تاثیر مواد افزودنی شیمیائی بر توزیع دانه بندی، انرژی مصرفی، زمان و قابلیت خردایش کانسنگ مس سرچشمه

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

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

محمد نوعپرست
استادیار
گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

محمد کلاهدوزان
استادیار
گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

محمد شریف آخوندی
کارشناسی
استخراج معدن، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

یکی از مباحث مهندسی خردایش بعنوان یکی از شاخه‌های فرآوری مواد معدنی، استفاده از مواد افزودنی شیمیائی یا کمک آسیاها است. مطالعات نشان داده که این مواد از جهات مختلفی می‌توانند موجب بهبود فرآیند خردایش شوند و البته بیشتر برای مواد معدنی غیر فلزی استفاده میشود. در این مقاله نتایج مطالعات انجام شده بر روی کانسنگ مس سرچشمه ارائه میگردد و تغییرات ایجاد شده در پارامترهای خردایش مانند قابلیت خردایش، دانه‌ریزی محصول، زمان خردایش و توزیع دانه‌بندی محصول خردایش در اثر استفاده از دو افزودنی شیمیایی سدیم تری پلی فسفات و سود سوز آور مورد بررسی قرار میگیرد. این نتایج نشان میدهد که با استفاده از غلظت بهینه هر یک از مواد افزودنی فوق، در پارامترهای خردایش بهبود حاصل شده است. بطوریکه افزودنی‌های شیمیایی سدیم تری پلی فسفات و سود سوز آور موجب کاهش انرژی مصرفی خردایش، افزایش دانه‌ریزی محصول و کاهش زمان خردایش شده‌اندکه البته تاثیر سود سوزآور با توجه به عملکرد آن مطلوب تر بوده است. در صورت مثبت بودن این نتایج در ابعاد صنعتی و انجام مطالعات فنی و اقتصادی، میتوان از این روش برای بهبود فرآیند خردایش کانسنگ مس استفاده کرد.

کلمات کلیدی

مهندسی خردایش، کمک آسیاها، شاخص قابلیت خردایش، تابع روزین ـ راملر، روش آناکوندا.

Effects of Chemical Grinding Aids on Particle Size Distribution, Consumption Energy , Grinding Time and Grindability of Sarcheshmeh Copper Ore

A. A. Rafiei
M. Sc.
Mining, Mineral Processing Graduated
University of Tehran

B. Rezai
Associate Professor
Metallurgy & Petroleum Engineering
Department, Amirkabir
University of Technology

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

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

M. Sharif Akhoundi
B.Sc.
Mining Excavation Graduated , Amirkabir University of Technology

Abstract

Applications of grinding aids are known as one of the developed subject of comminution engineering which is one of the mineral processing branch. The different studies indicated that application of grinding aids could provide some advantages on grinding process. Also these advantages have more effects on non-metallic ores rather than metallic ones. This paper presentts results of grinding aids effects on grinding process of Sarcheshmeh copper ore.

The effects of Sodium Tri Poly Phosphate (STPP) and Soda (NaOH) as grinding aids were studied on grinding parameters like grindability, fineness, grinding time and particle size distribution. Results indicated that grinding aids could make considerable changes on grinding parameters. On the other hand the presence of STPP and NaOH caused decrease of consumption energy, increasing of mill product fineness and decreasing of grinding time. In addition the application of NaOH caused more effects on grinding process than STPP. Consequently the application of grinding aids on their optimized concentration provided considerable advantages which could apply in industrial units with respect to results of feasibility study.

Key Words

Comminution, Grinding Aids, Grindability, Rosin - Rameler Function, Anaconda Method.

مقدمه

مهندسی خردایش[1] از مباحثی است که در صنایع وابسته به مهندسی معدن، متالورژی و شیمی و بطور خاص در کارخانجات سیمان، سرامیک، کاغذ و بازیافت مواد کاربرد دارد. با توجه به مطالعات انجام شده حدود ۳ درصد از کل انرژی برق تولیدی دنیا در واحدهای خردایش مصرف میشود و از این جهت هرگونه بهبود در مصرف انرژی موجب تاثیرات چشمگیری خواهد شد[1]. در سالهای اخیر فلز مس اهمیت ویژه‌ای در بازار جهانی در مقایسه با سایر مواد معدنی یافته است، بطوریکه در سال ۱۹۹۹ حدود ۲۱،۳ درصد کل بودجه جهانی اکتشاف مواد معدنی را به خود اختصاص داده است[2]. فرآوری کانسنگ مس به منظور تولید شمش، شامل مراحل استخراج، خردایش، تغلیظ و ذوب یا لیچینگ میباشد. هدف از مرحله خردایش، رساندن ذرات به درجه آزادی مطلوب برای جدایش در مراحل بعدی است. از نظر اقتصادی در کارخانه‌های تغلیظ حدود ۳۰- ۴۰ درصد کل هزینه‌ها مرتبط با واحد خردایش (سنگ شکنی و آسیا) میباشد. مواد افزودنی شیمیائی[2] شامل ترکیبات آلی و غیر آلی و پلیمری هستند و بطور عمده بدلیل قابلیت سطح سازی و تفرق موجب ایجاد تغییراتی در رفتار سطحی ذرات تحت خردایش میشوند و در نتیجه میتوانند موجب بهبود فرآیند خردایش شوند. با توجه به توضیحات فوق نمونه کانسنگ معدن سرچشمه مورد آزمایشهای مختلفی با حضور مواد شیمیائی افزودنی سدیم تری پلی فسفات و سود سوزآور قرار گرفت، تا اثر آنها بر خردایش ماده مورد بررسی قرار گیرد.

۱ـ تاثیر مواد افزودنی در فرآیند خردایش

مواد افزودنی شیمیائی یا کمک آسیاها از دیدگاههای مختلفی مورد بررسی قرار گرفتند. گروهی از محققان این مواد را به

دو گروه (الکیل آمین‌ها، الکل‌ها و اسیدهای مونو کربوکسیلیک) و (اسیدهای آمینو استیک، نمکهای آمونیوم، آریل آمین‌ها و هیدروکربن‌ها) تقسیم کرده‌اند. در تقسیم‌بندی دیگری که حالت کاربردی دارد، افزودنیها به دو گروه (سطح سازها) و (الکترولیت‌ها و نمکهای غیر آلی) تقسیم میشوند. نمکهای غیر آلی خود به دو زیر شاخه فولوکولان‌ها و متفرق کننده‌ها قابل تقسیم است[3]. استفاده از مواد افزودنی در خردایش موجب نتایج مختلفی میشود، که بطور خلاصه عبارتند از[2,3,4]:

الف ـ کاهش انرژی مصرفی ، ب ـ دانه‌ریزی[3] بیشتر محصول ،ج ـ تولید محصولی با سطح مخصوص بیشتر، د ـ بهبود سیالیت و انتقال مواد در داخل آسیا، وـ کاهش گرانروی پالپ، زـ ایجاد قابلیت خردایش انتخابی[4] ، ح ـ تاثیر بر فرآیندهای تغلیظ و جدایش.

نتایج فوق را میتوان بیشتر تابعی از بهبود سیالیت و عوامل رئولوژیکی پالپ دانست و از این دیدگاه مواد افزودنی را میتوان به چهار گروه تفکیک کرد [3]:

الف ـ مواد شیمیائی با وزن مولکولی کم، ب ـ پلیمرهای قابل حل در آب، ج ـ متفرق کننده‌های غیر آلی مانند سیلیکات سدیم و سدیم تری پلی فسفات، د ـ بازها مانند هیدروکسید سدیم و پتاسیم.

در مورد چگونگی انتخاب ماده افزودنی دو پارامتر ساختار شیمیائی و طول زنجیر مولکولی اهمیت زیادی دارند. مطالعات نشان داده است که اگر یک افزودنی بتواند پیوندهای پلاریزه متقارنی را تشکیل دهد، بیشترین کارائی حاصل میشود. از طرفی هر افزودنی دارای یک محدوده غلظت بهینه است و در سایر غلظت‌ها موجب کاهش کارائی سیستم میشود [3]. در مورد طول زنجیر باید گفت که با افزایش این عامل نقطه ذوب و جوش مواد افزایش و بالعکس امکان برقراری پیوند با ذرات کاهش پیدا می‌یابد [5]. بطور کلی میتوان گفت که انتخاب افزودنی برای هر ماده بیشتر با روند سعی و خطا انجام میشود و نیاز به انجام آزمایش‌های متعددی دارد.

۲ـ مطالعات آزمایشگاهی

۲-۱ـ اندازه‌گیری شاخص قابلیت خردایش با استفاده از روش آناکوندا

روش آناکوندا[5] بر خلاف روش استاندارد باند[6] به صورت تر انجام میشود و این قابلیت را دارد تا با دقت مناسب، در زمان کمتر مقدار شاخص قابلیت خردایش را تخمین بزند. توزیع دانه‌بندی بار اولیه مورد استفاده در این روش دارای اهمیت زیادی است. روش آناکوندا را میتوان درکلیه آسیاهای گلوله ای آزمایشگاهی انجام داد، به شرط آن که مقدار وزن گلوله هر آسیا و ضریب کالیبراسیون آن را متناسب با آسیای گلوله‌ای استاندارد این روش تعیین کرد. با استفاده از رابطه (۱) مقدار شاخص قابلیت خردایش تعیین میشود[6]:

$$Wi=K.((1/\sqrt{P_{80}})-(1/\sqrt{F_{80}}))^{-1} \qquad (۱)$$

در این رابطه Wi نشان‌دهنده شاخص قابلیت خردایش بر حسب کیلو وات ساعت بر تن متریک است،F_{80} نشان دهنده درصد تجمعی عبوری دانه‌بندی خوراک، P_{80} درصد تجمعی عبوری دانه بندی محصول خردایش و K ضریب کالیبراسیون است،که برای آسیای گلوله ای مورد استفاده برابر ۰،۵۴ است.

۲-۲ـ تابع توزیع دانه بندی روزین ـ راملر

یکی از روش‌های نمایش نقطه‌ای توزیع ابعاد ذرات، استفاده از معادله روزین ـ راملر[7] است. از این رابطه بطور معمول در 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 (۲) ارائه شده است[6]:

$$Wr=100\exp(-(D/a)^{b}) \qquad (۲)$$

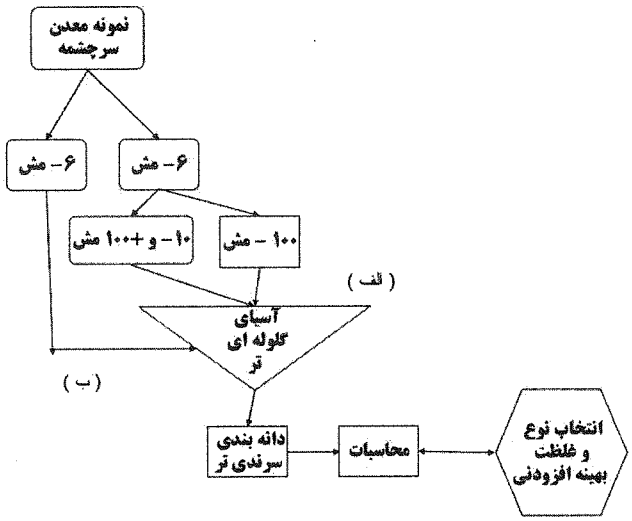
در این رابطه Wr درصد تجمعی مواد باقی مانده، D قطر متوسط عددی مورد نظر، a ضریب ثابت و معادل دهانه سرندی است که ۳۶،۸ درصد از مواد باید روی آن باقی میماند و اندازه مطلق نامیده میشود و b مقدار ثابتی است که فاکتور پراکندگی[۸] نام دارد و افزایش آن نشان‌دهنده پراکندگی بیشتر در محدوده دانه‌بندی ذرات است [6].

۲-۳ـ معیار انتخاب مواد افزودنی مورد استفاده

افزودنی سدیم تری پلی فسفات (STPP) در اصل بعنوان یکی از شوینده‌های صنعتی مورد استفاده قرار میگیرد و از نوع متفرق کننده و هیدروفیل است که بر سختی آب موثر است. حضور این ماده در محیط آبی موجب افزایش pH شده و یون‌های بیشتری در محیط باردار میشوند. STPP بعنوان یک دی فلوکولانت موجب شکسته شدن پیوندهای بین ذرات و پایداری نسبی ذرات در حالت سوسپانسیون میشود[2]. از نظر سابقه کاربرد صنعتی در فرآوری باریت، STPP بعنوان کمک آسیا مورد استفاده قرار میگیرد و روش جداسازی آن از آب مورد بررسی قرار گرفته است[7]. افزودنی سود سوز آور یا هیدروکسید سدیم از نوع هیدروفیل است و خواص قلیائی دارد. از این افزودنی در بعضی مطالعات آزمایشگاهی فرآوری کمپلکس‌های سولفیدی استفاده شده است. نتایج مطالعات نشان داد که استفاده از مواد افزودنی متفرق کننده بیشتر موجب کاهش انرژی خردایش و استفاده از مواد سطح ساز مانند سود موجب بهبود دانه‌ریزی محصول میشود. در این مطالعات سعی میشود تا پیش فرض مطروحه در مورد این دو ماده افزودنی مورد بررسی قرار گیرد. علت انتخاب این دو ماده، بررسی رفتار STPP بعنوان یک متفرق کننده متداول و سود بعنوان ماده‌ای قلیائی که بر کانسنگ‌های فلزی موثر میباشد، است[2].

۲-٤ـ نمونه‌گیری وآماده‌سازی اولیه

در این بررسی‌ها از محصول سنگ‌شکنی اولیه معدن مس سرچشمه استفاده شد. این نمونه‌ها سپس توسط سنگ‌شکن فکی و مخروطی آزمایشگاهی تا ابعاد ریزتر از ۱۰ مش خرد شدند. از محصول سنگ‌شکنی سه نوع نمونه معرف با دانه‌بندی (۶-) مش، (۱۰۰+ ۱۰-) مش و (۱۰۰-) مش تهیه شد و در مراحل مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در شکل (۱) مراحل مطالعات آزمایشگاهی ارایه شده است.



شکل(۱) فلوشیت مطالعات آزمایشگاهی کانسنگ مس سرچشمه[8].

۳ـ نتایج

۳-۱ـ تحلیل نتایج نمونه‌های مس با دانه‌بندی (۱۰۰+ ۱۰-) مش

در این مرحله با استفاده از نمونه‌های ۱۰ تا ۱۰۰ مش مطابق استاندارد روش آناکوندا آزمایشهائی در حالت با و بدون حضور افزودنیهای STPP و سود انجام شد، که نتایج آن در جدول(۱) ارائه شده است. تحلیل نتایج این نمونه‌ها از دیدگاه‌های مختلف در این بخش مورد ارزیابی قرار میگیرد[8].

الف ـ تاثیر حضور مواد افزودنی بر اندیس کار و کاهش انرژی خردایش

همانطور که در جدول (۱) مشخص است، تغییرات شاخص قابلیت خردایش، که در این بررسیها اندیس کار باند است، را میتوان بعنوان تابعی از نوع و غلظت مواد افزودنی در نظر گرفت. اگر بخواهیم مقایسه‌ای بین عملکرد دو ماده افزودنی سدیم تری پلی فسفات و سود سوز آور داشته باشیم، باید گفت که این دو ماده توانسته‌اند تاثیرات متفاوتی را بر اندیس کار باند داشته باشند. در مورد سدیم تری پلی فسفات شاهد یک روند نا منظم در درصد کاهش انرژی مصرفی هستیم و در واقع تغییرات اندیس کار باند محاسبه شده با روش آناکوندا، یک رفتار نا منظم را از خود نشان میدهد. بیشترین کاهش انرژی مصرفی برای غلظت ۰،۲ ٪ مشاهده شد که حدود ۱۰،۷ ٪ موجب کاهش اندیس کار باند شده است که این کاهش بسیار قابل توجه و مهم میباشد. در شکل (۲و۳) این تغییرات برای دو افزودنی مورد استفاده نشان داده شده است.

اگر مقدار اندیس کار در غلظت ۰،۱ ٪ را در نظر نگیریم، مشاهده میشود که با افزایش غلظت افزودنی سدیم تری پلی فسفات، ابتدا یک روند کاهش انرژی مصرفی بوجود آمده است، بطوریکه در محدوده ۰ تا ۰،۲ ٪ یک روند صعودی وجود دارد. برای غلظت‌های بیشتر از ۰،۲ ٪ شاهد یک روند نزولی هستیم، در واقع حضور افزودنی سدیم تری پلی فسفات نه تنها موجب کاهش انرژی مصرفی خردایش نشده است، بلکه موجب افت کارائی خردایش و بنابراین مصرف انرژی بیشتر و افزایش اندیس کار باند شد. با توجه به این مقادیر پیش بینی میشود که هر چقدر غلظت سدیم تری پلی فسفات بیشتر شود، کارائی خردایش کاهش و اندیس کار باند افزایش یابد. رفتار غلظت ۰،۱ ٪ دارای هماهنگی با سایر نقاط نیست. ابتدا این تصور وجود داشت که ممکن است به علت خطای آزمایشگاهی و محاسباتی، این مقدار حاصل شده باشد. اما با تکرار آزمایش در این غلظت مشخص شد، که مقدار ارائه شده، صحیح است و باید آن را بعنوان یک غلظت خاص مورد بررسی قرار داد. در آزمایشهائی که بر نمونه‌های زیر ۱۰۰ مش انجام شد، باز هم این پدیده تکرار شد و در غلظت نزدیک به ۰،۱ ٪ این رفتار نا منظم مشاهده شد. با توجه به مورد اشاره شده، به نظر میرسد که با حضور افزودنی سدیم تری پلی فسفات در ابتدا و با افزایش غلظت، افزایش سیالیت پالپ حاصل شد و لذا در بین ذرات جامد در محیط آسیا تفرق بوجود آمد. اما در غلظت ۰،۱ ٪ به علت تغییرات خواص سطحی یا pH ،نتیجه معکوس حاصل شد.

در مورد تاثیر سود سوزآور آزمایشهائی با روند مشابه STPP انجام شد. تاثیر سود بر شاخص قابلیت خردایش که در این مطالعات اندیس کار است، دارای رفتار منظم‌تری نسبت به STPP است. در واقع سود در یک محدوده گسترده تری از غلظت ها توانست با حفظ روند صعودی و نزولی بر کاهش انرژی مصرفی خردایش موثر باشد. غلظت بهینه سود در محدوده ۰،۳۶ و ۰،۴۸ درصد قابل مشاهده است، بطوریکه حدود ۷ درصد انرژی خردایش کاهش یافت. اگر بخواهیم روند تغییرات اندیس کار نسبت به غلظت سود را بررسی کنیم، سه محدوده قابل تعریف است. از غلظت ۰ ٪ تا ۰،۲۴ ٪ شاهد کاهش اندکی در مقدار اندیس کار هستیم، بطوریکه اندیس کار از ۷،۱۸ (بدون افزودنی) تا ۷،۰۸ (با غلظت ۰،۲۴٪) کاهش یافت که در نتیجه حدود ۱،۴ ٪ از انرژی خردایش کاهش می‌یابد. محدوده دوم که همان غلظت‌های بهینه است را میتوان بین ۰،۲۴ ٪ تا ۰،۴۸ ٪ مشاهده نمود، که مقدار اندیس کار به کمترین مقدار خود رسیده است. محدوده سوم بین غلظت‌های ۰،۴۸ تا ۰،۷۲٪ قابل تعریف است و حضور افزودنی موجب یک تاثیر معکوس شد و به تدریج اندیس کار افزایش یافت و در نهایت از حالت عدم حضور افزودنی هم بالاتر میرود (شکل(۲ و ۳)).

ب ـ تاثیر افزودنی بر بهبود قابلیت تولید[۹] آسیا

نتایج مطالعات کانی‌شناسی (نوری) نشان داده است که میزان درجه آزادی کانی مس حدود ۶۳ میکرون است. بر این اساس طراحی فلوشیت کارخانه فرآوری و جدایش سرچشمه به گونه‌ای است که دانه‌بندی بار اولیه واحد فلوتاسیون ریزتر از ۶۳ میکرون در نظر گرفته میشود. بر مبنای موارد فوق الذکر در مطالعات انجام شده، درصد تجمعی عبوری از سرند ۲۳۰ مش (۶۳ میکرون) را بعنوان میزان مواد تولیدی آسیا با دانه‌بندی مطلوب در نظر میگیریم (جدول (۱)).لازم به ذکر است که مبنای محاسبه درصد تجمعی عبوری از ۶۳ میکرون، استفاده از نرم افزار (Size Analysis Vr.1.97) بوده است. این نرم‌افزار با گرفتن مقادیر دانه‌بندی سرندی قادر است تا علاوه بر رسم منحنی دانه‌بندی تجمعی و عبوری، ضرائب توابع توزیع دانه‌بندی روزین ـ راملر و گادین ـ شومان را محاسبه نماید. با داشتن این ضرائب و قرار دادن آن در معادله تابع توزیع دانه‌بندی روزین ـ راملر

مقادیر درصد تجمعی عبوری از ۶۳ میکرون محاسبه شدکه در جدول (۱) ارائه شده است.

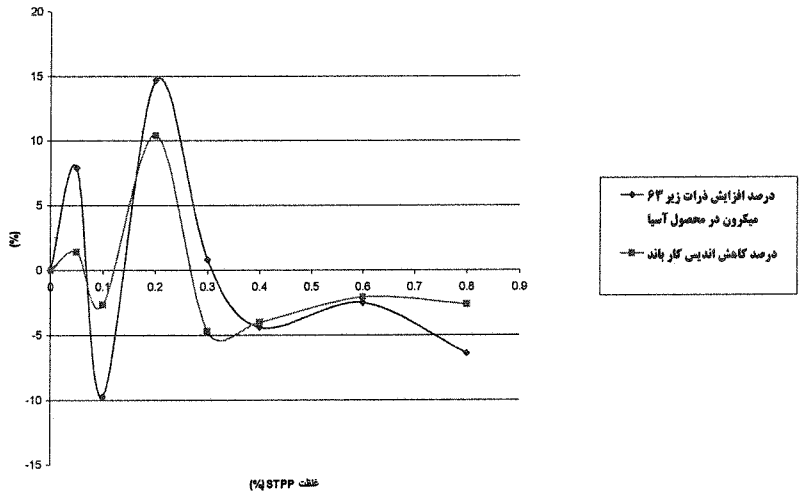
بررسی نتایج درصد تجمعی عبوری از ۶۳ میکرون و درصد افزایش تولید ماده ریزتر از ۶۳ میکرون در محصول نشان میدهد، که در غلظت بهینه STPP (۰،۲ ٪)، بیشترین افزایش در تولید محصول ریزتر از ۶۳ میکرون حاصل شده است. این نتایج بطور کامل با نتایج اندیس کار و درصد کاهش انرژی مصرفی هماهنگی دارد. در مورد سود هم، این تشابه روند نتایج اندیس کار و دانه‌بندی مشاهده میشود و هر دو پارامتر در غلظت ۰،۴۸٪ به شرائط بهینه رسیده‌اند. همچنین تغییرات نشان داده شده در شکلهای (۲و۳) به خوبی هماهنگی نسبی بین تغییرات قابلیت تولید آسیا و اندیس کار باند را نشان میدهد.

جدول (۱) تاثیر مواد افزودنی بر نمونه‌های (۱۰۰+ ۱۰-) مش کانسنگ مس سرچشمه[8].

	غلظت افزودنی شیمیائی نسبت به جامد پالپ (٪)							
سدیم تری پلی فسفات	۰	۰،۰۵	۰،۱	۰،۲	۰،۳	۰،۴	۰،۶	۰،۸
اندازه مطلق تابع روزین – راملر (a)	۶۲	۵۱،۷	۷۱،۳	۴۷،۷	۶۰،۸	۶۶	۶۴،۷	۶۸
ضریب پراکندگی (b)	۱،۰۱	۰،۷۸	۱،۲۴	۰،۹۹	۰،۸۶	۱،۳	۱،۰۶	۱،۲۵
d_{80} محصول آسیا با روش ترسیمی(میکرون)	۹۸	۹۶	۱۰۲	۸۴	۱۰۵	۱۰۴	۱۰۱	۱۰۲
d_{80} محصول آسیا با روش روزین-راملر(میکرون)	۱۰۰	۹۴،۹	۱۰۴،۶	۷۷،۲	۱۰۵،۵	۹۵،۲	۱۰۱،۴	۹۹،۶
d_{50} محصول آسیا با روش روزین-راملر(میکرون)	۴۳،۲	۵۳،۷	۵۳،۱	۳۲،۹	۳۹،۸	۴۹،۸	۴۵،۸	۵۰،۷
درصد تجمعی عبوری از ۶۳ میکرون در محصول	۶۳،۸	۶۸،۹	۵۷،۶	۷۳،۲	۶۴،۳	۶۱	۶۲،۲	۵۹،۷
درصد افزایش تولید ماده زیر ۶۳ میکرون در محصول	۰	۷،۹	- ۹،۷۴	۱۴،۷	۰،۸	- ۴،۴	- ۲،۵	- ۶،۴
اندیس باند (Wi)	۷،۱۸	۷،۰۸	۷،۳۷	۶،۴۳	۷،۵۲	۷،۴۷	۷،۳۳	۷،۳۷
درصد کاهش انرژی مصرفی	۰	۱،۴	- ۲،۶۵	۱۰،۴	- ۴،۷	- ۴	- ۲،۰۸	- ۲،۶
سود سوز آور	۰	۰،۰۶	۱،۲	۲،۴	۳،۶	۴،۸	۶،۰	۷،۲
اندازه مطلق تابع روزین – راملر (a)	۶۲	-	۵۷،۰	۶۲،۸	۵۹،۲	۵۸،۹	۵۷،۳	-
ضریب پراکندگی (b)	۱،۰۱	-	۰،۸۳	۱،۰۵	۱،۱۳	۱،۱۱	۱،۰	-
d_{80} محصول آسیا با روش ترسیمی(میکرون)	۹۸	۹۸	۹۷	۹۶	۹۲	۹۱	۹۵	۱۰۰
d_{80} محصول آسیا با روش روزین-راملر(میکرون)	۱۰۰	-	۱۰۱	۹۹	۹۰	۹۰،۴	۹۲،۲	-
d_{50} محصول آسیا با روش روزین-راملر(میکرون)	۴۳،۲	-	۳۶،۷	۴۴،۲	۴۲،۸	۴۲،۳	۳۹،۸	-
درصد تجمعی عبوری از ۶۳ میکرون در محصول	۶۳،۸	-	۶۶،۲۶	۶۳،۳	۶۵،۸	۶۵،۹۵	۶۶،۷	-
درصد افزایش تولید ماده زیر ۶۳ میکرون در محصول	۰	-	۳،۸۵	- ۰،۸	۳،۱	۳،۳	۴،۵	-
اندیس باند (Wi)	۷،۱۸	۷،۱۸	۷،۱۳	۷،۰۸	۶،۸۸	۶،۸۳	۷،۰۳	۷،۲۷
کاهش انرژی مصرفی(٪)	۰	۰	۰،۷	۱،۴	۴،۱۸	۴،۸۷	۲،۱	- ۱،۲۵

ج ـ تاثیر مواد افزودنی بر توزیع دانه بندی محصول آسیا

با استفاده از نرم افزار (Size Analysis Vr.1.97) ضرائب تابع توزیع دانه‌بندی روزین ـ راملر قابل محاسبه است. تابع توزیع دانه‌بندی روزین ـ راملر همانطور که در قبل اشاره شد دارای دو ضریب (a,b) است. ضریب b یا فاکتور پراکندگی نشان دهنده محدوده توزیع دانه‌بندی و ضریب a نشان‌دهنده اندازه مطلق دانه‌بندی است. ضریب b یا فاکتور پراکندگی نشان‌دهنده گستردگی توزیع دانه‌بندی ذرات است. افزایش مقدار این ضریب منعکس کننده کوچکتر شدن محدوده دانه‌بندی و کاهش آن به معنای گسترده‌تر شدن محدوده توزیع دانه‌بندی ذرات است. ضریب a به طور نسبی نشان‌دهنده مقدار دانه‌ریزی نسبی محصول آسیا است. در واقع افزایش این ضریب نشان‌دهنده دانه درشت‌تر بودن نسبی محصول آسیا و بالعکس کاهش آن نشان‌دهنده دانه ریزتر بودن نسبی محصول آسیا است.

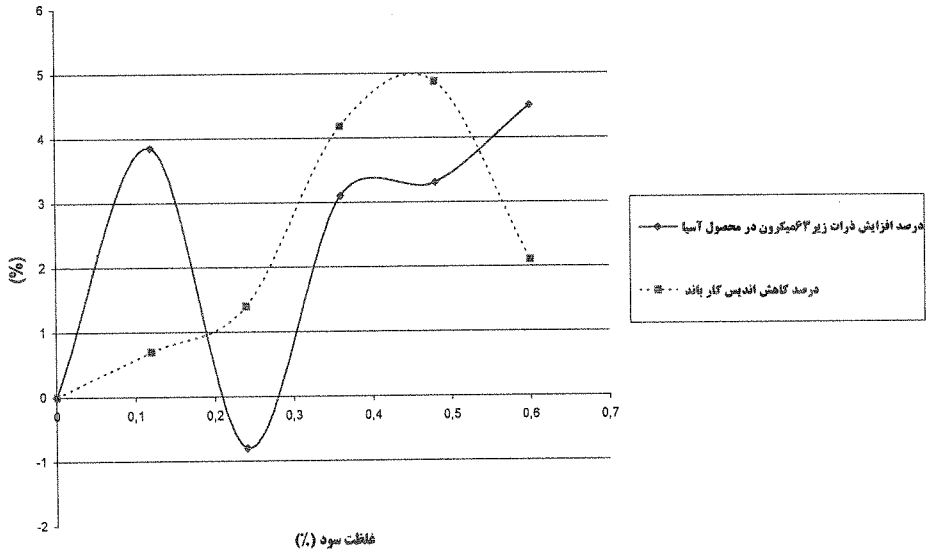


شکل(۲) تغییرات درصد بهبود اندیس کار آناکوندا و قابلیت تولید ریزتر از ۶۳ میکرون آسیا نسبت به غلظت STPP [8].

جدول(۲) تاثیر افزودنی بر پارامترهای دانه‌بندی و قابلیت تولید محصول آسیا برای نمونه‌های (۱۰۰+ ۱۰-) مش[8].

	غلظت افزودنی شیمیائی نسبت به جامد پالپ (٪)							
سدیم تری پلی فسفات	۰	۰،۰۵	۰،۱	۰،۲	۰،۳	۰،۴	۰،۶	۰،۸
اندازه مطلق (a) (میکرون)	۶۲	۵۱،۷	۷۱،۳	۴۷،۷	۶۰،۸	۶۶	۶۴،۷	۶۸
ضریب پراکندگی(b)	۱،۰۱	۰،۷۸	۱،۲۴	۰،۹۹	۰،۸۶	۱،۳	۱،۰۶	۱،۲۵
درصد تجمعی عبور کرده از ۶۳ میکرون در محصول	۶۳،۸	۶۸،۹	۵۷،۶	۷۳،۲	۶۴،۳	۶۱	۶۲،۲	۵۹،۷
درصد افزایش تولید ماده زیر ۶۳ میکرون در محصول	۰	۷،۹	-۹،۷۴	۱۴،۷	۰،۸	-۴،۴	-۲،۵	-۶،۴
درصد تجمعی عبور کرده از ۱۵ میکرون در محصول	۲۱،۳	۳۱،۷	۱۳،۵	۲۷،۲۵	۲۵،۹	۱۳،۵۶	۱۹،۱۴	۱۴،۰۴
درصد افزایش تولید ماده زیر ۱۵ میکرون در محصول	۰	۴۹	-۳۶،۶	۲۸	۲۱،۵	-۳۶،۳	-۱۰،۱	-۳۴،۱
درصد تجمعی عبور کرده از ۱۰ میکرون در محصول	۱۴،۳	۲۴،۲۵	۸،۴	۱۹،۱۸	۱۹،۰۹	۸،۲۵	۱۲،۹	۱۳،۶۸
درصد افزایش تولید ماده زیر ۱۰ میکرون در محصول	۰	۶۹،۵	-۴۱،۲	۳۴،۱	۳۳،۵	-۴۲،۳	-۹،۸	-۴،۳
درصد کاهش انرژی مصرفی	۰	۱،۴	- ۲،۶۵	۱۰،۴	- ۴،۷	- ۴	- ۲،۰۸	- ۲،۶
سود سوز آور	۰	۰،۰۶	۱،۲	۲،۴	۳،۶	۴،۸	۶،۰	۷،۲
اندازه مطلق (a) (میکرون)	۶۲	-	۵۷،۰	۶۲،۸	۵۹،۲	۵۸،۹	۵۷،۳	-
ضریب پراکندگی(b)	۱،۰۱	-	۰،۸۳	۱،۰۵	۱،۱۳	۱،۱۱	۱،۰	-
درصد تجمعی عبور کرده از ۶۳ میکرون در محصول	۶۳،۸	-	۶۶،۲۶	۶۳،۳	۶۵،۸	۶۵،۹۵	۶۶،۷	-
درصد افزایش تولید ماده زیر ۶۳ میکرون در محصول	۰	-	۳،۸۵	-۰،۸	۳،۱	۳،۳	۴،۵	-
درصد تجمعی عبور کرده از ۱۵ میکرون در محصول	۲۱،۳	-	۲۸،۱۳	۲۰	۱۹،۲	۱۹،۷	۲۳،۱	-
درصد افزایش تولید ماده زیر ۱۵ میکرون در محصول	۰	-	۳۲	-۶،۱	-۹،۸	-۷،۵	۸،۴	-
درصد تجمعی عبور کرده از ۱۰ میکرون در محصول	۱۴،۳	-	۲۱	۱۳،۵۳	۱۲،۵۵	۱۳	۱۶	-
درصد افزایش تولید ماده زیر ۱۰ میکرون در محصول	۰	-	۴۶،۸	-۵،۴	-۱۲،۲	-۹	۱۹	-
درصد کاهش انرژی مصرفی	۰	۰	۰،۷	۱،۴	۴،۱۸	۴،۸۷	۲،۱	- ۱،۲۵

با بررسی نتایج تاثیر دو افزودنی سود و STPP بر ضرائب a,b در تابع توزیع دانه‌بندی روزین ـ راملر مشخص میشود که تغییرات حاصله دارای هماهنگی کامل با نتایج اندیس کار، کاهش انرژی مصرفی و افزایش محصول تولیدی هستند. در هنگام حضور افزودنی در پالپ انتظار میرود که در غلظت بهینه، در سیستم تفرق حاصل شود و در واقع دانه‌بندی محصول بطور نسبی دانه ریزتر شود. اگر نتایج ارائه شده در جدول (۲) را مورد ارزیابی قرار دهیم، مشخص میشود که در غلظت بهینه STPP با بیشترین درصد کاهش انرژی (۱۰،۴ ٪)، بیشترین درصد تولید محصول ریزتر از ۶۳ میکرون (۱۴،۷ ٪)، مقدار ضریب توزیع b به ۰،۹۹ رسیده است. در واقع در غلظت بهینه توزیع دانه‌بندی توزیع دانه‌بندی کمتر از حالت عدم حضور افزودنی است. از طرفی اندازه مطلق یا a در غلظت بهینه به کمترین حد خود رسیده است. در مورد غلظت بهینه STPP (۰،۲ ٪)، مقدار ضریب a به حداقل خود میرسد و بیشترین دانه ریزی در محصول آسیا حاصل میشود. از طرفی مقدار ضریب b در غلظت ۰،۲ ٪ از STPP برابر ۰،۹۹ است، که به مقدار این ضریب در حالت عدم حضور افزودنی، بسیار نزدیک است. این پدیده نشان‌دهنده آن است که در این حالت گستردگی محدوده دانه‌بندی بطور تقریبی ثابت مانده، اما محصول آسیا بطور متوسط دانه ریزتر شده است. در واقع تاثیر افزودنی در غلظت بهینه موجب حرکت یک محدوده دانه‌بندی ثابت به طرف ابعاد ریزتر شده است. در مورد سود، این پدیده همانند تغییرات تولید محصول آسیا و کاهش انرژی مصرفی خردایش از یک نظم و روند منطقی تبعیت نموده است و در یک محدوده معین غلظت رفتار آن قابل پیش بینی است.



شکل(۳) تغییرات درصد بهبود اندیس کار آناکوندا و قابلیت تولید ریزتر از ۶۳ میکرون آسیا نسبت به غلظت سود[8].

د ـ بررسی تاثیر مواد افزودنی بر تولید نرمه

موضوعی که در این بخش به آن پرداخته میشود، بررسی تاثیر مواد افزودنی مورد استفاده بر قابلیت تولید ذرات نرمه[10] در محصول آسیا است. این نتایج در جدول (۲) ارائه شده است. تحلیل تغییرات تولید ذرات نرمه نتایج بسیار جالبی را آشکار میکند. در مورد تغییرات درصد تجمعی ریزتر از ۱۰ و۱۵ میکرون نسبت به غلظت افزودنی سدیم تری پلی فسفات، به علت ماهیت نامنظم تغییرات آن ،کلیه غلظت‌ها را مورد ارزیابی قرار میدهیم. در غلظت ۰،۰۵ ٪ میزان نرمه تولیدی در اثر حضور افزودنی به شدت زیاد شده و در مقابل انرژی خردایش با شدت کم کاهش می‌یابد. در غلظت ۰،۱ ٪ میزان نرمه با شدت زیاد کاهش می‌یابد و در مقابل انرژی با شدت کم افزایش میابد. در غلظت ۰،۲٪ میزان نرمه با شدت زیاد افزایش یافته و انرژی با شدت زیاد کاهش می‌یابد. در غلظت ۰،۳ ٪ میزان نرمه با شدت زیاد افزایش و انرژی مصرفی با شدت متوسط افزایش میابد. در غلظت ۰،۴ ٪ میزان نرمه با شدت متوسط کاهش یافته و انرژی مصرفی با شدت متوسط افزایش میابد. در غلظت ۰،۶ ٪ میزان نرمه با شدت متوسط کاهش و انرژی مصرفی با شدت کم افزایش میابد و در نهایت در غلظت ۰،۸ ٪ میزان نرمه با شدت متوسط کاهش و انرژی مصرفی با شدت کم افزایش میابد. بنابر این به نظر میرسد که اگر هدف از سیستم خردایش کاهش میزان نرمه باشد، با این دیدگاه غلظت ۰،۱ ٪ حالت بهینه است، زیرا میزان نرمه حدود ۴۰ درصد کاهش یافت و در

مقابل انرژی مصرفی حدود ۲ درصد افزایش دارد. اما اگر کاهش انرژی اولویت بیشتری داشته باشد، غلظت ۰،۲ ٪ حالت بهینه است.

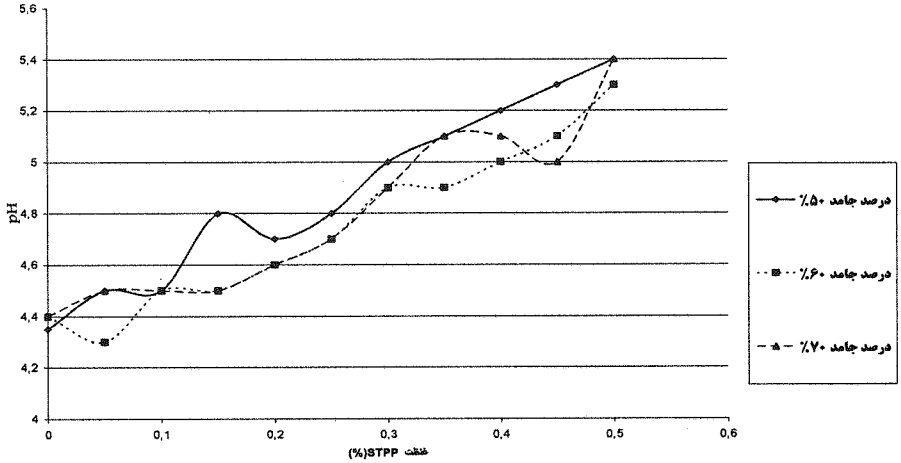
در مورد تاثیر سود، مشابه حالت قبل روند منظم در تغییرات میزان نرمه مشاهده میشود. در واقع در محدوده غلظت صفر تا ۰،۳۶ ٪ شاهد کاهش میزان نرمه و رسیدن به حد بهینه حدود ۱۰ ٪ هستیم. با افزایش غلظت، میزان نرمه تولیدی به تدریج افزایش یافت و از حالت بدون حضور افزودنی هم بیشتر شد. بطور کلی اگر بخواهیم روند تغییرات تولید نرمه در ابعاد ۱۰ و ۱۵ میکرون را مقایسه کنیم، شاهد تغییر پذیری بیشتر در ابعاد ۱۰ میکرون هستیم، که این روند در مورد هر دو ماده افزودنی صدق میکند. از طرفی استفاده از افزودنی سدیم تری پلی فسفات موجب تغییرپذیری و تاثیر بیشتری بر تغییرات میزان نرمه است، با این تفاوت که تاثیر سود در یک محدوده گسترده‌تر و بصورت منظم (در مقایسه با تغییرات نامنظم و تصادفی STPP) قابل مشاهده است.

و- بررسی تغییرات pH پالپ

به منظور انجام مطالعات تکمیلی، با استفاده از نمونه‌های موجود مقادیر pH پالپ در درصدهای جامد مختلف بررسی شد. لازم به ذکر است که برای انجام این آزمایش مقداری از بار اولیه در داخل یک ظرف شیشه‌ای ریخته شد و سپس با اضافه نمودن آب پالپ‌هائی با درصد جامد ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد ساخته شد. برای هر مورد از درصدهای جامد غلظت‌های مختلف افزودنی سدیم تری پلی فسفات به پالپ اضافه شده و پس از مخلوط شدن توسط دستگاه ،مقدار pH محلول اندازه‌گیری شد. انجام این مرحله از آزمایشها میتواند تا حدی در مورد جذب سطحی افزودنی بر سطح کانی مس مفید باشد و تعمیم نتایج آن به پالپ در حال خردایش نا درست است. شاید بتوان این گونه عنوان کرد که هدف اصلی این بخش از مطالعات، پیش بینی روند تغییرات بار سطحی و جذب سطحی افزودنی میباشد. این نتایج در جدول (۳) و شکل (۴) ارائه شده است.

همان طور که انتظار میرود با افزایش غلظت STPP بعنوان یک ماده قلیائی، شاهد افزایش pH هستیم. اما از طرفی در محدوده غلظت بهینه افزودنی یعنی ۰،۱ تا ۰،۱۵ ٪ شاهد یک رفتار غیر عادی هستیم. بطوریکه در هر سه درصد جامد، pH پالپ در این محدوده در حدود ۵،۵ ثابت مانده است. واقعیت آن است که تاثیر افزودنی در حالت بهینه، به علت تغییراتی است که در خواص سطحی ذرات ایجاد میشود. اگر فرض کنیم این تغییرات در حالت بهینه به حداکثر مقدار خود میرسد، میتوان گفت که محدوده غلظت ۰،۱ تا ۰،۱۵ ٪ همان محدوده جذب بهینه افزودنی است. با یک استدلال ساده میتوان این پدیده را تشریح نمود. فرض کنیم میخواهیم مقداری افزودنی در آب خنثی با pH صفر بریزیم. با اضافه شدن افزودنی و به علت قلیائی بودن آن pH نیز افزایش مییابد. اگر باز هم غلظت افزودنی افزایش یابد، بطور متناسب pH افزایش مییابد. در اینجا این سئوال مطرح میشود که حضور ذرات جامد (پالپ) در این سیستم موجب چه تغییراتی میشود. اگر افزودنی فقط به آب اضافه شود، یون‌های منفی آن فقط با آب ترکیب میشود. اما در حضور ذرات جامد، یون‌های منفی افزودنی امکان پیوند با یون‌های آب و ذرات جامد را می‌یابد. با توجه به این که مقادیر pH اندازه‌گیری شده، در واقع pH آب است، با یک فرض ساده میتوان نتیجه گرفت که با توجه به نتایج جدول (۳) و شکل (۴) در ابتدای حضور افزودنی در پالپ، بخش عمده یون‌های منفی تولیدی توسط افزودنی به فاز آب رفته است. اما در محدوده غلظت ۰،۱ تا ۰،۱۵٪ پدیده جالبی رخ میدهد و علت ثابت ماندن pH در این غلظت را میتوان به علت تمایل بیشتر یون‌های منفی برای ترکیب با فاز جامد توجیه نمود. در واقع به علت افزایش غلظت STPP، باید یون‌های منفی بیشتری در سیستم حاضر باشد، اما به علت تمایل نسبی بیشتر یون‌ها در جذب به سطح ذرات جامد، در عمل غلظت یون ها در فاز آبی ثابت میماند. شاید بر مبنای این استدلال محدوده مورد نظر را بتوان بعنوان بیشترین جذب سطحی در نظر گرفت.

از طرفی با توجه به مکانیزم عملکرد مواد افزودنی، حالت بهینه زمانی حادث میشود که افزودنی بیشترین تاثیر را بر بار سطحی ذرات ایجاد نماید. این عمل زمانی انجام میشود که جذب سطحی افزودنی بهینه باشد. بنابراین شاید بتوان این پدیده را بطور نسبی به عملکرد افزودنی در بهبود خردایش مرتبط دانست. غلظت افزودنی در این آزمایشها بر مبنای جرم ذرات مس تعیین شده است و همانطور که مشخص است در هر سه درصد جامد رفتار یکسانی در محدوده بهینه مشاهده شده است.



شکل(٤) تغییرات pH پالپ با درصد جامد مختلف نسبت به غلظت STPP [8].

جدول(۳) تغییرات pH پالپ مس سرچشمه نسبت به تغییر درصد جامد و غلظت STPP [8].

غلظت STPP (٪)	درصد جامد پالپ(٪)		
	۵۰	۶۰	۷۰
۰	۴،۳۵	۴،۴	۴،۴
۰،۰۵	۴،۵	۴،۳	۴،۵
۰،۱	۴،۵	۴،۵	۴،۵
۰،۱۵	۴،۸	۴،۵	۴،۵
۰،۲	۴،۷	۴،۶	۴،۶
۰،۲۵	۴،۸	۴،۷	۴،۷
۰،۳	۵	۴،۹	۴،۹
۰،۳۵	۵،۱	۴،۹	۵،۱
۰،۴	۵،۲	۵	۵،۱
۰،۴۵	۵،۳	۵،۱	۵
۰،۵	۵،۴	۵،۳	۵،۴

۳-۲ـ بررسی نتایج نمونه‌های مس با دانه‌بندی ریزتر از ۱۰۰ مش

به منظور بررسی تاثیر مواد افزودنی بر ذراتی با دانه‌بندی ریزتر، نمونه‌های با دانه‌بندی ریزتر از ۱۰۰ مش تهیه شد و مطالعاتی مشابه موارد فوق در حالت با و بدون حضور افزودنیهای STPP و سود بر آنها انجام شد. نتایج این آزمایشها در جدول (۴) ارائه شده است [8]:

الف ـ تاثیر مواد افزودنی بر اندیس کار و کاهش انرژی مصرفی خردایش

مقادیر محاسبه شده برای اندیس کار باند در این بخش، با استفاده از روش مقایسه‌ای بدست آمده است و لذا از دقت کمی برخوردار میباشد. اما بطور نسبی میتوان این مقادیر را با یکدیگر مقایسه نمود. در واقع مبنای چنین محاسبه‌ای، این است که مقدار انرژی مصرفی آسیا که تابعی از گشتاور آسیا و تعداد دور آن است، ثابت میباشد. بنابراین میتوان تغییرات حاصل شده در دانه‌بندی محصول را با استفاده از رابطه باند و با استفاده از روش مقایسه‌ای به اندیس کار نسبت داد.

اگر تغییرات d_{80} محصول آسیا را برای غلظت‌های مختلف دو افزودنی بررسی کنیم، مشخص میشود که برای مواد با دانه بندی کمتر تاثیر افزودنی به مراتب کمتر بوده است. این پدیده بعنوان یک واقعیت توسط محققان مختلفی بیان شده است. در واقع با ریز شدن دانه‌بندی ذرات، انرژی بیشتری برای خردایش لازم است و تاثیر مواد افزودنی کاهش می‌یابد. به بیان دیگر محدوده ای از دانه‌بندی ذرات وجود دارد که حضور یا عدم حضور مواد افزودنی تاثیری بر آن ندارد. مواد افزودنی بر ذرات

درشت بدون تاثیر هستند و تنها قادر هستند تا برذراتی با دانه‌بندی متوسط موثر باشند و بر ذرات درشت (سنگ شکنی) و بر ذرات خیلی دانه ریز اثر چندانی ندارند.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول(۴)، حضور دو افزودنی STPP و سود همانند حالت قبل (اما با شدت کمتری) موجب بهبود و افت کارائی سیستم خردایش شده است. بر خلاف ذرات با دانه‌بندی استاندارد آناکوندا، که حضور افزودنی STPP موجب رفتاری نا منظم شده است، در اینجا استفاده از این نوع افزودنی به استثنای غلظت ۰،۱۲ ٪، در سایر نقاط از یک روند منطقی و قابل پیش بینی تبعیت میکند. غلظت بهینه در این مورد ۰،۲۴٪ بود که توانسته است حدود ۹،۴ ٪ انرژی را کاهش دهد. البته لازم به ذکر است که چون اندیس کار بر مبنای روش مقایسه‌ای ارائه شده است، دارای دقت زیادی نیست. در مورد نمونه‌های مورد استفاده با سود و با دانه‌بندی ریزتر از ۱۰۰ مش تنها d_{80} اندازه‌گیری شد و بر مبنای آن اندیس کار از روش مقایسه‌ای محاسبه گردید.

ب ـ تاثیر بر قابلیت تولید محصول آسیا

محاسبات مربوط به درصد تجمعی عبوری از ۶۳ میکرون (سایز آزادی کانسنگ مس سرچشمه) در جدول (۴) فقط برای افزودنی سدیم تری پلی فسفات محاسبه شده است. با بررسی مقادیر درصد تجمعی عبوری از ۶۳ میکرون و درصد افزایش تولید ریزتر از ۶۳ میکرون آسیا در جدول(۴) مشاهده میشود، که همانند نمونه‌های استاندارد آناکوندا، نوعی روند منطقی بین حضور افزودنی و تولید ذرات دانه ریزتر وجود دارد. در حالت عدم حضور مواد افزودنی، درصد تجمعی عبوری از ۶۳ میکرون ۹۳،۱ ٪ بوده است. در محدوده غلظت بین ۰٪ تا ۰،۳۶ ٪ این مقدار تا ۹۳،۷ ٪ افزایش مییابد که میتواند بعنوان حد بهینه تولید آسیا در نظر گرفته شود. از این غلظت به بعد شاهد روند نزولی تولید ذرات دانه ریز (ریزتر از ۶۳ میکرون) هستیم. در واقع دو محدوده صعودی و نزولی برای تولید ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون قابل مشاهده است.

جدول(٤) تاثیر مواد افزودنی بر نمونه‌های (۱۰۰-) مش کانسنگ مس سرچشمه[8].

	غلظت افزودنی شیمیائی نسبت به جامد پالپ (٪)					
سدیم تری پلی فسفات	۰	۰،۱۲	۰،۲۴	۰،۳۶	۰،۴۸	۰،۶
اندازه مطلق (a) (میکرون)	۳۱،۹	۳۲،۲	۳۱،۰	۲۹،۴	۳۱،۹	۳۲،۰
ضریب پراکندگی(b)	۱،۵۱	۱،۲۹	۱،۴۱	۱،۳۴	۱،۳۸	۱،۴۲
d_{80} محصول آسیا با روش ترسیمی(میکرون)	۴۵	۴۷	۴۳	۴۴	۴۵	۴۸
d_{80} محصول آسیا با روش روزین-راملر(میکرون)	۴۳،۷	۴۶،۵	۴۳،۴	۴۲	۴۵،۱	۴۴،۶
d_{50} محصول آسیا با روش روزین-راملر(میکرون)	۲۵	۲۴،۳	۲۳،۹	۲۲،۴	۲۴،۵	۲۴،۷
درصد تجمعی عبور کرده از ۶۳ میکرون در محصول	۹۳،۱	۹۰،۷	۹۳،۴	۹۳،۷	۹۲،۲۵	۹۲،۷
درصد افزایش تولید ماده زیر ۶۳ میکرون در محصول	۰	- ۲،۶	۰،۳	۰،۷۲	- ۰،۹	- ۰،۴۴
اندیس باند (Wi)	۷،۱۸	۸،۲۲	۶،۷۵	۷،۰۸	۷،۴۴	۸،۶۶
درصد کاهش انرژی مصرفی	۰	- ۱۴،۵	۹،۴	۱،۴	۰	- ۲۰،۶
سود سوز آور	۰	۰،۰۷۵	۰،۱۵	۰،۳	۰،۴۵	۰،۵
d_{80} محصول آسیا با روش ترسیمی(میکرون)	۴۵	۴۳	۴۴	۴۵	۴۷	۴۸
اندیس باند (Wi)	۷،۱۸	۶،۷۵	۷،۰۸	۷،۴۴	۸،۲۲	۸،۶۶
درصد کاهش انرژی مصرفی	۰	۹،۴	۱،۴	۰	- ۱۴،۵	- ۲۰،۶

این روند دارای هماهنگی نسبی با تغییرات کاهش انرژی مصرفی خردایش و پارامترهای دانه‌بندی است. در واقع همانطور که برای کاهش انرژی مصرفی در ذرات ریزتر از ۱۰۰ مش شاهد تاثیر کمتر مواد افزودنی نسبت به دانه‌بندی استاندارد آناکوندا بودیم، در این مورد هم تاثیر سدیم تری پلی فسفات در دانه‌بندی ریزتر از ۱۰۰ مش به مراتب کمتر از دانه‌بندی ۱۰ تا ۱۰۰ مش بوده است. بطوریکه برای بار اولیه با دانه‌بندی بین ۱۰ تا ۱۰۰ مش تا ۱۴ ٪ افزایش تولید ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون مشاهده شد، که این درصد برای ریزتر از ۱۰۰ مش کمتر از ۱ ٪ است. اما در مورد ذرات ریزتر از ۱۰۰ مش، یک روند منطقی و

منظم در تغییرات غلظت افزودنی نسبت به افزایش قابلیت تولید و کاهش انرژی مصرفی خردایش مشاهده میشود که در مورد بار اولیه با دانه‌بندی ۱۰ تا ۱۰۰ مش، چنین روندی وجود ندارد. دلیل این اختلافات را میتوان با این تئوری توجیه کرد که تاثیر مواد افزودنی در ابعاد بزرگ نامنظم‌تر و موثرتر است، در حالیکه در ابعاد کوچک تغییرات منظم اما با شدت کمتر قابل پیش‌بینی است. بنابراین انتخاب نوع ماده شیمیائی افزودنی و غلظت بهینه را میتوان متناسب با استراتژی طراحی واحد خردایش و نتایج تاثیر مواد افزودنی در ابعاد مختلف تعیین کرد.

ج ـ تاثیر مواد افزودنی بر توزیع دانه‌بندی

با توجه به نتایج جدول (۴) میتوان تاثیر ماده افزودنی سدیم تری پلی فسفات را بر توزیع دانه‌بندی محصول آسیا تحلیل کرد. در مورد تغییرات ضریب a که نشان‌دهنده اندازه مطلق در توزیع روزین ـ راملر است، ابتدا حضور افزودنی تاثیر چندانی نداشت، ولی با افزایش غلظت سدیم تری پلی فسفات تا ۰،۳۶ ٪ (که در محدوده غلظت بهینه است) مقدار a به حداقل خود رسید و در واقع ذرات محصول به حداکثر دانه‌ریزی میرسند. افزایش غلظت حضور افزودنی تاثیر معکوس داشت، و مقدار اندازه مطلق افزایش یافت و بیشتر از حالت بدون حضور افزودنی میشود. این روند تغییرات در مورد ضریب b یا فاکتور توزیع نیز صادق است و تا غلظت ۰،۳۶٪ از STPP شاهد کم شدن b هستیم، که نشان دهنده گستردگی محدوده دانه‌بندی و یا در واقع کاهش تجمع فیزیکی ذرات است. با افزایش غلظت، مشابه حالت قبل محدوده دانه‌بندی کوچکتر میشود و در نهایت تجمع فیزیکی ذرات افزایش می‌یابد و کارائی فرآیند خردایش کاهش مییابد. این روند تغییرات همانطور که در جدول (۴) مشخص است، با تغییرات کاهش انرژی مصرفی و افزایش قابلیت تولید محصول آسیا مطابقت دارد.

جدول(۵) تغییرات تولید نرمه و درصد کاهش انرژی مصرفی برای بار اولیه با دانه‌بندی ریزتر از ۱۰۰ مش[8].

	غلظت افزودنی شیمیائی نسبت به جامد پالپ (٪)					
سدیم تری پلی فسفات	۰	۰،۱۲	۰،۲۴	۰،۳۶	۰،۴۸	۰،۶
اندازه مطلق (a) (میکرون)	۳۱،۹	۳۲،۲	۳۱،۰	۲۹،۴	۳۱،۹	۳۲،۰
ضریب پراکندگی(b)	۱،۵۱	۱،۲۹	۱،۴۱	۱،۳۴	۱،۳۸	۱،۴۲
درصد تجمعی عبور کرده از ۶۳ میکرون در محصول	۹۳،۱	۹۰،۷	۹۳،۴	۹۳،۷	۹۲،۲۵	۹۲،۷
درصد افزایش تولید ماده ریزتر از ۶۳ میکرون در محصول	۰	-۲،۶	۰،۳	۰،۷۲	-۰،۹	-۰،۴۴
درصد تجمعی عبور کرده از۱۵ میکرون در محصول	۲۷،۴	۳۱،۱	۳۰،۲	۳۳،۴	۲۹،۷۵	۲۸،۹
درصد افزایش تولید ماده زیر۱۵ میکرون در محصول	۰	۱۳،۵	۱۰،۲	۲۱،۹	۸،۵	۵،۴
درصد تجمعی عبور کرده از ۱۰ میکرون در محصول	۱۵،۹	۱۹،۹	۱۸،۴	۲۱	۱۸،۳	۱۷،۵
درصد افزایش تولید ماده زیر ۱۰ میکرون در محصول	۰	۲۵	۱۵،۷	۳۲	۱۵	۱۰
درصد کاهش انرژی مصرفی	۰	- ۱۴،۵	۹،۴	۱،۴	۰	- ۲۰،۶

د ـ تاثیر مواد افزودنی بر تولید نرمه

در جدول(۵) مقادیر محاسبه شده درصد تجمعی عبوری از ابعاد ۱۰ و ۱۵ ارائه شده است. در واقع در تمام غلظت‌های STPP شاهد افزایش تولید نرمه هستیم و در هیچ نقطه‌ای حضور این افزودنی نتوانست در تولید مواد نرمه کاهش ایجاد نماید. در مقایسه با بار اولیه‌ای با دانه‌بندی ۱۰ تا ۱۰۰ مش میتوان ادعا نمود که حضور سدیم تری پلی فسفات در ابعاد درشت موجب کاهش مصرف انرژی و نرمه میشود، اما در ابعاد ریزتر از ۱۰۰ مش فقط توانست بر انرژی مصرفی موثر باشد. روند این تغییرات را میتوان بصورت زیر تشریح کرد:

در ابتدا با اضافه نمودن افزودنی شاهد افزایش زیاد تولید نرمه هستیم، ولی با افزایش غلظت و نزدیک شدن به غلظت ۰،۳۶٪ (که در محدوده غلظت بهینه قرار دارد)، تولید نرمه به حداکثر خود میرسد و سپس با افزایش غلظت شاهد کاهش نسبی تولید نرمه هستیم. در اینجا روند تغییرات میزان نرمه با روند تغییرات مطابقت زیادی دارد. در این ابعاد از بار اولیه هم

مانـند دانـه‌بـندی بار اولیه آناکوندا شاهد تغییرپذیری بیشتر در ابعاد ریزتر از ۱۰ مش هستیم.بنظر میرسد که غلظت ۰،۲۴٪ از STPP را میـتوان بـه عنوان بهترین حالت در نظر گرفت، زیرا بیشترین کاهش انرژی در کنار افزایش متوسط تا کم نرمه حاصل شده است.

۳-۳ـ بررسی تاثیر مواد افزودنی بر کاهش زمان خردایش

در ایـن مـرحله از نمونـه‌هـای با دانه‌بندی ریزتر از ۶ مش استفاده شد. پس از این که غلظت بهینه افزودنی‌ها برای کانسنگ مـس سرچشـمه تعیین شد، میخواهیم با تغییر زمان خردایش در حالت با و بدون حضور افزودنی به این پرسش پاسخ دهیم که آیـا بـا استفاده از مواد افزودنی میتوان با کاهش زمان خردایش (صرفه جوئی در انرژی مصرفی)، به محصولی با دانه‌بندی مشابه حاصـل از زمـان خـردایش[11] بیشـتر ولـی بـدون حضـور افزودنی دست یافت. نمونه‌ها در زمان‌های مختلف خردایش در آسیای گلوـله‌ای خـرد شـده و محصـول آسـیا در هـر مـورد آنالـیز سـرندی تـر شـد. با توجه به نتایج قبلی، افزودنی سود سوز آور که تاثـیرپذیری مطلـوب و رونـد منطقـی‌تری داشت، مورد استفاده قرار گرفت و دو غلظت ۰،۳۶ ٪ ۰،۴۸ ٪ بعنوان محدوده غلظت بهینه سود، برای هر زمان خردایش استفاده شد. در این بخش تحلیل نتایج آزمایشها به صورت زیر ارائه میشود:

الف ـ تاثیر ماده افزودنی بر توزیع دانه بندی در زمانهای مختلف خردایش

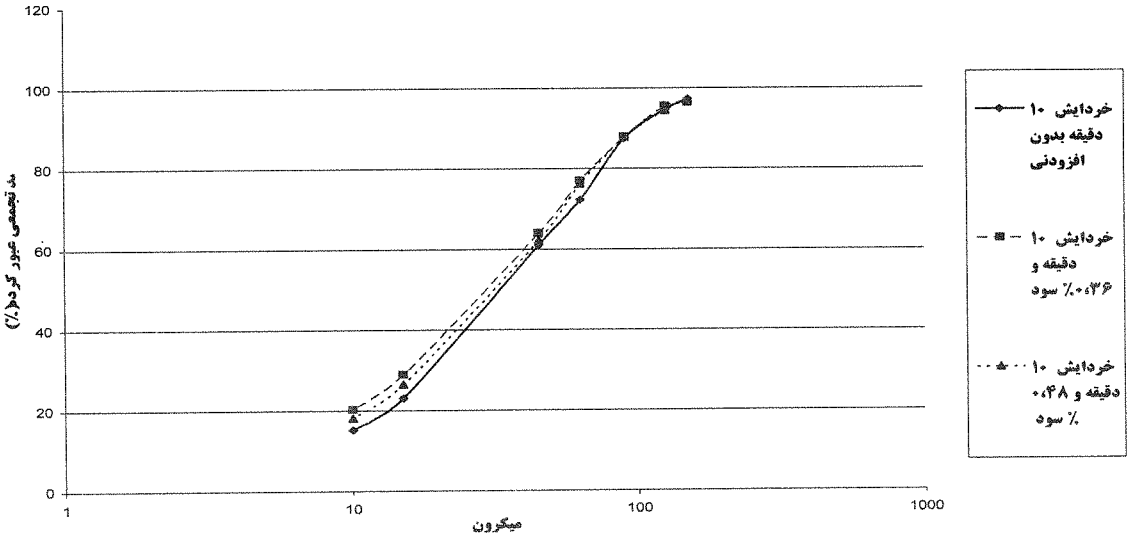
در جـدول(۶) و شـکل (۵) نتایج تاثیر سود بعنوان ماده افزودنی بر توزیع دانه‌بندی محصول آسیا ارائه شده است. با توجه به نـتایج ارائـه شـده تاثـیر غلظـت سـود در ۰،۳۶٪ بیشـتر از ۰،۴۸ ٪ است. با بررسی این نتایج مشخص میشود که زمان، یکی از پارامـترهای بسـیار مهـم در طراحـی سیسـتم‌هـای خردایش است.*بنابراین یک ماده افزودنی بر تمام ابعاد و در تمام زمان‌های خـردایش کارائـی یکسـانی از خود نشان نمی‌دهد و حتی در بعضی موارد حضور این مواد موجب افت کارائی خردایش هم شده اسـت. امـا بطور کلی این نتایج نشان دهنده آن است، که زمان ۸ دقیقه مناسب برای خردایش این ماده معدنی و رساندن آن به ابعـاد ریزتـر از ۶۳ میکرون نمیباشد. از طرفی در زمان ۱۲ دقیقه، استفاده از افزودنی سود با غلظت‌های اشاره شده چندان موثر نبود و بر روند خردایش به استثنا ابعاد ریزتر از ۴۵ میکرون تاثیر نداشته است. بهترین زمان ۱۰ دقیقه به نظر میرسد، زیرا مواد افزودنـی تاثـیر مثبتـی را بـر پارامترهای دانه‌بندی نشان میدهد. اما ممکن است که استفاده از سود بعنوان افزودنی با غلظتهای دیگر، موجب بهبود خردایش در ۱۲و ۸ دقیقه شود، که این امر نیازمند به انجام تحقیق و آزمایشهای بیشتری است.

در جدولهـای(۷ و ۸) درصـد افـزایش قابلیـت تولید محصول آسیا نسبت به حالت بدون افزودنی در زمان مشابه خردایش و بـدون افزودنـی بـا یـک دقـیقه خردایش بیشتر ارائه شده است. از نظر تاثیر افزودنی در کاهش زمان خردایش (با حفظ کیفیت محصـول آسـیا) در بعضـی ابعـاد، حضـور افزودنی موجب شد تا با وجود ۲ دقیقه کاهش زمان خردایش، دانه‌بندی محصول نیز تغییر چندانی نداشته باشد. البته عکس این حالت هم وجود دارد، بعنوان مثال وجود افزودنی و تغییرات بار سطحی ممکن است موجـب کـاهش تولـید ذرات در ابعـاد پائیـن شـود. بطـور کلـی تاثیر مواد افزودنی بر ذرات دانه ریز کمتر از دانه درشت است. شـکـــل (۵) نشـان‌دهـنده این واقعیت است که حضور افزودنی سود در محیط خردایش موجب تغییرات بیشتری در دانه‌ریزی بیشـتر محصـول در محـدوده دانـه‌بـندی دانـه ریز شده است. بطوریکه بیشترین اختلاف در قسمت چپ منحنی دانه‌بندی که اختصاص به ابعاد دانه ریز دارد مشاهده میشود.

ب ـ تاثیر افزودنی سود بر قابلیت تولید آسیا

بـا بررسـی نـتایج درصـد تجمعـی عبوری از ۶۳ میکرون مشخص میشود که در زمان ۸ دقیقه حضور افزودنی موجب تولید محصـول بیشـتر شـده است. در زمان خردایش ۱۰ دقیقه بر خلاف انتظار، حضور افزودنی در پالپ موجب کاهش محصول آسیا شد. این در حالی است که در مورد بار اولیه استاندارد آناکوندا (بین ۱۰ تا ۱۰۰ مش) حضور سود موجب ۳ درصد افزایش تولید اسـت. در شـکل(۶) تاثـیر حضـور افزودنـی سود بر قابلیت تولید آسیا در شرایط کاهش یک دقیقه‌ای زمان خردایش ارایه شده اسـت. بعـبارت دیگـر در حالـی کـه زمان خردایش یک دقیقه (۱۰٪) کاهش یافته است، حضور افزودنی سود نه تنها توانسته تا کیفیـت محصول را از نظر تولید محصول ریزتر از ۶۳ میکرون حفظ نماید، بلکه موجب افزایش قابلیت تولید آسیا نیز در بعضی غلظـتها شـده است. در شکل(۷) تاثیر حضور افزودنی سود در قابلیت تولید آسیا در ابعاد مختلف ارایه شده است. این شکل نیز

نشان دهنده این واقعیت ا ست که حضور سود در محیط خردایش تاثیرات متفاوتی بر ابعاد مختلف دانه‌بندی داشته است . بطوریکه در بعضی موارد شاهد حفظ کیفیت دانه‌بندی محصول خردایش در زمان کمتر خردایش هستیم و در نقاط محدودی حضور افزودنی تاثیر منفی داشته است. بطور کلی ذکر این نکته لازم است که تاثیر افزودنی سود همانطور که انتظار میرود در ابعاد دانه ریزتر بیشتر است و علاوه بر حفظ کیفیت محصول (همزمان با کاهش زمان خردایش) شاهد افزایش قابل توجه قابلیت تولید آسیا نیز هستیم.



شکل(۵) تاثیر افزودنی سود بر منحنی دانه بندی تجمعی عبور کرده محصول آسیا در زمان خردایش ۱۰ دقیقه [8].

جدول(٦) تغییرات توزیع دانه‌بندی محصول آسیا بعنوان تابعی از غلظت سود و زمان خردایش[8].

	زمان (دقیقه)	غلظت NaOH (%)	درصد عبوری تجمعی(٪)							پارامترهای توزیع دانه بندی			
			۵۰ یکرون	۲۵ یکرون	۰ یکرون	۶۳ میکرون	۴۵ میکرون	۱۵ میکرون	۱۰ میکرون	a	b	d_{80}	d_{50}
			۲،۶	۸،۸	۸،۳	۶۹،۲	۵۶،۸	۲۶،۱۲	۱۸،۷۵	۵۴،۲	۰،۹۳	۹۰،۴	۳۶،۵
۲	۸	۰،۳۶	۹۴،۱	۹۰،۸	۸۲،۲	۶۸	۵۶،۹	۲۳،۴۹	۱۶،۱۷	۵۳،۹	۱،۰۳	۸۵،۷	۳۷،۷
۳	۸	۰،۴۸	۹۴،۱	۸۹،۸	۸۰	۶۸	۵۶،۳	۲۳،۳۳	۱۶،۱۱	۵۵	۱،۰۲	۸۷،۹	۳۸،۴
۴	۹	۰	۹۶،۷	۹۴	۸۵،۵	۷۲،۳	۵۸	۲۲،۷	۱۴،۵۴	۵۰،۷	۱،۱۴	۷۷،۰	۳۶،۷
۵	۹	۰،۳۶	۹۶،۲	۹۳،۶	۸۵،۴	۷۱،۹	۵۷،۱	۲۲،۰۱	۱۴،۵۵	۵۱،۴	۱،۱۳	۷۸،۴	۳۷،۲
۶	۹	۰،۴۸	۹۶،۵	۹۴،۲	۸۶،۱	۷۴،۶	۵۹،۴	۲۴،۳۲	۱۶،۴	۴۸،۴	۱،۰۹	۷۵،۰	۳۴،۵
۷	۱۰	۰	۹۷،۳	۹۴،۶	۸۷،۵	۷۲،۲	۶۱	۲۳،۰۸	۱۵،۲۳	۴۸،۵	۱،۱۴	۷۳،۶	۳۵،۲
۸	۱۰	۰،۳۶	۹۶،۴	۹۵،۵	۸۷،۹	۷۷	۶۴	۲۸،۹۶	۲۰،۳	۴۳،۴	۱،۰۱	۶۹،۵	۳۰،۳
۹	۱۰	۰،۴۸	۹۷،۲	۹۴،۴	۸۷،۸	۷۶،۲	۶۲،۲	۲۶،۵۴	۱۸،۲	۴۵،۵	۱،۰۶	۷۱،۲	۳۲،۳
۱۰	۱۱	۰	۹۸،۳	۹۶،۷	۸۹،۸	۷۶،۵	۶۱،۸	۲۲،۳۳	۱۴،۲۸	۴۶،۳	۱،۲۲	۶۸،۴	۳۴،۳
۱۱	۱۱	۰،۳۶	۹۸،۱	۹۵،۹	۸۹،۵	۷۵،۵	۶۱،۶	۲۲،۸۵	۱۴،۸	۴۶،۶	۱،۱۹	۶۹،۷	۳۴،۲
۱۲	۱۱	۰،۴۸	۹۸،۲	۹۶،۶	۹۰،۶	۷۷،۶	۶۳،۴	۲۴،۵	۱۶،۰۳	۴۴،۴	۱،۱۷	۶۶،۷	۳۲،۴
۱۳	۱۲	۰	۹۸،۴	۹۶،۳	۹۰،۲	۷۸،۶	۶۵	۲۶،۲۲	۱۷،۵	۴۳	۱،۱۳	۶۵،۶	۳۱،۱
۱۴	۱۲	۰،۳۶	۹۸،۶	۹۶،۹	۹۰،۴	۷۸،۹	۶۴،۷	۲۵،۱۲	۱۶،۴۷	۴۳،۳	۱،۱۷	۶۵،۱	۳۱،۶
۱۵	۱۲	۰،۴۸	۹۸،۵	۹۷	۸۹،۸	۷۸،۷	۶۴،۳	۲۴،۸۳	۱۶،۲۷	۴۳،۸	۱،۱۷	۶۵،۸	۳۲،۱
۱۶	۱۵	۰	۹۹،۳	۹۸،۵	۹۴،۴	۸۳،۵	۶۸،۲	۲۶،۴۲	۱۷	۳۹،۲	۱،۲۳	۵۷،۸	۲۹،۱

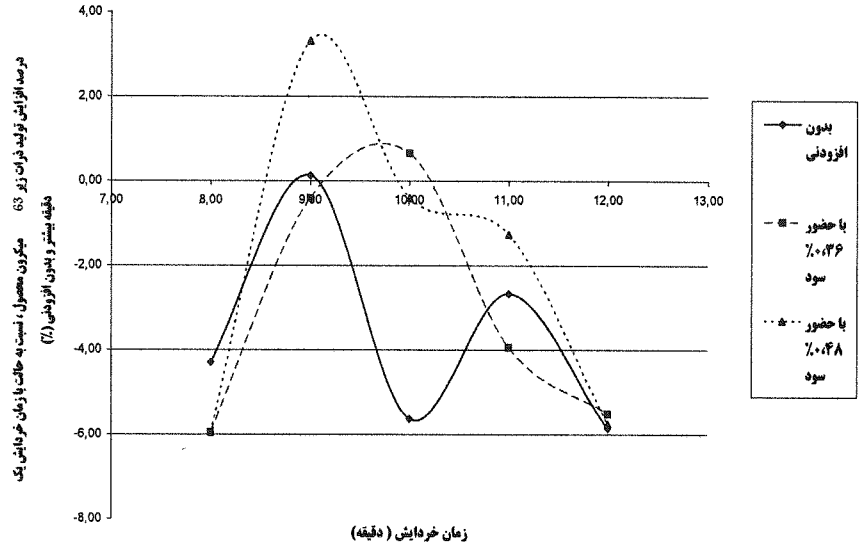
جدول(۷) درصد افزایش تولید ذرات عبوری محصول آسیا به تغییرات زمان و غلظت سود در مقایسه با حالت خردایش با زمان مشابه و بدون افزودنی[8].

زمان خردایش (دقیقه)	غلظت افزودنی(٪)	درصد افزایش تولید ذرات عبوری محصول از ابعاد مختلف (٪)						
		۱۵۰ میکرون	۱۲۵ میکرون	۹۰ میکرون	۶۳ میکرون	۴۵ میکرون	۱۵ میکرون	۱۰ میکرون
۸	۰،۳۶	۱،۶	۲،۲۵	۴،۹۸	-۱،۷۳	۰،۱۸	- ۳،۰۴	- ۱۳،۷۶
	۰،۴۸	۱،۶	۱،۱۳	۲،۱۷	- ۱،۷۳	- ۰،۸۸	- ۱۰،۶۸	- ۱۴،۰۸
۹	۰،۳۶	- ۰،۵	- ۰،۴۳	- ۰،۱۲	- ۰،۵۵	- ۱،۵۵	- ۳،۰۴	۰،۰۷
	۰،۴۸	-۰،۲	۰،۲۱	۰،۷۰	۳،۱۸	۲،۴۱	۷،۱۴	۱۲،۷۹
۱۰	۰،۳۶	-۰،۹۲	۰،۹۵	۰،۴۶	۶،۶۵	۴،۹۲	۲۵،۴۸	۳۳،۲۹
	۰،۴۸	-۰،۱	-۰،۲۱	۰،۳۴	۵،۵۴	۱،۹۷	۱۵	۱۹،۵
۱۱	۰،۳۶	-۰،۲	-۰،۸۳	-۰،۳۳	-۱،۳۱	-۰،۳۲	۲،۳۳	۳،۶۴
	۰،۴۸	-۰،۱	-۰،۱	۰،۹	۱،۴۴	۲،۵۹	۹،۷۲	۱۲،۲۵
۱۲	۰،۳۶	۰،۲	۰،۶۲	۰،۲۲	۰،۳۸	-۰،۴۶	-۴،۲	-۵،۹
	۰،۴۸	۰،۱	۰،۷۳	-۰،۴۴	۰،۱۳	-۱،۰۸	-۵،۳	-۷،۰۳

جدول(۸) درصد افزایش تولید ذرات عبوری محصول آسیا از ابعاد مختلف به تغییرات زمان و غلظت سود در مقایسه با حالت خردایش با زمان یک دقیقه بیشتر و بدون افزودنی[8].

زمان خردایش (دقیقه)	غلظت افزودنی(٪)	درصد افزایش تولید ذرات عبوری محصول از ابعاد مختلف (٪)						
		۱۵۰ میکرون	۱۲۵ میکرون	۹۰ میکرون	۶۳ میکرون	۴۵ میکرون	۱۵ میکرون	۱۰ میکرون
۸	۰	-۴،۲	-۵،۵۳	-۸،۴۲	-۴،۳	-۲،۰۷	۱۵،۰۶	۲۸،۹۵
	۰،۳۶	-۲،۷	-۳،۴	-۳،۸۶	-۵،۹۵	-۱،۹۰	۳،۴۸	۱۱،۲۱
	۰،۴۸	-۲،۷۰	-۴،۴۶	-۶،۴۳	-۵،۹۵	-۲،۹۳	۲،۷۷	۱۰،۸
۹	۰	-۰،۶	-۰،۶۳	-۲،۲۸	۰،۱۳	-۴،۹	-۱،۶۴	-۴،۵۳
	۰،۳۶	-۱،۱	-۱،۰۵	-۲،۴۰	-۰،۴۱	-۶،۳۹	-۴،۶۳	-۴،۴۶
	۰،۴۸	-۰،۸۰	-۰،۴۰	-۱،۶۰	۳،۳۲	-۲،۶۲	۵،۳۷	۷،۶۸
۱۰	۰	-۱،۰۱	-۲،۱۷	-۲،۵۶	-۵،۶۲	-۱،۲۹	۳،۳۶	۶،۶۵
	۰،۳۶	-۱،۹۳	-۱،۲۴	-۲،۱۱	۰،۶۵	۳،۶۵	۲۹،۶۹	۴۲،۱۵
	۰،۴۸	-۱،۱۲	-۲،۳۷	-۲،۲۳	-۰،۴۰	۰،۶۴	۱۸،۸۵	۲۷،۴۵
۱۱	۰	-۰،۱	۰،۴۱	-۰،۴۴	-۲،۶۷	-۴،۹۲	-۱۴،۸	-۱۸،۴
	۰،۳۶	-۰،۳	-۰،۴۱	-۰،۷۷	-۳،۹۴	-۵،۲۳	-۱۲،۸۵	-۱۵،۴۲
	۰،۴۸	-۰،۲۰	۰،۳۱	۰،۴۴	-۱،۲۷	-۲،۴۶	-۶،۵۶	-۸،۴۰
۱۲	۰	-۰،۹۰	-۲،۲۳	-۴،۴۵	-۵،۸۶	-۴،۶۹	-۰،۷۵	۲،۹۴
	۰،۳۶	-۰،۷۰	-۱،۶۲	-۴،۲۳	-۵،۵۱	-۵،۱۳	-۴،۹۰	-۳،۱۲
	۰،۴۸	-۰،۸۰	-۱،۵۲	-۴،۸۷	-۵،۷۵	-۵،۷۲	-۶،۰۲	-۴،۲۹

با توجه به نتایج حاصل به نظر میرسد که حضور ذرات با دانه‌بندی بزرگتر از ۱۰ و کوچکتر از ۱۰۰ مش در بار اولیه مورد ارزیابی در این آزمایشها، دلیل اصلی این پدیده است. اگر جدول(۹) را برای زمان ۹، ۱۰ و۱۱ دقیقه مورد ارزیابی قراردهیم متوجه میشویم که در زمان خردایش ۹، ۱۰ و۱۱ دقیقه حضور سود با غلظت مذکور در ابعاد بالا بدون تاثیر، یا با تاثیر مثبت است. در ابعاد متوسط سود تاثیر منفی و در ابعاد خیلی دانه ریز تاثیر مثبت داشت. از آنجائیکه رفتار هر پالپ، برآیند طبقات مختلف دانه‌بندی آن است، میتوان نتیجه گرفت که در مقایسه نتایج بار اولیه آناکوندا و ریزتر از ۶مش، در حالت ریزتر از ۶ مش ابعادی از ذرات که تاثیرپذیری منفی نسبت به حضور سود (بعنوان افزودنی) یافته‌اند، بیشتر مشاهده میشوند.در زمان خردایش ۱۲ دقیقه هم حضور افزودنی با این غلظت‌ها بدون اثر بوده است.



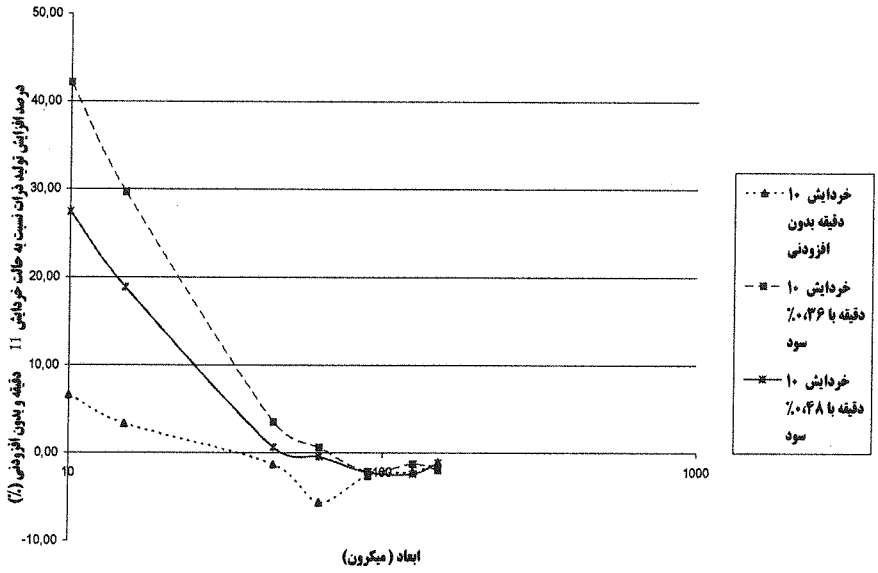
شکل(٦) تاثیر سود بر درصد افزایش تولید ذرات زیر ٦٣ میکرون محصول، نسبت به حالت خردایش با زمان یک دقیقه بیشتر و بدون افزودنی [8].

جدول(۹) تاثیر نسبی حضور افزودنی سود بر توزیع دانه‌بندی در زمان‌های مختلف خردایش[8].

	درصد عبوری تجمعی(٪)							پارامتر توزیع دانه بندی			
زمان خردایش (دقیقه)	۱۵۰ میکرون	۱۲۵ میکرون	۹۰ میکرون	۶۳ میکرون	۴۵ میکرون	۱۵ میکرون	۱۰ میکرون	a	b	d_{80}	d_{50}
۸	افزایش	افزایش	افزایش	کاهش	بدون تاثیر	کاهش	کاهش	بدون تاثیر	افزایش	کاهش	افزایش
۹	بدون تاثیر	بدون تاثیر	بدون تاثیر	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	کاهش	کاهش	کاهش	کاهش
۱۰	بدون تاثیر	بدون تاثیر	بدون تاثیر	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	کاهش	کاهش	کاهش	کاهش
۱۱	بدون تاثیر	بدون تاثیر	بدون تاثیر	افزایش	افزایش	افزایش	افزایش	کاهش	کاهش	کاهش	کاهش
۱۲	بدون تاثیر	بدون تاثیر	بدون تاثیر	بدون تاثیر	بدون تاثیر	کاهش	کاهش	بدون تاثیر	افزایش	بدون تاثیر	بدون تاثیر

ج ـ تاثیر افزودنی سود بر تولید نرمه در زمان های مختلف خردایش

با توجه به نتایج جدول(۹) در زمان خردایش ۸ دقیقه حضور سود بعنوان افزودنی موجب کاهش میزان نرمه شده است. در زمان ۱۰ دقیقه میزان نرمه افزایش یافت و در نهایت در زمان ۱۲ دقیقه نیز با کاهش میزان نرمه در اثر حضور سود بوجود آمد. اگر ضرائب دانه‌بندی روزین ـ رامل را هم در کنار این اطلاعات قرار دهیم مشخص میشود که در زمان ۸ دقیقه کاهش میزان نرمه با محدود شدن دانه‌بندی و ثبات نسبی دانه ریزی مطلق محصول همراه بوده است. در زمانهای ۹، ۱۰ و۱۱ دقیقه افزایش نرمه با کاهش اندازه مطلق و افزایش محدوده دانه‌بندی همراه شد و در نهایت در ۱۲ دقیقه کاهش تولید نرمه با ثبات نسبی اندازه مطلق و کاهش بسیار جزئی در محدوده دانه‌بندی محصول همراه است. به نظر میرسد که در زمان ۸ دقیقه افزودنی نتوانسته بر تجمع فیزیکی ذرات بصورت موثر غلبه کند و در نتیجه با وجود ثابت ماندن ضریب اندازه مطلق، محدوده دانه‌بندی به علت تجمع ذرات محدود شده است (کاهش ضریب پراکندگی). در ۱۰ دقیقه به علت تاثیر بیشتر افزودنی شاهد دانه‌ریزی بیشتر محصول در کنار گستردگی بیشتر دانه‌بندی ذرات هستیم، که این پدیده نشان‌دهنده اثر بیشتر مواد افزودنی در غلبه بر پیوندهای بین ذرات است. در ۱۲ دقیقه به علت مشابه با حالت ۸ دقیقه، غلظت افزودنی برای رساندن سیستم خردایش به حالت بهینه، کافی نبود و در اثر تجمع ذرات میزان تولید ذرات دانه ریز کاهش یافته است



شکل(۷)تاثیر سود در درصد افزایش تولید ذرات با دانه‌بندیهای مختلف در زمان خردایش ۱۰ دقیقه، نسبت به حالت بدون افزودنی و زمان خردایش ۱۱ دقیقه [8].

٤ـ بحث و نتیجه گیری

سدیم تری پلی فسفات و سود دو افزودنی قلیائی هستند. نتایج حاصل از انجام آزمایشهای مختلف نشان داد که STPP عاملی موثر بر کاهش انرژی مصرفی، و سود عاملی برای رسیدن به دانه ریزی بیشتر محصول است. عملکرد STPP در ابعاد درشت‌تر را میتوان بصورت یک روند نامنظم و تا حدی تصادفی دانست، در حالیکه همین ماده در ابعاد ریزتر از ۱۰۰ مش، روند منظم و منطقی را از خود نشان داد. افزودنی سود در ابعاد درشت و دانه ریز دارای عملکرد یکنواخت، منظم و منطقی میباشد. تاثیر گذاری افزودنی STPP نسبت به سود به مراتب بیشتر میباشد، اما دامنه این تاثیر بسیار محدودتر (نسبت به سود) است. از نظر مقایسه بار اولیه‌هائی با دانه‌بندی مختلف، ذرات با دانه بندی متوسط بیش از سایر ذرا ت (درشت و دانه ریز) تحت تاثیر حضور افزودنی قرار میگیرند.

بطور کلی با توجه به رفتار سود و STPP که به استثنای یک غلظت برای STPP، روند مشابهی داشت، میتوان چنین استنباط کرد که برای هریک از افزودنی‌های فوق، ابتدا حضور افزودنی موجب کاهش بار سطحی ذرات (خنثی شدن بار مثبت سطحی ذرات توسط یون های با بار منفی سود و STPP) شد و در نتیجه تجمع ذرات در محیط آسیا کاهش یافت، که نتیجه این عمل، خردایش بهتر است. در محدوده بهینه، کاهش بار سطحی به حداکثر خود رسید و احتمال دارد که سطح ذرات بطور کامل بدون بار شده باشد. در محدوده سوم به علت منفی شدن بار سطحی ذرات، و از طرفی افزایش تدریجی pH محلول (به علت تولید یون‌های منفی بیشتر توسط سود و STPP)، این احتمال وجود دارد که نوعی حالت دافعه بیش از حد بین ذرات ایجاد شده باشد که موجب خروج ذرات از تاثیر خردایش میشود. در واقع به علت دافعه، ذرات فرصت کمتری برای تماس با بار خرد کننده پیدا میکنند.

نتایج تغییر زمان خردایش نشان دهنده آن است که ماده افزودنی در ابعاد و زمانهای متفاوت خردایش اثرات مختلفی داشته است. این تغییرات به صورت مثبت، منفی وبدون تاثیر مشاهده شد. تاثیر اصلی سود بعنوان افزودنی بر ابعاد متوسط ذرات بود و با کاهش زمان خردایش، اثر افزودنی ضعیف تر شده است. از طرفی نتایج مطالعات نشان‌دهنده آن است که برای هر زمان خردایش و درصد جامد پالپ خاص، یک غلظت بهینه منحصر به فرد برای هر افزودنی وجود دارد.

درنهایت از نظر امکان کاربرد این دو ماده در صنعت، باید به نکات زیر توجه داشت. در درجه اول هزینه تامین STPP نسبت به سود به مراتب بیشتر است. در درجه دوم غلظت بهینه سود نسبت به STPP بطور نسبی بالا است، اما چون هزینه آن کمتر است، استفاده از آن از نظر اقتصادی قابل توجیه است. بنابراین امکان استفاده از سود بعنوان یک افزودنی، در غلظتها و زمانهای مختلف وجود دارد، در حالیکه در مورد STPP چنین امکانی وجود ندارد. بعنوان مثال در صورت استفاده از STPP بعنوان

افزودنـی در یـک واحـد خـردایش صنعتی، نیازمند طراحی سیستم‌های کنترلی غلظت افزودنی و پالپ هستیم، زیرا کوچکترین تغییر احتمالی در غلظت STPP موجب تغییرات رفتاری این ماده در خردایش میشود. بنابراین با توجه به نتایج حاصل، افزودنی سـود از اولویـت بیشـتری بـرخوردار اسـت، هرچـند کـه عواملـی مانند اهداف اصلی طراحی واحد خردایش، نوع ماده معدنی و فلوشیت پیش فرآوری و جدایش در کارخانه هم نقش مهمی ایفا میکند.

زیرنویس‌ها

1 - Comminution
2 - Grinding Aids
3 - Fineness
4 - Grindability
5 - Anaconda Work Index Estimation Method
6 - Bond Work Index
7 - Rosin – Rameler Function
8 - Distribution Factor
9 - Mill productivity
10 - Slime
11 - Grinding Time

مراجع

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

[۲] رفیعـی، امـیر آرش، تاثـیر مـواد افزودنـی در بهیـنه‌سازی آسیای مواد معدنی، سمینار کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن دانشکده فنی، دانشگاه تهران،۱۳۸۱.

[3] Somasundaran. P, Shrotri. S, "Grinding Aids :A Review of Their Use, Effects and Mechanisms", Selected Topics in Mineral Processing,Wiley Eastern limited, 1995.

[4] El-Shall. H, "Grinding Aids", Reagents In Mineral Technology, Marcel Dekker Inc, 1987.

[5] Dombrawe. H, Hoffmman B, "Mode of Action and Possibilities for Use of Grinding Aids", Z. K. G, No1, 1983, PP. 571-580.

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

[7] Lehman. R. L, Shepard. J. A, Sikorski. C. F, Kelso. F. J, "NaOH-STPP Thinner Improves wet Grinding of PHospHate Rock", E&MJ, June 1983, Pp.83-91.

[۸] رفیعـی، امـیر آرش،تاثـیر مـواد افزودنی در بهینه سازی آسیای مواد معدنی،پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن دانشکده فنی، دانشگاه تهران ،۱۳۸۱.