Homepagr: https://sanad.iau.ir/journal/jfst E-ISSN: 2676-7155

(Original Research Paper)

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

Mohaddeseh Rahnamaei Bash Mahaleh[1] , Mohammad Hossein Abbaspour Fard[2] , Rasool Khodabakhshian Kargar[2*]

1-M.Sc Student of Biosystems Mechanical Engineering, Faculty oF Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2-Department of Biosystems Mechanical Engineering, Faculty oF Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Received:17/06/2023 Accepted:17/08/2023

Doi: 10.71810/jfst.2024.1004768

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.

*Corresponding Author: khodabakhshian@um.ac.ir

E-ISSN: 2676-7155 سایت مجله: https://sanad.iau.ir/journal/jfst

(مقاله پژوهشی)

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[۲*]

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.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۶

Doi: 10.71810/jfst.2024.1004768

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 و۲۳ درصد) و در چهار سطح تماس شامل نمد، برزنت، پلی‌اتیلن 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 اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که تمامی پارامترهای هندسی مورد مطالعه برای هر دو واریته 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 وکم‌ترین میزان ضریب اصطکاک مربوط به سطح تماس استیل با رطوبت ۱۵ درصد است.

واژه های کلیدی: خواص فیزیکی، زاویه استقرار، ضریب اصطکاک استاتیکی، ضریب اصطکاک دینامیکی، فرآوری برنج.

*مسئول مکاتبات: khodabakhshian@um.ac.ir

۱-مقدمه

برنج یکی از محصولات غذایی مهم در جهان است و بعد از گندم دومین محصول غذایی پرمصرف 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 بوده‌است (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 ماشین آلات کشاورزی و تجهیزات کاشت، برداشت و پس از برداشت مورد استفاده قرار می گیرند .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 جداره های سیلوها و انبارهای نگهداری می‌باشد (۳۴). اصطکاک مجموعه‌ای از پدیده‌های فیزیکی است که حین تماس بین دو جسم رخ می‌دهد. باعث ساییدگی ناهمواری سطحی می شود و برای غلبه بر آن باید انرژی اعمال شود (۲۸). نیروهای اصطکاکی که دانه های 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 ما بین دانه و سطوح نوارهای نقاله)، در کمباین‌های برداشت شالی، در فرآیند تبدیل (به عنوان نیروهای وارد بر نقاله های انتقال و نیز الگوهای تخلیه و بارگیری) و در فرآیند ذخیره‌سازی و انبارداری (به عنوان نیروهای اصطکاکی وارد بر جداره های سیلوها و انبارهای نگهداری) مشاهده کرد (۲). در حرکت و انتقال مواد دانه ای 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 دادندکه 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 زوایه 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، ۱۵و ۱۸ درصد بر پایه‌تر) و سطح تماس (بتن و ورق گالوانیزه) مورد بررسی قرارگرفتند که کم‌ترین زاویه استقرار برای رقم شیرودی در سطح تماس گالوانیزه و سطح رطوبتی ۱۲درصد به میزان ۱۹/۸۴و بیش‌ترین برای رقم بهرنگ، 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 بهرنگ، 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

هرنگ، در سطح رطوبتی ۱۸ درصد به میزان ۰/۷۵۴محاسبه 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. ضمنا 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 آون‌گذاری به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۱±۱۰۵ 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).

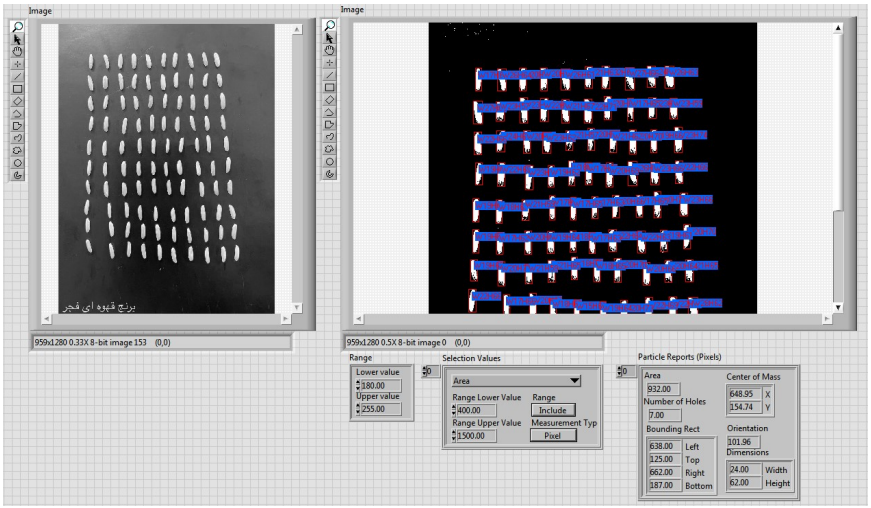
رابطه(۱)

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

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- اندازه‌گیری خواص فیزیکی

به منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانه در هر سطح رطوبتی و رقم، وزن ۱۰۰ نمونه در ۱۰ تکرار توسط ترازوی الکترونیکی با دقت ±۰/۰۱ گرم محاسبه شد و ده برابر مقدار به دست آمده به عنوان وزن هزار دانه نمونه‌ها گزارش شد. ابعاد نمونه با بررسی ابعاد سه محور اصلی شلتوک، برنج قهوه‌ای 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 هرنوع توسط تصویر برداری و با استفاده از نرم‌افزار برنامه نویسی Lab view ورژن ۲۰۱۸ اندازه‌گیری شدند (شکل۱). 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 (Dg)، قطر متوسط حسابی (Da) و مساحت سطح در سطوح متفاوت رطوبتی و رقم مورد مطالعه به ترتیب توسط معادله (۲) ، (۳) و (۴) محاسبه شدند:

رابطه(۲) $$D_g = (LWT)^{1/3}$$

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

رابطه(۴) $$S = \pi D_g^2$$

معیاری که برای توصیف شکل مواد کشاورزی عموما بکار گرفته می‌شود ضریب کرویت[1] 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 رعنایی (نسبت ابعاد) که از رابطه (۶) به دست می‌آید به عنوان معیار دیگری برای بررسی شکل و طبقه بندی مواد کشاورزی استفاده می‌شود:

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

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

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

۲-۳- اندازه‌گیری 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)[2] در هر محدوده رطوبتی و رقم مورد نظر، بر روی این سطوح، اندازه‌گیری 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 می‌شود قرار گرفت. سپس دانه‌ها شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید در داخل آن ریخته شده و سیلندر به آرامی بالا آورده شد، به طوری‌که با سطح شیب‌دار تماس نداشته و فقط نمونه ها با سطح شیب دار تماس پیدا کنند. آن‌گاه شیب سطح شیب دار به تدریج افزایش داده شد تا جایی که سیلندر حاوی نمونه ها شروع به سرخوردن کند. در این لحظه، زاویه سطح شیبدار خوانده شد (۱۶،۲۰،۳۰). در نهایت، ضریب اصطکاک استاتیکی از رابطه (۷) تعیین شد (۲۲).

1 -Sphericity

2- Static Coefficient of Frictin

رابطه (۷) $\mu = (arctan\frac{b}{a})$

برای تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی[1] شلتوک،برنج قهوه‌ای و برنج سفید از یک نیروسنج، نگه‌دارنده نیروسنج، پایه اصلی، یک استوانه و یک نخ جهت وصل کردن استوانه به نیرو سنج استفاده شد نمونه‌ها 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):

رابطه (۸) $\mu_k = \frac{F}{N}$

زاویه استقرار، مشخصه مناسبی از میزان جریان پذیری یک محصول بوده و به طور کلی هر چه زاویه استقرار کوچیک تر باشد، محصول راحت‌تر جریان می‌یابد به طور معمول با افزایش درصد رطوبت غلات، میزان زاویه استقرار افزایش می‌یابد(۱۰). به منظور اندازه‌گیری زاویه استقرار استاتیکی[2] از یک استوانه بدون سر و ته استفاده شد ابتدا استوانه را از نمونه پر کردیم هم زمان 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) وقطرکپه (D) مورد نظر اندازه‌گیری شد و مطابق رابطه(۹) زاویه پرکردن محاسبه شد (۴، ۸،۱۵،۲۱):

رابطه(۹) $\beta = Arctan(2H/D)$

برای اندازه‌گیری زاویه استقرار دینامیکی[3] 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 نمونه ها و تشکیل کپه، زاویه استقرار دینامیکی از اندازه‌گیری بلندترین ارتفاع (H) و طول کپه (X) طبق رابطه(۱۰) محاسبه شد (۳،۳۱):

رابطه(۱۰) $\theta = Arctan(H/X)$

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 دامنه ای دانکن مقایسه میانگین‌ها آن ها 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 و۲ 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 ۱۹/۸۸تا ۲۱/۴۷ همچنین برای رقم فجر شلتوک از۲۱/۱۷ تا ۲۴/۳۱ و برای برنج قهوه‌ای از ۱۹/۱۶ تا ۲۰/۸۷ و برنج سفید از ۱۵/۴۷تا ۱۷/۱۳به 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

1 -Dynamic Coefficient of Frictin
2 -Static Angle of Repose
3- Dynamic Angle of Repose

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 ۱و۲ ابعاد شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید را در رطوبت‌های ۱۵٪، ۱۸٪ و ۲۳٪ نشان می‌دهند.

جدول ۱- تغییرات شاخص‌های فیزیکی درتیمارهای 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 ایستایی	زاویه ریپوز دینامیکی
A1	۲۳/۸۷	۹/۹۵	۲/۲۶	۱/۸۹	۴/۷	۳/۴۸	/۳۵	/۲۲	۳۸/۲۴	۲۱/۳	۲۳/۲۲
A2	۲۴/۴۳	۱۰/۰۹	۲/۳۲	۱/۹۳	۴/۷۸	۳/۵۶	/۳۵	/۲۳	۳۹/۸۳	۲۳/۹۸	۲۶/۴۷
A3	۲۵/۹۶	۱۰/۱۵	۲/۴۴	۱/۹۶	۴/۸۵	۳/۶۴	/۳۶	/۲۴	۴۱/۷۸	۲۶/۸۸	۳۱/۲۸
B1	۲۲/۴۱	۸/۱	۲/۰۶	۱/۷۸	۳/۹۸	۳/۰۹	/۳۸	/۲۵	۳۰/۱۱	۱۹/۱۲	۲۱/۰۹
B2	۲۲/۵۹	۸/۴	۲/۱	۱/۸۹	۴/۱۳	۳/۲۱	/۳۸	/۲۵	۳۲/۵۲	۲۲/۵۱	۲۳/۷۱
B3	۲۱/۴۷	۸/۶۳	۲/۳۸	۱/۹۱	۴/۳	۳/۳۹	/۳۸	/۲۷	۳۶/۲۵	۲۴/۰۱	۲۶/۴۴
C1	۱۹/۸۸	۷/۸	۱/۹۶	۱/۷۷	۳/۸۴	۳	/۳۸	/۲۵	۲۸/۳	۱۵/۳۴	۱۹/۹۳
C2	۲۰/۶۴	۸/۰۳	۲/۰۸	۱/۸۳	۳/۹۸	۳/۱۲	/۳۹	/۲۵	۳۰/۶۹	۱۷/۳۱	۲۰/۳۶
C3	۲۱/۴۷	۸/۲	۲/۳۳	۱/۸۶	۳/۱۴	۳/۳۱	/۴۰	/۲۸	۳۴/۵۴	۲۱/۱۹	۲۲/۸۱

A شلتوک ، B برنج قهوه‌ای ،C برنج سفید

جدول۲- تغییرات شاخص‌های فیزیکی درتیمارهای 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 واریته 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 آن ها را روی سطح تعیین می کند شکل صاف دانه آن ها 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 رعنایی گزارش شده و بیشترین ضریب رعنایی 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 رعنایی کاهش می‌یابد(۲۴). عملکرد برنج سالم به عواملی مانند رقم، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن و شرایط دستگاه های 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 (دانه های شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید) معمولا نشان دهنده 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 ۱و ۲ میانگین سطح مقطع برنج‌های مورد مطالعه با افزایش رطوبت از ۱۳٪ تا ۲۳٪ به صورت خطی افزایش یافتند. دربین واریته های مورد مطالعه، بیشترین وکمترین 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 سفید۲۳/۰۲ و ۳۴/۵۴ به دست آمد. در تحقیقی مشابه مساحت سطح رابرای زرشک ۸۹/۱۷ تا ۱۷۳/۹۹میلی مترمربع گزارش شده است (۷).

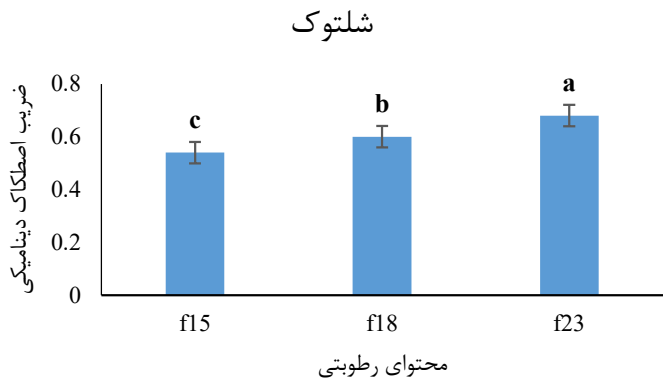
۳-۵- ضریب اصطکاک

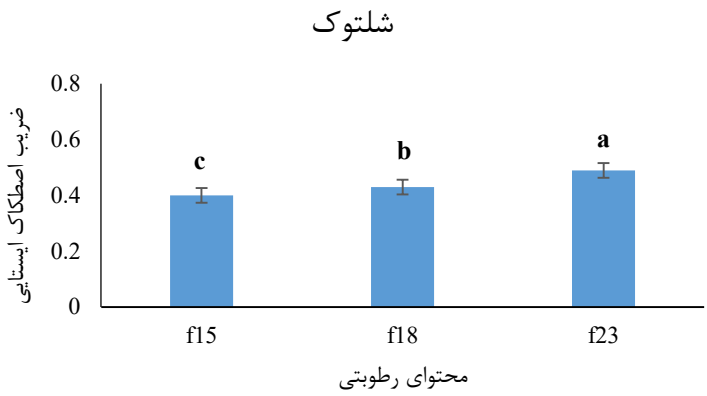
همان طور که مشاهده می‌شود ضریب اصطکاک با افزایش رطوبت بر روی تمام سطوح مورد آزمایش افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی سطح نمد مشاهده شده که به دلیل پارچه ای بودن آن است و رطوبت را جذب می‌کند و کمترین مقدار ضریب اصطکاک بر روی سطح استیل به دست آمد.

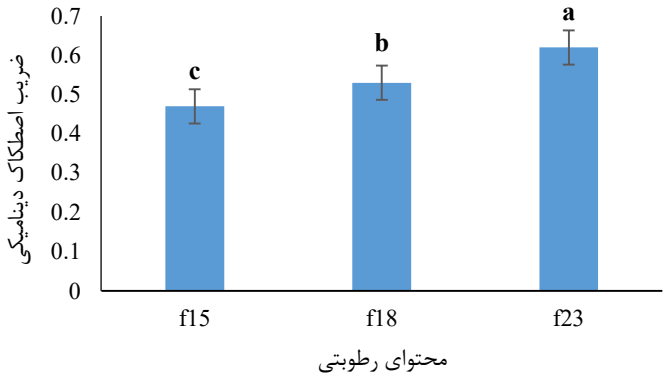
۳-۵-۱- نمد

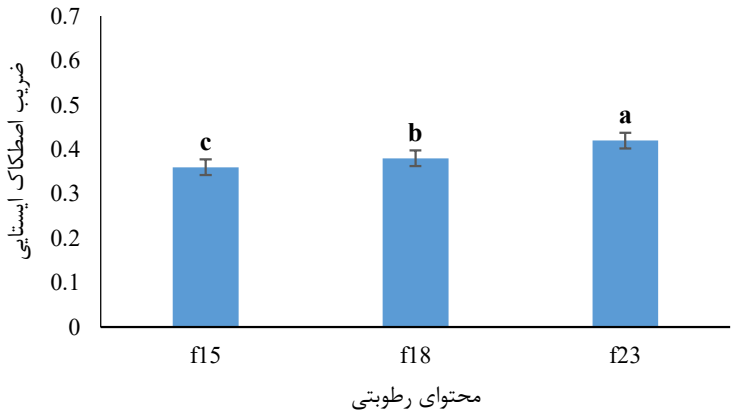
شکل‌های ۲ و ۳ مقدار تغییرات میانگین ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید برای هر دو رقم دم سیاه و فجر را در محدود رطوبتی ۱۵٪ تا ۲۳٪ روی سطح نمد ارائه می‌دهند. پیداست که با افزایش رطوبت نمونه‌ها ضرایب اصطکاک نمونه‌ها نیز افزایش می‌یابد، تغییرات ضریب اصطکاک ایستایی برای رقم دم سیاه، شلتوک از ۴/. تا ۴۹/. ، برنج قهوه‌ای از ۳۶/. تا 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 ۵۴/. تا ۶۸/.، برنج قهوه‌ای از ۴۷/. تا ۶۲/. و برنج سفید از ۰/۴۴ تا ۰/۵۹ همچنین برای رقم فجر، شلتوک از ۰/۵۹ تا ۰/۷۵، برنج

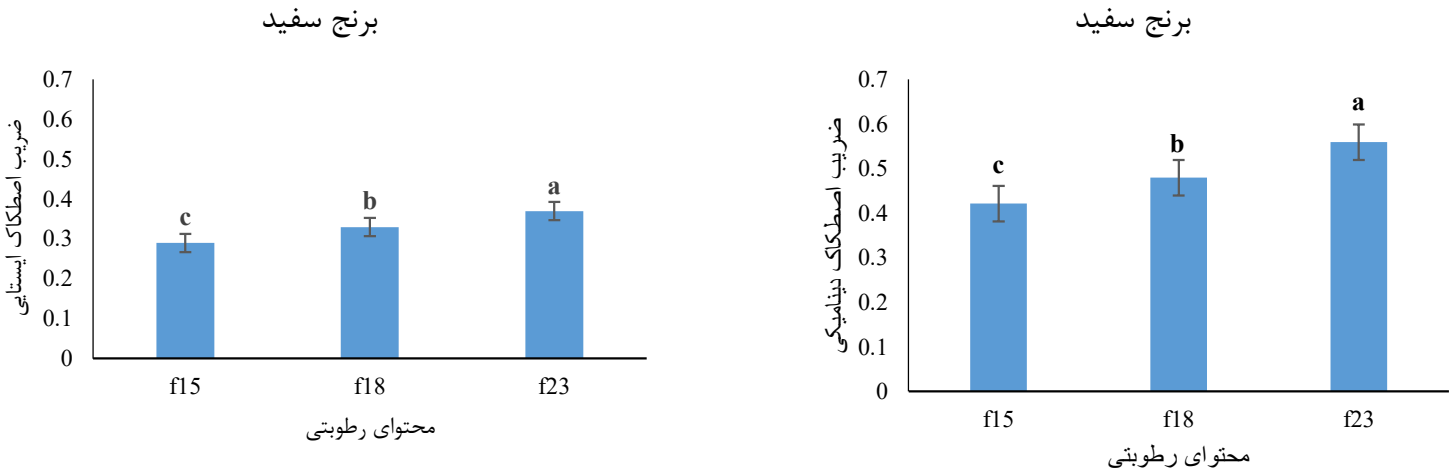
قهوه‌ای از ۰/۵۲ تا ۰/۶۶ و برنج سفید از ۰/۴۴ تا ۰/۵۲ نتیجه شد با بررسی داده‌های این اشکال مشاهده می‌شود که شلتوک رقم های مذکور از ضرایب اصطکاک بیشتری نسبت به دانه برنج قهوه‌ای وبرنج سفید برخورد دار بودند. در تحقیقی مشابه این برتری ضریب شلتوک به دانه های برنج گزارش شده است(۲۵).



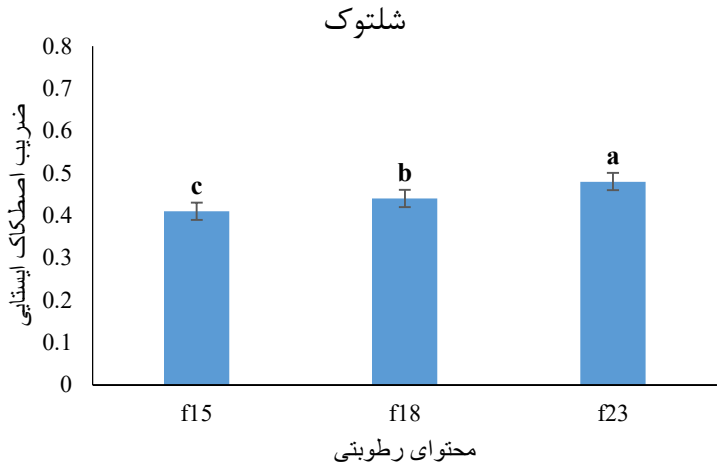


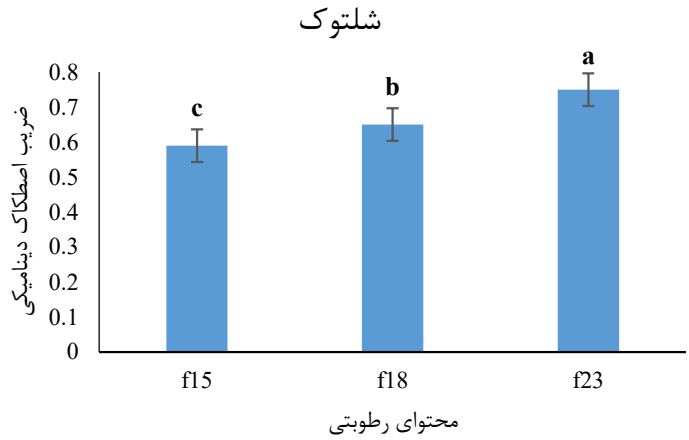


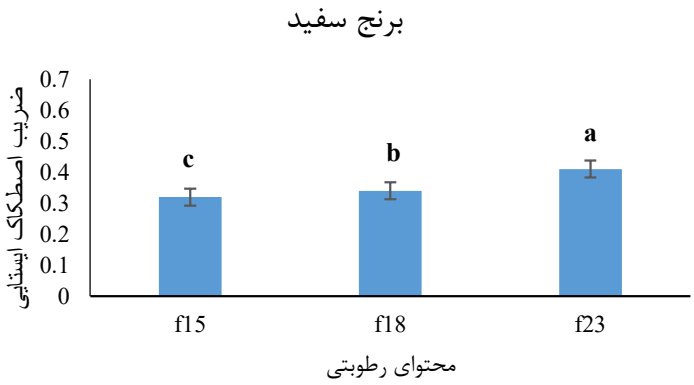


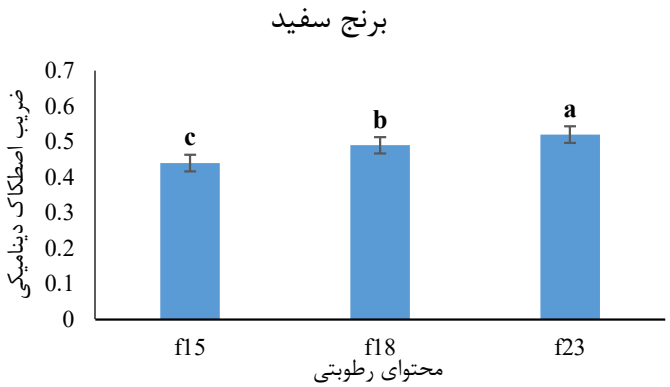


شکل۲- اثر رطوبت برضرایب اصطکاک رقم دم سیاه بر روی سطح نمد





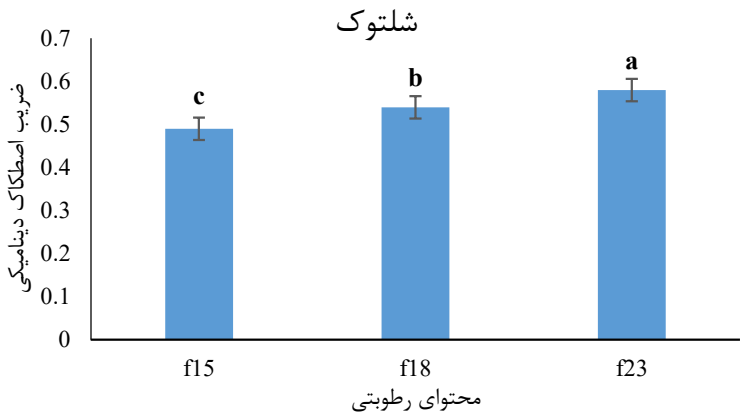


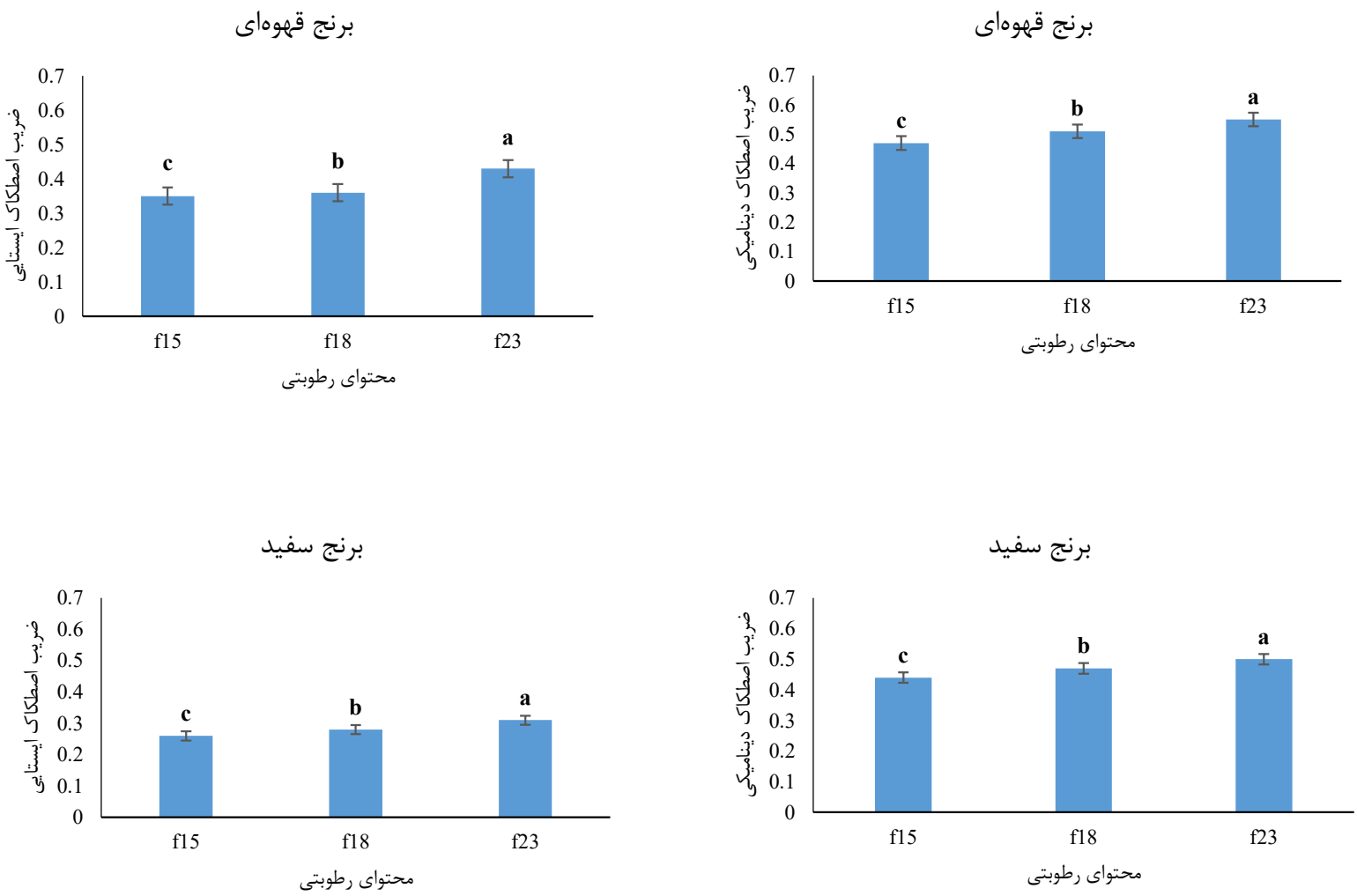


شکل۳- اثر رطوبت برضرایب اصطکاک رقم فجر بر روی سطح نمد

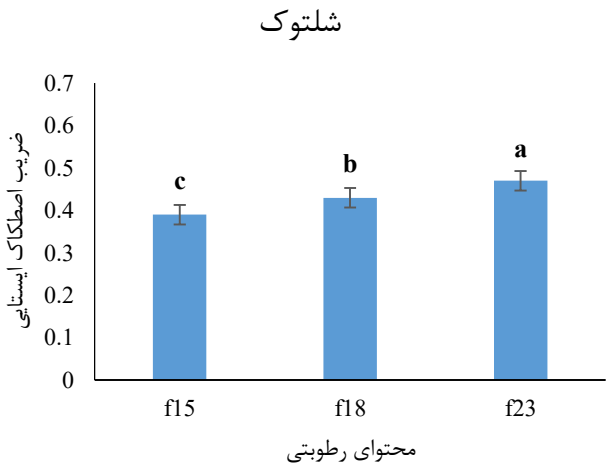
۳-۵-۲- برزنت

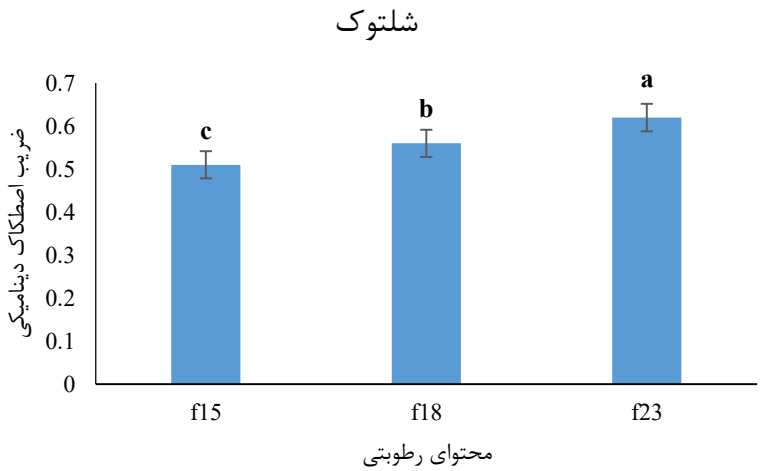
تغییرات ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید مورد مطالعه با تغییرات افزایش خطی مقادیر میانگین ضرایب اصطکاک استاتیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای وبرنج سفید هر دو رقم مورد بحث با رطوبت روی سطح برزنت در شکل های۴ و ۵ نشان داده شده است. نتایج حاصله از این شکل‌ها، افزایش ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای وبرنج سفید را با رطوبت بیان می‌کند. داده های به دست آمده از ضرایب اصطکاک شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید روی سطح برزنت 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 ایستایی 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.

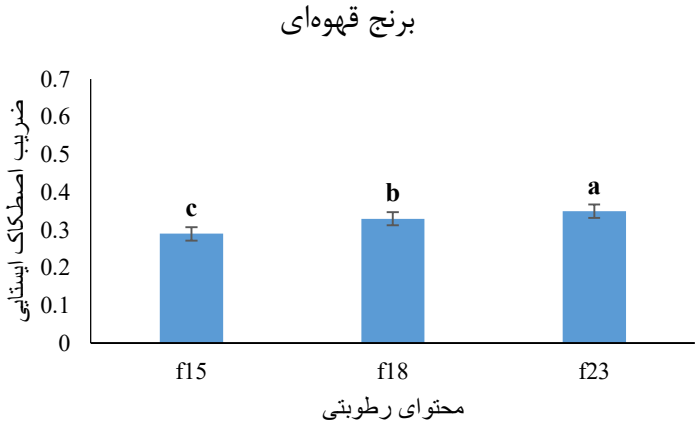




شکل۴- اثر رطوبت برضرایب اصطکاک رقم دم سیاه بر روی سطح برزنت



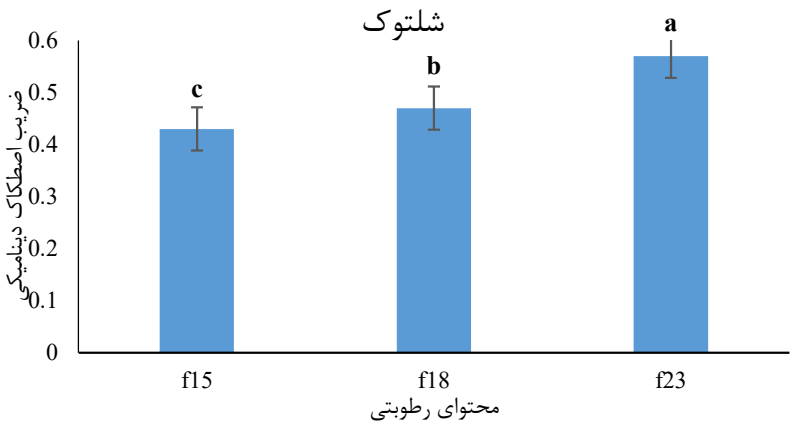


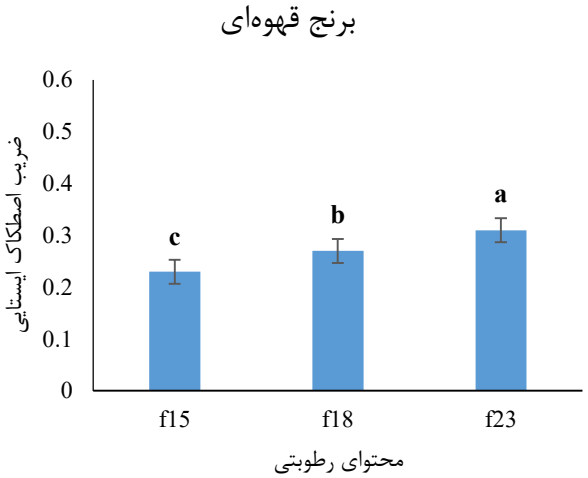


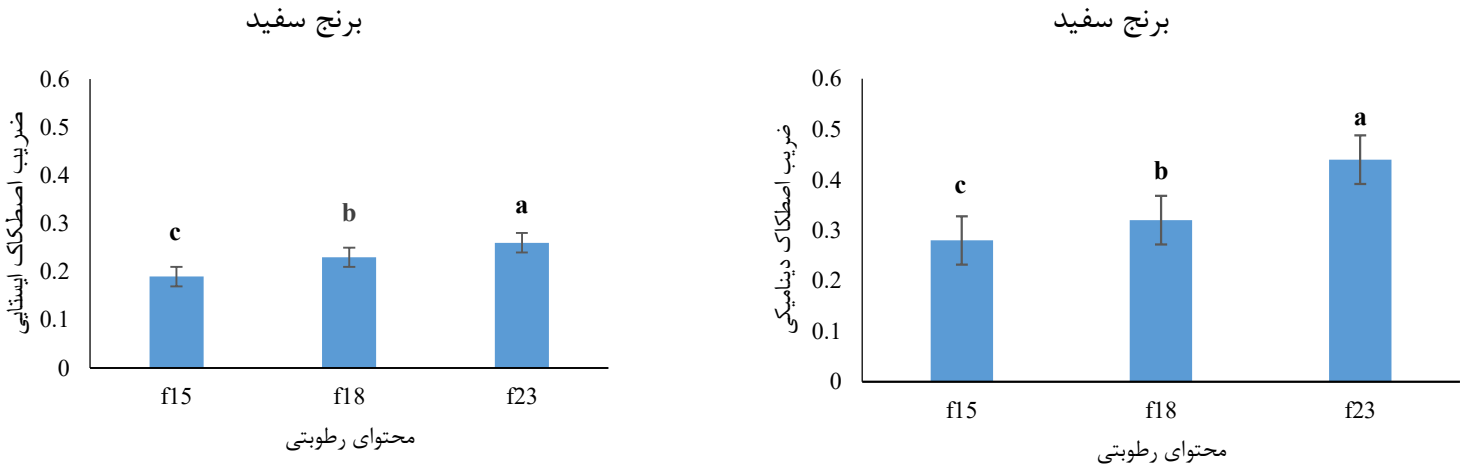
شکل۵- اثر رطوبت برضرایب اصطکاک رقم فجر بر روی سطح برزنت

۳-۵-۳-پلی اتیلن

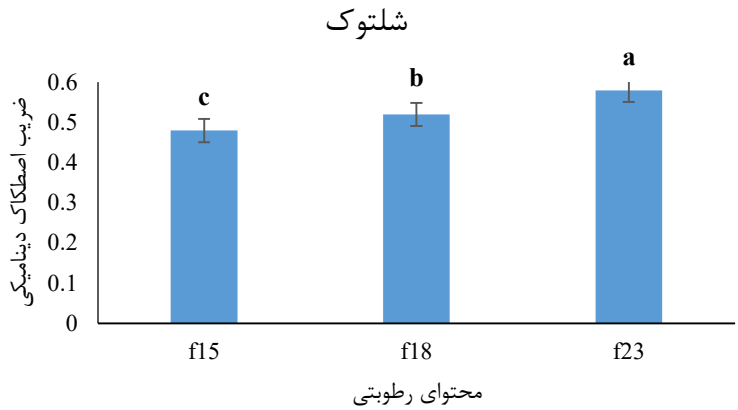
تغییرات ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید مورد مطالعه با تغییرات رطوبت روی سطح پلی اتیلن در شکل ها ۶ و ۷ آورده شده است با توجه به شکل ها ضرایب اصطکاک ایستایی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج سفید روی سطح پلی اتیلن با افزایش رطوبت افزایش خطی داشت. محدوده تغییرات ضرایب 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 ۰/۲۴به 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.

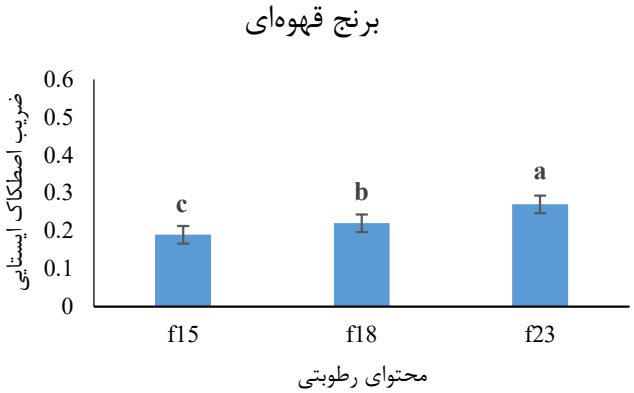


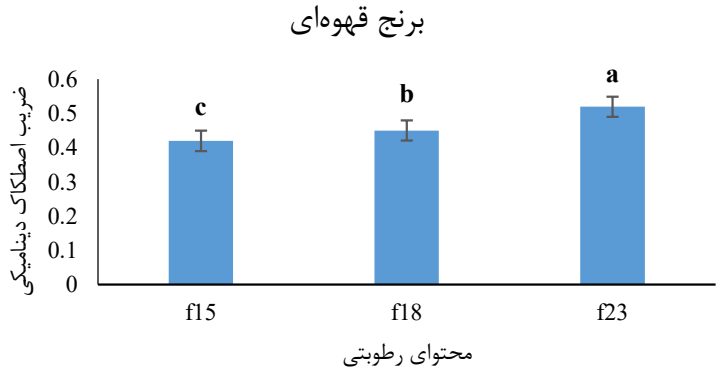


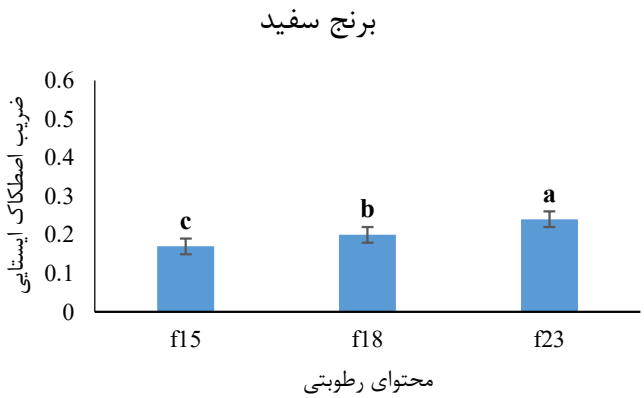


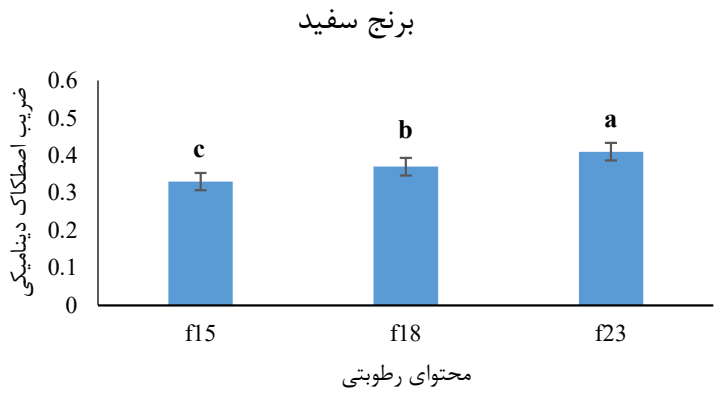
شکل۶- اثر رطوبت برضرایب اصطکاک رقم دم سیاه بر روی سطح پلی اتیلن







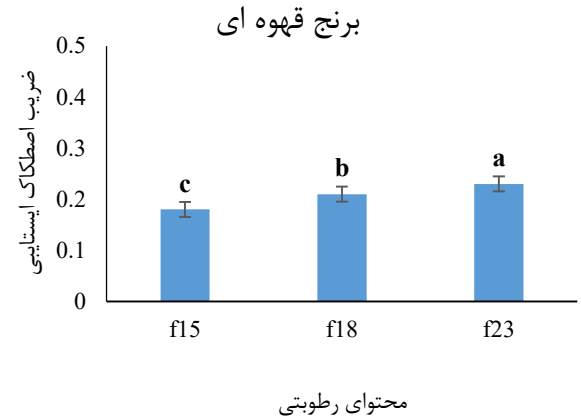


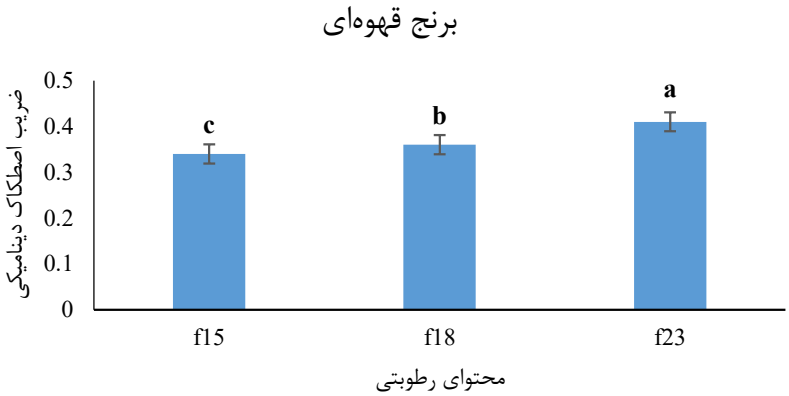


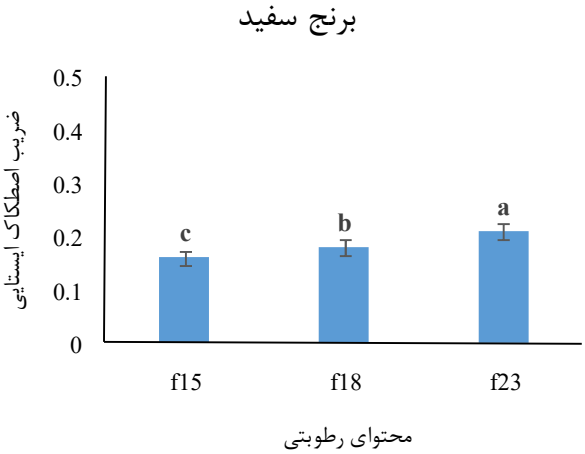
شکل۷- اثر رطوبت برضرایب اصطکاک رقم فجر بر روی سطح پلی اتیلن

۳-۵-۴-استیل

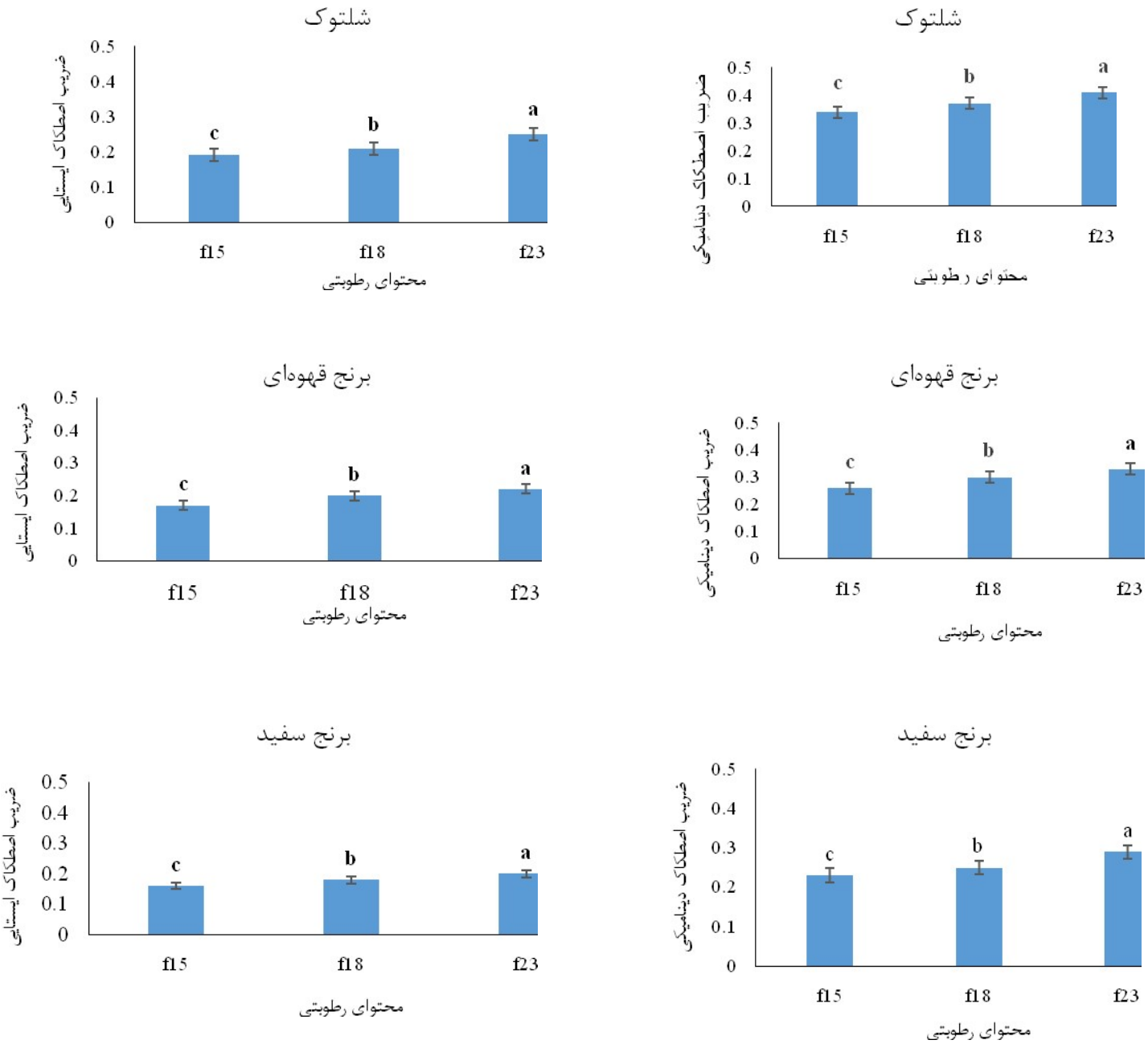
محدوده تغییرات ضرایب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی شلتوک، برنج قهوه‌ای و برنج با رطوبت ورقم روی سطح استیل در شکل های ۸ و ۹ نشان داده شده اند. با افزایش رطوبت از ۱۵٪ تا ۲۳٪ ضریب اصطکاک ایستایی در رقم دم سیاه، شلتوک از ۰/۲۱ تا ۰/۲۵ ، برنج قهوه‌ای از ۰/۱۸ تا ۰/۲۳ و برنج سفید از ۰/۱۶ تا ۰/۲۱ و همچنین برای رقم 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 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 برضرایب اصطکاک رقم دم سیاه بر روی سطح استیل



شکل۹- اثر رطوبت برضرایب 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 می‌باشد. نتایج مشابهی بر روی دانه‌های مختلف توسط محققان متعددی ارائه شده است (۱۰،۱۶،۳۷).

جدول۳- مدل های رگرسیونی و ضرایب تبیین رابطه بین دوعامل رطوبت، رقم و سطح تماس با ضریب اصطکاک ایستایی

واریته	نوع	سطح	ضریب اصطکاک ایستایی	R^2
دم سیاه	شلتوک	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
	برنج قهوه ای	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
	برنج سفید	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
فجر	شلتوک	برزنت	$\mu = 0.0098Mc + 0.2471$	۰/۹۷
		نمد	$\mu = 0.0087Mc + 0.2814$	۰/۹۹
		استیل	$\mu = 0.0076Mc + 0.0757$	۰/۹۹
		پلی اتیلن	$\mu = 0.0111Mc + 0.0657$	۰/۹۸
	برنج قهوه ای	برزنت	$\mu = 0.0071Mc + 0.1932$	۰/۸۹
		نمد	$\mu = 0.0076Mc + 0.2557$	۰/۹۹
		استیل	$\mu = 0.006Mc + 0.0843$	۰/۹۳
		پلی اتیلن	$\mu = 0.013Mc + 0.0436$	۰/۹۶
	برنج سفید	برزنت	$\mu = 0.0062Mc + 0.1671$	۰/۹۹
		نمد	$\mu = 0.0115Mc + 0.1414$	۰/۹۷
		استیل	$\mu = 0.0049Mc + 0.0886$	۰/۹۷
		پلی اتیلن	$\mu = 0.0087Mc + 0.0414$	۰/۹۹

جدول۴- مدل های رگرسیونی و ضرایب تبیین رابطه بین دوعامل رطوبت، رقم و سطح تماس با ضریب اصطکاک دینامیکی

واریته	نوع	سطح	ضریب اصطکاک دینامیکی	R^2
دم سیاه	شلتوک	نمد	$\mu = 0.0173\ Mc + 0.2829$	۰/۹۹
		برزنت	$\mu = 0.0109\ Mc + 0.3329$	۰/۹۵
		پلی‌اتیلن	$\mu = 0.0178\ Mc + 0.1586$	۰/۹۹
		استیل	$\mu = 0.0073\ Mc + 0.2729$	۰/۹۷
	برنج قهوه ای	نمد	$\mu = 0.0187\ Mc + 0.1914$	۰/۹۳
		برزنت	$\mu = 0.0098\ Mc + 0.3271$	۰/۹۷
		پلی‌اتیلن	$\mu = 0.0178\ Mc + 0.0786$	۰/۹۳
		استیل	$\mu = 0.0089\ Mc + 0.2043$	۰/۹۷
	برنج سفید	نمد	$\mu = 0.0171\ Mc + 0.1672$	۰/۹۹
		برزنت	$\mu = 0.0073\ Mc + 0.3329$	۰/۹۷
		پلی‌اتیلن	$\mu = 0.0204\ Mc - 0.0343$	۰/۹۹
		استیل	$\mu = 0.0087\ Mc + 0.1714$	۰/۹۴
فجر	شلتوک	نمد	$\mu = 0.0253\ Mc + 0.2978$	۰/۹۹
		برزنت	$\mu = 0.0136\ Mc + 0.3154$	۰/۹۹
		پلی‌اتیلن	$\mu = 0.0124\ Mc + 0.2943$	۰/۹۹
		استیل	$\mu = 0.0087\ Mc + 0.2114$	۰/۹۸
	برنج قهوه ای	نمد	$\mu = 0.0178\ Mc + 0.2486$	۰/۹۹
		برزنت	$\mu = 0.0109\ Mc + 0.2829$	۰/۹۵
		پلی‌اتیلن	$\mu = 0.0127\ Mc + 0.2271$	۰/۹۳
		استیل	$\mu = 0.0085\ Mc + 0.1386$	۰/۹۴
	برنج سفید	نمد	$\mu = 0.0096\ Mc + 0.3043$	۰/۹۲
		برزنت	$\mu = 0.0122\ Mc + 0.2014$	۰/۹۷
		پلی‌اتیلن	$\mu = 0.0098\ Mc + 0.1871$	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 درجدول ۱و۲ 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 آن ها 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 از۲۲/۰۴ 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 به طوری که 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 می‌توان 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 زراعی۹۹-۱۳۹۸، ص ۱۸.

۲. اشتواد رحمت اله، کلانتری داوود. تعیین برخی از خواص فیزیکی ارقام برنج های اصلاح شده ایرانی. *نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۲؛ ۹ (۱): ۴۹-۴۰
https://doi.org/10.22067/ifstrj.v9i1. 2971

۳. رضوی، سید محمد علی.، فتحی میلاد.، ۱۳۸۷. بررسی تاثیر رطوبت بر برخی خواص فیزیکی دانه انگور. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون.
https://civilica.com/doc/52824

۴. رضوی، م. ع.، اکبری، ر.، ۱۳۸۵. خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی. *چاپ اول انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه فردوسی مشهد*، مشهد.

۵. علیزاده محمدرضا. بررسی تاثیر رقم و نوع محصول (اصلی و رتون) بر برخی خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و تبدیل شلتوک به برنج سفید. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*. ۱۳۹۴؛ ۱۶ (۳): ۱۰۶-۹۳.
https://doi.org/10.22092/JAER.2015.102992

۶. محجوب محسن، موحد سارا، احمدی چناربن حسین. عوامل موثر بر زاویه استقرار، ضریب اصطکاک داخلی و خارجی دو رقم گندم (بهرنگ و شیرودی). *فناوری‌های جدید در صنعت غذا*. ۱۳۹۴؛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, Rababah T. M. Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. *Journal of food engineering*. 2007; *79*(4)):1467-1473.

19. Ghanbarian D, Salek F. Effect of moisture content on some physical properties of sugar beet seed. *Journal of Sugar Beet.* 2014; 30(1):.43-9. https://doi.org/10.22092/jsb.2014.5047
20. Gupta R. K, Das S. K. 1997. Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1997; 66(1): 1-8. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00061-3
21. Jha S. N. Physical and hygroscopic properties of makhana. Journal of Agricultural Engineering Research. 1999; 72(2): 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, Fard M. A. Frictional behavior of sunflower seed and its kernel as a function of moisture content, variety and size. *Nong Ye Ke Xue Yu Ji Shu*. 2010: *4*(3):83.
24. Lin J. H, Singh H, Chang Y.T, Chang Y. H. Factor analysis of the functional properties of rice flours from mutant genotypes *Food Chemistry*. 2011; 126(3): 1108-1114. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.140
25. Meera K, Smita M, Haripriya S. Varietal distinctness in physical and engineering properties of paddy and brown rice from southern India. *Journal of food science and technology*. 2019; 56(3): 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, Bhattacharya S. Moisture dependant physical and uniaxial compression properties of black pepper. *Journal of Food Engineering*. 1998; 37(2): 193-205. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00083-1
28. Perez E. E, Crapiste G. H, Carelli A. A. Some physical and morphological https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.045
9. Asli-Ardeh E. A. Determination of dynamic friction coefficient in common wheat varieties on different contact surfaces. *Agricultural Engineering International CIGR Journal*. 2017; 19(1):136-141.
10. Baryeh E. A. Physical properties of millet. *Journal of Food Engineering*. 2002; *51*(1): 39-46. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00035-8
11. Baümler E, Cuniberti A, Nolasco S. M, Riccobene I. C. Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering*. 2006; *72*(2): 134-140. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.029
12. Çalışır, S., Marakoğlu, T., Öğüt, 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, Akande F.B. Development of an apparatus for measuring angle of repose of granular materials:AU JT. 2007; 11(1):62-66.
14. Deshpande S. D, Bal S, Ojha T. P, Physical properties of soybean: Journal of Agricultural Engineering Research. 1993; 56(2): 89-98. https://doi.org/10.1006/jaer.1993.1063
15. Dursun E, Dursun I. 2005.Some physical properties of caper seed. *Biosystems Engineering*. 2005 Oct 1; 92(2): 237-45.
16. Dutta S. K, Nema V. K, Bhardwaj R. K. 1988. Thermal properties of gram. Journal of Agricultural Engineering Research. 1988Apr 1; 39(4):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, Prasad K. Some physical properties of rice kernels: Variety PR-106. Journal of Food Process Technology. 2012; 3(8): 1-5. https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000175

properties of wild sunflower seeds. *Biosystems engineering*. 2007; 96(1): 41-45. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.09.004

29. Perforated S. Fissures related to post-drying treatments in rough rice: *Cereal Chem*. 1981; *61*(1): 63-68.
30. Razavi S. M, Rafe A, Moghaddam, T. M, Amini A. M. Physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety. Part II. Gravimetrical properties: Journal of Food Engineering. 2007; Jul 1.81(1): 218-25.
31. Razavi S. M, Yeganehzad S, Sadeghi A, Moisture dependent physical properties of canola seeds.
32. Reddy B. S, Chakraverty A. Physical properties of raw and parboiled paddy. Biosystems Engineering. 2004; 88(4): 461-466. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.05.002
33. Shafaei S. M, Kamgar S. A comprehensive investigation on static and dynamic friction coefficients of wheat grain with the adoption of statistical analysis. Journal of Advanced Research. 2017; 8(4):351-361. https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.04.003
34. Shafaei S. M,, Nourmohamadi-Moghadami A, Kamgar S, Eghtesad M. Development and validation of an integrated mechatronic apparatus for measurement of friction coefficients of agricultural products. Information Processing in Agriculture. 2020; 7(1): 93-108. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.04.006
35. Shitanda D, Nishiyama Y, Koide S, Compressive strength properties of rough rice considering variation of contact area. Journal of Food Engineering. 2002; 53(1): 53-58. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00139-X
36. Singh K. P, Mishra H. N, Saha S. Moisture-dependent properties of barnyard millet grain and kernel. *Journal of Food Engineering*. 2010; 96(4): 598-606. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.09.007
37. Singh N, Kaur L, Sodhi N. S, Sekhon K. S. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food chemistry*. 2005; 89(2): 253-259. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.032