طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه اندازه‌گیری نیروی شکست دانه نخود

فرزاد محمدی[۱]، سلمان رنجبری[۲]، هیوا گل‌پیرا[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ Email: f.mohammadi@uok.ac.ir
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ Email: s.ranjbari@uok.ac.ir
[۳] استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان ؛ Email: H.golpira@uok.ac.ir

چکیده

تعیین نیروی شکست دانه غلات پایه و اساس طراحی بسیاری از دستگاه‌ها و ماشین‌های کشاورزی است. در تحقیق حاضر یک دستگاه تعیین نیروی شکست دانه نخود که براساس اندازه‌گیری نیروی وزن عمل می‌کند طراحی، ساخت و ارزیابی شد. ابتدا حسگر اندازه‌گیری نیرو (Load Cell) توسط وزنه‌های ۰/۵kg تا ۵۰kg با گام‌های ۰/۵kg کالیبره شد و خطی بودن واکنش حسگر به نیروهای وارده با ضریب تعیین ۰/۹۹۹۹۸۲ اثبات شد. سپس جهت ارزیابی دستگاه، نیروی لازم برای شکست سه رقم نخود (کاکا، پیروز و کابلی) در رطوبت ثابت ۷ درصد بر پایه خشک و در یک جهت بارگذاری (از رو) در ۱۵ تکرار به دست آمد و با نیروی شکست متناظر دانه‌های نخود به دست آماده در دستگاه اینستران (مدل STM-1) از طریق آزمون t مستقل مقایسه گردید و نشان داده شد که عدم اختلاف بین نیروی شکست اندازه‌گیری شده با دو دستگاه در سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار بود. نتایج حاصله حاکی از آن است که این دستگاه می‌تواند نیروی لازم برای شکست دانه‌ها را در سطح قابل اعتمادی محاسبه کند.

کلمات کلیدی: بارگذاری شبه استاتیک، طراحی، نخود، نیروی شکست

Design, Development and Evaluation of a Meurment System for Determinaing Fracture Force of Chickpea

Farzad Mohammadi[1], Salman Ranjbari[2], Hiwa Golpira[3]

[1]M.Sc. student in Mechanics of Biosystems Engineering, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Email: f.mohammadi@uok.ac.ir
[2] M.Sc. student in Mechanics of Biosystems Engineering, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Email: s.ranjbari@uok.ac.ir
[3]Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Email: Email: H.golpira@uok.ac.ir

ABSTRACT

Determination of grain fracture force is the basis for the design of many agricultural machinery and machines. In the present study, a Fracture force of chickpea system based on the weight force measurement was designed, constructed and evaluated. First, the load cell sensor was calibrated with loads of 0.5 kg to 50 kg with 0.5 kg steps, and the linear response of the sensor to the forces was proved by the coefficient of determination 0.999982. Then, in order to evaluate the device, the force necessary to fracture the three chickpea (Kaka, Piruz and Kabuli) cultivars in constant humidity was 7% on dry basis and in one direction of loading (on the face) in 15 replications and with the corresponding failure force of the prepared grains chickpea in the machine of the Intranet (STM-1 model) was compared by t-test and it was shown that the no difference between force fracture mesurment by two devices in the 95% confidence level was meaning. The results indicate that this machine can calculate the necessary force to break the seeds at a reliable level.

Keywords: Quasistatic loading, Design, Chickpea, Fracture Force

۱- فرزاد محمدی، Email: f.mohammadi@uok.ac.ir، ۰۹۱۸۰۵۲۳۶۳۱

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

۱- مقدمه

تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی به منظور طراحی ماشین‌های کاشت، داشت، برداشت و همچنین تحلیل رفتار آنها در هنگام عملیات فراوری، از قبیل جابه‌جایی، پوست کنی، تمیز کردن، جداسازی، خشک‌کردن و ذخیره سازی ضروری است (Asli–Ardeh et al., 2011; Golpira et al., 2009). دانستن نیرو و انرژی لازم برای شکستن دانه تحت اثر نیروهای شبه استاتیک برای مدل‌سازی و پیشگوئی رفتار ماده در بارگذاری دینامیکی در جریان حمل و نقل و فراوری دانه مفید است (Kang et al., 1995). حداکثر نیروی شکست مواد دانه‌ای تحت اثر نیروهای استاتیک و شبه استاتیک معیاری برای طراحی ماشین‌های کشاورزی با کارائی و کیفت کار بالاتر می‌باشد (Praveen & Irudayaraj, 1995). مطالعه‌ی رفتار نیرو- تغییر شکل محصولات کشاورزی تحت بارهای شبه‌استاتیک کوششی برای کسب نتایج گسترده‌تر از آزمایش‌های عینی به صورت داده های قابل استفاده در طراحی و آنالیز مهندسی می‌باشد (Salek & Ghanbarian, 2016). تاکنون محققین بسیاری در زمینه‌ی خواص مهندسی و مکانیکی دانه‌ی محصولات کشاورزی تحت تاثیر نیروهای استاتیکی و شبه استاتیک صورت گرفته است (Owolarafe et al., 2007; Konak et al., 2002; Foutz et al., 1993; Kunze & Choudhury, 1972) و در طراحی ماشین‌های کشاورزی به کار گرفته شده است (Golpira, 2015; Golpira et al., 2013). استاندارد انجمن مهندسی کشاورزی آمریکا روشی برای تعیین مقاومت و سفتی دانه محصولات کشاورزی پیشنهاد کرده است (ASAE, S368., 1995). این استاندارد فشردن دانه در بین دو صفحه موازی تحت اثر نیروهای شبه استاتیک را برای این منظور پیشنهاد کرده است. در این آزمون که روشی برای مطالعه خواص مقاومتی محصولات کشاورزی است، محصول تحت بارگذاری فشاری تک محوری (شبه استاتیک) قرار گرفته و با استخراج منحنی تنش- کرنش یا نیرو- تغییرشکل، پارامترهای مختلف که بیانگر رفتار مکانیکی محصول هستند به دست می‌آید. در مطالعه‌ای اثر رطوبتی دانه در سه سطح (۷، ۱۲ و ۱۶ درصد بر مبنای تر)، اندازه دانه در سه سطح (ریز، متوسط و درشت) و جهت بار گذاری در دو سطح (از پهلو و از رو) بر نیرو و انرژی شکست دانه سه رقم نخود ایرانی (بیونیژ، کاکا و جم) تحت اثر نیروهای شبه استاتیکی صورت گرفت (Khazaei et al., 2004). آن‌ها میانگین نیرو و انرژی شکست دانه نخود را به ترتیب ۲۳۰ نیوتن و ۱۰۵/۷ میلی ژول و حدود تغییرات آن‌ها را به ترتیب بین ۵۲۲-۴۷ نیوتن و ۲۷۵-۲۰/۸ میلی ژول بیان کردند. آن‌ها برای انجام آزمایشات از ماشین آزمون کشش- فشار اینستران با سرعت بارگذاری ۵mm/min استفاده کردند. در تحقیقی اثرات رطوبت دانه و جهت بارگذاری بر نیروی شکست دانه‌های سویا، ذرت، گندم، جو و جو دوسر، را در سرعت بارگذاری ۲۷/۱ میلی‌متر بر دقیقه معنی‌دار گزارش کرد (Bilanski, 1966). او دریافت که نیروی شکست دانه در بارگذاری از پهلو به طور معنی‌داری بیشتر از آن در بارگذاری از رو است. او نیز از ماشین آزمون کشش-فشار اینستران استفاده کرد.

با توجه به مطالعات انجام شده برای تعیین نیروی لازم شکست دانه غلات در بیشتر موارد از دستگاه اینستران (ماشین آزمون کشش-فشار همه منظوره) استفاده شده است. اساس کار این دستگاه به گونه‌ای است که دانه در فاصله بین فک‌های ثابت و متحرک دستگاه آزمون قرار گرفته و با حرکت فک متحرک در جهت مورد نظر فشرده می‌شود. هم‌زمان توسط نیروسنج دستگاه، نیرو تا لحظه شکست اندازه‌گیری می‌گردد. در مطالعه حاظر نیز مکانیزم دستگاه براساس کار دستگاه آزمون به‌کار گرفته شد. تهیه‌ی دستگاههای آزمون مستلزم پرداخت هزینه بالا می‌باشند؛ لذا طراحی و ساخت دستگاهی جهت اندازه‌گیری نیروی شکست دانه غلات لازم و ضروری می‌باشد که در عین حال سادگی، حجم کم، قابل حمل بودن و ارزان‌تر بودن را نسبت به دستگاه‌های آزمون موجود فراهم کند. هدف از انجام این پژوهش طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه تعیین نیروی شکست دانه نخود می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- طراحی و ساخت مکانیزم مکانیکی دستگاه تعیین نیروی شکست دانه

برای اندازه‌گیری نیروی شکست دانه غلات مطابق استاندار ASAE S368(1995) باید دانه در بین دو صفحه موازی تحت اثر نیروهای شبه استاتیک قرار گیرد. لذا دستگاه مطابق شکل۱ طراحی و ساخته شد. نحوه کار دستگاه به گونه‌ای است که با چرخش اهرم دستی با استفاده از یک مکانیزم پیچ و مهره (پیچ انتقل نیرو با قطر نامی بزرگ: ۱۲mm و گام: ۱/۷۵mm) صفحه متحرک در جهت عمودی حرکت کرده و به دانه قرار گرفته بر روی فک ثابت نیرو اعمال می‌کند. نیروی وارده به دانه به طور پیوسته از طریق یک نیروسنج متصل به فک ثابت اندازه‌گیری می‌شود. جنس و اندازه فک‌های ثابت و متحرک ورقه فولادی ۱۵۰×۱۵۰mm با ضخامت ۵۰mm انتخاب شد.

۲-۲- برنامه نویسی و پیاده سازی سخت‌افزارهای کنترل

یک حسگر نیرو سنج جهت اندازه‌گیری نیروی شکست دانه غلات (Load Cell L6D-C3 با ظرفیت ۵۰kg، ولتاژ تحریک ۵V-۱۲، نسبت ولتاژ خروجی به ولتاژ تحریک 2.0 ± 0.2 mV/V، خطای مجموع (%Fs) ≥ ±0.0230 و ابعاد (mm): طول:۱۳۰، عرض:۳۰، ارتفاع:۲۲) مورد استفاده قرار گرفت. این حسگر دارای قیمتی نسبتاً ارزان هم می‌باشد. کنترل حسگر بوسیله یک برنامه کامپیوتری در محیط نرم‌افزاری Arduino-1.6.12

صورت گرفت. علاوه بر حسگر نیرو سنج سایر سخت‌افزارهای مورد نیاز جهت اندازه‌گیری نیروی شکست دانه غلات متشکل است از: ۱- ماژول مبدل آنالوگ به دیجیتال ۲۴ بیتی دو کاناله HX711، ۲- برد Arduino Uno R3 (ساخت کشور ایتالیا، یک میکروکنترلر بر پایه‌ی ATmega328) از مزایای آن قابلیت اتصال به کامپیوتر از طریق USB و قابلیت کار با ولتاژ پایین تا ۵ ولت می‌باشد و ۳- کابل USB و سیم انتقال داده (کابل HX ۴ پایه) (شکل۲).

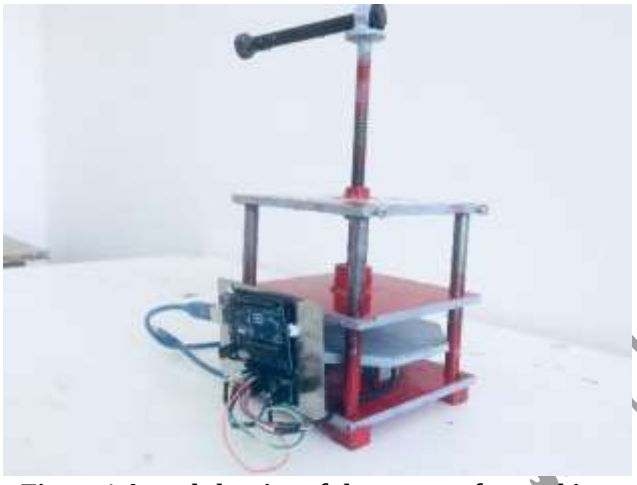

Figure 1.Actual showing of the system after making.

شکل ۱- نمای واقعی دستگاه پس از ساخت.

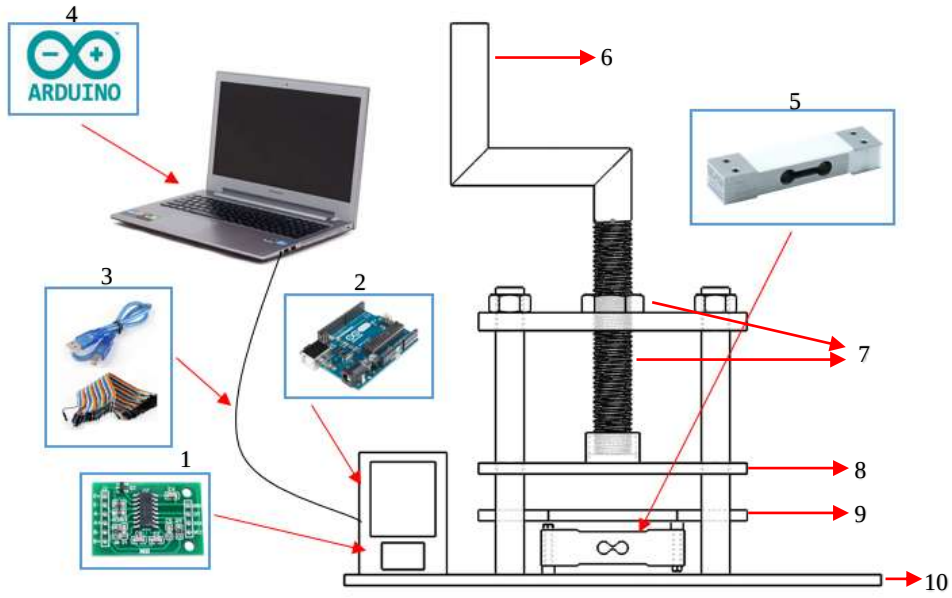

Figure 1: Hardware and software components of the required force for grains fracture Determination system: 1- Analog to digital converter HX711, 2- Arduino Uno R3 Board, 3- USB Cable And Data transfer Cable, 4- Arduino-1.6.12 Software, 5- Load Cell, 6- Hand lever 7- Bolt and nut for Move transfer, 8- Movable jaw, 9- Fixed jaw and 10- support.

شکل ۱- اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری دستگاه تعیین نیروی شکست دانه: ۱- مبدل آنالوگ به دیجیتال HX711، ۲- برد Arduino Uno R3، ۳- کابل USB و سیم انتقال داده ، ۴- نرم‌افزار Arduino-1.6.12، ۵- نیروسنج، ۶- اهرم دستی، ۷- پیچ و مهره انتقال حرکت، ۸- فک متحرک، ۹- فک ثابت و ۱۰- تکیه‌گاه.

ولتاژ برد Arduino مورد استفاده می‌بایست از طریق منبع تغذیه خارجی تامین شده و ولتاژ پیشنهادی برای آن ۱۲-۷ ولت می‌باشد. ولتاژ مور نیاز از طریق ترانس ۱۲ ولت تامین شد و برای تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم از یک پل دیود و خازن ۱۰۰۰ میکرو فاراد استفاده شد. به منظور جلوگیری از آسیب احتمالی مدار ناشی از نوسان ولتاژ از یک رگولاتور 7808 جهت تامین ولتاژ ۸ ولت استفاده شد، همچنین از یک دیود یکسوکننده جهت جلوگیری از آسیب احتمالی ناشی از جابه‌جایی قطب مثبت و منفی هنگام تغذیه مدار استفاده شد (شکل۳). شکل ۴ بلوک دیاگرام دستگاه اندازه‌گیری نیروی شکست دانه غلات را نشان می‌دهد. با اعمال نیرو بر روی حسگر نیروسنج یک سیگنال الکتریکی ضعیف در حد میلی‌ولت روی سیم‌های خروجی آن ظاهر می‌شو. با توجه به اینکه خروجی حسگر نیرو سنج به‌صورت پل‌وتسون و دارای تغییرات نوسان بسیار پایین است و دقت ADC داخلی میکرو برای این دامنه تغییرات پایین می‌باشد از مبدل آنالوگ به دیجیتال ۲۴ بیتی HX711 جهت انتقال اطلاعات حسگر به Arduino Uno R3 استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار Arduino-1.6.12 ، Excel 2013 و SPSS-24 داده‌ها جهت تجزیه و تحلیل بر روی کامپیوتر با فاصله‌ی زمانی ۰/۰۱ ثانیه خوانده و ذخیره شدند و نمودار نیرو-تغییر شکل دانه رسم گردید.

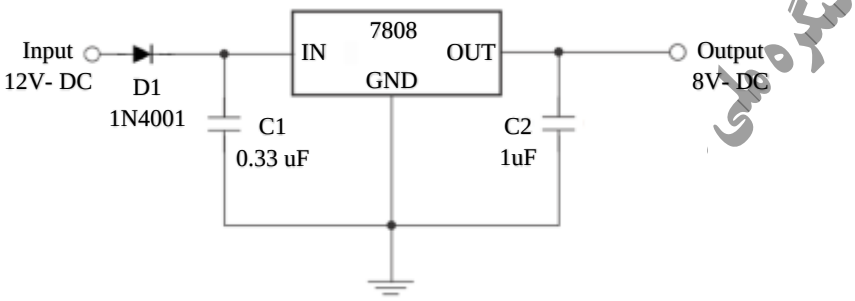

Figure 3. Power supply circuit.

شکل ۳- مدار منبع تغذیه.

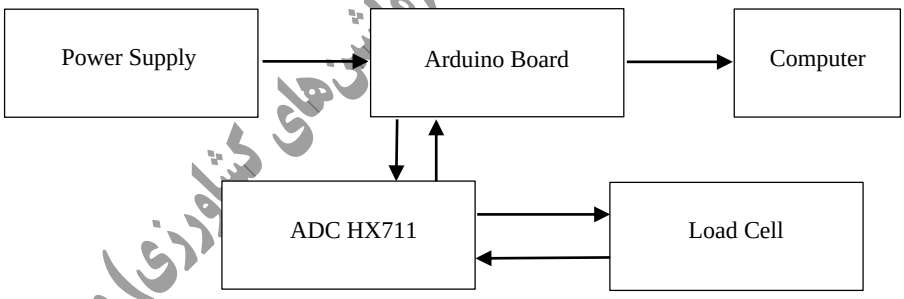

Figure 4. Block diagram of the required force for grains fracture Determination system.

شکل ۴- بلوک دیاگرام دستگاه تعیین نیروی شکست دانه.

۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

در این مطالعه اندازه‌گیری نیروی شکست برای سه رقم نخود (کاکا، پیروز و کابلی) انجام شد. نخودهای مورد استفاده در این تحقیق از مرکز تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان تهیه شدند. قبل از هر آزمایش، کلیه دانه‌ها از نظر صدمات ظاهری بررسی و در صورت مشاهده هر گونه ترک، یا صدمات ظاهری دیگری از آزمایش خارج شدند.

قبل از انجام آزمایش، میانگین رطوبت برای هر سه رقم بر پایه خشک تعیین شد. برای این کار ابتدا ۵ نمونه ۱۵ گرمی از هر رقم توزین و به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۱±۱۰۳ درجه سلسیوس قرار داده شد (ASAE,S352.2., 2006). میزان رطوبت اولیه برای هر رقم به کمک رابطه۱ محاسبه شد (Stroshine, 1998).

$$\%M_c = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (۱)$$

که در این رابطه M_c میزان رطوبت بر مبنای خشک(برحسب درصد)، m_1 جرم نمونه قبل قرار گرفتن در آون (kg) و m_2 جرم نمونه بعد از خروج از آون (kg) می‌باشد.

۳-۲- کالیبراسیون (صحت سنجی) حسگر نیروسنج

به منظور کالیبراسیون (صحت سنجی) حسگر نیروسنج جهت تعیین نیروی شکست دانه از وزنه‌های استاندارد ۰/۵kg تا ۵۰kg با گام‌های ۰/۵kg استفاده شد. و با توجه به مکانیزم و موقعیت قرارگیری حسگر مطابق شکل۵ بارگذاری و کالیبره گردید.

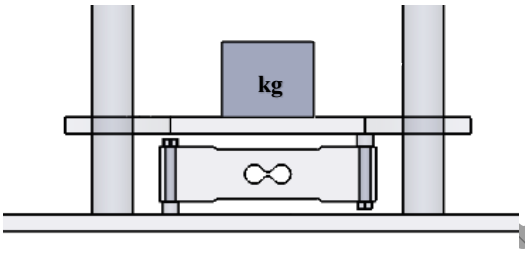

Figure 5. Schematic diagram showing required force for grains fracture load cell sensor loading and calibration (Validation).

شکل ۵- تصویر شماتیک نحوه بارگذاری و کالیبراسیون (صحت سنجی) حسگر نیرو سنج تعیین نیروی شکست دانه.

۴-۲- روش ارزیابی دستگاه تعیین نیروی شکست دانه

برای ارزیابی دستگاه ساخته شده آزمایش‌های تعیین نیروی شکست دانه برای سه رقم نخود (کاکا، پیروز و کابلی) در رطوبت ۷ درصد بر پایه خشک و در یک جهت بارگذاری (از رو) در ۱۵ تکرار انجام گردید و با نیروی شکست تعیین شده توسط دستگاه اینسترون (مدل STM-1، با ظرفیت ۱ کیلونیوتن و دقت ۰/۰۱ نیوتن ساخت ایران) واقع در آزمایشگاه خواص و مهندسی مواد مهندسی بیوسیستم دانشگاه کردستان مقایسه گردید و نمودار نیرو_تغییر شکل دانه به طور پیوسته توسط دستگاه ساخته شده ترسیم گشت (شکل ۶). بارگذاری تا لحظه‌ای که نیرو به بیشترین مقدار خود می‌رسید ادامه یافت. سپس مقایسه نیروی شکست تعیین شده توسط دستگاه و اینسترون به کمک آزمون t مستق صورت گرفت. منتها شرط استفاده از آزمون t مستقل، ۱- نرمال بودن توزیع داده‌ها، ۲- داده‌ها باید دارای مقیاس فاصله‌ای یا اسمی باشند و ۳- دو گروه مورد مقایسه باید مقیاس اسمی داشته باشند. در تحقیق حاظر دو شرط پایانی برقرار بوده و آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد.

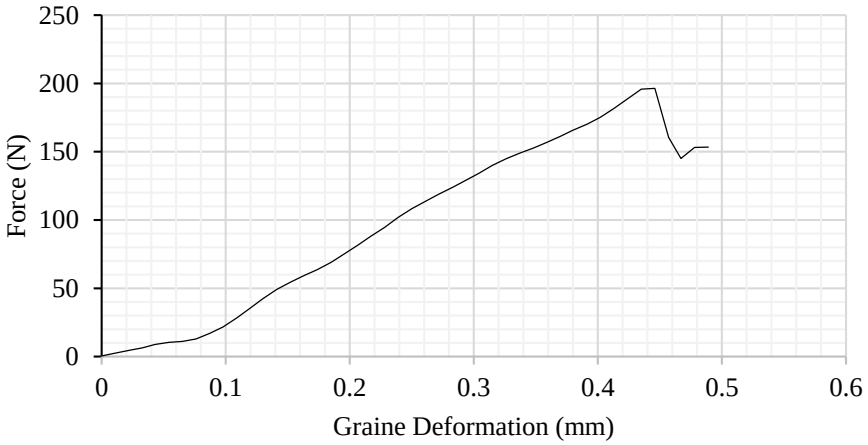

Figure 6. Laboratory force_ grain deformation by required force for grains fracture Determination system, grain chickpea (varietie: Kaka) and moisture content %7 d.b.

شکل ۶- نمودار نیرو_تغییر شکل دانه توسط دستگاه تعیین نیروی شکست دانه، دانه نخود (رقم کاکا) و محتوای رطوبتی ۷٪ بر پایه خشک.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از واسنجی دستگاه تعیین نیروی شکست دانه

با توجه به برنامه نویسی انجام شده جهت ثبت داده‌های مربوط نیروی وارده به دانه، در هر ۰/۰۱ ثانیه یک داده ثبت گردید. پس از استخراج داده‌ها، نمودار خطی برازش بین وزنه‌های استاندارد و خروجی حسگر با ضریب تعیین ۱ به‌دست آمد (شکل۷). نزدیکی مقادیر به‌دست آمده توسط حسگر با مقادیر متناظر وزنه‌های استاندارد و ضریب تعیین بالای به‌دست آمده حاکی از دقت قابل قبول حسگر نیرو سنج در اندازه‌گیری نیرو می‌باشد.

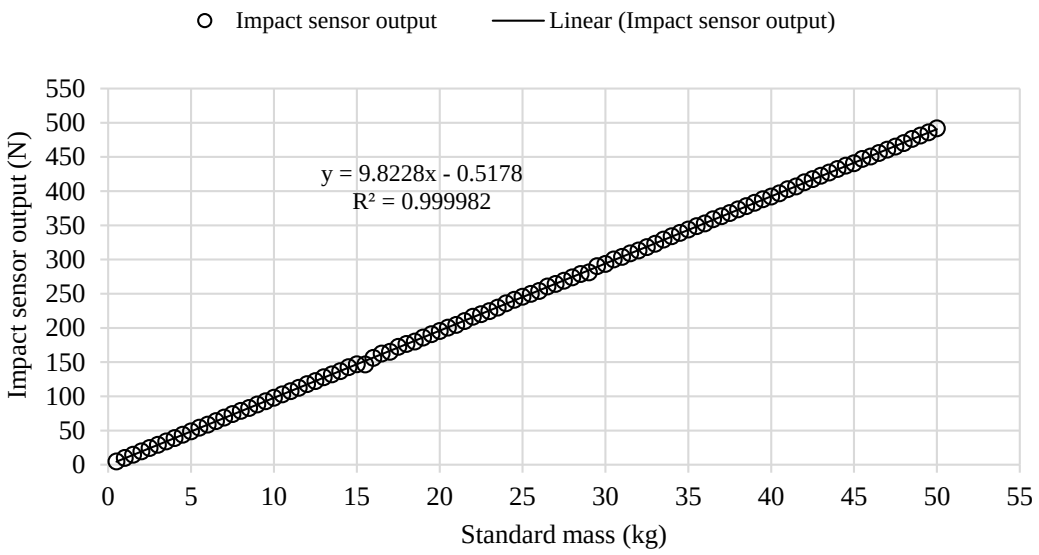

Figure 7. Laboratory calibration (Validation) curve of the load cell sensor.

شکل ۷- نمودار کالیبراسیون (صحت سنجی) جسگر نیروسنج.

۳-۲- نتایج حاصل از ارزیابی دستگاه تعیین نیروی شکست دانه

با توجه به برنامه نویسی انجام شده جهت ثبت داده‌های مربوط به نیروی وارد شده به دانه، در هر ۰/۰۱ ثانیه یک داده ثبت گردید و نیروی لازم برای شکست هر سه رقم نخود (کاکا، پیروز و کابلی) توسط هر دو دستگاه (دستگاه ساخته شده و اینستران) تعیین شد (جدول۱).

جدول ۱- مقادیر نیروی شکست تعیین شده با دستگاه و اینستران برای سه رقم نخود (کاکا، پیروز و کابلی).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

Table 1. The values of the force fracture determined by the system and instron for three varieties chickpea (Kaka, Piruz and Kabuli).

Force chickpea fracture (Kabuli) (N)		Force chickpea fracture (Piruz) (N)		Force chickpea fracture (Kaka) (N)		Iteration
Instron	System	Instron	System	Instron	System	
511.74	504.880	98.64	154.888	149.46	234.688	1
373.25	447.041	147.78	237.203	108.08	132.024	2
348.6	345.94	158.28	92.157	97.78	142.979	3
446.53	405.727	180.28	150.075	91.76	127.343	4
305.24	405.643	98.00	141.087	103.99	265.306	5
473.55	290.123	120.62	150.301	199.9	201.769	6
391.69	349.968	185.95	162.044	162.77	196.377	7
262.98	530.639	131.86	178.519	178.42	195.882	8
263.47	302.366	208.02	226.579	104.65	131.807	9
290.2	486.732	104.01	134.126	147.42	262.543	10
511.86	344.294	111.27	192.252	216.41	149.172	11
444.42	368.096	121.61	118.096	190.95	168.375	12
187.79	368.891	150.83	123.706	186.49	134.101	13
238.41	462.386	84.91	91.245	201.47	193.437	14
343.99	316.079	111.02	97.393	131.76	155.198	15
359.5813	395.2537	134.2053	149.9781	151.4207	179.4001	Mean

اکنون با توجه به مقادیر جدول۱ که مقادیری نیروی شکست تعیین شده با دستگاه و اینستران را برای سه رقم نخود (کاکا، پیروز و کابلی) نشان می‌دهد، می‌توان مقایسه دو دستگاه تعیین نیروی شکست دانه را با آزمون t جهت ارزیابی دستگاه انجام داد. همان طور که قبلا اشاره شد شرط استفاده از آزمون t مستقل ۱- نرمال بودن توزیع داده‌ها، ۲- داده‌ها باید دارای مقیاس فاصله‌ای یا اسمی باشند و ۳- دو گروه مورد مقایسه باید مقیاس اسمی داشته باشند، که در این تحقیق داده‌ها دارای مقیاس فاصله‌ای بوده و دو گروه مورد مقایسه (دستگاه و اینستران) نیز دارای مقیاس اسمی می‌باشند و آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای بررسی شرط نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده شده و نتایج در جدول۲ آورده شده است.

همان طور که در جدول۳ ملاحضه می‌شود، برای تمامی رقم‌ها مقدار Sig در سطح اطمینان ۹۵٪ بیشتر از ۰/۰۵ به‌دست آمده و فرض H0 مبنی بر نرمال بودن داده‌ها پذیرفته شده و شرط دوم نیز جهت استفاده از آزمون t برقرار است.

H0: نرمال بودن داده‌ها

H1: عدم نرمال بودن داده‌ها

جدول ۲- آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای تعیین نرمال بودن داده‌ها

Table 2. Kolmogorov-Smirnov test for data normal Determination

Chickpea grain (Kabuli)		chickpea grain (Piruz)		chickpeaa grain (Kaka)		
Instron	System	Instron	System	Instron	System	
15	15	15	15	15	15	N
.200	.200	.200	.200	.200	.200	Sig

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

آزمون فرض نبود اختلاف معناداری بین نیروی شکست تعیین شده با دستگاه ساخته شده و اینستران به صورت زیر است:

H0: نبود اختلاف معنادار بین نیروی شکست تعیین شده با دستگاه و اینستران

H1: وجود اختلاف معنادار بین نیروی شکست تعیین شده با دستگاه و اینستران

جدول ۳- آزمون t مربوط به نیروی شکست تعیین شده توسط دستگاه و اینستران برای سه رقم نخود (کاکا، پیروز و کابلی)

Table 3. t-test of for force fracture determined by the system and instron for three varieties chickpea (Kaka, Piruz and Kabuli).

	t-test for Equality of Means						
	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
			Lower	Upper			
Instron & System (Kaka)	27.97940	16.43361	-5.68332	61.64212	1.703	28	.100
Instron & System (Piruz)	15.77273	14.87431	-14.69591	46.24137	1.060	28	.298
Instron & System (Kabuli)	35.67233	32.86210	-31.64263	102.98730	1.086	28	.287

همان طور که در جدول۳ مشاهده می‌شود، در سطح اطمینان ۹۵٪ برای هر سه رقم نخود مقدار Sig بیشتر از ۰/۰۵ به‌دست آمده و فرض H1 رد شده و فرض H0 مبنی بر عدم اختلاف معنادار بین نیروی شکست تعیین شده توسط دستگاه و اینستران مورد پذیرش قرار می‌گیرد. این آزمون نشان می‌دهد که دستگاه ساخته شده قابلیت تعیین نیروی شکست دانه را با سطحی قابل اطمینانی دارد. با تعیین نیروی شکست دانه و نمودار نیرو_تغییر شکل دانه می‌توان پارامترهای دیگری نظیر انرژی شکست، تنش و کرنش گسیختگی دانه، مدول الاستیسیته فشاری و ظاهری، چغرمگی و برآورد سرعت نهایی جهت شکستن دانه در بارگذاری دینامیکی را نیز محاسبه کرد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش دستگاهی به منظور تعیین نیروی شکست دانه نخود طراحی، ساخت و با دستگاه اینسترن (مدل STM-1) به عنوان دستگاه مرجع ارزیابی شد. نتایج حاصل از صحت سنجی (کالیبراسیون) نشان داد که این دستگاه دارای دقت و حساسیت بالا می‌باشد و با توجه به نتایج حاصله از ارزیابی، این دستگاه می‌تواند به عنوان یک ابزار اندازه‌گیری قابل اتکا برای تعیین نیروی شکست دانه غلات با وجود سادگی، قابل حمل بودن و همچنین پایین بودن هزینه ساخت مورد استفاده قرار گیرد.

۵- مراجع

ASAE Standard. (2006). Moisture measurement- unground grain and seeds. S352.2 606.

ASAE Standard. (1995). Compression test of food materials of convex shape. S368.

Asli–Ardeh, EA.A., Shakarbeigi, S., & Shojaei, S. (2011). Investigations of Grain Moisture Content Effect on some Physical Properties of two Paddy Grain Varieties. *Journal of Agricultural Scince and Sustainable production, 2*(1), 115-123. (Persian)

Bilanski, W.K. (1966). Damage resistance of seed grains. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 19*(2): 360 – 363.

Foutz, T. L., Thompson, S.A., & Evans, M.D. (1993). Comparison of loading response of packed grain and individual kernels. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, *36*(2), 569-576.

Golpira, H., Tavakoli Hashjin, T., Khosh Taqaza, M.H., & Minai, S. (2009). Determination some mechanical properties of chickpea for use in the design of its harvesting machins. *Journal of Agricultural Science, 19*, 23-31. (Persian)

Golpira, H., Tavakoli Hashjin, T., & Beardemakear, J.D. (2013). Design snd development of a chickpea stripper harvester. *Spanish Journal of Agricultural Research, 4*, 926-934.

Golpira, H. (2015). Development of stripper harvesting thechnology for chickpea. *Mechanization in Agriculture, 7*, 11-13.

Kang, Y.S., Spillman, C.K., Steele, J.L., & Chung, D.S. (1995). Mechanical properties of wheat. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 38*(2), 573-578.

Khazaei, J., Rajabipour, A., & Mohtasebi, S. (2004). Required Force and Energy For Chickpea Grain Fracture under Compressive Quasi-Static Loading. *Iranian Journal of Agricultural Scince, 35*(3), 765-776. (Persian)

Konak, M., Carman, K., & Aydin, C. (2002). Physical properties of chick pea seeds. *Biosystems Engineering, 82*(1), 73-78.

Kunze, O.R., &., Choudhury, M.S.U. (1972). Moisture adsorption related to the tensile strength of rice. *Cereal Chemistry, 49*, 684-696.

Owolarafe, O.K., Olabige, M.T., & Faborode, M.O. (2007). Physical and mechanical properties of two varieties of fresh oil palm fruit. *Journal of Food Engineering, 78*, 1228–1232.

Praveen, C.B., & Irudayaraj, J. (1995). Mechanical strength and rheological behaviour of barley kernels. *International Journal of Food Science and Technology, 30*(5), 609-623.

Salek, F., & Ghanbarian, D. (2016). Effects of temperature and moisture content on some mechanical characteristics of soybeans Under Quasi-static Loading. *Journal of Food industry research, 26*(4), 705-714. (Persian)

Stroshine, R. (1998). *Physical properties of agricultural materials and food products*. Course manua, Purdue University, West Lafayette, pp. 30-89.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران