

## شبیه سازی و مدلسازی واحدهای خردایش برای افزایش مقاومت ملات در آسیاهای سیمان (مطالعه موردی : مفاهیم و کاربردهای توابع شکست، انتخاب و توزیع زمان ماند)

محسن یعقوبی، فریدون رحمانی

شرکت سیمان اردستان

### چکیده:

بهینه سازی آسیاهای سیمان برای دستیابی به سیمانهای با مقاومت بالاتر به لحاظ دانه بندی، می تواند از اولین اهداف در بالابردن کیفیت در کارخانجات سیمان باشد. از عواملی که در کارایی آسیاها دخالت دارند و در بهینه سازی باید مورد توجه قرار گیرند می توان به گلوله ها (تعداد، ابعاد و دانسیته)، نوع لاینر و نرخ خوراک دهی اشاره کرد. بررسی تاثیر این پارامترها به صورت مداوم (on line) بسیار وقت گیر و پرهزینه است. از این رو برای بهینه سازی آسیاهای سیمان از تکنیکهای مدلسازی ریاضی و شبیه سازی کامپیوتری استفاده شده است. مفاهیم تابع شکست (*Breakage function*)، تابع انتخاب (*Selection function*) و توزیع زمان ماند (*RTD*) از ابزارهای مدلسازی آسیاهای گلوله ای به شمار رفته است. با استفاده از این مفاهیم می توان در آسیای آزمایشگاهی بهترین شارژ گلوله را برای دستیابی به بیشترین دامنه ذرات تاثیر گذار بر مقاومت ۲۸ روزه (ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون) انتخاب کرد و آن را به آسیای صنعتی تعمیم داد. از مزایای مهم دیگر کاربرد این توابع در صنایع سیمان و فراوری مواد معدنی می توان به انتخاب یا بهبود قطر بزرگترین گلوله آسیا، تعیین قطر و اندازه آسیا و طراحی خطوط خردایش برای تولید محصولی با کیفیت دلخواه با صرف کمترین میزان انرژی مصرفی و بیشترین بازده اشاره کرد.

کلمات کلیدی: تابع شکست (*Breakage function*)، تابع انتخاب (*Selection function*)، توزیع زمان ماند (*RTD*) و شارژ گلوله

### ۱- مقدمه

آیا روشهای موجود در بیان نرمی می تواند ویژگی و تاثیر گذاری این پارامتر مهم را در خواص سیمان مورد ارزیابی قرار دهد. و آیا دیدگاه سنتی ما در مورد استفاده از بلین و زبری می تواند اثرات پارامتر نرمی را بر خواص سیمان و به طور اخص مقاومت سیمان توجیه نماید؟ بررسیهای تحقیقاتی روز در دنیا نشان می دهد که پارامتر بلین به تنهایی نمی تواند اثر پدیده نرمی را بر خواص سیمان و به طور اخص مقاومت آن توجیه نماید. سیمانهای با بلین یکسان می توانند دارای توزیع دانه بندی متفاوت باشند و آزمایش بلین یک معیار کامل برای ارزیابی نرمی سیمان نیست. از سوی دیگر پارامتر زبری روی الک ۹۰ میکرون نیز نمی تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی دانه بندی سیمان بر مقاومت آن باشد. زیرا آخرین بررسیهای تحقیقاتی بر روی اثرات دانه بندی بر مقاومت سیمان نشان می دهد که ذرات بزرگتر از ۳۰ میکرون نقش قابل ملاحظه ای در مقاومت سیمان ندارند. پس ما چگونه می توانیم از طریق معیار زبری روی الک ۹۰ میکرون پی به اثرات مقاومتی سیمان ببریم؟ بنابر این لزوم توجه بیشتر به مبحث توزیع دانه بندی سیمان و پارامترهای مربوطه بسیار است. اینکه واقعا چه محدوده ای از ذرات دارای چه تاثیراتی بر سنین مختلف مقاومتی (۳، ۷ و ۲۸) روزه می باشد. جدید ترین بررسیهای روز در صنعت سیمان نتایج زیر را به صورت ذیل در مقالات معتبر ارائه کرده اند:

۱) ذرات خیلی ریز اثرات عمده ای در مقاومت سنین زودرس سیمان (۱، ۲، ۳) روزه دارند که دامنه این ذرات در برخی مقالات تا ۳ میکرون و در برخی تا ۷ میکرون معرفی شده اند.

۲) در برخی از مقالات ذرات ۵ تا ۲۵ میکرون و در برخی دیگر ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون به عنوان مناسب ترین دامنه موثر بر مقاومت ۲۸ روزه سیمان شناخته اند. به هر صورت دامنه های موثر از دانه بندی بر مقاومت سنین مختلف روز به روز دامنه محدود تری به خود می گیرد. به طوریکه یکی از مقالات تحقیقاتی این محدوده ها را به شرح ذیل اعلام می نماید:

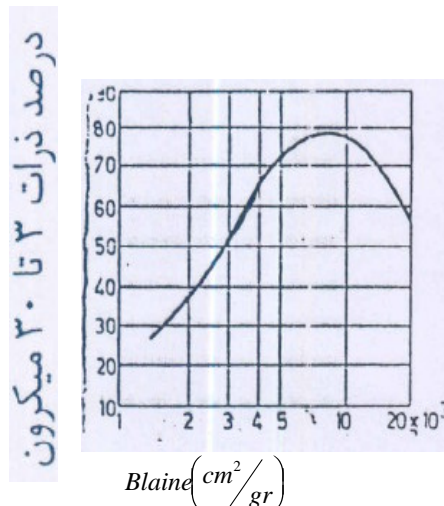
$d > 24 \mu \Rightarrow \text{Non effective on strength}$

$16 < d < 24 \mu \Rightarrow \text{effective on strength (28 days)}$

$8 < d < 16 \mu \Rightarrow \text{effective on strength (7 days)}$

$d < 8 \mu \Rightarrow \text{effective on strength (primitive)}$

حال ببینیم که آیا اثرات شاخص های موجود نرمی بر توزیع دانه بندی بهینه که فعلا ما آن را با محدوده ۳ تا ۳۰ میکرون معرفی می کنیم، چگونه است؟ مراجع معتبر، اثرات تغییرات بلین بر محدوده توزیع دانه بندی ۳ تا ۳۰ میکرون را به صورت شکل ذیل بیان می کنند:



شکل (۱) - اثر معیار بلین بر توزیع دانه بندی ۳ تا ۳۰ میکرون

## ۲- تئوری

### ۲-۱- راندمان عملیات آسیا کردن در واحدهای معدنی

خردایش فرایندی انرژی بر بوده به طوریکه در حدود ۳ تا ۴ درصد از کل انرژی جهانی را به خود اختصاص داده است و شامل ۷۰٪ انرژی مورد نیاز در کارخانه های سیمان است. با در نظر گرفتن این فاکتورها دستیابی به یک خردایش کارا، با در نظر گرفتن نگهداری منابع انرژی، اثر بزرگی بر روی هزینه های عملیاتی می تواند داشته باشد. در طول دو دهه اخیر پیشرفتهای قابل ملاحظه ای در زمینه کارایی خردایش نه به دلیل توسعه ماشین آلات جدید که استفاده از انرژی را بهبود می بخشد، بلکه به دلیل طراحی بهینه سیستم های خردایش و متغیرهای عملیاتی که قادرند استفاده از انرژی را بهبود ببخشند، صورت گرفته است.

در طراحی مدارهای خردایش در یک کارخانه سیمان، روش باند به طور گسترده ای برای تعیین ارزیابی عملکرد و تعیین انرژی مورد نیاز و اندازه آسیا برای مواد، مورد استفاده قرار گرفته است. این روش، روشی پیچیده بوده و زمان زیادی را صرف می کند. به علاوه به خطاهای عملی نیز بسیار حساس است. به همین منظور روش های مختلفی به عنوان راهکار برای روش باند توسط محققین پیشنهاد شده است. در سالیان اخیر مدل های ماتریکس و سینتیک که توسط محققین ارائه شده است در آزمایشگاهها و آسیاهای صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است. مدل سینتیکی که به عنوان یک گزینه امید بخش مطرح بوده، خردایش را به صورت فرایندی پیوسته که در آن نرخ شکست اندازه ذرات متناسب با جرم موجود در آن ذره است، توصیف می کند. آنالیزهای کاهش ابعادی در آسیاهای گلوله ای با استفاده از مفاهیم نرخ ویژه شکست و توزیع شکست اولیه در سالیان گذشته، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. Austin و همکاران مزایای این تکنیک را بررسی کرده و اطلاعات آزمایشگاهی را در آسیاهای بزرگ مقیاس مدل کرده اند که در مقالات مختلفی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. عملیات آسیا کردن یکی از مهمترین و پرهزینه ترین مراحل فرآوری مواد معدنی است که حدود ۷۰٪ از انرژی مصرفی کارخانه را به خود اختصاص می دهد. از سوی دیگر به دلیل تاثیر بسیار زیاد دانه بندی بر محصول آسیا در فرایندهای بعدی سیمان، غالبا این محصول بایستی دارای خصوصیات از پیش تعیین شده ای از نظر توزیع دانه بندی باشد.

در مدلسازی سیستم های آسیا کننده، سه یا چهار پدیده اساسی باید توصیف شوند. اولین پدیده توصیف انتقال جرم می باشد. در اغلب اوقات توزیع زمان ماند کافی است. در حقیقت نشان داده شده است در برخی از آسیاهای صنعتی در مدار بسته با وسایل طبقه بندی می توان فرایند آسیا کردن را به صورت رضایت بخشی به صورت الگوهای جریان لوله ای، اختلاط کامل یا بین اینها مدلسازی کرد. در آسیاهای خشک (آسیاهای سیمان) بهترین و مطمئن ترین ردیاب استفاده از مواد رادیو اکتیو یا مواد به نام فلورسین است (تاکنون در

خصوص تعیین تابع توزیع زمان ماند در کارخانجات سیمان کاری نشده و یا در قالب مقاله ای مطرح نشده است). پدیده دوم توزیع اندازه قطعات پس از شکسته شدن می باشد. این پدیده نیز یک متغیر آماری است که در این مقاله با نام تابع شکست (یا تابع توزیع شکست) مورد بررسی قرار می گیرد. پدیده سوم سینیتیک شکست می باشد. شکست یک فرایند سینیتیک مرتبه اول در نظر گرفته می شود و ثابت نرخ برای ذرات با اندازه معین این پدیده را به خوبی توصیف می کند. با در هم آمیختن این سه مفهوم می توان بسیاری از عملیات آسیاهای گلوله ای را به مقدار کافی توصیف نمود.

## ۲-۲- تابع شکست و تابع انتخاب

به تجربه مشخص شده است که اندازه گلوله باید متناسب کاری باشد که قرار است انجام شود. به عبارت دیگر اندازه گلوله برای یک خوراک درشت و یا یک کانه سخت باید بزرگتر از اندازه گلوله برای یک خوراک ریز و یا یک کانه نرم باشد. اگر قطر گلولهها بزرگتر از حد لازم برای شکستن ذرات درشت در خوراک ورودی آسیا باشد موجب تولید نرمه می شود و اگر بیش از حد کوچک باشد، فاقد انرژی لازم برای شکستن ذرات درشت خواهد بود. در هر دو حالت عمل خردایش در آسیا به طور مطلوب انجام نمی شود. بهتر است در آسیا طیفی از اندازه گلوله موجود باشد به طوری که بین تعداد گلولههای بزرگ و مقدار ذرات درشت خوراک ورودی توازن برقرار شده و تعداد گلولههای کوچک به اندازه ای باشد که سطح تماس کافی برای نرم کردن ذرات ریز داخل آسیا را که به طور پیوسته و با نرخ ثابتی تولید می شوند ایجاد نماید

خردایش کانه در آسیا بیشتر با دو مکانیزم کوبش و سایش صورت می گیرد. عامل کوبش، فرو ریزش گلولههای درشت بر روی بار است و عامل سایش، حرکت لغزشی گلولههای کوچکتر در آسیا می باشد. ضربه ای که توسط گلوله وارد می شود متناسب با انرژی جنبشی است:

$$(E = \frac{1}{2}mv^2) \quad (1)$$

E انرژی جنبشی گلوله، m جرم گلوله، v سرعت حرکت گلوله و d قطر گلوله.  
انرژی جنبشی گلوله متناسب با جرم گلوله و جرم گلوله نیز با مکعب قطر آن متناسب است. بنابراین:

$$d^3 \propto \text{شکست در اثر کوبش}$$

سایش ذرات در آسیا متناسب با سطح گلولهها است. سطح گلوله نسبت مستقیمی با مجذور قطر گلوله دارد و تعداد گلولهها نیز برای یک مقدار جرمی ثابت گلوله، رابطه عکس با مکعب قطر گلوله دارد، لذا سایش ذرات آسیا متناسب با عکس قطر گلوله است:

$$1/d \propto \text{سایش}$$

از آنجا که خردایش در آسیا با دو مکانیزم کوبش و سایش انجام می شود؛ لذا می توان گفت که میزان شکست ذرات در آسیا متناسب با مجذور قطر گلوله است. به عبارت دیگر نرخ شکست ذرات در آسیای گلوله ای رابطه مستقیم با سطح بار خردکننده دارد.

$$1/d = d^2 * d^3 \propto \text{خردایش (شکست ذرات) در آسیا}$$

اگر نحوه خردایش ذرات با قطرهای متفاوت در آسیا مورد بررسی قرار گیرد، مشخص می شود که همواره یک اندازه ابعاد ذرات وجود دارد ( $X_m$ )، که بیشترین نرخ شکست در آن اندازه صورت می گیرد و مقدار آن با مجذور قطر گلوله متناسب است. در حقیقت کاهش اندازه ذرات بزرگتر از ( $X_m$ ) عمدتاً با مکانیزم کوبش و کاهش اندازه ذرات کوچکتر از  $X_m$  با مکانیزم سایش صورت می گیرد.

$$X_m \propto d^2$$

اندازه بزرگترین گلوله در آسیا باید متناسب با اندازه بزرگترین ذراتی باشد که باید آسیا شوند و ترکیب اندازه گلوله در آسیا باید متناسب با دانه بندی خوراک ورودی و دانه بندی محصول مورد انتظار باشد. بر اساس پیشنهاد باند گلوله های فلزی با قطر 1، 2 و 3 اینچ به ترتیب برای نرم کردن ذراتی با قطر 1، 4 و 9 میلیمتر مناسب هستند و در آسیاهای صنعتی به لحاظ اقتصادی نباید از گلوله های کوچکتر از یک اینچ استفاده نمود. با تنظیم رژیم شارژ روزانه آسیا (در آسیاهای تر روزانه گلوله به آسیا شارژ می شود) می توان ترکیب ابعاد تعادلی دلخواه گلوله در آسیا را به دست آورد. اگر رژیم شارژ روزانه آسیایی از یک اندازه گلوله باشد و سایش گلوله در قطرهای مختلف یکسان فرض شود، ترکیب تعادلی اندازه گلوله در آسیا از رابطه زیر تبعیت می کند:

$$Y = (X_i / B)^{3/8} \quad (2)$$

Y کسر وزنی عبوری گلوله از اندازه  $X_i$ ، B اندازه قطر گلوله ای است که روزانه وارد آسیا می شود.

در عمل ممکن است به علت تغییر سختی گلوله در قطرهای مختلف این دانه بندی به دست نیاید. برای به دست آوردن بهترین ترکیب دانه بندی گلوله باید با بررسی توزیع دانه بندی خوراک و محصول آسیا و توزیع سطح جانبی طبقات مختلف اندازه گلوله، رفتار گلوله ها را مورد بررسی قرار داد. اگر در نمودار دانه بندی خروجی آسیا، در یک طبقه اندازه، تجمع ذرات وجود داشته باشد، نشاندهنده آن است که درصد گلوله مناسب برای خرد کردن آن طبقه اندازه ذرات کم است و باید سهم آن را افزایش دهیم. عامل دیگری که در تحلیل خردایش

آسیا مورد بررسی قرار می‌گیرد، تابع انتخاب<sup>۱</sup> یا نرخ شکست ذرات ماده معدنی در آسیا است. برای محاسبه تابع انتخاب به دانه‌بندی خوراک ورودی، دانه‌بندی محصول خروجی آسیا و تابع شکست<sup>۲</sup> ماده معدنی نیاز است.

## ۲-۱-۲-۲ تابع شکست

تابع شکست بیانگر نحوه توزیع دانه بندی یک طبقه اندازه، ذرات ماده معدنی پس از یک مرتبه خردایش است و با  $B_{i,j}$  و  $b_{i,j}$  نمایش داده می‌شوند.  $B_{ij}$  یعنی کسری از ذرات طبقه ابعادی  $j$  که پس از خرد شدن به طبقه ابعادی ریزتر  $i$  می‌رسند.  $b_{i,j}$  یعنی کسری از طبقه  $j$  که پس از خرد شدن در طبقه  $i$  قرار می‌گیرند. با این تعاریف می‌توان نوشت:

$$b_{ij} = B_{i-1,j} - B_{i,j} \quad (3)$$

تابع شکست از ویژگیهای یک کانه است و مستقل از شرایط خردایش فرض می‌شود. تابع شکست در ذرات می‌تواند به صورت نرمال یا غیر نرمال باشد. چنانکه تابع شکست قابل نرمال شدن باشد، فرمول زیر بر قرار می‌باشد:

$$b_{ij} = b_{i+1,j+1} \quad (4)$$

و چنانچه تابع شکست به صورت غیرنرمال باشد، با تغییر ابعاد بار اولیه، تابع شکست تغییر می‌کند. در این صورت جهت محاسبه تابع شکست، فرمول زیر ارایه می‌گردد:

$$B_{i,1} = \Phi(d_{i-1}/d_1)^\alpha + (1 + \Phi)(d_{i-1}/d_1)^\beta \quad (5)$$

-  $d_i$  برابر ابعاد ذراتی است که در یکی از فراکسیون‌های پایین‌تر با فاصله  $\sqrt{2}$  قرار دارد،  $d_1$  برابر ابعاد خوراک بار اولیه می‌باشد (بالاترین سرنده در آنالیز سرنده)،  $\Phi$  برابر نقطه تقاطع امتداد بخش خطی منحنی با محور قائم می‌باشد،  $\alpha$  برابر شیب پایین‌ترین قسمت توزیع تجمعی می‌باشد،  $\beta$  دیگر پارامتر توزیع سائز می‌باشد.

مقادیر  $\Phi$  و  $\alpha$  و  $\beta$  را می‌توان با رسم نمودار لگاریتمی کاهش ابعاد در صورت جمعی عبور کرده، بدست آورد. سایر  $j$  تنها مورد یکبار شکست قرار گرفته و ذرات حاصل از شکست در طبقات پایین‌تر که اندازه کاهش آنها ضریبی از  $\sqrt{2}$  می‌باشد تقسیم می‌شود. احتمال این تقسیم با  $B_{ij}$  نشان داده می‌شود و برابر با قسمتی از وزن مواد است که از اندازه  $j$  شکسته شده و به سائزهای پایین‌تر از  $i$  رفته است.

همچنین نشان داده شده است که تابع توزیع شکست مستقل از متغیرهای قطر آسیا، چگالی گلوله‌ها و مقدار بار گلوله (دامنه محدود) است. بنابراین تابع شکست تقریباً مستقل از شرایط عملیاتی است و می‌توان مقادیر محاسبه شده در آزمایشگاه را مستقیماً در شرایط واقعی به کار برد.

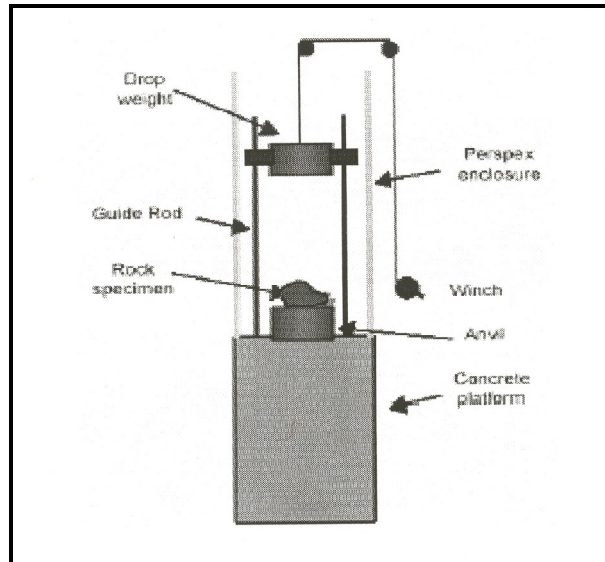
## ۲-۱-۲-۲ روش‌های تعیین تابع شکست

به طور کلی روش‌های ارایه شده جهت محاسبه تابع شکست را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد:

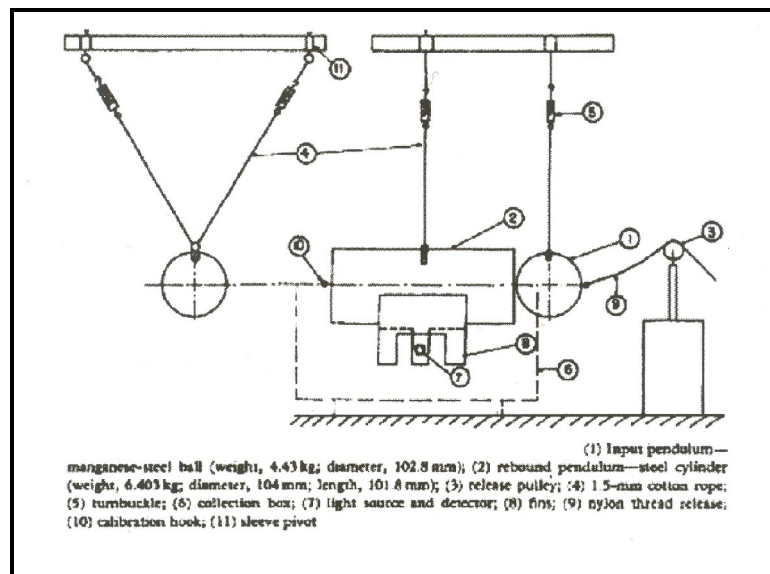
**الف: محاسبه با استفاده از یک ذره:** این روش‌ها به ذرات با ابعاد درشت محدود می‌شوند. با استفاده از این روش‌ها می‌توان میزان انرژی را جهت مدل‌سازی آسیاهای نیمه خود شکن محاسبه نمود. این محاسبات خود به دو روش آزمایش سقوط وزنه شکل (۲) و روش آونگ دوقلو شکل (۳) تقسیم می‌شوند.

<sup>1</sup> Selection Function

<sup>2</sup> Breakage Function



شکل (۲) - شماتیک اجزای دستگاه سقوط وزنه



شکل (۳) - شماتیک اجزای دستگاه آونگ دو قلو

**ب: محاسبات با استفاده از آزمایشهای آسیا کردن:** از این روش می‌توان در ابعاد ریز استفاده کرد. همچنین تعداد ذرات مورد آزمایش در این روش‌ها زیاد می‌باشند، که منجر به دقت و صحت بیشتر این روش‌ها می‌شود. محاسبات با استفاده از آزمایشهای آسیا کردن به چهار روش آستین<sup>۳</sup> و لوکی<sup>۴</sup>، روش هرست<sup>۵</sup> و فیورستنا<sup>۶</sup>، روش بقوبه<sup>۷</sup> و روش دوم آستین و لوکی انجام می‌گیرد.

**ج: محاسبات برگشتی<sup>۸</sup>:** از این روش می‌توان بر روی داده‌های آزمایشگاهی یا کارخانه‌ای استفاده کرد. در هر دو حالت نتیجه قابل قبول هنگامی به دست می‌آید که تابع شکست به صورت ریاضی نمایش داده شود.

<sup>3</sup> Austin  
<sup>4</sup> Luckie  
<sup>5</sup> Herbst  
<sup>6</sup> Fuerstenau  
<sup>5</sup> Berube  
<sup>6</sup> Back Calculation

### ۲-۲-۲- تابع انتخاب یا نرخ شکست

نرخ شکست<sup>۹</sup>  $S_i$  بیان کننده آهنگ ناپدید شدن ماده معدنی از یک طبقه اندازه در اثر خردایش است و واحد آن عکس زمان می باشد  $(\frac{1}{\min})$ . تابع انتخاب یا نرخ شکست برای یک کانه عدد ثابتی نیست و به شرایط خردایش و روش آسیاکنی، قطر آسیا، ترکیب گلوله، رئولوژی پالپ، زمان آسیاکنی، اندازه ذرات کانه و غیره بستگی دارد. برای محاسبه تابع انتخاب باید دانه بندی خوراک و ورودی آسیا، دانه بندی محصول آسیا، تابع شکست ماده معدنی و توزیع زمان ماند در وسیله خرد کننده موجود باشد. با داشتن تابع شکست سنگ معدن، دانه بندی، خوراک آسیا و تابع انتخاب یا نرخ شکست ذرات در آسیا می توان محصول آسیا را شبیه سازی نمود. رابطه کلی تغییرات تابع انتخاب یا تغییر اندازه ذرات در یک آسیا به صورت زیر پیشنهاد شده است:

$$S_i = a \left( \frac{x_i}{x_o} \right)^\alpha \times \frac{1}{1 + \left( \frac{x_i}{\mu} \right)^\Delta} \quad (6)$$

$S_i$  - تابع انتخاب یا نرخ شکست  $(\frac{1}{\min})$ ،  $X_i$  اندازه ذرات  $(mm)$ ،  $X_o$  اندازه بزرگترین ذره ماده معدنی  $(mm)$ ،

$a, \mu, \Delta, \alpha$  ضرایبی هستند که از طریق پردازش منحنی به دست می آیند.

سمت راست رابطه (۶) ترکیبی از دو جمله است. وقتی اندازه ذرات نسبت به قطر گلوله ها خیلی کوچک باشد و اصطلاحاً شکست

نرمال باشد، نمودار تغییر  $S_i$  نسبت به اندازه ذرات خطی است. در این حالت:

$$\frac{1}{1 + \left( \frac{x_i}{x_o} \right)^\Delta} = 1 \quad (7)$$

و رابطه (۶) به صورت زیر خلاصه می شود که در مورد آسیاهای صنعتی نیز صدق می کند. برای ذرات درشت تر که میانگین نرخ شکست ذرات کاهش می یابد، این عبارت به شکل یک ضریب تصحیح وارد رابطه (۶) می شود. نمودار رابطه (۶) دارای یک نقطه ماکزیمم  $(X_m)$  است، که بیانگر اندازه های از ذرات است که دارای حداکثر نرخ شکست هستند.

$$S_i = a \times \left( \frac{x_i}{x_o} \right)^\alpha \quad (8)$$

### ۳- کاربرد توابع شکست و انتخاب

با استفاده از این توابع می توان بدون تغییر در مسیرهای خردایش جهت آزمایشهایی تجربی، تجهیزات و ابعاد تجهیزات مورد نیاز جهت بهبود کیفیت خردایش را مشخص نمود. حتی با داشتن این توابع می توان خطوط خردایش مربوط به هر ماده معدنی را جهت فرآوری آن ماده با توجه به فرآیندی که روی آن ماده انجام می پذیرد، را طراحی نمود. طراحی یک خط خردایش با توان تولید ماده به ابعاد مورد نیاز جهت فرآیند تغلیظ و تخلیص با کمترین میزان انرژی مصرفی و بیشترین بازده، از اهداف اصلی طراحان خطوط خردایش است. همچنین کاهش میزان مواد نرمه<sup>۱۰</sup> در فرآیندهای کانه آرای بی بسیار حائز اهمیت است. به طور مثال تولید نرمه در فرآیند فلو تاسیون باعث کاهش میزان باربری حباب شده و بازیابی را به میزان محسوسی کاهش می دهد. محاسبه این توابع به ما کمک می کند تا بتوانیم تجهیزات موثر و لازم جهت عملیات خردایش را انتخاب نماییم. بهینه سازی خطوط خردایش نیز از دیگر کاربردهای توابع شکست و انتخاب می باشد.

با استفاده از این توابع می توان پارامترهایی مانند قطر گلوله های آسیای گلوله ای را انتخاب و یا بهبود بخشید. انتخاب گلوله های بزرگ باعث می شود تا مواد با سرعت بیشتری خرد شوند، ولی جهت استفاده از گلوله های بزرگتر از حد بهینه، باعث کاهش تعداد برخورد گلوله-ذره می شود. جهت انتخاب گلوله مناسب باید اندازه گلوله را تا جایی بزرگ نمود که با افزایش قطر گلوله، مقدار تابع انتخاب نیز افزایش یابد. اگر افزایش قطر گلوله باعث کاهش تابع انتخاب گردید، مشخص می شود که گلوله از حد بهینه بزرگتر شده است.

تابع انتخاب با کاهش اندازه ذرات کاهش پیدا می کند، زیرا سبب می شود تا ذره ریز بین دو گلوله که به یکدیگر برخورد می کنند، قرار نگیرد و پدیده نیشگون<sup>۱۱</sup> اتفاق افتد. اندازه ذره با تابع انتخاب دارای یک رابطه لگاریتمی است.

<sup>9</sup> Breakage Rate

<sup>10</sup> Slime

<sup>11</sup> Nipping

با استفاده از تابع انتخاب می‌توان اندازه آسیا را با تقریب معقولی محاسبه کرد. از طرفی با محاسبه انرژی جهت شکست مواد می‌توان توابع انتخاب و شکست را محاسبه نمود. جهت محاسبه اندازه قطر آسیا فرمول زیر ارایه شده است:

$$S_i = kd^\alpha$$

(۹)

$\alpha$ : پارامترهای تجربی برابر و تقریباً ۰/۶، k: ثابت تناسب ( $s^{-1}m^{-\alpha}$ )،

۱-۳- رویکرد کاربردی مفاهیم تابع شکست و انتخاب در صنعت سیمان برای افزایش مقاومت برای انجام مدلسازی آسیاهای سیمان به منظور بهبود دانه بندی سیمان (و بالتبع افزایش مقاومت ۲۸ روزه ملات) مراحل تستهای آزمایشگاهی و صنعتی (با فرض یک آسیای آزمایشگاهی گلوله ای با مشخصات زیر) به شکل ذیل است:  
جدول (۱)- مشخصات آسیای گلوله ای آزمایشگاهی

Mill volume	2.5 liter
Grinding balls	5 kg
Clinker weight	350 gr
Grinding time	10 min
Mill speed	70 rpm

۱- با استفاده از معادله ۲ ترکیبهای مختلف شارژ را در حالت‌های ترکیبی و تکی طراحی می‌کنیم به نحوی که وزن کلی شارژ ثابت بماند (البته سطح مخصوص تغییر می‌کند).

۲- با نمونه گیری از خط، ۳۵۰ گرم کلینکر را برای ۱۰ آزمایش، طوری در نظر می‌گیریم که دانه بندی و  $F_{80}$  ثابت باشد.

۳- خردایش را در آسیای آزمایشگاهی در زمان ثابت ۱۰ دقیقه برای حالت‌های مختلف شارژ گلوله انجام می‌دهیم و از خروجی آسیا نمونه می‌گیریم.

۴- با استفاده از دستگاه *Lazer particle sizer*، دانه بندی تجمعی نمونه‌ها را مشخص کرده و  $P_{80}$  و  $\Delta(3-30\mu)$  را مشخص می‌کنیم.

۵- رسم تابع انتخاب با شارژهای تک اندازه و ترکیبی گلوله‌ها و تعیین نقاط  $X_m$  که بیانگر اندازه ذراتی است که در آن بالاترین نرخ شکست وجود دارد. بنابراین اگر هدف از خردایش در آسیاهای سیمان تولید بیشترین ذراتی باشد که بیشترین تاثیر را بر مقاومت سیمان داشته باشند، می‌توان بهترین ترکیب شارژ را انتخاب کرد.

جدول (۲)- ترکیبهای مختلف شارژ برای انجام آزمایش خردایش آزمایشگاهی

تعداد گلوله با قطر های مختلف در آسیا							شماره آزمون
مجموع تعداد	قطر (mm)						
	۱۲/۷	۱۶/۵	۲۰	۲۵	۳۰	۴۰	
۱۹						۱۹	۱
۴۵					۴۵		۲
۷۸				۷۸			۳
۱۵۳			۱۵۳				۴
۲۷۳		۲۷۳					۵
۵۹۸	۵۹۸						۶
۴۷	۷	۶	۶	۷	۸	۱۳	۷
۱۰۱	۲۲	۱۷	۱۷	۲۲	۲۳	۰	۸
۱۵۸	۴۴	۳۵	۳۴	۴۵	۰	۰	۹
۲۶۸	۱۰۵	۸۳	۸۰	۰	۰	۰	۱۰

## نتیجه گیری

- ۱- روند تغییرات دانه بندی ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون بر حسب معیار بلین نشان داد که:
  - ۱-۱) افزایش درصد ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون به ازای تغییرات بلین از ۳۰۰۰ تا  $5000 \text{ cm}^2/\text{gr}$  بیشتر از سایر موارد بوده است. (حدود ۱۵ درصد)
  - ۲-۱) تغییرات درصد ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون به ازای تغییرات بلین از ۴۰۰۰ تا  $5000 \text{ cm}^2/\text{gr}$  بسیار کم و شاید حدود ۵ درصد باشد.
  - ۳-۱) روند تولید ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون پس از بلین  $5000 \text{ cm}^2/\text{gr}$  کاهشی است.
  - ۴-۱) تغییرات درصد ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون به ازای تغییرات بلین از ۲۰۰۰ به  $3000 \text{ cm}^2/\text{gr}$  نیز حداکثر ۱۰ درصد می باشد.
- در همین راستا گفته شده است که مقاومت نهایی ۲۸ روزه پس از بلین  $5000 \text{ cm}^2/\text{gr}$  افت می کند که این امر به خوبی تاثیر دامنه ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون را بر مقاومت ۲۸ روزه نشان می دهد. این امر نشان می دهد که جهت گیری ما در تولید سیمانهای مقاومت بالا می بایست در جهت تامین ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون باشد.
- ۲- بهترین و کم هزینه ترین روش برای بهینه سازی و کنترل خطوط خردایش در صنایع سیمان و مواد معدنی، استفاده از مدلسازی کامپیوتری و بهره گیری از نرم افزارهای شبیه ساز فرایند است.
- ۳- با در نظر گرفتن نوع و کیفیت شیمیایی کلینکر و افزودن کمک سایشها، جهت گیری خردایش در آسیاهای مدار باز و بسته سیمان باید به منظور تولید بیشترین ذرات موثر در مقاومت ۲۸ روزه ملات سیمان باشد.
- ۴- شارژ گلوله در آسیاهای سیمان به منظور تولید بیشترین ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون با بهره گیری و تعیین ۳ عنصر تابع شکست، تابع انتخاب و توزیع زمان ماند آسیا می تواند بهینه شود.
- ۵- متاسفانه در کشورمان با وجود قدمت ۷۵ ساله صنعت سیمان، تاثیر شبیه سازی و استفاده از نرم افزارهای شبیه ساز فرایند مانند *JKSIMMET*، *MODSIM*، *USIMPACK* و ... حتی در پروژه های تحقیقاتی، آنچنان که باید و شاید مورد بذل و توجه قرار نگرفته است و این در حالی است کشورهای همسایه مانند ترکیه و هند با بهره گیری از این تکنیکها، گامهای موثری در جهت ذخیره منابع انرژی برداشته اند. با توجه به رقابت کیفی کارخانجات در سالیان آینده، انتظار می رود مدلسازی و شبیه سازی واحدهای خردایش جایگاه خود را پیدا کند.

منابع و مراجع:

- 1- Tongsathitkulchai, c., "The effect of slurry on fine grinding in a laboratory ball mill", international journal of mineral processin, Vol.69, 29-47, 2003.
- 2- Deniz, V." The effect of mill speed on kinetic breakage parameter of clinker and limestone". Cement and Concrete Research. No 34(2004). pp(1365-1371).
- ۳- رفیعی، محمود. "دانه بندی، علم و کاربرد آن در صنعت سیمان"، مجتمع صنعتی سیمان آبیک، مرکز تحقیق و توسعه شرکت سهامی عام سیمان فارس و خوزستان، شهریور ۱۳۸۱.
- ۴- پورکانی، موسی. بنیسی صمد، ۱۳۸۲، «تأثیر توزیع ابعادی گلوله ها در خردایش با آسیاهای آزمایشگاهی»، مجله اندیشه، شماره ۲۷، صفحه ۲۵ تا ۳۲.
- ۵- یوسفی، علی اصغر. ایران نژاد، مهدی. فرزنانگان، اکبر. "تعیین تابع شکست مواد معدنی با استفاده از نرم افزار *BFDS*"، کنفرانس مهندسی معدن ایران، ۸۳، صفحه ۱۳۳۳ تا ۱۳۴۷.
- ۶- فرزنانگان، اکبر. "جزوه کنترل و مدلسازی سیستم های فرآوری مواد معدنی"، دانشگاه کاشان، ۱۳۷۹-۱۳۸۲.



This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.