تاثیر مواد افزودنی شیمیائی بر توزیع دانه‌بندی، انرژی مصرفی و قابلیت خردایش انتخابی زغال سنگ گلیران

امیر آرش رفیعی
کارشناس ارشد
فرآوری مواد معدنی گروه مهندسی معدن، دانشگاه تهران

محمد نوعپرست
استادیار
گروه مهندسی معدن، دانشگاه تهران

بهرام رضائی
دانشیار
دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

محمد کلاهدوزان
استادیار
گروه مهندسی معدن، دانشگاه تهران

عباس طباطبائی
کارشناس ارشد
دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

زغال سنگ بعنوان یکی از منابع انرژی دارای جایگاه خاصی در صنعت است. فرآوری زغال نیز مانند سایر مواد معدنی نیازمند طی مراحل مختلفی است تا محصولی متناسب با نیاز صنعت تهیه شود. یکی از این مراحل خردایش کانسنگ زغال است. مهندسی خردایش یکی از ارکان مهم فرآوری مواد معدنی است که در سالهای اخیر اهمیت بیشتری یافته است. یکی از مباحث در مهندسی خردایش مواد معدنی کاربرد مواد شیمیائی افزودنی یا کمک آسیاها است. این مواد موجب بهبود کارائی خردایش از جهات مختلفی میشود. در این مقاله سعی شده تا نتایج مطالعات حاصل از خردایش زغال سنگ گلیران توسط آسیای هاردگرو مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین تاثیرات افزودنی‌های الکل صنعتی، دی اتانولامین، سود سوز آور، اسید ترپانتینیک و افزودنی تجاری RGA مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که تاثیر استفاده از اسید ترپانتینیک موجب بهبود شاخص‌های مختلف قابلیت خردایش گردید. استفاده از الکل موجب افزایش درصد خاکستر زغال و سود سوزآور بشدت موجب افزایش انرژی مصرفی آسیا به مقدار ۱۲٪ شد اما درصد خاکستر را کاهش داد. حضور آب نیز به عنوان افزودنی در سیستم خردایش خشک تاثیر قابل توجهی نداشت. بعبارت دیگر هر یک از افزودنی‌های شیمیایی مورد استفاده بر بعضی از پارامترهای خردایش تاثیر مثبت داشته و بر سایر پارامترها تاثیر منفی داشته یا بدون تاثیر هستند. بنابراین متناسب با اولویت‌های پیش‌بینی شده در طراحی فرآیند خردایش می‌توان افزودنی شیمیایی مناسب را انتخاب نمود.

کلمات کلیدی

مهندسی خردایش، مواد افزودنی شیمیائی، زغال‌سنگ، قابلیت خردایش، آسیای هاردگرو

Effects of Grinding Aids on Particle Size Distribution, Consumption Energy, Grinding Time and Selective Grinding of Geliran Coal Ore

Rafiei
M.SC
Mineral Processing Graduated
University of Tehran

M. Noaparast
Assistant Professor
Mining Engineering Department
Faculty of Engineering,
University of Tehran

B. Rezaei
Assistant Professor
Mining, Metallurgy & Petroleum
Engineering Department,
Amirkabir University of Technology

M. Kolahduzan
Assistant Professor
Mining Engineering Department,
Faculty of Engineering,
University of Tehran

Tabatabei
M.Sc.
Mineral Processing Graduated,
Amirkabir University of Technology

Abstract

Coal is known as one of the most important energy sources in different industries. Coal processing has some identified steps like the other ores. One of these steps is comminution which is one of the most significant steps in mineral processing with wide applications in other engineering branches. One of the important subjects in comminution is known as application of grinding aids to optimize grinding parameters. Grinding aids or chemicals provide different effects on grinding product characteristics. In this work the effect of grinding aids such as Alchohol, Terpantinic Acid, Water, Soda and RGA on particle size distribution, consumption energy and selective grinding of Geliran coal ore samples were studied. Results indicated that grinding parameters like size distribution, ash percent and work indices varied with the presence of grinding aids. An optimum percent of each grinding aids was determined on the basis of labratoary tests results. Consequently Terpantinic acid as the best grinding aid in this work reduced the consumption energy and ash percent in finer particle size. Alchohol increased the ash percent of coal in finer particle size and NaOH increased consumption energy and reducing ash percent in the same time. Fresh water did not provided considerable optimization on dry grinding process and made some disadvantages. Finally RGA as an industrial cement grinding aids provided some advantages and disadvantages and the selection of the best grinding aids related with the strategy of grinding process design.

Key Words

Grinding Aids, Grindability, Hardgrove Index, Bond Index, Selective Comminution.

مقدمه

در فرآوری مواد معدنی دو بخش اساسی خردایش[1] وجدایش وجود دارد. مهندسی خردایش یکی از مباحثی است که کاربرد زیادی در کارخانجات فرآوری مواد معدنی، آماده سازی سیمان، سرامیک و صنایع وابسته به مهندسی شیمی، متالورژی و در سالهای اخیر بازیافت مواد یافته است. حدود ۳ درصد از کل انرژی برق تولیدی دنیا در صنایع خردایش صرف میشود و بالطبع هرگونه بهینه‌سازی در فرآیند خردایش موجب مصرف بهینه انرژی نیز خواهد شد[1]. زغال سنگ یکی از منابع مهم انرژی است، که بعنوان یک سوخت فسیلی در صنایع مختلف مورد استفاده قرار میگیرد. فرآوری زغال سنگ به منظور استفاده در صنعت نیاز به طی مراحل مختلفی است. این فرآیند از استخراج بصورت روباز و یا زیرزمینی آغاز شده و پس از خردایش و زغالشوئی محصول مورد نظر با شاخص‌های کمی و کیفی معینی حاصل میشود. هدف از مرحله خردایش تهیه محصولی با

دانه‌بندی مناسب برای مرحله زغالشوئی است. یکی از مباحث مهندسی خردایش، استفاده از مواد افزودنی[۲] شیمیائی یا کمک آسیاها در فرآیند خردایش مواد معدنی است. این مواد دارای تاثیرات مختلفی هستند که موجب بهبود کارائی فرآیند خردایش میشود. بررسی تاثیر مواد افزودنی یا کمک آسیاها بر فرآوری زغال سنگ از دو دیدگاه قابل بررسی است. در درجه اول این مواد موجب بهبود قابلیت خردایش زغال میشود و در بعضی موارد پدیده قابلیت خردایش انتخابی[۳] رخ میدهد و خردایش و تغلیظ بصورت همزمان انجام میشود.

۱ـ تاثیر مواد افزودنی در فرآیند خردایش

مواد افزودنی یا کمک آسیاها در واقع موادی هستند، که دارای قابلیت سطح سازی میباشند. مبنای انتخاب این مواد تا حد زیادی تجربی و با استفاده ازروند سعی و خطا است. این مواد از نوع ترکیبات آلی، معدنی و پلیمری هستند و با غلظت‌های حدود (۰،۰۲-۰،۰۳ ٪) مورد استفاده قرار میگیرند. اثرات کاربرد مواد افزودنی را میتوان بطور خلاصه بصورت زیر ارائه نمود [1, 2, 3]:

الف ـ کاهش انرژی مصرفی فرآیند خردایش: نتایج حاصل از مطالعات نشان داده است که انرژی شکست بطور مستقیم و غیر مستقیم تابعی از انرژی سطحی است، لذا با استفاده از کمک آسیاها میتوان انرژی سطحی را کاهش داد و بالطبع انرژی کمتری نیز مصرف میشود، که این تاثیر (بطور مستقیم و غیر مستقیم) در اثر حضور مواد افزودنی ایجاد میشود و عوامل غیر مستقیم نقش بیشتری را بر عهده دارند.

ب ـ افزایش دانه ریزی و سطح مخصوص محصول: یکی از پارامترهای مهم در مهندسی خردایش دانه‌ریزی محصول آسیا است و استفاده از این مواد موجب تولید محصول دانه‌ریزتر (و بالطبع با سطح مخصوص بیشتری) میشود.

ج ـ افزایش ظرفیت محصول آسیا: یکی از پارامترهای مهم ،میزان محصول تولیدی آسیا با دانه‌بندی مطلوب در واحد زمان است. استفاده از مواد افزودنی میتواند موجب انتقال بهتر مواد در داخل آسیا میشود و از چسبندگی و تجمع ذرات جلوگیری کند. در نتیجه نیروی مصرفی خردایش موجب تولید محصول بیشتری شده و ظرفیت تولید بهبود می‌یابد.

دـ خردایش انتخابی: یکی از تاثیرات جالب توجه مواد افزودنی بوجود آمدن پدیده قابلیت خردایش انتخابی است. بطور کلی و در حالت خردایش نرمال مواد مختلف (باطله و کانسنگ) تحت سینتیک خردایش یکسانی قرار میگیرند، و بعبارت بهتر تفاوتی بین ذرات مختلف وجود ندارد. مگر این که دو ماده دارای اختلاف زیادی از نظر شاخص قابلیت خردایش باشند. بنابراین در شرائطی که قابلیت خردایش مواد معدنی به یکدیگر نزدیک است، دانه‌بندی محصول مستقل از ترکیبات خوراک است. در چنین شرائطی اگر استفاده از افزودنی سبب شود تا در یکی از مواد (بعنوان مثال ماده با ارزش) تغییرات بیشتری شکل گیرد، در نتیجه در هنگام خردایش ماده با ارزش و باطله دو سرعت سینتیکی مختلف خواهند داشت و یکی از آنها نسبت به دیگری محصولی دانه ریزتری تولید خواهد نمود. این پدیده نشان‌دهنده آن است که دو فرآیند خردایش و جدایش در بعضی از ابعاد بصورت همزمان شکل میگیرند و بخشی از کانسنگ را میتوان بطور نسبی بر اساس دانه‌بندی از باطله همراه تفکیک نمود [2].

وـ تاثیر غیر مستقیم محصول خردایش با مواد افزودنی بر فرآیندهای جدایش و تغلیظ: مرحله زغالشوئی بطور معمول در فرآوری زغال پس از خردایش و دانه بندی قرار دارد، که این مرحله بشدت به عوامل شیمیائی حساس است. مواد شیمیائی در عمل موجب تولید محصولی با دانه بندی یکنواخت‌تر و بار سطحی کمتر میشود و در نتیجه تعییر این عوامل میتواند در مرحله زغالشوئی موثر باشد. البته این تاثیر همواره مثبت نخواهد بود و میتواند موجب افت کارائی سیستم شود. مواد افزودنی در مرحله خردایش بر ذرات جذب سطحی میشوند. جذب سطحی به دو شکل شیمیائی و فیزیکی شکل میگیرد، نوع اول بصورت دائمی و پایدار است و در نتیجه خواص سطحی ذرات با توجه به شدت جذب شیمیائی سطحی تغییر خواهد کرد. این پدیده میتواند بصورت مستقیم یا غیر مستقیم بر فرآیند زغالشوئی موثر باشد. بنابراین در هر طرح صنعتی باید مطالعاتی پیرامون تغییرات حاصل به دلیل استفاده از مواد افزودنی بر فرآیندهای تغلیظ و جدایش انجام گیرد و در صورت استفاده مناسب از این مواد بهبود عملیات خردایش، جدایش و کم شدن حجم عملیات فرآوری حاصل میشود[2].

۲ـ مطالعات آزمایشگاهی

۲-۱ـ نمونه گیری و آماده سازی

در ایـن بررسـیها از نمونـه‌هـای کانسـنگ زغال‌سنگ گلیران استفاده شد. هدف از این آزمایشها اندازه‌گیری شاخص قابلیت خـردایش بـاند[۴] و اندیـس هاردگرو[۵] و در نهایت بررسی تاثیر مواد افزودنی بر کاهش انرژی مصرفی خردایش زغال است. نمونه اولـیه از نظر دانه‌بندی در حد محصول سنگ شکنی اولیه میباشد. در طول آزمایشها دو مرحله نمونه‌برداری انجام شد. در اولین مـرحله، بخشـی از نمونـه‌هـای حاصـل از سنگ شکنی مرحله اول معدن بدون خردایش در آزمایشگاه، توسط سرند دانه‌بندی و نمونـه‌هائی با دانه‌بندی بین ۱۶ و ۳۰ مش تهیه شد. در ابتدا این تصور وجود داشت که استفاده از مواد افزودنی در یک سیستم خـردایش خشـک (مانـند آسـیای هاردگرو)، نتواند بر قابلیت خردایش تاثیر قابل توجهی داشته باشد. پس از بررسی نمونه‌های مـرحله اول و مشـاهده نتایج قابل توجه بدست آمده، نمونه های مرحله دوم تهیه شد. در مرحله دوم بخش دیگری از نمونه‌های اولـیه معـدن توسـط سنگ شکن فکی آزمایشگاهی خرد شد و سپس نمونه‌هائی با دانه‌بندی ۱۶ و ۳۰ مش تهیه شد. نمونه‌های مـرحله دوم را میـتوان بعـنوان نمونه معرف زغال در نظر گرفت. اما در مورد نمونه‌های مرحله اول همانطور که اشاره شد، چون هـیچ خردایشی در آزمایشگاه بر آنها صورت نگرفته است، میتوان ادعا کرد که این نمونه‌ها نشان دهنده رفتار زغال‌سنگ هوازده (در مقایسـه بـا نمونـه‌هـای خرد شده در آزمایشگاه) است. از طرفی نمونه‌های مرحله اول بدلیل عدم خردایش در آزمایشگاه، از بخـش دانـه ریـز محصـول سـنگ شـکنی اولـیه تشـکیل شـده است و انتظار آن میرود که دارای قابلیت خردایش بیشتری نیز باشـند.در شکل(۱) فلوشیت مطالعات آزمایشگاهی انجام شده ارایه شده است. لازم به ذکر است که برای هر دو مرحله مطالعات آزمایشـگاه مـرحله اصـلی مطالعـات یکسان بوده است. بنابراین وجود این اختلافات در ماهیت نمونه‌ها، میتواند از جهاتی دارای اهمیت باشد[4]:

الف ـ مقایسه دو سری نمونه میتواند نشان‌دهنده تاثیر هوازدگی سطح زغال در خردایش را تا حدی نشان دهد.

ب ـ بـا ارزیابـی نـتایج دو سـری نمونـه میـتوان شـدت پدیده خردایش انتخابی را در اثر حضور مواد افزودنی در زغال هوازده و سـخت‌تـر با نمونه معرف زغال غیر هوازده و نرم‌تر مقایسه نمود. بعبارت بهتر امکان ایجاد پدیده خردایش انتخابی، در کدام نمونه‌ها بیشتر قابل مشاهده خواهد بود.

ج ـ با توجه به آن که نمونه‌های مرحله اول دارای قابلیت خردایش نسبی بیشتری هستند، با مقایسه نتایج میتوان عملکرد مواد افزودنی را بر زغال سخت و نرم مقایسه کرد.

۲-۲ـ تعیین شاخص قابلیت خردایش باند و هاردگرو

یکـی از مـتداول‌تریـن روشهای تعیین قابلیت نرم‌شوندگی زغال و بخصوص موادی که در آسیاهای غیر گردان (مانند آسیای غلطکـی) نرم میشوند، روش استاندارد هاردگرو است. اساس این روش تعیین میزان مواد ریزتر از ۲۰۰ مش یا ۷۵ میکرون است کـه طـی آزمـایش در آسـیای آزمایشـگاهی و در شرائط استاندارد، با تعداد دور مشخص و بصورت نا پیوسته انجام میشود. ابعاد نمونه مورد آزمایش بین ۱۶ تا ۳۰ مش و وزن آن ۵۰ گرم است. نمونه‌ها را پس از ۳ دقیقه خردایش توسط دستگاه (۶۰ دور)، از سرند ۲۰۰ مش عبور میدهند و وزن مواد عبوری از سرند ۲۰۰ مش مبنای محاسبات قرار میگیرد. اندیس هاردگرو را میتوان با استفاده از معادله زیر محاسبه کرد[5]:

$$HI=6.93W_{74}+13.6 \qquad (۱)$$

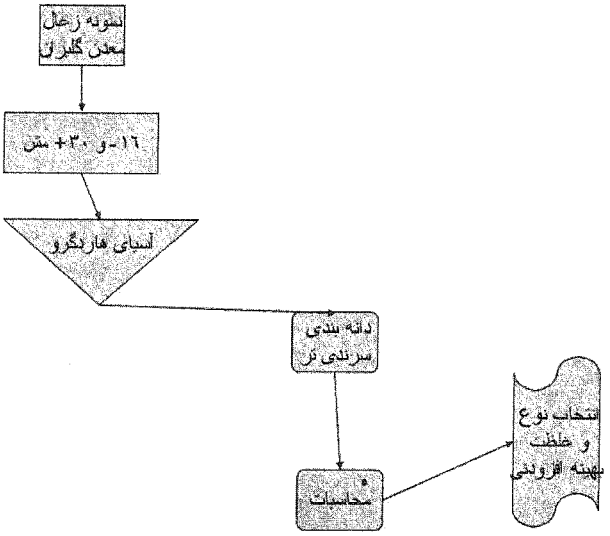
در ایـن رابطـه HI شـاخص قابلیـت خردایش هاردگرو و W_{74} وزن محصول ریزتر از ۲۰۰ مش (۷۴ میکرون) بر حسب گرم است. برای محاسبه اندیس باند از اندیس هاردگرو، رابطه زیر برای زغال و سنگ آهک ارائه شده است:

$$W_i=1622/(HI)^{1.08} \qquad (۲)$$

برای سایر مواد معدنی رابطه زیر پیشنهاد شده است:

$$W_i=435/(HI)^{0.91} \quad (۳)$$

بـه طـور کلـی استاندارد هاردگرو بر مبنای عدد ۱۰۰ استوار است و نرمی یا سختی زغال از نظر نرم‌شوندگی نسبت به عدد ۱۰۰ تعییـن میشـود. هر چه اندیس هاردگرو بالاتر باشد، قابلیت نرم شوندگی زغال بیشتر است. اندیس هاردگرو بصورت کیفی است و در واقع اندیس هاردگرو ۱۰۰ در مقایسه با ۵۰ نشان دهنده دو برابر شدن نرم شوندگی نمیباشد[5].



شکل(۱) فلوشیت مراحل مطالعات آزمایشگاهی زغالسنگ گلیران[4].

۲-۳ـ تابع توزیع دانه بندی روزین ـ راملر

یکی از روش‌های نمایش نقطه‌ای توزیع ابعادی ذرات، استفاده از معادله روزین ـ راملر[۶] است. از این رابطه بطور معمول برای تخمین دانه‌بندی ریز دانه و بطور خاص توزیع دانه‌بندی زغال‌سنگ و محصولات حاصل از سنگ شکن‌های مرحله سوم میتوان استفاده نمود. قابلیت دیگر این روش ارزیابی خطای آزمایش در محدوده مورد نظر است. تابع روزین ـ راملر بصورت رابطه زیر است[5]:

$$Wr=100\exp(-(D/a)^b) \quad (۴)$$

در ایـن رابطـه Wr درصـد تجمعـی مواد باقی مانده، D قطر متوسط عددی مورد نظر، a ضریب ثابت و معادل دهانه سرندی است که ۳۶،۸ درصد از مواد باید روی آن باقی میماند و اندازه مطلق نامیده میشود و (b) ضریب پراکندگی است که افزایش آن نشان‌دهنده پراکندگی بیشتر در دانه‌بندی ذرات است[5] .

۲-٤ـ مواد افزودنی مورد استفاده

در ایـن آزمـایش‌هـا از پنج نوع ماده افزودنی شیمیائی مختلف استفاده شد. برای مجموعه نمونه‌های اول، از سه نوع مختلف افزودنـی الکـل صـنعتی، دی اتانولامیـن و اسـید ترپانتینـیک اسـتفاده شـد و برای نمونه‌های آزمایشهای مرحله دوم آب، سود سوزآور، اسید ترپانتینیک و افزودنی صنعتی (RGA) که در صنعت سیمان استفاده میشود مورد استفاده قرار گرفت. البته هدف از انجـام دو مـرحله آزمـایش بررسی تکرار پذیری نتایج بوده است. در نهایت در برخی از نمونه‌ها درصد آنالیز خاکستر زغال، به مـنظور بررسـی قابلیـت خـردایش انتخابـی انـدازه‌گیری شد. دلیل انتخاب دی اتانولامین و RGA سابقه کاربرد آن در سیستم خردایش خشک در صنعت سیمان است. سود سوز آور هم بعنوان یک افزودنی قلیائی متداول در مطالعات مختلف انتخاب شد و

علت انتخاب اسید ترپانتینیک و الکل صنعتی بر اساس سعی و خطا و بررسی تاثیر مواد افزودنی اسیدی و الکلی بوده است. RGA که دارای یک فرمول شیمیائی محرمانه است، از گروه آمینها بوده و در صنعت سیمان مورد استفاده قرار میگیرد. در بررسی های مقدماتی پروژه و ارزیابی موارد مشابه مشخص شد که در موارد متعددی از آب در غلظت بسیار کم بعنوان افزودنی استفاده شده است. این موضوع باعث شد تا در این مطالعات از آب نیز استفاده شود[4].

۳ـ بررسی نتایج تاثیر مواد افزودنی بر زغالسنگ گلیران

نتایج آزمایشهای انجام شده بر دو سری نمونه در جدول‌های (۱ تا۷) ارائه شده است،که تحلیل این نتایج بصورت زیر ارائه میشود[4] :

الف ـ تاثیر مواد افزودنی بر اندیس کار باند وهاردگرو و بهبود انرژی مصرفی خردایش

در جدولهای (۱ تا ۳) مقادیر شاخص قابلیت خردایش برای نمونه‌های مرحله اول و در جدولهای (۴ تا ۷) نمونه‌های مرحله دوم ارائه شده است. همچنین در شکلهای ۲ تا ۴ تاثیر غلظت مواد افزودنی اشاره شده بر تغییرات اندیس کار باند ارایه شده است. همانطور که مشاهده میشود در هر دو مرحله از آزمایشها، روند تغییرات منظمی وجود دارد و در واقع قابلیت خردایش، تابعی از درصد ماده افزودنی مورد استفاده است[4]. در آزمایشهای مرحله اول الکل و اسید ترپانتینیک دارای تغییرات منظم‌تری هستند، اما دی اتانولامین تغییر تصادفی را نشان میدهد. در مورد الکل بنظر میرسد که بخار الکل بر سطح ذرات جذب میشود و موجب تضعیف پیوندهای سطحی و در نتیجه کاهش اندیس کار میگردد. البته این جذب سطحی در مورد هر یک از مواد افزودنی دارای یک حد بهینه است و پس از آن شاهد تاثیر منفی مواد افزودنی بر فرآیند خردایش هستیم. در نمونه‌های مرحله دوم، دو نوع افزودنی اسید ترپانتینیک و افزودنی صنعتی سیمان دارای تاثیر مثبت بر روند خردایش بودند. اما سود سوز آور و آب موجب افت کارائی خردایش شدند. در مقام مقایسه اسید ترپانتینیک تاثیر مثبت بیشتری نسبت به افزودنی صنعتی داشته است و سود سوزآور بیشترین افت را در کارائی خردایش دارد.

جدول(۱) تغییرات شاخص قابلیت خردایش باند و اندیس هاردگرو در اثر استفاده افزودنی شیمیایی الکل صنعتی برای نمونه‌های زغال مرحله اول[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۰۵	۰،۱	۰،۱۵	۰،۲۵
اندیس هاردگرو	۱۱۵،۶۷	۱۱۶،۷	۱۱۶،۳	۱۱۸،۱	۱۱۳،۴
اندیس باند	۹،۵۸۸	۹،۴۹	۹،۵۳	۹،۳۷	۹،۷۹
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	۱	۰،۶	۲،۲۷	-۲

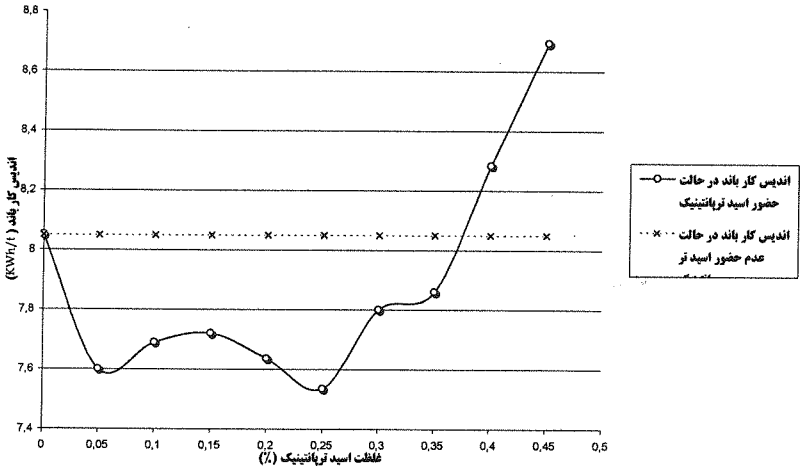
جدول(۲) تغییرات شاخص قابلیت خردایش باند و اندیس هاردگرو در اثر استفاده افزودنی شیمیایی اسید ترپانتینیک برای نمونه‌های زغال مرحله اول[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۰۵	۰،۱	۰،۲	۰،۴
اندیس هاردگرو	۱۱۵،۶۷	۱۱۶،۶	۱۱۷	۱۱۸،۱	۱۱۳،۲
اندیس باند	۹،۵۸۸	۹،۵۰۶	۹،۴۷	۹،۳۱	۹،۸۱۵
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	۱	۲،۳	۲،۹	-۲،۴

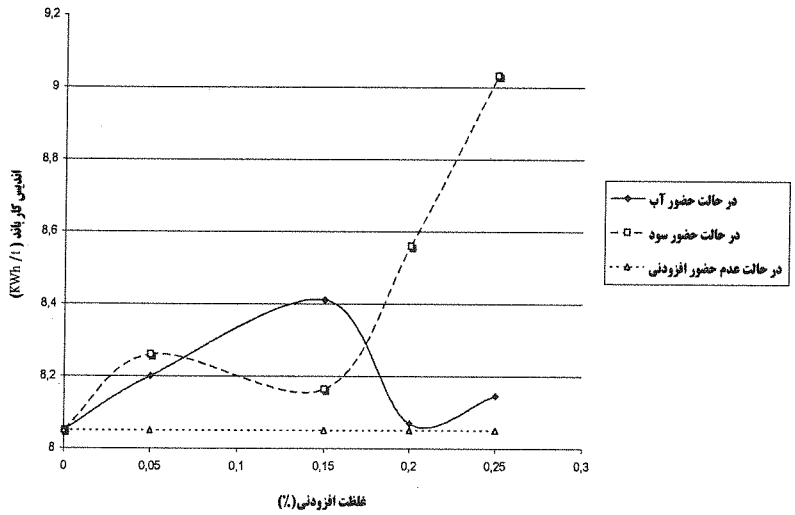
جدول(۳) تغییرات شاخص قابلیت خردایش باند و اندیس هاردگرو در اثراستفاده افزودنی شیمیایی دی اتانولامین برای نمونه‌های زغال مرحله اول[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۰۷	۰،۱۴	۰،۲۱	۰،۲۸	۰،۳۵	۰،۴۲	۰،۴۹
اندیس هاردگرو	۱۱۹،۳	۱۱۹،۹	۱۲۰،۵۲	۱۲۰،۱	۱۱۹،۶	۱۱۵،۴۷	۱۰۳،۱۳	۱۰۳،۶۹
اندیس باند	۹،۲۷	۹،۲۲۴	۹،۱۷۲	۹،۲۰۷	۹،۲۴۹	۹،۶	۱۰،۸۵	۱۰،۷۹
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	۰،۵	۱،۰۵	۰،۶	۰،۲	- ۳،۵	- ۱۷،۰	- ۱۶،۳

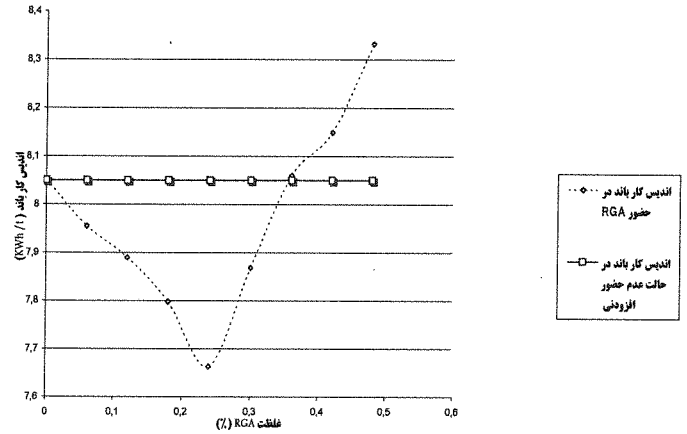
نکته قابل توجه در این آزمایشها مشاهده پدیده بی باری ذرات زغال‌سنگ بود. در زمان تمیز کردن گلوله‌های آسیای هاردگرو (بدون حضور افزودنی) ذرات دانه ریز زغال‌سنگ به گلوله‌ها چسبیده بودند، بطوریکه گلوله‌ها سیاه رنگ بنظر میرسیدند. اما با نزدیک شدن به غلظت بهینه افزودنی، پدیده چسبندگی کاهش یافت، و حتی در حالت بهینه ذرات زغال‌سنگ به علت بدون بار بودن سطحشان، تمایلی به چسبیدن برروی گلوله‌ها نداشتند.



شکل(۲) تاثیر اسید ترپانتینیک بر اندیس کار باند نمونه‌های زغال مرحله دوم[4].



شکل(۳) تاثیر سود و آب بر اندیس کار باند نمونه های زغال مرحله دوم[4].



شکل(٤) تاثیر افزودنی صنعتی RGA بر اندیس کار باند نمونه‌های زغال مرحله دوم[4].

ب ـ تاثیر مواد افزودنی بر توزیع دانه بندی محصول آسیای هاردگرو

در جدولهای (۸ تا ۱۱) نتایج مربوط به دانه‌بندی و ضرائب تابع توزیع روزین ـ رامل برای محصول آسیای هاردگرو در غلظت‌های مختلف از مواد افزودنی شیمیائی برای نمونه‌های مرحله اول ارائه شده است. همچنین در شکلهای ۵ و ۶ تاثیر حضور افزودنیهای الکل صنعتی و اسید ترپانتینیک بر دانه‌بندی محصول خردایش در ابعاد مختلف ارایه شده است. چنین بررسی از جهات مختلفی دارای اهمیت است. در اینجا هم نوعی هماهنگی بین تغییرات پارامترهای توزیع دانه‌بندی و اندیسهای هاردگرو و باند وجود دارد. در مورد الکل صنعتی مطابق نتایج مندرج در جدولهای (۱۰ و۱۱) در غلظت ۰،۱ ٪، مقدار ضریب پراکندگی(b) یا فاکتور توزیع روزین ـ رامل معادل با ۱،۸۴ است، در حالی که اندازه مطلق (a) برابر ۳۲،۳ میکرون است. با افزایش غلظت الکل به ۰،۱۵ ٪ مقدار a بطور تقریبی ثابت ماند در حالی که مقدار ضریب b به ۲،۱۴ افزایش یافت.

جدول(٤)تغییرات شاخص قابلیت خردایش باند و اندیس هاردگرو در اثر استفاده افزودنی شیمیایی اسید ترپانتینیک برای نمونه های زغال مرحله دوم[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۰۵	۰،۱	۰،۱۵	۰،۲	۰،۲۵	۰،۳	۰،۳۵	۰،۴	۰،۴۵
اندیس هاردگرو	۱۳۶	۱۴۴،۱	۱۴۱،۸۷	۱۴۱،۳۲	۱۴۲،۸۴	۱۴۴،۶۴	۱۴۰	۱۳۹	۱۳۲،۴۵	۱۲۶،۶۳
اندیس باند	۸،۰۵	۷،۶	۷،۶۹	۷،۷۲	۷،۶۳۵	۷،۵۳۵	۷،۸	۷،۸۶	۸،۲۸۴	۸،۶۹۵
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	۵،۵	۴،۴۷	۴،۱	۵،۱۵	۶،۳۹	۳،۱	۳،۴	- ۲،۹	- ۸،۰

جدول(٥) تغییرات شاخص قابلیت خردایش باند و اندیس هاردگرو در اثر استفاده افزودنی شیمیایی صنعتی RGA برای نمونه های زغال مرحله دوم[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۰۶	۰،۱۲	۰،۱۸	۰،۲۴	۰،۳	۰،۳۶	۰،۴۲	۰،۴۸
اندیس هاردگرو	۱۳۶	۱۳۷،۵۱	۱۳۸،۴	۱۴۰،۱	۱۴۲،۳۶	۱۳۸،۸۹	۱۳۵،۸۴	۱۳۴،۴۶	۱۳۳،۲۱
اندیس باند	۸،۰۵	۷،۹۵۵	۷،۸۹	۷،۷۹۸	۷،۶۶۳	۷،۸۶۹	۸،۰۶	۸،۱۵	۸،۲۳۲
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	۱،۱۸	۲	۳،۱۳	۴،۸	۲،۲۴	۰،۱۲	۱،۲	۲،۲۶

جدول(٦) تغییرات شاخص قابلیت خردایش باند و اندیس هاردگرو در اثر استفاده افزودنی شیمیایی سود سوزآور برای نمونه‌های زغال مرحله دوم[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۰۵	۰،۱۵	۰،۲	۰،۲۵
اندیس هاردگرو	۱۳۶	۱۲۷،۶۶	۱۳۴،۲۵	۱۲۸،۵	۱۲۲،۲۶
اندیس باند	۸،۰۵	۸،۶۲	۸،۱۶۴	۸،۵۵۹	۹،۰۳۲
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	- ۷،۰	- ۱،۰۴	- ۶،۳	- ۱۲،۱

جدول(۷) تغییرات شاخص قابلیت خردایش باند و اندیس هاردگرو در اثر استفاده افزودنی شیمیایی آب برای نمونه‌های زغال مرحله دوم[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۱۵	۰،۲	۰،۲۵
اندیس هاردگرو	۱۳۶	۱۳۰،۵۷	۱۳۵،۷	۱۳۴،۵۲
اندیس باند	۸،۰۵	۸،۴۱	۸،۰۶۹	۸،۱۴۶
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	- ۴،۵	۰،۲۳	۱

با در نظر گرفتن این امر که غلظت ۰،۱۵ ٪ را میتوان بعنوان غلظت بهینه الکل در نظر گرفت، این تغییرات به صورت زیر قابل توجیه است. هنگامیکه ماده افزودنی به غلظت بهینه خود میرسد، کمترین تجمع فیزیکی ذرات در سیستم قابل پیش بینی است. از طرفی با کاهش تجمع فیزیکی ذرات،خردایش با کارائی بهتری انجام میشود و در نتیجه مواد دانه ریز بیشتری

تولید شده و در نتیجه محدوده دانه‌بندی کوچکتر میشود. از طرفی حضور افزودنی در حالت بهینه موجب حداقل تجمع فیزیکی ذرات گردید و بطور خاص ذرات دانه ریز تمایل کمتری برای چسبیدن به ذرات درشت‌تر دارند و بنابراین خردایش با کارائی بیشتری انجام گرفت و دانه ریزی متوسط محصول افزایش یافت. با مقایسه ضرائب b در دو غلظت فوق ملاحظه میکنیم که با وجود ثابت ماندن اندازه مطلق a، مقدار فاکتور پراکندگی b افزایش یافت، که این پدیده نشان دهنده کاهش محدوده دانه‌بندی محصول خردایش است.در واقع به علت خردایش بهتر در اثر حضور افزودنی، ذرات بیشتری به ابعادی کوچکتر انتقال یافت و لذا ضریب b کاهش یافت. با در نظر گرفتن تغییرات d_{80} برای الکل صنعتی، پدیده فوق تایید میشود، زیرا در غلظت بهینه الکل، مقدار d_{80} به حداقل خود رسید.این پدیده در مورد اسید ترپانتینیک بصورت مشابه در غلظت‌های ۰،۱ ٪ و ۰،۲ ٪ (غلظت بهینه اسید ترپانتینیک) قابل مشاهده و توجیه است. از طرفی با ارزیابی نتایج ارائه شده در جدولهای (۸ و ۹) مشخص میشود، که درصد تجمعی عبوری از سرندهای ۲۳۰، ۲۰۰، ۳۲۵ و ۴۰۰ مش دارای رفتاری هماهنگ با تغییرات اندیس هاردگرو و باند است.

جدول(۸) دانه بندی بخش ریزتر از ۷۵ میکرون محصول خردایش نمونه‌های مرحله اول با استفاده از افزودنی شیمیایی الکل صنعتی[4].

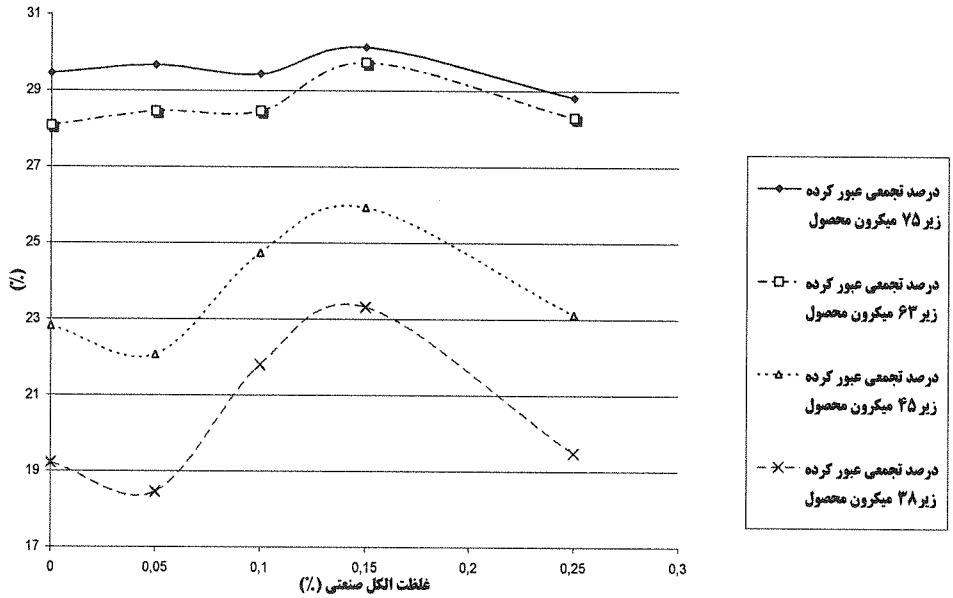
	بدون افزودنی	غلظت(٪)			
		۰،۰۵	۰،۱	۰،۱۵	۰،۲۵
ابعاد سرند(میکرون)	درصد تجمعی عبوری				
۷۵	۲۹،۴۶	۲۹،۷۶	۲۹،۴۴	۳۰،۱۴	۲۸،۸۲
۶۳	۲۸،۰۸	۲۸،۴۶	۲۸،۴۷	۲۹،۷۴	۲۸،۳
۴۵	۲۲،۸۲	۲۲،۰۷	۲۴،۷۴	۲۵،۹۳	۲۳،۱۲
۳۸	۱۹،۲۲	۱۸،۴۵	۲۱،۸	۲۳،۳۲	۱۹،۴۸
اندیس هاردگرو	۱۱۵،۶۷	۱۱۶،۷	۱۱۶،۳	۱۱۸،۱	۱۱۳،۴

جدول(۹) دانه بندی بخش ریزتر از ۷۵ میکرون محصول خردایش نمونه‌های مرحله اول با استفاده از افزودنی شیمیایی اسید ترپانتینیک[4].

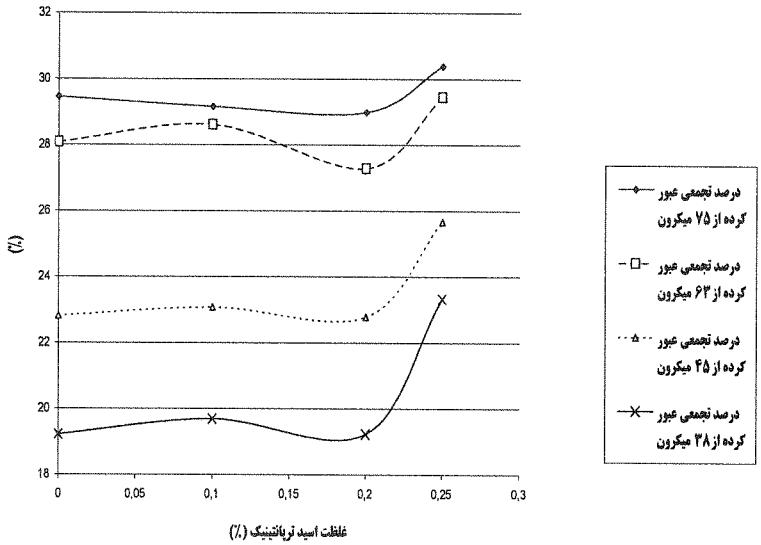
	بدون افزودنی	غلظت(٪)		
		۰،۱	۰،۲	۰،۲۵
ابعاد سرند(مش)	درصد تجمعی عبوری			
۷۵	۲۹،۴۶	۲۹،۱۶	۲۸،۹۸	۳۰،۳۸
۶۳	۲۸،۰۸	۲۸،۶۱	۲۷،۲۸	۲۹،۴۵
۴۵	۲۲،۸۲	۲۳،۰۸	۲۲،۷۸	۲۵،۶۷
۳۸	۱۹،۲۲	۱۹،۷	۱۹،۲۳	۲۳،۳۳
اندیس هاردگرو	۱۱۵،۶۷	۱۱۶،۶	۱۱۷	۱۱۸،۱

جدول(۱۰) تاثیر افزودنی شیمیایی الکل صنعتی بر پارامترهای دانه بندی و قابلیت خردایش نمونه‌های مرحله اول کانسنگ زغالسنگ گلیران[4].

	بدون افزودنی	غلظت (٪)			
		۰،۰۵	۰،۱	۰،۱۵	۰،۲۵
ضریب پراکندگی (b)	۲،۱۱	۲،۳۵	۱،۸۴	۲،۱۴	۲،۵۴
اندازه مطلق تابع روزین – راملر (a)	۳۷،۱	۳۸،۹	۳۲،۳	۳۲،۱	۳۶،۶
d_{80} محصول آسیا با روش روزین-راملر(میکرون)	۴۶،۵	۴۷،۷	۴۱،۹	۴۰	۴۴،۲
d_{50} محصول آسیا با روش روزین-راملر(میکرون)	۳۱،۲	۳۳،۳	۲۶،۵	۲۷	۳۱،۷
اندیس کار هاردگرو	۱۱۵،۶۷	۱۱۶،۷	۱۱۶،۳	۱۱۸،۱	۱۱۳،۴
اندیس کار باند	۹،۵۸۸	۹،۵	۹،۵۳	۹،۳۷	۹،۸
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	۱	۰،۶	۲،۲۷	۲ -



شکل(۵) تاثیر افزودنی الکل صنعتی بر دانه بندی محصول خردایش نمونه های زغال مرحله اول[4].



شکل(٦) تاثیر افزودنی اسید ترپانتینیک بر دانه بندی نمونه‌های محصول خردایش زغال مرحله اول[4].

ج ـ تاثیر مواد افزودنی بر قابلیت خردایش انتخابی زغال‌سنگ

به منظور تکمیل مطالعات مربوط به کاهش انرژی خردایش، از محصول آسیای هاردگرو در هر آزمایش نمونه‌هائی تهیه شد و پس از حرارت دادن ،مقدار درصد خاکستر اندازه‌گیری شد. این نتایج برای ابعاد زیر ۲۰۰ مش نمونه‌های سری اول و دوم در جدول های (۱۱ تا ۱۷) ارائه شده است. همچنین در شکلهای ۶ تا ۹ تاثیر حضور مواد افزودنی در محیط خردایش خشک زغالسنگ در آسیای هاردگرو بر تغییرات درصد خاکستر بخش ریزتر از ۷۵ میکرون محصول خردایش ارایه شده است. مقایسه این نتایج با تغییرات قابلیت خردایش نشان دهنده نوعی هماهنگی نسبی بین کاهش درصد خاکستر و قابلیت خردایش است. اهمیت این پدیده در مورد زغال بسیار مهم است، زیرا یکی از پارامترهای مهم در مورد زغال‌سنگ درصد خاکستر است و البته در طراحی کارخانه زغالشوئی، کاهش درصد خاکستر نقش بسیار مهمی دارد. حضور ماده افزودنی موجب میشود تا سرعت سینتیکی خردایش زغال نسبت به خاکستر آن در بعضی از ابعاد ذرات ، به علت تغییرات بار سطحی، تغییر نماید و در واقع در مرحله خردایش زغال میتوان خردایش و جدایش همزمان را مشاهده نمود ، که از نظر اقتصادی نیز پراهمیت است.

جدول(۱۱) تاثیر افزودنی شیمیایی اسید ترپانتینیک بر پارامترهای دانه‌بندی و قابلیت خردایش نمونه‌های مرحله اول کانسنگ زغالسنگ گلیران[4].

	بدون افزودنی	غلظت (٪)		
		۰،۱	۰،۲	۰،۲۵
ضریب پراکندگی (b)	۲،۱۱	۲،۵۳	۱،۸۸	۱،۷۴
اندازه مطلق تابع روزین ـ راملر (a)	۳۷،۱	۳۶،۸	۳۶،۱	۳۰،۹
d_{80} محصول آسیا با روش روزین ـ راملر(میکرون)	۴۶،۵	۴۴،۴	۴۶،۵	۴۰،۶
d_{50} محصول آسیا با روش روزین ـ راملر(میکرون)	۳۱،۲	۳۱،۹	۲۹،۷	۲۵،۱
اندیس کار هاردگرو	۱۱۵،۶۷	۱۱۷	۱۱۸،۱	۱۱۳،۲
اندیس کار باند	۹،۵۸۸	۹،۴۷	۹،۳۱	۹،۸۱۵
درصد کاهش انرژی	۰	۲،۳	۲،۹	- ۲،۴

جدول(۱۲) تغییرات درصد خاکستر در بخش ریزتر از ۷۵ میکرون محصول خردایش زغال نسبت به غلظت افزودنی الکل صنعتی برای نمونه‌های مرحله اول[4].

	بدون افزودنی	الکل صنعتی(غلظت(٪))			
		۰،۰۵	۰،۱	۰،۱۵	۰،۲۵
درصد خاکستر(٪)	۱۸	-	۲۱	۱۹	۲۰
درصد کاهش خاکستر(٪)	۰	-	۱۶،۶-	- ۵،۵	- ۱۱،۱
اندیس هاردگرو	۱۱۵،۶۷	۱۱۶،۷	۱۱۶،۳	۱۱۸،۱	۱۱۳،۴

جدول(۱۳) تغییرات درصد خاکستر در بخش ریزتر از ۷۵ میکرون محصول خردایش زغال نسبت به غلظت افزودنی اسید ترپانتینیک برای نمونه های مرحله اول[4].

	بدون افزودنی	اسید ترپانتینیک(غلظت(٪))		
		۰،۱	۰،۲	۰،۲۵
درصد خاکستر(٪)	۱۸	۱۷	۱۵	۱۵
درصد کاهش خاکستر(٪)	۰	۵،۵	۱۶،۶	۱۶،۶
اندیس هاردگرو	۱۱۵،۶۷	۱۱۶،۶	۱۱۷	۱۱۸،۱

جدول(۱٤) تغییرات درصد خاکستر در بخش ریزتر از ۷۵ میکرون محصول خردایش زغال نسبت به غلظت افزودنی اسید ترپانتینیک برای نمونه‌های مرحله دوم[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۰۵	۰،۱	۰،۱۵	۰،۲	۰،۲۵	۰،۳	۰،۳۵	۰،۴	۰،۴۵
درصد خاکستر	۱۹	۱۷	۱۳	۱۳	۱۲	۱۴	۱۶	۱۶	۲۳	۲۴
درصد کاهش خاکستر	۰	۱۰	۳۱	۳۱	۳۸	۲۷	۱۶	۱۶	- ۲۱	- ۲۶
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	۵،۵	۴،۴	۴،۱	۵،۱۵	۶،۳۹	۳،۱	۳،۴	- ۲،۹	- ۸،۰

جدول(۱۵) تغییرات درصد خاکستر در بخش ریزتر از ۷۵ میکرون محصول خردایش زغال نسبت به غلظت افزودنی صنعتی RGA برای نمونه‌های مرحله دوم[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۰۶	۰،۱۲	۰،۱۸	۰،۲۴	۰،۳	۰،۳۶	۰،۴۲	۰،۴۸
درصد خاکستر	۱۹	۲۰	۳۲	۳۴	۳۶	۳۴	۳۱	۳۳	۳۶
درصد کاهش خاکستر	۰	- ۵	- ۶۸	- ۷۸	- ۸۹	- ۷۸	- ۶۳	-۷۳	- ۸۹
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	۱،۱۸	۲	۳،۱۳	۴،۸	۲،۲۴	۰،۱۲	۱،۲	۲،۲۶

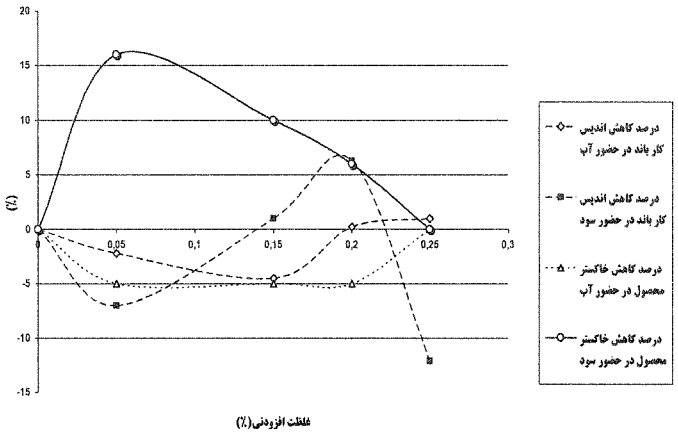
جدول(۱۶) تغییرات درصد خاکستر در بخش ریزتر از ۷۵ میکرون محصول خردایش زغال نسبت به غلظت افزودنی شیمیایی سود برای نمونه‌های مرحله دوم[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۰۵	۰،۱۵	۰،۲	۰،۲۵
درصد خاکستر	۱۹	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹
درصد کاهش خاکستر	۰	۱۶	۱۰	۶	۰
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	- ۷	- ۱،۰	- ۶،۳	- ۱۲،۱

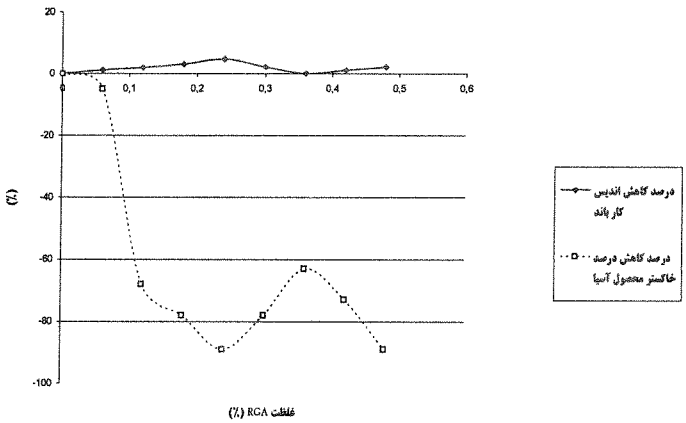
جدول(۱۷) تغییرات درصد خاکستر در بخش ریزتر از ۷۵ میکرون محصول خردایش زغال نسبت به غلظت افزودنی آب برای نمونه‌های مرحله دوم[4].

غلظت(٪)	۰	۰،۱۵	۰،۲	۰،۲۵
درصد خاکستر	۱۹	۲۰	۲۰	۱۹
درصد کاهش خاکستر	۰	-۵	-۵	۰
درصد کاهش انرژی خردایش	۰	- ۴،۵	۰،۲۳	۱

نتایج حاصل بسیار جالب توجه هستند، بطوریکه در مورد نمونه های مرحله اول اسید ترپانتینیک تا حد قابل توجهی درصد خاکستر زغال را کاهش داد. در واقع حضور مواد افزودنی موجب شد تا سرعت سینتیکی خردایش زغال نسبت به خاکستر آن افزایش یابد. بالعکس استفاده از الکل صنعتی موجب افزایش درصد خاکستر زغال شد و در واقع سرعت سینتیکی خاکستر نسبت به زغال افزایش یافت. در شرائط عدم حضور مواد افزودنی، سرعت سینتیکی خردایش زغال و خاکستر یکسان است. حضور مواد افزودنی موجب تغییرات خواص سطح ماده تحت خردایش گردید و در مورد اسید ترپانتینیک همانطور که اشاره شد تغییرات بار سطحی موجب بهبود خردایش زغال و بالعکس در مورد الکل صنعتی موجب افزایش درصد خاکستر شد. همچنین هماهنگی نسبی تغییرات کاهش درصد خاکستر با کاهش انرژی خردایش مشاهده شد، که بطور نسبی روند مشابهی را از خود نشان میدهند.

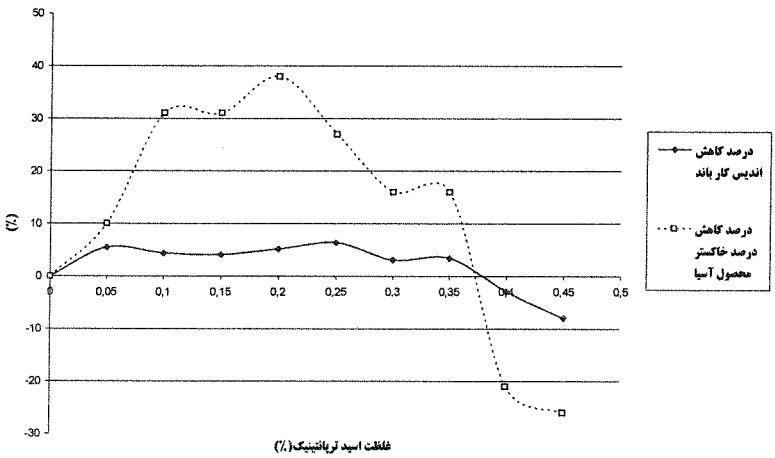


شکل(۷) تاثیر افزودنی های آب و سود بر کاهش درصد خاکستر و اندیس کار باند محصول خردایش نمونه های زغال مرحله دوم[4].



شکل(۸) تاثیر افزودنی صنعتی RGA بر کاهش درصد خاکستر و اندیس کار باند محصول خردایش نمونه‌های زغال مرحله دوم[4].

نتایج تغییرات درصد خاکستر برای نمونه‌های مرحله دوم در جدول(۱۴ تا ۱۷) ارائه شده است. در این مرحله باز هم اسید ترپانتینیک بیشترین اثر را از خود نشان داده است، بطوریکه در محدوده غلظت بهینه کاهش انرژی خردایش حدود ۳۸ درصد کاهش، در درصد خاکستر مشاهده میشود. استفاده از آب در عمل موجب تغییر چندانی در کاهش درصد خاکستر نشده و تغییرات خیلی کمی مشاهده میشود. استفاده از سود توانست تا با شدت کمتر (نسبت به اسید ترپانتینیک)، تا حدی درصد خاکستر را کاهش دهد و در نهایت استفاده از افزودنی صنعتی RGA موجب افزایش چشمگیر درصد خاکستر شد و حضور این ماده به شدت سرعت سینتیکی خردایش خاکستر نسبت به زغال را افزایش داد. اگر نتایج درصد کاهش خاکستر و انرژی خردایش را با هم مقایسه کنیم، روند تغییرات مشابه به طور نسبی مشاهده میشود که در مورد هر ماده افزودنی با شدت و ضعف خاصی شکل گرفته است. بنابراین میتوان ادعا نمود که حضور مواد افزودنی موجب ایجاد پدیده قابلیت خردایش انتخابی شده و سرعت سینتیکی خردایش زغال را نسبت به خاکستر تغییر داده است. اما این تغییر در بعضی موارد مثبت و در برخی دیگر منفی بوده و تاثیر آن با شدت‌های مختلف بر خردایش موثر بوده است. در نهایت یک رفتار مشابه بین روند تغییرات انرژی و درصد کاهش درصد خاکستر بطور نسبی قابل مشاهده است[4].



شکل(۹) تاثیر افزودنی اسید ترپانتینیک بر کاهش درصد خاکستر و اندیس کار باند محصول خردایش نمونه‌های زغال مرحله دوم[4].

٤ـ بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل میتوان افزودنیهای مورد استفاده را از نظر عملکرد به چند گروه تقسیم کرد[4]:

الف ـ افزودنی‌های با تاثیر مثبت: تنها افزودنی که در این مطالعات از نظر کاهش انرژی، قابلیت خردایش انتخابی و کاهش دانه‌بندی محصول موثر بود، را میتوان اسید ترپانتینیک در نظر گرفت، که موجب کاهش ۶٪ انرژی خردایش شد.

ب ـ افزودنی‌های با تاثیر متفاوت: الکل صنعتی، افزودنی صنعتی سیمان و سود را میتوان با تاثیرات متفاوت و متناقض در این بررسی‌ها ارزیابی نمود. استفاده از الکل موجب شد تا قابلیت خردایش و دانه ریزی محصول دچار تغییرات نسبی شود، بطوریکه در یک محدوده مشخص شاهد بهبود دو عامل فوق و در غلظت‌های دیگر کاهش کارائی خردایش مشاهده شد. از طرفی الکل، موجب افزایش درصد خاکستر زغال میشود. سود سوز آور بشدت موجب افزایش قابلیت خردایش (انرژی مصرفی آسیا) میشود،اما استفاده از آن، درصد خاکستر را کاهش میدهد. در نهایت افزودنی صنعتی سیمان از نظر کاهش انرژی خردایش تاثیر مثبت داشته است(۴،۸٪)، اما بشدت درصد خاکستر زغال را افزایش داده است.

ج ـ افزودنی‌های با تاثیر منفی و بدون تاثیر: آب و دی اتانولامین در این بررسی‌ها بعنوان موادی بدون تاثیر و حتی با تاثیر منفی ارزیابی میشود.حضور دی اتانولامین در محیط خردایش، موجب تغییرات نا منظم میشود،که موجب افت کارائی سیستم میشود. آب هم موجب افزایش انرژی مصرفی شد ولی بر درصد خاکستر بدون تاثیر بوده است.

بنابراین افزودنی اسید ترپانتیتیک بهترین نتایج را بوجود آورد. سایر افزودنیها با توجه به تقسیم بندی انجام شده، یا موجب تاثیر منفی شدند و یا این که اثرات مختلف و متناقضی را ایجاد نمودند. در واقع متناسب با اولویت‌های طراحی کارخانه فرآوری میتوان افزودنی مورد نظر و میزان مصرف آن را انتخاب نمود. در مورد زغالسنگ درصد خاکستر زغال، پارامتر بسیار مهمی است که با توجه به نتایج حاصل، استفاده از مواد افزودنی (مانند اسید ترپانتینیک) میتواند ضمن کاهش انرژی خردایش، محصولی با درصد خاکستر استاندارد یا نزدیک به آن تولید کند، که در این صورت حجم عملیات زغالشوئی کاهش می یابد.

زیرنویس‌ها

1 - Comminution
1 - Grinding Aids
1 -Selective Grinding
1 -Bond Work Index
1 -Hardgrove Index
1 -Rosin- Rameler

مراجع

[1] Juhasz.A.Z.,Opoczky.L.,"Mechanical Activation of Minerals by Grinding",Ellis Horwood limited Publisher,1990.

[۲] رفیعی،امیر آرش،تاثیر مواد افزودنی در بهینه سازی آسیای مواد معدنی،سمینار کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن دانشکده فنی، دانشگاه تهران ،۱۳۸۱.

[3] Klimple.R.R., " Influence of Material Breakage Properties and Associated Slurry Rheology on Breakage Rates in Wet Grinding of Coal/ Mineral in Tumbling Mills " , Reagents in the Mineral Industry , The Institution of Mining and Metallurgy , pp.265-271,1984.

[۴] رفیعی،امیر آرش،تاثیر مواد افزودنی در بهینه سازی آسیای مواد معدنی،پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن دانشکده فنی، دانشگاه تهران ،۱۳۸۱.

[۵] رضائی،بهرام، تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (خردایش و طبقه بندی)، موسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور، ۱۳۷۶.