



مطالعه و مدل‌سازی ضریب اصطکاک استاتیکی دانه گیاه دارویی بزرک (کتان)

سید مجتبی شفاعی^۱، آرش نورمحمدی مقدمی^{۱*} و سید مهدی نصیری^۲

او ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

کد پستی: ۶۵۱۸۶-۷۱۴۴۱

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: a.nourmohamadi@shirazu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق، ضریب اصطکاک استاتیکی بذر گیاه دارویی بزرک اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها در پنج سطح محتوای رطوبتی دانه‌ها و صفحات اصطکاکی شیشه، آلومینیوم، چوب، فولاد گالوانیزه و لاستیک انجام شد. از مدل خطی یک متغیره برای مدل‌سازی ضریب اصطکاک استاتیکی دانه‌های بزرک بر پایه محتوای رطوبتی بر صفحات اصطکاکی استفاده گردید. به منظور بررسی تاثیر محتوای رطوبت و نوع سطح تماس، از طرح آماری فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در نرم افزار SPSS 21 بهره گرفته شد. آزمون مقایسه میانگین‌های توکی نتایج نشان داد که سطح اصطکاکی و محتوای رطوبت رفتار متفاوتی در ضرایب بدست آمده نشان داده‌اند. همچنین بر اساس تحلیل واریانس داده‌های آزمایشی، تاثیر محتوای رطوبت و جنس سطح تماس بر ضریب اصطکاک استاتیکی دانه بزرک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ($P < 0.01$). با افزایش محتوای رطوبت، ضریب اصطکاک استاتیکی بزرک به صورت تقریباً خطی افزایش یافت. بیشترین و کمترین ضریب اصطکاکی استاتیکی بذر گیاه دارویی بزرک به ترتیب در محتوای رطوبت ۲۹/۷ بر پایه وزن خشک بر لاستیک و در محتوای رطوبت ۸/۸ بر پایه وزن خشک روی شیشه اندازه‌گیری شد.

واژه‌های کلیدی: گیاهان دارویی، محتوای رطوبت، سطح تماس، آزمون توکی.

مقدمه

محصولات کشاورزی (غلات، بذرها، میوه‌ها، سبزی‌ها و غیره) در طی مراحل برداشت، حمل و نقل، فرآوری و ذخیره‌سازی بر سطح اجزای ماشین آلات و محل ذخیره‌سازی، نیروهای اصطکاکی اعمال می‌کنند. دانستن مقدار این نیروهای اصطکاکی در طراحی تجهیزات و فرآیندها حائز اهمیت است. بدیهی است میزان این نیروی اصطکاکی بر مقدار توان لازم برای حمل و نقل مواد تاثیر می‌گذارد (Mohsenin, 1986).

در تحقیقی خصوصیات فیزیکی دانه سیب آکه (*Blighia sapida*) مورد بررسی قرار گرفت. مقدار ضریب اصطکاک استاتیکی ۰/۳۸۳ روی سطح پلی وود، ۰/۳۸ روی سطح استیل گالوانیزه و ۰/۴۵۳ روی سطح استیل گزارش



شد (Omobuwajo et al., 2000).

در تحقیقی دیگر مقادیر ضریب اصطکاک استاتیکی، برای صفحه چوبی سخت، فولاد گالوانیزه، فولاد نرم و لاستیک به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۶، ۰/۴۳ و ۰/۴۵ برای ماشک مجارستانی و ۰/۳۲، ۰/۳۴، ۰/۳۹، ۰/۴۵ و ۰/۴۸ برای ماشک معمولی گزارش گردید (Taser et al., 2005).

در یک بررسی دیگر خواص مهندسی و فیزیکی بذر گیاه مرتعی آفریکانا (*Prosopis Africana*) اندازه‌گیری شد. ضریب اصطکاک استاتیکی روی سه سطح پلی وود، استیل و ورق گالوانیزه به ترتیب ۰/۳۲، ۰/۳۰ و ۰/۲۳ گزارش گردید (Akaaimo and Raji, 2006).

اثر رطوبت نیز روی ضریب اصطکاک استاتیکی دو رقم دانه خربزه روی سه سطح شیشه، آهن گالوانیزه و تخته چندلا مورد مطالعه قرار گرفت (Tunde-Akintunde et al., 2007). محققین گزارش کردند که با افزایش محتوای رطوبت ضریب اصطکاک استاتیکی کاهش می‌یابد.

در پژوهشی ضریب اصطکاک استاتیک دانه‌های گیاه جاتروفا (روغن آن به عنوان منبع انرژی است و کاربرد صنعتی دارد) اندازه‌گیری گردید. این اندازه‌گیری‌ها بر روی سه سطح پلی وود، آلومینیوم و استیل انجام گرفت. گزارش‌ها حاکی از این بود که ضریب اصطکاک استاتیکی به طور خطی در برابر جنس سطوح در بازه محتوای رطوبتی ۴/۷۵ تا ۱۹/۵۷ درصد افزایش می‌یابد. مقادیر اندازه‌گیری شده این ضریب عبارت بودند از: پلی وود ۴۴/۱۲، استیل ۶۴/۱۵ و آلومینیوم ۶۸/۶۳ درصد (Garnayak et al., 2008).

دانه بزرک با نام علمی *Linum usitatissimum* و نام انگلیسی flax (کتان لیفی) و یا linseed (کتان روغنی)، گیاهی یک ساله از خانواده کتان می‌باشد (Tadesse et al., 2009). طول دوره رشد گیاه بزرک در مناطق مناسب در کشت بهاره ۹۰ تا ۱۵۰ روز و در کشت پاییزه تا ۲۵۰ روز می‌رسد. به طور کلی بزرک گیاه روز بلند است و هر گاه طول روز ۱۴ تا ۱۸ ساعت باشد گل دهی گیاه در مدت ۱۰ تا ۱۵ روز انجام و به اتمام می‌رسد (Bernath, 1993; Omidbaigi et al., 2001).

دانه بزرک بیشتر از هر دانه روغنی دیگر در تولید غذاهای فراسودمند مورد استفاده قرار می‌گیرد. دانه بزرک علاوه بر اینکه منبع خوب اسید چرب ضروری امگا ۳ می‌باشد، حاوی اسیدهای آمینه ضروری آرژنین، هیستیدین، گلوتامین سیستئین و متیونین (لیگنان) است که حاوی فیتواستروژن بوده و تولید استروژن گیاهی می‌کند و همچنین از بوکی استخوان در زنان یائسه جلوگیری می‌نماید (ترکیبات فنلی). این بذر خاصیت ضد سرطانی نیز (ترکیبات معدنی و ویتامین‌ها) دارد. از گذشته روغن دانه بزرک در مصارف صنعتی از جمله رنگ ساختمان، صنایع رنگرزی، تهیه روغن جلا، محافظ بتن، جوهر چاپ و لوازم آرایشی کاربرد داشته است، اما امروزه به دلیل میزان بالای اسید چرب ضروری امگا ۳ مورد توجه قرار گرفته و در فرمولاسیون مواد غذایی به کار می‌رود (Hassan-Zadeh et al., 2008).

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که تحقیقات انجام گرفته در زمینه اصطکاک حبوبات، غلات، میوه‌ها، سبزیجات و سایر محصولات کشاورزی در حد قابل قبولی صورت گرفته است. اما اطلاعات کافی درباره خواص اصطکاک



محصولات معطر و دارویی ارائه نگردیده است. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر مطالعه و مدل‌سازی ضریب اصطکاک استاتیکی دانه گیاه دارویی بزرک (کتان) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

انجام آزمایش‌ها

تهیه بزرک

بذر بزرک از مرکز تحقیقات کشاورزی استان فارس، واحد گیاهان دارویی و معطر تهیه شد. پس از تمیز نمودن دانه‌ها از هر گونه مواد اضافی مانند خاک، سنگ و دانه‌های له شده، دانه‌ها کاملاً تمیز و آماده انجام آزمایش‌ها شدند.

تعیین رطوبت اولیه نمونه‌ها

برای تعیین رطوبت اولیه دانه‌های بزرک مطابق با روش وزن‌کشی، نمونه‌های آزمایشی درون آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و تغییرات حداکثر دمای ۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد (AOAC, 1990). پس از توزین متوالی نمونه‌ها در زمان‌های مشخص، آزمایش‌ها پس از تغییرات وزن کمتر از ۱ درصد متوقف و رطوبت اولیه نمونه‌ها بر پایه خشک تعیین گردید. به منظور کاهش خطا، آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گردید. رطوبت اولیه دانه‌های بزرک کمتر از ۲ درصد بر پایه وزن خشک اندازه‌گیری شد.

آماده‌سازی نمونه‌ها

از پنج سطح رطوبتی برای ارزیابی اثر محتوای رطوبت بذر بر ضریب اصطکاک استاتیکی استفاده شد. به منظور دستیابی به رطوبت‌های مطلوب، با استفاده از رابطه (۱)، از آب مقطر استفاده گردید (Kalkan and Kara, 2011). نمونه‌ها به همراه آب مقطر اضافه شده، در کیسه‌های پلاستیکی (زیپ کیپ) در یخچال با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ روز جهت توزیع یکنواخت رطوبت، نگهداری شدند (Kashaninejad et al., 2008).

$$W_w = W_t (M_f - M_i) / (100 - M_f) \quad (1)$$

W_w مقدار آب مقطر اضافه شده، W_t مجموع جرم دانه‌ها، M_i رطوبت اولیه دانه‌ها و M_f رطوبت نهایی مجموع دانه‌ها می‌باشد. دو ساعت قبل از هر آزمایش، نمونه‌های مربوطه در هوای محیط قرار داده شدند (Kashaninejad et al., 2006).

آزمایش‌های اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی

غلافی مکعبی به ضلع ۲ سانتی‌متر تهیه و نمونه آزمایشی درون آن ریخته می‌شد، به طوری که غلاف، نمونه را احاطه کرده و هیچ‌گونه تماسی با صفحه اصطکاکی نداشته باشد. آزمایش‌ها با سطوح اصطکاکی شیشه، آلومینیوم، چوب، فولاد گالوانیزه و لاستیک در ۵ سطح محتوای رطوبتی و در ۵ تکرار با استفاده از دستگاه سطح شیبدار، برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک محصولات کشاورزی، انجام شدند.



تحلیل آماری ضرایب بدست آمده

به منظور بررسی اثر جنس صفحه اصطکاکی و محتوای رطوبت بر ضریب اصطکاک استاتیکی نمونه‌ها از طرح آزمایش‌های چند عاملی (فاکتوریل) بر پایه طرح کاملاً تصادفی و آزمون توکی برای مقایسه میانگین‌ها در نرم افزار SPSS 21 استفاده گردید.

مدل‌سازی ضریب اصطکاک استاتیکی

از رگرسیون یک متغیره برای ضریب اصطکاک استاتیکی بر اساس معادله (۲) استفاده گردید. روابط رگرسیونی ضرایب اصطکاک استاتیکی بذور آزمایشی بر هر سطح تماس در مقابل تغییرات سطوح محتوای رطوبت بزرگ به همراه ضریب تبیین (R^2) بر اساس رابطه (۳)، ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) بر اساس رابطه (۴) برای هر سطح اصطکاکی معین گردیدند. همچنین پارامتر ($P\%$) نیز بر اساس رابطه (۵) استخراج گردید.

$$SFC = a(MC) + b \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (SFC_{exp,i} - SFC_{exp,ave})^2 - \sum_{i=1}^N (SFC_{exp,i} - SFC_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (SFC_{exp,i} - SFC_{exp,ave})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SFC_{pre,i} - SFC_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{SFC_{exp,i} - SFC_{pre,i}}{SFC_{exp,i}} \right| \quad (5)$$

در روابط (۲) تا (۵)، SFC ضریب اصطکاک استاتیکی، MC محتوای رطوبت، $SFC_{exp,i}$ ضریب اصطکاک استاتیکی اندازه‌گیری شده، $SFC_{exp,ave}$ متوسط ضریب اصطکاک استاتیکی اندازه‌گیری شده، $SFC_{pre,i}$ ضریب اصطکاک مدل‌شده و N تعداد داده‌های آزمایشی می‌باشد.

نتایج و بحث

مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب اصطکاک استاتیکی

متوسط ضرایب استاتیکی اندازه‌گیری شده به همراه انحراف معیار آزمایش‌ها با پنج تکرار در جدول (۱) برای بزرگ در محتوای رطوبت‌های مختلف و سطوح اصطکاکی متفاوت ارائه شده است.

محدوده تغییرات ضریب اصطکاک استاتیکی بزرگ از ۰/۴۰۲ تا ۰/۸۶۱ مشاهده گردید. بیشترین و کمترین ضریب اصطکاک استاتیکی به ترتیب در محتوای رطوبت ۲۹/۷ بر پایه وزن خشک بر لاستیک و در محتوای رطوبت



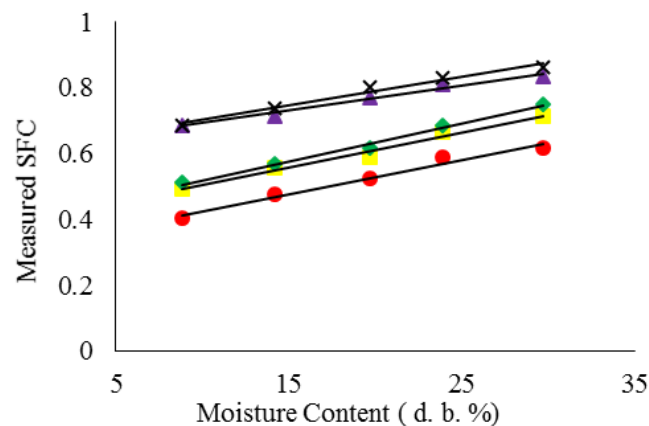
۸/۸ بر پایه وزن خشک روی شیشه اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- ضریب اصطکاک استاتیکی اندازه‌گیری شده بزرگ

سطح اصطکاکی					محتوای رطوبت (d. b. %)
لاستیک	فولاد گالوانیزه	چوب	آلومینیوم	شیشه	
۰/۶۸۷±۰/۰۰۵۷	۰/۶۸۶±۰/۰۰۵۹	۰/۵۱۲±۰/۰۰۳۸	۰/۴۹۲±۰/۰۰۶۳	۰/۴۰۲±۰/۰۰۸۴	۸/۸
۰/۷۳۹±۰/۰۰۵۸	۰/۷۱۵±۰/۰۰۷۳	۰/۵۶۸±۰/۰۰۳۹	۰/۵۵۶±۰/۰۰۵۴	۰/۴۷۶±۰/۰۰۸۵	۱۴/۲
۰/۸۰۳±۰/۰۰۹۴	۰/۷۷۱±۰/۰۱۰۷	۰/۶۱۷±۰/۰۰۸۳	۰/۵۹۰±۰/۰۰۳۹	۰/۵۲۲±۰/۰۰۳۳	۱۹/۷
۰/۸۳۰±۰/۰۰۴۳	۰/۸۱۰±۰/۰۰۶۶	۰/۶۸۵±۰/۰۰۶۵	۰/۶۶۶±۰/۰۰۵۳	۰/۵۸۵±۰/۰۰۵۲	۲۳/۹
۰/۸۶۱±۰/۰۰۷۱	۰/۸۳۵±۰/۰۰۵۲	۰/۷۵۰±۰/۰۰۶۵	۰/۷۱۳±۰/۰۰۷۹	۰/۶۱۸±۰/۰۰۴۳	۲۹/۷

اثر محتوای رطوبت بر ضریب اصطکاک استاتیکی بزرگ

در شکل (۱) تغییرات ضریب اصطکاک استاتیکی بر اساس تغییرات محتوای رطوبت برای دانه بزرگ بر صفحه‌های اصطکاکی مختلف نشان داده شده است. مشاهده‌ها حاکی از افزایش خطی ضریب اصطکاک استاتیکی تحت تاثیر افزایش محتوای رطوبت بذر می‌باشد. این روند به دلیل افزایش نیروی چسبندگی بین بذر و سطح اصطکاکی ناشی از افزایش محتوای رطوبت بذر می‌باشد. این نتایج مطابق با نتایج بدست آمده در مطالعه‌های گذشته روی سایر بذور کشاورزی می‌باشد (Sacilik *et al.*, 2003; Kingsly *et al.*, 2006; Altuntas and Yildiz, 2007; Cetin, 2007; Sanchez-*Mendoza et al.*, 2008).



شکل ۱- تاثیر محتوای رطوبت بر ضریب اصطکاک استاتیکی دانه بزرگ بر سطوح مختلف اصطکاکی، شیشه، آلومینیوم، چوب، فولاد گالوانیزه و لاستیک.

تحلیل آماری

نتایج تحلیل داده‌ها بر اساس طرح آزمایشی چند عاملی (فاکتوریل) بر پایه کاملاً تصادفی و آزمون توکی برای مقایسه میانگین‌ها در نرم افزار SPSS 21 برای ضرایب اصطکاک استاتیکی بدست آمده در آزمایش‌ها در جدول (۲) برای تحلیل واریانس و مقایسه میانگین توکی در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج تجزیه



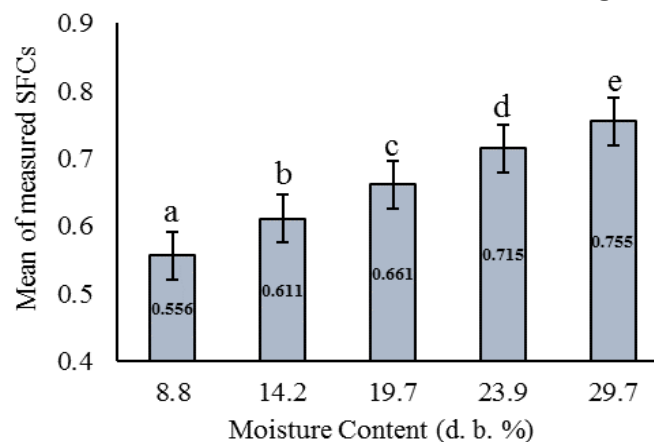
واریانس، اثرات اصلی و متقابل محتوای رطوبت و نوع سطح تماسی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. نمودارهای میله‌ای، مقایسه میانگین نتایج عوامل اصلی (محتوای رطوبت و صفحه اصطکاکی) را نشان می‌دهد.

نتایج مقایسه میانگین‌های سطح تماس نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین ضریب اصطکاک استاتیکی بذور آزمایشی به ترتیب با سطح شیشه و لاستیک بوده است. شیشه به خاطر سطح صاف و صیقلی باعث اعمال نیروی چسبندگی بسیار کم به دانه می‌گردد. تاثیر معنی‌دار رطوبت و جنس سطح تماس در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد بر ضریب اصطکاک استاتیکی سایر محصولات کشاورزی در پژوهش‌های پیشین گزارش گردیده است (Vale et al., 2010; Golmohammadi and Sabouri, 2014).

جدول ۲- نتایج تحلیل واریانس ضریب اصطکاک استاتیکی دانه بزرگ

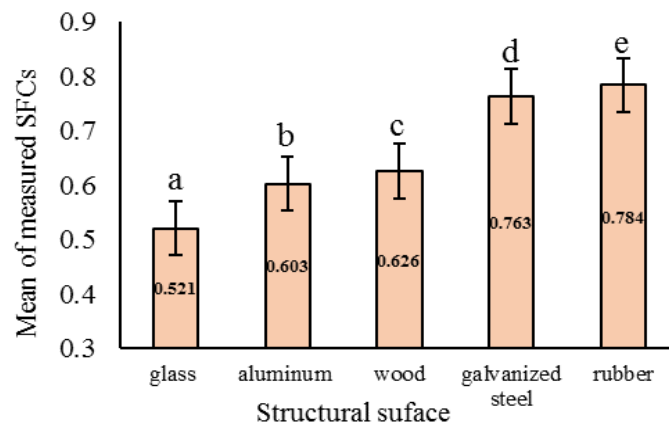
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F
محتوای رطوبت	۴	۰/۶۳۷	۰/۱۵۹	۳۰۱۶/۱۴۲**
صفحه اصطکاکی	۴	۱/۲۴۴	۰/۳۱۱	۵۸۹۴/۴۷۲**
محتوای رطوبت × صفحه اصطکاکی	۱۶	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱	۲۴/۷۲۶**
خطا	۱۰۰	۰/۰۰۵	۰	
مجموع	۱۲۴	۱/۹۰۷		

** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد





شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر محتوای رطوبت بر ضریب اصطکاک استاتیکی دانه بزرک



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر جنس سطح تماس بر ضریب اصطکاک استاتیکی دانه بزرک

ارزیابی مدل‌سازی ضریب اصطکاک استاتیکی

ضرایب مدل خطی برازش شده بر داده‌ها (a و b) به همراه ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و قدر مطلق درصد میانگین نسبی انحراف با صفحه اصطکاکی مورد نظر بر اساس شکل (۱) در جدول (۳) گزارش گردیده‌اند. به علت یک متغیره بودن مدل‌سازی خطی ضریب اصطکاک استاتیکی بر پایه محتوای رطوبت، در مجموع ۵ معادله استخراج گردید. اگرچه در بعضی موارد مدل خطی دارای دقت پیش‌بینی کافی ($R^2 > 0.9$) بوده است اما در سایر موارد مقدار قدر مطلق درصد میانگین نسبی انحراف بیش از ۵ درصد بوده که حاکی از خطای معنی‌دار مدل‌سازی می‌باشد ($P > 0.05$). بیشترین و کمترین ضریب تبیین ۰/۹۶۸ و ۰/۸۷۴ به ترتیب مربوط به سطح تماس لاستیک و فولاد گالوانیزه مشاهده گردید.

جدول ۳- ضرایب مدل خطی به همراه پارامترهای آماری مدل‌سازی ضریب اصطکاک استاتیکی بزرک

صفحه اصطکاکی	a	b	R^2	RMSE	P (%)
شیشه	۰/۰۱۰۴۷	۰/۳۱۹	۰/۹۱۶	۰/۰۳۳۴۵	۴/۸۱۳
آلومینیوم	۰/۰۰۱۰۷	۰/۳۹۶	۰/۹۲۶	۰/۰۶۳۴۹	۹/۶۶۱
چوب	۰/۰۱۱۵۱	۰/۴۰۵	۰/۹۱۹	۰/۰۲۹۷۰	۳/۹۳۸
فولاد گالوانیزه	۰/۰۰۷۶۰	۰/۶۱۷	۰/۸۷۴	۰/۱۱۰۰۸	۶/۹۱۰
لاستیک	۰/۰۰۸۵۴	۰/۶۱۹	۰/۹۶۸	۰/۰۱۲۶۷	۱/۰۹۰

نتیجه‌گیری

۱. بیشترین و کمترین ضریب اصطکاکی استاتیکی بذر گیاه دارویی بزرک به ترتیب در محتوای رطوبت ۲۹/۷ بر پایه وزن خشک بر لاستیک و در محتوای رطوبت ۸/۸ بر پایه وزن خشک روی شیشه اندازه‌گیری شد.
۲. با افزایش محتوای رطوبت دانه‌های بزرک، ضریب اصطکاک استاتیکی به صورت خطی افزایش یافت.



۳. تاثیر محتوای رطوبتی و نوع صفحه اصطکاکی بر ضریب اصطکاک استاتیکی دانه‌های بزرگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین معنی‌دار بودن اثر متقابل محتوای رطوبت و نوع صفحه اصطکاکی آزمایشی بر ضریب اصطکاک استاتیکی دانه بزرگ در سطح احتمال یک درصد مشاهده گردید.
۴. مدل خطی یک متغیره با دقت نسبتاً خوبی قادر به مدل‌سازی ضریب اصطکاک استاتیکی دانه‌های بزرگ بر سطوح اصطکاکی شیشه، آلومینیوم، چوب، فولاد گالوانیزه و لاستیک در پنج سطح محتوای رطوبتی بود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از مدیریت امور علمی دانشجویان دانشگاه شیراز به منظور تامین هزینه‌های این طرح پژوهشی به شماره ۹۳-۱۳ و دکتر محمد اقتصاد، استاد بخش طراحی جامدات دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز، به عنوان ناظر طرح، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع و مأخذ

- 1- Akaaimo, D. I. and Raji, A. O. 2006. Some physical and engineering properties of *Prosopis africana* seed. *Biosystems Engineering*, 95(2): 197-205.
- 2- Altuntas, E. and Yildiz, M. 2007. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. *Journal of Food Engineering*, 78(1): 174-183
- 3- AOAC.1990. Official methods of analysis of the AOAC (15th edition.). Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- 4- Bernath, J. 1993. Wild Growing and Cultivated Medicinal Plants (In Hungarian). Mezo. Publication, Budapest.
- 5- Cetin, M. 2007. Physical properties of barbunia bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Barbunia') seed. *Journal of Food Engineering*, 80(1): 353-358.
- 6- Garnayak, D. K., Pradhan, R. C., Naik, S. N. and Bhatnagar, N. 2008. Moisture-dependent physical properties of jatropha seed (*Jatropha curcas* L.). *Industrial Crops and Products*, 27(1): 123-129.
- 7- Golmohammadi, A. and Sabouri, P. 2014. The effect of moisture content on the properties of gravity and frictional of three varieties pistachio (in Farsi). *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 11(2): 59-66.
- 8- Hassan-Zadeh A, Sahari, M. A. and Barzegar, M. 2008. Optimization of the ω -3 extraction as a functional food from flaxseed. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 59(6): 526-534.
- 9- Kalkan, F. and Kara, M. 2011. Handling, frictional and technological properties of wheat as affected by moisture content and cultivar. *Powder Technology*, 213(1-3): 116-122.
- 10- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A. and Tabil, L. G. 2006. Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72(1): 30-38.
- 11- Kashaninejad, M., Ahmadi, M., Daraei, A. and Chabra, D. 2008. Handling and frictional characteristics of soybean as a function of moisture content and variety. *Powder Technology*, 188(1): 1-8.



- 12- Kingsly, A. R. P., Singh, D. B., Manikantan, M. R. and Jain, R. K. 2006. Moisture dependent physical properties of dried pomegranate seeds (*Anardana*). Journal of Food Engineering, 75(4): 492-496.
- 13- Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publisher, New York.
- 14- Omobuwajo, T. O., Sanni, L. A. and Olajide, J. O. 2000. Physical properties of ackee apple (*Blighia sapida*) seeds. Journal of Food Engineering, 45(1): 43-48.
- 15- Omidbaigi, R., Tabatabaie, S. M. F. and Akbari, T. 2001. Effects of N-fertilizers and irrigation on the productivity (growth, seed yield, and active substances) of linseed (in Farsi). Iranian Journal of Agricultural Science, 32(1): 53-64.
- 16- Sacilik, K., Ozturk, R. and Keskin, R. 2003. Some physical properties of hemp seed. Biosystems Engineering, 86(2): 191-198.
- 17- Sanchez-Mendoza, J., Dominguez-Lopez, A., Navarro-Galindo, S. and Lopez-Sandoval, J. A. 2008. Some physical properties of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds as a function of moisture content. Journal of Food Engineering, 87 (3): 391-397.
- 18- Tadesse, T., Singh, H. and Weyessa, B. 2009. Correlation and path coefficient analysis among seed yield traits and oil content in Ethiopian linseed germplasm. International Journal of Sustainable Crop Production, 4(4): 8-16.
- 19- Taser, O. F., Altuntas, E. and Ozgoz, E. 2005. Physical properties of hungarian and common vetch seeds. Journal of Applied Sciences, 5(2): 323-326.
- 20- Tunde-Akintunde, T. Y., Akintunde, B. O. and Oyelade, O. J. 2007. Effect of moisture content on terminal velocity, compressive force and frictional properties of melon seeds. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript FP 07 022. Vol IX.
- 21- Vale Ghozhdi, H., Hassan Beygi Bidgoli, S. R., Saeidi rad, M. H. and Kianmehr, M. H. 2010. Determining coefficient of friction and terminal velocity of saffron flower and its components (in Farsi). Iranian Journal of Food Science and Technology, 7(2): 123-131.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Studying and modeling of static friction coefficient of medicine linseed grain (*Linum usitatissimum*)

Abstract

In this study, static friction coefficient of medicine linseed grain was measured. Different types of friction surfaces (glass, rubber, galvanized steel, wood and aluminum) were chosen for test at five different moisture content of seeds. One-variable linear regression model was used for modeling the static friction coefficient of medicine linseed grain using moisture content and contact surface. In order to detect the effect of moisture content and structural surface on static friction coefficient of linseed grain, factorial randomly test was applied using SPSS 21 software. Based on the results of Tukey mean test, the moisture content and contact surface had different behaviors. Also, according to analysis variance of experimental obtained data, the moisture content and contact surface significantly affected the static friction coefficient of linseed grain ($P < 0.01$). The static friction coefficient of linseed grain was increased approximate linearly regards to increment of moisture content. Maximum and minimum value of the static friction coefficient of linseed grain were obtained for rubber and moisture content of 29.7 and 8.8 based on dry basis weight for glass, respectively.

Keywords: Medicine plants, Moisture content, Contact surface, Tukey test.