

## مدلسازی حرکت مواد در کوره های سیمان

Granular material, fed continuously into the top of a slowly rotating, slightly inclined cylinder, forms a moving bed. Much of the bed rotates with the cylinder in solid body motion. When particles reach the surface of the bed, they move rapidly down it, and are absorbed once more into the solid body motion. Such cylinders are used in calcining, pharmaceutical manufacture, and drying. A steady state transport model, applicable when the bed depth varies slowly along the cylinder, has existed for around 50 years. The bed surface is considered locally flat, and particles in it fall along the line of steepest descent, inclined to the horizontal at the angle of repose. There is reasonable agreement with experiment.

در این مقاله ما بعد از ارائه گزیده ای از تاریخچه مدل سازی حرکت مواد در کوره های دوار و ارائه مختصری از کار برد این نوع کوره به مطالعه پیشرفتهایی که در این زمینه صورت گرفته پرداخته ایم ، از این جمله بررسی رژیم جریان در کوره های دوار می باشد . با توجه به این مطلب که مواد از قسمت زیرین به قسمتهای فوقانی حرکت میکند ، دو ناحیه در مقطع عرضی کوره به وجود می آید ، که این لایه ها عبارتند از لایه ایستا و لایه فعال (Passive layer) ، پس از بررسی این دو لایه ایجاد شده از مواد درون کوره ، در ادامه به بررسی مدلهای ارائه شده جهت حرکت دورانی ذرات داخل کوره و بررسی وابستگی هر یک از این مدل ها به فاکتور هایی از جمله سرعت دورانی کوره ، ابعاد کوره های دوار می پردازیم . ما در این مقاله ضرورت بررسی مدلهای حرکت مواد در کوره های دوار در صنایع را مورد بررسی قرار میدهیم و در نهایت ، پس از مطالعه مدلهای مختلفی که برای چرخش مواد درون کوره دوار به وجود می آید ، مدل Rolling را بعنوان حالت بهینه ای که می بایست برای مواد داخل کوره وجود داشته باشد با ذکر دلایل معرفی می کنیم و همچنین شرایط لازم برای ایجاد شدن این مدل در کوره های دوار را ذکر می کنیم .

**رژیم جریان در کوره های دوار:** با توجه به نوع حرکت ذرات در کوره های دوار و همچنین این مطلب که مواد از قسمت زیرین و کف به قسمت فوقانی حرکت می کند . میتوان ناحیه های مختلفی در قسمت داخلی برای مواد در نظر گرفت . در انتقال مواد از لایه های زیرین به صفحات فوقانی یک مرکز دورانی برای مواد وجود دارد که مجاور با دیواره کوره است . لایه های غیر فعال یا ایستایی که هنوز نتوانسته اند به سطح برسند زمانی که در اثر لغزش به سطوح پایین تر حرکت می کنند یک لایه فعال به وجود می آورند و این جابجایی به صورت تناوبی اتفاق می افتد و با در نظر گرفتن شیب کوره (حدوداً 3.5٪) باعث حرکت مواد در راستای محوری در کوره های دوار می گردد این مطلب از اساسی ترین مطالب در مدلسازی حرکت ذرات داخل کوره های دوار می باشد ، با توجه به این موضوع، می توان به الگویی جهت پر شدن سطح بستر کوره در امتداد طول کوره دست یافت. انتقال مواد از سطوح بالایی به قسمتهای پایین با در نظر گرفتن زاویه کوره باعث هدایت بستر و جابجایی بهتر مواد داخل کوره می شود . بهر حال لایه های سطحی به کرات توسط active layer انتقال پیدا میکند . با توجه به رفتار مواد داخل کوره در شرایط مختلف برای کوره های دوار می توان مدلهای مختلفی در نظر گرفت که عبارتند از Rolling , Slumping , Slipping , Cascading , Cataracting , Centrifuging که این مدلها برگرفته از رفتار بستر مواد می باشند که بصورت مستمر امتحان شده و کاربرد زیاد این مدلها بیانگر این مطلب می باشد . ما در این مقاله دیاگرام رفتار مواد درون کوره را نمایش داده ایم در این نوشتار بیشتر به بررسی مدل Rolling می پردازیم . می توان گفت رفتار مواد داخل کوره های دوار با تغییر مشخصات اجزاء مواد ، ابعاد کوره ، سرعت چرخش و همچنین پر شدن بستر ، تغییرات بسیار محسوسی پیدا می کند . برای سرعت دورانی خیلی کم و خصوصاً زمانی که اصطحکاک بین ذرات در لایه های زیرین مواد داخل کوره و دیواره کوره کم است ، این ذرات مانند یک جسم جامد عمل نموده و میتوان گفت بیشترین لغزش بین دیواره کوره و بستر وجود دارد که این حالت را مدل Slipping (مدل لغزشی) می نامیم . برای بستر هایی با عمق بیشتر و در سرعتهای دورانی بالا تر نسبت به حالت قبل می توان از مدل Slumping استفاده کرد که در این مدل ناحیه هایی برای لغزش مواد به وجود می آید و در این حالت می توان زاویه ای روی سطح مواد داخل

کوره در نظر گرفت، که این ناحیه در اثر چرخش کوره و رسیدن به بیشترین انحراف مواد داخل کوره، به حالتی می رسد که با تاثیر مرکز ثقل مواد و نیروی ممان به وجود آمده، این ناحیه گوه ای شکل به منطقه ای که انحراف کمتری دارد، می لغزد و این مسئله بارها و بارها به صورت ثابت اتفاق می افتد. در مدل Rolling سطح بستر مستمراً در حال نو شدن است در صورتی که در مدل Slumping این تازه شدن سطح در فاصله های زمانی ثابت اتفاق می افتد، لازم به ذکر است که دو مدل ذکر شده در بالا یعنی مدل های Rolling و Slumping به صورت غیر قابل پیش بینی در حال تبدیل به یکدیگر هستند یعنی از Slumping به Rolling و بالعکس، این مطلب گویای این مسئله می باشد که برای انتقال و حرکت بستر همواره یک مدل از مدل های ذکر شده بصورت ثابت وجود ندارد بلکه در حال سوچ شدن به یکدیگر هستند. در سرعت های دورانی بیشتر در اثر نیروی گریز از مرکز ممکن است حتی ذرات به صورت پرتابی حرکت نمایند که این حالت اثر نامطلوبی بر بهره برداری از کوره دارد زیرا انتقال حرارت و انتقال مواد داخل کوره بصورت مطلوبی صورت نگرفته و در نتیجه فرآیند تکلیس نیز بصورت ناقص انجام گیرد. در نهایت کیفیت مواد پایین آمده، پرت مواد زیاد می شود. در صورتی که بخواهیم تقسیم بندی مدل ها را بر اساس درصد سرعت در نظر بگیریم اگر میزان نهایی سرعت را سرعت بحرانی بنامیم که با در نظر گرفتن نیروی گریز از مرکز و چرخش مواد عبارت است از:  $n_c = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R}}$  می توان مدل ها را به نسبت سرعت بحرانی رنج بندی کرد که در آن، حالت Slumping در سرعت های دورانی کمتر از ۳ درصد سرعت بحرانی به وجود می آید، برای حالات Rolling و cascading شامل سرعت هایی بین ۳ تا ۳۰ درصد سرعت بحرانی می باشد و برای سرعت های بیشتر یعنی از ۳۰ تا ۱۰۰ درصد سرعت بحرانی شکل مواد بصورت Cataracting و Centrifuging نزدیک می شود. ناگفته نماند حالت بهینه مدلها برای مواد مختلف یکسان نبوده و با توجه به نوع مواد و فرایند موجود حالت بهینه انتخاب می شود و حتی برای برخی از مواد از مدل های دیگری جهت مدلسازی کوره های دوار استفاده می شود. در این مرحله مدل Rolling که مدلی مرجع برای فعالیت های صنعتی مخصوصاً صنایع سیمان می باشد را مورد بررسی قرار می دهیم. دلیل مهم انتخاب مدل Rolling بعنوان بهترین مدل از جهت حالت مناسب مواد داخل کوره عبارت است از اینکه در مدل ها Cascading, Cataracting, Centrifuging, مواد حالت پرتابی داشته و انتقال حرارت بطور مناسب صورت نمی گیرد، همچنین در حالت Slipping و Slumping حرکت مواد داخل کوره بصورت ممتد نیست و بصورت پالس پالس می باشد که در نتیجه در این حالت بصورت یک نواخت حرارت به تمام ذرات نمی رسد و باعث ایجاد میزان پرت بیشتر می شود، با توجه به مطالب ذکر شده ما به بررسی مدل Rolling و Cascading که مدل اصلی در صنایع سیمان بوده و ترجیحاً سعی در ایجاد این مدل در کوره های دوار می شود ضخامت لایه فعال در حالت Cascading بیشتر از ضخامت لایه فعال در مدل Rolling می باشد، همینطور بلعکس ضخامت لایه ایستا در مدل Rolling بیشتر است و نکته دیگری که مشهود است در مدل Cascading فرم لایه فعال بصورت یکنواخت نیست و در نتیجه نمی توان پیش بینی دقیقی از شکل سطح مواد در این لایه بدست آورد و این در حالی است که مدل Rolling با توجه به شکل مواد می تواند پیش بینی دقیقتری نسبت به مدل Cascading داشته باشد.

**نتیجه گیری:** در نهایت با توجه به رقابت موجود در صنعت، تحقیقات در این زمینه موجب افزایش راندمان و تولید می گردد. در نتیجه در این مقاله ما با ارائه این روابط و نمایش حالت بهینه در استفاده از کوره های دوار الگویی تئوری از بکارگیری بهتر کوره های دوار ارائه دادیم، که با محاسبه سرعت بحرانی در کوره های دوار می توان حد اکثر سرعت دورانی کوره در حالتی که بهترین راندمان را داشته باشیم محاسبه نمود و این معیار خوبی برای محاسبه سرعت چرخش کوره می باشد.

فرید م عبدی (فوق لیسانس مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی)

شرکت عرصه صنعت گرین

۹۰/۱۱/۰۶

Ref:

- FLOW OF GRANULAR MATERIAL THROUGH ROTATING CYLINDERS: MODELLING TRANSIENTS , RICHARD J. SPURLING, JOHN F. DAVIDSON AND DAVID M. SCOTT
- THREE-DIMENSIONAL PARTICLE DIFFUSION IN A ROTATING D M REACTOR , RICHARD G. SHERRITT
- GRANULAR SYSTEM RHEOLOGY AND MECHANICS: EXPERIMENTS , SANDRO LONGO(1), ALBERTO LAMBERTI(2)
- DIFFUSION EFFECTS IN ROTATING ROTARY KILNS , M.D. HEYDENRYCH+, J. SCHIEKE+, A.B.M. HEESINK\* AND J.A.M. KUIPERS\*
- DIFFUSION EFFECTS IN ROTATING ROTARY KILNS M.D. HEYDENRYCH+, J. SCHIEKE+, A.B.M. HEESINK\* AND J.A.M. KUIPERS\*
- RESIDENCE TIME BEHAVIOR OF WASTES IN ROTARY KILN SYSTEMS –EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS AND MATHEMATICAL MODELLING
- MODELLING OF ROTARY KILNS ,PROEFSCHRIFT ,TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR AAN DE UNIVERSITEIT TWENTE, OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS, PROF.DR. F.A. VAN VUGHT,
- GRANULAR FLOW IN EQUILIBRIUM WITH THE BOTTOM: EXPERIMENTAL ANALYSIS AND THEORETICAL PREDICTION B. ZANUTTIGH AND A. LAMBERTI
- STEADY PARTICULATE FLOWS IN A HORIZONTAL ROTATING CYLINDER K. YAMANE
- DEVELOPMENT OF A DUAL APPROACH TO ASSESS POWDER FLOW FROM AVALANCHING BEHAVIOR SUBMITTED: APRIL 18, 2000; ACCEPTED: JULY 18, 2000
- GRANULAR FLOW IN AN INCLINED ROTATING CYLINDER: STEADY STATE AND TRANSIENTS BY RICHARD JOHN SPURLING CLARE COLLEGE CAMBRIDGE
- EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDYOF TRANSVERSE SOLIDS MOTION IN ROTARY KILN