

شبیه سازی فرآیند طبقه بندی ذرات سیمان در جداکننده های هوایی

سمیرا رشیدی^۱؛ اکبر فرزنانگان؛ مهدی ایران نژاد

چکیده

جداکننده های هوایی در مدارهای بسته آسیاکردن کلینکر (سیمان) کاربرد زیادی دارند. توزیع اندازه ذرات محصول سیمان و در نتیجه کیفیت آن شدیداً تابع چگونگی عملکرد جداکننده های هوایی است. افزایش بهره وری ناشی از بهینه سازی عملکرد این دستگاه ها به کاهش مصرف انرژی و افزایش ظرفیت تولید و کیفیت محصول نهایی سیمان می شود. در این مقاله، نویسندگان نتایج مطالعات و بررسی های انجام شده را در رابطه با مدل سازی فرآیند جدایش اندازه ذرات در جداکننده های هوایی و توسعه بهترین الگوریتم برای شبیه سازی عملکرد آنها بر پایه روابط معتبر گزارش شده در مقالات ارایه کرده اند. این الگوریتم اساس شبیه ساز ASSIM است که به زبان ویژوال بیسیک برنامه نویسی شده است و امکان بهینه سازی شرایط عملیاتی را بر اساس منحنی بازدهی؛ که معیار کارایی جداکننده های هوایی می باشد، در اختیار می گذارد. با استفاده از داده های واقعی مربوط به جداکننده هوایی پویای در حال فعالیت در مدار آسیای کلینکر کارخانه سیمان سفید جی.کی در هند، اعتبار و دقت ASSIM ارزیابی شد به گونه ای که مجموع حداقل مربعات مقادیر تخمینی و واقعی کمتر از ۰.۰۱ می باشد که در محدوده قابل قبول مهندسی قرار دارد.

کلمات کلیدی

جداکننده های هوایی، مدار آسیاکنی، جدایش ذرات، مدل سازی، شبیه سازی

Simulation of Cement Particles Classification Process in Air Separators

S. Rashidi; A. Farzanegan; M. Irannajad

ABSTRACT

Air separators have many applications in clinker (cement) closed grinding circuits. Particle size distributions of cement product and consequently its quality are dependent on performance of air separators. The increasing Productivity that results from performance optimization of these devices causes energy utilization decreasing and increasing of production capacity and final cement product. In this paper, results of studies and researches derived by authors about modeling of particle size classification in air separators and developing the best algorithm for simulation of their performance on the base of valid relations reported in papers are presented. This algorithm is the basis of ASSIM (simulator) implemented in Visual Basic and provides optimization possibility of operating conditions on the base of efficiency curve that is criterion of air separators performance. Validity and precision of ASSIM about simulation of air separators are evaluated by using actual data of dynamic air separator operating in clinker grinding circuit of J.K. White Cement Company in India where sum of least squares between estimated and actual data are less than 0.01 that is in acceptable engineering level.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی؛ دانشگاه صنعتی امیر کبیر؛ samira.rashidi@gmail.com

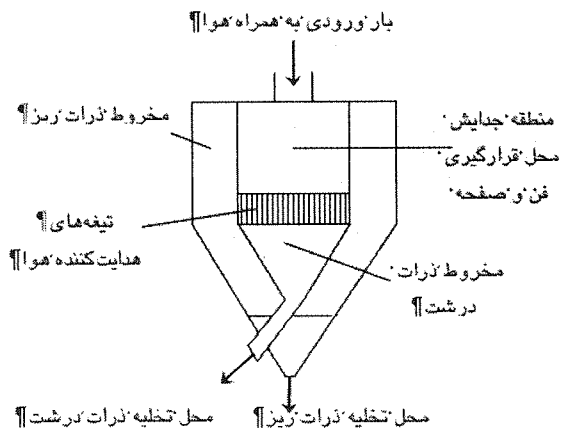
^۲ استادیار دانشکده مهندسی معدن؛ دانشگاه کاشان؛ a.farzanegan@kashanu.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت؛ دانشگاه صنعتی امیر کبیر؛ irannajad@aut.ac.ir

KEYWORDS

Air Separators, Grinding Circuits, Particle Size Classification, Modeling, Simulation.

جداکننده‌های پویا به علت وجود پره‌های راهنما می‌توانند تنظیمات را بهتر انجام داد و به علاوه، ذرات به طور یکسان تحت تأثیر نیروهای عمل کننده در این دستگاه‌ها قرار می‌گیرند. جداکننده‌های پویا به علت بازدهی بالاتر و مصرف انرژی کمتر متداول‌تر هستند. شکل (۱) طرح ساده یک جداکننده پویا را نشان می‌دهد:



شکل (۱): طرح ساده یک جداکننده پویا

ایجاد تغییرات در ساختمان دستگاه‌های جداکننده هوایی نصب شده در کارخانه‌های سیمان برای بهینه‌سازی پارامترهای ساختاری آنها همواره با محدودیت همراه است و در ضمن، بهینه نبودن شرایط عملیاتی جدایش مثل درصد جامد در هوا، سرعت هوا، سرعت گردنده^۲ و درصد بازبودن فن می‌تواند به بازدهی بسیار پایین عملیات طبقه‌بندی ذرات منجر شود.

مدل سازی و شبیه‌سازی ابزار ارزشمندی برای بهینه‌سازی پارامترهای عملیاتی مدارهای فرآوری بخصوص مدار آسیاها هستند که می‌توانند برای دستیابی به کیفیت رضایت بخش محصول نهایی سیمان، افزایش ظرفیت و بازدهی و کاهش مصرف انرژی بیشترین تأثیر را داشته باشند. مدل سازی بر اساس مجموعه‌ای از روابط ریاضی اثبات شده صورت می‌گیرد که پیش‌بینی نتایج حاصل از فرآیندی را که در دستگاه مورد نظر رخ می‌دهد، براحتی در اختیار می‌گذارد.

۲- مدل‌های جداکننده‌های هوایی

کارآیی جداکننده‌های هوایی به وسیله منحنی عملکرد طبقه‌بندی (جدایش) یا منحنی بازدهی فرآیند جدایش (از این به بعد به اختصار منحنی بازدهی اطلاق می‌شود) بررسی و ارزیابی شود. برای رسم منحنی بازدهی، نخست لازم است

۱- مقدمه

فرآیند تولید سیمان تقریباً ۲ درصد کل انرژی مصرفی دنیا را به خود اختصاص می‌دهد و حدود ۴۰ درصد از این میزان انرژی برای آسیا کردن کلینکر سیمان مصرف می‌شود [۷]. این موضوع آشکارا نیاز به کاهش مصرف انرژی و افزایش بازدهی و کیفیت در فرآیند آسیا کردن کلینکر را نشان می‌دهد. در اواخر قرن نوزدهم با ورود آسیاهای لوله‌ای به مدارهای آسیای کلینکر در صنعت سیمان و تولید حجم بالایی از ذرات بسیار ریز، استفاده از جداکننده‌های هوایی اهمیت فراوانی پیدا کرد. با توجه به مقدار انرژی قابل توجهی که در فرآیند آسیا کردن مصرف می‌شود، عملکرد جداکننده‌های هوایی؛ که جدایش مواد را از نظر اندازه برعهده دارند، نقش مهمی در جلوگیری از خردایش مجدد ذرات ریز و بسیار ریز سیمان و در نتیجه افزایش ظرفیت آسیا کردن مدار دارد. بنابراین توزیع اندازه ذرات مربوط به جریان مواد درشت‌دانه از اهمیت فوق‌العاده‌ای در کنترل عملکرد مدار آسیا برخوردار است و همچنین توزیع اندازه ذرات مربوط به جریان ریزدانه خروجی از جداکننده هوایی در میزان کیفیت محصول نهایی سیمان از اهمیت یکسانی برخوردار است. از سوی دیگر، به دلیل چگونگی نحوه خردشدن مواد در آسیاها، بازدهی بخش آسیا کردن کارخانه‌های سیمان در بهترین حالت ۱٪ برآورد شده است که مستلزم بهینه‌سازی شرایط طراحی ساختمان دستگاه و شرایط عملیاتی می‌باشد [۸].

در یک جداکننده هوایی، ذرات خروجی از آسیا پس از ورود به محفظه دستگاه تحت تأثیر سه نیروی عمل کننده کششی، اینرسی (گریز از مرکز) و گرانشی قرار می‌گیرند. در صورتی که ذره به حد کافی کوچک باشد تحت تأثیر نیروهای کششی و اینرسی همراه جریان هوا از جداکننده خارج می‌شود و در صورتی که به اندازه کافی درشت باشد تحت تأثیر نیروی گرانشی خود از مسیر ذرات درشت خارج می‌گردد. احتمال ورود برخی از ذرات به جریان درشت‌دانه یا جریان ریزدانه یکسان است (۵۰٪) که اندازه این ذرات معادل حد جدایش می‌باشد.

به طور کلی، امروزه دو نوع جداکننده هوایی در کارخانه‌های سیمان استفاده می‌شوند که جداکننده هوایی ایستا^۲ و پویا^۲ نام دارند. در جداکننده‌های ایستا هیچگونه اجزای متحرکی وجود ندارد و تنها با تغییر شرایط عملیاتی می‌توان توزیع دانه‌بندی ذرات محصول را تنظیم کرد؛ در حالی که در

$$s = \frac{d_{25}}{d_{75}} \quad (3)$$

پارامترهای دیگری نیز در ارزیابی کارایی جداکننده‌های هوایی علاوه بر شیب منحنی بازدهی بررسی قرار می‌شوند که پدیده «دور زدن»^۷ و پدیده «قلاب ماهی»^۸ نام دارند. پدیده «دور زدن» در جدایش مواد درشت‌دانه رخ می‌دهد؛ زمانی که ذرات بسیار ریز تحت تأثیر نیروهای عمل کننده قرار نمی‌گیرند و وارد جریان درشت‌دانه می‌گردند (شکل ۲). پدیده «قلاب ماهی» به صورت افزایش اولیه (با کاهش ابعاد در منحنی بازدهی جریان درشت‌دانه می‌شوند، درصد توزیع ذرات در جریان درشت‌دانه افزایش می‌یابد) در منحنی بازدهی دستگاه‌های جداکننده دیده می‌شود و به علت تجمع الکتروستاتیک ذرات بسیار ریز بر روی سطح جانبی ذرات درشت‌دانه می‌باشد (شکل ۲).

پارامترهای عملیاتی در کاهش یا افزایش مقادیر این دو پدیده بسیار مؤثر هستند. با توجه به اینکه منحنی بازدهی هرگز در ابتدا و انتها به ترتیب به مقادیر صفر و صد نمی‌رسد، بنابراین لازم است تا برای مقایسه منحنی‌های بازدهی مختلف براساس شیب آنها، معیار و مقیاس واحدی وجود داشته باشد که کسسال^۸ [8] با فرض این که به هنگام دور زدن مواد، همواره درصدی از کلیه اندازه‌ها وارد جریان دور زدن می‌شود، روابط (۴) و (۵) را برای تصحیح روابط تجربی (۱) و (۲) ارائه داد:

$$E_{uc} = \frac{E_{ua} - R_f}{1 - R_f} \quad (4)$$

$$E_{oc} = \frac{E_{oa}}{C} \quad (5)$$

در صورت به کارگیری روابط کسسال، تأثیر عوامل مختلف بر منحنی‌های بازدهی واقعی حذف شده و مقادیر بازدهی تصحیح شده دارای مقیاس واحدی برای مقایسه با یکدیگر می‌باشند.

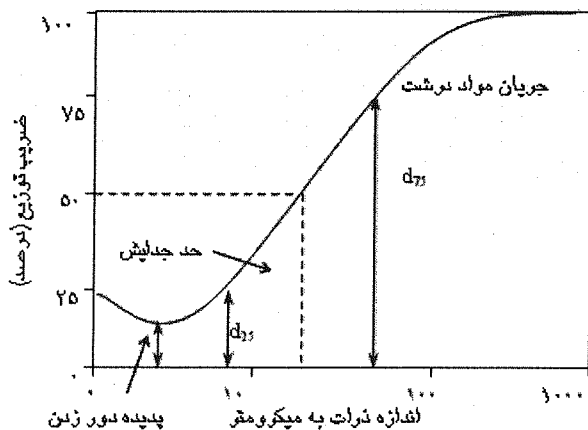
بهترین روش برای مدل سازی انواع جداکننده‌های هوایی تعریف تابعی است که بتواند منحنی بازدهی را تعریف کند. روابط معمولی؛ که برای رسم منحنی بازدهی و برازش داده‌های بازدهی واقعی استفاده می‌شوند، قادر به تعریف دو پدیده «دور زدن» و «قلاب ماهی» نیستند؛ پس محققین مختلفی برای یافتن رابطه‌ای که بتواند علاوه بر برازش منحنی بازدهی به تعریف پدیده‌های حاصل در فرآیند جدایش بپردازد، تلاش کرده‌اند. برخی از محققین براساس رابطه توزیع دانه‌بندی رزین-رملر^{۱۰}؛ که اساس رسم منحنی بازدهی است، به تعریف روابطی پرداختند که روابط پلیت و رید^{۱۱} [۱۱]، [۱۲] و تابع

که از جریان‌های اطراف جداکننده‌هوایی در مدار آسیا نمونه‌گیری شود. سپس توزیع اندازه ذرات در نمونه‌ها (با روش‌های مختلف همچون تجزیه سرنده^۹ در محدوده درشت‌دانه و تجزیه پراش لیزر^{۱۰} در محدوده ریزدانه) تعیین می‌گردد. پس از این مرحله، با استفاده از نرم‌افزارهایی که برای تصحیح داده‌ها^{۱۱} به کار می‌روند، توزیع اندازه ذرات مربوط به جریان‌های مختلف و شدت جریان‌های اندازه‌گیری شده به گونه‌ای که روابط موازنه جرم در اطراف دستگاه در حالت یکنواخت برقرار شوند، تصحیح شود. براساس درصد مواد باقیمانده در بخش‌های ابعادی مختلف در جریان‌های درشت‌دانه یا ریزدانه نسبت به جریان بار ورودی دستگاه و استفاده از روابط (۱) و (۲)، منحنی بازدهی رسم می‌گردد. این روابط برای تعیین میزان بازدهی واقعی مربوط به جریان درشت‌دانه یا جریان ریزدانه برای تمامی بخش‌های ابعادی استفاده می‌شوند [۲]:

$$E_{ua} = 100 \left(\frac{U u_i}{F f_i} \right) \quad (1)$$

$$E_{oa} = 100 \left(\frac{O o_i}{F f_i} \right) \quad (2)$$

شکل (۲) منحنی بازدهی ساده شده برای جریان درشت‌دانه را؛ که با استفاده از رابطه (۱) رسم می‌شود، نشان می‌دهد.



شکل (۲): منحنی ساده شده بازدهی دستگاه‌های جداکننده هوایی هرچه بازدهی دستگاه جداکننده هوایی مورد نظر بالاتر باشد منحنی رسم شده شیب بیشتر دارد و به حالت قائم نزدیک تر است. بنابراین، با مقایسه شیب منحنی‌های بازدهی یک دستگاه؛ که تحت شرایط عملیاتی متفاوت رسم شده‌اند، می‌توان به شرایط عملیاتی بهینه دست یافت. برای محاسبه شیب منحنی بازدهی یا به عبارت دیگر، محاسبه دقت جدایش (S) رابطه زیر تعریف می‌شود [۱۰]:

وایتن ۱۲ [۱۰] از معتبرترین آنها می‌باشند.

این دو رابطه دارای دقت مشابه در تعریف منحنی بازدهی هستند؛ اما امروزه نرم‌افزارهای آماری و صفحه گسترده‌ها، تعیین پارامترهای تابع وایتن را تسهیل کرده‌اند. از طرف دیگر، تابع وایتن پارامتری مجزا برای تعریف پدیده «قلاب ماهی» نیز ارائه داده است. یکی دیگر از خصوصیات تابع وایتن مستقل بودن مقادیر پارامترهای آن از شرایط عملیاتی می‌باشد. تعدادی از محققین در موسسه جی. کی. ام. آر. سی. ۱۳ در استرالیا و دانشگاه هاجت تپه ۱۴ در ترکیه اقدام به استفاده از تابع وایتن برای شبیه‌سازی انواع جداکننده‌های هوایی اقدام کرده‌اند که نتایج حاصل بخوبی اعتبار این تابع را در شبیه‌سازی انواع جداکننده‌های پویا و ایستا تایید کرده است [۱]، [۲]، [۹]. با در نظر گرفتن خصوصیات این مدل و عدم استفاده از آن در توسعه شبیه‌سازی خاص برای دستگاه‌های جداکننده تا کنون، این رابطه اساس الگوریتم و توسعه شبیه‌سازی ASSIM قرار گرفته است که در این مقاله معرفی شده است [۱۳]. قابل ذکر است که تابع پلینت را دو تن از نویسندگان این مقاله [۴]، [۵] و [۶] در توسعه نرم‌افزار COMSIM استفاده کرده‌اند. تابع وایتن در حالتی که پدیده «قلاب ماهی» در منحنی بازدهی مشاهده نشود به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۰]:

$$E_{oa} = C \left(\frac{\exp(\alpha) - 1}{\exp(\alpha X) + \exp(\alpha) - 2} \right) \quad (6)$$

از آنجا که در رسم منحنی بازدهی برای برخی از دستگاه‌های جداکننده هوایی پدیده «قلاب ماهی» به چشم می‌خورد، رابطه زیر؛ که تأثیر این پدیده را در مدل ریاضی دستگاه در نظر می‌گیرد، استفاده می‌شود [۱۰]:

$$E_{oa} = C \left[\frac{(1 + \beta \cdot \beta^* \cdot X)(\exp(\alpha) - 1)}{\exp(\alpha \cdot \beta^* \cdot X) + \exp(\alpha) - 2} \right] \quad (7)$$

ذکر این نکته لازم است که برای تخمین پارامترهای این رابطه $(d_{50c}$ و C ، β ، β^* ، α) بایستی از روش رگرسیون غیر خطی استفاده شود. مقادیر پارامترهای C و d_{50c} را همان گونه که در فهرست علائم معرفی شده‌اند، می‌توان تعیین و به عنوان تخمین اولیه برای شروع رگرسیون استفاده کرد. تخمین مقادیر اولیه سایر پارامترها قاعده مشخصی ندارد و معمولاً اعداد ۱، ۲ و ۳ استفاده می‌شوند.

۳- الگوریتم توسعه ASSIM

به دلیل اهمیت دستیابی به بازدهی بالا در فرآیند آسیاکردن

کلینکر سیمان به خصوص از طریق جداکننده‌های هوایی؛ که تعیین کننده کیفیت محصول نهایی سیمان می‌باشند و لزوم تعیین شرایط عملیاتی بهینه، نویسندگان مقاله به توسعه شبیه‌سازی ASSIM بر پایه مدل توضیح داده شده در قسمت قبل اقدام کرده‌اند. شکل (۳) الگوریتمی را نشان می‌دهد که اساس توسعه این شبیه‌سازی قرار گرفته است.

اولین مرحله در این الگوریتم جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز است که بایستی با بیشترین دقت و با رعایت اصول نمونه‌برداری از سه جریان اصلی اطراف دستگاه جداکننده هوایی (بار ورودی، ریزدانه و درشت‌دانه) انجام گیرد. به وسیله تجزیه سرندهی و تجزیه پراش لیزر توزیع اندازه نمونه‌ها تعیین می‌شود؛ در ادامه به تعدیل داده‌ها (موازنه جرم) نیاز است تا خطاهای تصادفی؛ که ممکن است به هنگام نمونه‌برداری و آنالیز اندازه پیش آید، حذف گردند. آنچه اهمیت دارد این است که برای حصول نتایج قابل‌اطمینان بایستی نمونه‌برداری و موازنه‌جرم با حداکثر دقت در کلیه مراحل انجام شود. با استفاده از داده‌های اولیه، تابع وایتن کالیبره می‌شود که در صورت اطمینان از مطابقت پیش‌بینی‌های مدل کالیبره شده با داده‌های اولیه، شبیه‌سازی آغاز می‌شود. در مرحله شبیه‌سازی با تغییر شرایط عملیاتی و دادن خصوصیات جدید مربوط به جریان بار ورودی شامل توزیع دانه‌بندی و شدت جریان، خصوصیات جریان‌های ریزدانه و درشت‌دانه شامل توزیع دانه‌بندی و شدت جریان آنها به همراه بازیابی پیش‌بینی می‌شود. در این مرحله می‌توان با تغییر یک پارامتر و ثابت نگه داشتن سایر پارامترها تعیین کرد تأثیر کدام پارامتر بیشتر است و در نتیجه، شرایط عملیاتی بهینه را تعیین کرد.

۴- معرفی محیط شبیه‌سازی ASSIM

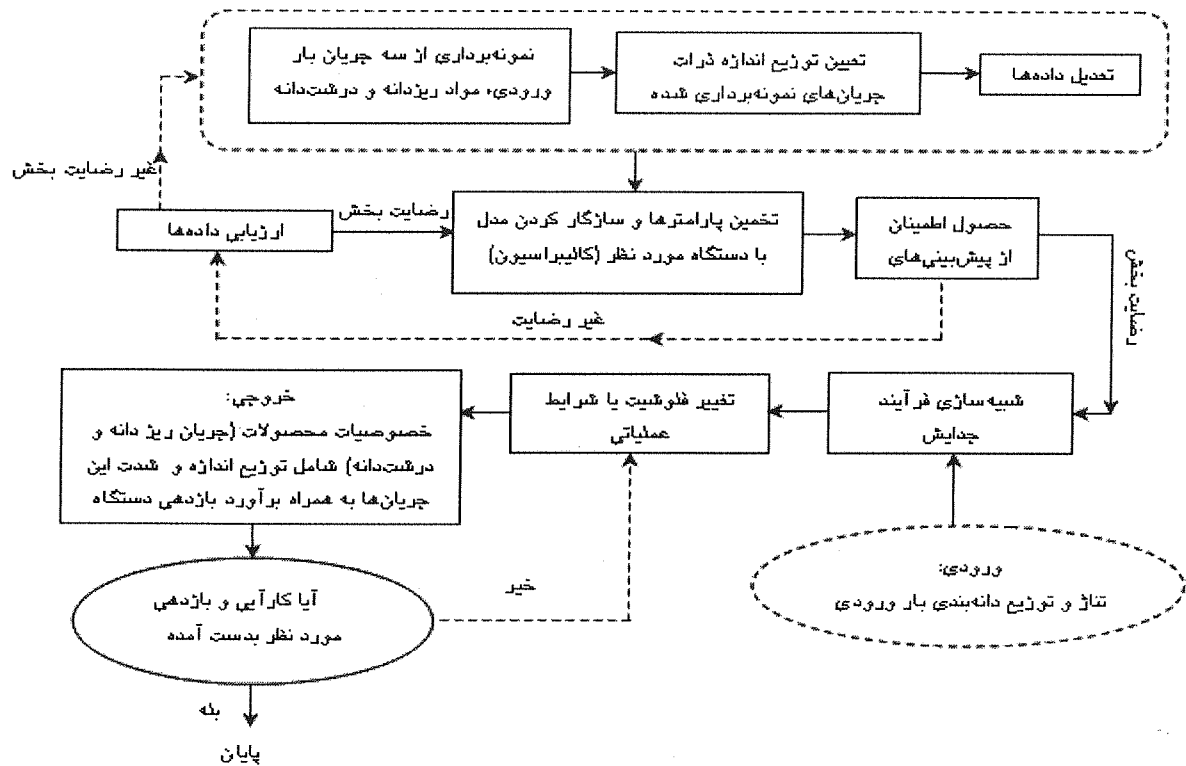
لغت ASSIM مخفف معادل‌های انگلیسی واژه‌های «شبیه‌سازی جداکننده هوایی» است. کاربرد به هنگام اجرای ASSIM در ابتدا می‌تواند انتخاب کند که مستقیماً وارد کدامیک از مراحل؛ یعنی مرحله کالیبراسیون مدل یا مرحله شبیه‌سازی فرآیند جدایش شود.

شبیه‌سازی و پیش‌بینی خصوصیات محصول مستلزم کالیبراسیون مدل یا تعیین مقادیر پارامترهای مدل وایتن است که برای هر دستگاه جداکننده‌هوایی مقادیر یکتایی هستند. بنابراین در صورتی که این مقادیر از پیش تعیین شده باشند، می‌توان مستقیماً وارد مرحله شبیه‌سازی شد. شکل (۴) پنجره مربوط به ورود داده‌ها (شامل توزیع دانه‌بندی جریان‌های اصلی اطراف جداکننده هوایی و شدت جریان آنها) در مرحله کالیبراسیون مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در بالای پنجره

کلیک کردن منوی "Analysis" وجود دارد. از آنجا که شبیه‌سازی می‌تواند به دفعات برای یک دستگاه جداکننده هوایی تحت شرایط عملیاتی متنوع انجام شود، در مرحله کالیبراسیون

ملاحظه می‌شود امکان آنالیز داده‌های وارد شده در این مرحله به صورت جدول و نمودار به صورت بازدهی و توزیع دانه‌بندی تجمعی عبوری جریان‌های درشت‌دانه و ریزدانه با

جمع آوری داده



شکل (۳): مراحل مختلف مدلسازی و شبیه‌سازی فرآیند جدایش برای بهینه‌سازی عملکرد جداکننده‌های هوایی

منطقی بودن کلیه داده‌ها. بررسی داده‌های وارد شده توسط شبیه‌ساز به افزایش دقت و صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی منجر می‌شود.

۵- اعتبار سنجی ASSIM

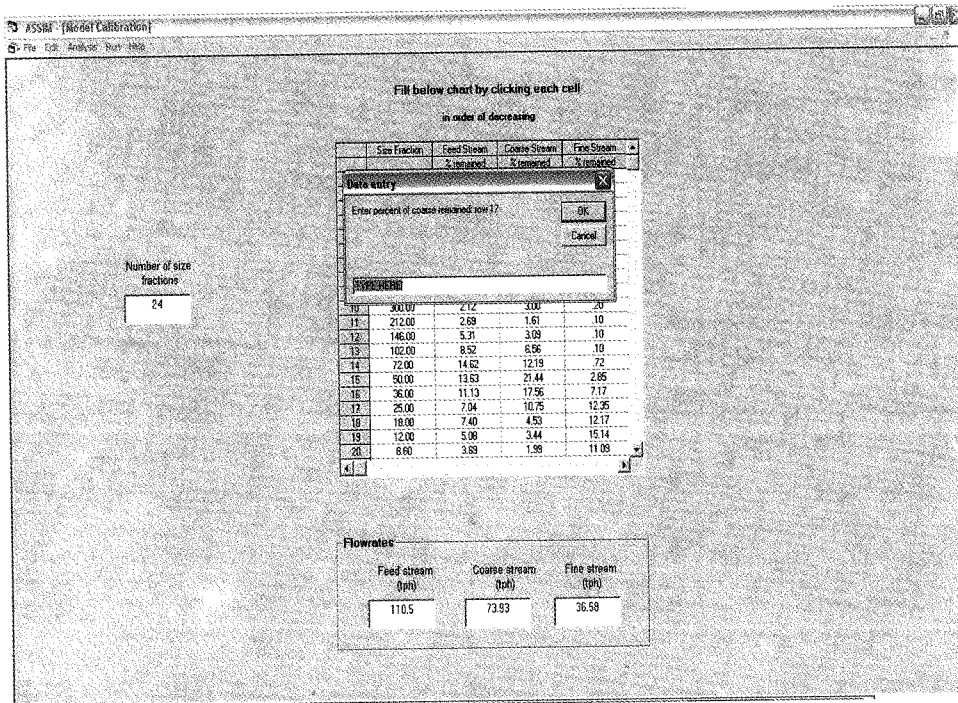
بکارگیری هر شبیه‌سازی مستلزم اعتبارسنجی آن یا به عبارتی مقایسه پیش‌بینی‌های آن با داده‌های واقعی می‌باشد. در توسعه ASSIM از داده‌های متنوعی برای بررسی محاسبات استفاده شده است؛ ولی برای بررسی صحت و دقت نتایج حاصل از شبیه‌سازی، دو سری داده تحت شرایط عملیاتی مختلف از اطراف جداکننده پویا؛ که در مدار آسیای کلینکر کارخانه سیمان سفید جی. کی. در هند در حال فعالیت است، نمونه‌گیری شده است. شکل (۱) شمای ساده شده مدار آسیای کلینکر کارخانه سیمان سفید جی. کی. در هند را نمایش می‌دهد. این دو سری داده؛ که از سه جریان اصلی شامل بار ورودی، درشت‌دانه و ریزدانه نمونه‌گیری شده‌اند، با نرم‌افزار NORBAL3 [۱۴] موازنه جرم شده‌اند تا خطاهای احتمالی از بین برود.

مدل می‌توان با مشاهده مقادیر پارامترها و ذخیره کردن آنها، در دفعات بعدی مستقیماً وارد مرحله شبیه‌سازی فرآیند جدایش شد؛ در غیر این صورت با کلیک کردن منوی "Run" در این مرحله می‌توان به شبیه‌سازی فرآیند جدایش ذرات اقدام کرد. برای شبیه‌سازی کافی است مقادیر مربوط به خصوصیات خوراک (شامل توزیع دانه‌بندی ذرات و شدت جریان) وارد شود (شکل (۵)).

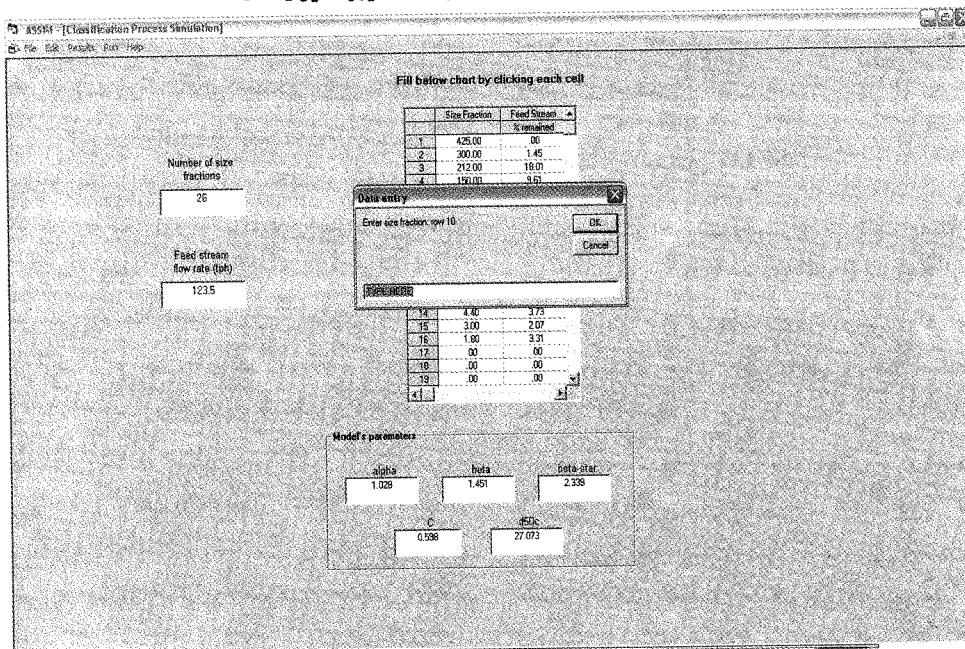
برای مشاهده نتایج مرحله شبیه‌سازی از منوی "Results" استفاده می‌شود. این نتایج به صورت جدول و نمودار در خصوص توزیع دانه‌بندی جریان‌های محصول به صورت درصد مواد باقی‌مانده در هر فراکسیون اندازه یا به صورت تجمعی عبوری و بازدهی قابل مشاهده است. در کلیه مراحل ورود داده امکان ذخیره داده‌ها و در تمامی پنجره‌ها امکان چاپ نتایج به صورت جدول و نمودار وجود دارد. در مراحل مربوط به ورود داده، با درخواست کاربر برای انجام هر عملیاتی، شبیه‌ساز کلیه داده‌های وارد شده را بررسی می‌کند. در صورت ورود داده‌های غیرمنطقی به کاربر اخطار می‌دهد تا تصحیح شود. از جمله خطاهایی که توسط ASSIM بررسی می‌شود عبارتند از بررسی وارد کردن کامل داده و بررسی

کلینکر سیمان در کارخانه سیمان سفید جی.کی. در هند به صورت توزیع تجمعی اندازه ذرات در جدول (۱) با مقادیر واقعی مقایسه شده است. برای مقایسه بهتر، به طور جداگانه تخمین پارامترها با نرم‌افزار آماری SPSSTM انجام گرفته و نتایج در ExcelTM محاسبه و رسم شده‌اند.

سری اول این داده‌ها برای کالیبراسیون مدل و تعیین مقادیر پارامترهای تابع وایتن استفاده شده است. سری دوم داده‌ها به عنوان داده‌های مستقلی؛ که تحت شرایط عملیاتی و زمانی متفاوت نسبت به سری اول داده‌ها تهیه شده‌اند، برای اجرای فرآیند شبیه‌سازی استفاده شده‌اند. نتایج مربوط به شبیه‌سازی فرآیند جدایش جداکننده هوایی پویای مدار آسیای



شکل (۴): پنجره ورود داده‌ها در مرحله کالیبراسیون مدل

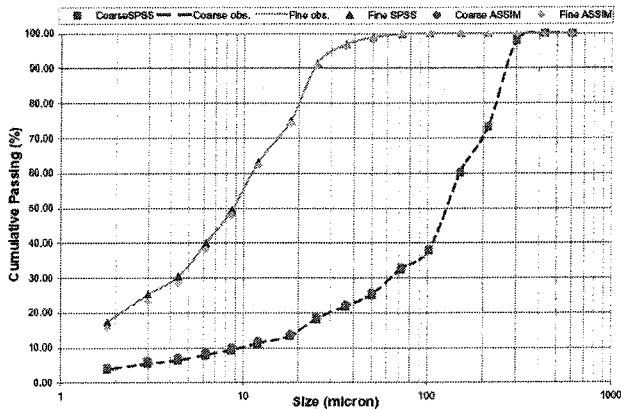


شکل (۵): پنجره ورود داده‌ها در مرحله شبیه‌سازی فرآیند جدایش

جدول (۱): مقایسه بین آنالیز ابعادی اندازه گیری شده و شبیه سازی شده دو جریان اصلی اطراف جداکننده هوایی مربوط به کارخانه سیمان سفید جی.کی.

اندازه (میکرون)	توزیع اندازه					
	ریزدانه		درشت دانه		واقعی	
	SPSS	ASSIM	SPSS	ASSIM	SPSS	ASSIM
۲۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۳۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۸	۹۸.۰۲	۹۸.۰۱	۹۸.۰۱
۲۱۲	۱۰۰	۱۰۰	۷۳.۲۱	۷۳.۲۴	۷۳.۲۸	۷۳.۲۸
۱۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۹.۹۸	۶۰.۲۹	۶۰.۰۹	۶۰.۰۹
۱۰۲	۹۹.۹۸	۹۹.۹۶	۳۷.۸۷	۳۸.۳۷	۳۸.۰۵	۳۸.۰۵
۷۲	۹۹.۸۸	۹۹.۸۱	۳۲.۴۷	۳۳.۳۰	۳۲.۶۶	۳۲.۶۶
۵۰	۹۸.۸۵	۹۸.۵۷	۲۵.۱۳	۲۵.۸۲	۲۵.۳۴	۲۵.۳۴
۳۶	۹۶.۸۸	۹۶.۴۷	۲۱.۶۲	۲۲.۳۷	۲۱.۸۲	۲۱.۸۲
۲۵	۹۱.۲۹	۹۰.۸۵	۱۸.۳۳	۱۸.۸۳	۱۸.۲۸	۱۸.۲۸
۱۸	۷۴.۹۱	۷۴.۴۲	۱۳.۲۹	۱۳.۹۵	۱۳.۴۱	۱۳.۴۱
۱۲	۶۳.۰۳	۶۲.۲۳	۶۳.۲	۱۱.۲۱	۱۱.۲۹	۱۱.۲۹
۸.۶	۴۹.۴۷	۴۸.۰۷	۴۹.۴۷	۹.۲۵	۱۰.۰۹	۹.۳۷
۶.۲	۴۰.۰۲	۳۸.۲۰	۴۰	۷.۸۷	۸.۷۹	۷.۹۷
۴.۴	۳۰.۴۳	۲۸.۳۷	۳۰.۴	۶.۳۵	۷.۳۰	۶.۴۳
۳	۲۵.۲۹	۲۳.۲۵	۲۵.۲۲	۵.۴۴	۶.۳۴	۵.۵۲
۱.۸	۱۷.۳۸	۱۵.۷۱	۱۷.۳۹	۳.۸۶	۴.۵۸	۳.۹
شدت جریان (tph)	۳۳.۸	۳۳.۰۸	۳۳.۵۴	۸۹.۷	۹۰.۴۲	۸۹.۹۶
پارامترها	d_{50c}	C	β^*	β	α	
	۳۱.۷۱	۰.۴۷۵	۳.۲۳	۰.۸۰۶	۲.۱۲	

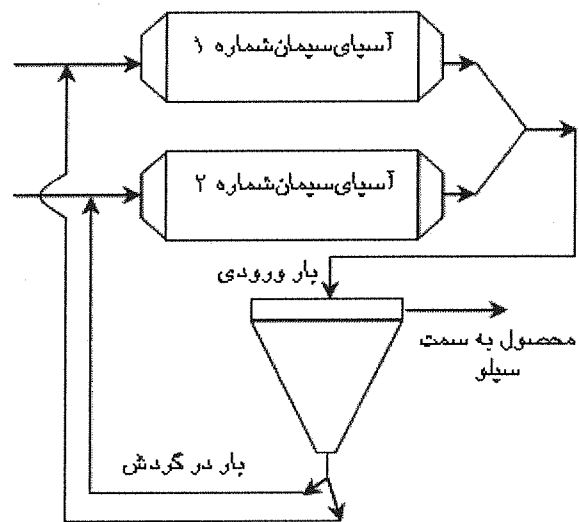
محصولات این جداکننده هوایی داراست. با توجه به دقت تابع وایتن در شبیه سازی جداکننده های هوایی، ASSIM یک شبیه ساز با دقت بالا و کاربرد آسان برای پیش بینی خصوصیات محصولات مربوط به انواع جداکننده های هوایی می باشد. محیطی آشنا مشابه برنامه های کاربردی در محیط ویندوز و امکان بررسی نتایج به صورت جدول و نمودار و امکان چاپ آنها از جمله مواردی است که تحلیل و بررسی نتایج را برای کاربران سهل و آسان می کند. همچنین زبان انگلیسی برنامه و فایل کمک آن به گستردگی کاربران آن منجر شده است.



شکل (۷): مقایسه آنالیز ابعادی دو جریان اصلی پس از شبیه سازی جداکننده هوایی کارخانه سیمان سفید جی.کی.

۶- نتیجه گیری

تقاضای رو به افزایش محصولات سیمان از یک سو و مصرف بالای انرژی در کارخانه های سیمان بخصوص در مدارهای آسیا از سوی دیگر، نیاز به بهینه سازی پارامترهای ساختاری جداکننده های هوایی و تعیین شرایط عملیاتی بهینه را تشدید کرده است. مهم ترین عامل تعیین کننده در رسیدن به شرایط عملیاتی بهینه، داشتن منحنی بازدهی با شیب مناسب و حداقل میزان «دور زدن» و «قلاب ماهی» است که استفاده از شبیه سازها باعث می شود با صرف هزینه و زمان اندک، توزیع های اندازه و شدت جریان های خروجی جداکننده های هوایی را؛ که شامل محصول (جریان ریزدانه) و برگشتی ها (جریان درشت دانه) می باشد، را پیش بینی کرد. ASSIM اولین نرم افزاری است که بطور خاص به شبیه سازی جداکننده های هوایی با تکیه بر تابع وایتن پرداخته است. استفاده از این مدل که اساس آن تعریف منحنی بازدهی است باعث شده است تا از این نرم افزار بتوان برای شبیه سازی انواع جداکننده های هوایی اعم از ایستا و پویا استفاده کرد. با ایجاد ارتباط بین ASSIM و BMCS [۳] که یکی از نویسندگان این مقاله آن را توسعه داده است، می توان کل مدار آسیای کلینکر سیمان را شبیه سازی کرد که نقش مؤثرتری در کاهش مصرف انرژی خواهد داشت.



شکل (۶): شمای ساده شده مدار آسیای کلینکر کارخانه سیمان سفید جی.کی. در هند

شکل () و شکل () مقایسه این نتایج را به ترتیب با رسم نمودار توزیع تجمعی اندازه و بازدهی دو جریان درشت دانه و ریزدانه نشان داده اند. همان طور که مشاهده می شود مقایسه نتایج نشان از دقت بالای ASSIM در پیش بینی خصوصیات

Benzer H.; "Modeling and Simulation of a Fully Air Swept Ball Mill in a Raw Material Grinding Circuit"; Powder Technology; vol. 150; pp. 145-154; 2004.

Farzanegan A.; Laplante A.R.; Lowther D.A.; "A Knowledge-based System for an Off-line Optimization of Ball Milling Circuits"; Proceedings of 29th CMP Conference; Ottawa; pp. 165-185; 1997.

Irannejad M.; Farzanegan A.; Razavian S.M.; "Steady-state Simulation of Hydrocyclones in Excel Spreadsheets"; Proceeding of Iranian Mining Engineering Conference-2005; Tehran; Iran; pp. 811-821; 2005.

Irannejad M.; Farzanegan A.; and Razavian S.M.; "Spreadsheet-based Simulation of Closed Ball Milling Circuits"; Minerals Engineering; vol. 19; pp. 1495-1504; 2006a.

Irannejad M.; Farzanegan A.; Razavian, S. M.; "Computer Simulation of Ball Mill - Hydrocyclone Closed Circuits in Spreadsheets"; MPMSC (Mineral Process Modelling, Simulation and Control) Conference; Sudbury; Ontario-Canada; 2006b.

Jankovic A.; "Cement Grinding Optimization"; Minerals Engineering; vol.17; pp. 1075-1081; 2004.

Kelsall D.F.; "A Further Study of the Hydraulic Cyclone"; Chemicals Engagement Science; vol. 2; pp. 254 - 273.; 1953.

Lynch et al.; "Simulation of Closed Circuit Clinker Grinding"; Zement Kalk Gips (English Translation); vol. 53; pp. 560-567; 2001.

Napier-Munn T.J. et al.; "Mineral Comminution Circuits (Their Operation and Optimization)"; 1st Edition; JKMC; 1999.

Plitt L.R.; "The Analysis of Solid - solid Separations in Classifiers"; CIM Bulletin; vol. 64; pp. 42-47; 1971.

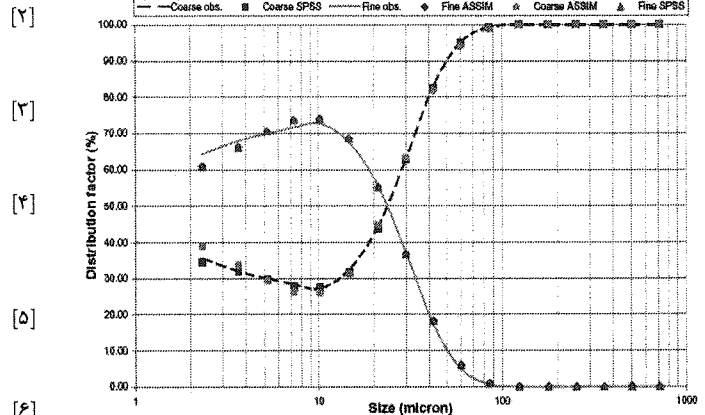
Reid K.J.; "Derivation of an Equation for Classifier - Reduced Efficiency Performance Curves"; Can. Met. Quarterly; vol. 10; pp. 253-254; 1971.

Rashidi S.; Farzanegan A.; Irannejad M.; "Development of a New Software for Optimization of Air Separators in Cement Plants"; 4th Asian Cement Conference; 11-14 June; Tehran; Iran; 2006.

Spring R.; "NORBAL 3 (Software for Material Balance Reconciliation)"; Center de Recherche Noranda; Point-Claire; Quebec; 1992.

۱- زیر نویس ها

- 1 Static
- 2 Dynamic
- 3 Rotor
- 4 Screen analysis
- 5 Laser diffraction
- 6 Data reconciliation
- 7 By-pass
- 8 Fish-hook
- 9 Kelsall
- 10 Rosin-Rammler
- 11 Plitt/Reid
- 12 Whiten
- 13 JKMC
- 14 Hacettepe
- 15 Air separator simulator
- 16 Benzer
- 17 Altun



شکل (۸): مقایسه بازدهی دو جریان اصلی پس از شبیه سازی جداکننده هوایی کارخانه سیمان سفید جی.کی.

۷- تقدیر و تشکر

- [۷] تهیه کنندگان این شبیه ساز از آقای پروفیسور بنزر ۱۶ و آقای آلتون ۱۷ از دانشگاه حاجت تپه در ترکیه برای راهنمایی های مفید ایشان در طول این تحقیق قدرانی و از کارخانه سیمان سفید جی.کی. در هند برای همکاری در تهیه و ارائه داده ها نیز سپاسگزاری می کنند.

۸- فهرست علائم

- [۸] E_{oa} : بازدهی واقعی جریان ریزدانه (درصد)؛
- [۹] E_{ua} : بازدهی واقعی جریان درشت دانه (درصد)؛
- [۱۰] E_{uc} : بازدهی تصحیح شده جریان درشت دانه (درصد)؛
- [۱۱] E_{oc} : بازدهی تصحیح شده جریان ریزدانه (درصد)؛
- [۱۲] O_i : درصد مواد با اندازه i در جریان ریزدانه؛
- [۱۳] U_i : درصد مواد با اندازه i در جریان درشت دانه؛
- [۱۴] f_i : درصد مواد با اندازه i در جریان بار ورودی؛
- [۱۵] O : شدت جریان مواد ریزدانه (تن بر ساعت)؛
- [۱۶] U : شدت جریان مواد درشت دانه (تن بر ساعت)؛
- [۱۷] F : شدت جریان بار ورودی (تن بر ساعت)؛
- [۱۸] S : شیب منحنی در نقطه مربوط به حد جدایش (دقت جدایش)؛
- [۱۹] d_{25} : اندازه ذراتی که ۲۵ درصد مواد از آن مقدار ریزترند؛
- [۲۰] d_{75} : اندازه ذراتی که ۷۵ درصد مواد از آن مقدار ریزترند؛
- [۲۱] d : اندازه ذرات (میکرون)؛
- [۲۲] d_{50c} : اندازه ذرات تصحیح شده (میکرون)؛
- [۲۳] X : اندازه نرمال شده ذره (d/d_{50c}) ؛
- [۲۴] R_f : درصد موادی که دور می زند (درصد)؛
- [۲۵] C : موادی که تحت جدایش قرار می گیرند $(C=1-R_f)$ ؛
- [۲۶] β : پارامتر قلاب ماهی؛
- [۲۷] β^* : پارامتری مجازی که به تعریف حد جدایش کمک می کند (یعنی زمانی که $d=d_{50c}$) آنگاه $E=C/2$ ؛
- [۲۸] α : دقت جدایش در تابع وایتن؛

۹- مراجع

- [۱] Benzer H. et al.; "Modeling Cement Grinding Circuit"; Minerals Engineering; vol. 14; pp. 1469- 1482; 2001.