



مدل سازی خردایش کلینکر سیمان با مدل مخلوط کامل در آسیای غلتکی عمودی کارخانه سیمان نهاوند

حسین شاه‌قلی قراملکی^{۱*}، کیانوش بارانی^۲، محسن یعقوبی^۳

چکیده

آسیا کردن کلینکر آخرین و پرمصرف‌ترین مرحله در فرایند تولید سیمان محسوب می‌شود. انرژی مورد نیاز برای آسیا کردن کلینکر حدود ۴۰ درصد از کل انرژی لازم برای تولید یک تن سیمان است. طی این مرحله ذرات کلینکر بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش ابعاد پیدا می‌کنند تا اینکه به سطح مشخصی از ابعاد برسند. در کارخانه سیمان نهاوند برای آسیاکنی مواد خام سیمان و کلینکر سیمان از آسیاهای غلتکی عمودی استفاده می‌شود. به عقیده محققان، شبیه‌سازی مناسب‌ترین روش برای بهینه‌سازی فرایند خردایش محسوب می‌شود. در این مقاله با استفاده از مدل مخلوط کامل، مدل‌سازی خردایش مواد برای آسیای غلتکی عمودی در کارخانه سیمان نهاوند انجام شده است. مدل مخلوط کامل یک رابطه ریاضی را برای فرآیند خردایش در آسیاها فراهم می‌کند. برای مدل‌سازی، ابتدا از جریان خوراک و محصول آسیای در حال کار نمونه‌گیری و سپس در آزمایشگاه دانه‌بندی ابعادی ذرات تعیین شده است. پس از تعیین پارامتر تابع شکست در آزمایشگاه با دستگاه آزمایشگاهی پیستون سیلندر و بدست آوردن پارامتر تابع انتخاب با محاسبات مدل، مقادیر پارامترهای مجهول در مدل مخلوط کامل برای آسیای غلتکی عمودی مشخص شد. از مدل محاسبه شده می‌توان دانه‌بندی محصول یا خوراک آسیا را بر اساس مشخص بودن دانه‌بندی خوراک یا محصول آسیا پیش‌بینی و در صورت امکان تغییراتی در عوامل موثر در مدار خردایش ایجاد کرد تا به دانه‌بندی مطلوب در محصول آسیا دست یافت.

واژه‌های کلیدی

مدل‌سازی، آسیای غلتکی عمودی، مدل مخلوط کامل، تابع شکست، تابع انتخاب

^{۱*} دانشجوی کارشناسی ارشد فراوری مواد معدنی، دانشگاه لرستان، تلفن تماس ۰۹۳۷۸۵۰۱۰۲۷ و hshahgoli@yahoo.com

^۲ استادیار فراوری مواد معدنی، دانشگاه لرستان، گروه معدن، Barani.k@lu.ac.ir

^۳ رییس بهره برداری شرکت سیمان نهاوند، mohsen676@gmail.com

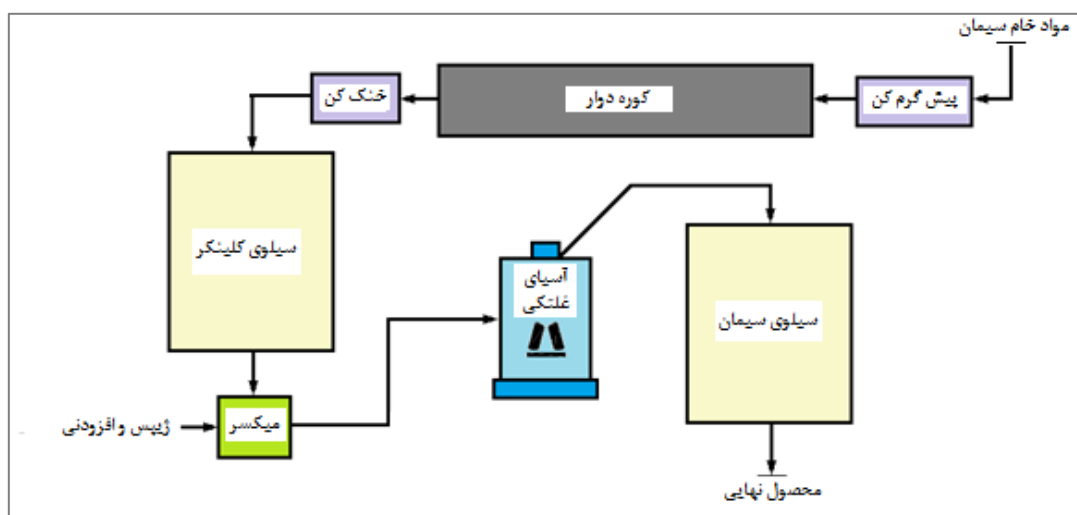
آهن با عیار ۵۵ درصد پس از یک مرحله سنگ شکنی با سنگ شکن چکشی و آسیاکنی با آسیای غلتکی عمودی وارد سیستم پیش گرم کن می‌شوند. مواد در پیش گرم کن به دمای 850°C و در کوره دوار تا 1450°C و در سیستم خنک کن به 200°C می‌رسند. محصول کوره به عنوان کلینکر سیمان معروف است. d_90 کلینکرها کوچکتر از 32mm است. کلینکرها وارد سیلوی کلینکر شده و خروجی سیلوی کلینکر با گچ (ژپس) و در برخی مواقع افزودنی‌هایی مثل پوزولان و سرباره کوره ذوب آهن مخلوط شده و وارد آسیای غلتکی عمودی می‌شود. این آسیا با توان 3000kWh و تناژ 120t/h کار می‌کند. d_{80} خروجی آسیای کلینکر کوچکتر از $119\mu\text{m}$ است. محصول آسیا به سیلوهای کلینکر هدایت شده و محصول نهایی سیمان از این سیلوها برداشت می‌شود. شکل ۱ فلوشیت ساده‌ای از مدار پخت سیمان و خردایش کلینکر را نشان می‌دهد [۲].

۲- روش کار

فایتلی^۱ و همکاران (۲۰۱۳) آسیای غلتکی عمودی با کلاسیفایر با بازدهی بالا را با مدل ماتریسی شبیه‌سازی کرده‌اند. مدل ماتریسی نوشته شده توسط فایتلی بصورت مجزا برای کلاسیفایر داخل آسیا و میز و غلتک‌های درون آسیا در نظر گرفته شده و تابع روزین راملر^۲ در فرایند شبیه‌سازی کلاسیفایر استفاده شده است [۵]. اسنالت^۳ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده

آسیا کردن کلینکر آخرین و پرمصرف‌ترین مرحله در فرایند تولید سیمان محسوب می‌شود. انرژی مورد نیاز برای آسیا کردن کلینکر حدود ۴۰ درصد از کل انرژی لازم برای تولید یک تن سیمان است. طی این مرحله ذرات کلینکر بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش ابعاد پیدا می‌کنند تا اینکه به سطح مشخصی از ابعاد برسند [۳]. شبیه سازی به پیش‌بینی عملکرد مراحل یک مدار یا به عبارتی خصوصیات جریان مدار مانند دبی جرمی، غلظت جامد و توزیع ابعادی ذرات به عنوان تابعی از خصوصیات مواد، مشخصات ماشین (آسیا) و شرایط عملیاتی دلالت دارد [۴]. شبیه‌سازی مناسب‌ترین روش برای بهینه‌سازی فرایند خردایش محسوب می‌شود، زیرا در کمترین زمان و هزینه ممکن می‌تواند نتایج فرایند خردایش را با تغییرات برخی عوامل موثر در عملیات خردایش پیش‌بینی کند [۱].

در این مقاله فرایند خردایش کلینکر با آسیای غلتکی عمودی مدل سازی شده است. آسیای غلتکی عمودی مورد نظر در کارخانه سیمان نهانوند واقع در ۱۵ کیلومتری شهرستان نهانوند می‌باشد که به منظور خردایش کلینکر سیمان بکار می‌رود. در مدار فراوری کارخانه سیمان نهانوند مواد خام سیمان شامل سنگ آهک و مارل با نسبت دو به یک، سیلیس و سنگ



شکل ۱: فلوشیت ساده از پخت سیمان و آسیاکنی کلینکر سیمان در مدار فراوری کارخانه سیمان نهانوند [۲].

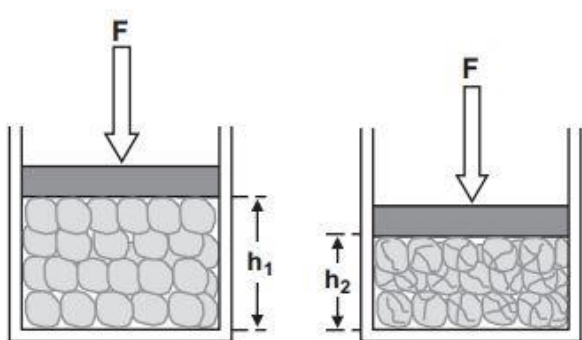
¹ Faitli

² Rosin-Rammler

³ Esnault

۲-۲- تعیین تابع شکست

تابع شکست بصورت آزمایشگاهی تعیین شده است. تابع شکستی که برای آسیای غلتکی عمودی تعیین می‌شود متفاوت با آسیاهای دیگر مانند آسیای گلوله‌ای و میله‌ای می‌باشد. زیرا مکانیسم شکست در آسیای غلتکی عمودی شکست فشاری و سایشی است. در آسیای غلتکی عمودی مواد بصورت لایه‌ای از ذرات بین غلتک‌ها و میز آسیاکنی قرار می‌گیرند و تحت نیروی فشاری خرد می‌شوند. خردایش این ذرات بر اثر شکست درون ذره‌ای اتفاق افتاده و به شکست لایه نیز معروف است [۸]. بنابراین برای تعیین تابع شکست در آسیای غلتکی آزمایش شکست لایه انجام شده است. دستگاهی که برای تعیین تابع شکست بکار رفته دستگاه پیستون-سیلندر^۱ است. دستگاه پیستون-سیلندر متشکل از یک دستگاه جهت اعمال فشار و قالب‌های استوانه‌ای شکل با قطر داخلی مشخص است. مواد مورد آزمایش بصورت لایه‌ای از ذرات با ارتفاع مشخص درون قالب قرار می‌گیرد و در بین دو فک دستگاه فشرده می‌شوند [۹]. شکل ۲ خردایش مواد درون قالب دستگاه پیستون-سیلندر را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نمایش خردایش مواد درون قالب دستگاه پیستون-سیلندر [۱۰].

در شکل ۳ دستگاه بتن شکن مدل BESMAK با ظرفیت ۲MN و در شکل ۴ دو قالب به قطر داخلی ۵ و ۱۰ سانتی‌متر که در آزمایشات تعیین تابع شکست استفاده شده است قابل مشاهده است.

از مدل موازنه جمعیت شکست ذرات در آسیاکنی تحت فشار را پیش‌بینی کرده‌اند. در تحقیق آنها با آزمایشات روی کلینکر سیمان، سنگ آهک و کوارتز مدل‌سازی با مدل موازنه جمعیت با موفقیت انجام شده است [۶].

مدل ریاضی بکار رفته در این مقاله مدل مخلوط کامل است. هرچند مدل مخلوط کامل یک مدل مستقل است اما کاملاً مشابه مدل عمومی موازنه جمعیت است و می‌توان آن را یک مورد ویژه از مدل موازنه جرم در نظر گرفت. مدل مخلوط کامل مطابق معادله (۱) است [۷].

$$P = D \cdot R^{-1} \cdot R \cdot s \quad (1)$$

در معادله (۱) پارامتر P نرخ محصول است که به صورت ماتریس n در 1 نشان داده می‌شود (n تعداد طبقات سرنندی در نظر گرفته شده در فرایند مدل‌سازی است)، D یک ماتریس پایین مثلثی است که نرخ خروج هر یک از طبقات سرنندی را بصورت کسری از مقدار اولیه بدست می‌دهد، R یک ماتریس قطری است و بیانگر نرخ شکست هر یک از طبقات سرنندی داخل بار آسیاست و s عبارتست از جرم موجود در هر یک از طبقات سرنندی. مقدار $R \cdot s$ نیز از معادله (۲) قابل محاسبه است [۷].

$$R \cdot s = (I - A)^{-1} \cdot (F - P) \quad (2)$$

در معادله (۲) پارامتر $R \cdot s$ نرخ شکست، A ماتریس تابع شکست بصورت ماتریس n در n و F نرخ خوراک است که به صورت ماتریس n در 1 نشان داده می‌شود.

۲-۱- نمونه‌گیری

برای تعیین پارامترهای مدل از مدار خوراک و محصول آسیای در حال کار نمونه‌گیری انجام شده است. برای نمونه‌گیری دوره زمانی دو ساعته در نظر گرفته شده است. نمونه‌گیری از خوراک و محصول بطور همزمان انجام شده و ۲۰۰ کیلوگرم نمونه جمع‌آوری شده است. مواد جمع‌آوری شده از نمونه‌گیری برای آزمایشات مدل‌سازی استفاده شده است.

پارامترهایی مورد نیاز برای مدل‌سازی عبارت است از: تابع شکست، تابع انتخاب و دانه‌بندی ابعادی خوراک و محصول.

¹ Piston-Die Cell Device

فشار وارد شده و طبقات سرنندی مورد نظر آورده شده است.

پس از تعیین دانه‌بندی ابعادی برای محصول هر آزمایش نمودارهای توزیع دانه‌بندی و توزیع دانه‌بندی نسبی را رسم کرده‌ایم. با توجه به نمودار توزیع دانه‌بندی نسبی مقادیر t_2 ، t_4 ، t_{10} ، t_{25} ، t_{50} و t_{75} را تعیین کرده‌ایم. t_n عبارت است از درصد تجمعی مواد کوچکتر از $1/n$ ابعاد اولیه. در ادامه نمودار t_{10}/ECS را برای تمامی آزمایشات انجام شده رسم کرده‌ایم [۴]. شکل ۵ نمودار t_{10}/ECS برای آزمایش‌های انجام شده آورده شده است. بیشترین مقدار t_{10} را که از نمودار t_{10}/ECS بدست آورده‌ایم، روی محور x ها در نمودار t_{10}/t_n مشخص می‌کنیم. این مقدار برابر ۵۰ درصد بوده است.

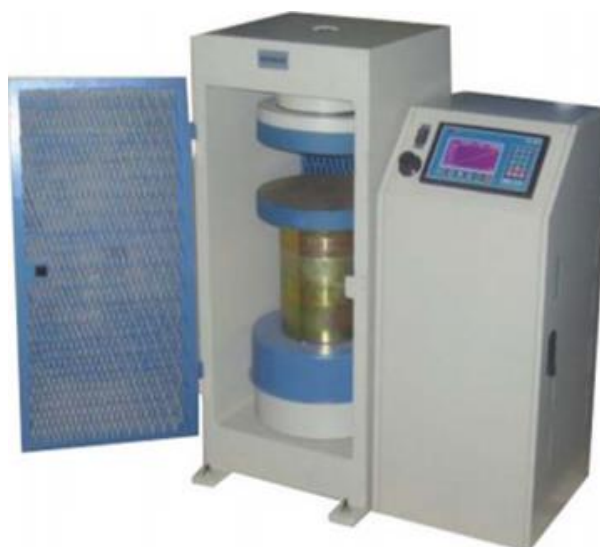
سپس یک خط عمود از این نقطه رسم می‌کنیم تا منحنی-های t_2 ، t_4 ، t_{10} ، t_{25} ، t_{50} و t_{75} را قطع کند. این خط عمود بیانگر توزیع دانه‌بندی کامل بصورت درصد تجمعی عبوری است که با رسم خطوط عمود بر محور y ها از نقاط مورد نظر مشخص شده است [۴]. در شکل ۶ نمودار t_{10}/t_n برای آزمایش‌های انجام شده رسم شده است.

به این ترتیب تابع شکست آزمایشگاهی برای ما بدست آمده است ولی برای بدست آوردن تابع شکست بصورت مدل ریاضی بایستی تابع شکست آزمایشگاهی را بر معادله برادبنت و کالکات^۱ برازش دهیم تا پارامترهای مدل بدست آید. این کار را با نرم‌افزار Microsoft Office و در محیط Excel انجام داده-ایم. برادبنت و کالکات معادله (۳) را به عنوان مدل ریاضی تابع شکست ارائه کرده‌اند [۱۱].

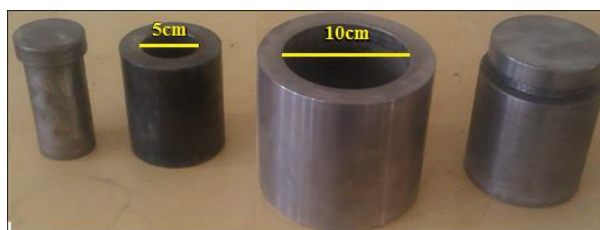
$$B_{i,1} = \phi R^{\gamma} + (1 - \phi)R^{\beta} \quad (3)$$

جدول ۱: طبقات سرنندی و سطوح انرژی اعمال شده در آزمایش‌های تعیین تابع شکست

شماره	طبقه سرنندی (mm)	سطح فشار ۱ (MPa)	سطح فشار ۲ (MPa)	سطح فشار ۳ (MPa)	سطح فشار ۴ (MPa)	سطح فشار ۵ (MPa)	سطح فشار ۶ (MPa)
۱	+۹/۵۲۵-۱۲/۷	۵/۱	۲۰/۴	۵۰/۹	۱۰۱/۹	۱۵۲/۸	۲۰۳/۸
۲	+۶/۳-۹/۵۲۵	۵/۱	۲۰/۴	۵۰/۹	۱۰۱/۹	۱۵۲/۸	۲۰۳/۸
۳	+۴-۶/۳	۵/۱	۲۰/۴	۵۰/۹	۱۰۱/۹	۱۵۲/۸	۲۰۳/۸
۴	+۱/۲-۴	۵/۱	۲۰/۴	-	-	-	-



شکل ۳: دستگاه بتن شکن مدل BESMAK با ظرفیت ۲MN



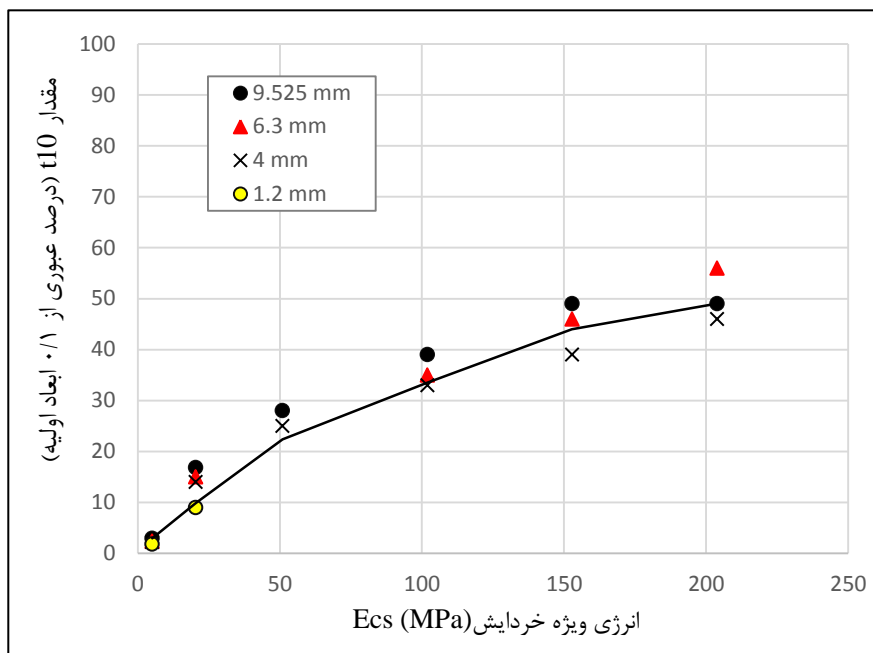
شکل ۴: قالب‌های دستگاه پیستون-سیلندر به قطر داخلی ۵ و ۱۰ سانتیمتر

درون هر قالب برای هر آزمایش یک لایه از ماده معدنی (کلینکر) به ارتفاع چهار برابر اندازه بزرگترین دانه موجود در نمونه قرار داده‌ایم [۹]. برای تعیین تابع شکست ابتدا دانه‌بندی ابعادی خوراک را تعیین و پنج طبقه سرنندی از مواد خوراک انتخاب کرده و پس از انجام آزمایش روی هر نمونه در سطوح فشار مختلف مواد شکسته شده را مجدداً دانه‌بندی ابعادی کرده‌ایم. در جدول ۱ طرح انجام آزمایشات با توجه به سطح

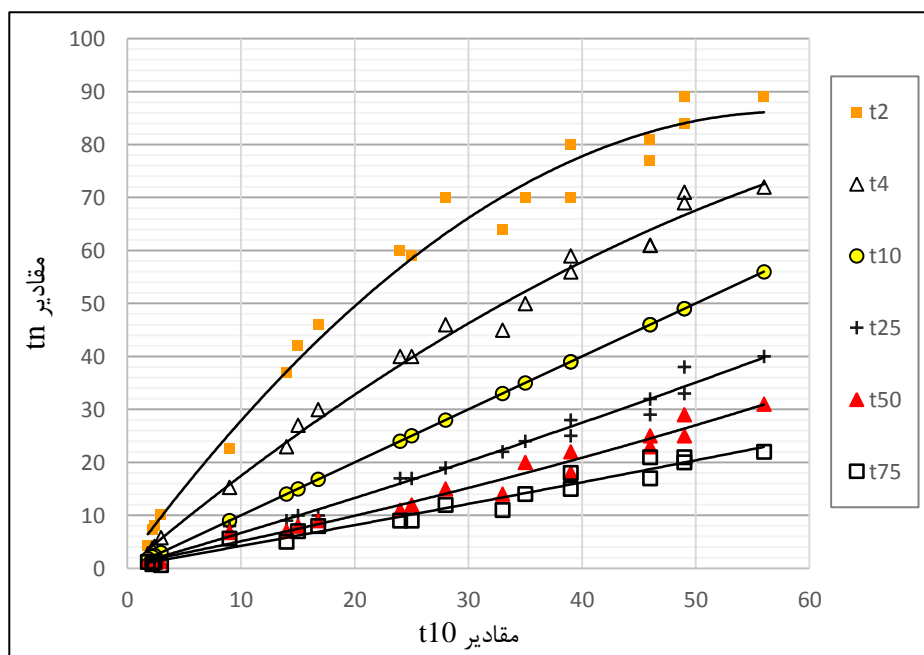
¹ Broadbent & Callcott

در جدول ۲ مقادیر تابع شکست آزمایشگاهی و بدست آمده از مدل ریاضی تابع شکست مشخص شده است (i بیانگر شماره سرند است و i=1 بالاترین سرند است). مدل ریاضی بکار رفته با برازش روی معادله برادبنت و کالکات بدست آمده که در شکل ۷ نمودارهای مربوط به آن آورده شده است.

در معادله (۳) پارامترهای ϕ ، γ و β پارامترهای مدل می-باشند و R اندازه نسبی ذرات (x_i/x_1) و یا در واقع نسبت اندازه سرندهای پایینی به سرند بالایی و $B_{i,1}$ تابع شکست سرند i ام است.



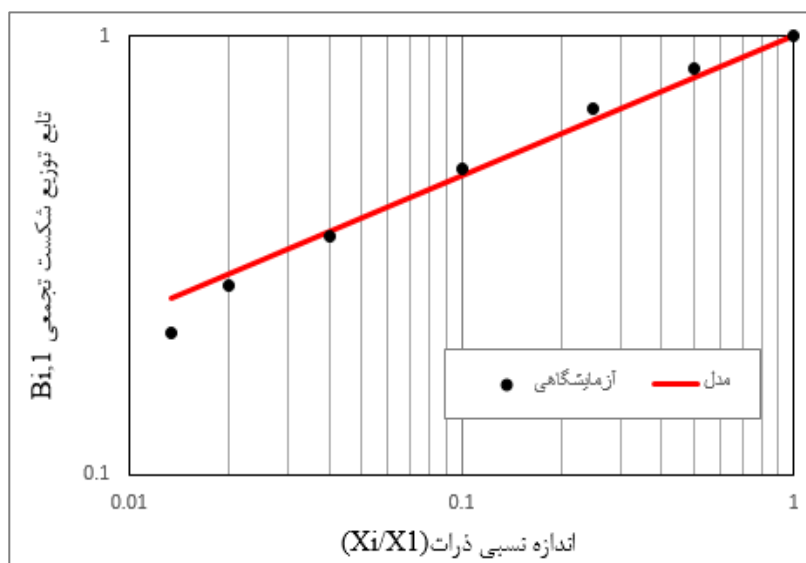
شکل ۵: نمودار t_{10}/Ecs برای آزمایش‌های انجام شده در تعیین تابع شکست



شکل ۶: نمودار t_{10}/t_n برای آزمایش‌های انجام شده در تعیین تابع شکست

جدول ۲: محاسبات برازش معادله برادبنت و کالکات برای نمونه کلینکر سیمان

ت _n	شماره سرنده (i)	اندازه نسبی (x _i /x ₁)	تابع شکست تجمعی B _{i,1}		مربع خطا	
			آزمایشگاه	مدل		
-	۱	۱	۱	۱	۰	
t ₂	۲	۰/۵	۰/۸۴	۰/۸۰۱۸۴	۰/۰۰۱۴۶	
t ₄	۳	۰/۲۵	۰/۶۸۱	۰/۶۴۲۹۴	۰/۰۰۱۳۷	
t ₁₀	۴	۰/۱	۰/۵	۰/۴۸۰۱۵	۰/۰۰۰۳۹	
t ₂₅	۵	۰/۰۴	۰/۳۵	۰/۳۵۸۵۸	۰/۰۰۰۰۷	
t ₅₀	۶	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۲۸۷۵۳	۰/۰۰۰۳۱	
t ₇₅	۷	۰/۰۱۳۳	۰/۲۱	۰/۲۵۲۶۸	۰/۰۰۱۸۲	
مجموع مربعات خطاها						
					۰/۰۰۵۴۳	
					۰/۹۵۳۰۸	φ
					۰/۳۱۸۶۲	γ
					۰/۳۱۸۶۲	β



شکل ۷: نمودار تابع توزیع شکست تجمعی آزمایشگاهی و مدل برای نمونه مورد آزمایش

۲-۳- فرایند مدل سازی

لذا توزیع دانه بندی خوراک و محصول را بر تابع توزیع روزین-راملر (معادله ۴) برازش داده ایم تا پارامترهای تابع توزیع روزین-راملر مشخص شود. سپس دانه بندی ابعادی خوراک و محصول را در ۲۰ طبقه سرنده برای خوراک و محصول در معادله (۲) قرار داده و مقادیر تابع انتخاب را

مقادیر محصول و خوراک را در سرندهایی در نظر گرفته ایم که درصد مواد تجمعی عبوری از این سرندها هم در خوراک و هم در محصول بین صفر تا صد باشد. زیرا در غیر اینصورت میزان اعتبار مدل بدست آمده مشخص نخواهد شد.

محاسبه کرده‌ایم. سپس با استفاده از معادله (۱) توزیع دانه-بندی محصول را بدست آورده‌ایم.

معادله (۴) تابع توزیع روزین-راملر را نشان می‌دهد [۱].

$$W_r = 100 \times e^{-\left(\frac{D}{a}\right)^b} \quad (4)$$

در معادله (۴) پارامترهای a و b مقادیر ثابت، D قطر متوسط عددی و W_r درصد وزنی تجمعی مواد باقیمانده روی سرند را نشان می‌دهند.

مقادیر تابع شکست و انتخاب و توزیع دانه‌بندی خوراک و محصول که با محاسبات بدست آمده است در جدول ۳ نشان داده شده است. در محاسبات مدل ماتریس خوراک و محصول بصورت ماتریس n در 1 در نظر گرفته شده است که مقدار n بستگی به تعداد طبقات سرنندی در نظر گرفته شده دارد و

سطر را نشان می‌مقدار هر درایه درصد تجمعی باقیمانده در سرند متناظر با آن دهد. تابع شکست بصورت ماتریس پایین مثلثی و ماتریس انتخاب بصورت ماتریس قطری در نظر گرفته شده است (i بیانگر شماره سرند است و $i = 1$ بالاترین سرند است). فرم ماتریسی تابع شکست و انتخاب در شکل ۸ نشان داده شده است.

ماتریس تابع انتخاب	ماتریس تابع شکست
$\begin{bmatrix} S_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & S_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & S_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & S_i \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} B_{1,1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ B_{2,1} & B_{1,1} & 0 & \dots & 0 \\ B_{3,1} & B_{2,1} & B_{1,1} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{i,1} & B_{i-1,1} & B_{i-2,1} & \dots & B_{1,1} \end{bmatrix}$

شکل ۸: فرم ماتریسی تابع شکست و انتخاب

جدول ۳: مقادیر پارامترهای بدست آمده در مدل مخلوط کامل

شماره سرند	دهانه سرند (μm)	درصد تجمعی خوراک (F) باقیمانده	مقادیر تابع شکست ($B_{i,1}$)	مقادیر تابع انتخاب (S_i)	درصد تجمعی باقیمانده محصول (P)
۱	۱۰۰۰	۹۱/۶۶	۰/۳۵۶۸	۱۴۲/۵۰۶	۰
۲	۷۰۷/۱۰۷	۹۳/۹	۰/۳۱۹۵	۲۱۶/۷۷۶	۰
۳	۵۰۰	۹۵/۵۶	۰/۲۸۶۱	۳۱۹/۶۳۸	۰
۴	۳۵۳/۵۵۳	۹۶/۷۷	۰/۲۵۶۲	۴۶۲/۴۱۳	۰
۵	۲۵۰	۹۷/۶۶	۰/۲۲۹۴	۶۶۰/۸۳۴	۰/۰۳
۶	۱۷۶/۷۷	۹۸/۳۱	۰/۲۰۵۴	۹۳۶/۵۱	۰/۲۷
۷	۱۲۵	۹۸/۷۷	۰/۱۸۳۹	۱۳۱۸/۷۶۲	۱/۳۵
۸	۸۸/۳۸۸	۹۹/۱۱	۰/۱۶۴۷	۱۸۴۷/۷۰۴	۴/۳۲
۹	۶۲/۵	۹۹/۳۶	۰/۱۴۷۵	۲۵۷۹/۱۷۱	۱۰/۰۹
۱۰	۴۴/۱۹۴	۹۹/۵۴	۰/۱۳۲۱	۳۵۹۲/۰۱۳	۱۸/۷۵
۱۱	۳۱/۲۵	۹۹/۶۷	۰/۱۱۸۳	۴۹۹۷/۴۰۷	۲۹/۴۸
۱۲	۲۲/۰۹۷	۹۹/۷۴	۰/۱۰۵۹	۶۹۵۰/۹۲۸	۴۱
۱۳	۱۵/۶۲۵	۹۹/۸۳	۰/۰۹۴۸	۹۶۶۹/۳۰۱	۵۲/۱۷
۱۴	۱۱/۰۴۹	۹۹/۸۷	۰/۰۸۴۹	۱۳۴۵۳/۶۷۵	۶۲/۲
۱۵	۷/۸۱۲	۹۹/۹۱	۰/۰۷۶	۱۸۷۲۲/۹۶	۷۰/۷۱
۱۶	۵/۵۲۴	۹۹/۹۳	۰/۰۶۸۱	۲۶۰۵۹/۸۲۳	۷۷/۶۵
۱۷	۳/۹۰۶	۹۹/۹۵	۰/۰۶۱	۳۶۲۷۵/۲۳۲	۸۳/۱۴
۱۸	۲/۷۶۲	۹۹/۹۷	۰/۰۵۴۶	۵۰۴۹۸/۰۱۳	۸۷/۳۹
۱۹	۱/۹۵۳	۹۹/۹۸	۰/۰۴۸۹	۷۰۲۹۹/۶۳۴	۹۰/۶۳
۲۰	۱/۳۸۱	۹۹/۹۸	۰/۰۴۳۸	۹۷۸۶۷/۸۷۴	۹۳/۰۷

۳- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آزمون تعیین تابع شکست با دستگاه پیستون-سیلندر برای مدل‌سازی خردایش در آسیاهای HPGR کاربرد داشته است. با توجه به این که مکانیسم شکست در آسیاهای غلتکی عمودی نیز مشابه آسیاهای HPGR می‌باشد لذا از این روش برای آسیای غلتکی عمودی استفاده شده است. تابع انتخاب نیز بصورت محاسبات برگشتی بدست آمده است. به این صورت که با داشتن توزیع ابعادی خوراک و محصول و با محاسبه تابع شکست آزمایشگاهی تابع انتخاب با معادلات مدل محاسبه شده است. از مدل محاسبه شده می‌توان دانه‌بندی محصول یا خوراک آسیا را بر اساس مشخص بودن دانه‌بندی خوراک یا محصول آسیا پیش‌بینی و در صورت امکان تغییراتی در عوامل موثر در مدار خردایش ایجاد کرد تا به دانه‌بندی مطلوب در محصول آسیا دست یافت.

با توجه به افزایش رویکرد صنایع سیمان به استفاده از آسیاهای غلتکی عمودی، پیشنهاد می‌شود در مورد آسیاهای غلتکی عمودی مطالعه بیشتری انجام شود و با استفاده از روش‌های کم‌هزینه و پربازده مانند مدل‌سازی و شبیه‌سازی این آسیاها به بهینه‌سازی و افزایش بازدهی مدار فراوری دست یافت.

مراجع

- [1] نعمت‌اللهی حسین، ۱۳۸۷، "کانه‌آرایی"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، جلد اول.
- [2] دفتر فنی کارخانه سیمان نهاوند، ۱۳۹۴.
- [3] Mejeoumov, G. G., 2007, "Improved cement quality and grinding efficiency by means of closed mill circuit modeling" (Doctoral dissertation, Texas A&M University).
- [4] Napier-Munn, T. J., Morrell, S., Morrison, R. D., & Kojovic, T., 1996, "Mineral comminution circuits: their operation and optimisation" (Vol. 2). Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, University of Queensland.
- [5] Faitli, Jozsef, and Peter Czel., 2014, "Matrix Model Simulation of a Vertical Roller Mill with High-Efficiency Slat Classifier." *Chemical Engineering & Technology* 37.5: 779-786.
- [6] Esnault, V. P. B., H. Zhou, and D. Heitzmann., 2015, "New population balance model for predicting particle size evolution in compression grinding." *Minerals Engineering* 73: 7-15.
- [7] Gupta, A., and D. S. Yan., 2006, "Introduction to mineral processing design and operation." Perth, Australia : 564-570.
- [8] S. W. Jorgensen, FLSmith A/S, Copenhagen, Denmark. 2005, "Cement grinding - a Comparison between vertical roller mill and ball mill." *Cement international*, vol3, PP: 55-63.
- [9] Kalala, J.T., Dong, H. Hinde, A.L. 2014, "Using piston-die press to predict the breakage behaviour of HPGR." *Comminution group, Minerals Processing Division, MINTEK, Randburg, South Africa*, 2125.
- [10] Dundar, Hakan, Hakan, Benzer, and Namik Aydogan, 2013, "Application of population balance model to HPGR crushing." *Minerals Engineering* 50: 114-120.
- [11] S.R. Broadbent & T.G. Callcott, 1956, "Philosophical Trans Royal Soc." A249, 99.

Modeling cement clinker comminution with a perfect mix model of vertical roller mill at nahavand cement plant

H. Shahgholi Gharamaleki^{1*}, K. Barani², M. Yaghobi³

Abstract

The grinding clinker is last step and most frequently used in the cement manufacturing process. Energy required to grind clinker about 40 percent of the total energy required to produce one tonne of cement. During this phase, particles of clinker become considerably reduced in size until they reach a certain level of size. In cement plant of nahavand, vertical roller mills used for grinding of raw minerals and cement clinker. Researchers stated that simulation is the most appropriate method for optimizing the grinding process. In this paper, using a perfect mix model, mineral comminution modeling for vertical roller mill is done at nahavand cement plant. Perfect mix model provides a mathematical equation to the process of grinding in mills. For modeling, first sampling of flow of feed and product of working mill and then determined particle size distribution in the laboratory. After determining the parameter of breakage function in laboratory with Laboratory piston-die device and obtaining parameter selection function with model calculations, the values of unknown parameters in the perfect mix model determined for vertical roller mill. The calculated model can be used for prediction of feed or product of particle size distribution based on awareness from product or feed of particle size distribution.

Keywords: Modeling, vertical roller mill, perfect mix model, breakage function, selection function

^{1*} MSc student of mineral processing, University of Lorestan, hshahgoli@yahoo.com

² Assistant professor, University of Lorestan, Department of mining engineering, Barani.k@lu.ac.ir

³ Mineral processing M.ENG, Department of mining engineering, mohsen676@gmail.com