

# Design, manufacture and evaluation of a laboratory-scale piezoelectric sensor based on a rice combiner meter

M. Hasannia Samakoush<sup>1</sup>, S. R Mousavi Seyedi<sup>2\*</sup>, A. Mahdavian<sup>3</sup>

Received: 03-02-2020

Accepted: 20-07-2020

## Introduction

Today, given the growing trend of the world's population, especially in third world countries, and the increasing need for food, the supply of food to people is one of the most important issues of today. Among other things, rice, as the second most valuable nutrient, plays an important role in the world's nutrition. The area under rice cultivation in the country in 1997-98 was more than 540,000 hectares with a production of 2.3 million tons. Mazandaran province has a share of 215,000 hectares and production of more than 1.4 million tons. The amount of rice crop waste in the world is about 21% and in Iran it is reported to be between 16 and 30 percent, most of which belong to harvest (harvested and harvested). Therefore, research on the reduction and identification of such losses and its influencing factors is absolutely essential. However, post-harvest losses up to the consumption stage have separate discussions and in this study only the harvest losses and In particular, losses have been addressed at the bottom of the combine, but it can play an important role in the agricultural economy of the country if it can be reduced by only three percent.

## Materials and Methods

An important component of the grain loss measuring device is a grid plate measuring  $60 \times 100 \text{ cm}^2$ , with a grating diameter of 7 mm, which is used to separate rice grains from straw. The grains separated from this section are poured onto another screen under the grid (grid plate), in order to improve the performance of the device at this stage, the grains are sensed through 4 separate grids on the case sensors. The view is falling. Model (LDT0-028K) with high sensitivity, 28  $\mu\text{m}$  thick with silver electrodes was used. This sensor is capable of converting pressure and voltage to voltage and vice versa. IC Type ATMEGA328 which is a microcontroller with 8-bit AVR series processor as an operating system and processing of data signal functions, obtained from the sensor. Come on, used. A three-phase 0.75 kW electric motor was used to create the rotational speed of the grid plate. The 16 \* 2 LCD monitor was placed in an electronic circuit to display the data obtained from the experiment. For greater screen clarity, a 10-kHz potentiometer was installed in the electronic circuit. To simulate material loss from the rear of the combine, the laboratory sample was uniformly poured onto a grid plate. Laboratory performance of the laboratory sample for moisture treatment at three levels (12, 18 and 24 % In accordance with actual harvest conditions), lattice slope treatment at three levels (25, 37 and 45 ° Based on others' research and the angle of mounting of the combine harvesters) and lattice rotational speed treatment at three levels (50, 75 and 100 rpm Based on sample moisture levels, grid plate slope, and test run time of 7/5 seconds) Test per minute. The factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. Data were analyzed using GenStat software and graphing in Excel software environment. Comparisons of means were performed using Duncan's test at 99% confidence level. Program coding was used in the Arduino environment.

## Results and Discussion

According to the experiments and data obtained, the best separation of the grain from the straw is at a rotational speed of 100 rpm and a moisture content of 12%, further decreasing the rotational speed and increasing the moisture content. Seed separation is also reduced. The most important reason for this result is the vibration rate at different velocities, so that the vibration rate increases as the rotational speed increases. The lowest performance of the device is at a speed of 50 rpm and a moisture content of 24%. The results observed here could be due to the high humidity in the laboratory sample, whereby the volumetric sample is taken as a dense volume. At low rotational speed, the grains remain in the straw. By analyzing the interaction of the slab plate slope and the moisture content of the laboratory specimen on the performance of the machine, it was found that with increasing of both treatments the machine performance decreases, because with increasing the slab plate slope, the speed of movement of the laboratory sample on the slab plate has increased. And less time is

---

1 and 2- MSc Graduated and Associate Professors of Mechanics of Biosystem Department, respectively, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Assistant Professor of Mechanics of Biosystem Department, Tarbiat Modares University, Iran

(\*- Corresponding Author Email: [mousavi22@sanru.ac.ir](mailto:mousavi22@sanru.ac.ir))

DOI: [10.22067/jam.v12i2.85414](https://doi.org/10.22067/jam.v12i2.85414)

needed to separate the grain from the straw, and the interaction between rotational speed and the slope of the grid plate shows that by increasing the rotational speed values and decreasing in the slope plate slope, the best separation is in the face. Not. This is probably due to the high vibration rate at high rotational speed and sufficient time to separate the grain from the straw in the low slope plate lattice. The weakest performance of the machine is at 100 rpm and 45 ° slope. The most important reasons could be the increase in the velocity of the laboratory sample moving on the grid plate due to the high rotational speed and high slope of the grid plate, which does not allow sufficient separation of the grain from the straw.

### Conclusion

The laboratory test results showed that the effect of rotational speed, slab plate slope, sample moisture and interactions of treatments on the performance of the machine were significant at 1% probability level. Sensor error is also 3%. According to the data from the experiments and their analysis, it showed that the machine was at its highest performance at a speed of 100 rpm, a 25 ° slope of the grid plate, and 12% moisture.

**Keywords:** Piezoelectric, Rice Combine Loss, Sensor, Grid Panel, Design

مقاله پژوهشی

## طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه اندازه‌گیر تلفات کمباین برنج بر پایه حسگر پیزوالکتریک در مقیاس آزمایشگاهی

مهدی حسن‌نیا سماکوش<sup>۱</sup>، سید رضا موسوی سیدی<sup>۲\*</sup>، علیرضا مهدویان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰

### چکیده

دستگاه اندازه‌گیر تلفات دانه کمباین وسیله‌ای است که با نصب آن روی کمباین، می‌توان از میزان تلفات در واحدهای جداکننده و تمیزکننده آگاهی یافت. از جمله مزایای این دستگاه این است که به کاربر این امکان را می‌دهد با داشتن یک میزان قابل قبول از تلفات دانه، بیشینه سرعت پیشروی را انتخاب نمود. در تحقیق حاضر از صفحه مشبکی به ابعاد ۱۰۰×۶۰ سانتی‌متر مربع که قطر شبکه‌های آن ۷ میلی‌متر بوده برای جداسازی شلتوک از کاه و کلش استفاده شد. دانه‌های جداشده از این قسمت روی صفحه زیرین می‌ریزند که از طریق ۴ شبکه جداگانه روی حسگرهای مورد نظر سقوط کرده و پالس‌های مورد نظر از حسگرها به کاربر ارسال و در صفحه نمایشگر نشان داده می‌شود. میزان تلفات دانه در انتهای کمباین با استفاده از حسگر پیزوالکتریک که دارای حساسیت بالا در تشخیص دانه‌های شلتوک می‌باشد بررسی گردید. نمونه مورد آزمایش در این تحقیق یک کیلوگرم کاه و کلش به همراه ۵۲ گرم شلتوک است که معادل تلفات سه درصدی (میانگین تلفات انتهای کمباین در کشورهای پیشرفته ۲/۱۴ درصد است) در انتهای کمباین می‌باشد. تیمارهای مورد استفاده، سرعت دورانی صفحه مشبک، شیب صفحه مشبک و رطوبت نمونه بوده که هر کدام در سه سطح و در سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفت. سپس با استفاده از طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل آماری انجام شد. برای تجزیه و تحلیل آماری عملکرد دستگاه، از نرم‌افزار GenStat استفاده شد. نتایج تحقیقات نشان داد مناسب‌ترین کارایی دستگاه در سرعت دورانی ۱۰۰ دور در دقیقه صفحه مشبک، رطوبت ۱۲ درصدی نمونه آزمایشی و شیب ۲۵ درجه‌ای صفحه مشبک معادل ۹۵/۵۱٪ می‌باشد، که مهم‌ترین دلیل آن ارتعاش زیاد در بیشینه سرعت دورانی صفحه مشبک و پراکندگی نمونه آزمایشگاهی به دلیل رطوبت پایین آن می‌باشد. کمترین میزان کارایی دستگاه نیز در سرعت دورانی ۱۰۰ دور در دقیقه، رطوبت ۲۴ درصدی نمونه آزمایشی و شیب ۴۵ درجه‌ای صفحه مشبک ۷۰٪ می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پیزوالکتریک، تلفات کمباین برنج، حسگر، صفحه مشبک، طراحی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

\*- نویسنده مسئول: (Email: [mousavi22@sanru.ac.ir](mailto:mousavi22@sanru.ac.ir))

امروزه با توجه به روند رو به رشد جمعیت جهان به خصوص در کشورهای جهان سوم و نیاز روزافزون به مواد غذایی، تأمین غذای مورد نیاز افراد یکی از اساسی‌ترین مسائل عصر حاضر می‌باشد. از این رو بشر همواره در تلاش بوده تا روش‌های جدیدی را به منظور افزایش عملکرد محصول و درآمد کشاورزان به وجود آورد. در این میان برنج نیز به عنوان دومین ماده غذایی ارزشمند، نقش مهمی در تغذیه جمعیت جهان دارد. غذای اصلی مردم ایران بعد از گندم، برنج می‌باشد. روند افزایش مصرف برنج در ایران بیانگر اهمیت آن در سبد غذایی خانوار است (Hedayatipour and Rahmati, 2007). سطح زیر کشت برنج (شلتوک) در کشور در سال زراعی ۹۸-۹۷ بیش از ۵۴۰ هزار هکتار با مقدار تولید ۲/۳ میلیون شلتوک تن بوده است. که سهم استان مازندران در این بین، ۲۱۵ هزار هکتار و تولید بیش از ۱/۴ میلیون تن می‌باشد (Bakhshandeh, 2019).

اتلاف دانه را می‌توان در زمینه‌های گوناگونی مورد بررسی و ارزیابی قرار داد: افت قبل از برداشت (PHL): افتی است که قبل از برداشت رخ می‌دهد و توسط عوامل خارجی مانند باد، حیوانات و باران به وجود می‌آید. افت جمع‌آوری (GL): تلفات ناشی از همه مکانیزم‌های دماغه‌ی کمباین که در ارتباط با محصول می‌باشند. افت فرآوری (PL): توسط سیستم‌های جداکننده و تمیزکننده‌ی کمباین باعث می‌شوند. افت برداشت (HL): برابر با مجموع تلفات جمع‌آوری و فرآوری است. تلفات غلات در مرحله برداشت گاه تا ۲۰ درصد گزارش شده است. در حالی که میزان تلفات گندم هنگام برداشت در کشورهای صنعتی ۲ تا ۵ درصد است (Aghagolzadeh, 2005). میزان ضایعات محصول برنج در دنیا حدود ۲۱ درصد بوده و در ایران نیز بین ۱۶ تا ۳۰ درصد گزارش شده، که بیشترین مقدار آن به مرحله برداشت (درو و خرمن‌کوبی) تعلق دارد (Aghagolzadeh, 2005). لذا تحقیق و پژوهش در زمینه کاهش و شناسایی این گونه تلفات و عوامل تأثیرگذار روی آن کاملاً ضروری است. البته تلفات بعد از برداشت تا مرحله مصرف جای بحث و بررسی جداگانه‌ای دارد و در این تحقیق تنها به تلفات مرحله برداشت و به طور خاص تلفات در انتهای کمباین پرداخته شده است. چنانچه بتوان با به کارگیری دستگاه فقط به میزان سه درصد، میزان تلفات کمباین را کاهش داد چیزی در حدود ۷۰ هزار تن افزایش برداشت خواهیم داشت که با احتساب ۶۵۰۰ تومان (قیمت خرید تضمینی شلتوک در سال ۱۳۹۸) برای هر کیلوگرم شلتوک مبلغی حدود ۴۵۰ میلیارد تومان خواهد شد. محققین متعددی طی سال‌های گذشته از دستگاه نمایشگر تلفات دانه (GLM) با اهداف مختلف استفاده کرده‌اند که در ادامه به برخی از این تحقیقات اشاره کوتاهی می‌شود.

الدريج و همکاران (Eldredge et al., 2001) از حسگرهای پیزوالکتریک جهت ساخت دستگاه اندازه‌گیر تلفات دانه استفاده نمودند. کریستال سرامیکی به طور محکم در قسمت تمیزکننده کمباین نصب می‌شود. دانه‌ها هنگام خروج از انتهای کمباین روی حسگر سقوط کرده و در نتیجه به آن نیرو وارد شده و یک سیگنال الکتریکی تولید می‌شود که پس از تقویت، به کاربر این امکان را می‌دهد که از میزان تلفات آگاه شود. فریرا و همکاران (Ferreira et al., 2001) در تحقیقی بر نحوه چگونگی استفاده از اندازه‌گیرهای افت در زمان برداشت محصول برنج گزارش نمودند، کمباین مطابق شرایط محصول، قادر به تنظیمات بهینه در شرایط کار می‌باشد. به طوری که با افزایش افت در زمان برداشت، تنظیمات جدید صورت می‌گیرد و میزان افت در زمان برداشت کاهش می‌یابد (Mostofi sarkari, 2009).

برنهارت و همکاران (Bernhardt et al., 2010) دستگاه و روش خاصی برای تعیین میزان تلفات کمباین ارائه کردند. حسگرهای استفاده شده در این تحقیق از نوع صوتی بودند. در این روش، اجزای واحد جداکننده هر کدام به حسگر مجهز شدند تا سیگنال متناسب با میزان محصول جدا شده را ارائه نمایند. این سیگنال برای پردازش بیشتر به قسمت ارزیابی ارسال می‌شود، تا میزان تلفات محصول مشخص گردد. ژائو و همکاران (Zhao et al., 2011) یک دستگاه اندازه‌گیر تلفات برای واحد جداکننده کمباین برنج ساختند، که از حسگرهای پیزوالکتریک نوع PVDF در تحقیقاتشان استفاده کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد از آنجایی که نسبت دانه از کاه بیشتر است MOG<sup>۷</sup>، لذا فرکانس و بزرگی ولتاژ تولیدی ناشی از دانه بیشتر خواهد بود. به منظور تعیین تاثیر لرزش‌های کمباین و نیز سیگنال‌های ناشی از MOG، فرکانس بحرانی بین ۱ تا ۵ کیلوهرتز در نظر گرفته شد. حسگر در شرایط آزمایشگاه مورد آزمون قرار گرفت و کالیبره گردید. زاویه نصب حسگر ۴۵ درجه و فاصله آن از سطح ریزش مواد ۲۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. میزان خطای نسبی شمارش دانه‌ها ۴/۵ درصد به دست آمد. سپس حسگر در شرایط مزرعه‌ای بررسی گردید. سرعت پیشروی کمباین بین ۲/۱ - ۰/۸ متر بر ثانیه تنظیم و نتایج در مزرعه نشان دادند که میزان خطای نسبی کمتر از ۱۲ درصد بود.

- 1- Pre-Harvest Loss
- 2- Gathering Loss
- 3- Processing Loss
- 4- Harvest Loss
- 5- Graine loss monitor
- 6- Poly vinylidene Di fluo
- 7- Material other than grain

کریمی و همکاران (Karimi et al., 2010) برای ساخت دستگاه پایش تلفات کمباین، از لودسل برای اندازه‌گیری میزان تلفات استفاده کردند و از یک صفحه مشبک به منظور جلوگیری از ریزش کاه‌های بلند روی لودسل، کمک گرفته شد. طراحی سیستم شامل دو بخش طراحی سخت‌افزار و طراحی نرم‌افزار است. حساسیت دستگاه، بالا و قابل تنظیم در حد ۵۰ میلی‌گرم می‌باشد. نتایج نشان داد که زاویه ۳۷ درجه برای نصب لودسل جهت اندازه‌گیری روی دستگاه، مناسب می‌باشد.

لشگری (Lashgari, 2009) در تحقیقی روی پیاده‌سازی و ارزیابی کنترل‌کننده منطق فازی جهت تنظیمات خودکار کمباین غلات از دستگاه اندازه‌گیر افت دانه که آن را به اختصار GLM می‌نامیم با هدف اندازه‌گیری تلفات دانه مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش با بهره‌گیری از دانش سیستم خبره<sup>۱</sup>، سیستمی مبتنی بر کنترل‌کننده منطق فازی برای تنظیمات خودکار کمباین، طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی شد. این سیستم هوشمند، قادر بود، بر اساس اطلاعات دریافتی، مقدار تلفات در الک‌ها و کاه‌پران‌ها را از طریق این دستگاه در کمباین اندازه‌گیری نماید، سپس تنظیمات آن را با توجه به سرعت دورانی کوبنده، فاصله کوبنده و ضدکوبنده، سرعت دورانی دمنده و سرعت پیشروی کمباین به‌طور خودکار انجام دهد. در این سیستم برای اندازه‌گیری تلفات انتهای کمباین از سه حسگر که دو حسگر برای اندازه‌گیری تلفات کاه‌پران و یک حسگر برای اندازه‌گیری تلفات الک‌ها می‌باشد استفاده گردید. این حسگرها از نوع پیزوالکتریک می‌باشند.

مستوفی سرکاری و همکاران (Mostofi sarkari et al., 2014) تحقیقی روی ارزیابی مزرعه‌ای دستگاه نمایشگر افت دانه در شرایط متفاوت برداشت روی کمباین JD955 انجام دادند. سپس دقت دستگاه با استفاده از تیمارهای سرعت پیشروی ۳-۲/۵، ۴-۳/۵ و ۴-۳/۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت کوبنده ۶۵۰، ۷۵۰ و ۸۵۰ دور در دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه داده‌ها نشان داد افت ریزش دانه در تمامی سرعت‌های پیشروی در انتهای کمباین در رطوبت ۱۰-۱۲ درصد دانه و سرعت کوبنده ۷۵۰ دور در دقیقه، در حد استاندارد و در حدود یک درصد می‌باشد.

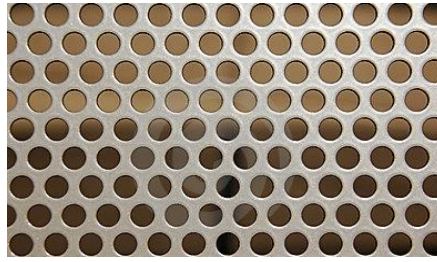
استرلیوف و همکاران (Sterlioff et al., 1997) از خواص صوت برای اندازه‌گیری افت دانه استفاده کردند به این ترتیب که در انتهای کمباین حسگرهای حساس به صدا نصب گردید. صدای دانه‌های گندم به حسگر برخورد نموده و از طریق میکروفون دریافت شد. آنگاه پس از تقویت و فیلتر نمودن نویز و انجام محاسبات به‌عنوان میزان افت دانه نمایش داده می‌شود. حسگرها در انتهای واحد تمیزکننده و در زیر واحد جداکننده نصب گردیدند. آزمون‌هایی که روی کاه برها انجام شده، نشان داد که میزان تلفات دانه در قسمت جداکننده تقریباً معادل میزان دانه‌های جدا شده در فاصله ۱۸ اینچ پایانی کاه برها می‌باشد، لذا با اندازه‌گیری میزان دانه‌های جدا شده در ۱۸ اینچ پایانی کاه برها می‌توان به میزان تلفات دست یافت.

با بررسی‌های انجام شده در منابع مختلف که در مقدمه آمده است، نتیجه‌گیری می‌شود که اندازه‌گیری تلفات دانه هنگام برداشت محصول برنج با استفاده از کمباین مخصوص آن، نقطه مشترک این تحقیق با سایر مقالات می‌باشد. اما در این تحقیق میزان کارایی کمباین و همچنین تلفات دانه در انتهای آن بر خلاف سایر تحقیقات بررسی شده، با استفاده از حسگر پیزوالکتریک در مقیاس آزمایشگاهی و در شرایط مختلف صفحه دورانی لنگ متصل به صفحه مشبک، شیب صفحه مشبک و رطوبت محصول اندازه‌گیری شد.

بنابراین هدف کلی این پژوهش، طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه اندازه‌گیر تلفات کمباین برنج با سنسور پیزوالکتریک در مقیاس آزمایشگاهی به‌منظور تعیین میزان تلفات دانه در کاه و کلش قسمت انتهایی کمباین به هنگام برداشت محصول برنج در مناسب‌ترین وضعیت سرعت دورانی لنگ متصل به صفحه مشبک (مشابه قسمت جداکننده کمباین)، رطوبت نمونه و شیب صفحه مشبک برای بهبود کارایی دستگاه می‌باشد.

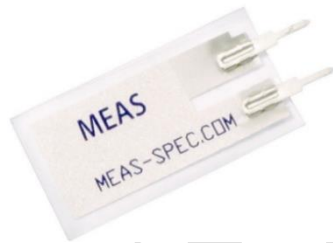
## مواد و روش‌ها

از اجزای مهم دستگاه اندازه‌گیر افت دانه، صفحه مشبکی به ابعاد ۶۰ × ۱۰۰ سانتی‌متر مربع (شکل ۱)، که قطر شبکه‌های آن براساس اندازه شلتوک و صفحات نصب شده در کمباین‌های مخصوص برنج، ۷ میلی‌متر می‌باشد، که وظیفه جداسازی دانه‌های برنج از کاه و کلش را بر عهده دارد. دانه‌های جدا شده از این قسمت بر روی صفحه دیگری که در زیر الک (صفحه مشبک) قرار دارد ریخته می‌شود که برای بهبود کارایی هرچه بهتر دستگاه در این مرحله، دانه‌ها از طریق ۴ شبکه جداگانه بر روی حسگرهای مورد نظر سقوط کرده و پالس‌های مورد نظر از حسگرها به کاربر ارسال و در صفحه نمایش نشان می‌دهد. بذر دانه (شلتوک) مورد استفاده در نمونه آزمایشگاهی از نوع برنج پر محصول کوتاه قد رقم فجر می‌باشد.



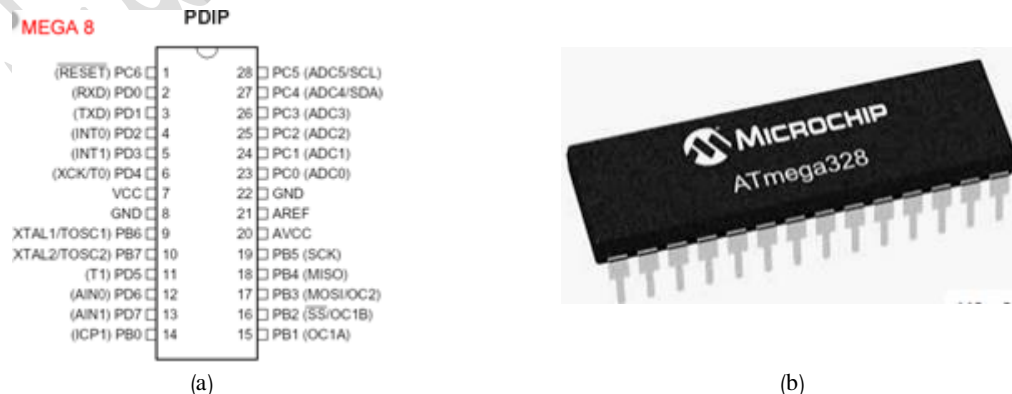
شکل ۱- صفحه مشبک به قطر ۷ میلی‌متر  
**Fig.1.** Grid plate 7 mm in diameter

شکل ۲ حسگر پیزوالکتریک مدل (LDT0-028K) با حساسیت بالا، ضخامت ۲۸ میکرومتر با الکترودهای نقره‌ای را نشان می‌دهد. این حسگر توانایی تبدیل فشار و نیروی وارده به ولتاژ و برعکس را دارا است. با سقوط بذر روی حسگر و لرزش آن سنسور پیزوالکتریک به‌عنوان تیر یک-سرگردار عمل می‌کند.



شکل ۲- حسگر مورد استفاده  
**Fig.2.** Used sensor

انتخاب درست تغذیه حسگر و تنظیم دقیق آن در قسمت پردازش داده‌ها بسیار مهم و حساس می‌باشد. چون دقت خروجی حسگر وابسته به ورودی آن است. میزان ولتاژ فراهم شده برای حسگر باید خیلی دقیق بوده، کمترین میزان تغییرات را داشته باشد. IC مورد استفاده از نوع ATMEGA328، یک میکروکنترلر با پردازنده ۸ بیتی سری AVR است که به‌عنوان یک سیستم عملیاتی و پردازشی توابع سیگنال داده، داده‌های مورد نیاز از طریق حسگر دریافت می‌کند. شکل ۲ نمای ظاهری و ترتیبی پایه‌های IC را نشان می‌دهد. برای ایجاد سرعت دورانی صفحه مشبک، از یک موتور الکتریکی سه فاز ۰/۷۵ کیلو وات مدل Stream استفاده شد (شکل ۴).

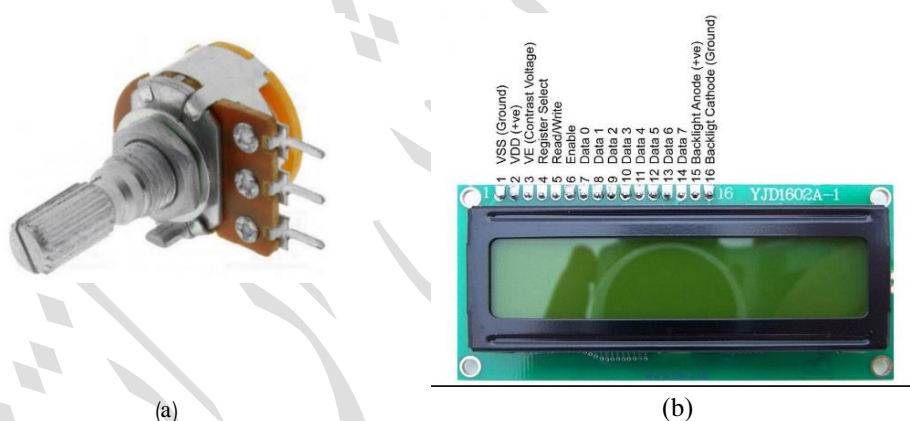


شکل ۳- (a) نمای ترتیبی پایه‌های ATMEGA، (b) نمای ظاهری ATMEGA  
**Fig.3.** (a) Sequential view of ATMEGA foundations (b) Appearance of ATMEGA

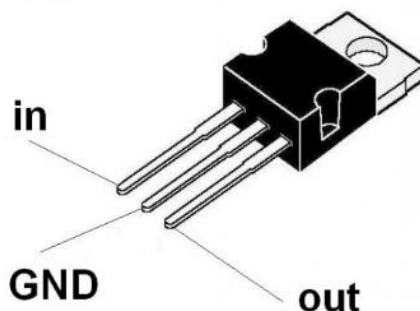


شکل ۴- موتور الکتریکی سه فاز، ۰/۷۵ کیلو وات  
**Fig.4.** Three phase electric motor, 0.75 kW

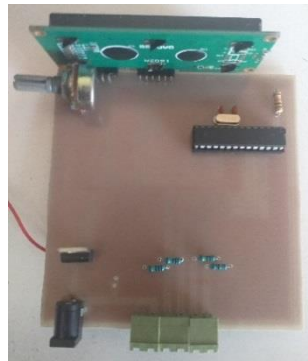
نمایشگر ال سی دی ۱۶×۲ جهت نمایش داده‌های به دست آمده از آزمایش استفاده شد (شکل ۵- b). برای شفافیت بیشتر صفحه نمایش، یک پتانسیومتر ۱۰ کیلو اهمی در مدار الکترونیکی نصب گردید (شکل ۵- a).  
 رگولاتور LM7805 جهت کاهش و تثبیت ولتاژ در مدار الکترونیکی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶). در این مدار الکترونیکی چهار مقاومت ۱ مگا اهمی نیز به عنوان محافظ IC برای مواقعی که افزایش ولتاژ توسط حسگرها ایجاد می‌شود، نصب گردیده است. نمای کلی مدار الکترونیکی در (شکل ۷) نشان داده شده است.



شکل ۵- (a) پتانسیومتر ۱۰ کیلو اهمی، (b) صفحه نمایش  
**Fig.5.** (a) Potentiometer 10 kHz, (b) Monitor



شکل ۶- رگولاتور مدل LM7805  
**Fig.6.** Model LM7805 regulator



شکل ۷- نمای کلی مدار الکتریکی

Fig.7. Overview of the electrical circuit

## آزمون دستگاه

برای آزمون دستگاه، در ابتدا جهت سنجش حسگرهای نصب شده روی آن، تعداد ۱۰۰۰ دانه شلتوک را که وزن آن‌ها معادل ۲۶ گرم می‌باشد، با مقدار مشخصی کاه و کلش مخلوط کرده، مورد آزمایش و اندازه‌گیری قرار داده تا میزان خطای مربوط به سنسورها در زمان کار دستگاه مشخص شود. سپس نمونه آزمایشگاهی از رقم پرمحصول برنج نوع فجر که عملکرد مزرعه‌ای آن ۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار است، انتخاب می‌شود (Bakhshandeh, 2019). ظرفیت مزرعه‌ای کمباین ۰/۴۴ هکتار در ساعت محاسبه شد (Tabatabaei *et al.*, 2013). مدت زمان انجام آزمایش برای یک کیلوگرم نمونه آزمایشگاهی با توجه به ظرفیت مزرعه‌ای کمباین، میزان کاه و کلش و دانه‌های اتلاف شده همراه آن و نسبت عرض خروجی کمباین به عرض دستگاه طراحی شده به مدت ۷/۵ ثانیه تنظیم شد. نمونه آزمایشگاهی برای میزان دانه تلف شده در یک کیلوگرم کاه و کلش خالص قسمت انتهایی کمباین محاسبه شده است. میزان دانه تلف شده نسبت به عملکرد محصول (۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، ۳ درصد برآورد شد. قابل ذکر است که این میزان تلفات برای نمونه آزمایشگاهی در نظر گرفته شده بود و نتیجه ارزیابی سامانه سنجش تلفات نیست. نسبت کاه (کاه و کلش و تلفات دانه) به دانه (عملکرد محصول برنج) ۰/۶ می‌باشد (Taheri *et al.*, 2019). رابطه (۱) میزان کاه که شامل کاه و کلش و دانه‌های تلف شده است را نشان می‌دهد. رابطه (۲) میزان دانه‌های تلف شده (۳ درصد عملکرد محصول) در این مقدار کاه (۳۶۰۰ کیلوگرم به‌دست آمده از رابطه ۱) را نشان می‌دهد

$$6000 \text{ kg ha}^{-1} \times 0.6 = 3600 \text{ kg ha}^{-1} \quad (1)$$

$$6000 \text{ kg ha}^{-1} \times 0.03 = 180 \text{ kg ha}^{-1} \quad (2)$$

بنابراین وزن کاه و کلش خالص بدون تلفات دانه در ۶۰۰۰ کیلوگرم برداشت در هکتار برابر با  $3420 \text{ kg ha}^{-1} = 3600 - 180$  می‌باشد. طرفین بر ۳۴۲۰ تقسیم می‌شود. بنابراین در یک کیلوگرم کاه کلش خالص مقدار  $0.05263$  کیلوگرم یا  $52.63$  گرم دانه محاسبه می‌شود. برای شبیه‌سازی ریزش مواد از قسمت انتهایی کمباین، نمونه آزمایشگاهی به‌طور یکنواخت روی صفحه مشبک ریخته شد. کارایی دستگاه برای نمونه آزمایشگاهی برای رطوبت در سه سطح ۱۲، ۱۸ و ۲۴ درصد مطابق با شرایط واقعی برداشت محصول، شیب صفحه مشبک در سه سطح ۲۵، ۳۷ و ۴۵ درجه بر اساس تحقیقات کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2010) و زاویه نصب الک‌های کمباین برنج و همچنین سرعت دورانی صفحه مشبک که مشابه کار واحد جداکننده در کمباین می‌باشد، در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ دور بر دقیقه بر مبنای سطوح رطوبت نمونه، شیب صفحه مشبک و زمان اجرای آزمایش به مدت ۷/۵ ثانیه تنظیم شد. آزمون در قالب فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GenStat و رسم نمودار در محیط اکسل انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۹۹٪ صورت گرفت. کدنویسی برنامه در محیط آردوینو استفاده شد.

## نتایج و بحث

میزان تلفات اندازه‌گیری شده به‌وسیله حسگر، بر حسب تعداد دانه‌ها می‌باشد. در قسمت کدنویسی تعداد دانه‌ها به وزن معادل تبدیل شده است. تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده در شرایط مختلف و تأثیرات هر یک از آن‌ها بر کارایی دستگاه در جدول‌های ۱ تا ۵ نشان داده شده است.

بررسی جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) در رابطه با فاکتور تعداد دانه‌های تلف شده برنج بیانگر این مطلب است که اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ بین تمامی تیمارها وجود دارد.

### جدول ۱ - جدول تجزیه واریانس اثر تغییر متغیرها روی کارایی دستگاه

Table 1- ANOVA of the treatment variations on device performance

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of square
رطوبت Moisture	2	111016.44**
سرعت دورانی Rotational speed	2	13484.33**
شیب Tilt	2	1219504.11**
رطوبت*سرعت Moisture* Rotational speed	4	539.61**
رطوبت*شیب Moisture* Tilt	4	5370.22**
سرعت*شیب Rotational speed*Tilt	4	12321.61**
رطوبت*سرعت*شیب Tilt * Rotational speed* Moisture	8	1393.92**
خطا Error	54	77.94
کل Total	80	

\*\* معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱٪

\*\* Significant at 1% of probability levels

جدول ۲ که به اثر متقابل سرعت دورانی صفحه مشبک و درصد رطوبت نمونه آزمایشگاهی اشاره دارد، اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها را در سطح احتمال ۱ درصد نشان می‌دهد. براساس آزمایش‌ها و داده‌های دریافتی از آن، بهترین جدایش دانه از کاه و کلش، در سرعت دورانی ۱۰۰ دور بر دقیقه و رطوبت ۱۲ درصد می‌باشد که علت آن ارتعاش زیاد صفحه مشبک در سرعت دورانی بالا و پراکندگی نمونه آزمایشگاهی به دلیل رطوبت پایین می‌باشد، همچنین با کاهش سرعت دورانی و افزایش درصد رطوبت، میزان جدایش دانه‌ها نیز کاهش می‌یابد. از مهم‌ترین دلایل این نتیجه می‌توان به میزان ارتعاش در سرعت‌های متفاوت اشاره کرد، به طوری که با کاهش سرعت دورانی صفحه مشبک از میزان ارتعاش صفحه مشبک نیز کاسته می‌شود و افزایش میزان رطوبت، باعث تراکم زیاد نمونه آزمایشگاهی و جدایش کمتر دانه‌ها از کاه و کلش می‌شود. کمترین میزان کارایی دستگاه در سرعت دورانی ۵۰ دور در دقیقه و رطوبت ۲۴ درصدی نمونه آزمایشگاهی (متناسب با شرایط برداشت مکانیزه) می‌باشد و نتایج مشاهده شده در این قسمت را می‌توان به دلیل رطوبت بالا در نمونه آزمایشگاهی دانست که در این صورت نمونه آزمایشگاهی حجمی متراکم به خود گرفته و با توجه به سرعت دورانی پایین، دانه‌ها در بین کاه و کلش باقی می‌مانند. نتایج حاصله با نتایج آزمایش‌های شریفی (Sharifi sangdeh, 2018)، که در پژوهش خود به تاثیر میزان رطوبت بر تلفات برنج (رقم هاشمی)، در رطوبت‌های مختلف شلتوک هنگام برداشت (۱۷، ۱۹ و ۲۲ درصد بر پایه وزن خشک) پرداخت هم‌خوانی دارد.

### جدول ۲ - تأثیر سرعت دورانی و رطوبت بر کارایی دستگاه

Table 2 - Effect of rotational speed and moisture on device performance

سرعت Rotational speed (rpm)	رطوبت Moisture (%)			میانگین Mean
	12	18	24	
50	1699 <sup>b</sup>	1625 <sup>d</sup>	1581 <sup>f</sup>	1635 <sup>e</sup>
75	1707 <sup>b</sup>	1624 <sup>d</sup>	1588 <sup>f</sup>	1642 <sup>b</sup>
100	1755 <sup>a</sup>	1665 <sup>c</sup>	1610 <sup>e</sup>	1677 <sup>a</sup>
میانگین Mean	1720 <sup>a</sup>	1644 <sup>b</sup>	1593 <sup>c</sup>	



جدول ۳ اثر متقابل شیب صفحه مشبک و رطوبت نمونه آزمایشگاهی را روی کارایی دستگاه نشان می‌دهد. با افزایش هر دو تیمار میزان کارایی دستگاه سیر نزولی پیدا می‌کند، زیرا با افزایش شیب صفحه مشبک، سرعت حرکت نمونه آزمایشگاهی بر روی صفحه مشبک افزایش یافته و مدت زمان کمتری برای جدایش دانه از کاه و کلش صرف می‌شود. بهترین کارایی در این آزمایش‌ها، رطوبت ۱۲ درصد و شیب ۲۵ درجه مشاهده شد. کارایی دستگاه در سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه با رطوبت ۱۲ درصد و شیب ۳۷ درجه بهتر از کارایی دستگاه در رطوبت ۲۴ درصد و شیب ۲۵ درجه است، دلیل آن را می‌توان، افزایش سطح رطوبت نمونه آزمایشگاهی دانست که مانع پراکندگی کامل کاه و کلش جهت جدایش بیشتر دانه روی صفحه مشبک می‌گردد. کمترین میزان کارایی دستگاه در شیب ۴۵ درجه و رطوبت ۲۴ درصد نمونه در سرعت ۱۰۰ دور دقیقه مشاهده شد. نتایج حاصل از این آزمایش با نتایج هاریسون (Harisson, 1991) در محصول جو که بیان‌کننده کاهش تلفات کوبش با کاهش میزان رطوبت دانه است و همچنین نتایج بررسی‌های ولیعهدی و همکاران (Valiahdi *et al.*, 2014) که در زمینه درصد رطوبت دانه بر ریزش در واحد تمیزکننده می‌باشد هم‌خوانی دارد.

جدول ۳- تأثیر شیب و رطوبت بر کارایی دستگاه

Table 3- Effect of tilt and moisture on device performance

شیب (درجه) Tilt	رطوبت Moisture (%)			میانگین Mean
	12	18	24	
25	1910 <sup>a</sup>	1821 <sup>b</sup>	1761 <sup>d</sup>	1831 <sup>a</sup>
37	1795 <sup>c</sup>	1689 <sup>e</sup>	1636 <sup>f</sup>	1706 <sup>b</sup>
45	1455 <sup>g</sup>	1412 <sup>h</sup>	1383 <sup>i</sup>	1417 <sup>c</sup>
میانگین Mean	1720 <sup>a</sup>	1644 <sup>b</sup>	1593 <sup>c</sup>	

با توجه به جدول ۴ که اثر متقابل سرعت دورانی و شیب صفحه مشبک را بر کارایی دستگاه نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که با افزایش مقادیر سرعت دورانی و کاهش در سطح شیب صفحه مشبک، بهترین جدایش در دستگاه صورت می‌گیرد. این موضوع احتمالاً به دلیل میزان ارتعاش زیاد در سرعت دورانی بالا و زمان کافی برای جدایش دانه از کاه و کلش در شیب کم صفحه مشبک می‌باشد. کمترین کارایی دستگاه در سرعت ۱۰۰ دور بر دقیقه و شیب ۴۵ درجه می‌باشد که مهم‌ترین دلیل آن را می‌توان افزایش سرعت حرکت نمونه آزمایشگاهی بر روی صفحه مشبک بر اثر سرعت دورانی بالا و شیب زیاد صفحه مشبک در نظر گرفت. این دلیل باعث می‌شود فرصت کافی برای جدایش دانه از کاه و کلش وجود نداشته باشد. کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2010) تحقیقاتی را با لودسل انجام داده‌اند که نتایج آزمایش‌ها نشان داد بهترین زاویه برای جدایش محصول، ۳۷ درجه می‌باشد که با آزمایش فوق جهت قرارگیری صفحه مشبک در بهترین وضعیت خود (۲۵ درجه) هم‌خوانی نداشته که دلیل آن به علت عدم استفاده از سرعت دورانی به‌عنوان تیمار می‌باشد به گونه‌ای که کاه و کلش از روی صفحه مشبک بدون هیچ نیرو و عکس‌العملی همانند سرسره به طرف پایین آمده تا عمل جدایش انجام پذیرد.

جدول ۴- تأثیر سرعت دورانی و شیب بر کارایی دستگاه

Table 4- Effect of rotational speed and tilt on device performance

سرعت دورانی Rotational speed	شیب Tilt			میانگین Mean
	25	37	45	
50	1792 <sup>c</sup>	1669 <sup>d</sup>	1444 <sup>g</sup>	1635 <sup>c</sup>
75	1826 <sup>b</sup>	1695 <sup>e</sup>	1406 <sup>h</sup>	1644 <sup>b</sup>
100	1876 <sup>a</sup>	1755 <sup>d</sup>	1400 <sup>h</sup>	1677 <sup>a</sup>
میانگین Mean	1831 <sup>a</sup>	1706 <sup>b</sup>	1417 <sup>c</sup>	

جدول ۵- تأثیر سرعت دورانی، شیب و رطوبت بر کارایی دستگاه

Table 5- Effect of rotational speed, tilt and moisture on device performance

سرعت دورانی Rotational speed	رطوبت Moisture	شیب Tilt		
		25	37	45
50	12	1851 <sup>d</sup>	1746 <sup>h</sup>	1500 <sup>b</sup>
	18	1781 <sup>f</sup>	1655 <sup>k</sup>	1438 <sup>o</sup>
	24	1743 <sup>h</sup>	1607 <sup>m</sup>	1393 <sup>pq</sup>
75	18	1916 <sup>b</sup>	1766 <sup>g</sup>	1438 <sup>o</sup>
	18	1811 <sup>e</sup>	1685 <sup>j</sup>	1401 <sup>p</sup>
	24	1750 <sup>h</sup>	1635 <sup>l</sup>	1380 <sup>qr</sup>
100	12	1964 <sup>a</sup>	1873 <sup>c</sup>	1428 <sup>o</sup>
	18	1872 <sup>e</sup>	1726 <sup>i</sup>	1397 <sup>p</sup>
	24	1791 <sup>f</sup>	1664 <sup>k</sup>	1376 <sup>r</sup>

با توجه به جدول ۵ که مقایسه اثرات متقابل سه‌گانه سرعت دورانی صفحه مشبک، شیب صفحه مشبک و رطوبت نمونه آزمایشگاهی را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که با افزایش سطح سرعت دورانی صفحه مشبک در زوایای ۲۵ و ۳۷ درجه در مقادیر کمینه رطوبت، کارایی دستگاه بهتر بوده که از دلایل آن می‌توان به ارتعاشات زیاد در سرعت دورانی بالا و کاهش تراکم در مقادیر پایین رطوبت و زمان کافی برای جدایش دانه‌ها با توجه به زوایای مذکور اشاره کرد. از طرفی با افزایش سرعت دورانی در زاویه ۴۵ درجه در مقادیر مختلف رطوبت کارایی دستگاه کاهش می‌یابد به طوری که کمترین کارایی دستگاه مربوط به بیشترین سطح سرعت دورانی (۱۰۰ دور در دقیقه)، بالاترین سطح رطوبتی نمونه آزمایشگاهی (۲۴ درصد) و بیشترین شیب صفحه مشبک (۴۵ درجه) می‌باشد، از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به عدم زمان کافی با توجه به شیب صفحه مشبک برای جدایش دانه از کاه و کلس و تراکم زیاد نمونه آزمایشگاهی با توجه به رطوبت زیاد آن اشاره کرد. از نکات مهم و قابل توجه می‌توان به تأثیر شیب و رطوبت اشاره کرد به طوری که در سرعت بیشینه، کارایی دستگاه در شیب ۳۷ درجه و رطوبت ۱۲ درصد بهتر از شیب ۲۵ درجه و رطوبت ۲۴ درصد نمونه آزمایشگاهی می‌باشد که بیانگر تأثیر رطوبت بر کارایی دستگاه می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها با نتایج تحقیق علیمحمدزاده و همکاران (Alimohammadzadeh *et al.*, 2015) که در مورد تأثیر رطوبت محصول و سرعت دورانی کمابین بر میزان تلفات محصول می‌باشد همخوانی دارد.

## نتیجه‌گیری

نتایج آزمون آزمایشگاهی در این کار تحقیقاتی نشان داد که اثر سرعت دورانی صفحه مشبک، شیب صفحه مشبک، رطوبت نمونه و همچنین اثر متقابل تیمارها بر کارایی دستگاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. خطای مربوط به حسگرها نیز ۳ درصد می‌باشد و با توجه به داده‌های حاصل از آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها، مشاهده شد، دستگاه در سرعت دورانی ۱۰۰ دور بر دقیقه صفحه مشبک، شیب ۲۵ درجه‌ای صفحه مشبک و رطوبت ۱۲ درصدی نمونه آزمایشی در بالاترین سطح از کارایی خود به میزان ۹۱/۵۱٪ قرار دارد.

## References

- Bakhshandeh, A. 2019. Deputy Minister of Planning and Economic Affairs, Minister of Agriculture of Iran.
- Aghagolzadeh, H. 2005. Specifications of machinery needed for mechanized rice cultivation. 11<sup>th</sup> National Rice Conference of the country. Qazvin Agricultural Jihad Organization Agricultural Statistics 2018.
- Alimohammadzadeh, S., H. ShamsAbadi, M. Azadbakht, and M. H. Rezghi. 2015. Comparison of quantitative losses of different combine harvesters in rice harvesting with different moisture content. Research Findings on Improving Crop Production 1 (1): 13-28.
- Bernhardt, G., and R. Hubner. 2010. Patent No. 0199291. United States.
- Eldredge, K. W., and R. C. Blyth. 2001. Grain loss Indicator. United States Patent. Number 4,490, 964.
- Ferreira, D. B., A. Ferreira, S. Alonco, and H. Bley. 2001. Grain loss monitoring during all harvest season (gathering and processing losses), in the irrigated rice crop, and its results in reduction losses due to immediate adjustments in the combines. paper No. 011075. ASAE, Annual International Meeting, Sacramento, California, USA.
- Harrison, H. B. 1991. Rotor power and losses of an axial-flow combine. Trans. ASAE 34 (1): 60-64.
- Hedayatipour, A., and M. Rahmati. 2007. Study of drying temperature and final moisture content of rice on crop

- 
- yield and conversion coefficient of high yield varieties in Mazandaran province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 13 (6).
9. Karimi, H., H. Navid, A. Rostami, and A. Taheri hajivand. 2005. Design and Construction of a Grain Loss Monitor for Combine Harvester Using Load Cell. *Journal of Agricultural Mechanization* 1 (1).
  10. Lashgari, M. 2009. Implementation and evaluation of fuzzy logic controller for automated grain combine adjustment. *Journal of Agricultural Engineering Research* 1 (3).
  11. Mostofi Sarkari, M. R. 2009. Field Evaluation of grain loss monitor in different harvesting conditions on combine JD 955. In: *Proceedings of 5<sup>th</sup> National Conference of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*. Agriculture Faculty. Ferdowsi University of Mashhad. pp. 946-956. (In Persian).
  12. Mostofi sarkari, M. R., M. S. Valiahdi, and I. Ranjbar. 2014. Field Assessment of End-of-Grain Combine Harvesters Equipped with a Grain Loss Monitor in JD-955 and JD-1165 Combines, *Journal of Agricultural Machinery* 4 (2): 335-343. (In Persian).
  13. Sharifi sangdeh, S. 2018. Investigation of the effect of grain moisture and type of 4LZ-2.5A and ICR20 combines on mortality of different rice harvesting units. *Second National Conference on Harvesting and After Harvesting of Agricultural Technology*, Mashhad, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center.
  14. Strelieff, P., S. William, and J. Dale. 1977. Grain loss Monitor. United States Patent. Number 4,036,065.
  15. Tabatabaei, R., H. Aghagolzadeh, and B. Bakhshi. 2013. Field Testing and Evaluation of a Complete Nutrition Harvesting Combine. *7<sup>th</sup> National Congress of Agricultural Machinery and Mechanization*.
  16. Taheri, A., H. Navid, H. Rostami, and H. Karimi. 2019. Field Assessment of Combine Seed Loss Monitoring Machine. *6<sup>th</sup> Scientific Research Congress on Development and Promotion of Agricultural Sciences and Natural Resources in Iran*.
  17. Valiahdi, M. S., I. Rangbar, M. R. Mostofi Sarkari, and M. Majdi. 2014. Investigation of Processing Losses on a Jundir Model 1165 Combine with a Grain Loss Monitor. *National Conference on Non-Agent Defense in Agriculture*.
  18. Zhao, Z., Y. Li, J. Chen, and J. Xo. 2011. Grain separation loss monitoring system in combine harvester. *Computers and Electronics in Agriculture* 183-188.