علـوم محـیـطی سال دهم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۱
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.10, No.2 , Winter 2013

۱۳۰-۱۱۹

بررسی کیفی باطله‌های معدن زغال‌سنگ سنگرود و ارائه راهکار مدیریتی

مجید محسنی [۱*] و علی فضلوی [۲]

۱- *کارشناسی ارشد مهندسی معدن،گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره).*
۲- *دکترای مهندسی معدن، گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره).*

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۷ تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۲۷

چکیده

در این تحقیق با توجه به مطالعات انجام شده بر روی محل دپوی باطله معادن شماره یک، دو، سه، پنج و باطله‌های باقیمانده از کارخانه زغال‌شویی قدیم، مطالعات زیست‌محیطی معدن‌کاری زغال‌سنگ سنگرود انجام شد. و خطرات زیست‌محیطی مواد جامد رها شده باطله که عمدتاً در فاصله‌ای محدود مجاور آبراهه‌های حواشی دهانه تونل رها شده‌اند و همراه با روان آب‌های فصلی انتقال می‌یابند و در نهایت در مصب‌های پایین دست شاهرود و دریاچه سد سفید رود ته نشین می‌شوند مورد مطالعه قرار گرفت. سپس برای رفع این معضل امکان استفاده از دپوهای باطله در ساخت مصالح ساختمانی مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به ویژگی‌های تجزیه عنصری باطله‌ها و جدایش زغال‌سنگ خالص (۱۰/۷ درصد) قابل جدایش از آن‌ها معین شد که از میان مصالح ساختمانی، بهترین محصول تولیدی از ترکیب همگن باطله ها می‌تواند آجر باشد. با ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی و انجام تست های خواص فیزیکی و مکانیکی بر روی آن‌ها مشخص گردید که آجرهای تولیدی از کیفیت قابل قبولی مطابق با استانداردها برخوردارند. در پایان با تحلیل اقتصادی" سرمایه‌گذاری اضافی" با استفاده از روش یکنواخت سالانه، تراز اقتصادی بودن احداث کارخانه تولید آجر در کنار احداث کارگاه جدایش زغال‌های قابل بازیافت مورد ارزیابی قرار گرفت و معین شد که انتفاع این طرح به ازای هر تن آجر تولیدی معادل ۳۱۰۰ ریال می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: باطله زغال‌سنگ، سنگرود، آجر، سرمایه گذاری اضافی.

Qualitative Study of Sangrood Coal Wastes and Management Solution Offered

Majid Mohseni[1*] and Ali Fazlavi[2]

1. M.Sc. in Mining engineering, Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University.
2. PhD. in Mining Engineering, Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University.

Abstract

In this research, an environmental investigation of Sangrood coal mine was conducted according to the studies of mine waste of mines number one, two, three, five, and the waste left from the processing plant. The environmental hazards of abandoned solid waste left mainly in a confined space adjacent to the margins of openings tunnel and transfer associated with the seasonal runoff and, finally, deposit in the downstream estuary of Shahrood River and the lake of Sefidrood dam were studied. To resolve this problem the possibility of using waste in the manufacturing of construction materials was studied. It was found that the best product of homogeneous composition could be brick. Through the construction of laboratory brick samples and tests conducted on their physical and mechanical properties it was determined that the bricks produced have acceptable quality standards. Finally, By using the " Extra investment" method in order to undertake economic analysis, the economic feasibility of using coal gangue as raw material for the production of bricks, was demonstrated. Finally, it was determined that the profit per ton of bricks produced is equal to 3100 Rials.

Keywords: Coal waste, Sangrood, Brick, Extra investment.

* Corresponding author. *E-mail Address*: m.mohsenil@yahoo.com

مقدمه

اثرات زیست‌محیطی معدن‌کاری زغال‌سنگ علاوه بر تولید گازهای خطر آفرین و لزوم رعایت مقررات ایمنی با توجه به حساسیت‌های مربوطه، تولید باطله به صورت جامد است. باطله‌های موجود در محل دپوها با ورود به آبراهه‌ها، نه تنها باعث افزایش غلظت مواد جامد معلق در آب می‌شوند و با ایجاد تیرگی آب باعث جلوگیری از نفوذ نور خورشید به داخل آب شده و اثرات منفی بر زندگی گیاهان و جانوران آبزی می شوند بلکه علاوه بر رسوب گذاری در مسیر آبراهه‌ها و انتقال آلودگی با تولید پساب اسیدی، سبب آلودگی آب‌های سطحی و تأثیر حیات آبزیان، آلودگی رسوبات، آلودگی آب های زیرزمینی و آلودگی گیاهان می‌شوند(Bell & Kerr, 2007).

پساب‌های اسیدی در نتیجه اکسید اسیون FeS_x موجود در زغال و سنگ‌های در برگیرنده آن در معرض هوا و سپس انحلال سولفات آهن حاصله در آب‌های نفوذی پدید می‌آیند.

$$FeS_2 + \frac{7}{2}O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+ \quad (1)$$

$$Fe^{2+} + \frac{1}{4}O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + \frac{1}{2}H_2O \quad (2)$$

$$FeS_2 + 14Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+ \quad (3)$$

$$Fe^{3+} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_3 \downarrow + 3H^+ \quad (4)$$

واکنش‌های (۱) و (۲) هوازی هستند اما واکنش‌های (۳) و (۴) که اسید بسیاری در واکنش (۳) تولید می‌شود بی‌هوازی می‌باشند. اگر PH سیستم به کمتر از ۳/۵ تقلیل یابد و نسبت Fe^{+3}/Fe^{+2} افزایش یابد، آهن سه ظرفیتی نقش اساسی در اکسید شدن پیریت بازی می کند(Kleinmann, 2001).

در مناطقی که آب‌های سطحی و زیرزمینی بوسیله پساب اسیدی آلوده شده باشد، خنثی‌سازی آب جهت مصارف آشامیدنی و صنعتی بسیار مشکل و پرهزینه است(Kepler, 2009).

در معدن زغال‌سنگ سنگرود مواد جامد رها شده تحت عنوان لیچه یا باطله عمدتاً در فاصله‌ای محدود از دهانه تونل‌ها و در مجاورت آبراهه‌های حواشی رها شده‌اند که انتقال مواد فوق همراه با روان آب‌های فصلی موجب ته نشست آن در مصب های پایین دست شاهرود و دریاچه سد سفید رود و آلودگی بخش‌های مذکور از ترکیبات معدنی همراه به خصوص آرژیلیت و پیریت شده که از لحاظ زیست محیطی باید مورد توجه قرار گیرند.

در سابقه بهره برداری از معدن سنگرود مطالعه می‌کنیم که در تابستان ۱۳۶۶ در یک بارندگی شدید طی مدت زمان کمتر از یک ساعت جریان آبی در منطقه شکل گرفت و با عبور روان آب ها از مسیرهای منتهی به باطله‌ها، انتقال مقادیر قابل توجهی از دپوهای باطله توسط سیلاب‌ها لطمات زیست محیطی زیادی را ایجاد کرد. شدت سیلاب حاوی قطعات سنگ های باطله، به حدی بود که در بخش پایین دست تونل شماره یک، که محل به هم پیوستن خروجی آبهای تونل های شماره یک، دو، سه و نیز کارخانه زغال‌شویی بوده، انبارهای معدن تخریب و مقدار قابل توجهی از اجناس همراه با سیلاب به سرشاخه شاهرود منتقل گشته و خسارات فراوانی از جمله افزایش رسوبات پشت سد را موجب گردید (Mohseni, 2010). بدیهی است که باید از تکرار

این فرآیند جلوگیری شده و با اتخاذ تدابیری باطله‌های دپو شده در اطراف معدن جمع‌آوری و به منطقه دارای حریم قابل کنترل حمل شوند که البته این خود مستلزم تحمل هزینه ایجاد فضای ثانویه انبار باطله یا سد باطله و همچنین هزینه بارگیری و حمل است و این هزینه‌ها تاکنون از سوی شرکت بهره بردار صورت نگرفته است. در ادامه تصاویری از باطله‌ها و بخش هایی از فرآیند فرسایش و گسترش آنها در مسیر آبراهه‌ها در شکل های ۱و۲ آورده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

معدن زغال‌سنگ سنگرود در کشور ایران و در ۱۱۵ کیلومتری جنوب شهر رشت در ۲۵ کیلومتری شرق لوشان واقع شده است. این معدن شامل دو بلوک مرکزی و شمالی می‌باشد. مقدار ذخیره در بلوک شمالی بیش از ۱ میلیون تن بوده که توسط دو دهانه تونل به شماره های تونل ۱۰ و تونل ۱۱ استخراج گردیده است. ذخیره قابل بهره‌برداری در این بلوک پایان یافته و راه‌های دسترسی پس از استخراج کامل بازیابی شده است. در این بلوک کیفیت و میزان خاکستر در باندهای زغالی ۷ تا ۱۳ درصد، مواد فرار۱۷ تا ۲۵ درصد، مقدار کربن آن ۶۵ تا ۷۸ درصد گزارش شده است. بلوک مرکزی شامل تونل های ۱ الی ۹ می‌باشد که فقط بخشی از ذخایر تونل ۹ باقی مانده و درحال استخراج می‌باشد. سایر تونل‌ها در سنوات گذشته استخراج و راه‌های دسترسی بازیابی شده است. در این بلوک کیفیت و مقدار خاکستر در باندهای زغالی ۵ تا ۸ درصد، گوگرد ۰.۶ تا ۱ درصد، مواد فرار ۲۶ تا ۲۹ درصد، مقدار کربن ۶۷ درصد می‌باشد(NISC, 2001).

دپوی باطله تونل‌های ۱۰ و ۱۱ از محیط مرکزی معدن حدود ۸ کیلومتر فاصله دارد و تناژ آن حدود ۴۰۰ هزار تن برآورد می‌گردد.

دپوی باطله تونل‌های ۱، ۲، ۳ و ۵ از سایر تونل‌ها گسترده‌تر و با توجه به قدمت بهره برداری مورد فرسایش قرار گرفته است. هم اکنون مقدار وزنی آن حدود۱ میلیون تن برآورد می‌گردد همچنین حجم باطله تونل های ۴، ۶ و ۷ بسیار ناچیز است (Mohseni, 2010).

نمونه‌برداری از دپوهای باطله

در نمونه‌برداری، ابتدا سطح محل نمونه برداری حداقل به عمق ۲۰ سانتی‌متر کنده به دور ریخته شد تا خاک‌های هوازده و شسته شده همراه نمونه‌ها برداشت نشوند. و نمونه‌برداری از این عمق به پایین با توجه به رعایت اصول نمونه‌برداری و نکات زیر انجام گرفته است.

با توجه به اینکه دپوی باطله زغال‌سنگ به لحاظ ترکیب مواد تشکیل دهنده از یک محدوده معینی از سازند شمشک و نسبت مشخصی از دانه‌بندی است و روند انتقال و تخلیه باطله در یک محور خطی، نوعی همگن سازی را در طول زمان انباشت ایجاد می‌کند، اخذ سه نمونه از هر دپو به عنوان حد بالایی، حد میانی و حد پایینی کفایت رعایت مقررات نمونه برداری را دارا است.

شکل ۱ –دپوی باطله تونل ۲

شکل ۲– گستردگی فضای حمل و انتقال باطله‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها و مطالعات آزمایشگاهی

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه کانه آرایی دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، ابتدا عملیات همگن‌سازی و ایجاد نمونه معرف از کل دپوهای باطله معدن، مطابق با اصول مربوطه انجام شد. ضمناً مشاهده شد که نمونه معرف دارای مقادیری زغال به صورت آزاد و خالص می‌باشد که با جدایش و توزین آن معین شد که مقدار آن ۱۶/۷ می‌باشد. جدول ۱، آنالیز نمونه معرف را نشان می‌دهد.

جدول ۱– آنالیز نمونه معرف

Sio_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	C	L.O.I
۴۸	۱۸	۱/۹	۱/۷۵	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۴۶	۱۸	۱۰

پس از آنالیز نمونه معرف، عملیات دانه‌بندی اولیه بر روی نمونه معرف انجام شد و با توجه به

دامنه ابعاد دانه ها از الک‌های ۳/۴ اینچ و ۱۰ مش در دانه‌بندی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول پیداست، زغال آزاد بالای ۳/۴ اینچ، ۳/۵ درصد و زغال آزاد بین ۱۰ مش۳/۴ اینچ، ۸/۵ درصد و در نهایت زغال آزاد زیر ۱۰ مش، ۴/۵ درصد می‌باشد.

از آنجایی‌که زغال بالای ۳/۴ اینچ را می‌توان از طریق سنگ جوری و زغال موجود در دامنه زیر ۳/۴ اینچ و بالای ۱۰ مش از طریق جدایش ثقلی بازیافت نمود، با احتساب راندمان بازیافت ۹۵ درصد برای عملیات سنگ جوری و ۸۵ درصد برای عملیات ثقلی، در مجموع می‌توان مقدار ۱۰/۷ درصد از زغال موجود در باطله ها را قبل از استفاده از آن‌ها در ساخت مصالح ساختمانی بازیابی نمود. اما ۴/۵ درصد زغال زیر ۱۰ مش که دانه‌ریز بوده و جدایش آنها هزینه‌بر است در باطله باقی خواهد ماند که جمع آن با ۱/۵ درصد زغال غیرقابل بازیافت مراحل سنگ جوری و ثقلی ۶ درصد خواهد شد. محاسبات به اختصار در جدول-۲ آورده شده است.

با توجه به مشخص شدن درصد زغال باقیمانده در باطله دپوهای معدن پس از مرحله بازیابی (۶ درصد)، به منظور اختلاط بهتر زغال با باطله و نیز نزدیک نمودن ابعاد ذرات آن‌ها و همچنین کنترل اندازه فضاهای خالی تولید شده در آجرها پس از مرحله پخت، نمونه هایی از زغال‌سنگ کلوخه‌ای خالص به همراه نمونه‌هایی از باطله (با لحاظ درصد اختلاط ۶ به ۹۴) تحت خردایش قرار گرفته اند. همچنین جهت تحکیم ذرات آرژیلیت در مرحله پخت به مخلوط فوق ۱۰ درصد وزنی بنتونیت اضافه شد.

پس از آنالیز نمونه معرف و دانه‌بندی اولیه، عملیات خردایش تا رسیدن به حالتی که ۸۰ درصد مواد از سرند ۱۰۲ میکرون عبور کنند و مناسب برای ساخت آجر باشند ادامه یافت. در این مرحله، به ترتیب از سنگ شکن فکی، سرند لرزان، سنگ شکن غلتکی، آسیای میله ای برای خردایش و سپس از شیکر و یک سری الک به شماره های ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۷۰، ۲۰۰، ۲۳۰ و ۲۷۰ مش که در جدول- ۳ نشان داده شده است برای دانه‌بندی نمونه معرف ۳ کیلوگرمی استفاده شد.

جدول ۲- مقدار باطله و زغال موجود در یک نمونه ۳ کیلوگرمی از نمونه معرف

مانده روی الک ۳/۴ اینچ		مانده روی الک ۱۰ مش		زیر الک ۱۰ مش	
وزن (gr)	نسبت به کل(%)	وزن(gr)	نسبت به کل (%)	وزن (gr)	نسبت به کل (%)
۹۹۰	۳۳	۱۲۷۷	۴۲/۵	۷۳۳	۲۴/۵
زغال موجود		زغال موجود		زغال موجود	
وزن (gr)	نسبت به کل (%)	وزن (gr)	نسبت به کل (%)	وزن (gr)	نسبت به کل (%)
۱۰۶/۴۲	۳/۵	۲۶۰	۸/۷	۱۳۵	۴/۵
زغال قابل بازیافت(%)		زغال قابل بازیافت(%)		زغال قابل بازیافت(%)	
۳/۵×۰/۹۵=۳/۳۲۵		۸/۷×۰/۸۵=۷/۳۹۵		۰	
کل زغال قابل بازیافت(%)					
۷/۳۹۵+۳/۳۲۵=۱۰/۷۲~۱۰/۷					
کل زغال باقیمانده در نمونه معرف (%)					
۱۶/۷-۱۰/۷=۶					

جدول ۳- آنالیز سرندی انجام شده بر روی نمونه معرف ۳ کیلوگرمی پس از خردایش

شماره سرند (mesh)	اندازه چشمه سرند (µm)	مانده روی سرند (gr)	مانده روی سرند (%)	تجمعی مانده روی سرند (%)	عبوری از سرند (%)
۶۰	۲۵۰	۶۳/۹	۲/۱۳	۲/۱۳	۹۷/۸۷
۸۰	۱۷۷	۷۵	۲/۵	۴/۶۳	۹۵/۳۷
۱۰۰	۱۴۹	۹۸/۴	۳/۲۸	۷/۹۱	۹۲/۰۹
۱۲۰	۱۲۵	۱۴۰/۱	۴/۶۷	۱۲/۵۸	۸۷/۴۲
۱۴۰	۱۰۵	۱۴۸/۲	۴/۹۴	۱۷/۵۲	۸۲/۴۸
۱۷۰	۸۸	۱۹۰/۵	۶/۳۵	۲۳/۸۷	۷۶/۱۳
۲۰۰	۷۴	۲۱۸/۴	۷/۲۸	۳۱/۱۵	۶۸/۸۵
۲۳۰	۶۲	۲۳۴/۹	۷/۸۳	۳۸/۹۸	۶۱/۰۲
۲۷۰	۵۳	۲۹۵/۲	۹/۸۴	۴۸/۸۲	۵۱/۱۸
۲۷۰<	<۵۳	۱۵۳۵/۴	۵۱/۱۸	۱۰۰.۰۰	۰.۰۰

با توجه به فرآیند آماده‌سازی و نتیجه آنالیز نمونه معرف و همچنین مطالعات انجام شده بر روی مصالح ساختمانی پرمصرف مانند سیمان، آجر، شیشه ، کاشی و سرامیک و... ، به نظر می‌رسد تنها مصالحی که بیشترین مصرف مواد اولیه با پایه آلومینوسیلیکاته را دارا می‌باشد آجر است بنابراین انتخاب مصالح ساختمانی مصرف کننده باطله‌های زغال‌سنگ، بویژه باطله مورد مطالعه فقط می‌تواند آجر باشد(Braganca, 2008).

پس از دانه‌بندی، عمل‌آوری نمونه‌ها با افزودن تدریجی رطوبت توسط آب پاش و ورز دادن همزمان نمونه تا رسیدن رطوبت به ۱۷ درصد انجام گرفت. و سپس مخلوط مرطوب زیر یک پوشش پلاستیکی (جهت ثابت ماندن رطوبت) به منظور عمل‌آوری به مدت سه روز به حال خود رها شد(Bahrami, 2006).

پس از اتمام سه روز مرحله عمل‌آوری، کار قالب گیری از خمیر و ایجاد خشت خام به تعداد ۳۰ نمونه مطابق با جدول-۴ انجام شد. قالب‌ها فلزی بوده و در سه شکل مکعب مستطیلی، استوانه‌ای و قرصی ساخته شدند.

جدول ٤- مشخصات نمونه‌های قالب‌گیری شده

شرح شکل	تعداد	شماره نمونه‌ها	ابعاد (mm)	
مکعب مستطیلی	۵	R_1-R_5	۳۹/۶۵×۹۵/۹۶	بزرگترین وجه
	۵	R_6-R_{10}	۲۶/۵۲×۶۲/۰۰	
قرصی	۵	D_1-D_5	۴۴/۸۲	قطر
	۵	D_6-D_{10}	۴۸/۴۵	
استوانه‌ای	۱۰	C_1-C_{10}	۴۴/۸۲	قطر

خشت‌ها پس از ساخته شدن، برای خشک شدن به یک آون که قابلیت ثابت نگه داشتن دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس را به مدت ۲۴ ساعت داشته است هدایت شدند. و پس از آن نمونه‌ها برای پخت به کوره‌ای آزمایشگاهی که قابلیت رساندن دما تا ۱۲۰۰ درجه سلسیوس و ثابت نگه داشتن آن به مدت دلخواه را داشته باشد ارسال شدند(Braganca, 2008).

نتایج و بحث

پس از چند مرحله پخت و آزمون‌های سعی و خطا و تأثیر خواص مینرالوگرافی و عنصری مناسب‌ترین برنامه پخت به شرح زیر اجرا شد:

ابتدا در مدت ۶۰ دقیقه دما تا درجه ۵۷۵ درجه سلسیوس افزایش داده شد و پس از ۴۵ دقیقه توقف در این دما، مجدداً در مدت ۶۰ دقیقه دما به ۹۰۰ درجه سلسیوس افزایش داده شد و پس از ۴۵ دقیقه توقف در این دما برای با سوم افزایش دما و رسیدن به ۱۰۵۰ درجه سلسیوس در مدت ۱۰۰ دقیقه انجام شد در نهایت با توقف دما در درجه ۱۰۵۰ به مدت ۱۲۰ دقیقه فرآیند پخت کامل شد.

پس از پخت آجرها آزمایش‌های خواص فیزیکی (وزن مخصوص، تخلخل و جذب آب) و خواص مکانیکی (مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی یا برزیلی) (Bahrami, 2006) مطابق با استانداردهای موجود (ASTM, 2008) انجام شد.

وزن مخصوص و تخلل برای تعداد ۵ نمونه مکعب مستطیلی، ۳ نمونه قرصی و ۲ نمونه استوانه‌ای اندازه‌گیری شد که میانگین وزن مخصوص مقدار ۲/۱۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و میانگین تخلخل ۲۱/۴۱ درصد به دست آمد. این نتایج در جدول-۵ آورده شده است.

جدول ۵- وزن مخصوص و تخلخل تعداد ۱۰ نمونه

نمونه	وزن مخصوص ($gr\ cm^{-3}$)	تخلخل (%)
R_1	۲/۱۷	۲۰/۴۱
R_2	۲/۲۱	۱۹/۵۰
R_3	۲/۱۵	۲۱/۸۳
R_6	۲/۰۵	۲۲/۲۵
R_7	۲/۱۶	۲۱/۴۲
D_1	۲/۰۰	۲۲/۳۵
D_3	۲/۰۵	۲۲/۲۵
D_5	۲/۱۳	۲۱/۷۵
C_4	۲/۱۱	۲۱/۹۵
C_{10}	۲/۱۹	۲۰/۴۱
میانگین	۲/۱۲	۲۱/۴۱

مقاومت فشاری تک محوری برای تعداد ۵ نمونه استوانه‌ای و ۵ نمونه مکعب مستطیلی اندازه‌گیری شد که میانگین آن ۲۷/۵۴ مگاپاسکال به دست آمده است. این نتایج در جدول-۶ آورده شده است.

همچنین مقاومت کششی تعداد ۱۰ نمونه قرصی اندازه‌گیری شد. میانگین مقاومت کششی این نمونه‌ها برابر با ۲/۴۴ مگاپاسکال محاسبه شد. در جدول- ۷ این نتایج نشان داده شده است.

نتایج تست‌ها نشان داد که نمونه‌ها دارای شرایط مطلوب و حتی در برخی موارد بیش از شرایط مورد نیاز بوده است. این موضوع در مورد مقاومت فشاری نمونه‌ها بیشتر نمود داشته است. زیرا میانگین به دست آمده از مقاومت فشاری نمونه‌ها مقدار ۲۷/۵۴ مگاپاسکال بوده که این رقم بیشتر از مقاومت فشاری مورد نیاز برای آجرهای توکار درجه یک (با مقاومت فشاری ۷/۸ مگاپاسکال) و حتی بیشتر از مقاومت فشاری مورد نیاز برای آجرهای نمای درجه یک (با مقاومت فشاری ۱۳/۷ مگاپاسکال) می باشد.

جدول ٦- مقاومت فشاری تک محوری بر حسب مگاپاسکال برای تعداد ۱۰ نمونه

ردیف	نمونه	مقاومت فشاری (MPa)
۱	C_1	۳۹/۴۴
۲	C_2	۳۶/۸۰
۳	C_3	۳۱/۹۶
۴	C_4	۲۸/۰۰
۵	C_5	۲۵/۳۰
۶	R_1	۴۰/۸۷
۷	R_2	۳۴/۰۰
۸	R_8	۱۸/۱۰
۹	R_9	۱۲/۵۹
۱۰	R_{10}	۹/۳۷
میانگین		۲۷/۵۴

جدول ۷- مقاومت کششی بر حسب مگاپاسکال برای تعداد ۱۰ نمونه

ردیف	نمونه	مقاومت کششی (MPa)
۱	D_1	۲/۱۷
۲	D_2	۳/۱۹
۳	D_3	۲/۴۱
۴	D_4	۱/۹۳
۵	D_5	۲/۶۳
۶	D_6	۱/۵۹
۷	D_7	۳/۲۶
۸	D_8	۱/۴۸
۹	D_9	۲/۳۲
۱۰	D_{10}	۳/۳۷
میانگین		۲/۴۴

بحث اقتصادی

از آنجایی که ساماندهی باطله‌های هر معدن به منظور حفظ محیط‌زیست ضروری است و این ساماندهی به دلیل هزینه بر بودن کمتر مورد توجه صاحبان معدن (به ویژه بخش خصوصی) قرار می‌گیرد. پیشنهاد بهره برداری از این باطله‌ها می‌تواند در رفع آلودگی‌های مذکور راهگشا باشد. در این بخش به تحلیل اقتصادی استفاده از باطله ها در ساخت آجر پرداخته می‌شود. و نشان داده می‌شود چنانچه یک کارخانه تولید آجر در مجاورت معدن احداث شود که از باطله‌های معدن (با لحاظ صرف هزینه‌هایی بر روی آن‌ها) جهت ساخت آجر استفاده کند در مقایسه با کارخانه مشابه تولید آجر با مواد اولیه متعارف دارای صرفه اقتصادی می‌باشد.

با توجه به جدول- ۲ ، کل زغال آزاد قابل بازیافت از باطله ها مقدار ۱۰/۷ درصد می باشد که می‌توان قبل از ارسال باطله‌ها به کارخانه آجرسازی، با احداث کارگاهی به جداسازی آن پرداخت که هزینه ساخت این کارگاه باید در محاسبات اقتصادی منظور گردد. ضمناً درآمد حاصل از زغال بازیافتی و نیز هزینه تهیه بنتونیت به عنوان ماده افزودنی(به مقدار ۱۰ درصد) باید در محاسبات آورده شود. پارامتر دیگری که باید در محاسبات اقتصادی آورده شود برآورد احداث سد باطله جهت مهار باطله‌هاست تا با احداث آن از صدمات زیست‌محیطی جلوگیری شود. اما چون پیشنهاد استفاده از باطله‌ها در ساخت آجر وجود دارد و باطله‌ها مصرف می‌شوند عملاً احداث سد باطله کاربردی نداشته و معادل هزینه آن در بخش درآمد به عنوان جبران خسارات ناشی از صدمات زیست‌محیطی منظور می گردد.

هزینه‌های دیگر تولید آجر مانند خردایش مواد اولیه، آماده سازی خشت‌ها شامل قالب‌گیری، پرس، خشک کردن و نهایتاً کوره پخت، دپو و بارگیری آجر برای هر دو روش تولید آجر یکسان می‌باشد. و اندازه ارقام آن دخالتی در تحلیل اقتصادی ندارد بنابراین از آوردن آن‌ها در محاسبات خودداری می‌شود.

حال با توجه به موارد فوق به تحلیل اقتصادی پروژه می‌پردازیم. در اقتصاد مهندسی، در تحلیل اقتصادی پروژه‌ها روش‌های مختلفی نظیر روش ارزش خالص فعلی یا NPV (Net Present Value)، روش یکنواخت سالانه یا EUA (Equivalent Uniform Annual)، روش نرخ بازگشت سرمایه یا ROR (Rate of Return) و روش سرمایه‌گذاری اضافی یا EIA (Extra Investment Analysis)یا تلفیقی از این روش‌ها وجود دارد (Fazlavi, 2009).

با توجه به اینکه در این تحقیق ساخت کارگاهی در کنار کارخانه تولید آجر، جهت جدایش ۱۰ درصد زغال موجود در باطله وجود دارد، بنابراین پارامتر سرمایه‌گذاری اضافی دخالت دارد. همچنین به دلیل اینکه در این تحلیل اقتصادی مقایسه بین دو پروژه با عمرهای نابرابر صورت می‌گیرد، از میان روش‌های مذکور، از روش سرمایه‌گذاری اضافی، با استفاده از تکنیک EUA استفاده نماییم.

$$EUA=-Cd\left(A/P,i,n\right)+CF+S_V\left(A/F,i,n\right) \qquad (۵)$$

ذکر این نکته ضروری است که ارقام موجود در محاسبات بر حسب ریال بوده و نرخ‌ها بر اساس قیمت‌های سال نگارش مقاله است. با عنایت به موارد فوق به انجام محاسبات می‌پردازیم.

برآورد کل هزینه معادل سالیانه سرمایه احداث کارگاه جدایش، شامل هزینه‌های سرمایه ای از جمله احداث فضای فیزیکی کارگاه و خرید و نصب و راه اندازی سیستم جدایش ثقلی و جمع هزینه‌های جاری مربوط به این بخش می‌باشد که شرح آن در جدول-۸ آمده است.

با احتساب میزان ۵ درصد پرت باطله‌ها در عملیات بارگیری و حمل و نقل از محل دپوهای فعلی به ورودی کارگاه، برای یک دوره ۱۰ ساله، ارزش اسقاطی بخش سرمایه‌گذاری اضافی معادل ۱۰ درصد ارزش اولیه خود و حداقل نرخ جذب کننده ۲۰ درصد به تحلیل داده‌ها می‌پردازیم:

جدول ۸- برآورد هزینه‌های جاری و سرمایه‌گذاری اضافی طرح (Mohseni, 2010).

هزینه های سرمایه ای (ریال)		هزینه های جاری سالانه (ریال)	
۱- احداث سوله ۵۶۰ متر مربع	۱۵۶۸۰۰۰۰۰۰	۱- هزینه پرسنلی	۲۵۰۰۰۰۰۰۰۰
۲-تأسیسات مربوط به جدایش	۴۴۲۰۰۰۰۰۰	۲- هزینه های تعمیر و نگهداری	۱۵۰۰۰۰۰۰۰
۳-ماشین آلات مربوطه	۲۵۵۰۰۰۰۰۰۰	۳- هزینه های مصرفی	۳۵۰۰۰۰۰۰۰
جمع	۴۵۶۰۰۰۰۰۰۰		۳۰۰۰۰۰۰۰۰۰

- محاسبه هزینه معادل سالانه سرمایه‌گذاری کارگاه جدایش به ازای هر تن باطله مصرفی (ریال)

$$EUA_{cf}/ton_b = \left(C_{cf}\left(A/P,۲۰\%,۱۰\right) - Sv\left(A/F,۲۰\%,۱۰\right)\right) \div Q$$

$$Q = (۱۱۰۰۰۰۰ \times ۰.۹۵) \div ۱۰ = ۱۰۴۵۰۰ \quad \dot{U}$$

$$EUA_{cf}/ton_b = (۴۵۶۰۰۰۰۰۰۰ \times ۰/۲۳۸۵ - ۴۵۶۰۰۰۰۰۰ \times ۰/۰۳۸۵) \div ۱۰۴۵۰۰ = ۱۰۱۲۴/۴ \quad \dot{U}$$

C_f : جمع هزینه های جاری و معادل سرمایه‌گذاری سالانه به ازای هر تن باطله مصرفی (ریال)

$$C_f = (۳۰۰۰۰۰۰۰۰۰ \div ۱۰۴۵۰۰) + ۱۰۱۲۴/۴ = ۳۸۸۳۲/۶ \quad \dot{U}$$

- برآورد هزینه معادل سالیانه سرمایه‌گذاری احداث سد باطله

برای ایجاد فضای ثانویه انبار باطله یا سد باطله هزینه سرمایه‌گذاری اولیه حدود دو میلیارد ریال لازم است که هزینه معادل سرمایه‌گذاری آن به ازای هر تن باطله (به ریال) برابر است با:

$$EUA_{cd}/ton_b = C_{cd}\left(A/P,۲۰,۱۰\right) \div Q = ۲۰۰۰۰۰۰۰۰۰ \times ۰/۲۳۸۵ \div ۱۰۴۵۰۰ = ۴۵۶۴/۶ \quad \dot{U}$$

حال معادل اندازه‌های کمی پروسه تبدیل باطله به مواد خام قابل استفاده در پخت آجر با لحاظ حداقل نرخ جذب کننده ۲۰٪ و برای دوره بهره‌برداری ۱۰ ساله به شرح ذیل مورد ارزیابی قرار می‌گیرید.

$$\Delta EUA = -\Delta Cc\left(A/P,۲۰,۱۰\right) + \Delta CF + \Delta S_V\left(A/F,۲۰,۱۰\right)$$

$$\Delta CF = (P - \sum C) \times ۰/۷۵ + (D \times ۰/۲۵) =$$
$$= (P - (C_۱ + C_۲)) \times ۰/۷۵ + (D \times ۰/۲۵) =$$
$$= (۷۲۶۹۴۹۰۲۵۰ - (۲۶۱۲۵۰۰۰۰۰ + ۳۰۰۰۰۰۰۰۰۰)) \times ۰/۷۵ + (۳۰۰۴۰۰۰۰۰ \times ۰/۲۵) =$$
$$= ۱۳۱۷۸۴۲۶۸۷/۵ \quad \dot{U}$$

$$\Delta EUA = -۴۵۶۰۰۰۰۰۰۰ \times ۰/۲۳۸۵ + ۱۳۱۷۸۴۲۶۸۷/۵ + ۴۵۶۰۰۰۰۰۰ \times ۰/۰۳۸۵ = -۱۰۸۷۵۶۰۰۰۰ + ۱۳۱۷۸۴۲۶۸۶/۵ + ۱۷۵۵۶۰۰۰ = ۲۴۷۸۳۸۶۸۶/۵ \quad \dot{U}$$

Cc_A : کل سرمایه‌گذاری برای شرایط پخت آجر با استفاده از باطله‌ها (ریال)

Cc_B : مجموعه هزینه‌های سرمایه‌ای برای شرایط عادی پخت آجر فشاری (ریال)

ΔCc: تفاوت سرمایه‌گذاری دو فاز یا سرمایه‌گذاری اضافی برای شرایط استفاده از باطله‌ها که مساوی است با Ccf

P: درآمد ناشی از فروش زغال‌سنگ بازیافتی بعلاوه معادل سالانه سرمایه‌گذاری سدهای باطله یاجبران خسارات ناشی از صدمات زیست‌محیطی (ریال)

$$P = (۶۵۰۰۰ + \div ۴۵۴۶/۶) \times ۱۰۴۵۰۰ = ۷۲۶۹۴۹۰۲۵۰ \quad \dot{U}$$

C_1: هزینه خرید سالانه بنتونیت مصرفی(ریال)

$$C_۱ = ۲۶۱۲۵۰۰۰۰۰ \quad \text{ریال}$$

C_2: مجموع هزینه‌های جاری سالانه سرمایه‌گذاری اضافی طرح (ریال)

$$C_۲ = ۳۰۰۰۰۰۰۰۰۰ \quad \text{ریال}$$

D: هزینه استهلاک سالیانه سرمایه‌گذاری اضافی (ریال)

$$D = (۴۵۶۰۰۰۰۰۰۰ - ۴۵۶۰۰۰۰۰۰) \div ۱۰ = ۳۰۰۴۰۰۰۰۰ \quad \text{ریال}$$

Sv: ارزش اسقاطی سرمایه‌گذاری اضافی یا ارزش دفتری سال دهم (ریال)

$$Sv = ۴۵۶۰۰۰۰۰۰ \quad \text{ریال}$$

EUA_{PB} : انتفاع معادل برای تولید یک تن آجر از این طرح (ریال)

$$EUA_{PB} / ton_B = \Delta EUA \div Q_B$$
$$= ۲۴۷۸۳۸۶۸۶ / ۵ \div ۸۰۰۰۰$$
$$= ۳۰۹۷ / ۹۸ \approx ۳۱۰۰ \quad ریال$$

بنابراین همان‌طور که از محاسبات مشاهده می‌شود پیشنهاد استفاده از باطله‌ها جهت ساخت آجر اقتصادی می‌باشد. و بهره‌بردار معدن با استفاده از این روش نه تنها از انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی جلوگیری می‌کند بلکه از لحاظ اقتصادی نیز بهره‌ای از این عمل می‌برد. لازم است توجه شود که این بهره غیر از آن سودی است که از تولید آجر برای کارخانه تولید آجر حاصل می‌شود. و چنانچه بهره بردار معدن خود اقدام به احداث کارخانه تولید آجر نماید؛ علاوه بر کسب سود محاسبه شده فوق می‌تواند از سودهای رایج موجود در هر کارخانه تولید آجر نیز بهره مند گردد.

نتیجه‌گیری

۱- از آن‌جا که تاکنون اقدامی جهت مهار باطله‌های رها شده معدن زغال‌سنگ سنگرود توسط شرکت بهره‌بردار صورت نگرفته و سالانه بخش قابل توجهی از آن‌ها توسط روان آب‌ها و سیلاب‌ها سالانه به طرف حوزه آبگیر پایین دست (سد منجیل) منتقل می‌شوند و صدمات زیست محیطی قابل ملاحظه ای را به سد و مسیرهای منتهی به آن وارد می‌نمایند توجه جدی به حذف این اثرات ضروری است.

۲- پیشنهاد استفاده از باطله‌ها در ساخت مصالح ساختمانی که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته می‌تواند اثرات زیست‌محیطی باطله های معدن را رفع نماید.

۳- تست‌های خواص فیزیکی و مکانیکی انجام شده بر روی آجرهای تولیدی مثبت بوده و آجرها حائز ارقام قابل قبولی مطابق با استانداردها بوده اند.

۴- با تحلیل اقتصادی صورت گرفته بر روی سد باطله و کارگاه تولید آجر، مشخص شد که تولید آجر از باطله‌های زغال‌سنگ، اقتصادی بوده و دارای انتفاعی برای بهره‌بردار معدن می‌باشد.

۵- پیشنهاد اختصاص تسهیلات ویژه برای احداث کارخانه تولید آجر به ظرفیت حداقل ۸۰ هزار تن در سال، به سرمایه‌گذاران کارآفرین، از طرف مسئولین استانی به منظور مدیریت باطله‌های معدن، و جلوگیری از صدمات زیست‌محیطی شرایط کنونی .

منابع

Bell, F.G. and A. Kerr (2007).Environment Management, Geo-water & Engineering Aspects, Chowdhury &Sivakumar - Coal mining and water quality with illustrations from Britain , Balkema, Rotterdam, pp.607-614.

Kleinmann, R.L.P. (2001). Treatment of Acid Mine Water by Wetlands. In Control of Acid Mine Drainage .U.S.Bureau of Mines Information Circular 9027 . pp . 48-52.

Kepler, D.A. (2009). Wetland Sizing, Design, and Treatment Effectiveness for Coal Mine Drainage In the Proceesings of the 1990 Mining and Reclamation Conference and Exhibition, Charleston, WV, pp.403-408.

Mohseni, M.(2010). Economical study of use of Sangrood coal wastes in construction bricks. Master's thesis. Imam Khomeini International University. [In Persian]

National Iranian Steel Company(NISC).(2001). Geochemical properties of coals in sangrood deposit. internal report. [In Persian]

Braganca,S.R. and A. Zimmer (2008). Use of

mineral coal ashes in insulating refractory brick. Refractorries and Industrial Ceramics, 49(4): 320-323.
Bahrami,A. (2006). Production of lightweight bricks using low grade coal. 1th Iranian Mining Engineering Conference.
ASTM C20-00 (2008). Standard test methods for apparent porosity,liquid absorption, apparent specific gravity, and bulk density of burned refractory brick and shape by boling water.ASTM-American Society for Testing and Materials,USA,Book of Standards Volum:15.01
Fazlavi, A.(2009). Mining Economy. Sayeh Gostar. pp.141-156. [In Persian]