

## بررسی خواص فیزیکی و حالت‌های مختلف حرکتی سه نوع بذر در استوانه دوار برای پوشش‌دهی مناسب بذر

فردین رنجبر و محمدحسین کیانمهر\*\*

\* نگارنده مسئول: گروه فنی و مهندسی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. تلفن: ۰۲۱)۳۶۰۴۰۶۱۴،

پایم‌نگار: Kianmehr@ut.ac.ir

\*\* به ترتیب: دانشجوی دکتری و استاد گروه فنی مهندسی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۲۳

### چکیده

استفاده بهینه از دستگاه‌های پوشش‌دهنده دوار بذر مستلزم دانستن اطلاعاتی درباره خواص فیزیکی و چگونگی حرکت بذر در استوانه دوار است. یکی از مهمترین تنظیمات، تنظیم سرعت دورانی استوانه دوار است به گونه‌ای که بذرها داخل استوانه حرکت غلتان داشته باشند. برای به دست آوردن این اطلاعات، از روش جدیدی استفاده می‌شود که بر اساس حرکت دانه‌ها در استوانه‌ای دوار که کمتر از پنجاه درصد پر شده باشد، استوار است. دلیل انتخاب این بذرها شکل و ضریب کرویت متفاوت آنهاست. زاویه‌های استقرار پایین و بالا برای هر سه نوع بذر، با استفاده از استوانه دوار اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد سرعت استوانه به تدریج از صفر تا صد دور در دقیقه افزایش داده شد و سرعت شروع و خاتمه حرکت در حالت غلتان برای هر بذر به دقت مشخص گردید. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که شکل بذر تاثیر زیادی بر چگونگی حرکت آن در استوانه دوار دارد. در پرشدگی ۲۵ درصد، بذر کروی شکل ماشک، بازترین دامنه حرکت غلتان را دارد و تقریباً از سرعت یک تا ۶۵ دور در دقیقه دارای حرکت غلتان است در حالی که این دامنه برای بذر گوجه‌فرنگی از ۸ دور در دقیقه شروع می‌شود و در حدود ۴۰ دور در دقیقه خاتمه می‌یابد. همچنین دامنه حرکت غلتان برای بذر گندم از ۶ دور در دقیقه شروع می‌شود و در سرعت ۴۹ دور در دقیقه پایان می‌یابد. این تحقیق در پی تعیین میزان بهینه سرعت دوران استوانه برای پوشش‌دهی نیست و صرفاً در جستجوی ارتباط خواص فیزیکی بذر با رفتار حرکتی آن در استوانه دوار است.

### واژه‌های کلیدی

استوانه دوار، بذر، حالت‌های حرکت، زاویه استقرار

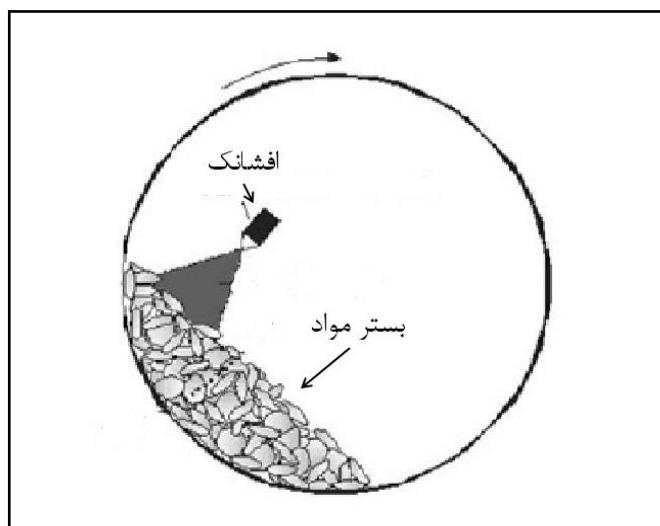
### مقدمه

کمی به طرف بالا حرکت می‌کند و سپس دانه‌ها به طرف پایین می‌غلتنند. در این حالت اگر بذر تحت پاشش دوغابی از مواد مناسب قرار گیرد، لایه‌ای نازک دور آن تشکیل می‌شود (McGinity & Felton, 2008). همزمان با پاشش دوغاب، خشک کردن لایه پوششی با استفاده از جریان هوا با دمای مناسب انجام می‌شود تا از چسبیدن دانه‌ها به یکدیگر جلوگیری شود. با ادامه یافتن این فرایند لایه تشکیل شده پیرامون بذر رفته رفته ضخیم‌تر می‌شود. ضخامت لایه پوشش در اطراف بذر یکنواخت نیست

یکی از روش‌های جدید برای ارتقای کیفیت بذر، پوشش‌دار کردن آن با مواد مختلف شامل طیف گسترده‌ای از مواد بی اثر، کودهای ماکرو و میکرو، حشره‌کش، قارچ‌کش و مواد سوپر جاذب است. روش‌های مختلفی برای پوشش‌دار کردن بذر به کار گرفته می‌شود که متداول‌ترین آنها استفاده از دستگاه پوشش‌دهنده دوار است (شکل ۱). این دستگاه در واقع استوانه‌ای است که با سرعت مناسب دوران می‌کند. با دوران استوانه، بستر بذرها

رفتار حرکتی مواد دانه‌ای در استوانه‌های دوار موثرند. از جمله این عوامل می‌توان سرعت دورانی، قطر و ضریب پرتابی استوانه را نام برد. از ویژگی‌های بذر که در این ارتباط موثرند می‌توان به شکل، اندازه و اصطکاک بذر اشاره کرد (Mellmann, 2001). بنابراین مطالعه رفتار انواع بذر در استوانه دوار در سرعت‌های دورانی متفاوت و همچنین مطالعه ارتباط خواص فیزیکی بذر با این رفتار، برای طراحی دستگاه پوشش‌دهنده دوار ضروری است.

از این رو معمولاً به جای بیان ضخامت لایه پوشش از نسبت جرم ماده پوشش‌دهنده به جرم بذر استفاده می‌شود (Vanangamudi & Natarajan, 2006). اگر جرم لایه پوشش دهنده نسبت به جرم بذر اندک باشد (حداکثر ۱۰ درصد) و شکل بذر دچار تغییر نشود به آن پوشش نازک<sup>۱</sup> می‌گویند، ولی اگر جرم ماده پوشش‌دهنده زیادتر از حالت قبل باشد و شکل بذر بر اثر این پوشش تغییر کند به آن پلت‌کردن<sup>۲</sup> می‌گویند. عوامل و فاکتورهای زیادی بر



شکل ۱- تصویر شماتیک دستگاه پوشش‌دهنده بذر (Pandy et al., 2006)

کرویست بستگی دارد. مثلاً، با کاهش ضریب کرویست و افزایش ضریب اصطکاک لغزشی و غلتشی، زاویه استقرار افزایش می‌یابد (Lee & Burkalow, 1945; Herrmann, 1993; Zhou et al., 1999). زاویه استقرار مواد دانه‌ای با روش‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. ساده‌ترین روش اندازه‌گیری زاویه استقرار این است که دانه‌ها با یک قیف ثابت<sup>۳</sup> از ارتفاع معین بر سطحی افقی ریخته شوند (شکل ۲a). با اندازه‌گیری زاویه‌ای که سطح توده مواد با افق می‌سازد زاویه استقرار به دست می‌آید (Fraczek et al., 2007; Kingsly et al., 2006; Sessiz

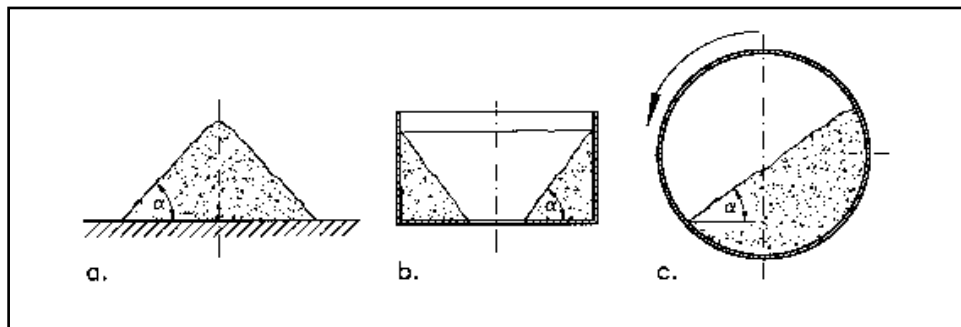
زاویه استقرار یکی از مهمترین خواص فیزیکی مواد دانه‌ای است که شاخص خوبی برای جریان‌پذیری مواد غیر متراکم نیز هست. (Fraczek et al., 2007). زاویه استقرار زاویه‌ای است که سطح یک ماده غیر متراکم توده‌ای با سطح افق می‌سازد (Kingsly et al., 2006). اهمیت زاویه استقرار در طراحی دستگاه‌های پوشش‌دهنده بذر موجب شده است که در سال‌های اخیر تحقیقات فراوانی درباره تاثیر زاویه استقرار بر چگونگی حرکت و رفتار مواد دانه‌ای انجام‌گیرد. زاویه استقرار به خواص لغزشی و غلتشی، چگالی و خصوصیات ظاهری دانه‌ها مانند اندازه و ضریب

بررسی خواص فیزیکی و حالت‌های مختلف حرکتی سه نوع بذر...

زاویه استقرار با روش جعبه تخلیه<sup>۱</sup>، جعبه‌ای که دیواره زیرین آن قابل باز شدن است، نیز اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۲b). محاسبات لازم برای تعیین زاویه استقرار در این روش نیز شبیه روش کیف ثابت است. (Jain & Bal, 1997; Karababa, 2006; Singh & Goswami, 1996)

(et al., 2006) برای محاسبه زاویه استقرار،  $\varphi_d$ ، از رابطه (۱) استفاده می‌شود. در این رابطه،  $H$  ارتفاع و  $D_h$  قطر توده است (Koocheki, 2007).

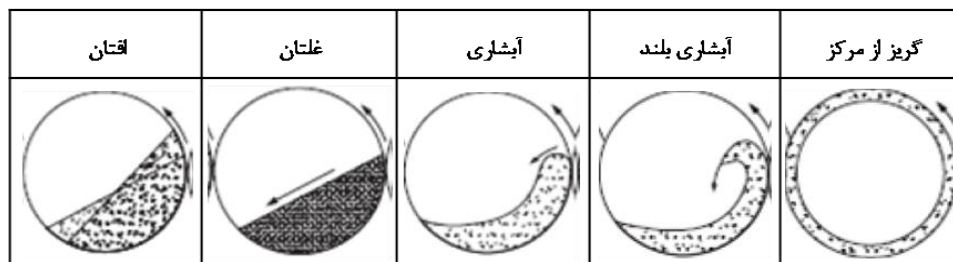
$$\varphi_d = \tan^{-1} \left( \frac{2H}{D_h} \right) \quad (1)$$



شکل ۲- روش‌های مختلف اندازه‌گیری زاویه استقرار

زیاد می‌شود تا به مقدار ماکزیمم خود برسد. پس از آن در یک لحظه مقداری از مواد ریزش می‌کند و موجب می‌شود زاویه استقرار کاهش یابد (شکل ۴). به زاویه استقرار حداکثر، قبل از ریزش، زاویه استقرار بالا<sup>۵</sup> ( $\beta$ ) و به حداقل زاویه استقرار، پس از خاتمه ریزش زاویه استقرار پایین<sup>۶</sup> ( $\alpha$ ) گفته می‌شود. این نوع رفتار مواد در حالت افتان<sup>۷</sup> اتفاق می‌افتد. محدوده سرعت دورانی که حالت افتان ایجاد می‌کند برای بذرهای مختلف متفاوت است اما بیشتر محصولات کشاورزی در محدوده ۱ تا ۳ دور در دقیقه در حالت افتان هستند. (Liu et al., 2005).

استفاده از استوانه دوار برای اندازه‌گیری زاویه استقرار، روش سوم است (شکل ۲c). در این روش، با توجه به سرعت دورانی استوانه<sup>۲</sup>، قطر استوانه<sup>۳</sup>، میزان پرشدگی<sup>۴</sup>، خواص فیزیکی دانه‌ها و میزان اصطکاک دیواره استوانه با مواد دانه‌ای، رژیم‌های حرکتی مختلفی مشاهده می‌شود (Mellmann, 2001; Khazaei et al., 2010). حالت‌های مختلف حرکت دانه‌ها در این روش در شکل (۳) آمده است. با شروع حرکت استوانه با سرعت دورانی بسیار کم، دانه‌ها ابتدا به صورت یکپارچه و بدون حرکت نسبت به یکدیگر به طرف بالای استوانه می‌روند و زاویه به تدریج



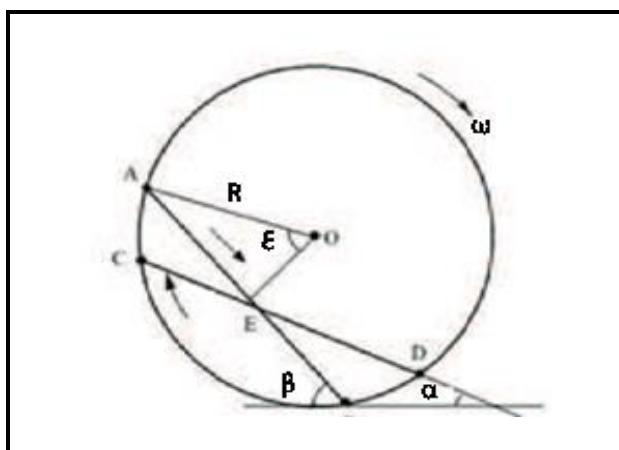
شکل ۳- حالت‌های حرکتی مواد دانه‌ای در استوانه دوار

1- Emptying method  
3- Drum diameter  
5- Upper repose angle  
7- Slumping

2- Drum rotary speed  
4- Filling degree  
6- Lower repose angle

اختلاط دانه‌ها می‌شود. بردار سرعت حرکت دانه‌ها در لایه فعال در شکل (۵) نشان داده شده‌است. در ماشین‌های پوشش دهنده که مواد پوششی با استفاده از اسپری روی دانه‌ها پاشیده می‌شود، حرکت و ضخامت لایه فعال برای ایجاد پوشش یک‌دست و همچنین خشک‌شدن یکنواخت دانه‌های پوشش داده شده اهمیت فراوان دارد.

با افزایش سرعت دورانی نوع دیگری از رفتار مواد در استوانه اتفاق می‌افتد که به حالت غلتان معروف است. در این حالت، حرکت مواد به گونه‌ای است که زاویه استقرار تقریباً ثابت می‌ماند و بستر مواد به دو لایه فعال و غیر فعال تقسیم می‌شود. دانه‌ها در ناحیه فعال با سرعت‌های مختلف به طرف پایین حرکت می‌کنند که این امر باعث

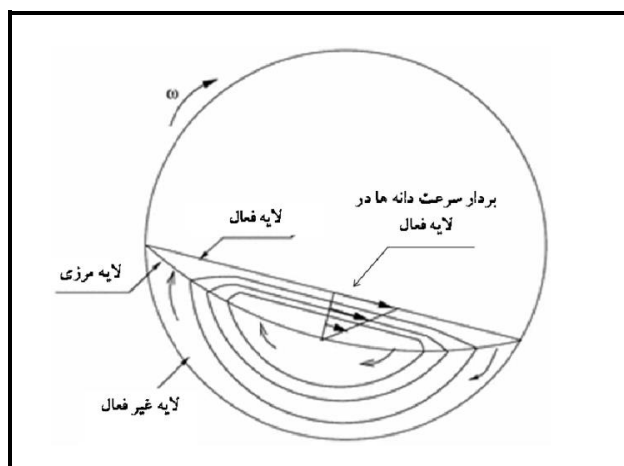


شکل ۴- حرکت مواد در حالت افتان در استوانه دوار (Mellmann, 2001)

$$DynamicAR = \theta = \frac{\alpha + \beta}{2} \quad (2)$$

که در آن،  
 $\theta$  = زاویه استقرار مواد در حالت غلتان و  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب زاویه استقرار پایین و بالا در حالت افتان هستند. (شکل ۴)

لیو و همکاران (Liu et al., 2005a) نشان دادند که زاویه استقرار در حالت غلتان مساوی زاویه استقرار دینامیکی است. آنها همچنین نشان دادند که زاویه استقرار دینامیکی مساوی با میانگین دو زاویه استقرار بالا و پایین در حالت افتان است.



شکل ۵- حرکت مواد در حالت غلتان در استوانه دوار

پیش‌تاز به عنوان بذری با شکل دراز و بذر ماشک رقم داسکاریپا به عنوان بذری با شکل تقریباً گرد استفاده شد. ناخالصی‌ها و بذرهاى شکسته با دست جدا شدند. آزمایش‌ها با استفاده از طرح کرت‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی شامل طول، عرض و ضخامت بذر تعداد ۴۰ بذر انتخاب و طول، عرض و ضخامت آنها با کولیس دیجیتال مدل "Mitutoyo-500" با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. با استفاده از اعداد به دست آمده کرویت، قطر میانگین هندسی، سطح رویه دانه و حجم تک‌دانه محاسبه گردید. برای محاسبه کرویت بذر از معادله (۳) استفاده شد. که در آن L طول، W عرض و T ضخامت بذر است (Mohsenin, 1986).

$$\varphi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (3)$$

برای محاسبه وزن هزار دانه، صد دانه بذر به طور تصادفی انتخاب شد و وزن آنها با ترازوی دیجیتال مدل "Kern 572" با دقت ۰/۰۰۱ گرم به دست آمد (شکل ۷). این عدد در ۱۰ ضرب گردید تا وزن هزار دانه به دست آید. برای اندازه‌گیری جرم حجمی ظاهری، ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب بذر با استوانه مدرج جدا و وزن شد و سپس جرم حجمی ظاهری محاسبه گردید. برای محاسبه جرم حجمی واقعی، ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب تولوئن در شیشه مدرج ریخته شد. با ریختن بذر به مقدار لازم در داخل تولوئن، حجم کل (حجم بذر و تولوئن) به ۲۰۰ سانتی‌متر مکعب رسید. با اندازه‌گیری افزایش وزن بذر و دانستن حجم واقعی بذر (۱۰۰ سانتی‌متر مکعب)، جرم حجمی واقعی محاسبه شد (Kingsly et al., 2006).

برای اندازه‌گیری زاویه استقرار به روش قیف ثابت، بذرها از ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری با یک قیف روی سطح افقی ریخته شد و پس از آن با عکس‌برداری و

با افزایش سرعت دورانی حالت آبخاری و با افزایش بیشتر سرعت حالت مرکز گریز (شکل ۳) ایجاد می‌شود که کاربرد چندانی در عمل ندارند و مورد بحث نیستند (liu et al., 2005b). ضریب پرشدگی ( $f$ ) عبارت است از نسبت مساحت اشغال شده با مواد به کل مساحت سطح مقطع استوانه (Mellmann, 2001).

برای ایجاد پوشش مناسب در اطراف بذر، سرعت دوران دستگاه پوشش دهنده باید به گونه‌ای تنظیم شود که بذرها در حالت حرکتی غلتان باشند. تعیین دامنه‌ای که این حالت را ایجاد کند و همچنین تعیین ارتباط خواص فیزیکی و زاویه‌های استقرار بذر با این دامنه اهمیت خاصی دارد و هدف اصلی این تحقیق است. برای رسیدن به این هدف ابتدا خواص فیزیکی سه نوع بذر ماشک، گندم و گوجه‌فرنگی با شکل‌های هندسی کاملاً متفاوت، به عنوان نماینده‌ای از کل بذرهاى مورد استفاده در کشاورزی، بررسی گردید. در مرحله بعد زاویه‌های استقرار آنها با استفاده از روشهای قیف ثابت، جعبه تخلیه و استوانه دوار اندازه‌گیری و مقایسه شدند. در مرحله سوم زاویه استقرار پایین و بالای بذرهاى مختلف با استفاده از استوانه دوار اندازه‌گیری و اثر شکل بذر، درجه پرشدگی و سرعت دورانی استوانه بر آنها بررسی شد. در مرحله چهارم دامنه سرعت دورانی شروع و خاتمه حالت غلتان برای هر سه نوع بذر تعیین گردید.

## مواد و روش‌ها

بذرهاى مورد استفاده در کشاورزی از نظر شکل بسیار متنوع‌اند اما می‌توان آنها را در چند گروه کلی دسته‌بندی کرد: بذرهاى گرد مانند بذر ماشک، بذرهاى دوکی مانند بذر گندم و بذرهاى پهن مانند بذر گوجه‌فرنگی (Mohsenin, 1986). بنابراین سه نوع بذر به نمایندگی از کل بذرها انتخاب گردید. گوجه‌فرنگی رقم فلات کارون به عنوان بذری با شکل پهن و کم‌ضخامت، بذر گندم رقم

از یک جعبه به ابعاد  $20 \times 15 \times 20$  استفاده شد (شکل ۶). برای این کار، ابتدا جعبه تا ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر از بذر پر شد. سپس دریچه یکباره باز گردید تا بذرها به بیرون بریزند.

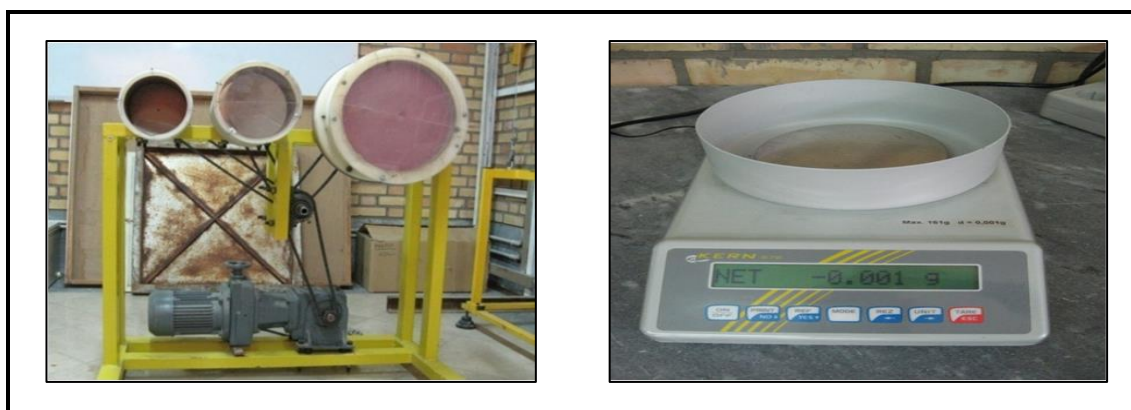
انتقال عکس‌ها به محیط نرم‌افزار سالی‌دورک ۲۰۱۵ و انطباق خط بر سطح آزاد توده دانه‌ها، زاویه استقرار محاسبه شد (Fraczek *et al.*, 2007). برای اندازه‌گیری زاویه استقرار به روش جعبه تخلیه



شکل ۶- روش‌های اندازه‌گیری زاویه استقرار

داخل استوانه و فیلمبرداری از آن‌ها، تلق شفاف به عنوان دیواره جلو استوانه‌ها کار گذاشته شد (شکل ۸). برای عکسبرداری از دوربین دیجیتال "Sony HDR-PJ 820" با سرعت عکسبرداری ۵۰ فریم در ثانیه و دقت موثر ۶/۱ مگاپیکسل استفاده شد. برای افزایش ضریب اصطکاک دیواره استوانه سطح داخلی آن با کاغذ سمباده P۱۰۰ پوشانده شد. برای تنظیم و تغییر سرعت دورانی استوانه‌ها از جعبه‌دنده مکانیکی و اینورتر به طور همزمان استفاده شد.

سپس به همان روش قبل، با عکسبرداری و انتقال به محیط نرم‌افزار سالی‌دورک ۲۰۱۵، زاویه استقرار بذرها اندازه‌گیری شد. کلیه آزمایش‌ها در قالب کرت‌های کاملا تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای اندازه‌گیری زاویه‌های استقرار پایین، بالا و دینامیکی در استوانه دوار، از دستگاه موجود در آزمایشگاه گروه مهندسی فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران استفاده شد که استوانه‌ای به قطر داخلی ۲۰۰ میلی‌متر دارد (شکل ۷). با توجه به لزوم مشاهده اتفاقات



شکل ۷- دستگاه‌های مورد استفاده برای اجرای آزمایش‌ها



شکل ۸- حالت‌های مختلف حرکتی بذر گوجه‌فرنگی در استوانه دوار

### نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری خواص فیزیکی بذرهای مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آمده است. صفت کرویت بذر بیشترین تاثیر را بر ضریب استقرار دارد. با مقایسه داده‌های جدول ۳ با ضریب کرویت که در جدول ۱ آمده است، مشاهده می‌شود که بذر ماشک با بیشترین ضریب کرویت، کمترین زاویه استقرار و بذر گوجه‌فرنگی با کمترین کرویت، بیشترین زاویه استقرار را دارد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده برای زاویه استقرار دینامیکی با استفاده از روشهای مختلف در جدول (۲) آمده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌گردد که اثر روشهای مختلف اندازه‌گیری برای بذرهای گوجه‌فرنگی و گندم در سطح احتمال ۵ درصد و برای بذر ماشک در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است. مقایسه میانگین زاویه‌های استقرار دینامیکی به دست آمده با آزمون دانکن (جدول ۳) نشان می‌دهد که روش استوانه دوار در همه تیمارها بیشترین زاویه استقرار دینامیکی را نشان داده است. با این همه در مورد بذر گوجه‌فرنگی و گندم، زاویه دینامیکی اندازه‌گیری شده با روش‌های استوانه دوار و جعبه تخلیه با هم‌دیگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارند و در یک گروه قرار گرفته‌اند. بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، برای برآورد زاویه استقرار دینامیکی در استوانه دوار، که روشی مشکل و نیازمند به امکانات مربوط است، می‌توان از روش جعبه تخلیه استفاده کرد که روش

برای اندازه‌گیری زاویه‌های استقرار با استوانه دوار، آزمایش‌هایی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش‌ها، فاکتور a، نوع بذر در سه سطح بذر گوجه‌فرنگی، بذر گندم و بذر ماشک، فاکتور b، سرعت دوران استوانه در سه سطح ۱، ۲ و ۳ دور در دقیقه و فاکتور c، درجه پرشدگی استوانه در ۴ سطح ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد در نظر گرفته شد. زاویه‌های استقرار بالا و پایین با استفاده از عکس و فیلم گرفته شده اندازه‌گیری شد. علت انتخاب سرعت دورانی ۱ تا ۳ دور در دقیقه این است که در این سرعت‌ها، بذر در حالت حرکتی افتان هستند. زاویه استقرار دینامیک با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری زاویه استقرار دینامیکی در حالت غلتان با استفاده از استوانه دوار، لازم بود سرعتی در نظر گرفته شود که هر سه نوع بذر در حالت حرکتی غلتان باشند، بنابراین اندازه‌گیری با پرشدگی‌های مختلف در سرعت دوران ۱۵ دور در دقیقه انجام شد که همه بذر در حالت غلتان بودند. (Khazaei & Ganbari, 2010). با افزایش تدریجی سرعت دوران استوانه، از صفر تا صد دور در دقیقه، تغییرات ایجاد شده در حالت حرکتی دانه‌ها به دقت بررسی شد و با توجه به نوع دانه و میزان پرشدگی استوانه، آستانه شروع و خاتمه هر حالت حرکتی بررسی گردید. از نتایج این قسمت برای برآورد دامنه سرعت دورانی استوانه برای تشکیل پوشش مناسب و یکنواخت در هنگام پوشش‌دهی استفاده می‌شود.

ساده‌تری است. در همه موارد، کمترین میزان زاویه استقرار دینامیکی با روش قیف ثابت اندازه‌گیری شده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی بذرهای مختلف

پارامتر	بذر گوجه‌فرنگی		بذر گندم		بذر ماشک	
	انحراف میانگین	انحراف معیار	انحراف میانگین	انحراف معیار	انحراف میانگین	انحراف معیار
طول (میلی‌متر)	۳/۲۳	۰/۲۷	۶/۸۱	۰/۴۰	۴/۵۵	۰/۳۸
عرض (میلی‌متر)	۲/۳۹	۰/۲۹	۳/۳۹	۰/۲۹	۳/۸۲	۰/۲۱
ضخامت (میلی‌متر)	۰/۷۷	۰/۰۶	۲/۷۶	۰/۲۴	۳/۶۹	۰/۱۹
قطر میانگین معادل (میلی‌متر)	۱/۸۰	۰/۱۲	۳/۹۹	۰/۲۳	۴/۰۰	۰/۱۸
وزن هزار دانه (گرم)	۲/۷۰	۰/۱۲	۴۵/۹۴	۱/۳۴	۳۸/۳۱	۰/۵۱
جرم حجمی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۶۱۵	۱۸/۸۱	۷۷۶/۲	۰/۰۲	۷۷۳/۵	۱۱/۹۹
جرم حجمی واقعی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱۰۸۴	۳۵/۶۴	۱۲۷۴/۳	۰/۰۳	۱۳۷۳/۵	۱۳/۹۷
سطح بذر (میلی‌متر مربع)	۸/۷۴	۱/۱۷	۴۲/۱۸	۴/۶۲	۴۵/۹۰	۴/۰۷
حجم بذر (میلی‌متر مکعب)	۱/۹۹	۰/۴۲	۲۱/۵۰	۳/۷۹	۲۸/۸۲	۳/۹۴
کرویت	۰/۵۵	۰/۰۳	۰/۵۹	۰/۰۲	۰/۸۸	۰/۰۸
تخلخل (درصد)	۴۲/۳	۲/۸۵	۳۹/۱۰	۱/۵۹	۴۳/۶۸	۱/۲۰

جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر روشهای اندازه‌گیری مختلف بر زاویه استقرار دینامیکی

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات خطا		
		بذر گوجه‌فرنگی	بذر گندم	بذر ماشک
تکرار	۳	۰/۰۶۸	۰/۷۸	۰/۷۰
روش اندازه‌گیری	۲	۳/۱۸۳*	۲۴/۶۲*	۱۶/۴۱**
خطا	۶	۰/۳۷	۱/۱۴	۰/۷۷
ضریب تغییرات		۱/۶ درصد	۳/۴ درصد	۲/۹ درصد

\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، \* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین زاویه استقرار دینامیکی به دست آمده با روش‌های مختلف با آزمون چند دامنه‌ای دانکن

روش اندازه‌گیری	زاویه استقرار دینامیکی		
	بذر گوجه‌فرنگی	بذر گندم	بذر ماشک
استوانه دوار	۳۸/۹ a	۳۳/۵ a	۳۱/۷ A
روش تخلیه	۳۸/۴ ab	۳۲/۳ a	۳۱/۳ B
قیف ثابت	۳۷/۲ b	۲۹/۸ b	۲۸/۴ C

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت آماری معنی‌دار ندارد.



زلو و همکاران (Zhou *et al.*, 1999) و لی و هرمان (Lee & Herrmann, 1993) همخوانی دارد. در جدول ۴ مشاهده می‌شود که در محدوده سرعت‌های مورد آزمایش با افزایش سرعت دورانی استوانه، زاویه‌های استقرار پایین، بالا و دینامیک روند افزایشی داشته‌اند. این نتیجه، با نتایج گزارش شده از لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2005a) همخوانی دارد. همچنین، مشاهده می‌گردد که در محدوده پرشدگی‌های مورد آزمایش، با افزایش پرشدگی استوانه، زاویه‌های استقرار پایین، بالا و دینامیک روند افزایشی دارند و این روند افزایشی در همه زاویه‌های استقرار در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی‌دار دارد. این نتیجه‌گیری با نتایج گزارش شده از تحقیقات هنین (Henein, 1980) همخوانی دارد. نتیجه تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است.

نتایج اندازه‌گیری زاویه استقرار پایین، بالا و دینامیکی در استوانه دوار با بذرهای مختلف، سرعت دورانی مختلف و درصد پرشدگی مختلف در جدول (۴) آمده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌گردد که بیشترین و کمترین زاویه استقرار پایین را به ترتیب بذر گوجه فرنگی و بذر ماشک دارد. همین روند برای زاویه استقرار بالا و زاویه استقرار دینامیکی نیز دقیقاً تکرار می‌شود. با مقایسه جدول‌های ۱ و ۴، همان‌طور که پیشتر نیز اشاره گردید، مشاهده می‌شود که شکل بذر یا به عبارت علمی‌تر پارامتر کرویت بذر تاثیر زیادی بر اندازه زاویه‌های استقرار دارد. به دین معنا که کرویت کم نشان‌دهنده زاویه‌های استقرار زیاد و کرویت زیاد نشان‌دهنده زاویه‌های استقرار کم است. نتایج به دست آمده در این تحقیق با نتایج تحقیقات

جدول ۴- زاویه استقرار بالا، پایین و دینامیکی بذرهای محصولات کشاورزی در استوانه دوار

پارامتر	زاویه استقرار	
	پایین	بالا
نوع بذر		
بذر گوجه‌فرنگی	۳۸/۲۰	۴۳/۹۰
بذر گندم	۳۱/۹۸	۳۵/۷۱
بذر ماشک	۳۱/۴۳	۳۲/۶۳
سرعت استوانه		
یک دور در دقیقه	۳۳/۱۱	۳۷/۱۲
دو دور در دقیقه	۳۳/۵۸	۳۷/۲۴
سه دور در دقیقه	۳۳/۹۴	۳۷/۷۰
پر شدگی		
۲۵ درصد	۳۲/۸۱	۳۷/۰۰
۳۰ درصد	۳۳/۳۹	۳۷/۳۸
۳۵ درصد	۳۴/۰۲	۳۷/۷۱
۴۰ درصد	۳۴/۱۷	۳۷/۸۵

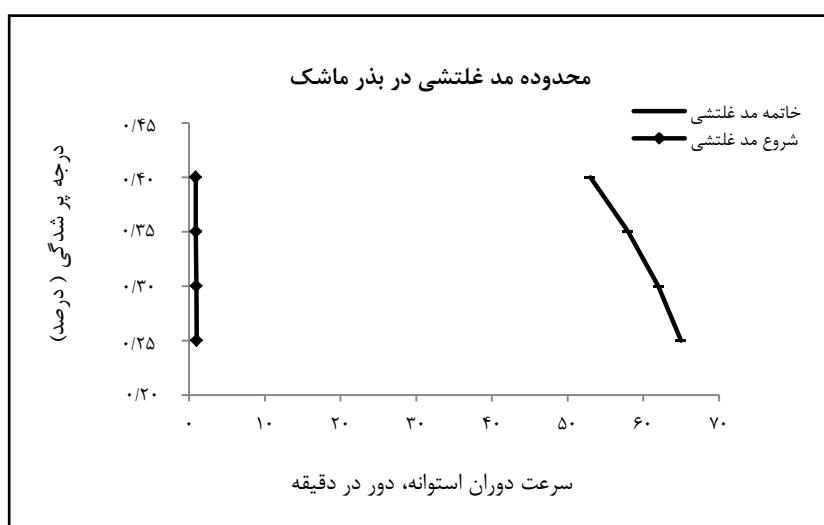
جدول ۵- تجزیه واریانس داده‌های تیمارها و اثر متقابل آنها

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات اشتباه		دینامیک
		زاویه استقرار	بالا	
رفتار	۳۷	۳۴/۴۰**	۶۷/۹۷	۴۷/۸۴
تکرار	۲	۰/۸۱ <sup>ns</sup>	۰/۹۶ <sup>ns</sup>	۰/۲۸ <sup>ns</sup>
نوع بذر	۲	۵۹۱/۲۲**	۱۲۲۹/۲۶**	۸۵۹/۴۶**
سرعت استوانه (دور در دقیقه)	۲	۶/۲۴**	۲/۱۵**	۰/۶۵**
پرشدهگی (درصد)	۳	۸/۵۸**	۲/۷۲**	۵/۲۳**
نوع بذر × سرعت استوانه	۴	۲/۰۳**	۳/۵۶**	۰/۳۸ <sup>ns</sup>
نوع بذر × پرشدهگی	۶	۰/۴۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۳ <sup>ns</sup>
پرشدهگی × سرعت استوانه	۶	۵/۹۵**	۴/۴۵**	۴/۹۳**
اشتباه	۷۰	۰/۴۵	۰/۳۷	۰/۲۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱/۳	۱	۰/۷

\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، \* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns عدم اختلاف معنی‌دار

سرعت به ۶۵ دور در دقیقه خاتمه یافته است. هر چند با افزایش درجه پرشدهگی، سرعت شروع حالت غلتان به مقدار کمی کاهش یافته است اما اثر افزایش پرشدهگی بر سرعت خاتمه حالت غلتان بیشتر است. برای مثال در پرشدهگی ۴۰ درصد، حالت غلتان در سرعت ۵۳ دور در دقیقه خاتمه یافته است.

نتایج به دست آمده برای سرعت دورانی شروع و خاتمه حالت غلتان، با توجه به نوع بذر و درجه پرشدهگی در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ آمده است. در شکل ۹ دامنه سرعت شروع و خاتمه حالت غلتان برای بذر ماشک تعیین شده است. حالت غلتان برای پرشدهگی ۲۵ درصد با رسیدن سرعت به یک دور در دقیقه آغاز و با رسیدن

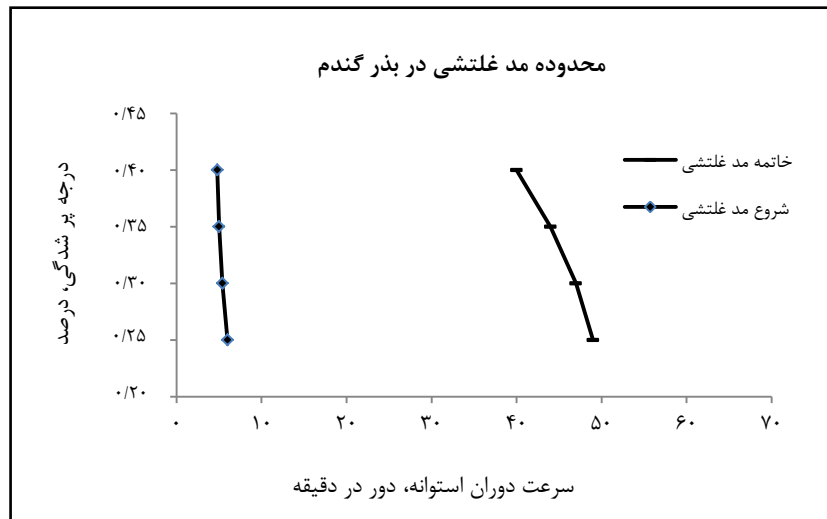


شکل ۹- اثر درجه پرشدهگی بر شروع و خاتمه حالت غلتان برای بذر ماشک

بررسی خواص فیزیکی و حالت‌های مختلف حرکتی سه نوع بذر...

حالت غلتان کاهش یافته است. در مورد بذر گندم نیز اثر افزایش پرشدگی بر سرعت خاتمه حرکت غلتان بیشتر است. برای مثال در پرشدگی ۴۰ درصد حرکت غلتان از سرعت ۴/۸ شروع و در سرعت ۴۰ دور در دقیقه خاتمه یافته است.

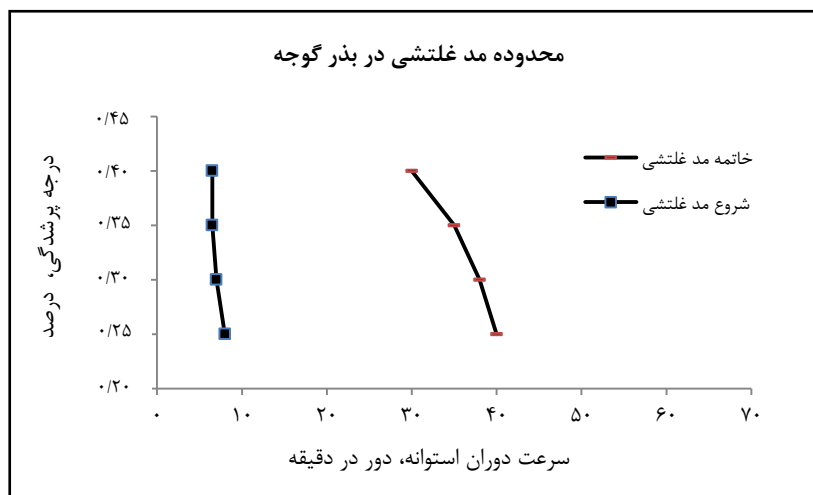
در شکل ۱۰ دامنه سرعت شروع و خاتمه حالت غلتان برای بذر گندم تعیین شده است. حالت غلتان برای پرشدگی ۲۵ درصد با رسیدن سرعت به ۶ دور در دقیقه آغاز و با رسیدن سرعت به ۴۹ دور در دقیقه خاتمه یافته است. با افزایش درجه پرشدگی، سرعت شروع و خاتمه



شکل ۱۰- اثر درجه پرشدگی بر شروع و خاتمه حالت غلتان برای بذر گندم

شروع و خاتمه حالت غلتان کاهش یافته است. اثر افزایش پرشدگی بر سرعت خاتمه حالت غلتان بیشتر است. برای مثال در پرشدگی ۴۰ درصد حرکت غلتان از سرعت ۶/۵ شروع و در سرعت ۳۰ دور در دقیقه خاتمه یافته است.

در شکل ۱۱ دامنه سرعت شروع و خاتمه حالت غلتان برای بذر گوجه‌فرنگی تعیین شده است. حالت غلتان برای پرشدگی ۲۵ درصد با رسیدن سرعت به ۸ دور در دقیقه آغاز و با رسیدن سرعت به ۴۰ دور در دقیقه خاتمه یافته است. با افزایش درجه پرشدگی، سرعت



شکل ۱۱- اثر درجه پرشدگی بر شروع و خاتمه حالت غلتان برای بذر گوجه‌فرنگی

- با مقایسه شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود که هرچه ضریب کروییت بذر بیشتر باشد، دامنه سرعتی که موجب حرکت با حالت غلتان شده بازتر شده است. به طور مثال، در شکل ۹ برای بذر ماشک با ضریب کروییت ۸۸ درصد این دامنه از ۱ تا ۶۵ دور در دقیقه است ولی همین دامنه برای بذر گوجه‌فرنگی با توجه به شکل ۱۱ از ۸ تا ۴۰ دور در دقیقه و برای بذر گندم با توجه به شکل ۱۰ از ۶ دور تا ۴۹ دور است. تعیین این دامنه برای انواع بذرها با پرشدگی مختلف برای تنظیم دستگاه پوشش‌دهنده بذر اهمیت فراوان دارد و هدف اصلی این تحقیق بوده است.
- نتایج و پیشنهادها**
- در بین سه روش اندازه‌گیری زاویه استقرار بذر، روش استوانه دوار بیشترین و روش قیف ثابت کمترین زاویه استقرار را نشان می‌دهد.
- با توجه به اینکه زاویه استقرار دینامیکی تعیین شده با استوانه دوار و روش جعبه تخلیه در یک گروه قرار دارند، برای برآورد زاویه استقرار دینامیکی بذرها در استوانه دوار می‌توان از روش جعبه تخلیه که روش آسانتری است استفاده کرد.
- رفتار حرکتی بذرها در استوانه دوار به شدت تحت تاثیر شکل و ضریب کروییت آنهاست. به طوری که با افزایش ضریب کروییت، حرکت در حالت غلتان زودتر شروع می‌شود و دیرتر خاتمه می‌یابد.
- با کاهش ضریب کروییت بذر، تنظیم سرعت دوران دستگاه پوشش‌دهنده دوار اهمیت و حساسیت بیشتری پیدا می‌کند زیرا دامنه سرعت دوران مناسب محدودتر می‌شود.

## مراجع

- Burkalow, A. 1945. Angle of repose and angle of sliding friction: an experimental study. Bull. Geol. Soc. Am. 56, 6-7.
- Fraczek, J., Zlobecki, A., and Zemanek, J. 2007. Assessment of angle of repose of granular plant material using computer image analysis. Food Eng. 83,17-22.
- Henein, H. 1980. Bed behavior in rotary cylinders with applications to rotary kilns. Ph. D Dissertation, University of British 66ariety66. Vancouver.
- Jain, R.K., Bal, S. 1997. Properties of pearl millet. J. Agric. Eng. Res. 66, 85-91.
- Karababa, E. 2006. Physical properties of popcorn kernels. J. Food Eng. 72, 100-107.
- Khazaei, J. and Ganbari, S. 2010. New method for simultaneously measuring the angles of repose and frictional properties of wheat grains. Int. Agroph. 24, 275-286.
- Kingsly, A.R.P., Singh, D.B., Manikatan, M.R., and Jain, R.K. 2006. Moisture dependent physical properties of dried 66ariety66ate seeds. J. Food Eng. 75, 492-496.
- Koocheki, A., Razavi, S.M.A., Milani, E., Moghadam, T.M., Abedini, M., Alamatyian, S., and Izadkhah, S. 2007. Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and 66ariety. Int. Agroph. 21, 349-359.
- Lee, J. and Herrmann, H.J. 1993. Angle of repose and angle of marginal stability: molecular dynamics of granular particales. J. Physics. 26, 373.
- Liu, X.Y. 2005. Impact of cohesion forces on particle mixing and segregation. Ph.D Dissertation. University of Pittsburgh. PA. USA.

- Liu, X.Y., Specht, E. and Mellmann, J. 2005a. Experimental study of the lower and upper angles of repose of granular materials in rotating drums. *Powder Technol.* 154, 125-131.
- Liu, X.Y., Specht, E. and Mellmann, J. 2005b. Slumping-rolling transition of granular solids in rotary kilns. *Chem. Eng. Scientist.* 60, 3629-3636.
- McGinity, J. W. and Felton, L.A. 2008. *Aqueous polymeric coatings for pharmaceutical dosage forms. Third Edition.* 67-75.
- Mellmann, J. 2001. The transverse motion of solids in rotating cylinders forms of motion and transition behavior. *Powder Technol.* 118, 251-270.
- Mohsenin, N.N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials.* Gordon and Breach. Amsterdam.
- Pandy, P., Turton, R., Joshi, N., Hammerman, E. and Ergun, J. 2006. Scaleup of a pan coating process. *AAPS pharmscitech.* 7(4). Article 102.
- Sessiz, A. Esgici, R., and Kizil, S. 2006. Moisture-dependent physical properties of caper fruit. *J. Food Eng.* 75, 492-496.
- Singh, K.K. and Goswami, T.K. 1996. Physical properties of cumin seed. *J. Agric. Eng. Res.* 64, 93-98.
- Vanangamudi, K. and Natrajan, K. 2006. *Advances in Seed Science and Technology.* 123-131.
- Zhou, Y.C., Wright, B.D., Yang, R.Y., Xu, B.H. and Yu, A.B. 1999. Rolling friction in the dynamic simulation of sandpile formation. *J. Physica.* 269, 536-553.

## **Investigation of Physical Properties and Different Motion Behaviors of Three Seed Types in a Rotating Drum**

**F. Ranjbar, M. H. Kianmehr\***

\* Corresponding Author: Professor, Department of Agro-Technology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: Kianmehr@ut.ac.ir

Received: 16 November 2015, Accepted: 12 June 2016

The optimal use of rotary seed coater needs the knowledge of the physical properties and the behavior of seed motion in rotary drum. One of the most important parameters in such equipments is the rotational speed of the drum which causes the rolling action of seeds. In this research a new method was used for measuring these properties which was based on the motion of seeds in a less than 50% filled rotating drum. Firstly the angle of repose of three types of seed (vetch, wheat and tomato seed) with different shape was measured with different methods and the values obtained were compared. Then, the lower and upper angle of repose were also measured by rotary drum. At the final step, the rotational speed of the drum were gradually increased from 0 to 100 rpm. The speed of the drum which caused the seeds rolling motion to start and end was also measured. The results showed that the shape of the seeds had a great impact on the type of motion in the rotating drum and it was obtained that the vetch seeds had the widest speed range with rolling mode of motion (from 1 to 65 rpm). However, this range for tomato seeds is from 8 to 40 rpm and for wheat seeds from 6 to 49 rpm. Finally the increase of filling degree of drum from 25% to 40%, resulted the rolling mode of motion for all of seeds began and end sooner.

**Key words:** Angle of repose, Mode of motion, Rotary drum, Seed.