بررسی پارامتر های موثر بر مدهای حرکتی دانه های برنج در استوانه های دوار

جواد خزایی[۱]، جعفر مساح[۱]، وحید ورطه پرور[۲]، موسی ملکی[۳]، سیدرضی کریمی[۳]، مهدیه کارگر نعمتی[۲]
۱،۲و۳- به ترتیب استاد، دانشجوی کارشناسی ارشد و کارشناسی گروه مهندسی ماشینهای کشاورزی پردیش ابوریحان دانشگاه تهران
vartehparvar@gmail.com

چکیده

خشک‌کن‌های دوار رایج ترین محل کاربرد استوانه های دوار در کشاورزی و صنایع غذایی است. حرکت مواد در استوانه های دوار رفتار پیچیده ای است که در مجموع شامل سه مد حرکتی مختلف به نام های ۱- Slipping ،۲- Cascading و۳- Cataracting می باشد. در خشک‌کن های دوار، مقدار انتقال حرارت و جرم تحت تاثیر مد حرکتی مواد در داخل استوانه است. هدف از انجام این تحقیق مطالعه و بررسی تاثیر قطر، سرعت دورانی و درصد پرشدگی استوانه دوار بر انواع مدهای حرکتی و شرایط انتقال از یک مد به مد دیگر برای دانه های برنج می باشد. آزمایشها به صورت آزمایشگاهی و توسط سه استوانه به قطرهای ۳۰، ۲۰ و ۱۵ سانتیمتر انجام شده اند. نتایج نشان داد که در محدوده کاری دستگاه، در داخل استوانه کوچک مد Centrifuging مشاهده نشد. در حالیکه برای استوانه بزرگ انتقال از مد Cataracting به Centrifuging در محدوده سرعت های از ٤٧ تا ۹۱/۵ دور بر دقیقه اتفاق افتاد.

واژه های کلیدی: استوانه دوار، رفتار بستر بذر، مواد دانه ای، مدهای حرکتی.

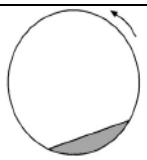
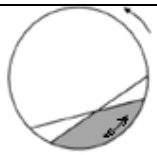
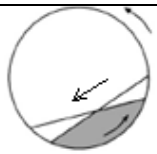
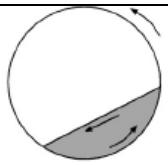
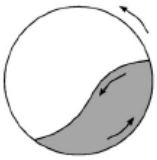
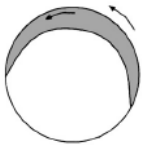
مقدمه

استوانه‌های دوار افقی نقش مهمی را در فرایندهای مربوط به مواد دانه‌ای در کشاورزی، صنایع غذایی، و داروسازی ایفا می‌کنند. در صنعت از استوانه‌های دوار که به صورت جزئی از مواد پر می شوند بطور گسترده برای مخلوط کردن، جداسازی، خشک کردن، گرمادهی و کاهش ابعاد هندسی مواد دانه‌ای مصنوعی و طبیعی استفاده می شوند (Wratten وهمکاران ۱۹٦۹، Watanabe ۱۹۹۹، Liu و همکاران ۲۰۰۵a,b، ۲۰۰٦). تحقیقات زیادی در زمینه حرکت مواد مهندسی در داخل استوانه های دوار انجام شده است (Boateng و همکاران ۱۹۹٦، Henein و همکاران ۱۹۸۳b,a، Khakhar و همکاران ۱۹۹۷). خشک‌کن‌های دوار رایج ترین محل کاربرد استوانه های دوار در کشاورزی و صنایع غذایی می‌باشد (Palmer و همکاران، ۱۹۹۸).

حرکت مواد در استوانه های دوار رفتار پیچیده ای است و تحت تاثیر پارامترهای مختلفی مثل قطر استوانه، سرعت دورانی استوانه، میزان پرشدگی استوانه و شکل و ابعاد دانه ها است (Henein و همکاران، ۱۹۸۳b,a، Mellmann، ۲۰۰۱، Sherritt و همکاران، ۲۰۰۳). Mellmann (۲۰۰۱) انواع مد های حرکتی مختلف مواد در استوانه‌های دوار را مطابق شکل ۱ به سه دسته کلی به شرح زیر طبقه بندی کرده است ۱- Slipping ، ۲- Cascading و ۳- Cataracting. که هر کدام از این حالتها خود شامل چند زیر شاخه می باشند و در مجموع هفت مد حرکتی مختلف قابل مشاهده است که آنها را مدهای حرکتی مواد در استوانه‌های دوار گویند.

مطابق شکل ۱، بتدریج با افزایش سرعت دورانی استوانه، رفتار حرکتی مواد از مد Slipping به مد Cataracting تغییر می کند. مطالعات قبلی جزئیات و نحوه انتقال از یک مد حرکتی به مد دیگر را برای مواد دانه ای بطور کامل بیان و مدل سازی کرده اند (Mellmann ۲۰۰۱). Palmer و همکاران(۱۹۹۸) نحوه انتقال حرارت در استوانه های دوار و اصول بهینه کردن آن را مورد بررسی قرار دادند. Cristo و همکاران (۲۰۰۶) انواع مختلف مدهای حرکتی دانه های قهوه در استوانه دوار را بررسی کردند. آنها تاثیر ضریب پرشدگی بر شرایط انتقال از یک مد به مد دیگر را مطالعه کردند. آنها گزارش کردند که نتایج حاصل از این تحقیق در بهینه سازی شرایط کاری استوانه های دوار برای بو دادن دانه های قهوه کاربرد دارد.

Christian و همکاران (۱۹۹۸) اثر اندازه دانه ها و درصد پرشدگی استوانه را بر روی کیفیت مخلوط شدن و جدا شدن مواد دانه ای در داخل استوانه های دوار را بررسی کردند. همچنین Chakraborty (۲۰۰۰) و همکاران تحقیقاتی در مورد تاثیر پارامترهای مختلف بر جداسازی مواد دانه ای انجام دادند. Ingram و همکاران (۲۰۰۵) نحوه توزیع شعاعی و محوری مواد دانه ای در استوانه های دوار را مورد مطالعه قرار دادند.

Slipping		Cascading			Cataracting	
sliding	surging	Slumping	Rolling	Cascading	Cataracting	Centrifusing
						

شکل ۱- انواع مختلف مدهای حرکت مواد در داخل استوانه‌های دوار (Mellmann، ۲۰۰۱)

نتیجه تحقیقات قبلی نشان داده است که در خشک‌کن های دوار، مقدار انتقال حرارت و جرم تحت تاثیر مد حرکتی مواد در داخل استوانه است که آن هم تحت تاثیر قطر، سرعت دورانی و میزان پرشدگی استوانه است. بنابراین برای طراحی بهینه خشک‌کن‌های دوار شناخت انواع مدهای حرکتی مواد در استوانه های دوار و شرایط انتقال از یک مد به مد دیگر ضروری است.

بررسی منابع نشان داد که هیچ تحقیقی در زمینه مطالعه انواع مدهای حرکتی دانه های برنج در استوانه‌های دوار انجام نشده است. بر این اساس هدف از انجام این تحقیق مطالعه و بررسی تاثیر قطر، سرعت دورانی و درصد پرشدگی استوانه دوار بر انواع مدهای حرکتی و شرایط انتقال از یک مد به مد دیگر برای دانه های برنج می باشد.

مبانی تئوری حرکت مواد در استوانه های دوار

مطابق شکل ۱، مد Slipping رفتار نامطلوبی از حرکت مواد است که بیشتر در درصد پر شدگی های کم استوانه و یا استوانه های با دیواره صاف و فاقد اصطکاک کافی رخ می‌دهد که خود شامل دو مد حرکتی Sliding و Surging است. وقتی دیواره استوانه خیلی صاف باشد، Sliding اتفاق می‌افتد (Rutgers، ۱۹۶۵). در مد حرکتی Slipping هیچ اختلاطی بین مواد رخ نمی‌دهد. برای جلوگیری از این حرکت ناخواسته لازم است به نحوی اصطکاک بین دیواره استوانه با مواد داخل آنرا افزایش داد. برای این منظور اغلب از روش چسباندن کاغذ سنباده در داخل استوانه استفاده می‌گردد.

مد Slipping کاربرد چندانی در استوانه های دوار نداشته و حرکت مواد اغلب در مد Cascading اتفاق می افتد که این نوع خود در سه دسته شامل Slumping، Rolling و Cascading تقسیم بندی می‌شود (شکل ۱). اینکه کدامیک از سه مد حرکتی Cascading رخ دهند، بستگی به سرعت دورانی، درجه پرشدگی و ابعاد مواد دارد. طبق گزارش Sherritt و همکاران (۲۰۰۳)، مد Slumping معمولا در سرعت های پایین استوانه رخ می-دهد. نتیجه یافته های آنها نشان می دهد که مد Slumping معمولا در سرعت های کمتر از ۳٪ سرعت معیاری، سرعتی که در آن مد Centrifusing اتفاق می افتد، حاصل می شود. مد های Rolling و Cascading نیز اغلب در سرعت های میانی (معمولا ۳ تا ۳۰٪ سرعت معیار) اتفاق می‌افتند (Henein و همکاران، ۱۹۸۳a,b، Wahlster و همکاران، ۱۹۶۳). طبق گزارش Mellmann **(۲۰۰۱)** سرعت معیاری که در آن مد Centrifusing اتفاق می افتد (n_c) مطابق رابطه زیر محاسبه و تخمین زده می شود:

$$n_c = \left(\frac{30}{\pi}\right)\sqrt{\frac{g}{R}} \qquad (۱)$$

که در آن، g شتاب ثقل، R قطر استوانه می‌باشد.

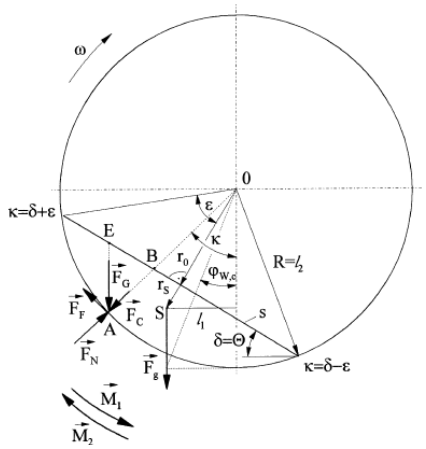
شکل۲ شماتیک نحوه قرار گرفتن دانه ها در داخل استوانه را نشان می دهد. که در آن، ε زاویه پرشدگی استوانه می‌باشد. مطابق شکل ۲، درصد پرشدگی استوانه طبق رابطه زیر محاسبه می گردد (Ingram و همکاران، ۲۰۰۵، Liu و همکاران، ۲۰۰۶).

$$f = (1/\pi)\times(\varepsilon - \sin\varepsilon\cos\varepsilon) \qquad (۲)$$

معیار مهم دیگری که برای ارزیابی حرکت مواد در استوانه های دوار استفاده می‌گردد، عدد فروید[1] است که طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Fr = (\omega^2 R)/g \qquad (۳)$$

در این رابطه،Fr عدد فروید ، ω سرعت دورانی، R شعاع استوانه، g شتاب جاذبه است.



شکل ۲- شماتیک سطح مقطع بستر مواد و نحوه قرارگیری آنها نسبت به محور استوانه

مدلهای مختلفی برای پیش بینی مدهای حرکت مواد در داخل استوانه های دوار ارائه شده اند (Mellmann، ۲۰۰۱، Liu و همکاران، ۲۰۰۵، Sherritt و همکاران، ۲۰۰۳). بر اساس مدل های فیزیکی، انتقال از یک مد حرکتی به مد دیگر به ضریب اصطکاک دیواره استوانه، عدد فروید، ضریب پرشدگی استوانه، سرعت دوران و همچنین به خواص مواد بستگی دارد. چگونگی تاثیر این پارامتر ها بر نوع و چگونگی حرکت مواد در استوانه های دوار توسط Mellmann (۲۰۰۱) مطالعه شده است. Liu و همکاران (۲۰۰۵) مدلهای ریاضی برای محاسبه سرعت دورانی بحرانی برای انتقال از مد حرکتی Slumping به مد Rolling را برای موادی مانند کود شیمیایی دانه‌ای ، گوی‌ها و استوانه‌های فولادی کوچک پیشنهاد کرده اند. در این تحقیق مشخص شده است که سرعت دورانی بحرانی با نسبت قطر مواد به قطر استوانه (d/D) نسبت مستقیم و با مربع سینوس زاویه پرشدگی استوانه نسبت عکس دارد.

Britton و همکاران (۲۰۰۶) نیز مدل ریاضی را برای پیش بینی رفتار حرکتی توده شکر خام درخشک‌کن دوار صنعتی ارائه کردند. مدل مذکور تابعی از سرعت دورانی و شیب استوانه دوار است. این مدل همچنین قادر به محاسبه مسیر حرکت ماده و مدت زمان ماندن آن در داخل خشک کن صنعتی در مقیاس واقعی بود.

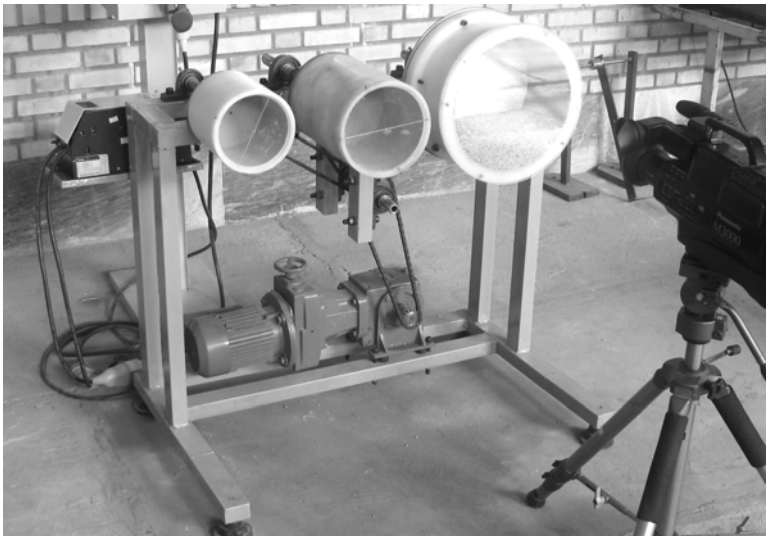
کارکرد صحیح و دقیق خشک‌کن‌های استوانه ای دوار مستلزم انتقال حرارت یکنواخت به محصول در داخل استوانه است. برای این منظور ضروری است مواد داخل استوانه در مد حرکتی مناسبی حرارت دهی و خشک شوند.

1. Fruide number

مطابق تحقیقات قبلی، مناسبترین مد ح رکتی که برای خشک کردن مواد در استوانه های دوار پیشنهاد شده است مد Cascading است (Mellmann، ۲۰۰۱). دلیل آن را می توان چنین تحلیل کرد که در سرعت های بالا که مد Centrifusing رخ می دهد دانه ها به علت نیروی گریز از مرکز به دیواره چسپیده امکان جریان یافتن هوای گرم بین آنها میسر نمی باشد. از طرفی، در سرعت های پائین تر نیز بدلیل اختلاط ناچیز مواد، انتقال حرارت به داخل توده مواد به کندی صورت می گیرد.

مواد و روشها

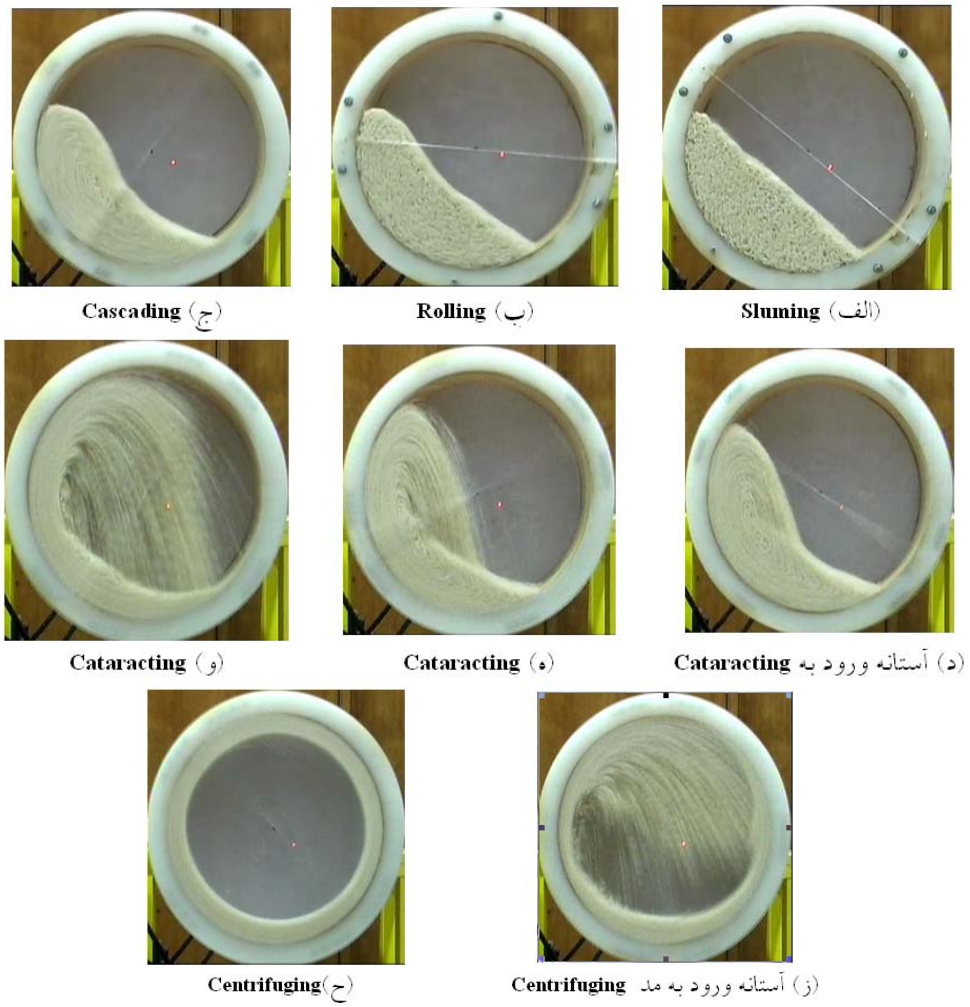
نمونه دانه های برنج مورد استفاده در این تحقیق از کشاورزان منطقه شمال ایران در استان گیلان خریداری شد. جهت انجام آزمایشها تعیین مدهای حرکتی دانه های برنج در داخل استوانه های دوار از دستگاه ساخته شده توسط قنبری (۱۳۸۷) که در پردیس ابوریحان دانشگاه تهران موجود است استفاده گردید. نمایی از دستگاه مورد استفاده درشکل ۳ نشان داده شده است. دستگاه شامل سه استوانه دوار افقی می باشد. جنس استوانه ها از پلی‌اتیلن بوده و در دهانه ورود محصول به استوانه تلق شفافی قرارداده شد تا مشاهده مواد درون استوانه در حین دوران راحت باشد. سرعت دورانی استوانه ها به کمک اینورتر قابل تغییر و تنظیم بودند. در این دستگاه حداکثر سرعت دورانی استوانه ها حدود ۱۰۰ دور در دقیقه بود.



شکل ۳- **نمایی از** دستگاه مورد استفاده برای تعیین مدهای حرکتی مواد در استوانه های دوار

در این تحقیق، آزمایش‌ها در سه استوانه با قطرهای داخلی ۳۰، ۲۰ و ۱۵ سانتیمتر و در سرعتهای دورانی از ۰/۵ تا ۱۰۰ دور در دقیقه و برای درصد پرشدگی از ۷٪ الی ٤٦٪ انجام شدند. برای اجتناب از لغزش ناخواسته دانه های برنج در حین دوران استوانه ها و نیز جلوگیری از مد حرکتی Slipping، دیواره داخلی استوانه ها با کاغذ سمباده پوشانده شد. برای هر استوانه، رفتار حرکتی مواد در داخل آن توسط یک دوربین که به طور عمود بر محور استوانه نصب شده بود، ضبط می گردید.

برای هر آزمون ابتدا استوانه تا حد مورد نظر از دانه های برنج پر می شد. سپس استوانه دوار در سرعت های کم (نیم دور در دقیقه) به حرکت در می آمد و سپس بتدریج سرعت آن افزایش داده می شد (هر مرحله حدود نیم دور در دقیقه). در هر مرحله مد حرکتی مواد تعیین و یاداشت می شدند. سرعت استوانه تا جایی که مد حرکتی Cataracting حادث شود ادامه می یافت. با رسیدن به هر مد حرکتی، سرعت مربوطه به عنوان سرعت معیار آن مد انتخاب و یادداشت می گردید. تمام مشاهدات چشمی بوده و برای کاهش درصد خطا هر آزمون چهار مرتبه به طور تصادفی انجام گردید و از نتایج حاصل میانگین گیری بعمل آمد. این فرایند برای هر سه استوانه انجام شده و کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و SPSS تحلیل شدند.



شکل ٤- تغییر رفتارحرکتی دانه های برنج در داخل استوانه دوار برای درصد پرشدگی ٢٨/٤٪

نتایج و بحث

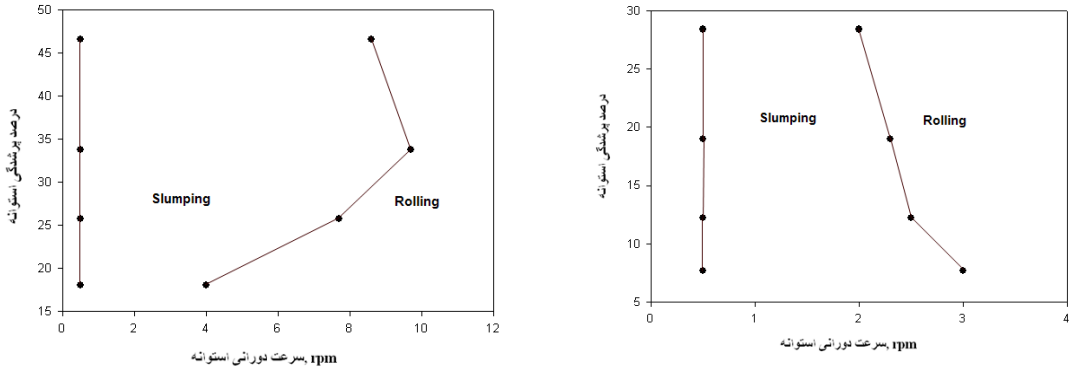
در شکل ٤ تغییرات رفتار حرکتی دانه های برنج با افزایش سرعت دورانی استوانه برای درصد پر شدگی ٢٨/٤٪ نشان داده شده است. شرایط مشابهی برای سایر درصد پر شدگی ها ملاحظه شد. البته مسلما برای درصد پر شدگی

های مختلف محدوده سرعت هایی که انتقال از یک مد به مد دیگر اتفاق می افتد متفاوت خواهند بود که در ادامه بحث شده است.

در شکل های ۵ تا ۸ شرایط انتقال از یک مد حرکتی به مد حرکتی دیگر برای درصد پرشدگی و سرعت های مختلف و برای دو استوانه بزرگ و کوچک به ترتیب با قطر های داخلی ۳۰ و ۱۵ سانتیمتر نشان داده شده است. در این شکل ها نقاط روی هر نمودار شرایط مرزی برای انتقال از یک مد به مد دیگر را نشان می دهند. در محدوده بین هر دو خط، مد حرکتی که دانه های برنج داشته اند در آن ناحیه یاداشت شده است.

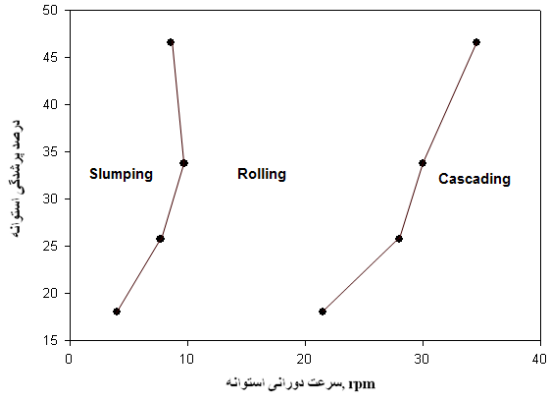
همانطور که قبلا بحث شد بنابر تحقیقات Mellmann (۲۰۰۱)، مد حرکتی Slipping تحت تاثیر درجه پرشدگی و ضریب اصطکاک دیواره استوانه است. این رفتار تا حد زیادی در سرعت های دورانی کم و نیز درجه پرشدگی های کم اتفاق می‌افتد. در حالیکه از شکل ٤ پیداست که برای کلیه سطوح درصد پر شدگی و برای حداقل دور استوانه یعنی ۰/۵ دور بر دقیقه مد Slipping مشاهده نشد. در حقیقت مد حرکتی Slipping در استوانه‌های دوار با دیواره‌های صاف و فاقد پوشش داخلی رخ می‌دهد. این نوع مد حرکتی به خاطرعدم اختلاط مناسب مواد دانه‌ای، زیاد مورد توجه محققان قرار نگرفته است و تحقیقات اندکی بر روی آن انجام گرفته است. این نوع مد حرکتی را می‌توان با پوشاندن دیواره داخلی استوانه‌ها با کاغذ سمباده یا هر پوشش زبر دیگری مانع شد. با توجه به اینکه در این تحقیق دیواره استوانه از قبل با کاغذ سمباده پوشانده شد بود بنابراین مد حرکتی Slipping مشاهده نشد.

از شکلهای ۵ تا ۸ پیداست که با کاهش قطر استوانه به طور متوسط سرعت مورد نیاز برای انتقال از یک مد به مد دیگر بطور معنی داری افزایش یافته است. ضمنا نتایج نشان دادند که برای استوانه با قطر کوچک (با قطر ۱۵ سانتیمتر) مد Centrifuging مشاهده نشده است. دلیل اینکه با کاهش قطر، سرعت مورد نیاز برای انتقال از یک مد به مد دیگر افزایش می یابد به خاطر کاهش نیروی گریز از مرکز وارد به دانه ها است. به عبارت دیگر برای آنکه دانه های از یک مد وارد مد دیگر شوند ضروری است سرعت خطی آنها به میزان مشخصی برسد که مستقل از قطر استوانه است و بعضا حتی مستقل از درصد پرشدگی است. طبیعی است که در استوانه های بزرگ سرعت خطی برای رسیدن به یک مد معین در سرعت های دورانی کمتر انجام می گردد.

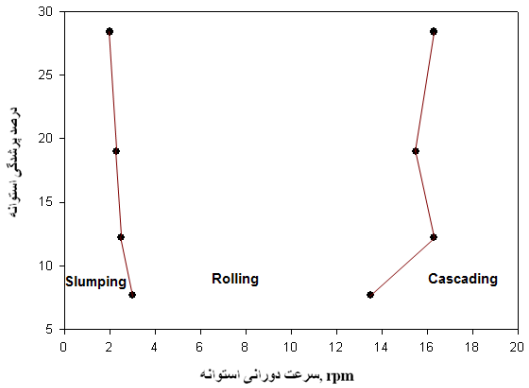


استوانه به قطر ۱۵ سانتیمتر استوانه به قطر ۳۰ سانتیمتر

شکل ۵- رفتار حرکتی دانه برنج در حین انتقال از مد Sluming به Rolling برای دو استوانه بزرگ و کوچک

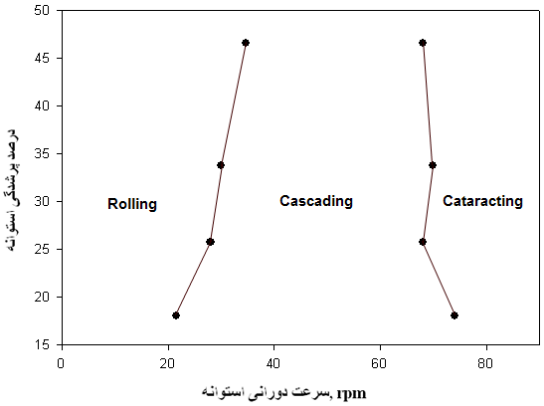


استوانه به قطر ۱۵ سانتیمتر

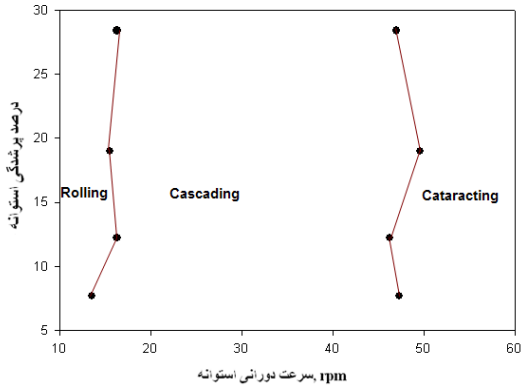


استوانه به قطر ۳۰ سانتیمتر

شکل ٦- رفتار حرکتی دانه برنج در حین انتقال از مد Rolling به Cascading برای دو استوانه بزرگ و کوچک

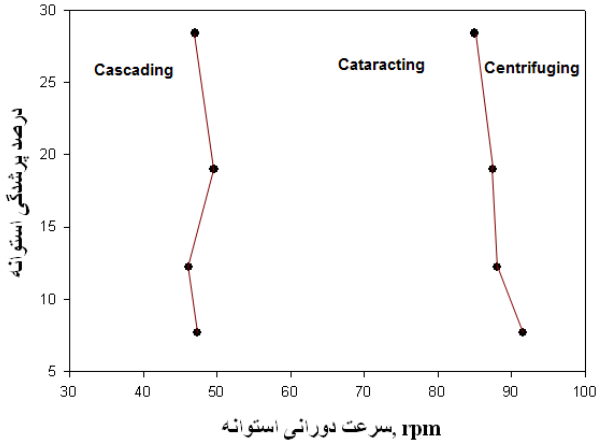


استوانه به قطر ۱۵ سانتیمتر



استوانه به قطر ۳۰ سانتیمتر

شکل ۷- رفتار حرکتی دانه برنج در حین انتقال از مد Cascading به Cataracting برای دو استوانه بزرگ و کوچک



شکل ۸- رفتار حرکتی دانه برنج در حین انتقال از مد Cataracting به Centrifuging برای استوانه بزرگ

همانطور که قبلا بحث شد بیشتر خشک کن های دوار در محدوده مدهای slumping تا Cascading استفاده می شوند. نتایج این تحقیق نشان داد که برای دانه های برنج در داخل استوانه بزرگ، سرعت های دورانی مورد نیاز برای انتقال از مد slumping به Rolling در محدوده سرعت های ۰/۵ تا ۳ دور بر دقیقه بوده و مقادیر متناظر برای استوانه کوچک در محدوده ۰/۵ تا ۹/۷ دور بر دقیقه قرار دارد. نتایج مشابهی توسط Cristo و همکاران (۲۰۰٦)، Liu و همکاران (۲۰۰۵) برای انتقال از مد slumping تا Cascading برای دانه های قهوه، دانه های سنگ ریزه، ماسه ها و دانه های سنگ آهک گزارش شده است.

برای استوانه بزرگ، سرعت دورانی مورد نیاز برای انتقال از مد Rolling به Cascading از ۲ تا ۱٦/۳ دور بر دقیقه متغیر بود (شکل ٦). مقادیر متناظر برای استوانه کوچک در محدوده ٤ تا ۳٤/٦ دور بر دقیقه می باشد. Cristo و همکاران (۲۰۰٦) گزارش کردند که برای دانه های قهوه سرعت دورانی مورد نیاز برای انتقال از مد Rolling به Cascading در محدوده ۲۱ تا٦۱ دور بر دقیقه قرار دارد. همچنین مطابق نتایج حاصله شرایط انتقال از مد Cataracting به Centrifuging برای دانه های برنج در داخل استوانه بزرگ در محدوده سرعت های از ٤۷ تا ۹۱/۵ دور بر دقیقه اتفاق افتاد.

منابع و مراجع مورد استفاده:

۱- قنبری، ص. خزایی، ج. مساح، ج. ۱۳۸۷. بررسی پارامتر های موثر بر حرکت و زاویه استقرار مواد دانه ای در استوانه های دوار. پایانامه کارشناسی ارشد، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

2- Boateng, A.A. & Barr, P.V. 1996. Modelling of particle mixing and segregation in the transverse plane of a rotary kiln. ChemicalEngineering Science, 51(17), 4167–4181.

3- Britton, P.F. & Sheehan, M.E. & Schneider, P.A. 2006. A physical description of solids transport in flighted rotary dryers. Powder Technology, 165, 153-160.

4- Christian, M. & Dury, Gerald, H.& Ristow, 1998. Competition of mixing and segregation in rotating cylinders, Fachbereich Physik, Philipps-University, Renthof Marburg, Germany.

5- Chakraborty, S. & Nott, P. R. & Prakash, J. R. 2000. Analysis of radial segregation of granular mixtures in a rotating drum. The European Physical Jornal, 1 (4), 265-273.

6- Cristo, Helder P. & Martins, Marcio, A. & Aoliveira, S. & Leandro, S. Oliveira &. Franca, 2006, Transverse flow of coffee beans in rotating roasters, J. Food Eng. 75, 142–148.

7- Henein, H. & Brimacombe, J.K. & Watkinson, A.P. 1983a. Experimental study of transverse bed motion in rotary kilns. Metallurgical Transactions, 14B, 191–205.

8- Henein, H. & Brimacombe, J.K. & Watkinson, A.P. 1983b. the modeling of transverse solids motion in rotary kiln. Metallurgical Transactions. B, Process Metallurgy, 14B, 207–220.

9- Ingrama, A. & Sevilleb, J.P.K. & Parkera, D.J. & Fana, X. & Forster, R.G. 2005. Axial and radial dispersion in rolling mode rotating drums. Powder Technology, 158, 76 – 91.
10- Khakhar, D.V. & McCarthy, J.J. & Shinbrot, T. Ottino, J.M. 1997. Transverse flow and mixing of granular materials in a rotating cylinder. Phys. Fluids, 9,31–43.
11- Liu, X.Y. & Specht, E. & Mellmann, J. 2005a. Slumping – rolling transition of granular solids in rotary kilns. Chemical Engineering Science, 60, 3629–3636.
12- Liu, X.Y. & Specht, E. & Mellmann, J. 2005b. Experimental study of the lower and upper angles of repose of granular materials in rotating drums. Powder Technology, 154, 125 – 131.
13- Mellmann, J. 2001. The transverse motion of solids in rotating cylinder-forms of motion and transition behaviour. Powder Technology, 118, 251–270.
14- Metcalfe, G. & Shinbrot, T. McCarthy, J.J. Ottino, J.M. 1995. Avalanche mixing of granular solids. Nature, 374, 39–41.
15- Palmer, G. & Howes, T. 1998. Heat transfer in rotary klins .Cement Industry Federation Technical Conference.
16- Rutgers, R. 1965. Longitudinal mixing of granular material flowing through a rotating cylinder. Chem. Eng. Sci., 1079–1087, 1089– 1100.
17- Sherritt, R.G. 2001. Three-dimensional particle diffusion in a rotating drum reactor. Ph.D. thesis, University of Calgary, Calgary, Canada.
18- Wahlster, M. & Jost, H.G. & Serbent, H. & Meyer, G. 1963. Untersuchungen u¨ber die aterialbewegung im Drehrohrofen. Techn. Mitt. Krupp, Forsch.-Ber. 21 Ž1. 5–14.
19- Watanabe, H. 1999. Critical rotation speed for ball-milling. Powder Technol.104, 95–99
20- Wratten, F.T. & Poole, W.D. & Chesness, J.L. & Bal, S. & Ramarao, V. 1969. Physical and thermal properties of rough rice, Transactions of the ASAE, 12(6), 801–803.

Determining the Effects of Some Parameters on Movement of Grains in Rotary Drums

Abstract

The most common Application of rotary cylinder is used in the drum dryer in agriculture and food industry. Movement of material in rotating cylinders is a complex behavior that it consists three different mode motion in names 1-slipping 2- cascading 3-cataracting.

In the drum dryer, value of heat and mass transfer are affected by mode motion of materials inside the cylinder. The aim of this paper is studying of the effects of diameter, rotational speed and filling degree of rotating cylinder on the mode motion and transmission condition for rice.

Experiments were done by three different diameter cylinders 15, 20, 30 cm. in the working range of machine, centrifuging mode was not observed. While it happened for large diameter cylinder in the speeds from 47 to 91.5 rpm.

Key words: rotary dryer, mode motion, bed behavior, grain materials