



Original Article

Separating Between Potatoes and Clods Using the Coefficient of Restitution

Shamsollah Abdollah pour¹ *, Asghar Mahmoudi¹

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Coefficient of Restitution,
Potato Harvesting,
Separation,
Stones and Clods

Potato is one of the most valuable foods, after wheat, rice and corn, it is the fourth major crop in the world. Potato harvesting is one of the expensive and sensitive steps. In Iran, due to the lack of harvesting machines suitable for the fields of the country (the presence of stones and lumps and lack of humidity control, shortage and high wages of workers) the area under potato cultivation is small. Separating stones and lumps from potatoes and damaging the tubers are two basic and unavoidable problems of most potato harvesting machines. More separation of stones and lumps often leads to more mechanical damage to potato tubers, and less separation increases labor costs. It is serious that in most of the harvesting machines, several workers are placed next to the potato carrying belt and separate the stone from the potato to minimize the damage. The purpose of this study is to investigate the separation of potato from the potato by using the difference in the coefficient of restitution, in potato and clods. In this research, the effect of different factors on the accuracy of separation of potato tubers from clods was investigated.

Received:

December 02, 2024

Revised:

January 04, 2024

Accepted:

March 12, 2024

* Corresponding author:

shams@tabrizu.ac.ir

Introduction

More than 370 million tons of potatoes are produced in the world every year and it is considered the fourth strategic product of the world after wheat, rice, and corn. Potato is one of the most valuable foods, after wheat, rice, and corn, it is the fourth major crop in the world. In addition to food consumption, it is used to prepare more than 50 kinds of products, including starch, flour, bread, glue, alcohol, cosmetics, canned food, chips, glucose, etc. are used. Potato harvesting is one of the most expensive and sensitive steps. In Iran, the area under potato cultivation is small due to the lack of harvesting machines suitable for the country's fields (the presence of stones and lumps lack of humidity control, shortage, and high wages of workers). Separating stones and lumps from potatoes and damaging the tubers are two basic and unavoidable problems of most potato harvesting machines. More separation of stones and lumps often leads to more mechanical damage to potato tubers, and less separation increases labor costs. It is serious that in most of the harvesting machines, several workers are placed next to the potato carrying belt and separate the stone from the potato to minimize the damage. The purpose of this study is to investigate the separation of potato from the potato by using the difference in the coefficient of restitution, in potato and clods.

Materials and Methods

In this research, a digester with a diameter of 60 cm was used and the volume of the digester was 0.4 cubic meters. The standard volume of the maximum substrate that can be loaded is 0.325 cubic meters. Digester stirring is done by a mechanical stirrer connected to an electric motor in the central part of the top of the cap. The whole digester has a capacity of three layers of materials, each layer has its own sensors. Acidity and temperature sensors collect the relevant variable status and store and transfer it to virtual memory through the electronic control system. The anaerobic digester system in the bioenergy and recycling laboratory unit has been repaired, and a sample of cow manure was prepared from the animal husbandry unit around Tabriz and transferred to the laboratory as a substrate for conducting research. The experiment

How to cite:

Abdollah pour, Sh. and Mahmoudi, A. (2025). *Separating Between Potatoes and Clods Using the Coefficient of Restitution*. Journal of Agricultural Mechanization, 10 (2):1-14. <https://doi.org/10.22034/jam.2025.64717.1306>.



This is an open-access article under the CC BY NC license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)



was done in three repetitions, and in each repetition, 150 kg of fresh animal waste was poured into the digester tank with 150 liters of water. Then, to add methanogenic microorganisms to the substrate, 10% of the total weight of the tank (substrate), i.e. 30 kg of animal rumen, was prepared and added. Each repetition of this process continued for 30 days, and the temperature inside the tank was kept at the same temperature as the outside environment (30 degrees Celsius) in the first repetition, and at 35 degrees Celsius in the second and third repetitions. Mixing was done automatically for 5 minutes only in the second and third repetitions and every 6 hours, and the mixing speed was set to 100 and 150 rpm, respectively. After the system started working, gas was discharged twice a day (every 12 hours) according to the production rate and pressure. The total amount of methane produced until that day was measured on the meter and the percentage of methane gas produced daily was measured by the methanometer. Also, in this research, using computational fluid dynamics (CFD), the prediction of the kinetic process of biogas production from animal waste and the provision of the appropriate stirring cycle during the anaerobic digestion process was investigated. In the initial stages of the work, data related to an anaerobic digester with an agitator, and mixing speeds of 0, 100, and 150 rpm were recorded for one month, and the measured characteristics were converted into the inputs of the ADM1 model. Then, the initial values that were reported during the start-up stage of the digester were estimated.

Results and Discussion

The results of investigating the effects of the factors show that the effect of all 5 investigated factors on the separation accuracy is significant at the five percent level. Also, the investigation of the mutual effects of the factors shows that the investigated factors have a 5-way interaction effect on the separation accuracy of the system, in this case, there is no need to investigate the double, triple, and quadruple interaction effects to analyze the results. The best separation percentage was obtained at a rotational speed of 36 rpm and a distance of 34 cm from the cylinder axis to the separator and the steel cylinder. Maintaining high-efficiency values requires a coordinated increase in the linear speed of the conveyor belt with the rotational speed of the cylinder.

Conclusion

For better separation, the horizontal distance between the axis of the conveyor belt and the rotating cylinder should be adjusted, because it changes the angle of impact of the material on the cylinder, so it is useful in the amount of effective separation. This distance is determined experimentally. By comparing the average results, it can be seen that the rotational speed of the cylinder alone does not have a specific effect on the separation rate, and the tests conducted at all three levels of the desired rotational speed have led to optimal results. In other words, to achieve the desired result for separation, any rotational speed value can be used in combination with suitable values for other factors. It seems that the type of cylinder does not have much effect on the separation accuracy of the system, because the change of the kind of cylinder changes the amount of the coefficient of separation, but what is important for the separation index is the difference of the coefficient of separation of potatoes and lumps. Also, the amount of mechanical damage to the glands is very important. Its goal is to obtain the highest percentage of separation with the least amount of mechanical damage. The results show that the best separation accuracy is achieved with a steel cylinder, but when materials made of rubber and unbreakable plastic were used as treatment, it was observed that there is no significant difference in the results obtained, only the advantage that these materials have over steel is that they reduce the amount of possible mechanical damage. The horizontal distance of the axis of the conveyor belt from the axis of the cylinder is one of the factors that affect the separation accuracy at the level of 1% and 5%. The comparison of the average values of separation percentage shows that this factor has a significant effect on the separation percentage. Changing the horizontal distance of the cylinder axis from the axis of the conveyor belt causes a change in the material collision angle. Increasing the linear speed of the conveyor belt causes the materials to be thrown to a greater distance, and if the rotational speed of the cylinder and the distance of the cylinder from the conveyor belt are adjusted in appropriate values, the distance of the cylinder from the divider will be the determining factor in the efficiency.



جداسازی سیب‌زمینی از کلوخ با استفاده از ضریب برجهندگی

شمس اله عبدالله پور^{۱*}، اصغر محمودی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۲

۱- گروه مهندسی بیوسیستم - دانشکده کشاورزی - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران

* نویسنده مسئول: E-mail: Shams@tabrizu.ac.ir

چکیده

عملیات برداشت سیب‌زمینی یکی از مراحل پرهزینه و حساس می‌باشد. در ایران به دلیل نبود ماشین برداشت متناسب با مزارع (وجود سنگ و کلوخ و عدم کنترل رطوبت، کمبود و دستمزد بالای کارگر) سطح زیر کشت سیب‌زمینی کم است. جدا کردن سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی و آسیب رسیدن به غده‌های سیب‌زمینی، دو مشکل اساسی اکثر ماشین‌های برداشت سیب‌زمینی است. جداسازی همه سنگ و کلوخ‌ها منجر به صدمات مکانیکی بیش‌تر به غده‌های سیب‌زمینی می‌شود و جداسازی کمتر هزینه‌های کارگری را افزایش می‌دهد. این مشکل به اندازه‌ای جدی است که در اکثر ماشین‌های برداشت، چندین کارگر در کنار نقاله حامل سیب‌زمینی قرار گرفته و اقدام به جداسازی سنگ و کلوخ از سیب‌زمینی می‌نمایند تا صدمات به حداقل برسد. هدف از این مطالعه، تحقیق در مورد جداسازی سیب‌زمینی از کلوخ با استفاده از تفاوت در خاصیت ضریب برجهندگی (Coefficient Of Restitution) است. بدین منظور از مکانیزمی متشکل از یک استوانه دوار که در مقابل تسمه‌نقاله‌ی حامل مخلوط سیب‌زمینی و کلوخ دوران می‌نماید استفاده شد. مخلوط سیب‌زمینی و کلوخ پس از عبور از روی تسمه نقاله با سطح استوانه برخورد کرده و در اثر اختلاف ضریب برجهندگی، غده‌های سیب‌زمینی و کلوخ‌ها به فواصل متفاوتی پرتاب می‌شوند. عواملی که بر میزان ضریب برجهندگی مؤثرند، عبارتند از: سرعت دورانی استوانه دوار، سرعت خطی تسمه‌نقاله، جنس روکش استوانه دوار و فاصله پرتاب غده‌ها. در این مطالعه تاثیر هر یک از این عوامل بر ضریب برجهندگی و درصد جدایش غده‌ها بررسی شد. تیمارهای مورد مطالعه سرعت خطی تسمه‌نقاله در سه سطح ۰/۳، ۰/۴۵ و ۰/۶ متر بر ثانیه سرعت دورانی استوانه در سه سطح ۳۶، ۵۸ و ۷۵ دور در دقیقه (جنس روکش استوانه در سه سطح (استوانه فولادی، لاستیکی و پلاستیک نشکن) فاصله افقی محور تسمه‌نقاله و استوانه در سه سطح ۰، ۹ و ۱۳ سانتی‌متر و فاصله افقی محور استوانه از جداکننده در سه سطح ۲۸، ۳۴ و ۴۰ سانتی‌متر مورد آزمون قرار گرفتند. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد.

کلمات کلیدی: برداشت سیب‌زمینی، جداسازی، سنگ و کلوخ، ضریب برجهندگی

۱- مقدمه

که سنگ از میان آن‌ها خیلی آسانتر از سیب‌زمینی عبور می‌کند انجام گرفت.

- بر اساس اختلاف سرعت حد سنگ و سیب‌زمینی.
- بر اساس اختلاف دانسیته سیب‌زمینی، کلوخ و سنگ.
- بر اساس اختلاف در پاسخ به امواج الکترومغناطیسی، نوری، اشعه گاما و اشعه X، هدایت الکتریکی و ...
- بر اساس اختلاف سفتی محصولات که جدا می‌شوند.

جداسازی غده‌های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از کلوخ و سنگ در دستگاه برداشت سیب‌زمینی مشکل است. در یک مطالعه برای بهبود جداسازی آیرودینامیکی، خواص محصول همانند سرعت حد غده سیب‌زمینی، ضریب پسا، عدد رینولدز، قطر کره معادل و ضریب شکل برای طراحی مکانیزم جداکننده بهتر هوا در انواع غده‌های سیب‌زمینی از سنگ و کلوخ مورد بررسی قرار گرفت. اندازه غده به طور مثبت بر میانگین هندسی قطر و جرم غده تأثیر می‌گذارد. وارپته بر چگالی غده تأثیرگذار بود. مقادیر میانگین خواص آیرودینامیکی وارپته‌های آزمایش شده با افزایش اندازه غده افزایش یافت. مقادیر سرعت نهایی به‌دست‌آمده برای غده‌های سیب‌زمینی کمتر از حد انتظار برای این محصول در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی بود لذا جریان هوا برای جداسازی غده‌ها از سنگ و کلوخ استفاده شد (Abedi, Abdollahpour, & Bakhtiari, 2019a).

یکی از خواصی که در جداسازی سیب‌زمینی از کلوخ مورد استفاده قرار می‌گیرد، ضریب برجهندگی است (coefficient of restitution). این عدد بدون واحد بوده که مقدار آن از صفر تا یک متغیر است.

ضریب برجهندگی (e) نتیجه قانون تجربی ضربه نیوتن است بدین معنی که سرعت نسبی دو جسم قبل از برخورد با سرعت نسبی آن‌ها پس از برخورد متناسب است (رابطه ۱).

$$e = \frac{v_s}{v_a} \quad (1)$$

v_a : سرعت نسبی قبل از برخورد (ms^{-1})

v_s : سرعت نسبی پس از برخورد (ms^{-1})

e : ضریب برجهندگی (بدون بعد)

اگر سرعت هریک از اجسام قبل و بعد از ضربه در نظر گرفته شود معادله به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$e = \frac{v_B - v_A}{u_B - u_A} \quad (2)$$

u_A : سرعت اولیه جسم A (ms^{-1})

u_B : سرعت اولیه جسم B (ms^{-1})

v_A : سرعت نهایی جسم A (ms^{-1})

v_B : سرعت نهایی جسم B (ms^{-1})

سیب‌زمینی یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی به ویژه در مناطق با آب و هوای معتدل است. غده‌ها منبع غنی از مواد معدنی (K, P, Mg, Na, Ca و غیره) و ویتامین‌ها (به ویژه ویتامین C, سیس ویتامین‌های E, A, H و B) هستند. طبق داده‌های FAOSstat، در دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱، سیب زمینی به طور متوسط بیش از ۱۷/۲ میلیون هکتار در جهان با میانگین عملکرد غده ۲۱/۵ تن در هکتار کشت شده است (Varga & Djurovic, 2023) سالانه بیش از ۳۷۰ میلیون تن سیب‌زمینی در جهان تولید می‌شود که بیش از ۵۰ درصد آن در آسیا تولید می‌شود. بزرگترین تولیدکنندگان سیب‌زمینی در جهان چین و پس از آن هند، فدراسیون روسیه، اوکراین و ایالات متحده آمریکا هستند.

در ایران در از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ سطح زیرکشت سیب‌زمینی از ۵۷ به ۱۵۲ هزار هکتار افزایش و معادل ۱۶۸ درصد رشد داشته است. این محصول (سال ۱۳۹۹) با سطح زیرکشت ۱۵۲ هزار هکتار و اختصاص ۲/۴۳ درصد از سطح کل و ۵/۹۵ درصد از کل تولید محصولات زراعی، جایگاه ویژه‌ای در بوم‌نظامهای زراعی و تولید کشور داشته است (Mohammadi, 2023). مدت هاست که محققین کشاورزی و صنعت به دنبال ساخت یک ماشین برای جداکردن سیب‌زمینی از سنگ و کلوخ می‌باشند. اولین قدم برای ساخت چنین دستگاهی، ایجاد تمایز بین غده‌های سیب‌زمینی و این نوع از سنگ‌ها و کلوخ‌ها می‌باشد. ساخت یک سیستم که بتواند سنگ و کلوخ را از سیب‌زمینی جدا کند کار پر زحمت و پیچیده‌ای است، چون سیب‌زمینی از لحاظ شکل، اندازه و گاه رنگ، کاملاً متغیر بوده و در شرایط برداشت بی شباهت به سنگ و کلوخ مزرعه نیست. غده‌هایی از سیب‌زمینی که سطوح آنها به صورت جزئی یا کلی با گل و لای پوشیده است، مانع دیگری را در مسیر تکامل چنین سیستمی ایجاد می‌کنند. در ادامه به تعدادی از پژوهش‌های انجام یافته در این زمینه پرداخته می‌شود. روش‌هایی که در چندین دهه اخیر برای جداسازی سیب‌زمینی از کلوخ و سنگ به کار گرفته شده‌اند را می‌توان به دسته‌های زیر طبقه‌بندی کرد (Abdollah Pour, Mahmoudi, & Javadi, 2011; Abedi, Abdollahpour, & Bakhtiari, 2019b).

- بر اساس اختلاف در شکل و ضریب اصطکاک و مقاومت غلته‌های کلوخ و سنگ در مقایسه با سیب‌زمینی. بسیاری از محققان از نقاله‌های شیب‌دار یا نقاله‌های افقی با نیروهای افزایشی (uplift) که توسط جریان هوا یا برس‌های دوار ایجاد شده‌اند استفاده کردند.

- بر اساس اختلاف خواص جرمی سیب‌زمینی و سنگ. این کار با نگهدارنده‌های الاستیک متعدد یا بوسیله برس‌هایی

خاک استفاده شد. هنگامی که نسبت خاک-سیبزمینی از ۱۸/۰۷٪ به ۳۸/۵۵٪ افزایش می‌یابد، اوج شتاب از ۲۸/۲۰ گرم تجاوز نمی‌کند. اوج شتاب زمانی که نسبت خاک-سیبزمینی ۱۰۰٪ بود به ۱۰۵/۳۳ گرم رسید. قابل توجه است که تأثیر این نسبت بر تعداد ضربه‌ها و شتاب اوج ضربه بیشتر از سرعت اجرای غربال جداسازی بود. این پژوهش شروع خوبی برای بررسی بیشتر فن‌آوری به حداقل رساندن کوفتگی و بهینه‌سازی جداسازی خاک-سیبزمینی ارائه می‌دهد (Wei et al., 2019).

با جابجایی نسل بعدی کشاورزان به شهرها، نیروی کار کشاورزی رو به کاهش و پیری است. در نتیجه، مزارع به شدت به نوآوری نیاز دارند، به ویژه از منظر فناوری. لذا برخی پژوهشگران بر آن شده‌اند تا آینده ماشین‌های برداشت این محصول پرارزش را مورد مطالعه قرار دهند. آن‌ها بر بررسی پیشرفت‌های جهانی در برداشت سیبزمینی، با تأکید بر مکاترونیک، استفاده از سیستم‌های هوشمند و فرصت‌هایی که از برنامه‌های کاربردی استفاده از اینترنت اشیا (IoT) ناشی می‌شود، پرداخته‌اند و انتشارات علمی در سراسر جهان در پنج سال گذشته را بررسی کرده‌اند. آن‌ها بررسی خود را با ارائه بحثی در مورد روندهای آتی که از تجزیه و تحلیل مطالعات به دست آورده‌اند، پایان داده‌اند (Johnson & Auat Cheein, 2023). برخی محققین جداکردن سنگ و کلوخ از سیبزمینی و یا خرد کردن کلوخ را در مرحله کاشت مورد بررسی قرار دادند و اثر آن بر عملکرد ماشین‌های برداشت را زیر نظر گرفتند. در این خصوص توسعه یک جداکننده سنگ کم‌هزینه برای یک سیستم کشت سیبزمینی در هوکایدو مورد بررسی قرار گرفت. مقدار کلوخه‌های انتقال یافته به شیارها و ظرفیت مزرعه‌ای جداکننده توسعه‌یافته در این تحقیق به ترتیب ۵/۶ تن در هکتار و ۰/۴۵ هکتار در ساعت بود. مزیت این دستگاه نسبت به انواع متداول این است که کار با این ماشین موجب می‌شود سنگ و کلوخ کمتری با سیبزمینی مخلوط شود که به موجب آن عملکرد ماشین برداشت سیبزمینی افزایش پیدا می‌کند. همچنین نیروی کار برای برداشت سیبزمینی را تقریباً ۲۸٪ کاهش می‌دهد (Ichiki et al., 2013). در پژوهش دیگری شکل و اندازه به عنوان معیاری برای جداسازی سنگ و کلوخ از سیبزمینی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تجربی نشان داد که جداسازی کلوخ و سنگ از غده‌های سیبزمینی به ترتیب بر اساس ویژگی‌های رنگ و شکل موثر است. ترکیبی از این دو ویژگی می‌تواند میزان دقت طبقه‌بندی را به ویژه برای غده‌ها و کلوخ‌ها افزایش دهد. میزان دقت کلی ۹۷/۸٪ در سال ۲۰۱۶ و ۹۸/۱٪ در سال ۲۰۱۷ بود. واضح بود که ویژگی رنگ در مدل طبقه‌بندی غالب است. ویژگی شکل بر اساس تصویر تصحیح کننده در طبقه‌بندی اثر مثبت نشان داد. مشخص شد که ترکیبی از ویژگی‌های شکل و رنگ می‌تواند عملکرد طبقه‌بندی را به وضوح بهبود بخشد (Geng, Xiao, Gao, & Rao, 2019). جداسازی کلوخ و سنگ از غده یکی از چالش‌های اصلی در

عملیات برداشت محصول سیبزمینی یکی از مشکل‌ترین، کاربرترین و حساس‌ترین مراحل می‌باشد. محصول به همراه حجم زیادی سنگ و کلوخ وارد کمباین سیبزمینی شده و در این بین جداسازی سیبزمینی از سنگ و کلوخ‌های هم اندازه یک مشکل اساسی به شمار می‌رود (Hosseini et al., 2010). یکی از مراحل برداشت سیبزمینی جداسازی آن از کلوخ و سنگ است که توسط ماشین‌های برداشت، براساس اصطکاک و ارتعاش به صورت کامل انجام نمی‌شود و برای تکمیل جداسازی از نیروی کارگری استفاده می‌شود. در این پژوهش، از روش پردازش تصویر و ماشین بردار پشتیبان برای جداسازی سیبزمینی از کلوخ و سنگ استفاده شده است (Khazaei et al., 2018). جدا کردن کلوخ از سیبزمینی و آسیب رسیدن به غده‌های سیبزمینی، دو مشکل اساسی و گریزناپذیر اکثر ماشین‌های برداشت سیبزمینی است. جداسازی بیشتر سنگ و کلوخ اغلب منجر به صدمات مکانیکی بیشتر به غده‌های سیبزمینی می‌شود و جداسازی کمتر، هزینه‌های کارگری را افزایش می‌دهد (Fereydon, 1359). به منظور کشف مکانیسم آسیب و بهبود عملکرد جداسازی در فرآیند جداسازی مخلوط سیبزمینی-خاک، آزمایشی روی یک بستر داخلی انجام شد. دستگاه ضبط ضربه و فناوری دوربین با سرعت بالا به منظور به دست آوردن دینامیک لحظه‌ای مخلوط سیبزمینی-خاک برای تجزیه و تحلیل جزئیات داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. پنج شدت ارتعاش با توجه به فرکانس و دامنه ارتعاش تعریف شد. مشخص شد که میانگین تعداد ضربه‌ها و حداکثر شتاب ضربه با افزایش سطح شدت ارتعاش به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. در نتیجه، عملکرد جداسازی به طور قابل توجهی افزایش یافت، اما میزان کوفتگی نیز تا حدی افزایش یافت (Wei et al., 2019). یک دستگاه جداسازی خاک-سیبزمینی با روتور ($RVPSD^1$) ارتعاشی برای بهبود جداسازی سیبزمینی از خاک و کاهش میزان آسیب سیبزمینی پیشنهاد شده است. راندمان جداسازی سیبزمینی و خاک و میزان خسارت سیبزمینی به عنوان شاخص‌های ارزیابی انتخاب شدند و یک مدل شبیه‌سازی جداسازی خاک سیبزمینی بر اساس روش المان گسسته (DEM^2) و دینامیک چند بدنه (MBD^3) با توجه به ساختار و اصل کار ساخته شد. ترکیب بهینه پارامترهای کاری $RVPSD$ از طریق آزمایش شبیه‌سازی به دست آمد. نتایج نشان داد که پارامترهای کاری بهینه موقعیت نقطه ارتعاش، سرعت انتقال زنجیر بالا بر جداسازی خاک سیبزمینی، دامنه روتور و فرکانس ارتعاش روتور به ترتیب ۶۴۶/۵ میلی‌متر، ۱/۰۸ متر بر ثانیه، ۲۶/۷ میلی‌متر و ۵ هرتز است (Chen et al., 2024). در برخی مطالعات ملاحظاتی در خصوص ضربه‌گیری خاک از سیبزمینی در داخل ماشین‌های برداشت در نظر گرفته شده است. ویژگی‌های ضربه و فرآیندهای حرکتی نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. به همین منظور یک دستگاه ضبط ضربه و فناوری دوربین با سرعت بالا برای به دست آوردن دینامیک آنی مخلوط سیبزمینی و

³ Multibody Dynamics

¹ rotor vibration potato-soil separation device

² Discrete Element Method



شکل ۱- اجزای مکانیکی تشکیل دهنده سامانه جداسازی شامل تسمه نقاله، استوانه دوار همراه با سیستم انتقال توان هر یک (الکتروموتور و جعبه دنده)

Fig 1. The mechanical components that make up the separation system, including the conveyor belt, rotating cylinders, and each power transmission system (electromotor and gearbox)

برای انجام آزمایش‌ها ۳۰۰ کیلوگرم سیبزمینی رقم آگریا تهیه شد. برای شبیه‌سازی شرایط برداشت محصول، از خاک قسمتی از مزارع ایستگاه خلعت پوشان استفاده شد. با توجه به اینکه انتقال کلوخ‌ها از مزرعه به آزمایشگاه منجر به تخریب کلوخ‌ها تحت ارتعاشات وارده می‌شود، خاک مزرعه در رطوبت برداشت محصول سیبزمینی شخم زده شد و کلوخ‌های ایجاد شده بصورت مخلوط با غده‌های سیبزمینی برای انجام آزمایش‌ها استفاده شدند. لازم به ذکر است که کلوخ‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها به صورت تصادفی انتخاب شدند (شکل ۲). غده‌های سیبزمینی پس از انتقال به محیط آزمایشگاه شماره‌گذاری و توزین شدند. همچنین ابعاد مختلف آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. غده‌های با وزن کمتر از ۴۰ گرم از بین نمونه‌های آزمون حذف شدند. غده‌های سیبزمینی بر حسب جرم غده‌ها به سه دسته مختلف تقسیم‌بندی شدند:

غده‌های کوچک: غده‌های با جرم کمتر از ۱۷۰ گرم، غده‌های متوسط: غده‌های با جرم بیشتر از ۱۷۰ گرم و کمتر از ۳۰۰ گرم، غده‌های بزرگ: غده‌های با جرم بیشتر از ۳۰۰ گرم

برای تعیین ترکیب غده‌های سیبزمینی در مخلوط مواد آزمون در مخلوط سیبزمینی و کلوخ که در هر آزمایش استفاده می‌شد؛ ۶ غده کوچک، ۳ غده متوسط و ۱ غده بزرگ مورد استفاده قرار گرفت. کلوخ‌ها نیز توزین شدند و تعداد آن‌ها در هر آزمایش به اندازه نصف

برداشت سیبزمینی است. در تحقیقی دیگر از تکنیک پردازش تصویر برای جداسازی هوشمند غده‌های سیبزمینی از کلوخ و سنگ استفاده شد. شرایط تصویربرداری بهینه با تجزیه و تحلیل هیستوگرام حاصل از آزمایش‌ها پیدا شد. پس از پیش‌پردازش تصویر، ویژگی‌های رنگ و بافت از فضای رنگی مختلف استخراج و زیرمجموعه‌ای از مؤثرترین ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی با استفاده از روش‌های تحلیل تفکیک خطی و درجه دوم و شبکه‌های عصبی مصنوعی انتخاب شد. استراتژی‌های طبقه‌بندی دوطرفه و سه‌طرفه در نظر گرفته شد و نتایج نشان داد که پردازش تصویر در ترکیب با شبکه‌های عصبی مصنوعی را می‌توان با موفقیت برای جداسازی سیبزمینی از کلوخ و سنگ با دقت قابل قبولی استفاده کرد (Khazaee et al., 2022).

هدف از این مطالعه، جداسازی سیبزمینی از کلوخ با استفاده از تفاوت خاصیت ضریب برجهندگی سیبزمینی و کلوخ روی سطوح مختلف است. عواملی که بر فاصله پرتاب کلوخ و سیبزمینی مؤثرند که به نوعی منجر به جداسازی می‌گردد در این مطالعه بررسی می‌شود. و در حد امکان ترکیب بهینه‌ای از تیمارها برای جداسازی انتخاب شود. به نظر می‌آید ترکیب‌های متفاوتی بدین منظور مناسب باشند.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق یک روش مبتنی بر ضریب برجهندگی برای جداسازی سیبزمینی از کلوخ ارائه می‌شود. برای این منظور سازوکار لازم (شکل ۱) ساخته شد که نمونه‌ها را در یک فاصله طولی جابجا کرده، آن‌ها را روی یک استوانه دوار می‌اندازد، اختلاف ضریب برجهندگی حاصل از برخورد نمونه‌ها سیبزمینی را از کلوخ همراه محصول جدا می‌کند. آزمایش‌ها در مرحله اول کالیبره شد و در مرحله بعدی دقت سیستم برای جداسازی نمونه‌ها بررسی شد.

فاصله افقی محور تسمه نقاله و استوانه (D)

برای تنظیم بهترین فاصله برای حصول جدایش بهینه غده‌های سیب‌زمینی از کلوخ‌ها سه فاصله مختلف با اندازه‌های 6, 9, 13 cm در نظر گرفته شد تغییر مقدار این فاصله باعث تغییر زاویه پرتاب نمونه‌ها روی استوانه می‌گردد.

فاصله افقی محور استوانه از جداکننده (E)

جداکننده وظیفه جدا کردن غده‌های سیب‌زمینی از کلوخ‌ها را در مرحله نهایی بر عهده دارد. مواد مورد آزمون پس از برخورد با استوانه به سمت جداکننده پرتاب می‌شوند و در صورت درست بودن تنظیمات غده‌های سیب‌زمینی و کلوخ‌ها در دو طرف جداکننده می‌افتند. برای بررسی اثر این تیمار بر بازده جداسازی سه سطح 28, 34, 40 cm به روش آزمون و خطا انتخاب شد.

طرح آزمایشی

آزمایش‌ها بر اساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد و آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. برای تغییر سرعت خطی تسمه نقاله از یک اینورتر تک‌فاز به سه فاز با توان اسمی 2.2 kW استفاده شد.

نمونه‌برداری

در هر آزمایش ۱۰ نمونه به صورت تصادفی از میان غده‌های سیب‌زمینی به همراه ۵ کلوخ به ترتیبی که شرح داده شد انتخاب و مورد آزمون قرار گرفتند. سرعت خطی تسمه نقاله توسط اینورتر تنظیم گردید. مواد آزمون روی تسمه نقاله قرار گرفتند و پس از پیمودن مسیر مشخص روی تسمه نقاله با استوانه دوار برخورد می‌کردند که سرعت ثانویه نمونه‌ها بدین سبب زیاد می‌شود.

پس از اتمام هر آزمون تعداد سیب‌زمینی‌های جدا شده و تعداد سیب‌زمینی‌های جدا نشده با احتساب شماره هریک از غده‌ها برای محاسبه جرم غده‌های جدا شده و نشده و همچنین جرم کلوخ‌های جدا شده و جدا نشده اندازه گرفته شد تا بازده جدایش غده‌های سیب‌زمینی از کلوخ بر اساس رابطه ۳ محاسبه شود:

$$E = \frac{P_p}{P_p + P_r} \times \frac{C_r}{C_r + C_p} \quad (3)$$

که در آن:

E: بازده جدایش

P_p : جرم سیب‌زمینی‌های موجود در محصول خروجی، kg

P_r : جرم سیب‌زمینی‌های رد شده با کلوخ‌ها، kg

C_r : جرم کلوخ‌های موجود در خروجی reject، kg

C_p : جرم کلوخ‌های باقی‌مانده به همراه محصول، kg

تعداد غده‌های سیب‌زمینی در نظر گرفته شد. در این حالت نیز تقسیم‌بندی کلوخ‌ها مانند نمونه‌های سیب‌زمینی بود با این تفاوت که معیار تقسیم‌بندی اندکی متفاوت بود:

کلوخ‌های کوچک: کلوخ‌های کوچکتر از ۱۵۰ گرم،
کلوخ‌های متوسط: کلوخ‌های با بیشتر از ۱۵۰ گرم و کمتر از ۳۰۰ گرم
کلوخ‌های بزرگ: کلوخ‌های بیش‌تر از ۳۰۰ گرم و از ترکیب سه کلوخ کوچک، یک کلوخ متوسط و یک کلوخ بزرگ در اجرای آزمایش‌ها استفاده شد.



شکل ۲- نمونه‌ای از مخلوط غده‌های سیب‌زمینی و کلوخ‌های مورد

استفاده در اجرای آزمایش‌ها

Fig 2. A sample of the mixture of potato tubers and lumps used in the experiments

تیمارها

تیمارهای تحقیق شامل سرعت خطی تسمه نقاله (A)، سرعت دورانی استوانه (B)، جنس استوانه (C)، فاصله افقی محور تسمه و استوانه (D) و نیز فاصله افقی محور استوانه از جداکننده (E). هر کدام از فاکتورها در سه سطح در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی و آزمون قرار گرفتند.

سرعت خطی تسمه نقاله (A)

تسمه نقاله سرعت خطی اولیه نمونه‌های آزمون شامل غده‌های سیب‌زمینی و کلوخ‌ها را تأمین می‌کند. در این تحقیق سرعت خطی تسمه نقاله در سه سطح $0.3, 0.45, 0.6 \text{ ms}^{-1}$ در نظر گرفته شد. مزیت تسمه نقاله این است که مواد پس از رسیدن به سرعت تسمه نقاله روی استوانه دوار می‌افتند. بنابراین مواد یک مسیر پرتاب آزاد را دنبال می‌کنند تا روی استوانه بی‌افتند.

سرعت دورانی استوانه (B)

سرعت دورانی مورد نیاز استوانه از طریق یک موتور الکتریکی با دور اسمی ۱۴۰۲ دور بر دقیقه و توان ۰/۵ اسب بخار تأمین شد. سرعت دورانی استوانه نیز در سه سطح 36, 58, 75 rpm برای تأمین سرعت پس از ضربه نمونه‌های آزمون در نظر گرفته شد.

جنس استوانه (C)

برای بررسی اثر جنس استوانه بر میزان برجهندگی نمونه‌های آزمون از سه جنس مختلف با خواص الاستیکی متفاوت استفاده شد که شامل استوانه فولادی، لاستیکی و پلاستیک نشکن می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

اثر سرعت دورانی استوانه بر درصد جدایش

بررسی نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که اثر سرعت دورانی بر دقت جداسازی سیستم در سطح ۱٪ معنی‌دار است ولی با توجه به اینکه فاکتورهای دیگری نیز بر شاخص جداسازی مؤثرند اثر این فاکتور به تنهایی مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. با مقایسه میانگین نتایج مشاهده می‌شود مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با مقایسه میانگین نتایج مشاهده می‌شود که سرعت دورانی استوانه به تنهایی تأثیر مشخصی در میزان جداسازی ندارد و آزمون‌هایی که در هر سه سطح سرعت دورانی مورد نظر انجام گرفته‌اند منجر به حصول نتایج بهینه گردیده‌اند. به عبارت دیگر برای رسیدن به نتیجه مطلوب برای جداسازی می‌توان از هر مقدار سرعت دورانی در ترکیب با مقادیر مناسب برای سایر فاکتورها استفاده کرد.

اثر جنس پوشش استوانه بر درصد جدایش

به نظر می‌رسد جنس استوانه تأثیر چندانی در دقت جداسازی سیستم نداشته باشد زیرا تغییر جنس استوانه میزان ضریب برجهندگی را تغییر می‌دهد ولی آنچه برای شاخص جداسازی مهم است اختلاف مکانیکی وارده بر غده‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. هدف آن است که بیشترین درصد جداسازی با کمترین میزان صدمات مکانیکی حاصل شود. نتایج نشان می‌دهد بهترین دقت جداسازی با استوانه‌ای از جنس فولاد حاصل می‌شود ولی زمانی که از موادی از جنس لاستیک و پلاستیک نشکن به عنوان تیمار استفاده گردید مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری در نتایج به دست آمده وجود ندارد، تنها مزیتی که این مواد نسبت به فولاد دارند این است که میزان صدمات مکانیکی احتمالی را کاهش می‌دهند. این نتایج با تحقیقات (Gan-Mor & Feller et al., 2000) و (Galili, 2000) و (Gan-Mor et al., 1986) و (Chen et al., 2024) و (1988) همسو می‌باشد، چنان‌که ایشان در مطالعات خود از استوانه فولادی برای جداسازی بهره گرفته‌اند.

اثر فاصله افقی محور تسمه نقاله از محور استوانه

فاصله افقی محور تسمه نقاله از محور استوانه یکی از فاکتورهایی است که بر دقت جداسازی در سطح ۱٪ و ۵٪ مؤثر است. مقایسه مقادیر میانگین درصد جداسازی نشان می‌دهد که این فاکتور اثر قابل ملاحظه‌ای بر درصد جدایش دارد. تغییر فاصله افقی محور استوانه از محور تسمه نقاله باعث تغییر در زاویه برخورد مواد می‌شود. (Feller et al., 1985) بیان کردند که زاویه بهینه برخورد مواد روی استوانه دوار بایستی ۴۵ درجه باشد تا بیشترین میزان جداسازی به دست آید. فاصله افقی بین محور استوانه و تقسیم‌کننده نیز در میزان درصد جدایش مؤثر است که بایستی مدنظر قرار گیرد.

مطابق مشاهدات صورت گرفته در آزمایش‌ها با کاهش فاصله افقی استوانه از تسمه نقاله، سیب‌زمینی‌ها و کلوخ‌ها به قسمت‌های جلویی

نتایج بررسی تأثیرات فاکتورها نشان می‌دهد که اثر هر پنج عامل مورد بررسی بر دقت جداسازی در سطح پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۱). همچنین بررسی اثر متقابل فاکتورها نشان می‌دهد که فاکتورهای مورد بررسی بر دقت جداسازی سیستم اثر متقابل پنج‌گانه دارند، در این صورت برای تحلیل نتایج لزومی برای بررسی اثر متقابل دوگانه، سه‌گانه و چهارگانه وجود ندارد و به این دلیل در جدول تجزیه واریانس آورده نشده‌اند.

جدول ۱- تجزیه واریانس تیمارهای مورد مطالعه بر بازده جداسازی

سیب زمینی

Table 1. Variance analysis table of studied treatments on potato separation efficiency

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
Corrected Model	569538.853	242	2353.466	8.851	0.000
Intercept	1106403.226	1	1106403.226	4161.202	0.000
A	96487.989	2	48243.995	181.447	0.000
B	2670.102	2	1335.051	5.021	0.007
C	1770.991	2	885.496	3.330	0.037
D	39356.219	2	19678.110	74.010	0.000
E	176299.959	2	88149.980	331.534	0.000
A * B * C * D * E	21131.209	48	440.234	1.656	0.005
Error	129220.347	486	265.885		
Total	1805162.427	729			
Corrected Total	698759.201	728			

اثر سرعت خطی تسمه نقاله بر درصد جدایش

افزایش سرعت خطی تسمه نقاله سرعت اولیه نمونه‌ها را افزایش می‌دهد. بنابراین زمانی که بر سطح استوانه پرتاب می‌شود در قسمت‌های جلویی استوانه می‌افتد. این کار دقت جداسازی سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد زیرا در این حالت مواد بیشتر تمایل دارند در اثر نیروی وزن خود پایین بیفتند تا اینکه در اثر ضربه وارد شده در اثر برخورد با استوانه بازتاب کنند. برای رفع این حالت بایستی فاصله استوانه از تسمه نقاله افزایش یابد. افزایش بیشتر فاصله سبب می‌شود که مواد اصلاً با سطح استوانه برخورد نکنند بنابراین بایستی فاصله بهینه‌ای در نظر گرفته شود. در پژوهش (Feller et al., 2019) این تأثیرات مشاهده شد هر چند آزمایش فلر و همکاران در مورد پیاز بود. اضافه می‌نماید که دستگاه جداساز آن‌ها نیز مشابه مکانیزم بکار رفته در پژوهش پیش رو بود.

است. با افزایش E بازده افزایش و سپس کاهش می‌یابد. با ادامه افزایش D از ۹ سانتی‌متر به ۱۳ سانتی‌متر، با افزایش سرعت خطی بازده افزایش یافته است. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. بررسی این جدول نشان می‌دهد که حصول و حفظ مقادیر بالای بازده مستلزم تغییر متغیرهای آزمون به تناسب یکدیگر است. افزایش فاصله افقی محور استوانه از محور تسمه نقاله مستلزم افزایش سرعت خطی تسمه نقاله است.

جدول ۲- اثر متقابل پوشش فولادی و سرعت دورانی ۳۶ دور بر دقیقه

Table 2. Interaction effect of steel cover and rotational speed of 36 rpm

$B_1C_1D_1$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	85.033	63.393	8.000
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	70.377	33.383	7.523
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	38.7	0.000	0.000
$B_1C_1D_2$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	71.157	95.412	38.827
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	69.880	100.000	38.837
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	72.017	90.354	38.770
$B_1C_1D_3$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	20.590	2.123	0.000
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	43.787	22.830	1.887
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	53.710	25.837	5.823

بر اساس جدول ۳ در شرایطی که $D=D_1$ است با افزایش سرعت خطی تسمه نقاله بازده افزایش و سپس تا صفر کاهش می‌یابد. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. در شرایطی که $D=D_2$ است با افزایش سرعت خطی، بازده، افزایش می‌یابد. با افزایش E بازده ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است (الگوی تقریباً سهموی). در حالتی که $D=D_3$ است با افزایش سرعت خطی بازده افزایش می‌یابد. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت دورانی استوانه باید سرعت خطی تسمه نقاله، فاصله محور استوانه از تسمه نقاله و فاصله محور استوانه از جدا کننده نیز باید افزایش یابد. غیر از جنس پوشش استوانه دوار تمام متغیرهای آزمون به طور مستقیم بر هم اثر دارند. در کل میزان بازده بیشینه در این حالت (سرعت دورانی استوانه ۵۸ دور بر دقیقه) از حالت قبل کمتر است.

تحلیل جدول ۴ بیانگر آن است که در حالتی که $D=D_1$ است با افزایش سرعت خطی تسمه نقاله، بازده افزایش و سپس کاهش می‌یابد. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. در سطح دوم D با افزایش سطوح A بازده کاهش می‌یابد با افزایش E بازده ابتدا افزایش و سپس کاهش داشته است.

استوانه برخورد می‌کردند در نتیجه تمایل آن‌ها برای پایین افتادن در اثر نیروی ثقل بیشتر از تمایل برای برجهندگی و بازتاب بود. علاوه بر این با افزایش سرعت خطی تسمه نقاله، مواد مورد آزمون در اثر افزایش سرعت اولیه تمایل به پرتاب به فواصل دورتری داشتند، بنابراین در چنین حالتی احتمال برخورد مواد با روی استوانه بسیار پایین بود و حتی در برخی حالات برخوردی صورت نمی‌گرفت. افزون بر این، افزایش فاصله افقی استوانه از تسمه نقاله در حالتی مشابه باعث کاهش بازده جدایش می‌گردد. در این صورت مواد مورد آزمون پس از سقوط از انتهای تسمه نقاله با قسمت عقب استوانه برخورد می‌کنند که بسته به مقدار سرعت خطی تسمه نقاله دو حالت پیش می‌آید:

حالتی که سرعت خطی زیاد باشد: در این صورت مواد در اثر سرعت اولیه بیشتر به فواصل دورتری پرتاب می‌شوند و با توجه به اینکه استوانه در فاصله دورتری از تسمه قرار دارد ممکن است با قسمت میانی استوانه برخورد نمایند. بازپرتاب حاصل از این برخورد ممکن است به برخورد مجدد با سطح استوانه منجر شود یا در صورتیکه سرعت دورانی استوانه به اندازه کافی زیاد باشد به نقاطی در نزدیکی استوانه پرتاب می‌شوند. این مطلب در مورد غده‌های سیب‌زمینی که ضریب برجهندگی بیشتری نسبت به کلوخ دارند صادق است. کلوخ‌ها در اثر برخورد با سطح استوانه قادر به بازپرتاب نیستند و در اثر حرکت دورانی استوانه همراه با آن بر زمین می‌افتند.

حالتی که سرعت خطی کم باشد: در این حالت مواد مورد آزمون سرعت اولیه کمی دارند، بنابراین هنگام افتادن بر روی استوانه تمایل بیشتری برای سقوط آزاد در اثر نیروی ثقل خود دارند. در این حالت بیشتر مواد بخصوص کلوخ‌ها و غده‌های کوچکتر بدون برخورد با استوانه بر زمین می‌افتند.

اثر فاصله افقی استوانه از تقسیم‌کننده (divider)

همان‌گونه که نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد بهترین درصد جدایش مواد در فاصله ۳۴ سانتی‌متری به دست آمد. با در نظر گرفتن ترکیب‌های مختلفی از سایر متغیرهای تحقیق که منجر به جداسازی قابل قبول سیب‌زمینی از کلوخ گردید، جداسازی مطلوب فقط در این فاصله‌ی استوانه از تقسیم‌کننده حاصل شد و این بدین معنی است که این فاکتور عامل مؤثری در جداسازی است. افزایش سرعت خطی تسمه نقاله باعث می‌شود مواد به فاصله دورتری پرتاب شوند و در صورتی که سرعت دورانی استوانه و فاصله استوانه از تسمه نقاله در مقادیر مناسب تنظیم شوند، فاصله استوانه از تقسیم‌کننده عامل تعیین کننده در بازده خواهد بود.

اثر متقابل پوشش فولادی و سرعت دورانی

مطابق جدول ۲ در حالتی که فاصله افقی نقاله از استوانه (D) ۶ سانتی‌متر است، با افزایش سرعت خطی تسمه نقاله بازده کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله محور استوانه از جداکننده بازده کاهش پیدا می‌کند. با افزایش D از ۶ سانتی‌متر به ۹ سانتی‌متر بازده تقریباً ثابت مانده

جدول ۴- اثر متقابل پوشش فولادی و سرعت دورانی ۷۵ دور بر دقیقه

Table 4. Interaction effect of steel cover and rotational speed of 75 rpm

$B_3C_1D_1$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	71.083	33.470	0.000
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	84.433	44.643	0.000
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	8.117	0.000	0.000
$B_3C_1D_2$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	75.697	78.603	45.700
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	55.707	61.600	22.410
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	52.087	41.727	0.000
$B_3C_1D_3$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	91.293	63.800	28.083
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	43.260	29.193	12.930
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	67.377	46.980	20.910

جدول ۳- اثر متقابل پوشش فولادی و سرعت دورانی ۵۸ دور بر دقیقه

Table 3. Interaction effect of steel cover and rotational speed of 58 rpm

$B_2C_1D_1$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	60.512	55.330	0.000
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	82.623	66.097	0.000
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	0.000	0.000	0.000
$B_2C_1D_2$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	50.067	55.073	14.567
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	54.433	79.860	16.513
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	58.333	85.747	46.683
$B_2C_1D_3$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	35.900	9.157	0.000
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	61.990	24.167	22.693
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	66.940	26.123	24.40

اثر متقابل پوشش لاستیکی و سرعت دورانی

در حالتی که $D=D_1$ باشد با افزایش سرعت خطی بازده ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. با افزایش E بازده افزایش و سپس کاهش می‌یابد. با افزایش D از ۶ به ۹ cm، با افزایش سرعت خطی بازده ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد ولی در کل نسبت به حالت قبل بازده کاهش یافته است. با افزایش E بازده ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. با ادامه افزایش D به ۱۳ cm با افزایش سرعت خطی نقاله بازده کاهش می‌یابد. با افزایش E بازده افزایش و سپس کاهش می‌یابد (جدول ۵).

مطابق جدول ۶ در $D=D_1$ با افزایش سرعت خطی بازده کاهش می‌یابد. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. با افزایش D از ۶ به ۹ cm، افزایش سرعت خطی تسمه نقاله بازده را کاهش می‌دهد. با افزایش E بازده افزایش و سپس کاهش می‌یابد و در چنین مواردی از الگوی یک سهمی تبعیت می‌کند. هنگامی که مقدار D از ۹ به ۱۳ cm افزایش می‌یابد، افزایش سرعت خطی تسمه نقاله بازده را کاهش می‌دهد. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد.

در سطح سوم D با افزایش سطوح تیماری A بازده کاهش و سپس افزایش یافته است. افزایش E منجر به کاهش بازده شده است. افزایش سرعت دورانی استوانه مستلزم افزایش فاصله افقی محور استوانه از محور تسمه نقاله است، به طوری که بازده بیشینه در D_3 حاصل می‌شود. توجه به این نکته لازم است که در این حالت سرعت خطی استوانه و فاصله محور استوانه از جداکننده در کمترین مقدار خود تنظیم می‌شوند. ارتباط بین فاصله افقی محور استوانه از محور تسمه نقاله و سرعت دورانی استوانه در این است که افزایش سرعت دورانی استوانه باعث می‌شود که مؤلفه افقی سرعت بازتاب مواد آزمون افزایش یابد. مقایسه میانگین نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد زمانی که جنس پوشش استوانه دوار از فولاد بود بهترین بازده جداسازی در سرعت دورانی ۳۶ دور بر دقیقه، سرعت خطی ۰/۴۵ متر بر ثانیه و فاصله ۶ سانتی‌متری میان محور استوانه و تسمه نقاله و فاصله ۳۴ سانتی‌متری بین استوانه دوار و جداکننده و به میزان ۱۰۰٪ به دست آمد.

بهترین بازده جداسازی در سرعت دورانی ۵۸ دور بر دقیقه، سرعت خطی ۰/۳ متر بر ثانیه و فاصله ۹ سانتی متری میان محور استوانه و تسمه نقاله و فاصله ۳۴ سانتی متری بین استوانه دوار و جداکننده و به میزان ۹۲/۷۶٪ به دست آمد.

جدول ۷- اثر متقابل پوشش لاستیکی و سرعت دورانی ۷۵ دور بر دقیقه

Table 7. Interaction effect of the rubber coating and the rotational speed of 75 rpm

$B_3C_2D_1$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	40.120	79.113	27.043
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	32.467	55.070	3.070
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	22.467	29.163	0.000
$B_3C_2D_2$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	49.103	74.230	70.553
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	46.617	74.113	34.150
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	43.487	56.693	6.003
$B_3C_2D_3$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	82.930	56.230	58.290
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	38.653	32.213	18.413
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	40.450	36.803	26.400

اثر متقابل پوشش پلاستیک نشکن و سرعت دورانی

در حالتی که $D=D_1$ باشد، با افزایش سرعت خطی بازده کاهش می‌یابد. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. با افزایش D تا ۹ cm، افزایش سرعت خطی نقاله بازده را کاهش می‌دهد. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. با افزایش D تا ۱۳ cm، با افزایش سرعت خطی نقاله و E ، بازده کاهش می‌یابد (جدول ۸).

جدول ۸- اثر متقابل پوشش پلاستیک نشکن و سرعت دورانی ۳۶ دور بر دقیقه

Table 8. Interaction effect of unbreakable plastic coating and rotational speed of 36 rpm

$B_1C_3D_1$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	80.937	76.833	26.507
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	83.137	57.853	9.670
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	14.180	0.000	0.000
$B_1C_3D_2$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	67.617	62.797	21.023
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	59.130	56.140	13.140
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	55.673	52.703	4.933
$B_1C_3D_3$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	66.710	43.083	6.283
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	43.317	43.290	4.497
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	41.787	17.730	0.000

جدول ۵- اثر متقابل پوشش لاستیکی و سرعت دورانی ۳۶ دور بر دقیقه

Table 5. Interaction effect of the rubber coating and the rotational speed of 36 rpm

$B_1C_2D_1$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	45.057	60.057	29.213
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	80.507	۹۴.۱۳۳	44.617
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	16.993	15.980	0.000
$B_1C_2D_2$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	19.770	68.563	55.760
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	9.467	45.190	28.823
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	56.733	57.107	33.837
$B_1C_2D_3$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	68.620	71.433	10.263
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	38.927	59.197	8.280
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	26.570	36.647	7.953

جدول ۶- اثر متقابل پوشش لاستیکی و سرعت دورانی ۵۸ دور بر دقیقه

Table 6. Interaction effect of the rubber coating and the rotational speed of 58 rpm

$B_2C_2D_1$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	64.133	63.517	43.147
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	32.297	30.363	7.390
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	16.753	16.557	0.000
$B_2C_2D_2$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	40.267	92.767	62.897
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	37.363	69.707	39.437
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	37.227	34.193	10.287
$B_2C_2D_3$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	65.720	64.073	46.460
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	54.693	36.837	16.770
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	30.917	20.517	14.720

در ادامه بررسی اثر متقابل پوشش استوانه و سرعت دورانی جدول ۷ حکایت از آن دارد در شرایطی که $D=D_1$ باشد با افزایش سرعت خطی تسمه نقاله بازده کاهش می‌یابد. با افزایش E بازده افزایش و سپس کاهش می‌یابد. در A_3 با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. با افزایش D از ۶ تا ۹ cm، با افزایش سرعت خطی بازده کاهش می‌یابد. با افزایش E بازده ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. در این حالت نیز الگوی سهمی مانند دیده می‌شود. با ادامه افزایش D تا ۱۳ cm با افزایش سرعت خطی تسمه نقاله بازده کاهش و سپس افزایش می‌یابد. با افزایش E بازده کاهش پیدا می‌کند. مقایسه میانگین نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد زمانی که جنس پوشش استوانه دوار از لاستیک بود

جدول ۱۰- اثر متقابل پوشش پلاستیک نشکن و سرعت دورانی ۷۵ دور بر دقیقه

Table 10. Interaction effect of unbreakable plastic coating and rotational speed of 75 rpm

$B_3C_3D_1$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	48.487	70.873	25.227
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	80.307	50.567	8.600
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	0.000	0.000	0.000
$B_3C_3D_2$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	81.180	76.583	34.390
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	75.137	40.300	24.970
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	68.880	38.200	2.060
$B_3C_3D_3$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	88.090	79.227	44.260
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	29.307	27.503	25.880
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	22.877	18.020	9.750

۴- نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس مشاهدات در سطوح پایین سرعت خطی نقاله و فاصله محور استوانه از محور تسمه نقاله مواد با سرعت اولیه کم با زاویه پرتاب ۲۶ درجه روی استوانه می‌افتند. با افزایش سرعت دورانی استوانه است ضربه جلوبرنده کمتری به مواد مورد آزمون وارد می‌آورد. مواد در اثر بازپرتاب از سطح استوانه به فواصل مختلف پرتاب می‌شوند. این فاصله تحت تأثیر محل برخورد نمونه‌ها با استوانه نیز بستگی دارد. علت اینکه بازده فولاد بیش از سایر پوشش‌هاست این است که میزان اتلاف انرژی جنبشی در اثر ضربه در فولاد در مقایسه با سایر پوشش‌ها کمتر است.

نتایج نشان می‌دهد که افزایش سرعت دورانی استوانه در سطوح پایین سرعت تسمه نقاله تأثیر چندانی در فاصله پرتاب نمونه‌ها ندارد ولی بازده جدایش را تا حدی تغییر داده است. برای فولاد و پلاستیک نشکن بازده کاهش و برای لاستیک بازده افزایش یافته است. این موضوع را می‌توان به زمان ماند غده‌ها روی استوانه در سرعت‌های دورانی بیشتر مربوط کرد. هرچه زمان تماس بیشتر باشد اتلاف انرژی جنبشی بیشتر و در نتیجه ضریب برجهندگی کمتر می‌شود. با افزایش سرعت دورانی استوانه زمان ماند نمونه‌ها روی استوانه کمتر شده و به تبع آن ضریب برجهندگی کاهش می‌یابد.

در سطح دوم فاصله محور استوانه از محور تسمه نقاله یعنی در این حالت مواد با زاویه ۳۲ درجه با استوانه برخورد می‌کنند که موجب برخورد نمونه‌های آزمون با قسمت‌های میانی سطح استوانه می‌گردد و این خود باعث بیشتر شدن فاصله پرتاب می‌شود. در اثر سرعت اولیه زیاد مواد به فواصل دورتری پرتاب می‌شوند. اما انتظار

در شرایطی که $D=D_1$ باشد با افزایش سرعت خطی نقاله بازده کاهش می‌یابد. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. با افزایش D از ۶ به ۹ cm، با افزایش سرعت خطی تسمه نقاله بازده کم می‌شود. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. در $D=D_3$ با افزایش سرعت خطی بازده کاهش می‌یابد. با افزایش E بازده کاهش می‌یابد (جدول ۹).

جدول ۹- اثر متقابل پوشش پلاستیک نشکن و سرعت دورانی ۵۸ دور بر دقیقه

Table 9. Interaction effect of unbreakable plastic coating and rotational speed of 58 rpm

$B_2C_3D_1$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	83.813	68.227	24.267
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	67.250	45.587	8.063
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	4.170	0.000	0.000
$B_2C_3D_2$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	65.700	60.410	42.797
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	62.193	56.057	13.790
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	58.697	36.000	5.150
$B_2C_3D_3$	$E_1(\text{cm})$	$E_2(\text{cm})$	$E_3(\text{cm})$
$A_1(\text{m.s}^{-1})$	85.510	72.017	18.457
$A_2(\text{m.s}^{-1})$	50.283	20.143	16.120
$A_3(\text{m.s}^{-1})$	22.113	10.580	0.000

در $D=D_1$ با افزایش سرعت خطی بازده کاهش می‌یابد با افزایش E بازده کاهش می‌یابد. در $D=D_2$ با افزایش سرعت خطی نقاله بازده کاهش می‌یابد. با افزایش E نیز بازده کاهش می‌یابد، با افزایش D تا ۱۳ cm، افزایش سرعت خطی نقاله و E بازده را کاهش می‌دهد (جدول ۱۰).

مقایسه میانگین نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد زمانی که جنس پوشش استوانه دوار از پلاستیک نشکن بود بهترین بازده جداسازی در سرعت دورانی ۷۵ دور بر دقیقه، سرعت خطی ۰/۳ متر بر ثانیه و فاصله ۱۳ سانتی‌متری میان محور استوانه و تسمه نقاله و فاصله ۲۸ سانتی‌متری بین استوانه دوار و جداکننده و به میزان ۸۸/۰۹٪ به دست آمد.

- from clods and stones. *Research in Agricultural Engineering*, 65(3). <http://doi.org/10.17221/24/2018-RAE>.
- Chen, M., Liu, X., Hu, P., Zhai, X., Han, Z., Shi, Y., . . . Shang, S. (2024). *Study on rotor vibration potato-soil separation device for potato harvester using DEM-MBD coupling simulation*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 218, 108638. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108638>.
- Feller, R., Gan-Mor, S., Zacharin, A., & Margolin, E. (1988). *Apparatus for separating agricultural produce from spurious matter*. In: Google Patents.
- Feller, R., Margolin, E., Zacharin, A., & Pasternak, H. (1985). *Development of a clod separator for potato packing houses*. *Transactions of the ASAE*, 28(4), 1019-1023. <https://doi.org/10.13031/2013.32380>.
- Fereydon, T. (1980). *Scientific and theoretical understanding of agricultural machines*. University of Tehran: Tehran University Publications (In Persian).
- Gan-Mor, S., & Galili, N. (2000). *Rheological model of fruit collision with an elastic plate*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75(2), 139-147. <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0493>.
- Gan-Mor, S., Zacharin, A., Galili, N., Feller, R., & Margolin, E. (1986). *Absorbing stone impact to enable separation from potatoes*. *Transactions of the ASAE*, 29(6), 1526-1529. <https://doi.org/10.13031/2013.30348>.
- Geng, J., Xiao, L., Gao, Y., & Rao, X. (2019). *Separating clods and stones from potato tubers based on color and shape*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 287-295. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9943-9>.
- Hossein, M. N., Hossein, M., & Afsana, P. (2010). *Investigating the basic principles in the separator (belt type) of stone and lump products in the potato harvester*. *International Journal of Advanced Design and Manufacturing Technology*, 2(3), 84-79. (In Persian). <https://sanad.iau.ir/Journal/admt/Article/872986>.
- Ichiki, H., Van, N. N., & Yoshinaga, K. (2013). *Stone-clod separation and its application to potato cultivation in Hokkaido*. *Engineering in agriculture, environment, and food*, 6(2), 77-85.
- Johnson, C. M., & Auat Cheein, F. (2023). *Machinery for potato harvesting: a state-of-the-art review*. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1156734. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1156734>.
- Khazaei, Y., Kheiralipour, K., Hosainpour, A., Javadikia, H., & Paliwal, J. (2022). *Development of a novel image analysis and classification algorithms to separate tubers from clods and stones*. *Potato Research*, 65(3), 707-728. (In Persian). <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09528-7>.
- Khazaei, Y., Kheiralipour, K., Hosseinpour, A., & Javadikia, H. (2018). *Development of an algorithm based on image processing and support vector machine for distinguishing potatoes from lumps and stones*. *Agricultural Machinery Mechanics Research*, 8(1), 1-11. (In Persian). <https://sid.ir/paper/270418/fa>.
- Mohammadi, A. (2023). *An attitude on the position of the potato product in the food security of the country in the horizon of 1430*. *Promotional Journal of Applied Potato Sciences*, 6(1), 13-22. <https://doi.org/10.1002/9781119851981.ch2>.
- می‌رود این فاصله پرتاب با افزایش سرعت دورانی استوانه افزایش یابد زیرا لازمه افزایش زاویه پرتاب افزایش ضریب برجهندگی است و لازمه افزایش آن افزایش سرعت نهایی پس از ضربه است که توسط سرعت دورانی استوانه تقویت می‌شود.
- افزایش سرعت خطی استوانه باعث افزایش سرعت اولیه نمونه‌ها می‌شود بنابراین بایستی برای حصول نتایج بهینه سرعت دورانی استوانه و فاصله D را افزایش داد تا ضریب برجهندگی کاهش نیابد. این نتیجه حاکی از آن است که حفظ مقادیر بالای بازده مستلزم افزایش هماهنگ سرعت خطی تسمه نقاله با سرعت دورانی استوانه است.
- در شرایطی که $D=D_3$ است در اثر افزایش فاصله D زاویه برخورد مواد روی استوانه به ۳۹ درجه افزایش می‌یابد. افزایش زاویه برخورد باعث می‌شود مواد به نیمه جلویی استوانه برخورد کنند. در نتیجه این برخورد و دو مؤلفه نیروی رو به پایین نمونه‌ها که ناشی از نیروی وزن و نیروی ضربه است، مواد تمایل دارند روی سطح استوانه به سمت پایین حرکت کنند. این اتفاق زمانی محتمل‌تر است که سرعت دورانی استوانه کم باشد و نیروی ضربه رو به جلوی کمتری به نمونه‌ها وارد کند. انتظار می‌رود افزایش سرعت دورانی استوانه با کاهش مدت زمان ماند نمونه‌ها روی سطح استوانه و اعمال نیروی ضربه رو به جلوی بیشتر به نمونه‌ها این احتمال را کاهش دهد. این حالت افزایش فاصله D باعث می‌شود که نمونه‌ها به فواصل نزدیک‌تری پرتاب شوند.
- افزایش سرعت دورانی استوانه برای تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که با افزایش سرعت دورانی از B_1 به B_3 میزان بازده جدایش برای هر سه پوشش مورد استفاده در E_1 افزایش پیدا کرد. در فاصله E_2 با افزایش سرعت دورانی استوانه بازده جدایش کاهش می‌یابد. چرا که افزایش سرعت دورانی استوانه بسته به فاصله محور تسمه نقاله از محور استوانه باعث کاهش فاصله پرتاب نمونه‌های آزمون می‌شود و در نتیجه احتمال پرتاب غده‌های سبب‌زمینی به همراه کلوخ‌ها بیشتر می‌شود و بازده کاهش می‌یابد.
- با افزایش فاصله افقی محور استوانه از جداکننده، افزایش سرعت دورانی استوانه تأثیری در بازده جدایش ندارد زیرا فاصله محور استوانه از جداکننده بقدری زیاد است که افزایش سرعت دورانی استوانه نمی‌تواند بازده را افزایش دهد.

منابع

- Abdollah Pour, S., Mahmoudi, A., & Javadi, L. (2011). *Separation between potatoes and clods using coefficient of restitution*. (MSc). University of Tabriz, Tabriz. (In Persian).
- Abedi, G., Abdollahpour, S., & Bakhtiari, M. R. (2019a). *Aerodynamic properties of potato tubers to airflow separation from stones and clods*. *International Journal of Vegetable Science*, 25(1), 87-94. <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1478920>.
- Abedi, G., Abdollahpour, S., & Bakhtiari, M. R. (2019b). *The physical and mechanical properties of potato (Solanum tuberosum L.) tubers as related to the automatic separation*

- Varga, I., & Djurovic, V. (2023). *Trends of potato production and consumption in the world*. Glasnik zaštite bilja. Vol. 46. No. 6. 62-70. <https://doi.org/10.31727/gzb.46.6.6>.
- Wei, Z., Li, H., Mao, Y., Sun, C., Li, X., Liu, W., & Su, G. (2019). *Experiment and analysis of potato-soil separation based on impact recording technology*. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 12(5), 71-80. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191205.4573>.
- Wei, Z., Li, H., Sun, C., Su, G., Liu, W., & Li, X. (2019). *Experiments and analysis of a conveying device for soil separation and clod-crushing for a potato harvester*. Applied engineering in agriculture, 35(6), 987-996. <https://doi.org/10.13031/aea.13283>.