



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه خودکار اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی محصولات استراتژیک کشاورزی

آرش نورمحمدی مقدمی^۱، سید مجتبی شفاعی^{۱*} و سید مهدی نصیری^۲

۱-۲ به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. کد پستی:

۷۱۴۴۱-۶۵۱۸۶

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: smsshafaei@shirazu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق، سامانه اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی محصولات استراتژیک کشاورزی طراحی و ساخته شد. واحدهای اصلی سامانه عبارتند: ۱- زاویه‌سنج، ۲- کنترل، ۳- صفحه متحرک، ۴- کنترل‌گرهای سطح، ۵- موتور الکتریکی، ۶- نمایشگر (LCD)، ۷- صفحه کلید و ۸- حسگرهای مادون قرمز. برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی از مدارهای کنترلی حلقه بسته با بازخورد منفی استفاده گردید. از یک کد ۳۶۱ خطی نگارش شده در نرم افزار Code-Vision برای برنامه‌ریزی پردازشگر اصلی واحد کنترل (AVR-Atmega 8 bit) استفاده گردید. پس از ارزیابی شبیه‌سازی شده واحد کنترل سامانه در نرم افزار Proteus V7 اقدام به ساخت سامانه انجام گردید. به منظور ارزیابی سامانه ساخته شده از ذرت به عنوان یکی از محصولات استراتژیک کشاورزی و صفحات اصطکاکی شیشه، آلومینیوم، چوب، فولاد گالوانیزه و لاستیک در پنج سطح سرعت حرکت بذر استفاده شد. نتایج نشان داد که سامانه ساخته شده در این تحقیق با دقت بالا و خطای قابل اغماض به درستی عمل نمود. بیشترین ضریب اصطکاک دینامیکی (سرعت ۱۲/۴ سانتی‌متر بر ثانیه) و استاتیکی ذرت به ترتیب بر لاستیک (۰/۶۵۴) و فولاد گالوانیزه (۰/۵۹۴) حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: واحد کنترل حلقه بسته، حسگر مادون قرمز، سرعت حرکت بذر، میکروکنترلر.

مقدمه

افزایش روز افزون نقش اقتصادی محصولات کشاورزی و غذایی در جوامع امروزی و پیچیدگی فناوری‌های پیشرفته برای تولید، حمل و نقل، ذخیره‌سازی، فرآوری، نگهداری، ارزیابی کیفی، توزیع، بازاریابی و مصرف این محصولات، نیازمند درک صحیح و دقیق خواص فیزیکی محصولات کشاورزی می‌باشد (Ganji et al., 2011). از میان خواص فیزیکی محصولات کشاورزی، ابعاد، جرم، حجم، سطح تصویر شده و ضریب اصطکاک از



اهمیت بالایی برخوردار هستند. بنابراین تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه اندازه‌گیری این خواص صورت گرفته است (Aydin *et al.*, 2002; Konak *et al.*, 2002; Calisir *et al.*, 2005; Kashaninejad *et al.*, 2006; Yalcin, 2007; Yalcin *et al.*, 2007; Karaj and Muller, 2010; Davies and Zibokere, 2011).

محصولات کشاورزی (غلات، بذرها، میوه‌ها، سبزی‌ها و غیره) در طی مراحل برداشت، حمل و نقل، فرآوری و ذخیره سازی بر سطح اجزای ماشین آلات و محل ذخیره سازی، نیروهای اصطکاکی اعمال می‌کنند. دانستن مقدار این نیروهای اصطکاکی در طراحی تجهیزات و فرایندها حائز اهمیت است. بدیهی است میزان این نیروی اصطکاکی بر مقدار توان لازم برای حمل و نقل مواد تاثیر می‌گذارد (Mohsenin, 1986).

اصطکاک بین ذره جامد و نوار نقاله، مهمترین عامل تعیین کننده حداکثر زاویه‌ای است که نوار نقاله با افق برای انتقال مواد جامد می‌تواند داشته باشد. نیروهایی که ذرات بر دیواره‌های سیلوها و نیز دیگر ساختارهای ذخیره سازی تحت شرایط استاتیکی و دینامیکی اعمال می‌کنند، به اصطکاک ذرات با سطح جامد و اصطکاک داخلی بین ذرات بستگی دارد (Shafaei *et al.*, 2015).

نیروی اصطکاک به عنوان یک نیروی مقاوم در برابر حرکت نسبی بین دو جسم جامد که در تماس با یکدیگر هستند عمل می‌کند. نیروهای اصطکاکی به دو دسته استاتیکی و دینامیکی تقسیم می‌شوند. نیروی اصطکاکی که بین سطوح در حال سکون قرار دارد، نیرویی را که برای شروع حرکت مورد نیاز است، نیروی اصطکاک استاتیکی می‌نامند. این در حالی است که نیروی اصطکاک دینامیکی به نیروی بین سطوح در حال حرکت نسبت به یکدیگر اطلاق می‌شود.

ضریب اصطکاک استاتیکی (μ_s)، مقدار نیروی لازم برای به حرکت درآمدن جسم را تعیین می‌کند و ضریب اصطکاک دینامیکی (μ_d) نیروی لازم برای حفظ حرکت جسم بعد از شروع حرکت می‌باشد. برای یک نیروی قائم معین (یک جسم با وزن مشخص)، نیروی لازم برای حفظ حرکت جسم کمتر یا معادل نیروی لازم برای به حرکت در آوردن جسم است، بنابراین همواره $\mu_s \geq \mu_d$ می‌باشد.

تاکنون در رابطه با ساخت دستگاه اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی تحقیقات مختلفی صورت گرفته است (Fraser *et al.*, 1978; Shepherd and Bhardwaj, 1986; Dutta *et al.*, 1988; Visvanathan *et al.*, 1996; Chandrasekar and Viswanathan, 1999; Irtwange and Igbeka, 2002; Tabatabaeefar, 2003; Subramaniam *et al.*, 2007; Jalilian (Tabar *et al.*, 2011; Lorestani *et al.*, 2012; Shafaei *et al.*, 2015) تحقیقاتی نیز در ارتباط با ساخت دستگاه اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی صورت گرفته است (Lawton, 1980; Molenda *et al.*, 2000; Tavakoli *et al.*, 2002; Mingjin *et al.*, 2003; Ibrahim, 2008; Askari Asli-Ardeh *et al.*, 2010; Kalkan *et al.*, 2011; Kaliniewicz, 2013).

در ارتباط با دستگاه‌هایی که توانایی اندازه‌گیری هر دو ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی را داشته باشد نیز تحقیقاتی صورت گرفته است (Tsang-Mui-Chung *et al.*, 1984; Chung and Verma, 1989; Puchalski and Brusewitz, 1996; Gupta and Das, 1998; Puchalski *et al.*, 2002; Sharobeem, 2007; Ganji *et al.*, 2011).



با توجه به مطالعات انجام گرفته در رابطه با ابزارهای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی در گذشته، نتایج زیر حاصل شده است:

۱. ابزارهای ساخته شده دارای خطای قابل توجهی می‌باشند.
۲. دستگاه‌های ساخته شده، اکثراً فقط برای اندازه‌گیری یک پارامتر (ضریب اصطکاک استاتیکی یا دینامیکی) طراحی گشته‌اند.
۳. کلیه ابزارهای توسعه داده شده نیاز به محاسبه‌های کاربری دارند و خروجی آن‌ها مستقیماً ضرایب مطلوب را به دست نمی‌دهد.
۴. در سال‌های اخیر، استفاده از کامپیوتر شخصی برای کنترل دستگاه‌ها و انجام محاسبات منطقی رایج گشته، که این امر خود قابلیت جابجایی دستگاه را کاهش داده است.
۵. استفاده از تجهیزات الکتریکی و مکانیکی گران قیمت از معایب ابزارهای معرفی شده در گذشته می‌باشند.
۶. برای محصولات و بذور خاص ابزارهای خاص طراحی گشته که قابلیت استفاده برای سایر محصولات را ندارند.

با توجه به دلایل ارائه شده، هدف اصلی تحقیق حاضر، طراحی و ساخت دستگاهی برای اندازه‌گیری مستقیم ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی با استفاده از فن‌آوری میکاترونیک و بدون نیاز به کامپیوتر به منظور تعیین ضرایب مطلوب مربوط به محصولات استراتژیک کشاورزی در ابعاد مختلف با دقت بسیار بالا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

اصول حاکم بر اصطکاک

در آستانه شروع حرکت، حداقل نیروی لازم برای به حرکت درآوردن جسم برابر است با بیشینه نیروی اصطکاک استاتیکی و مقدار آن از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$f_s = \mu_s \times N \quad (1)$$

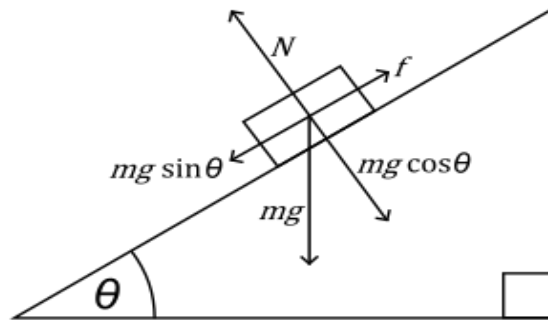
در رابطه (۱)، f_s نیروی اصطکاک استاتیکی، μ_s ضریب اصطکاک استاتیکی و N نیروی عمود بر سطح می‌باشد. چنانچه جسم روی سطح شیبدار در آستانه حرکت قرار داشته باشد، ضریب اصطکاک استاتیکی در حالت سکون با توجه به شکل (۱) از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$\mu_s = (f_s/N) = (mg \sin\theta / mg \cos\theta) = \tan\theta \quad (2)$$

در رابطه (۲)، m جرم جسم، g شتاب جاذبه و θ زاویه سطح شیب دار با افق می‌باشد. برای تعیین ضریب



اصطکاک دینامیکی بر روی سطح شیبدار فرض می‌شود که جسم از حالت سکون (سرعت اولیه صفر) شروع به حرکت نموده است. با به کار بردن قانون دوم نیوتن در حالت شتاب ثابت و برقراری تعادل نیروها روی سطح شیبدار روابط (۳) تا (۸) قابل استخراج می‌باشد.



شکل ۱- دیاگرام جسم آزاد جسم در آستانه حرکت بر سطح شیبدار

$$\sum F_x = mg \sin\theta - f_k = ma \quad (3)$$

$$\sum F_y = mg \cos\theta - N = 0 \quad (4)$$

$$mg \sin\theta - \mu_k mg \cos\theta = ma \quad (5)$$

$$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (x_0 = v_0 = 0) \quad (6)$$

$$\mu_k = \frac{g \sin\theta - \left(\frac{2x}{t^2}\right)}{g \cos\theta} = \tan\theta - \frac{2x}{gt^2 \cos\theta} \quad (7)$$

در روابط (۳) تا (۷)، F_x نیروهای در جهت سطح شیبدار، F_y نیروهای عمود بر جهت سطح شیبدار، a شتاب حرکت، μ_k ضریب اصطکاک دینامیکی، x مقدار جابجایی، v سرعت و t زمان می‌باشد. بدین ترتیب با مشخص بودن زاویه سطح شیبدار، مقدار و زمان جابه‌جایی جسم بر سطح شیبدار، ضریب اصطکاک دینامیکی جسم قابل محاسبه می‌باشد. با تغییر فاصله جابجایی جسم و با ثابت بودن زاویه سطح شیبدار بر اساس اصل حرکت جسم بر سطح شیبدار (شتاب ثابت)، می‌توان به سرعت‌های مختلف دست یافت. با مشخص شدن μ_k از رابطه (۷) و جایگذاری آن در رابطه (۳) می‌توان شتاب ثابت و سرعت حرکت را بدست آورد. با توجه به اینکه سرعت اولیه حرکت جسم صفر بوده است، با استفاده از رابطه (۸) می‌توان سرعت نهایی جسم را در زمان و فاصله جابه‌جایی مشخص، تعیین نمود.



$$v = at + v_0 \quad (v_0 = 0)$$

(۸)

طراحی سامانه اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی

برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی بذور با استفاده از یک سطح شیب دار، از یک جفت حسگر مادون قرمز نصب شده مقابل هم بر سطح شیبدار در مکان مشخص استفاده گردید. با افزایش زاویه سطح شیبدار توسط موتور الکتریکی جعبه‌دنده‌دار، به محض حرکت جسم (آستانه لغزش) در زاویه مشخص، ارتباط بین حسگرهای مادون قرمز توسط حرکت ناچیز جسم قطع شده و افزایش زاویه سطح متوقف و ضریب اصطکاک استاتیکی بر اساس رابطه (۲) توسط میکروکنترلر اصلی سامانه محاسبه و در نمایشگر نشان داده می‌شود. زاویه سطح شیبدار در هر لحظه توسط مدار زاویه‌سنج محاسبه و در نمایشگر نشان داده می‌شود. بلوک دیاگرام کنترل فرآیند تعیین ضریب اصطکاک استاتیکی در شکل (۲) ارائه گردیده است.

طراحی سامانه اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی

از یک جفت حسگر مادون قرمز دیگر، نصب شده به موازات جفت حسگر اول روی سطح شیبدار، برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی استفاده گردید. جفت حسگر دوم، با داشتن قابلیت تغییر فاصله نسبت به جفت حسگر اول در شیار مدرجی می‌تواند توسط کاربر در طول صفحه شیبدار جابجا شوند. کاربر دستگاه پس از تنظیم فاصله دلخواه می‌تواند مقدار این فاصله را بر حسب میلی‌متر برای پردازنده واحد کنترل با استفاده از صفحه کلید ماتریسی ۳×۳ تعریف نماید. با تغییر این فاصله و زاویه سطح شیبدار می‌توان به سرعت‌های حرکت مورد نظر جسم بر روی سطح شیبدار دست یافت. با تنظیم زاویه سطح شیبدار و فاصله جفت حسگرها توسط کاربر، دستگاه آماده تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی جسم مورد نظر می‌باشد. جسم مورد نظر توسط کاربر در قبل از خط واصل جفت حسگر اول قرار گرفته و پس از رها شدن آن، پردازنده زمان لازم برای طی نمودن فاصله مشخص بین دو جفت حسگر توسط جسم را ثبت می‌نماید. اصول شروع و توقف زمان سنجی بر اساس قطع شدن ارتباط بین حسگرهای اول و دوم توسط حرکت جسم می‌باشد. پس از زمان سنجی حرکت جسم، پردازنده واحد کنترل بر اساس روابط ثبت شده در آن (روابط ۷، ۳ و ۸)، مقدار ضریب اصطکاک دینامیکی و سرعت حرکت جسم را در لحظه عبور از جفت حسگر دوم در نمایشگر نشان می‌دهد. بلوک دیاگرام کنترل فرآیند تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی در شکل (۳) ارائه گردیده است.

با توجه به شکل (۳)، به هنگام فعالیت دستگاه، پیغام‌های زیر در نمایشگر مشاهده می‌شوند:

خطای (۱): این پیغام به محض چرخش بیش از حد صفحه متحرک (سطح شیبدار) و خارج شدن از محدوده صفر تا ۹۰ درجه نمایش داده می‌شود و متن آن "Plate angle is out of range" می‌باشد.

خطای (۲): ارتباط بین جفت حسگرهای مادون قرمز وقتی برقرار است که توسط کاربر هر حسگر در نقطه مقابل



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

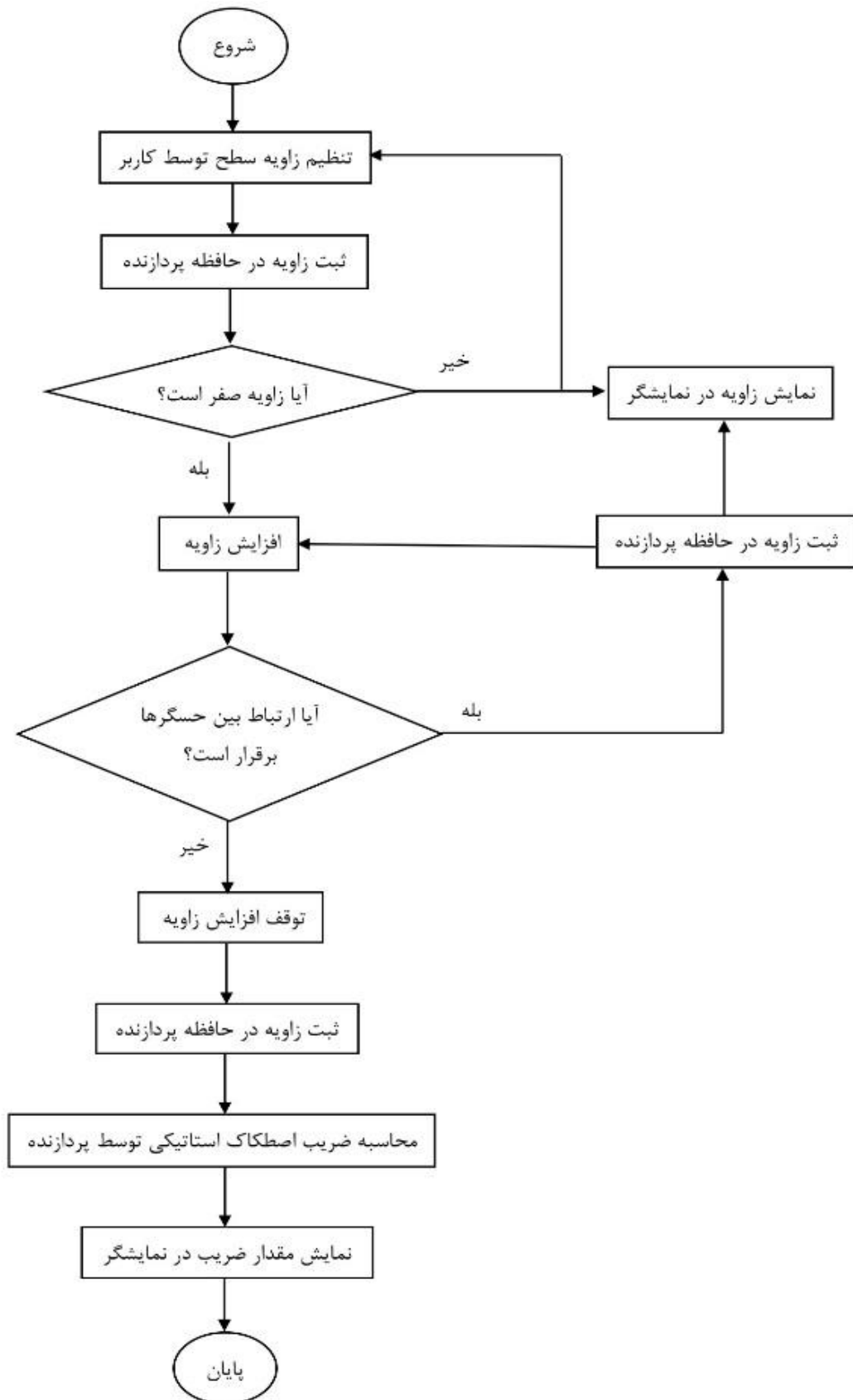
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

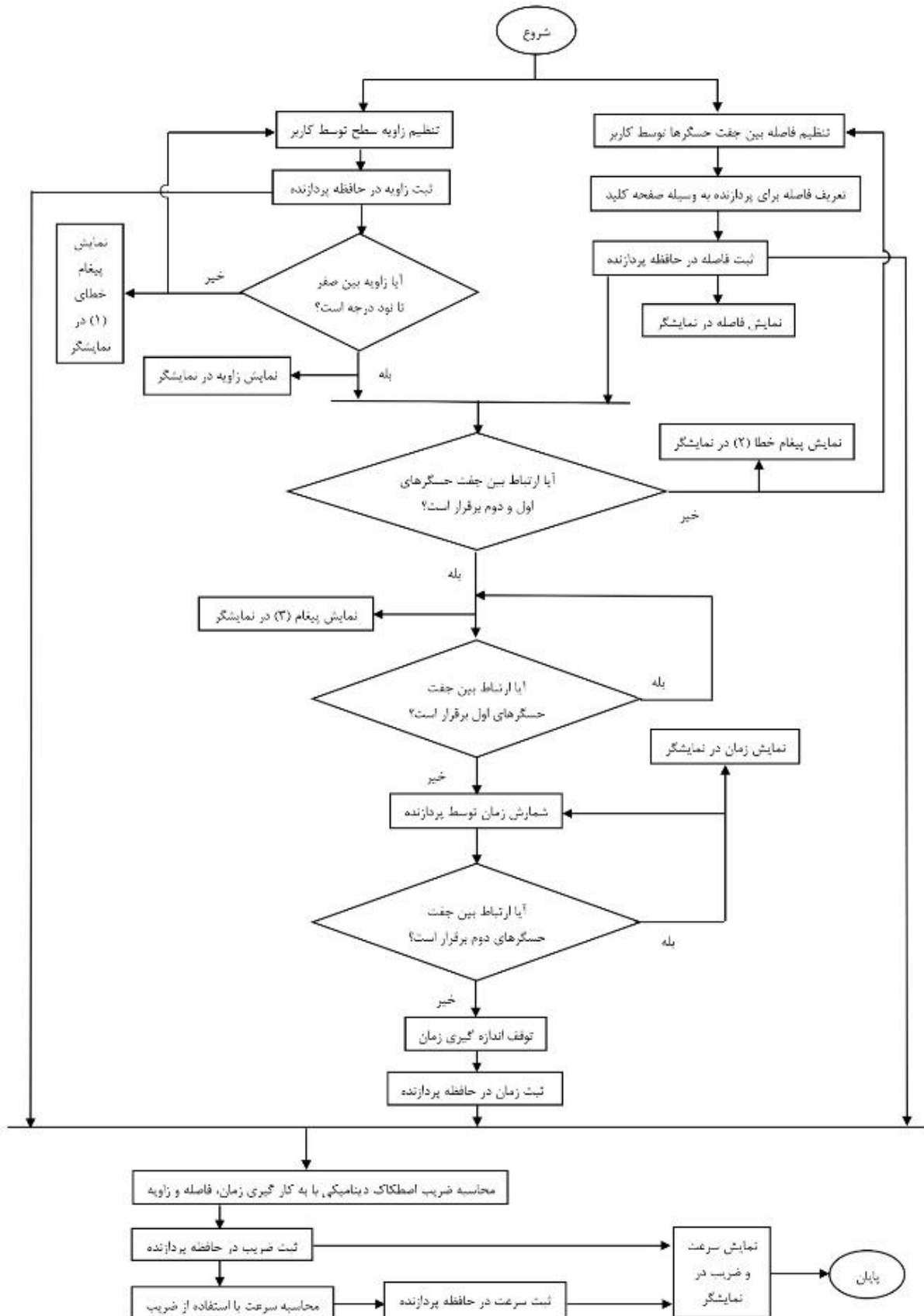
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



جفت خود قرار گرفته باشد. در غیر این صورت پیغام (۲) با محتوای "Connection between sensors is lost" در نمایشگر نشان داده می‌شود. پیغام (۳): پس از کنترل صحت ارتباط بین جفت حسگرها پیغام (۳) با متن "Device is ready to use" نشان داده می‌شود.



شکل ۲- بلوک دیاگرام سامانه تعیین ضریب اصطکاک استاتیکی



شکل ۳- بلوک دیاگرام سامانه تعیین ضریب اصطکاک دینامیکی



ساخت سامانه اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی اجزای اصلی سامانه عبارتند: واحد کنترل، واحد زاویه‌سنج (مقاومت متغیر)، موتور الکتریکی، کنترل‌گرهای سطح، نمایشگر (LCD)، صفحه کلید، دو جفت حسگر و صفحه متحرک.

واحد زاویه‌سنج

اصول کار واحد زاویه‌سنج بر اساس تغییر مقاومت الکتریکی می‌باشد. با چرخش محور صفحه متحرک توسط موتور الکتریکی، مقاومت واحد زاویه‌سنج تغییر نموده و متناسب با این چرخش ولتاژی بین صفر تا ۵ ولت برای واحد کنترل تعریف می‌گردد. با استفاده از روابط خطی بین تغییرات زاویه و تغییرات ولتاژ، پردازنده اصلی واحد کنترل، زاویه دقیق چرخش صفحه را با دقت یک درجه محاسبه و برای نمایش به واحد نمایشگر ارسال می‌کند.

واحد کنترل

این واحد متشکل از یک پردازنده اصلی (AVR-Atmega 8) و چند مدار الکتریکی و قطعات مرتبط می‌باشد. وظیفه این واحد تامین برق مورد نیاز واحدهای مختلف، کنترل موتور الکتریکی، ارسال دستور به نمایشگر و محاسبه‌های منطقی به منظور اندازه‌گیری زاویه چرخش صفحه و ضرایب اصطکاک می‌باشد. با توجه به وظایف تعیین شده برای واحد کنترل، بر اساس قواعد دستوری زبان برنامه نویسی C، کدی در نرم افزار Code-Vision تهیه و پس از ارزیابی - های اولیه و برطرف نمودن خطاهای برنامه نگارش شده، نسخه اصلاح شده برنامه با استفاده از دستگاه پروگرامر به میکروکنترلر AVR تزریق گردید.

صفحه متحرک

جهت ساخت صفحه متحرک ورقی از جنس آلومینیوم (وزن کم و استحکام مناسب) با ضخامت ۲ میلی‌متر انتخاب شد. با فرزکاری صفحه گرداننده شکاف‌هایی به طول ۱۷ سانتی‌متر و عرض ۱ سانتی‌متر در دو طرف صفحه متحرک به صورت طولی ایجاد گردید. این شکاف‌ها به منظور جابجایی حسگرها جهت تنظیم فاصله بین آن‌ها توسط کاربر تعبیه گردیدند. پهنای شکاف‌ها به مقدار ۰/۱ میلی‌متر بیشتر از قطر غلاف‌های نگهدارنده حسگر در نظر گرفته شد. این فاصله به منظور حرکت رفت و برگشتی حسگرها در طول شکاف و در عین حال جلوگیری از لقی غلاف‌ها در نظر گرفته شد. به منظور تنظیم دقیق فاصله حسگرها از دو عدد خط‌کش که موازی با شکاف‌ها نصب گردید، استفاده شد. برای اطمینان از تراز طولی و عرضی صفحه متحرک در شروع آزمایش‌ها و همچنین کالیبره نمودن زاویه سنج، از دو عدد آب تراز که در دو جهت عمود بر هم قرار دارند، استفاده شد. این آب‌ترازها در بدنه خارجی صفحه متحرک در راستای طولی و عرضی دستگاه نصب گردیدند.

کنترل‌گرهای سطح

برای جلوگیری از چرخش صفحه متحرک خارج از محدوده صفر تا ۹۰ درجه و آسیب احتمالی به موتور و واحد زاویه‌سنج، از دو کنترل‌گر (میکرو سوئیچ) در مکان مناسب (قبل از صفر درجه و بعد از ۹۰ درجه) استفاده گردید. با برخورد صفحه متحرک به هر یک از کنترل‌گرها، واحد کنترل فعالیت واحدهای مختلف دستگاه را متوقف و پیغام



خطای (۱) را در نمایشگر نشان می‌دهد.

مونتاژ قطعات

به منظور مونتاژ قطعات مختلف دستگاه، از یک تخته چوب به ابعاد 60×50 سانتی‌متر به عنوان شاسی سامانه استفاده شد. چهار عدد پایه قابل تنظیم به منظور تراز شدن شاسی چوبی در زیر آن نصب گردید. این کار جهت حساسیت زیاد آزمایش‌ها به تراز بودن سامانه انجام شد. سامانه ساخته شده در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴- سامانه ساخته شده برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی محصولات کشاورزی

ارزیابی سامانه ساخته شده

ارزیابی عملکرد واحدهای اصلی سامانه

با استفاده از نرم افزار Proteus V7 تمام مدارهای واحدهای مختلف سامانه از جمله واحد تغذیه، زاویه‌سنج، کنترل و نمایش شبیه‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از ارزیابی معایب و کاستی‌های مشاهده شده برطرف گردیده و در نهایت اقدام به ارزیابی فیزیکی واحدهای ساخته‌شده گردید.

ارزیابی عملکرد کلی سامانه

دستگاه ساخته شده با بذر ذرت مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها با سطوح اصطکاکی شیشه، آلومینیوم، چوب، فولاد گالوانیزه و لاستیک انجام گردید و صحت عملکرد مکانیکی و الکتریکی واحدهای مختلف سامانه کنترل گردید. هماهنگی زمان‌بندی شده واحدهای زاویه‌سنج، نمایشگر، موتور الکتریکی و واحد کنترل در چرخش صفحه متحرک، بیانگر درستی عملکرد سامانه بود.

آزمایش‌های اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی

غلافی مکعبی به ضلع ۲ سانتی‌متر تهیه و نمونه آزمایشی درون آن ریخته می‌شد، به طوری که غلاف، نمونه را



احاطه کرده و هیچ‌گونه تماسی با صفحه اصطکاکی نداشته باشد. آزمایش‌ها با سطوح اصطکاکی شیشه، آلومینیوم، چوب، فولاد گالوانیزه و لاستیک انجام شدند.

برای بررسی اثر سرعت بر ضریب اصطکاک دینامیکی نمونه‌ها، با تغییر فاصله بین جفت حسگر اول و دوم، سرعت مطلوب حرکت نمونه‌ها در گذر از جفت حسگر دوم تنظیم می‌گردید.

نتایج و بحث

مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب اصطکاک

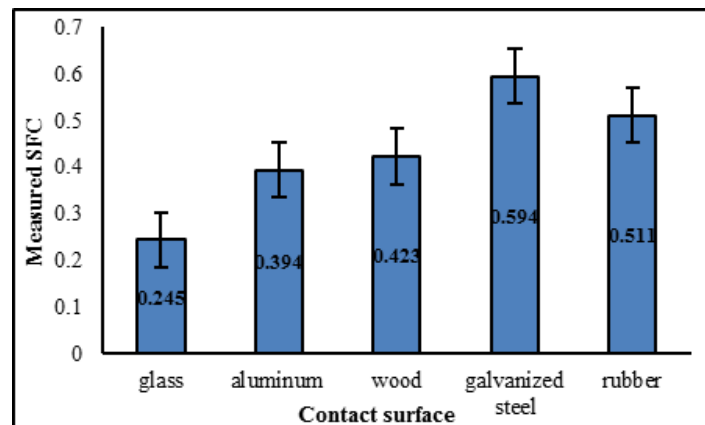
ضریب اصطکاک استاتیکی ذرت

متوسط ضرایب استاتیکی اندازه‌گیری شده ذرت با استفاده از سامانه ساخته شده در این تحقیق به همراه انحراف

معیار آزمایش‌ها در شکل (۵) ارائه شده است.

محدوده تغییرات ضریب اصطکاک استاتیکی در ۰/۲۴۵ تا ۰/۵۱۱ مشاهده گردید. بیشترین و کمترین ضریب

اصطکاک استاتیکی به ترتیب برای تماس ذرت با فولاد گالوانیزه و شیشه اندازه‌گیری شد.



شکل ۵- ضرایب اصطکاک استاتیکی اندازه‌گیری شده بذر ذرت

بیشترین انحراف معیار تکرارها، ۰/۰۰۷۹ برای اصطکاک ذرت بر سطح چوب مشاهده گردید. کم بودن این مقدار

حاکمی از دقت بالای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی بذر ذرت با سامانه ساخته شده در این تحقیق می‌باشد.

بنابراین استفاده از سامانه ساخته شده برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی سایر محصولات استراتژیک

کشاورزی توصیه می‌شود.

ضریب اصطکاک دینامیکی ذرت

متوسط ضرایب دینامیکی اندازه‌گیری شده بذر ذرت استفاده از سامانه ساخته شده در این تحقیق به همراه

انحراف معیار آزمایش‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.



محدوده تغییرات ضریب اصطکاک دینامیکی بذور آزمایشی در ۰/۲۲۴ تا ۰/۶۵۴ مشاهده گردید. کمترین و بیشترین ضریب اصطکاک دینامیکی به ترتیب برای بذر ذرت در سرعت ۰/۷ سانتی‌متر بر ثانیه بر شیشه و سرعت ۱۲/۴ سانتی‌متر بر ثانیه روی لاستیک اندازه‌گیری شد.

بیشترین انحراف معیار تکرارها، ۰/۰۰۹۶ برای بذر ذرت بر لاستیک و سرعت ۱۲/۴ سانتی‌متر بر ثانیه مشاهده گردید. کم بودن این مقدار حاکی از دقت بالای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی بذر ذرت می‌باشد. بنابراین استفاده از سامانه ساخته شده برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دینامیکی سایر محصولات استراتژیک کشاورزی نیز توصیه می‌شود.

جدول ۱- ضریب اصطکاک دینامیکی اندازه‌گیری شده دانه ذرت

سرعت حرکت (cm/s)					سطح اصطکاکی
۱۲/۴	۹/۸	۶/۶	۳/۹	۰/۷	
۰/۴۶۸±۰/۰۰۷۸	۰/۴۲۳±۰/۰۰۴۷	۰/۳۷۶±۰/۰۰۳۵	۰/۳۵۰±۰/۰۰۳۳	۰/۲۲۴±۰/۰۰۴۳	شیشه
۰/۵۲۳±۰/۰۰۸۷	۰/۴۸۹±۰/۰۰۳۴	۰/۴۶۱±۰/۰۰۸۷	۰/۴۰۲±۰/۰۰۲۷	۰/۳۵۷±۰/۰۰۵۷	آلومینیوم
۰/۵۷۷±۰/۰۰۵۲	۰/۵۴۰±۰/۰۰۶۵	۰/۵۱۱±۰/۰۰۶۷	۰/۴۷۲±۰/۰۰۵۶	۰/۴۵۲±۰/۰۰۲۹	چوب
۰/۵۹۳±۰/۰۰۷۹	۰/۵۱۴±۰/۰۰۷۲	۰/۵۰۶±۰/۰۰۸۳	۰/۴۹۴±۰/۰۰۶۳	۰/۴۳۳±۰/۰۰۵۷	فولاد گالوانیزه
۰/۶۵۴±۰/۰۰۹۶	۰/۶۲۳±۰/۰۰۵۳	۰/۵۹۰±۰/۰۰۶۷	۰/۵۵۳±۰/۰۰۶۵	۰/۵۲۵±۰/۰۰۵۸	لاستیک

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

۱. سامانه ساخته شده برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی به درستی عمل نموده و ضریب اصطکاک استاتیکی و دینامیکی بذر ذرت را با دقت بالا و خطای قابل چشم‌پوشی اندازه‌گیری نمود.
۲. بیشترین و کمترین ضریب اصطکاکی استاتیکی بذر ذرت به ترتیب بر فولاد گالوانیزه (۰/۵۹۴) و شیشه (۰/۲۴۵) اندازه‌گیری شد.
۳. کمترین و بیشترین ضریب اصطکاک دینامیکی بذر ذرت به ترتیب در سرعت ۰/۷ سانتی‌متر بر ثانیه بر شیشه (۰/۲۲۴) و سرعت ۱۲/۴ سانتی‌متر بر ثانیه روی لاستیک (۰/۶۵۴) اندازه‌گیری شد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از مدیریت امور علمی دانشجویان دانشگاه شیراز به منظور تامین هزینه‌های این طرح پژوهشی به شماره ۹۳-۱۳ و دکتر محمد اقتصاد، استاد بخش طراحی جامدات دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز، به عنوان ناظر طرح، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع و مآخذ

- 1- Askari Asli-Ardeh, E., Abbaspour-Gilandeh, Y. and Shojaei, S. 2010. Determination of dynamic friction coefficient of paddy grains on different surfaces. International



- Agrophysics, 24(2): 101-105.
- 2- Aydin, C., Ogut, H. and Konak, M. 2002. Some physical properties of Turkish mahaleb. *Biosystems Engineering*, 82(2): 231-234.
 - 3- Calisir, S., Ozcan, M., Haciseferogullari, H. and Ugur Yıldız, M. 2005. A study on some physico-chemical properties of Turkey okra (*Hibiscus esculenta* L.) seeds. *Journal of Food Engineering*, 68(1): 73-78.
 - 4- Chandrasekar, V. and Viswanathan, R. 1999. Physical and thermal properties of coffee. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73(3): 227-234.
 - 5- Chung, J. H. and Verma, L. R. 1989. Determination of friction coefficients of beans and peanuts. *Transactions of the ASABE*, 32(2): 745-750.
 - 6- Davies, R. M. and Zibokere, D. S. 2011. Effects of moisture content on some physical and mechanical properties of three varieties of cowpea (*vigna unguiculata* (L) walp). *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal*, 13(1); 1-8.
 - 7- Dutta, S. K., Nema, V. K. and Bhardwaj, R. K. 1988. Physical properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 39(4): 259-268.
 - 8- Fraser, B. M., Verma, S. S. and Muir, W. E. 1978. Some physical properties of fababeans. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 23(1): 53-57.
 - 9- Ganji, M., Rajabipoor, A. and Alimardani, R. 2011. Design and fabrication of a device for an estimation of the coefficient of friction of agricultural materials (in Farsi). *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 42(1): 63-67.
 - 10- Gupta, R. K. and Das .S. K. 1998. Friction coefficients of sunflower seed and kernel on various structural surfaces. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71(2): 175-180.
 - 11- Ibrahim, M. M. 2008. Determination of dynamic coefficient of friction for some materials for feed pellet under different values of pressure and temperature. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 25(4): 1389-1409.
 - 12- Irtwange, S. V. and Igbeka, J. C. 2002. Selected moisture dependent friction properties of two African yam bean (*Sphenostylis Stenocarpa*) accessions. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(5): 559-565.
 - 13- Jalilian Tabar, F., Gholami, R. and Lorestani, A. N. 2011. Humidity effect on coefficient of static friction of rosemary and lavender by friction - electric meter (in Farsi). *Journal of Herbal Drugs*, 2(3): 187-191.
 - 14- Kaliniewicz, Z. 2013. Analysis of frictional properties of cereal seeds. *African Journal of Agricultural Research*, 8(45): 5611-5621.
 - 15- Kalkan, F., Kara, M., Bastaban, B. and Turgut, N. 2011. Strength and frictional properties of popcorn kernel as affected by moisture content. *International Journal of Food Properties*, 14(6):1197-1207.
 - 16- Karaj, S. and Muller, J. 2010. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas* L. *Industrial Crops and Products*, 32(2): 129-138.
 - 17- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A. and Tabil, L. G. 2006. Some physical properties of Pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72(1): 30-38.
 - 18- Konak, M., Carman, K. and Aydin, C. 2002. Physical properties of chick pea seeds. *Biosystems Engineering*, 82(1): 73-78.
 - 19- Lawton, P. J. 1980. Coefficients of friction between cereal grain and various silo wall materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 25(1): 75-86.



- 20- Lorestani, A. N., Rabani, R. H. and Khazaei, Y. 2012. Design and construction of an automatic coefficient of friction measuring device. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal*, 14(1): 120-124.
- 21- Mingjin, Y., Ling, Y., Peixiang, H. and Qingdong, L. 2003. Experimental research on dynamic friction coefficient of coated rice seeds. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 34(1): 18-20.
- 22- Mohsenin, N. N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publisher, New York.
- 23- Molenda, M., Thompson, S. A. and Ross, I. J. 2000. Friction of wheat on corrugated and smooth galvanized steel surfaces. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(2): 209-219.
- 24- Puchalski, C. and Bruswitz, G. H. 1996. Watermelon abrasion resistance parameters from friction tests. *Transactions of the ASABE*, 39(5): 1765-1771.
- 25- Puchalski, C., Bruswitz, G. H., Dobrzanski, J. R. B. and Rybczynski, R. 2002. Relative humidity and wetting affect friction between apple and flat surfaces. *International Agrophysics*, 16(1): 67-71.
- 26- Shafaei, S. M., Heydari, A. R., Masoumi, A. A. and Sadeghi, M. 2015. Determining and modeling of static friction coefficient of some agricultural seeds. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, in Press.
- 27- Sharobeem, Y. F. 2007. Apparent dynamic friction coefficients for grain crops. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 24(3): 557-574.
- 28- Shepherd, H. and Bhardwaj, R. K. 1986. Moisture dependent physical properties of pigeon pea. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 35(4): 227-234.
- 29- Subramaniam, S. and Viswanathan, R. 2007. Bulk density and friction coefficient of selected minor millet grain and flour. *Journal of Food Engineering*, 81(1): 118-126.
- 30- Tabatabaefar, A. 2003. Moisture-dependent physical properties of wheat. *International Agrophysics*, 17(4): 207-211.
- 31- Tavakoli, T., Kermani, A. M. and Khazaei, J. 2002. Effects of normal pressure, sliding velocity and moisture content of chickpeas on dynamic friction coefficient on steel surfaces. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 4(1-2): 11-22.
- 32- Tsang-Mui-Chung, M., Verma, L. R. and Wright, M. E. 1984. A device for friction measurement of grains. *Transactions of the ASABE*, 27(6): 1938-1941.
- 33- Visvanathan, R., Palanisamy, P. T., Gothandapani, L. and Sreenarayanan, V. V. 1996. Physical properties of neem nut. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(1): 19-25.
- 34- Yalcin, I. 2007. Physical properties of cowpea (*Vigna sinensis* L.) seed. *Journal of Food Engineering*, 79(1): 57-62.
- 35- Yalcin, I., Ozarslan, C. and Akbas, T. 2007. Physical properties of pea (*Pisum Sativum*) seed. *Journal of Food Engineering*, 79(2): 731-735.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Design, construction and assessment of a static and dynamic friction coefficient measuring system for major agricultural products

Abstract

In present study, a system was designed and fabricated for measuring the static and dynamic friction coefficient of major agricultural products. Main components of this system consist of: a) angle meter, b) control unit, c) rotating plate, d) level controls, e) DC electromotor, f) monitor (LCD), g) keyboard and h) infrared sensors. Closed loop control circuit with negative feedback was used to measure the static and dynamic friction coefficient. A code of 361 lines was written in Code-Vision software to program the main processor of control unit (AVR-Atmega 8 bit). First of all, the control unit was simulated in Proteus V7 software and was then fabricated. To assess the system, corn as a major agricultural product and different types of friction surfaces (glass, rubber, galvanized steel, wood and aluminum) were chosen at five different velocity of corn movement. The results show that the system acts well through high accuracy. Maximum value of dynamic (velocity of 12.4 cm/s) and static friction coefficient of corn was achieved on rubber (0.654) and galvanized steel (0.594), respectively.

Keywords: Close loop control unit, Infrared sensor, Seed velocity, Microcontroller.