تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی دانه گندم بر روی سطوح تماس مختلف

[1] هادی محمدزاده، [2]عزت اله عسکری اصلی اردە [2]یوسف عباسپور گیلانده

1 - دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی 2- استادیار دانشگاه محقق اردبیلی

hadi_m7443@yahoo.com

چکیده:

ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی غلات و سایر محصولات کشاورزی بر روی سطوح مختلف در طراحی تجهیزات محصولات کشاورزی مورد نیاز می باشد. با توجه به اینکه خواص اصطکاکی دانه ها تحت تاثیر عوامل مختلفی از قبیل رقم محصول، محتوای رطوبتی، سرعت لغزش و جنس سطوح در تماس قرار می گیرند، در این تحقیق ضریب اصطکاک دینامیکی دانه پنج رقم متداول گندم (آذر2، رصد، سبلان، زاگرس و سرداری) بر روی چهار سطح (ورق گالوانیزه،ورق سیاه، ورق روغنی و ورق آلومینیومی)، سه سطح سرعت (5، 10و 15 cm/s) و در سه سطح رطوبتی (12٪ ، 14٪ و 18 w.b٪) تعیین و اثرات متقابل آنها مورد بررسی قرار گرفته است. برای تجزیه و تحلیل داده ها از روش تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین اثرات از آزمون چند دامنه ای دانکن (با سطح احتمال 5٪) استفاده گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که اثرات اصلی کلیه عوام ل مورد بررسی و نیز اثرات متقابل دوتایی آنها بر روی ضریب اصطکاک دینامیکی معنی دار بوده است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش سرعت از 5cm/s تا 10cm/s ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش معنی داری داشته ولی با افزایش سرعت از 10cm/sتا 15cm/s ضریب اصطکاک دینامیکی افزا یش معنی‌داری نشان نداده است . در بین سطوح تماس ورق سیاه از بیشترین (0/331) و ورق گالوانیزه از کمترین (0/248) میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی برخوردار بوده است. و در بین ارقام نیز رقم آذر2 از بیشترین (0/299) و رقم زاگرس از کمترین (0/273) میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی برخوردار بوده است.

کلمات کلیدی : دانه گندم، سطح تماس، رطوبت، سرعت لغزشی و ضریب اصطکاک دینامیکی

مقدمه :

بیشتر غلات پس از برداشت باید فرآوری و تبدیل شوند تا به شکل قابل مصرف درآیند و سپس در سیلو ها ذخیره شوند. ضریب اصطکاک دینامیکی غلات و سایر محصولات کشاورزی بر روی سطوح مختلف در طراحی سیلو ها و ساختمان های نگهداری محصولات کشاورزی، ادوات جابجایی و انتقال از قبیل تسمه نقاله ها و نقاله های مارپیچی و نیز در طراحی و تعیین بازده تجهیزات مورد استفاده در فرآوری محصولات پس از برداشت مورد نیاز می باشد. هنگامی که دو جسم در حال

تماس نسبت به یکدیگر حرکت می کنند، نیرویی در امتداد سطح تماس متناسب با نیروی عمودی وارد بر این سطح بر یکدیگر اعمال می کنند که نیروی اصطکاک نامیده می شود[1]. ضریب اصطکاک دینامیکی تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله رقم محصول، محتوای رطوبتی محصول، جنس سطوح در تماس با محصول و سرعت لغزشی قرار می گیرد. تامپسون ورز(1983)[1] در بررسی اثر عوامل رطوبت دانه، فشار عمودی و سرعت لغزشی بر ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی به این نتیجه رسیدند که با افزایش رطوبت دانه های گندم از 8 تا 20 درصد بر مبنای تر ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد. در حالیکه در رطوبت 24 درصد یا بیشتر ضریب اصطکاک کاهش می یابد[10]. لاوتون و مارچانت (1980)[2] گزارش کرده‌اند که ضریب اصطکاک گندم، جو و جو دو سر در محتوای رطوبتی بین 10 الی 15 درصد، ابتدا با شدت کمتر اما با افزایش محتوای رطوبت دانه از 15 تا 22 درصد به سرعت افزایش می یابد و سرانجام با افزایش رطوبت از 22 به 30 درصد، افزایش ضریب اصطکاک تدریجی است [8].کاسکونر و کاربابا (2006)[3] ضمن تعیین ضریب اصطکاک دانه های گشنیز بر روی سطوح مختلف مشاهده کردند که با افزایش میزان رطوبت به علت خشن تر شدن دانه‌ها ضریب اصطکاک افزایش می یابد[5]. طبق نتایج بدست آمده توسط چانگ و ورما (1989)[4] تاثیر جنس سطوح بکار رفته برضریب اصطکاک دینامیکی بیشتر از ضریب اصطکاک استاتیکی می باشد و بطور کلی در اکثر آزمایشات انجام شده بر روی سطوح مختلف، مشاهده شد که ضرایب اصطکاک محصولات بر روی سط وح بتونی، چوبی و لاستیکی نسبت به سطوح فلزی و شیشه ای بیشتر می باشد [4]. کاپوسوامی و راتن [5] (1970) در آزمایشات خود در تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی دانه های شلتوک به این نتیجه رسیدند که با افزایش سرعت لغزشی در تمام سطوح رطوبتی ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش می یابد[7]. گوپتا و داس(1998)[6] در تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی دانه های آفتابگردان برحسب سرعت، تغییرات بسیار ناچیزی در ضریب اصطکاک دینامیکی مشاهده کردند[6]. تامپسون و رز(1983) در تعیین اثر سرعت لغزشی بر ضریب اصطکاک دینامیکی گندم به این نتیجه رسیدند که با تغییر سر عت لغزشی ضریب اصطکاک افزایش معنی داری دارد. کرمانی(1377)، در بررسی اثر عوامل مختلف رطوبت محصول، جنس سطوح، فشار عمودی و سرعت لغزشی بر ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی دانه های نخود روی سطوح فولادی گالوانیزه و ورق سیاه به این نتیجه رسید که اثر رطوبت

[1]Thampson & Ross

[1]Lawton & Marchant

[2]Coskoner & Karbaba

[3]Chung & Verma

[4]Kappuswamy & Wratten

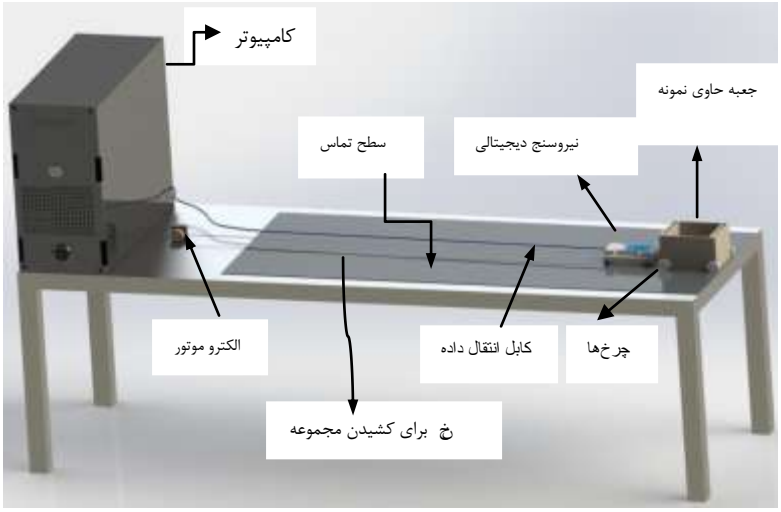
[5]Gupta & Das

بر ضریب اصطکاک دینامیکی معنی دار است و بطور کلی با افزایش رطوبت محصول ها ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش می‌یابد. اما روی سطوح فولاد گالوانیزه در رطوبت 21 درصد بر مبنای تر ضریب اصطکاک کاهش یافته است [2]. عسکری اصلی ارده و شجاعی (2009) در تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی سه رقم متداول برنج به صورت شلتوک (ارقام علی کاظمی، هاشمی، خزر) بر روی سه سطح (ورق گالوانیزه، ورق روغنی و ورق سیاه) در 2 سطح رطوبتی (12٪ و W.b 23٪) و سه سطح سرعت (0/5، 3/5 و 6/5 cm/s) به این نتیجه رسیدند که با افزایش رطوبت و سرعت ضریب اصطکاک دینامیکی به صورت معنی‌دار افزایش می‌یابد. و در بین سطوح مورد بررسی ورق گالوانیزه و سیاه به ترتیب دارای کمترین و بیشترین ضریب اصطکاک دینامیکی می باشد[3]. بررسی منابع نشان می دهد که ضریب اصطکاک دینامیکی محصولات کشاورزی از اهمیت خاصی برخوردار است . در این تحقیق به بررسی و تعیین ض ریب اصطکاک دینامیکی 5 رقم متداول گندم در استان اردبیل بر روی 4 سطح تماس در 3سطح سرعت و 3 سطح رطوبتی پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها:

ساخت دستگاه

برای انجام آزمایشات دستگاهی ساخته شد که شامل یک جعبه بدون ته به ابعاد 10 cm/s ×12×14که دارای چهار چرخ بود و نمونه‌های مورد آزمایش درون آن ریخته می شد. جهت تماس کامل دانه ها با سطوح مورد آزمایش، وزنه 0/5 کیلوگرمی به ابعاد 13×11cm داخل جعبه و روی نمونه ها قرار داده شد. توان مورد نیاز برای کشیدن جعبه حاوی نمونه توسط الکتروموتور گیربکس‌دار مدل ZA25(12V,200rpm,1000mA) تأمین و برای کاهش دور و تامین سرعت‌های مختلف از یک آداپتور (1000mA,3-12V) استفاده گردید. برای اندازه گیری نیروی اصطکاک هنگام کشیدن جعبه حاوی نمونه از یک نیروسنج دیجیتالی با دقت 0/001 kg.f قابل اتصال به کامپیوتر مورد استفاده قرار گرفت که داده ها بعد از اندازه‌گیری به کامپیوتر منتقل شده و توسط نرم‌افزار مربوطه ثبت می‌شد(شکل1).



شکل 1- تجهیزات اندازه گیری ضریب اصطکاک دینامیکی دانه گندم

روش انجام آزمایشات:

5 رقم گندم(سرداری،آذر2،رصد، سبلان و زاگرس) از مرکز تحقیقات کشاورزی اردبیل تهیه و به صورت دستی کاملا تمیز شد تا نمونه‌های مورد آزمایش عاری از هرگونه مواد خارجی از قبیل سنگ ریزه، کاه وکلش، بذرهای شکسته و نارس باشد. بعد رطوبت اولیه دانه ها با استفاده از دستگاه رطوبت سنج دیجیتالی مدل GMK-303 تعیین و به منظور تهیه نمونه هایی با محتوای رطوبتی مورد نیاز (12٪، 14٪ و 18 W.b٪) با استفاده از روابط زیر مقدار آب مقطر لازم برای تأمین محتوای رطوبتی دانه‌ها محاسبه و به آنها اضافه شد.

$$W_i\left(1-\frac{m_i}{100}\right)=W_f\left(1-\frac{m_f}{100}\right) \quad (1)$$

$$W_W=W_f-W_i \quad (2)$$

که در این روابط W_i = وزن دانه با رطوبت اولیه (gr)، W_f = وزن دانه با رطوبت نهایی (gr)، W_W = وزن آب اضافه شده (gr)، m_i = درصد رطوبت اولیه بر مبنای تر و m_f = درصد رطوبت ثانویه بر مبنای تر می‌باشند.

سپس دانه‌ها در کیسه های پلاستیکی کاملا بسته، قرار گرفت و به مدت 5 روز در یخچال در دمای 10درجه سانتی گراد قرار داده شد تا به سطح رطوبتی مطلوب برسد [10]. بعداز دستیابی به سطوح رطوبتی مطلوب، برای کاهش خطای حاصل از تأثیر عوامل محیطی، قبل از شروع آزمایش، نمونه‌ها به مدت حدود 2 ساعت در خارج از یخچال نگه‌داری می‌شد تا با محیط آزمایشگاه هم دما شود. برای تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی، نمونه‌های آماده شده در جعبه ریخته می‌شد و سپس جعبه حاوی نمونه در سطوح سرعتی متفاوت (5، 10، 15 cm/s) روی سطوح تماس مختلف (گالوانیزه، آلومینیوم، ورق سیاه و ورق روغنی) توسط الکتروموتورگیربکس‌دار کشیده و همزمان نیروی اصطکاک(F) توسط نیرو سنج اندازه‌گیری و داده‌های حاصل به کامپیوتر منتقل وثبت می گردید. سپس جهت محاسبه مقدار ضریب اصطکاک دینامیکی (μ) داده‌ها به برنامه excel منتقل شده و با استفاده از فرمول $\mu=\frac{F}{N}$ مقدار ضریب اصطکاک دینامیکی محاسبه و میانگین داده ها بعد از حرکت نمونه بعنوان ضریب اصطکاک دینامیکی هر آزمایش در نظر گرفته شد . در رابطه اخیر (F) نیروی اصطکاکی است که نیرو سنج در زمان لغزش جعبه بالایی بر روی سطوح مختلف نشان می دهد. (N) نیروی عمودی، که برابر با مجموع وزن دانه موجود در جعبه و وزن وزنه بر حسب نیوتن است . آزمایشات در 6 تکرار انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده های بدست آمده از آزمایشات از طرح کاملا تصادفی و برای مقایسه میانگین اثرات اصلی و متقابل عوامل مستقل (رطوبت، رقم، سطح تماس و سرعت لغزش)، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث:

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده های حاصل از اندازه گیری ضریب اصطکاک دینامیکی نشان داد که اثرات اصلی رقم، سطح تماس، رطوبت و سرعت لغزشی بر ضریب اصطکاک دینامیکی در سطح احتمال 1٪ معنی‌دار می‌باشد. و همچنین اثرات متقابل آنها به غیر از اثرات متقابل سه و چهار گانه، که عامل سرعت در آن وجود دارد در سطح احتمال 1٪ بر ضریب اصطکاک دینامیکی معنی دار می‌باشد. و علت این واقعه این است که کیفیت سطوح دانه ها در ارقام مختلف و نیز کیفیت سطح تماس و همچنین نوع برهم کنش دانه ها با سطوح متفاوت می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل مورد بررسی بر ضریب اصطکاک دینامیکی جدول (1) مشاهده می شود ضریب اصطکاک دینامیکی ارقام مختلف باهم متفاوت است و این نشان دهنده این است که کیفیت سطوح دانه ها در ارقام مختلف باهم

متفاوت می باشد در بین ارقام، رقم آذر 2 بیشترین(0/299) و رقم زاگرس کمترین (0/273) میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی را دارا می باشد. و این بیانگر این است که برای توده یکسانی از ارقام مورد بررسی، توان مورد نیاز جهت انتقال و جابه جایی توده، روی سطوح مختلف، برای رقم آذر2 بیشتر از سایر ارقام مورد بررسی می‌باشد.

جدول 1- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بر ضریب اصطکاک دینامیکی

اثرات اصلی رقم		اثرات اصلی سطوح تماس		اثرات اصلی رطوبت(w.b.)		اثرات اصلی سرعت لغزشی	
آذر2	a0/299	ورق سیاه	a0/331	٪18	a0/335	15 cm/s	a0/298
سرداری	a0/295	ورق آلومینیومی	b0/293	٪14	b0/273	10 cm/s	a0/295
سبلان	b0/284	ورق روغنی	c0/272	٪12	c0/249	5 cm/s	b0/265
رصد	bc0/278	ورق گالوانیزه	d0/248				
زاگرس	c0/273						

حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار(سطح احتمال5٪) میانگین اثرات اصلی می‌باشد.

نتایج بدست آمده در جدول (1) نشان می‌دهد که اثر سطوح تماس بر ضر یب اصطکاک دینامیکی دارای اختلاف معنی دار می‌باشد و در بین سطوح تماس , ورق سیاه به علت دارا بودن سطحی زبرتر نسبت به سایر سطوح مورد بررسی از بیشترین(0/331) و ورق گالوانیزه به علت صیقلی بودن از کمترین میانگین (0/248) ضریب اصطکاک دینامیکی برخوردار بوده است و این نشان دهنده این است که جهت کاهش اصطکاک دینامیکی (به تبع آن کاهش نیروی اصطکاک و توان مورد نیاز) ناشی از حرکت توده گندم روی سطوح مختلف طی فرایندهای انتقال و فراوری می توان از سطوح دارای ضریب اصطکاک دینامیکی کمتر همچون ورق گالوانیزه بهره جست. با افزایش سطوح رطوبتی دانه‌ها از 12٪ تا 18 w.b٪، ضریب اصطکاک دینامیکی از 0/249 تا 0/335 افزایش معنی‌داری پیدا کرده است و علت این واقعه این است که با افزایش محتوای رطوبتی محصول، نیروی چسبندگی افزایش یافته و ضریب اصطکاک بیشتر می شود. در این زمینه تامپسون و رز(1983) هنگام تعیین ضریب اصطکاک دانه های گندم بر روی سطوح فولاد گالوانیزه و فولاد سیاه، دریافتند که با افزایش رطوبت محصول ضریب اصطکاک افزایش می یابد. با افزایش سرعت از 5 تا 10cm/s ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش معنی‌داری داشته ولی با افزایش سرعت از 10تا 15 cm/s ضریب اصطکلک دینامیکی افزایش معنی‌داری نشان نداده است. علت این واقعه این است که در سرعت های پایین با افزایش سرعت لغزشی، دمای سطح تا حدودی افزایش یافته و مقداری چربی و موم از دانه غلات به سطحوح تماس انتقال می یابد و این امر باعث افزایش چسبندگی و در نتیجه افزایش ضریب اصطکاک می‌شود ولی با افزایش بیشتر سرعت لغزشی، انرژی اصطکاکی معمولا " زیاد شده و بصورت انرژی گرمایی آزاد می شود. در نتیجه، درجه حرارت سطوح تماس واقعی با نرخی که بستگی به توانایی آن ماده به هدایت گرمایی دارد، افزایش می یابد. در اصطکاک مواد مهندسی، مشاهده می شود هنگامیکه سرعت افزایش می یابد نیروی اصطکاک کاهش می یابد[11]. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم در جنس سطوح تماس بر ضریب اصطکاک

دینامیکی نشان داد که که بیشترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی (0/355) به رقم آذر2 و کمترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی (0/226) به رقم سبلان و به ترتیب در تماس با سطوح ورق سیاه و ورق گالوانیزه اختصاص دارد . نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل محتوای رطوبتی دانه در رقم نشان داد که در همه ارقام با افزایش محتوای رطوبتی دانه از 12w.b٪ تا 18٪ ضریب اصطکاک دینامیکی به طور معنی داری افزایش می یابد. و این با نتایج بدست آمده توسط تامپسون ورز(1983)[۷] در بررسی اثر رطوبت بر ضریب اصطکاک دینامیکی گندم مطابقت دارد . در واقع علت این امر، این است که با افزایش محتوای رطوبتی دانه‌ها نیروی چسبندگی بین سطوح در حال تماس افزایش می‌یابد و به تبع آن ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش می یابد. در بین ارقام بیشترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی (0/352) به رقم آذر 2 و کمترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی (0/236) به رقم زاگرس و به ترتیب در محتوای رطوبتی 12٪ و w.b 18٪ اختصاص دارد. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل محتو ای رطوبت دانه در سطح تماس بر ضریب اصطکاک دینامیکی نشان داد که بر روی هر سه سطح تماس با افزایش محتوای رطوبتی دانه‌ها ضریب اصطکاک دینامیکی به طور معنی داری افزایش یافته است . و بیشترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی به سطح تماس ورق سیاه (0/384) و کمترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی به ورق گالوانیزه (0/213) به ترتیب در سطوح رطوبتی 18٪ و 12 w.b٪ اختصاص دارد. نتایج بدست آمده از مقایسه میانگین اثرات متقابل محتوای رطوبت دانه در سرعت لغزشی بر ضریب اصطکاک دینامیکی نشان داد که با افزایش محتوای رطوبتی دانه ها در هر سه سرعت (5، 10 و 15 cm/s) ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش معنی داری داشته است . و این با نتایج بدست آمده توسط عسکری اصلی ارده و شجاعی (2009) در بررسی عوامل مختلف بر روی ضریب اصطکاک دینامیکی شلتوک مطابقت دارد . بیشترین (0/364) و کمترین(0/240) میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی به ترتیب در سرعت های 15 و 5cm/s و در رطوبت‌های 18٪ و 12 w.b ٪ حاصل شده است. نتایج مقایسه اثرات متقابل رقم دانه در سرعت بر ضریب اصطکاک دینامیکی حاکی از آن است که در همه ارقام با افزایش سرعت از 5 تا 10cm/s ضریب اصطکاک به طور معنی داری افزایش یافته ولی با افزایش سرعت از 10 تا 15cm/s، به استثناء رقم سبلان در بقیه ارقام ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش معنی‌داری نداشته است و در بین ارقام بیشترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی (0/321) مربوط به رقم آذر 2 و در سرعت 15 cm/s حاصل شده است . نتایج مقایسه اثرات متقابل سطوح تماسی در سرعت بر ضریب اصطکاک دینامیکی نشان داد که در سطوح گالوانیزه و ورق روغنی با افزایش سرعت از 5 تا 15 cm/s ضریب اصطکاک دینامیکی به طور معنی داری افزایش یافته است . و در ورق آلومینیومی و ورق سیاه با افزایش سرعت از 5 به 10 cm/s ضریب اصطکاک دینامیکی به طور معنی داری افزایش پیدا کرده و با افزایش سرعت از 10 به 15 cm/s ضریب اصطکاک دینامیکی در ورق آلومینیومی به طور معنی داری کاهش یافته ولی در ورق سیاه این کاهش به صورت غیر معنی‌داری اتفاق افتاده است.

نتیجه گیری:

[1]Thampson & Ross

1-اثرات اصلی عوامل مورد بررسی رقم، سطح تماس ، محتوای رطوبتی دانه، سرعت و نیز اثرات متقابل آنها به غیر از اثرات متقابل سه گانه‌ای که دارای عامل سرعت است بر روی ضریب اصطکاک دینامیکی معنی دار می‌باشد(سطح احتمال 1٪).

2- در بین سطوح تماس ورق سیاه دارای بیشترین و ورق گالوانیزه دارای کمترین میانگین ضریب اص طکاک دینامیکی می‌باشد. و این نشان می دهد در ادوات انتقال که از ورق سیاه استفاده می شود سایش سطح تماس بیشتر است و همچنین آسیب بیشتری به خاطر اصطکاک و سایش زیاد به محصول وارد می شود.

3-با افزایش محتوای رطوبتی دانه در تمامی ارقام و سطوح ضریب اصطکاک دینامیکی به طور معنی داری افزایش یافته است. این نشان دهنده این است که با افزایش محتوای رطوبتی دانه ، توان مورد نیاز برای جابه جایی توده مشخصی از گندم بیشتر می‌شود.

4- با افزایش سرعت از 5 به 10cm/s در تمامی ارقام و سطوح تماس ضریب اصطکاک دینامیکی به طور معنی داری افزایش می یابد. و با افزایش سرعت از 10 به 15 سانتی‌متر بر ثانیه، ضریب اصطکاک دینامیکی در بین ارقام افزایش معنی‌داری نداشته و در بین سطوح نیز در ورق گالوانیزه و روغنی ضریب اصطکاک دینامیکی افزایش معنی داری داشته و در سطح آلومینیومی به صورت معنی داری کاهش یافته و این کاهش در ورق سیاه به صورت غیر معنی دار اتفاق افتاده است.

5- بیشترین میانگین ضریب اصطکاک دینامیکی در بین ارقام به رقم آذر 2 (0/299) و در بین سطوح به ورق سیاه (0/331) و در رطوبت 18٪ حاصل شده است . و بیشترین میانگین اثرات متقابل چهارگانه (0/434) به رقم آ ذر2 در رطوبت 18٪، در تماس با ورق سیاه و سرعت 15سانتی‌متر بر ثانیه اختصاص دارد.

منابع:

1 - توکلی هشجین، ت.، 1382. مکانیک محصولات کشاورزی(ترجمه). انتشارات سالکان. 855 صفحه.

2 - کرمانی، ع.، 1377. تعیین ضریب اصطکاک دانه نخود. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.

3 - عسکری اصلی ارده، ع . و شجاعی، س . 1389. تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی دانه شلتوک بر روی سطوح مختلف. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه محقق اردبیلی.

4 -Chung, M.T.M., Verma, L.R.,Wright, M.E. 1984. A device for friction mesasurment of grains. Transection of ASAE. 27(6):1938-1941.

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

6- Gupta, R. K. and S. K. Das. 1998. Friction coefficient of sun flower seed and kernel on various structural surfaces. Journal of Agricultural Engineering Research. (71):175-180

7- Kappuswamy, M., Wratten, F.T. 1970. Static and dynamic coefficients of friction of rough rice on sheet steel. Paper of Agricultueral Engineers, Hot Springs, AR.9-10

8-Lawton, P. J. and Marchant . J. A. 1980. Direct shear testing of seeds bulk. Journal of Agricultural Engineering Research. 25,189-201

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

10-Thampson, S.A., Ross, I.J.1983. Compressibility and friction coefficient of wheat. Transection of ASAE. 26(4): 1171-1176.