

بررسی تأثیر رقم، رطوبت و سطح تماس بر روی خواص اصطکاکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید

محدثه رهنمائی باش محله^۱، محمد حسین عباسپور فرد^۲، رسول خدابخشیان کارگر^{۳*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

^۲ گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

چکیده

خواص فیزیکی و اصطکاکی غلات برای طراحی تأسیسات ذخیره‌سازی، جابجایی و فرآوری محصولات کشاورزی ضروری است. در این تحقیق خواص فیزیکی و اصطکاکی موثر در فرآوری برنج (شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید) به عنوان تابعی از دو رقم دم سیاه و فجر، سه سطح رطوبت (۱۵، ۱۸ و ۲۳ درصد) و در چهار سطح تماس شامل نمد، برزنت، پلی اتیلن و استیل اندازه‌گیری شد. ابتدا، خواص فیزیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید در دو مقوله خواص هندسی و ثقلی مطالعه شد، خواص هندسی شامل طول، عرض و ضخامت، با استفاده از پردازش تصویر اندازه‌گیری شد. سپس خواص اصطکاکی شامل ضریب اصطکاک ایستایی، دینامیکی و زاویه استقرار ایستایی و دینامیکی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تمامی پارامترهای هندسی مورد مطالعه برای هر دو وارسته مورد مطالعه با افزایش رطوبت افزایش یافتند. نتایج حاصل از تغییرات مقادیر میانگین خواص ثقلی با رطوبت، افزایش خطی وزن هزار دانه را با رطوبت نشان می‌دهد. با افزایش رطوبت از ۱۵ تا ۲۳ درصد، ضرایب اصطکاک، زاویه استقرار ایستایی و زاویه استقرار دینامیکی، شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید افزایش یافت. نتایج نشان داد، زاویه استقرار ایستایی برای رقم دم سیاه، شلتوک از ۲۱/۳ تا ۲۶/۸۸، برنج قهوه‌ای از ۱۹/۱۲ تا ۲۴/۰۱ و برنج سفید از ۱۵/۳۴ تا ۲۱/۱۹ و برای رقم فجر، شلتوک از ۲۵/۹۹ تا ۳۱/۰۳، برنج قهوه‌ای از ۲۳/۸۸ تا ۲۶/۵۹ و برای برنج سفید از ۱۹/۶۷ تا ۲۴/۳۸ است. در نتیجه با افزایش سطح رطوبت خواص اصطکاکی در هر دو رقم برای هر سه نوع شامل شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید افزایش یافتند. هم‌چنین نتایج نشان داد بیشترین ضریب اصطکاک روی سطح نمد با رطوبت ۲۳٪ و کم‌ترین میزان ضریب اصطکاک مربوط به سطح تماس استیل با رطوبت ۱۵ درصد است.

کلمات کلیدی: خواص فیزیکی، زاویه استقرار، ضریب اصطکاک ایستایی، ضریب اصطکاک دینامیکی، فرآوری برنج

برنج یکی از محصولات غذایی مهم در جهان است و بعد از گندم دومین محصول غذایی پر مصرف در دنیا محسوب می‌گردد. اصلی‌ترین کشورهای تولیدکننده برنج در دنیا هند، چین، اندونزی، ویتنام و بنگلادش می‌باشند (۱۷)، میزان تولید برنج به صورت سالانه در دنیا ۷۵۶/۷ میلیون تن در سال ۲۰۲۰ میلادی بوده است (۱۷). طبق آمار موجود، سطح زیر کشت این محصول در ایران ۸۷۴۸۵۴ هکتار و میزان تولید شلتوک نزدیک ۴/۵۶ میلیون تن است (۱). برنج متداول‌ترین کالای غذایی است که برای تقریباً نیمی از جمعیت جهان مصرف می‌شود که حدود بیش از ۲۰۰۰ میلیون نفر در آسیا کالری مصرفی خود (۶۰ تا ۷۰ درصد) را از انواع مختلف برنج به صورت برنج سفید یا برنج قهوه‌ای دریافت می‌کنند (۲۴).

خواص فیزیکی محصولات کشاورزی اغلب برای طراحی ماشین‌آلات کشاورزی و تجهیزات کاشت، برداشت و پس از برداشت مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از خواص فیزیکی عبارتند از: ابعاد اصلی (طول، عرض و ضخامت)، قطر متوسط هندسی، جرم، کرویت و ضرایب اصطکاک می‌باشند (۳۳). ضریب اصطکاک پارامتر کلیدی مورد نیاز برای تعیین بارهای تولید شده توسط فشار محصول بر روی جداره‌های سیلوها و انبارهای نگهداری می‌باشد (۳۴).

اصطکاک مجموعه‌ای از پدیده‌های فیزیکی است که حین تماس بین دو جسم رخ می‌دهد. باعث ساییدگی ناهمواری‌های سطحی می‌شود و برای غلبه بر آن باید انرژی اعمال شود (۲۸). نیروهای اصطکاکی که دانه‌های برنج در حین مراحل مختلف با آن درگیر است را می‌توان در طی عملیات برداشت مکانیزه (به عنوان نیروهای اثرگذار بر جابجایی محصول)، در فرآیند حمل و نقل (به عنوان نیروهای مابین دانه و سطوح نوارهای نقاله)، در کمباین‌های برداشت شالی، در فرآیند تبدیل (به عنوان نیروهای وارد بر نقاله‌های انتقال و نیز الگوهای تخلیه و بارگیری) و در فرآیند ذخیره‌سازی و انبارداری (به عنوان نیروهای اصطکاکی وارد بر جداره‌های سیلوها و انبارهای نگهداری) مشاهده کرد (۲). در حرکت و انتقال مواد دانه‌ای و غلات، نیروی اصطکاک به عنوان نیروی مقاوم در برابر حرکت نسبی به دو صورت نیروهای اصطکاک دینامیکی و استاتیکی ظاهر می‌شود (۱۳). مطالعاتی بر روی خواص فیزیکی بذر دو رقم چغندر قند نشان می‌دهد که این خصوصیات تحت تاثیر میزان رطوبت بوده و ابعاد بذرها با افزایش رطوبت افزایش یافتند همچنین خواص اصطکاکی شامل ضریب اصطکاک ایستایی و زاویه ریپوز با افزایش رطوبت افزایش یافتند (۱۹). خصوصیات فیزیکی و اصطکاکی ۵ رقم گندم تحت رطوبت با یکدیگر مقایسه کردند و دریافتند که با افزایش رطوبت خواص فیزیکی و خواص اصطکاکی نیز افزایش می‌یابند. هم‌چنین نتایج نشان دادند که با افزایش رطوبت دانه از ۱۲ درصد به ۱۸ درصد میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی

از ۰/۲۴۹ به ۰/۳۳۵ افزایش یافته است (۹). در یک تحقیق خواص فیزیکی و اصطکاکی شلتوک و برنج قهوه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج نشان داد زاویه استقرار برای شلتوک ۲۹/۶۷ تا ۳۵/۶۹ درجه محاسبه شد و برای برنج قهوه‌ای از ۳۱/۶۵ تا ۳۳/۶۳ محاسبه شد و خواص فیزیکی با افزایش رطوبت افزایش یافتند (۲۴). در یک تحقیق ضرایب اصطکاک داخلی، خارجی و زاویه استقرار دو رقم گندم (بهرنگ و شیرودی) در سه سطح رطوبتی (۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد بر پایه‌تر) و سطح تماس (بتن و ورق گالوانیزه) مورد بررسی قرار گرفتند که کم‌ترین زاویه استقرار برای رقم شیرودی در سطح تماس گالوانیزه و سطح رطوبتی ۱۲ درصد به میزان ۱۹/۸۴ و بیش‌ترین برای رقم بهرننگ، در سطح تماس بتنی و سطح رطوبتی ۱۸ درصد به میزان ۲۴/۶۳ درجه است. هم‌چنین کم‌ترین ضریب اصطکاک خارجی برای رقم شیرودی، در سطح تماس گالوانیزه و سطح رطوبتی ۱۲ درصد ۰/۱۸۲ و بیش‌ترین برای رقم بهرننگ، در سطح تماس بتنی و سطح رطوبتی ۱۸ درصد ۰/۵۰۳ محاسبه شد. کم‌ترین ضریب اصطکاک داخلی برای رقم شیرودی، در سطح رطوبتی ۱۲ درصد به میزان ۰/۴۱۳ و بیش‌ترین برای رقم بهرننگ، در سطح رطوبتی ۱۸ درصد به میزان ۰/۷۵۴ محاسبه شده است (۶). محققین دیگری نیز در مورد خواص فیزیکی و خواص اصطکاکی محصولات دانه‌ای و کشاورزی مختلف مطالعاتی انجام داده‌اند.

هدف از این تحقیق بررسی خواص اصطکاکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید تحت تاثیر رقم، سطح تماس و رطوبت می‌باشد. با وجود مطالعات فراوانی که در زمینه خواص فیزیکی و اصطکاکی محصولات کشاورزی انجام گردیده است، بررسی منابع نشان داد که اطلاعات کمی در خصوص خواص فیزیکی و اصطکاکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید موجود است. ضمناً هیچی تحقیقی در زمینه مطالعه تاثیر سطوح برزنت، نمد، پلی اتیلن و استیل بر خواص فیزیکی و اصطکاکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید یافت نشد. هم‌چنین در این تحقیق به بررسی و مقایسه خواص فیزیکی و اصطکاکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید پرداخته شده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- تهیه نمونه

به منظور انجام آزمایش، رقم های دم سیاه و فجر سه نمونه ۲۵۰ گرمی از شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید از شمال کشور در زمستان ۱۴۰۱ تهیه شد و به آزمایشگاه خواص فیزیکی منتقل شدند. در ابتدا نمونه‌ها به صورت دستی تمیز شدند تا سنگ، کاه و کثیفی نداشته باشند و سپس الک شده تا دانه‌های شکسته و آسیب دیده از بین بروند. سپس به منظور تعیین رطوبت دانه های شلتوک، برنج قهوه ای و برنج سفید از روش آون گذاری به مدت ۲۴ ساعت با دمای 105 ± 1 درجه استفاده شد. جهت آزمایش در رطوبت بالاتر مقداری آب

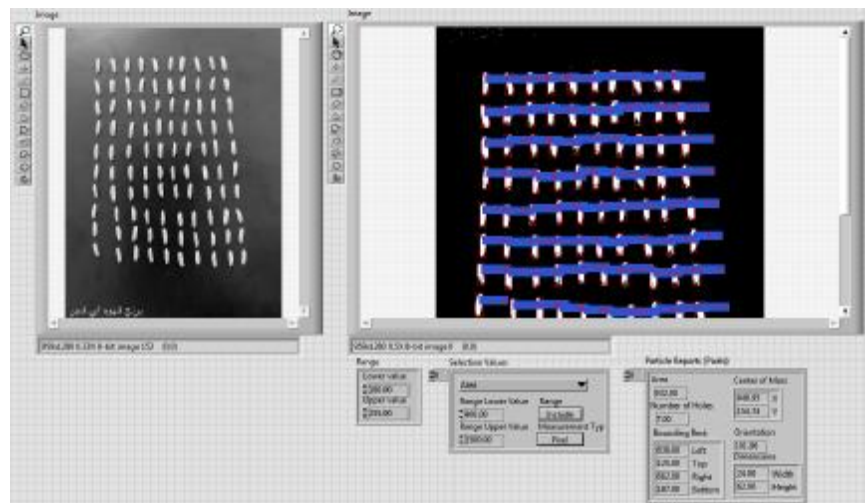
مقطر به نمونه ها اسپری گردید و به مدت یک هفته درون یخچال با دمای ۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند تا به طور یکنواخت رطوبت در نمونه ها توزیع شود. به منظور تعیین مقدار آب مورد نیاز از رابطه (۱) محاسبه استفاده شد (۲۹).

$$Q = \frac{W_i(M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad (1)$$

در رابطه ی (۱)، M_i رطوبت اولیه (درصد)، M_f رطوبت نهایی (درصد)، W_i جرم اولیه نمونه (کیلوگرم) و Q جرم آب اضافه شده (کیلوگرم) است.

۲-۲- اندازه گیری خواص فیزیکی

به منظور اندازه گیری وزن هزار دانه در هر سطح رطوبتی و رقم، وزن ۱۰۰ نمونه در ۱۰ تکرار توسط ترازوی الکترونیکی با دقت ± 0.01 گرم محاسبه شد و ده برابر مقدار بدست آمده به عنوان وزن هزار دانه نمونه ها گزارش شد. ابعاد نمونه با بررسی ابعاد سه محور اصلی شلتوک، برنج قهوه ای و برنج سفید انجام شد. برای این منظور، مقدار ۱۰۰ نمونه از هر دسته به صورت تصادفی انتخاب و سه ابعاد خطی یعنی بیشترین طول، عرض و ضخامت مربوط به هر نوع توسط تصویر برداری و با استفاده از نرم افزار برنامه نویسی Lab view ورژن ۲۰۱۸ اندازه گیری شدند (شکل ۱). در این نرم افزار برای پردازش تصویر از تولکیت Vision development module استفاده شد، ابتدا روی تصاویر Treshold اعمال شد تا تصاویر باینری شوند سپس روش مورفولوژی اعمال شده تا ذرات به صورت جدا از هم شناسایی شوند در نهایت مشخصات هر ذره شامل ابعاد، مساحت و ... روی تصویر نمایش داده شد.



شکل ۱. محیط نرم افزار (Lab view)

قطر متوسط هندسی (D_g)، قطر متوسط حسابی (D_a) و مساحت سطح در سطوح متفاوت رطوبتی و رقم مورد مطالعه به ترتیب توسط معادله (۲)، (۳) و (۴) محاسبه شدند:

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (۲)$$

$$D_a = \left(\frac{L+W+T}{3} \right) \quad (۳)$$

$$S = \pi D_g^2 \quad (۴)$$

معیاری که برای توصیف شکل مواد کشاورزی عموماً بکار گرفته می‌شود ضریب کرویت^۱ می‌باشد کرویت به عنوان نسبت سطح یک کره به مساحت سطح تعریف می‌شود (۲۸). که از رابطه (۵) محاسبه شد (۱۸). همچنین در این تحقیق از ضریب رعنائی (نسبت ابعاد) که از رابطه (۶) به دست می‌آید به عنوان معیار دیگری برای بررسی شکل و طبقه بندی مواد کشاورزی استفاده می‌شود:

$$\varphi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (۵)$$

$$Ra = \left(\frac{W}{L} \right) \quad (۶)$$

^۱ Sphericity

در رابطه (۵) و (۶)، W ، L و T به ترتیب طول، عرض و ضخامت نمونه (میلی متر) است.

۲-۳- اندازه گیری خواص اصطکاکی

و با توجه به اینکه در تحقیقات مشابه روی یک سری سطوح تماس مشخص کار شده و امروزه در صنعت کاربردی ندارند لذا در

این تحقیق از سطح تماس جدیدی شامل پارچه نمدی، برزنت، پلی اتیلن و ورق استیل استفاده شد. ضریب اصطکاک استاتیکی (μ)^۱ در هر محدوده رطوبتی و رقم مورد نظر، بر روی این سطوح، اندازه گیری شدند. به منظور تعیین این ضریب، از یک سیلندر استوانه شکل استفاده شد. سیلندر روی سطحی با جنس مشخص که شیب آن توسط یک پیچ تنظیم می شود قرار گرفت. سپس دانه ها شلتوک، برنج قهوه ای و برنج سفید در داخل آن ریخته شده و سیلندر به آرامی بالا آورده شد، به طوری که با سطح شیب دار تماس نداشته و فقط نمونه ها با سطح شیب دار تماس پیدا کنند. آن گاه شیب سطح شیب دار به تدریج افزایش داده شد تا جایی که سیلندر حاوی نمونه ها شروع به سر خوردن کند. در این لحظه، زاویه سطح شیب دار خوانده شد (۳۰، ۲۰، ۱۶). در نهایت، ضریب اصطکاک استاتیکی از رابطه (۷) تعیین شد (۲۲):

$$\mu = \left(\arctan \frac{b}{a} \right) \quad (7)$$

برای تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی^۲ شلتوک، برنج قهوه ای و برنج سفید از یک نیروسنج، نگه دارنده نیروسنج، پایه اصلی، یک استوانه و یک نخ جهت وصل کردن استوانه به نیروسنج استفاده شد نمونه ها به داخل استوانه ریخته شدند. استوانه با نخ به قلاب نیروسنج وصل شد و نیروی لازم برای شروع حرکت استوانه توسط نیروسنج ثبت شد با تقسیم این نیرو بر نیروی عمود دیواره بر سطح تماس ضریب اصطکاک دینامیکی طبق رابطه (۸) محاسبه شد (۲۲):

$$\mu_k = \frac{F}{N} \quad (8)$$

زاویه استقرار، مشخصه مناسبی از میزان جریان پذیری یک محصول بوده و به طور کلی هر چه زاویه استقرار کوچک تر باشد، محصول راحت تر جریان می یابد به طور معمول با افزایش درصد رطوبت غلات، میزان زاویه استقرار افزایش می یابد (۱۰). به منظور

¹ Static coefficient of friction

² Dynamic coefficient of friction

اندازه‌گیری زاویه استقرار استاتیکی^۱ از یک استوانه بدون سر و ته استفاده شد ابتدا استوانه را از نمونه پر کردیم هم‌زمان سیلندر به آرامی تکان داده تا یکنواخت پخش شوند و تاثیر دیواره استوانه به حداقل برسد، سپس به آرامی استوانه را بلند کردیم تا نمونه کپه طبیعی تشکیل دهند. در نهایت ارتفاع بلندترین نقطه کپه (H) و قطر کپه (D) مورد نظر اندازه‌گیری شد و مطابق رابطه (۹) زاویه پر کردن محاسبه شد (۴، ۲۱، ۱۵، ۸):

(۹)

$$\beta = \text{Arctan}(2H/D)$$

برای اندازه‌گیری زاویه استقرار دینامیکی^۲ از یک مخزن مکعبی از جنس چوب بدون سرپوش با درب کشویی استفاده شد، پس از پر شدن مخزن از نمونه مورد نظر، درب مخزن را باز کرده و پس از سرازیر شدن نمونه‌ها و تشکیل کپه، زاویه استقرار دینامیکی از اندازه‌گیری بلندترین ارتفاع (H) و طول کپه (X) طبق رابطه (۱۰) محاسبه شد (۳۱، ۳):

$$\theta = \text{Arctan}(H/X) \quad (10)$$

۲-۴- محاسبات آماری

در این تحقیق ابتدا ضرایب اصطکاک ایستایی و دینامیکی و زاویه استقرار استاتیکی و دینامیکی در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کامل تصادفی در پنج تکرار انجام شد سپس با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه میانگین‌ها آن‌ها بررسی گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab انجام شد. و معادله خط و رگرسیون توسط نرم‌افزار Excel 2019 به دست آمدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- وزن هزار دانه

تغییرات وزن هزار دانه نمونه‌های برنج مورد مطالعه دم سیاه و فجر، در محدوده رطوبتی ۱۵٪ تا ۲۳٪ در جدول ۱ و ۲ آمده است. وزن هزار دانه با افزایش رطوبت برای شلتوک رقم دم سیاه از ۲۳/۸۷ تا ۲۵/۹۶ و برای برنج قهوه‌ای از ۲۲/۴۱ تا ۲۳/۸۷ و برنج سفید از

¹ Static angle of repose

² Dynamic angle of repose

۱۹/۸۸ تا ۲۱/۴۷ همچنین برای رقم فجر شلتوک از ۲۱/۱۷ تا ۲۴/۳۱ و برای برنج قهوه‌ای از ۱۹/۱۶ تا ۲۰/۸۷ و برنج سفید از ۱۵/۴۷ تا ۱۷/۱۳ به دست آمد. وزن هزاردانه برای گندم سبز را در دامنه رطوبت ۹/۳٪ تا ۴۱/۵٪ را از ۳۲ تا ۵۲ گرم به دست آوردند و نشان دادند که با افزایش رطوبت وزن هزاردانه نیز افزایش می‌یابد (۸). مقادیر جرم هزار دانه کلزا در رطوبت ۴/۷۰٪ و ۲۳/۹۶٪ بین ۵/۱۰ و ۶/۳۶ گرم گزارش کردند (۱۲).

۳-۲- ابعاد

از نتایج پیداست که با افزایش رطوبت از ۱۵٪ تا ۲۳٪ خصوصیات ابعادی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید شامل طول، عرض و ضخامت برای هر نوع در هر رقم افزایش داشته است بنابراین به هنگام جذب رطوبت در مراحل فرآوری برنج، باعث افزایش در طول، عرض و ضخامت برنج می‌شود از طرف دیگر تغییرات طول، عرض و ضخامت دانه های برنج با پارامترهای مختلف نظیر رطوبت، اندازه و رقم در طراحی ماشین های پوست کن مهم هستند چون نیروی ضربه ای که ماشین پوست کن ایجاد می‌کند و باعث شکستن پوست دانه می‌شود. تا حد زیادی به اندازه دانه ها بستگی دارد. این ابعاد در تعیین اندازه دیافراگم ماشین ها، به ویژه برای جداسازی مواد مختلف که توسط (۲۴) بحث شده است، نتایج این تحقیق با مطالعات قبلی تطابق دارد. میانگین قطر حسابی و هندسی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید در هر واریته با افزایش رطوبت به صورت خطی افزایش یافتند. نتایج مشابهی را برای سویا گزارش شده. نتایج ارزیابی خصوصیات ابعادی دانه ها نشان داد که بیشترین و کمترین درصد افزایش در اثر افزایش رطوبت به ترتیب مربوط به طول و ضخامت می‌باشد (۱۵). جدول ۱ و ابعاد شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید را در رطوبت‌های ۱۵٪، ۱۸٪ و ۲۳٪ نشان می‌دهند.

جدول ۱. تغییرات شاخص‌های فیزیکی در تیمارهای مختلف در رقم دم سیاه

تیمار	وزن هزار دانه (g)	طول (mm)	عرض (mm)	ضخامت (mm)	قطر حسابی	قطر هندسی	کرویت	رعنایی	سطح	زاویه ریپوز	زاویه ریپوز دینامیکی
A1	۲۳/۸۷	۹/۹۵	۲/۲۶	۱/۸۹	۴/۷	۳/۴۸	۰/۳۵	۰/۲۲	۳۸/۲۴	۲۱/۳	۲۳/۲۲
A2	۲۴/۴۳	۱۰/۰۹	۲/۳۲	۱/۹۳	۴/۷۸	۳/۵۶	۰/۳۵	۰/۲۳	۳۹/۸۳	۲۳/۹۸	۲۶/۴۷
A3	۲۵/۹۶	۱۰/۱۵	۲/۴۴	۱/۹۶	۴/۸۵	۳/۶۴	۰/۳۶	۰/۲۴	۴۱/۷۸	۲۶/۸۸	۳۱/۲۸
B1	۲۲/۴۱	۸/۱	۲/۰۶	۱/۷۸	۳/۹۸	۳/۰۹	۰/۳۸	۰/۲۵	۳۰/۱۱	۱۹/۱۲	۲۱/۰۹
B2	۲۲/۵۹	۸/۴	۲/۱	۱/۸۹	۴/۱۳	۳/۲۱	۰/۳۸	۰/۲۵	۳۲/۵۲	۲۲/۵۱	۲۳/۷۱
B3	۲۱/۴۷	۸/۶۳	۲/۳۸	۱/۹۱	۴/۳	۳/۳۹	۰/۳۸	۰/۲۷	۳۶/۲۵	۲۴/۰۱	۲۶/۴۴

۱۹/۹۳	۱۵/۳۴	۲۸/۳	.۲۵	.۳۸	۳	۳/۸۴	۱/۷۷	۱/۹۶	۷/۸	۱۹/۸۸	C1
۲۰/۳۶	۱۷/۳۱	۳۰/۶۹	.۲۵	.۳۹	۳/۱۲	۳/۹۸	۱/۸۳	۲/۰۸	۸/۰۳	۲۰/۶۴	C2
۲۲/۸۱	۲۱/۱۹	۳۴/۵۴	.۲۸	.۴۰	۳/۳۱	۳/۱۴	۱/۸۶	۲/۳۳	۸/۲	۲۱/۴۷	C3

A شلتوک ، B برنج قهوه‌ای ، C برنج سفید

جدول ۲. تغییرات شاخص‌های فیزیکی در تیمارهای مختلف در رقم فجر

تیمار	وزن هزار دانه (g)	طول (mm)	عرض (mm)	ضخامت (mm)	قطر حسابی	قطر هندسی	کرویت	رعنایی	سطح	زاویه ریپوز ایستایی	زاویه ریپوز دینامیکی
A1	۲۱/۱۷	۱۰/۱۵	۲/۱۳	۱/۹۴	۴/۷۴	۳/۴۷	۰/۳۴	۰/۲۰	۳۷/۹	۲۵/۹۹	۲۷/۸۵
A2	۲۲/۲۴	۱۰/۱۹	۲/۱۹	۱/۹۴	۴/۷۷	۳/۵۱	۰/۳۴	۰/۲۱	۳۸/۷۱	۲۷/۶۴	۳۰/۰۴
A3	۲۴/۳۱	۱۰/۲۳	۲/۲۴	۱/۹۶	۴/۸۱	۳/۵۵	۰/۳۵	۰/۲۲	۳۹/۶۷	۳۱/۰۳	۳۵/۲۵
B1	۱۹/۱۶	۸/۱۱	۱/۹۱	۱/۷۶	۳/۹۲	۳	۰/۳۷	۰/۲۳	۲۸/۴۲	۲۳/۸۸	۲۴/۶۲
B2	۲۰/۳۵	۸/۱۸	۱/۹۷	۱/۷۶	۳/۹۷	۳/۰۴	۰/۳۷	۰/۲۴	۲۹/۲	۲۵/۱۱	۲۶/۲۵
B3	۲۰/۸۷	۸/۲۳	۲/۰۲	۱/۷۸	۴/۰۱	۳/۰۹	۰/۳۸	۰/۲۵	۳۰/۰۴	۲۶/۵۹	۲۹/۴۶
C1	۱۵/۴۷	۷/۱۲	۱/۶۹	۱/۶۵	۳/۴۸	۲/۷	۰/۳۸	۰/۲۳	۲۳/۰۲	۱۹/۶۷	۲۲/۰۴
C2	۱۶/۴۹	۷/۱۶	۱/۷۸	۱/۶۶	۳/۵۳	۲/۷۶	۰/۳۹	۰/۲۴	۲۴/۱	۲۲/۹۶	۲۴/۰۹
C3	۱۷/۱۳	۷/۲۳	۱/۹۳	۱/۶۹	۳/۶۱	۲/۸۶	۰/۴	۰/۲۶	۲۵/۸۲	۲۴/۳۸	۲۶/۳۴

A شلتوک ، B برنج قهوه‌ای ، C برنج سفید

۳-۳- کرویت و ضریب رعنایی

از جدول ۱ پیداست که کرویت برنج سفید وارسته دم سیاه بیشترین مقدار به دست آمد. اختلاف نتایج، مربوط به ساختار سلولی، شرایط محیطی و رشد دانه های برنج می‌باشد. به طور کلی، ارزش کروی شالیزار کمتر از رقم برنج مربوطه آنها بود، زیرا ممکن است به دلیل وجود ریشک در دو انتهای شالیزار باشد که به طول شالیزار کمک می کند و طول بر روی مقدار کروی بودن اثر معکوس دارد کرویت و ضریب رعنایی جزو معیارهای تعیین شکل به شمار می‌روند و توصیف قابل درکی از شکل نمونه را ارائه می‌دهند. به هر حال شکل دانه ها، غلتش آنها را روی سطح تعیین می کند شکل صاف دانه آنها را قادر می سازد که سر بخورند و این خصوصیت در ساخت ناودانی و طراحی پوست کن ها مهم است. در مبحث انتقال دانه به منظور سیلو کردن، کاشت و یا دیگر فرآیندهای دانه‌های برنج باید رطوبت دانه ها را در حداقل مقدار تثبیت نمود. نتایج مشابهی برای سه رقم برنج قهوه‌ای و برنج سفید (هاشمی، علی کاظمی و طارم)

ضریب رعنائی گزارش شده و بیشترین ضریب رعنائی ۳/۹۱ در رقم هاشمی بوده است (۵). با افزایش طول برنج قهوه‌ای ضایعات در مرحله تبدیل افزایش می‌یابد. تحقیقات نشان می‌دهد که کیفیت برنج با افزایش ضریب رعنائی کاهش می‌یابد (۲۴). عملکرد برنج سالم به عواملی مانند رقم، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن و شرایط دستگاه‌های تبدیل بستگی دارد (۳۵). محدوده تغییر ضریب کرویت برای دانه و مغز آفتابگردان از ۵۲٪ تا ۶۸٪ ارائه شده (۲۳). مرا و همکاران ضریب کرویت برای شلتوک را کمتر از برنج قهوه‌ای گزارش دادند (۲۶).

۳-۴- سطح مقطع

سطح مقطع نمونه (دانه‌های شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید) معمولاً نشان‌دهنده الگوی رفتاری نمونه در یک سیال در حال حرکت مانند هوا می‌باشد و در بعضی فرآیندها نظیر جداسازی ناخالصی‌ها از مواد اصلی در خلال عملیات تمیزسازی توسط وسایل نیوماتیکی استفاده می‌شود. براساس مقادیر ارائه شده سطح مقطع دانه شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید در جدول ۱ و ۲ میانگین سطح مقطع برنج‌های مورد مطالعه با افزایش رطوبت از ۱۳٪ تا ۲۳٪ به صورت خطی افزایش یافتند. در بین واریته‌های مورد مطالعه، بیشترین و کمترین مقدار سطح مقطع برای دانه شلتوک ۳۷/۹ و ۴۱/۷۸ به دست آمد و حداقل و حداکثر مقدار برای برنج قهوه‌ای ۲۸/۴۲ و ۳۶/۲۵ نتیجه شد و کمترین و بیشترین برای برنج سفید ۲۳/۰۲ و ۳۴/۵۴ به دست آمد. در تحقیقی مشابه مساحت سطح را برای زرشک ۱۷/۸۹ تا ۱۷۳/۹۹ میلی متر مربع گزارش شده است (۷).

۳-۵- ضریب اصطکاک

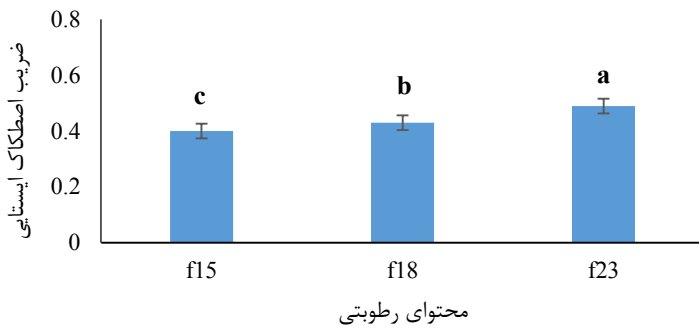
همانطور که مشاهده می‌شود ضریب اصطکاک با افزایش رطوبت بر روی تمام سطوح مورد آزمایش افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی سطح نمد مشاهده شد که به دلیل پارچه‌ای بودن آن است و رطوبت را جذب می‌کند و کمترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی سطح استیل به دست آمد.

۳-۵-۱- نمد

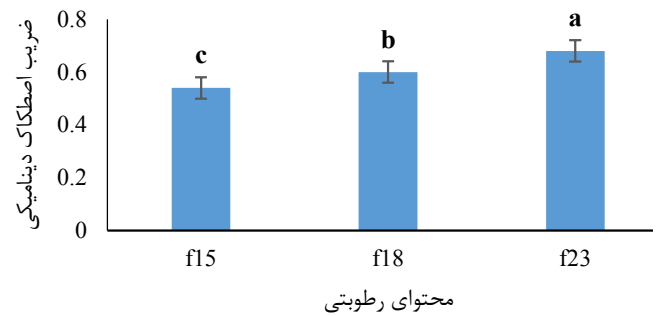
شکل‌های ۲ و ۳ مقدار تغییرات میانگین ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید برای هر دو رقم دم‌سیاه و فجر را در محدود رطوبتی ۱۵٪ تا ۲۳٪ روی سطح نمد ارائه می‌دهند. پیداست که با افزایش رطوبت نمونه‌ها ضرایب اصطکاک نمونه‌ها نیز افزایش می‌یابد، تغییرات ضریب اصطکاک ایستایی برای رقم دم‌سیاه، شلتوک از ۴٪ تا ۴۹٪، برنج قهوه‌ای از

۰/۳۶ تا ۰/۴۱. و برنج سفید از ۰/۲۹ تا ۰/۳۷ همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۰/۴۱ تا ۰/۴۸، برنج قهوه‌ای از ۰/۳۷ تا ۰/۴۳ و برنج سفید از ۰/۳۲ تا ۰/۴۱ به دست آمد. همچنین تغییرات ضریب اصطکاک دینامیکی برای رقم دم سیاه، شلتوک از ۰/۵۴ تا ۰/۶۸، برنج قهوه‌ای از ۰/۴۷ تا ۰/۶۲. و برنج سفید از ۰/۴۴ تا ۰/۵۹ همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۰/۵۹ تا ۰/۷۵، برنج قهوه‌ای از ۰/۵۲ تا ۰/۶۶ و برنج سفید از ۰/۴۴ تا ۰/۵۲ نتیجه شد با بررسی داده‌های این اشکال مشاهده می‌شود که شلتوک رقم های مذکور از ضرایب اصطکاک بیشتری نسبت به دانه برنج قهوه‌ای و برنج سفید برخوردار بودند. در تحقیقی مشابه این برتری ضریب شلتوک به دانه های برنج گزارش شده است (۲۵).

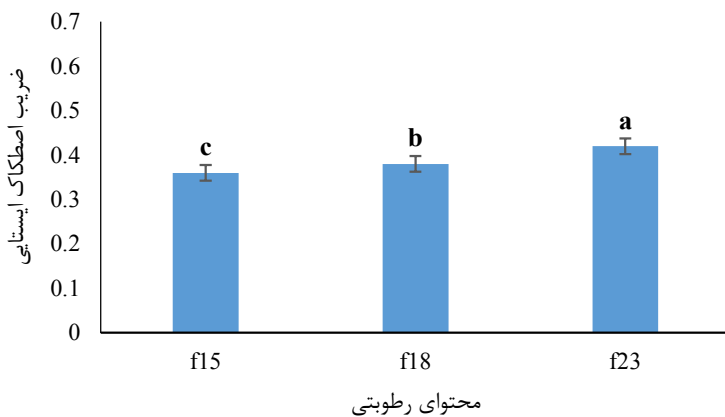
شلتوک



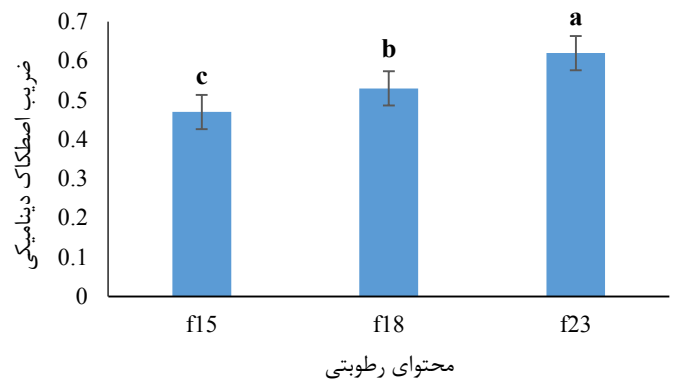
شلتوک

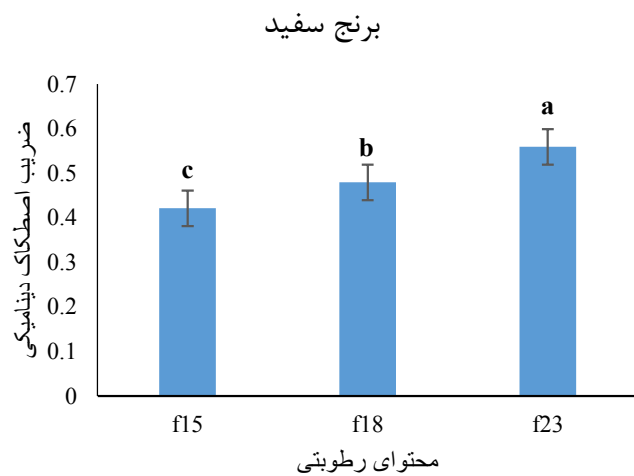
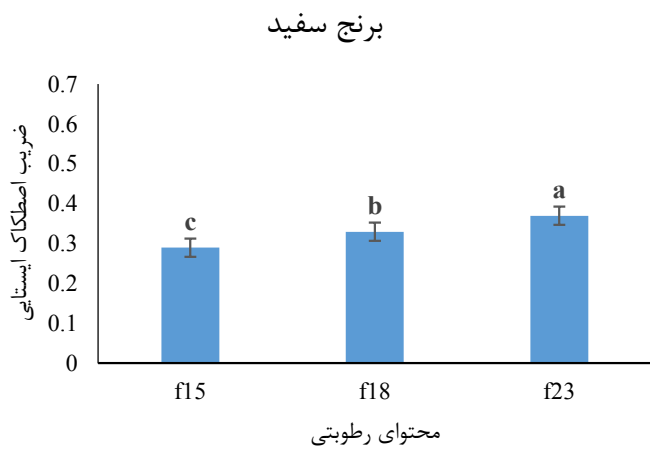


برنج قهوه‌ای

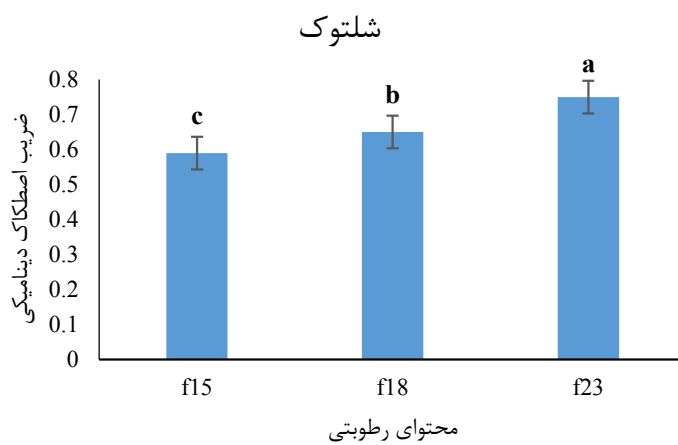
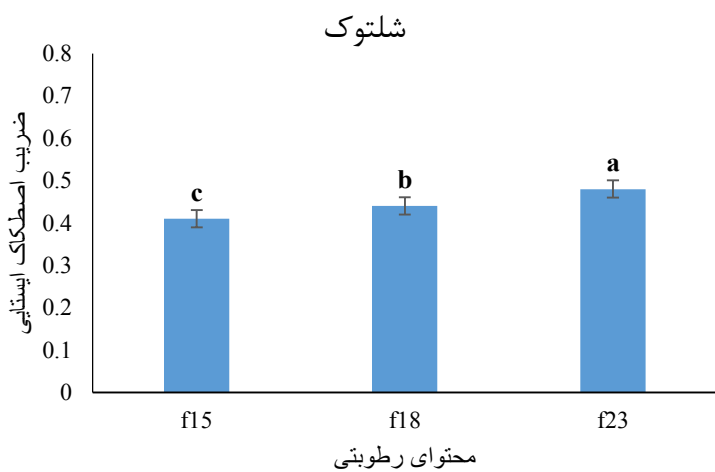


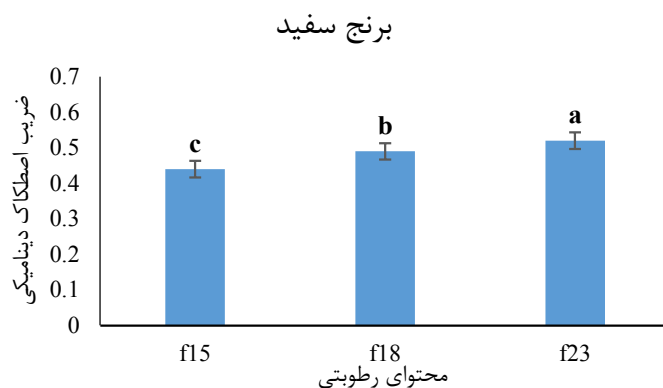
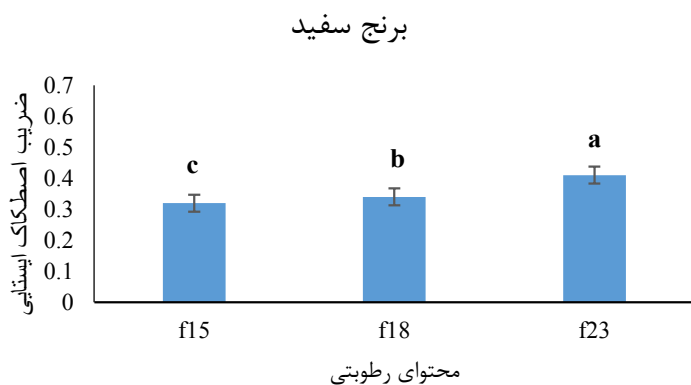
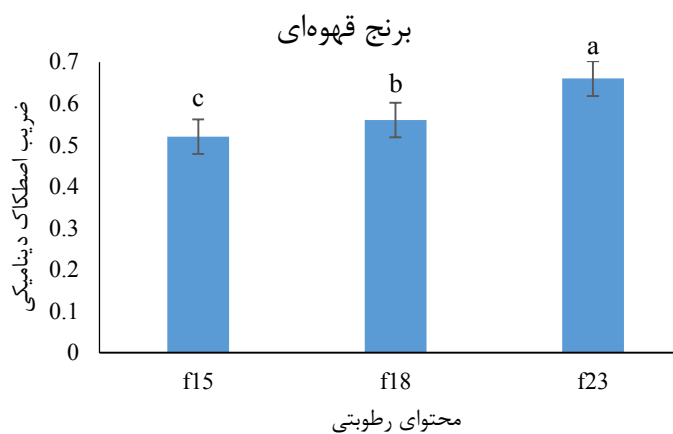
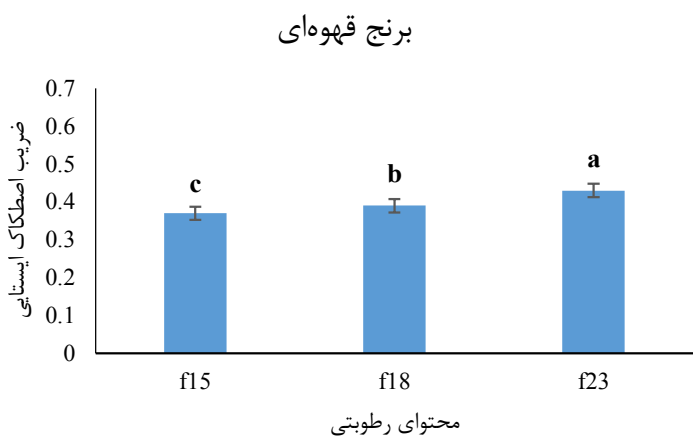
برنج قهوه‌ای





شکل ۲. اثر رطوبت بر ضرایب اصطکاک رقم دم سیاه بر روی سطح نمد



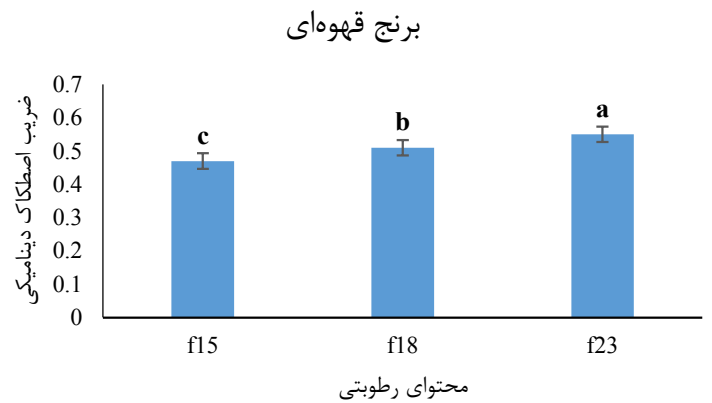
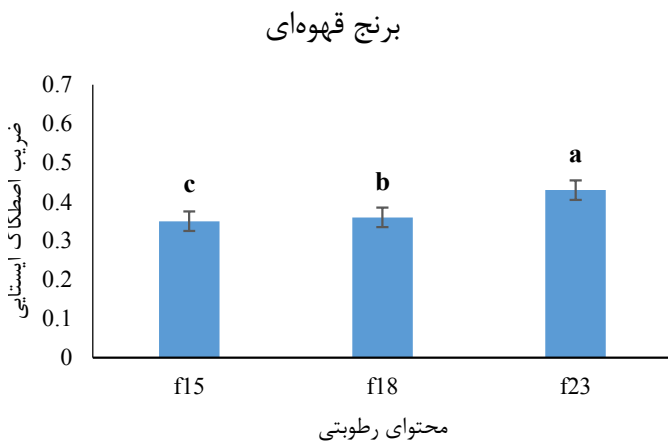
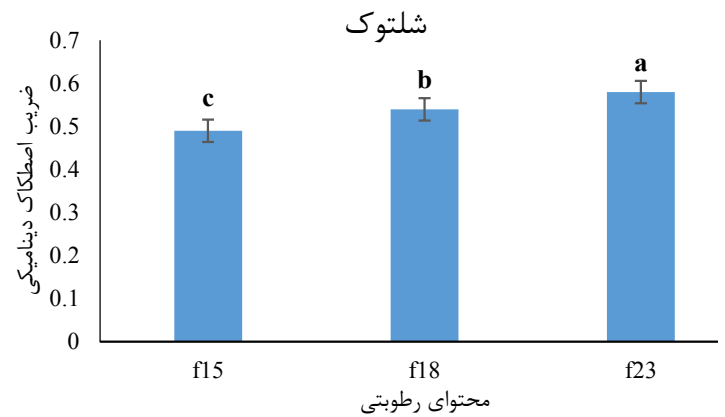


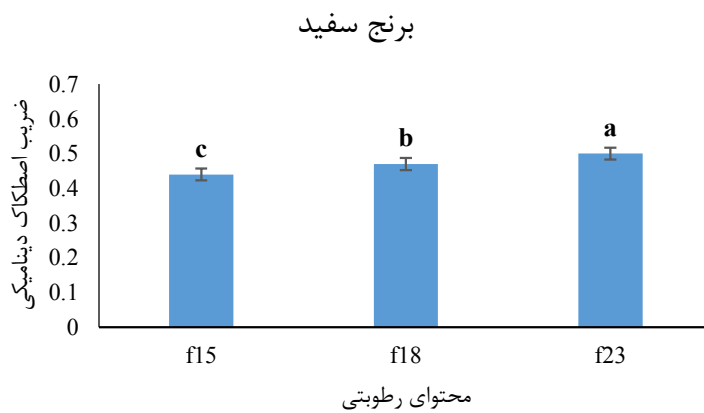
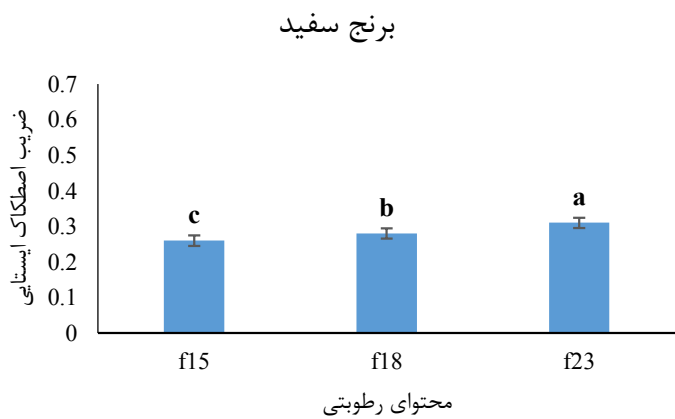
شکل ۳. اثر رطوبت بر ضرایب اصطکاک رقم فجر بر روی سطح نمد

۳-۵-۲-۲- بوزنت

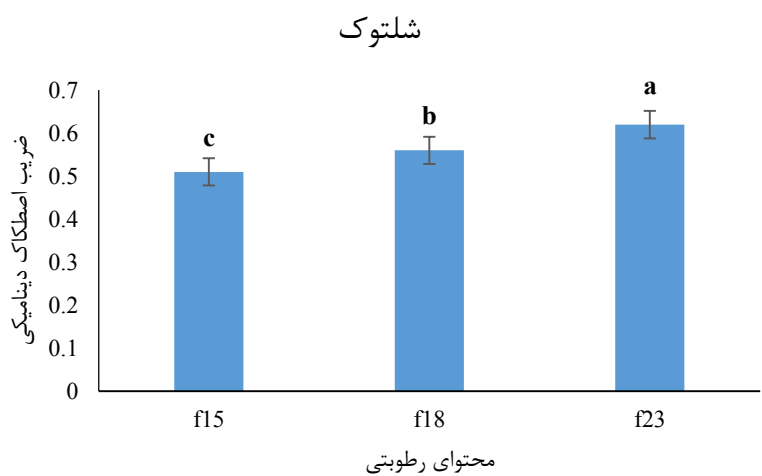
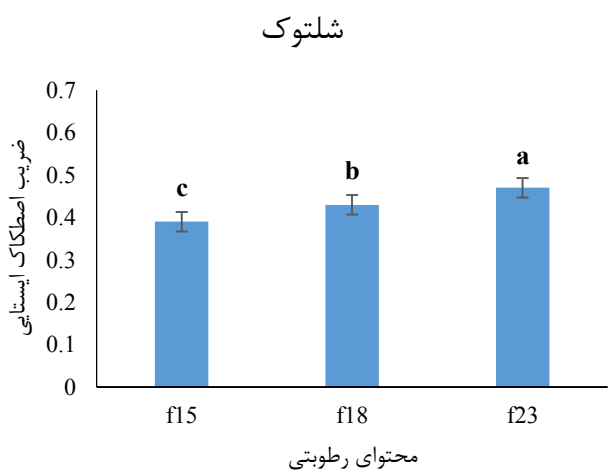
تغییرات ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید مورد مطالعه با تغییرات افزایش خطی مقادیر میانگین ضرایب اصطکاک استاتیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید هر دو رقم مورد بحث با رطوبت روی سطح بوزنت در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. نتایج حاصله از این شکل‌ها، افزایش ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید را با رطوبت بیان می‌کند. داده‌های به دست آمده از ضرایب اصطکاک شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید روی سطح بوزنت همانند نتایج به دست آمده بر روی سطح نمد بیشترین مقدار ضریب اصطکاک استاتیکی شلتوک نسبت به برنج قهوه‌ای و برنج سفید نشان داد. محدوده تغییرات ضریب اصطکاک استاتیکی رقم دم سیاه، شلتوک از ۰/۴۳ تا ۰/۵۱، برنج قهوه‌ای از ۰/۳۵ تا ۰/۴۳

و برنج سفید از ۰/۲۶ تا ۰/۳۱ و همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۰/۳۹ تا ۰/۴۷، برنج قهوه‌ای از ۰/۲۹ تا ۰/۳۵ و برنج سفید از ۰/۲۶ تا ۰/۳۱ نتیجه شد. و همچنین تغییرات ضریب اصطکاک دینامیکی رقم دم سیاه، شلتوک از ۰/۴۹ تا ۰/۵۸، برنج قهوه‌ای از ۰/۴۷ تا ۰/۵۵ و برنج سفید از ۰/۴۴ تا ۰/۵۰ و همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۰/۵۱ تا ۰/۶۲، برنج قهوه‌ای از ۰/۴۴ تا ۰/۵۳ و برنج سفید از ۰/۳۸ تا ۰/۴۸ نتیجه شد. با ملاحظه معادلات رگرسیون شکل روشن می‌شود که رطوبت بیشترین تاثیر را بر شلتوک رقم و کمترین تاثیر بر برنج سفید رقم می‌گذارد.

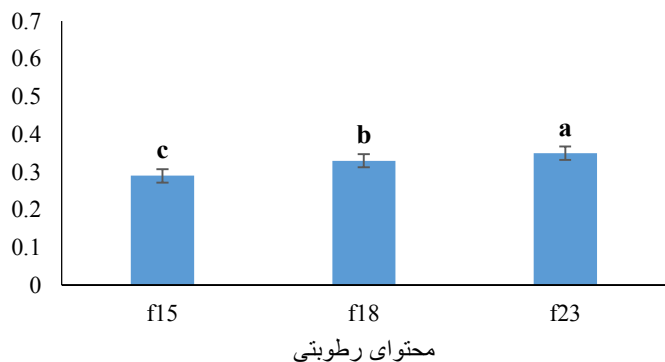




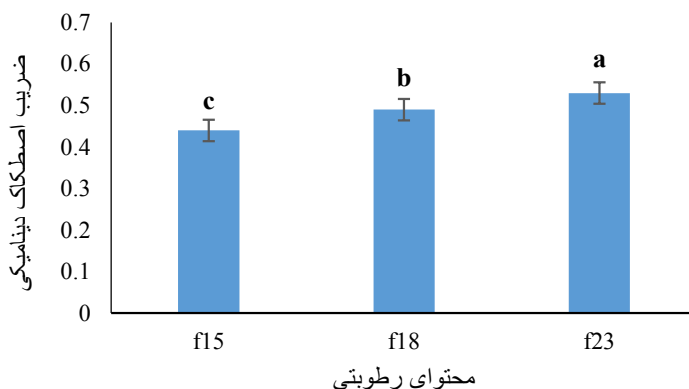
شکل ۴. اثر رطوبت بر ضرایب اصطکاک رقم دم سیاه بر روی سطح برزنت



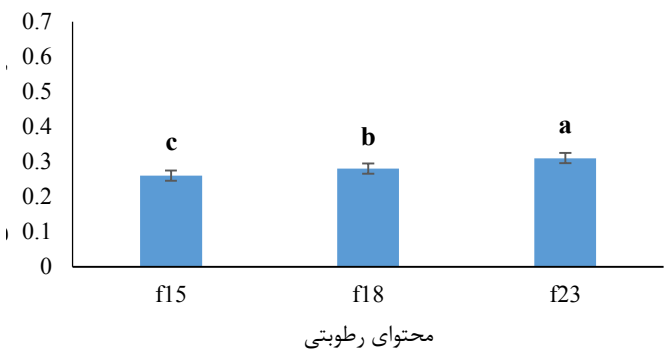
برنج قهوه‌ای



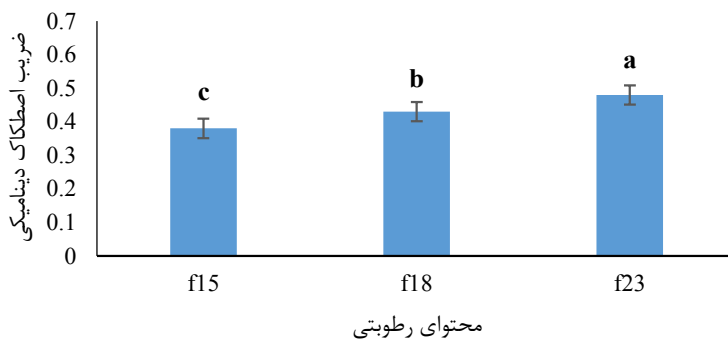
برنج قهوه‌ای



برنج سفید



برنج سفید



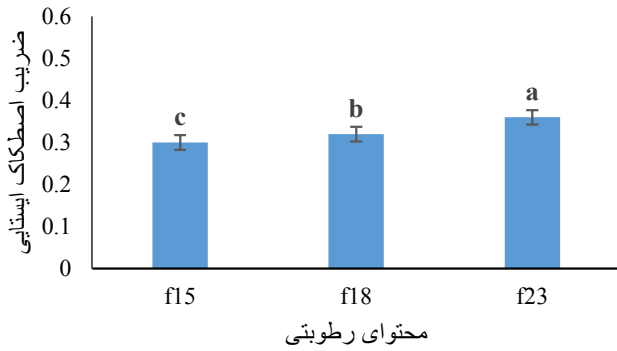
شکل ۵. اثر رطوبت بر ضرایب اصطکاک رقم فجر بر روی سطح برزنت

۳-۵-۳- پلی اتیلن

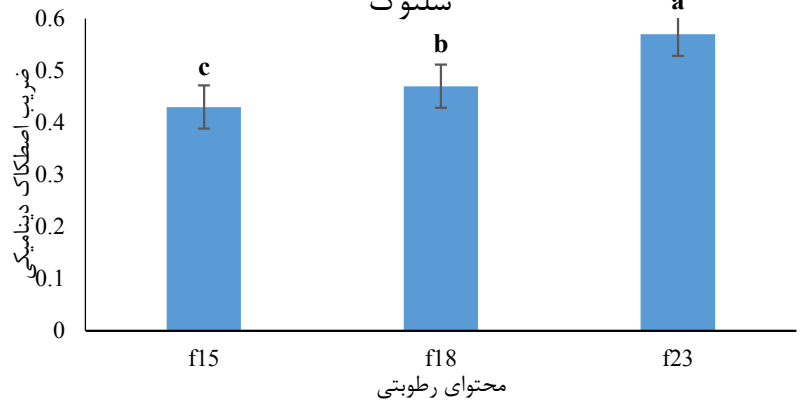
تغییرات ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید مورد مطالعه با تغییرات رطوبت روی سطح پلی اتیلن در شکل ۶ا و ۷ آورده شده است با توجه به شکل‌ها ضرایب اصطکاک ایستایی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید روی سطح پلی اتیلن با افزایش رطوبت افزایش خطی داشت. محدوده تغییرات ضرایب اصطکاک ایستایی برای رقم دم سیاه، شلتوک از ۰/۳ تا ۰/۳۶، برنج قهوه‌ای از ۰/۲۳ تا ۰/۳۱ و برنج سفید از ۰/۱۹ تا ۰/۲۶ همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۰/۲۳ تا ۰/۳۲، برنج قهوه‌ای از ۰/۱۹ تا ۰/۲۷ و برنج سفید از ۰/۱۷ تا ۰/۲۴ به دست آمد. تغییرات ضرایب اصطکاک دینامیکی برای رقم دم سیاه، شلتوک

از ۰/۴۹ تا ۰/۶۸ ، برنج قهوه‌ای از ۰/۳۳ تا ۰/۴۸ و برنج سفید از ۰/۲۸ تا ۰/۴۲ همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۰/۳۳ تا ۰/۴۲ ، برنج قهوه‌ای از ۰/۲۳ تا ۰/۳۳ و برنج سفید از ۰/۲۱ تا ۰/۲۹ به دست آمد با ملاحظه معادلات رگرسیون شکل روشن می‌شود که رطوبت بیشترین تاثیر را بر شلتوک رقم و کمترین تاثیر بر برنج سفید رقم می‌گذارد.

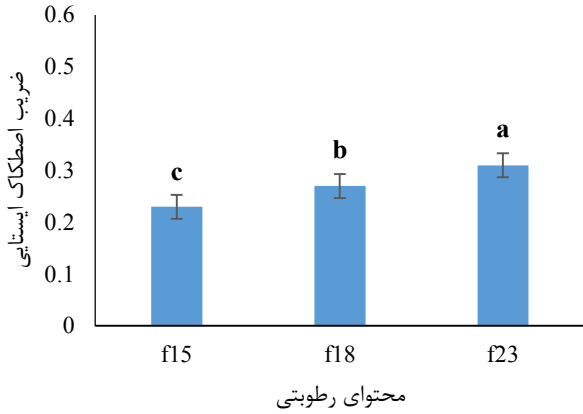
شلتوک



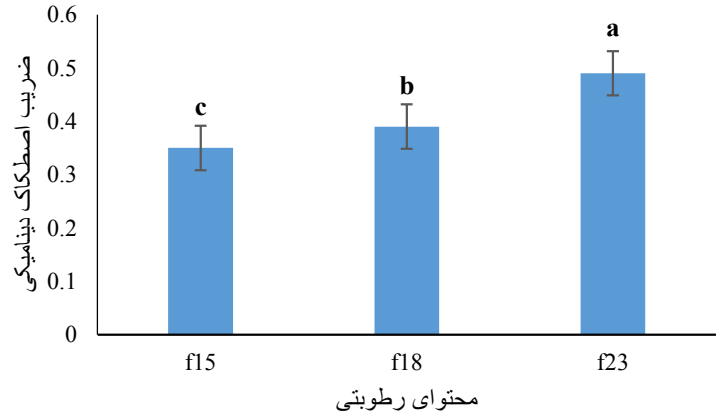
شلتوک



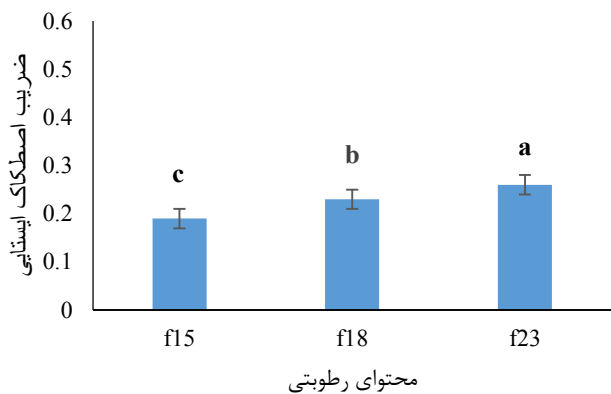
برنج قهوه‌ای



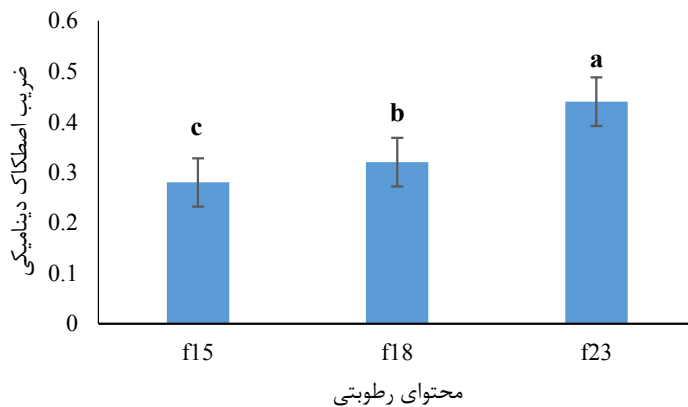
برنج قهوه‌ای



برنج سفید

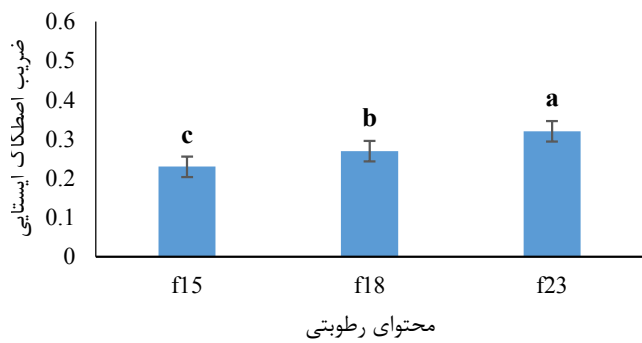


برنج سفید

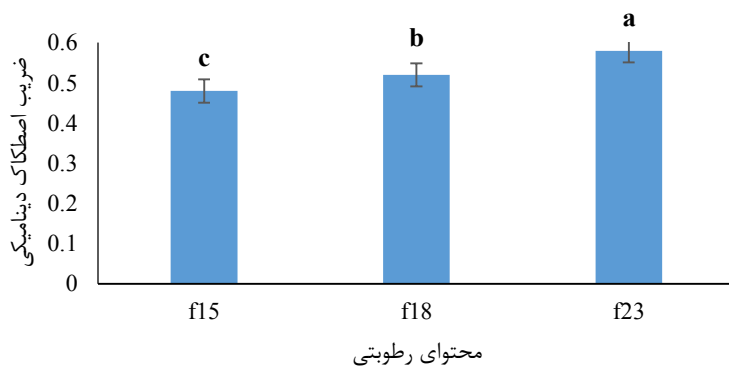


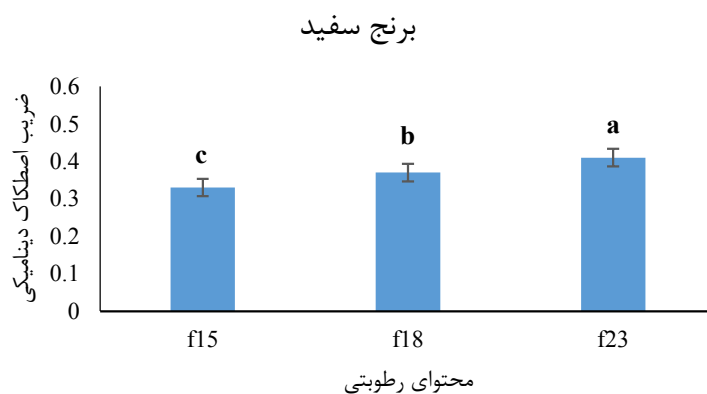
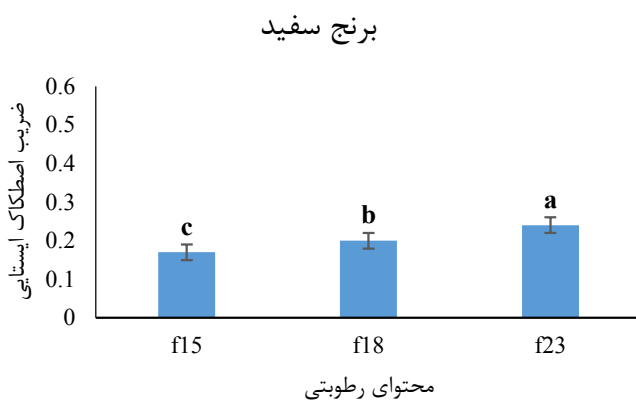
شکل ۶. اثر رطوبت بر ضرایب اصطکاک رقم دم سیاه بر روی سطح پلی اتیلن

شلتوک



شلتوک



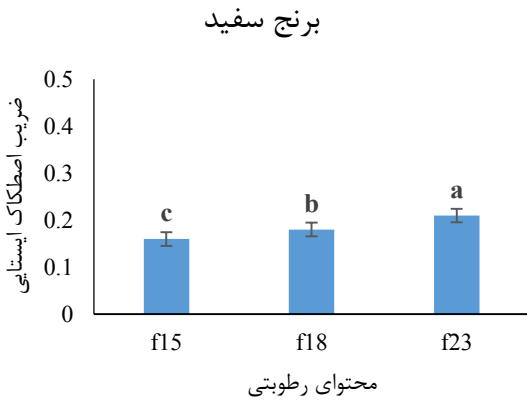
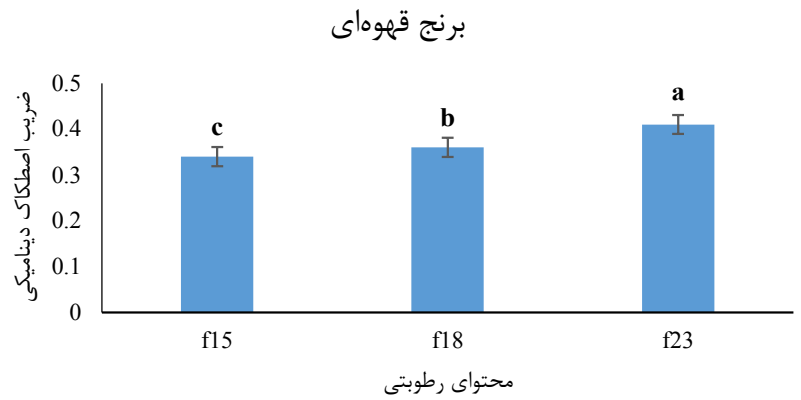
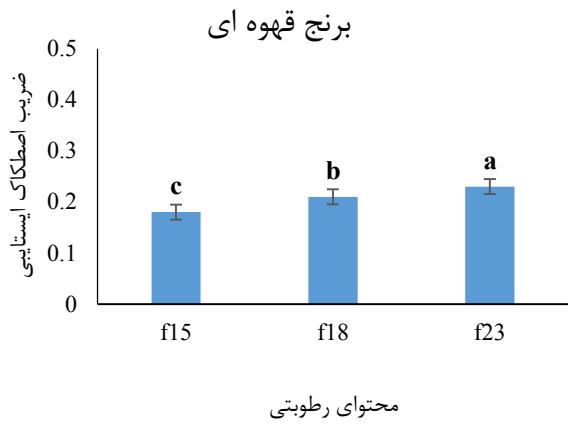
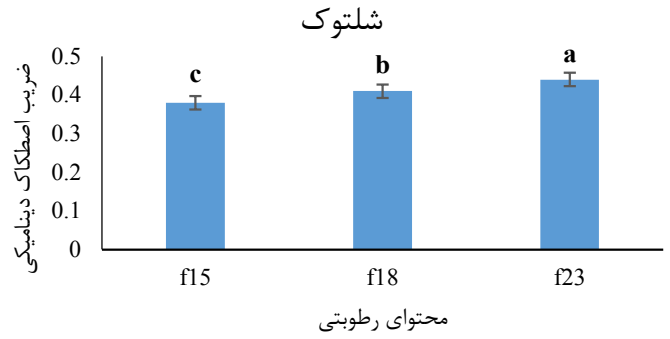
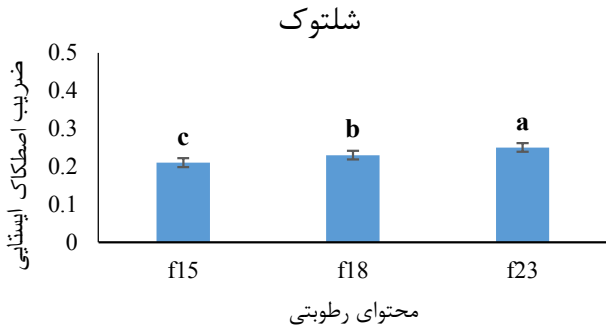


شکل ۷. اثر رطوبت بر ضرایب اصطکاک رقم فجر بر روی سطح پلی اتیلن

۳-۵-۴- استیل

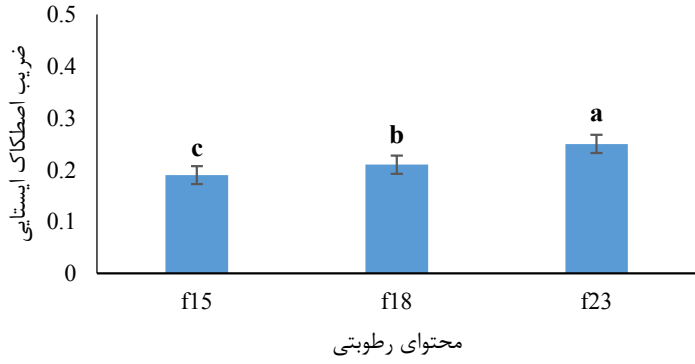
محدوده تغییرات ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج با رطوبت ورقم روی سطح استیل در شکل های ۸ و ۹ نشان داده شده اند. با افزایش رطوبت از ۱۵٪ تا ۲۳٪ ضریب اصطکاک ایستایی در رقم دم سیاه، شلتوک از ۰/۲۱ تا ۰/۲۵، برنج قهوه‌ای از ۰/۱۸ تا ۰/۲۳ و برنج سفید از ۰/۱۶ تا ۰/۲۱ و همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۰/۱۹ تا ۰/۲۵، برنج قهوه‌ای از ۰/۱۷ تا ۰/۲۲ و برنج سفید از ۰/۱۶ تا ۰/۲ به دست آمد. تغییرات ضرایب اصطکاک دینامیکی برای رقم دم سیاه، شلتوک از ۰/۳۸ تا ۰/۴۱، برنج قهوه‌ای از ۰/۳۴ تا ۰/۴۱ و برنج سفید از ۰/۳ تا ۰/۳۷ و همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۰/۳۴ تا ۰/۴۱، برنج قهوه‌ای از ۰/۲۶ تا ۰/۳۳ و برنج سفید از ۰/۲۳ تا ۰/۲۹ به دست آمد سطح استیل نیز همانند سطوح قبل مقدار بیشتری را برای ضریب اصطکاک شلتوک

نسبت به برنج قهوه‌ای و برنج سفید نشان داد. با ملاحظه معادلات رگرسیون شکل روشن می‌شود که رطوبت بیشترین تاثیر را بر شلتوک رقم و کمترین تاثیر بر برنج سفید رقم می‌گذارد.

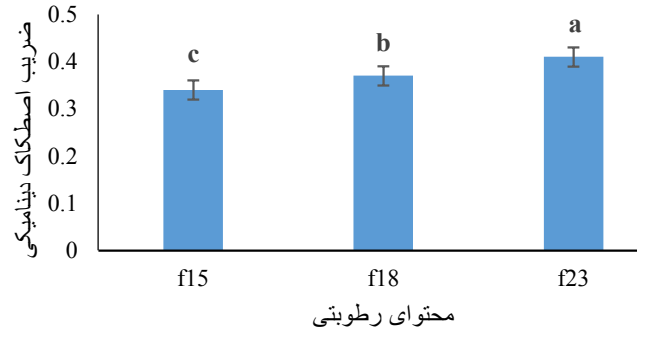


شکل ۸. اثر رطوبت بر ضرایب اصطکاک رقم دم سیاه بر روی سطح استیل

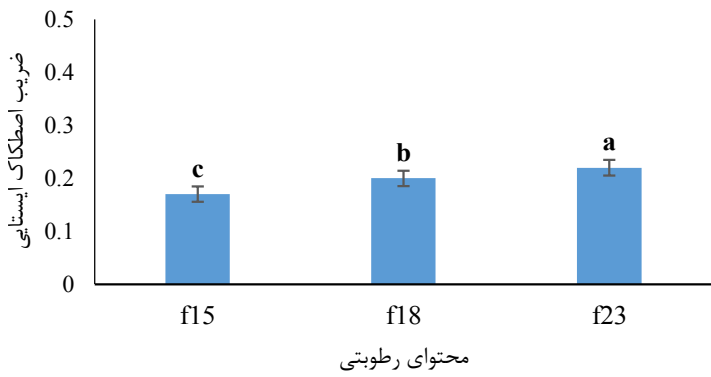
شلتوک



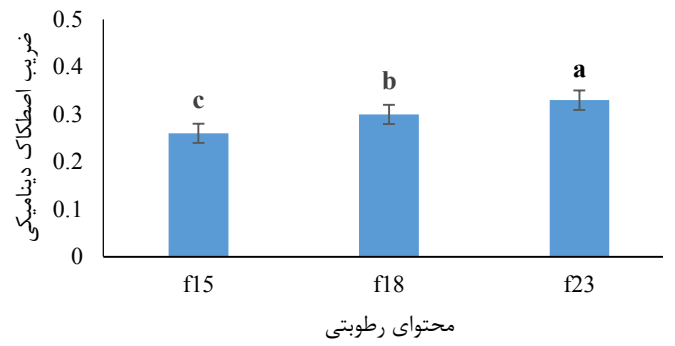
شلتوک



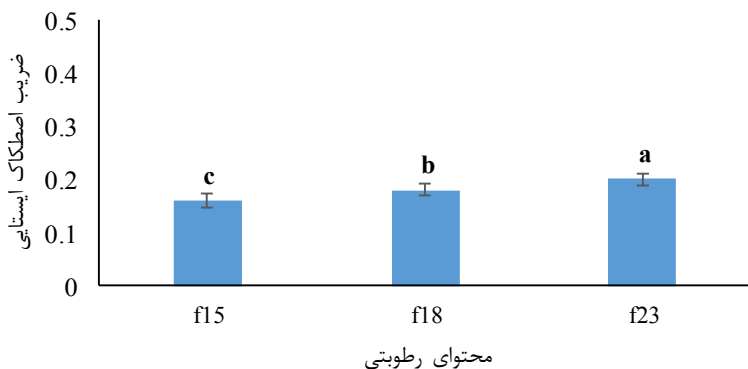
برنج قهوه‌ای



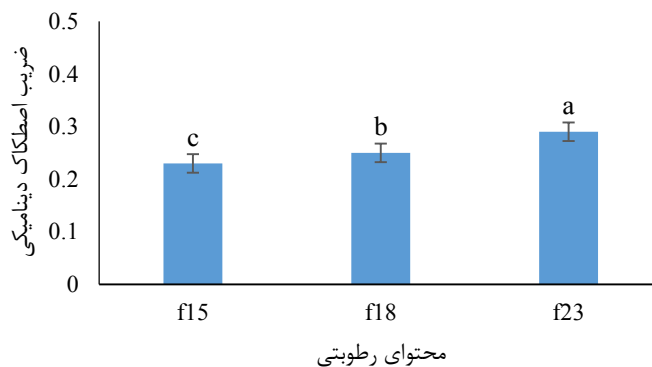
برنج قهوه‌ای



برنج سفید



برنج سفید



شکل ۹. اثر رطوبت بر ضرایب اصطکاک رقم فجر بر روی سطح استیل

۳-۵-۵- مدل های رگرسیونی ضرایب اصطکاک

با توجه به جدول ۳ مدل های رگرسیونی رابطه بین دو عامل رقم و سطح تماس با ضریب اصطکاک برای هر دو رقم مورد مطالعه ارائه شده است این معادلات حاکی از وجود یک رابطه خطی با شیب مثبت بین رطوبت و ضریب اصطکاک می باشد. نتایج مشابهی بر روی دانه های مختلف توسط محققان متعددی ارائه شده است (۱۰، ۱۶، ۳۷).

جدول ۳. مدل های رگرسیونی و ضرایب تبیین رابطه بین دو عامل رطوبت، رقم و سطح تماس با ضریب اصطکاک ایستایی

واریته	نوع	سطح	ضریب اصطکاک ایستایی	R ²
شلتوک	برنج قهوه ای	برزنت	$\mu = 0.012Mc + 0.2885$	۰/۹۹
		نمد	$\mu = 0.0113Mc + 0.1986$	۰/۹۸
		استیل	$\mu = 0.0049Mc + 0.1386$	۰/۹۷
		پلی اتیلن	$\mu = 0.0076Mc + 0.1857$	۰/۹۹
دم سیاه	برنج سفید	برزنت	$\mu = 0.0104Mc + 0.1857$	۰/۹۳
		نمد	$\mu = 0.0062Mc + 0.2671$	۰/۹۹
		استیل	$\mu = 0.006Mc + 0.0943$	۰/۹۳
		پلی اتیلن	$\mu = 0.0098Mc + 0.0871$	۰/۹۷
		برزنت	$\mu = 0.0062Mc + 0.1671$	۰/۹۹
		نمد	$\mu = 0.0098Mc + 0.1471$	۰/۹۷
		استیل	$\mu = 0.0062Mc + 0.0671$	۰/۹۹
		پلی اتیلن	$\mu = 0.0085Mc + 0.0686$	۰/۹۴

واريته	نوع	سطح	ضريب اصطكاك ايستايي	R ²
		برزنت	$\mu = 0.0098Mc + 0.2471$	۰/۹۷
		نمد	$\mu = 0.0087Mc + 0.2814$	۰/۹۹
	شلتوك	استيل	$\mu = 0.0076Mc + 0.0757$	۰/۹۹
		پلي اتيلن	$\mu = 0.0111Mc + 0.0657$	۰/۹۸
		برزنت	$\mu = 0.0071Mc + 0.1932$	۰/۸۹
		نمد	$\mu = 0.0076Mc + 0.2557$	۰/۹۹
فجر	برنج قهوه اي	استيل	$\mu = 0.006Mc + 0.0843$	۰/۹۳
		پلي اتيلن	$\mu = 0.013Mc + 0.0436$	۰/۹۶
		برزنت	$\mu = 0.0062Mc + 0.1671$	۰/۹۹
		نمد	$\mu = 0.0115Mc + 0.1414$	۰/۹۷
	برنج سفيد	استيل	$\mu = 0.0049Mc + 0.0886$	۰/۹۷
		پلي اتيلن	$\mu = 0.0087Mc + 0.0414$	۰/۹۹

جدول ۴. مدل های رگرسیونی و ضرایب تبیین رابطه بین دو عامل رطوبت، رقم و سطح تماس با ضریب اصطکاک دینامیکی

واريته	نوع	سطح	ضريب اصطكاك دینامیکی	R ²
		نمد	$\mu = 0.0173 Mc + 0.2829$	۰/۹۹
		برزنت	$\mu = 0.0109 Mc + 0.3329$	۰/۹۵
	شلتوك	پلي اتيلن	$\mu = 0.0178 Mc + 0.1586$	۰/۹۹
		استيل	$\mu = 0.0073 Mc + 0.2729$	۰/۹۷
		نمد	$\mu = 0.0187 Mc + 0.1914$	۰/۹۳
		برزنت	$\mu = 0.0098 Mc + 0.3271$	۰/۹۷
دم سياه	برنج قهوه اي	پلي اتيلن	$\mu = 0.0178 Mc + 0.0786$	۰/۹۳
		استيل	$\mu = 0.0089 Mc + 0.2043$	۰/۹۷
		نمد	$\mu = 0.0171 Mc + 0.1672$	۰/۹۹
		برزنت	$\mu = 0.0073 Mc + 0.3329$	۰/۹۷
	برنج سفيد	پلي اتيلن	$\mu = 0.0204 Mc - 0.0343$	۰/۹۹
		استيل	$\mu = 0.0087 Mc + 0.1714$	۰/۹۴
		نمد	$\mu = 0.0253 Mc + 0.2978$	۰/۹۹
		برزنت	$\mu = 0.0136 Mc + 0.3154$	۰/۹۹
	شلتوك	پلي اتيلن	$\mu = 0.0124 Mc + 0.2943$	۰/۹۹
فجر		استيل	$\mu = 0.0087 Mc + 0.2114$	۰/۹۸
	برنج قهوه اي	نمد	$\mu = 0.0178 Mc + 0.2486$	۰/۹۹

واريته	نوع	سطح	ضريب اصطكاك ديناميكي	R ²
		برزنت	$\mu = 0.0109 Mc + 0.2829$	۰/۹۵
		پلی اتیلن	$\mu = 0.0127 Mc + 0.2271$	۰/۹۳
		استیل	$\mu = 0.0085 Mc + 0.1386$	۰/۹۴
		نمد	$\mu = 0.0096 Mc + 0.3043$	۰/۹۲
	برنج سفید	برزنت	$\mu = 0.0122 Mc + 0.2014$	۰/۹۷
		پلی اتیلن	$\mu = 0.0098 Mc + 0.1871$	۰/۹۷
		استیل	$\mu = 0.0076 Mc + 0.1157$	۰/۹۹

۳-۶- زاویه ریپوز

روند تغییرات زوایای تخلیه (زاویه استقرار دینامیکی) و پرکردن (زاویه استقرار استاتیکی) دانه های شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است. از نتایج پیداست که با افزایش رطوبت از ۱۵٪ تا ۲۳٪ مقادیر میانگین زوایای تخلیه و پرکردن به صورت خطی افزایش می‌یابد. در حقیقت افزایش زوایای انباشت به خاطر افزایش مساحت تماسی بین دانه‌ها و دانه‌ها با سطح در رطوبت های بیشتر است که سبب افزایش اصطکاک داخلی بین دانه ها و دانه ها و سطح می‌شود (۳۶). افزایش زاویه تخلیه (زاویه استقرار دینامیکی) به دلیل غلتش آسان در اثر کاهش رطوبت نیرو چسبندگی بین آنها و سطح در رطوبت بالا است. (۳۰) این افزایش زاویه تخلیه با رطوبت برای شلتوک رقم دم سیاه از ۲۳/۲۲ تا ۳۱/۲۸، برنج قهوه‌ای رقم دسیاه از ۲۱/۰۹ تا ۲۶/۴۴ و برای برنج سفید رقم دم سیاه از ۱۹/۹۳ تا ۲۱/۸۱ درجه نتیجه شد همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۲۷/۸۵ تا ۳۵/۲۵، برنج قهوه‌ای از ۲۴/۶۲ تا ۲۹/۴۶ و برنج سفید از ۲۲/۰۴ تا ۲۶/۳۴ درجه نتیجه شد. محدوده تغییرات زاویه پرکردن برای رقم دم سیاه، شلتوک از ۲۱/۳ تا ۲۶/۸۸، برنج قهوه‌ای از ۱۹/۱۲ تا ۲۴/۰۱ و برنج سفید ۱۵/۳۴ تا ۲۱/۱۹ همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۲۵/۹۹ تا ۳۱/۰۳، برنج قهوه‌ای از ۲۳/۸۸ تا ۲۶/۵۹ و برنج سفید از ۱۹/۶۷ تا ۲۴/۳۸ درجه نتیجه شد. در تحقیقی بر روی جو نتایج نشان داد که افزایش مقدار رطوبت در دانه جو سبب افزایش زاویه استقرار می‌گردد. همچنین لایه رطوبت سطحی اطراف جسم، توده دانه غله را در اثر کشش سطحی کنار یکدیگر نگه داشته، لذا سبب افزایش پیوستگی دانه ها با یکدیگر می‌شود (۱۰).

۴- نتیجه گیری

براساس یافته‌های به دست آمده مشخص شد که در برنج رقم دم سیاه و فجر میزان رطوبت تاثیر مهمی در خواص فیزیکی و خواص اصطکاکی دارد بطوریکه با افزایش رطوبت وزن هزار دانه، ابعاد، میانگین حسابی و هندسی افزایش یافت و در اکثر موارد هم خواص فیزیکی در شلتوک بیشتر تحت تاثیر میزان رطوبت قرار گرفتند. در مورد ضرایب اصطکاک بالاترین ضرایب اصطکاک (ایستایی و دینامیکی) مربوط به شلتوک بر روی سطح نمد بود که با افزایش رطوبت این میزان مرتبا افزایش یافت. همچنین زاویه ریپوز با افزایش رطوبت نیز افزایش یافت و بیشترین زاویه ریپوز (ایستایی و دینامیکی) مربوط به شلتوک هر رقم بود. با توجه به اینکه برنج رقم های دم سیاه و فجر سطح کشت وسیعی در استان مازندران دارد می توان با داشتن اطلاعاتی در مورد خصوصیات فیزیکی آن تجهیزات حمل و نقل و نگهداری مناسبی طراحی نمود.

۵- منابع

۱. آمارنامه کشاورزی ۱۴۰۰. محصولات زراعی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸، ص ۱۸.
۲. اشتواد، رحمت اله و کلانتری، داوود، ۱۳۹۲. تعیین برخی از خواص فیزیکی ارقام برنج های اصلاح شده ایرانی. نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران، ۹ (۱)، صص ۴۹-۴۰. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v9i1.22971>
۳. رضوی، سید محمد علی و فتحی، میلاد، ۱۳۸۷. بررسی تاثیر رطوبت بر برخی خواص فیزیکی دانه انگور. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون. <https://civilica.com/doc/52824>
۴. رضوی، م. ع. و اکبری، ر. ۱۳۸۵. خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی. چاپ اول انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
۵. عزیزاده، محمدرضا، ۱۳۹۴. بررسی تاثیر رقم و نوع محصول (اصلی و رتون) بر برخی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و تبدیل شلتوک به برنج سفید. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۶ (۳)، صص ۱۰۶-۹۳. <https://doi.org/10.22092/JAER.2015.102992>
۶. محجوب، محسن، موحد، سارا و احمدی چناربن، حسین، ۱۳۹۴. عوامل موثر بر زاویه استقرار، ضریب اصطکاک داخلی و خارجی دو رقم گندم (بهرنگ و شیروودی). فناوری های جدید در صنعت غذا، صص ۵۱-۴۳. <https://doi.org/10.22104/JIFT.2015.129>
۷. ولایتی، ا، ۱۳۸۹. بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی مؤثر در فرآوری زرشک. دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۱۷.
8. Al-Mahasneh, M.A. and Rababah, T.M., 2007. Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. *Journal of food engineering*, 79(4), pp.1467-1473. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.045>
9. Asli-Ardeh, E.A., 2017. Determination of dynamic friction coefficient in common wheat varieties on different contact surfaces. *Agricultural Engineering International CIGR Journal*, 19(1), pp.136-141.
10. Baryeh, E.A., 2002. Physical properties of millet. *Journal of Food Engineering*, 51(1), pp.39-46. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00035-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00035-8)

11. Bäumlér, E., Cuniberti, A., Nolasco, S.M. and Riccobene, I.C., 2006. Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering*, 72(2), pp.134-140. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.029>
12. Çalışır, S., Marakođlu, T., Öđüt, H. and Öztürk, Ö., 2005. Physical properties of rapeseed (*Brassica napus oleifera* L.). *Journal of Food Engineering*, 69(1), pp.61-66. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.07.010>
13. Chukwu, O. and Akande, F.B., 2007. Development of an apparatus for measuring angle of repose of granular materials: AU JT, 11(1), pp.62-66.
14. Deshpande, S.D., Bal, S. and Ojha, T.P., 1993. Physical properties of soybean: Journal of Agricultural Engineering Research, 56(2), pp.89-98. <https://doi.org/10.1006/jaer.1993.1063>
15. Dursun, E. and Dursun, I., 2005. Some physical properties of caper seed. *Biosystems Engineering* Oct 1, 92(2), pp.237-45.
16. Dutta, S.K., Nema, V.K. and Bhardwaj R.K., 1988. Thermal properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Apr 1, 39(4), pp.269-75.
17. FAO., 2020. Food and Agricultural Organization of the United Nations, FAO Statistical Database, Available from <http://faostat.fao.org>
18. Ghadge, P.N. and Prasad, K., 2012. Some physical properties of rice kernels: Variety PR-106. *Journal of Food Process Technology*, 3(8), pp.1-5. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000175>
19. Ghanbarian, D. and Salek, F., 2014. Effect of moisture content on some physical properties of sugar beet seed. *Journal of Sugar Beet*. 30(1), pp.43-9. <https://doi.org/10.22092/jsb.2014.5047>
20. Gupta, R.K. and Das, S.K., 1997. Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66(1), pp.1-8. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00061-3)
21. Jha, S.N., 1999. Physical and hygroscopic properties of makhana. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(2), pp.145-150. <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0356>
22. Joshi, D.C., 1993. Mechanical dehulling of pumpkin seed. *Unpublished Ph. D. Thesis, Agricultural Engineering Department, IIT, Kharagpur, India.*
23. Khodabakhshian, R., Emadi, B. and Fard, M.A., 2010. Frictional behavior of sunflower seed and its kernel as a function of moisture content, variety and size, *Nong Ye Ke Xue Yu Ji Shu*, 4(3), p.83.

24. Lin, J.H., Singh, H., Chang, Y.T. and Chang, Y.H., 2011. Factor analysis of the functional properties of rice flours from mutant genotypes *Food Chemistry*. 126(3), pp.1108-1114.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.140>
25. Meera, K., Smita, M. and Haripriya, S., 2019. Varietal distinctness in physical and engineering properties of paddy and brown rice from southern India. *Journal of food science and technology*, 56(3), pp.1473-1483. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03631-x>
26. Mohsenin, N.N. Physical Properties of Plant and Animal Materials. and :Revised and Updated Edition. Gordon and Breach Science Publishers, New york.
27. Murthy, C.T. and Bhattacharya, S., 1998. Moisture dependant physical and uniaxial compression properties of black pepper. *Journal of Food Engineering*, 37(2), pp.193-205.
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00083-1)
28. Perez, E.E., Crapiste, G.H. and Carelli, A.A., 2007. Some physical and morphological properties of wild sunflower seeds. *Biosystems engineering*, 96(1), pp.41-45.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.09.004>
29. Perforated, S., 1981. Fissures related to post-drying treatments in rough rice: *Cereal Chem.* 61(1), pp.63-68.
30. Razavi, S.M., Rafe, A., Moghaddam, T.M. and Amini A.M., 2007. Physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety. Part II. Gravimetric properties: *Journal of Food Engineering*, Jul 1,81(1), pp.218-25.
31. Razavi, S.M., Yeganehzad, S. and Sadeghi, A., Moisture dependent physical properties of canola seeds.
32. Reddy, B.S. and Chakraverty, A., 2004. Physical properties of raw and parboiled paddy. *Biosystems Engineering*, 88(4), pp.461-466. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.05.002>
33. Shafaei, S.M. and Kamgar, S., 2017. A comprehensive investigation on static and dynamic friction coefficients of wheat grain with the adoption of statistical analysis. *Journal of Advanced Research*, 8(4), pp.351-361. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.04.003>
34. Shafaei, S.M., Nourmohamadi-Moghadami, A., Kamgar, S. and Eghtesad, M., 2020. Development and validation of an integrated mechatronic apparatus for measurement of friction coefficients of agricultural products. *Information Processing in Agriculture*, 7(1), pp.93-108.
<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.04.006>

35. Shitanda, D., Nishiyama, Y. and Koide, S., 2002. Compressive strength properties of rough rice considering variation of contact area. *Journal of Food Engineering*, 53(1), pp.53-58.
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00139-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00139-X)
36. Singh, K.P., Mishra, H.N. and Saha, S., 2010. Moisture-dependent properties of barnyard millet grain and kernel. *Journal of Food Engineering*, 96(4), pp.598-606.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.09.007>
37. Singh, N., Kaur, L., Sodhi, N.S. and Sekhon, K.S., 2005. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food chemistry*, 89(2), pp.253-259.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.032>

Investigating The Effect Of Moisture, Variety And Contact Surface On The Frictional Properties Of Paddy, Brown And White Rice

Mohadese Rahnamaei Bash Mahaleh¹, Mohammad Hossein Abbaspour Fard², Rasool Khodabakhshian Kargar^{2*}

¹Master's student, Department of Biosystems Mechanical engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

²Department of Biosystems Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Abstract:

The physical and frictional properties of grains are essential for the design of storage, handling and processing equipment for agricultural products. In this research, the effective physical and frictional properties of rice processing (paddy, brown rice and white rice) as a function of two cultivars namely, Domsiah and Fajr, three moisture contents (15, 18 and 23%) and four contacting surfaces including felt, tarpaulin, polyethylene and steel were measured. For physical properties of the geometric and gravimetric properties were considered. Geometric properties including length, width and thickness were measured using image processing. For frictional properties static and dynamic friction coefficient and static and dynamic angle of repose were considered. The results showed that all geometrical parameters increased with increasing moisture content for both studied varieties. The results of changes in the average values of gravimetric properties with moisture content showed a linear increase in the weight of thousand grains with moisture content. With the increase of moisture content from 15 to 23%, the coefficients of friction, static and dynamic angles of repose of paddy, brown rice and white rice increase. The static angle of repose of Domsiah variety ranged from 21.3 to 26.88 for paddy, for brown rice from 12.19 to 24.01 and for white rice from 15.34 to 21.19. These ranges for Fajr variety were observed as: paddy from 25.99 to 31.03, brown rice from 23.88 to 26.59 and for white rice from 19.67 to 24.38. In general, friction properties of different type of grain (paddy, brown rice and white rice) of both cultivars increased with the increase in moisture level. Also, the results showed that the highest friction coefficient of different type of grains observed on the felt surface with grain moisture content of 23% and the lowest friction coefficient on the steel contact surface with grain moisture content of 15%.

Keywords: Physical Properties, Angle Of Repose, Static Friction Coefficient, Dynamic Friction Coefficient, Rice Processing.

Email: khodabakhshian@um.ac.ir