

عوامل موثر بر زاویه استقرار، ضریب اصطکاک داخلی و خارجی دو رقم گندم (بهرنگ و شیرودی)

سارا موحد^{۱*}، محسن محبوب^۲، حسین احمدی چنارین^۳

۱. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین، پیشوا
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین، پیشوا
۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین، پیشوا

(تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲۴)

چکیده

تعیین خواص فیزیکی محصولات کشاورزی، به‌منظور طراحی ماشین‌های کاشت، داشت، برداشت و هم‌چنین تحلیل رفتار آن‌ها در هنگام عملیات فراوری، ضروری است. هدف از تحقیق حاضر، از یک سو تعیین ضریب اصطکاک خارجی و زاویه استقرار دو رقم متداول گندم (بهرنگ و شیرودی)، در سه سطح رطوبتی (۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد بر پایه تر) در دو سطح تماس (بتنی و ورق گالوانیزه) و از سوی دیگر تعیین ضریب اصطکاک داخلی ارقام مورد نظر، در سطوح رطوبتی ذکر شده بود. بر اساس نتایج، بیش‌ترین زاویه استقرار برای رقم بهرنگ، در سطح رطوبتی ۱۸ درصد و برای سطح تماس بتنی به میزان ۲۴/۶۳ درجه و کم‌ترین آن برای رقم شیرودی در سطح رطوبتی ۱۲ درصد و برای سطح تماس گالوانیزه به میزان ۱۹/۸۴ درجه محاسبه شد. بیش‌ترین ضریب اصطکاک خارجی برای رقم بهرنگ، در سطح رطوبتی ۱۸ درصد و برای سطح تماس بتنی به میزان ۰/۵۰۳ و کم‌ترین آن برای رقم شیرودی، در سطح رطوبتی ۱۲ درصد و برای سطح تماس گالوانیزه به میزان ۰/۱۸۲ تعیین گردید. بیش‌ترین ضریب اصطکاک داخلی برای رقم بهرنگ، در سطح رطوبتی ۱۸ درصد به میزان ۰/۷۵۴ و کم‌ترین آن برای رقم شیرودی، در سطح رطوبتی ۱۲ درصد به میزان ۰/۴۱۳ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: خواص فیزیکی، زاویه استقرار، ضریب اصطکاک خارجی، ضریب اصطکاک داخلی، گندم.

1- مقدمه

غلات جزء اولین محصولات کشاورزی می‌باشد که انسان به عنوان غذا مورد استفاده قرار داده و امروزه در اکثر کشورهای دنیا تأمین‌کننده بیش‌ترین مقدار کالری، پروتئین، فیبر، ویتامین‌ها و مواد معدنی است. در میان غلات، گندم به دلیل خواص تغذیه‌ای و تکنولوژیکی ویژه، مورد توجه بیش‌تر مردم دنیا قرار گرفته است [1]. فراوری محصولات کشاورزی، شامل عملیاتی است که به منظور حفظ یا بهبود کیفیت انجام می‌شود. در این راستا، تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی به منظور طراحی ماشین‌های کاشت، داشت، برداشت و هم‌چنین تحلیل رفتار آن‌ها در هنگام عملیات فراوری، از قبیل جابه‌جایی، پوست‌کنی، تمیز کردن، جداسازی، خشک‌کردن و ذخیره سازی ضروری است [2]. بیش‌تر غلات پس از برداشت، بایستی تبدیل شوند تا به شکل قابل مصرف درآیند و سپس در سیلوها ذخیره گردند. تجهیزات تبدیل و فراوری و نیز تجهیزات مربوط به سیلوها باید بر اساس خواص فیزیکی آن‌ها طراحی شود تا از بازده مطلوبی برخوردار باشد. تدوین الگوی بهینه ذخیره و انتقال غلات، افزون بر تأمین مطلوب نیاز مصرف‌کنندگان، کاهش هزینه‌ها را به‌ویژه از طریق کاهش ضایعات، به دنبال خواهد داشت [3]. زاویه استقرار و ضریب اصطکاک داخلی و خارجی، سه ویژگی مهم فیزیکی در محصولات دانه‌ای بوده که در عملکرد تجهیزات انتقال (نقاله‌های مارپیچی، تسمه نقاله‌ها و غیره) و در بخش تخلیه یعنی مخازن بذر کارها، بذر افشان‌ها و سیلوها، موثر می‌باشند. زاویه استقرار، زاویه شیب مخروطی است که در اثر سقوط آزاد عمودی یک ماده گرانولی روی یک سطح افقی ایجاد می‌شود. عواملی نظیر اندازه، شکل، میزان رطوبت و چرخش دانه‌ها بر زاویه استقرار اثر می‌گذارند. این زاویه به دو دسته تقسیم می‌شود که شامل زاویه استقرار استاتیکی، زاویه سایشی که ماده گرانولی تحت آن تنها روی خودش می‌لغزد و زاویه استقرار دینامیکی، تصویر توده دانه‌های در حال حرکت مانند هنگامی که دانه‌ها از مخازن نگهداری و ناودانی‌ها تخلیه می‌شوند، می‌باشد. اهمیت زاویه استقرار دینامیکی به دلیل آن‌که توده دانه‌های گندم در حین پرکردن سیلو (شرایط دینامیک آن‌ها) فشار بیش‌تری بر بدنه، کف سیلو و کانال‌های انتقال وارد می‌کنند، بیش‌تر از

از زاویه استقرار استاتیکی (سکون) می‌باشد [4]. زاویه استقرار، مشخصه مناسبی از میزان جریان پذیری یک محصول بوده و به‌طور کلی هرچه زاویه استقرار کوچک‌تر باشد، محصول راحت‌تر جریان می‌یابد. به‌طور معمول با افزایش درصد رطوبت غله، میزان زاویه استقرار افزایش می‌یابد، زیرا رطوبت، اطراف سطوح دانه را فرا گرفته و در نتیجه دانه‌های غله به علت کشش سطحی کنار یکدیگر قرار گرفته که این امر سبب افزایش پیوستگی دانه‌ها به یکدیگر و افزایش زاویه استقرار آن‌ها می‌گردد [5]. دانه‌ها ممکن است نسبت به یکدیگر دارای حرکت باشند که در این حالت، کیفیت سطوح یا میزان زبری سطوح دانه‌ها بر میزان تماس آن‌ها و در نتیجه حرکت آن‌ها تأثیر دارد، که اصطلاحاً به این خاصیت فیزیکی دانه‌ها، ضریب اصطکاک داخلی می‌گویند [6]. زاویه سایشی داخلی، ویژگی مهمی است که با استفاده از آن، می‌توان مقدار فشار انتهایی در سیلوها را تخمین زد که مقدار آن با تانژانت ضریب سایش یک دانه برابری می‌کند [4]. از سوی دیگر در سیستم‌های انتقال دانه غلات دو نوع سایش موجود است که شامل سایش دیواره یا سایش خارجی یعنی سایش بین دانه‌ها و دیواره سیلو با سطح و سایش داخلی (سایش دانه‌ها به یکدیگر) می‌باشد. مقادیر بیش‌تر زاویه سایشی داخلی نشان‌دهنده پیوستگی ماده و مقادیر کم‌تر آن نشان دهنده سهولت جریان یافتن محصول می‌باشد [7]. اغلب، تصور می‌شود که زاویه استقرار و زاویه سایش داخلی یکسان هستند، در حالی که در بررسی‌های به عمل آمده در اندازه‌گیری زاویه استقرار و زاویه سایش داخلی برای دانه سورگوم، مشخص گردید که دو زاویه مذکور با یکدیگر متفاوت‌اند [6]. در تحقیقی دیگر تلاش شد رابطه‌ای بین زاویه استقرار و زاویه سایش داخلی محاسبه شود تا بتوان با اندازه‌گیری ساده زاویه استقرار، زاویه سایش داخلی را تخمین زد، اما نتایج نشان که رابطه ساده‌ای که به‌وسیله آن بتوان زاویه سایش داخلی را با استفاده از زاویه استقرار با صحت مناسبی تخمین زد، وجود ندارد. به‌طور کلی در دانه‌های غلات حاوی رطوبت و چگالی تقریباً یکسان، مقدار زاویه استقرار از زاویه سایش داخلی بیش‌تر است [2]. سوداجان و همکاران (2001)، در بررسی خواص فیزیکی دانه‌های آفتاب‌گردان به این نتیجه رسیدند که با افزایش رطوبت، ابتدا ضریب اصطکاک استاتیکی و زاویه استقرار افزایش و پس از آن

مهم فیزیکی محصولات گامی اولیه و اساسی محسوب می‌گردد. هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی تاثیر محتوای رطوبت و جنس سطوح تماس بر برخی خواص فیزیکی دو رقم گندم بهرنگ و شیروودی، نظیر ضریب اصطکاک داخلی، خارجی و زاویه استقرار بود.

2- مواد و روش‌ها

50 کیلوگرم دانه گندم از هر یک از ارقام شیروودی و بهرنگ، از موسسه تحقیقات کشاورزی حسن آباد شهرستان داراب تهیه شد. کلیه آزمون‌های تحقیق در آزمایشگاه‌های مجتمع پنبه‌کاران و کارخانه داماس واقع در شهرستان داراب انجام گردید. همان‌گونه که اشاره شد، هدف از انجام تحقیق حاضر تعیین برخی خواص فیزیکی نظیر زاویه استقرار و ضریب اصطکاک خارجی و داخلی دو رقم گندم شیروودی و بهرنگ بومی، در سه سطوح رطوبتی 12، 15 و 18 درصد و بر روی دو سطح تماس بتن و ورق گالوانیزه بود. در جدول‌های 1 و 2 تیمارهای مورد استفاده در تحقیق نشان داده شده است.

2-1- تامین سطوح رطوبتی دانه‌ها در ارقام گندم مورد آزمایش

ابتدا رطوبت اولیه دانه‌ها بر اساس استاندارد بین المللی AACC اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه‌های 1 و 2 میزان آب مقطر مورد نیاز برای تامین مقدار رطوبت دانه‌ها محاسبه و به آن‌ها اضافه شد. سپس دانه‌های گندم مذکور درون کیسه‌های پلاستیکی و در یخچال و در دمای 5 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا به سطوح رطوبتی مطلوب رسیدند [5].

$$w_i [1 - (m_i/100)] = w_f [1 - (m_f/100)] \quad (1)$$

$$w_w = w_f - w_i \quad (2)$$

که w_i : وزن دانه با رطوبت اولیه (g)، w_f : وزن دانه با رطوبت نهایی (g)، w_f : وزن آب اضافه شده (g)، m_i : درصد رطوبت اولیه بر مبنای تر، m_f : درصد رطوبت ثانویه بر مبنای تر می‌باشند.

کاهش می‌یابد [8]. باریه (2002)، در تحقیقات خود نشان داد که افزایش مقدار رطوبت در دانه جو سبب افزایش زاویه استقرار می‌گردد. او بیان داشت لایه رطوبت سطحی اطراف جسم، توده دانه غله را در اثر کشش سطحی کنار یکدیگر نگه داشته، لذا سبب افزایش پیوستگی دانه‌ها با یکدیگر می‌شود [5]. طباطبایی فر (2003)، خواص فیزیکی پنج رقم گندم ایرانی را بررسی نمود. نتایج بیانگر آن بود که میزان دانسیته ظاهری و دانسیته واقعی، تخلخل، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک استاتیکی تابعی از رطوبت گندم می‌باشند [9]. المحاسنه (2006)، اثر رطوبت را بر برخی خواص فیزیکی گندم سبزه، در دامنه رطوبت 9/3 تا 41/5 درصد، بررسی نمود، خواص فیزیکی مورد بررسی شامل ابعاد محوری، وزن هزار دانه، حجم، دانسیته ظاهری، دانسیته واقعی، تخلخل و ضریب اصطکاک استاتیکی بودند. با توجه به نتایج افزایش میزان رطوبت، خواص فیزیکی مورد مطالعه را به شکل معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد [10]. میتیگا و همکاران (2006) خواص فیزیکی از جمله ابعاد دانه، وزن هزار دانه، میانگین قطر هندسی، ضریب کرویت، دانسیته ظاهری و دانسیته واقعی و زاویه استقرار سه واریته دانه سورگوم را بررسی نمودند. بر اساس نتایج، ابعاد دانه در مقایسه با سایر خواص فیزیکی، اکثر ویژگی‌ها را بیش‌تر تحت تاثیر قرار داد [11]. قاسمی ورنام‌خاستی و همکاران (2008)، زاویه اصطکاک خارجی دو رقم برنج سرخه و سازندگی را در سطح رطوبتی 10 درصد با استفاده از سطحی با شیب قابل تنظیم از جنس آهن گالوانیزه بررسی و میانگین آن را به ترتیب 37/66 و 35/83 درجه، تعیین نمودند [12]. عسکری اصلی ارده و همکاران (2009)، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک داخلی چند رقم متداول گندم را مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که با افزایش میزان رطوبت، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک داخلی افزایش می‌یابد [13]. رضوی و همکاران (2009)، به مطالعه میزان ضریب اصطکاک خارجی دانه بارهنگ، روی پنج سطح مختلف، تخته چند لایه، لاستیک، شیشه، فایبرگلاس و ورق گالوانیزه پرداختند. بر اساس نتایج مقادیر میانگین ضریب اصطکاک آن‌ها به ترتیب برابر 0/51، 0/46، 0/36، 0/35 و 0/33 محاسبه شد [14]. نظر به تولید روز افزون غلات از جمله گندم، توجه به ذخیره‌سازی اصولی آن ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا آگاهی از ویژگی‌های

جدول (1) تیمارهای مورد استفاده در تحقیق به منظور محاسبه زاویه استقرار و ضریب اصطکاک خارجی

ردیف	تیمارها
1	گندم بهرنگ، با رطوبت 12 درصد بر روی سطحی از جنس بتن
2	گندم شیروودی، با رطوبت 12 درصد بر روی سطحی از جنس بتن
3	گندم بهرنگ، با رطوبت 12 درصد بر روی سطحی از جنس ورق گالوانیزه
4	گندم شیروودی، با رطوبت 12 درصد بر روی سطحی از جنس ورق گالوانیزه
5	گندم بهرنگ، با رطوبت 15 درصد بر روی سطحی از جنس بتن
6	گندم شیروودی، با رطوبت 15 درصد بر روی سطحی از جنس بتن
7	گندم بهرنگ، با رطوبت 15 درصد بر روی سطحی از جنس ورق گالوانیزه
8	گندم شیروودی، با رطوبت 15 درصد بر روی سطحی از جنس ورق گالوانیزه
9	گندم بهرنگ، با رطوبت 18 درصد بر روی سطحی از جنس بتن
10	گندم شیروودی، با رطوبت 18 درصد بر روی سطحی از جنس بتن
11	گندم بهرنگ، با رطوبت 18 درصد بر روی سطحی از جنس ورق گالوانیزه
12	گندم شیروودی، با رطوبت 18 درصد بر روی سطحی از جنس ورق گالوانیزه

جدول (2) تیمارهای مورد استفاده در تحقیق به منظور محاسبه ضریب اصطکاک داخلی

ردیف	تیمارها
1	گندم بهرنگ با رطوبت 12 درصد
2	گندم شیروودی با رطوبت 12 درصد
3	گندم بهرنگ با رطوبت 15 درصد
4	گندم شیروودی با رطوبت 15 درصد
5	گندم بهرنگ با رطوبت 18 درصد
6	گندم شیروودی با رطوبت 18 درصد

2-2- روش اندازه‌گیری ضریب اصطکاک خارجی

به منظور اندازه‌گیری ضریب اصطکاک خارجی از سطحی شیب‌دار استفاده شد. ابتدا یکی از سطوح مورد نظر، بتن یا ورق گالوانیزه روی سطح شیب‌دار قرار داده شد و سپس دانه‌ها با سطوح رطوبتی مشخص که در یک استوانه قرار داده شده بودند، روی آن قرار گرفتند. آنگاه زاویه سطح شیب‌دار توسط پیچ تنظیم تغییر نمود. برای هر یک از تیمارها زاویه‌ای از سطح شیب‌دار که استوانه در آن زاویه روی سطح شروع به حرکت می‌کرد (α)، قرائت شد. در پایان با استفاده از رابطه 3، میزان ضریب اصطکاک خارجی ($s\mu$) محاسبه گردید [4].

$$\mu_s = \tan \alpha \quad (3)$$

2-3- روش اندازه‌گیری ضریب اصطکاک داخلی

برای تعیین ضریب اصطکاک داخلی ارقام مختلف گندم، از یک نیروسنج، نگه‌دارنده نیروسنج، پایه اصلی و دو استوانه به ارتفاع و قطر 50 و 35 میلی‌متر استفاده شد. نمونه دانه مورد آزمایش، به داخل دو استوانه ریخته شد. استوانه بالایی با نخ به قلاب نیروسنج مرتبط بود و نیروی لازم برای شروع حرکت استوانه فوقانی توسط نیروسنج ثبت شد. با دانستن این نیرو و تقسیم آن بر نیروی عمود دیواره بر سطح تماس، رابطه 4، ضریب اصطکاک داخلی (μ) محاسبه شد [4].

$$\mu = F/N \quad (4)$$

که در آن، F : نیروی برشی حداکثر که نیروسنج در زمان لغزش

استوانه بالایی بر استوانه پایینی نشان می‌داد و N : نیروی عمودی که معادل وزن دانه موجود در استوانه بالایی بود که هر دو بر حسب نیوتن می‌باشند.

2-4- روش اندازه‌گیری زاویه استقرار

برای اندازه‌گیری زاویه استقرار (ریپوز) از جعبه‌ای به ابعاد 400 میلی‌متر که قسمت پایین آن دربی کشویی داشت، استفاده گردید. جعبه در ارتفاع یک متری از سطح زمین قرار داده شد. پس از این‌که جعبه مذکور، از گندم پر شد، درب کشویی با سرعت کشیده تا دانه‌ها سرازیر شدند و این عمل یک بار بر روی سطح بتن و بار دیگر بر روی سطح ورق گالوانیزه انجام و یک مخروط وارونه ایجاد گردید. زاویه استقرار (θ_e) با اندازه‌گیری ارتفاع و فاصله افقی مخروط وارونه در دو نقطه دلخواه (x و h) و با استفاده از رابطه 5 محاسبه شد [4].

$$\theta_e = \text{Arc tan} \frac{(h_2 - h_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (5)$$

2-5- ارزیابی آماری

برای انجام تحقیق از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال $\alpha=1\%$ و توسط نرم افزار SPSS نسخه 14 انجام شد.

3- نتایج و بحث

3-1- نتایج حاصل از تاثیر رطوبت، رقم و جنس سطح تماس بر ضریب اصطکاک خارجی

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ضریب اصطکاک خارجی، در سطح احتمال $\alpha=1\%$ در جدول 3 نشان داده شده است. بر اساس نتایج، تاثیر ارقام، رطوبت، سطوح تماس و اثرهای متقابل آن‌ها بر ضریب اصطکاک خارجی معنی‌دار بود. در جدول 4 نتایج مقایسه میانگین تاثیر متقابل رقم \times رطوبت \times سطح تماس بر ضریب اصطکاک خارجی نشان داده شده است.

ضریب اصطکاک محصولات کشاورزی، عموماً به خصوصیات ماده غذایی، میزان رطوبت، ویژگی‌های سطحی، سرعت لغزش و جنس سطحی که ماده غذایی روی آن حرکت می‌کند، بستگی دارد. با توجه به نتایج جدول 4، بیش‌ترین مقدار ضریب اصطکاک خارجی برای رقم بهرنگ، در سطح رطوبتی 18 درصد و برای سطح تماس بتنی، 0/503 و کم‌ترین آن برای رقم شیرودی، در سطح رطوبتی 12 درصد و برای سطح تماس ورق گالوانیزه، 0/182 به‌دست آمد. علت این موضوع متفاوت بودن خواص فیزیکی در ارقام مختلف و ایجاد تغییر در خواص فوق‌به‌واسطه افزایش رطوبت در دانه‌ها می‌باشد [7-8]. به‌طور معمول با افزایش درصد رطوبت غله، میزان ضریب اصطکاک خارجی افزایش می‌یابد، زیرا رطوبت اطراف سطوح دانه سبب می‌شود که دانه‌ها به واسطه کشش سطحی کنار یکدیگر قرار گیرند. این امر سبب افزایش پیوستگی دانه‌ها به یکدیگر و افزایش ضریب اصطکاک خارجی آن‌ها می‌گردد [5]. از سوی دیگر هر چه جنس سطحی که دانه در تماس با آن است، صیقلی‌تر باشد، به‌دلیل اصطکاک کم‌تر دانه با سطح تماس و افزایش سرعت لغزش، ضریب اصطکاک خارجی کاهش می‌یابد [4]. مولندا و همکاران (2000)، میزان ضریب اصطکاک خارجی دانه‌های گندم را روی سطوح آهن گالوانیزه موج‌دار و صاف بررسی نمودند. بر اساس نتایج، هر چه سطح تماس صاف و صیقلی‌تر انتخاب شود، میزان ضریب اصطکاک توده دانه گندم، کاهش می‌یابد [15]. طباطبایی‌فر (2003)، خواص فیزیکی پنج رقم گندم ایرانی را در دامنه صفر تا 22 درصد بررسی نمود. بر اساس نتایج، با افزایش میزان رطوبت، دانسیته ظاهری و دانسیته واقعی کاهش، اما تخلخل توده و زاویه استقرار افزایش یافت. از سوی دیگر ضریب اصطکاک خارجی با افزایش محتوای رطوبت در تمام سطوح مورد بررسی افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار آن برای تخته چندان و کم‌ترین آن برای ورق استیل ضد زنگ محاسبه شد [9]. قاسمی ورنام‌خاستی و همکاران (2008)، ضریب اصطکاک خارجی دو رقم برنج سرخه و سازندگی را در سطح رطوبتی 10 درصد با استفاده از سطحی با شیب قابل تنظیم از جنس آهن گالوانیزه بررسی و میانگین آن را به ترتیب 37/66 و 35/83 درجه تعیین نمودند [12]. رضوی و همکاران (2009)، به مطالعه میزان ضریب اصطکاک

استاتیکی دانه بارهنگ روی پنج سطح مختلف، تخته چند لایه، لاستیک، شیشه، فایبرگلاس و ورق گالوانیزه پرداختند. بر اساس نتایج، مقادیر میانگین ضریب اصطکاک آن‌ها به ترتیب 0/51، 0/46، 0/36، 0/35 و 0/33 محاسبه شد [14].

سطح تماس بر ضریب اصطکاک داخلی نشان داده شده است. با توجه به جدول 6، بیشترین مقدار ضریب اصطکاک داخلی برای گندم رقم بهرنگ و در رطوبت 18 درصد و به میزان 0/754 و کمترین آن برای رقم شیرودی و در سطح رطوبتی 12 درصد، 0/413 محاسبه شد. علت این موضوع متفاوت بودن خواص فیزیکی در ارقام مختلف مورد آزمایش و ایجاد تغییر در خواص فوق به واسطه افزایش رطوبت در دانه‌ها می‌باشد [7-8].

معمولاً با افزایش درصد رطوبت غله، میزان ضریب اصطکاک داخلی افزایش می‌یابد، که دلیل آن زیاد شدن کشش سطحی بین دانه‌های مجاور است [5]. المحاسنه (2006)، اثر رطوبت را بر برخی خواص فیزیکی گندم، در دامنه رطوبتی 9/3 تا 41/5 درصد بررسی نمود. بر اساس نتایج، ابعاد محوری، وزن

جدول 5 تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ضریب اصطکاک داخلی را در سطح احتمال $\alpha=1\%$ نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تاثیر ارقام، رطوبت، سطوح تماس و اثرهای متقابل آن‌ها بر صفت مذکور معنی‌دار بود.

در جدول 6 نتایج مقایسه میانگین تاثیر متقابل رقم × رطوبت ×

2-3- نتایج حاصل از تاثیر رطوبت، رقم و جنس سطح تماس بر ضریب اصطکاک داخلی

جدول 6 نتایج مقایسه میانگین تاثیر متقابل رقم × رطوبت ×

جدول (3) تجزیه واریانس داده‌های ضریب اصطکاک خارجی دانه‌های گندم

منبع تغییرات	df	SS	MS	F
رقم	1	10/364	10/364	13/22**
رطوبت	2	22/124	11/062	14/11**
سطح تماس	1	10/207	10/207	13/02**
رقم × رطوبت	2	15/742	7/871	10/04**
رقم × سطح تماس	1	7/377	7/377	9/41**
رطوبت × سطح تماس	2	12/967	6/483	8/27**
رقم × سطح تماس × رطوبت	2	12/599	6/279	8/01**
خطا	24	18/816	0/784	-

جدول (4) مقایسه میانگین تاثیر متقابل رقم × رطوبت × سطح تماس بر ضریب اصطکاک خارجی

رطوبت (درصد)	بهرنگ		شیرودی	
	ورق گالوانیزه	بتن	ورق گالوانیزه	بتن
12	0/307±0/02 ^d	0/202±0/01 ^f	0/241±0/01 ^e	0/182±0/01 ^f
15	0/427±0/02 ^b	0/311±0/02 ^d	0/395±0/02 ^c	0/297±0/01 ^d
18	0/503±0/02 ^a	0/420±0/02 ^b	0/489±0/03 ^a	0/401±0/03 ^c

جدول (5) تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ضریب اصطکاک داخلی

منبع تغییرات	df	SS	MS	F
رقم	1	14/032	14/032	15/22**
رطوبت	2	29/706	14/853	16/11**
رقم × رطوبت	2	18/933	9/496	10/3**
خطا	12	11/064	0/922	-

هزار دانه، حجم و ضریب اصطکاک داخلی با افزایش میزان رطوبت افزایش، ولی دانسیته ظاهری، دانسیته واقعی و تخلخل کاهش یافت [10]. عسکری اصلی ارده و همکاران (2009)، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک داخلی چند رقم متداول گندم را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که با افزایش میزان رطوبت، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک داخلی افزایش می‌یابد [13].

3-3- نتایج حاصل از تاثیر رطوبت، رقم و سطح تماس بر زاویه استقرار

جدول 7 تجزیه واریانس داده‌های مربوط به زاویه استقرار را در سطح احتمال $\alpha=1\%$ نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، تاثیر ارقام، رطوبت، سطوح تماس و اثرهای متقابل آن‌ها بر صفت مذکور معنی دار بود.

جدول 8 نتایج مقایسه میانگین تاثیر متقابل رقم \times رطوبت \times سطح تماس بر زاویه استقرار را نشان می‌دهد. زاویه استقرار گندم، عموماً به میزان رطوبت، ویژگی‌های سطحی، سرعت لغزش و جنس سطحی که ماده غذایی روی آن حرکت می‌کند، بستگی دارد. بر اساس نتایج حاصل از جدول 8، بیشترین مقدار این زاویه، برای رقم بهرنگ، در سطح رطوبتی 18 درصد و برای سطح تماس بتن و به میزان 24/63 درجه و کمترین آن برای رقم شیروودی، در سطح رطوبتی 12 درصد و برای سطح تماس ورق گالوانیزه و به میزان 19/84 درجه محاسبه شد. علت نتایج به‌دست آمده، متفاوت بودن خواص فیزیکی در ارقام مختلف مورد آزمایش و ایجاد تغییر در خواص فوق به‌واسطه افزایش رطوبت در دانه‌ها می‌باشد [7-8]. زاویه استقرار در مواد دارای پیوستگی و با رطوبت بالاتر، بیش‌تر از موادی است که به سهولت جریان می‌یابند. اندازه، شکل، مقدار رطوبت و آرایش ذرات بر زاویه استقرار تاثیر گذار هستند [6].

زاویه استقرار با افزایش مقدار رطوبت ماده افزایش می‌یابد. رطوبت سطحی اطراف جسم، توده دانه غلات را در اثر کشش سطحی کنار یکدیگر نگه می‌دارد و از جریان‌پذیری دانه گندم می‌کاهد که این به نوبه خود باعث افزایش زاویه استقرار می‌شود [9]. سوداجان و همکاران (2001) در

بررسی خواص فیزیکی دانه‌های آفتاب‌گردان به این نتیجه رسیدند که با افزایش رطوبت، ابتدا ضریب اصطکاک داخلی و زاویه استقرار افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد [8]. طباطبایی فر (2003)، خواص فیزیکی پنج رقم گندم ایرانی را بررسی نمود. بر اساس نتایج، دانسیته ظاهری و دانسیته واقعی، تخلخل، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک داخلی تابعی از رطوبت دانه‌ی گندم بود [9]. عسکری اصلی ارده و همکاران (2009)، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک داخلی چند رقم متداول گندم را مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که با افزایش میزان رطوبت، زاویه استقرار و ضریب اصطکاک داخلی افزایش می‌یابد [13].

4- نتیجه گیری

بر اساس نتایج، افزایش رطوبت، سبب افزایش معنی‌دار ضریب اصطکاک خارجی، داخلی و زاویه استقرار گردید. بیش‌ترین زاویه استقرار برای رقم بهرنگ، در سطح رطوبتی 18 درصد و برای سطح تماس بتنی به میزان 24/63 درجه و کم‌ترین آن برای رقم شیروودی، در سطح رطوبتی 12 درصد و برای سطح تماس گالوانیزه به میزان 19/84 درجه محاسبه شد. بیش‌ترین ضریب اصطکاک خارجی برای رقم بهرنگ، در سطح رطوبتی 18 درصد و برای سطح تماس بتنی به میزان 0/503 و کم‌ترین آن برای رقم شیروودی و در سطح رطوبتی 12 درصد و برای سطح تماس گالوانیزه به میزان 0/182 تعیین گردید. بیش‌ترین ضریب اصطکاک داخلی برای رقم بهرنگ، در سطح رطوبتی 18 درصد به میزان 0/754 و کم‌ترین آن برای رقم شیروودی و در سطح رطوبتی 12 درصد به میزان 0/413 به‌دست آمد.

جدول (6) مقایسه میانگین تاثیر متقابل رقم × رطوبت بر ضریب اصطکاک داخلی

رقم	سطوح رطوبت (%)		
	18	15	12
بهرنگ	0/754±0/01 ^a	0/683±0/02 ^b	0/573±0/01 ^d
شیرودی	0/711±0/02 ^{ab}	0/609±0/01 ^{cd}	0/413±0/01 ^e

جدول (7) نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به زاویه استقرار دانه‌های گندم

منبع تغییرات	df	SS	MS	F
رقم	1	181/51	181/51	34/12 ^{**}
رطوبت	2	310/04	155/02	29/14 ^{**}
سطح تماس	1	109/85	109/85	20/65 ^{**}
رقم × رطوبت	2	196/308	98/154	18/45 ^{**}
رقم × سطح تماس	1	103/58	103/58	19/47 ^{**}
رطوبت × سطح تماس	2	169/92	84/960	15/97 ^{**}
رقم × سطح تماس × رطوبت	2	150/236	75/118	14/12 ^{***}
خطا	24	127/68	5/32	-

جدول (8) مقایسه میانگین تاثیر رقم × رطوبت × سطح تماس بر زاویه استقرار (درجه)

بهرنگ		شیرودی		رطوبت (درصد)
بتن	ورق گالوانیزه	بتن	ورق گالوانیزه	
21/85±0/07 ^c	20/01±0/06 ^d	21/31±0/09 ^c	19/84±0/07 ^d	12
23/01±0/08 ^b	22/84±0/05 ^b	22/11±0/08 ^{bc}	21/42±0/05 ^c	15
24/63±0/09 ^a	24/11±0/06 ^a	24/54±0/04 ^a	23/01±0/06 ^b	18

منابع

- [1] موحد، س. (1390) *علم نان*، انتشارات مرز دانش، ص 21-20.
- [2] رضوی، س.م. ع.؛ توکلی، ج.؛ حاجی محمدی فریمانی، ر. (1385) بررسی خواص فیزیکی چهار رقم اصلاح شده گندم ایرانی. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*. جهاد کشاورزی خراسان رضوی. ص 6-1.
- [3] Khazaei, J., Shahbazi, F., Massah, J. (2007). Evaluation and modeling of physical and physiological damage to wheat seeds under successive impact loading mathematical and neural networks models. *J. Crop Sci.*, 48, 1532-1544.
- [4] Mohsenin, N.N. (1986). *Physical Properties of Plant and Animal Materials, Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties*. Gordon and Breach Science Publisher, PP 586.
- [5] Baryeh, E. A. (2002). Physical properties of millet. *J. Food Eng.*, 51, 39-46.
- [6] Sahay, K.M., Singh, K.K. (1994). *Unite Operations of Agricultural Processing*. First ed., Vikas Publishing House Ltd., New Delhi.
- [7] Lawton, P. J., Marchant J. A. (1980). Direct shear testing of seeds in bulk. *J. Agri. Res. Eng.*, 25, 189-201.
- [8] Sudajan, S., Salokhe, V.M., Triratanasirichai, K. (2001). Some physical properties of sunflower seeds and head. *Agri. Eng. J.*, 10(3,4), 191-207.
- [9] Tabatabaeefar, A. (2003). Moisture-dependent physical properties of wheat. *Inter. Agrophysics.*, 17, 207-211.
- [10] Al-Mahasneh, M.A. (2006). Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. *J. Food Eng.*, 79, 1467-1473.
- [11] Mwithiga, G., Sifua, M.M. (2006). Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds. *J. Food Eng.*, 75, 480-486.
- [12] Ghasemi Varnamkhasti, M.G., Mobli, H., Jafari, A., Keyhani, A.R., Soltanabadi, M.H., Rafiee, S., Kheiralipour, K. (2008). Some physical properties of rough rice grain. *J.Cereal Sci.*, 4(3), 496-501.
- [13] Askari Asli Ardeh, E., Abbaspour Gilandeh, Y. (2009). Investigation of the effective factors on threshing loss damaged grains percent and material other than grain to grain ratio on auto head feed threshing unit. *J. Agr. Biol. Sci.*, 3(4), 669-705.
- [14] Razavi, S.M.A., Zahedi, Y., Mehdian Mehr H. (2009). Studying some of the engineering properties of plantain grain, *Iran. Food Res. J.*, 1-9.
- [15] Molenda, M., Thompson, S.A. Ross, I.J. (2000). Friction of wheat on corrugated and smooth galvanized steel surface. *J. Agr. Eng. Res.*, 77(2), 209-219.