بررسی امکان استفاده از $Co_2 + H_2o$ به عنوان محلول شیمیائی برای استخراج زغال سنگ[1]

دکتر مرتضی اصانلو
استادیار دانشکدهٔ معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده:

در چند دهه گذشته متخصصین معدن در جهت افزایش تولید زغال سنگ بالاخص در مورد زغال سنگهائی که دارای ضخامت کم بوده و در اعماق قرار دارند دوران بحرانی را پشت سر گذاشته اند. دو روش متداول سطحی[2] و زیرزمینی[3] به لحاظ اقتصادی و تکنیکی، همیشه برای این گونه ذخایر مناسب نیستند. استفاده از روشهای سطحی اگرچه با تولید زیاد روزانه همراه است اما آلودگی هوا، آب، تخریب طبیعت و مهمتر از همه هزینه زیادی که این روش برای این گونه ذخائر در بر دارد، مانع از آن گردیده است تا زغال سنگهائی را که در اعمال بیش از ۶۰ متر (۲۰۰ فوت) قرار دارند، بتوان با این روش استخراج نمود. از سوی دیگر در روشهای زیرزمینی، علاوه بر تولید کم، عملیات استخراج توأم با خطرات جانی و اقتصادی ناشی از ریزش سقف معدن، انفجار گاز متان و گرد زغال می باشد لذا تا کنون تولید زغال سنگ در جهان به هیچ وجه به حد نصاب پیش بینی شده نرسیده است.

بر این اساس، در سالهای اخیر روش جدیدی تحت عنوان خُردایش شیمیائی در حال توسعه در آزمایشگاهها است که هدف از توسعه این روش، انتخاب محلولهای شیمیائی مناسبی است که بتواند تحت شرایط فیزیکی مناسب از قبیل حرارت و فشاری که زغال در اعماق تحمل می کند، ابعاد زغال را کاهش دهد تا بدین طریق بتوان زغال خرد شده از اعمال چاه را به کمک فشار پمپ ها به سطح زمین انتقال داد. در مورد مکانیزم این روش اعتقاد بر این است که محلول یا محلولهای شیمیائی احتمالاً از درون درز، شکاف، گسل و سایر شکستگی های طبیعی[5] زغال نفوذ می نماید تا به باندهای ضعیف آن مانند پیریت و خاکستر برخورد نماید. قطع این اتصالها موجب خرد شدن زغال[6] می گردد در این مقاله نتایج تحقیقاتی که با استفاده از $Co_2 + H_2o$ برروی سه نمونه زغال سنگ بیتومنوس[7] متعلق به سه معدن از ایالت اکلاهما در آمریکای شمالی انجام گرفته است، ارائه خواهد شد. در این تحقیق ابزار اولیه و اصلی مورد نیاز عبارت از راکتور یا ظرف استوانه ای[8] به ظرفیت ۵۰۰ میلی لیتر بود که در داخل آن زغال به همراه $Co_2 + H_2o$ جای می گرفت و سپس این راکتور با محتوی داخل سیستم یا کوره حرارتی قرار داده شد. شرایط فیزیکی مورد استفاده عبارت از درجه حرارت بین ۲۰۰ تا ۳۲۵ درجه سانتی گراد و فشار بین ۲۱۵۰ تا ۳۶۰۰ پوند نیرو بر اینچ مربع بودند. نتایج بیش از ۶۰ آزمایش نشان داده است که هرچه درجه حرارت و فشار مورد استفاده زیادتر باشد، درصد بیشتری از زغال مورد آزمایش به ابعاد کمتر از ۱/۲ اینچ خرد خواهد شد. همچنین نتیجه تجزیهٔ عنصری[9] زغال نشان داده است که در درجه حرارت ۲۷۵ درجه سانتی گراد و فشار ۳۳۰۰ پوند بر اینچ مربع (PSI)، مقدار گوگرد آن از ۳/۵ درصد به ۲/۲۳ درصد و مقدار خاکستر از ۱۸/۶۶ به ۱۷/۵ درصد کاهش و در ضمن ارزش حرارتی آن افزایش یافته است. با توجه به نتایج این تحقیقات، اعتقاد بر این است که Co_2 به همراه آب می تواند ضمن خرد نمودن زغال، موجب کاهش ناخالصی آن از قبیل گوگرد و خاکستر شود لذا می توان این امید را داشت که تحقیق مزبور بتواند به امر استخراج بیشتر زغال از اعماق با استفاده از روش «خردایش شیمیائی» کمک بنماید.

۱ ــ مقدمه:

«خردایش شیمیائی» روشی است که منجر به کاهش ابعاد و کاهش ناخالصی های زغال می گردد. در این روش که در شرایط فیزیکی و شیمیائی و یژه‌ای انجام می شود، ترکیب یا ترکیبات شیمیائی خاصی که معمولاً وزن مولکولی کمی دارند، قادرند پس از نفوذ و عبور از خلل و فرج، درز و شکاف و سایر شکستگی ها، به باندهای ضعیف زغال همچون خاکستر و گوگرد اصابت نمایند. طبق نظریه Given & Wiser (شکل ۱)، این باندها از جمله مرتبط دهندگان ترکیبات اصلی زغال هستند و قطع این ارتباطات موجب خرد شدن زغال می شود. شرایط فیزیکی (دما و فشار) مورد استفاده در این فرآیند معمولاً شرایطی هستند که زغال در اعماق ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متر (۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ فوت) تحمل می کند.

«خردایش شیمیائی» درواقع تکامل یا دنباله کارهای تحقیقاتی است که آلمانی ها اولین بار در سال ۱۹۲۰ شروع نموده اند. در این سال Pott و Broch با تزریق هیدروژن به زغال تحت فشارهای مختلف توانستند زغال را خالص تر و در صورت لزوم به مایع تبدیل نمایند که اینک به عنوان فرآیندهای SRCI[10] و SRCII[11] معروفند، امّا به دلیل آغاز جنگ جهانی دوم و وجود نارسائی هائی در روشهای شیمیائی جهت جدا کردن ناخالصی ها از ترکیبات، این نوع تحقیقات متوقف گردید تا آنکه بین سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰، کارهای تحقیقاتی Pott و Broch در آمریکای شمالی توسط دفتر تحقیقات زغال سنگ (OCR)[12]، که بعدها به اداره کل معادن (USBM)[13] تبدیل گردید پی گیری شد و در سال ۱۹۶۲ منجر به تولید ۵۰ تن زغال خالص با روش SRCI گردید.

در سال ۱۹۷۱ مرکز تحقیقات دانشگاه سیراکوس[14] (SURC) شروع به تحقیقات مفصلتری در این زمینه نمود که نتیجه آن گزارش ۱۵۰ صفحه‌ای بود که در سال ۱۹۷۶ به وزارت انرژی وقت آمریکا ارائه گردید. نتیجه چند سال کارپژوهشگران بر این اساس استوار بوده است که آمونیم چه به صورت گاز و چه به صورت مایع، قادر است چهار نوع زغال سنگ از نواحی ایلینوز[15] آمریکا را به ذرات ریز تبدیل نماید و در ضمن موجب کاهش ناخالصی آن گردد. در این گزارش که بعدها مورد استفاده بسیاری از متخصصین زغال سنگ قرار گرفت، سه نکته محسوس بوده است:

الف: زغال سنگهائی که از نظر دگرگونی تکامل بیشتری یافته اند[16] حساسیت کمتری نسبت به آمونیم دارند. به عبارت دیگر درصد کمتری از این گونه زغال سنگها شکسته و خرد خواهند شد.

ب: با افزایش فشار، درصد ذرات خرد شده زغال[17] نیز افزایش می یابد.

ج: هزینه تولید یک تن زغال بین ۲/۵ تا ۳ دلار پیش بینی گردیده بود. گروه تحقیقات مزبور علی رغم صرف هزینه زیاد و درگیری متخصصین گوناگون با اجرای پروژه، نتوانست به این سئوال پراهمیت پاسخ دهد که مکانیزم و علت خرد شوندگی زغال توسط آمونیم چیست و اصولاً چه ترکیب یا ترکیبات شیمیائی دیگر همچون آمونیم قادرند زغال را خرد نمایند؟! بالعکس گروه مزبور در گزارش خود ذکر نمود که اولاً پاسخ قاطع به سئوال مزبور به دلیل عدم شناخت کافی از ترکیبات زغال امکان‌پذیر نیست و کلیه توجیهات جنبه استنباطی دارد ثانیاً معتقد بودند که نتایج به دست آمده صرفاً در زغال سنگ های آزمایش شده مصداق دارد و لزوماً برای سایر زغال سنگ های مشابه در نقاط دیگر ممکن است صادق نباشد. در سال ۱۹۷۴ Duane R. Skidmore & C. J. Konya از کالج معدن دانشگاه و یرجینیای غربی، مقاله ای در سمینار انجمن مهندسی معدن (SME)[18] در تگزاس ارائه نمودند که براساس آن Anthracan Oil در درجه حرارت بین ۲۴۰ تا ۳۲۰ درجه سانتی گراد و فشار مناسب به مدت یک ساعت، قادر است ابعاد زغال سنگ را کاهش دهد. جمع‌بندی این مقاله حاکی از آن بود که دمای زیاد و طولانی بودن مدت آزمایش، موجب ریزتر شدن ذرات خرد شده زغال می گردد. در این گزارش همچنین یادآوری شده بود که افزودن آب به ترکیب، موجب ازدیاد فشار شده، اما در اندازه خرد شدهٔ زغال تأثیری ندارد.

در سال ۱۹۸۰ Bruce W. Davis از بخش معدنی کمپانی شوران شعبه کالیفرنیا مخلوط O_2 و No_2 را پیشنهاد نمود که قادر بوده است ابعاد زغال سنگهائی از نوع لیگنیت[19] و بیتومنوس را در درجه حرارت بین ۲۰ تا ۹۰ درجه سانتی گراد و تحت فشار اتمسفر کاهش دهد.

این مقاله، نتیجهٔ تحقیقاتی است که از اجرای پروژه دی اکسید کربن (Co_2) به همراه آب بروی زغال سنگهای بیتومنوس که از سه معدن مختلف ایالات اکلاهما در آمریکای شمالی تهیه شده بود، حاصل گردیده است. هزینه اجراء این پروژه، که حدود سه سال به درازا کشیده، توسط انستیتوی تحقیقاتی منابع معدنی اکلاهما (OMMRRI)[20] تأمین گردیده است و جمعاً حدود ۶۰ آزمایش با شرایط مختلف بروی نمونه های زغال سنگ ذکر شده انجام گرفته است و نتایج این آزمایش ها حاکی است که اولاً Co_2 به همراه آب قادر است در درجه حرارت های بین ۲۰۰ تا ۳۲۵ درجه سانتی گراد و فشار بین ۲۱۵۰ تا ۳۳۰۰ پوند بر اینچ مربع، تمام یا بخشی از زغال مورد آزمایش را خرد نماید لذا می تواند به عنوان یکی از محلولهای شیمیائی در روش خردایش شیمیائی مورد استفاده قرار گیرد. ثانیاً محلول پیشنهادی قادر بوده است که ناخالصی های زغال همچون گوگرد و خاکستر را کاهش دهد و در ضمن موجب افزایش ارزش حرارتی زغال گردد. ثالثاً با برآوردهای اولیه پیش بینی می شود با توجه به ارزان بودن Co_2، استفاده از ترکیب شیمیائی پیشنهادی ($Co_2 + H_2o$) ارزان تمام شود.

۲ ــ چگونگی اجرای آزمایش ها :

۱ ــ ۲ ــ ابزار و سیستمهای اصلی مورد نیاز:

۱ ــ ۱ ــ ۲ ــ راکتور یا ظرف استوانه‌ای به ظرفیت ۵۰۰ سانتی متر مکعب که قطر داخلی آن ۲/۵ اینچ (۶/۳۵ سانتی متر) و قطر خارجی ۳/۵ اینچ (۸/۸۹ سانتی متر) و به عمق ۶/۲۵ اینچ (۱۵/۸۷۵ سانتی متر) بود، مورد استفاده واقع شد. جنس آن به دلیل این که فشار و درجه حرارت زیادی را تحمل نماید از فولاد زنگ نزن تشکیل شده بود. وزن بدنه دستگاه بدون سر پوش ۸/۶ کیلوگرم (۱۹/۲ پوند) بوده و سر پوش راکتور نیز از فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ساخته شده بود.

۲ ــ ۱ ــ ۲ ــ سیستم یا کوره حرارتی الکتریکی که قطر داخلی آن ٤ اینچ (۱۰/۱۶ سانتی متر) و قطر خارجی آن ۱۰ اینچ (۲۵/٤ سانتی متر) و ماکزیمم درجه حرارتی که تولید می نمود ٤۰۰ درجه سانتی گراد بود. این سیستم به دستگاه کنترل کننده حرارت متصل بوده و بدین طریق درجه حرارت آن کنترل می شده است.

۳ ــ ۱ ــ ۲ ــ مخزن یا سیلندر حاوی گاز Co_2 تحت فشار ماکزیمم ۱۰۵۰ پوند بر اینچ مربع بود.

٤ ــ ۱ ــ ۲ ــ سرند لرزان Cenco - Meinzer برای دانه‌بندی زغال مورد استفاده قرار گرفت.

۵ ــ ۱ ــ ۲ ــ کوره Elcomap type جهت خشک نمودن زغال مورد استفاده واقع شد.

۶ ــ ۱ ــ ۲ ــ Bechman Irlo Infrared Spectro Photometer جهت تشخیص ترکیبات آلی و معدنی با اندازه گیری مقدار جذب[۲۱] بوده است.

۲ ــ ۲ ــ مواد اولیه مورد آزمایش

۱ ــ ۲ ــ ۲ ــ زغال سنگ ها از سه معدن که به دلائل فنی و اقتصادی استخراج آنها با روشهای سطحی و زیرزمینی به کندی صورت می گرفت و مدت زمانی نیز تولید آنها متوقف گردیده بود تهیه شد. عمده آزمایش های برروی زغال سنگ معدن Mcalester انجام گرفت که حدود ۳۱۰ میلیون تن ذخیره داشت که ضخامت ۵ درصد لایه های آن بین ۳۰/٤۸ تا ۳۵/۵۶ سانتی متر (۱۲ تا ۲٤ اینچ) ۵۵ درصد بین ۳۸/۱ تا ۷۱/۱۲ سانتی متر (۲۹ تا ٤۲ اینچ) بود. بیش از ۳/٤ از این ذخائر یعنی حدود ۲۲۰ میلیون تن در عمق بین ۳۰/۷۸۵ تا ۳۰٤/۸ متر (۱۰۱ تا ۱۰۰۰ فوت) قرار داشته و بقیه ذخائر یعنی ۹۰ میلیون تن عمدتاً در اعماق ۳۰۵ تا ۶۱۰ متر (۱۰۰۱ تا ۲۰۰۰ فوت) و به مقدار بسیار کم در اعماق بیش از ۶۱۰ متر (۲۰۰۰ فوت) و بین (۰ تا ۳۰/٤۸ متر) (صفر تا ۱۰ فوت) قرار گرفته اند.

۲ ــ ۲ ــ ۲ ــ ترکیبات شیمیائی که جهت توجیه مکانیسم خرد شوندگی زغال مورد استفاده قرار گرفته اند. این ترکیبات عمدتاً یا در داخل زغال موجودند و یا آن که از نظر ساختمانی مشابه بعضی از ترکیباتی است که در زغال وجود دارند و طبق نظریه Wiser & Given باندهای ضعیف زغال سنگ را تشکیل می دهند این ترکیبات عبارتند از:

الف ــ Benzyl - etner $(C_6H_5\ CH_2)_2O$ با وزن مولکولی ۱۹۸، نقطه جوش ۲۹۸ درجه سانتی گراد، نقطه ذوب ۳/۶ درجه سانتی گراد، چگالی ۱/۰٤۳ مایع.

ب ــ Diphonyl - Disulfide $(C_6H_5 - S - S - C_6H_5)$ جامد، وزن مولکولی ۲۱۸، نقطه جوش ۳۱۰ درجه و نقطه ذوب ۶۲ درجه سانتی گراد.

ج ــ Benzyl - Phenyl - Ether $(C_6H_5CH_2 - O - C_6H_5)$ جامد، وزن مولکولی ۱۸٤، نقطه جوش ۲۹۷ درجه سانتی گراد و نقطه ذوب بین ٤۰ تا ٤٤ درجه سانتی گراد.

د ــ پیریت $Fe\ S_2$، وزن مولکولی ۱۲۰، نقطه ذوب ۱۱۷۱ درجه سانتی گراد چگالی ۵، جامد.

ه ــ Benzyl - Alcohal $(C_6H_5\ CH_2OH)$ مایع، نقطه جوش ۲۰٤ تا ۲۰۵ درجه سانتی گراد، نقطه ذوب ۱۵، وچگالی ۱/۰٤.

و ــ Phenethyl - alcohal $(C_6H_5CH_2 - CH_2OH)$ مایع، وزن مولکولی ۱۲۲، نقطه جوش ۲۱۹ درجه سانتی گراد، نقطه ذوب ۲۰ درجه سانتی گراد وچگالی ۱/۰۲۳.

ز ــ 2 - Naphthyl-benzoal $(C_6H_5COOC_{10}H_7)$ جامد، وزن مولکولی ۲٤۸ (همگی این ترکیبات به وسیله CO_2 به همراه آب مورد آزمایش قرار گرفتند تا فعل و انفعالات آنها مورد بررسی قرار گیرد. شرایط آزمایش از نظر درجه حرارت وفشار مشابه شرایط آزمایش های زغال و $CO_2 + H_2O$ بودند.)

۳ ــ ۲ مراحل مختلف آزمایش ها:

الف ــ قرار دادن یک تا سه تکه زغال تمیز شده با وزن مشخص (۳۰ تا ۱۵۰ گرم) در داخل راکتور.

ب ــ افزودن مقدار مشخص آب به داخل سیستم (۱۵۰ تا ۳۰۰ سانتی متر مکعب).

ج ــ قرار دادن سر پوش بر روی راکتور و بستن آن و نصب فشارسنج بر روی راکتو.

د ــ تزریق CO_2 ازطریق سیلندر به داخل راکتور (شکل ۲).

ه ــ قطع جریان CO_2 و انتقال راکتور با محتوی زغال $CO_2 + H_2O$ به داخل کوره حرارتی.

و ــ تنظیم شرایط حرارتی مورد نظر برای مدت زمان معین (۱۸ تا ۳۶ ساعت).

ز ــ پس از پایان مدت مورد نظر، فرآیند حرارت دادن به دستگاه قطع و سپس به مدت دو تا چهار ساعت (بستگی به درجه حرارت) راکتور در داخل کوره قرار می گرفت تا گرمای بدنه آن برای مراحل

بعدی آزمایش قابل لمس باشد.

ح ــ انتقال راکتور از کوره حرارتی و باز نمودن سرپوش و انتقال محتوای آن.

ط ــ جداسازی ذرات جامد از مایع توسط صافی و آماده‌سازی نمونه برای مراحل بعدی آزمایش.

ی ــ دانه‌بندی ذرات خرد شده و تهیه ۳ تا ۱۰ گرم از نمونه که از غربال شماره ۶۰ مش[۲۲] عبور نموده جهت تجزیه تقریبی[۲۳] و تجزیه عنصری[۲۴] یا اندازه‌گیری گوگرد و ارزش حرارتی.

ص ــ آزمایش CO_2 به همراه آب با هفت ترکیب شیمیائی ارائه شده در بند ۲ ــ ۲ ــ ۲ (مواد اولیه مورد آزمایش) شرایط آزمایش مشابه شرایط آزمایش $CO_2 + H_2O$ با زغال بوده و میزان حرارت بین ۲۰۰ تا ۳۲۵ درجه سانتی گراد و فشار بین ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ پوند بر اینچ مربع متغیّر بودند. این آزمایش‌ها به وسیله Infrared Spectro Photometer مورد بررسی قرار گرفت که در تمام موارد هیچگونه فعل و انفعالات شیمیائی مشاهده نشد.

۳ ــ محاسبات

۱ ــ ۳ ــ حجم راکتور:

$$V = \pi r^2 h$$

که در آن: r شعاع راکتور که برابر است با ۳/۱۷۵ سانتی متر (۱/۲۵ اینچ)

h عمق یا ارتفاع راکتور که برابر است با ۱۵/۸۷۵ سانتی متر (۶/۲۵ اینچ) بنابراین حجم راکتور V برابر است با:

فوت مکعب $V = \pi \left(\frac{1.25}{12}\right)^2 \frac{6.25}{12} = 0.0177$

یا

سانتی متر مکعب یا میلی لیتر $V = 0.0177\ ft^3 \left(\frac{30.48cm}{ft}\right)^3 = 500$

۲ ــ ۳ ــ مقدار CO_2 تزریق شده در هر آزمایش:

کل CO_2 تزریق شده به راکتور برای هر آزمایش برابر بود با CO_2 حل شده در آب به انضمام مقدار CO_2 در حالت گاز.

الف: مقدار CO_2 حل شده در آب بر حسب گرم به ازاء هر ۱۰۰ گرم آب برای دمای بین صفر تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد و فشار تا ۷۰۰ آتمسفر در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به آن که شرایط اولیه آزمایش در همگی کمابیش یکسان بوده است (حرارت اطاق ۲۵ درجه سانتی گراد و فشار ۶۱ اتمسفر یا ۹۰۰ پوند بر اینچ مربع) لذا مقدار CO_2 حل شده در هر ۱۰۰ گرم آب برابر با ۵/۸۶ گرم است اما چون مقدار آب مصرف شده در هر آزمایش متفاوت بوده است بنابراین مقدار CO_2 نیز بستگی به مقدار آب، متغیّر می باشد.

ب: تعداد مولکول گاز CO_2 که در داخل راکتور تزریق شده اما در آب حل نگردیده از رابطه ذیل به دست می آید:

$$Ng = \frac{PVg}{ZRT} \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق Ng تعداد ملکولهای گاز، P فشار، Vg حجم گاز CO_2، Z ضریب تراکم‌پذیری (Compressibility Factor) R عدد ثابت گازها و T درجه حرارت مطلق (۲۵ + ۲۷۳ درجه سانتی گراد) است. در رابطه (۱) V حجم گاز CO_2 برابر است با:

$$Vg = V_R - (V_{coal} + V_{H_2O} + V_{air}) \qquad (۲)$$

V_R حجم راکتور، V_{coal} حجم زغال سنگ، V_{H_2O} حجم آب در راکتور و V_{air} حجم هوای موجود در راکتور می باشند.

$$V_{coal} = \frac{M}{D} \qquad (۳)$$

V_{coal} برابر است با:

M ــ وزن زغال سنگ موجود در راکتور (وزن زغال مورد استفاده برای هر آزمایش).

D ــ وزن مخصوص زغال سنگ که متوسط برای نمونه های مورد آزمایش ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب محاسبه و منظور گردیده است.

V_{H_2O} حجم آب اضافه شده به راکتور (حجم آب به کار گرفته شده برای هر آزمایش بر حسب سانتی متر مکعب).

V_{air} حجمی از راکتور که توسط هوا اشغال می شود. هرچند در عمل مقدار آن نسبتاً کم و حتی می توان از آن صرفنظر نمود اما برای محاسبه آن با توجه به شرایط اولیه آزمایش:

$$V_{air} = \frac{n R T}{P} \qquad (۴)$$

بنابراین با استفاده از فرمول شماره (۲) می توان حجم گاز CO_2 را محاسبه نمود و سپس با به کار گرفتن فرمول گازهای واقعی[۲۵] می توان تعداد مولکولهای گاز CO_2 و متعاقباً مقدار آنرا محاسبه نمود.

فرمول برای محاسبه تعداد مولکولهای گاز CO_2

$$Ng = \frac{PVg}{Z R T}$$

که در رابطه فوق P فشار اولیه ۶۱ اتمسفر، Vg حجم گاز CO_2 که از رابطه (۲) حاصل می شود Z ضریب تراکم‌پذیری که محاسبه آن با استفاده از دیاگرامهای ترمودینامیک امکان‌پذیر می باشد (مقدار Z با استفاده از نمودارها ترمودینامیک و شرایط اولیه آزمایش در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی گراد و فشار ۶۱ اتمسفر یا ۹۰۰ پوند بر اینچ مربع و دما و فشار بحرانی CO_2 معادل ۵۱/۰ محاسبه گردیده است) R عدد ثابت برای گازها که معادل

$$R = 0.082051\ Lit - atm - \bar{K}^1 - Mole^1$$

منظور شده و T نیز درجه حرارت کیلوین[۲۶] است بنابراین با محاسبه مقدار گاز CO_2 می توان مقدار کل انرا محاسبه و از این طریق با توجه به معلوم بودن مقدار آب و زغال درصد H_2O, O_2 و زغال موجود

در راکتور را محاسبه نمود.

۳ ــ ۳ ارائه مدل ریاضی جهت پیش‌بینی اندازه ذرات خرد شده زغال:

از بررسی نتایج حاصله از آزمایش‌ها چنین استنباط گردید که d یا اندازه متوسط ذرات خرد شده زغال تابعی ازفراسنج های زیر است:

$$d = f(t, T, P, Cp, M) \qquad (۵)$$

که در رابطه (۵) t مدت آزمایش، T گرما، P فشار، Cp گرمای و یژه زغال در فشار ثابت و M وزن کلّ مواد موجود در راکتور است. بر این اساس و با استفاده از تئوری π در تحلیل ابعادی (π - theorem) رابطه‌ای حاصل گردیده که می تو ان اندازه ذرات خرد شده را پیش‌بینی نمود. با توجه به تئوری π:

$$F(d, t, T, Cp, M, P) = 0$$

$$\pi_1 = d, t, T, Cp$$

که

$$Cp = L^2 t^{-2} T^{-1}$$

و

$$\pi_1 = d^x t^y T^z L^2 t^{-2} T^{-1}$$

به عبارت دیگر:

$$L^x t^y T^z L^2 t^{-2} T^{-1} = 0 \qquad (۷)$$

$$X + 2 = 0 \qquad X = -2$$

$$y - 2 = 0 \qquad y = 2$$

$$z - 1 = 0 \qquad z = 1$$

بنابراین

$$\pi_1 = \frac{t^2 T Cp}{d^2} \qquad (۸)$$

و

$$\pi_2 = t, d, M, P$$

که

$$d = L \qquad P = \frac{M}{Lt^2}$$

لذا

$$\pi_2 = t^x L^y M\, ML^{-1} t^{-2}$$

به عبارت دیگر

$$t^x L^y M^z ML^{-1} t^{-2} = 0$$

که

$$X - 2 = 0 \qquad X = 2$$

$$y - 1 = 0 \qquad y = 1$$

$$Z + 1 = 0 \qquad Z = -1$$

بنابراین

$$\pi_2 = \frac{P\, t^2\, d}{M} \qquad (۹)$$

از حاصلضرب π_1 در $(\pi_2)^2$ گروه دیگری حاصل می گردد که با π_3 نشان داده می شود:

$$\pi_3 = \frac{Cp t^6 P^2 T}{M^2} \qquad (۱۰)$$

چنانچه در یک کاغذ نیمه‌لگاریتمی[۲۷] π_3 را برروی محور Y و با ارزش لگاریتمی و π_2 را برروی محور X و به صورت غیرلگاریتمی منظور بداریم، رابط خطی از مقادیر π_3 و π_2 برقرار خواهد شد که فرمول آن چنین است.

$$\log_{10} \pi_3 = A + b\, \pi_2 \qquad (۱۱)$$

که در رابطه (۱۱)، b ضریب زاویه خط و A عدد ثابت می باشد. اگر چنانچه در فرمول (۱۱) به جای مقادیر π_2 و π_3 روابط (۹) و (۱۰) را قرار دهیم رابطه ذیل حاصل می گردد.

$$d = \frac{1}{b} \frac{M}{pt^2} \log_{10} \frac{Cp\, T\, P^2\, t^6}{AM^2} \qquad (۱۲)$$

که در رابطه (۱۲)، d اندازه متوسط ذرات خرد شده زغال، P فشار، t مدت آزمایش T درجه حرارت مورد استفاده برای هر آزمایش، M وزن کل مواد موجود در راکتور، Cp گرمای و یژه که تقریباً برای همه زغال‌سنگ های بیتومنوس یکسان است.

٤ ــ نتایج:

در تابلوی (۱) شرایط فیزیکی مورد استفاده از اجراء شش آزمایش ذکر گردیده است، درجه حرارت بین ۲۰۰ درجه تا ۳۲۵ درجه متغیر بوده است و حدّ فشار نیز بین ۲۱۵۰ پوند بر اینچ مربع (PSI) و تا PSI ۳۶۰۰ می باشد. مدت آزمایش بین ۱۸ تا ۲٤ ساعت نوسان داشته و همچنین در این تابلو نتایج دانه‌بندی ذرات خرد شده زغال نیز ارائه گردیده است. لازم به یادآوری است که در آزمایش (۱) تنها ٦ درصد زغال خرد گردیده است (کمتر از ۱/۲ اینچ) و متوسط ذرات خرد شده نیز ۰/۱۳۵ اینچ می باشد. در آزمایش (۲) فقط ۳۸ درصد ذرات خرد شده در آزمایش (۳)، ۸۱ درصد زغال دارای اندازه‌های کمتر از ۱/۲ اینچ گردیده‌اند اما در آزمایش‌های شماره (٤)، (۵) و (٦) زغال کاملاً خرد شده است (صددرصد).

تابلوی (۲) بعضی از مشخصات آزمایشهای انجام شده را نشان می دهد. در این تابلو مقدار زغال مورد استفاده در هر آزمایش و همچنین مقادیر H_2O , CO_2 و نسبت هریک از آنها در راکتور ذکر گردیده است.

شکل (٤ ــ الف) یک تکه زغال به وزن حدود ٦۰ گرم قبل از آزمایش و شکل (٤ ــ ب) همان تکه زغال را پس از آزمایش نشان می دهد که تحت درجه حرارت ۲۷۵ درجه سانتی گراد و فشار PSI ۳۳۰۰ و به مدت ۲٤ ساعت کاملاً خرد گردیده است.

شکل ۵ ــ الف یک تکه دیگر از زغال به وزن حدود ۵۰ گرم را در قبل از آزمایش با CO_2 به همراه آب نشان می دهد در حالی که شکل (۵ ــ ب) همان تکه زغال رانشان می دهد که تحت تأثیر $CO_2 + H_2O$ و دمای ۲۷۵ درجه سانتی گراد و فشار ۳۳۰۰ پوند بر اینچ مربع به مدت ۳٦ ساعت کاملاً ریز گردیده است.

شکل (٦) ارتباط بین درصد ذرات خرد شده زغال با درجه حرارت و فشار را نشان می دهد.

شکل (۷) ارتباط بین اندازه متوسط ذرات خرد شده زغال و مدت آزمایش را بیان می نماید. با توجه به آن که شرایط فیزیکی چهار نقطه

حاصله در منحنی با یکدیگر برابرند، به عبارت دیگر درجه حرارت و فشار تقریباً در هرچهار آزمایش ثابت نگهداشته شده و فقط مدت آزمایش متفاوت بوده است.

شکل (۸) ارتباط بین مدت آزمایش، درصد زغال خرد شده و اندازه ذرات را نشان می دهد. شکل (۹) نحوه بد توزیع ذرات خرد شده زغال را نشان می دهد که حدود ۶۰ درصد از ذرات خرد شده از اندازه غربال شماره ٤ بزرگترند. دمای مورد استفاده در آزمایش ۲۷۵ درجه سانتی گراد، فشار PSI ۳۳۰۰ و مدت آزمایش ۱۸ ساعت می باشد.

شکل (۱۰) توزیع خوب ذرات خرد شده زغال را نشان می دهد که تقریباً با درصدهای یکسان در بین غربالها پخش شده‌اند.

شرایط فیزیکی اجراء ٦ آزمایش و نتایج دانه‌بندی آنها						درصد زغال خرد شده باقیمانه در هر غربال				
(۱) شماره آزمایش	(۲) Tc	(۳) PSI	(٤) زمان برحسب ساعت	(۵) M گرم	(٦) d اینچ	شماره غربال اندازه	۱٦ ۰/٤٦۹	۵۰ ۰/۱٦	۷۰ ۰/۰۰۸۲	۱۰۰ ۰/۰۰۵۱	۱۰۰ ۰/۰۰۲۱
۱	۲۰۰	۲۱۵۰	۲۱/۵	٤۵۱	۰۱۳۵		۵۵	۲۷/۲	٦/۳	۲/۲	٤/۵	۵
۲	۲۲۵	۲۷۰۰	۲۳	٤۰۳/۵۸	۰۱۲٦		۳۳/۹	۵۰/٤	۹/۳	۳/٤	۱	۲
۳	۲۳۵	۲۸۵۰	۲٤	۳۹۸/۳	۰۱۲٤		٤۲	۳۸/٤	۱۲/٦	٤/۲	۰۵	۲/۳
٤	۲۵۰	۲۹۵۰	۲٤	۲۷۷/۹	۰۱۱۹		٤٤	۳۰	۱۱/۲	۷/۷	٤/٦	۱/۲
۵	۲۷۵	۳۳۰۰	۲٤	۲٦۹/۹۳	۰۰۰۹٤		۳۰	۲۷/۵	۱۷/۲	۹/۲	۸/۱	۸
٦	۳۲۵	۳٦۰۰	۱۸	۲۵۱/٤۹	۰۰۰۷٤		۲۳/۳	۲۰/۳	۱٦	۱۰/۲	۱۲/۸	۱۷/٤

تابلوی (۱)

۱ ستون (۱) شماره آزمایش

۲ ستون (۲) دمای به کار گرفته شده برحسب سانتی گراد

۳ ستون (۳) فشار برحسب PSI (پوند بر اینچ مربع)

٤ ستون (٤) زمان برحسب ساعت

۵ ستون (۵) مجموعه جرم یا وزن موجود در داخل راکتور $(Co_2 + H_2o + caol)$

٦ ستون (٦) اندازه متوسط ذرات خرد شده زغال

۷ ستون (۷) نتایج طبقه‌بندی زغال برحسب اندازه (درصد)

(۱) شماره آزمایش	(۲) زغال گرم	(۳) H_2O گرم	(٤) CO_2 حل شده در آب	(۵) Co_2 به صورت گاز گرم	(٦) مجموعه وزن به گرم CO_2	(۷) مجموعه وزن گرم	(۸) محلول Co_2	(۹) $\%H_2O$	(۱۰) مجموعه زغال محلول	(۱۱) زغال %	(۱۲) محلول
۱	۱٦۰	۲۵۰	۱٤/٦۵	۲٦/۷	٤۱/۳۵	۲۹۱/۳۵	۱٤/۲	۸۵/۸	٤۵۱/۳۵	۳۵/٤	٦٤/۵
۲	۱۲۸	۲۲۵	۱۳/۱۸۵	۳۷/٤	۵۰/۵۸۵	۲۷۵/۵۸۵	۱۸/٤	۸۱/٦	٤۰۳/۵۸۵	۳۱/۷	٦۷/۳
۳	۱۳۲	۲۱۵	۱۲/٦	۳۸/۷	۵۱/۳	۲٦٦/۳	۱۹/۲	۸۰/۷	۳۹۸/۳	۳۳	٦۷
٤	٦۹	۱۳۵	۷/۹	٦٦	۷۳/۹	۲۰۸/۹	۳۵	٦۵	۲۷۷/۹	۲٤/۵	۷۵/۲
۵	٤۷/۵	۱۲۵	۷/۳۲۵	۷۱/٦۲۵	۷۸/۹۵۸	۲۰۳/۹۵	۳۸/۷	٦۱/۲	۲۵۱/۳	۱۸/۹	۸۱/۱

تابلوی (۲)

۱ ــ ستون (۱) شماره آزمایش

۲ ــ ستون (۲) مقدار زغال موجود در راکتور برحسب گرم

۳ ــ ستون (۳) مقدار آب موجود در راکتور برحسب گرم

٤ ــ ستون (٤) مقدار Co_2 برحسب گرم حل شده در آب موجود در راکتور

۵ ــ ستون (۵) مقدار Co_2 برحسب گرم موجود در راکتور به صورت گاز

٦ ــ ستون (٦) مجموعه Co_2 موجود در راکتور برحسب گرم

۷ ــ ستون (۷) مقدار کل محلول برحسب گرم $Co_2 + H_2o$

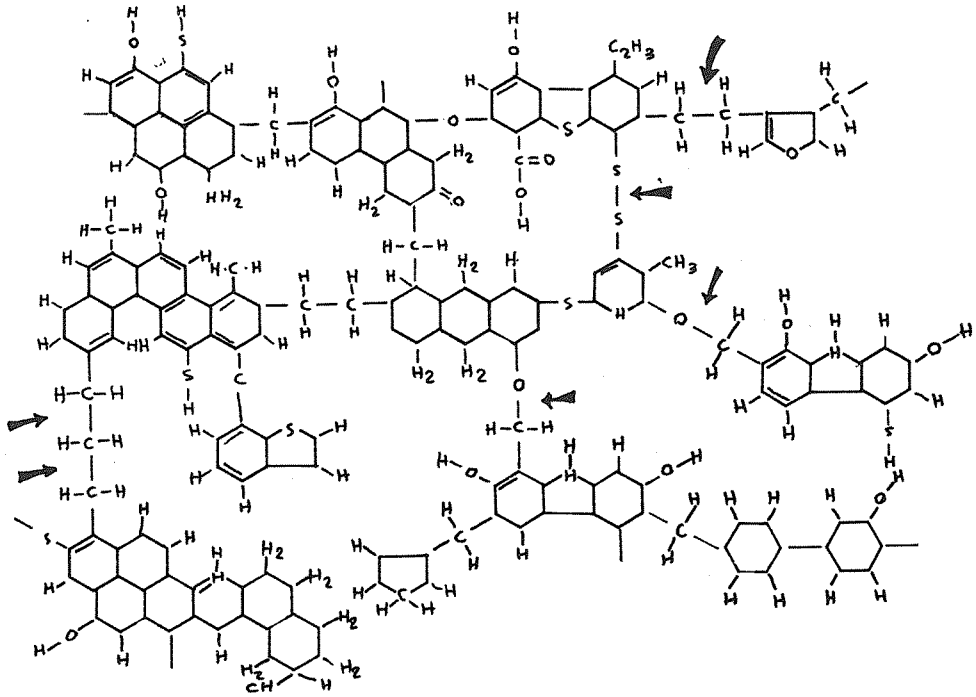
۸ ــ ستون (۸) درصد Co_2 موجود در محلول

۹ ــ ستون (۹) درصد H_2o موجود در محلول

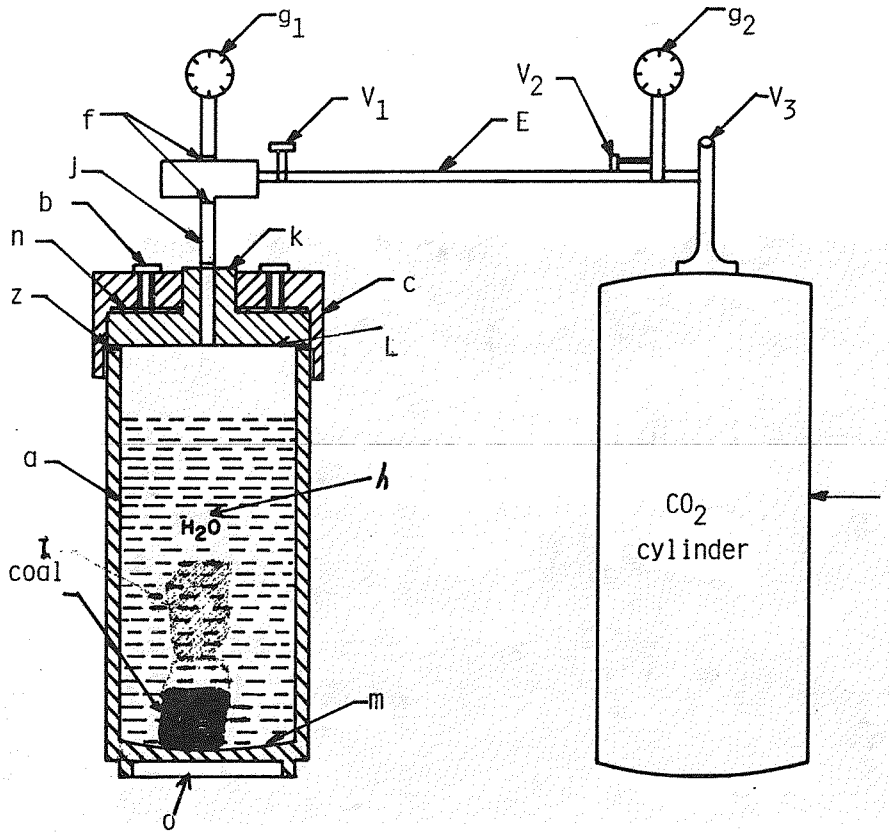
۱۰ ــ ستون (۱۰) زغال بانضمام مقدار محلول

۱۱ ــ ستون (۱۱) درصد زغال موجود در راکتور

۱۲ ــ ستون (۱۲) درصد محلول موجود در راکتور

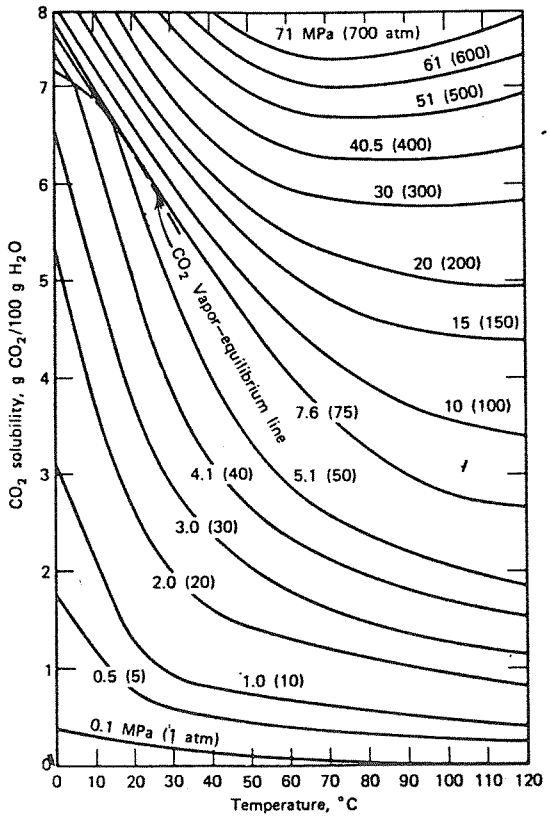


شکل (۱) ساختمان پیشنهادی زغال‌سنگ توسط Wiser مکانهائی که با فلش نشان داده شده است وجود باندهای ضعیف را تأیید می کند.

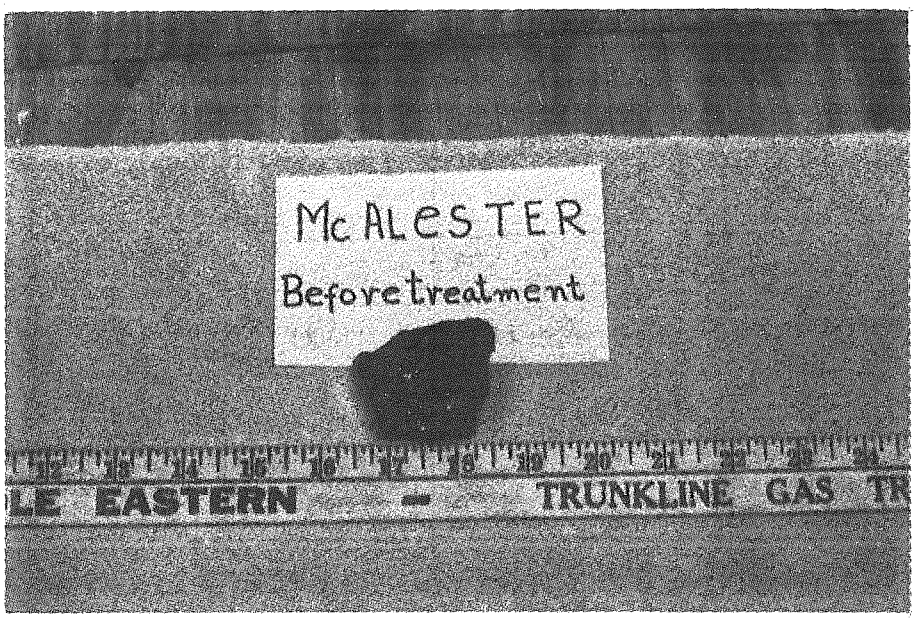


راکتور a
پیچ b
در پوش c
سیلندر D
میله انتقال دهنده E
متصل کننده f
فشارسنج gl
آب h
زغال I
متصل کننده j
قسمت فوقانی k
صفحه نگهدارنده راکتور Q
شیر V_1
قسمت فوقانی راکتور L
قسمت تحتانی راکتور m

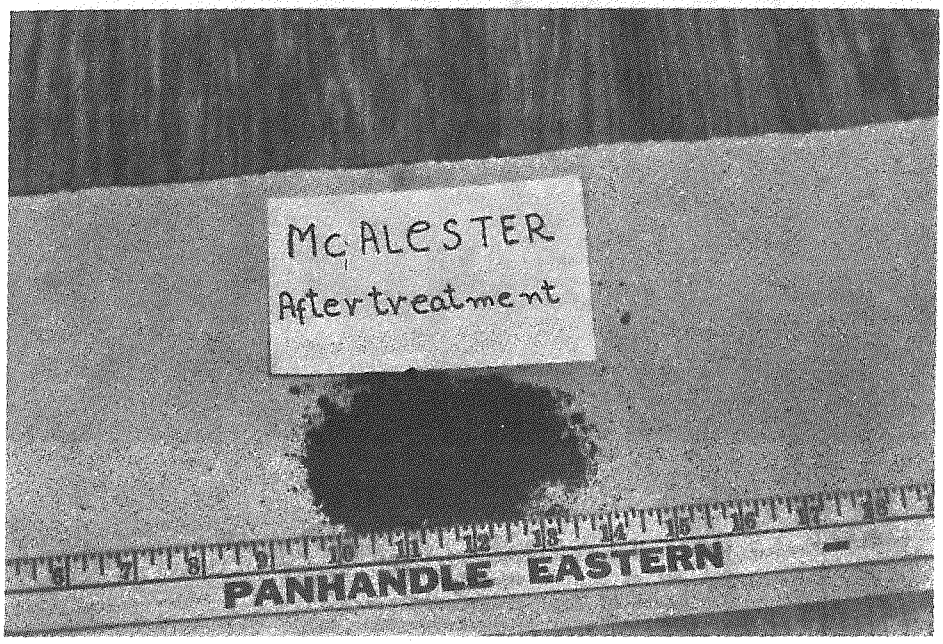
شکل (۲) تصویری از چگونگی تزریق Co_2 به داخل راکتور حاوی زغال و آب



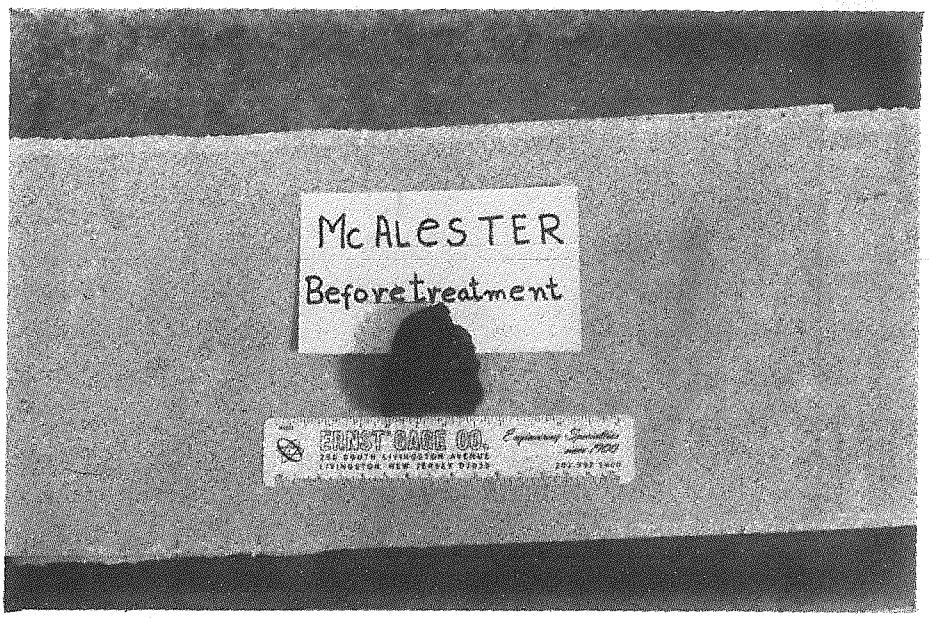
شکل (۳) قابلیت حل شوندگی Co_2 در آب[۲۹]



شکل (٤ ــ الف) یک تکه زغال قبل از آزمایش

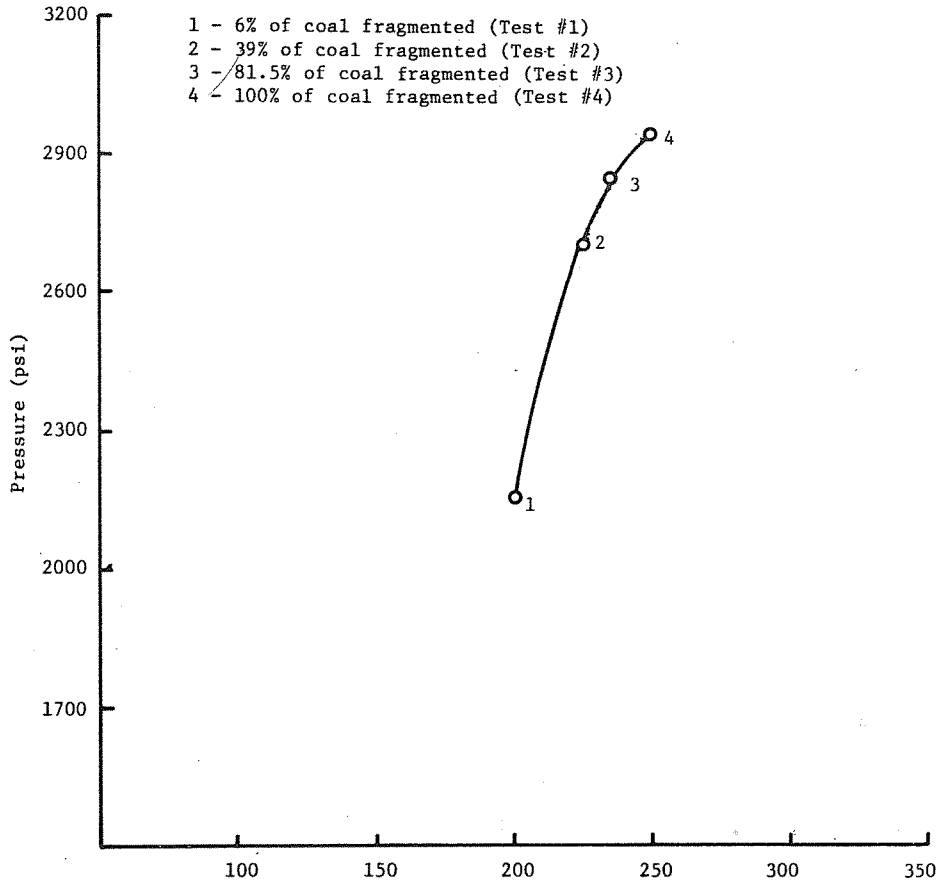


شکل (٤ ــ ب) تکه زغال بالائی بعد از آزمایش

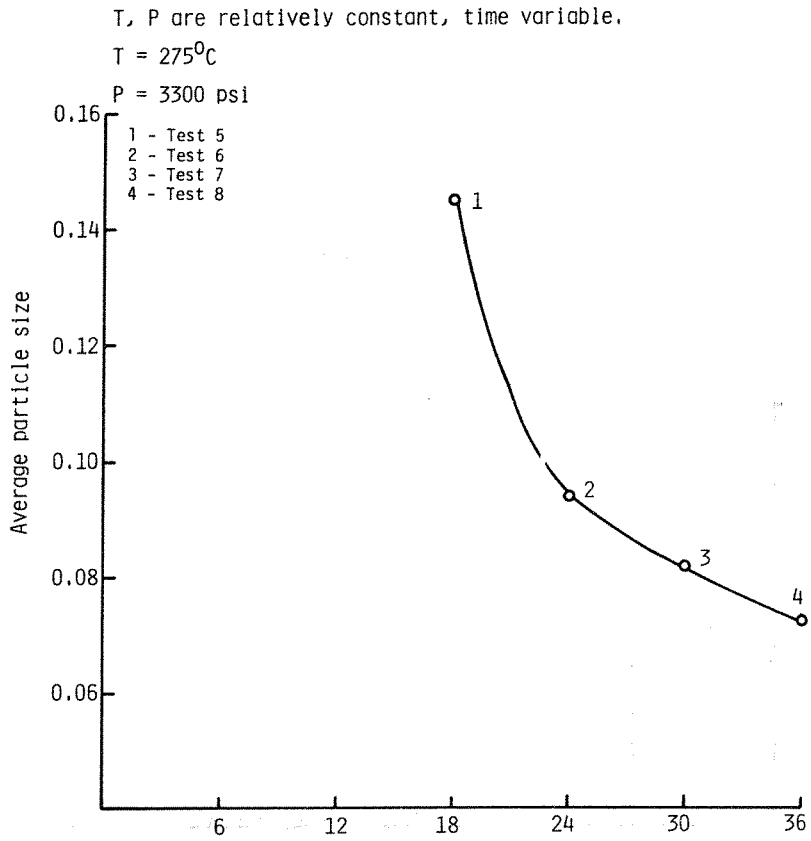


شکل (٥ ــ الف) قبل از آزمایش

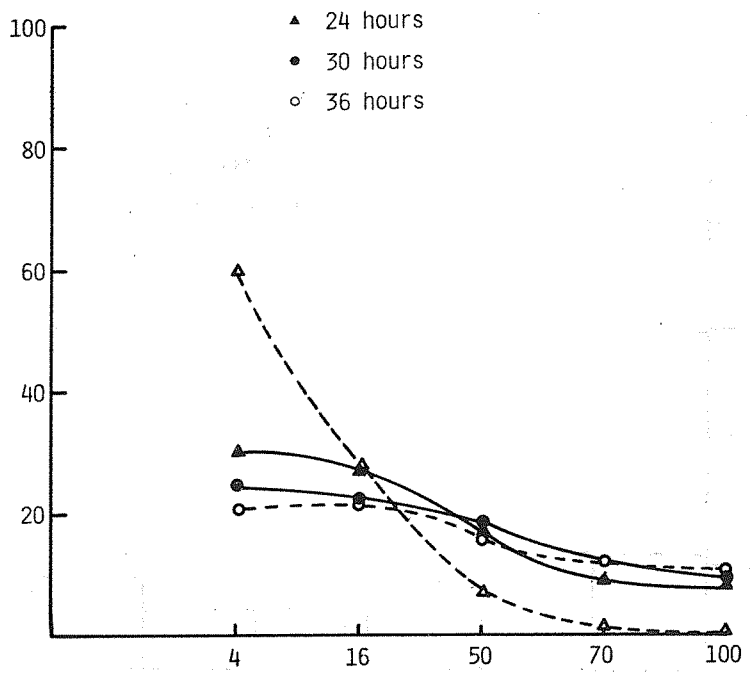
شکل (۵ ــ ب) بعد از آزمایش با Co_2 و آب[۳۱]



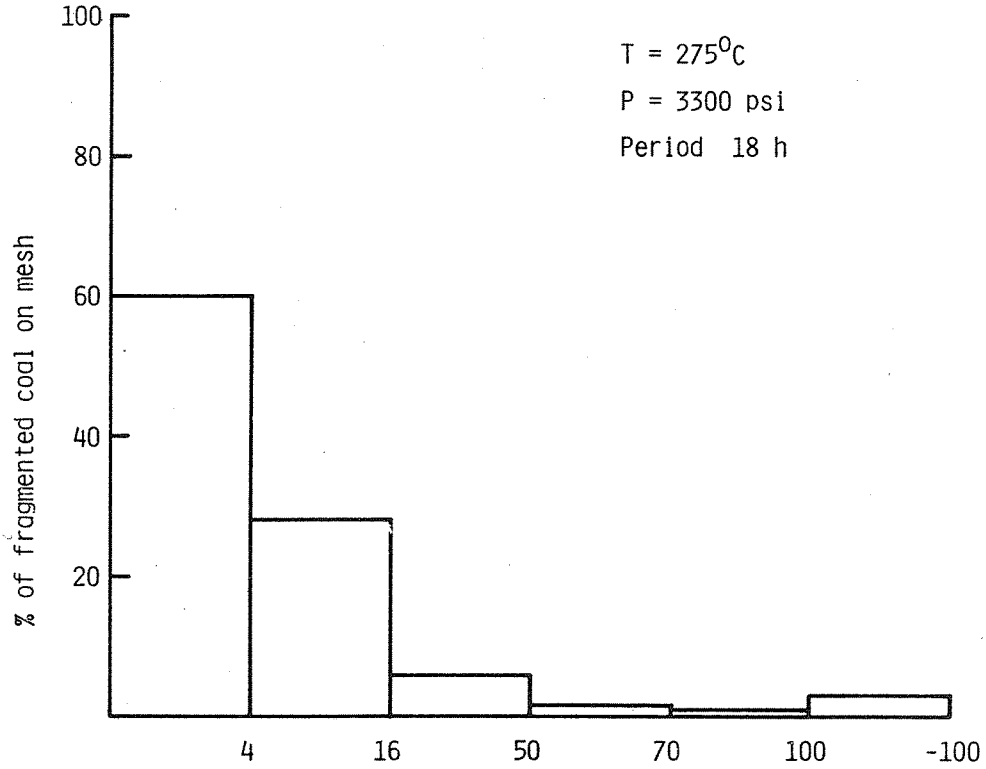
شکل (۶) ارتباط بین درصد زغال خرد شده با حرارت و فشار[۳۲]



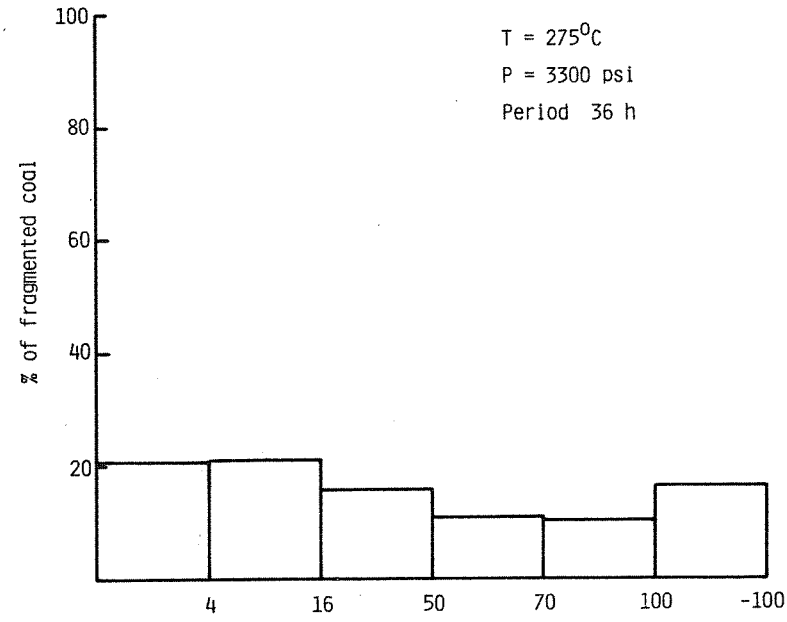
شکل (۷) ارتباط بین مدت آزمایش و اندازه متوسط ذرات خرد شده زغال (با توجه به آن که حرارت و فشار در چهار آزمایش یکسان می‌باشد).



شکل (۸) ارتباط بین مدت آزمایش، اندازه ذرات و درصد زغال خرد شده



شکل (۹) توزیع بد زغال خرد شده بر روی غربال چنانچه از شکل پیداست حدود ۶۰ درصد از زغال خرد شده برروی غربان ٤ قرار گرفته‌اند.



شکل (۱۰) توزیع خوب زغال خرد شده برروی غربال‌ها زغال خرد شده با مقادیر مشابه بهم، دربین غربال قرار گرفته‌اند.

۵ ــ نتیجه:

این تحقیق به نتایج ذیل دسترسی پیدا نموده است:

۱ ــ ۵ ــ ترکیب یا محلول شیمیائی پیشنهادی $Co_2 + H_2o$ با توجه به خرد کردن زغال سنگ بیتومنوس معدن Mcalester از ایالت اکلاهمای آمریکا احتمالاً سایر زغال سنگ های بیتومنوس را نیز به قطعات و ذرات ریز تبدیل می نماید و لذا می تواند در فرآیند خردایش شیمیائی مورد استفاده قرار گیرد.

۲ ــ ۵ ــ ترکیب یا محلول شیمیائی مورد استفاده در این تحقیق ($Co_2 + H_2o$) با توجه به نتایج حاصله از تجزیه عنصری و تجزیه تقریبی زغال مورد آزمایش ممکن است در صورت به کارگیری شرایط فیزیکی مناسب موجب کاهش ناخالصی زغال سنگ ها گردد.

۳ ــ ۵ ــ با توجه به نتایج تجربی حاصله، مدل ریاضی یی به دست آمده است که از این طریق می توان اندازه متوسط زغال سنگ های خرد شده را پیش بینی نمود.

۴ ــ ۵ ــ مینیمم درجه حرارت و فشار لازم جهت خرد کردن کامل (۱۰۰ درصد) زغال سنگ مورد آزمایش ۲۵۰ درجه سانتی گراد و فشار PSI ۲۹۵۰ می باشد اما در درجه حرارت ۲۰۰ درجه سانتی گراد و فشار PSI ۲۱۵۰ بخشی از زغال شکسته و به اندازه های کمتر از $^1/_2$ اینچ تبدیل شده اند.

۵ ــ ۵ ــ مینیمم مدت لازم برای شکستن زغال مورد آزمایش Mcalester Coal با توجه به محلول شیمیائی پیشنهادی ۱۸ ساعت می باشد.

۶ ــ ۵ ــ در دما و فشار زیاد و طولانی تر شدن مدت آزمایش و نسبتاً پائین بودن نسبت H_2o به Co_2، درصد زیادتری از زغال خرد خواهد شد و در ضمن، اندازه زغال سنگهای شکسته یا خرد شده نیز ریزتر می باشد.

۷ ــ ۵ ــ خواص فیزیکی و شیمیائی زغال در نتایج حاصله مؤثرند، بدین جهت سه زغال سنگ مورد آزمایش با $Co_2 + H_2o$ از نظر اندازه متوسط زغال های خرد شده و درصد زغال سنگ های خرد شده نتایج متفاوت داشته اند.

۸ ــ ۵ ــ تأثیر عوامل مکانیکی باید مورد توجه قرار گیرد. بالاخص فشار گازهای خارج شده از زغال در درجه حرارت و فشار بالا ممکن است موجب توسعه بیشتر درز و شکاف زغال سنگ شوند و بدین طریق نفوذ Co_2 از درون این نوع ساختمانها را آسانتر و عمل خرد شدن را سریعتر و سهلتر نماید.

۹ ــ ۵ ــ در این بررسی و تحقیقات Co_2 بدون آب و همچنین آب به تنهائی مورد آزمایش قرار گرفته اند اما هیچکدام موجب خرد شدن زغال نشدند علی رغم آنکه در هر دو مورد زغال آماده شکستن و خرد شدن بود لذا وجود آب به همراه Co_2 در مورد زغال سنگ های مورد آزمایش ضروری است.

۱۰ ــ ۵ ــ علی رغم آنکه محلول شیمیائی پیشنهادی در این تحقیق $Co_2 + H_2o$ قادر بوده است سه نمونه از زغال سنگ را بشکند و موجب کاهش ابعاد و کاهش گوگرد و خاکستر شود، اما به دلیل غیر متجانس بودن ترکیبات زغال و ساختمان پیچیده ای که این ماده سوختنی دارد لزوماً ممکن است $Co_2 + H_2o$ بروی زغال سنگ های دیگر همان نتایج زغال سنگ های مورد آزمایش را در بر نداشته باشد اما احتمال نتایج مشابه با توجه به تحقیق انجام گرفته، زیاد است.

۶ ــ پیشنهاداتی جهت ادامه تحقیقات مزبور

۱ ــ ۶ ــ آزمایش زغال سنگ های ایران با محلول پیشنهادی در این تحقیق و ترکیبات شیمیائی پیشنهادی دیگر محققان در این زمینه و مقایسه آنها از نظر فنی و اقتصادی.

۲ ــ ۶ ــ ارائه منحنی، نمودار و مدل ریاضی که بتواند درصد و اندازه متوسط زغال سنگهای خرد شده را پیش بینی نماید.

۳ ــ ۶ ــ بررسی امکان اجراء این پروژه از نظر فنی و اقتصادی در معادن زغال سنگ ایران.

۴ ــ ۶ ــ اجراء این پروژه در یکی از معادن زغال سنگ و بررسی نتایج حاصل از آن.

زیرنویس ها

۱ ــ عنوان اصلی مقاله که توسط نویسنده ارائه شده به شرح زیر بوده است: «بررسی امکان استفاده از Co_2+H_2O به عنوان محلول شیمیائی جهت استخراج زغال سنگهائی با ضخامت کم که در اعماق قرار دارند.»

«Chemical Comminution for Depth and thin Coal by using $Co_2 + H_2o$ as a Solvent.»

2 - Surface Mining Method.

3 - un derground Minning Method.

4 - Chemical Comminution.

5 - Stractural defect.

6 - Fragmentation.

7 - Bituminous Coal.

8 - Reactor or Pressure Vessel.

9 - Ultimate Analysis.

10 - SRCI: Solvent Reflned Coal.

به فرایندی اطلاق می شود که موجب تولید زغال سنگ خالص می شود.

11 SRC II : Solvent Reflened Coal.

به فرایندی اطلاق می شود که در آن زغال سنگ به کمک هیدروژن تبدیل به مایع می شود.

12 - OCR: Office of COAL Research.

ادارهٔ تحقیقات زغال سنگ

13 - USBM: United States Bureau of Mines.

اداره کل معادن امریکا

14 - SURC: SIRACUS University Reserch Corporation.

15 - Ilinoise.

16 - Anthracitic.

17 - Fragmented Coal.

ذرات خرد شده زغال به ذرّاتی اطلاق می شود که از ۱/۲ اینچ کوچکترند.

18 - SME: Society of Mining Engineers.

19 - Lignite.

20 - OMM RRI: Oklahoma Mining Mineral Resources Research Institue

21 - Absorption.

22 - Mesh No 60.

23 - Proximat Analysis.

24 -Ultimate Analysis.

25 - Non-Ideal gas .

26 - Kelvin.

27 - Semi - log.

28 - From: whitehurst, D. Duayne, Mitchell, O., Thomas and Farcasiu, Malvina, Coal Liquefaction, 1980, P. 21-22.

29 - From: Kirth-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology, 1977, Vol. 4, r. 727.

30 - $T = 270^0c$, $p = 3300$ PSI, Period of test = 24 hours.

31 - $T = 275^0c$, $P = 3300$ PSI, Period of test = 36 hours.

32 - Increase of the Perceneage of Fragmented Coal as Time increased

منابع

1 - LARSEN, W, John, ORGANIC, «Chimistry of coal, speculation on coal structure» ACS, 1978, p27-29.

2 - Othmer, Kirth , Encyclopedia of chemical Technology Vol 4 - 1977 P - 277.