مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۰/ شماره ۳/سال ۱۳۸۸/ص ۱۲-۱

تعیین زاویهٔ استقرار و ضریب اصطکاک داخلی دانه در چند رقم متداول گندم

عزت‌اله عسکری اصلی اردە* و محمدرضا روزگار**

* نگارنده مسئول، نشانی: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، ص. پ. ۱۷۹، تلفن: ۵۵۱۲۰۸۱(۰۴۵۱)، پیام‌نگار: Ezzataskari@yahoo.co.uk

** به‌ترتیب استادیار؛ و دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۷/۲۵

چکیده

خواص اصطکاکی دانه‌ها و به خصوص گندم نقش مهمی در تعیین مشخصات مخازن، مجاری انتقال، خشک‌کن‌ها، سیلوها و تجهیزاتی دارد که این دانه‌ها در آن جریان دارند. در این تحقیق به بررسی ضریب اصطکاک داخلی و زاویهٔ استقرار دانهٔ ۳ رقم متداول گندم (سرداری،گاسپارد، و سای سوتر) در ٤ سطح رطوبتی (۱۲، ۱۵، ۱۸، و ۲۱ درصد) پرداخته شد. برای اندازه گیری ضریب اصطکاک خارجی ارقام فوق در سطوح رطوبتی مذکور، از ٤ سطح تماس (ورق سیاه، روغنی، آلومینیم، و گالوانیزه) استفاده شد. آزمایش‌ها در ٥ تکرار اجرا شد و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش تجزیهٔ واریانس و برای مقایسهٔ اثر میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (با سطح احتمال ٥ درصد) استفاده شد. نتایج نشان داد که اثر رطوبت، رقم، و سطوح تماس بر زاویهٔ استقرار و اثر رطوبت و رقم بر ضریب اصطکاک داخلی دانه معنی‌دار (سطح احتمال ۱ درصد) است. با افزایش سطوح رطوبتی دانه، زاویهٔ استقرار دانه به‌طور معنی‌دار افزایش یافت و در مورد ضریب اصطکاک داخلی دانه نتایج مشابهی به‌دست آمد. اثر سطوح رطوبتی ۱۸ و ۲۱ درصد بر مقدار ضریب اصطکاک داخلی دانه معنی‌دار نبود. بیشترین میانگین ضریب اصطکاک داخلی به رقم سرداری (با اختلاف غیرمعنی‌دار با رقم سرداری) و کمترین آن به رقم سای‌سوتر اختصاص داشت. بیشترین میانگین زاویهٔ استقرار به رقم گاسپارد و کمترین آن به رقم سای‌سوتر (با اختلاف غیرمعنی‌دار با رقم سرداری) اختصاص داشت.

واژه‌های کلیدی

خواص فیزیکی، زاویهٔ استقرار، ضریب اصطکاک داخلی، گندم

مقدمه

غلات از مهمترین محصولات خوراکی در دنیا هستند؛ بین غلات، گندم اساسی‌ترین و مهمترین مادهٔ غذایی بشر امروزی به شمار می‌آید. دانه‌های خوراکی با دو روش می‌تواند افزیش یابد یکی بالا بردن تولید و دیگری کاهش تلفات و ضایعات پس از برداشت. بیشتر غلات پس از برداشت باید تبدیل شوند تا به شکل قابل مصرف درآیند و سپس در سیلوها ذخیره شوند. تجهیزات تبدیل و فرآوری و نیز تجهیزات مربوط به سیلوها باید بر اساس خواص فیزیکی دانه گندم طراحی شود تا از بازده مطلوبی برخوردار باشند (Sitkei, 1986). ضریب اصطکاک داخلی و زاویهٔ استقرار دو ویژگی دانهٔ گندم است که در عملکرد تجهیزات انتقال (نقاله‌های مارپیچی، تسمه نقاله‌ها، و غیره) و بخش تخلیه (مخازن بذرکارها، بذر افشان‌ها و سیلوها، و غیره) مؤثر است. همچنین، ضریب اصطکاک داخلی دانه عاملی است که در بازده تبدیل دانهٔ گندم (جدا کردن سبوس از هستهٔ دانه) اثر دارد. بنابراین تعیین دو عامل فوق برای ارقام متداول گندم در سطوح رطوبتی مختلف ضرورت خواهد داشت. ابتدا تعریف این دو عامل می‌پردازیم:

© 2011,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

هرگاه مقداری مشخص دانه روی سطحی شیب‌دار قرار داده شود و زاویه تمایل صفحه نسبت به سطح افق به تدریج زیاد شود، در زاویهٔ شیب خاصی تودهٔ دانه به سمت پایین حرکت می‌کند. این زاویه (α)، زاویهٔ استقرار[1] نامیده می‌شود. تانژانت این زاویه ($\tan\alpha$) معادل ضریب اصطکاک خارجی (دانه و سطح تماس) است. دانه‌ها ممکن است نسبت به یکدیگر حرکت داشته باشند. در این صورت کیفیت سطوح یا میزان زبری سطوح دانه‌ها بر میزان تماس آنها و در نتیجه حرکت آنها تأثیر می‌گذارد. این خاصیت فیزیکی دانه‌ها یا اجسام را ضریب اصطکاک داخلی[2] می‌نامند. ویژگی‌های محصول (رقم و رطوبت) بر هر دو عامل فوق تأثیر می‌گذارند (Mohsenin, 1986). برای تعیین این دو عامل و نیز عوامل مؤثر بر آنها در محصولات مختلف تحقیقات زیادی شده است که به چند مورد از آنها به‌طور خلاصه اشاره می‌شود:

شمسانگا و همکاران (Shemsanga *et al*., 1983)، برای بررسی ضریب اصطکاک داخلی و خارجی دانهٔ برنج و گندم روی سطوح بتونی، فولادی، چوبی، و پلاستیکی از دو استوانه یکی ثابت و دیگری متحرک استفاده کردند که در حالت سنجش ضریب اصطکاک داخلی، هر دو از دانه پر می‌شدند و روی همدیگر قرار می‌گرفتند. روی استوانهٔ رویی بار ثابت وارد می‌شد و یک لودسل و نیروی لازم برای شروع حرکت استوانه رویی را اندازه‌گیری و ثبت می‌کرد. با داشتن این نیرو و تقسیم آن بر نیروی عمودی وارد بر سطح تماس، ضریب اصطکاک در این حالت (داخلی) به دست می‌آمد. برای سنجش ضریب اصطکاک خارجی دانهٔ برنج، به‌جای استوانه پایینی، سطوح مختلف آزمایش می‌شد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک داخلی و خارجی با افزایش رطوبت افزایش می‌یابد. در بیشترین مقدار رطوبت، بیشترین ضریب اصطکاک داخلی مربوطه به شلتوک (۰/۷۷۵) و کمترین مقدار آن در برنج سفید (۰/۴۳۱) به دست آمده است. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بین دانه تبدیل یافته (سفید شده) و سطح فولادی و بتنی، در بیشترین سطح رطوبتی به دست آمده و مقدار آن به ترتیب ۰/۳۱۸ و ۰/۴۲۹۰ تعیین شده است. بیشترین مقدار این پارامتر در دانهٔ شلتوک در دو سطح تماس مذکور به‌ترتیب ۰/۲۶۲ در سطح رطوبتی ۱۱/۸ درصد و ۰/۵۰۱ در سطح رطوبتی ۲۳/۴ درصد به دست آمده است. استوارت (Stewart, 1968)، گزارش کرده است که ضریب اصطکاک داخلی دانه‌ها به کیفیت سطوح تماس بین دانه‌ها بستگی دارد. عامل رطوبت دانه نیز بر مقدار این پارامتر مؤثر است. نتایج تحقیقات زوئرب (Zoerb, 1972) در مورد اثر مقدار رطوبت دانهٔ گندم بر سطوح فولادی و چوب سخت[3] و پانل شیشه‌ای، نشان می‌دهد که افزایش رطوبت، باعث افزایش معنی‌دار ضرایب اصطکاک دانه می‌شود. لاوتون و مارچانت (Lawton & Marchant, 1980) گزارش کرده‌اند که ضریب اصطکاک گندم، جو، و جو دو سر در رطوبت بین ۱۰ تا ۱۵ درصد، ابتدا با شدت کمتر اما با افزایش رطوبت دانه از ۱۵ به ۲۲ درصد به سرعت افزایش می‌یابد و سرانجام با افزایش رطوبت از ۲۲ به ۳۰ درصد، افزایش ضریب اصطکاک تدریجی است. ورنامخستی و همکاران (Varnamkhasti *et al*., 2008) زاویهٔ اصطکاک خارجی دو رقم برنج (سرخه و سازندگی) را در یک سطح رطوبتی ۱۰ درصد با استفاده از سطح با شیب قابل تنظیم از جنس آهن گالوانیزه بررسی و میانگین آن را به‌ترتیب ۳۷/۶۶ و ۳۵/۸۳ درجه تعیین کردند. باریه (Baryeh, 2002) رابطهٔ بین رطوبت و زاویهٔ اصطکاک خارجی دانه ارزن را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که زاویهٔ استقرار از ۳۴/۵ تا ۴۸/۵ متغیر است و میانگین ضریب اصطکاک دانه در تماس با ورق گالوانیزه و فولاد نرم در دامنهٔ رطوبتی ۵ تا ۲۲/۵ درصد بر اساس وزن خشک[4] به‌ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۵۷ است. سوداجان و همکاران (Sudajan *et al*., 2001) در بررسی خواص فیزیکی دانه‌های آفتابگردان به این نتیجه

1- The Angle of Repose
2- The Internal Angle of Friction
3- Hardwood
4- Dry Base (d.b.)

رسیده‌اند که با افزایش رطوبت، ابتدا ضریب اصطکاک استاتیکی و زاویهٔ استقرار افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. براباکر و پوز (Brubaker & Pos, 1965) در بررسی تأثیر رطوبت دانهٔ جو و سطوح تماس بر ضریب اصطکاک استاتیکی دریافتند که در استفاده از ورق روغنی با افزایش رطوبت ابتدا عامل مذکور زیاد می‌شود و سپس کاهش پیدا می‌کند.

هدف کلی از این تحقیق عبارت است از:

۱- بررسی اثر رطوبت دانه، جنس سطوح تماس، و رقم دانه و اثر متقابل آنها بر زاویهٔ استقرار و ضریب اصطکاک داخلی دانه.

۲- تعیین بیشترین میانگین اثر رطوبت دانه، رقم، و سطوح تماس بر زاویهٔ استقرار و ضریب اصطکاک داخلی دانه.

۳- تعیین بیشترین و کمترین مقدار زاویهٔ استقرار و ضریب اصطکاک داخلی در ارقام مورد آزمایش.

مواد و روش‌ها

تأمین سطوح رطوبتی دانه در ارقام گندم مورد آزمایش

در آزمایش‌ها، از سه رقم گندم متداول (سای سوتر، سرداری، و گاسپارد) استفاده شد که عاری از مواد خارجی بودند. سطوح رطوبتی مورد آزمایش ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ درصد بر اساس وزن تر[1] بود. برای این منظور ابتدا رطوبت اولیه دانه‌ها با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج دیجیتالی تعیین و با توجه به فرمول‌های زیر، میزان آب مقطر مورد نیاز برای تأمین مقدار رطوبت دانه‌ها محاسبه و به آنها اضافه شد (Chakraverty & Singh, 2002).

رطوبت اولیه دانه‌ها ۱۲ درصد بر اساس وزن تر بوده است.

$$w_i\left(1-\frac{m_i}{100}\right)=w_f\left(1-\frac{m_f}{100}\right) \qquad (۱)$$

$$w_w = w_f - w_i \qquad (۲)$$

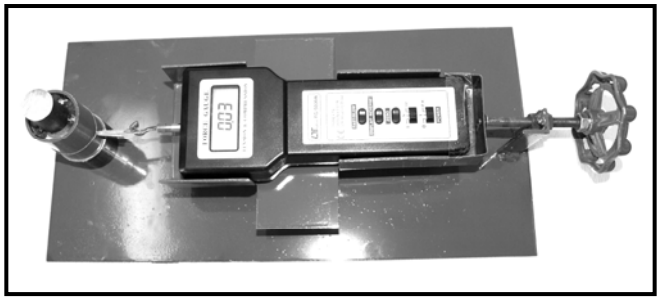
که در آن، w_i = وزن دانه با رطوبت اولیه؛ w_f = وزن دانه با رطوبت نهایی؛ w_w = وزن آب اضافه شده؛ m_i = درصد رطوبت اولیه بر مبنای تر؛ m_f = درصد رطوبت ثانویه بر مبنای تر؛ است.

سپس دانه‌ها، در کیسه‌های پلاستیکی به مدت حداقل یک هفته در یخچال در دمای ۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد تا به سطوح رطوبتی مطلوب برسند.

اندازه‌گیری ضریب اصطکاک داخلی

برای تعیین ضریب اصطکاک داخلی دانهٔ گندم از سلول برش شامل یک نیروسنج، نگهدارندهٔ نیروسنج، پایهٔ اصلی و دو استوانه به ارتفاع و قطر ۵۰ و ۳۵ میلی‌متر استفاده شد. نمونهٔ دانه مورد آزمایش به داخل دو استوانه ریخته می‌شد. استوانهٔ بالایی با نخ به قلاب نیروسنج مربوط بود و با چرخاندن فلکه به همراه نیروسنج حرکت می‌کرد. در ابتدای حرکت استوانه رویی، نیروی برشی از روی صفحه نشان دهنده نیروسنج خوانده و ثبت می‌شد (شکل ۱). این اندازه‌گیری ۵ بار تکرار شد.

1- Wet Base (w.b.)



شکل ۱- سلول برش برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک داخلی دانه

در ابتدای حرکت استوانه رویی، نیروی برشی نشان داده شده توسط نیروسنج معادل نیروی اصطکاک بین دانه‌هاست. برای ایجاد تعادل، روی دانه‌های موجود در استوانهٔ رویی یک وزنه قرار داده شد و با استفاده از فرمول زیر ضریب اصطکاک بین دانه‌ها (μ) محاسبه گردید (Mohsenin, 1986):

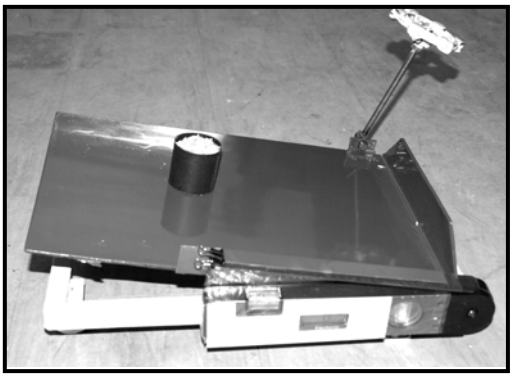
$$\mu = F / N \qquad (۳)$$

که در آن، F= نیروی برشی حداکثر که نیروسنج در زمان لغزش استوانه بالایی بر استوانه پایینی نشان می‌داد (نیوتون)؛ N = نیروی عمودی که برابر است با مجموع وزن دانهٔ موجود در استوانه رویی، وزن استوانهٔ رویی، و وزنه (نیوتون).

تعداد سطوح رطوبتی (۴)، تعداد ارقام مورد آزمایش (۳)، تعداد تکرار هر آزمایش (۵)، و در نتیجه تعداد کل آزمایش‌ها ۶۰ بوده است.

اندازه‌گیری زاویهٔ استقرار دانه

برای تعیین زاویهٔ استقرار نمونه‌های آماده شده گندم، از تجهیزاتی شامل زاویه‌سنج دیجیتالی مجهز به تراز، صفحه با شیب قابل تنظیم، و استوانهٔ مقوایی به ارتفاع و قطر به‌ترتیب ۳۵ و ۳۲ میلی‌متر استفاده شد (شکل ۲). در این آزمایش، ابتدا سطح تماس مورد آزمایش روی صفحهٔ اصلی و پس از آن استوانه روی آن قرار داده شد و در داخل آن مقداری مشخص و ثابت دانه ریخته شد. استوانه قدری بالا آورده شد تـه بـه سطح مورد آزمایش تماس نداشته باشد. آنگاه به تدریج زاویهٔ تمایل صفحه با چرخاندن فلکه افزایش داده می‌شد تا استوانه روی سطح تماس شروع به لغزیدن کند. در این حالت زاویهٔ تمایل از صفحه نمایش دیجیتالی خوانده و ثبت می‌شد. هر آزمایش ۵ بار تکرار می‌شد. با توجه به سطوح تماس (ورق سیاه، ورق روغنی، ورق گالوانیزه، و ورق آلومینیم) و سطوح رطوبتی دانه (۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ درصد بر اساس وزن تر)، ۸۰ داده به دست آمد.



شکل ۲- تجهیزات اندازگیری زاویهٔ استقرار

برای تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری زاویه استقرار و ضریب اصطکاک داخلی از طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و برای مقایسهٔ میانگین اثرهای اصلی و اثرهای متقابل عوامل مستقل (رقم، رطوبت، و سطوح تماس) از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

ضریب اصطکاک داخلی

خلاصهٔ نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های حاصل از اندازگیری ضریب اصطکاک داخلی در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که اثر رطوبت و رقم و نیز اثر متقابل این دو عامل بر ضریب اصطکاک داخلی خیلی معنی‌دار است (سطح احتمال ۱ درصد). علت این موضوع متفاوت بودن خواص فیزیکی در ارقام مختلف مورد آزمایش و ایجاد تفاوت در ضریب اصطکاک داخلی دانه‌های گندم در اثر افزایش رطوبت به دانه‌هاست.

جدول ۱- نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های مربوط به ضریب اصطکاک داخلی

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F
تکرار	۴	۰/۰۱۶	۰/۰۰۴	۱/۳۰۷۲ns
رطوبت	۳	۰/۳۲۸	۰/۱۰۹	۳۴/۹۳۴۶**
خطا	۱۲	۰/۰۳۸	۰/۰۰۳	
رقم	۲	۰/۰۴۶	۰/۰۲۳	۶/۹۶۸۳**
رطوبت × رقم	۶	۰/۱۶۲	۰/۰۲۷	۸/۱۲۴۱**
خطا	۳۲	۰/۱۰۶	۰/۰۰۳	
مجموع	۵۹	۰/۶۹۶		

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns نبود اختلاف معنی‌دار

با توجه به نتایج مقایسهٔ میانگین اثرهای اصلی رطوبت و رقم (جدول ۲) نتیجه گرفته می‌شود که با افزایش رطوبت از ۱۲ به ۱۸ درصد، افزایش معنی‌دار در ضریب اصطکاک داخلی دانه‌های گندم به وجود آمده است ولی با افزایش بیشتر رطوبت (به ۲۱ درصد)، در ضریب اصطکاک داخلی دانه‌ها افزایش معنی‌دار به وجود

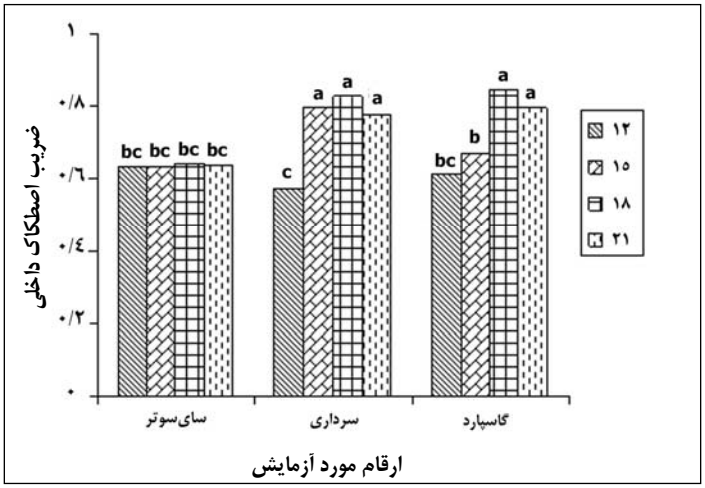
نیامده است. بیشترین میانگین ضریب اصطکاک داخلی به رقم سرداری اختصاص دارد و در این عامل با گاسپارد تفاوت معنی‌داری ندارد، ولی با رقم سای سوتر تفاوت معنی‌داری دارد.

جدول ۲- میانگین اثرهای اصلی رطوبت و رقم بر ضریب اصطکاک داخلی دانهٔ گندم

سطوح محتوای رطوبتی دانه بر اساس وزن تر (درصد)	میانگین اثرهای سطوح رطوبتی	رقم	میانگین اثرهای رقم
۱۲	۰/۶۰۶ c	سای سوتر	۰/۶۸b
۱۵	۰/۷۰۰ b	سرداری	۰/۷۴۴a
۱۸	۰/۷۷۳ a	گاسپارد	۰/۷۳۲a
۲۱	۰/۷۹۶ a		

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل رطوبت در رقم در شکل ۳ ارئه شده است. در رقم گاسپارد با افزایش رطوبت از ۱۲ به ۱۵ درصد و از ۱۸ به ۲۱ درصد بر اساس وزن تر، اختلاف معنی‌داری در ضریب اصطکاک داخلی به وجود نیامده است ولی با افزایش رطوبت از ۱۵ به ۱۸ درصد تفاوت معنی‌داری در عامل مذکور ایجاد شده است. در رقم سرداری، با افزایش رطوبت از ۱۲ به ۱۵ درصد، افزایش معنی‌داری در ضریب اصطکاک داخلی به وجود آمده است. با توجه به حروف یکسان اختصاص یافته به تمام سطوح رطوبتی در رقم سای سوتر، نتیجه گرفته می‌شود که افزایش رطوبت دانه در این رقم تغییر معنی‌داری در ضریب مذکور ایجاد نکرده است. به طور کلی، در تمام ارقام با افزایش مقدار رطوبت دانه ضریب اصطکاک داخلی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. این نتیجه با نتایج تحقیقات لاوتون و مارچانت (Lawton & Marchant, 1980) و سوداجان و همکاران (Sudajan *et al.*, 2001) و براباکر و پوز (Brubaker & Pos, 1965) مطابقت دارد.



شکل ۳- اثر متقابل مقدار رطوبت دانه در رقم

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

زاویهٔ استقرار

خلاصهٔ نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری زاویهٔ استقرار دانهٔ گندم در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج این جدول مشاهده می‌شود که اثر اصلی رطوبت، رقم، و نوع سطح تماس و نیز اثر متقابل آنها بر زاویهٔ استقرار خیلی معنی‌دار است (سطح احتمال ۱ درصد) که دلیل آن تفاوت در کیفیت سطوح دانه‌ها در ارقام مختلف و نیز در کیفیت سطوح تماس مختلف است؛ از طرفی، رطوبت نیز بر آن اثر می‌گذارد. ضریب تغییرات نیز معادل ۵/۰۶ درصد بوده است. نتایج مقایسهٔ میانگین اثرهای اصلی در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که تغییرات رطوبت باعث افزایش معنی‌دار زاویه استقرار شده است و ورق سیاه بیشترین و ورق گالوانیزه کمترین میانگین زاویهٔ استقرار را دارد. میانگین اثر رقم سای‌سوتر اختلاف معنی‌داری با میانگین اثر رقم سرداری ندارد، ولی میانگین اثر این دو رقم با رقم گاسپارد متفاوت است (سطح احتمال ۵ درصد).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازگیری زاویهٔ استقرار دانه گندم

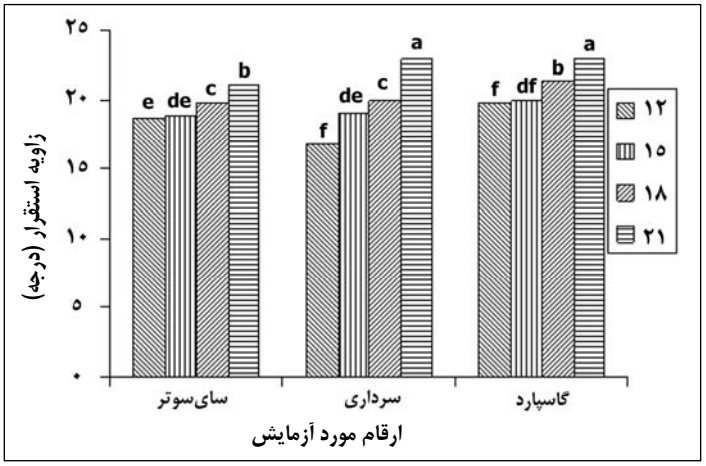
منابع تغییر	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	نسبت F
تکرار	۴	۱۲/۲۲۴	۳/۰۵۶	۲/۰۰۷ns
رطوبت	۳	۷۶۶/۳۵۰	۲۵۵/۴۵۰	۱۶۷/۲۳۷۲**
خطا	۱۲	۱۸/۳۳۰	۱/۵۲۷	
رقم	۲	۱۳/۳۱۱	۶/۶۵۶	۶/۴۹۲۸**
اثر متقابل (رطوبت × رقم)	۶	۱۰۹/۴۸۷	۱۸/۲۴۸	۱۷/۸۰۱۷**
خطا	۳۲	۳۲/۸۰۲	۱/۰۲۵	
سطح تماس	۳	۱۲۶۵/۷۱۴	۴۲۱/۹۰۵	۳۴۲/۴۷۸۳**
اثر متقابل (رطوبت × سطح تماس)	۹	۱۳۲/۶۸۷	۱۴/۷۴۳	۱۱/۹۶۷۵**
اثر متقابل (رقم × سطح تماس)	۶	۵۵/۸۶۶	۹/۳۱۱	۷/۵۵۸۱**
اثر متقابل (رطوبت × رقم × سطح تماس)	۱۸	۱۰۲/۷۱۲	۵/۷۰۶	۴/۶۳۲۰**
خطا	۱۴۴	۱۷۷/۳۹۶	۱/۲۳۲	
مجموع	۲۳۹	۲۶۸۶/۸۷۹		

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns نبود اختلاف معنی‌دار

جدول ٤- نتایج مقایسهٔ میانگین اثرهای اصلی بر زاویهٔ استقرار (درجه)

اثر اصلی رطوبت بر اساس وزن تر (درصد)		اثر اصلی سطوح تماس		اثر اصلی رقم	
۱۲	۱۷/۴۲۸d	ورق سیاه	۲۲/۳۹۶a	سای سوتر	۱۹/۶۱۴b
۱۵	۱۹/۱۷۲c	ورق روغنی	۱۹/۶۳۳c	سرداری	۱۹/۷۲۲b
۱۸	۲۰/۳۹۷b	ورق آلومینیم	۲۱/۰۶۷b	گاسپارد	۲۰/۱۵۹a
۲۱	۲۲/۳۳۰a	ورق گالوانیزه	۱۶/۲۳۲d		

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.



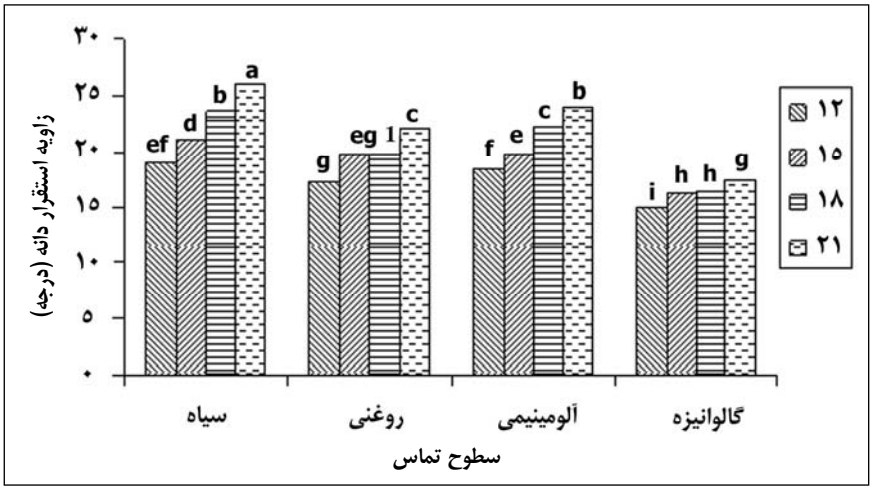
شکل ٤- نتایج مقایسهٔ میانگین اثرهای متقابل مقدار رطوبت دانه در رقم بر زاویهٔ استقرار

میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج مقایسهٔ اثرهای متقابل مقدار رطوبت دانه در رقم نشان می‌دهد (شکل ۴) که در رقم گاسپارد ابتدا با افزایش رطوبت از ۱۲ به ۲۰ درصد اختلاف معنی‌داری در مقدار زاویهٔ استقرار به وجود نیامده ولی با افزایش رطوبت در سطوح بعدی، این اختلاف معنی‌دار است. در ارقام دیگر با افزایش رطوبت در هر مرحله، زاویهٔ استقرار معنی‌دار افزایش یافته است. بیشترین میانگین زاویهٔ استقرار به رقم سرداری (۲۲/۹۹ درجه) در سطح رطوبتی ۲۱ درصد اختصاص دارد.

نتایج مقایسهٔ اثر متقابل مقدار رطوبت دانه در جنس سطوح در شکل ۵ نشان داده شده است. در آزمایش با سطوح ورق سیاه و آلومینیمی مشاهده می‌شود که با افزایش رطوبت، افزایش معنی‌داری در زاویهٔ استقرار به وجود آمده و در میانگین اثر مقدار رطوبت دانه تفاوت معنی‌دار مشاهده می‌شود ولی در آزمایش با سطوح ورق گالوانیزه و ورق روغنی اثر سطح رطوبتی دانه ۱۵ و ۱۸ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند در حالی که در بقیهٔ حالات، اثر سطوح رطوبتی دارای

تفاوت معنی‌دار هستند. بیشترین میانگین اثر (۲۳/۹۴ درجه) به ورق آلومینیمی در سطح رطوبتی ۲۱ درصد اختصاص دارد. نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل رقم در جنس سطوح تماس در جدول ۵، نشان می‌دهد که کمترین زاویهٔ استقرار به رقم سرداری و تماس با ورق گالوانیزه (با اختلاف ناچیز با رقم سای‌سوتر) و بیشترین زاویهٔ استقرار به رقم گاسپارد در تماس با ورق سیاه اختصاص دارد.



شکل ۵- نتایج مقایسهٔ اثر متقابل مقدار رطوبت دانه در سطوح تماس بر زاویه استقرار

جدول ۵- اثر متقابل رقم و سطوح تماس بر زاویهٔ استقرار (درجه)

رقم	سطوح تماس			
	سیاه	روغنی	آلومینیمی	گالوانیزه
سای سوتر	۲۱/۹۲۵b	۱۹/۲۲۵f	۲۱/۳۱۰bcd	۱۵/۹۹۵h
سرداری	۲۱/۶۹۵bc	۲۰/۳۷۰e	۲۰/۹۱۵de	۱۵/۹۱۰h
گاسپارد	۲۳/۵۶۵a	۱۹/۳۰۵f	۲۰/۹۷۵cde	۱۶/۷۹۰g

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

از بررسی نتایج مقایسهٔ اثرهای متقابل سه عامل، مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار زاویهٔ استقرار به سطح رطوبتی ۲۱ درصد، رقم گاسپارد، و سطح تماس آلومینیمی اختصاص دارد.

نتیجه‌گیری

- اثر رطوبت دانه، رقم، و سطح تماس و نیز اثر متقابل آنها بر زاویهٔ استقرار دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.
- با افزایش رطوبت دانه، زاویهٔ استقرار به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. بیشترین میانگین اثرها (۲۰/۱۵۹ درجه) به رقم گاسپارد و بیشترین میانگین اثرهای سطوح تماس، به ورق سیاه (۲۲/۳۹۵ درجه) اختصاص دارد. بیشترین میانگین اثرهای متقابل سه‌تایی به سطح رطوبتی ۲۱ درصد، رقم گاسپارد، و سطح تماس آلومینیمی مربوط می‌شودو مقدار آن ۲۴/۷۲ درجه است.
- اثر رطوبت دانه و رقم و اثر متقابل این دو عامل بر ضریب اصطکاک داخلی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.
- با افزایش رطوبت از ۱۲ به ۲۱ درصد بر اساس وزن تر، ضریب اصطکاک داخلی دانه افزایش می‌یابد. بیشترین میانگین اثرها به رقم سرداری (۰/۷۴۴) و کمترین میانگین اثرها (۰/۶۸۰) به رقم سای‌سوتر تعلق دارد. میانگین اثرها برای رقم گاسپارد برابر ۰/۷۳۲ است.

مراجع

Baryeh, E. A. 2002. Physical properties of millet. J. food Eng. 51, 39-46.

Brubaker, J. E. and Pos. J. 1965. Determining static coefficient of friction of grains on structural surfaces. Trans. ASAE. 8(1): 53-55.

Chakraverty, A. and Singh, R. P. 2002. Postharvest Technology: Cereals, Pulses, Fruits and Vegetables. Science Pub. Inc.

Lawton, P. J. and Marchant J. A. 1980. Direct shear testing of seeds in bulk. J. Agric. Eng. Res. 25, 189-201.

Mohsenin, N. N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials, Structure, Physical characteristics and Mechanical properties. Gordon and Breaeh Science Pub.

Shemsanga, K. H. H., Chuma, Y. and Uchida, S. 1983. Internal and material surface coefficients and repose angle of selected grains and soybeans. J. Fac. Agric. Kyushu University. 27, 169-188.

Sitkei, G. 1986. Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier Science Pub. Co. Inc. New York

Stewart, B. R. 1968. Effect of moisture content and specific weight on the internal- friction Properties of sorghum grain. Trans. ASAE. 11(2): 260-266.

Sudajan, S., Salokhe, V. M., and Triratanasirichai, K. 2001. Some physical properties of sunflower seeds and head. Agric. Eng. J. 10(3&4): 191-207.

Varnamkhasti, M. G., Mobli, H., Jafari, A., Keyhani, A. R., Soltanabadi, M. H., Rafiee, S. and Kheiralipour K. 2008. Some physical properties of rough rice grain. J. Cereal Sci. No. 47.

Zoerb, G. C. 1972. Physical properties of wheat for moisture content determination. Trans. ASAE. 15, 486-490.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.10/No.3/2009/P: 1-12

Determination of the Angle of Repose and Internal Friction Coefficient in Common Wheat Varieties

E. Askari Asli - Ardeh* and M. R. Rozegar

* Corresponding Author: Assistant Professor, Mohaghegh Ardebili University, P. O. Box: 179, Ardebil, Iran. E-mail: ezzataskari@yahoo.co.uk

The friction properties of granular materials play an important role in the determination of specifications for designing hoppers, transporting passages, dryers, silos and machines through which grain flows. In this study, the angle of repose and internal friction coefficient were determined for three common wheat varieties (Sardary, Gaspard and Saysoter) at four moisture contents (12, 15, 18, 21 w.b.%). Four contact surfaces (black, mild, aluminum and galvanized sheets) were used to measure the angle of repose. The tests were done in five replications. Analysis of variance was used to analyze the data and Duncan's multiple range test was used to compare the effect of the means ($P < 5\%$). The results showed that the effects of moisture content, variety and contact surface were significant for the angle of repose. The effects of grain moisture content and variety were significant for the internal friction coefficient ($P < 1\%$). When moisture content of the grain increased, the angle of repose and internal friction coefficient increased significantly. Only where grain moisture level changed from 18 to 21% w.b. the internal friction coefficient did not change significantly. The highest and lowest internal friction coefficients belonged to the Sardary and Saysoter varieties, respectively. The highest and lowest the angles of repose belonged to the Gaspard and Sardary varieties, respectively.

Key Word: Angle of Repose, Internal Friction Coefficient, Physical Properties, Wheat