

Research Article
Vol. 15, No. 4, ?, p. ?-?

Manufacturing and Evaluation of a Dry land Rice Transplanter

A. Sadin¹, M. H. Aghkhani¹, M. A. Ebrahimi-Nik¹, J. Baradaran Motie^{1*}

1- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: j.baradaran@um.ac.ir)

Received: 23 September 2023
Revised: 25 November 2023
Accepted: 29 November 2023
Available Online: 08 March 2025

How to cite this article:

Sadin, A., Aghkhani, M. H., Ebrahimi-Nik, M. A., & Baradaran Motie, J. (2025). Manufacturing and Evaluation of a Dry land Rice Transplanter. *Journal of Agricultural Machinery*, (in Press). (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jam.2023.84424.1190>

Introduction

Planting rice seedlings in the main field followed by periodic or intermittent irrigation is often considered a form of dry farming. Research suggests that flood irrigation in rice cultivation is primarily favored by farmers for its ability to control weeds and ensure a reliable water supply, rather than necessarily enhancing rice quality or yield. Depending on the rice variety, intermittent irrigation can sometimes improve both the quality and yield per unit area. The transplanting process in this method can be carried out manually without machinery or through mechanized methods using a planter.

Materials and Methods

Conventional rice transplanters designed for use in flooded land are not suitable for transplanting in dry land farming due to technical constraints. Therefore, it is necessary to develop a specialized rice transplanter tailored for such soil condition. This transplanter encompasses essential components, including a furrow opener, coverer, seedling storage tank or tray, seedling mechanism (distributor), seedling transfer mechanism (seedling transport piston), end separator for seedlings in the soil, power transmission system, depth adjustment shoe, and main and sub chassis. To evaluate the planter's performance, various parameters were assessed, including the percentage of lost plants, the average vertical angle of plant orientation, the average spacing between plants in the crop row, and the average number of seedlings per plant. Moreover, a factorial randomized block design was employed, with three replications for each level of the independent variables. The independent variables were forward speed (X1) at three levels of 0.25, 0.5, and 1 m s⁻¹, planting depth (X2) at three levels of 4, 8, and 12 cm, and the size of the outlet opening of the seedling tray (X3) in three levels of 10, 15, and 20 mm.

Results and Discussion

The developed single-row planter features key specifications, including a working width of 250 mm, a power requirement of 0.57 kW, a theoretical field capacity of 0.06 ha h⁻¹, and a field efficiency of 66.67%. The research findings revealed that forward speed, planting depth, and outlet opening size, along with their interactions, significantly impact the percentage of lost plants at the 99% confidence level. Among the three levels of forward speed (X1), the best speed level is 0.25 m s⁻¹, as it results in the lowest percentage of lost seedlings. As the forward speed increases, the percentage of lost seedlings increases. The lowest percentage of lost plants (Y1) occurs at the planting depth of 8 cm and an outlet opening size of 20 mm. Furthermore, forward speed, planting depth, and their interaction have a noteworthy influence on the vertical angle of plants are established, at the 99% confidence level. With the increase of forward speed and planting depth, the average vertical angle of seedling establishment deviates from the vertical position. The forward speed of 0.25 meters per second and the planting depth of 8 cm show the best results for the establishment of seedlings. The sole factor affecting the spacing between plants in the row is the forward speed. The size of seedling tray's outlet opening significantly



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jam.2023.84424.1190>

affects the number of seedlings per plant at the 99% confidence level, while planting depth affects it at the 95% confidence level.

Conclusion

Given the recent water crisis, adopting the dry rice farming method and using transplanters offers a viable solution for managing and conserving water in agriculture. Implementing dry planting with a custom-made transplanter yields several benefits, including reduced water consumption, lower cultivation costs, improved soil aeration, increased efficiency, and simplified planting processes. Utilizing this transplanter is an effective strategy to decrease both the time and expenses related to transplanting, while also mechanizing rice planting in dry fields.

Keywords: Dry farming, Forward speed, Rice paddy, Transplanter

ساخت و ارزیابی ماشین نشاکار برنج به صورت خشکه کاری

احمد سادین^۱، محمدحسین آق خانی^۱، محمدعلی ابراهیمی نیک^۱، جلال برادران مطیع^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸

چکیده

استفاده از روش خشکه کاری و به کارگیری آبیاری دوره‌ای یا تناوبی، می‌تواند سبب کاهش مصرف آب در کشت برنج شود. استفاده از نشاکارهای مرسوم جهت نشای برنج در خاک امکان‌پذیر نبوده و این نشاکارها برای کار در زمین غرقاب طراحی شده‌اند. در این پژوهش نشاکار خشکه کاری برنج که می‌تواند عملیات نشاکاری را در خاک انجام دهد، طراحی و ساخته شد. اجزای اصلی این نشاکار شامل شیار بازکن، پوشاننده، مخزن ذخیره نشا یا سینی نشا، مکانیزم بوته ساز (موزع)، مکانیزم انتقال بوته به خاک (پیستون حمل نشا)، جداکننده انتهایی بوته در خاک، سیستم انتقال توان، کفشک تنظیم عمق، شاسی اصلی و فرعی بود. مشخصات کلی نشاکار طراحی و ساخته شده به ازای یک ردیف، شامل عرض کار ۲۵۰mm، توان دورانی مورد نیاز ۰/۵۷kW، ظرفیت مزرعه‌ای تئوری 0.06 ha hr^{-1} و بازده مزرعه‌ای ۶۶/۶۷ درصد است. به منظور ارزیابی عملکرد نشاکار ساخته شده، صفات درصد بوته‌های از دست‌رفته، میانگین زاویه‌ی استقرار بوته‌ها نسبت به افق، میانگین فاصله نشاها روی ردیف کشت و میانگین تعداد نهال در بوته مورد بررسی قرار گرفتند. آزمون‌ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح سرعت پیشروی ۰/۵، ۱ و ۰/۲۵ متر بر ثانیه و عمق نشاکاری در سه سطح ۴، ۸ و ۱۲ سانتی‌متر و اندازه دهانه خروجی سینی نشا در سه سطح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات سرعت پیشروی، عمق نشاکاری و اندازه دهانه خروجی و اثر متقابل سرعت و عمق در سطح ۹۹ درصد بر روی درصد بوته‌های از دست‌رفته دارای تاثیر معنادار بود. همچنین متغیرهای مستقل سرعت پیشروی، عمق نشاکاری و اثر متقابل آن‌ها بر زاویه استقرار بوته در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. تنها متغیر مستقل سرعت پیشروی بر فاصله بین بوته‌ها روی ردیف تاثیر معنی‌دار بود. همچنین، اثرات اندازه دهانه خروجی سینی نشا در سطح ۹۹ درصد و عمق نشاکاری در سطح ۹۵ درصد بر روی تعداد نهال در بوته معنادار بودند.

واژه‌های کلیدی: خشکه کاری، سرعت پیشروی، نشاکار، نهال برنج

مقدمه

به ترتیب رتبه‌های اول، دوم و سوم را در تولید شلتوک داشته‌اند (FAO, 2020). سهم ایران از نظر سطح زیرکشت برنج در حدود ۴ درصد کل سطح زیر کشت برنج در جهان (معادل ۵۶۰ هزار هکتار) می‌باشد. تولید این محصول در ایران از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۶ به میزان ۶۲/۸ درصد روند صعودی داشته و در سال زراعی ۹۷-۹۶ بیش از ۳ میلیون تن شلتوک تولید کرده است (Farahmandfar et al., 2009). از نظر سطح زیر کشت، استان‌های مازندران و گیلان (حدود ۷۵ درصد کل کشت برنج کشور) به ترتیب دارای مقام‌های اول و دوم هستند. از مجموع ۷/۸ میلیون هکتار اراضی فاریاب ایران، ۷/۴ درصد به کشت برنج اختصاص یافته است، در صورتی که ۱۲/۶ درصد از ۸۳ میلیون مترمکعب آب بخش کشاورزی برای آبیاری شالیزارها به مصرف می‌رسد (Alizadeh, Minaei, Tavakoli, & Khoshtaghaza, 2006).

شیوه رایج و مرسوم تولید برنج در بسیاری از مناطق جهان از جمله ایران، کشت نشایی است. بدین معنی که نشاء بعد از آماده‌سازی

بیشترین سطح زیر کشت بعد از گندم در جهان به برنج اختصاص دارد (Awika, 2011; Ghanbarian, Valaei, Ghasemi, Varnamkhasti, & Aghagoolzade, 2017). این غله غذایی اصلی هفتاد درصد از مردم دنیا و تامین‌کننده حداقل نیمی از انرژی مورد نیاز آن‌ها می‌باشد (Rabbani & Ali, 2009). برنج در ایران نیز پس از گندم، دومین غذای اصلی به‌شمار می‌رود و به‌عنوان منبع درآمد هزاران خانوار شالی‌کار ایرانی محسوب می‌شود (Farahmandfar, Farahmandfar, & Ramezani, 2009). بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، در جهان ۷۸۲ میلیون تن شلتوک تولید شد که سه کشور چین، هند و اندونزی

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسنده مسئول: (Email: j.baradaran@um.ac.ir)

(Reddy, Sreenivasulu, & Manohar, 2007). ردی و همکاران (2009) نیز در استان فارس پس از غرقاب نمودن زمین و انتقال نشاهای برنج، مزرعه را به مدت ۷ روز جهت استقرار نشاها غرقاب نگه داشته و سپس آبیاری را قطع کردند. با این حال، آبیاری به صورت آبیاری قطره‌ای نواری هر دو روز به مدت ۲ ساعت تکرار شد. فاصله بین نوارهای آبیاری ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین قطره‌چکان‌ها ۳۰ سانتی‌متر و آب‌دهی هر متر از نوار ۴ لیتر در ساعت می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار آب مصرفی برنج طبق روش آبیاری قطره‌ای در طی یک فصل رشد ۶۹۸۰ مترمکعب در هکتار می‌باشد. این در حالی است که متوسط حجم آب مورد نیاز در روش غرقابی کشت برنج حدود ۲۰ هزار لیتر می‌باشد. متوسط عملکرد در روش آبیاری قطره‌ای ۴۰۲۰ کیلوگرم در هکتار برای رقم قصرالدشتی بوده است در حالی که متوسط عملکرد این رقم در روش غرقابی ۵۱۳۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

سینک و همکاران (Singh, Singh, Johnson, & Mortimer, 2005) نیز عملکرد روش‌های خشکه‌کاری و مرسوم برنج را در منطقه هشیارپور هند مورد ارزیابی قرار داد. نتایج این پژوهش نشان داد که روش خشکه‌کاری سبب کاهش فرسایش و افزایش فواصل آبیاری شده و حدود ۲۵ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شده است. همچنین این روش در مقایسه با روش مرسوم، هزینه تولید را ۱۳۰۰۰ روپیه کاهش داده است. وینای و همکاران (Vinay, Kumar, Parkash, & Kumari, 2016) گزارش دادند که خشکه‌کاری برنج نسبت به شیوه مرسوم از لحاظ اقتصادی موجه و سودآورتر است. چاندراسخارارو و همکاران (Chandrasekhararao, Jitendranath, & Murthy, 2013) نیز نتیجه گرفتند که خشکه‌کاری طول دوره زراعی را کاهش (۸ تا ۱۰ روز) و باعث افزایش عملکرد در کشت‌های تابستانه و بهاره به میزان ۸/۳ و ۱۱ درصد شده است.

با توجه به مطالب بیان‌شده و بحران آب در سال‌های اخیر، به‌کارگیری روش خشکه‌کاری در زراعت برنج ضروری است. ساخت نشاکاری که بتواند نهال‌های برنج را در خاک مزرعه نشا کند و نوار آبیاری قطره‌ای را کنار آن‌ها قرار دهد، می‌تواند عملیات خشکه‌کاری برنج را مکانیزه کند. به‌کارگیری نشاکار خشکه‌کاری برنج می‌تواند باعث کاهش هزینه کشت، افزایش سرعت کار و سهولت عملیات نشاکاری در خاک شود.

مواد و روش‌ها

نشاکارهای متداول بوته برنج را درون گل یا زمین غرقاب به صورت پانچی قرار می‌دهند، در حالی که این کار را نمی‌توان در خاک خشک انجام داد چون باعث آسیب دیدن بوته نشا و انگشتی‌های نشاکار می‌شود. به‌منظور نشای برنج در شرایط

زمین در بستر گل‌خراب^۱ کاشته و سپس رژیم آبیاری غرقاب دائم در آن برقرار می‌شود. افزایش دسترسی به مواد مغذی و مهار علف‌های هرز از مزایای این شیوه کشت محسوب می‌شود (Singh, Sharma, & Prasad, 2001). از طرفی تلفات زیاد آب، تبخیر سطحی، نفوذ عمقی آب، نیاز فراوان به نیروی کار و در نتیجه حاشیه سود از معایب آن است (Pandey & Velasco, 1999). بسیاری از محققان بر این باورند که روش آبیاری غرقابی برای زراعت برنج ضرورتی ندارد و فقط ابزار مدیریتی مناسبی برای کنترل آفات، دسترسی آسان به مواد غذایی و جلوگیری از تنش آبی است. با این حال، به‌کارگیری روش غرقابی نیاز به مصرف مقادیر زیاد آب دارد (Brown, Turner, Thomas, Deuel, & Keener, 1977). از آن‌جا که منابع آب‌های سطحی و زیرسطحی رو به کاهش می‌باشد، به یک عامل محدودکننده کشت و تولید برنج تبدیل شده است. از این‌رو تغییر شیوه سنتی و مرسوم کاشت برنج ضرورت دارد (Farooq, Wahid, Lee, Ito, & Siddique, 2009).

نشای بوته برنج در خاک مزرعه و سپس آبیاری دوره‌ای یا تناوبی، به‌عنوان یکی از روش‌های خشکه‌کاری مطرح است. عملیات نشای برنج در این روش می‌تواند دستی و غیرمکانیزه و یا توسط نشاکار^۲، مکانیزه باشد. از سال ۱۹۵۰، تغییر شیوه کاشت برنج از مرسوم به خشکه‌کاری در کشورهای در حال توسعه از جمله کشورهای جنوب شرقی آسیا رخ داده است (Pandey & Velasco, 2002; Pandey & Velasco, 2005). به‌طور کلی در سال ۲۰۰۷ حدود ۲۳ درصد برنج در سطح جهان به صورت خشکه‌کاری تولید شده است (Rao, Johnson, Sivaprasad, Ladha, & Mortimer, 2007). بر اساس تحقیقات انجام‌شده، روش آبیاری غرقابی در زراعت برنج، تنها به‌دلیل کنترل علف‌های هرز و ایجاد یک ذخیره مطمئن آبی، مطلوب کشاورزان می‌باشد و الزاماً تاثیر مثبتی بر کیفیت و عملکرد برنج ندارد و بسته به رقم برنج، در برخی موارد استفاده از آبیاری تناوبی، موجب بهبود خواص کیفی و عملکرد برنج در واحد سطح می‌شود (Usefian, Arabzade, Soodaee Mashaee, & Mohammadi Nesheli, 2014). نتایج تحقیقی در مازندران نشان داد برای رقم شیروودی (پرمحصول) با در نظر گرفتن همه عوامل بهترین روش آبیاری تناوبی است که پس از ناپدید شدن آب از سطح زمین، آبیاری به ارتفاع ۵ سانتی‌متر انجام گردد. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان عنوان کرد در ارقام پر محصول الزامی به غرقاب نمودن دائم مزرعه نیست. خصوصاً در شرایط خشک‌سالی سال‌های اخیر می‌توان از روش کم‌آبیاری یا آبیاری تناوبی به‌جای آبیاری کامل استفاده نمود (Hafeez, Bouman, Van de Giesen, & Vlek, 2009).

1- Puddling
2- Transplanter

تصویری از نشاکار ساخته شده مشاهده می شود.

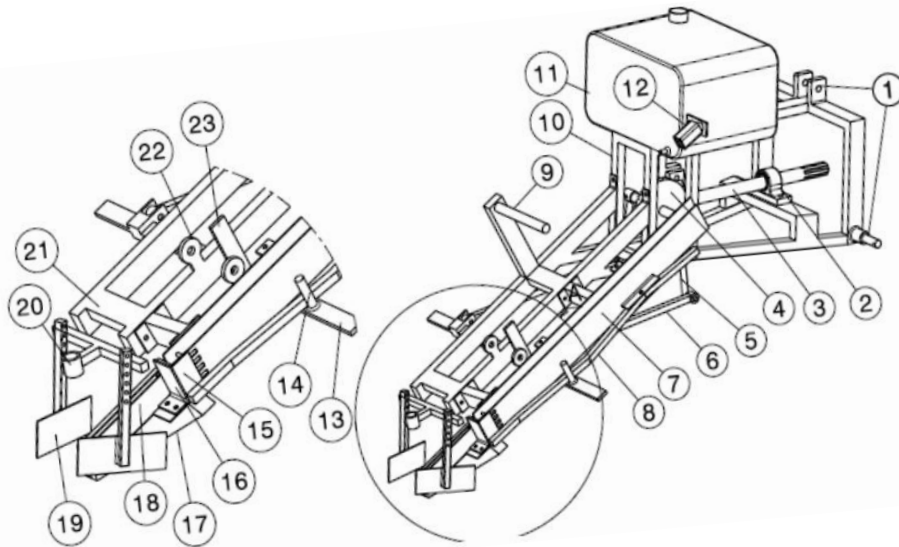
اجزای اصلی نشاکار

در شکل ۲، ریز اجزای نشاکار خشکه کاری برنج نشان داده شده است.

خشکه کاری، نشاکار خشکه کاری برنج در سال های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۱ در هنرستان کشاورزی امام خمینی علی آباد کتول ساخته شد. نشاکار از نوع سوارشونده پشت تراکتوری است. برای طراحی و ساخت این نشاکار در بعضی قسمت ها از مکانیزم سایر کارنده ها الگوبرداری شد. در این نشاکار برای انتقال نشا به خاک از مکانیزم پیستونی رفت و برگشتی استفاده شد. سایر قسمت های نشاکار بعد از ساخت مدل های آزمایشی متعدد و انتخاب بهترین مکانیزم، ساخته شدند. در شکل ۱



شکل ۱- نشاکار خشکه کاری برنج
Fig.1. Dry farm rice transplanter



شکل ۲- اجزای مختلف نشاکار

Fig.2. Transplanter parts

- (۱- محل اتصال سه نقطه، ۲- یاتاقان نگهدارنده محور پنبون، ۳- محور پنبون، ۴- کرانویل، ۵- میل لنگ، ۶- شاتون یا دسته پیستون، ۷- محفظه ذخیره یا سینی نشا، ۸- بازوی بوته ساز یا چنگال بوته ساز، ۹- نگهدارنده بسته نوار آبیاری، ۱۰- شاسی اصلی، ۱۱- مخزن آب، ۱۲- محل نصب دوربین، ۱۳- رابط شاتون و پیستون، ۱۴- محرک بازو یا چنگال بوته ساز، ۱۵- تنظیم کننده بازو یا چنگال بوته ساز، ۱۶- تنظیم کننده انتهایی محفظه ذخیره نشا، ۱۷- شیار بازکن، ۱۸- محفظه پیستون انتقال نشا، ۱۹- پوشاننده، ۲۰- محل قرارگیری نازل آبیاری، ۲۱- شاسی فرعی، ۲۲- محل قرارگیری حسگر نوری یا آشکارساز حرکتی و ۲۳- مانع قطع کننده سیگنال حسگر نوری)
- (1- Three-point hitch, 2- Bearing of pinion shaft, 3- Pinion shaft, 4- Crown wheel, 5- Crankshaft, 6- Connecting rod, 7- Paddy tray, 8- Distributor handle or fork, 9- Drip irrigation strip hanger, 10- Main chassis, 11- Water tank, 12- Camera position, 13- Piston connector, 14- Driver of distributor fork, 15- Distributor regulator, 16- Tray end regulator, 17- Furrow opener, 18- Guard of Piston, 19- Covering device, 20- Irrigation nozzle position, 21- Sub chassis, 22- Optical sensor position, and 23- Signal interrupter)

الگوبرداری از سایر کارنده‌ها از شیاربازکن کاردی یا خنجری در نشاکار ساخته شده استفاده شد. برای خاک‌دهی طرفین بوته‌های نشاشده از پوشاننده صفحه‌ای مستطیلی استفاده شد. عمق و زاویه صفحات پوشاننده با توجه به شرایط خاک و نشا قابل تنظیم است. تصویر شیاربازکن و پوشاننده در شکل ۳ قسمت الف نشان داده شده است.

در ادامه به معرفی قسمت‌های اصلی نشاکار و وظیفه هر بخش پرداخته می‌شود.

شیاربازکن و پوشاننده

به منظور باز کردن شیار در خاک خاک‌ورزی شده مزرعه، با



ب B

الف A

شکل ۳- الف) ۱- شیاربازکن، ۲- پوشاننده؛ ب) ۱- سینی نشا، ۲- موزع
Fig.3. A) 1- Furrow opener, 2- Cover; B) 1- Planting tray, 2- Distributor

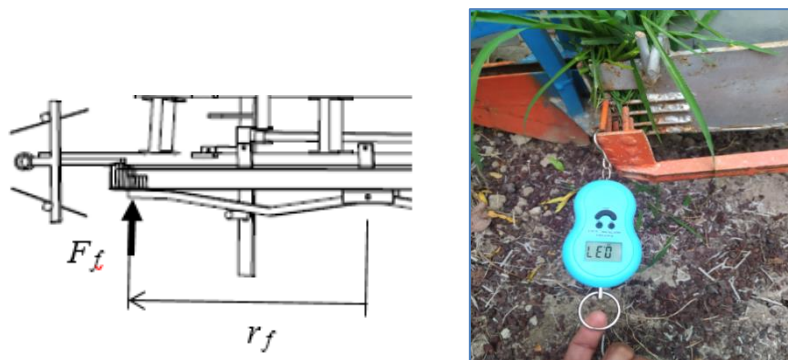
رابطه مستقیم دارد. چنگال تغذیه در هر بار حرکت خود یک بوته نشا را جداسازی کرده و درون دهانه محفظه پیستون قرار می‌دهد. در شکل ۳ قسمت ب چنگال تغذیه موزع نشان داده شده است. توان مورد نیاز موزع نشاکار مطابق شکل ۴ پس از اندازه‌گیری نیروی لازم جهت انتقال نشا از سینی به سمت خاک توسط نیروسنج دیجیتال با دقت ۵ گرم و دانستن سرعت رفت و برگشت پیستون حمل نشا و موزع طبق رابطه (۱) قابل محاسبه است (Spotts, Shob, & Horen, 2004; Berger, 2004).

مخزن ذخیره نشا یا سینی نشا

سینی نشا قسمتی از نشاکار است که نهال‌های برنج در آن قرار می‌گیرند. حجم و اندازه سینی نشا باید به اندازه‌ای باشد که نیاز به نهال‌گذاری در فواصل زمانی خیلی کوتاه نباشد. در شکل ۳ قسمت ب سینی نشاکار نشان داده شده است.

موزع یا مکانیزم بوته‌ساز

موزع نشاکار طوری ساخته شده است که تعداد رفت و برگشت چنگال تغذیه در واحد موزع با تعداد دوران محور P.T.O تراکتور



شکل ۴- اندازه‌گیری نیروی لازم جهت انتقال بوته‌ها از سینی نشا به سمت خاک

Fig.4. Measuring the force required to transfer the plants from the seedling tray to the soil

شاتون و پیستون اجزایی هستند که حرکت دورانی را به حرکت رفت و برگشتی تبدیل می‌کنند. پس از جداسازی و قرارگیری بوته نشا درون محفظه پیستون، بوته نشا توسط پیستون به سمت خاک انتقال می‌یابد. اجزای سیستم انتقال توان در شکل ۵ نشان داده شده است. توان مورد نیاز جهت انتقال بوته نشا توسط پیستون به سمت خاک طبق رابطه (۲) به دست می‌آید (Spotts et al., 2004).

$$P_p = \frac{F_p \cos(\alpha) \times r_m \times n_m}{9550} \quad (2)$$

در این رابطه:

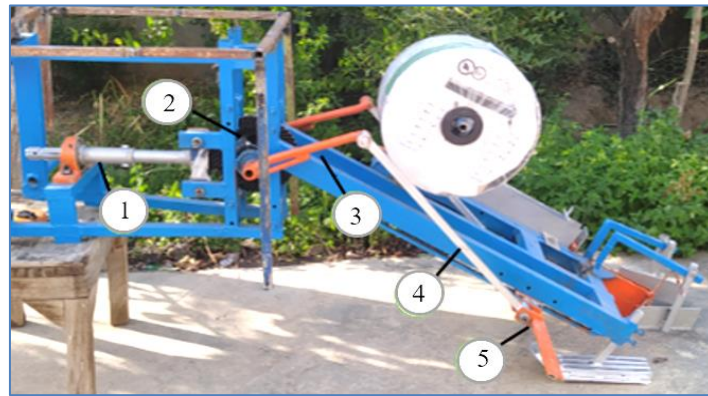
P_p توان مورد نیاز پیستون حمل نشا (kW)

F_p نیروی مورد نیاز جهت حمل بوته توسط پیستون حمل کننده نشا (N)

r_m شعاع لنگ میل لنگ (m)

α زاویه بین پیستون حمل کننده نشا و شاتون (درجه)

n_m سرعت دورانی میل لنگ (rpm)



شکل ۵- اجزای سیستم انتقال توان (۱- محور پنیون، ۲- پنیون و کرانویل، ۳- میل لنگ، ۴- دسته پیستون یا شاتون و ۵- رابط شاتون به پیستون)

Fig.5. Components of the power transmission system (1- Pinion axis, 2- Pinion and crankshaft, 3- Crankshaft, 4- Piston handle or connecting rod, and 5- Connecting rod to piston)

$$d_o^3 = \frac{256 \times f_s}{15\pi \times 0.5 \sigma_{yp}} \sqrt{(c_m M)^2 + (c_i T)^2} \quad (4)$$

در این رابطه:

d_o قطر خارجی محور (m)

f_s ضریب اطمینان

σ_{yp} تنش نقطه تسلیم (pa)

M ممان خمشی وارد بر محور (N.m)

T گشتاور پیچشی وارد بر محور (N.m)

c_m ضریب عددی ضربه‌ای و خستگی ممان خمشی و c_i ضریب

عددی ضربه‌ای و خستگی گشتاور پیچشی می‌باشند.

$$P_f = \frac{F_f \times r_f \times n_f}{9550} \quad (1)$$

در این رابطه:

P_f توان مورد نیاز موزع نشاکار (kW)

r_f طول بازوی چنگال تغذیه کننده (m)

F_f نیروی مورد نیاز جهت جداسازی و انتقال بوته نشا از سینی

نشاکار به درون محفظه پیستون (N)

n_f تعداد رفت و برگشت چنگال تغذیه (سیکل بر دقیقه)

سیستم انتقال توان

اجزای سیستم انتقال توان شامل محور پنیون و پنیون، کرانویل، میل لنگ، دسته پیستون (شاتون)، رابط شاتون و پیستون و پیستون حمل نشا می‌باشد. محور پنیون دوتکه ساخته می‌شود و توسط پیچ بریده‌شونده به هم متصل می‌شود. نسبت دور سیستم انتقال توان کاهش و برابر ۵:۱ است یعنی هرگاه محور پنیون پنج دور بچرخد، محور خروجی کرانویل یک دور می‌چرخد. میل لنگ و شاتون و رابط

توان دورانی کل مورد نیاز نشاکار طبق رابطه (۳) از مجموع توان مورد نیاز واحد موزع و توان مورد نیاز واحد پیستون حمل کننده نشا حاصل می‌شود.

$$P_T = P_f + P_p \quad (3)$$

در این رابطه P_T توان دورانی کل مورد نیاز برای یک واحد نشاکار بر حسب کیلووات است که توسط محور تواندهی تراکتور تامین می‌گردد.

قطر خارجی محور پنیون و محور میل لنگ از رابطه (۴) قابل محاسبه است (Popov, 1976).

TFC ظرفیت زراعی تئوری نشاکار ($ha\ hr^{-1}$)

W_{at} عرض کار نشاکار (m)

S سرعت پیشروی متوسط نشاکار (kph)

ظرفیت زراعی واقعی یا سرعت کار عبارت است از مساحت واقعی

نشاشده توسط نشاکار تقسیم بر زمان کل نشاکاری که از رابطه (۸)

به دست می‌آید (ANTAM, 2017).

$$AFC = \frac{A_t}{T_t} \quad (8)$$

که در این رابطه:

AFC ظرفیت زراعی واقعی نشاکار ($ha.hr^{-1}$)

A_t مساحت واقعی نشاشده توسط نشاکار (ha)

T_t زمان کل نشاکاری (h)

بهره‌وری زراعی از تقسیم ظرفیت زراعی واقعی بر ظرفیت زراعی

تئوری طبق رابطه (۹) به دست می‌آید (ANTAM, 2017).

$$E = \frac{AFC}{TFC} \times 100 \quad (9)$$

که در این رابطه E بهره‌وری زراعی بر حسب درصد می‌باشد.

به منظور ارزیابی عملکرد نشاکار از روش فاکتوریل الگوی بلوک کامل

تصادفی استفاده شد و برای هر سطح از متغیرهای مستقل سه تکرار

انجام شد. در هر تکرار به طول ۲۰ متر عملیات نشاکاری صورت

گرفت که ۵ متر ابتدا و انتهای نمونه به منظور یکنواخت شدن کار

نشاکار حذف شدند و بوته‌های ۱۰ متر میانی ملاک نتایج داده‌برداری

قرار گرفتند. متغیرهای مستقل یا تیمارهای آزمایش، سرعت پیشروی

(X1) در سه سطح ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ متر بر ثانیه، عمق نشاکاری (X2)

در سه سطح ۴، ۸ و ۱۲ سانتی‌متر و اندازه دهانه خروجی سینی نشا

(X3) در سه سطح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شدند.

متغیرهای وابسته درصد بوته‌های از دست‌رفته (Y1)، میانگین زاویه

استقرار بوته‌ها (Y2)، میانگین فاصله بین بوته‌ها روی ردیف (Y3) و

میانگین تعداد نهال در بوته (Y4) انتخاب شدند

(Mohammadzamani, Ghezavati, & Nazari, 2015;

Hosseini & Logavi, 2009).

نتایج و بحث

در این فصل ابتدا نتایج به دست آمده برای قسمت‌های مهم نشاکار

در قالب جداول مشخصات آورده می‌شود. در ادامه به نتایج ارزیابی

مزرعه‌ای نشاکار پرداخته می‌شود.

مشخصات کلی نشاکار

در جدول ۱ نتایج مربوط به موارد اشاره شده در بخش مواد و

روش‌ها در قالب مشخصات کلی و اطلاعات فنی نشاکار آورده شده

زاویه پیچش برای محور پنبون و میل لنگ که تحت گشتاور

پیچشی قرار دارند طبق رابطه (۵) به دست می‌آید (Popov, 1976).

$$\phi = \frac{T \times l}{G \times I_p} \quad (5)$$

در این رابطه:

ϕ زاویه پیچش (rad)

T گشتاور پیچشی ($N.m$)

l طول محور (m)

G مدول برشی یا مدول صلابت برای جنس محور (pa)

I_p ممان اینرسی قطبی (m^4)

می‌توان با استفاده از رابطه (۶) بار مجاز یا عمر بلبرینگ محور

پنبون و محور میل لنگ را مشخص کرد (Spotts et al., 2004).

$$\frac{N_e}{10^7} = \left(\frac{C}{P_e}\right)^3 \quad (6)$$

در این رابطه:

N_e تعداد دور چرخش در طول عمر بلبرینگ

C بار مجاز بلبرینگ برای عمر یک میلیون دور (lb)

P_e بار مجاز برای عمر مشخص (lb)

ارزیابی مزرعه‌ای نشاکار

ارزیابی مزرعه‌ای نشاکار با نشای رقم طارم فجر و بر اساس

استاندارد ارایه شده توسط دبیرخانه آسیایی اقیانوسیه ماشین‌های

کشاورزی (ANTAM)^۱ زمانی انجام شد که سن نشاها ۳۵ روز و در

مرحله ۳-۵ برگگی و ارتفاع آن‌ها به ۲۰ سانتی‌متر رسید. ارزیابی در

زمینی به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع و بافت خاک رسی و درصد رطوبت

۱۲ درصد در مزارع شهرستان آزادشهر استان گلستان صورت گرفت.

خاک‌ورزی اولیه و ثانویه از قبل در مزرعه انجام شد. در ارزیابی

مزرعه‌ای ظرفیت زراعی تئوری^۲، ظرفیت زراعی واقعی یا سرعت کار^۳

و بهره‌وری زراعی^۴ اندازه‌گیری شدند. ظرفیت زراعی تئوری بر حسب

مساحت نشاشده بر واحد زمان بیان می‌شود و از حاصل ضرب عرض

کار نشاکار^۵ در سرعت پیشروی متوسط نشاکار^۶ طبق رابطه (۷)

به دست می‌آید (ANTAM, 2017).

$$TFC = \frac{W_{at} \times S}{10} \quad (7)$$

که در این رابطه:

1- Asian and Pacific Network for Testing of Agricultural Machinery

2- Theoretical field capacity

3- Actual field capacity or rate of work

4- Field efficiency

5- Working width

6- Average operational speed

جدول ۱- مشخصات کلی نشاکار خشکه کاری برنج
Table 1- General characteristics of rice dry-planter

واحد Unit	مقدار Value	کمیت Quantity
mm	1830×1100×1210	ابعاد نشاکار (ارتفاع × عرض × طول) Dimensions of the planter (height×width×length)
kg	98	وزن خالص (بدون ضمائم)* Net weight (without attachments)*
kW	0.57	توان دورانی مصرفی کل Total rotational power consumption
mm	900×10	ابعاد سینی نشا (عرض × طول) Planting tray dimensions (width x length)
-	1	تعداد ردیف Number of rows
mm	250	عرض کار effective width
m s ⁻¹	1	حداکثر سرعت پیشروی Maximum forward speed
ha hr ⁻¹	0.09	ظرفیت مزرعه‌ای تئوری Theoretical farm capacity
ha hr ⁻¹	0.06	ظرفیت مزرعه‌ای واقعی Real farm capacity
%	66.67	ضریب بازده مزرعه‌ای Farm efficiency coefficient

* ابعاد و وزن نشاکار بدون احتساب مخزن آب و بسته نوار آبیاری می‌باشد.

* The dimensions and weight of the planter does not include the water tank and the irrigation tape.

شیارbazکن و پوشاننده

در ارزیابی مزرعه ای نشاکار، شیارbazکن و پوشاننده از کارآیی مطلوبی در بازکردن شیار و پوشاندن طرفین نشا برخوردار بودند. عرض شیار باز شده توسط شیارbazکن ۳ سانتی‌متر می‌باشد. شیارbazکن و پوشاننده صفحه‌ای به کار گرفته شده با انجام تنظیمات توانستند عمق نشاکاری ۴ تا ۱۸ سانتی‌متر را حاصل نمایند.

مخزن ذخیره نشا یا سینی نشا

در ارزیابی مزرعه‌ای نشاکار مساحت حداقل مورد نیاز مقطع مخزن یا سینی نشاکار برای مدت ۳۰ دقیقه نشاکاری پیوسته ۹۰۰ سانتی‌مترمربع به دست آمد. با توجه به این که عرض سینی نشاکار ۱۰ سانتی‌متر است، طول حداقل مورد نیاز سینی ۹۰ سانتی‌متر است.

توان مورد نیاز موزع، پیستون حمل‌کننده و دورانی کل نشاکار

در نشاکار ساخته شده مقدار حداکثر توان مورد نیاز موزع نشاکار و

حداکثر توان مورد نیاز جهت انتقال بوته نشا به خاک به ترتیب برابر ۰/۴۱ kW و ۰/۱۶ kW محاسبه شد. توان دورانی کل مورد نیاز برای یک واحد نشاکار مقدار ۰/۵۷ kW است و توسط محور توان‌دهی تراکتور تامین می‌گردد. از لحاظ تئوری به‌ازای افزایش هر واحد نشاکار، مقدار ۰/۵۷ kW به توان دورانی مورد نیاز نشاکار افزوده می‌شود. توان مصرفی نشاکار شامل توان کششی و توان دورانی است. توان کششی شامل توان مورد نیاز جهت پیشروی نشاکار در خاک است. با این حال در نشاکار یک ردیفه که در خاک خاک‌ورزی شده کار می‌کند، توان کششی مورد نیاز نشاکار در برابر توان تراکتور قابل صرف‌نظر کردن است.

قطر، زاویه پیچش و یاتاقان‌های مورد استفاده محور پنیون

در سرعت ۵۴۰ rpm محور توان‌دهی تراکتور، گشتاور پیچشی وارد بر محور پنیون برابر ۱۰/۰۸ N.m به دست خواهد آمد. با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۲، قطر خارجی مورد نیاز محور پنیون طبق رابطه (۴) برابر ۱۷ mm به دست آمد. طبق رابطه (۵) مقدار پیچش

محور پنیون، توان دورانی لازم و گشتاور پیچشی وارده به محور پنیون برای نشاکار یک تا چهار ردیفه با ضرایب اطمینان مختلف در جدول ۲ آورده شده است.

مقادیر عددی زاویه پیچش محور پنیون برای نشاکار یک تا چهار ردیفه با در نظر گرفتن ضرایب اطمینان مختلف، در جدول ۳ آورده شده است.

محور پنیون بر حسب رادیان و درجه به ترتیب برابر $0.12/0$ و $0.67/0$ محاسبه شد. با استفاده از رابطه (۶) و جداول استاندارد بلبرینگ‌های یک‌ردیفه، بلبرینگ ۳۰۳ با قطر رینگ داخلی ۱۷ mm و قطر خارجی ۴۷ mm برای طول عمر حداقل ۷۰۲ hr برای محور پنیون به کار گرفته شد. اگر هر روز کاری ۸ ساعت فرض شود، حداقل زمان کارکرد بلبرینگ انتخاب شده ۸۷/۸ روز است. مقادیر قطر خارجی

جدول ۲- مقادیر قطر خارجی، توان دورانی مورد نیاز و گشتاور پیچشی وارد بر محور پنیون برای نشاکار در ضرایب اطمینان مختلف

Table 2- The value of the external diameter, the required rotational power, and the twisting torque on the pinion axis for the planter at different confidence levels

قطر خارجی محور پنیون (mm) Outer diameter of the pinion shaft					گشتاور پیچشی وارده بر محور (N.m) Torsional torque on the axis	توان دورانی مورد نیاز* (kW) Required rotational power*	ردیف نشاکار Row of planters
4	3	2	1	= f_s			
21.52	19.54	17.00	13.55		10.08	0.57	1
21.99	19.98	17.40	13.85		20.16	1.14	2
22.67	20.60	17.99	14.28		30.24	1.71	3
23.49	21.34	18.64	14.80		40.32	2.28	4

* سرعت چرخشی محور پنیون برای محاسبه توان دورانی در همه موارد ۵۴۰ rpm در نظر گرفته شده است.

* For calculating the rotational power, the rotation speed of the pinion axis is considered to be 540 rpm in all cases.

جدول ۳- مقادیر زاویه پیچش محور پنیون به ازای تعداد ردیف‌های نشاکار و ضرایب اطمینان مختلف

Table 3- Pinion axis twist angle values for the number of planter rows at different confidence levels

زاویه پیچش محور پنیون (deg) The twist angle of the pinion axis					گشتاور پیچشی وارده بر محور پنیون (N.m) Torsional torque on the pinion axis	ردیف نشاکار Row of planters
4	3	2	1	= f_s		
0.25	0.39	0.67	1.67		10.08	1
0.45	0.71	1.23	3.06		20.16	2
0.60	0.89	1.60	4.07		30.24	3
0.68	1.02	1.86	4.70		40.32	4

قطر خارجی محور میل لنگ، بار وارد بر بلبرینگ‌های محور میل لنگ و طول عمر بلبرینگ محور میل لنگ به ترتیب برابر ۱۷/۴۸ mm، ۱۶۰۰ N، ۲۴۰۰ N و ۲۳۴۵/۶۷ hr است. در جدول ۴ مقادیر قطر خارجی و گشتاور پیچشی وارد بر محور میل لنگ برای نشاکار یک تا چهار ردیفه در ضرایب اطمینان مختلف آورده شده است.

در جدول ۵ مقادیر عددی زاویه پیچش محور میل لنگ برای نشاکار یک تا چهار ردیفه با در نظر گرفتن ضرایب اطمینان مختلف آورده شده است.

همان‌طور که از جدول ۳ برآورد می‌شود، با انتخاب ضریب اطمینان بیشتر، زاویه پیچش محور پنیون کاهش می‌یابد. با افزایش تعداد ردیف‌های نشاکار، چون گشتاور پیچشی افزایش پیدا می‌کند، بنابراین زاویه پیچش محور پنیون افزایش می‌یابد.

قطر، زاویه پیچش و یاتاقان‌های مورد استفاده محور میل لنگ

طبق روابط (۴)، (۵) و (۶) با اعمال ضریب اطمینان ۲ و جنس فولاد، اندازه‌های قطر خارجی محور میل لنگ، نیروی مماسی وارد بر

جدول ۴- مقادیر قطر خارجی و گشتاور پیچشی وارد بر محور میل لنگ برای نشاکار یک تا چهار ردیفه در ضرایب اطمینان مختلف

Table 4- Values of outer diameter and torque applied to the crankshaft axis for one to four row planter at different confidence levels

قطر خارجی محور میل لنگ* (mm)				گشتاور پیچشی وارد بر محور میل لنگ (N.m)	تعداد ردیف نشاکار
Outer diameter of the crankshaft shaft*				Torsional torque on the pinion axis	Row of planters
4	3	2	1 = f _s		
22.03	20.01	17.48	13.87	50.40	1
27.75	25.21	22.03	17.48	100.80	2
31.77	28.87	25.21	20.01	151.20	3
34.98	31.78	27.76	22.03	201.60	4

* قطر داخلی محور میل لنگ نصف قطر خارجی آن در نظر گرفته شده است.
* The inner diameter of the crankshaft is half its outer diameter

جدول ۵- مقادیر زاویه پیچش محور میل لنگ به ازای تعداد ردیف‌های نشاکار و ضرایب اطمینان مختلف

Table 5- Values of crankshaft torsion angle for the number of planter rows at different confidence levels

زاویه پیچش محور پنیون (deg)				گشتاور پیچشی وارد بر محور میل لنگ	تعداد ردیف نشاکار
The twist angle of the pinion axis				Torsional torque on the pinion axis (N.m)	Row of planters
4	3	2	1 = f _s		
0.68	1.00	3.14	4.29	50.40	1
0.54	0.80	1.37	3.44	100.80	2
0.47	0.69	1.19	3.02	151.20	3
0.43	0.61	1.08	2.73	201.60	4

درصد بوته‌های از دست‌رفته

ارزیابی مزرعه‌ای نشاکار

جدول ۶ نتایج تجزیه واریانس سه سطح متغیرهای مستقل سرعت پیشروی، عمق نشاکاری و اندازه دهانه خروجی سینی نشا بر درصد بوته‌های از دست‌رفته (Y1) را نشان می‌دهد. تجزیه واریانس بر اساس مدل فاکتوریل در نرم‌افزار Minitab 18 انجام شده است.

در ادامه نتایج ارزیابی مزرعه‌ای نشاکار و تاثیر مولفه‌های مستقل بر صفات مورد بررسی آورده شده است.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس تغییرات سه متغیر مستقل بر درصد بوته‌های از دست‌رفته

Table 6- Variance analysis of the changes of three independent variables on the percentage of missing plants

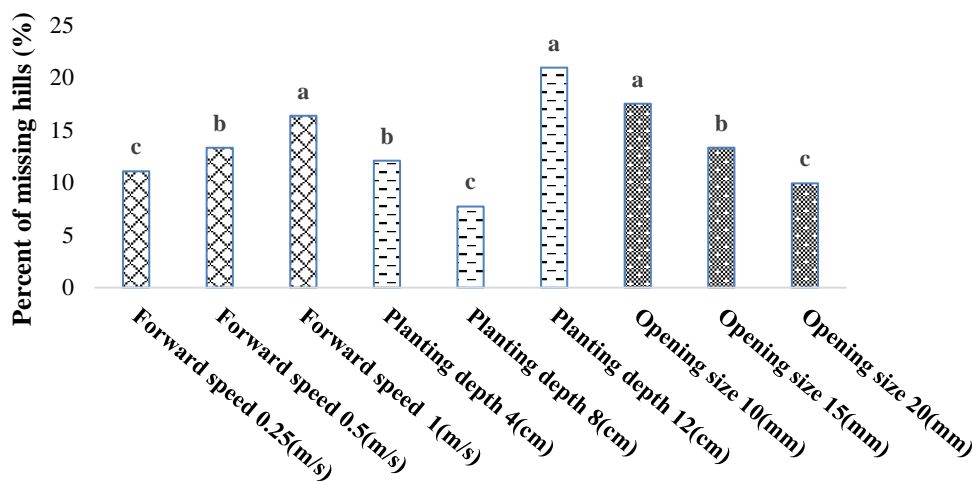
منبع تغییر	درجه آزادی	سهم مشارکت	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F-Value	P-Value
Source	DF	Contribution	Adj SS	Adj MS		
Model	26	97.44%	3705.77	142.53	79.10	0.000**
X1= Forward speed (m.s ⁻¹)	2	10.00%	380.29	190.15	105.52	0.000**
X2= Planting depth (cm)	2	64.62%	2457.45	1228.73	681.87	0.000**
X3= Opening size (mm)	2	20.54%	781.34	390.67	216.80	0.000**
X1*X2	4	1.07%	40.64	10.16	5.64	0.001**
X1*X3	4	0.20%	7.44	1.86	1.03	0.399 ^{ns}
X2*X3	4	0.85%	32.42	8.11	4.50	0.003**
X1*X2*X3	8	0.16%	6.18	0.77	0.43	0.899 ^{ns}
Error	54	2.56%	97.31	1.80		
Total	80	100.00%				

* و ** به ترتیب معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ و ns عدم معناداری

* and ** significance at the confidence level of 95% and 99%, respectively, and ns is not significant

(Y1) تاثیر معنادار دارند. سایر عوامل اثر معناداری بر متغیر وابسته ایجاد نکردند. بیشترین تاثیر بر روی درصد بوته‌های از دست‌رفته را متغیر عمق نشاکاری (X2) به خود اختصاص داده است. از بین سه متغیر مستقل مورد بحث، تغییرات متغیر مستقل سرعت پیشروی (X1) کمترین تاثیر را بر روی تعداد بوته‌های از دست‌رفته دارد. سهم خطا نیز در مدل انتخاب شده ۲/۵۶ درصد می‌باشد. نمودار شکل ۶ نتایج مقایسه میانگین درصد بوته‌های از دست‌رفته (Y1) در سه سطح سرعت پیشروی (X1)، عمق نشاکاری (X2) و اندازه دهانه خروجی سینی نشا (X3) در سطح اطمینان ۹۹ درصد را بر اساس روش فیشر (Fisher LSD Method) نشان می‌دهد.

ضریب تبیین مدل برای متغیر وابسته درصد بوته‌های از دست‌رفته (Y1)، بر اساس داده‌های ورودی به نرم‌افزار، ۹۷/۴۴ به دست آمد. این بدان معنی است که مدل فاکتوریل توانسته به میزان ۹۷/۴۴ درصد بر روی پیش‌بینی مقادیر درصد بوته‌های از دست‌رفته تاثیرگذار باشد. به عبارت دیگر به میزان ۹۷/۴۴ درصد می‌توان به خروجی‌های مدل در تخمین درصد بوته‌های از دست‌رفته (Y1) اطمینان کرد. بر اساس مقادیر P-value به دست‌آمده از تجزیه واریانس، متغیرهای سرعت پیشروی (X1)، عمق نشاکاری (X2)، اندازه دهانه خروجی سینی نشا (X3) و تاثیرات متقابل X1*X2 و X2*X3 در سطح اطمینان ۹۹ درصد بر درصد بوته‌های از دست‌رفته

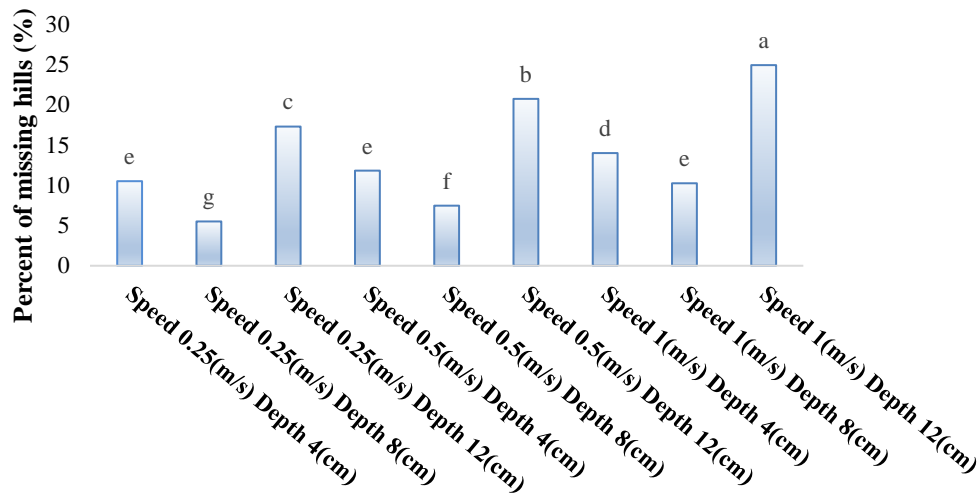


شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین اثرات X1 و X2 و X3 بر Y1 با استفاده از روش فیشر
 Fig.6. Average Comparison; Effects of X1, X2, and X3 on Y1 using Fisher's method

نتایج مقایسه میانگین، هرچه دهانه خروجی سینی نشا در حالت بازتر قرار گیرد، درصد بوته‌های از دست‌رفته کاهش می‌یابد. نمودار شکل ۷ نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سرعت پیشروی (X1) و عمق نشاکاری (X2) بر درصد بوته‌های از دست‌رفته (Y1) در سطح اطمینان ۹۹ درصد را بر اساس روش فیشر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کمترین درصد بوته‌های از دست‌رفته مربوط به حالت سرعت پیشروی ۰/۲۵ متر بر ثانیه و عمق نشاکاری ۸ سانتی‌متر است. بیشترین مقدار درصد بوته‌های از دست‌رفته در حالت سرعت پیشروی ۱ متر بر ثانیه و عمق نشاکاری ۱۲ سانتی‌متر اتفاق می‌افتد. با توجه به نمودار شکل ۷ می‌توان استنباط کرد که افزایش هم‌زمان سرعت پیشروی و عمق نشاکاری، تاثیر مضاعف بر درصد بوته‌های از دست‌رفته دارند. نمودار شکل ۸ نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل عمق نشاکاری (X2) و اندازه

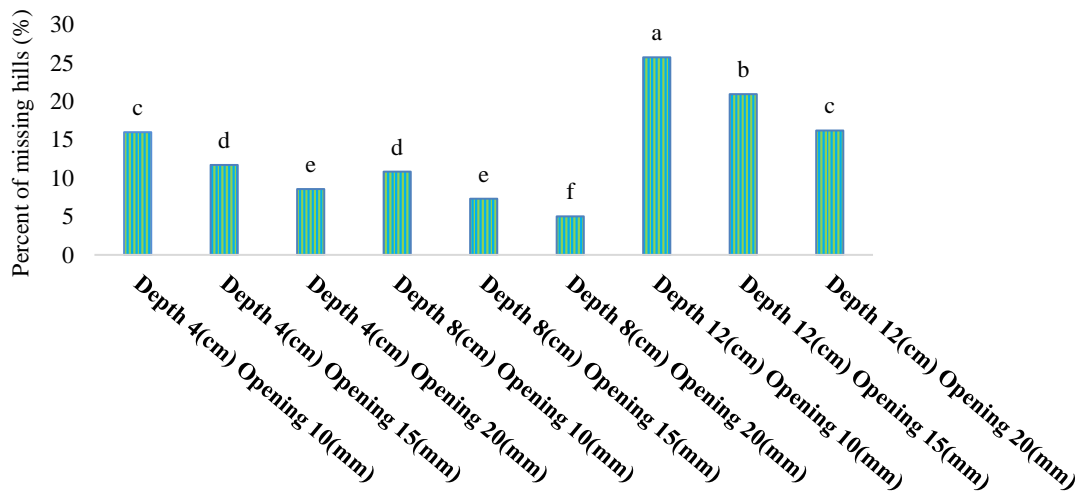
همان‌طور که در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود، از میان سه سطح سرعت پیشروی (X1)، بهترین سطح سرعت ۰/۲۵ متر بر ثانیه است چون کمترین درصد بوته‌های از دست‌رفته مربوط به این سطح سرعت است. با بررسی ستون‌های نمودار می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش سرعت پیشروی، درصد بوته‌های از دست‌رفته افزایش می‌یابد. برای سطوح مختلف عمق نشاکاری (X2)، کمترین مقدار میانگین مربوط به درصد بوته‌های از دست‌رفته (Y1)، در عمق نشاکاری ۸ سانتی‌متر اتفاق می‌افتد. بر اساس نتایج آماری، کاهش و افزایش عمق نشاکاری سبب افزایش درصد بوته‌های از دست‌رفته می‌شود. اندازه دهانه خروجی سینی نشا (X3)، یکی دیگر از فاکتورهای مستقل است که بر روی درصد بوته‌های از دست‌رفته تاثیرگذار است. کمترین مقدار میانگین مربوط به درصد بوته‌های از دست‌رفته (Y1)، مربوط به اندازه دهانه ۲۰ میلی‌متر است. با توجه به

دهانه خروجی سینی نشا (X3) بر درصد بوته‌های از دست‌رفته (Y1) در سطح اطمینان ۹۹ درصد را بر اساس روش فیشر نشان می‌دهد.



شکل ۷- نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل X1*X2 بر Y1 با استفاده از روش فیشر

Fig.7. Average Comparison; Interaction effects of X1*X2 on Y1 using Fisher's method



شکل ۸- نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل X2*X3 بر Y1 با استفاده از روش فیشر

Fig.8. Average Comparison; Interaction effects of X2*X3 on Y1 using Fisher's method

فاصله بین بوته‌ها روی ردیف، انحراف جانبی از روی ردیف، درصد بوته‌های از دست‌رفته و درصد بوته‌های آسیب‌دیده به‌عنوان متغیرهای وابسته مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سرعت پیشروی بر میانگین فاصله بوته‌ها روی ردیف و انحراف جانبی بوته‌ها از ردیف و شاخص نکاشت تاثیر معنادار بودند.

میانگین زاویه استقرار بوته‌های نشا

جدول ۷ نتایج تجزیه واریانس سه سطح متغیرهای مستقل

بهترین حالت اثرات متقابل X2*X3 در عمق نشاکاری ۸ سانتی‌متر و اندازه دهانه ۲۰ میلی‌متر اتفاق افتاده است چون در این حالت کمترین درصد تلفات بوته را داریم. بیشترین درصد بوته‌های از دست‌رفته در وضعیت عمق نشاکاری ۱۲ سانتی‌متر و اندازه دهانه ۱۰ میلی‌متر اتفاق می‌افتد. حسینی و لغوی (Hosseini & Logavi, 2009) به‌منظور ارزیابی دستگاه نشاکار گلدان کاغذی، دو فاکتور سرعت پیشروی در سه سطح و نشای چغندر در دو سطح (۴ و ۶ برگگی) به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب کردند. فاکتورهای میانگین

سرعت پیشروی، عمق نشاکاری و اندازه دهانه خروجی سینی نشا بر میانگین زاویه استقرار بوته‌های نشا (Y2) در خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس تغییرات سه متغیر مستقل بر میانگین زاویه استقرار بوته

Table 7- Variance analysis of the changes of three independent variables on the average plant standing angle

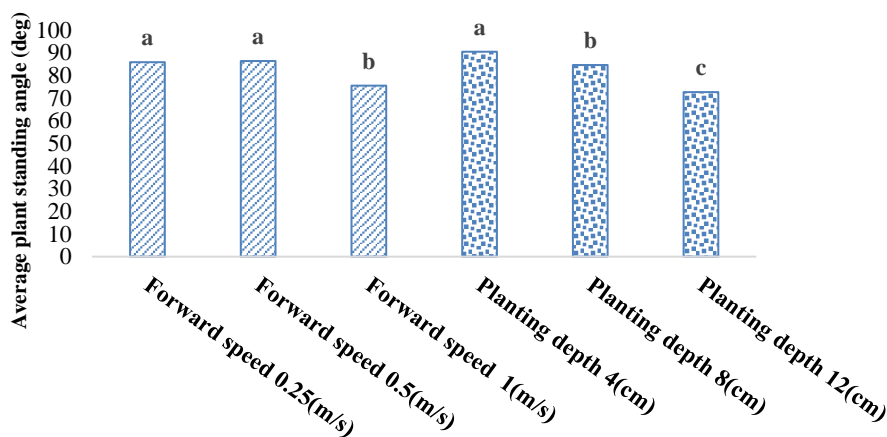
منبع تغییر	درجه آزادی	سهم مشارکت	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F-Value	P-Value
Source	DF	Contribution	Adj SS	Adj MS		
Model	26	99.21%	6940.42	266.94	259.84	0.000**
X1= Forward speed (m s ⁻¹)	2	28.99%	2028.42	1014.21	987.25	0.000**
X2= Planting depth (cm)	2	63.59%	4448.51	2224.25	2165.12	0.000**
X3= Opening size (mm)	2	0.03%	2.13	1.06	1.04	0.362 ^{ns}
X1*X2	4	6.14%	429.25	107.31	104.46	0.000**
X1*X3	4	0.01%	0.83	0.21	0.20	0.936 ^{ns}
X2*X3	4	0.13%	9.42	2.35	2.29	0.071 ^{ns}
X1*X2*X3	8	0.31%	21.86	2.73	2.66	0.015*
Error	54	0.79%	55.47	1.03		
Total	80	100.00%				

* و ** به ترتیب معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ و ns عدم معناداری

* and ** significance at the confidence level of 95% and 99%, respectively, and ns is not significant

درصد بوته‌های از دست‌رفته (Y1) تاثیر معنادار دارند. سهم تاثیر خطی متغیرهای مستقل بدون اثرات متقابل آن‌ها ۹۲/۶۱ درصد است که بیشترین تاثیر در خروجی‌های مدل را متغیر عمق نشاکاری (X2) با ۶۳/۵۹ درصد دارد. نمودار شکل ۹ نتایج مقایسه میانگین زاویه استقرار بوته‌ها (Y2) در سه سطح سرعت پیشروی (X1) و عمق نشاکاری (X2) در سطح اطمینان ۹۹ درصد را بر اساس روش فیشر نشان می‌دهد.

بر اساس داده‌های ورودی ضریب تبیین مدل برای خروجی (Y2) مقدار ۹۹/۲۱ به دست آمد. این بدان معنی است که این مدل توانسته به میزان ۹۹/۲۱ درصد بر روی پیش‌بینی مقادیر درصد بوته‌های از دست‌رفته تاثیرگذار باشد یا به میزان ۹۹/۲۱ درصد می‌توان به خروجی‌های مدل اطمینان کرد. بر اساس مقادیر P به دست آمده از تجزیه واریانس، متغیرهای سرعت پیشروی (X1)، عمق نشاکاری (X2) و تاثیرات متقابل X1*X2 در سطح اطمینان ۹۹ درصد و اثرات متقابل X1*X2*X3 در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر متغیر وابسته



شکل ۹- نمودار مقایسه میانگین اثرات X1 و X2 بر Y2 با استفاده از روش فیشر

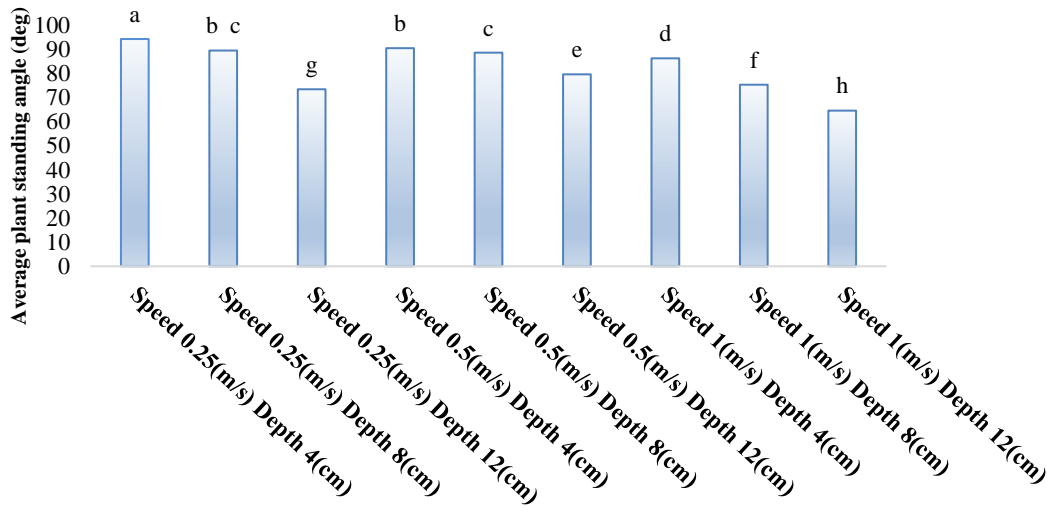
Fig.9. Average Comparison; Effects of X1 and X2 on Y2 using Fisher's method

پیشروی ۰/۵ متر بر ثانیه و عمق نشاکاری ۴ سانتی‌متر بهترین نتایج برای میانگین زاویه استقرار بوته‌ها (Y2) حاصل می‌شود. با افزایش

هرچه زاویه استقرار بوته نسبت به افق به مقدار ۹۰ درجه نزدیک‌تر باشد مطلوب‌تر است. بنابراین با انتخاب سطح سرعت

زاویه استقرار بوته‌ها (Y2) در سطح اطمینان ۹۹ درصد را نشان می‌دهد.

سرعت پیشروی و عمق نشاکاری، میانگین زاویه استقرار بوته‌ها از حالت عمود فاصله می‌گیرد. شکل ۱۰ نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سرعت پیشروی (X1) و عمق نشاکاری (X2) بر میانگین



شکل ۱۰ - نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل X1*X2 بر Y2 با استفاده از روش فیشر

Fig.10. Average Comparison; Interaction effects of X1*X2 on Y2 using Fisher's method

کشت، درصد نشاهای آسیب‌دیده و زاویه استقرار نشاها نسبت به خط قایم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که سرعت پیشروی بر زاویه استقرار بوته و درصد بوته‌های آسیب‌دیده دارای تاثیر معنادار بود. عمق کاشت فقط عامل موثری در زاویه استقرار بود.

میانگین فاصله بوته‌ها روی ردیف

جدول ۸ نتایج تجزیه واریانس سه سطح متغیرهای مستقل سرعت پیشروی، عمق نشاکاری و اندازه دهانه خروجی سینی نشا بر میانگین فاصله بوته‌ها (Y3) روی ردیف نشا شده را نشان می‌دهد.

نزدیک‌ترین مقدار میانگین به زاویه ۹۰ درجه در نمودار مربوط به ستون دوم (b c) است که سرعت پیشروی ۰/۲۵ متر بر ثانیه و عمق نشاکاری ۸ سانتی‌متر است. با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل X1*X2 بر Y2 با استفاده از روش فیشر می‌توان گفت در سرعت پیشروی ثابت، افزایش عمق نشاکاری، سبب کاهش میانگین زاویه استقرار بوته‌ها می‌شود.

جاویدان و محمدزمانی (Javidan & Mohammadzamani, 2019) به منظور نشای مکانیزه گوجه‌فرنگی، نشاکار نیمه‌خودکار با موزع فنجان‌مخروطی را مورد طراحی، ساخت و ارزیابی قرار دادند. در ارزیابی مزرعه‌ای نشاکار، متغیرهای فاصله بین نشاها روی ردیف

جدول ۸ - نتایج تجزیه واریانس تغییرات سه متغیر مستقل بر میانگین فاصله بوته‌ها

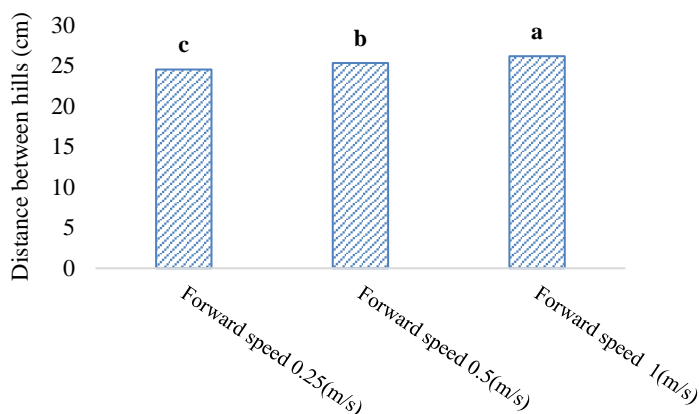
Table 8- Variance analysis of the changes of three independent variables on the average distance of hills

منبع تغییر	درجه آزادی	سهم مشارکت	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F-Value	P-Value
Source	DF	Contribution	Adj SS	Adj MS		
Model	26	94.76%	37.1939	1.4305	37.57	0.000**
X1= Forward speed (m.s ⁻¹)	2	92.52%	36.3158	18.1579	476.89	0.000**
X2= Planting depth (cm)	2	0.06%	0.0248	0.0124	0.33	0.724 ns
X3= Opening size (mm)	2	0.37%	0.1452	0.0726	1.91	0.158 ns
X1*X2	4	0.36%	0.1398	0.0349	0.92	0.460 ns
X1*X3	4	0.22%	0.0848	0.0212	0.56	0.695 ns
X2*X3	4	0.58%	0.2278	0.0569	1.50	0.216 ns
X1*X2*X3	8	0.65%	0.2557	0.0320	0.84	0.572 ns
Error	54	5.24%	2.0561	0.0381		
Total	80	100.00%				

* و ** به ترتیب معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ و ns عدم معناداری
* and ** significance at the confidence level of 95% and 99%, respectively, and ns is not significant

بوته‌ها روی ردیف (Y3) نیستند. سهم تاثیر متغیرهای مستقل بدون اثرات متقابل آن‌ها ۹۲/۹۶ درصد است که بیشترین تاثیر در خروجی‌های مدل را متغیر سرعت پیشروی (X1) با ۹۲/۵۲ درصد دارد. سهم درصد خطا در مدل انتخاب شده ۵/۲۴ درصد می‌باشد. شکل ۱۱ نمودار ستونی میانگین‌های متغیر وابسته فاصله بوته‌ها روی ردیف (Y3) در سطوح مختلف متغیر سرعت پیشروی (X1) در سطح اطمینان ۹۹ درصد را نمایش می‌دهد.

ضریب تبیین مدل ۹۴/۷۶ به دست آمد. این بدان معنی است که به میزان ۹۴/۷۶ درصد می‌توان به خروجی‌های مدل برای تخمین فاصله بین بوته‌ها روی ردیف (Y3) اطمینان کرد. بر اساس مقادیر P به دست آمده از تجزیه واریانس، فقط متغیر سرعت پیشروی (X1) در سطح اطمینان ۹۹ درصد بر متغیر وابسته فاصله بوته‌ها روی ردیف (Y3) تاثیر معنادار دارند. سایر متغیرهای مستقل و اثرات متقابل آن‌ها در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد دارای تاثیر معناداری بر فاصله



شکل ۱۱ - نمودار مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف X1 بر Y3 با استفاده از روش فیشر
Fig.11. Average Comparison; Effects of X1 level on Y3 using Fisher's method

میانگین تعداد نهال در بوته

جدول ۹ نتایج تجزیه واریانس سه سطح متغیرهای مستقل سرعت پیشروی، عمق نشاکاری و اندازه دهانه خروجی سینی نشا بر میانگین تعداد نهال‌ها در بوته‌های نشاشده را نشان می‌دهد. برای متغیر وابسته Y4 (میانگین تعداد نهال‌ها در بوته)، بر اساس داده‌های ورودی، ضریب تبیین مدل ۹۹/۲۱ به دست آمد. این بدان معنی است که این مدل توانسته به میزان ۹۹/۲۱ درصد بر روی پیش‌بینی مقادیر درصد بوته‌های از دست‌رفته تاثیرگذار باشد یا به میزان ۹۹/۲۱ درصد می‌توان به خروجی‌های مدل اطمینان کرد. بر اساس مقادیر P به دست آمده از تجزیه واریانس، تغییرات در متغیرهای اندازه دهانه خروجی سینی نشا (X3) در سطح اطمینان ۹۹ درصد و عمق نشاکاری (X2) در سطح اطمینان ۹۵ درصد بر متغیر وابسته تعداد نهال در بوته (Y4) تاثیر معنادار دارند. بیشترین تاثیر در خروجی‌های مدل را متغیر اندازه دهانه خروجی سینی نشا (X3) با ۹۸/۸۷ درصد دارد. میزان خطا در مدل انتخاب شده ۰/۷۹ درصد می‌باشد.

فاصله کشت تنظیم شده نشاکار با توجه به چرخ‌دنده‌های به‌کاررفته در مسیر انتقال توان به صورت تئوری ۲۵ سانتی‌متر مورد انتظار و مطلوب ما است. با توجه به نتایجی که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، سطح سرعت پیشروی ۰/۵ متر بر ثانیه، دقیق‌ترین فاصله بین بوته‌ها روی ردیف را نتیجه می‌دهد. انتخاب سرعت پیشروی کمتر منجر به کاهش فاصله بوته‌ها روی ردیف و افزایش سرعت پیشروی باعث افزایش فاصله بوته‌ها روی ردیف نسبت به حالت تنظیم‌شده می‌گردد. محمدزمانی و همکاران (Mohammadzamani et al., 2015) به منظور کشت ماشینی نشای گوجه‌فرنگی، یک نشاکار تمام خودکار را مورد طراحی، ساخت و ارزیابی قرار دادند. به منظور ارزیابی عملکرد دستگاه، صفات درصد آسیب‌های مکانیکی به نشاها، زاویه استقرار نشاها از خط قائم و تغییر فاصله نشاها روی ردیف کشت مورد بررسی قرار گرفتند. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح سرعت پیشروی و عمق کشت در دو سطح بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر تغییر سرعت پیشروی دستگاه، عمق کشت و اثر متقابل آن‌ها بر تمام صفات مورد بررسی معنادار بودند.

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس تغییرات سه متغیر مستقل بر میانگین تعداد نهال در بوته

Table 9- Variance analysis of the changes of three independent variables on the average number of seedlings per plant

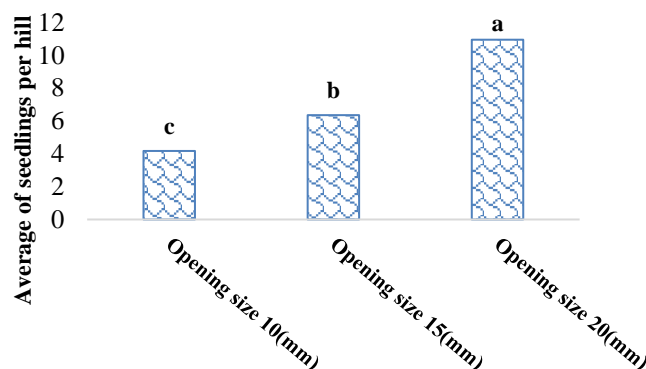
منبع تغییر Source	درجه آزادی DF	سهم مشارکت Contribution	مجموع مربعات Adj SS	میانگین مربعات Adj MS	F-Value	P-Value
Model	26	99.21%	646.720	24.874	260.20	0.000**
X1= Forward speed (m s ⁻¹)	2	0.05%	0.298	0.149	1.56	0.220 ^{ns}
X2= Planting depth (cm)	2	0.10%	0.626	0.313	3.27	0.045*
X3= Opening size (mm)	2	98.87%	644.495	322.248	3370.92	0.000**
X1*X2	4	0.04%	0.238	0.059	0.62	0.649 ^{ns}
X1*X3	4	0.03%	0.194	0.048	0.51	0.731 ^{ns}
X2*X3	4	0.11%	0.696	0.174	1.82	0.138 ^{ns}
X1*X2*X3	8	0.03%	0.173	0.022	0.23	0.984 ^{ns}
Error	54	0.79%	5.162	0.096		
Total	80	100.00%				

* و ** به ترتیب معناداری در سطح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ و ns عدم معناداری

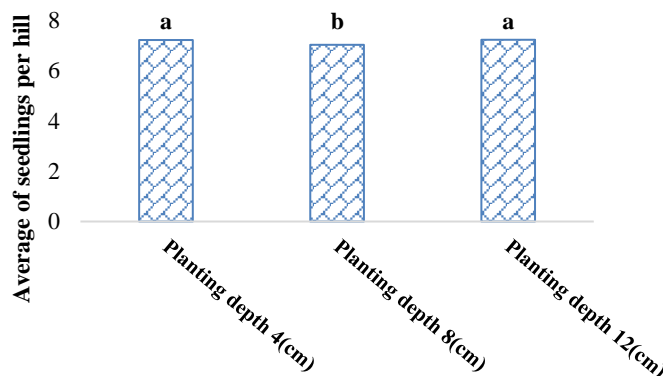
* and ** significance at the confidence level of 99% and 95%, respectively, and ns of non-significance

در نهال‌ها افزایش می‌یابد. شکل ۱۳ نمودار ستونی میانگین‌های متغیر وابسته تعداد نهال‌ها در بوته‌ها (Y4) در سطوح مختلف متغیر عمق نشاکار (X2) در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نمایش می‌دهد.

شکل ۱۲ نمودار ستونی میانگین‌های متغیر وابسته تعداد نهال‌ها در بوته‌ها (Y4) در سطوح مختلف متغیر اندازه دهانه خروجی سینی نشا (X3) در سطح اطمینان ۹۹ درصد را نمایش می‌دهد. با افزایش اندازه دهانه خروجی سینی نشا، میانگین تعداد بوته‌ها



شکل ۱۲- نمودار مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف X3 بر Y4 با استفاده از روش فیشر
Fig.12. Average Comparison; Effects of X3 level on Y4 using Fisher's method



شکل ۱۳- نمودار مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف X2 بر Y4 با استفاده از روش فیشر

Fig.13. Average Comparison; effects of X2 level on Y4 using Fisher's method

- تغییرات در عمق نشاکاری بر فاصله بوته‌ها روی ردیف و تعداد نهال در بوته تاثیر معناداری ندارد.
- تغییر در اندازه دهانه خروجی سینی نشا تاثیر مستقیم در تعداد نهال در بوته‌ها دارد. افزایش و کاهش اندازه دهانه سینی نشا به ترتیب باعث افزایش و کاهش تعداد نهال در بوته می‌گردد. همچنین افزایش اندازه دهانه باعث کاهش بوته‌های از دست‌رفته می‌شود. تغییرات در اندازه دهانه خروجی سینی نشا، تاثیر معناداری در زاویه استقرار بوته‌ها و فاصله بوته‌ها روی ردیف ندارد.
 - کاربست نتایج و یافته‌های این تحقیق می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی را در شناسایی و اتخاذ راه‌کارهایی به منظور حفاظت از منابع آبی با حفظ درآمد کشاورزان یاری نماید.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد بابت حمایت مالی در قالب طرح پژوهشی با کد ۳/۴۸۴۸۷، تشکر و قدردانی می‌گردد.

مشارکت نویسندگان

احمد سادین: جمع‌آوری داده‌ها، پردازش داده‌ها، تحلیل آماری، شبیه‌سازی کامپیوتری، استخراج متن اولیه
 محمدحسین آق‌خانی: نظارت و مدیریت، مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، مشاوره فنی، تحلیل آماری، ویرایش متن
 محمدعلی ابراهیمی‌نیک: مشاوره فنی، تحلیل آماری
 جلال برادران مطیع: مشاوره فنی، تحلیل آماری، ویرایش متن، روش‌شناسی

عمق نشاکاری ۴ و ۱۲ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد نهال در بوته با یکدیگر ندارند. البته معنادار شدن عمق نشاکاری بر تعداد نهال در بوته غیرمنطقی و دور از انتظار است و ممکن است در اثر خطای داده‌برداری یا تاثیر شرایط دیگر (مانند غیریکنواخت بودن نهال‌های برنج) باشد.

نتیجه‌گیری

- با جمع‌بندی نتایج این پژوهش به‌روشنی می‌توان دریافت که:
- توان دورانی مصرفی از محور توان‌دهی تراکتور به‌ازای هر واحد نشاکار مقدار ۰/۵۷ kW است که ۰/۴۱ kW مربوط به موزع (چنگال بوته‌ساز) و ۰/۱۶ kW مربوط به پیستون حمل نشا می‌باشد. با دو برابر شدن تعداد واحدهای نشاکار، توان مصرفی نشاکار دو برابر می‌شود.
 - با به‌کارگیری ضریب اطمینان بزرگ‌تر در طراحی، قطر مورد نیاز محور پنبون و محور میل‌لنگ افزایش و زاویه پیچش آن‌ها کاهش می‌یابد.
 - افزایش سرعت پیشروی باعث افزایش تعداد بوته‌های از دست‌رفته و فاصله گرفتن زاویه استقرار بوته‌ها از حالت عمود می‌گردد. همچنین افزایش سرعت پیشروی باعث افزایش فاصله بوته‌ها روی ردیف می‌شود اما تاثیر معناداری بر تعداد نهال در بوته‌ها ندارد.
 - بهترین اندازه عمق نشاکاری ۸ سانتی‌متر می‌باشد چون در این عمق تعداد بوته‌های از دست‌رفته کمترین است. از طرف دیگر انتخاب عمق کم باعث استقرار نامناسب بوته و تسریع در خشک شدن ریشه‌های نشا می‌شود. عمق زیاد برای بوته‌های کوتاه سبب دفن شدن کل بوته یا تعدادی از برگ‌ها می‌شود که باعث اختلال در رشد نشا می‌شود. افزایش و کاهش عمق نشاکاری سبب فاصله گرفتن زاویه استقرار بوته‌ها از حالت عمود می‌شود.

References

- Alizadeh, M., Minaei, S., Tavakoli, T., & Khoshtaghaza, M. (2006). Effect of de-awning on physical properties of paddy. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(9), 1726-1731. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.1726.1731>
- ANTAM. (2017). Asian and Pacific Network for Testing of Agricultural Machinery. <https://www.un-csam.org>
- Awika, J. M. (2011). Major cereal grains production and use around the world *Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion* (pp. 1-13): ACS Publications. <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1089.ch001>
- Brown, K., Turner, F., Thomas, J., Deuel, L., & Keener, M. (1977). Water balance of flooded rice paddies. *Agricultural Water Management*, 1(3), 277-291. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(77\)90006-3](https://doi.org/10.1016/0378-3774(77)90006-3)
- Chandrasekhararao, C., Jitendranath, S., & Murthy, T. (2013). Resource optimisation in rice through direct seeding by drum seeder. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(3), 239-246.
- FAO. (2020). Food and Agricultural Organization Statistical Yearbook. <https://doi.org/10.4060/cb1329en>
- Farahmandfar, R., Farahmandfar, E., & Ramezani, A. (2009). Physical properties of rough rice. *International*

- Journal of Food Engineering*, 5(5). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1573>
8. Farooq, M., Wahid, A., Lee, D. J., Ito, O., & Siddique, K. H. (2009). Advances in drought resistance of rice. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(4), 199-217. <https://doi.org/10.1080/07352680902952173>
 9. Ghanbarian, D., Valaei, M., Ghasemi Varnamkhasti, M., & Aghagoolzade, H. (2017). Discussion of Influence of parboiling in milling rice yield and head rice yield. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 48(2), 299-304. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.62471>
 10. Gutaker, R. M., Groen, S. C., Bellis, E. S., Choi, J. Y., Pires, I. S., Bocinsky, R. K., Slayton, E. R., Wilkins, O., Castillo, C. C., Negrão, S., & Oliveira, M. M. (2020). Genomic history and ecology of the geographic spread of rice. *Nature plants*, 6(5), pp.492-502. <https://www.nature.com/articles/s41477-020-0659-6>
 11. Hafeez, M., Bouman, B., Van de Giesen, N., & Vlek, P. (2007). Scale effects on water use and water productivity in a rice-based irrigation system (UPRIIS) in the Philippines. *Agricultural Water Management*, 92(1-2), 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.05.006>
 12. Hosseini, S. M., & Loghavi, M. (2009). Design, Development and Evaluation of a Paper-Pot Transplanter. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 40(1). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084803.1388.40.1.1.3>
 13. Javidan, S. M., & Mohammad zamani, D. (2019). Design, Construction and Evaluation of Semi-Automatic Transplanter with Conical Distributing Cups. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 20(72), 179-190. <https://doi.org/10.22092/erams.2019.120477.1239>
 14. Mohammadzamani, D., Ghezavati, J., & Nazari, M. (2015). Designing manufacturing and evaluation of automated tomato planter. *Journal of Agriculture Mecanization*, 16(65), 79-92. <https://doi.org/10.22092/erams.2016.105955>
 15. Pandey, S., & Velasco, L. (1999). Economics of alternative rice establishment methods in Asia: a strategic analysis. *Social Sciences Division Discussion Paper, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines*, 1(1), 12-18.
 16. Pandey, S., & Velasco, L. (2002). Economics of direct seeding in Asia: patterns of adoption and research priorities. *Direct seeding: Research strategies and opportunities*, 3-14.
 17. Pandey, S., & Velasco, L. (2005). Trends in crop establishment methods in Asia and research issues. *Rice is life: Scientific perspectives for the 21st century*, 178-181.
 18. Popov, E. P. (1976). *Mechanics of materials Popov*. 2th edition. Chapter 2, paper 131-141.
 19. Rabbani, G., & Ali, M. (2009). New ideas and concepts, rice bran: a nutrient dense mill-waste for human nutrition. *The ORION Medical Journal*, 32(3), 694-701.
 20. Rao, A., Johnson, D., Sivaprasad, B., Ladha, J., & Mortimer, A. (2007). Weed management in direct-seeded rice. *Advances in agronomy*, 93, 153-255. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)93004-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)93004-1)
 21. Reddy, P. B. H., Sreenivasulu, S., & Manohar, C. (2009). Direct Seeding with Drum Seeder–Future Prospects. *RASS–Acharya Ranga Krishi Vigyan Kendra, Tirupati, AP*.
 22. Singh, S., Sharma, S., & Prasad, R. (2001). The effect of seeding and tillage methods on productivity of rice–wheat cropping system. *Soil and Tillage Research*, 61(3-4), 125-131. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00188-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00188-4)
 23. Singh, Y., Singh, G., Johnson, D., & Mortimer, M. (2005). Changing from transplanted rice to direct seeding in the rice-wheat cropping system in India. *Rice Is Life: Scientific Perspectives for the 21st Century” (K. Toriyama, KL Heong, and B. Hardy, Eds.)*, 198-201.
 24. Spotts, M. F., Shob, T. A., & Horen Berger, L.A., (2004). *Design of machine elements*, 8th ed, chapter 4, paper 311-314. <https://doi.org/10.1115/1.1637657>
 25. Usefian, M., Arabzade, B., Soodaee Mashae, S., & Mohammadi Nesheli, Y. (2014). Evaluation of different levels of Irrigation on yield and qualitative properties of two rice varieties. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 27(104), 69-75. <https://doi.org/10.22092/aj.2014.101680>
 26. Vinay, M., Kumar, U., Parkash, V., & Kumari, S. (2016). Impact of direct seeded rice on economics of paddy crop in Haryana. *International Journal of Agriculture Sciences*, 8(62), 3525-3528.