تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی دانه شلتوک بر روی سطوح مختلف (۳۸۷)

عزت اله عسکری اصلی اردە[۱] ، یوسف عباسپور گیلانده[۲] ، سمانه شجاعی[۳]

چکیده

ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی محصولات کشاورزی بر روی سطوح مختلف، در طراحی سیلوها و ساختمان‌های نگهداری محصولات کشاورزی، تجهیزات انتقال از قبیل تسمه نقاله‌ها و نقاله های مارپیچی و نیز در طراحی و تعیین بازده تجهیزات مورد استفاده در فرآوری پس از برداشت مورد نیاز می‌باشد. در این تحقیق، برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی دستگاهی ساخته شد که قسمت مکانیکی آن شامل دیسک دوار، ظرف حاوی نمونه، میله آلومینیومی حامی ظرف نمونه و شاسی اصلی بود. برای به حرکت درآوردن دیسک دوار از یک الکتروموتور و برای کاهش دور و ایجاد سرعت‌های مورد نیاز در آزمایش ها از یک گیربکس حلزونی و یک اینورتور استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری گشتاور پیچشی منتقل شده به میله آلومینیومی، ۴ عدد استرین گیج بر روی آن نصب گردید. برای ثبت اده‌ها از دیتالاگر مدل DT800 که به کامپیوتر مربوط می شد، استفاده شد. سپس ضریب اصطکاک دینامیکی دانه سه رقم متداول برنج به صورت شلتوک (ارقام علی کاظمی، هاشمی و خزر) بر روی سه سطح (ورق گالوانیزه، ورق روغنی و ورق سیاه)، در ۲ سطح رطوبتی (۱۲٪ w.b. و ۲۳٪) و سه سطح سرعت (۰/۵، ۳/۵ و ۶/۵ سانتی‌متر بر ثانیه) تعیین و مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش ها در ۳ تکرار انجام شد. برای انجام آزمایش ها از طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل اده‌ها از روش تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین اثرات از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (با سطح احتمال ۵٪) استفاده گردید. داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTATC تجزیه وتحلیل شد و نتایج نشان داد که اثر رطوبت، رقم، سطح تماس و سرعت و نیز اثرات متقابل آنها بر ضریب اصطکاک دینامیکی معنی‌دار بوده است (سطح احتمال ۱٪). افزایش رطوبت و سرعت باعث افزایش معنی‌دار ضریب اصطکاک دینامیکی شد و در بین سطوح تماس، ورق سیاه از بیشترین (۰/۵۶۷) و ورق گالوانیزه (۳۱۴ /۰) از کمترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی برخوردار بوده است. همچنین در بین ارقام بیشترین و کمترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی به ترتیب به ارقام علی کاظمی و خزر اختصاص داشت.

کلیدواژه: خواص فیزیکی، شلتوک، سطوح تماس و ضریب اصطکاک دینامیکی

[۱]– استادیار دانشگاه محقق اردبیلی، پست الکترونیک: Ezzataskari@yahoo.co.uk
[۲]– استادیار دانشگاه محقق اردبیلی
[۳]– دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

مقدمه:

غلات از مهمترین محصولات غذایی در دنیا محسوب می‌شوند. برنج گیاهی است که در بین غلات پس از گندم در سطح بسیار وسیعی از زمین‌های زراعی کشورهای مختلف جهان کشت می‌شود. سطح زیر کشت برنج در دنیا کمتر از گندم ولی مقدارتولید آن تقریباً برابر گندم است [۲]. امروزه سطح زیر کشت برنج در ایران ۶۱۵۰۰۰ هکتار می‌باشد [۳]. در میان غلات، ترکیبات غذایی برنجی غذای اصلی شمار زیادی از افراد شده است. میزان بازار پسندی برنج و محصولات کشاورزی بستگی به کیفیت فیزیکی آنها پس از فرآوری دارد. تلفیق بهینه عوامل تولید مانند توسعه سطح زیر کشت در مناطق مستعد، افزایش بهره‌وری نهاده‌ها، معرفی ارقام پر محصول و همچنین کاهش تلفات و ضایعات پس از برداشت می‌تواند در افزایش تولید موثر باشد. بیشتر غلات پس از برداشت باید فرآوری و تبدیل شوند تا به شکل قابل مصرف درآیند و سپس در سیلوها ذخیره شوند. ضریب اصطکاک دینامیکی غلات و سایر محصولات کشاورزی بر روی سطوح مختلف در طراحی سیلوها و ساختمان‌های نگهداری محصولات کشاورزی، ادوات جابجایی و انتقال از قبیل تسمه نقاله‌ها و نقاله‌های مارپیچی و نیز در طراحی و تعیین بازده تجهیزات مورد استفاده در فرآوری پس از برداشت مورد نیاز می باشد. هنگامی که دو جسم در حال تماس نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند، نیرویی در امتداد سطح تماس متناسب با نیروی عمودی وارد بر این سطح بر یکدیگر اعمال می‌کنند که نیروی اصطکاک نامیده می‌شود. نیروی اصطکاک عمل کننده بین اجسام را زمانی که دو جسم نسبت به یکدیگر دارای حرکت هستند نیروی اصطکاک دینامیکی می‌نامند [۱]. ضریب اصطکاک دینامیکی تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله رقم محصول، محتوای رطوبتی محصول، جنس سطوح در تماس با محصول و سرعت لغزشی قرار می‌گیرد. تاثیر عوامل مختلف بر ضریب اصطکاک دینامیکی توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. بسیاری از محققان در آزمایشات خود ضمن تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی محصولات کشاورزی مشاهده کردند که ضریب اصطکاک با افزایش میزان محتوای رطوبتی بطور خطی افزایش می‌یابد.کاپوسوامی و راتن در تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی شلتوک بر روی صفحات فولادی نرم در رطوبت‌های مختلف به این نتیجه رسیدند که با افزایش رطوبت ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش می‌یابد [۸].گوپتا و داس نیزگزارش کردند که با افزایش میزان محتوای رطوبتی دانه‌های آفتابگردان ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش می‌یابد [۷]. کاسکونر و کاربابا، ضمن تعیین ضریب اصطکاک دانه‌های گشنیز بر روی سطوح مختلف مشاهده کردند که با افزایش میزان رطوبت به علت کاهش ویژگی‌های لغزشی و زبرتر شدن دانه‌ها ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد [۵].

تاثیر جنس سطوح مختلف از قبیل بتون، فولاد گالولنیزه، چوب، لاستیک، فولاد نرم، آلومینیوم و فولاد ضد زنگ بر ضریب اصطکاک نیز توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است [۶ ,۱۰]. طبق نتایج بدست آمده توسط چانگ و ورما تاثیر جنس سطوح بکار رفته برضریب اصطکاک دینامیکی بیشتر از ضریب اصطکاک استاتیکی می‌باشد و بطور کلی در اکثر آزمایشات انجام شده بر روی سطوح مختلف، مشاهده شد که ضرایب اصطکاک محصولات بر روی سطوح بتونی، چوبی و لاستیکی نسبت به سطوح فلزی و شیشه‌ای بیشتر می‌باشد[۴].

تاثیر سرعت لغزشی بر ضریب اصطکاک نیز توسط چندین محقق مورد بررسی قرار گرفته است. کاپوسوامی و راتن در آزمایشات خود در تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی دانه‌های شلتوک به این نتیجه رسیدند که با افزایش سرعت لغزشی در تمام سطوح رطوبتی ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش می‌یابد[۸]. گوپتا و داس در تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی دانه‌های آفتابگردان برحسب سرعت، تغییرات بسیار ناچیزی در ضریب اصطکاک دینامیکی مشاهده و بیان کردند که افزایش سرعت اثر بسیار جزئی بر ضریب اصطکاک دینامیکی دارد [۷].

همانطور که گفته شد ضریب اصطکاک یکی از عوامل تاثیر گذار در ذخیره سازی صحیح، طراحی و تعیین بازده تجهیزات مورد استفاده در فرآوری پس از برداشت به شمار می‌آید و همچنین با توجه به اینکه اطلاعات بسیار محدودی در مورد ضریب اصطکاک دینامیکی ارقام مختلف شلتوک در کشور وجود دارد، در این تحقیق به بررسی و تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی سه رقم برنج به صورت شلتوک بر روی سه سطح تماس، در دو سطح رطوبتی و سه سطح سرعت خواهیم پرداخت. اهداف این تحقیق عبارتند از:

۱- بررسی اثر عوامل اصلی رطوبت، رقم، سرعت لغزشی، جنس سطوح و اثرات متقابل آنها بر ضریب اصطکاک دینامیکی.

۲- تعیین بیشترین و کمترین ضریب اصطکاک دینامیکی در بین ارقام و سطوح.

۳- تعیین روند تغییرات ضریب اصطکاک دینامیکی بر حسب افزایش سرعت در سطوح و محتوای رطوبت دانه مختلف.

مواد و روش ها

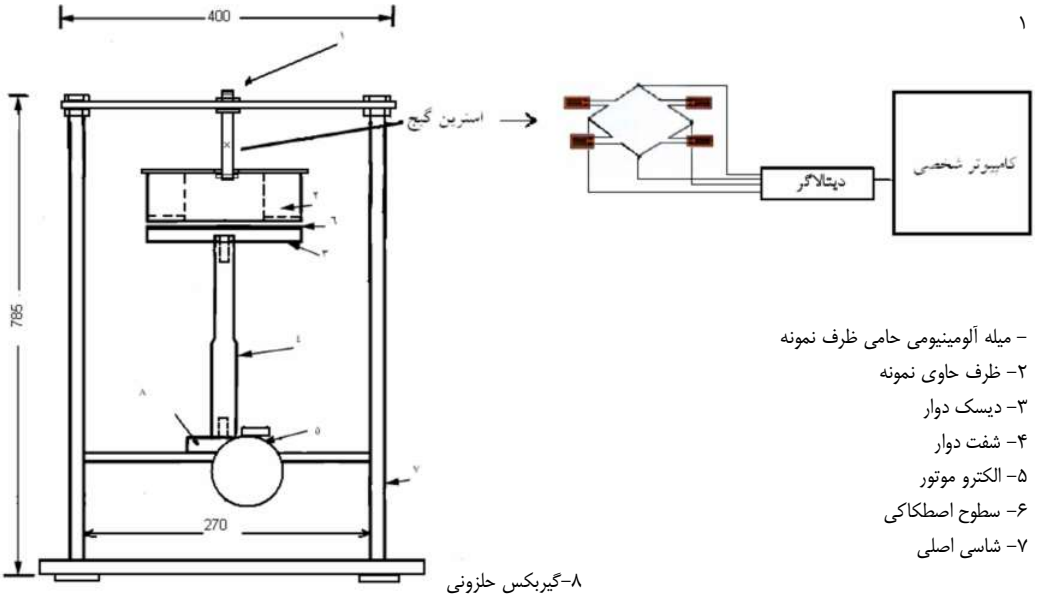
برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی دانه‌های شلتوک دستگاهی ساخته شد که شماتیکی از آن در شکل (۱) دیده می شود. دستگاه شامل ظرف حاوی نمونه (۲) است که بر روی یک میله آلومینیومی (۱) به قطر ۱۳ میلیمتر قرار گرفته ست. میله آلومینیومی، ظرف حاوی نمونه را به صورت افقی و موازی با دیسک دوار (۳) در بالای آن نگه می‌دارد. انتهای میله طوری به شاسی (۷) متصل شده است که امکان حرکت عمودی و افقی را به ظرف حاوی نمونه برای تنظیم فاصله بین ظرف و دیسک دوار می‌دهد و همچنین تخلیه راحت محصول از داخل آن را ممکن می‌سازد.

توان مورد نیاز برای برای گردش دیسک دوار از طریق یک گیربکس حلزونی (۸) با نسبت کاهش دور ۱ به ۸۰ از یک الکتروموتور (۵) سه فاز جریان متناوب با توان ۱۸۰ وات تامین می‌شود. برای کاهش دور موتور و تامین سرعت های مورد نیاز در آزمایشات از یک اینورتور مدل N50-015SF استفاده شد.

ظرف حاوی نمونه (از جنس PVC) از دو استوانه توخالی با ضخامت های ۲ و ۵ میلیمتر، قطرهای ۱۱۰ و ۲۰۰ میلیمتر و ارتفاع ۵۶ میلیمترساخته شد. این دو استوانه به صورت هم مرکز قرار گرفته و فضای خالی بین آن‌ها بوسیله صفحات عمودی فلزی به ضخامت ۱ میلیمتر که نسبت به هم تحت زاویه ۱۲۰ درجه قرار داشتند، به سه قسمت مساوی تقسیم شد. نمونه در فضای خالی بین استوانه داخلی و خارجی ریخته می‌شد. صفحات مورد استفاده در آزمایشات بر روی یک دیسک (۳) دوار با قطر ۲۱۰ میلیمتر قرار می‌گرفت . قبل از اینکه ظرف حاوی نمونه از بالا توسط محصول پر شود، فاصله بین دیسک دوار و ظرف حاوی نمونه به منظور عدم تماس ظرف با سطوح آزمایشی بوسیله حرکت عمودی ظرف تنظیم می‌شد.

در طی گردش دیسک دوار، حرکت دیسک از طریق نمونه به ظرف و سپس به میله آلومینیومی منتقل می‌شد در حالیکه نیروی عمودی نیز بین نمونه و سطح آزمایش عمل می‌کرد. وجود صفحات عمودی در داخل ظرف حاوی نمونه، مانع از چرخش نمونه همراه با چرخش دیسک می‌شد. بنابراین یک گشتاور پیچشی به میله آلومینیومی حامی ظرف نمونه منتقل می‌شد.

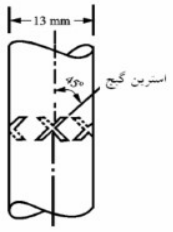
برای اندازه‌گیری گشتاور پیچشی منتقل شده به میله آلومینیومی، ۴ عدد استرین گیج هر کدام با مقاومت ۱۲۰ اهم و گیج فاکتور ۲ بر روی میله آلومینیومی تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور میله نصب شد. شکل (۲) نحوه نصب استرین گیج ها را بر روی میله آلومینیومی نشان می‌دهد. استرین گیج ها به مدار پل وتستون مربوط شده و داده ها توسط یک دیتالاگر مدل DT800 که به کامپیوتر مربوط بود، در بازه زمانی ۱/۵ دقیقه با فرکانس داده برداری ۱ داده در هر ۵ ثانیه بصورت پیوسته ثبت می‌شد.



۱

– میله آلومینیومی حامی ظرف نمونه
۲– ظرف حاوی نمونه
۳– دیسک دوار
۴– شفت دوار
۵– الکترو موتور
۶– سطوح اصطکاکی
۷– شاسی اصلی
۸–گیربکس حلزونی

شکل۱– شماتیکی از دستگاه اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی (ابعاد بر حسب mm)



شکل۲– نحوه نصب استرین گیج ها بر روی میله آلومینیومی

دستگاه مورد نظر در ابتدا ازطریق اعمال نیروهای معین بوسیله یک بازوی گشتاور با طول معین بر میله آلومینیومی کالیبره شد (بازوی گشتاور ۰ نیرو = گشتاور). برای جلوگیری از لرزش دستگاه در حین کار از یکسری وزنه‌های سنگین کننده بر روی پ یه‌های آن استفاده شد. شکل زیر نمایی از تجهیزات دازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی را نشان می‌دهد.

شکل ۳- نمایی از تجهیزات اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی و نحوه ارتباط اجزا

دانه‌های شلتوک از سه رقم مختلف (علی کاظمی، هاشمی و خزر) با رطوبت‌های اولیه به ترتیب ۱۲/۳، ۱۰/۷ و ۱۴/۳٪ w.b. از موسسه تحقیقات برنج کشور در استان گیلان تهیه و بطور دستی تمیز شدند. رطوبت اولیه بذرها توسط دستگاه رطوبت-سنج دیجیتالی مدل GMK-303 تعیین گردید. به منظور تهیه نمونه‌هایی با محتوای رطوبتی مورد نیاز، در ۲ سطح (تر و خشک) یکی دقیقاً پس از برداشت با محتوای رطوبتی ۲۰ الی ۲۵٪ w.b. و دیگری محصولی که ۱۶ ساعت در معرض تابش خورشید قرار گرفته و رطوبت دانه آن به رطوبت نگهداری، ۱۰ الی ۱۴٪ w.b. رسیده باشد (در آزمایشات از دو سطح رطوبتی ۱۲ و ۲۳٪ w.b. استفاده شد) ابتدا با استفاده از فرمول‌های زیر مقدار آب مقطر مورد نیاز برای تامین محتوای رطوبتی دانه‌ها محاسبه و به دانه‌ها اضافه شد و با دانه‌ها کاملاً مخلوط گردید.

(۱)

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

(۲)

$$w_w = w_f - w_i$$

که در آنها:

w_i = وزن محصول با رطوبت اولیه (gr)

w_f = وزن محصول با رطوبت نهایی (gr)

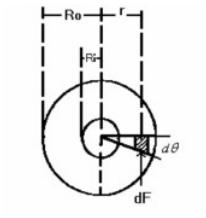
w_w = وزن آب اضافه شده به محصول(gr)

m_i = درصد رطوبت اولیه بر پایه تر

m_f = درصد رطوبت نهایی بر پ یه تر

سپس دانه ها، در کیسه های پلاستیکی ریخته شده وکاملاً مسدود شدند و به مدت دو روز در یخچال در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد تا به سطوح رطوبتی مطلوب و یکنواخت برسند[۱۱]. مدتی قبل از شروع آزمایشات به منظور هم دما شدن نمونه‌ها با محیط آزمایش، نمونه‌ها از یخچال خارج شده و در محیط آزمایش قرار می‌گرفت.

برای انجام آزمایشات صفحات تماس بر روی دیسک دوار قرار داده می‌شد و فاصله بین ظرف حاوی نمونه و سطح تماس به اندازه ۰/۵ – ۰/۴ میلیمتر تنظیم می‌گردید. مقدار ۳۵۰ گرم شلتوک در فضای خالی بین دو استوانه به طور مساوی در هر سه قسمت ریخته می‌شد. سپس با روشن کردن الکتروموتور دیسک دوار به گردش در آمده و گشتاور پیچشی اعمال شده بر میله آلومینیومی بوسیله دیتالاگر ثبت می‌شد. زمانی که سیستم به حالت پایدار و سرعت مطلوب می‌رسید در یک بازه زمانی مشخص داده‌ها ثبت می‌شد. گشتاوری که به میله آلومینیومی در اثر نیروی اصطکاک دانه‌های شلتوک با سطح تماس، منتقل می‌شد به صورت زیر محاسبه می‌گردید. با توجه به شکل زیر که نیروهای اعمال شده بر ظرف نمونه را نشان می‌دهد داریم:



شکل۴- نمودار آزاد نیروی وارد شده بر ظرف حاوی نمونه

$$dF = \propto .dN$$

$$N = \gamma .V$$

$$dT = r.dF = r.\propto .\gamma .h.r.dr.d\theta$$

$$\gamma = \rho .g = \frac{W}{h\pi \left(R_o^2 - R_i^2 \right)}$$

$$T = \propto \frac{W}{\pi \left(R_o^2 - R_i^2 \right)} \int_0^{2\pi} \int_{R_I}^{R_O} r.rdrd\theta$$

$$T = \frac{2 \propto W}{\left(R_o^2 - R_i^2 \right)} \left[\frac{R_o^3}{3} - \frac{R_i^3}{3} \right] \Rightarrow Q = \frac{2}{3} \left[\frac{R_o^3 - R_i^3}{R_o^2 - R_i^2} \right] \qquad (3)$$

و در نهایت با استفاده از میانگین ۱۸ داده ثبت شده توسط دیتالاگر (در بازه زمانی ۱/۵ دقیقه) و فرمول زیر ضریب اصطکاک دینامیکی تعیین گردید.

(۴)

$$\propto = \frac{T}{W \cdot Q}$$

که در آنها:

$\propto$ = ضریب اصطکاک دینامیکی

T= گشتاور (N.m)

Q= بازوی موثر گشتاور (m)

W= وزن کل نمونه ریخته شده بر روی دیسک دوار (N)

R_o = شعاع استوانه خارجی (m)

R_i = شعاع استوانه داخلی (m)

h = ارتفاع ظرف (m)

γ = وزن مخصوص شلتوک $\left(\frac{kg}{s^2.m^2}\right)$

V= حجم ظرف $\left(m^3\right)$

N= نیروی عمودی وارد بر صفحه دوار (N)

g= شتاب جاذبه $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

ρ = جرم حجمی شلتوک $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

آزمایشات در ۳ تکرار انجام شد بنابراین با توجه به تعداد سطوح رطوبتی(۲)، تعداد ارقام مورد آزمایش (۳)، تعداد سطوح تماس(۳) و تعداد سرعت های(۳) آزمایش جمعاً ۱۶۲ آزمایش انجام گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده از آزمایشات از طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و برای مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل عوامل مستقل(رطوبت، رقم، سطح تماس و سرعت لغزش) از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم افزار MSTATCانجام و نمودارها با استفاده از برنامه Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

خلاصه نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول۱- نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به ضریب اصطکاک دینامیکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F
تکرار	۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۴/۳۰۳۸ ns
رطوبت	۱	۰/۳۴۷	۰/۳۴۷	۳۴۵۷/۲۷۴۹ **
خطا	۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
رقم	۲	۰/۰۳۰	۰/۰۱۵	۲۷/۰۲۹۳ **
رطوبت رقم	۲	۰/۰۸۷	۰/۰۴۳	۷۷/۰۵۴۱ **
خطا	۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	
سطح تماس	۲	۱/۸۰۳	۰/۹۰۲	۱۱۱۸/۶۱۵۵ **
رطوبت • سطح تماس	۲	۰/۰۳۲	۰/۰۱۶	۱۹/۹۶۸۹ **
رقم • سطح تماس	۴	۰/۳۹۸	۰/۰۹۹	۱۲۳/۳۰۳۳ **
رقم • رطوبت • سطح تماس	۴	۰/۰۸۳	۰/۰۲۱	۲۵/۶۳۳۵ **
سرعت لغزشی	۲	۱/۲۶۴	۰/۶۳۲	۷۸۴/۱۱۸۶ **
رطوبت • سرعت لغزش	۲	۰/۰۱۴	۰/۰۰۷	۷/۸۰۸۵ **
رقم • سرعت لغزش	۴	۰/۰۳۲	۰/۰۰۸	۹/۸۳۶۹ **
رطوبت • رقم • سرعت لغزش	۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۴	۴/۴۵۷۶ **
سطح • سرعت لغزش	۴	۰/۰۱۵	۰/۰۰۴	۴/۶۵۳۰ **
رطوبت • سطح • سرعت لغزش	۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۱/۶۱۵۵ ns
رقم • سطح • سرعت لغزش	۸	۰/۰۶۷	۰/۰۰۸	۱۰/۳۷۲۳ **
رطوبت • رقم • سطح تماس • سرعت لغزش	۸	۰/۰۲۶	۰/۰۰۳	۳/۹۸۸۳ **
خطا	۹۶	۰/۰۷۷	۰/۰۰۱	
مجموع	۱۶۱	۴/۳۰۰		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ns عدم اثر معنی‌دار

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که اثرات اصلی رطوبت، رقم، سطح تماس، سرعت لغزشی و نیز اثرات متقابل آنها بر ضریب اصطکاک دینامکی معنی‌دار می‌باشد (سطح احتمال ۱٪). علت این واقعه این است که کیفیت سطوح دانه‌ها در ارقام مختلف و نیز کیفیت سطوح تماس ، متفاوت می‌باشد. علاوه بر این با افزایش رطوبت دانه‌ها ، به علت افزایش نیروی چسبندگی ، ضریب اصطکاک افزایش یافته است.از طرفی افزایش سرعت نیز بر آن تاثیر می‌گذارد. ضریب تغییرات معادل ۶/۶۷ ٪ می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی درجدول ۲ ارائه شده است :

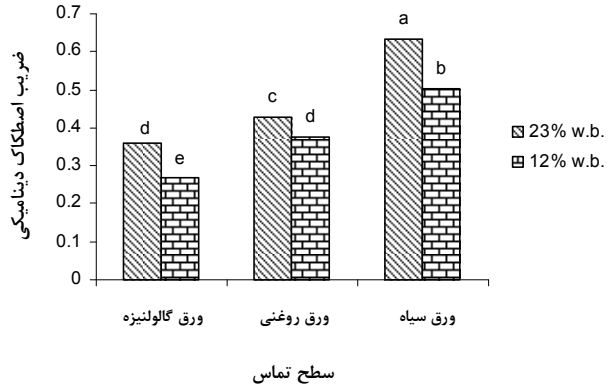
جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بر ضریب اصطکاک دینامیکی

اثراتاصلی رطوبت (w.b.)		اثرات اصلی رقم		اثرات اصلی سطوح تماس		اثرات اصلی سرعت لغزش	
٪۲۳	۰/۴۷۲a	علی کاظمی	۰/۴۴۱ a	ورق گالوانیزه	۰/۳۱۴ c	۰/۵ cm/s	۰/۳۱۵ c
٪۱۲	۰/۳۸۰b	هاشمی	۰/۴۲۹ a	ورق روغنی	۰/۳۹۶ b	۳/۵ cm/s	۰/۴۳۱ b
		خزر	۰/۴۰۸ c	ورق سیاه	۰/۵۶۷ a	۶/۵ cm/s	۰/۵۳۱ a

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار (سطح احتمال ۵٪) میانگین اثرات می‌باشد.

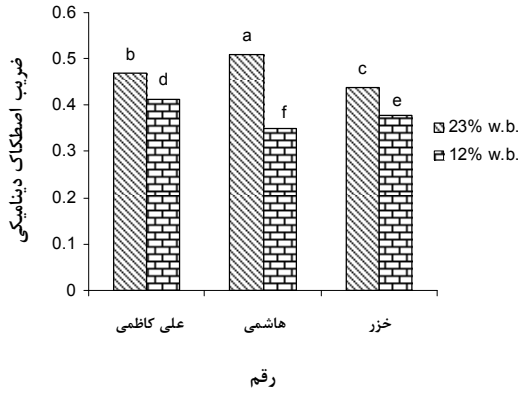
نتایج مذکور نشان می‌دهد که تغییرات (افزایش) رطوبت و سرعت باعث افزایش معنی دار ضریب اصطکاک دینامیکی شده است و در بین سطوح تماس، ورق سیاه از بیشترین میانگین و ورق گالوانیزه از کمترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی

برخوردار است. همچنین در بین ارقام، رقم علی کاظمی با اختلاف کمی نسبت به رقم هاشمی، بیشترین و رقم خزر کمترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی را دارا می‌باشد (سطح احتمال ۵٪).



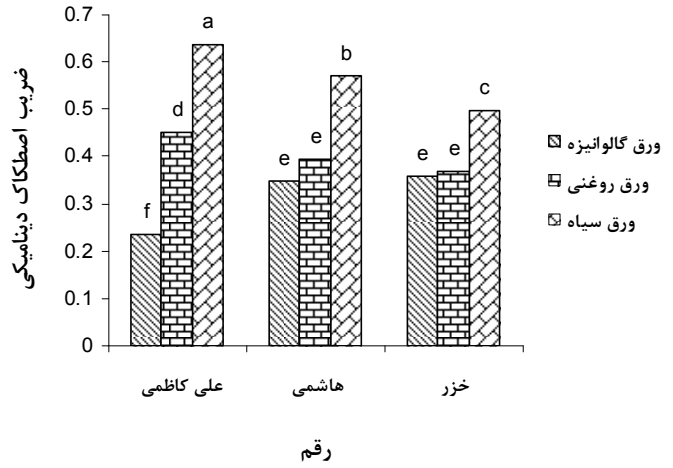
شکل ۵- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل محتوای رطوبت دانه در سطوح تماس (حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار اثرات می‌باشند).

نتایج مقایسه اثرات متقابل محتوای رطوبت دانه در سطح تماس (شکل ۵) نشان می‌دهد که بر روی هر سه سطح با افزایش میزان رطوبت ضریب اصطکاک دینامیکی به طور معنی‌داری افزایش یافته است. این نتیجه با نتایج بدست آمده توسط کاپوسوامی و راتن و گوپتا و داس مطابقت دارد[۸,۷]. با توجه به نتایج بیشترین مقدار ضریب اصطکاک دینامیکی به سطح تماس ورق سیاه (۰/۶۳۱) در سطح رطوبتی ۲۳٪ اختصاص دارد.



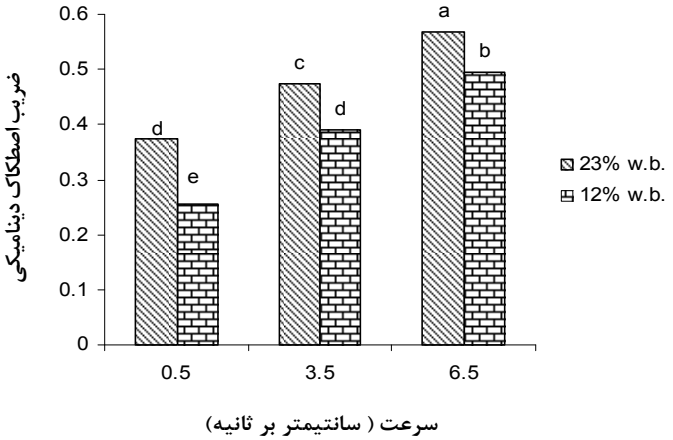
شکل ۶- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل محتوای رطوبت دانه در رقم برضریب اصطکاک دینامیکی

نتایج مقایسه اثرات متقابل محتوای رطوبت دانه در رقم (شکل۶) نشان می‌دهدکه درتمام ارقام، با افزایش رطوبت از ۱۲٪ به۲۳٪ w.b. اختلاف معنی داری در ضریب اصطکاک دینامیکی ایجاد شده است. بیشترین میانگین ضریب اصطکاک در بین ارقام مربوط به رقم هاشمی(۰/۵۰۸) در سطح رطوبتی۲۳٪ w.b. می‌باشد.



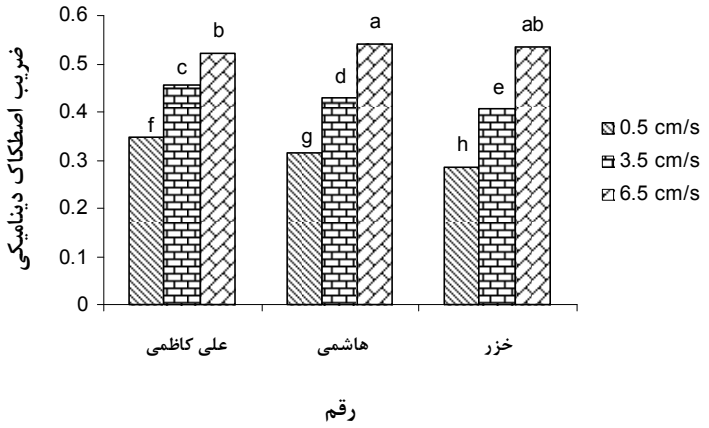
شکل ۷- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم در جنس سطوح تماس بر ضریب اصطکاک دینامیکی

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم در جنس سطوح تماس بر ضریب اصطکاک دینامیکی (شکل ۷) نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی به رقم علی کاظمی و به ترتیب سطوح تماس ورق گالوانیزه و ورق سیاه اختصاص دارد. و نیز در ارقام هاشمی و خزر تفاوت معنی‌داری در ضریب اصطکاک بر روی سطوح ورق گالوانیزه و ورق روغنی مشاهده نشده است.



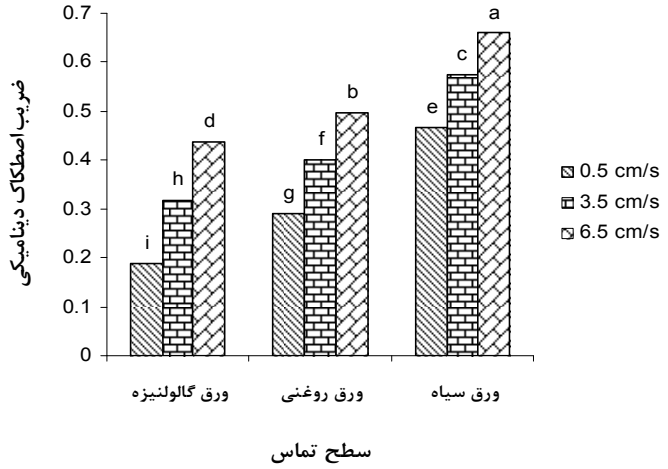
شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل محتوای رطوبت دانه در سرعت لغزشی بر ضریب اصطکاک دینامیکی

نتایج مقایسه اثرات متقابل محتوای رطوبت دانه در سرعت لغزشی بر ضریب اصطکاک دینامیکی در شکل ۸ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که با افزایش سرعت در هر دو سطح رطوبتی، ضریب اصطکاک به طور معنی داری افزایش یافته است. این نتیجه با نتایج بدست آمده توسط کاپوسوامی و راتن مطابقت دارد[۸]. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میانگین ضریب اصطکاک مربوط به سرعت ۶/۵ سانتیمتر بر ثانیه در محتوای رطوبتی ۲۳٪ می‌باشد (۰/۵۶۹).



شکل ۹- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم دانه در سرعت بر ضریب اصطکاک دینامیکی

نتایج مقایسه اثرات متقابل رقم دانه در سرعت بر ضریب اصطکاک دینامیکی در شکل ۹ نشان داده شده ست. نتایج حاکی از آن است که در همه ارقام با افزایش سرعت ضریب اصطکاک به طور معنی‌داری افزایش یافته است. بیشترین میانگین ضریب اصطکاک در بین ارقام به رقم هاشمی (۰/۵۴۲) اختصاص دارد.



شکل ۱۰- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح تماسی در سرعت بر ضریب اصطکاک دینامیکی

نتایج مقایسه اثرات متقابل سطوح تماسی در سرعت بر ضریب اصطکاک دینامیکی (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که در همه سطوح با افزایش سرعت ضریب اصطکاک دینامیکی به طور معنی‌داری افزایش یافته است. بیشترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی در بین سطوح تماس به سطح تماس ورق سیاه در سرعت ۶/۵ سانتیمتر بر ثانیه اختصاص دارد(۰/۶۶۱).

از بررسی اثرات متقابل ۴ عامل مستقل مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار زاویه اصطکاک دینامیکی به طور مشترک به ارقام علی کاظمی و هاشمی در سطح رطوبتی ۲۳٪ ، در تماس با ورق سیاه و سرعت خطی ۶/۵ سانتیمتر بر ثانیه اختصاص دارد(۰/۷۳۸).

نتیجه‌گیری:

۱- اثرات محتوای رطوبتی دانه، رقم، سطح تماس و سرعت و نیز اثرات متقابل آنها بر ضریب اصطکاک دینامیکی معنی‌دار می‌باشد(سطح احتمال ۱٪).

۲- با افزایش محتوای رطوبتی دانه و همچنین سرعت لغزش در تمامی ارقام ضریب اصطکاک دینامیکی بطور معنی‌داری افزایش یافته است.

۳- بیشترین میانگین اثرات در بین ارقام به رقم علی کاظمی (۰/۴۴۱) و در بین سطوح به سطح ورق سیاه (۰/۵۶۷) اختصاص دارد. همچنین بیشترین میانگین اثرات متقابل ۴ تایی به طور مشترک به ارقام علی کاظمی و هاشمی در سطح رطوبتی ۲۳٪ ، در تماس با ورق سیاه و سرعت ۶/۵ سانتیمتر بر ثانیه اختصاص دارد و مقدار ۰/۷۳۸ می‌باشد.

منابع مورد استفاده :

۱- توکلی هشجین، ت. ۱۳۸۲. مکانیک محصولات کشاورزی(ترجمه). انتشارات سالکان. ۸۵۵ صفحه.

۲- خدا بنده، ن. ۱۳۶۷. زراعت غلات. مرکز نشر سپهر. ۴۰۱ صفحه.

۳- عسکری اصلی ارده. ع. ۱۳۸۳. تعیین نیروی کوبش برای ارقام متداول برنج در استان گیلان. مجله علم وفناوری. شماره ۳و۴، ص۲۳-۲۹.

4- Chung, J and R. Verma. 1998. Determination of friction coefficient of beans and peanuts. Transection of ASAE. 32 (30), 745-750

5- Coskoner,Y. & E. Karbaba. 2006. Physical properties of coriander seed (*corianderum Sativum* L.). Journal Of Food Engineerin. (80):408-416.

6- Ghasemi varnamkhasti, M. H. Mobli. A.Jafari, A. R. Keyhani, M. Heidari Soltanabadi, S. Rafiee and K Khaeiralipour. 2007. Some physical properties of rough rice (*Oryza Sativa L.)* grain. Journal of Crial Science

. 7- Gupta, r. k. & S.k. Das. 1998. Friction cofficient of sun flower seed and kernel on various stractural surfaces. Journal Of Agricultural Engineering Reserch. (71): 175-180.

8- Juliano, O. 1985. Rice Chemistry and Technologe. Department Of Cerial Chemistry International Rice Reasearch In Statute. 744: 210-211.

9- Kashaninejad, M and M, Rezaghah. 2007. Effect of moisture countet on some engineering properties of two varieties of safflower seed. International Agricaltural Engineering Journal. 16 (3-4): 97-113

10- Molenda, M. S, A. Thompson & I. J. Ross. 2000. Friction of wheat on corrugated and smooth galvanized steel surfaces. Journal Of Agricultural Engineering Research. 77(2): 209-219.

11- Reddy. B. S and A, Chakravertty. 2004. Physical properties of raw and parboiled paddy. Biosystems Engineering. 88 (4), 461-466