

Design, construction and evaluation of a field transplanter with a biodegradable pot– Case study: Tomato transplanting

M. Kakaei ¹ and H. Haji Agha Alizade ^{2*}

1. PhD student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2. Associate professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 22 January 2025

Accepted: 24 February 2025

*Corresponding Author: h-alizade@basu.ac.ir

Abstract

Introduction: In developing countries, since most farmers have small plots of land, they are unable to afford expensive machinery for cultivating vegetables, so they use the manual method. In this method, on average, each worker works for about 8 to 9 hours a day. This activity causes physical fatigue, reduces work accuracy, and uneven distribution of seedlings across the field. On the other hand, during peak work, due to the high demand for human resources, there is usually a shortage of human resources. This shortage of manpower during the planting season affects the right time and the final yield of the crop. Transplanting machine is used to increase productivity, uniform distribution, precision in planting, save time, and timely planting. A review of the resources of the last few years in the special planting of seedlings has given automatic feeding with determinate pot seedlings, reducing manpower, increasing the final yield and increasing the carrying capacity at the same time, and as a result, it also helps to improve the performance of semi-auto games better and also helps to improve the performance of semi-autos, reducing human intervention, and on the other hand, seedlings grown in paper pots, to mechanize the transplanting operation by improving the quality of the pot in the soil and helping to meet the conditions. Growth and organic matter in the soil are a better option. Therefore, this research aimed to develop, design and evaluate a smart seedling planting device in small farms to identify the speed of the advance operation using seedlings grown in paper pots.

Materials and Methods: In this study, the physical and mechanical properties of two biodegradable pot models, an incomplete cone and a square pyramid, were evaluated for use in a transplanter in a pressure test device. According to the field data of tomato planting methods, a model with suitable dimensions for small farms was first designed using SolidWorks engineering software. Then, to build the transplanter, its frame was first built. Considering the dimensions of the device, a potting tractor model with a nominal power of 45 hp was used to provide driving forces due to its appropriate maneuverability in a small space and greenhouse. In this device, a furrow opener with adjustable height for working at different depths was installed at the beginning of the device. A finger covering system, soil leveler, and two-disc coverings were used to properly position the pot in the created furrow. To transfer the pots in this device to the drop tube, a turntable with a stepper motor was used to transport them at different rotational speeds, an



electronic circuit to control its rotational speed, and two infrared sensors to detect and count the pots. Then, for its field evaluation, two factors, the advancing speed at three levels (0.7, 1.5, and 2.5) and the type of seedling at two levels (4 and 6 leaves) were studied in a completely randomized factorial design with three replications. The aim of designing this transplanting device is to use biodegradable pots to develop sustainable agriculture and reduce physical damage to roots during planting.

Results and Discussion: The results of this study showed that the most suitable incomplete cone pot that withstands the highest force in the pressure test was used as the most suitable pot for use in the transplanter. Then, to eliminate lateral forces on the movement of the pot in the drop tube, a diagonal position in the opposite direction of movement was used. The results of the analysis of the measured data showed that the effect of the forward speed on the parameters of the percentage of uniformity of the distribution of seedlings, the percentage of changes in the planting depth, the percentage of plant deviation from the row and the percentage of physical damage was significant at the 1% level, and its effect on the parameters of the percentage of multiple planting and non-planting, acceptable and unacceptable planting was significant at 5% level. Also, the effect of the seedling type factor on the parameters of the percentage of seedling mortality after planting and plant deviation from the row were significant at 1% and 5% levels, respectively. The interaction effect of the factors was not significant on any of the measured parameters. Comparison of the average effects of the measured factors at the three levels of forward speed and two types of seedlings showed that all factors had equal effects at the two speed levels of 0.75 and 1.5 km/h, except for the factor of the percentage of uniformity of seedling distribution (with an average of 89.36%) at the speed of 1.5 km/h and the mortality of seedlings after planting at four leaves (with an average of 22.33%).

Conclusion: Considering the physical characteristics of the biodegradable pot, the incomplete cone model was selected for use in the device. The best performance of the transplanter device at three levels of forward speed and two types of transplanting was achieved at a forward speed of 1.5 km/h and 6 leaves with the lowest percentage of plant deviation from the row, physical damage, multiple planting and non-planting, percentage of unacceptable planting, percentage of depth changes, and with the highest percentage of acceptable planting and uniform distribution.

Keywords: *Falling tube, Number of leaves, Forward speed, Biodegradable pot, Transplanter.*

طراحی، ساخت و ارزیابی نشاکار مزرعه‌ای با گلدان تجزیه‌پذیر - مطالعه موردی: نشای گوجه فرنگی

مهدی کاکانی^۱ و حسین حاجی آقاعلی زاده^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران،

۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران،

چکیده

امروزه در کشورهای توسعه یافته برای افزایش بهره‌وری محصولات، دقت در کاشت، صرفه‌جویی در زمان به جای روش سنتی از روش‌های مکانیزه استفاده می‌شود. در این پژوهش برای کاشت مکانیزه، یک دستگاه نشاء‌کار با سیستم تغذیه خودکار طراحی و ساخته شد. هدف کلی طراحی دستگاه کاشت نشای با گلدان تجزیه‌پذیر جهت افزایش بهره‌وری کاشت با کمترین ضایعات زیست محیطی در سطح مزارع ایران است. سپس برای ارزیابی مزرعه‌ای آن دو عامل سرعت پیشروی در سه سطح (۰/۷، ۱/۵ و ۲/۵) و نوع نشای در دو سطح (۴ و ۶ برگی) در قالب طرح فاکتوریل بصورت کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. نتایج تجزیه داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد اثر سرعت پیشروی بر پارامترهای درصد یکنواختی توزیع نشاء‌ها، درصد تغییرات عمق کاشت، درصد انحراف بوته از روی ردیف و درصد آسیب فیزیکی در سطح ۱ درصد معنی‌دار و اثر آن بر پارامترهای درصد چند کاشت و نکاشت، کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. همچنین تاثیر عامل نوع نشای بر پارامترهای درصد مرگ و میر نشای بعد از کاشت و انحراف بوته از روی ردیف به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار است اثر متقابل عامل‌ها بر هیچ کدام از پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار نگردید. مقایسه میانگین اثر فاکتورهای اندازه‌گیری شده در سه سطح سرعت پیشروی و دو نوع نشای نشان داد همه فاکتورها در دو سطح سرعت ۰/۷۵ و ۱/۵ کیلومتر در ساعت بجز فاکتور درصد یکنواختی توزیع نشای (با میانگین ۸۹،۳۶ درصد) در سرعت ۱/۵ کیلومتر در ساعت و مرگ و میر نشای بعد از کاشت در چهار برگی (با میانگین ۲۲/۳۳ درصد) اثر برابری داشتند. با توجه به تاثیر برابر سرعت‌ها بر پارامترهای اندازه‌گیری شده بهترین عملکرد دستگاه در سرعت پیشروی ۱/۵ کیلومتر سرعت با مقدار ۰/۱۱ هکتار در ساعت بدست آمد.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۳

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۶

کلمات کلیدی:

لوله سقوط،

نوع نشای،

سرعت پیشروی،

گلدان تجزیه‌پذیر،

نشاکار

* عهده دار مکاتبات

Email: h-alizade@basu.ac.ir

مقدمه

محصولات صیفی و سبزیجات یکی از مهمترین منابع تغذیه‌ای برای انسان است استفاده از روش های مکانیزه برای تولید این محصولات نقش مهمی در توسعه اقتصادی آن دارد.

بر اساس آمار رسمی وزارت جهاد کشاورزی سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon m*) در جهان حدود ۴/۹۱ میلیون هکتار با متوسط عملکرد ۳۷/۸۴ تن در هکتار است. به طوری که سهم ایران با سطح زیر کشت ۱۰۳/۳۰ هزار هکتار و با متوسط عملکرد ۴۸/۸۸ تن در هکتار، تقریباً ۲/۷ درصد است (۱). در ایران ۷۵ درصد از نشاءهای استفاده شده در سطح گلخانه کشت می شود، بطوری که ۲۳ درصد از این مقدار را گیاه گوجه فرنگی به دلیل اهمیت تولید و عملکرد بالا به خود اختصاص می‌دهد (۸،۳).

امروزه کشورهای توسعه یافته برای افزایش بهره‌وری محصولات، توزیع یکنواخت، دقت در کاشت، صرفه‌جویی در زمان و کاشت به موقع نشاء از ماشین نشاء کار استفاده می‌شود (۱۲). تحقیق و توسعه دستگاه های نشاء کار در کشاورزی در دهه ۱۹۸۰ آغاز شد. برخی از کشورهای توسعه یافته مانند ژاپن، ایالات متحده و ایتالیا شروع به مطالعه فناوری کاشت نشاء در زمین خشک کرده‌اند و یک نشاء کار خود کار مناسب برای این بخش از کشاورزی توسعه داده‌اند. در کشور های اروپایی و ایالات متحده به دلیل اراضی با مساحت زیاد از نشاء کار چند ردیفه بزرگ در حالی در کشور ژاپن به دلیل کشاورزی در مقیاس کوچک، نشاء کار متناسب با زمین های خود را توسعه داده است (۲۳،۱۳).

در این دوره، برخی از محققان برای انتقال نشاء از سینی های با تراکم بالا به سینی های کم تراکم برای رشد گیاهان توسعه دادند. پس از آن، بسیاری از نشاء کارهای طراحی شده، عمدتاً بر چندین جنبه به ویژه مهندسی

مکانیک، مهندسی کنترل و بینایی ماشین تمرکز کردند (۷)، (۲۶).

در این سیستم ها از مکانیسم های اندازه گیری نوار نقاله افقی، سامانه بردارنده نشاء^۱، گلدان نزولی عمودی^۲، انگشتی کاشت دوار^۳ و نوار نقاله عمودی به ترتیب از سینی نشاء پر، گلدان های زنجیره وار^۴ و نشاء گلدان کاغذی^۵ استفاده می‌کنند (۱۸).

در این روش ها با توجه به این که از لحاظ زمان و نیروی انسانی مقرون به صرفه می باشد ولی از لحاظ بهره گیری تکنولوژی در سیستم تغذیه معمولاً با چالش های در زمینه آسیب فیزیکی، نرخ تغذیه و هزینه مواجه شده است. از بین این همه محدودیت، سیستم تغذیه به دلیل عدم یکنواختی شکل، اندازه نشاءها و فاصله کاشت متفاوت دارای اهمیت بیشتری می‌باشد (۱۴).

بر اساس تحقیقات گذشته برای برطرف کردن این محدودیت ها و وابستگی سیستم تغذیه ماشین نشاء کار به نیروی انسانی از دو روش به طور کلی استفاده می‌گردد که در هر دو روش نشاء در یک بستر کاشته و پرورش داده می‌شود سپس در یک گلدان انفرادی یا گلدان های پیوسته به صورت نوار آماده می‌شود. گلدان های انفرادی برای کشت محصولات با تراکم و فاصله مختلف مناسب هستند در حالی که گلدان های پیوسته به دلیل فاصله ثابت بوته و تراکم معین برای بعضی محصولات خاص مناسب‌اند (۱۹).

در مطالعه ای کوشیک و همکاران^۶ (۱۱) از یک دستگاه نشاء کار با گلدان کاغذی که یک فناوری خلاقانه در زمینه کشت گلخانه ای بود استفاده شد نتایج این مطالعه نشان داد که گلدانهای کاغذی به صورت زنجیر متصل به هم به ظرفیت ۵۲ نشاء در دقیقه با فاصله یکسان کاشت می‌کند از معایب این روش استفاده از فاصله کاشت یکسان برای هر

- 1- Seedling pick up device
- 2- Vertical descending cup type
- 3- Rotary planting fingers
- 4- Chain of pots
- 5- Paper pot seedlings
- 6- Kaushik et al

مزرعه‌ای، میانگین شاخص مرگ و میر و کاشت چندتایی به ترتیب ۸/۱۲، ۲۰/۳، ۲/۹۹، ۷۱/۲۵، ۳۳ و ۱۸/۷۷ درصد بدست آمد. در این روش به دلیل قانون گرانش و سقوط آزاد گلدان به همراه نشاء می‌توان عملیات پیچیده انتقال خودکار نشاء در دستگاه را کاهش داد در نشاءکارهای خودکار گلدان‌های استوانه نشاء از پیش بارگذاری شده و روی صفحه کاشت به صورت مکانیکی منتقل شده و در زمین قرار می‌گیرند در حالی که دستگاه نشاءکار ریشه لخت به دلیل نیاز به جداسازی، انتخاب، صف‌بندی و انتقال به صورت مکانیکی دشوار است.

در بهره‌گیری از روش گلدان کاغذی مجزا، مشکل یکنواخت بودن فاصله کاشت برای بعضی از ارقام محصولات کشاورزی حساس به فاصله برطرف می‌شود

بررسی منابع چند سال اخیر در خصوص کاشت نشاء نشان داد تغذیه خودکار نشاءهای با گلدان تجزیه‌پذیر، باعث کاهش نیروی انسانی، هزینه نهایی و افزایش تعداد بیشتر نشاء در یک زمان برابر در مقایسه با نشاء ریشه لخت خواهد داشت و نتیجه آن کمک به بهبود ظرفیت مزرعه نشاء کار نیمه اتوماتیک سبزیجات و همچنین کاهش مداخلات انسانی می‌شود و از طرفی نشاءهای پرورش یافته در گلدان‌های کاغذی، علاوه بر کمک برای مکانیزه کردن عملیات نشاء کاری باعث بهبود شرایط رشد نشاء و کاهش آسیب فیزیکی وارد شده به ریشه آن در زمان کاشت می‌شود. همچنین با توجه به قابلیت تجزیه‌پذیری گلدان در خاک باعث کاهش آلودگی زیست محیطی در سطح مزرعه و افزایش کشاورزی پایدار می‌گردد. بنابراین، این پژوهش با هدف توسعه، طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه نشاءکار در مزارع کوچک برای بررسی حداکثر سرعت پیشروی و نوع نشاء با استفاده از نشاءهای پرورش داده شده در گلدان کاغذی انجام شد.

محصول می‌باشد با توجه اینکه بعضی از محصولات به فاصله کاشت حساس می‌باشد این روش فقط برای بعضی از گیاهان استفاده دارد.

ری و موزس^۱ (۱۹) برای توسعه و افزایش بهره‌وری دستگاه نشاء کار با گلدان کاغذی از یک سامانه برشی برای تنظیم فاصله بین دو نشاء روی یک ردیف استفاده شد. در این سامانه سرعت کار دستگاه ۷۱ بوته در دقیقه بدست آمد به طوری که این سامانه نیاز به نیروی انسانی و هزینه نشاءکاری را کاهش می‌دهد.

چیلور و همکاران^۲ (۲) برای کاشت نشاء با استفاده از گلدان کاغذی از یک سیستم نوار نقاله ای استفاده نمودند در این روش از یک واحد اندازه‌گیری، لوله سقوط نشاء، شیار بازکن بیلچه‌ای، پوشاننده دو دیسکی برای کاشت نشاء به صورت تک ردیفه توسعه دادند. در این آزمایش از پنج سرعت پیش‌روی یعنی ۱/۶، ۱/۸، ۲، ۲/۲ و ۲/۴ کیلومتر در ساعت استفاده شد. داده‌های مربوط به فاصله درون ردیفی، پوشش خاک، زاویه شیب نشاء برای محصول گوجه‌فرنگی جمع‌آوری شد راندمان دستگاه و سیستم انتقال و تغذیه آن از ۸۲/۸۶ تا ۱۰۰ درصد در سرعت پیشروی ۱/۶ تا ۲ کیلومتر متغیر بود و افزایش سرعت باعث کاهش چشم‌گیر راندمان کلی دستگاه می‌شود.

در این زمینه کوماوات و همکاران^۳ (۱۴) برای تامین توان حرکتی یک نشاء کار ۴ ردیفه اتوماتیک پیاز از یک تراکتور ۱۵ اسب بخار استفاده نمود، در این طرح از یک شیار بازکن، لوله سقوط، تسمه نقاله و واحد برش عمودی و افقی برای کشت خودکار نشاء بکارگیری می‌شود. در این پژوهش از گلدان‌های کاغذی شش ضلعی (لانه زنبوری) برای کشت ۱۲۸ نشاء پیاز در ۴ ردیف با فاصله ۱۰ سانتی‌متر نسبت به یکدیگر در سرعت متوسط ۳ کیلومتر در ساعت کاشته می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد میانگین فاصله ردیف به ردیف، فاصله بوته به بوته، عمق قرارگیری، ظرفیت

1- Ray and Moses

2- Chilur et al

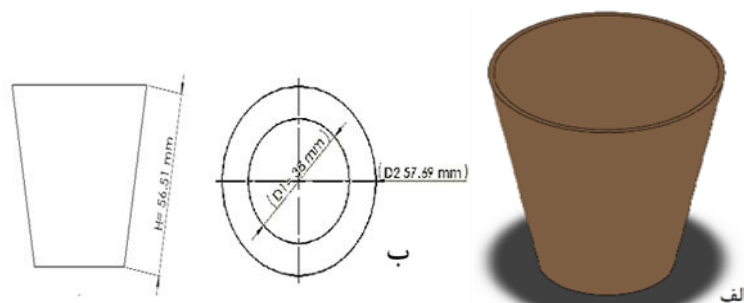
3- Kumawat et al

خصوصیات مکانیکی گلدان

خواص مکانیکی گلدان تجزیه پذیر ساخته شده در کارخانه مقواسازی شانه سبز سرکان، شهرستان تویسرکان، همدان مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با شکل (۲) گلدان‌ها در دو قالب مخروط ناقص و هرم با قاعده مربعی در سه سطح رطوبت توسط دستگاه کشش - فشار مدل (Zowick/roell 14) مجهز به نیروسنج (X force HP nominal,force:500 N Capacity) در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت سپس با توجه به شکل گلدان، درصد رطوبت در سه سطح ۵، ۵۴ و ۶۰ درصد و نیرو وارد شده به سطح مقطع آن تنش وارد شده به انتهای گلدان در حالت‌های مختلف برای سقوط در دستگاه نشاء کار اندازه گیری شد (۲۰،۹،۱۵).

مواد و روش‌ها

اولین گام در توسعه و طراحی یک نشاء کار هوشمند گوجه‌فرنگی، پرورش نشاء در گلدان‌های کاغذی است این گلدان‌ها به شکل مخروط ناقص ساخته شد. ابتدا بذر گوجه‌فرنگی در هر گلدان کاغذی بر اساس مخلوط کود دامی، ماسه و خاک مزرعه با نسبت ۲:۲:۱ کشت می‌شود بعد با آبیاری منظم به مدت ۲۱ روز رشد می‌کند. محتوی رطوبتی اولیه گلدان در ابتدا ۵ درصد سپس محتوی رطوبت ثانویه افزایش می‌یابد ابعاد گلدان قطر بزرگ، قطر کوچک و ارتفاع گلدان متناسب با لوله سقوط دستگاه به ترتیب $56/51 \pm 0/21$ و $38/0 \pm 0/13$ ، $57/68 \pm 0/16$ میلی‌متر در نظر گرفته شد (۹) شکل (۱).



شکل (۱) الف-نمای سه بعدی گلدان به شکل مخروط ناقص، ب-نمای دو بعدی آن.
Figure (1) a- 3D view of an incomplete conical cylinder pot, b- its 2D view



شکل (۲) گلدان‌های تجدیدپذیر در آزمون فشار الف) هرم با قاعده مربعی شکل، ب) مخروط ناقص
Figure (2) Renewable pots in the pressure test a) pyramid with square base, b) incomplete cone

ساخت دستگاه نشاء کار

برای کشت محصولات به صورت نشاء ابتدا نحوه نشاکاری در سطح مزارع استان همدان به صورت میدانی بررسی شد سپس تعداد نشاء در هکتار و زمان کاشت هر نشاء و زمان انتقال آن به مزرعه و کاشت آن که توسط نیروی انسانی صورت می‌گرفت یادداشت برداری شد تا در طرح ارائه شده جهت مکانیزه کردن عملیات کاشت مد نظر قرار گیرد. استان همدان به دلیل سطح زیر کشت ۲ هزار هکتار و عملکرد ۴۳ تن در هکتار یکی از قطب‌های پیشرو در عرصه روش‌های مکانیزه کاشت محصولات سبزی به صورت نشاء است به همین دلیل با توجه به نیاز کشاورزان منطقه به دستگاه نشاء کار و متناسب با شرایط اراضی منطقه تصمیم به طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه نشاء کار کوچک گرفته شد.

قبل از ساخت دستگاه نشاکار ابتدا یک مدل از آن در نرم افزار Solidworks ورژن ۲۰۲۱ طراحی شد سپس مدل طراحی شده به ترتیب با طول، عرض و ارتفاع ۱۳۰، ۷۰، و ۷۸/۵ سانتی در کارگاه، گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا ساخته شد.

قسمت سخت افزاری

در این قسمت در اولین گام بعد از ساخت شاسی، بر اساس ابعاد بازوهای هیدرولیکی تراکتور گلدونی اتصال سه نقطه بر روی آن جانمایی شد در دومین گام برای ایجاد شیار در زمین از یک شیار بازکن با قابلیت تنظیم ارتفاع، یک پوشاننده انگشتی و مسطح کننده برای قرارگیری مناسب گلدان بر روی ردیف مطابق شکل ۳ استفاده شد. در سومین گام برای قرارگیری گلدان نشاء در خاک، از یک صفحه موزع دایره‌ای برای حمل آن تا لوله سقوط بکار برده شد. در این صفحه با توجه به ابعاد گلدان تعداد ۳۲ حفره بر روی آن ایجاد شد تا با دوران صفحه موزع در هنگام کاشت کارگر بتواند زمانی کافی برای جایگذاری گلدان در حفره‌ها را داشته باشد. در چهارمین گام برای استقرار گلدان در زمان رهاسازی در لوله سقوط مطابق شکل ۵ برای کاهش اصطکاک گلدان

با لوله سقوط یک ورقه پلاستیکی به اندازه قطر آن و به طول ۳۰ سانتیمتر درون آن نصب شد تا گلدان با توجه معادله ۱ در ابتدای مسیر با کمترین اصطکاک به سمت پایین حرکت کند و انرژی اولیه برای حرکت تامین گردد. سرعت گلدان در ابتدای مسیر صفر است ولی گلدان در اثر جرم و شتاب جاذبه بر اساس شکل ۴ و معادلات ۲ و ۳ با سرعت V به سمت پایین حرکت می‌کند. در این معادلات L طول لوله سقوط بر حسب (متر)، α زاویه لوله سقوط نسبت به خط عمود، H ارتفاع لوله سقوط از سطح زمین بر حسب (متر)، g شتاب جاذبه بر حسب (متر در مجذور ثانیه) و V سرعت ثانویه بر حسب (متر در ثانیه) است. برای قرارگیری گلدان نشاء به صورت عمود در خاک می‌بایست سرعت نسبی گلدان در زمان سقوط با توجه معادلات ۴ و ۵ با سرعت پیشروی دستگاه برابر باشد تا از جست و خیز عمودی آن جلوگیری شود در این معادلات S سرعت پیشروی دستگاه (متر در ثانیه)، V_x سرعت گلدان در راستا محور افق بر حسب (متر در ثانیه) و V_y سرعت گلدان در راستا محور عمود بر حسب (متر در ثانیه) است (۲۰).

$$f_s = \mu_k N \quad (1)$$

$$H = L \cos(\alpha) \quad (2)$$

$$V = \sqrt{2gH} \quad (3)$$

$$V_x = V \sin(\alpha) = S \quad (4)$$

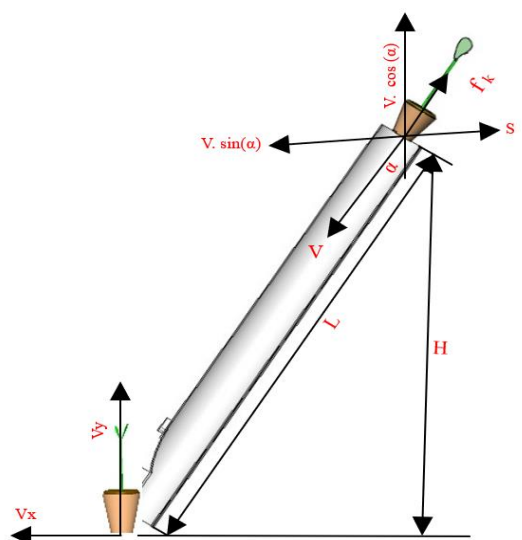
$$V_y = V \cos(\alpha) \quad (5)$$

بعد از قرارگیری گلدان به صورت عمود در سطح زمین برای عدم بهم خوردن وضعیت آن از دو بشقاب دوار با قابلیت تنظیم در سه راستا برای پوشاندن همزمان آن با خاک استفاده شد با توجه به مطالعات تحقیقات قبلی در خصوص انتخاب بهترین نوع پوشاننده برای نشاکارها، پوشاننده نوع بشقابی برای این دستگاه انتخاب شد (۱۷).

یکی از مهم ترین شاخص های انتخاب قوای محرکه برای تامین توان استفاده از توان کششی و هیدرولیکی

کاکائی و همکاران: طراحی، ساخت و ارزیابی نشاکار...

تقسیم وزن در انتهای دستگاه مطابق با شکل ۵ بر روی شاسی دستگاه نصب شد. همچنین برای متراکم سازی خاک اطراف گلدان تجزیه پذیر از دو چرخ لاستیکی با قطر ۲۰ سانتی و متناسب با پشته خاک ایجاد شده در زمان کاشت ابعاد آن انتخاب شد.



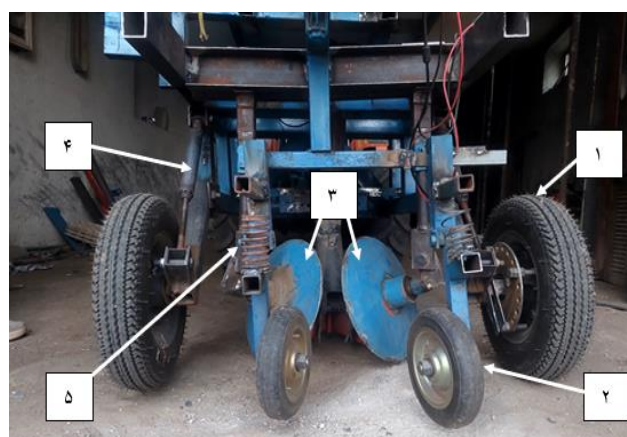
شکل (۴) معادلات سرعت گلدان در زمان رها سازی در لوله سقوط دستگاه نشاءکار

Figure (4) Equations of the pot velocity at the time of release in the drop tube of the transplanter

مناسب است. در این پژوهش با توجه به شرایط کاری خاص و ابعاد دستگاه نشاءکار از یک تراکتور گلدونی باتوان ۴۵ اسب بخار به دلیل قدرت مانور پذیری بالا، چهار چرخ متحرک بودن، توان هیدرولیکی و کششی مناسب استفاده شد. همین طور از دو چرخ لاستیکی برای تنظیم ارتفاع دستگاه در زمان کاشت، فرمان پذیری بهتر و



شکل (۳) پوشاننده انگشتی و مسطح کننده خاک
Figure (3) Finger covering and soil leveling



۱-چرخ حمل کننده دستگاه، ۲-چرخ فشار دهنده، ۳-پوشاننده بشقاب، ۴-باز و تنظیم کننده ارتفاع چرخ حمل کننده، ۵- سیستم تعلیق چرخ فشار دهنده

1-Conveyor wheel, 2-Pressing wheel, 3-Plate cover, 4-Conveyor wheel height adjustment arm, 5-Pressing wheel suspension system

شکل (۵) محل فراگیری منصوبات مکانیکی دستگاه نشاءکار

Figure (5) Location of mechanical components of the transplanter

در این پژوهش برای شناسایی، شمارش تعداد گلدان ها و سرعت پیشروی دستگاه نشاءکار از حسگرهای مجاروتی مادون قرمز مدل E3F-DS100C4 به دلیل راه اندازی ساده، قدرت تشخیص بالا، زمان پاسخ کوتاه، قیمت مناسب، حساسیت کم به گرد و غبار و نور محیط بهره گرفته شد. سرعت پیشروی دستگاه با استفاده از دو حسگر مادون قرمز که در یک فاصله ثابت از هم قرار گرفته بود مشخص گردید سپس برای حرکت صفحه دایره ای با توجه وزن هر گلدان و صفحه موزع از موتور پله ای مدل ۵۷SH۲۲ با سرعت زاویه ۱٫۸ درجه در هر ثانیه با گشتاور ۲/۲ نیوتن متر بکار گرفته شد. همچنین سرعت موتور پله ای با توجه به اینکه گام آن یک عدد مشخص می باشد چرخش صفحه موزع در هر گام موتور پله ای با استفاده از هر فرکانس پالس اعمال شده از کنترلر بر اساس معادله ۶ در یک چرخش کامل محاسبه شد.

$$V_{Rpm} = \frac{A}{360} \times f_{pulse} \times 60 \quad (6)$$

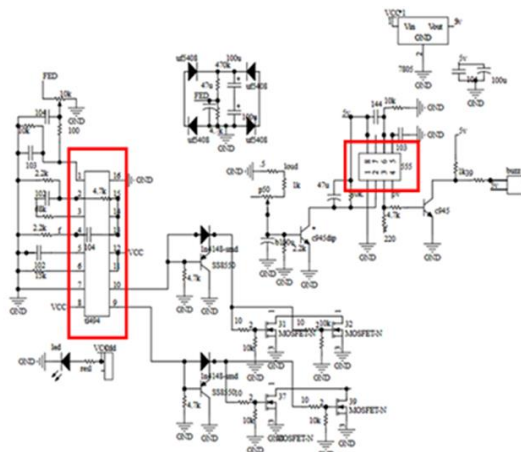


شکل (۷) برد الکترونیکی آردینو مدل مگا ۲۵۶۰ در دستگاه نشاءکار

Figure (7) Arduino Mega 2560 electronic board in the transplanter

قسمت نرم افزاری

در این قسمت برای راه اندازی مدار الکترونیکی از باتری تراکتور به عنوان منبع انرژی استفاده شد با توجه به اینکه ولتاژ باتری ۱۲ ولت است از یک مدار تغذیه برای محافظ و مبدل جریان استفاده شد. در این مدار از یک قسمت تولید پالس سویچینگ با فرکانس ۴۰ هرتز و دو مدار مجتمع IC TC555 و IC TC494 به عنوان محافظ جریان استفاده شد. مدار مجتمع TC 555 در واقع زمانی جریان ورودی از مقدار ۱۲ ولت بیشتر شود از مدار مجتمع IC TC 494 در برابر افزایش ولتاژ محافظت می کند تا دچار آسیب نشود. در این روش می توان با ورودی ۱۲ ولت خروجی متفاوت با ولتاژهای مورد نیاز ۳،۳، ۵ و ۱۲ ولت برای راه اندازی برد آردینو و حسگرها استفاده کرد (شکل ۶). در دستگاه طراحی شده برای جمع آوری و تحلیل داده های حسگرها از یک برد آردینو مدل Mega۲۵۶۰ استفاده شد. در این برد الکترونیکی به دلیل پایه های دیجیتال می توانیم ولتاژ پایه های خروجی میکروکنترلر و در نتیجه سرعت موتور یا سایر قطعات جانبی که به میکروکنترلر متصل می شود را کنترل کرد (شکل ۷).



شکل (۶) طرح واره نقشه الکترونیکی مدار تبدیل کننده ولتاژ در دستگاه نشاءکار

Figure (6) Electrical diagram of the voltage converter circuit in the transplanter

نمایشگر پردازش می کند بهره گرفته شد این نمایشگر تعداد نشای کاشته شده و سرعت صفحه موزع دستگاه را نشان می دهد (شکل ۹).

آماده سازی زمین و طرح آزمایشی

این آزمایش ها در اردیبهشت ۱۴۰۳ در مزرعه تحقیقاتی عباس آباد دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا شد. قبل از آزمودن دستگاه در شرایط مزرعه ای، ابتدا زمین مورد نظر به وسیله خاک همزن دوار عملیات خاکورزی بر روی آن انجام شد و پس از آن با استفاده از ماله زمین مورد نظر تسطیح نهایی شد.

در این تحقیق تیمارهای سرعت پیشروی در سه سطح (V1، V2 و V3 به ترتیب ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۵ کیلومتر در ساعت)، نوع نشای در دو سطح (۴ و ۶ برگی) در قالب طرح فاکتوریل به صورت کاملاً تصادفی در سه تکرار و در هر آزمایش ۳۰ گلدان نشای اجرا شد.

فاکتورهای درصد یکنواختی توزیع نشاءها نسبت به فاصله تنظیمی، درصد تغییرات عمق کاشت نسبت به عمق تنظیمی، شاخص انحراف بوته از روی ردیف بر حسب درصد و درصد مرگ و میر آن بر اساس معادله ۱۱ محاسبه شد: (۲۵)

$$Z_i = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{N_{zi}}{N}}{n} \quad (11)$$

در معادله ۱۱، Z_i نشان دهنده درصد یکنواختی کل توزیع نشای نسبت به فاصله تنظیمی در هر آزمایش، درصد تغییرات کل عمق کاشت نسبت به عمق تنظیمی در هر آزمایش، درصد انحراف بوته از روی ردیف در هر آزمایش و درصد مرگ و میر کل نشای کاشته شده در هر آزمایش، N_{zi} تعداد نمونه مشخص شده در هر آزمایش، N تعداد کل نمونه (۹۰ نمونه)، n تعداد آزمایش انجام شده در هر سرعت پیشروی (۲ نمونه).

همچنین درصد نکاشت و چند کاشت بر اساس معادله ۱۲ و ۱۳ محاسبه شد: (۱۴)

که در آن A گام موتور پله ای بر حسب درجه، f_{pulse} فرکانس پالس اعمال شده بر حسب هر ترمز و V_{RPM} سرعت موتور بر حسب دور در دقیقه را نشان می دهد. نیروی مورد نیاز برای دوران صفحه موزع با توجه به شکل ۸ از مجموع وزن گلدان و صفحه موزع و ضریب اصطکاک صفحه موزع با سطح زیرین بر اساس معادله ۷ و ۸ محاسبه گردید

$$F = F_k = \mu_k N \quad (7)$$

$$N = W_T = w_G + w_P \quad (8)$$

در معادله ۷، μ_k ضریب اصطکاک صفحه موزع با سطح زیر آن، N نیروی تکیه گاهی بر حسب نیوتن، F_k نیروی اصطکاک صفحه موزع بر حسب نیوتن و F نیروی مورد نیاز برای دوران آن بر حسب نیوتن است. در معادله ۸، w_G وزن هر گلدان بر حسب نیوتن، w_P وزن صفحه موزع بر حسب نیوتن و W_T وزن کل بر حسب نیوتن که با نیروی تکیه گاهی در معادله ۷ برابر است.

سپس با استفاده از معادله ۹ و ۱۰ به ترتیب گشتاور و توان مورد نیاز دستگاه محاسبه شد.

$$T = \frac{W_T \times \mu_k \times D}{2} \quad (9)$$

$$P = T \cdot \omega \quad (10)$$

در معادله ۹، W_T وزن کل بر حسب نیوتن، μ_k ضریب اصطکاک صفحه موزع با سطح زیر آن و D قطر صفحه موزع تا مرکز گلدان بر حسب متر مطابق شکل ۹ است (۲۴). در معادله ۱۰، T گشتاور مورد نیاز بر حسب نیوتن متر و ω سرعت زاویه ای بر حسب رادیان در ثانیه و P توان مورد نیاز بر حسب وات را نشان می دهد.

سپس برای افزایش گشتاور، دقت حرکت، کاهش سرعت آن و توزیع بار از یک جعبه دنده خورشیدی با نسبت ۱:۵ با شافت خروجی ۸ میلی متر متناسب با موتور پله ای استفاده شد برای راه اندازی دستگاه توسط اپراتور از یک درایور با تراشه ST7066 که دستورات را از میکرو کنترلر دریافت و سپس آنها را برای نمایش بر روی

اساس تعداد برگ، شاخه فرعی و اصلی آسیب دیده بعد از کاشت اندازه گیری شد (۱۶).

ظرفیت تئوری دستگاه بر اساس معادله ۱۴ محاسبه شد:

$$C_t = \frac{nvD}{10} \quad (14)$$

که در آن، C_t ؛ ظرفیت تئوری دستگاه (هکتار در ساعت)؛ n = تعداد ردیف کشت؛ v = سرعت پیشروی دستگاه (کیلومتر در ساعت) و D = فاصله بین دو ردیف کشت (متر) است (۱۶).

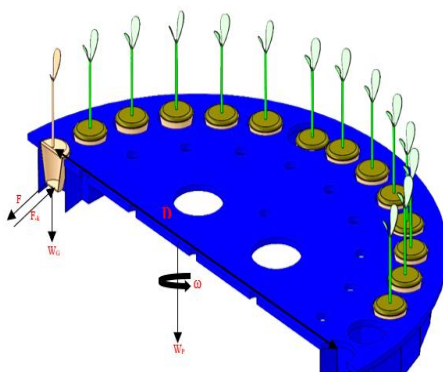
در این تحقیق برای تجزیه آماری و مقایسه داده‌های آزمایشی به ترتیب از آنالیز واریانس و آزمون توکی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد با استفاده از نرم افزار Minitab 21 انجام شد.

$$M_s = \frac{N_m}{N_T} \times 100 \quad (12)$$

$$M_u = \frac{N_p}{N_T} \times 100 \quad (13)$$

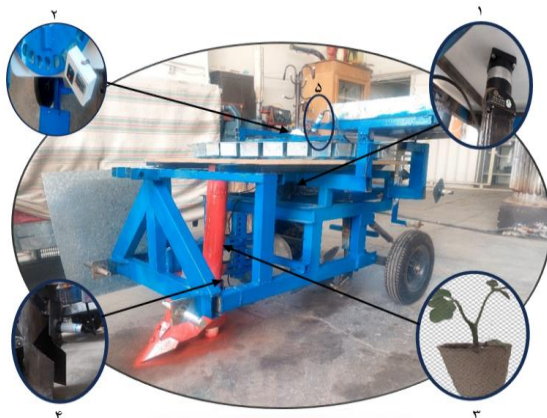
در معادله ۱۲ M_s درصد نکاشت دستگاه، N_m تعداد نشاء کاشته شده با فاصله بیشتر از ۱/۵ برابر فاصله تنظیم شده، N_T تعداد کل نشاء کاشته شده است. همچنین در معادله ۱۳ M_u درصد چند کاشت دستگاه، N_p تعداد نشاء کاشته شده با فاصله کمتر از فاصله تنظیم شده را بیان می کند.

در این پژوهش درصد کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول به ترتیب بر اساس نحوه استقرار گلدان نشاء در سطح زمین با زاویه کمتر از ۳۰ درجه نسبت به خط عمود و بیشتر از ۳۰ درجه نسبت به خط عمود تعریف شد (۱۰). سپس درصد آسیب فیزیکی وارد شده به نشاء به صورت قراردادی و بر



شکل (۸) نحوه قرارگیری گلدان نشاء در صفحه موزع و نیروهای وارد شده به آن (۲۴)

Figure (8) Position of the seedling pot on the distributor plate and the forces applied to it (24)



شکل (۹) محل قرارگیری تجهیزات الکترونیکی نصب شده بر روی دستگاه نشاءکار: ۱- موتور پله ای به همراه جعبه دنده خورشیدی، ۲- برد الکترونیکی، ۳- گلدان تجزیه پذیر، ۴ و ۵- حسگر مجاورتی مادون قرمز

Figure (9) Location of electronic equipment installed on the transplanter; 1- Stepper motor with solar gearbox, 2- Electronic board, 3- Biodegradable pot, 4 and 5- Infrared proximity sensor

نتایج و بحث

خصوصیات مکانیکی گلدان تجزیه پذیر

در این پژوهش بررسی خصوصیات مکانیکی دو نوع گلدان مخروطی ناقص و هرم مربعی شکل نشان داد شکل گلدان تاثیر زیادی بر روی نیرو وارد شده به سطح مقطع آن در شرایط برابر دارد. نتایج آزمایشات نشان داد گلدان مخروطی ناقص نیروی بیشتری در مقایسه با گلدان دیگر تحمل می کند به همین دلیل گلدان مخروط ناقص برای دستگاه نشاء کار ساخته شده مورد ارزیابی قرار گرفت (۹،۱۵).

تاثیر سرعت پیشروی و نوع نشاء بر یکنواختی توزیع نشاء ها

در این پژوهش به منظور بررسی تاثیر سرعت پیشروی و نوع نشاء بر یکنواختی توزیع نشاءها از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. نتایج این آزمایش مطابق با جدول ۱ نشان می دهد عامل سرعت پیشروی در سطح ۱ درصد بر روی توزیع یکنواخت نشاء ها اثر معنی دار داشته در حالی که عامل نوع نشاء بر روی آنها همچنین اثر متقابل آن‌ها تاثیر معنی داری ندارد. مطابق با شکل ۱۰ با توجه به معنی دار بودن اثر سرعت پیشروی بر توزیع یکنواخت نشاء ها، مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون توکی نشان داد یکنواختی توزیع نشاء ها نسبت به فاصله تنظیمی با افزایش سرعت پیشروی و ثابت بودن سرعت موتور پله‌ای افزایش می یابد در همین راستا یان و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی تاثیر سرعت پیشروی در سه سطح ۰/۵۴، ۰/۶۱ و ۰/۶۸ کیلومتر در ساعت بر روی کیفیت فاصله کاشت را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد بهترین عملکرد دستگاه در سرعت ۰/۶۱ کیلومتر در ساعت با درصد یکنواختی فاصله کاشت ۹۱/۸۷ درصد بدست آمد همچنین در تحقیق دیگر محمدزمانی (۲۰۱۴) در بررسی تاثیر سرعت پیشروی در سه سطح ۱، ۱/۵ و ۲

کیلومتر در ساعت و دو سطح عمق ۵ و ۱۰ سانتی متر بر روی فاصله کاشت نشان داد که سرعت پیشروی بر پارامتر اندازه گیری شده در سطح ۵ درصد معنی دار است. بهترین عملکرد دستگاه در سرعت پیشروی ۱ کیلومتر در ساعت و عمق ۵ سانتی متر بدست آمد. بررسی این تحقیقات نشان داد سرعت پیشروی بر درصد یکنواختی توزیع نشاء نسبت به فاصله تنظیمی اثر گذار است (۲۱، ۲۵، ۲۷، ۱۶).

تاثیر سرعت پیشروی و نوع نشاء بر درصد تغییرات عمق کاشت

در این مطالعه مطابق با جدول ۲ تاثیر سرعت و نوع نشاء بر درصد تغییرات عمق کاشت نشان داد، سرعت پیشروی دستگاه بر روی عمق کاشت نشاء در سطح ۱ درصد تاثیر معنی دار دارد در حالی که نوع نشاء بر عمق کاشت در سطح ۵ درصد همچنین اثر متقابل آن‌ها تاثیر معنی داری ندارد. با توجه به شکل ۱۱ مقایسه میانگین درصد تغییرات عمق کاشت در سه سطح سرعت پیشروی نشان داد دلیل اصلی این اختلاف معنی دار بودن تغییرات عمق کاشت در سرعت پیشروی به خاطر اندازه و ابعاد کلوخه‌های موجود در سطح زمین است که در زمان کاشت کاملاً مشخص گردید که با توجه آماده سازی زمین با روتواتور باز هم این سطح اختلاف معنی دار مشاهده شد. هی و همکاران (۲۰۲۳) تاثیر دو روش پشته سنتی و پشته دو ردیفه با پلاستیک در سرعت پیشروی ۰/۸ تا ۱/۲ کیلومتر در ساعت بر عمق کاشت دو نوع نشاء را بررسی نمودند. نتایج این گزارش نشان داد عمق کار دستگاه در هر دو روش کاشت به طور قابل به روش خاکورزی و سرعت پیشروی وابسته است. نتایج این تحقیق با نتایج بدست آمده در خصوص تاثیر سرعت پیشروی بر درصد تغییرات عمق کاشت مطابقت دارد (۵).

جدول (۱) تجزیه واریانس اثر سرعت و نوع نشاء بر یکنواختی توزیع نشاءها نسبت به فاصله تنظیمی
 Table (1) Analysis of variance of the effect of seedling speed and type on the uniformity of seedling distribution relative to the regulation distance

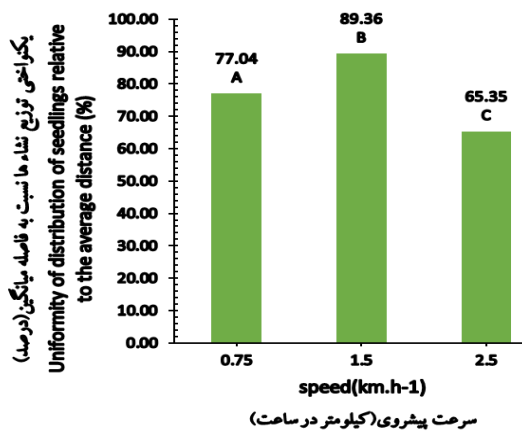
| p-value | میانگین مربعات Mean squares | مجموع مربعات Sum of squares | درجه آزادی df | منبع تغییرات S.V. |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------|
| 0.0** | 12549.8 | 25099.6 | 2 | سرعت پیشروی Forward speed |
| 0.796 ^{NS} | 29.4 | 29.4 | 1 | نوع نشاء Seedling type |
| | 1.9 | 106.8 | 56 | خطا Error |
| | | 25235.9 | 59 | کل Total |
| | | | 0.45 | ضریب تغییرات C.V. |

***،** و NS به ترتیب معنی دار بودن در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی دار

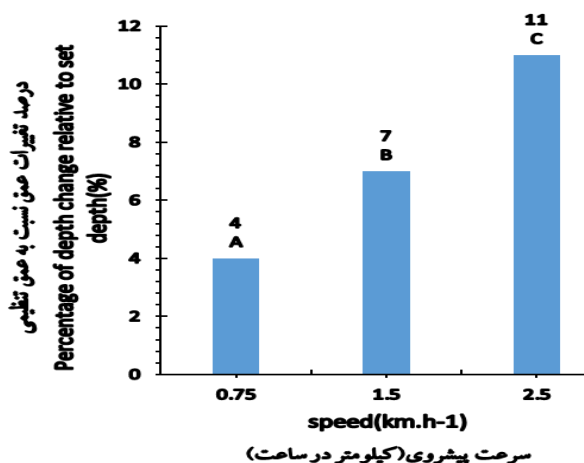
جدول (۲) تجزیه واریانس اثر سرعت و نوع نشاء بر درصد تغییرات عمق کاشت
 Table (2) Analysis of variance of the effect of speed and type of planting on the percentage of changes in planting depth

| p-value | میانگین مربعات Mean squares | مجموع مربعات Sum of squares | درجه آزادی df | منبع تغییرات S.V. |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------|
| 0.0** | 192.217 | 384.4 | 2 | سرعت پیشروی Forward speed |
| 0.506 ^{NS} | 3.750 | 3.750 | 1 | نوع نشاء Seedling type |
| | 1.788 | 100.1 | 56 | خطا Error |
| | | 488.283 | 59 | کل Total |
| | | | 0.23 | ضریب تغییرات C.V. |

***،** و NS به ترتیب معنی دار بودن در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی دار



شکل (۱۰) مقایسه میانگین درصد یکنواختی توزیع نشاءها در سرعت پیشروی متفاوت
 Figure (10) Comparison of the average percentage of uniformity of seedling distribution at different advancement speeds



شکل (۱۱) مقایسه میانگین درصد تغییرات عمق کاشت نسبت به عمق تنظیمی در سرعت پیشروی متفاوت

Figure (11) Comparison of the average percentage of planting depth changes compared to the set depth at different forward speeds.

پارامتر تاثیرگذار بوده به طوری که با افزایش تعداد برگ تاثیر منفی روی انحراف بوته در سطح مزرعه بر حسب درصد داشته و کاهش آن تاثیر مثبت دارد و باعث کاهش انحراف بوته در سطح زمین می شود. این نتایج با تحقیقات زمانی و همکاران در خصوص تاثیر سرعت پیشروی بر انحراف بوته از روی ردیف کاشت نشاء مطابقت دارد (۱۶).

تاثیر سرعت پیشروی و نوع نشاء بر درصد کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول

برای بررسی تاثیر عامل سرعت پیشروی و نوع نشاء بر کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول با توجه به میانگین مربعات در جدول ۴ نشان داد نوع نشاء بر روی پارامتر کاشت قابل قبول تاثیر معنی داری ندارد در حالی که سرعت پیشروی در سطح ۵ درصد بر روی کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول تاثیر معنی دار دارد سرعت پیشروی دستگاه در زمان کاشت و سرعت نسبی بوته در سطح ۰/۷۵ و ۱/۵ کیلومتر در ساعت به دلیل تطابق با هم و خنثی کردن اثر نیروی جانبی در زمان کاشت باعث افزایش درصد کاشت قابل قبول، همین طور کاهش درصد کاشت غیر قابل قبول می شود در حالی که مطابق با شکل ۱۳ مقایسه میانگین اثر سرعت بر کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول نشان داد با افزایش سرعت از ۱/۵ کیلومتر در ساعت در صد خطای دستگاه افزایش می یابد در همین زمینه چیلور و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر پنج سطح سرعت ۱/۶،

تاثیر سرعت پیشروی و نوع نشاء بر انحراف بوته از روی ردیف

مطابق با جدول ۳ تاثیر دو عامل سرعت پیشروی و نوع نشاء بر انحراف بوته از روی ردیف نشاء در سطح زمین به ترتیب در سطح ۵ درصد معنی دار است در حالی که اثر متقابل بر روی انحراف بوته از روی ردیف معنی دار نشد. با توجه اینکه نحوه استقرار گلدان در سطح زمین به سرعت نسبی گلدان در زمان کاشت وابسته می باشد به همین دلیل برای انتخاب بهترین سرعت نسبی گلدان در زمان سقوط سرعت پیشروی دستگاه در سه سطح ارزیابی شد تا گلدان نشاء که در مسیر لوله سقوط متاثر از نیروی وزن به سمت پایین سقوط می کند بتواند زمان کافی را بدست آورد به همین دلیل در زمان نشاء کاری با افزایش سرعت پیشروی، کاشت بوته دچار انحراف شد از طرفی هر چه تعداد برگ نشاء درون گلدان افزایش پیدا کند باعث افزایش اصطکاک و انحراف آن از مسیر اصلی کاشت در سطح زمین شد. در شکل ۱۲ با توجه به معنی دار بودن تاثیرات این عوامل مقایسه میانگین آن مورد ارزیابی قرار گرفت افزایش سرعت در دو سطح ۰/۷۵ و ۱/۵ کیلومتر در ساعت به یک اندازه بر روی انحراف بوته اثر می گذارد در حالی که سرعت پیشروی ۲/۵ کیلومتر در ساعت به دلیل عدم تطابق سرعت نسبی بین بوته با سرعت پیشروی است. همچنین فاکتور نوع نشاء بر این

شیار بازکن و پوشاننده بر روی درصد کاشت قابل قبول و غیر قابل انجام دادند نتایج این گزارش نشان داد شیار بازکن قایقی و پوشاننده نوع دیسکی تاثیر زیادی بر روی نیروی گیرایی خاک در گرفتن نشاء در زمان کاشت در جهت جلوگیری از انحراف بوته دارد. نتایج این تحقیقها با نتایج بدست آمده در زمینه تاثیر منفی افزایش سرعت پیشروی بر درصد کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول مطابقت دارد در این زمینه می‌بایست روش‌های و سیستم‌های دیگر برای افزایش سرعت پیشروی دستگاه در زمان کاشت مورد بررسی قرار گیرد (۶،۱۴،۱۰،۲،۴).

۱/۸، ۲، ۲/۲ و ۲/۴ کیلومتر در ساعت را بر فاصله کاشت، درصد پوشش خاک بر روی گلدان نشاء، درصد کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول و همچنین بازده انتقال، تغذیه نشاء کار را بررسی نمود نتایج آن نشان داد با افزایش سرعت دستگاه تا ۲ کیلومتر در ساعت عملکرد کلی دستگاه افزایش می‌یابد ولی با افزایش سرعت به ۲/۴ کیلومتر در ساعت عملکرد کلی دستگاه، بازده انتقال، تغذیه، کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول، فاصله کاشت و درصد پوشش خاک بر روی گلدان نشاء به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد. در تحقیق دیگر کارایل و همکاران (۲۰۲۳) بر روی تاثیر نوع

جدول (۳) تجزیه واریانس اثر سرعت و نوع نشاء بر درصد انحراف بوته از روی ردیف

Table (3) Analysis of variance of the effect of planting speed and seedling type on the percentage of plant deviation from the row

| p-value | میانگین مربعات Mean squares | مجموع مربعات Sum of squares | درجه آزادی df | منبع تغییرات S.V. |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------|
| 0.0** | 700.617 | 1401.2 | 2 | سرعت پیشروی Forward speed |
| 0.047* | 112.1 | 112.1 | 1 | نوع نشاء Seedling type |
| | 3.036 | 170.03 | 56 | خطا Error |
| | | 1683.33 | 59 | کل Total |
| | | | 0.72 | ضریب تغییرات C.V. |

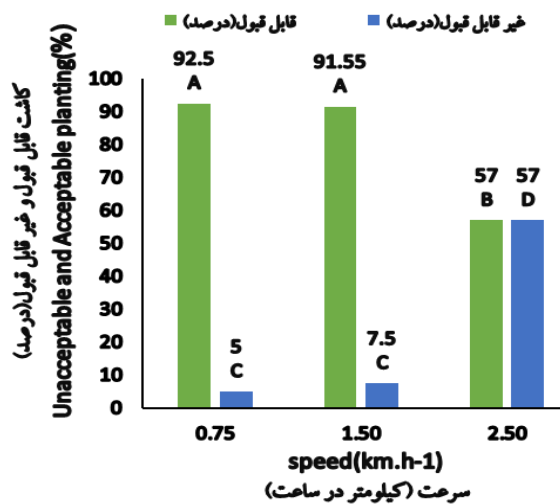
***، ** و ns به ترتیب معنی دار بودن در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی دار

جدول (۴) تجزیه واریانس اثر سرعت و نوع نشاء بر درصد کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول

Table (4) Analysis of variance of the effect of speed and seedling type on the percentage of acceptable and unacceptable planting

| میانگین مربعات (Mean squares) | | درجه آزادی df | منبع تغییرات S.V. |
|--|--|------------------|------------------------------|
| کاشت غیر قابل قبول (درصد) Unacceptable planting (%) | کاشت قابل قبول (درصد) Acceptable planting (%) | | |
| 9035* | 8182.9* | 2 | سرعت پیشروی Forward speed |
| 135 ^{ns} | 7.3 ^{ns} | 1 | نوع نشاء Seedling type |
| 188.57 | 308.58 | 56 | خطا Error |
| 0.11 | 0.29 | | ضریب تغییرات C.V. |

***، ** و ns به ترتیب معنی دار بودن در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی دار



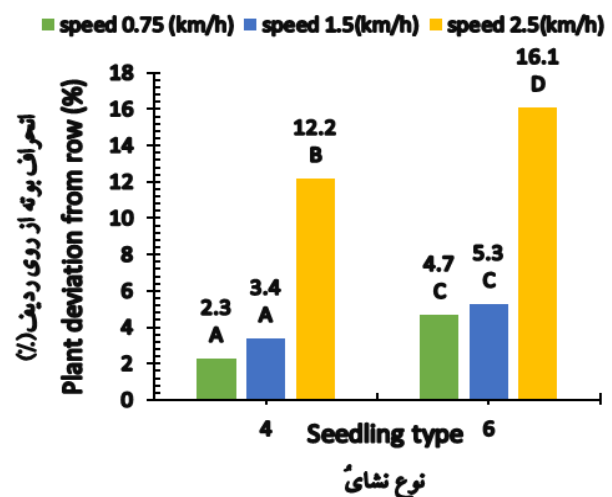
شکل (۱۳) مقایسه میانگین درصد کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول در سه سطح سرعت

Table (13) Comparison of average of acceptable and unacceptable planting percentage on three levels of speed

دار دارد این تفاوت به دلیل بالابودن سرعت پیشروی تراکتور و پایین آمدن دقت برای انتقال نشاء از صفحه موزع به لوله سقوط در هنگام کاشت رخ می دهد. در همین راستا کوموات و همکاران (۲۰۲۰) تاثیر سرعت پیشروی در سه سطح ۲/۵، ۳ و ۳/۵ کیلومتر در ساعت را بر شاخص چند کاشت و نکاشت مورد بررسی قرار دادند نتایج نشان داد با افزایش سرعت پیشروی شاخص نکاشت و چند کاشت افزایش یافت و در تحقیقی دیگر جاویدان و همکاران (۲۰۱۹) تاثیر افزایش سرعت بر این شاخص ها را بیان کرد. نتایج این گزارش با یافته ها مطابقت دارد (۶،۲،۳۴).

تاثیر سرعت پیشروی و نوع نشاء بر درصد مرگ و میر و آسیب فیزیکی

آسیب فیزیکی در زمان کاشت بیشتر در نحوه انتقال به زمین رخ می دهد در این زمینه تحقیقاتی زیادی بر روی انتقال نشاء به زمین با استفاده از سیستم های خودکار انجام شده است نتایج این تحقیقات نشان داده که آسیب فیزیکی در این روش ها معمولاً در محدوده ۳ تا ۱۰ درصد رخ می دهد (۲۲). به همین دلیل در این پژوهش برای کاهش آسیب فیزیکی اولیه توسط دستگاه نشاء کار



شکل (۱۲) مقایسه میانگین انحراف بوته از روی ردیف در سرعت و نوع نشاء متفاوت

Figure (12) Comparison of average plant deviation from the row at different planting speeds and types

تاثیر سرعت پیشروی و نوع نشاء بر درصد چند کاشت و نکاشت

در جدول ۵ بررسی میانگین مربعات درصد چند کاشت و نکاشت دستگاه در سه سطح سرعت و در دو نوع نشاء نشان داد که تعداد برگ بر درصد چند کاشت و نکاشت دستگاه تاثیر گذار نبود. بلکه فقط عامل سرعت پیشروی و سرعت دستگاه تغذیه نشاء بر فاکتور درصد چند کاشت و نکاشت نشاء توسط دستگاه در سطح زمین تاثیر گذار بود. برای کاهش این شاخص ها سرعت دورانی صفحه موزع متناسب با سرعت پیشروی مورد ارزیابی قرار گرفت تا تاثیر آن بر روی درصد چند کاشت و نکاشت دستگاه مشخص گردد در این زمینه چیلور و همکاران (۲۰۱۸) در یک آزمایش تاثیر این عوامل بر روی این شاخص ها را بررسی کرد نتایج آن نشان داد با افزایش سرعت دورانی، کاهش سرعت پیشروی، افزایش بازده انتقال و تغذیه نشاء درصد چند کاشت و نکاشت به طور قابل توجهی کاهش می یابد. مطابق با شکل ۱۴ مقایسه میانگین درصد نکاشت و چند کاشت در سه سطح سرعت پیشروی نشان داد فقط سرعت پیشروی ۲/۵ کیلومتر در ساعت با دیگر سطح های سرعت پیشروی اختلاف معنی

بستگی دارد (۲۲). به همین دلیل در این تحقیق برای بررسی سن نشاء از دو نوع نشاء چهار و شش برگی در سه سطح پیشروی انجام شد. مطابق با جدول ۶ بررسی میانگین مربعات درصد مرگ و میر نشاء در سه سطح سرعت و در دو نوع نشاء نشان داد عامل سرعت پیشروی بر روی درصد مرگ و میر نشاء تاثیر گذار نبود بلکه عامل نوع نشاء بر روی این فاکتور در سطح ۵ درصد معنی دار می باشد به طوری که تعداد کمتری از نشاء با سن بیشتر بعد از کاشت در سطح زمین از بین می رود. در شکل ۱۶ مقایسه میانگین ها اختلاف معنی دار این دو سطح را نشان می دهد. در تحقیقی مشابه دیهی نگا و همکاران (۲۰۱۸) از یک دستگاه نشاء کار برای کاشت برای سه نوع محصول در دو فاصله تنظیمی ۴۵ و ۶۰ سانتی متر استفاده نمود نتایج این تحقیق نشان داد گیاهان کوتاه تر با تعداد برگ کمتر در زمان نشاء کاری تمایل به کج شدن به سمت جلو دارد در حالی که گیاهان بلندتر و با برگ بیشتر بعد از کاشت با زاویه استقرار مناسبی در مقایسه با گیاهان کوتاه تر و برگ کمتر در زمان نشاء کاری و بعد از آن درصد مرگ و میر کمتری داشت. به طوری که بیشترین مرگ و میر در روش تغذیه دستی دستگاه با گیاهان کوچک ۵/۴۲ درصد بدست آمد نتایج این پژوهش با نتایج بدست آمده در خصوص تاثیر تعداد برگ نشاء و سن آن بر روی زنده ماندن نشاء بعد از کاشت مطابقت دارد (۳).

از یک صفحه موزع با حمل گلدان نشاء استفاده شد. در جدول ۶ بررسی میانگین مربعات درصد آسیب فیزیکی در سه سطح سرعت و در دو نوع نشاء نشان داد تاثیر عامل نوع نشاء بر آسیب فیزیکی معنی دار نیست به طوری که درصد آسیب فیزیکی تنها در سه سطح سرعت پیشروی معنی دار است چرا که روش کاشت نشاء به روش گرانشی و نقلی بوده و در این انتقال هیچ ابزار هیدرولیکی و نیوماتیکی در انتقال نشاء حین نشاء کاری دخالت ندارد تا به برگ های آن آسیب وارد نماید بلکه این آسیب فقط از طریق تاثیر سرعت پیشروی بر آن وارد می شود. در شکل ۱۵ مقایسه میانگین سرعت پیشروی بر درصد آسیب فیزیکی بر اساس آزمون توکی در سطح ۵ درصد نشان می دهد با افزایش سرعت پیشروی به بالاتر از ۱/۵ کیلومتر در ساعت علاوه بر انحراف بوته از روی ردیف، باعث آسیب فیزیکی به نشاء و همچنین شکستگی ساقه و برگ آن می شود. در این روش سرعت ۱/۵ کیلومتر در ساعت برای کاشت نشاء به دلیل تطابق سرعت نسبی نشاء در زمان سقوط و سرعت پیشروی در زمان کار به عنوان مناسب ترین انتخاب شد. این نتایج با تحقیقات جاویدان و همکاران (۲۰۱۹)، کارایال و همکاران (۲۰۲۳) در خصوص تاثیر سرعت پیشروی بر درصد آسیب فیزیکی اندازه گیری شده مطابقت دارد (۱۰،۶).

مرگ و میر نشاء ها بیشتر بعد از کاشت به دلیل عدم قرارگیری مناسب در خاک، پوشش ناقص ریشه و سن نشاء

جدول (۵) تجزیه واریانس اثر سرعت و نوع نشاء بر درصد نکاشت و چند کاشت

Table (5) Analysis of variance of the effect of speed and seeding type on the percentage of non-planting and multiple planting

| (Mean squares) مربعات میانگین | | | منبع تغییرات |
|-------------------------------|---------------------|------------|------------------------------|
| نکاشت (درصد) | چند کاشت (درصد) | درجه آزادی | S.V. |
| Non-planting (%) | Multi planting (%) | df | |
| 1923.75* | 33.75* | 2 | سرعت پیشروی Forward speed |
| 29.40 ^{ns} | 26.67 ^{ns} | 1 | نوع نشاء Seedling type |
| 8.29 | 7.06 | 56 | خطا Error |
| 0.92 | 0.48 | | ضریب تغییرات C.V. |

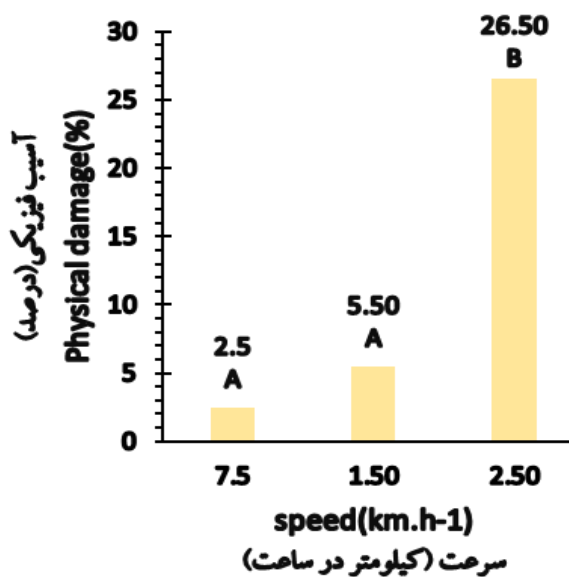
ns, **, * به ترتیب معنی دار بودن در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی دار

کاکائی و همکاران: طراحی، ساخت و ارزیابی نشا کار...

جدول (۶) تجزیه واریانس اثر سرعت و نوع نشای بر درصد مرگ و میر و آسیب فیزیکی
 Table (6) Analysis of variance of the effect of speed and seeding type on the percentage of mortality and physical damage

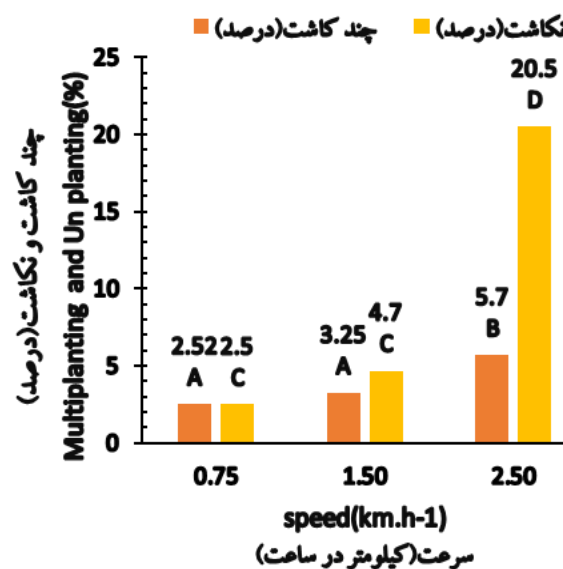
| میانگین مربعات (Mean squares) | | | منبع تغییرات |
|---|-----------------------------------|------------------|------------------------------|
| آسیب فیزیکی (درصد) Physical damage (%) | مرگ و میر (درصد) Mortality (%) | درجه آزادی df | S.V. |
| 2445** | 1007 ^{ns} | 2 | سرعت پیشروی Forward speed |
| 135 ^{ns} | 5607** | 1 | نوع نشای Seedling type |
| 17.23 | 988.44 | 56 | خطا Error |
| 0.71 | 0.25 | | ضریب تغییرات C.V. |

ns, **, * به ترتیب معنی دار بودن در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی دار



شکل (۱۵) مقایسه میانگین درصد آسیب فیزیکی در سه سطح سرعت

Figure (16) Comparison of average percentage of physical damage at three speed levels



شکل (۱۴) مقایسه میانگین درصد چند کاشت و تکاشت در سه سطح سرعت

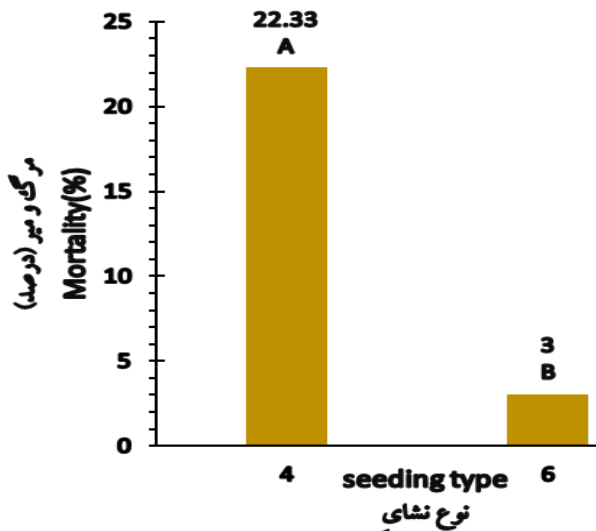
Figure (15) Comparison of the average of the percentage of multi-planting and no-planting for three levels of speed

مسیر حرکت، کاشت قابل قبول و غیر قابل قبول، نکاشت و آسیب فیزیکی در سطح ۱ درصد معنی دار بود. از طرفی عامل نوع نشاء فقط بر روی پارامترهای مرگ و میر نشاء بعد از کاشت و انحراف بوته از روی ردیف در سطح ۵ معنی دار بود. بر اساس مقایسه میانگین عامل نوع نشاء تاثیر بیشتری بر روی زنده مانده نشاء بعد از کاشت دارد. به همین دلیل انتخاب ارتفاع و نوع نشاء برای زنده ماندن آن بعد از کاشت بسیار حائز اهمیت می باشد.

مناسب ترین عملکرد دستگاه در سرعت پیشروی ۱/۵ کیلومتر در ساعت با ظرفیت ثنوری ۰/۱۱ هکتار در ساعت بدست آمد درحالی که با افزایش سرعت پیشروی به ۲/۵ کیلومتر در ساعت دستگاه به دلیل نوسانات در عمق کاشت نشاء و هم پوشانی نامناسب آن عملکرد مناسبی در زمان کاشت نداشت.

سپاس گزاری

بدین وسیله از کارشناسان بخش مکانیک بیو سیستم دانشکده جناب آقای شکری و مرادی که ما را در انجام آزمایش های این تحقیق یاری کردند صمیمانه تشکر می کنم.



شکل (۱۶) مقایسه میانگین درصد مرگ و میر در نوع نشاء (چهار و شش برگی)

Figure (17) Comparison of average mortality percentage in seedling type (four and six leaves)

نتیجه گیری

در این پژوهش با توجه به بررسی خصوصیات مکانیک گلدان مخروط ناقص، این نمونه به دلیل سازگاری بیشتر برای دستگاه نشاء کار استفاده شد. سپس ارزیابی دستگاه نشاء کار بر روی دو عامل سرعت پیشروی و نوع نشاء به ترتیب در سه و دو سطح برای پارامترهای اندازه گیری شده نشان داد عامل سرعت پیشروی بر روی پارامترهای فاصله، عمق کاشت، انحراف بوته از خط

Reference

1. Agricultural, Statistics. 2022. Volume 2. Statistics and Information Technology Office. Ministry of Agricultural Jihad, Pages: 47-48(In Persian).
2. Chilur, R., Nandede, B.M., Tiwari, P.S., and Mehta, C.R. 2018. Auger conveyor type metering device for transplanting of vegetable seedlings raised in paper pots. *Agricultural Engineering Today*, 42(4): 28-36. <http://10.4038/tar.v29i4.8253>
3. Dihingia, P.C., Kumar, G.P., Sarma, P.K., and Neog, P. 2018. Hand-fed vegetable transplanter for use with a walk-behind-type hand tractor. *International Journal of Vegetable Science*, 24(3): 254-273. <https://doi.org/10.1080/19315260.2017.1413477>
4. Ghasemkhani, H., Dowlati, M., and Ahmadyoosefi, S. 2023. Evaluation of a new self-propelled transplanter case study for onion seedling. 15th Congress on mechanics of biosystems engineering and agriculture a mechanization, (In Persian with English Abstract).
5. He, T., Li, H., Shi, S., Liu, X., Liu, H., Shi, Y., and Zhou, J. 2023. Preliminary results detailing the effect of the cultivation system of mulched ridge with double row on solanaceous vegetables obtained by using the 2ZBX-2A vegetable transplanter. *Applied Sciences*, 13(2): 1092. <https://doi.org/10.3390/app13021092>
6. Javidan, S.M., and Mohammadzamani, D. 2019. Design, construction and evaluation of semi-automatic vegetable transplanter with conical distributor cup. *SN Applied Sciences Journal Specifications*, 1(9): 999. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1034-y>
7. Jin, X., Tang, L., Li, R., Zhao, B., Ji, J., and Ma, Y. 2022. Edge recognition and reduced transplantation loss of leafy vegetable seedlings with intel realssense D415 depth camera. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107030. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107030>
8. Johns, J. 2019. *Growing tomatoes*. Book Publishing Company.
9. Kakaei, M., and Alizadeh, H.H.A. 2024. Investigating the physical and mechanical properties of the renewable pot and simulating its behavior with ansys software. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 13(4):33(In Persian with English Abstract). <http://10.22034/jmam.2024.14766.709>
10. Karayel, D., Canakci, M., Topakci, M., Aktaş, A., Aytem, H., and Kriauciuniene, Z. 2023. Technical evaluation of transplanters performance for potted seedlings. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 47(1): 116-123. <http://10.55730/1300-011X.3068>
11. Kaushik, P., Manohar, V.N., Niranjan, B., and Purushotham, S. 2020. Design and fabrication of manually operated paper pot plant transplanting machine. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(7): 5834-5840.
12. Kumar, G.P., and Raheman, H. 2011. Development of a walk-behind type hand tractor powered vegetable transplanter for paper pot seedlings. *Biosystems Engineering*, 110(2): p.189-197. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.08>
- a. 001.
13. Kumar, P., and Raheman, H. 2012. Automatic feeding mechanism of a vegetable transplanter. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 5(2): p. 20-27. <http://10.3965/j.ijabe.20120502.003>

14. Kumawat, L., Raheman, H., and Singh, V. 2020. Design and development of a tractor drawn automatic onion transplanter. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9: p. 2020. <http://10.20546/ijcmas.2020.902.xx>
15. Magar, A.P., Nalawade, S.M., Walunj, A.A., Khadatkar, A., Bhangare, S.C., Bhalekar, M.N., and Gaikwad, B.B. 2023. Engineering properties of some plug-type vegetable seedlings for development of automatic vegetable transplanter. *Journal of Agricultural Engineering*, 60(1): 1-13. <https://doi.org/10.52151/jae2023601.1792>
16. MohammadZamani, D., Ghezavati, J., and Nazari, M. 2016. Design, construction, and evaluation of fully-automatic tomato transplanter. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 16(65):79-92 (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/erams.2016.105955>
17. Nandede, B.M., Raheman, H., and Deore, H.V. 2014. Selection of suitable furrow opener and furrow closer for vegetable transplanter. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 45(2): 40-47.
18. Nandede, B., and Raheman, H. 2015. Multi-stage metering mechanism for transplanting of vegetable seedlings in paper pots. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*. 96: p. 295-300. <https://doi.org/10.1007/s40030-015-0130-2>
19. Ray, A., and Moses, S. 2024. Design and development of automatic universal chain type vegetable transplanter. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 10(2): p. 311-319. <http://10.9734/ajssp/2024/v10i2288>
20. Sharma, A., Khar, S., Chaudhary, D., and Thakur, P. 2023. Study of biometric attributes of plug type tomato seedlings pertinent to transplanter design. *Indian Journal of Ecology*, 50(2): 503-507. <http://10.55362/IJE/2023/3926>
21. Sharma, A., and Khar, S. 2024b. Design and development of a vegetable plug seedling transplanting mechanism for a semi-automatic transplanter. *Scientia Horticulturae*, 326, 112773. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112773>
22. Shao, Y., Han, X., Xuan, G., Liu, Y., Gao, C., Wang, G., and Hu, Z. 2021. Development of a multi-adaptive feeding device for automated plug seedling transplanter. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(2):91-96. <http://10.25165/j.ijabe.20211402.6003>
23. Tsuga, K. 2000. Development of fully automatic vegetable transplanter. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 34(1): p. 21-28.
24. Vlahidis, V., Roşca, R., and Cârlescu, P.M. 2024. Evaluation of the functional parameters for a single-row seedling transplanter prototype. *Agriculture*, 14(3): 388. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030388>
25. Yan, W., Hu, M., Li, K., Wang, J., and Zhang, W. 2022. Design and experiment of horizontal transplanter for sweet potato seedlings. *Agriculture*, 12(5): 675. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050675>
26. Ye, B., Zeng, G., Deng, B., Yang, C., Liu, J., and Yu, G. 2020. Design and tests of a rotary plug seedling pick-up mechanism for vegetable automatic transplanter. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(3): 70-78. <http://10.25165/j.ijabe.20201303.5647>
27. Zamani, D.M. 2014. Development and evaluation of a vegetable transplanter. *International Journal of Technical Research and Applications*, 2(6): 40-46.