر اصلی در زغالسنگ عبارتند از: Ca، Mg، Fe، Al و Si (شهراز وکوهساری،۱۳۹۳). مقدار متوسط عناصر کمیاب در زغالسنگ های جهان حدود ۶۸.۵ گرم بر تن برآورد شده است(Dai,2010). مطالعات نشان می دهد که میزان تمرکز این عناصر در خاکستر زغالسنگ چندین برابر بیشتر از کنسانتره آن می باشد، لذا خاکستر زغالسنگ می تواند به عنوان منبع بسیار خوبی برای تأمین عناصر کمیاب خاکی مورد توجه قرار گیرد(Hower et al.,2015; Seredin& Dai,2012). ایران از لحاظ منابع عناصر نادر خاکی موجود در زغالسنگ نسبت به بسیاری از کشورهای تولیدکننده عمده زغالسنگ نظیر چین و آمریکا غنی تر است (طاهری و همکاران،۱۳۹۳). نتایج آنالیز نمونه های زغالسنگ کشور نشان می دهد که زغالسنگ حرارتی طبس با داشتن۹عنصر کمیاب پس از معدن خمرود در رتبه دوم آنومالی عناصر کمیاب در کشور قرار دارد(معمار،۱۳۹۵). علی رغم فراوانی عناصر نادر خاکی در ایران، نبود فناوری و صنایع پایین دست وابسته به آن، باعث فراموشی این مواد در صنعت کشور شده است. این در حالی است که توسعه فناوری‌های روز به ویژه در عرصه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، صنایع دفاعی، هوافضا، روشنایی و خودروهای الکتریکی و هیبریدی، نیاز روزافزونی به این عناصر دارند(Zhang et al.,2015).

–**تولید پی وی سی(PVC):** پی وی سی ماده اولیه بسیاری از صنایع است که در حال حاضر این ماده در کشور از نفت تهیه می شود. تولید پی وی سی از نفت هزینه بر است اما تولید آن از کک و زغالسنگ صرفه اقتصادی بالایی دارد. با هدف تکمیل چرخه معدنی، اولین کارخانه تولید pvc از کک و زغالسنگ در کشور، با ظرفیت تولید سالیانه ۱۸۰ هزار تن در زمینی به وسعت ۱۹ هکتار تا سال۱۴۰۰ در شهرستان طبس به بهره برداری می رسد. پی وی سی سومین پلیمر پر مصرف دنیا است و ماده اولیه صنایع مختلفی از جمله ظروف و لوله های پلاستیکی می باشد و مصارف عمده ای در صنایع ساختمان سازی، الکترونیک، حمل و نقل، بسته بندی، مصارف پزشکی و کالاهای مصرفی دارد.

–**تولید زغال حرارتی(سوخت نیروگاه):** باطله زغالسنگ ارزش حرارتی معادل ۳۳۵۰–۶۲۸۰ کیلوژول/کیلوگرم دارد و بعد از بازفراوری و تبدیل به زغال سنگ حرارتی، به عنوان سوخت در نیروگاه قابل استفاده می باشد. در سال ۱۹۷۵ اولین نیروگاه برق با سوخت تهیه شده از باطله زغالسنگ، با ظرفیت تولید ۸۹.۵ کیلووات در منطقه معدنی یونگ رونگ چین احداث شد. این نیروگاه با سوخت زغال حرارتی بازفراوری شده از ۱.۲میلیون تن باطله، و تولید ۴۰۰ میلیون کیلووات ساعت برق در سال، منجر به صرفه جویی و ذخیره ۴۰۰ هزار تن زغال‌سنگ خام شد(Youlei et al.,1987). نیروگاه حرارتی زغالسنگ سوز طبس با ظرفیت تولید ۶۵۰ مگاوات، شامل ۲ واحد بخار ۳۲۵ مگاواتی است و نخستین نیروگاه حرارتی کشور است که سوخت آن با زغال سنگ تأمین می‌شود. مصرف سالانه نیروگاه، ۴ میلیون تن زغال سنگ پیش‌بینی می‌شود. در صورت توسعه کارخانه بازفراری باطله، می توان از زغال حرارتی بازفراوری شده از باطله ها و لجن حاصل از زغالشویی و گاز متان زهکشی شده به عنوان سوخت استفاده نمود. برق تولید شده در نیروگاه، می تواند به عنوان نیروی مورد نیاز در استخراج و فرآوری و مصارف خانگی در منطقه معدن مورد استفاده قرار گیرد.

بازفراوری پسماندهای نیروگاه زغال سنگ سوز:

-**خاکستر بادی:** خاکستر بادی تولید شده در اثر سوختن سوخت به وسیله ته‌نشین کننده الکترواستاتیکی یا فیلتر کیسه‌ای (و یا هر دو) که در محل گازهای خروجی کوره قرار دارد جمع‌آوری می‌شود و به صورت فشرده نگهداری و انبار می شود. خاکستر بادی به کاهش نفوذپذیری باطله های ریز دانه کمک می کند. ترکیب خاکستر با باطله ها علاوه بر رفع مشکل نفوذپذیری و جلوگیری از آلودگی آب های زیرزمینی، لندفیل ارزانی را به منظور دفع این پسماند فراهم می آورد.

-**خاکستر کف کوره:** کف هر کوره یک قیف برای جمع‌آوری خاکستر فراهم شده. این قیف به وسیله آب پر شده تا از پراکنده شدن خاکسترها جلوگیری کند. خاکستر تولید شده در نیروگاه می تواند در صنایع راهسازی و تولید مصالح ساختمانی نظیر سیمان، بتن و آجر و همچنین برای پر کردن گودال حفر شده در طی عملیات معدن کاری مورد استفاده قرار گیرد. نتایج تجزیه و تحلیل شیمیایی باطله ها از نظر میزان گوگرد، رادیواکتیویته و اثرات مضر تایید کرده اند که این شاخص ها از استانداردها فراتر نمی روند و می توان از باطله ها برای احیا و پرکردن زمین بهره برداری شده استفاده نمود(Senapati,2011).

-**خاکستر و سرباره زغال سنگ :** این مواد می‌تواند در تولید کودهای شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد. در سرباره انواع زیادی از مواد مغذی ضروری برای محصولات کشاورزی وجود دارد. به عنوان مثال سیلیکون, کلسیم, گالیوم، فسفر، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز که پس از جذب توسط گیاهان منجر به بهبود رشد و مقاومت آن‌ها در برابر بیماری و آفات می شود. به منظور کاهش آلودگی هوا و مشکل باران اسیدی، همه نیروگاه های زغال سنگ سوز باید به تجهیزات گوگردزدایی از گاز خروجی مجهز باشند. محصول نهایی این فرآیند بسته به این که از کدام روش استفاده شود، متغیر است. این روش ها عبارتند از:

۱- فرایند اسکراب مرطوب با استفاده از سنگ آهک که محصول نهایی آن کلسیم سولفات می باشد. یک نیروگاه ۲۰۰۰ مگاواتی قادر به تولید حدود ۵۰۰هزارتن کلسیم سولفات در سال است(Norton,1987). بنابراین با استفاده از این روش گوگردزدایی در نیروگاه زغالسنگ سوز طبس با ظرفیت تولید ۶۵۰ مگاوات، می توان حدود۱۶۲هزار تن کلسیم سولفات در سال استحصال نمود که به عنوان ماده خام در کارخانه گچ سازی قابل استفاده است.

۲- سیستم‌های احیا کننده که اسید سولفوریک را به عنوان محصول نهایی تولید می‌کنند.

۳- فرایند جذب خشک که محصول نهایی آن سولفیدها، هیدروکسیدها و آهک است. در یک نیروگاه زغال سنگ سوز با ظرفیت مشابه نیروگاه طبس، سالانه حدود ۲۲۷هزار تن محصول در طی این فرایند تولید می شود، که در حدود ۴۵ درصد آن سولفیت کلسیم، ۱۰درصد سولفات کلسیم[1] و ۱۰ درصد هیدروکسید کلسیم[2] و مقادیر اندکی اکسید کلسیم، کربنات کلسیم و خاکستر است. این مواد برای ساختمان خاک مناسب تر از محصول تولید شده در فرایند اسکراب مرطوب هستند(Donelly,1991).

محصولات نهایی روش اسکراب مرطوب و جذب خشک، خنثی یا قلیایی(پی اچ ۶.۵ تا۹) هستند و در نزدیکی معادن زغالسنگ تولید می شوند؛ لذا برای ترکیب با باطله های معدنی به منظور کاهش خاصیت اسیدی و استفاده در احیای زمین، مناسب هستند.

-نیروگاه بازیافت حرارتی کارخانه کک سازی:

نیروگاه بازیافت حرارتی کارخانه کک سازی طبس با ظرفیت ۳۶ مگاوات طراحی شده و در حال اجرا می باشد. این نیروگاه از ۲ توربین بخار و ۳ بویلر بازیافت حرارتی تشکیل خواهد شد و در صورت توسعه ظرفیت کک سازی به ۶۰۰ هزار تن، یک بویلر دیگر به این نیروگاه اضافه می گردد و از توربین های موجود استفاده خواهد شد. حرارت خارج شده از کوره های کک سازی ۱۱۵۰ درجه سانتی گراد می باشد که این حرارت در بویلر برای تولید بخار آب استفاده می شود. بخار تولید شده به واحد نیروگاه فرستاده شده و توسط توربین بخار و ژنراتور ۳۶ مگاوات برق تولید می گردد. پس از راه اندازی نیروگاه بازیافت حرارتی، برق تولیدی برای استفاده کارخانه کک سازی و معادن زغال سنگ پروده طبس که در مجاورت آن قرار دارند و سایر مصرف کنندگان به شبکه برق سراسری منتقل می گردد. نزدیکی نیروگاه به محل مصرف، علاوه بر افزایش امنیت شبکه برق، می تواند موجب کاهش چشم گیر اتلاف انرژی در شبکه انتقال گردد. از آنجائی که نیروگاه بدون سوزاندن سوخت مضاعف و تنها به وسیله بازیافت حرارت اتلافی برق تولید می کند علاوه بر افزایش بهره وری در صنعت می تواند سالانه از انتشار ۱۹۷ تن معادل دی اکسید کربن در سال نیز جلوگیری نماید. موارد استفاده بهینه از پسماندهای منطقه معدنی زغال سنگ در شکل۳ نشان داده شده است.

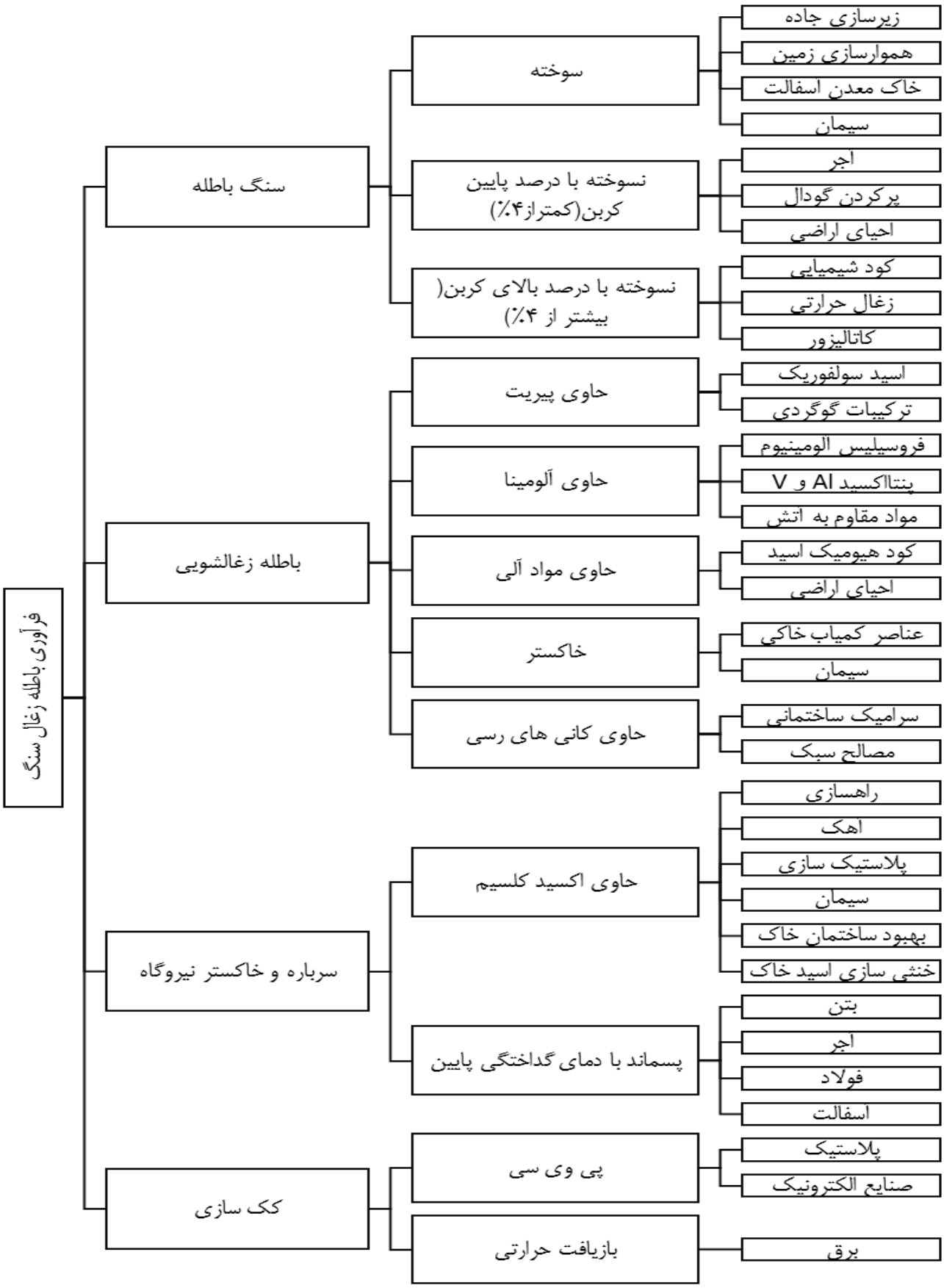
تصفیه فاضلاب و پساب فعالیت های معدنکاری:

بسیاری از معادن زغال سنگ با کمبود منابع آب مواجه اند. با توجه به اهمیت موضوع آب برای بقای اجتماعی و صنعتی، بویژه در منطقه کویری و خشک طبس مدیریت مصرف آب ضروری است. به طور کلی فاضلاب و پساب در معادن زغال سنگ، در طی سه فرایند اصلی تولید می شوند:

۱-فرایند استخراج (معدنی): پساب زهکش شده از مناطق معدنی خاصیت اسیدی دارد و موجب اختلال در مناطق وسیعی از سرزمین و زیستگاه‌های وابسته به آن، آلودگی منابع آب و برداشت بی رویه منابع آب از مناطق خشک می‌شود. به منظور کاهش خطرات رهاسازی پساب، ابتدا باید جریان پساب خروجی معدن را کنترل و سپس تصفیه نموده و آب حاصل از تصفیه را جهت مصرف دوباره به سیستم بازگردانیم. پساب زهکشی شده از معدن پروده حدود۳۰۰۰ متر مکعب در سال است و جهت تصفیه وارد حوضچه های ته نشینی می شود.

[1] انیدریت

[2] در مصالح ساختمانی به نام آهک شکفته شناخته می‌شود



شکل۳- موارد استفاده از پسماندهای زغال سنگ

۲-زغالشویی(صنعتی) : در اثر این فرآیند عناصر موجود در زغالسنگ به صورت محلول درمی آیند و وارد محیط می شوند. پساب حاصل از فرآوری زغالسنگ غالبا ماهیت اسیدی دارند و حاوی یون های منیزیم، پتاسیم، سدیم، کلسیم، منگنز، آلومینیم، آهن و سولفات است. مقدار آب مصرفی در کارخانه زغالشویی پرورده، ۱۲ لیتر بر ثانیه و میزان پساب تولیدی ۳۵۰هزار مترمکعب در سال می باشد.به دلیل مصرف بالای آب در فرآیندهای زغالشویی و کمبود آب در مناطق بیابانی مدیریت مصرف آب حائز اهمیت است. به منظور بازیافت آب با استفاده از فیلترپرس و انتقال پسماند لجن به حوضچه های ته نشینی، آب همراه مواد باطله، تا حد امکان جداسازی و به به مدار مصرف کارخانه زغالشویی بازگردانده می شود و مواد جامد، در ضلع شمال غربی کارخانه انباشته می گردد. لجن ارزش حرارتی بالایی دارد به طوریکه اگر تمام لجن تولید شده به عنوان سوخت در نیروگاه سوزانده شود در سال انرژی معادل ۳۰۰ میلیون کیلووات ساعت برق تولید می شود. در نتیجه مشکلات ذخیره سازی، فروش، حمل و نقل، فرسایش، آلودگی و غیره نیز تا حد زیادی مرتفع می گردد .

۳-بهداشتی(خانگی) : تولید فاضلاب بهداشتی در نتیجه استفاده از آب برای مصارف بهداشتی شامل سرویس های بهداشتی، استحمام، شستشوی ظروف، شستشوی سطوح و لباسشویی تولید می شود. واحد تصفیه خانه، فاضلاب بهداشتی را با ظرفیت ۳۶۰۰ مترمکعب در سال تصفیه می کند. آب بازیافتی جهت مصرف آبیاری فضای سبز ، فراوری باطله، آب خنک کننده در نیروگاه و آب مورد نیاز معدنکاری قابل استفاده است. استفاده مجدد و برگشت آب به سیستم، نه تنها به رفع مشکل آلودگی زیست محیطی ناشی از تخلیه مستقیم کمک می کند بلکه موجب صرفه جویی در منابع آب به میزان ۱۰۰هزارمترمکعب در سال می شود.

زهکشی و بازیابی گاز متان:

خطر گاز متان یکی از بزرگترین خطرات طبیعی در طی عملیات معدنکاری زغال سنگ است(Ju et al.,2016). گاز زهکشی نشده از تونل، امکان انفجار دارد و رهاسازی گاز متان زهکشی شده در اتمسفر، اثرات گلخانه ای و تغییر اقلیم را در پی دارد (Krause & Krzemień,2013). در حال حاضر اغلب عملیات معادن زغال سنگ در زون گاز دار صورت می گیرد. گاز زغال سنگ حاوی مقدار قابل توجهی متان و مقدار کمی هیدروکربن های سنگین تر از متان مانند دی اکسیدکربن، مونواکسید کربن و سولفید هیدروژن است. لایه های زغال سنگ سطح وسیعی دارند و در یک حجم سنگ برابر، می توانند ۶ تا ۷ برابر بیشتر از مخازن معمولی، گاز را درون خود نگه دارند(Bryner,2005). زهکشی گاز متان که گازززدایی زغال سنگ نیز نامیده می شود به عمل انتقال و بیرون کشیدن گاز موجود در لایه های زغال سنگ و لایه های متصل به آن از طریق چاه، گمانه و خطوط لوله گفته می شود. معادن زغال سنگ بر اساس میزان انتشار گاز متان به سه دسته طبقه بندی می شوند: معادن کم گازدار، معادن بسیار گازدار، معادن بشدت گاز دار. معدن زغال سنگ پرورده جزو معادن بشدت گاز دار است و خروجی گاز متان در آن ۵۰۰تا۶۰۰ لیتر بر ثانیه است.

نظر به اینکه کشور لهستان یکی از کشورهای پیشرو و دارای سابقه طولانی در امر معدنکاری بخصوص معادن زغالسنگ می باشد، لذا دو شرکت لهستانی[1] عهده دار پروژه زهکشی متان در شرکت زغال سنگ پرورده طبس شدند. نتایج مطالعات نشان می دهد که مناطق متان خیز در مرکز و جنوب غربی معدن پرورده قرار دارند. پتانسیل متان برجا در معدن پرورده برابر با ۱.۳۹ میلیارد مترمکعب با عمق متوسط ۲۶۷متر، در سطحی به وسعت ۸۶.۵۵ کیلومتر مربع برآورد گردیده است(Molayemat & Mohammad Torab,2017). بررسی میزان گازخیزی در اعماق مختلف ۵۰ تا ۶۵۰ متری، نشان می دهد که با افزایش عمق، میزان گاز از ۶ تا ۲۰ مترمکعب بر تن متغیر خواهد بود(جعفریان و همکاران،۱۳۹۵). در حال حاضر گاز متان موجود در تونل های استخراج زغال سنگ توسط مکنده به سطح منتقل شده و در هوا انتشار می یابد. آسیب وارده به اتمسفر در اثر انتشار گاز متان ۲۱ برابر بیشتر از دی اکسید کربن است. با توجه به تجربیات بدست آمده از کشورهای پیشرفته، بازیابی متان راهکاری منطقی جهت افزایش ایمنی، بهره وری انرژی، کاهش اثرات زیست محیطی انتشار گازهای گلخانه ای است. در گرو این پروژه، سود اقتصادی نیز افزایش می یابد، زیرا هزینه های زهکشی گاز متان در مقابل امتیازاتی همچون تولید برق از گاز زهکشی شده، اعتبار کربن، فرصت در جهت استخراج بیشتر و همچنین امتیازات زیست محیطی جبران می گردد. در صورت توسعه این پروژه، می توان از گاز استحصال شده، جهت مصرف در سایت معدن(کوره های خشک کن زغال، گرمایش، برق مصرفی و ...) و فروش گاز به خط لوله سراسری، نیروگاه و صنایع شیمیایی استفاده نمود.

احیای اراضی و پوشش گیاهی منطقه:

جهت ترمیم آثار تخریبی معدنکاری، درختکاری یا کشت گونه های مختلف گیاهی سازگار با محیط و احیای پوشش گیاهی بومی منطقه انجام می شود. به منظور تضمین رشد موفقیت‌آمیز گیاهان و به ویژه درختان در حضور باطله های زغال سنگ، استفاده از محصولات زیست فناوری مورد توجه قرار گرفته‌است. با توسعه این فناوری زیستی می توان استفاده از کودهای گران قیمت شیمیایی را کاهش داد و به تبع از بروز اثرات منفی استفاده از کودهای شیمیایی و همچنین دپوی باطله های معدنی، جلوگیری نمود (Wu & Wong,2009). بر روی ریشه برخی درختان، قارچ ویژه‌ای زیست می کند که با آن رابطه همزیستی دارد. قارچ، غلافی را در اطراف ریشه درخت ایجاد و به درون آن نفوذ می کند. رشته های قارچ از غلاف به باطله ها نفوذ یافته و به این ترتیب سیستم ریشه ای را گسترش می دهند(Norton,1987). اثرات مفید این همزیستی برای درخت شامل ۱- افزایش جذب آب و مواد مغذی، ۲-افزایش مقاومت گیاه نسبت به کم آبی و شرایط اسیدی خاک، و ۳- محافظت از گیاه در برابر عوامل بیماری زا و فلزات سمی می باشد. برخی از درختانی که به صورت طبیعی یا دست کاشت بر روی ناحیه زغال‌سنگ قادر به رشد و نمو هستند، در جدول۱ فهرست شده اند(Błońska et al.,2019).

[1] PGM و zok II

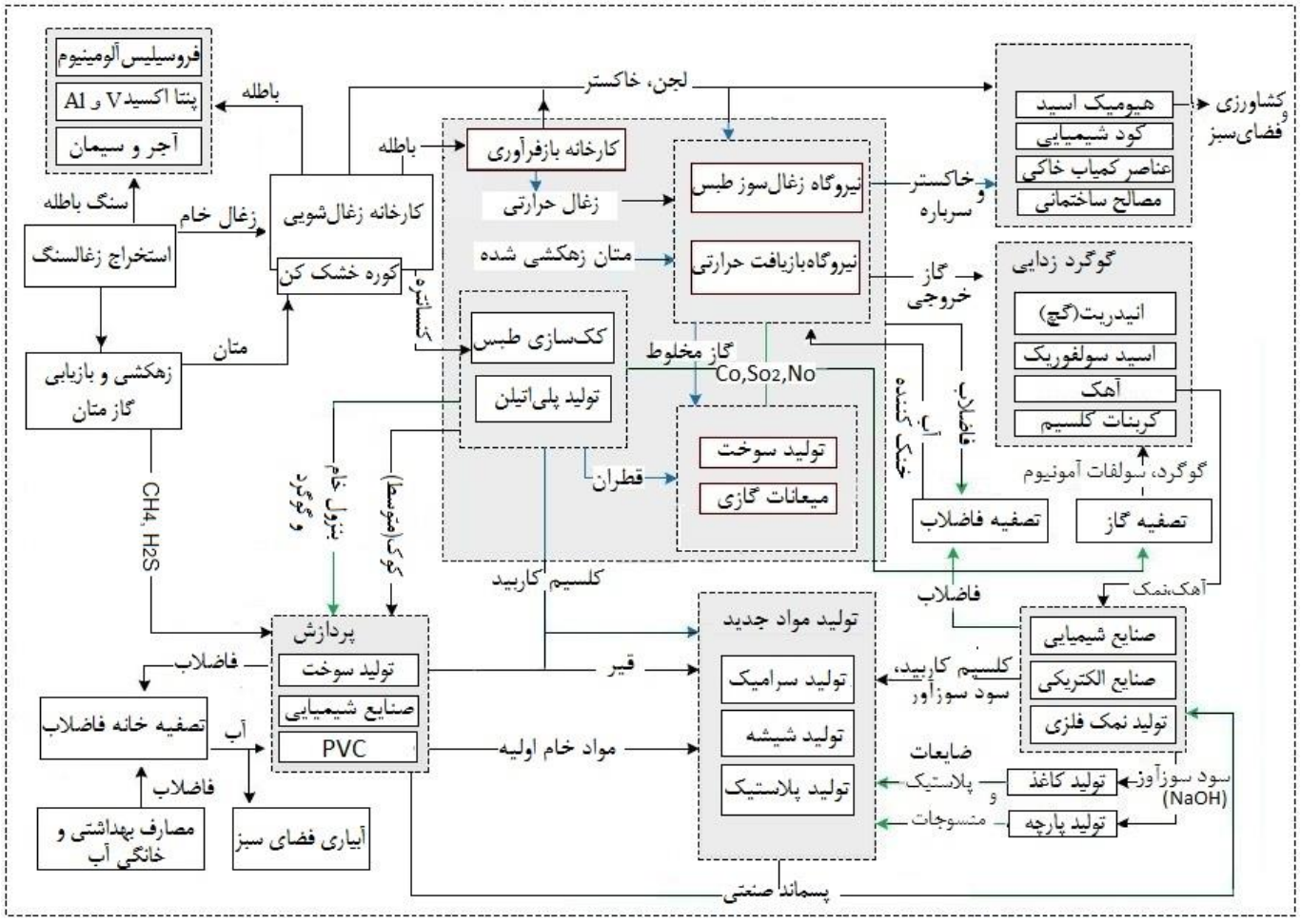
جدول۱- درختان مناسب فضای سبز منطقه معدنی

گونه درختی	نام علمی
افرای شبه‌چناری	Acer pseudoplatanus
توسکای سیاه	Alnus glutinosa
توس نقره‌ای	Betula pendula
توس کرکی(توس سفید)	Betula pubescens
زبان گنجشک	Fraxinus excelsior
تبریزی(شالک)	Populus nigra
بید مجنون	Salix babylonica
بلوط سفیدمازو	Quercus petraea
مَلَچ	Ulmus glabra

نتایج

بر اساس تجزیه و تحلیل انجام شده و با توجه به عوامل فنی, اقتصادی و زیست محیطی، می توان پارک صنعتی اکولوژیک زغال سنگ را با ترکیب صنایعی شامل زغال سنگ، مصالح ساختمانی، صنایع شیمیایی و فلزی،نیروگاه برق، تصفیه خانه و غیره ایجاد کرد. در شکل۴ فرایندهای امکان پذیر چرخه متابولیک پارک صنعتی اکولوژیک در معدن زغال سنگ ترسیم شده است. معدن زغال سنگ نقش هسته مرکزی را دارد و با صنایع بالا دستی و پایین دستی لینک های ارتباطی برقرار می کند. از زغال حرارتی بازفرآوری شده از باطله ها و لجن حاصل از فرآوری و متان زهکشی شده، می‌توان به عنوان سوخت در نیروگاه استفاده نمود. برق تولید شده در نیروگاه، عمدتا به عنوان نیروی مورد نیاز در استخراج و فرآوری و مصارف خانگی در منطقه معدن مورد استفاده قرار می گیرد. نیروی باقی مانده در شبکه توزیع، تفاله، خاکستر و دیگر ضایعات می توانند به عنوان مواد خام در مصالح ساختمان سازی مثل سیمان و آجر و همچنین برای احیای زمین و پر کردن گودال حفر شده در طی عملیات معدن‌کاری مورد استفاده قرار گیرند. کلسیم سولفات به عنوان ماده خام در کارخانه گچ سازی قابل استفاده است. فاضلاب زغال شویی و پساب خارج شده از معدن می تواند به عنوان آب خنک کننده در نیروگاه استفاده شود.

شکل۴ –فرایندهای امکان پذیر چرخه متابولیک پارک صنعتی اکولوژیک در معدن زغال سنگ



نتیجه‌گیری

روند رشد آینده به سمت یکپارچگی رشد صنعتی، اقتصادی و زیست محیطی است. توسعه اقتصادی- اکولوژیکی با تقویت حفاظت از محیطزیست و با توجه به اصول اکولوژی صنعتی و توسعه همزیستی صنعتی از طریق ایجاد شبکه ی بسته ای از صنایع مرتبط با یکدیگر قابل دستیابی است. چالش پیش رو در صنعت زغال سنگ، ایجاد اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف منابع و انتشار آلاینده ها است. توسعه مفهوم اکولوژی صنعتی در واقع یک استراتژی برنامه ریزی نوین است که در راستای نیل به اهداف توسعه پایدار گام بر می دارد. توسعه چنین سیستمی در معادن، پروژه پیچیده ای است که نیازمند سیاست گزاری، تامین بودجه و ارتقا سطح آگاهی جامعه و شرکت ها در مورد اهمیت این مسئله است. با در نظر گرفتن ویژگی های منحصر به فرد منطقه به لحاظ موقعیت استراتژیک، وجود ۷۶ درصد معادن زغال‌سنگ کشور در طبس، و با توجه به ارزش های بالقوه زیاد پسماندها، برنامه ریزی جهت توسعه بهره‌برداری از باطله های معدنی با برقرار نمودن ارتباطات صنعتی بین واحدها یا احداث صنایع مرتبط در این شهرستان ضروری به‌نظر می‌رسد. توسعه صنایع معدنی بر اساس اصول اکولوژی صنعتی و استفاده جامع از ضایعات، یک مدل حقیقی و قابل پذیرش برای پیوند صنعت و محیط زیست محسوب می گردد و راه حلی موثر و کارامد در رفع مشکلات معدن‌کاری است به طوریکه علاوه بر کاهش و بهینه سازی مصرف منابع و انرژی، کنترل آلاینده های زیست محیطی و مدیریت اصولی دفع ضایعات، بازیافت و افزایش نرخ بهره وری منابع و تقلیل تنش های محیطی، اثرات مثبت اقتصادی و اجتماعی بسیاری دارد. دستیابی به یک اکوسیستم صنعتی ایده‌آل شاید در عمل امکان پذیر نباشد، ولی اگر کشورهای جهان بخواهند بدون صدمه به محیط زیست، سطح زندگی خود را حفظ کنند و آن را ارتقا دهند، برنامه ریزی با رویکرد اکولوژی صنعتی به عنوان رویکردی نوین در حفاظت از محیط زیست و منابع طبیعی، امری ضروری است.

در حال حاضر بازفرآوری باطله ها و بازیافت پساب و فاضلاب در معدن پروده به صورت محدود صورت می گیرد. بنابراین، با توجه به مسئله مهم وجود ضایعات و نرخ پایین بازفراوری آن ها، برنامه‌ریزی منطقی، توسعه منظم و اتخاذ اقدامات مناسب لازم و ضروری است. بر این اساس، بازنگری در سیاست ها و برنامه های توسعه صنعتی و اتخاذ رویکردهای نوین بهره برداری از مواد خام و انرژی و اتخاذ تدابیر و سازوکارهای لازم برای نهادینه کردن و اشاعه این رویکرد اجتناب ناپذیر است و باید در کانون توجه کارگزاران و سیاست گزاران قرار گیرد. سیاست های پیشنهادی توسعه رویکرد اکولوژی صنعتی در مناطق معدنی زغال سنگ در زیر مورد اشاره قرار می گیرد:

۱-اختصاص بودجه و حمایت از پروژه های تحقیقاتی توسعه الگوی اکولوژی صنعتی

۲-تنظیم سیاست های مالیاتی تشویقی در رابطه با بازیافت و استفاده مجدد از منابع

۳- اجرای سیاست های توسعه زغال سنگ بر اساس قوانین حفاظت از محیط زیست

۴- رعایت استاندارد ISO14000 و اجرای سیستم مدیریتی تولید پاک تر به منظور کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده ها از منبع، از طریق افزایش نرخ بازفرآوری باطله ها و بازیافت پساب.

۵- برقراری پارک صنعتی اکولوژیک به منظور تخصیص بهینه و استفاده کارآمد از منابع با توسعه صنایع پایین دستی زغال سنگ و ایجاد چرخه محصولات فرعی.

۶-ایجاد سیستم تدارکات سبز برای جلوگیری از هدررفت انرژی و آلودگی محیطزیست در فرآیند ذخیره سازی و حمل و نقل محصولات اصلی و فرعی.

منابع

- جعفریان.ا ، مدنی.ح ، معارفوند.پ ،۱۳۹۵، مطالعه گازخیزی لایه های B1 C1,و B2 معدن زغالسنگ پروده ۱ طبس به روش زمین آمار، کنفرانس بین المللی علوم زمین – تهران
- شهراز، س.،کوهساری ا.ح.،۱۳۹۳. بررسی عناصر کمیاب و نادر خاکی در حوزه های زغالی ایران (بررسی در معدن زیر زمینی زغال سنگ کارمزد). مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران, دوره ۲۲ , شماره ۴ ; صفحه ۶۸۵ تا ۶۹۶.
- طاهری, بهروز؛ جعفر شهریورقوزوللو؛ حنیف کازرونی و مهدی قراباغی، ۱۳۹۳، بررسی ذخایر فلزات استراتژیک و عناصر نادر خاکی همراه در خاکستر زغالسنگ، دومین کنگره ملی ذغال سنگ ایران، کرمان، دانشگاه صنعتی شاهرود و معادن ذغالسنگ کرمان
- معمار.حمیدرضا،۱۳۹۵، بررسی عناصر کمیاب در نمونه‌های معدنی و کنسانتره برخی از معادن زغالسنگ ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته معدن-گرایش اکتشاف، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
- Ashton, W.S., Bain, A.C., 2012. Assessing the "short mental distance" in eco-industrial networks. J. Ind. Ecol.16(1), 70-82.
- Asing, J., Wong, N.C., and Lau, S. 2009. Optimization of extraction method and characterization of Humic Acid derived from coals and composts, J. Trop. Agriculture and Food. Science, 37: 211–223.
- Baas, L.,2008. Industrial symbiosis in the Rotterdam Harbour and Industry Complex: reflections on the interconnection of the techno - sphere with the social system. Bus. Strategy Environ. 17(5), 330-340.

- Baruah, B.P., Sharma, A. and Saikia, B.K. 2013. Petro-chemical Investigation of some Perhydrous Indian Coals. Jour. Geol. Soc. India, 81: 713-718.
- Basu, A. J., & van Zyl, D. J.2006, Industrial ecology framework for achieving cleaner production in the mining and minerals industry. Journal of Cleaner Production,14(3-4), 299-304.
- Błońska, A., Kompała-Bąba, A., Sierka, E., Bierza, W., Magurno, F., Besenyei, L., Ryś,k & Woźniak, G. 2019, Diversity of Vegetation Dominated by Selected Grass Species on Coal-Mine Spoil Heaps in Terms of Reclamation of Post-Industrial Areas.
- Boons, F., Spekkink, W., Mouzakitis, Y., 2011. The dynamics of industrial symbiosis: a proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review. J. Clean. Prod. 19(9), 905-911.
- Bryner. G, 2005. coalbed methane development in the intermountain west, Natural Resources Law center ,university of Colorado school of law , pp.2-14.
- Chen, X. Zhou. M, Wang. L.,2010, Large-scale coal enterprises energy audit and energy saving and emission reduction analysis[J]. Energy conservation,1:55-58.
- Chertow, M. R. 2000. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. Journal of Industrial Ecology, Vol. 11. No.1. 11–30.
- Chertow, M., Ehrenfeld, J., 2012. Organizing self-organizing systems. J. Ind. Ecol. 16(1), 13-27.
- Conticelli, E., Tondelli, S., 2014. Eco-industrial parks and sustainable spatial planning: a possible contradiction? Adm. Sci. 4(3), 331-349.
- Costa, I., Massard, G., Agarwal, A., 2010. Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries. J. Clean. Prod. 18(8), 815-822.
- Dai.S., 2010., "A new type of Nb (Ta)–Zr(Hf–(REE–Ga polymetallic deposit in the late Permian", International Journal of Coal Geology 83(1), 55-63.
- Das. T., Saikia, K. B., Bourah. B. P., Das, D. 2015. Characterizations of Humic Acid Isolated from Coals of Two Nagaland Coalfields of India in Relation to their Origin. Journal geological society of India, 86: 468-474.
- DOE,2010, Mining Industry Energy Bandwidth Study. US Depart of Energy, Industrial Technologies Program.. Retrieved on 05/02.
- Doménech, T., Davies, M., 2011. Structure and morphology of industrial symbiosis networks: the case of Kalundborg. Procedia Soc. Behav. Sci. 10, 79-89.
- Durucan, S., Korre, A.,Munoz-Melendez, G. 2006..Mining life cycle modelling: a cradle-to gate approach to environmental management in the minerals industry. Journal of Cleaner Production .14.1057-1070.
- Durucan, S., Korre, A.,Munoz-Melendez, G..Mining life cycle modelling: a cradle-to gate approach to environmental management in the minerals industry. Journal of Cleaner Production . 2006.14.1057-1070.
- Enerdata, 2018. Global Energy Statistical Yearbook 2018. https://yearbook.enerdata.net/coal-lignite/coal-production-data.html
- Erkman, S. 1997. Industrial ecology: a historical review. Journal of Cleaner Production, Vol. 5. No. 1-2. 1–10.
- Feng, Y., Zhongxue, L., & Cuiping, L., 2010, Analysis of and Countermeasures for Coal Circular Economy Developing Model in China,International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering. (Vol. 2, pp. 154-157). IEEE.
- Geng, y.; Fu, J.; Sarkis, J.; Xue, B.,2012,Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. Journal of Cleaner Production, v. 23, 216-224.
- Graedel.T, Allenby. B.R, Industrial Ecology, 2003,2nd Edition, Yale University.
- Grant, G.B., Seager, T.P., Massard, G., Nies, L., 2010. Information and communication technology for industrial symbiosis. J. Ind. Ecol. 14(5), 740-753. [18] Dulewski, J., Madej, B., Uzarowicz, R.,Walter, A.,. Mining influence on selected environment elements from last decade prospect. Polish Mining Review66 (10), 126–133.
- Haibin, L., Zhenling, L. 2010. Recycling utilization patterns of coal mining waste in China. Resourc. Conserv. Recycl. 54, 1331e1340.

- Hart, S. L. and Milstein, M. B. 2003. Creating Sustainable Value. Journal of Management Executive, Vol. 17. No. 2. 56-69.
- Hower, J., Groppo, J., Henke, K., Hood, M., Eble, C., Honaker, R., Zhang, W., Qian, D. 2015. Notes on the potential for the concentration of rare earth elements and yttrium in coal combustion fly ash. Minerals, 5(2), 356-366.
- Hsu, Y.C., Rohmer, S., 2010. Probabilistic assessment of industrial synergistic systems. J. Ind. Ecol. 14(4), 558-575.
- J. Donelly, Disposal and Utilization of Spray Dryer FGD end-products,Canadian Electrical Association Seminar on Sulphur Dioxide removal,Ottawa, Canada, 1991.
- Jiao, W., Boons, F., 2014. Toward a research agenda for policy intervention and facilitation to enhance industrial symbiosis based on a comprehensive literature review. J. Clean. Prod. 67, 14-25.
- 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.
- Kowalska, I.2014. Risk management in the hard coal mining industry: social and environmental aspects of collieries' liquidation. Res. Policy.41, 124–134.
- 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.
- 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.
- Kuai, P., Li, W., Cheng, R., Cheng, G., 2015. An application of system dynamics for evaluating planning alternatives to guide a green industrial transformation in a resource-based city. J. Clean. Prod. 104, 403-412.
- Laybourn, P., Lombardi, D.R., 2012. Industrial symbiosis in European policy. J. Ind. Ecol. 16(1), 11.
- Le, W., & Wu, C. 2010. Construction of Coal Eco-Industrial Park Based on the Theory of Circular Economy. In 2010 International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment (pp. 1-3). IEEE.
- Lèbre, É., & Corder, G. 2015, Integrating industrial ecology thinking into the management of mining waste. Resources, 4(4), 765-786.
- Lebre, E., & Corder, G.,2015, Integrating industrial ecology thinking into the management of mining waste. Resources, 4(4), 765-786.
- Li, J., Wang, F., 2015. How China's coal enterprise shrinks carbon emissions: a case study of Tashan Circular Economy Park. Energ. Source. Part A 37(19), 2123-2130.
- Martin, R., Sunley, P., 2015. On the notion of regional economic resilience: conceptualization and explanation. J.Econ. Geogr. 15(1), 1-42.
- Mathews, J.A., Tan, H., 2011. Progress toward a circular economy in China. J. Ind. Ecol. 15(3), 435-457.
- 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.
- Norton, P. 1987. Biotechnical Methods in the Treatment and Restoration Use of Coal Mining Waste. In Advances in Mining Science and Technology (Vol. 2, pp. 253-265). Elsevier.
- Posch, A., Agarwal, A., Strachan, P., 2011. Editorial: managing industrial symbiosis (IS) networks. Bus. Strategy Environ. 20(7), 421-427.
- Salmi, O., Hukkinen, J., Heino, J., Pajunen, N., Wierink, M., 2012. Governing the interplay between industrial ecosystems and environmental regulation. J. Ind. Ecol. 16(1), 119-128.
- Senapati, M. R. (2011). Fly ash from thermal power plants- waste management and overview. Current Science (Bangalore), 100(12), 1791-1794
- Seredin.V.V. and Dai.SH., 2012. Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium," International Journal of Coal Geology 94, pp. 67-93.
- Spekkink, W., 2013. Institutional capacity building for industrial symbiosis in the Canal Zone of Zeeland in the Netherlands: a process analysis. J. Clean. Prod. 52, 342-355.
- Tabas Coal Mine Project, Basic Design Report Mining, 2005, Vol 1 of 5.

- Tayebi-Khorami, M., Edraki, M., Corder, G., & Golev, A. 2019. Re-Thinking Mining Waste through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations. Minerals, 9(5), 286.
- Tibbs, H. B. 1992. Industrial ecology–an agenda for environmental management. Pollution prevention review,. 2(2), 167-180.
- Tsetsegmaa, G.; Akhmadi, K.; Cho, W.; Lee, S.; Chandra, R.; Jeong, C.E.; Wainkwa Chia, R.; Kang, H., 2018,Effects of Oxidized Brown Coal Humic Acid Fertilizer on the Relative Height Growth Rate of Three Tree Species. Forests, 9, 360.
- Wang .Y.S., 2005, China recycling economy Development and its mineral resources' sustainable development. Conservation and Utilization of Mineral Resources; 1-4.
- Wright, R.A., Côté, R.P., Duffy, J., Brazner, J., 2009. Diversity and connectance in an industrial context. J. Ind.Ecol. 13(4), 551-564.
- Wu, F. Y., Bi, Y. L., & Wong, M. H. (2009). Dual inoculation with an arbuscular mycorrhizal fungus and Rhizobium to facilitate the growth of alfalfa on coal mine substrates. Journal of plant nutrition, 32(5), 755-771.
- Youlei, G., Guangxu, H., & Shaoxian, S. 1987. The Utilization of Dirt from Coal Mines and Land Reclamation. In Advances in Mining Science and Technology (Vol. 2, pp. 357-368). Elsevier.
- Yu, F., Han, F., Cui, Z., 2015b. Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. J. Clean.Prod. 87, 339-347.
- Yuan, S. M. 1987. Present situation, problems and development of utilization of coal mining wastes in China. In Advances in Mining Science and Technology (Vol. 2, pp. 431-439). Elsevier.
- Zeng, Y., Xiao, R., Li, X., 2013. A resilience approach to symbiosis networks of ecoindustrial parks based on cascading failure model. Math. Probl. Eng.
- Zhang, H., Song, J., Su, C., He, M., 2013. Human attitudes in environmental management: Fuzzy Cognitive Maps and policy option simulations analysis for a coal-mine ecosystem in China. J. Environ. Manage. 115, 227-234.
- Zhang, W., Rezaee, M., Bhagavatula, A., Li, Y., Groppo, J., & Honaker, R. 2015. A review of the occurrence and promising recovery methods of rare earth elements from coal and coal by-products. International Journal of Coal Preparation and Utilization, 35(6), 295-330.
- Zhao, Y., Zang, L., Li, Z., & Qin, J. (2012). Discussion on the model of mining circular economy. Energy Procedia, 16, 438-443.
- Zhao. X.,2010, Study on performance evaluation indicator system of coal enterprise energy saving and emission reduction.Consume Guide, 2:106-107.