

# **Assessment of sieve slope, sieve range and fan suction on cleaning efficiency and loss rate of peanut thresher**

Jafar Abdi, Abdollah Golmohammadi, Gholamhossein Shahgholi, Adel rezvanivand fanaei

## **Introduction**

Peanut (*Arachis hypogaea L.*) is an annual plant of the legume genus, that is cultivated in 109 countries due to its high-quality oil and seed protein. The area under cultivation of this crop in Iran is 3000 hectares, and its average yield is 4 tons per hectare. Seed loss and physical damage, including cracking and crushing of the seed during harvest, are significantly affected by threshing performance; Hence, during the last century, a lot of research has been carried out on different types of threshing methods and the design and development of different threshing machines.

According to research on seed crops such as cereals and seeds, the factors of the rotational speed of thresher, threshing-concave distance, feeding rate, and shape of threshing teeth are the most important factors in the threshing efficiency and quality of threshed seeds. Since research on peanut threshing is limited and there is practically no combine-machine for this product available in global markets, this study aimed to investigate several working parameters of an experimental peanut thresher including the effect of sieve angle, sieve range of movement, and suction speed on the separation unit.

## **Materials and Methods**

Relevant experiments were conducted in Ardabil province, Parsabad Moghan region; Latitude and longitude 39.65 North and 47.91 East. To perform experiments and separate the seeds from the pods, a peanut threshing machine cultivar Nc2, which is cultivated in Ardabil and Gilan Agricultural Research Centers under agricultural conditions, was used.

According to the aims of the research, several effective parameters in the performance of the machine including sieve angle, sieve movement range, and fan suction speed were investigated to obtain the best adjustment for maximum threshing performance and separation efficiency. It should be noted that the average seed weight per kg of peanut plant was between 300-400 gr and the moisture content of the seeds in the tested cultivar was 45%. For using the machine, the plants must first be dug up by workers and placed on the ground in a coupe, and then a worker must enter the plants through the feeder.

## **Results and Discussion**

It was found that the effect of sieve angle, sieve movement range, and suction speed on separation efficiency and the peanut loss rate is significant at the level of one percent.

According to the fact that with increasing the sieving angle, the speed of material movement on the sieve increases; the necessary opportunity to separate the straw from

the seed is not provided. As the sieve movement range increases, the cleaning efficiency decreases rapidly. For better straw-seed separation, it is necessary to apply impact shocks to the products located on the sieve in a short period. As the range of movement increases, the time interval between impact shocks increases, and as a result, straw separation from seed is disrupted.

The rate of peanut loss has increased with increasing sieve range and suction speed. The reason for this matter can be attributed to the fact that by increasing the suction speed and sieve movement range, the product spends less time on the sieve, and as a result, there is not enough time for proper separation of the product. Also, the higher speed may exceed the speed limit of the peanut seed and therefore cause the peanut to move out of the machine with the straw. Increasing the sieve movement range leads to a uniform movement of straw and seed on the sieve, while better separation of straw from the sieve requires dynamic shocks and sudden acceleration to the product which decreases with increasing the sieve movement range. The maximum farm capacity and material capacity belonged to the 5 degrees slope with  $0.55 \text{ he.hr}^{-1}$  and  $509 \text{ kg.he}^{-1}$  was achieved in the range of 3.5 cm and fan suction speed of  $8 \text{ m.s}^{-1}$ , respectively.

## Conclusion

It was concluded that the sieve movement range has the greatest effect, and the sieve angle has the least effect on the cleaning efficiency. Also, the sieve movement range has the greatest effect, and the angle of the sieve has the least effect on the rate of peanut loss.

**Keywords:** Sieve, Peanut, Cleaning efficiency, Suction speed

بررسی شیب الک، دامنه حرکت الک و مکش فن بر روی بازده تمیز کردن و نرخ از دست دادن دستگاه  
خرمن کوب بادام زمینی

جعفر عبدی<sup>۱</sup>، عبدالله گل محمدی<sup>۲\*</sup>، غلامحسین شاهقلی<sup>۳</sup>، عادل رضوانی وند فنائی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، (Golmohammadi@uma.ac.ir)

۳- استاد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی

۴- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه

## چکیده

بادام زمینی با توجه به کیفیت بالای روغن استخراجی و پروتئین بالای دانه یکی از گیاهان با اهمیت تیره بقولات می باشد. در پژوهش حاضر، تاثیر تعدادی از پارامترهای کاری یک خرمن کوب بادام زمینی شامل زاویه (شیب) الک، دامنه حرکت الک و سرعت

مکش فن مکنده برای واحد جداسازی به صورت تجربی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. زاویه یا شیب الک شامل سه زاویه ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه، دامنه حرکت الک شامل سه فاصله ۳/۵، ۵ و ۷ سانتی‌متر و همچنین سرعت مکش فن شامل سه سرعت ۸، ۱۲ و ۱۶ متر بر ثانیه بودند. به منظور تجزیه و تحلیل اثرهای اصلی و اثرهای متقابل عامل‌های مستقل، از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده گردید. همچنین تاثیر فاکتورهای آزمایشی بر ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج، تأثیر زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر بازده تمیزکردن و نرخ از دست دادن بادام‌زمینی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش دامنه حرکت الک و سرعت مکش، نرخ از دست دادن بادام‌زمینی افزایش یافت. همچنین افزایش فاکتورهای آزمایشی، تأثیر منفی بر روی ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای نشان داد. بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای به ترتیب با ۰/۱۰۵ هکتار در ساعت و ۵۰۹ کیلوگرم بر ساعت به شیب ۵ درجه تعلق داشت که در دامنه حرکتی ۳/۵ سانتی‌متر و سرعت مکش فن ۸ متر بر ثانیه به دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** الک، بادام‌زمینی، بازده تمیز کردن، سرعت مکش

## مقدمه

بادام زمینی (*Arachis hypogaea L.*) گیاهی یکساله از تیره بقولات است که به دلیل کیفیت بالای روغن و پروتئین دانه در ۱۰۹ کشور جهان کشت می‌گردد. سطح زیر کشت این محصول در کشور ایران ۲۸۸۷ هکتار بوده و مقدار تولید آن ۱۰۸۳۰/۲ تن می‌باشد (Agricultural Jihad Statistics, 2020). بادام زمینی مخصوص مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری بوده و بذر این گیاه ارزشمند ۴۴ تا ۵۶٪ روغن دارد و پس از سویا و کلزا، سومین گیاه دانه روغنی یکساله جهان به شمار می‌آید (Dobrova et al., 2021). غلاف‌های بادام زمینی حاوی بذر و پوسته، در زمین رشد می‌کنند، در حالی که گلدهی و لقاح در بالای زمین اتفاق می‌افتد. بر این اساس، هنگام برداشت این محصول قسمت خوراکی آن آغشته به خاک بوده و جداسازی بهینه خاک از غلاف و سپس خارج سازی بذر از داخل غلاف آن به منظور حفظ عملکرد آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Anco et al., 2020). صدمات فیزیکی دانه شامل ترک برداشتن و همپنین خرد شدن آن در زمان برداشت و همچنین از دست دادن دانه، به صورت قابل توجهی تحت تأثیر عملکرد خرمن‌کوبی قرار می‌گیرد. بر این اساس در طول قرن گذشته تحقیقات بسیاری در مورد انواع روش‌های خرمن‌کوبی و طراحی و توسعه خرمن‌کوب‌های مختلف انجام شده است (Fu et al., 2018).

به دلیل اینکه کاهش دانه‌های آسیب دیده و بالا بردن عملکرد دستگاه خرمن‌کوب نقش مهمی در توسعه پایدار آن دارد، لذا در این زمینه همچنان ادامه دارد. بر اساس مطالعات انجام شده، از دست دادن دانه مهمترین پارامتر در ارزیابی فرآیند خرمن‌کوبی می‌باشد (Karlen et al., 2014). از دست دادن دانه بیشتر به دلیل عوامل طبیعی، عملیات درو (برداشت)، جمع‌آوری، کوبیدن و جداسازی اتفاق می‌افتد (Abdi and Jalali, 2013). با در نظر گرفتن اینکه کنترل عوامل طبیعی تا حد زیادی از کنترل انسان خارج است،

بر این اساس کاهش تلفات مکانیکی در فرآیند خرمنکوبی یکی از راه های مناسب به منظور افزایش عملکرد برداشت دانه در خرمن کوب بادام زمینی است (Pishgar-Komleh *et al.*, 2013). آسیب مکانیکی دانه به طور معمول به دلایل مختلفی همچون برخورد دانه با سطح صلب واحد خرمنکوب، فاصله کم بین کوبنده و ضدکوبنده، نرخ تغذیه محصول و سرعت نامناسب کوبنده ایجاد می گردد (Ali *et al.*, 2021). نکته حائز اهمیت دیگر این است که فرآیند خرمنکوبی در محصول بادام زمینی تا حد زیادی به صورت سنتی و دستی انجام می گیرد. مطابق با پژوهش های صورت گرفته در محصولات دانه ای مانند غلات و حبوبات، عوامل سرعت دورانی کوبنده، فاصله کوبنده و ضدکوبنده، نرخ تغذیه و شکل دندانه های کوبنده مهمترین عوامل در عملکرد خرمن-کوب و کیفیت دانه های کوبیده می باشند (Reddy *et al.*, 2013). در ادامه این بخش به چند مورد از کارهای انجام شده در این حوزه پرداخته شده است.

هوین و همکاران (Huynh *et al.*, 1985) گزارش کردند که جدا شدن دانه از ساقه و عبور دانه از دریچه های ضدکوبنده تابع متغیرهایی مانند نرخ تغذیه، سرعت کوبش، طول ضدکوبنده، قطر استوانه و فاصله کوبنده و ضدکوبنده است. این متغیرها بر تلفات خرمنکوبی و بازده جداسازی دانه تأثیر می گذارند. کائول و همکاران (Kaul *et al.*, 1985) در پژوهشی نتیجه گرفتند که با افزایش سرعت استوانه و کاهش نرخ تغذیه، بازده کوبش افزایش می یابد. بازده کوبش در سرعت استوانه ۲۱/۲۵ متر بر ثانیه (۱۴۰۰ دور در دقیقه) و نرخ تغذیه ۱۵ کیلوگرم در دقیقه به حداکثر مقدار ۹۹/۷۶ درصد رسید. لازم به ذکر است صدمات دانه در شرایط عملیاتی ۰/۹۰ درصد دانه های قابل مشاهده بود. گل و همکاران (Gol *et al.*, 1991) به این نتیجه رسیدند که عوامل مهم مؤثر بر کارایی، پارامترهای مکانیکی غلاف زدایی، سرعت عملیات و شرایط محصول است. در این پژوهش با افزایش سرعت محیطی استوانه از ۴۷۳ دور در دقیقه تا ۶۷۵ دور در دقیقه، درصد غلاف های پوست کنده شده افزایش یافت.

در یکی دیگر از پژوهش های انجام شده یک خرمن کوب ثابت که با نیروی محور تواندهی تراکتور کار می کرد با خرمن کوب دستی پدالی مقایسه شده است. طبق نتایج تحقیق مذکور، افزایش سرعت کوبنده، بازده کوبش بالاتری را ایجاد می کند. همچنین مشخص گردید که ظرفیت کاری خرمن کوب محور توان دهی، ۴ برابر بیشتر از خرمن کوب دستی پدالی است. اثر زاویه الک و سرعت مکش بر بازده تمیز کردن الک مورد ارزیابی قرار گرفته است. نویسندگان گزارش نمودند که با افزایش زاویه الک و سرعت مکش ظرفیت کاری دستگاه (جرم بر واحد زمان) افزایش می یابد، همچنین بازده تمیز کردن و نرخ از دست دادن دانه نیز به شدت افزایش پیدا می کند (El-Awady, *et al.*, 2009). همچنین یک ماشین کوبنده اصلاح شده برای به حداقل رساندن مشکل گرفتگی در ضدکوبنده، طراحی شده است. طبق بررسی های انجام شده، مشکل عمده کشاورزان در استفاده از ماشین خرمن کوبی چند محصول، گرفتگی کاه و کلس ضدکوبنده با افزایش نرخ تغذیه است. همانطور که نرخ تغذیه افزایش می یابد، دانه های کاه به طور قابل توجهی افزایش یافته و به اجبار از پایین خارج می شود و متعاقباً سبب گرفتگی آن می گردند. برای حل این مشکل، طراحی پیشنهاد گردید که شامل یک قاب ضدکوبنده برای نگه داشتن ضدکوبنده بود. مکانیزم معرفی شده برای حرکت قاب ضدکوبنده به عنوان مکانیزم ضد گرفتگی به کار گرفته شد (Mahmood *et al.*, 2019). ارزیابی فنی سه روش برداشت دستی، نیمه مکانیزه

و مکانیزه بادام‌زمینی در مغان انجام شد. در این پژوهش، بیشترین و کمترین ظرفیت مزرعه‌ای موثر به ترتیب برای کمباین کششی و روش برداشت دستی برابر با ۰/۴۶ و ۰/۰۶ هکتار در ساعت بود. بر اساس نتایج مطالعه، کمباین مخصوص کششی برای برداشت زودهنگام بادام‌زمینی و روش دستی از لحاظ کیفیت مناسب محصول بدست آمده برای منطقه توصیه گردید ( Taghinazhad and Rahmani, 2022).

با در نظر گرفتن اینکه تحقیقات انجام گرفته بر روی خرمن کوب بادام زمینی محدوده بوده و عملاً کمباین مخصوص این محصول در بازارهای جهانی موجود نمی‌باشد، هدف از این تحقیق بررسی تعدادی از پارامترهای کاری یک خرمن کوب بادام‌زمینی رقم Nc2 شامل تاثیر زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر روی واحد جداسازی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مربوطه در استان اردبیل، منطقه پارس آباد مغان؛ به طول و عرض جغرافیایی ۳۹/۶۵ شمالی و ۴۷/۹۱ شرقی انجام گردید. به منظور انجام آزمایش‌ها و جداسازی دانه از غلاف، از دستگاه خرمن کوب بادام‌زمینی رقم Nc2 که در مرکز تحقیقات کشاورزی استان اردبیل و گیلان تحت شرایط به زراعی کشت می‌شود، استفاده گردید (شکل ۱). با توجه به اهداف تحقیق تعدادی از پارامترهای مؤثر در عملکرد دستگاه شامل زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش فن مورد بررسی قرار گرفتند تا بهترین تنظیم برای حداکثر عملکرد کوبش و بازده جداسازی به دست آید. لازم به ذکر است، میانگین وزن دانه در ازای یک کیلوگرم بوته بادام‌زمینی بین ۳۰۰-۴۰۰ گرم و محتوای رطوبت دانه‌ها در رقم مورد آزمایش ۴۵ درصد بر مبنای تر بود. برای استفاده این دستگاه ابتدا بایستی بوته‌ها توسط کارگران کنده و به صورت کوبه روی زمین قرار داده شود، سپس یک کارگر بوته‌ها را از طریق تغذیه کننده وارد دستگاه نماید.



شکل ۱- دستگاه خرمن کوب بادام زمینی

Fig.1. Peanut thresher machine

بر اساس نتایج ذکر شده در تحقیقات گذشته دور کوبنده کمتر از ۵۰ دور بر دقیقه توانایی بالایی در جداسازی دانه از غلاف ندارد، اما با این حال تعداد دانه‌های صدمه دیده نیز اندک می‌باشد. در دوره‌های کوبنده بالاتر از ۱۰۰ دور بر دقیقه، خرمن کوب توانایی بالایی در جداسازی دانه از غلاف دارد؛ اگرچه تعداد دانه‌های صدمه دیده نیز با افزایش دور کوبنده افزایش یافته است (Srinivasan *et al.*, 2021; Vennela *et al.*, 2018; Senthilkumar *et al.*, 2017; Aboegela *et al.*, 2021). بنابراین در این آزمایش سرعت دورانی کوبنده ۲۰۰ دور بر دقیقه انتخاب گردید تا در ترکیب با نرخ تغذیه و فاصله کوبنده و ضد کوبنده مقدار بهینه دور کوبنده تعیین گردد.

برای اندازه‌گیری سرعت دورانی محور کوبنده و سایر محورهای محرک از دورسنج تماسی دیجیتالی مارک mar menix و مدل MTC 442 استفاده شد. همچنین برای تأمین توان مورد نیاز خرمن کوب از یک تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵ با توان ۷۵ اسب بخار استفاده شد.

### اجزای مکانیکی دستگاه خرمن کوب بادام زمینی

#### واحد تغذیه

قسمت تغذیه از یک باکس به طول ۱۲۰ و عرض ۸۰ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر تشکیل شده که تماماً از ورق دو میلی متری برای ساخت این باکس استفاده شده است. از یک زنجیر که بر روی آن تسمه‌های ۴ سانتی متری برای انتقال بوته‌ها به داخل دستگاه استفاده شده است. این زنجیر نیروی خود را از پولی و تسمه متصل به آن گرفته و کل مکانیزم متصل به قسمت محرک دستگاه است (شکل ۲). با تغییر اندازه پولی سرعت تسمه‌نقاله یا زنجیر کم یا زیاد می‌شود با تغییر اندازه قطر پولی به ۱۲، ۱۴ و ۱۶ سانتی متر، سرعت تسمه‌نقاله به ترتیب به ۵۰، ۷۰ و ۹۰ دور بر دقیقه تغییر می‌یابد. در این قسمت ابتدا بوته‌ی بادام زمینی را به میزان ۱-۱۰۰ کیلوگرم تهیه و به صورت آزمایشی وارد قسمت ورودی نموده و بعد از تست این نتیجه حاصل شد که بایستی حداقل ۲۰ و حداکثر ۷۰ کیلوگرم بوته‌ای بادام زمینی را وارد دستگاه گردد. مدت زمان ماندگاری بوته‌ی بادام زمینی در این قسمت ۲-۶ ثانیه بوده است که اعداد مذکور با تغییر اندازه‌ی پولی ها و به تبعه آن تسمه‌ها به دست آمد.



**شکل ۲- تغذیه کننده محصول به قسمت کوبنده**  
**Fig.2. Product feeder to threshing section**

### واحد کوبنده

شامل یک مارپیچی یا هلیس است که طول آن ۲ متر می باشد بنابراین دستگاه از نوع کوبنده جریان محوری محسوب می گردد (شکل ۳). دور کوبنده با تغییر اندازه قطر پولی به قطر ۲۰، ۲۲، ۲۵ سانتی متر تغییر پیدا می کند. در این قسمت با تغییر پولی و دور تراکتور این نتیجه حاصل شد که در دورهای کمتر از ۱۰۰ دور بر دقیقه امکان جدایش غلاف و پيله بادامزمینی از بوته ها وجود ندارد. لذا بایستی دور موردنظر با تغییر اندازه پولی ها و دور تراکتور به بالای ۱۰۰ دور بر دقیقه برسد. بهترین عملکرد این قسمت در دورهای ۱۰۰-۳۰۰ دور بر دقیقه می باشد. در این دور بوته های بادامزمینی به صورت کامل از دستگاه خرمن کوب بادامزمینی خارج و غلاف های آن ها نیز به صورت کامل از خوشه ها جدا می شوند.

### ضد کوبنده

توری است که به صورت تاروپود توسط میل گرد ۱۰ سانتی متری به هم متصل شده اند. این شبکه دارای سوراخ های مستطیلی شکل به ابعاد ۱۵ سانتی مترمربع می باشد که عبور آسان غلاف ها را فراهم می نماید. ضد کوبنده عملیات کوبیدن بادامزمینی یا همان جدا کردن غلاف از ریشه را انجام می دهد. کوبنده ثابت می باشد اما فاصله ضد کوبنده از طریق پیچ مهره کم و زیاد می شود و به اندازه ۴-۸ سانتی متر فاصله تغییر پیدا می کند. برای برداشت و جدایش پيله و غلاف بادامزمینی از ریشه و بوته های آن بایستی فاصله کوبنده و ضد کوبنده بین ۴-۸ سانتیمتر در نظر گرفته شود.



شکل ۳- ترکیب کوبنده و ضد کوبنده  
**Fig.3.** Thresher-concave arrangement

#### الک

این واحد شامل شاسی و یک توری از جنس گالوانیزه با قطر سوراخ یک سانتی متر مربع می باشد. وقتی که غلافها داخل الک به سمت جلو حرکت می کند تمام گل ولای چسبیده به غلافها توسط توری گرفته شده و عملیات خاک گیری و بوجاری در این قسمت دستگاه انجام می شود. شیب الک بین صفر الی ۲۵ درجه قابل تنظیم بوده و مقدار جابجایی و رفت و برگشتی الک ۳ الی ۸ سانتی متر می باشد. بازوی دسته شاتون ۱۴ سانتی متر است و حرکت رفت و برگشتی دارد. تغییرات آن روی لنگ از طریق سه نقطه خارج از مرکز است که روی لنگ تعبیه شده است (شکل ۴). سرعت خطی این واحد از طریق پولی متصل به گیربکس تنظیم می گردد و قطر پولی هم روی ۱۲، ۱۴، ۱۶ تغییر پیدا می کند. فرمول سرعت خطی هم طبق رابطه (۱) محاسبه می گردد.

$$V=R\omega \quad (۱)$$

که در آن  $V$  سرعت خطی ( $m s^{-1}$ )،  $R$  شعاع (m) و  $\omega$  سرعت زاویه ای ( $rad s^{-1}$ ) است.





شکل ۴- الک در قسمت جداکننده

Fig.4. Sieve in the separation section

### فن

فن تامین کننده حجم هوای مورد نیاز برای مکش می‌باشد. از جمله پارامترهای مهم در خصوص سرعت مکش فن می‌توان مواردی همچون (۱) زاویه پروانه یا زاویه برش، (۲) قطر دایره، (۳) زاویه دمپره‌های ورودی و خروجی و (۴) شعاع دایره فن را نام برد (شکل ۵).



شکل ۵- فن مکنده که مواد اضافی از قبیل ضایعات و شاخه و برگ‌ها را از غلاف‌های بادام‌زمینی جدا می‌کند

Fig.5. Suction fan that separates excess material such as waste and twigs from peanut pods

ارزیابی عملکرد دستگاه خرمن کوب بادام‌زمینی

بازده تمیز کردن

بازده تمیز کردن توسط الک انجام می‌شود و بر اساس سوراخ‌های تعبیه‌شده روی دسته الک قابل تنظیم است. بازده تمیز کردن نمونه اولیه خرمن کوب بادام‌زمینی بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد:

$$E_c = \frac{w_m - w_f}{w_m} \times 100 \quad (2)$$

که در آن،  $E_c$  بازده تمیز کردن (%)،  $w_f$  وزن ماده خارجی جمع‌آوری‌شده از خروجی اصلی (kg) و  $w_m$  وزن ماده ورودی (kg) می‌باشد

### نرخ از دست دادن بادام‌زمینی

برای محاسبه نرخ از دست دادن بادام‌زمینی ابتدا دو جعبه برای آزمایش تهیه شد. یکی از جعبه‌ها شامل بوته‌ی بادام‌زمینی و کیسه دیگر خالی بود. دور کوبنده بین محدوده ۲۰۰ دور بر دقیقه بوده و از پی تی او تراکتور توان لازمه گرفته شد. ابتدا وزن بوته‌های وارد شده به دستگاه با ترازو اندازه‌گیری شد (وزن بادام‌زمینی جعبه یک) و بعد از شروع کار دستگاه بوته‌های خارج‌شده از قسمت اول خروجی دستگاه را جمع‌آوری و داخل جعبه دوم کرده و دوباره با ترازو وزن شد (وزن بادام‌زمینی جعبه دوم). به این ترتیب وزن بوته وارد شده به دستگاه و وزن بوته‌های خارج‌شده از دستگاه مشخص گردید و نرخ از دست دادن بادام‌زمینی ( $E_L$ ) طبق رابطه ۳ محاسبه شد:

$$E_L = \frac{w_1}{w_1 + w_2} \times 100 \quad (3)$$

که در آن  $w_1$  وزن بادام‌زمینی جعبه یک (kg) و  $w_2$  وزن بادام‌زمینی جعبه دو (kg) می‌باشد. در ادامه پارامترهای متغیر و قابل کنترل واحد جداکننده که مربوط به قسمت تمیزکننده و الک می‌باشد، در قالب جدول (۱)، ارائه شده است.

### جدول ۱- پارامترهای متغیر و قابل کنترل واحد جداکننده

Table 1- Variable and controllable parameters of the separator unit

پارامتر Parameter	مقادیر مختلف برای پارامترها Various values for parameters		
شیب یا زاویه الک (درجه) Sieve slope or angle (Degree)	5	10	15
دامنه حرکت الک (cm) Sieve movement range (cm)	3.5	5	7
سرعت مکش فن ( $m s^{-1}$ ) Fan suction speed ( $m s^{-1}$ )	8	12	16

لازم به ذکر است، برای تجزیه و تحلیل اثرهای اصلی و اثرهای متقابل عامل‌های مستقل، از طرح آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

## نتایج و بحث

### بررسی تأثیر عوامل آزمایشی بر بازده تمیز کردن

هدف از پژوهش حاضر تعیین تنظیمات بهینه واحد جداساز خرمن‌کوب بادام‌زمینی می‌باشد. بدین منظور تأثیر عوامل زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر بازده جداسازی و نرخ از دست دادن بادام‌زمینی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس عوامل متغیر بر معیارهای کوبش در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول (۲) مشخص شد که تأثیر زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر بازده جداسازی و نرخ از دست دادن بادام‌زمینی در سطح یک درصد معنی‌دار است.

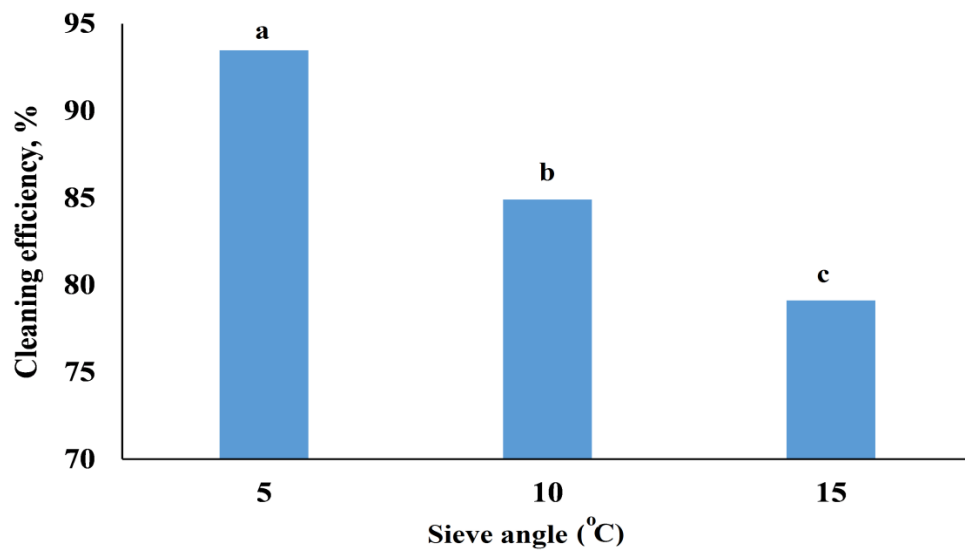
**جدول ۲-** نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) برای ارزیابی متغیرهای زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر بازده جداسازی و نرخ از دست دادن بادام‌زمینی

**Table 2-** Results of analysis of variance (ANOVA) to evaluate the variables of sieve angle, sieve range and suction speed on the separation efficiency and peanut loss rate

منبع Source	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	
		بازده تمیز کردن Cleaning efficiency	نرخ از دست دادن Loss rate
شیب Slope	2	1409**	162.6**
دامنه Range	2	22.1**	61.2**
سرعت Speed	2	293.7**	542.2**
دامنه * شیب slope * range	4	0.61ns	2.41**
دامنه * سرعت slope * Speed	4	1.22ns	22.2**
سرعت * دامنه range * Speed	4	0.08ns	0.231**
سرعت * دامنه * شیب slope * range * Speed	8	0.38ns	0.227**
خطا Error	54	0.92	0.020
کل Total	80		

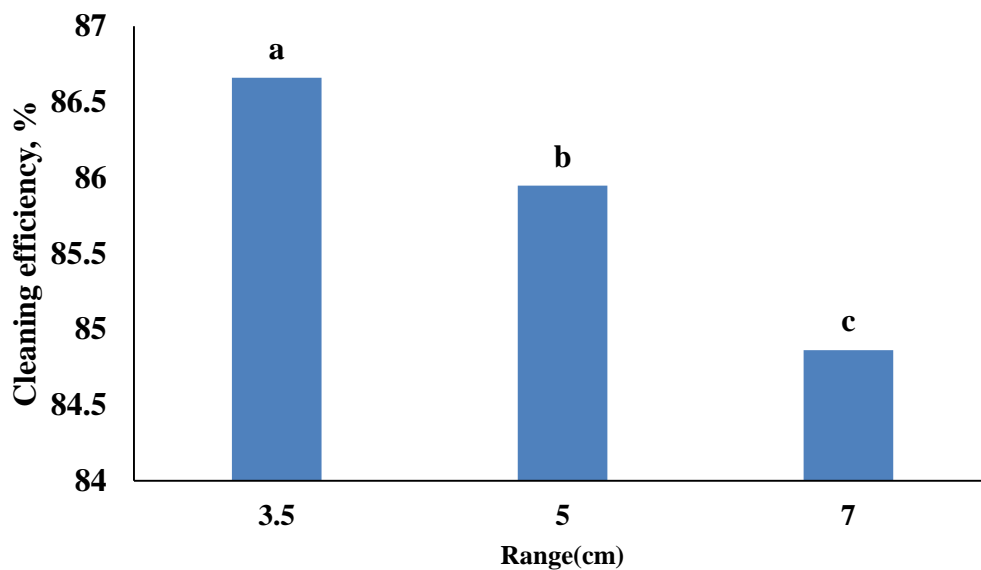
df: degrees of freedom; \*\*:highly significant; ns: not significant.

در شکل ۶ اثر زاویه الک بر بازده تمیز کردن ارائه شده است. همان‌طور که از شکل ۶ مشخص است با افزایش زاویه الک بازده تمیز کردن به سرعت کاهش یافته است. با توجه به اینکه با افزایش زاویه الک سرعت جابجایی مواد بر روی الک افزایش می‌یابد در نتیجه فرصت لازم برای جداسازی گاه از دانه فراهم نمی‌شود. در شکل ۷ اثر دامنه حرکت الک بر بازده تمیز کردن ارائه شده است. همان‌طور که از شکل ۷ مشخص است با افزایش دامنه حرکت الک بازده تمیز کردن به سرعت کاهش یافته است. برای جداسازی بهتر گاه از دانه لازم است به مواد مستقر روی الک در فاصله زمانی کوتاه شوک‌های ضربه‌ای وارد شود با افزایش دامنه حرکت فاصله زمانی بین شوک‌های ضربه‌ای افزایش می‌یابد و در نتیجه جداسازی گاه از دانه مختل می‌شود.



شکل ۶- تأثیر زاویه الک بر بازده تمیز کردن

Fig.6. Sieve angle effect on the cleaning efficiency

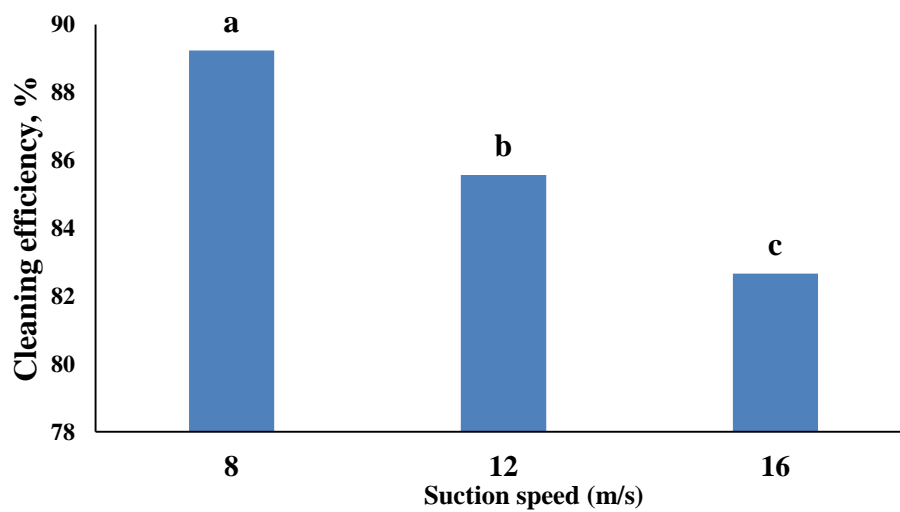


شکل ۷- تأثیر دامنه حرکت الک بر بازده تمیز کردن

Fig.7. Sieve movement range effect on the cleaning efficiency

در ادامه و در قالب شکل ۸ اثر سرعت مکش بر بازده تمیز کردن ارائه شده است. همان طور که از شکل ۸ مشخص است با افزایش سرعت مکش بازده تمیز کردن به سرعت کاهش یافته است. با افزایش سرعت مکش مواد مدت زمان کمتری روی الک می ماند و نوسانات الک به تعداد مورد نیاز برای جدا کردن دانه از کاه نمی رسد و در نتیجه بازده جدا کردن کاهش یافته است. در جدول (۳)، مشخصات آماری مدل رگرسیون پیش بینی کننده بازده جدا کردن بر اساس متغیرهای زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش ارائه شده است. با توجه به ضرایب استاندارد ذکر شده در جدول (۳) می توان نتیجه گرفت که دامنه حرکت الک بیشترین تأثیر و زاویه حرکت الک کمترین تأثیر را بر بازده تمیز کردن دارند. معادله نهایی پیش بینی کننده در رابطه (۴) آورده شده است:

$$\text{Cleaning efficiency} = 116.08 - 0.5597 \text{ slope} - 0.515 \text{ range} - 0.8227 \text{ speed. } R^2 = 0.93 \quad (4)$$



شکل ۸- تأثیر سرعت مکش بر بازده تمیز کردن

Fig.8. Suction speed effect on the cleaning efficiency

در پژوهش دیگری که بر روی دستگاه جداکننده بادام زمینی انجام پذیرفت و دستگاه دارای ظرفیت کاری تا ۱۱۶ کیلوگرم در ساعت بود، راندمان جداسازی ۹۳٪ حاصل شد. لازم به ذکر است که میزان آسیب دیدگی مکانیکی غلاف ها نیز ۰/۴٪ به دست آمد (Guzman *et al.*, 2019).

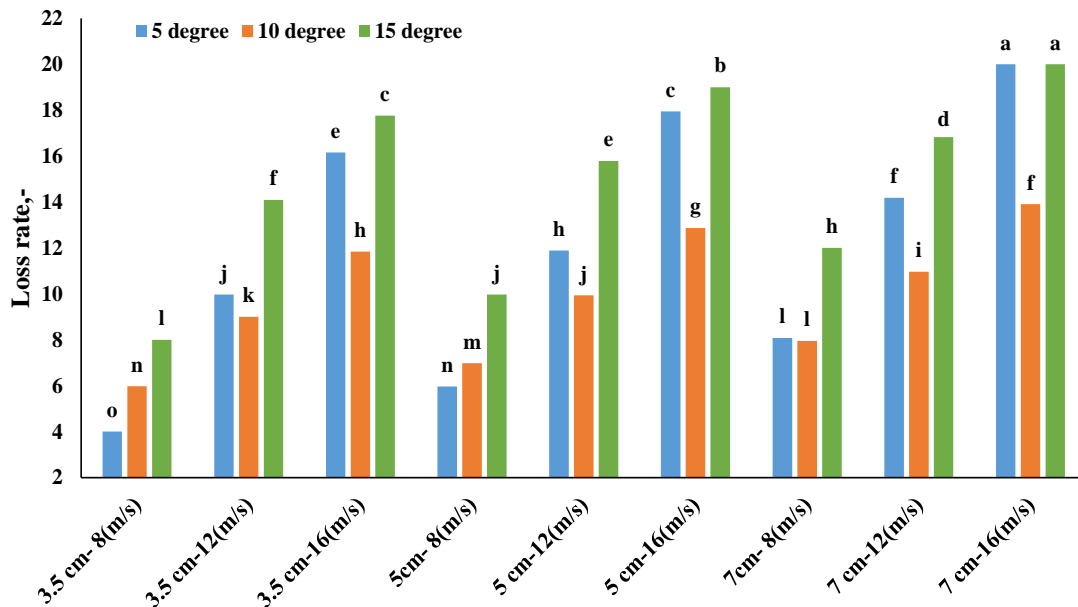
**جدول ۳-** مشخصه های آماری مدل رگرسیون گام به گام برای پیش بینی بازده تمیز کردن بر اساس زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش

**Table 3-** Statistical characteristics of stepwise regression model for predicting cleaning efficiency based on sieve angle, suction speed and sieve movement range

عبارت Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	116.08	1.10	105.63	0.000	
Slope	-0.5597	0.0176	-31.82	0.000	1.00
Range	-0.515	0.126	-4.09	0.000	1.00
Speed	-0.8227	0.0553	-14.87	0.000	1.00

## بررسی تأثیر عوامل آزمایشی بر نرخ از دست دادن بادامزمینی

چون طبق جدول ۲ اثرات سه گانه شیب، دامنه و سرعت مکش معنی دار شده است اقدام به مقایسه میانگین شده است. در شکل ۹ تأثیر اثر سه گانه شیب الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر نرخ از دست دادن بادامزمینی ارائه شده است. همان طور که در شکل ۹ مشخص است با افزایش دامنه حرکت الک و سرعت مکش نرخ از دست دادن بادامزمینی افزایش یافته است. علت این امر می تواند به این واقعیت نسبت داد شود که با افزایش سرعت مکش و دامنه حرکت الک عملاً محصول مدت زمان کمتری را روی الک سپری کرده و در نتیجه فرصت کافی برای جداسازی مناسب محصول فراهم نمی شود. همچنین سرعت بالاتر ممکن است فراتر از سرعت حد دانه بادامزمینی باشد و به همین دلیل خود باعث حرکت بادامزمینی به همراه کاه به بیرون از دستگاه شود. افزایش دامنه الک منجر به حرکت یکنواخت کاه و دانه شده بر روی الک شده در حالی که برای جداسازی بهتر کاه از الک نیاز به ضربات دینامیکی و شتاب ناگهانی به محصول است که با افزایش دامنه حرکت الک این موضوع کاهش می یابد. نکته قابل توجه در شکل ۹ رفتار متغیر شیب الک در وضعیت های مختلف است. در سرعت مکش ۸ متر بر ثانیه افزایش شیب الک باعث افزایش از دست دادن بادامزمینی می شود. با افزایش شیب الک سرعت خروج محصول نیز بیشتر شده و در نتیجه زمان کافی برای جداسازی فراهم نمی شود؛ اما در سرعت مکش ۱۲ و ۱۶ متر بر ثانیه افزایش زاویه الک در ابتدا باعث کاهش و سپس افزایش نرخ از دست دادن بادامزمینی می شود. از سوی دیگر افزایش دامنه حرکت الک باعث می شود که شیب تغییرات نرخ از دست دانه حاصل از افزایش زاویه الک نیز افزایش یابد.



شکل ۹- اثر سه گانه شیب الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش بر نرخ از دست دادن بادام زمینی

Fig.9. The triple effect of sieve slope, sieve movement range and suction speed on peanut loss rate

در پژوهش انجام شده بر روی ارزیابی فنی سه روش برداشت دستی، نیمه مکانیزه و مکانیزه بادامزمینی برای منطقه مغان کمترین و بیشترین تلفات کل به ترتیب با ۹۵/۵٪ و ۵۸/۱۰٪ مربوط به روش دستی و برداشت با کمباین کششی مخصوص بادامزمینی بود (Taghinazhad and Rahmani, 2022).

در قالب جدول (۴) مشخصات آماری مدل رگرسیون پیش‌بینی کننده نرخ از دست دادن بادامزمینی بر اساس متغیرهای زاویه الک، دامنه حرکت الک و سرعت مکش ارائه شده است. با توجه به ضرایب استاندارد ذکر شده در جدول (۴) می‌توان نتیجه گرفت که دامنه حرکت الک بیشترین تأثیر و زاویه حرکت الک کمترین تأثیر را بر نرخ از دست دادن بادامزمینی دارند. معادله نهایی پیش‌بینی کننده در رابطه (۵) آورده شده است:

$$\text{Loss rate} = -9.68 + 0.1292 \text{ slope} + 0.855 \text{ range} + 1.1190 \text{ speed. } R^2 = 0.82 \quad (5)$$

**جدول ۴-** مشخصه‌های آماری مدل رگرسیون گام به گام برای پیش‌بینی نرخ از دست دادن بادامزمینی بر اساس زاویه الک، سرعت مکش و دامنه حرکت الک

**Table 4-** Statistical characteristics of stepwise regression model for predicting peanut loss rate based on sieve angle, suction speed and sieve movement range

عبارت Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
ثابت Constant	-9.68	1.31	-7.40	0.000	
شیب Slope	0.1292	0.0209	6.17	0.000	1.00
محدوده Range	0.855	0.150	5.70	0.000	1.00
سرعت Speed	1.1190	0.0659	16.99	0.000	1.00

#### تأثیر فاکتورهای آزمایشی بر ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای

در این بخش تأثیر فاکتورهای آزمایشی بر ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای مورد بررسی قرار گرفت. به منظور محاسبه ظرفیت مزرعه‌ای از رابطه (۶) استفاده می‌شود:

$$C = \frac{vwe}{10} \quad (6)$$

که  $C$  ظرفیت مزرعه‌ای بر حسب هکتار بر ساعت،  $v$  سرعت پیشروی ماشین بر حسب کیلومتر بر ساعت،  $w$  عرض کار ماشین بر حسب متر و  $e$  بازده مزرعه‌ای بر حسب درصد می‌باشد. همچنین جرم ماده برداشت شده در واحد زمان را ظرفیت ماده‌ای گویند که به صورت کیلوگرم بر ساعت بیان می‌گردد. ظرفیت مزرعه‌ای به ازای شیب‌های مختلف الک در جدول ۵ ارائه شده است.

همانطوری که از جدول مشخص است، افزایش دامنه حرکت و همچنین افزایش سرعت مکش تاثیر منفی بر روی ظرفیت مزرعه-ای دارد.

**جدول ۵- ظرفیت مزرعه‌ای به ازای شیب‌های مختلف الک**

**Table 5- Farm capacity in various sieve slopes**

ظرفیت مزرعه‌ای برای شیب الک ۵ درجه (هکتار در ساعت)					
Material capacity in sieve angle of 5 (he.hr <sup>-1</sup> )					
دامنه حرکت (سانتی متر)					
Range (cm)					
		3.5	5	7	
مکش فن (متر بر ثانیه) fan suction(m.s <sup>-1</sup> )	8	0.105	0.103	0.102	
	12	0.100	0.985	0.0975	
	16	0.099	0.097	0.0965	

**ظرفیت مزرعه‌ای برای شیب الک ۱۰ درجه (هکتار در ساعت)**

**Material capacity in sieve angle of 10 (he.hr<sup>-1</sup>)**

دامنه حرکت (سانتی متر)					
Range (cm)					
		3.5	5	7	
مکش فن (متر بر ثانیه) fan suction(m.s <sup>-1</sup> )	8	0.1035	0.102	0.100	
	12	0.098	0.097	0.0955	
	16	0.097	0.096	0.095	

**ظرفیت مزرعه‌ای برای شیب الک ۱۵ درجه (هکتار در ساعت)**

**Material capacity in sieve angle of 15 (he.hr<sup>-1</sup>)**

دامنه حرکت (سانتی متر)					
Range (cm)					
		3.5	5	7	
مکش فن (متر بر ثانیه) fan suction(m.s <sup>-1</sup> )	8	0.098	0.096	0.0935	
	12	0.097	0.095	0.091	
	16	0.096	0.0935	0.089	

همچنین ظرفیت ماده‌ای به ازای شیب‌های مختلف الک در جدول ۶ ارائه شده است. در این مورد نیز افزایش دامنه حرکت و همچنین افزایش سرعت مکش، سبب کاهش ظرفیت مزرعه‌ای در شرایط مختلف شده است.

**جدول ۶- ظرفیت ماده‌ای به ازای شیب‌های مختلف الک**

**Table 6- Material capacity in various sieve slopes**

ظرفیت ماده‌ای برای شیب الک ۵ درجه (کیلوگرم بر ساعت)					
Farm capacity in sieve angle of 5 (kg.hr <sup>-1</sup> )					
دامنه حرکت (سانتی متر)					
Range (cm)					
		3.5	5	7	
مکش فن (متر بر ثانیه) fan suction(m.s <sup>-1</sup> )	8	509	496	492	
	12	486	477	474	
	16	473	458	447	

**ظرفیت ماده‌ای برای شیب الک ۱۰ درجه (کیلوگرم بر ساعت)**

**Farm capacity in sieve angle of 10 (kg.hr<sup>-1</sup>)**

|--|--|--|--|--|



		دامنه حرکت (سانتی متر)		
		Range (cm)		
		3.5	5	7
مکش فن (متر بر ثانیه)	8	501	492	488
fan suction(m.s <sup>-1</sup> )	12	484	476	471
	16	468	452	445

ظرفیت ماده‌ای برای شیب الک ۱۵ درجه (کیلوگرم بر ساعت)  
Farm capacity in sieve angle of 15 (kg.hr<sup>-1</sup>)

		دامنه حرکت (سانتی متر)		
		Range (cm)		
		3.5	5	7
مکش فن (متر بر ثانیه)	8	476	470	466
fan suction(m.s <sup>-1</sup> )	12	468	463	460
	16	461	454	439

### نتیجه گیری کلی

در این پژوهش، تاثیر چند فاکتور موثر بخش جداسازی ماشین خرمن کوب شامل تاثیر شیب الک، دامنه حرکت الک و همچنین سرعت مکش بر روی بازده تمیز کردن و نرخ از دست دادن بادام زمینی مورد تست و ارزیابی قرار گرفت. علاوه بر موارد بیان شده به بررسی تاثیر فاکتورهای آزمایشی بر ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای پرداخته شد. با افزایش شیب الک سرعت جابجایی مواد بر روی الک افزایش یافت. بازده تمیز کردن با افزایش زاویه الک به صورت شدیدی کاهش یافت. همچنین افزایش دامنه حرکت الک، سبب کاهش یافتن شدید بازده تمیز کردن گردید. همچنین با افزایش سرعت مکش فن، بازده تمیز کردن به سرعت کاهش یافت. افزایش دامنه حرکت الک و سرعت مکش، سبب افزایش نرخ از دست دادن بادام زمینی شد. لازم به ذکر است، افزایش فاکتورهای آزمایشی، تاثیر منفی بر روی ظرفیت مزرعه‌ای و ظرفیت ماده‌ای نشان داد. به عنوان نتیجه گیری کلی، دامنه حرکت الک بیشترین تاثیر و زاویه حرکت الک کمترین تاثیر را بر بازده تمیز کردن دارند. همچنین دامنه حرکت الک بیشترین تاثیر و زاویه حرکت الک کمترین تاثیر را بر نرخ از دست دادن بادام زمینی دارند.

### منابع

1. Abdi, R. and A, Jalali. 2013. Mathematical model for prediction combine harvester header losses. International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS), 5(5): 549-552.
2. Aboegela, M. A. and K. H, Mourad. 2021. Development a Locale Thresher Machine for Separating Peanut Crop. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 12(3): 131-135.
3. Agricultural Jihad Statistics, Crop products, 2020, Iran.
4. Ali, K. A. M., W. Zong , H. Md-Tahir, L. Ma, and L. Yang. 2021. Design, Simulation and Experimentation of an Axial Flow Sunflower-Threshing Machine with an Attached Screw Conveyor. Applied Sciences, 11(14): 6312.

5. Anco, D. J., J. S. Thomas, D. L. Jordan, B. B. Shew, W. S. Monfort, H. L. Mehl, and H. L. Campbell. 2020. Peanut yield loss in the presence of defoliation caused by late or early leaf spot. *Plant disease*, 104(5): 1390-1399.
6. Bello, B., A. Tokan, D. J. Jiya, and A. I. Musa. 2019. Design Model of Automated Groundnut Threshing Machine. *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 8(1): 19-24.
7. Benjamin, B., E. D. A. Tokan, and J. DJiya. 2019. Design and Fabrication of an Automated Groundnut Threshing Machine. *International Journal of Mechatronics, Electrical and Computer Technology (IJMEC)*, 9(34): 4383-4400.
8. Dobрева, I. D., H. A. Ruiz-Guzman, I. Barrios-Perez, T. Adams, B. L. Teare, P. Payton, and D. B. Hays. 2021. Thresholding Analysis and Feature Extraction from 3D Ground Penetrating Radar Data for Noninvasive Assessment of Peanut Yield. *Remote Sensing*, 13(10): 18-36.
9. El-Awady, M. N., I. Yehia, M. T. Ebaid, and E. M. Arif. 2009. Development of Rice Cleaner for Reduced Impurities and Losses. *Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*, 40(3): 15-29.
10. Fu, J., Z. Chen, L. Han, and L. Ren. 2018. Review of grain threshing theory and technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(3): 12-20.
11. Goel, A. K., D. Behera, S. Swain, and B. K. Behera. 2009. Performance evaluation of a low cost manual sunflower thresher. *Indian Journal of Agricultural Research*. 43(1): 37-41.
12. Gol, A. K. and S. K. Nada. 1991. Performance of power operated groundnut stripper. *AMA*, 22(3): 25-28.
13. Guzman, J. D., Petingco, M. C and A. D. Dom-oguen. 2019. Peanut threshing and shelling machines for community-based peanut enterprises in developing countries. *American Society of Agricultural and Biological Engineers conference, Boston, Massachusetts July 7- July 10*.
14. Huynh, V. M., T. Powell, and J. N. Siddal. 1981. Threshing and separating process- A mathematical model. *Trans. ASAE*, 25 (1): 62-73.
15. Karlen, D. L., S. J. Birrell, J. M. Johnson, S. L. Osborne, T. E. Schumacher, G. E. Varvel, and E. D. Nafziger, . 2014. Multilocation corn stover harvest effects on crop yields and nutrient removal. *BioEnergy Research*, 7(2): 528-539.
16. Kaul, R. N., and C. O. Egbo .1985. *Introduction to Agricultural Mechanization*. First edition. Macmillan Education Ltd. London.
17. Mahmood, Y., G. Rao, P. Singh, and H. Chaudhary. 2019. Design Modification for Anti-choking Mechanism in Thresher Machine. *Springer Singapore*. 585-593.
18. Pishgar-Komleh, S. H., A. Keyhani, M. R. Mostofi-Sarkari, and A. Jafari. 2013. Assessment and determination of seed corn combine harvesting losses and energy consumption. *Elixir Agriculture*, 54(2013): 12631-12637.
19. Reddy, K. M., D. V. Kumar, B. R. Reddy, and B. S. Reddy. 2013. Performance evaluation of groundnut thresher for freshly harvested crop. *International Journal of Agricultural Engineering*, 6(1): 67-70.
20. Senthilkumar, T., D. M. Jesudas, and D. Asokan. 2017. Performance Evaluation of Self-Propelled Groundnut Combine. *Agricultural Mechanization In Asia, Africa, And Latin America*, 48(1): 76-89.
21. Singh, A., and S.R. Verma. 1972. Development and performance evaluation of an Experimental groundnut thresher. *Journal of Agriculture. Engineering*, 1(3): 25-29.

22. Srinivasan, M., S. N. Sai, A. Alexander, N. Prabhakaran, C. Gokul, and G. Visalaxi. 2021. Development of peanut separator and thruster. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing.
23. Sudajan, V. M., K. Salokhea, and A. Triratanasirichai. 2002. Effect of type of drum, drum speed and feed rate on sunflower threshing. Biosystems Engineering, 83 (4): 413- 421.
24. Taghinazhad, J., and S. Rahmani. 2022. Technical evaluation of three methods of manual, semi-mechanized and mechanized peanut harvesting in Moghan. Journal of agricultural machinery. (In persian).
25. Vejasit, A., and V.M. Salokhe. 2004. Studies on machine-crop parameters of an axial flow thresher for threshing soybean". Agricultural Engineering International, the CIGR Journal, 4(1): 1-12.
26. Vennela, B., C. Ramana, M. V. Ramana, S. J. Reddy, S. Kalleemullah, and K. L. Kumari. 2018. Studies on Harvesting and Threshing Parameters of Available Tractor Operated Groundnut Digger-Shaker and Fresh Pod Thresher. International Journal Of Current Microbiology And Applied Sciences, 7(11): 3517-3525.