

"کمک سایشها"

پیام آوران افزایش بهره وری و کاهش انرژی در صنایع کانی (سیمان، آلومینا، شیشه، چینی و سرامیک)

مهندس محسن یعقوبی (شرکت سیمان نهاوند)
مهندس فریدون رحمانی (شرکت سیمان یاسوج)

چکیده :

در صنایع انرژی بر کانی (فرآوری مواد معدنی) ، موضوعات صرفه اقتصادی ، افزایش راندمان تجهیزات و همچنین بهره وری مطلوب دستگاهها و استفاده بهینه از انرژی الکتریکی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این میان، دپارتمان های آسیای گلوله ای از بزرگترین مصرف کننده های انرژی الکتریکی در این صنایع بوده و کاهش مصرف انرژی در آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. اما بازدهی آنها حین عملیات عمدتاً پایین است که دلایل این امر را می توان در تجمع و چسبیدن ذرات نرم شده و کوتینگ بر روی لاینر و گلوله های آسیا دانست. افزودنیهای مانندآب، مایعات ارگانیک و بعضی الکترولیت های غیر ارگانیک برای کاهش انرژی سطحی مواد خرد شده با این هدف که سبب افزایش بازدهی خردایش شوند، مورد استفاده قرار گرفته است. "کمک سایشها" موادی تاثیر گذار هستند که فرایند خردایش را از دو جنبه انرژی و ظرفیت بهبود می بخشند. در این مقاله به بررسی عملکرد کمک سایشها، مقایسه تمام دیدگاه های موجود و نقش آنها در افزایش بهره وری و کاهش انرژی در صنایع مختلف پرداخته می شود.

کلمات کلیدی: کمک سایش، خردایش، سایش، پتانسیل زتا و رنولوژی پالپ

1- مقدمه

خردایش اولین مرحله از فراوری مواد معدنی به شمار می رود. این فرایند، پروسه ای انرژی بر بوده و نیاز برای آزاد سازی و پخش ذرات ریز بر مشکلات موجود در این بخش افزوده است. تنها در ایالت متحده، سالانه بیش از 25 بیلیون کیلو وات ساعت انرژی برای فراوری مواد معدنی استفاده می شود. 50% از انرژی مزبور در مرحله خردایش به مصرف می رسد و هنوز کارایی این عملیات بسیار پایین و در حدود 1 تا چند درصد است. پر واضح است که پیشرفت در تکنولوژی خردایش برای سیستم های سایش ریز و خیلی ریز (میکرونیزه) با کمترین میزان مصرف انرژی، بصورت یک نیاز جدی احساس می شود.

مرور این مقاله نشان خواهد داد که افزودن مواد شیمیایی در خوراک آسیا دارای مزایا و منافی برای سیستم خردایش است. در این خصوص مثالهایی در جداول (1) و (2) ارائه شده است. همچنین به منظور درک بهتر موضوع، مکانیزم های کاهش مصرف انرژی، کاهش سختی سطح، بهبود سیالیت پالپ جهت بررسی فعالیت کمک سایشها به کار گرفته شده اند. به هر حال خردایش، فرایندی پیچیده بوده و شامل فرایندهای فرعی شیمیایی و فیزیکی وابسته و همزمان با هم است و یک مکانیزم به تنهایی، برای بررسی تاثیر همه جانبه انواع مواد شیمیایی نمی تواند جوابگو باشد.

این مقاله به بررسی و ارزیابی بهره گیری انرژی در دستگاههای خردایش، فرایندهای جزئی خردایش، مکانیزم های خردایش و کارایی طبقه بندی کننده ها در ارتباط با خصوصیات فیزیکوشیمیایی محیط خردایش (آبی یا خشک) می پردازد.

جدول (1)- مثالهایی از تاثیرات کمک سایشها در سیستم های خردایش خشک

تاثیر	کمک سایش	مواد خرد شده
22 تا 29% افزایش نرخ خردایش	دی یا تری اتانول آمین (0/1%)	کلینکر سیمان
10% کاهش انرژی مورد نیاز برای خردایش	پروپیلن گلیکول (0/05%)	کلینکر سیمان
70% کاهش در زمان خردایش	ارگانوسیلیکون (0/01-0/05%)	کلینکر سیمان
25 تا 50% افزایش نرخ خردایش	گلیکول	کلینکر سیمان

جدول (2)- مثالهایی از تاثیرات کمک سایشها در سیستم های خردایش تر

تاثیر	کمک سایش	محیط خردایش	مواد خرد شده
120% افزایش در مساحت سطح	فلوتیگام پ (0/3-0%)	آبی	کوارتزیت
کاهش در زمان خردایش با فاکتور 4	ارگانوسیلیکون (0/005%)	آبی	آلومینا
70% افزایش در مساحت سطح	فلوتیگام پ (0/3-0%)	آبی	سنگ آهک
11% افزایش در تولید ذرات -325 مش	XF - 42 72 (0/02%)	آبی	تاکونیت
18% افزایش در تولید ذرات -325 مش	XF - 42 72 (0/06%)	آبی	تاکونیت
کاهش در زمان خردایش با فاکتور 4	تری اتانول آمین (0/2%)	آبی	زیرکون

کوارتز	آبی	$(0/75 \text{ m/l}) \text{ AlCl}_3$	25% افزایش در مساحت سطح نسبی جدید
کوارتز	الکل	-----	50% کاهش انرژی مورد نیاز

2- مفاهیم اساسی

2-1- کارایی خردایش و بهره وری انرژی در آسیاهای گلوله ای

برای تعریف کارایی خردایش، از مقدار مصرف انرژی به ازای واحد محصول تولید شده استفاده می‌گردد. کیفیت محصول تولیدی به مواردی همچون هدف خردایش، که خود به عواملی مثل کاهش اندازه، تولید سطح مخصوص جدید و آزادسازی کانی‌های باارزش، بستگی دارد، ارتباط می‌یابد. در این رابطه، هدف ممکن است دستیابی به افزایش مقدار محصول در اندازه دلخواه (افزایش ظرفیت در عین تثبیت کیفیت) یا کمک به فرایند شکست منتج به اندازه ریزتر در ظرفیت ثابت (افزایش کیفیت در عین تثبیت ظرفیت) باشد. بعلاوه، اگر آزادسازی به دلیل سطح پایین‌تر مصرف انرژی بهبود یابد، در هر صورت کارایی خردایش افزایش خواهد یافت. به هر حال، طریقه دیگر بالا بردن کارایی خردایش را میتوان در کاهش انرژی مورد نیاز که کیفیت محصول مطلوب را تولید کند، جستجو نمود. این موارد با استفاده از افزودنی‌هایی که بهره وری انرژی را در داخل آسیا بهبود می‌بخشند، قابل دسترسی است.

بخشی از انرژی داخلی آسیا صرف تغییر شکل الاستیک و پلاستیک ذرات، از هم پاشیدن توده‌ها، اصلاح (نوآرایی) شبکه کریستالی و واکنش‌های مکانیکی شیمیایی و تولید سطح جدید می‌شود. بخش دیگر انرژی صرف عواملی همچون اصطکاک بین ذرات با واسطه‌های نرم کانی (معمولاً گلوله‌های سیلیس‌ها) یا لاینرهای آسیا یا اصطکاک ذرات بین خودشان، انرژی صوت، انرژی سینتیکی ذرات و تغییر شکل بارهای خردکننده می‌شود. بنابراین بخش زیادی از این انرژی برای مقاصدی همچون اصطکاک، توده‌ای شدن و واپاشی ذرات، تغییر شکل الاستیکی و پلاستیکی و ... به شکل گرما تلف می‌شود. انرژی واقعی (که برای تولید سطوح جدید مصرف می‌شود)، تنها کسر کوچکی از کل انرژی داخل آسیا را به خود اختصاص می‌دهد. در این خصوص برای کاهش ابعادی در آسیاهای گلوله‌ای تنها 0/6% از انرژی ورودی آسیا در نظر گرفته شده است.

نتیجه مباحث فوق اینست که کارایی خردایش با کاهش هر یک از عوامل ذکر شده در بالا که منجر به اتلاف انرژی در آسیا می‌گردیدند، افزایش می‌یابد.

در صنایع کانی مثل سیمان، آلومینا، شیشه و سرامیک، افزودنی‌های شیمیایی خاصی جهت کمینه کردن اصطکاک بارهای خردکننده با مواد و واکنش داخلی ذرات و اتلاف پالپ استفاده می‌شود.

توده‌ای شدن و تفرق ذرات نه تنها از طریق اتلاف انرژی در شکستن توده‌های جمع شده یا گلوله‌ای شدن مواد واپاشی شده تاثیر می‌پذیرد، بلکه بر روی عواملی مثل روانی پالپ و ضربه‌گیری که مواد ریز در جهت جلوگیری از خردایش گلوله‌ها و مواد درشت ایجاد می‌کنند، قابل بررسی است. بنابر این مکانیزم‌های خردایش دچار تغییراتی شده و نتیجتاً، مواد شیمیایی به عنوان عاملی تاثیرگذار بر روی ویژگی‌های تجمعی و پراکندگی ذرات خرد شده، در عملکرد خردایش موثر واقع می‌شوند.

فاکتور مهم دیگری که از طریق استفاده از افزودنی‌های شیمیایی مورد کنترل واقع می‌شود، اصطکاک بین ذرات با بارهای خردکننده و نیز بین ذرات با خودشان است. این مورد به این دلیل مطرح می‌شود که برهمکنش داخلی بین ذرات می‌تواند نقش مهمی را در عملکرد

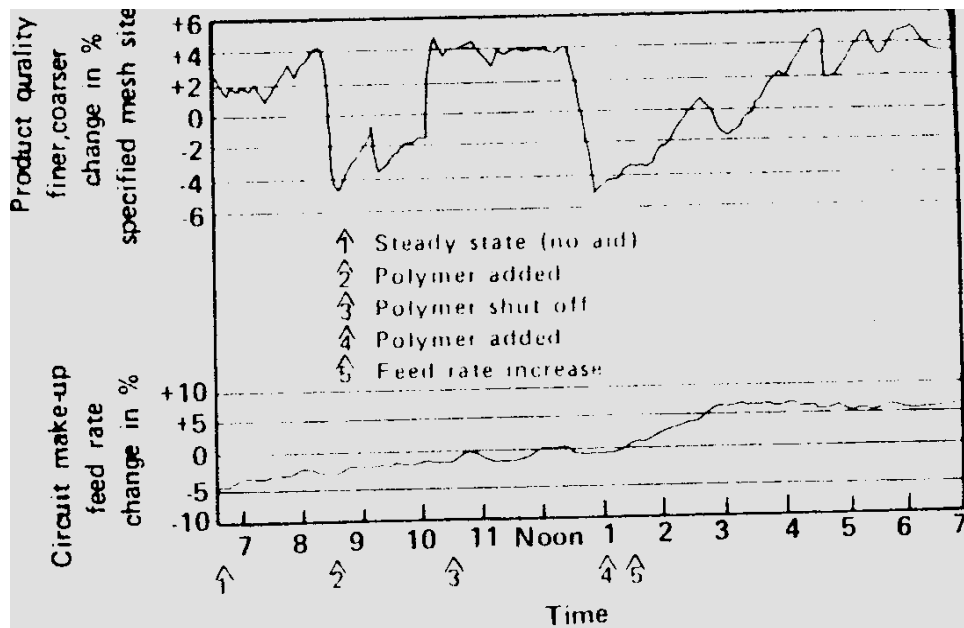
خردایش بازی کند که این مهم به پارامترهایی همچون مکانیزم خردایش، سختی نسبی اندازه ذرات و حد طبقه بندی اندازه ذرات در طی خردایش نیز بستگی دارد. برای مثال، ذرات می توانند یکدیگر را گاز بگیرند، که این عمل منتج به لب پر شدن لبه و گوشه های مواد شده و تغییر در شکل و توزیع دانه بندی اندازه محصولات خرد شده را به دنبال دارد. این موارد، مراحل بعدی وقایع خردایش را دچار تغییر و تحول خواهد کرد. همچنین اصطکاک ذرات با بارهای خرد کننده یا با خودشان، قابلیت روانی پالپ (در سیستم تر) و بالتبع جریان مواد داخل آسیا را تحت تاثیر قرار می دهد. فرضیات گفته شده در بالا با ملحوظ کردن فرایندهای جزئی در یک ماشین خردایش، بیشتر می تواند مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

2-2- فرایندهای جزئی خردایش

خردایش یک فرایند دینامیکی پیچیده بوده و کاهش ابعادی مواد از طریق حرکت بارهای خرد کننده و پالپ به منطقه خردایش انجام پذیر است. در این منطقه واکنشهای خردایش احتمالاً منجر به ترک های اولیه و متعاقباً توسعه و پیشرفت ترکها می شود و مواد خرد شده از طریق خروجی انتهای آسیا به بیرون منتقل می شوند. به طور خلاصه، دو فرایند جزئی خردایش به طور همزمان در داخل آسیا به وقوع می پیوندد: انتقال (جریان پالپ و واسطه) و فرایندهای تنش. پر واضح است که کنترل یک یا همه این فرایندها از طریق استفاده از افزودنیهای شیمیایی، پتانسیل بهبود کارایی خردایش را به همراه دارد.

2-2-1- فرایندهای انتقال

سیالیت پالپ (ویسکوزیته) پارامتری مهم در فرایند انتقال مواد و بارهای خرد کننده در داخل آسیا محسوب می شود. فاکتورهای مهمی که بر روی سیالیت پالپ موثرند عبارتند از: توده ای شدن یا پراکندن مواد در داخل آسیا، طبیعت فعل و انفعال بین ذرات با همدیگر و ذرات با بارهای خرد کننده. تحقیقات متعددی، اصلاح خصوصیات پالپ را به منظور افزایش کارایی فرایند خردایش بررسی کرده اند که پتانسیل این مهم، با افزایش ظرفیت یا تولید نرمی بیشتر نیز محقق شده است. نتایج تحقیقاتی با هدف شناسایی اصلاح گرهای روانی پالپ در مقیاس صنعتی حاکی از آن است، هنگامی که این عوامل به خوراک افزوده می شود، محصول ریزتر را در نرخ خوراک ثابت (تقریباً) خواهیم داشت. همچنین با افزودن کمک سایشها در اندازه نرم کنی ثابت، نرخ بیشتر خوراک را خواهیم داشت. این موارد با انجام آزمایشاتی در شکل (1) ارائه شده است.



شکل (1)- نوعی منحنی پاسخ برای آسیای صنعتی

فعالیت فرعی مهم ثانویه در آسیاها، شامل فرایندهای کاربرد تنش است که در بخش بعدی مورد بحث واقع می شود. یادآور می شود در این بحث فرضیات ذیل لحاظ می شود:

a : هر ذره به طور صحیح در منطقه خردایش قرار داده می شود.

B : پالپ پراکنده می شود. به عنوان مثال توده ای شدن و پدیده ضربه گیری توسط مواد نرمه بین مواد درشت و بار خردکننده ایجاد می شود.

C : ذرات دارای نقصان هایی مانند ترک، ریزترک یا تغییر مکان هستند.

2-2-2- فرایندهای کاربرد تنش

در یک فرایند خردایش، ذرات در منطقه خردایش متحمل انواعی از تنشها شده که حاصل آن توسعه و یا شروع و انتشار ترکها است. مجموعه عوامل بالا نهایتاً منجر به شکست ذره خواهد گردید. بنابراین خصوصیات مکانیکی مواد مانند خصوصیات استحکامی (مقاومتی) در مقابل تنشهای کششی، فشاری و برشی تاثیر پذیری تنشهای کاربردی را در دستیابی به شکستی دلخواه تعیین می کند. در غیر اینصورت نقیصه های موجود در مواد مانند ترکها و شکافها (که در مواد طبیعی موجود هستند) به عنوان تغییر دهنده های تنش عمل کرده و برای شکست سنگ و کانی منجر به تولید مقادیر تنش کمتر از مقادیر تنوریکی که انتظار می رود، می شوند. کمترین میزان تنش برای شکستی ترد، مطابق با فرمول Griffith به صورت زیر است :

$$\sigma = \left(\frac{4E\gamma}{L} \right)^{0.5}$$

که در آن

σ = تنش کششی، E = مدول یانگ، γ = انرژی آزاد سطح ایجاد شده و L = طول ترک

معادله فوق صرفاً با فرض شکست ترد قابل کاربرد است. به هر حال، در اغلب مواد انرژی مورد نیاز برای شکست پلاستیکی، در مناطق سطحی و زیر سطحی مصرف خواهد شد. از این رو پیشنهاد شد که فرمول فوق باید شامل محدوده تنشهای سطحی بعلاوه انرژی سطحی برای

محاسبه انرژی مصرفی مورد نیاز در تغییر شکل پلاستیکی در مجاورت ترکها باشد. بعلاوه شعاع نوک (راس) ترک نیز که در میزان تمرکز تنشهای برجا تاثیر گذار است، بایستی در نظر گرفته شود. بنابراین مواد شیمیایی با کاهش پارامترهایی از قبیل انرژی سطحی، تغییر شکل پلاستیکی، شعاع نوک ترک و یا توسعه طول ترک، منجر به کاهش در مقاومت می شود.

اثر مایعات با و بدون مواد افزودنی بر روی شکست مواد جامد در ابتدا توسط **Rehbinder** مورد بررسی قرار گرفته است. او فرض کرد که مایعات مخصوصا آب به مقدار زیادی بر روی فرایند شکست تاثیر گذارند و این اثر با افزودن مواد فعال سطحی نمود بیشتری پیدا می کند. این پدیده بیشتر به علت کاهش انرژی آزاد سطحی مواد جامد از طریق جذب مواد فعال سطحی امکان پذیر است که خود منجر به تضعیف نیروهای پیوندی می شود. این فرضیه به نام وی ثبت شده است. در تحقیق دیگری، رابطه ای بین مقاومت نهایی ماسه سنگ هنگامی که تخلخلها توسط موادی نظیر اسید اولئیک یا اولیامین اشباع می شود بررسی شده که این امر با جذب مواد عامل بر روی دانه های سنگی انجام پذیر است. به طور مشابه، در مورد اثر الکترولیتهای ارگانیکی (دودسیل آمونیوم کلرید) و غیر ارگانیکی (کلرید آلومینیم و کربنات سدیم) بر روی کاهش مقاومت فشاری ماسه سنگ بحثهایی ارائه گردید و این تاثیرات با جذب این مواد فعال سطحی توضیح داده شده است.

با توجه به تغییر شکست پلاستیکی که در مواد رخ می دهد، محققان این انرژی را به عنوان انرژی اکتیواسیون لازم (جهت شکست) مد نظر قرار داد. از آنجاییکه تغییر شکست پلاستیکی از حرکت نقصهانهایی مثل تغییر مکان ناشی می شود، این امر منجر به ترکهای اولیه یا توسعه ترک در مواد می شود. همچنین پیشنهاد شد که مولکولهای جذب شده ممکن است که حرکت جابجایی را بلوکه کرده و موادی با تردی بیشتر را آریه کنند. در این راستا نیز اثرات افزودنیهای مختلفی را بر روی مواد کریستالین و غیر کریستالین بررسی شد. ارتباط اندازه گیریهای سطحی با حرکت جابجایی منجر به این مسئله شد تا محققان اثر **Rehbinder** را به عنوان نتیجه تغییرات الکترونیکی نزدیک سطح، نقصهائی ایجاد شده در اثر جذب افزودنی بر سطح جامد را توجیه و تفسیر کنند. آنها بیشتر فرض کردند که چنین تغییراتی بر روی فعل و انفعالات مخصوص بین جابجایی ها و نقاط نقصان که حرکت جابجایی و شاید پارامتر سختی را کنترل می کند، شاید بر روی سختی موثر باشند.

مباحث بالا نشان می دهد که مواد شیمیایی سبب کاهش انرژی سطحی و یا تغییر شکل پلاستیکی مواد جامد شده و در نهایت باعث کاهش مقاومت فشاری مواد می شوند.

2-3- مکانیزمهای خردایش

در بیش از 50 سال گذشته **Gaudin** نشان داده است که فرایند خردایش در آسیاهای لوله ای می تواند ترکیبی از ضربه و سایش باشد. از آن زمان تاکنون محققان در مطالعات خود به طور تئوریک و آزمایشی بر اساس مکانیزم های خردایش به نتایج قابل ملاحظه ای رسیده اند. در این رابطه تلاش شد تا بین خردایش ضربه ای و سایشی وجه تمایزی بدست آید و این ایده را برای آسیاکنی گلوله ای به کار برند. نتیجه این شد که در حد وسیعی مکانیزم های اساسی خردایش در آسیاهای گلوله ای شامل ضربه واسطه های نرم کنی (گلوله ها) است. به هر حال سه مکانیزم اساسی در کاهش ابعادی مواد در نظر گرفته شد که هر مکانیزم منحنی توزیع بامعنی و منحصر به فرد خاص خود را دارد. محققان دیگری، نشان دادند که چگونه ترکیبی از این سه مکانیزم باعث تغییر توزیع اندازه می شود که با تولید ذرات در آسیاهای گلوله ای

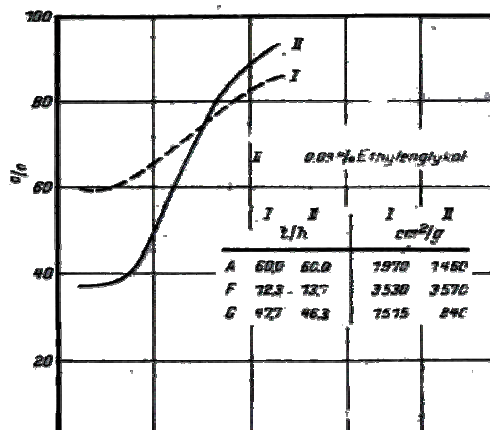
مشابه است. آنها مکانیزم های اساسی خردایش مثل ضربه را تعریف کردند که خردایش مواد در نتیجه خرد شدن ذرات بین گلوله ها و یا بین گلوله ها و دیواره های آسیا ناشی می شود. خردایش سایشی به شکل فرسایش سطح است که هنگامی که ذرات با حرکت در خلاف جهت یکدیگر و یا گلوله ها و دیواره های آسیا حرکت می کنند. خردایش به شکل لب پر شدن، شامل شکست لبه ها یا گوشه های ذرات است. این حالت در مواقعی اتفاق می افتد که انرژی ناکافی و بارگذاری ناموثر جهت شکست کامل ذرات موجود باشد. خردایش به شکل لب پر شدن، زمانی اتفاق می افتد که اندازه خوراک نسبت به اندازه گلوله یا برای حرکت نسبی گلوله ها و یا ذرات خیلی بزرگ باشد. حد هر مکانیزم در عملیات خردایش به عواملی همچون شرایط مخصوص آسیا کنی مانند بار گلوله، سرعت، سختی و اندازه مواد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پالپ بستگی دارد.

تاثیر افزودنیهای شیمیایی بر روی مکانیزم های خردایش را می توان از طریق اثراشان بر روی خصوصیات پالپ و واسطه های نرم کنی، اصطکاک ذرات با پارهای خرد کننده یا باخودشان، تجمع و پراکندگی مواد خرد شده و سختی نسبی مواد خردایش شونده، توجیه کرد. با این اوصاف می توان نتیجه گرفت که توزیع اندازه مواد خرد شده با حضور مواد شیمیایی در مقایسه با حالتی که استفاده نمی شود، تغییر خواهد کرد. چنین تغییراتی در توزیع اندازه ذرات ممکن است بر روی عملکرد و کارایی واحدهای طبقه بندی که تکمیل کننده مدارهای خردایش هستند، تاثیر بگذارد و موجبات افزایش راندمان آنها را فراهم آورد.

اگر چه کاهش ابعادی در حین طبقه بندی اتفاق نمی افتد، اما سپراتورها یک قسمت کامل کننده برای سیستم های خردایش مدار بسته به شمار می روند و کارایی بالای خردایش در این سیستم ها به طراحی و عملکرد وسایل طبقه بندی بستگی دارد. در خردایش مدار بسته، خروجی آسیا به عنوان خوراک وارد کلاسیفایرها می گردد که ذرات ریز (محصول) را از ذرات درشت جدا می کند و ذرات درشت برای خردایش بیشتر به آسیا بازگردانده می شوند. عملکرد سپراتورها به عوامل دیگری نظیر توزیع خوراک (محصولات خردایش شده) و رئولوژی پالپ (سیستم تر) نیز بستگی دارد. همانطور که پیشتر بحث شد، هر دو این پارامترها از افزودن مواد شیمیایی تاثیر می پذیرند. بنابراین ارزیابی کامل از کمک سایشها بایستی شامل تاثیرشان بر روی عملکرد طبقه بندی کننده ها نیز باشد.

به عنوان مثال محققان یادآور شدند که هیدروسیکلونهای عمل کننده با XFS-4272 (نوعی کمک سایش تجاری) قادر خواهند بود درصد جامد خوراک بیشتری را بدون تغییرات شرایط عملیاتی فراوری کند. اگر چه عواملی مانند d_{50} و کسر جرمی میانبر زده (مورد جداسازی واقع نشده یا کنارگذر) با کاهش تند تر شیب منحنی کارایی کاهش یافته تاثیر گذار می شوند.

چنین مشاهداتی به نقش طبقه بندی در تعیین کارایی خردایش اشاره کرده و پیشنهاد مطالعات بیشتر را می دهد که برای ارزیابی تاثیر کمک سایشها بر روی عملکرد طبقه بندی مدارهای بسته خردایش لازم به نظر می رسد. نمونه ای از این تاثیرات در شکل (2) نشان داده شده است.



شکل (2)- منحنی جداسازی یک طبقه بندی کننده با ابعاد 4200 میلیمتر

بعلاوه از آنجاییکه خردایش صنعتی فرایندی پیوسته و وابسته به زمان است، بایستی خردایش را به عنوان یک فرایند نرخي در نظر گرفت. به عبارت دیگر، بایستی نرخ مخصوص شکست (تابع انتخاب) و توزیع شکست اولیه (تابع شکست) را به عنوان یک مفهوم خاص در آنالیز اطلاعات آزمایشگاهی و پیشگویی اثرات تقریبی در مدارهای صنعتی (پیشگویی دانه بندی خروجی) در نظر داشت.

4-2- خردایش به عنوان یک فرایند نرخي

خردایش به عنوان یک فرایند نرخي با معادله خردایش زیر توصیف می شود :

$$\frac{dw_i(t)}{dt} = -s_i w_i(t) + \sum_{\substack{j=1 \\ i>1}}^{i-1} b_{ij} s_j w_j(t)$$

t = زمان

w_i = کسر جرمی اندازه i (برای بزرگترین اندازه $i=1$)

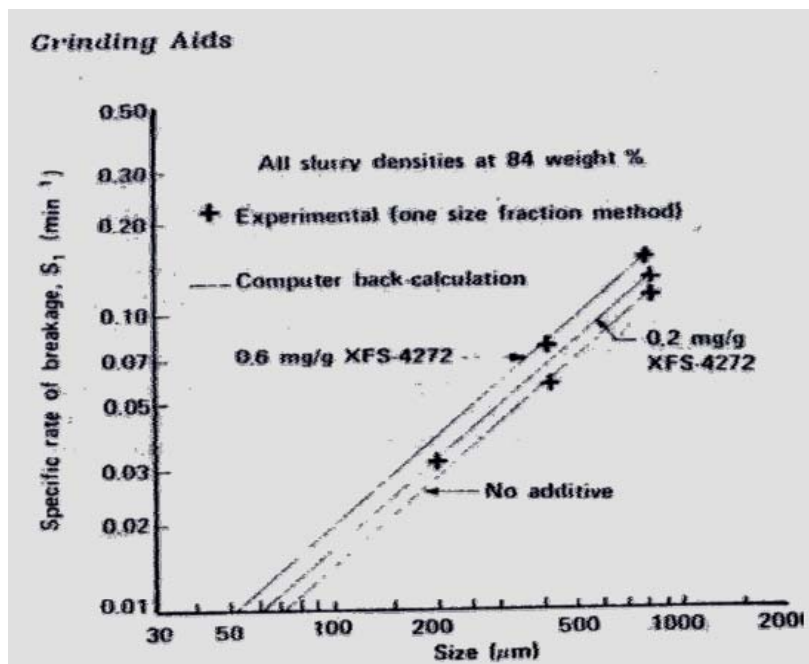
s_j = نرخ مخصوص شکست (کسر در واحد زمان) (تابع انتخاب اندازه J).

$w_j(t)$ = کسر وزنی اندازه J در زمان t

b_{ij} = توزیع شکست اولیه، به عنوان مثال کسر مواد شکسته شده J که در سایز کوچکتر ظاهر میشود (تابع شکست).

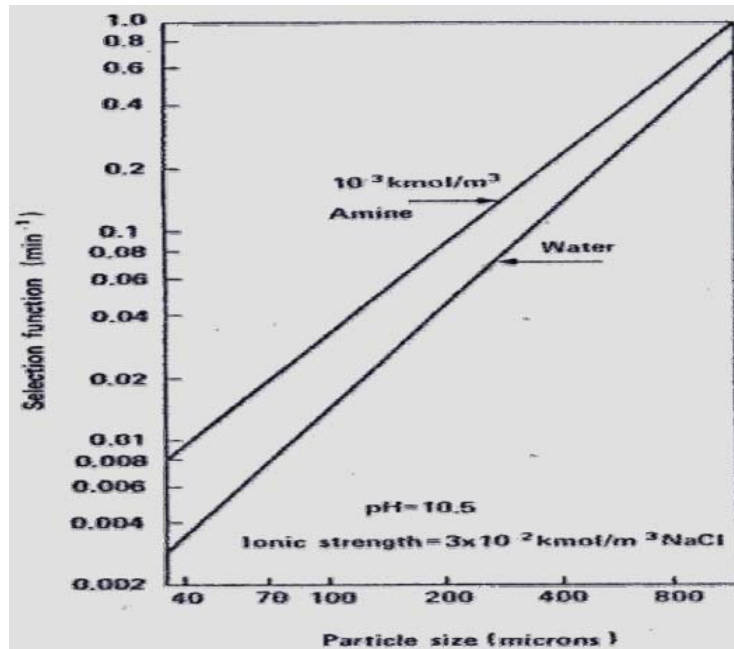
این مدل نشان می دهد که میزان شکست بیشتر با افزایش نرخ شکست مخصوص (سرعت خردایش) (S) به دست می آید. بعلاوه، تابع شکستی که در بالا تعریف شد، بیان کننده توزیع اندازه های محصولاتی بوده که در اثر وقایع خردایشی که در آسیای گلوله ای اتفاق افتاده اند و توسط آنالیزهای سرندی قابل حصول است. بنابراین تغییر مکانیزم های خردایش با یک یا چند روش بر روی تابع شکست تاثیر خواهد گذاشت. همچنین روشی که ذره با آن تحت خردایش واقع می شود بر روی پارامتر شکست اولیه تاثیر گذار است.

نرخ مخصوص شکست (S) و پارامترهای شکست اولیه به عواملی مثل سیالیت پالپ، تجمع و تفرق خصوصیات پالپ، مقاومت و چگونگی شکست ذرات بستگی دارد. افزودنیهای شیمیایی که به عنوان مواد تاثیر گذار در یک یا بیشتر این عوامل دخیل می باشند، بر روی نرخ ویژه شکست (تابع انتخاب) و یا تابع شکست تاثیر می گذارند. در این رابطه، همانطور که در شکل (3) نشان داده شده است ملاحظه شد که تغییر دهنده های سیالیت پالپ، تابع انتخاب تاکنونیت را افزایش می دهند.



شکل (3)- منحنی های تابع انتخاب (محاسبات برگشتی) برای اسلاری کانه تاقونیت خردایش شده در 8

اینچ



شکل (4)- تاثیر آمین بر روی نرخ ویژه شکست ذرات کوارتز در تحقیقات دیگری که برای خردایش کوارتز در محلولهای آمین صورت گرفت، نرخ خردایش بیشتر و افزایش تابع انتخاب مشاهده شد (شکل 4). این یافته ها پیشنهاد می دهد که توابع شکست و انتخاب ابزار مهمی برای ارزیابی اثرات کمک سایشها هستند.

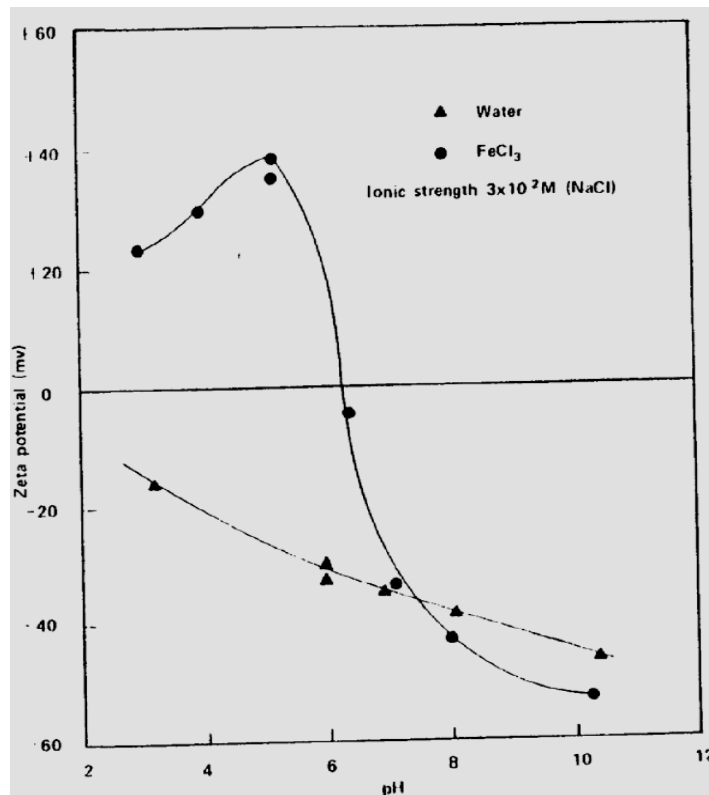
3- ارزیابی شیوه عملکرد کمک سایش ها، مشکلات و نیازهای تحقیقاتی از پدیده های مذکور چنین بر می آید که افزودنیهای شیمیایی دارای اثرات مثبتی در سیستم های خردایش تر و خشک هستند. اما مکانیزم های کنترل کننده چنین اثراتی به طور دقیق مورد مطالعه قرار نگرفته است. به هر حال، چندین مبحث پیشنهادی موجود در این رابطه کاملاً بحث برانگیز و مبهم است. چنین ابهاماتی احتمالاً به چند دلیل است. اولین و مهم ترین دلیل فقدان تکنیک ها و آزمایشهای استاندارد است. برای مثال تغییر در شرایط آسیا کنی که مکانیزم های خردایش را دچار تغییر می کند. مثلاً، Hartly و همکاران به افزایش در سطح مخصوص تاکنونیت زمانی که دامنه اندازه خوراک باریک بود، رسیدند (تاثیر دانه بندی خوراک ورودی). به هر حال هنگامی که آنان از یک خوراک با توزیع اندازه کامل استفاده کردند هیچ تاثیری گزارش نشد. از مثالهای واضح دیگر توسط Klimpel و همکارانش چنین روایت می شود هنگامی که کمک سایش در دامنه خاصی از دانسیته پالپ استفاده می شود، اثرات شایان ذکری حاصل شده است. اگر چه شیوه عملکرد این مواد به خوبی تعریف شده است، لیکن در این مورد اثرات آن در سیستم های با دانسیته مختلف ممکن است خواسته های ما را برآورده نکند و اثری نداشته باشد. مورد دیگر شرایط بهره برداری آسیا است که آن را می توان ترکیبی از عواملی همچون بار، گلوله سرعت آسیا، نوع آسیا و ... برای شرایط مختلف آسیا کنی فرض کرد که همه این عوامل بر روی مکانیزم های خردایش و بالتبع شیوه فعالیت کمک سایشها تاثیر می گذارند. بنابراین، یک نیاز ضروری استاندارد کردن آزمایشات و یا مطالعه تاثیر افزودنیها تحت شرایط آسیا کنی مختلف احساس می شود.

گروهی از محققین در سال 2005 به بررسی تاثیر اسیدهای چرب بر روی مقاومت فشاری بتن و قابلیت خردایش سیمان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که همیشه از راه افزایش سطح

بلین نمی توان به مقاومت‌های بالا رسید، چرا که دو نمونه با سطح بلین یکسان ممکن است دارای دانه بندی و مقاومت‌های متفاوت باشند. دسته ای دیگر نیز در سال 1977 در تحقیقاتشان به این نتیجه رسیدند که کمک سایش های گوناگون به شیوه های متفاوتی در فرایند خردایش عمل می کنند. به هر حال انتخاب میزان صحیح این افزودنیها، برای دستیابی به بیشترین تاثیر یا به گونه ای که تاثیر منفی در فرایند خردایش را سبب نشود، لازم به نظر می رسد. به هر حال میزانهای خیلی بالا می تواند اصطکاک را نه فقط بین دانه ها، بلکه بین دانه ها و واسطه های نرم کنی کاهش دهد. این مورد سبب پایین آمدن کارایی خردایش خواهد شد و در این راستا آزمایشهای ناپیوسته به منظور تعیین نوع و میزان مصرف کمک سایش در مدارهای بسته خردایش می تواند مفید و موثر واقع شود.

دلیل مهم دیگر برای تناقض در نتایج گزارش شده و نتیجتاً شک و تردید در ارزیابی مکانیزم ها، فقدان کنترل، مونیتورینگ و اندازه گیری پارامترهای مهم و خصوصیات هم کنشگرانه صنعتی از قبیل PH ، مقاومت یونی، جذب، کشش سطحی، پتانسیل زتا، تجمع و پراکندگی، رئولوژی پالپ و... است. در واقع این خصوصیات مهم به یگدیگر وابسته بوده و به عواملی مثل PH و مقاومت یونی پالپ بستگی دارد. از این مهمتر بدون داشتن یک رابطه صحیح از خصوصیات سطحی سیستم، تحت شرایط شیمیایی مشابه با حالتی که در داخل آسیا رایج است، نتایج خردایش به طور مستقیم محتمل با اثر افزودنیها بر روی فرایندهای شکست هستند. مثالهایی دیگر از این مقاله ممکن است مقصود این ویژگیها را توضیح دهد. مثلاً، عده ای از دانشمندان در حضور مایعات با کشش سطحی بالا خردایش سریعتر را به دست آوردند. این نتایج با نتایج حاصل از کارهای **Kiesskalt** در تناقض است که با حضور موادی مثل الکل ها، بنزن، متیل سیکلوهگزان و ... نسبت به آب خردایش ریزتری به دست می دهد. این موارد پیشنهاد می دهد که کشش سطحی خیلی مهم نیست. در جهت معکوس کشش سطحی ممکن است نقش مهمی در فرایند خردایش را داشته باشد، اما خصوصیات هم کنشگرانه دیگر نیز باید مدنظر قرار گیرد.

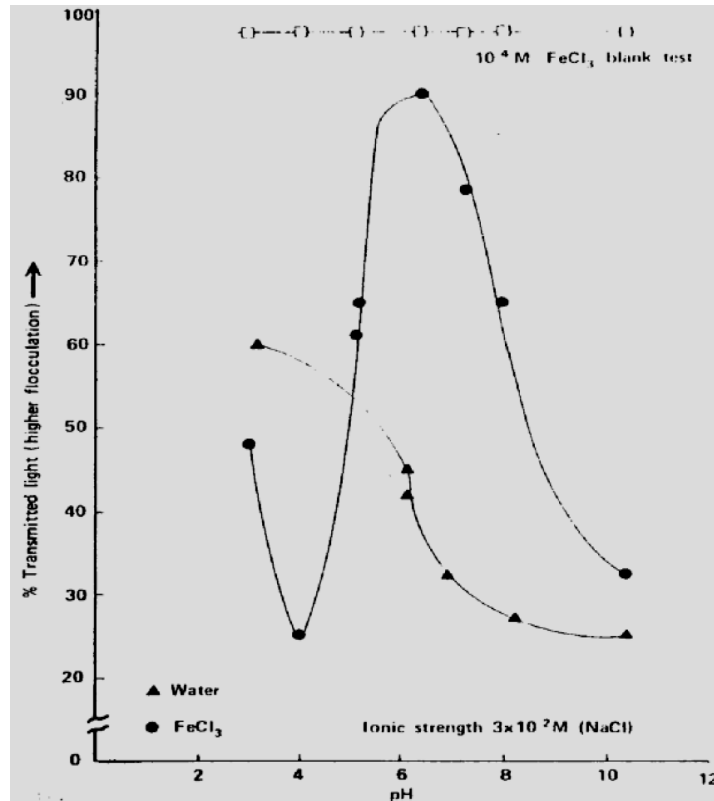
تاثیر افزودن عاملهای ارگانیکی و غیر ارگانیکی در خردایش به عواملی مثل PH و غلظت افزودنی بستگی دارد. در این رابطه بایستی یادآوری شود که پتانسیل زتا و سپس خصوصیات تجمع و تفرق مواد خرد شده بستگی به PH ، مقاومت یونی و غلظت افزودنی دارد. برای مثال اطلاعات ارائه شده در اشکال (5) و (6) نشان می دهد که پتانسیل زتا و خصوصیات جمعی ذرات ریز کوارتز با افزودن $FeCl_3$ در مقادیر مختلف PH تغییر می کند. مثالهای دیگری در خصوص تغییر پتانسیل زتا به علت افزودن سورفاکتانت ها در غلظت های مختلف توسط محققین دیگری به دست آمده است.



شکل (5)- تاثیر افزودن $FeCl_3 10^{-4} M$ بر روی پتانسیل زتا در توده ای از لجن کوارتز به صورت تابعی از

PH

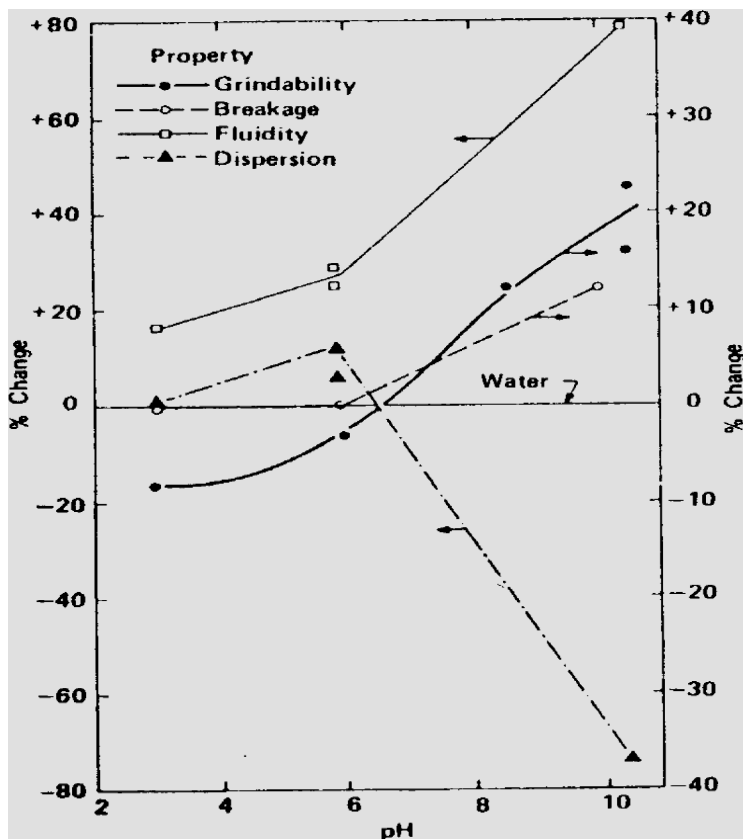
بنابراین به منظور تعیین مکانیزم های ممکن برای تحلیل فعالیت کمک سایشها، اندازه گیری صحیح این پارامترهای مهم بایستی بر روی نمونه های مواد خرد شده با استفاده از شرایط شیمیایی مشابه انجام گیرد. به عبارت دیگر، نتایج خردایش نباید با مقادیر پتانسیل زتا که در مقاله آمده است، مرتبط باشد. دلیل آن این است که چنین خصوصیتی به منشأ ماده معدنی بستگی دارد. نکته مهم دیگر این که یونهای آزاد شده در دستگاه خردایش، به عنوان مثال مقدار آهن در آسیاهای فولادی یا آلومینیم در آسیاهای چینی، هنگام اندازه گیری خصوصیات هم کنشگرانه باید مدنظر قرار گیرند. اثرات القا کننده این یونها با یکدیگر متفاوت است که منجر به نتایج خردایش مختلف در هنگام استفاده از کمک سایشها به طور مشابه می شود.



شکل (6)- افزودن $10^{-4} M FeCl_3$ در توده ای از لجن کوارتز به صورت تابعی از PH

تغییر در خصوصیات هم کنشگرانه منجر به تغییر در رئولوژی پالپ می شود. بنابراین این خصوصیت مهم باید تحت شرایط مطالعاتی ارزیابی شود. بسیاری از محققین از نقش سیالیت در توضیح اثرات گزارش شده کمک سایشها غفلت کرده اند.

بحثهای بالا نشان می دهد که باید به خردایش به عنوان یک فرایند تکمیلی شامل فرایندهای فرعی همزمان نگریست که از تغییرات خصوصیات فیزیکوشیمیایی پالپ تاثیر می پذیرد. به عبارت دیگر، اثرات انفرادی به همان اندازه اثرات تجمعی افزودنیها نسبت به خصوصیتی از قبیل شروع و توسعه ترک، سیالیت پالپ، ویژگیهای تجمعی و تفرق مواد خرد شده اهمیت دارد اثرات این افزودنیها روی این خصوصیات با نتایج خردایش که در شکل (7) نشان داده شده، دیده می شوند.



شکل (7)- دیاگرام تغییر در شرایط سوسپانسیون کوارتز با افزودن 10^{-5} آمین

بررسی ها نشان داد که افزودنیها در اندازه های مختلفی بر روی خصوصیات گفته شده در بالا تاثیر دارند که این خود به عواملی همچون شرایط PH وابسته است. این مورد کارشناسان را مجاب می کند به اینکه یک مکانیزم نمی تواند در هر شرایطی شیوه عملکرد کمک سایشها را توضیح دهد. در پایان پیشنهاد می گردد اثرات منفرد و تجمعی افزودنیها بر روی خصوصیات معین بایستی برای ارزیابی صحیح از مکانیزم های درگیر مدنظر قرار گیرد.

4- بحث و نتیجه گیری

توابع شکست (*Breakage function*) و انتخاب (*Selection function*) ابزارهای مهمی برای ارزیابی اثرات کمک سایشها هستند. شایان ذکر است که اندازه گیری این دو آیتم و توزیع زمان ماند مواد برای شبیه سازی رفتار آسیابها لازم و ضروری است. برای تاثیرگذاری واقعی کمک سایشها، بایستی با درکی کامل از شرایط بهره برداری اقدام به مصرف مواد افزودنی نمود: این شرایط شامل قابلیت خردایش و دمایی کلینکر ورودی، میزان گچ، کالیبراسیون شنک های خوراک، صحت و دقت تزریق (پمپ های مصرفی)، مکش های خروجی آسیاب، میزان آب مصرفی جهت خنک سازی سیمان، مناسب بودن شارژ اطاقچه ها، سرعت آسیاب، نوع و تنظیمات سپراتور، صحت عملکرد تجهیزات غبارگیر و مسیرهای ترانسپورت (پارچه ایراسلاید، میزان هوادهی و...) است.

به منظور از بین بردن تناقضات در ارزیابی واقعی کمک سایشها، وجود تکنیک ها و آزمایشهای استاندارد، لازم و ضروری به نظر می رسد و در این آزمایشات (سیستم تر

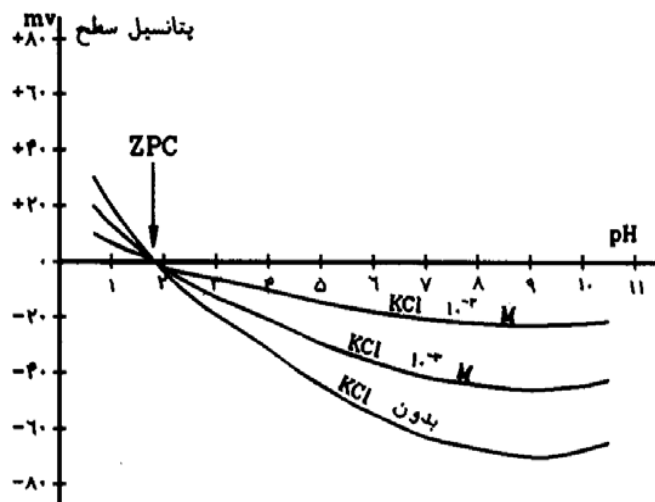
و خشک) کنترل، مونیتورینگ و اندازه گیری پارامترهای مهم و خصوصیات هم کنشگرانه صنعتی از قبیل PH ، مقاومت یونی، جذب، کشش سطحی، پتانسیل زتا، تجمع و پراکندگی و رنولوژی پالپ باید در نظر گرفته شود.

در صنایع مختلف به منظور بررسی توجیه فنی و اقتصادی کمک سایشها تمامی عوامل از جمله قیمت محصول تولیدی، هزینه کلی آسیا در واحد وزن (تن) محصول، شامل هزینه های الکتریسیته، پرسنل، مواد، نگهداری، استهلاک دستگاهها و سرمایه و هزینه مواد کمکی را باید لحاظ نمود.

5- مفاهیم و تعاریف:

1- پتانسیل زتا:

بار الکتریکی سطحی ممکن است در اثر مکانیزمهای متعددی ایجاد شود. این مکانیزمها شامل جذب شیمیایی، انحلال ترجیحی یونهای سطح و جانشینی شبکه ای می شود. این بار الکتریکی را می توان توسط آزمایشهایی ساده مانند "پتانسیل جریان"، "پتانسیل ته نشینی" و "الکترواسموز" نشان داد. یکی از رایج ترین مکانیزمهای ایجاد بار که در بسیاری از سیستم های شامل اکسیدها، سیلیکات ها و نمکهای غیر محلول امکان پذیر است، تشکیل و سپس تجزیه گروههای اسید در سطح می باشد. به عنوان مثال در مورد کوارتز، اسید سیلیسیک یا سیلانول ($SiOH$) تشکیل شده در سطح تجزیه می شود و یونهای هیدروژن را در محیط آزاد می کند. به این ترتیب، سطح در اثر وجود گروههای سیلیکات بر روی آن دارای بار منفی می شود. با افزایش فعالیت یون های هیدروژن، جهت واکنش معکوس شده و سطح دارای بار مثبت می شود. به این علت یون هیدروژن را "یون تعیین کننده پتانسیل" می گویند، زیرا بار سطحی و پتانسیل سطحی توسط فعالیت آن در فاز مایع تعیین می گردد. در حد فاصل این دو حالت، زمانی که فعالیت یون هیدروژن در حد مشخصی باشد، سطح بدون بار است. این فعالیت مشخص نشان دهنده "نقطه بار صفر (zpc or zero point of charge)" آن جسم می باشد. به عنوان مثال، به طوری که در شکل (8) دیده می شود، بار سطحی کوارتز در PH کمتر از $1/8$ مثبت و در PH بیشتر از آن منفی است. چنانچه PH محیط معادل با $1/8$ باشد، سطح بدون بار می باشد (نقطه بار صفر).



شکل (8)- تاثیر یون های بی تفاوت بر روی پتانسیل الکتروستاتیک کوارتز

2-5- رنولوژی پالپ: رنولوژی پالپ خواص و ویژگی‌های مرتبط با سیالات است که در ارتباط با لزجت و ویسکوزیته می باشد.

مراجع:

- 1- H. E.El-Shal, " *Grinding aids*", Department of metallurgy and Mineral Processing Engineering, Montana College of Mineral Science and Technology, Butte, Montana.No 5(1988), pp(159-177).
- 2- J. Kolacz, K.L.Sandvik, " *The effect of grinding aids on fine grinding*", SINTEF-Rock and Mineral Engineering,No 2(1977), pp(251-260).
- 3- A. T. Albayrak, M. Yasar, M.A.Gurkaynak, I.Gurgey, " *Investigation of fatty acids on the compressive strength of the concrete ana grindability of the cement*", Cement and Concrete Research, No 35(2005), pp(400-404).
- 4- یعقوبی. محسن، حاجی امین شیرازی. حسن، رفیعی. محمود، " بررسی آزمایشگاهی تولید سیمان 425 از سیمان تیپ 2 در آسیای گلوله ای"، ماهنامه احداث صنعت سیمان، آذر 86.
- 5- نعمت اللهی، حسین. "کانه آرایبی (جلد دوم)", انتشارات دانشگاه تهران, بهار 1381.
- 6-W.Rechenberg, "The behaviour of *grinding aids* in cement grinding", Research Institute of the cement industry, dusseldorf, ZKG, NO 10/86, (PP.577-580).
- 7- بکاییان, منوچهر. " هند بوک مهندسی سیمان, مواد نسوز و مصالح ساختمانی", انتشارات مرکز آموزش نیروی انسانی مجتمع صنعتی سیمان آبیگ. جلد اول, تابستان 76.