Research Article

Agricultural Engineering., 48(3) (2025) 471- 486

ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2025.50464.1787

ISSN (E): 2588-5944

Design, Manufacturing, and Evaluation of a Manual Paddy Rice Planter Machine for Transplanting Tray

F. Karbalaei Aghamaleki[1], S. Kiani[2*] and S. R. Mousavi Seyedi[3]

1. MSc Student of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran.
2. Assistant Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran.
3. Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran.

Received: 21 September 2025 Accepted: 18 October 2025 *Corresponding Author: s.kiani@sanru.ac.ir

Abstract

Introduction: Uniform distribution of rice seeds in seedling trays is a critical factor that significantly influences the growth performance and overall yield of rice crops. Proper seed placement ensures optimal seedling density, reduces competition among plants, and promotes uniform germination and development. However, many farmers, especially in regions where resources are limited, rely on manual or traditional methods for seed sowing due to the high cost and limited availability of automatic seed-sowing machines. These manual methods are often time-consuming, labor-intensive, and prone to uneven seed distribution, which can negatively impact seedling quality. Therefore, there is a pressing need for an affordable, simple, and efficient machine that can facilitate quick and precise sowing of rice seeds in seedling trays. This study aims to design, manufacture, and evaluate a handheld mechanical seed-sowing machine tailored to meet these requirements.

Materials and Methods: The seed-sowing machine was designed using SolidWorks, a three-dimensional CAD software, to ensure precision and functionality in the design phase. The machine features two main containers: one for holding rice seeds and another for soil. It incorporates soil and seed distributors, carrying handles for ease of use, and a transmission system comprising gears, a chain, and a chain wheel.

- Body: Constructed from stainless steel alloys 304 and ST37 steel to provide durability, corrosion resistance, and lightweight characteristics.
- Transmission gears: Manufactured from PTFE (Teflon) to reduce friction and wear, ensuring smooth operation.
- Seed metering: Designed as a grooved roller made from aluminum alloy, chosen for its strength and lightweight properties.
- Soil distributor: Made from a rigid plastic conveyor, enabling consistent soil delivery.

The machine was tested using rice paddy seeds with varying quantities ranging from 70 g to 180 g per seedling tray to simulate different sowing densities. The machine allows adjustment of soil thickness both below and above the seeds, ranging from 0.5 to 2 cm, controlled by an adjustable cover of the seed metering machine. This feature aims to optimize seed coverage and protection. Performance evaluation

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

focused on the accuracy of seed quantity placement and consistency of soil coverage. Data were collected and analyzed to determine the correlation between the machine's settings and the actual sowing outcomes.

Results and Discussion: The evaluation demonstrated that the designed machine effectively achieves uniform seed distribution within seedling trays, ensuring consistent spacing and reducing seed wastage. Detailed testing revealed that the relationship between the number of seeds dispensed and the recommended sowing quantity showed a high degree of accuracy, with a coefficient of determination (R^2) of 0.99, indicating excellent precision in seed placement. This level of accuracy underscores the machine's reliability in achieving targeted plant populations, which is crucial for maximizing crop yield and health. The adjustability of soil thickness proved to be a valuable and user-friendly feature, enabling users to customize seed coverage according to specific agronomic recommendations for different rice varieties and environmental conditions. The machine consistently maintained soil thickness within the predefined range, with a maximum observed error of 12% in cases of over-sowing and 15% in under-sowing coverage. These deviations fall well within acceptable limits for practical agricultural applications, reflecting the machine's robustness in real-world conditions. Furthermore, the mechanical design, which included the use of low-friction PTFE gears and a lightweight yet sturdy aluminum seed distributor, significantly contributed to smooth operation, accuracy, and durability under repeated use. The handheld nature of the machine enhanced its usability and portability, making it particularly accessible to smallholder farmers, who often lack access to expensive and complex machinery. This user-centered design approach is expected to facilitate widespread adoption in rural farming communities, ultimately improving sowing efficiency and crop establishment.
Overall, the machine addresses key challenges associated with manual seed sowing by improving speed, accuracy, and uniformity, which are essential for optimizing seedling growth and subsequent crop yield.

Conclusion: This study successfully designed, manufactured, and evaluated a cost-effective, simple, and handheld mechanical seed-sowing machine tailored for rice seedling trays. The machine demonstrated high precision in seed distribution and adjustable soil coverage, meeting the agronomic requirements for optimal seedling growth. Its affordability and ease of use make it a practical alternative to expensive imported automatic seed-sowing machines, potentially benefiting small-scale farmers by enhancing sowing efficiency and crop establishment. Additionally, lightweight design and ergonomic handle of the machine reduce operator fatigue, allowing for prolonged use during busy planting seasons. Its modular components also simplify maintenance and repairs, increasing overall durability and lifespan. The seed-sowing machine also supports sustainable agricultural practices by minimizing seed wastage and ensuring uniform germination, thereby contributing to improved resource management. Future work may focus on field trials to assess long-term impacts on seedling vigor and yield, as well as exploring adaptations for other crop types, such as vegetables and legumes, to broaden its applicability across diverse agricultural systems.

Keywords*: *Paddy tray, Paddy transplanter, Computer design, Semi-automated planter, Grooved roller distributor.

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۸، شماره ۳، ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه شلتوک‌کار دستی در سینی نشا

فاطمه کربلایی آقاملکی[۱]، سجاد کیانی[۲*] و سید رضا موسوی سیدی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶

کلمات کلیدی:

سینی نشا، شلتوک‌کار،

طراحی رایانه‌ای،

کشت نیمه‌خودکار،

موزع غلتکی شیاردار

* عهده‌دار مکاتبات

Email: s.kiani@sanru.ac.ir

چکیده

توزیع یکنواخت بذر برنج در سینی نشا برای عملکرد بهتر رشد آن بسیار حائز اهمیت است. به‌دلیل گران‌بودن و در دسترس نبودن دستگاه‌های خودکار کاشت بذر در سینی نشا، بسیاری از کشاورزان به‌صورت دستی یا سنتی این کار را انجام می‌دهند. هدف از انجام این پژوهش طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاهی ارزان‌قیمت، ساده و مکانیکی برای کاشت سریع و دقیق بذر برنج در سینی نشا است. مدلسازی و طراحی سه بعدی دستگاه در نرم‌افزار سالیدورکس انجام شد. دستگاه شامل دو مخزن حامل بذر و خاک، موزع‌های خاک و بذر، دستگیره‌های حمل کننده، چرخدنده‌ها، زنجیر و چرخ زنجیر سیستم انتقال دوران است. بدنه دستگاه از آلیاژهای فولاد ضدزنگ ۳۰٤ و فولاد ST37 و چرخ‌دنده‌های انتقال دوران از جنس تفلون PTFE ساخته شدند. موزع بذر از نوع غلتکی شیاردار با آلیاژ آلومینیوم و موزع خاک از نوع حمل کننده پلاستیکی آجدار ساخته شد. ارزیابی دستگاه در ریزش‌های بذر شلتوک برنج از ۷۰ تا ۱۸۰ گرم به ازاء هر سینی نشا انجام شد. ضخامت خاک زیر و روی لایه بذر با به‌کارگیری دریچه کنترل‌شونده قابل تنظیم است. نتایج ارزیابی دستگاه نشان داد که بذر ریزی داخل سینی نشا با دستگاه طراحی و تولید شده به صورت یکنواخت و با هر مقدار توصیه شده توسط کارشناسان زراعت با ضریب R^2=۰/۹۹ قابل انجام است. همچنین ضخامت خاک زیر و روی بذر قابل تنظیم و با حداکثر خطای ۱۲ درصد بیش ریزش و ۱۵ درصد کم ریزش پوشش‌دهی انجام شد.

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) منبع اصلی تغذیه برای حدود ۵۰ درصد از جمعیت جهان و سنگ بنای امنیت غذایی جهانی است (۶). پس از گندم مهم‌ترین محصول زراعی به شمار می‌آید و بالاترین سطح زیرکشت در جهان را دارا است. محققان پیش‌بینی می‌کنند که در سال ۲۰۴۰ میلادی تقریباً به ۹۶ میلیون تن برنج بیشتر نیاز است (۲۵). این محصول زراعی دارای اهمیتی چندوجهی برای جهان است. نه تنها به‌عنوان یک غذای اصلی است ، بلکه از اهمیت فرهنگی و ارزش اقتصادی بالایی نیز برخوردار است. همچنین قابلیت سازگاری بالای این محصول با شرایط اقلیمی متنوع کشت، جایگاه آن را به عنوان یک رکن اساسی بقا و توسعه تثبیت می‌نماید (۸ و ۱۱). برنج در حدود ۲۱ درصد از انرژی مردم جهان را تأمین نموده که از نظر انرژی تولیدی، دارای مقام اول در بین غلات است. بیشترین تولید و مصرف جهانی برنج شامل کشورهای آسیایی می‌باشد. میانگین مصرف سرانه برنج در این کشورها بیش از ۸۱ کیلوگرم در سال بوده و ایران از نظر مصرف برنج رتبه سیزدهم را دارد. سطح زیر کشت برنج در ایران در سال نزدیک به ۶۰۰ هزار هکتار و میانگین تولید آن ۴/۵ تن در هکتار گزارش شده است (۱۴). افزایش تولید برنج با اثرات زیست محیطی کمتر بسیار حائز اهمیت می‌باشد تا امنیت غذایی و پایداری محیط زیست تضمین شود. یکی از راه‌کارهای مناسب جهت افزایش تولید، بیشینه کردن بازدهی روش‌های مختلف کشت برنج است (۱۸). کاربرد ماشین‌های کشاورزی از چشمگیرترین ویژگی‌های توسعه‌یافتگی در بخش کشاورزی است (۲۶). براساس آمارهای به‌دست آمده از سال‌های گذشته در حدود ۷۰ درصد سطح زیر کشت ایران متعلق به دو استان گیلان و مازندران است که به‌صورت کاشت نشا صورتمی‌گیرد. در این شیوه‌ی کشت، گیاهچه‌های برنج پس از رشد اولیه در خزانه به زمین اصلی منتقل شده و در خاک گل آب شده نشا می‌شوند. کاشت نشا در دو روش نشایی به‌صورت ردیف مکانیزه و سنتی بدون رعایت نظم و فاصله انجام‌می‌شود. یکی از حساس‌ترین و آسیب‌پذیرترین مراحل رشد گیاه، مرحله‌ی جوانه‌زنی گیاه است. این مرحله در کشاورزی سنتی برای کشاورزان دارای اهمیت می‌باشد. کشاورزان در این مرحله، شرایط محیطی قسمتی از زمین را کنترل کرده و خزانه‌هایی را ایجاد می‌کنند و بذرها را در بسترهای (خزانه‌ها) آماده شده بر روی زمین کشت می‌کنند. پس از جوانه زنی بذر (رشد اولیه در خزانه)، نشاها را از زمین جدا کرده و در زمین اصلی می‌کارند (۵). نتایج این روش، از روش کشت مستقیم در زمین مطلوبتر است. اما این روش دارای معایبی می‌باشد: شامل توزیع غیر یکنواخت بذر در خزانه، شوک‌های حاصل از جداسازی نشاها از یکدیگر و از خاک و آلودگی‌های بالقوه‌ی پیش‌رو. از طرفی دیگر، کشت سنتی پرهزینه و زمان‌بر است و نیاز به نیروی کارگری زیادی دارد (۱۶). عواملی مانند کاهش هزینه، کاهش سختی کار و کوتاه کردن زمان عملیات کاشت، داشت و برداشت بدون کاستن از کیفیت کار، کاهش مصرف انرژی و افزایش ظرفیت مزرعه ، کوچک بودن و پراکندگی اراضی شالیکاری و صرفه-جویی در نیروی کار از معیارهای مهم برای پذیرش مکانیزاسیون برای عملیات کاشت برنج است (۱). در مجموع مکانیزاسیون کشت برنج به افزایش بهره‌وری کمک می‌کند و نیاز به نیروی کار زیاد را کاهش می‌دهد و کشاورزی برنج را از نظر اقتصاد مقرون به‌صرفه‌تر می‌کند (۲۱). علاوه بر آن، می‌تواند دقت و صحت کاشت، برداشت و سایر عملیات کشاورزی را افزایش دهد و منجر به افزایش بازده و کیفیت بهتر محصول شود. تولید نشا بخشی مهم و ضروری در تولید محصولات کشاورزی است. افزایش کیفیت محصول نهایی، یکنواختی در رشد و کاهش زمان تولید از مهم‌ترین دلایل به‌کارگیری سینی در نشا برنج است. دستگاه‌های ثابتی برای پاشش بذر در سینی‌های نشا وجود دارد. از مزایای کاربرد این دستگاه‌ها می‌توان به

مصرف بذر کم‌تر و تراکم یکنواخت‌تر نشا در سینی اشاره کرد، اما عیب عمده این دستگاه‌ها بزرگ و ثابت بودن، قیمت بالا و دسترسی کمکشاورزان به آنها است که سبب می‌شود بسیاری از کشاورزان از همان روش دستی سنتی استفاده کنند. به‌طور کلی طراحی و توسعه‌ی ادوات کشاورزی کم هزینه و کارآمد به‌دلیل در دسترس بودن برای عموم کشاورزان، نقش حیاتی در حفظ کشاورزی در مزارع کوچک دارد. از پژوهش‌های گذشته می‌توان به این اصل پی‌برد که پژوهشگران در همه‌ی امور کشاورزی همواره در پی مکانیزه کردن ادوات کشاورزی هستند. برای مثال، به‌منظور بذرکاری در سینی نشا یک دستگاه کارنده‌ای صنعتی با یک استوانه‌ی تحت خلأ طراحی و ساخته شد (۱۲). روی استوانه متناسب با سینی نشا روزنه‌هایی قرار داده و بهترین قطر نازل ۰/۴۹ میلی‌متر معرفی و فشار مورد نیاز در نازل‌ها ۴- تا ۵- کیلو پاسکال پیشنهاد شد. در سال ۲۰۱۳ یک دستگاه بذرکار پنوماتیک برای کشت بذرهای ریز در سینی‌های نشا طراحی، ساخته و ارزیابی شد (۱۷). برای ارزیابی دستگاه از دو نوع سینی نشا برای بذرهای گل اطلسی روکش داده شده با قوه نامیه‌ی ۸۴ درصد استفاده شد و نتایج به‌دست آمده نشان داد که خطای کاشت برای سینی ۱۰۵ سلولی در حدود ۱/۹ و برای سینی ۳۹۰ سلولی در حدود ۰/۴۶ درصد بوده است. همچنین زمان کاشت برای سینی نشا ۱۰۵ سلولی نسبت به روش دستی از ۲۰ دقیقه به ۳۵ ثانیه و برای سینی نشا ۳۹۰ سلولی از ۹۰ دقیقه به ۱۶۰ ثانیه کاهش یافت. همچنین در سال ۲۰۱۴ یک ربات بذرکار دقیق برای کاشت بذرگوجه فرنگی در سینی‌های نشا ارائه شد که می‌توانست در یک ردیف از سلول‌ها در یک سینی، شیار ایجاد کرده و در زمان خیلی کوتاه بذر را در داخل شیار قرار دهد (۹). در پژوهش دیگری کارآمدی بذرکار نیمه‌خودکار سینی نشا برای دو نوع بذر خیار و عدس مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده نشان داد که دستگاه با شرایط کاری موزع در خلأ بیشتر و قطر روزنه‌ی کوچک‌تر عملکرد بهتری دارد. به‌طوری که کارکرد بهینه برای بذر خیار و بذر عدس به‌ترتیب در فشار ۱۵- کیلو پاسکال و ۱۳- کیلو پاسکال، روزنه‌ی ۱ میلی‌متر برای هر دو بذر به‌دست آمد (۲۰). در پژوهشی دیگر، طراحی بذرکار در سینی نشا برای کاشت چندین محصول مورد بررسی قرار گرفت، قطعات این دستگاه به‌صورت جداگانه طراحی، ساخته و سپس مونتاژ شدند، نتایج به‌دست آمده نشان داد که با به‌کارگیری این دستگاه برای کاشت بذر در سینی ۹۰ درصد در نیروی کار و ۷۰ درصد در هزینه صرفه‌جویی شده است (۱۹). در پژوهشی دیگرطراحی و ساخت یک ماشین نشاکار دستی برنج برای کشت‌کنندگان برنج هندی در مقیاس کوچک انجام‌شد. آنها بیان کردند دستگاه طراحی و ساخته شده هزینه کار و زمان کاشت بذر برنج را کاهش می‌دهد، مکانیزم ساده‌ای دارد و سازگار با محیط زیست است (۲۴). در جدیدترین پژوهش نتایج مقایسه‌ای دستگاه مکانیزه کاشت بذر در سینی نشا نسبت به روش‌های دستی نشان داد که علاوه بر کاهش زمان و هزینه، موجب افزایش یکنواختی در توزیع بذر، کاهش مصرف بذر و بهبود کیفیت نشاها شده است. همچنین، امکان اتصال این دستگاه‌ها به سامانه‌های هوشمند برای پاشش آب مورد نیاز بذر فراهم می‌باشد (۱۳). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که کاشت بذر در سینی نشا نه تنها موجب افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها می‌شود، بلکه امکان مکانیزه‌سازی فرآیند تولید نشا را نیز فراهم می‌سازد. بنابراین برای افزایش ضریب مکانیزاسیون کشاورزی در تولید برنج در ایران، کشاورزان به دستگاهی نیاز دارند که در ابتدا باعث کاهش تعداد کارگران مورد نیاز برای تولید نشا و سپس کاهش هزینه خرید و نگهداری آن نسبت به دستگاه‌های مکانیزه وارداتی داشته باشد. هدف کلی از این پژوهش طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاهی ساده، ارزان‌قیمت، با امکانات بومی، جهت کاشت سریع و دقیق بذر در سینی-

های نشا می‌باشد. برخلاف دستگاه‌های مشابه موجود در این دستگاه خاک ریزی زیر و روی بذر انجام می‌شود.

مواد و روش‌ها

دستگاه شلتوک‌کار دستی به‌گونه‌ای طراحی شد که دارای مخزن بذر، موزع بذر، مخزن خاک، موزع خاک، سیستم انتقال نیرو، دستگیره‌ها، شاسی دستگاه، چرخ‌های حامل و یاتاقان‌ها می‌باشد.

طراحی سه‌بعدی اجزاء در نرم‌افزار سالیدورکس

نرم‌افزار سالیدورکس[1] یک سامانه مهندسی طراحی به‌کمک رایانه[2] (CAD) است که توسط شرکت داسو سیستمز[3] توسعه یافته است. این نرم‌افزار با بهره‌گیری از رویکرد پارامتریک مبتنی بر ویژگی، امکان مدل‌سازی سه‌بعدی قطعات مکانیکی، مونتاژ آن‌ها و تهیه نقشه‌های مهندسی دوبعدی را فراهم می‌آورد. دارای سه محیط اصلی پارت طراحی سه‌بعدی مونتاژ و نقشه‌کشی است که هر کدام به ترتیب برای طراحی قطعات، سرهم‌بندی قطعات و تولید مستندات مهندسی به کار می‌روند. از ویژگی‌های برجسته این نرم‌افزار می‌توان به سهولت کاربری، سرعت بالا، قابلیت تعامل با نرم‌افزارهای ماشین‌کاری و تحلیل مهندسی و همچنین ابزارهای پیشرفته شبیه‌سازی تنش، دینامیک سیالات و بهینه‌سازی طراحی اشاره کرد. از این نرم‌افزار برای طراحی سه‌بعدی اجزا دستگاه و مونتاژ آنها استفاده شد.

مخزن بذر و خاک

حجم مخزن‌های بذر و خاک و عرض دستگاه بر اساس نیاز عملیاتی و نوع سینی‌های مورد استفاده در مزارع شمال کشور و قابلیت حمل توسط کاربر تعیین شده‌اند. بدنه مخازن شیبدار طراحی شد تا هیچ‌گونه انسدادی در زمان عملیات بر روی موزع‌ها ایجاد نشود. زاویه‌ی دیواره‌ی مخزن به‌عنوان یکی از عوامل طراحی می‌باشد که تأثیر قابل توجهی بر جریان همگن بذرها هنگام خروج از مخزن را دارد (۲۳). باتوجه به زاویه‌ی اصطکاک داخلی بذر برنج (شلتوک برنج، بیضی شکل با پوسته خشن باعث افزایش اصطکاک می‌شود)، که معمولاً ۳۰-۴۰ درجه برای شلتوک خشک است؛ زوایای تیز مخزن ممکن است منجر به گیر کردن بذرها در نقاط خاصی شوند، بنابراین به‌کارگیری زوایای ملایم‌تر امکان جابجایی روان‌تر بذرها را فراهم می‌کند. زاویه‌ی ۳۰ درجه (با خط عمود) به‌عنوان زاویه‌ی دیواره‌ی پایینی مخزن بذردر نظر گرفته شد (۱۵). برای جلوگیری از پل زدن و گیر کردن خاک در مخزن یک همزن مکانیکی طراحی شد.

سامانه انتقال دوران

چرخ‌های زمین‌گرد

جنس چرخ‌ها از مواد نایلونی درنظر گرفته شده تا علاوه بر کاهش هزینه تولید، باعث افزایش وزن دستگاه نشود. در بخش اتصالات محورهای دوار، از بلبرینگ ۶۲۰۲Z استفاده شده است که از جمله بلبرینگ‌های شیار عمیق است. این نوع بلبرینگ‌ها به‌خوبی می‌توانند بارهای شعاعی، محوری و ترکیبی را تحمل کنند و از جنس استیل سخت‌کاری شده می‌باشند.

چرخدنده استاندارد

با فعال کردن Toolbox Library در نرم‌افزار Solid Works و انتخاب استاندارد ISO، چرخدنده‌های مختلف در بخش Spur Gear طراحی شده‌اند که با انتخاب مدول یا تعداد دنده می‌توان چرخدنده مورد نیاز را انتخاب کرد.

چرخ‌زنجیر

مشابه فرآیند طراحی چرخ‌دنده در بخش Chain Wheels و انتخاب Short Pitch Roller Chain، پارامترهایی مثل تعداد دندانه، نوع و اندازه هسته برای طراحی چرخ‌زنجیر مشخص شد و چرخ‌زنجیر مورد نیاز انتخاب شد.

1- Solid Works
2- Computer-Aided Design
3- Dassault Systems

بلبرینگ‌ها

برای اتصال قطعات ساخته شده به بدنه‌ی دستگاه از ۱۴ بلبرینگ استاندارد استفاده شد. هم‌راستا بودن موزع با محور موزع و قرارگیری آن در محفظه توسط دو بلبرینگ فراهم شد. همچنین چرخدنده‌ها و چرخ‌های حامل از طریق بلبرینگ به محور خود متصل شدند.

موزع بذر

موزع بذر از نوع غلتکی شیاردار که مرسوم‌ترین موزع‌ها در خطی کارها می‌باشد در نظر گرفته شد. طرح موزع با در نظر گرفتن سادگی ساخت، قابلیت تنظیم و عملکرد مناسب در شرایط مزرعه انتخاب شده است. این نوع موزع نرخ پاشش را با دقت بالا کنترل می‌کند، شلتوک برنج بذری نامنظم و چسبنده است این شیارها جریان بذر را تسهیل، از پل زدن بذر جلوگیری می‌کنند، بذرها را بدون خرد کردن منتقل می‌کنند و همچنین به‌دلیل نگهداری آسان‌تر نسبت به دگر موزع‌ها هزینه پایین‌تری هم دارد (۲). جنس موزع بذر آلومینیوم انتخاب شد تا فرآیند ساخت ساده‌تری داشته باشد. زیرا این جنس علاوه بر سختی جنس آن وزن کمتری دارد و در مقابل خوردگی مقاومت بالایی دارد که این ویژگی به‌خصوص در محیط‌های اسیدی و مرطوب مزیت بزرگی به‌شمار می‌رود. مهم‌ترین عوامل در طراحی موزع غلتکی شیاردار، تعداد و شکل شیارها می‌باشند. پارامترهای طراحی موزع بذر را می‌توان به قطر موزع بذر، زاویه بین شیارها، عرض شیار، تعداد و عمق شیار اشاره نمود. بر اساس پیشینه‌های پژوهش قطر موزع بذر، عرض و عمق شیار موزع ثابت به‌ترتیب برابر ۴۹/۳۸، ۵/۲۷ و ۲/۵۰ میلی‌متر و همچنین تعداد ۲۴ شیار در نظر گرفته شد. با توجه به نوع بذر و تراکم توصیه‌شده، مقدار پاشش بذر برنج برای هر سینی نشا تعیین شد. در این پژوهش از رقم برنج هاشمی با تراکم ۱۸۰ گرم در هر جعبه استفاده شد.

موزع خاک

موزع خاک‌ریز از نوع تسمه‌ای لاستیکی دوار در کف مخزن خاک مشابه با انواع موزع پخش‌کن‌های کود دامی ساخته شد. نسبت انتقال چرخ زمین‌گرد به موزع خاک نیز یک به یک در نظر گرفته شد. یک دریچه قابل تنظیم برای تنظیم مقدار ریزش خاک از دریچه خروجی موزع در نظر گرفته شد. ضخامت خاک روی بذر شلتوک ۲ سانتی‌متر توصیه می‌شود. زیرا عمق مذکور تعادل مناسبی بین دسترسی به اکسیژن و انرژی مورد نیاز برای خروج هیپوکوتیل فراهم می‌کند، که از کمبود اکسیژن جلوگیری کرده و نرخ جوانه زنی را تا ۲۵٪ افزایش می‌دهد. در عمق بیشتر از ۲ سانتی‌متر، مقاومت مکانیکی خاک انرژی ذخیره بذر را تخلیه می‌کند (۳ و ۷). یکنواختی ریزش خاک نیز یکی از عوامل کلیدی در عملکرد صحیح این دستگاه است. زیرا یکنواختی پاشش خاک مستقیماً بر جوانه‌زنی و رشد بذرها تأثیر می‌گذارد. در آزمایش‌های انجام شده پاشش یکنواخت خاک، پوشش‌دهی کامل روی بذرها و چرخش دو طرفه موزع خاک نشا ارزیابی شد.

ساخت دستگاه شلتوک‌کار دستی

پس از طراحی سه‌بعدی قطعات دستگاه، مراحل ساخت گام به گام شامل روش‌های تولید، تأمین و ساخت قطعات و مونتاژ دستگاه انجام شد. در ساخت بدنه دستگاه باید به عواملی از جمله شرایط به‌کارگیری دستگاه شامل رطوبت توجه شود. زیرا این عوامل می‌توانند بر روی مقاومت و دوام بدنه تأثیرگذار باشند. از ورق فولاد ST37 برای اتصالات دستگاه و از ورق فولاد ضد زنگ ۳۰۴ برای تولید بدنه دستگاه استفاده شد. جدول (۱) مشخصات مکانیکی این ورقها را نشان می‌دهد. وجود عناصری مانند منگنز و سیلسیم سبب شده است که این ورق قابلیت ماشینکاری مناسبی داشته باشد. همچنین این فولاد علاوه بر قیمت مناسب از وزن سبک و قابلیت تحمل فشار بالا، شکل‌پذیری و جوش‌پذیری خوبی برخوردار است. محور محرک موزع از جنس

فولاد ST37 ساخته شد. این آلیاژ به دلیل ترکیبی از خواص مطلوب، از جمله مقاومت در برابر خوردگی، قابلیت شکل‌دهی خوب، و جوش‌پذیری مناسب، در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. استقامت در برابر زنگ زدگی و خوردگی، پایداری در برابر اکسیداسیون این آلیاژ بیشتر از فولادهای متداول است. در تولید چرخ‌دنده‌ها از جنس تفلن استفاده شد. به‌علت ویژگی‌ها و مزایای خاص تفلون، این چرخدنده‌ها مقاومت بالایی در برابر خوردگی دارند که این ویژگی باعث می‌شود که در محیط‌های مرطوب و شیمیایی که در آن فلزات ممکن است دچار زنگ‌زدگی یا خوردگی شوند، عملکرد بهتری داشته باشند. علاوه بر آن می‌توان به سبک‌بودن این جنس از چرخدنده‌ها، طول عمر بالا و قیمت پایین‌تر نسبت به جنس فلزی آن اشاره کرد.

چرخ‌های زمین گرد و حامل دستگاه نیز از جنس تفلون تراشیده شدند. نسبت انتقال چرخ زمین‌گرد به موزع بذر با توجه به تراکم پیشنهادی پیشینه پژوهش یک به یک در نظر گرفته شد. میزان ریزش بذر با کنترل دریچه خروجی بذر از موزع قابل تنظیم است.

عملیات برش CNC[1]

نرم‌افزار سالیدورکس کد G تولید می‌کند که پس از پیکربندی صحیح، می‌تواند مستقیماً به ماشین‌های برش CNC ارسال شود. پس از ارسال کد، برنامه تولید روی یک سطح از ورق فولادی ST37 پیاده شده و شروع به برش می‌کند.

عملیات ماشین‌کاری

برای ایجاد شیار جهت ساخت موزع غلتکی شیاردار بذر، از عملیات فرزکاری استفاده شد. در فرزکاری، برخلاف عملیات‌های پرسکاری و شکل‌دهی که از قالب‌های سنبه و ماتریس استفاده می‌شود، ابزارهای برش و قطعه‌کار به‌طور مستقیم درگیر فرآیند براده‌برداری می‌شوند. در فرزکاری از فیکسچرها و نگهدارنده‌ها برای ثابت نگه‌داشتن قطعه‌کار استفاده می‌شود و ابزارهای برش به‌صورت چرخشی عمل می‌کنند. برای ایجاد شیار بر روی موزع از تیغه‌های خاصی که دارای سطح مقطع جناغی هستند استفاده شد. این تیغه‌ها معمولاً به‌شکل مخروطی و با زاویه‌ی خاصی نسبت به محور ابزار قرار می‌گیرند تا شیارهای جناغی را بتوانند به‌درستی ایجاد کنند. عمق فرز، سرعت چرخش تیغه و سرعت حرکت پیشبره باید با دقت تنظیم شود تا ابعاد و زاویه شیار جناغی به‌صورت دقیق ماشین‌کاری شوند. سایر قطعات مورد نیاز شامل قطعات استاندارد شامل بلبرینگ، پیچ، مهره و واشرها از بازار این محصولات تهیه شد. همچنین برای تهیه چرخ زنجیر و زنجیر از نمونه‌های موجود در بازار استفاده شد.

مونتاژ دستگاه

بعد از طراحی و تولید مونتاژ قطعات دستگاه انجام شد. ابتدا اجزای بدنه‌ی مخزن‌ها به یکدیگر به وسیله‌ی پیچ و مهره‌ها متصل شد. در این مرحله باید از هرگونه نشتی برای مخزن‌های بذر و خاک جلوگیری شود. سپس موزع بذر، همزن خاک، تسمه نقاله، غلتک و بلبرینگ‌ها را در جای خود با دقت نصب شدند تا در هنگام پاشش بذر و خاک مشکلی ایجاد نشود.

ارزیابی مزرعه‌ای و بررسی عملکرد دستگاه

پس از مونتاژ قطعات دستگاه، لازم است دستگاه تحت آزمون‌های مختلفی قرار گیرد تا عملکرد آن ارزیابی شود. وسایل مورد استفاده در این آزمون شامل جعبه نشا، با ابعاد ۳×۳۰×۶۰، ترازوی دیجیتال مدل AND EK-200i با دقت ۰/۰۱ گرم، کولیس آنالوگ با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر بودند. برای ارزیابی نهایی دستگاه تولید شده عملیات واقعی شلتوک‌کاری در سینی نشا انجام گرفت. عملکرد دستگاه به‌گونه‌ای مورد انتظار می‌باشد که مقدار مشخصی بذر به‌صورت یکنواخت، پایدار و دقیق در هر سینی نشا کاشته شود.

1- Computer Numerical Control

جدول(۱) خواص مکانیکی ورق فولاد ST37 و فولاد ضدزنگ ۳۰٤ (۴)

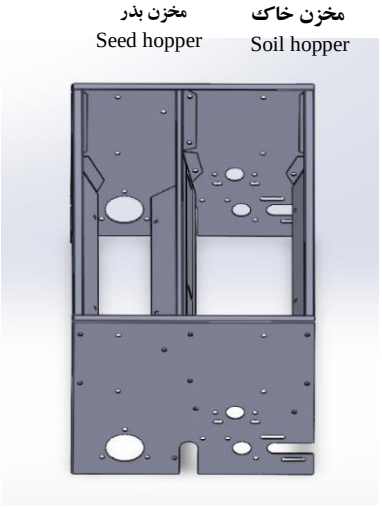
Table (1) Mechanical properties of the ST37 steel alloy and stainless steel 304 alloy (4)

مدول الاستیسیته **Young's modulus (GPa)**	استحکام کششی **Ultimate stress (MPa)**	استحکام تسلیم **Yield stress (MPa)**	چگالی **Density (g/cm^3)**	ماده **Material**
210	**360-510**	**235**	**7.85**	ST37
193-200	**500-700**	**195**	**8**	فولاد ضد زنگ ۳۰۴ **Stainless steel 304**

نتایج و بحث

طراحی سه‌بعدی قطعات

مخزن بذر در قسمت جلوی دستگاه و مخزن خاک در قسمت عقب دستگاه قرار داده شد (شکل ۱). طول و عرض دستگاه بر اساس استانداردهای سینی نشا طراحی شده است تا پاشش یکنواخت روی یک سینی (به صورت عرضی) و یا دو سینی (به صورت طولی) همزمان انجام شود.

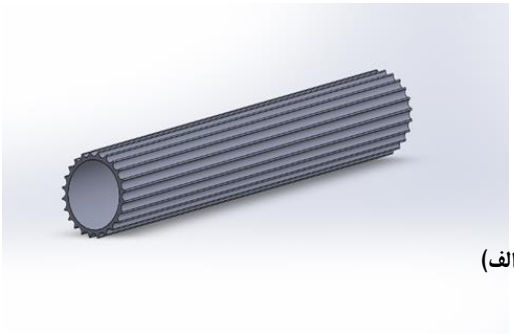


شکل (۱) مخزن بذر و خاک طراحی شده در نرم‌افزار سالیدورکس و نمایی از زاویه‌ی قابل‌تغییر ایجاد شده بر روی دیواره‌ی مخزن بذر

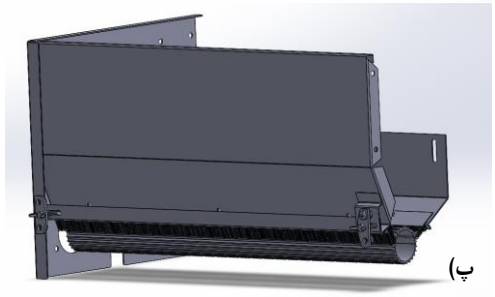
Figure (1) Seed and soil hoppers designed in Solid Works software and a view of the variable angle created on the seed hopper wall

موزع بذر از نوع غلتکی شیاردار طراحی و تولید شده در شکل (۲-الف) آورده شده است. محل و چگونگی نصب آن در شکل (۲- ب و پ) آورده شده است. لبه تنظیم‌شونده قابل مشاهده است که می‌تواند به موزع نزدیک‌تر یا دورتر شود و میزان خروجی بذر را کنترل می‌کند. برای اطمینان از عدم حرکت طولی موزع روی محور، پین مناسبی تهیه و بر روی محور نصب شد.برای انتقال دوران چرخ زمین به موزع از یک مجموعه چرخ زنجیر یکطرفه، زنجیر و چرخدنده ساده استفاده شد. این مجموعه با حرکت به سمت جلو موزع بذر را می‌چرخاند ولی با حرکت به سمت عقب به‌صورت خلاص می‌چرخد و موزع بذر حرکت ندارد. شکل (۳-الف) چرخ زنجیر یکطرفه و شکل (۳- ب) یک چرخدنده ساده را نشان‌می‌دهد. زنجیر با گام ۱۲/۷ میلی‌متر دوران چرخ‌های زمین‌گرد را از طریق چرخ‌دنده ساده روی محور چرخ، به چرخ زنجیر یکطرفه روی موزع انتقال می‌دهد.

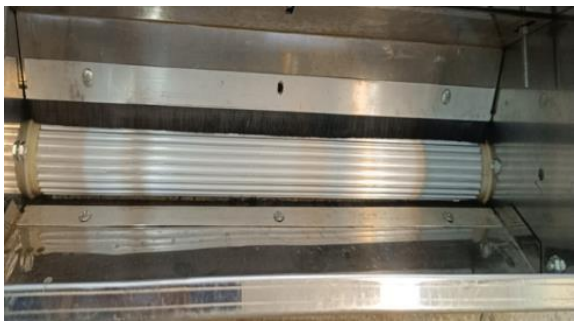
موزع لاستیکی خاک و خاک همزن داخل مخزن در شکل (۴) آورده شده است. موزع از نوار لاستیکی آجدار و خاک همزن از لوله فولادی و ورق ST37 طراحی و ساخته شد. در طراحی همزن خاک ابتدا استوانه‌ای توخالی به شعاع نه میلی‌متر، با ضخامت بیرونی یک میلی‌متر، و طول ۵۷۵ میلی‌متر طراحی شد.پنج پره یا تیغه طراحی و بر روی استوانه مونتاژ شد. تیغه ها از آن جهت بر روی استوانه تعبیه می‌شود که با حرکت دادن ذرات خاک موجود در مخزن، به همگن‌سازی آن کمک می‌کند.



الف)



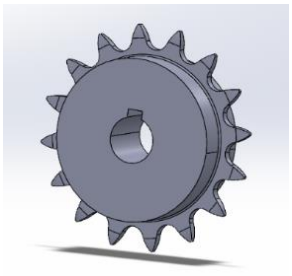
پ)



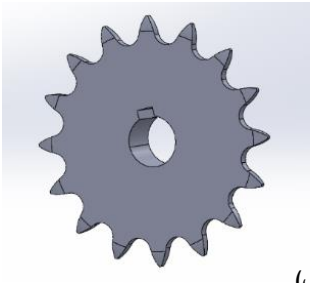
ب)

شکل (۲) الف: طرح سه‌بعدی موزع، ب) موزع تولید شده و پ) محل قرارگیری موزع و لبه‌های تنظیم شونده توسط پیچ و مهره‌ی خروسکی نسبت به موزع

Figure (2) a: 3D design of the distributor, b) Manufactured distributor, and c) Location of the distributor and the adjustable edges by the wing bolt



الف)



ب)



پ)

شکل (۳) الف: چرخ‌زنجیر یکطرفه محور موزع، ب) چرخدنده ساده محور چرخ و پ) چرخ زمین‌گرد

Figure (3) a: One-way chain wheel on the distributor shaft, b) Simple gear wheel on the wheel shaft, and c) Earth oving wheel



الف)

ب)

شکل (٤) الف: طرح سه‌بعدی تسمه حمل‌کننده خاک و همزن طراحی شده و ب) موزع پلاستیکی آجدار و همزن خاک تولید و نصب شده در مخزن خاک

Figure (4) a: 3D design of the soil conveyor belt and agitator and b) Produced ribbed plastic distributor and soil agitator installed in the soil hopper

شکل (۵) نشان دهنده تصویر سه‌بعدی و تصویر دستگاه ساخته شده را نشان می‌دهد.

جنس چرخدنده‌ها تفلونی است که به چرخدنده‌های PTFE[1] نیز شناخته می‌شوند و بعد از تهیه، این چرخ‌دنده‌ها روی بدنه‌ی دستگاه نصب شد. جزئیات محل قرارگیری قطعات تشکیل‌دهنده دستگاه و محل نصب چرخدنده، زنجیر و چرخ‌زنجیر در شکل (۶) آورده شده است.

آزمون و ارزیابی دستگاه شلتوک‌کار دستی

دستگاه شلتوک‌کار دستی با هدف توزیع یکنواخت بذر برنج و بستر زیر و روی آن در سینی نشا ارزیابی و عملکرد این دستگاه در شرایط واقعی به‌منظور شناسایی نقاط قوت و ضعف بررسی شد. این ارزیابی شامل بررسی دقت و میزان مصرف بذر در هر سینی نشا و همچنین دقت در ریزش خاک بود. برای تنظیم میزان ریزش بذر و خاک از پیچ و مهره خروسکی برای تنظیم دریچه‌های روی موزع‌ها استفاده شد.



الف

ب

شکل (۵) الف: طرح سه‌بعدی و ب) دستگاه شلتوک‌کار دستی ساخته شده

Figure (5) a: 3D design and b) Manufactured handheld paddy planter machine



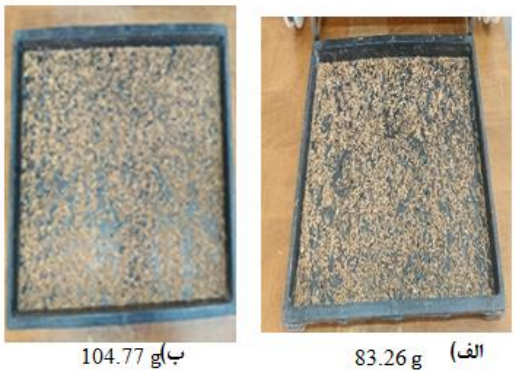
شکل(٦) مونتاژ قطعات دستگاه بر روی بدنه الف) مجموعه چرخ‌زنجیر، چرخدنده و زنجیر و ب) مجموعه چرخدنده‌های تفلنی

Figure (6) Assembly of the machine parts on the body, a) Sprocket, gear, and chain parts, and b) Nylon gears

واسنجی دستگاه شلتوک‌کار دستی

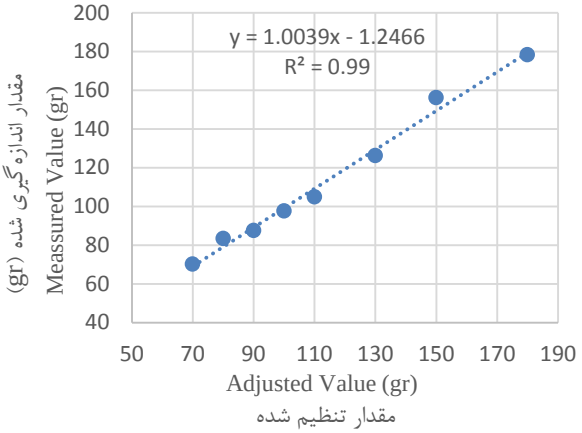
واسنجی برای اطمینان از توزیع دقیق و یکنواخت بذرها در سینی نشا ضروری است. این فرآیند به مصرف بهینه بذر و بهبود نتایج کاشت کمک می‌کند. قبل از شروع فرآیند، باید از سالم بودن تمامی قطعات دستگاه اطمینان حاصل کرد. مخزن بذر و مخزن خاک، قطعات داخلی دستگاه و به‌ویژه موزع بذر، باید کاملاً تمیز باشند تا جریان بذرها بدون مانع انجام شود.

تعیین نرخ بذر پاششی: دستگاه باید بذر را به‌طور یکنواخت در سطح سینی نشا ریزش کند تا از رشد یکنواخت و موفقیت‌آمیز برنج اطمینان حاصل شود. دریچه پوششی خروج بذر متناسب با تراکم توصیه شده تنظیم می‌شود تا مقدار خروجی بذر با مقدار توصیه شده برابر باشد. دستگاه را بدون وجود خاک به سمت جلو (سمت مخزن بذر) حرکت داده‌شد و سپس بذرهای ریخته شده در سینی نشا جمع‌آوری و وزن شد. این وزن با مقدار بذر توصیه شده مقایسه شد و با پیچ‌های تنظیم می‌توان کاهش یا افزایش داد (شکل ۷). حرکت از چرخ زمین به موزع بذر فقط زمانی که دستگاه به‌سمت جلو حرکت داده‌می‌شود انتقال می‌یابد. شکل (۸) نشان دهنده عملکرد دستگاه در تنظیم‌های مختلف ریزش بذر در سینی نشا می‌باشد. ضریب تعیین[1] (R^2) نشان دهنده قابلیت تنظیم صحیح دستگاه برای ریزش‌های مختلف می‌باشد. شکل (۹) نشان دهنده مسیر رفت دستگاه با ریزش خاک لایه زیر و لایه بذر روی آن را نشان می‌دهد. این نتایج با نتایج مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۲ به منظور واسنجی یک بذرکار با موزع ناودانی شیاردار انجام شده مطابقت دارد (۲۲). آنها نشان دادند که موزع ناودانی با ضریب R^2 >۰/۹۵ میتواند بذر را در سینی نشا برای تراکم‌های ۱۵۰تا ۲۵۰ گرم پخش کند. در پژوهشی دیگر (۱۰) واسنجی برای تراکم ۱۸۰-۲۲۰ گرم انجام شد و نتیجه یکنواختی پخش بذر با ضریب R^2 > ۰/۹۲ برای تنظیم‌های مختلف بدست آمد. مکانیسم انتقال حرکت از چرخ زمین به موزع در جهت حرکت (فقط در جهت جلو) است که از ریزش نامنظم جلوگیری می‌کند



شکل (۷) مقدار بذرهای ریخته شده در سینی نشا در مرحله واسنجی

Figure (7) Weight of seeds distributed in the seedling tray during the calibration stage



شکل (۸) عملکرد دستگاه در تنظیم‌های مختلف ریزش بذر

Figure (8) Machine performance at different seed rate settings

1- R-squared correlation



شکل (۹) حرکت رفت دستگاه و ریزش لایه خاک زیر و لایه بذر روی آن

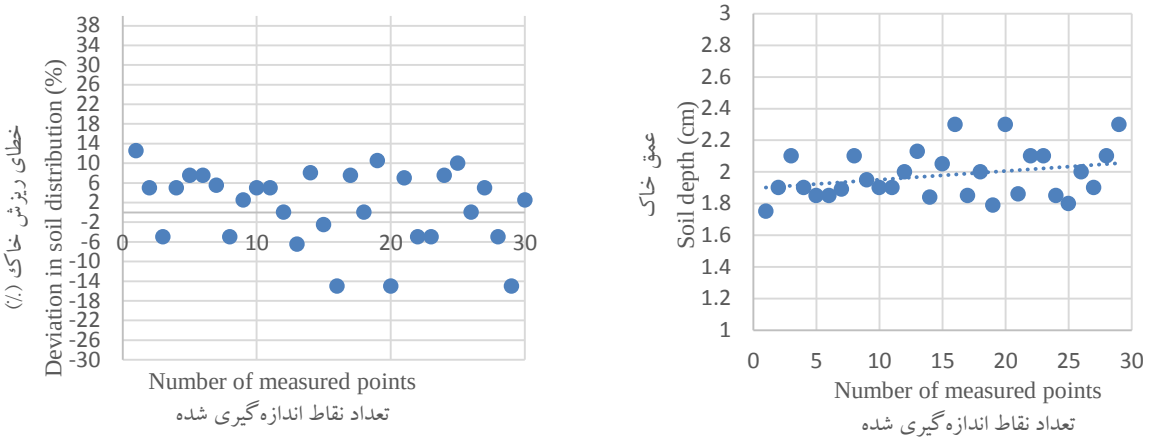
Figure (9) The forward movement of the machine and the fall of the soil layer below and the seed layer above it

سرعت عمل بذرکاری

سرعت پاشش بذر یکی دیگر از پارامترهای مهم است که در ارزیابی دستگاه باید مورد توجه قرار گیرد. دستگاه شلتوک‌کار دستی باید قادر باشد سینی‌های نشا را با سرعت بیشتری نسبت به شیوه‌ی دستی پوشش دهد بدون آن‌که کیفیت کار تحت‌تأثیر قرار بگیرد. در آزمون‌های میدانی انجام‌شده به‌منظور ارزیابی عملکرد دستگاه پاشش بذر، نتایج حاکی از بهبود چشمگیر در سرعت و کارایی این فناوری نسبت به روش‌های سنتی دستی بود. بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده، دستگاه توانست عملیات پاشش بذر را برای پنج سینی نشا تنها در مدت زمان ۱/۵ دقیقه انجام دهد، در حالی‌که در روش دستی، حداکثر دو سینی در همین بازه زمانی قابل پوشش بود. این تفاوت معنادار نشان‌دهنده افزایش بیش از دو برابری در بهره‌وری زمانی است که می‌تواند نقش بسزایی در کاهش هزینه‌های نیروی انسانی، افزایش سرعت آماده‌سازی سینی نشا و بهبود یکنواختی کاشت ایفا کند. افزون بر این، اجرای آزمون در شرایط واقعی مزرعه‌ای اعتبار نتایج را تقویت کرده و قابلیت کاربرد عملی دستگاه را در محیط‌های کشاورزی تأیید می‌نماید.

یکنواختی پاشش خاک زیر و روی لایه بذر

خاک مورد استفاده باید از دانه‌بندی یکنواخت و بدون کلوخه باشد. کلوخه‌ها یا خاک با ذرات درشت سبب انسداد پخش‌کننده و ناهمگنی در پاشش می‌شود. یکنواختی ریزش خاک نیز یکی از عوامل کلیدی در عملکرد صحیح این دستگاه است. زیرا یکنواختی پاشش خاک مستقیماً بر جوانه‌زنی و رشد بذرها تأثیر می‌گذارد. خاک مورد استفاده باید از دانه‌بندی یکنواخت و بدون کلوخه باشد. کلوخه‌ها یا خاک با ذرات درشت سبب انسداد پخش‌کننده و ناهمگنی در پاشش می‌شود. در آزمایش‌های انجام شده پاشش یکنواخت خاک، پوشش‌دهی کامل روی بذرها و چرخش دو طرفه موزع خاک نشاارزیابی شد. چرخش موزع خاک در حرکت دستگاه به‌سمت عقب و سپس برگشت انجامو خاک لایه زیر و لایه روی بذر با ضخامت ثابت ۲ سانتی‌متر انجام گرفت. هدف از این تنظیم، دستیابی به یکنواختی در پوشش خاک و بررسی دقت عملکرد دستگاه در شرایط کنترل‌شده بود. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها در قالب نمودارهای شکل (۱۰-الف) و (۱۰-ب) ارائه شده‌اند. شکل (۱۰-الف) بیانگر تغییرات عمق خاک ریخته‌شده در نقاط مختلف سطح ۱۰ سینی نشا است که نشان دهنده میزان یکنواختی توزیع خاک توسط موزع می‌باشد. در مقابل، شکل (۱۰-ب) به تحلیل درصد خطای ریزش خاک اختصاص دارد و میزان انحراف از مقدار هدف (۲ سانتی‌متر) را در قالب دو نوع خطا مشخص می‌سازد: خطای منفی (کم‌ریزش) با حداکثر مقدار ۱۵- درصد و خطای مثبت (بیش‌ریزش) با حداکثر مقدار ۱۲+ درصد. این مقادیر بیانگر آن است که اگرچه دستگاه در بیشتر نقاط عملکرد قابل قبولی داشته، اما در برخی نواحی سینی‌ها، انحراف از مقدار مطلوب مشاهده شده است. خطای کم‌ریزش و بیش‌ریزش در عملکرد موزع خاک را می‌توان ناشی از عوامل مکانیکی، طراحی و محیطی دانست که بر یکنواختی توزیع خاک در سطح سینی نشا تأثیرگذارند. این خطاها ممکن است در اثر حرکت ناهماهنگ دستگاه در طول مسیر یا نوسانات لحظه‌ای دستگاه ایجاد شود.



شکل (۱۰) عملکرد دستگاه در ریزش خاک الف) عمق خاک ریخته شده در نقاط مختلف و ب) خطای ریزش خاک توسط موزع

Figure (10) Machine performance in soil distribution a) Depth of soil shed at different points and b) Soil shedding error by the distributor

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه شلتوک‌کار دستی کم‌هزینه، با به‌کارگیری امکانات در دسترس، برای بذرپاشی سریع و دقیق در سینی نشا انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که دستگاه طراحی شده قادر است توزیع یکنواختی از بذر و خاک را در سینی نشا فراهم کند، سرعت عمل بذرکاری را نسبت به روش سنتی به‌طور چشمگیری افزایش دهد. نتایج ارزیابی دستگاه در ریزش‌های بذر برنج در نمونه‌های ۷۰ تا ۱۸۰ گرم بر سینی‌های نشا نشان داد که دستگاه قادر به توزیع یکنواخت بذر در سینی‌های نشا است. همچنین، افزایش سرعت عمل و پخش یکنواخت و همگن بذر با به‌کارگیری این دستگاه، می‌تواند به کشاورزان در صرفه‌جویی در زمان، نیروی کار و هزینه‌های تولید کمک کند. به‌کارگیری ورق استیل ضد زنگ ۳۰۴ در ساخت بدنه دستگاه، ضمن زیبایی، مقاومت و دوام دستگاه را در برابر عوامل محیطی افزایش می‌دهد. انتخاب تفلون برای چرخ دنده‌ها نیز به‌دلیل مقاومت در برابر خوردگی و سایش و کاهش اصطکاک، سبب افزایش عمر مفید دستگاه می‌شود. موزع غلتکی شیاردار آلومینیومی، ضمن کاهش وزن دستگاه، امکان پاشش یکنواخت بذر را فراهم می‌کند. به‌طور کلی، دستگاه شلتوک‌کار دستی طراحی و تولید شده در این پژوهش می‌تواند به عنوان یک جایگزین کارآمد برای روش‌های سنتی کشت برنج و دستگاه‌های صنعتی ثابت و گران‌قیمت وارداتی مورد استفاده قرار گیرد.

References

1. AbdolahZadeh, Gh., Ghadami Amiri, Z., and Sharif Zadeh, M. 2016. Analysis of advantages and disadvantages of the development of agricultural mechanization: Paddy transplanters evaluation in Sari city. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 1: 109-122. (In Farsi). DOI: 10.22059/ijaedr.2017.62013

2. Balanian, H., Karparvarfard, S.H., and Aziminejad, H. 2018. Investigation of the Effect of Seed Spacing on the Laboratory Performance of a Slotted Roller Distributor for Maize Planting. Iranian. Biosystems Engineering Journal, 50 (3): 547-556. DOI: 10.22059/ijbse.2019.268533.665110

3. Chauhan, B.S., and Mahajan, G. 2023. Avenasterilis ssp. ludoviciana (Durieu) Control in Wheat Through Integration of Tillage, Seeding Rate, and Herbicide Application. Journal of Crop Health, 75: 2337-2344. DOI: 10.1007/s10343-023-00909-1

4. DIN:Deutsches Institut für Normung. 2008. DIN 17100: Steels for general engineering purposes. Berlin: Beuth Verlag. http://www.e-pipe.co.kr/eng/DIN/17100.htm

5. Dong, H., Zhang, D., Tang, W., Li, W., and Li, Z. 2005. Effects of planting system, plant density, and flower removal on yield and quality of hybrid seed in cotton. Field Crops Research, 93: 74-84. DOI: 10.1016/j.fcr.2004.09.010

6. FAO. 2022. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome. DOI: 10.4060/cc2211en

7. Rahman, M.F., Hussain, M., and Basra, S.M.A. 2022. Rice Seed and Seeding Priming. Modern Techniques of Rice Crop Production, 22: 43-57. DOI: 10.1007/978-981-16-4955-4-4.

8. Fukagawa, N.K., and Ziska, L.H. 2019. Rice: importance for global nutrition. Journal of Nutritional Sciences and Victimology. 65: 22–35. DOI: 10.3177/jnsv.65.S2

9. Ghezavati, J., Mohamad Zamani, D., Abasgolipour, M., Mohamadi Alsti, B., and Ranji, A. 2014. Design, manufacture, and preliminary evaluation of tomato seed cultivation in greenhouse planting trays. Agricultural Machinery Journal, 2: 242-250. (In Farsi). DOI: 10.22067/jam.v5i2.28257

10. Hossain, M.A., Arefin. M.K., Khan. B.M. and Rahman, M.A. 2005. Effects of seed treatments on germination and seedling growth attributes of horitaki plant (Terminalia chebula Retz.) in the nursery. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 1(2): 135-146. DOI: 10.1016/j.tfp.2024.100692

11. Huang, S.H.J., Ahmad, S., Nanda, S., Anwar, A., Shakoor, C., Zhu, L., Zhu, X., and Cao, Q. 2020. Rice production under climate change: adaptations and mitigating strategies. Environ., Climate, Plant Vegetation Growth, 13: 659–686. DOI: 10.1007/978-3-030-49732-3_26

12. Kirk, A. 2003. Rotary drum seeder, United States patent. US 6520111 B2. https://patents.google.com/patent/US6520111B2/en

13. Liu, W., Tian, S., Wang, Q., and Jiang, H. 2023. Key Technologies of Plug Tray Seedling Transplanters in Protected Agriculture: A Review. Agriculture, 13(8): 1488. DOI: 10.3390/agriculture13081488

14. Mohamadian, M., Nasiri, M., Soudaei Mashaei, S., Rostami, M., and Kargaran, M. 2012. Effects of the pH of rice tray soil on the quantitative criteria of rice plant. Publication of the Rice Research Institution, 44930: 1-20. (In Farsi). DOI: 10.3390/agriculture15131327

15. Mondani, A., and Karparvarfard, S.H. 2016. Development and field evaluation of an intercropping machine for corn and beans. Journal of Agriculture Machinery, 6(2): 283-297. (In Farsi). DOI: 10.22067/jam.v6i2.40405

16. Mousavi Syedi, S.R., and Hashmi, S.J., 2007. Comparison evaluation of fuel consumption and machine efficiency of different paddy transplanters. Agricultural research: Water, Soil, and Plant, 4: 1-15. (In Farsi).

17. Movahedi, A., Rezvani, M., and Hemat, A. 2013. Design, manufacture, and evaluation of pneumatic-automated paddy seed planter in tray. Agricultural Machinery Journal, 1: 65-72. (In Farsi). DOI: 10.22067/jam.2022.74055.1080

18. Panneerselvam, P., Kumar, V., Banik, N.C., Kumar, V., Parida, N., Wasim, I., Das, A., Pattnaik, S., Kumar Roul, P., Sarangi, D.R., Sagwal, P.K., Craufurd, P., Singh, B., Yadav, A., Malik, R.K., Singh, S., and McDonald, A.J. 2020. Transforming labor requirement, crop yield, and profitability with precision dry-direct seeding of rice and integrated weed management in Eastern India. Field Crops Research, 259: 107961. DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107961

19. Prabhakara Rao, T., T. Vijay Chowdary, R.V. Sudhakar, K. Kalyani, D. Satyanarayana, and Daniel, A. 2019. Design Features of the Vacuum Seeder for Multiple Crops Sowing in the Trays. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 8(10): 2358-2364. DOI: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.810.272.

20. Sadeghi, A., Aghkhani, B., Emadi, V., and Jafari, A. 2015. Design, manufacturing, and evaluation of a semi-automated seed sowing machine. Systems research and Agricultural mechanization, 67: 81-94. (In Farsi). DOI: 10.1016/j.matpr.2022.03.188

21. Shen, X., Yang, Q., Qiu, T., and Ao, R. 2023. Off-farm employment, outsourced machinery services, and farmers' Ratoon rice production behavior: evidence from rice farmers in Central China. Agriculture, 13 (10): 1881. DOI:

22. 10.3390/agriculture13101881

23. Singh, S.K., Parihar, D.S., Dogra, B., Narang, M.K., and Khurana, R. 2022. Development and evaluation of notched concave disc seed drill for direct seeding of wheat in paddy stubble field. Journal of Agriculture and Food Research, 10: 100421. DOI: 10.1016/j.jafr.2022.100421

24. Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P., and Buckmaster D. R. 2006. Engineering principles of agricultural machines, second ed. ASAE Publication, USA. DOI: 10.13031/epam.2013

25. Tupkar, A.B., Lohakare, V.B., Panghate, V.B., Gohokar, A.S., Talwekar, A.V., and Bitturwar, A.S. 2020. An Approach to the Development of Rice Planting Machine. International Journal of All Research Writings, 1(11): 38-54. DOI: 10.17148/IARJSET.2020.7118

26. Valera, H., and Balié, J. 2020. The Outlook of the Rice Economy. International Rice Research Institute (IRRI), Los Banos, Philippines. Forthcoming.

27. Yohanna, J. K. 2004. A survey of tractors and implements utilization for crop production in Nasarawa State. Proceedings of the 5th International Conference of NIAE, Ilorin, 26: 53-58. (In Farsi). DOI: 10.22059/ijbse.2016.58480