



Research Paper

Performance Evaluation of a Potato Mini-Tuber Singulation Conveyor

Orang Taki¹, Mohsen Heidarisoltanabadi^{1*}, Abdollah Imanmehr¹

1. Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

Article History

Submitted: 2026/05/12

Revised: 2026/06/30

Accepted: 2026/07/16

Published
online: 2026/09/23

Keywords:

Evaluation, Minituber counting, Single-row conveyor, Separating conveyor

Abstract

Potato production plays an important role in ensuring food security in the country. One of the methods used for the cultivation and propagation of potato tubers is the use of microtubers or minitubers. Approximately 30 million minitubers are produced annually in the country, and efforts are made to classify them into different weight groups. However, since minitubers exhibit considerable variation in weight relative to the mean, they are traded on a per-unit basis; therefore, accurate counting is of particular importance. Manual counting is generally time-consuming, costly, and prone to error. On the other hand, mechanical or electronic machine counting of minitubers requires them to be accurately aligned at the end of a conveying path, and little research has been conducted in this area. In this study, the performance of a minituber alignment conveyor equipped with optical counting sensors was evaluated. Since the optimum performance of the machine is affected by factors including the transverse inclination of the conveyor, conveyor linear speed, and the number of incoming tubers, different levels of these factors were compared for two minituber size groups in a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications. The proposed levels for the transverse inclination of the conveyor were 15° and 18° relative to the horizontal; the conveyor linear speeds were 0.25, 0.50, and 0.75 m/s, and the numbers of incoming tubers per unit time were 2, 3, and 4 tubers per second. The results showed that the best conveyor performance was achieved at a transverse inclination angle of 18° and a belt speed of 0.25 m/s.

*Corresponding author
mheisol@gmail.com

ORCID: 
0000-0001-7892-3487



How to cite this paper:

Taki, O., Heidarisoltanabadi, M., and Imanmehr, A. (2026). Performance Evaluation of a Potato Mini-Tuber Singulation Conveyor. *Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery*. 40: 49-64. <https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.15033.771> (In Persian)



Authors retain the copyright and full publishing rights. Published by [Shahrekord University](https://www.shahrekord.ac.ir/). This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

<https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.15033.771>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Currently, potato (*Solanum tuberosum* L.) serves as a valuable and nutritious crop, playing a key role in the food security of many populations worldwide. With an approximate cultivated area of 142,000 ha and a production of about 5.25 million tons, Iran ranks thirteenth globally. Until recently, conventional potato cultivation relied on whole tubers or their segments as seed. Such seed material is prone to the accumulation and transmission of various bacterial, fungal, and viral diseases from one season to the next. Collectively, these factors can ultimately lead to reduced yield or a complete crop failure. This major constraint has prompted the development of novel methods for producing healthy potato seed. In this regard, the Agricultural Biotechnology Research Institute has implemented a self-sufficiency program for producing healthy basic potato seed (minitubers).

This self-sufficiency in healthy seed production has resulted in foreign-exchange savings of 45 million US dollars over the past several years. Potato microtubers, produced as healthy basic seed (minitubers) via tissue culture methods, must comply not only with phytosanitary standards (e.g., freedom from pests and diseases) but also with specific weight and size criteria for market supply. Efforts are made to classify them into different weight categories. In this context, standardizing tubers by size and packaging them. In this regard, automatic counting of potato microtubers, such as mechanical or electronic methods, holds particular significance. For this purpose, Singulation the minitubers in a single row enables, automatic counting with minimal error. There is no specific research available in this field in the country.

Material and Methods

To evaluate a single-row aligning conveyor's performance, the effects of transverse inclination, linear speed, and input tuber rate were investigated. A factorial, completely

randomized design experiment was conducted with three replications. Treatments included three conveyor speeds (0.25, 0.50, 0.75 m/s), three input rates (2, 3, 4 tubers/second), and two inclination angles (15° and 18° from horizontal). The experiment was performed separately for two tuber sizes: 12–20 mm and 30–35 mm. In each test run, 300 tubers from a specific size group were poured at the conveyor's start, and the number of unaligned (out-of-row) tubers was counted at the end. This process helped determine the optimal operational condition of the device. Data variance analyzed by SAS; mean comparisons and grouping performed using MSTAT C software.

Results and Discussion

According to the results, a speed of 0.25 m/s produced the lowest percentage of unaligned tubers in both tuber groups, while increasing the speed to 0.5 and 0.75 m/s significantly raised this parameter. The mean percentages of unaligned tubers under varying input tuber rates per unit time indicate that increasing the number of tubers entering the conveyor increases the percentage of unaligned tubers. According to the mean comparison results for the effect of conveyor transverse inclination, the greatest inclination (18°) significantly reduced the percentage of unaligned tubers in both tuber groups. At a conveyor speed of 0.25 m/s with an input of 2 to 3 tubers per second, the lowest percentage of unaligned tubers (near zero) was observed, but increasing the speed to 0.5 m/s caused a significant increase in the percentage of unaligned tubers. Examining this effect for the 30–35 mm tuber group shows that in this group as well, increasing conveyor speed to 0.5 m/s limits conveyor capacity to 2 tubers per second, and with an input of 3 tubers per second, the percentage of unaligned tubers increases significantly. This means that, contrary to expectations, conveyor capacity does not increase with higher speed. When the conveyor speed increases to 0.75 m/s, the effect of transverse inclination becomes significantly greater. Mean grouping for the effect of transverse inclination on input tuber

rate for the 12–20 mm group shows that as input rate increases, the effect of inclination on raising the percentage of unaligned tubers becomes greater.

Examining these means for the 30–35 mm group shows that while conveyor inclination had no significant effect on the percentage of unaligned tubers at an input of 2 to 3 tubers per second, at an input of 4 tubers per second it significantly reduced the percentage of unaligned tubers. The most appropriate settings for minimizing unaligned tubers are a speed of 0.25 m/s with an 18° transverse inclination. In this combination, to achieve maximum device capacity, the input can be set to 4 tubers per second for 12–20 mm tubers and to 3 tubers per second for 30–35 mm tubers. If conveyor speed is increased to 0.50 m/s (with an 18° inclination), the conveyor input should be limited to 3 tubers per second for 12–20 mm tubers and to 2 tubers per second for 30–35 mm tubers.

Conclusions

Accurate counting of minitubers at delivery time is also very important, because unlike regular potatoes, these tubers are often sold by count rather than by weight. Manual counting is time-consuming, expensive, and prone to errors. Therefore, mechanical or electronic counting devices are used on aligning conveyors. One important factor for accurate counting of potato minitubers is their proper alignment in a single row. In the present study, the effects of conveyor speed, input tuber rate, and conveyor inclination on the percentage of unaligned tubers were investigated for two size groups: 12–20 mm and 30–35 mm. The results showed that overall, a speed of 0.25 m/s produced the lowest percentage of unaligned tubers in both groups. A transverse inclination of 18° resulted in the best alignment of potato minitubers. To achieve maximum device capacity, the input can be set to 4 tubers per second for 12–20 mm tubers and to 3 tubers per second for 30–35 mm tubers. If conveyor speed is increased to 0.50 m/s (with an 18° inclination), the input should be limited to 3

tubers per second for 12–20 mm tubers and to 2 tubers per second for 30–35 mm tubers.

Acknowledgements

We would like to thank all our colleagues who helped us in conducting this research.

Author Contributions

Author 1: Conceptualization, Data collection and analysis, Software, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Writing (original draft, review & editing).

Author 2: Methodology, Experimental procedures, Writing (review & editing).

Author 3: Data collection, Data curation, Software.

Data Availability Statement

All information and results are presented in the text of the article.

Ethical Considerations

The authors have observed ethical principles in conducting and publishing this scientific work, and this is confirmed by all of them.

Conflict of Interest

There are no conflicts of interest in this article, and this is confirmed by all authors.

Funding Statement

The author(s) received no specific funding for this research.



ارزیابی عملکرد یک نقاله تک‌ردیف‌ساز مینی‌تیوبر سیب‌زمینی

اورنگ تاکی^۱، محسن حیدری سلطان‌آبادی^{۱*} و عبدالله ایمان‌مهر^۱

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۲	تولید محصول سیب‌زمینی نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی در کشور دارد. از جمله
بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹	روش‌های کشت و تکثیر غده سیب‌زمینی، استفاده از ریز غده‌ها یا مینی‌تیوبر است. در کشور
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۵	در حدود ۳۰ میلیون عدد مینی‌تیوبر در سال تولید می‌شود و سعی بر آن است که در
انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱	گروه‌های وزنی مختلف طبقه‌بندی شوند. با این حال، از آنجایی که وزن ریز غده‌ها انحراف
واژه‌های کلیدی:	زیادی نسبت به میانگین دارند خریدوفروش آنها برحسب تعداد انجام می‌شود و از این نظر
ارزیابی، شمارش مینی‌تیوبر،	شمارش دقیق آنها اهمیت ویژه‌ای دارد. شمارش دستی معمولاً زمان‌بر، پرهزینه و همراه با
نقاله تک‌ردیف‌ساز، نقاله	خطا است. از طرفی شمارش ماشینی ریز غده‌ها به‌صورت مکانیکی یا الکترونیکی، مستلزم
جداکننده.	ردیف‌شدن دقیق آنها در انتهای یک مسیر انتقال است و در این زمینه تحقیق خاصی صورت
	نگرفته است. در این تحقیق عملکرد یک دستگاه نقاله ردیف‌ساز مینی‌تیوبر که به حسگرهای
	شمارشگر نوری مجهز بود، بررسی گردید. از آنجایی که عملکرد مطلوب این ماشین تحت تأثیر
	عواملی شامل شیب عرضی نقاله، سرعت خطی نقاله و تعداد غده ورودی بر آن است، در یک
	آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار، سطوح مختلف این عوامل برای
	دو گروه اندازه مینی‌تیوبرها مقایسه شد. سطوح مختلف پیشنهادی برای شیب عرضی نقاله
	۱۵ و ۱۸ درجه نسبت به افق، برای سرعت خطی نقاله ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ متر در ثانیه و
	برای تعداد غده ورودی در واحد زمان مقادیر ۲، ۳ و ۴ غده در ثانیه در نظر گرفته شد. از
	نتایج این آزمایش مشخص گردید که بهترین عملکرد نقاله، با انتخاب زاویه ۱۸ درجه برای
	شیب عرضی و سرعت ۰/۲۵ متر بر ثانیه برای تسمه به دست می‌آید.

*پست الکترونیکی نویسنده

مسئول:

mheisol@gmail.com

ORCID: 

۳۴۸۷-۷۸۹۲-۰۰۰۱-۰۰۰۰



نحوه استناد به این مقاله:

تاکی، ا.، حیدری سلطان‌آبادی، م. و ایمان‌مهر، ع. (۱۴۰۵). ارزیابی عملکرد یک نقاله تک‌ردیف‌ساز مینی‌تیوبر سیب‌زمینی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ۴۰: ۴۹-۶۴. <https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.15033.771>

مقدمه

امروزه سیب‌زمینی به عنوان یک محصول باارزش و مغذی، نقشی کلیدی در تأمین غذای بسیاری از مردم در سراسر جهان دارد. ایران با سطح زیر کشت حدود ۱۴۲ هزار هکتار و تولید حدود ۵/۲۵ میلیون تن سیب‌زمینی در جایگاه سیزدهم جهانی قرار گرفته است (Anonymous, 2024). تا سال‌های اخیر زراعت مرسوم سیب‌زمینی با کشت غده معمولی و یا قطعات آن به عنوان بذر انجام می‌شد. چنین بذری مستعد تجمع و انتقال انواع بیماری‌های باکتریایی، قارچی و ویروسی از هر سال به سال بعد است. مجموع چنین عواملی در نهایت می‌تواند منجر به کاهش محصول یا ازدست‌رفتن کل آن شود (Patel et al., 2024). این معضل بزرگ، توسعه روش‌های نوین تولید بذر سالم سیب‌زمینی را در پی داشته است. در این راستا، پژوهش‌کده بیوتکنولوژی کشاورزی اقدام به اجرای برنامه خودکفایی تولید هسته اولیه بذر سالم سیب‌زمینی (مینی‌تیوبر^۱) نمود.

خودکفایی در تولید بذر سالم سیب‌زمینی و تولید سالانه ۳۰ میلیون مینی‌تیوبر، منجر به صرفه‌جویی ارزی معادل ۴۵ میلیون دلار شده است (Anonymous, 2025). ریز غده‌های سیب‌زمینی که به عنوان هسته اولیه بذر سالم (مینی‌تیوبر) به روش کشت بافت تولید می‌شوند، علاوه بر استانداردهای سلامت مانند آلودگی به آفات و بیماری‌ها، استانداردهایی نیز از نظر وزن و اندازه برای عرضه به بازار دارند و سعی بر آن است که در گروه‌های وزنی مختلف طبقه‌بندی شوند (Dimante et al., 2019). در این راستا استانداردهای غده‌ها از نظر اندازه و تحویل آنها در بسته‌هایی با تعداد دقیق از موضوعاتی است که در زمینه بازاریابی و فروش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

شمارش محصولات جدا از هم معمولاً به دو روش کلی استفاده از شمارنده‌های مکانیکی یا الکترونیکی و نیز کاربرد پردازش تصویر صورت می‌گیرد. در روش اول، در حین حرکت اشیا بر روی نقاله (هر وسیله انتقال دیگر) ابتدا بایستی به صورت یک ستون واحد درآیند و سپس شمارش آنها با عبور از جلوی یک چشم الکترونیکی انجام می‌شود. برای ردیف کردن اشیا در یک ستون مجزا، از روش‌های مختلف

مکانیکی یا نیوماتیکی استفاده می‌شود. این کار معمولاً با نصب راهنماهایی در مسیر جریان و یا با ایجاد تغییر در سرعت اشیا انجام می‌شود. ساده‌ترین روش برای این کار استفاده از دیواره‌های همگرا در طرفین نقاله است که مانند یک قیف اشیا را به داخل دهانه تنگی هدایت می‌کند و در نهایت دهانه خروجی به اندازه‌ای تنگ خواهد شد که اشیا در ردیفی واحد از آن خارج شوند. مشکلی که این روش دارد آن است که انتقال اشیا از طرفین به وسط کنال موجب گیرکردن آنها می‌شود.

تلاش‌هایی برای رفع این مشکل صورت گرفته است، از آن جمله یک نقاله باریک عمودی به جای یکی از دیواره‌ها قرار داده شد که جهت حرکت آن خلاف نقاله اصلی بود (Kimbal, 1935). در روش دیگری به جای نقاله تسمه‌ای از نقاله غلتکی که اصطکاک کمتری با اشیا دارد، استفاده شد. همچنین به جای تنگ کردن مسیر جریان از دو طرف، از یک دیواره مورب که عرض مسیر را از یک طرف کاهش می‌داد استفاده شد. دیواره مورب با شیب نسبتاً کمی، عرض نقاله را کاهش می‌داد تا احتمال گیرکردن اشیا را به حداقل برساند (Carter, 1949). به غیر از نقاله‌های مکانیکی از فشار هوا نیز برای انتقال اشیای سبک با موقعیت عمودی (مانند بطری خالی) استفاده شده است. به عنوان مثال با قراردادن نازل‌های هوا به صورت کج در کف یک میز مستطیلی و ایجاد جت هوا، بطری‌های خالی از یک سمت به سمت دیگر میز جابه‌جا شدند.

معایب این روش شامل نیاز به طول زیاد برای فرایند ردیف کردن، انرژی زیاد برای تولید هوای تحت فشار و ایجاد صدا در هنگام خروج هوا از نازل‌ها بود. همچنین اشیای قابل انتقال به این روش لزوماً بایستی قاعده مسطح داشته باشند و امکان انتقال اجسام گرد و نامنظم وجود نداشت (Lenhart, 1985). در ماشین دیگری، از تلفیق روش استفاده از نقاله و فشار هوا برای ردیف کردن ظروف با سرعت نسبتاً بالا استفاده شد. در این ماشین ابتدا ظروف در ردیف‌های مورب سه‌تایی بر روی یک صفحه شیاردار قرار می‌گرفت و از آنجا بر روی تسمه نقاله‌ای که داخل آن محفظه خلأ قرار داشت، هدایت می‌شد (Lenhart, 1987).

در یک روش، برای ردیف کردن و تک کردن اشیا (اجسامی که باید ردیف می‌شد)، یک نقاله غلتکی به کار رفت که غلتک‌های آن به یک سمت مخروطی بودند و به صورت

^۱ - Minituber

امروزه از روش پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی به‌وفور برای شمارش اجسام بر روی خطوط انتقال استفاده می‌شود. تحقیقات متعددی در زمینه به‌کارگیری روش‌های نوین در شمارش محصول انجام شده است. در این زمینه، محققان روشی به ثبت رساندند که برای تمیز دادن بهتر اشیاء، تصاویر گرفته شده از طول مشخصی از نقاله، در جهت عمود بر جهت حرکت نقاله گسترش می‌یافت (گسترش عرضی) و به تصاویری که هر کدام از یک ردیف اجزای خاکستری تشکیل شده‌اند، تبدیل می‌شد (De Hoog *et al.*, 1990). در تحقیقی برای درجه‌بندی ریز غده‌های سیب‌زمینی از پردازش تصویر کلاسیک استفاده شد. در این سامانه، پس از طراحی یک قفسه نوری مناسب با نورپردازی یکنواخت، هر مینی تیوبر که از مقابل دوربین عبور می‌کرد، تصویر گرفته می‌شد. سپس با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر سنتی، قطر اصلی غده (بزرگ‌ترین فاصله بین دو نقطه مرزی) محاسبه می‌شد.

این قطر به‌عنوان معیار اصلی برای درجه‌بندی مینی تیوبر در رده‌های وزنی-اندازه‌ای مختلف (به‌عنوان مثال ریز، کوچک، متوسط) استفاده می‌گردید. این سامانه قادر بود حدود ۷۵۰ غده را در ساعت پردازش کرده و با فعال کردن یک مکانیزم جداکننده مکاترونیکی، آنها را در سطوح‌های مربوطه هدایت کند (Fernandez, *et al.*, 2009). در تحقیقی برای شمارش محصول بادام، ابتدا تصاویر رنگی (RGB) از مغز بادام‌ها درحالی که روی نوار نقاله در حرکت بودند، توسط یک دوربین صنعتی برداشت می‌شد. این تصاویر وارد یک خط لوله پردازشی دومرحله‌ای می‌گردید. در مرحله اول، از الگوریتم تشخیص لکه (Blob Detection) برای جداسازی هر شیء (هر تک‌دانه بادام) از پس‌زمینه و از یکدیگر استفاده می‌شد تا تعداد اولیه اشیاء روی نوار مشخص گردد. در مرحله دوم، هر ناحیه استخراج شده به یک شبکه عصبی کانولوشن عمیق (مانند Efficient NetB3) تغذیه می‌شد. این شبکه هر بادام را به یکی از سه کلاس سالم، آسیب‌دیده یا پوسته شکسته طبقه‌بندی می‌کرد. در نهایت، سامانه با تلفیق نتایج مرحله اول (تعداد کل) و مرحله دوم (کلاس هر کدام)، خروجی دقیقی شامل تعداد اقلام در هر کلاس ارائه می‌داد. دقت گزارش شده برای این روش بالای ۹۹ درصد در محیط آزمایشگاهی و بیش از ۹۷ درصد در آزمایش‌های میدانی بود (Aktaş & Karagöz, 2025).

در پژوهشی به طراحی و ارزیابی یک سامانه رباتیک هوشمند برای مرتب‌سازی غده‌های سیب‌زمینی بذری بر

مورب قرار می‌گرفتند. این شکل نقاله باعث می‌شد اشیاء در اثر نیروی ثقل به یک سمت هدایت شده و به دیواره تکیه کنند. همچنین بالاتر بودن سرعت خطی اشیاء در سمت ضخیم‌تر غلتک‌ها باعث می‌شد اشیایی که در این سمت قرار می‌گیرند از اشیایی که بر روی قسمت باریک‌تر غلتک‌ها قرار گرفته‌اند سبقت گرفته و پس از عبور از آنها به سمت دیواره هدایت شوند (Pelka, 2003). در تحقیقی برای ردیف کردن و مجزا کردن اشیاء از یکدیگر، از مجموعه‌ای از نقاله‌ها که دو به دو در کنار هم با آرایش V شکل قرار گرفته‌اند (زوج نقاله) استفاده شد. در این مجموعه زوج‌ها پشت‌سرهم قرار گرفته‌اند و خروجی هر کدام بر روی ورودی بعدی قرار داشت. همچنین سرعت خطی هر زوج نقاله بیشتر از زوج قبلی بود (Bahr, 2007).

در یک نوآوری، نوار نقاله تک‌واحدی شامل چندین غلتک برای جداسازی و ردیف کردن اشیاء طراحی گردید. غلتک‌ها می‌توانستند سطح مقطع‌های متفاوت داشته و طوری پیکربندی شوند که بر اساس الگوی چرخش، باعث جدا شدن اشیاء از هم گردند (Matthew *et al.*, 2019). در اختراعی با هدف جداسازی و تک‌ردیف کردن اشیایی که به حالت دسته‌ای یا کپه‌ای وارد می‌شوند، ماشینی معرفی گردید. در این ماشین که از سه قسمت تشکیل شده بود، ابتدا اشیایی که به طور کپه‌ای بر روی نقاله ورودی ماشین وارد می‌شوند توسط مجموعه‌ای از نقاله‌های شیب‌دار از یکدیگر جدا می‌شوند. در ادامه با عبور از روی نقاله انتهایی این مجموعه که نسبتاً طویل‌تر و با شیب بیشتر است، اشیاء بر روی نقاله ردیف‌ساز می‌ریزند (Layne, 2021). از آنجایی که تنظیم موقعیت دیواره‌های عمودی (نقاله‌های عمودی) در این نوع تک‌ردیف‌کن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و بایستی متناسب با سرعت نقاله اصلی، اندازه اشیاء و اصطکاک اشیاء با نقاله تنظیم گردد، سازوکاری ابداع شد که تغییر موقعیت دیواره‌های عمودی را به راحتی ممکن می‌سازد. یک نوار نقاله تک‌واحدی شرح داده شده است. طی تحقیقی از خاصیت مکش هوا برای جدا کردن ریز غده‌های سیب‌زمینی از توده بذر و انتقال آنها برای کاشت استفاده شد. بررسی عملکرد این روش نشان داد که بهترین شرایط کاری این موزع شامل فشار مکش هوا ۷۰۰- پاسکال، سرعت غلتک بذرکار ۴۰/۲ دور در دقیقه و قطر سوراخ مکش بذر به میزان ۱۰/۳۷ میلی‌متر بود است (Li *et al.*, 2025).

ارزیابی قرار گرفت. در این دستگاه از خاصیت نقله‌های شیب‌دار (شیب عرضی) برای هدایت غده‌ها به یک سمت و تنگ کردن عرض نقله از یک سمت برای ردیف‌کردن آنها استفاده شده است.

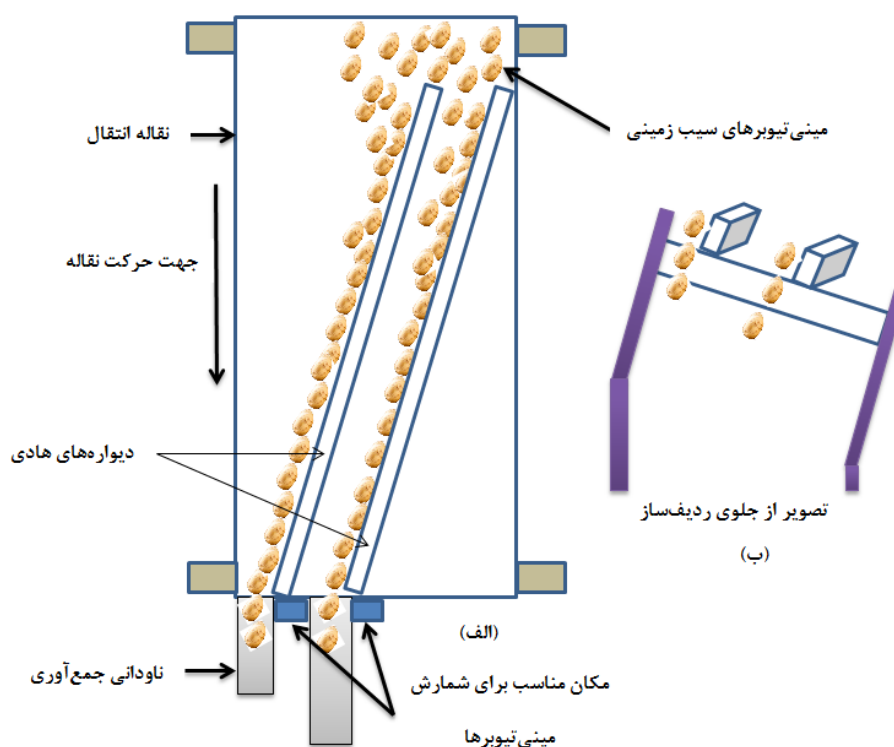
مواد و روش‌ها

یکی از عوامل مهم در شمارش دقیق مینی‌تیوبرهای سیب‌زمینی به‌صورت مکانیکی یا الکترونیکی، قرارگرفتن صحیح آنها در یک ردیف است. برای این منظور می‌توان از نقله‌های ردیف‌ساز استفاده کرد. در تحقیق حاضر عملکرد یک دستگاه شامل یک نقله تسمه‌ای بود که با استفاده از دو دیواره هادی، مسیر حرکت مینی‌تیوبرها را برای ردیف‌شدن تنظیم می‌نمود (شکل ۱- الف). در این نقله، شیب عرضی قابل تنظیم بود. این شیب باعث می‌شد تا غده‌هایی که به‌صورت پراکنده در ابتدای نقله ریخته می‌شوند، قبل از رسیدن به نیمه نقله در اثر وزن خود به سمت دیواره‌های هادی بغلتند (شکل ۱- ب).

اساس وجود یا عدم وجود جوانه پرداخته شد. هسته فنی سامانه ترکیب YOLOv11 با ردیاب ByteTrack بود. به این منظور یک چارچوب تشخیص دویمرحله‌ای مبتنی بر ناحیه موردنظر (ROI) به همراه بهینه‌سازی داده در پیش‌زمینه برای بهبود حساسیت مدل به جوانه‌های ریز پیاده‌سازی شد. روش مکان‌یابی تک‌چشمی بر اساس برجستگی هندسی، مختصات سه‌بعدی را با دقت میلی‌متری محاسبه می‌کرد. آزمایش‌ها بر روی ۳۷۴ عدد سیب‌زمینی نرخ موفقیت ۹۷/۵ درصد را نشان داد (Lyu et al., 2025).

طبق آنچه بیان شد برای شمارش اشیا در حال حرکت، لازم است که آنها در یک ردیف مرتب شوند تا بتوان با فن‌های موجود (مکانیکی، الکتریکی و یا پردازش تصویر) شمارش کردند. باتوجه‌به اهمیت تولید ریز غده‌های سیب‌زمینی (مینی‌تیوبر) و شمارش آنها در زمان بسته‌بندی و فروش، مکانیزاسیون این فرایند از اهمیت ویژه‌ای در صرفه‌جویی اقتصادی برخوردار است.

در تحقیق حاضر عملکرد یک دستگاه نقله تک‌ردیف‌ساز مینی‌تیوبر سیب‌زمینی در ردیف‌سازی صحیح ریز غده‌ها و آماده‌کردن آنها برای مراحل بعدی شمارش، مورد بررسی و



شکل ۱- نقله ردیف‌ساز و قسمت‌های مختلف آن

از یک گروه مشخص بر روی ابتدای نقاله ریخته می‌شد و تعداد غده‌های خارج از ردیف در انتهای مسیر تعیین و شمارش می‌گردید (این شمارش به راحتی با چشم قابل انجام بود). برای ریختن غده‌ها بر روی نقاله به صورت یکنواخت (روش موجود)، ابتدا کل غده‌ها به دسته‌های چندتایی (۲ یا ۳ یا ۴ تایی بسته به تعداد تغذیه در هر تیمار) تقسیم شده و گروه‌ها به صورت مجزا بر روی چندین سینی چیده شد. برای تغذیه ماشین هر یک از این دسته‌ها در یک ثانیه با دست برداشته و بر روی نقاله ریخته شد.

سینی‌ها توسط نیروی کمکی در جلو دست کارور تغذیه قرار می‌گرفت. برای آگاهی از فاصله زمانی یک ثانیه بین دو تغذیه متوالی از دستگاه مترونوم^۱ که اپلیکیشن رقمی آن بر روی گوشی تلفن همراه قابل نصب است، استفاده شد. با استفاده از این دستگاه که در موسیقی کاربرد دارد می‌توان در فواصل زمانی مشخص یک تپ صوتی ایجاد نمود. با تعیین تعداد غده‌های خارج از ردیف و تقسیم آن بر تعداد کل (۳۰۰)، درصد غده‌های ردیف نشده از رابطه (۱) محاسبه شد: (۱):

$$\%N_{no} = \frac{N_{no}}{300} \times 100 \quad (1)$$

که در آن N_{no} تعداد مینی تیوبرهای ردیف نشده در ۳۰۰ عدد مینی تیوبر است.

تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده توسط نرم افزار SAS صورت گرفت. همچنین مقایسه و گروه بندی میانگین‌ها به وسیله نرم افزار MSTAT-C انجام شد.

در انتهای مسیر حرکت، از دو ناودانی برای جمع آوری ریز غده‌ها استفاده می‌شد (شکل ۱-الف). در جدول ۱ مشخصات دستگاه نقاله مورد استفاده ارائه شده است. عملکرد نقاله تک ردیف ساز (شکل ۲) در ردیف کردن دقیق و پشت سرهم مینی تیوبرهای سیبزمینی می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف مانند طول و سرعت خطی نقاله، شیب عرضی آن و مقدار (تعداد) غده وارد شده بر روی آن در واحد زمان قرار گیرد. از آنجایی که طول نقاله قابل تغییر نیست برای ارزیابی عملکرد ماشین، تأثیر سه عامل شیب عرضی نقاله، سرعت خطی نقاله و تعداد غده ورودی بر آن در واحد زمان بررسی شد. به این منظور در یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی سه تیمار فوق در سطوح مختلف، در سه تکرار (تکرار = زمان) مورد مقایسه قرار گرفت.

سطوح مختلف تیمارهای آزمایش عبارت بودند از سرعت خطی نقاله در سه سطح شامل ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ متر در ثانیه، تعداد غده ورودی بر روی نقاله در سه سطح شامل ۲، ۳ و ۴ غده در ثانیه و شیب عرضی نقاله در دو سطح شامل ۱۵ و ۱۸ درجه نسبت به افق. این آزمایش برای دو گروه از غده‌ها که از نظر اندازه در دامنه ۲۰-۱۲ میلی متر و ۳۵-۳۰ میلی متر قرار می‌گرفتند، به طور جداگانه انجام شد (این گروه‌ها بر طبق استاندارد مینی تیوبر در ایران به عنوان کوچکترین و بزرگترین گروه‌ها انتخاب شدند). همچنین سطوح مختلف سرعت، تعداد غده ورودی و شیب عرضی نقاله بر اساس نتایج تجربی و منابع موجود انتخاب گردید؛ بنابراین برای هر گروه از غده‌ها، ۵۴ بار آزمایش دستگاه انجام گردید (جمعاً ۱۰۸ آزمون). در هر بار آزمایش تعداد ۳۰۰ عدد غده

جدول ۱- مشخصات نقاله تک ردیف ساز مینی تیوبر

مشخصات تسمه نقاله	شاسی		قطر غلتک‌های ابتدا و انتها (سانتی متر)	ارتفاع سمت راست (سانتی متر)	ارتفاع سمت چپ (سانتی متر)	توان محرکه الکتریکی (کیلووات)	سامانه انتقال قدرت
ضخامت (میلی متر)	طول (سانتی متر)	عرض (سانتی متر)					
۱۰	۲۵۰	۸۰	۲۵۰	۱۰۰	۷۳-۷۶	۸۵	۱
جعبه دنده مارپیچی و تسمه و پولی							

^۱ -Metronome

خارج از ردیف در هر دو گروه غده‌های کوچک و بزرگ داشته است. شکل ۳ نتایج مقایسه میانگین درصد غده‌های خارج از ردیف را برای سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد. طبق نتایج این شکل، می‌توان دریافت که با افزایش سرعت نقاله، درصد غده‌های ردیف نشده افزایش یافته است. سرعت ۰/۲۵ متر بر ثانیه در هر دو گروه غده‌ها، کمترین درصد غده‌های خارج از ردیف را ایجاد نموده و افزایش سرعت به ۰/۵ و ۰/۷۵ متر بر ثانیه به طور معنی‌داری این عامل را افزایش داده است. افزایش سرعت نقاله موجب افزایش سرعت حرکت ریز غده‌ها در جهات مختلف شده و زمان لازم برای ردیف‌شدن غده‌ها را اضافه می‌نماید که این امر باعث کاهش غده‌های ردیف شده می‌شود.



شکل ۲- نمای کلی ردیف‌ساز مینی‌تیوبر

نتایج و بحث

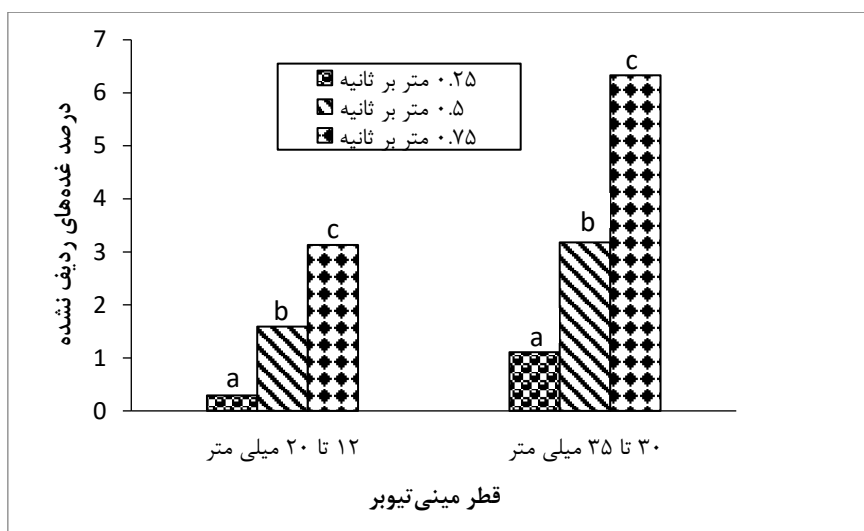
در شکل ۴ میانگین‌های درصد غده‌های ردیف نشده تحت تأثیر تعداد غده‌های ورودی بر روی نقاله در واحد زمان آورده شده است. واضح است که با افزایش تعداد غده‌های ورودی بر روی نقاله، درصد غده‌های ردیف نشده افزایش می‌یابد که علت آن برخورد بیشتر غده‌ها باهم و ایجاد آشفستگی و افزایش زمان لازم برای ردیف‌شدن غده‌ها است.

نتایج تجزیه واریانس تعداد غده‌های خارج از ردیف برای غده‌های گروه‌های ۲۰-۱۲ (غده‌های کوچک) و ۳۵-۳۰ میلی‌متری (غده‌های بزرگ) در جدول ۲ آورده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که فاکتورهای تعداد غده ورودی بر روی نقاله، سرعت خطی نقاله و شیب عرضی نقاله در سطح احتمال ۱٪ تأثیر معنی‌داری بر درصد غده‌های

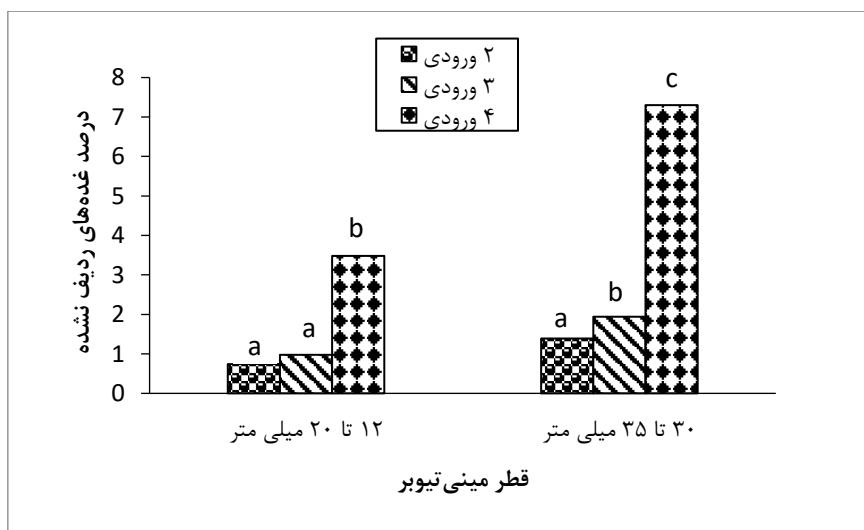
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر درصد غده‌های ردیف نشده (در دو اندازه ۲۰-۱۲ و ۳۵-۳۰ میلی‌متر)

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
۳۰-۳۵ میلی‌متر	۱۲-۲۰ میلی‌متر		
۱/۰۲۰۹	۰/۱۲۳۷	۲	تکرار
۱۲۴/۴۷۱۰**	۴۱/۲۶۸۹**	۲	سرعت خطی نقاله (A)
۱۹۱/۵۷۰۲**	۴۱/۴۸۲۹**	۲	تعداد غده ورودی (B)
۷/۳۹۳۶**	۶/۲۰۱۷**	۱	شیب عرضی نقاله (C)
۲۴/۹۹۷۳**	۶/۱۴۷۴**	۴	اثر متقابل A×B
۰/۲۹۷۰ ^{ns}	۲/۵۲۹۱**	۲	اثر متقابل A×C
۱/۹۰۴۸**	۰/۷۰۳۳ ^{ns}	۲	اثر متقابل B×C
۰/۰۷۴۳ ^{ns}	۰/۸۰۷۰ ^{n.s}	۴	اثر متقابل A×B×C
۰/۲۹۲۹	۰/۲۱۷۰	۳۴	خطا

n.s و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار بودن و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱٪



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های درصد غده‌های ردیف نشده (در دو اندازه) در اثر سرعت خطی نقاله میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر اندازه از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (بر پایه آزمون دانکن) هستند



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های درصد غده‌های ردیف نشده (در دو اندازه) در اثر تعداد غده ورودی میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر اندازه از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (بر پایه آزمون دانکن) هستند

می‌رسد که نزدیک به ۴ برابر نسبت به ورود ۳ غده در ثانیه افزایش نشان می‌دهد.

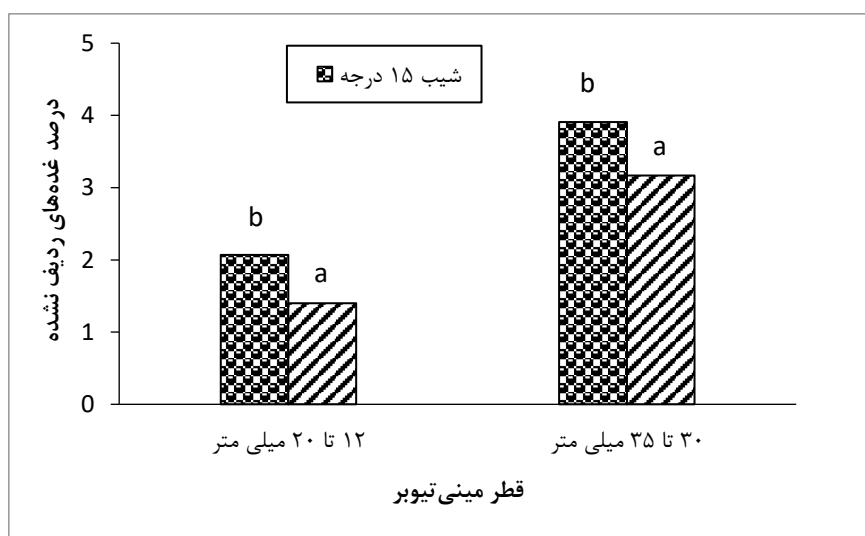
در شکل ۵ مقایسه میانگین‌های درصد غده‌های ردیف نشده در اثر شیب عرضی نقاله مقایسه شده‌اند. بر طبق نتایج این جدول، بزرگ‌ترین شیب نقاله (۱۸ درجه) باعث کاهش معنی‌دار درصد غده‌های ردیف نشده در هر دو گروه غده‌ها شده است. علت این امر، تکیه بیشتر غده‌ها با دیواره‌های هادی در اثر شیب نقاله و کاهش حرکات آزاد غده‌ها و در نتیجه زودتر ردیف شدن آنها است. همچنین در اثر شیب بیشتر در زاویه ۱۸ درجه، سرعت رسیدن غده‌ها به تکیه‌گاه و

نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد که در گروه غده‌های ۲۰-۱۲ میلی‌متری، ورود ۲ و ۳ غده در ثانیه تفاوت معنی‌داری بر روی این عامل ایجاد نکرده است. این بدین معنی است که این نقاله برای غده‌های کوچک به راحتی ظرفیت تا ۳ غده در ثانیه را دارد ولی با افزایش آن به ۴ غده به طور معنی‌داری درصد غده‌های ردیف نشده افزایش می‌یابد. در گروه غده‌های بزرگ‌تر نیز اگرچه با افزایش ورودی غده‌ها از ۲ به ۳ غده، افزایش معنی‌دار درصد مینی تیوبرهای ردیف نشده‌ها دیده می‌شود اما این میزان افزایش در مقایسه با افزایش ناشی از ورود ۴ غده بر روی نقاله قابل توجه نمی‌باشد. با ورود ۴ غده بر روی نقاله، درصد غده‌های ردیف نشده به ۷/۳۰ درصد

به ۰/۵ متر بر ثانیه، ظرفیت نقاله را به ۲ غده در ثانیه محدود می‌کند و با ورود ۳ غده بر روی نقاله درصد غده‌های ردیف نشده به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. این بدین معنی است که برخلاف انتظار، ظرفیت نقاله با بالارفتن سرعت افزایش نمی‌یابد. افزایش سرعت نقاله به‌جای انتقال سریع‌تر غده‌ها باعث افزایش چرخش وضعی آنها می‌شود و زمان ماندن آنها بر روی نقاله را کاهش نمی‌دهد. چرخش وضعی غده‌ها در سرعت‌های بالا، غلتیدن آنها به سمت دیواره هادی و تکیه‌کردن آنها به این دیواره (که عامل ردیف‌شدن غده‌هاست) را به تأخیر انداخته و غده‌ها فرصت جایابی در ردیف را پیدا نمی‌کنند.

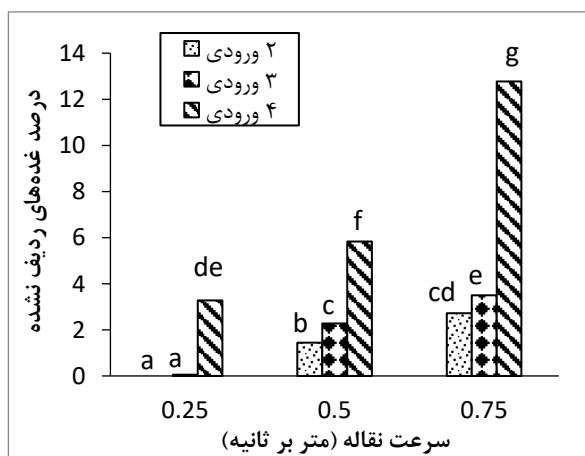
نیز نیروی تکیه‌گاهی بیشتر شده که هر دوی این عوامل، ردیف‌شدن بیشتر مینی تیوبرها را در پی خواهد داشت.

در شکل ۶ اثر متقابل سرعت نقاله در تعداد غده ورودی بر میانگین درصد غده‌های ردیف نشده برای غده‌های گروه ۲۰-۱۲ آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد در سرعت نقاله ۰/۲۵ متر بر ثانیه با ورود ۲ تا ۳ غده در ثانیه بر روی نقاله کمترین درصد غده‌های ردیف نشده (نزدیک به صفر) دیده می‌شود ولی با افزایش سرعت به ۰/۵ متر در ثانیه افزایش معنی‌دار درصد غده‌های ردیف نشده مشاهده می‌شود. بررسی این اثر برای غده‌های گروه ۳۵-۳۰ میلی‌متر در شکل ۷، نشانگر آن است که در این گروه نیز افزایش سرعت نقاله



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های درصد غده‌های ردیف نشده (در دو اندازه) در اثر شیب عرضی نقاله

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر اندازه از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (بر پایه آزمون دانکن) هستند

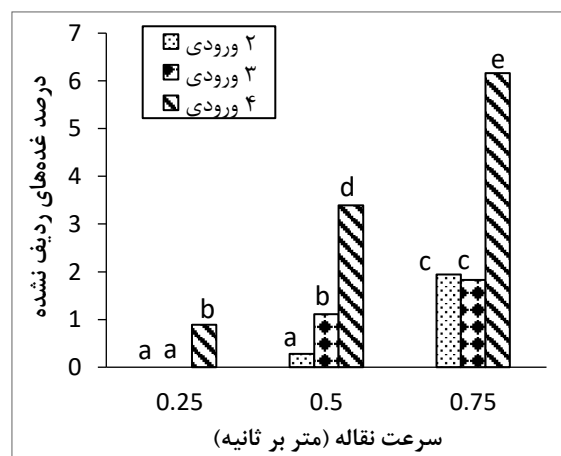


شکل ۷- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سرعت خطی نقاله در

تعداد غده ورودی بر درصد غده‌های ردیف نشده (۳۵-۳۰ میلی‌متر)

(میلی‌متر)

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر اندازه از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (بر پایه آزمون دانکن) هستند



شکل ۶- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سرعت خطی نقاله در

تعداد غده ورودی بر درصد غده‌های ردیف نشده (۲۰-۱۲ میلی‌متر)

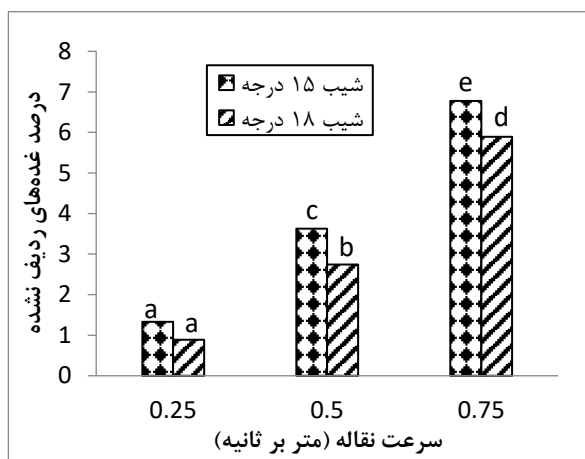
(میلی‌متر)

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر اندازه از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (بر پایه آزمون دانکن) هستند

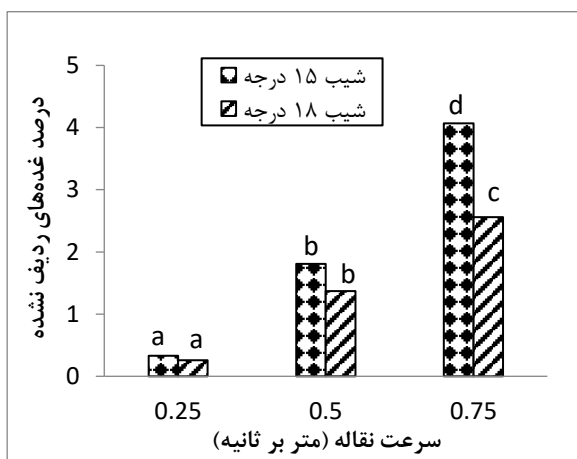
بیشتری برای غلتیدن غده‌ها به کنار دیواره هادی نیاز است و به این دلیل حتی در سرعت ۰/۵ نیز شیب ۱۸ درجه تأثیر خود را اعمال کرده است.

اثر متقابل تعداد غده ورودی در شیب عرضی نقاله بر میانگین‌های درصد غده‌های ردیف نشده برای گروه غده‌های ۱۲-۲۰ میلی‌متر غیرمعنی‌دار و برای گروه ۳۰-۳۵ میلی‌متر معنی‌دار شد (جدول ۱). طبق نتایج شکل ۱۰، گروه‌بندی میانگین‌های تأثیر شیب عرضی نقاله در تعداد غده‌های ورودی گروه ۱۲-۲۰ میلی‌متر نشان می‌دهد که با افزایش تعداد غده ورودی، تأثیر شیب نقاله در افزایش درصد غده‌های ردیف نشده بیشتر می‌شود. بررسی این میانگین‌ها برای گروه ۳۰-۳۵ میلی‌متر در شکل ۱۱ نشان می‌دهد درحالی‌که شیب نقاله با ورود ۲ تا ۳ غده در ثانیه تأثیر معنی‌داری بر درصد ردیف نشده‌ها نداشته است اما با ورود ۴ غده تأثیر منفی خود را در ردیف کردن غده‌ها به طور معنی‌داری نشان داده است.

اثر متقابل سرعت خطی نقاله در شیب عرضی آن بر درصد غده‌های ردیف نشده برای گروه غده‌های ۱۲-۲۰ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۱). از مقایسه میانگین‌های این عامل در شکل ۸ مشخص می‌شود که با افزایش سرعت نقاله به ۰/۷۵ متر بر ثانیه تأثیر شیب عرضی نقاله به طور معنی‌داری بیشتر می‌شود. این بدین معنی است که در سرعت ۰/۲۵ و ۰/۵ حتی با شیب ۱۵ درجه، غده‌های کوچک فرصت غلتیدن به سمت دیواره هادی و ردیف شدن را دارند ولی با افزایش سرعت، نیاز به شیب بیشتر نقاله برای حرکت عرضی وجود دارد؛ بنابراین شیب ۱۸ درجه در سرعت ۰/۷۵، درصد غده‌های ردیف نشده را به طور معنی‌داری کاهش داده است. اما این اثر متقابل، برای گروه غده‌های ۳۰-۳۵ میلی‌متر معنی‌دار نشده است (جدول ۱). باین حال طبق نتایج شکل ۹ در این گروه نیز با افزایش سرعت نقاله تأثیر افزایش شیب عرضی بر درصد غده‌های ردیف نشده بیشتر است. در این گروه باتوجه به بزرگتر بودن وزن غده‌ها (اینرسی مانند بزرگتر) زمان



شکل ۹- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سرعت خطی نقاله در شیب عرضی نقاله بر درصد غده‌های ردیف نشده (۳۰-۳۵ میلی‌متر)



شکل ۸- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سرعت خطی نقاله در شیب عرضی نقاله بر درصد غده‌های ردیف نشده (۱۲-۲۰ میلی‌متر)

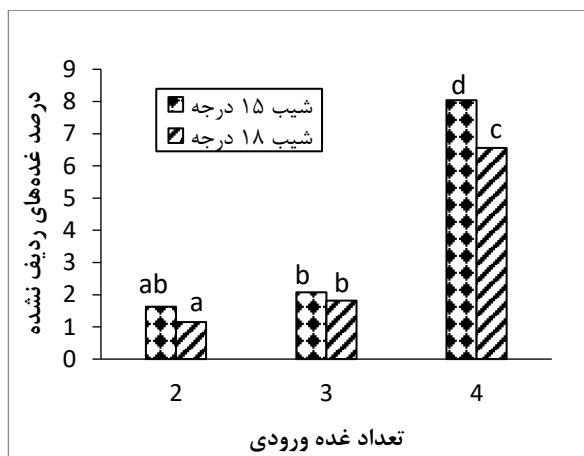
میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر اندازه از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (بر پایه آزمون دانکن) هستند

ثانیه با شیب عرضی ۱۸ درجه دانست. در این ترکیب برای دستیابی به حداکثر ظرفیت دستگاه می‌توان ورودی دستگاه را برای غده‌های ۱۲-۲۰ میلی‌متر تا ۴ غده و برای غده‌های ۳۰-۳۵ میلی‌متر تا ۳ غده در ثانیه تنظیم نمود بدون آنکه اثر معنی‌داری در درصد غده‌های ردیف نشده مشاهده شود. در صورت افزایش سرعت نقاله به ۰/۵۰ متر در ثانیه (با شیب ۱۸ درجه) تعداد ورودی نقاله برای غده‌های ۱۲-۲۰ میلی‌متر بایستی به ۳ غده در ثانیه و برای غده‌های ۳۰-۳۵ میلی‌متر

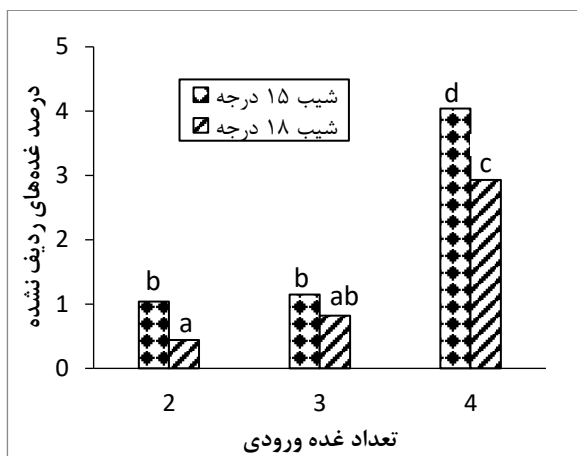
اثر متقابل سه فاکتور سرعت خطی نقاله در تعداد غده ورودی در شیب عرضی نقاله بر روی غده‌های ردیف نشده در هیچ یک از دو گروه غده‌های معنی‌دار نشده است (جدول ۱). مقایسه میانگین‌های درصد غده‌های ردیف نشده در اثر متقابل سه فاکتور آزمایش برای گروه غده‌های ۱۲-۲۰ و ۳۵-۳۰ به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول‌ها می‌توان مناسب‌ترین تنظیمات برای داشتن حداقل غده‌های ردیف نشده را سرعت ۰/۲۵ متر در

مزیتی در برنخواهد داشت. بررسی ریز غده‌ها در انتهای مسیر ردیف‌سازی نشان داد که صدمه قابل مشاهده‌ای به آنها وارد نشده است.

به ۲ غده در ثانیه محدود گردد. بنابر آنچه بیان شده افزایش سرعت نقاله تأثیر مثبتی بر عملکرد ردیف‌سازی غده‌های سیب‌زمینی و یا افزایش ظرفیت دستگاه نداشته و بنابراین



شکل ۱۱- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تعداد غده ورودی در شیب عرضی نقاله بر درصد غده‌های ردیف نشده (۳۵-۳۰ میلی‌متر)



شکل ۱۰- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تعداد غده ورودی در شیب عرضی نقاله بر درصد غده‌های ردیف نشده (۲۰-۱۲ میلی‌متر)

میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر اندازه از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (بر پایه آزمون دانکن) هستند

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سرعت خطی نقاله در تعداد غده ورودی بر درصد غده‌های ردیف نشده ۲۰-۱۲ میلی‌متر

تعداد غده ورودی						سرعت خطی نقاله (متر بر ثانیه)
۴	۳	۲	شیب عرضی ۱۵	شیب عرضی ۱۸	شیب عرضی ۱۵	
شیب عرضی ۱۸	شیب عرضی ۱۵	شیب عرضی ۱۸	شیب عرضی ۱۵	شیب عرضی ۱۸	شیب عرضی ۱۵	۰/۲۵
۰/۷۸abc	۱/۰۰bcd	۰a	۰a	۰a	۰a	۰/۵
۳/۲۲gh	۳/۵۶h	۰/۷۸abc	۱/۴۴cde	۰/۱۱a	۰/۴۴ab	۰/۷۵
۴/۷۸i	۷/۵۵j	۱/۶۷de	۲/۰۰ef	۲/۲۲bcde	۲/۶۷fg	

میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (بر پایه آزمون دانکن) هستند.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سرعت خطی نقاله در تعداد غده ورودی بر درصد غده‌های ردیف نشده ۳۵-۳۰ میلی‌متر

تعداد غده ورودی						سرعت خطی نقاله (متر بر ثانیه)
۴	۳	۲	شیب عرضی ۱۵	شیب عرضی ۱۸	شیب عرضی ۱۵	
شیب عرضی ۱۸	شیب عرضی ۱۵	شیب عرضی ۱۸	شیب عرضی ۱۵	شیب عرضی ۱۸	شیب عرضی ۱۵	۰/۲۵
۲/۶۷def	۳/۸۹g	۰a	۰/۱۱ab	۰a	۰a	۰/۵
۵/۱۱h	۶/۵۶i	۲/۱۱de	۲/۴۴def	۱/۰۰bc	۱/۸۹cd	۰/۷۵
۱۱/۸۹j	۱۳/۶۷k	۳/۳۳fg	۳/۶۷g	۲/۴۴def	۳/۰۰efg	

میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ (بر پایه آزمون دانکن) هستند.

نتیجه گیری

مینی تیوبرها (غده های کوچک بذری) به عنوان بذری عاری از بیماری و با کیفیت ژنتیکی بالا نقش مهمی در تولید سیبزمینی دارند. شمارش دقیق مینی تیوبرها در زمان تحویل نیز اهمیت زیادی دارد، چرا که این غده ها برخلاف سیبزمینی معمولی اغلب بر اساس تعداد (و نه وزن) به فروش می رسند. شمارش دستی وقت گیر، هزینه بر و همراه با خطا است. از این رو از دستگاه های شمارنده مکانیکی یا الکترونیکی بر روی نقاله های ردیف ساز استفاده می شود. یکی از عوامل مهم در شمارش دقیق مینی تیوبرهای سیبزمینی، قرار گرفتن صحیح آنها در یک ردیف است. در تحقیق حاضر، تأثیر سرعت حرکت، تعداد غده ورودی و شیب نقاله در دو گروه اندازه ای ۲۰-۱۲ میلی متر و ۳۵-۳۰ میلی متر مینی تیوبرها بر درصد غده های ردی نشده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مجموع، سرعت ۰/۲۵ متر در ثانیه در هر دو گروه غده ها، کمترین درصد غده های خارج از ردیف را ایجاد نمود. شیب عرضی نقاله به میزان ۱۸ درجه، بیشترین میزان ردیف شدن مناسب ریز غده های سیبزمینی را به دنبال داشت.

برای دستیابی به حداکثر ظرفیت دستگاه می توان ورودی دستگاه را برای غده های ۲۰-۱۲ میلی متر تا ۴ غده و برای غده های ۳۵-۳۰ میلی متر تا ۳ غده در ثانیه تنظیم نمود. نتایج این تحقیق نشان می دهد با تمهیداتی بر روی نقاله های موجود می توان آنها را برای ردیف سازی و متعاقب آن شمارش مکانیکی یا الکترونیکی ریز غده های سیبزمینی مناسب نمود. تجهیز واحدهای تولید مینی تیوبرهای سیبزمینی به دستگاه ردیف ساز و شمارنده، گام مهمی در کاهش هزینه های شمارش و بسته بندی محصول به شمار می رود. افزایش ظرفیت واحدهای شمارش (ردیف ساز و شمارش) با به کارگیری کارگیری مجموعه ای از نقاله های ردیف ساز امکان پذیر است. پیشنهاد می شود ردیف ساز موضوع این تحقیق در مطالعات بعدی به سامانه های تصویربرداری و پردازش بر خط تجهیز و عملکرد آنها در شمارش ریز غده ها بررسی گردد.

سپاسگزاری

از همه همکارانی که در انجام این تحقیق ما را یاری کردند قدردانی می گردد.

تضاد منافع نویسندگان

در این مقاله هیچ گونه تضاد منافع وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید همه نویسندگان است.

دسترسی به داده ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:

- نویسنده اول: مفهوم سازی، داده برداری و تحلیل داده ها، نرم افزار، تحقیق، روش شناسی، نگارش (پیش نویس اولیه، بازبینی و ویرایش).
- نویسنده دوم: روش شناسی، رویه های تجربی، نگارش (بازبینی و ویرایش).
- نویسنده سوم: جمع آوری داده ها، تحلیل داده ها، نرم افزار.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها است.

منابع

- Aktaş, H., & Karagöz, Ö. (2025). Sorting and counting of almond kernels on conveyor belt using computer vision and deep learning techniques. *Postharvest Biology and Technology*, 224, 113654. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2025.113654>
- Anonymous, (2025). Iran Agricultural News Agency. <https://www.iana.ir/>. (In Persian).
- Anonymous, (2024). Agricultural Statistics for the year 2022-2023. Volume 1: Crops, Deputy Statistics Officer, Statistics Center, Information and Communication Technology. (In Persian).
- Bahr, T. A. (2007). Conveying system for singulating and orienting. US Patent 7311191.
- Carter, S. T. (1949). Article aligning means for conveyor. US Patent 2468290.
- De Hoog, G. H., Deen, A. & Wever, P. J. (1990). Method of counting articles supplied on a conveyor track in a random pattern, US Patent 4900915.
- Dimante, I., Mežaka, I., & Gaile, Z. (2019). The effect of Minituber Weight on their Field Performance under a Northern European environment. *Agronomy Research*, 17(4), 1600-1608. <https://doi.org/10.15159/AR.19.063>

- Lyu, Y., Ping, A., Zhang, Y., Wang, F., Liu, C., Ruan, H., Jiang, H., & Zhou, M. (2025). Design and evaluation of robotic seed potato sorting system based on monocular two-stage ROI-guided detection framework. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101602. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101602>
- Matthew, G., William, M., Darius, S., & Joseph, J. (2019). Singulation conveyor system with rollers of different roller cross-sectional profiles. US Patent 11453558-B2.
- Patel, J. K., Patel, R. N., Zapadiya, D. M., & Vaghela, S. J. (2024). Degeneration of potato varieties due to virus incidence in North Gujarat. *Potato Journal*, 51(2). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3493989/v1>
- Pelka, R. U. (2003). Feed conveyor system including an unscrambling and aligning portion. US Patent 6659264B2 .Volume 12 ,101602. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101602>
- Fernandez, Y. E., Sariana, A., & Swenson, R. L. (2009). Development of a prototype for classification of potato mini-tubers based on artificial vision. 2009 6th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE).
- Kimbal, W. D. (1935). Article handling machine. US Patent 1990549.
- Layne, J. L., Fye, S. C., Barbour, S. D., Cotton A. M. (2021). Sortation system and related methods. US Patent 10988327B1.
- Lenhart, R. A., (1985). Vertical single filer conveyor system. US Patent 4561806.
- Lenhart, R. A., (1987). Vacuum single filer. US Patent 4669604 .
- Li, J., Ma, H., Chen, Y., Zhu, X., Qi, Y., Gao, Q., & Lyu, J. (2025). Design and Experiment of Air-Suction Roller-Type Minituber Seed-Metering Device Based on CFD-DEM. *Agriculture*, 15(15), 1652. <https://doi.org/10.3390/agriculture15151652>

نسلخه پیکان زوید