

Research Article

Agricultural Engin., 43(4) (2020) 441-458
DOI: 10.22055/agen.2021.32966.1563

ISSN (E): 2588-526X
ISSN (P): 2588-5944

System upgrade and performance optimization of a sunflower seed detacher unit

Z. Amiri¹, S. M. Nassiri^{2*}, M. H. Raoufat³ and M. A. Nematollahi⁴

1. Former Graduate Student, Department of Biosystems Engineering, University of Shiraz
2. Faculty Member, Department of Biosystems Engineering, University of Shiraz
3. Faculty Member, Department of Biosystems Engineering, University of Shiraz
4. Faculty Member, Department of Biosystems Engineering, University of Shiraz

Accepted: 29 November 2020

Received: 29 March 2020

Abstract

Introduction: Oilseeds after cereals ranked at second place as human's food sources. Among them, sunflower is one of the main oilseed for cultivation. Because of increasing demand rate for edible oil import, it is necessary to avoid any grain loss during harvesting and processing of oilseeds. In some sunflower fields mechanical harvesting is hardly done by combines due to difficulty for movement as well as the small cultivated area. Then, manual harvesting and processing of sunflower heads and grains are appropriate and most used field operations. Detachments of grains from heads is a tedious work and labor intensive operation. Also, from medical and ergonomic point of views it makes physical problem for workers. All commercial equipment thrash field dried sunflower heads, entirely. Therefore, some wastes are produced at preharvest (in field), threshing and separation processes. Some research have been conducted to adjust combine to decrease grain losses. Cylinder rotational speed and type, distance between cylinder and concave, heads moisture content and threshing unit feed rate were such adjustment. However, none of the detached grains from head without head threshing. On the other hand, losses to about 46% during harvesting the sunflowers with the combine, a partially mechanized approach for grain detachment was chosen in this study.

Materials and Methods: To do this an existing sunflower seed detacher unit (Jahani, 2014) was equipped with cleaning unit. In addition, the unit efficiency was improved by optimizing the device settings. This device consisted of a feeding conveyor belt, two series detacher cylinder with 8 cm rubber fingers covered all through their peripherals in segregated patterns, cleaning unit, two electric motor and deriving mechanism (belt and pulley). Cleaning unit comprised an axial flow fan and an inclined guide canal for grain movement. Fan was selected in such a way that separate the gross waste materials mixed with grain, detached from heads by laboratory test using a terminal velocity test rig. Slope and material of canal was determined by a laboratory trials using a test rig to measure sliding coefficient of grain batches. For evaluating the unit performance, laboratory experiment was carried out at four levels of rotational speed of the detacher cylinders (300, 450, 510 and 600 rpm) and four levels of grain moisture content (7, 15, 20 and 27% db) in three replications. Cylinder rotational speed and feeding belt speed were selected based on Janani's research results. Feeding belt speeds were adjusted in such a way that the speed ration of linear velocity of cylinders to feeding belt were constant and about 72.2 as reported by Jahani (2014). Moisture content levels were considered based on harvesting,



processing and storage conditions of sunflower grains. Raw data were used to compute percentage of seed detachment, percentage of separation and grain fracture percentage.

Results and Discussion: ANOVA revealed that main factors of cylinders rotational speed and moisture contents and their interaction significantly affected percentage of separation ($p < 0.01$). Increasing in moisture content reduced the amount of detached grains from head due to flexibility of grains at higher moisture content and damping impact of rubber fingers. Also it was reported that lower moisture content produced lower adhesive force between grain outer surface and the pod. On the hand, increasing in rotational speed increased the amount of detached seed because of impact of rubber fingers and stored kinetic energy in shelled grains. The most detaching was obtained at 600 rpm and 5% moisture content. The rotational speed and grain moisture content and their interaction significantly ($p < 0.01$) affected percentage of fractured grains. Moisture content had more share for grain failure than rotational speed. Higher fracture was observed at lower moisture contents and higher cylinder speeds, so that it was around 6.4% at 600 rpm and 7% moisture.

Conclusion: According to the results cleaning was affected by moisture content alone and higher percentage took place at lower moisture contents because of lighter produced wastes. Overall, considering all above aforementioned indices, cylinder rotational speed of 600 rpm and grain moisture content of 20 % was the appropriate adjustment set for grain detaching. In such adjustment, detachment rate was as high as 94.6 %, grain fracture was limited to 0.27 %, cleaning was 68 % and the output capacity of the machine of 268 kg h^{-1} was achieved. More adjustment on fan speed is required to increase the rate of cleaning to approach hundred percent of cleanness.

Key words: *Sunflower, cleaning, oilseeds, processing*

ارتقاء سامانه و بهبود عملکرد دستگاه جداکننده دانه آفتابگردان

زهرا امیری^۱، سید مهدی نصیری^{۲*}، محمد حسین رئوف^۳ و محمد امین نعمت‌اللهی^۴

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز شیراز، ایران
۲. هیأت علمی، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۳. هیأت علمی، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز شیراز، ایران
۴. هیأت علمی، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز شیراز، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۰

پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

کلمات کلیدی:

آفتابگردان،

بوجاری،

دانه‌های روغنی،

فرآوری

چکیده

با توجه به هزینه بر و زمان بر بودن برداشت دستی و تلفات تا حدود ۴۶ درصد هنگام برداشت آفتابگردان با کمباین، روش نیمه مکانیزه برای جداسازی دانه از طبق با دستگاه مورد پژوهش انتخاب شد. در این پژوهش دستگاه جداکننده دانه آفتابگردان ساخته شده توسط جهانی (۱۳۹۳) به واحد بوجاری مجهز گردید و راندمان جداسازی از طریق بهبود تنظیمات دستگاه ارتقا یافت. آزمایش‌ها در سرعت دورانی استوانه‌های جداکننده در چهار سطح (۳۰۰، ۴۵۰، ۵۱۰ و ۶۰۰ دور بر دقیقه) و محتوای رطوبت دانه در چهار سطح (۷، ۱۵، ۲۰ و ۲۷ درصد بر پایه خشک) با سه تکرار انجام شد. سپس مقادیر درصد جدایش دانه‌ها از طبق، درصد تمیزی و درصد شکستگی محاسبه گردید. نتایج نشان داد تأثیر رطوبت و سرعت دورانی استوانه‌ها و اثر متقابل این دو بر درصد جدایش در سطح احتمال ۱٪ معنادار بود. اثر رطوبت بر درصد تمیزی در سطح ۱٪ معنادار بود اما اثر سرعت دورانی استوانه‌ها و اثر متقابل دو عامل بر درصد تمیزی معنادار نبود. اثر رطوبت و سرعت و اثر متقابل این دو عامل بر درصد شکستگی در سطح احتمال ۱٪ معنادار بود. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش سرعت دورانی ۶۰۰ دور بر دقیقه و محتوای رطوبت ۲۰ درصد که حاصل آن مقدار درصد جدایش ۹۴/۶ و درصد شکستگی ۰/۲۷ بود به عنوان مقادیر بهینه برای سرعت و رطوبت پیشنهاد می‌گردد. در این سرعت و محتوای رطوبتی ظرفیت خروجی ۲۶۸ کیلوگرم بر ساعت و درصد تمیزی ۶۸ درصد بدست آمد.

* عهده دار مکاتبات

Email: nasiri@shirazu.ac.ir

مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات دومین ذخائر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند و آفتابگردان یکی از اصلی‌ترین دانه‌های روغنی است که عمدتاً برای استحصال روغن کشت می‌شود. آفتابگردان‌های آجیلی نیز که محتوای روغن آنها پائین‌تر است در فروشگاه‌های خانگی، غذاهای بین‌وعده‌ای، صنایع غذا و نان استفاده می‌شود (۸). با

توجه به تغییر الگوی غذایی و افزایش مصرف روغن‌های گیاهی و با توجه به اینکه بخش زیادی از روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات تأمین می‌شود، افزایش تولید و کیفیت محصولات دانه روغنی در کشور از اهمیت بالایی برخوردار است (۲۲). افزون بر آن، مزیت‌های نسبی گیاه آفتابگردان در مقایسه با برخی دیگر از گیاهان روغنی موجب ترغیب کشاورزان به کاشت این گیاه شده است

کرد. در تحقیق دیگری که توسط سوداجان و همکاران^۲ (۲۴) انجام شد اثر نوع سیلندر، سرعت سیلندر و نرخ تغذیه بر روی کوبنده آفتابگردان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تمام سیلندرها و نرخ تغذیه‌های متفاوت با افزایش سرعت سیلندر، مقدار دانه‌های آسیب دیده افزایش پیدا کرد. این افزایش ناشی از اختصاص سطوح ضربه بیشتری به منظور جدا کردن دانه در طول عمل کوبیدن در سرعت‌های بالاتر سیلندر بود. ادکائی و همکاران^۳ (۳) با طراحی یک ماشین کوبنده برای سویا دریافتند که با کاهش رطوبت و نیز افزایش سرعت کوبنده بازده کوبش افزایش پیدا کرد. در پژوهش دیگری با یک واحد کوبنده و ضد کوبنده کمباین برای برداشت آفتابگردان مشخص شد با افزایش سرعت کوبنده، کاهش فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده و کاهش رطوبت آفتابگردان شدت عمل کوبش بیشتر و در نتیجه بازده کوبش و بازده جداسازی کوبنده و ضد کوبنده افزایش یافت (۱۱). جهانی (۱۵) برای ارزیابی دستگاه تأثیر سه عامل رطوبت در سه سطح (۵/۶، ۱۵ و ۲۷ درصد پایه خشک)، فاصله عمودی انگشتی‌ها و نوار نقاله در سه سطح (۲، ۳ و ۴ سانتی‌متر) و سرعت دورانی استوانه‌ها در چهار سطح (۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ دور بر دقیقه) بر درصد جدایش دانه از طبق آفتابگردان یک دستگاه جداکننده دانه طراحی و ساخت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اثر رطوبت دانه و سرعت دورانی استوانه‌ها بر بازده کوبش معنادار بود، به طوری که با افزایش سرعت دورانی استوانه‌ها از ۲۰۰ تا ۳۰۰ دور بر دقیقه مقدار درصد جدایش از ۷۳/۳ به ۸۷/۵ درصد افزایش یافت. در سرعت ۳۵۰ دور بر دقیقه درصد جدایش به ۷۹/۸ درصد کاهش یافت که به دلیل سرعت زیاد استوانه‌ها و افزایش نیروی جنبشی وارد به دانه‌ها و محصول بود. افزایش بیش از حد این نیرو موجب هل دادن طبق‌ها و جابه‌جایی محصول و در نتیجه کاهش درصد جدایش شد. درصد جدایش دانه با افزایش رطوبت کاهش پیدا کرد به طوری که در رطوبت ۲۷/۶ درصد (بر پایه خشک) مقدار آن ۸۷/۷ و در رطوبت ۲۷

(۱۲). از آنجایی که برداشت آفتابگردان شامل مراحل مختلف جدا کردن طبق از ساقه، خشک کردن طبق، جدا کردن دانه‌ها از طبق، بوجاری و جدا کردن ناخالصی‌ها و دانه‌های پوک و کاه و کلش از دانه‌ها و خشک کردن دانه‌ها است، بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده در بالا حفظ کیفیت دانه و کاهش تلفات در هنگام جدایش دانه از طبق به منظور دستیابی به تولید بالاتر این محصول مهم‌ترین مرحله است.

برداشت آفتابگردان به صورت مکانیزه، نیمه مکانیزه و یا دستی انجام می‌شود. در روش مکانیزه از کمباین غلات با سر مخصوص آفتابگردان استفاده می‌شود و مرحله درو کردن طبق تا بوجاری دانه‌ها همزمان با هم انجام می‌شود. در روش نیمه مکانیزه درو کردن به صورت جدا و مرحله کوبش و جداسازی با هم انجام می‌گیرد. خشک کردن نیز به وسیله خشک کن‌ها جدا صورت می‌گیرد. در روش دستی تمام مراحل توسط کارگر انجام می‌شود به طوری که ابتدا طبق‌ها به صورت دستی از ساقه جدا شده و در صورت بالا بودن رطوبت طبق‌ها به صورت وارونه قرار می‌گیرند تا خشک شوند و سپس با ضربه زدن توسط چوب یا وسیله دیگر به پشت طبق جداسازی دانه از طبق انجام می‌شود (۴). هر کدام از روش‌های بالا مشکلاتی دارند از جمله در بعضی مواقع به دلیل شیب زمین، شرایط خاص و شکل زمین و بویژه در مزارع کوچک امکان برداشت آفتابگردان با کمباین وجود ندارد. در نتیجه محصول با دست برداشت می‌شود که با توجه به آنچه بیان شد عمل کوبیدن با دست کاری طاقت فرسا و بسیار وقت‌گیر بوده و نیروی کارگری زیادی نیاز دارد. افزون بر آن از لحاظ ارگونومیکی و پزشکی باعث بروز مشکلات جسمی برای کارگران مانند خستگی و احساس درد در ناحیه مچ دست و آرنج می‌شود (۱۵).

در تحقیقی که توسط الخطیب و همکاران^۱ (۹) انجام شد عامل‌های عملیاتی تأثیرگذار در استفاده از دو نوع ماشین کوبنده طبق آفتابگردان بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت و کاهش رطوبت بازده کوبش افزایش پیدا

2- Sudajan *et al.*3- Adekaneye *et al.*1- El-Khateeb *et al.*

تسمه، غلتک‌ها، نگهدارنده‌های محصول و قرقره بود. غلتک‌ها شامل دو نوع متحرک و هرزگرد بودند. جنس آنها از آهن گالوانیزه با قطر ۷/۶ میلی‌متر بود. عرض نوار نقاله ۴۵ و طول آن ۱۰۰ سانتی‌متر و جنس آن برزنت با ضخامت ۲ میلی‌متر بود. افزون بر آن برای نگهداری طبق‌ها بر روی نوار نقاله و جلوگیری از حرکت و پرت شدن طبق‌ها از لوله‌های پلاستیکی با مقطع دایره در فواصل معین روی نوار نقاله استفاده شد.

از آنجا که سرعت دورانی استوانه‌های جداکننده و محتوای رطوبتی دانه‌ها و طبق مهم‌ترین عامل‌هایی هستند که در تحقیقات مختلف انجام شده تاثیر معناداری بر بازده جدایش نشان داده‌اند، به همین دلیل سرعت دورانی استوانه‌های جداکننده و محتوای رطوبتی دانه‌ها به عنوان عامل‌های آزمایش در تحقیق حاضر انتخاب شدند. محدوده محتوای رطوبت دانه در چهار سطح ۷، ۱۵، ۲۰ و ۲۷ درصد بر پایه وزن خشک، که به ترتیب محدوده رطوبتی معمول برای انبارداری و بیشتر عملیات فرآوری، حمل و نقل و رطوبت مناسب زمان برداشت است انتخاب گردید (۶، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷). برای تعیین محدوده سرعت آزمایش در ابتدا نسبت سرعت‌های خطی استوانه‌های دوار و نوار نقاله در حالت بهینه که توسط جهانی (۱۵) پیشنهاد شد (سرعت خطی استوانه‌های دوار ۷/۲ و سرعت نوار نقاله ۰/۱ متر بر ثانیه) طبق رابطه ۱ محاسبه شد و مقدار آن ۷۲/۲ بدست آمد.

$$V = V_1 / V_2 \quad (1)$$

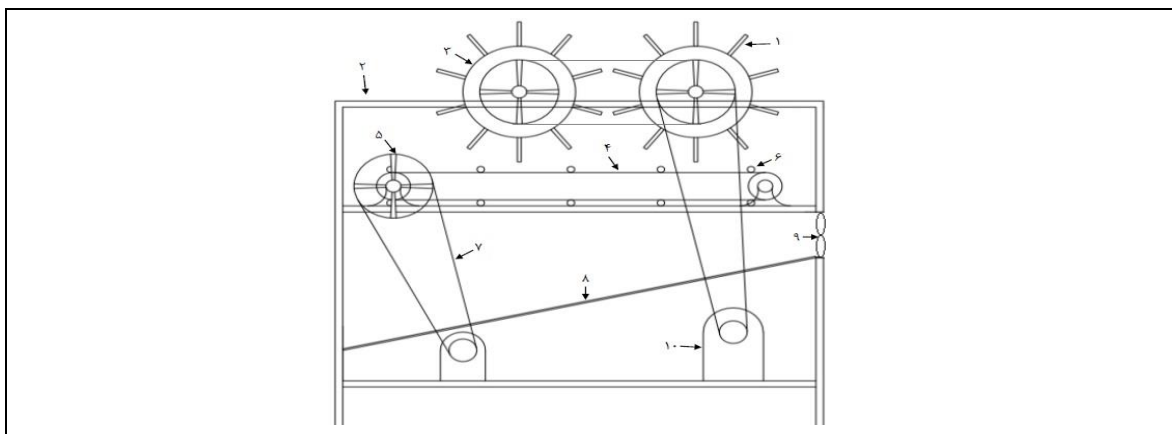
در این رابطه V سرعت نسبی، V_1 سرعت خطی استوانه‌های دوار (متر بر ثانیه) و V_2 سرعت خطی نوار نقاله (متر بر ثانیه) است. با ثابت در نظر گرفتن نسبت سرعت و تغییر در سرعت نوار نقاله، سرعت استوانه‌های دوار نیز تغییر می‌یابد. برای جلوگیری از پرتاب احتمالی طبق‌ها و کاهش انرژی مورد نیاز، بر اساس محاسبات انجام شده و انجام پیش‌آزمون، محدوده سرعت خطی نوار نقاله در چهار سطح (۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۱۷ و ۰/۲ متر بر ثانیه) انتخاب گردید.

درصد مقدار آن به ۷۰/۵ درصد محاسبه شد. افزون بر آن نتایج نشان داد که در سرعت دورانی ۳۰۰ دور بر دقیقه (۷/۲ متر بر ثانیه) برای استوانه‌های جداکننده و سرعت دورانی ۳۰۰ دور بر دقیقه برای نوار نقاله بیشترین میزان جدایش دانه‌ها اتفاق افتاد. بنابراین سرعت خطی ۷/۲ متر بر ثانیه به عنوان سرعت خطی بهینه برای استوانه‌های دوار پیشنهاد شد. همچنین اثر فاصله عمودی بین نوار نقاله و انگشتی‌ها معنادار نبود و پیشنهاد شد که بسته به رقم آفتابگردان این فاصله تنظیم گردد. همچنین هیچ گونه شکستگی در دانه‌ها مشاهده نشد. بنابراین با توجه به اهمیت حفظ کیفیت دانه، در این پژوهش ارتقاء دستگاه جداکننده دانه آفتابگردان (جهانی، ۱۳۹۳) با الحاق یک واحد بوجاری دنبال شد.

هدف پژوهش حاضر ارتقاء دستگاه جداکننده دانه آفتابگردان ساخته شده در مطالعه جهانی (۱۵) با افزودن واحد بوجاری و تعیین تنظیمات دستگاه جداکننده دانه آفتابگردان برای دستیابی به راندمان بهینه جداکردن بود.

مواد و روش‌ها

طرحواره دستگاه ساخته شده توسط جهانی (۱۵) به علاوه ملزوماتی که در این پژوهش به آن اضافه شد در شکل ۱ نشان داده شده است. دستگاه جداکننده دانه‌های آفتابگردان شامل قسمت‌های مختلفی همچون شاسی، استوانه‌های دوار انگشتی‌دار، نوارنقاله و سیستم محرک است. شاسی دستگاه دارای ارتفاع ۱۳۰ و طول ۱۲۰ و عرض ۸۰ سانتی‌متر است. در قسمت جداکننده آفتابگردان از دو عدد استوانه دوار انگشتی‌دار برای ایجاد ضربه استفاده شد. قطر استوانه‌ها ۳۰۰ میلی‌متر و طول آنها نیز ۶۰۰ میلی‌متر و جنس آنها فولاد ضد زنگ با ضخامت ۲/۵ میلی‌متر بود. بر روی هر استوانه تعداد ۱۰۰ حفره به قطر ۲۰ میلی‌متر در ۱۰ ردیف ۱۰ تایی به فاصله ۳۶ درجه ایجاد شده بود. ایجاد ضربه برای جدا کردن دانه‌ها با انگشتی‌های لاستیکی مخروطی شکل با سطح مقطع دایره و ارتفاع ۸۰ میلی‌متر که در ردیف‌های پشت سرهم به صورت زیگزاگ بر روی استوانه‌ها نصب گردیده بودند، صورت گرفت. سیستم باربری نوار نقاله شامل نوار یا



شکل (۱) طرحواره دستگاه جدا کننده دانه آفتابگردان

Figure (1) Schematic of sunflower seed detacher

۱- انگشتی‌های جداکننده، ۲- شاسی دستگاه، ۳- استوانه دوار، ۴- نوار نقاله، ۵- قرقره، ۶- میله‌های عرضی، ۷- تسمه،

۸- سطح شیبدار، ۹- پنکه، ۱۰- الکتروموتور

1- Detachment fingers, 2- Frame, 3- Rotary drum, 4- Belt conveyor, 5- Pulley, 6- Transverse bars, 7- Belt, 8- Inclined surface, 9- Fan, 10- Electromotor

برای ساخت محفظه سه عامل جنس شیبدار، زاویه و ابعاد بررسی شد. محفظه به گونه‌ای ساخته شد که علاوه بر جمع آوری دانه‌ها آنها را به سمت خروجی دستگاه هدایت کند.

برای تعیین جنس مناسب و نیز زاویه قرارگیری سطح شیبدار، ضریب اصطکاک دانه بر روی سطوح با جنس‌های مختلف اندازه‌گیری شد (۱۷). برای اندازه‌گیری ضریب اصطکاک دانه و ضایعات طبق از دستگاه اندازه‌گیری زاویه ریزش استفاده شد (شکل ۲). به دلیل کمتر بودن ضریب اصطکاک بر روی چوب جنس سطح از چوب انتخاب شد. میانگین زاویه ریزش برای دانه و ضایعات طبق بر روی چوب ۳۳ درجه بدست آمد. بر این اساس در نهایت با در نظر گرفتن ضریب ایمنی در ساخت، زاویه ۴۰ درجه مناسب در نظر گرفته شد و مقدار μ طبق رابطه ۳ بدست آمد.

$$\mu = \tan(\alpha) \quad (3)$$

که در این رابطه μ ضریب اصطکاک استاتیکی بین سطح و دانه و α زاویه ریزش مواد بر روی سطح است. برای جلوگیری از پاشش دانه‌ها به اطراف دستگاه و نیز ریزش دانه‌ها از اطراف نوار نقاله به زمین ابعاد صفحه

با استفاده از رابطه ۲ سرعت خطی استوانه‌های دوار به سرعت دورانی تبدیل شد.

$$V = 2\pi r n / 60 \quad (2)$$

که V سرعت خطی استوانه‌های دوار (متر بر ثانیه)، r شعاع استوانه دوار به اضافه ارتفاع انگشتی (متر)، و n سرعت دورانی استوانه (دور بر دقیقه) است. طبق روابط ذکر شده سرعت استوانه‌های دوار (۳۰۰، ۴۵۰، ۵۱۰ و ۶۰۰ دور بر دقیقه) بدست آمد که سرعت‌های دورانی انتخاب شده برای انجام آزمایش‌ها، سرعت‌های معمول انتخاب شده توسط محققان دیگر نیز است و نتایج موثری در این سرعت‌ها بدست آمده است (۱، ۳، ۵، ۹، ۲۰، ۲۱). در نهایت سرعت به صورت زوج مرتب‌های (۰/۱، ۳۰۰)، (۰/۱۵، ۴۵۰)، (۰/۱۷، ۵۱۰) و (۰/۲، ۶۰۰) در نظر گرفته شد که سرعت اول از سمت راست مربوط به نوار نقاله بر حسب متر بر ثانیه و سرعت دوم مربوط به استوانه‌های دوار بر حسب دور بر دقیقه است.

واحد بوجاری بر اساس اختلاف سرعت حد بین دانه و کاه و کلش حاصل از طبق ساخته شد. واحد بوجاری شامل دو بخش پنکه و محفظه بود. محفظه خود از دو قسمت سطح شیبدار و دیواره‌های کانال مانند ساخته شد.

سطوح مختلف رطوبت اندازه‌گیری شد. برای تعیین سرعت حد دانه و مواد غیر دانه‌ای از دستگاه اندازه‌گیری سرعت حد استفاده شد (شکل ۳). این دستگاه دارای یک پنکه گریز از مرکز، دریچه لولایی برای تنظیم میزان هوای ورودی، تونل باد، شبکه لانه زنبوری و توری سیمی بود. دانه‌ها و یا مواد غیر دانه‌ای (بطور جداگانه) از بالا بر روی توری سیمی قرار داده شدند و هوا از پایین به بالا دمیده شد. در ابتدا دریچه در حالت کاملاً بسته قرار داده شد. با تغییر موقعیت قرارگیری دریچه، مقدار جریان هوای ورودی تغییر داده شد تا زمانی که دانه‌ها (یا مواد غیر دانه‌ای) به حالت معلق درآمدند آنگاه با استفاده از سرعت سنج هوا از نوع سیم داغ مدل (Testo 435)، ساخت کشور آلمان) سرعت هوا در ۵ نقطه از محل قرارگیری نمونه‌ها اندازه‌گیری و متوسط آنها محاسبه شد. این آزمایش در محتوای رطوبت مختلف و در سه تکرار انجام شد. در نهایت سرعت حد دانه‌ها و ضایعات، طبق جدول ۱ بدست آمد.

به گونه‌ای انتخاب شد که کاملاً زیر نوار نقاله و کمی بیشتر از آن را پوشش دهد. بنابراین از لحاظ طولی از ابتدای دستگاه در زیر قسمت ورودی تا انتهای دستگاه در نظر گرفته شد. در نهایت ابعاد طول ۱۳۷ و عرض ۵۱ سانتی‌متر به عنوان ابعاد نهایی برای ساخت انتخاب شد. برای تکمیل محفظه مورد نظر اطراف سطح شیبدار نیز دو عدد صفحه به صورت کانال مانند قرار داده شد تا مانع ریزش دانه‌ها به کناره‌های دستگاه شود و نیز به هدایت دانه‌ها به قسمت خروجی دستگاه کمک کند. در شکل ۱ قطعه شماره ۸ این سطح شیبدار را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری خواص آیرودینامیکی چون سرعت حد برای تعیین فراسنجه‌های طراحی در تجهیزات جداسازی کاربرد دارد. با توجه به تحقیقات انجام شده بر روی خواص آیرودینامیکی دانه آفتابگردان مشاهده شد که با افزایش محتوای رطوبت دانه سرعت حد افزایش پیدا کرد (۱۷).

بنابراین چون سرعت حد تحت تأثیر رطوبت قرار می‌گیرد برای انتخاب پنکه مناسب سرعت حد دانه‌ها و گاه حاصل از خرد شدن طبق آفتابگردان (مواد غیر دانه‌ای) در



شکل (۲) دستگاه اندازه‌گیری اصطکاک دانه و سطح

Figure (2) Test rig for measurement of grain-surface sliding coefficient

۱- نقاله تنظیم زاویه ۲- اهرم تنظیم زاویه سطح شیبدار ۳- سطح شیبدار

1- Adjustable protractor , 2- Angle adjustment lever, 3- Inclined surface



شکل (۳) دستگاه اندازه‌گیری سرعت حد
Figure (3) Terminal velocity test rig

جدول (۱) میانگین سرعت حد دانه و مواد غیر دانه‌ای (ضایعات) آفتابگردان در محتوای رطوبت مختلف

Table (1) Mean terminal velocity of grain and materials other than grain (wastes) at different moisture contents

میانگین سرعت حد (متر بر ثانیه)		رطوبت بر پایه خشک (درصد)
Mean terminal velocity (m/s)		
دانه Grain	ضایعات Waste	Moisture content (% d.b.)
5.62 ± 0.12	1.81 ± 0.08	7
6.14 ± 0.1	2.33 ± 0.11	15
7.51 ± 0.31	2.74 ± 0.05	20
8.63 ± 0.22	3.01 ± 0.17	27

بیش از سرعت حد ضایعات بود و موجب جدا شدن ضایعات از دانه‌ها می‌گردید.

پس از ساخت واحد بوجاری اقدامات آماده سازی دستگاه انجام شد. در ابتدا فاصله عمودی بین نوار نقاله و انگشتی‌ها تنظیم شد به گونه‌ای که ضمن برخورد مؤثر انگشتی‌ها به طبق برای جدایش دانه‌ها، مانع از شکستن طبق و دانه‌ها شود (۱۵). بنابراین بر اساس ارتفاع طبق‌ها و انجام پیش‌آزمون فاصله مناسب انگشتی‌ها و نوار ۲/۵ سانتی‌متر انتخاب شد. برای ایجاد سطوح مختلف سرعت نوار نقاله از اینورتر سه فاز با توان ۰/۷۵ کیلو وات (مدل HYUNDAI N50) و برای ایجاد سرعت‌های استوانه‌های دوار از اینورتر سه فاز با توان ۲/۲ کیلو وات و (مدل HYUNDAI N700E) استفاده شد. الکتروموتوری که برای ایجاد حرکت در قسمت استوانه‌های دوار استفاده شد سه فاز و با توان یک اسب بخار (معادل ۰/۷۵ کیلو

از آنجا که پنکه‌های جریان محوری هوا را در راستای محور پنکه حرکت می‌دهند، هوا مسیری موازی با محور دوران پنکه دنبال می‌کند و به علت عدم چرخش ۹۰ درجه‌ای هوا بین ورودی و خروجی، راندمان پنکه به بالاترین حد می‌رسد. همچنین این پنکه‌ها که فاقد محفظه بزرگ هستند، هوا را در فضایی که در آن واقعند به جریان می‌اندازند و به فضای کمتری نیاز دارند و در برابر مقاومت ناچیز هوا با حداکثر دبی عمل می‌کنند (۱۹). بنابراین پنکه دمنده صنعتی محوری (دمنده، مدل VIE-30L4S) با توان ۱۰۲ وات، دور مشخصه ۱۴۲۰ بر دقیقه و حجم هوای تولیدی ۱۴۵۰ (متر مکعب بر ساعت) برای بوجاری دانه‌ها انتخاب شد. سرعت هوای تولیدی پنکه در نقاط مختلف محفظه با استفاده از سرعت سنج باد از نوع سیم داغ اندازه‌گیری شد. سرعت در قسمت انتهایی سطح شیب‌دار دستگاه معادل ۴ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد که

مواد دانه‌ای و ضایعات طبق از دستگاه در ابتدا پنکه خاموش شد تا کل ضایعات حاصل از طبق وزن شوند و سپس مواد دوباره در دستگاه ریخته و بار دوم پنکه روشن شد و ضایعاتی که همراه دانه در قسمت خروجی ریخته می‌شد نیز وزن شدند تا بتوان وزن مواد بادبرده را مشخص کرد. از رابطه ۶ درصد تمیزی دانه‌ها بدست آمد.

$$C_e = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (6)$$

در این رابطه C_e درصد تمیزی دانه‌ها (وزنی)، M_1 وزن کل ضایعات (گرم) و M_2 ضایعات و مواد باقی مانده (گرم) است. طبق رابطه ۷ درصد شکستگی دانه‌ها محاسبه شد.

$$B_e = \frac{W_a}{W_b} \times 100 \quad (7)$$

که B_e درصد شکستگی دانه‌ها (وزنی)، W_a وزن دانه‌های شکسته (گرم) و W_b وزن کل دانه‌های جداشده (گرم) است.

برای اندازه‌گیری ظرفیت ابتدا پنج طبق آفتابگردان با بزرگترین قطر (۲۰ سانتی‌متر) به صورت تصادفی انتخاب و دانه‌های آن‌ها خارج شد و به وسیله ترازوی دیجیتال وزن شد. سپس دانه‌ها درون آون قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها محاسبه شد و در هر سطح محتوای رطوبتی وزن دانه‌ها بر اساس رابطه ۴ بدست آمد. عرض نوار نقاله ۴۵ سانتی‌متر بود و حداکثر دو طبق با قطر ۲۰ سانتی‌متر به صورت همزمان برای جدایش در دستگاه قرار می‌گرفت. بنابراین بر اساس رابطه ۸ ظرفیت محاسبه شد. در این رابطه m وزن طبق (کیلوگرم)، D_e درصد جدایش، t مدت زمان عبور طبق (ساعت) از دستگاه طبق و C_{ep} ظرفیت خروجی دستگاه (کیلوگرم بر ساعت) است.

$$C_{ep} = \frac{2 \times m \times D_e}{t} \quad (8)$$

با توجه به اینکه طول نوار نقاله برابر ۱۰۰ سانتی‌متر و سرعت‌های مختلف نوار نقاله ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۱۷ و ۰/۲ متر بر ثانیه بود زمان انجام هر آزمون با توجه به سرعت ثابت محاسبه شد (جدول ۲).

وات) و دور مشخصه ۲۸۲۵ دور بر دقیقه (NJM)، مدل ۸۰۱-۷۲، ساخت کشور چین) بود. برای به حرکت درآوردن نوار نقاله از موتور سه فاز با توان ۰/۳۷ کیلو وات و دور مشخصه ۱۳۹۰ دور بر دقیقه (موتورژن، مدل ۷۱-۴۸، ساخت تبریز-ایران) استفاده شد. نمونه‌های آزمایش از رقم آجیلی محلی در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز تهیه شد. نمونه‌ها از محصول کاملاً رسیده و به صورت تصادفی انتخاب و به روش دستی برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند (۴). سپس محتوای رطوبت اولیه طبق رابطه ۴ اندازه‌گیری شد که مقدار آن ۳۴ درصد (پایه خشک) بدست آمد. برای انجام آزمایش‌ها در سطوح رطوبتی ۷، ۱۵، ۲۰ و ۲۷ درصد (پایه خشک)، طبق‌های آفتابگردان در معرض نور خورشید قرار داده شدند تا زمانی که به رطوبت مورد نظر رسیدند. نمونه‌ها با رطوبت‌های مختلف درون کیسه‌های پلی‌اتیلن در یخچال با دمای ۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند (۷).

$$M_c = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (4)$$

که W_1 وزن نمونه قبل از قرار دادن در آون (گرم)، W_2 وزن نمونه خشک شده در آون (گرم) و M_c رطوبت بر پایه خشک (درصد) است.

اندازه‌گیری صفات

دانه‌های جداشده از طبق با ترازوی دیجیتال با دقت $\pm 0/01$ گرم وزن شدند. دانه‌های جدا نشده و باقیمانده از طبق نیز با دست جدا شده و وزن آنها بدست آمد. سپس با استفاده از رابطه ۵ درصد جدایش به صورت وزنی محاسبه شد.

$$D_e = \frac{W_1}{W_1 + W_2} \times 100 \quad (5)$$

در این رابطه D_e درصد جدایش دانه از طبق (وزنی)، W_1 وزن دانه‌های جداشده (گرم) و W_2 وزن دانه‌های جدا نشده (گرم) است. به این دلیل که ضایعات بادبرده قابل اندازه‌گیری نبود، بنابراین برای اندازه‌گیری درصد تمیزی، بعد از خروج

شود. به بیان دیگر با افزایش رطوبت درصد جدایش کاهش می‌یابد و این کاهش ناشی از افزایش انعطاف دانه در رطوبت‌های بالاتر است که سبب مستهلک شدن و خنثی کردن نیروی ناشی از ضربه می‌گردد و در نتیجه جدایش دانه در رطوبت‌های بالاتر کاهش می‌یابد (۱۵).

الخطیب و همکاران (۹) گزارش کردند که بیشترین بازده کوبش برای هر دو کوبنده در پایین‌ترین محتوای رطوبتی طبق ۱۱/۳۲ (بر مبنای تر) (معادل ۱۲/۷۶ درصد بر مبنای خشک) اتفاق افتاد. گویل و همکاران^۱ (۱۲) دریافته‌اند که با کاهش محتوای رطوبتی از ۱۳/۸۴ به ۱۰/۵ درصد (بر مبنای خشک) ظرفیت کوبش افزایش یافت به این دلیل که با کاهش محتوای رطوبتی نیروی چسبندگی بین دانه‌ها و حفره‌هایی که سطح اطراف دانه‌ها را احاطه کرده بود کاهش یافت و در نتیجه دانه‌ها آسان‌تر جدا شدند. با افزایش سرعت دورانی استوانه‌ها درصد جدایش دانه افزایش یافت (شکل ۵).

ادکانی و همکاران (۲) گزارش دادند با افزایش سرعت بازده کوبش افزایش می‌یابد به طوری که با افزایش سرعت از ۳۲۰ تا ۵۱۵ دور بر دقیقه بازده کوبش از ۹۸/۹۶ به ۹۹/۸۸ درصد تغییر کرد. افزایش بازده کوبش به دلیل ضربه بیشتر کوبنده بر روی سویا ناشی از افزایش سرعت بود. الخطیب و همکاران (۹) دریافته‌اند با افزایش سرعت استوانه دانه‌های کوبیده نشده کاهش یافت. این نتایج ناشی از افزایش ضربه انگشتی‌های استوانه‌ها بر روی طبق آفتابگردان بود که به طور مستقیم با سرعت استوانه‌های دوار متناسب بود. کیرک و مک‌لئود^۲ (۱۸) با فرض اینکه تمام انرژی جنبشی دانه‌های که تحت ضربه‌ای با سرعت ۷ قرار می‌گیرد جذب دانه شود، بیان کردند با افزایش سرعت خطی انگشتی‌های ضربه‌زن انرژی جنبش دانه‌ها به نحو چشم‌گیری افزایش می‌یابد و درصد جدایش نیز افزایش می‌یابد (۱۵). نتایج بالا همسو با نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر بود.

جدول (۲) مدت زمان عبور طبق از دستگاه (ثانیه)
Table (2) Time spent by device (seconds)

سرعت نوار نقاله (متر بر ثانیه)			
0.2	0.17	0.15	0.1
Belt speed (m/s)			
زمان (ثانیه)			
5	5.9	6.7	10
Time (s)			

ارزیابی دستگاه در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایش (متغیرهای مستقل) شامل محتوای رطوبت بر پایه خشک در ۴ سطح (۷، ۱۵، ۲۰ و ۲۷ درصد بر پایه خشک) و سرعت که به صورت زوج مرتب (سرعت دورانی استوانه بر حسب دور در دقیقه و سرعت خطی نقاله بر حسب متر بر ثانیه) در ۴ سطح ((۳۰۰ و ۰/۱)، (۴۵۰ و ۰/۱۵)، (۵۱۰ و ۰/۱۷) و (۶۰۰ و ۰/۲)) انتخاب شدند. صفاتی که در این تحقیق اندازه‌گیری شدند (متغیر وابسته) شامل درصد جدایش دانه‌ها، درصد تمیزی، درصد شکستگی دانه‌ها، مقدار نیروی جدایش و مقدار توان مصرفی بودند. واکاوی داده‌ها و اطلاعات بدست آمده از آزمون‌ها با نرم‌افزار SPSS 24 و Excel 2016 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با پس-آزمون توکی صورت گرفت.

بحث و نتایج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، عامل‌های اصلی محتوای رطوبت، سرعت دورانی استوانه‌ها و اثر متقابل آن-ها در سطح احتمال ۱ درصد اثر معناداری بر درصد وزنی جدایش دانه‌ها از طبق داشته است (جدول ۳). نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها در سطوح مختلف رطوبت در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد با کاهش محتوای رطوبت دانه درصد جدایش دانه‌ها افزایش پیدا کرد به طوری که با کاهش رطوبت از ۲۷ به ۷ درصد، درصد جدایش از ۸۳ درصد به ۹۰/۸ درصد افزایش یافت. افزایش رطوبت دانه موجب سست شدن پیوندهای هیدروژنی سلولز و کاهش پیوندهای بین پروتئین‌ها، نشاسته و سایر ترکیبات سلول می‌شود که در نهایت سبب کاهش مقاوت مکانیکی دانه و افزایش قابلیت تغییر شکل‌پذیری آن می‌گردد. این خصوصیت دانه مانع از هم گسیختگی آن در زیر بار می-

1- Goel et al.

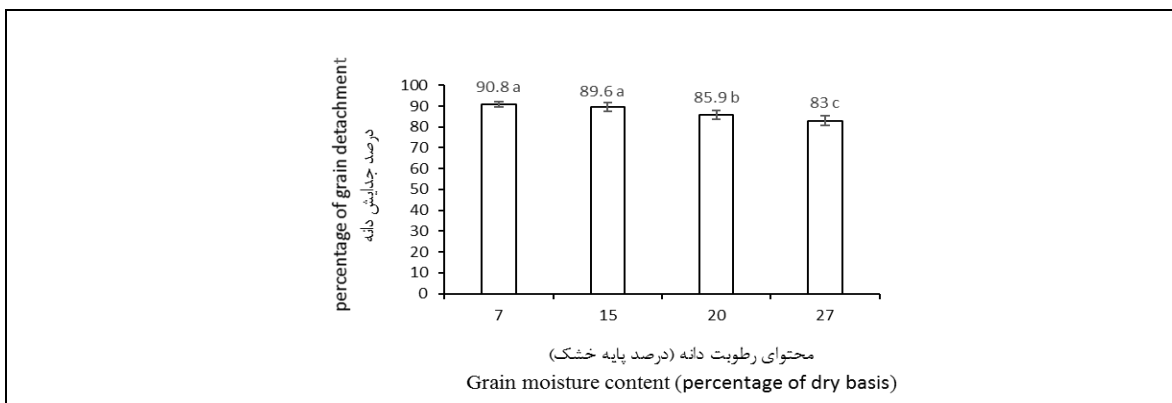
2- Kirk and McLeod

جدول (۳) تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر درصد وزنی جدایش دانه
 Table (3) ANOVA of the effect of treatments on percentage of seed detachment

F	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی df.	منابع تغییرات Source of variations
**26.6	153	459	3	رطوبت Moisture content
**103.7	596.9	1790.8	3	سرعت دورانی استوانه‌ها Cylinders' rotational speed
**3.5	20.1	181.2	9	رطوبت × سرعت دورانی استوانه‌ها Rotational speed × Moisture content
	5.8	184.3	32	خطا Error
		2615.2	47	کل Total
			3	درصد ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation

** معنادار در سطح احتمال ۱ درصد

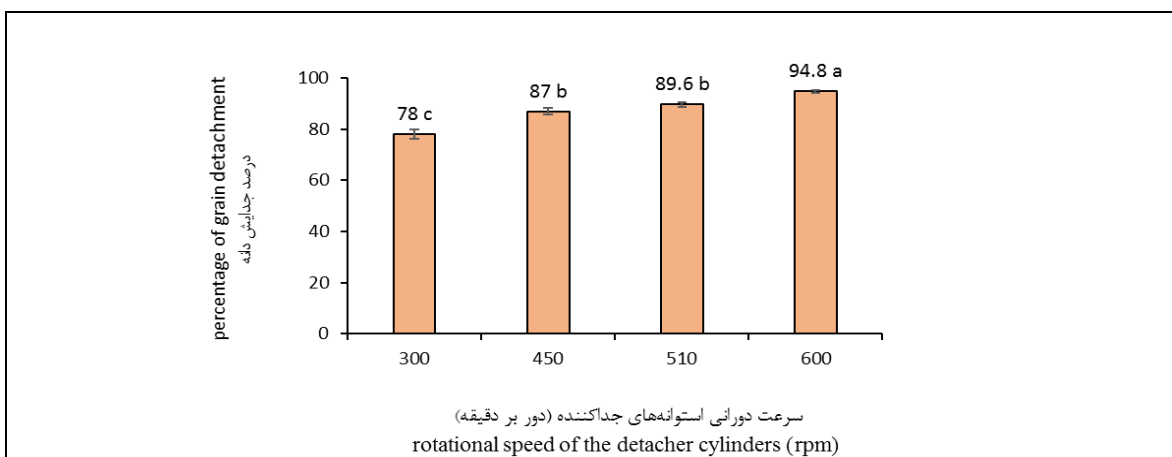
** Significant at 1% probability level



شکل (۴) مقایسه میانگین درصد جدایش دانه در سطوح مختلف محتوای رطوبت دانه

(حروف مختلف اختلاف معنادار در سطح احتمال ۱ درصد را نشان می‌دهد)

Figure (4) Comparison of mean percentage of seed detachment at different levels of grain moisture content (Different letters show significant difference among means at 1% probability level)



شکل (۵) مقایسه میانگین درصد جدایش دانه در سطوح مختلف سرعت دورانی استوانه‌ها (دور بر دقیقه)

(حروف مختلف اختلاف معنادار در سطح احتمال ۱ درصد را نشان می‌دهد)

Figure (5) Comparison of mean percentage of seed detachment at different cylinders' rotational speeds (rpm) (different letters show significant difference among means at 1% probability level)

سطوح مختلف رطوبت دانه در شکل ۷ نشان داده شده است. با افزایش محتوای رطوبت، درصد شکستگی دانه‌ها کاهش پیدا کرد. اما همان طور که مشاهده می‌شود بین رطوبت ۲۰ و ۲۷ درصد اختلاف معناداری در درصد شکستگی مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان رطوبت را به ۲۰ درصد کاهش داد تا درصد جدایش افزایش یابد در حالی که شکستگی به اندازه رطوبت ۲۷ درصد باشد. الخطیب و همکاران (۹) گزارش کردند با افزایش رطوبت شکستگی کاهش می‌یابد، که به سبب افزایش الاستیسیته و قابلیت ارتجاعی طبق و دانه آفتابگردان با افزایش محتوای رطوبتی است. ادکائی و همکاران (۲) دریافتند با افزایش محتوای رطوبت دانه سویا از ۱۰ تا ۲۲ درصد، درصد دانه‌های آسیب دیده کاهش یافت. علت آن چسبندگی پایین دانه‌ها و وزن بالاتر دانه‌ها است. این نتایج مشابه نتایج گزارش شده به وسیله وجاسیت و سلوخی^۱ (۲۵) برای کوبنده سویا، اسپوکاسو همکاران^۲ (۲۳) برای کوبنده گندم، ادکائی و الاویه^۳ (۲) برای کوبنده لوبیا چشم بلبلی است.

شکل ۸ نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها در سطوح مختلف سرعت دورانی استوانه‌های جداکننده (دور بر دقیقه) را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت دورانی درصد شکستگی افزایش پیدا کرد. اما همان طور که مشاهده می‌شود بین سرعت‌های ۳۰۰ تا ۵۱۰ اختلاف معناداری در درصد شکستگی مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان سرعت را تا ۵۱۰ دور بر دقیقه افزایش داد تا درصد جدایش بدون ایجاد شکستگی قابل توجه در دانه‌ها افزایش یابد. الخطیب و همکاران (۹) گزارش کردند با افزایش سرعت کوبنده درصد شکستگی و آسیب دانه‌ها افزایش پیدا می‌کند به طوری که با افزایش سرعت کوبنده از ۳۰۰ تا ۴۰۰ دور بر دقیقه نرخ افزایش دانه‌های آسیب دیده نسبت به زمانی که سرعت از ۴۰۰ تا ۶۰۰ دور بر

با توجه به نتایج شکل ۶ در سرعت‌های ثابت استوانه‌های دوار، با افزایش رطوبت به طور تقریبی درصد جدایش کاهش یافت که طبق آنچه بیان شد ناشی از افزایش انعطاف دانه‌ها در رطوبت‌های بالا و خنثی کردن نیروی ضربه بود. در سرعت ۶۰۰ دور بر دقیقه اختلاف معناداری بین سطوح مختلف محتوای رطوبتی مشاهده نشد به این دلیل که سرعت دورانی استوانه‌ها زیاد بوده و انرژی جنبشی دانه‌ها افزایش یافت. از طرفی با کاهش زمان عبور طبق در این سرعت احتمال پرتاب طبق کاهش یافته و در نتیجه مقدار درصد جدایش در تمام سطح محتوای رطوبتی در این سرعت نسبت به سرعت‌های دیگر افزایش یافت، اما چون اثر سرعت خیلی بیشتر از رطوبت است در نتیجه اختلاف معناداری بین مقدار درصد جدایش در سطوح مختلف محتوای رطوبتی مشاهده نشد. در سرعت ۵۱۰ دور بر دقیقه با افزایش محتوای رطوبتی از ۱۵ به ۲۰ درصد، درصد جدایش به طور معناداری کاهش یافت. در سرعت ۴۵۰ دور بر دقیقه در تمام سطح محتوای اختلاف معنادار بین درصد جدایش مشاهده شد. در رطوبت ثابت دانه‌ها با افزایش سرعت دورانی درصد جدایش به طور تقریبی افزایش یافت و اختلاف معناداری بین سطوح مختلف مشاهده شد که علت آن افزایش ضربه در سرعت‌های بالا بود. در سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه با افزایش محتوای رطوبتی از ۷ به ۲۰ درصد، درصد جدایش به طور معناداری کاهش یافت که به دلیل افزایش انعطاف دانه‌ها و خنثی کردن نیروی ضربه بود. بیشترین مقدار جدایش در محتوای رطوبتی ۷ درصد و سرعت دورانی ۶۰۰ دور بر دقیقه معادل ۹۷/۶ درصد و کمترین مقدار جدایش در سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه و در محتوای رطوبتی ۲۷ درصد معادل ۷۱/۳ بدست آمد.

با توجه به مقدار F حاصل از تجزیه واریانس اثر عامل‌های محتوای رطوبت و سرعت دورانی استوانه‌ها (جدول ۴)، تاثیر محتوای رطوبت دانه بر درصد شکستگی بیشتر از سرعت دورانی استوانه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بوده است. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها در

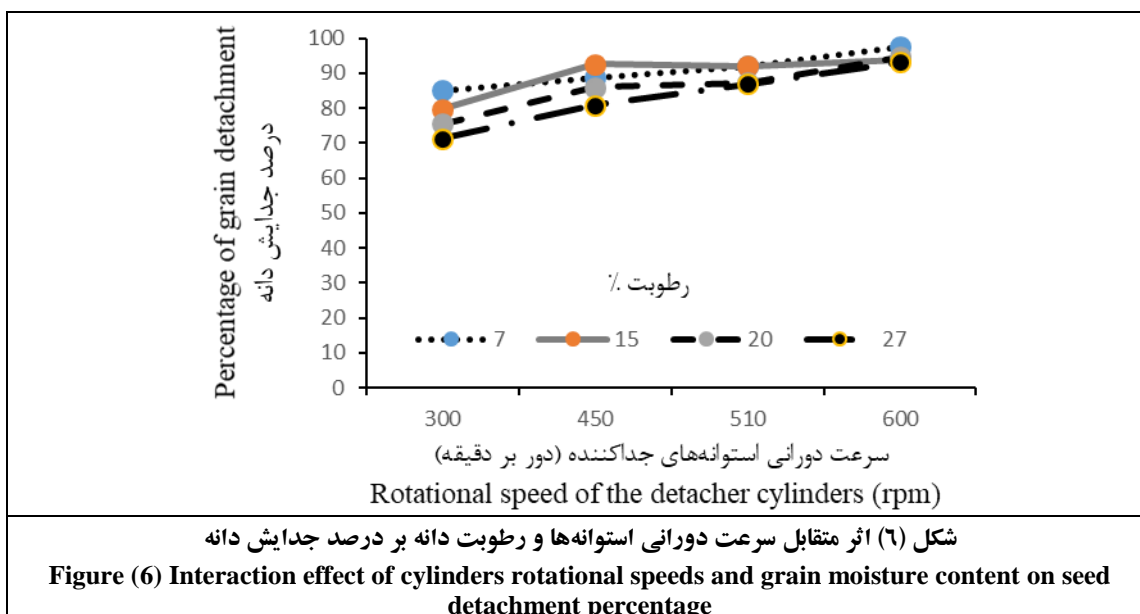
1- Vejasit and salokhe

2- Spokas *et al.*

3- Adekanye and Olaoye

بالا بود این نتایج مشابه یافته‌های وجاسیت و سلوخی (۲۵) بر روی سویا، اسپوکاس و همکاران (۲۳) برای گندم، یافته‌های ادکانتی و الاویه (۲) بر روی کوبنده لویا چشم بلبلی بود. نتایج بالا همسو با نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر بود.

دقیقه افزایش یافت در هر دو نوع کوبنده بررسی شده، کمتر بود. همچنین پایین‌ترین مقدار آسیب دانه‌ها در سرعت ۳۰۰ تا ۴۰۰ دور بر دقیقه و بیشترین آسیب دانه‌ها در سرعت ۶۰۰ دور بر دقیقه برای هر دو نوع کوبنده مورد مقایسه بدست آمد. ادکانتی و همکاران (۳) دریافتند با افزایش سرعت سیلندر درصد آسیب دانه‌ها به تدریج افزایش پیدا کرد که به سبب ضربه زیاد در سرعت‌های

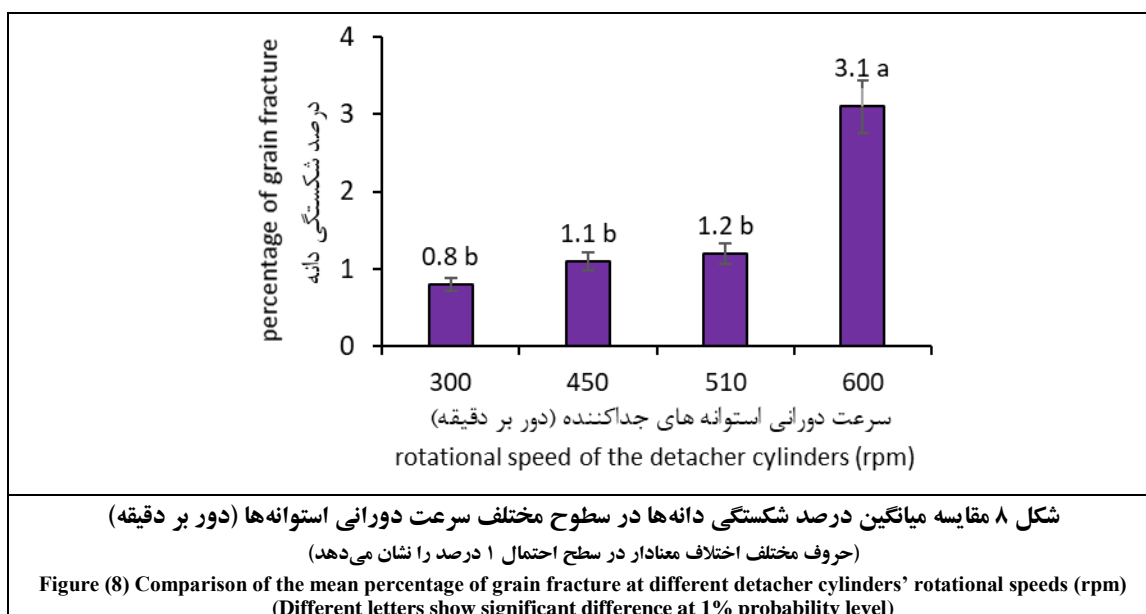
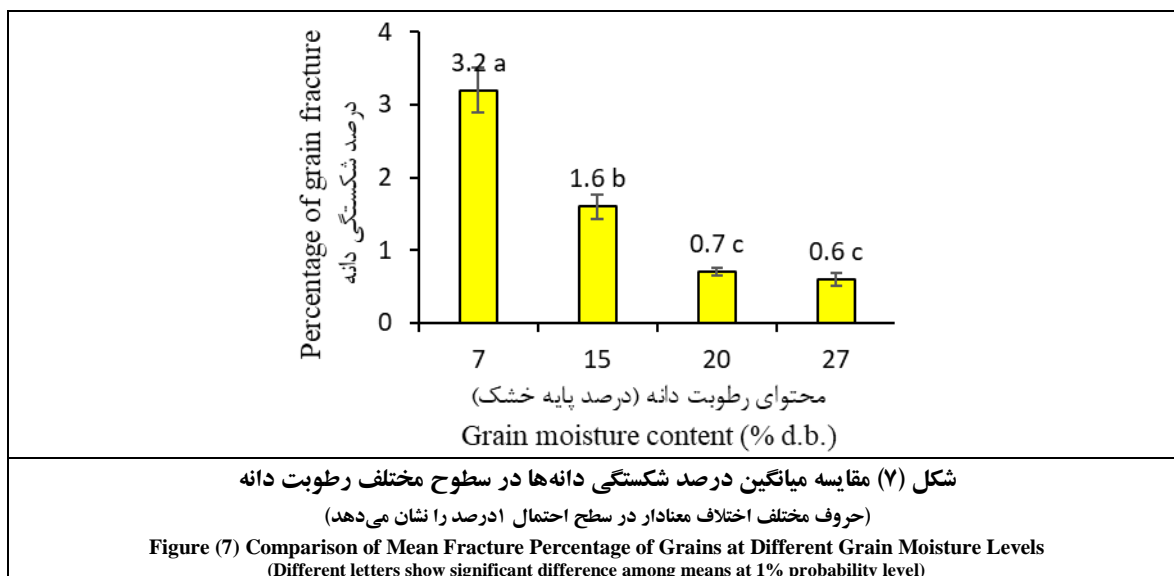


جدول (۴) تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر درصد شکستگی دانه‌ها
Table (4) ANOVA of the effect of experimental treatments on percentage of grains fracture

F	میانگین مربعات Mean square	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی df.	منابع تغییرات Source of variations
**57.9	16.9	50.8	3	محتوای رطوبت Moisture content
**46.3	13.5	40.6	3	سرعت دورانی استوانه‌ها Cylinders' rotational speed
**7.5	2.2	19.7	9	رطوبت × سرعت دورانی استوانه‌ها Rotational speed × Moisture content
	0.29	9.4	32	خطا Error
		120.4	47	کل Total
			18	درصد ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)

** معنادار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 1% probability level



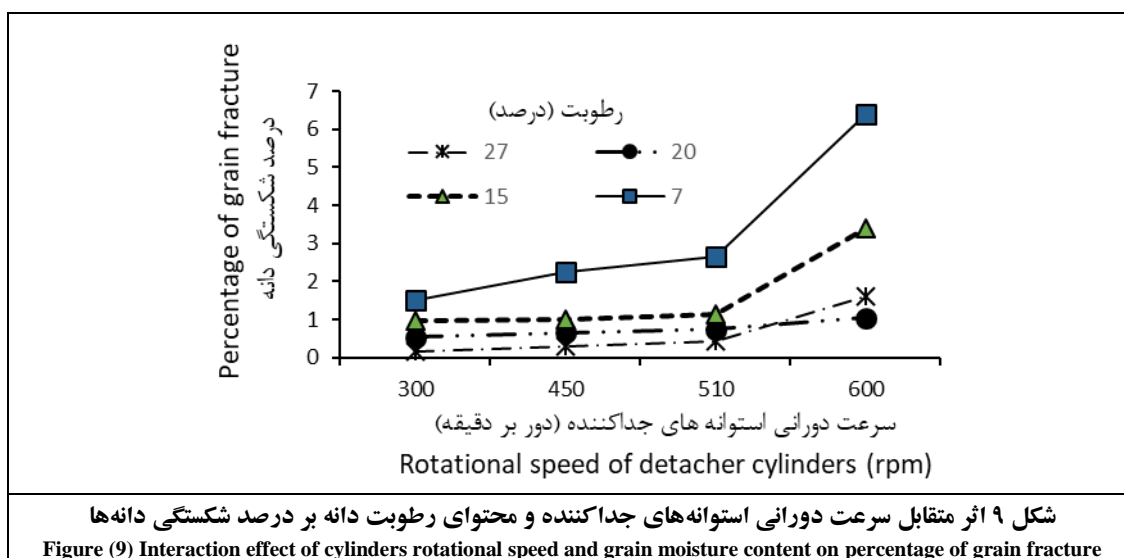
محتوای رطوبتی ۲۷ درصد معادل ۰/۱۶ درصد بدست آمد. از طرفی در رطوبت ۲۰ درصد شکستگی تحت تاثیر سرعت قرار نگرفته است و اختلاف معناداری در درصد شکستگی بین سطوح مختلف سرعت مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان سرعت را تا ۶۰۰ دور بر دقیقه افزایش داد تا درصد جدایش افزایش یابد اما از طرفی رطوبت را به ۲۰ درصد رساند تا شکستگی کاهش یابد.

نتایج تجزیه واریانس عامل‌ها و اثر متقابل آنها بر درصد تمیزی دانه‌ها نشان داد محتوای رطوبت دانه بر درصد تمیزی در سطح ۱ درصد معنادار بود، در حالی که

اثر متقابل محتوای رطوبت و سرعت دورانی نشان داد در سرعت دورانی ثابت با کاهش رطوبت درصد شکستگی به طور تقریبی افزایش می‌یابد که طبق آنچه قبلاً بیان شد به سبب کاهش الاستیسیته و قابلیت ارتجاعی دانه در رطوبت‌های پایین بود (شکل ۹). همچنین در رطوبت ثابت با افزایش سرعت درصد شکستگی افزایش یافت که به سبب ضربه بیشتر در سرعت‌های بالاتر بود. بیشترین مقدار شکست دانه‌ها در سرعت ۶۰۰ دور بر دقیقه و در محتوای رطوبتی ۷ درصد معادل ۶/۴ درصد و کمترین آن در سرعت دورانی ۳۰۰ دور بر دقیقه و

که می توان گفت واحد بوجاری در رطوبت های پایین دانه موثرتر عمل کرد. پژوهش های دیگر نیز نتایج مشابهی گزارش نموده اند. در تحقیقی مشابه الخطیب و همکاران (۹) دریافتند که با کاهش محتوای رطوبت بازده تمیزی افزایش می یابد، بیشترین مقدار بازده تمیزی برای کوبنده در پایین ترین محتوای رطوبتی مورد آزمایش اتفاق افتاد.

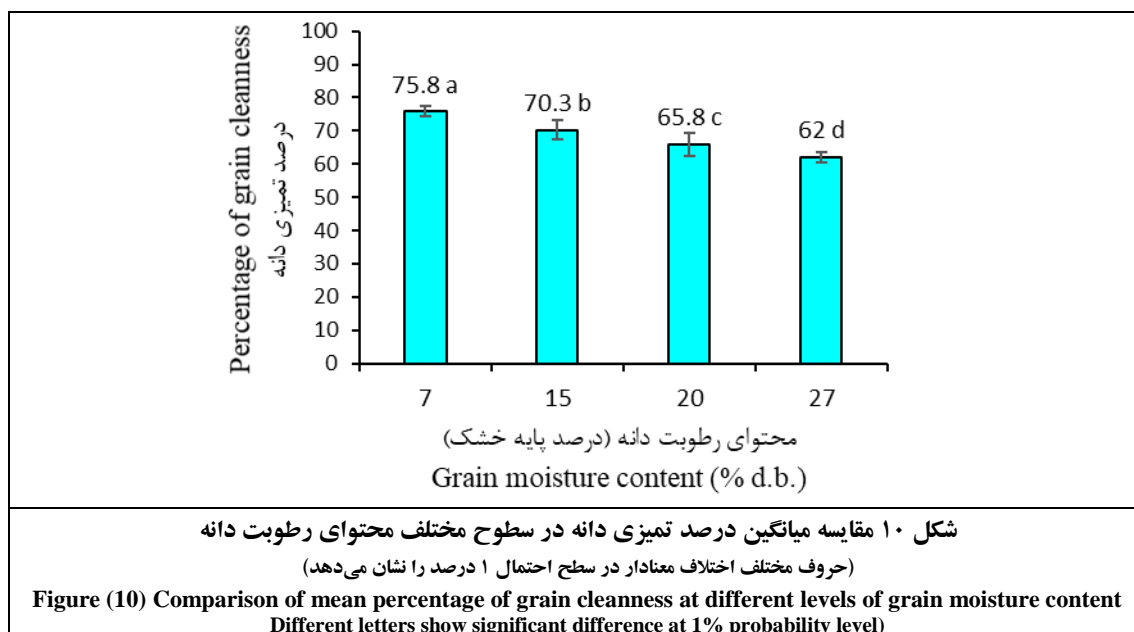
اثر سرعت و اثر متقابل سرعت و رطوبت بر درصد تمیزی معنادار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین ها نشان داد که رطوبت دانه تاثیر معناداری بر درصد تمیزی دارد، به طوری که در تمام سطوح رطوبت دانه، درصد تمیزی اختلاف معناداری با یکدیگر داشتند (شکل ۱۰). با افزایش رطوبت درصد تمیزی کاهش پیدا کرد به طوری



جدول (۵) تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر درصد تمیزی
 Table (3) ANOVA of the effect of treatments on percentage of grain cleanness

F	میانگین مربعات Mean of square	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی df.	منابع تغییرات Source of variations
**72.4	427.4	1282.1	3	رطوبت دانه Moisture content
^{ns} 0.48	2.8	8.5	3	سرعت دورانی استوانه ها Cylinders' rotational speed
^{ns} 1.2	6.8	61.3	9	رطوبت × سرعت دورانی استوانه ها Rotational speed × Moisture content
	5.9	189	32	خطا Error
		1540.9	47	کل Total
			4	درصد ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)

** و ^{ns} به ترتیب معنادار و عدم معناداری در سطح احتمال ۱ درصد
 ** and ^{ns} Significant and non-significant at 1% probability level, respectively



با افزایش محتوای رطوبتی و سرعت ظرفیت جداکنندگی دستگاه نیز افزایش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری

افزایش سرعت دورانی درصد جدایش و شکست را افزایش و درصد تمیزی را کاهش داد. همچنین افزایش محتوای رطوبت دانه مقدار جدایش دانه‌ها، شکستگی و تمیزی را کاهش داد. اثر متقابل دو عامل سرعت دورانی استوانه‌های جداکننده و محتوای رطوبت بر درصد جدایش و شکستگی اثر معناداری داشت اما تاثیری بر درصد تمیزی نداشت. اثر متقابل سرعت و رطوبت به گونه‌ای بود که تفاوت درصد جدایش در مقادیر بالای هر دو عامل به حداقل و عدم تفاوت معنادار رسید. افزایش سرعت و رطوبت درصد تمیزی را کاهش داد. افزایش سرعت و کاهش رطوبت اثر افزایشی بر درصد جدایش و شکستگی داشت. حداکثر ظرفیت خروجی دستگاه در سرعت ۶۰۰ دور بر دقیقه استوانه‌های دوار و رطوبت ۲۰ درصد معادل ۲۶۸ کیلوگرم بر ساعت بدست آمد. این ترکیب سرعت و رطوبت سازگاری مناسبی بین درصد جدایش، درصد شکستگی و درصد تمیزی ایجاد می‌کند. سرعت دورانی مطلوب پیشنهادی این مطالعه دو برابر سرعت بهینه مطالعه قبل بدست آمد.

ادکانتی و همکاران (۳) نیز دریافتند که با افزایش رطوبت وزن مواد غیر دانه‌ای (ضایعات) بیشتر می‌شود و سرعت حد آنها نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه باد بردگی کاهش می‌یابد و به دنبال آن درصد تمیزی نیز کاهش می‌یابد. بنابراین طبق رابطه ۶ با افزایش رطوبت میزان باد بردگی مواد کاهش یافته و مواد زائد بیشتری همراه دانه‌ها باقی می‌ماند (صورت کسر کوچک شده و درصد تمیزی کاهش می‌یابد). نتایج نشان داد که بین سطوح مختلف سرعت استوانه‌ها اختلاف معناداری در درصد تمیزی وجود ندارد. در واقع افزایش سرعت استوانه‌ها در ایجاد ضایعات با اندازه کوچک‌تر موثر نبوده است. بنابراین می‌توان واحد بوجاری را فقط بر اساس رطوبت محصول و کاه و کلش تنظیم کرد و از طرفی سرعت استوانه‌ها و نوارنقاله را به گونه‌ای تنظیم کرد که بیشترین درصد جدایش حاصل شود بدون اینکه بر درصد تمیزی تاثیر داشته باشد.

حداکثر ظرفیت دستگاه در سرعت ۶۰۰ دور بر دقیقه استوانه‌های جداکننده برای سطح‌های محتوای رطوبتی ۷، ۱۵، ۲۰ و ۲۷ درصد بر پایه خشک به ترتیب 238 ± 56 ، 257 ± 250 ، 268 ± 65 و 293 ± 76 کیلوگرم بر ساعت بدست آمد.

References

1. Abdel-motaleb, I. A., Ibrahim, M. M., & Yousef, I. S. (1999). A study on harvesting of soybean and sunflower crops. *Journal of Agricultural Engineering*, 16(2), 337-351.
2. Adekanye, T. A., & Olaoye, J. O. (2013). Performance evaluation of motorized and treadle cowpea threshers. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal*, 15(4), 300-306.
3. Adekanye, T. A., Osakpamwan, A. B., & Osaivbie, I. E. (2016). Evaluation of a soybean threshing machine for small scale farmers. *Agricultural Engineering International CIGR Journal*, 18(2), 426-434.
4. Akbarloo, H., Dehrouye, A. R., and Arashi, Y. (1395). Sunflower cultivation. Textbook Publishing Company of Iran.
5. Anil, J., Guruswamy, T., Desai, S. R., Basavaraj, T., & Joshi, A. (1998). Effect of cylinder speed and feed rate on the performance of thresher. *Journal of Agricultural Sciences*, 4, 1120-1123.
6. Bagvand, A., Lorestani, A. N., and Abdolmohammadi, A. (1392) Effect of moisture content on biophysical properties and chemical properties of sunflower grain Farokh cultivar. *Journal of Agricultural Machinery Research*, 3, 1-7.
7. Chavshgholi, A., Abdollahpour, Sh. A., Abdi, R., and Babai, A. (1392). Study of appropriate methods for separation of sunflower seeds and foreign (non-grain) materials by determining the aerodynamic and physical properties of the product under different humidity conditions. *Journal of Mechanical Science in Agricultural Machinery*, 2, 79-98.
8. De Figueiredo, A. K., Baumler, E., Riccobene, I. C., & Nolasco, S.M. (2011). Moisture-dependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. *Journal of Food Engineering*, 102, 58-65.
9. El-Khateeb, H., Sorour, H., & Saad, M. I. (2008). Operating Factors Affecting Using Two Different Threshing Machines for Threshing Sunflower Heads. The 15th Annual Conference of the Misr Society of Agricultural Engineering. Egypt.
10. Gharib eshghi, A. (1393). Oilseed Crop Farming. Institute of Applied Higher Education of Agricultural Jihad.
11. Ghiyasi, P., Masoumi, A. A., and Hemmat, A. (1395). Design, Manufacture and Evaluation of Combine Crushers and Crushers for Sunflower Harvesting. 10th National Congress of Machinery and Agriculture Engineering, Iranian Biosystems Mechanization. Ferdowsi University of Mashhad.
12. Goel, A. K., Behera, D., Swain, S., & Behera, B. K. (2009). Performance evaluation of a low cost manual sunflower thresher. *Indian Journal of Agricultural Research*, 43(1), 37-41.
13. Gupta, R. K., & Das, S. K. (1997). Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66, 1-8.
14. Gupta, R. K., Arora, G., & Sharma, R. (2007). Aerodynamic properties of sunflower seed (*Helianthus annuus L.*). *Journal of Food Engineering*, 79, 899-904.
15. Jahani, F. (2014). Design, Manufacture and Evaluation of a Sunflower Seed Separator (MSc Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran).
16. Khodabakhshian Kargar, R., Emadi, B., Abbaspour Fard, M. H., and Saeediarad, M.S. H. (1389). Determining of Physical Properties of Sunflower Seed under quasi-static loading. The 6th National Conference on Agricultural Machinery and Mechanization. Tehran University, Karaj.

17. Khodabakhshian Kargar, R., Emadi, B., Abbaspour Fard, M. H., and Saeediarad, M.S. H. (1390). Determination of physical and aerodynamic properties of Azar Gol sunflower seed. *Iran Biosystems Engineering Journal*, 42, 43-51.
18. Kirk, I. W., & H. E. McLeod. (1967). Cotton seed rupture from static energy and impact velocity. *Transaction of the ASAE*, 10(2), 217-219
19. Nassiri, S. M. (1388). *Unit Operations of Agricultural Products*. Navid Publications, Iran: Shiraz.
20. Rizvi, S. H., Amjad, A. N., and Shaheen, M. A. (1993). Comparative performance of different threshing drums for sunflower. *American Management Association*, 24(1), 23-27
21. Schild, J., Baltensperger, P., Lyon, P., Hein, G., & Kerr, E. (1991). Sunflower production in Nebraska. G 91 -1026-A. :1-7.
22. Seifi, M. R., Pickering, B., and Kalhor, M.S. (1390). *Agriculture and cultivation of oilseeds*. Agricultural Education and Promotion Publications.
23. Spokas, L., Steponavicius, D., & Petkevicius, S. (2008). Impact of technology parameters of threshing apparatus on grain damage. *Agronomy Research*, 6(9), 367-376.
24. Sudajan, S., Salokhe, V. M., & Triratanasirichai, K. (2002). effect of type of drum, drum speed and feed rate on sunflower threshing. *Biosystems Engineering*, 83(4) , 413-421.
25. Vejasit, A., & Salokhe, V. M. (2004). Studies on machine-crop parameters of an axial flow thresher for threshing soybean. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal*, 6, 1-12.