

طراحی، ساخت و ارزیابی نشاکار تمام خودکار گوجه‌فرنگی

داود محمدزمانی*، جلال‌الدین قضاوتی و مهرداد نظری**

* نگارنده مسئول: دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی، تاکستان، ایران.
تلفن: ۰۲۸)۳۳۶۵۹۲۶۳، پیام‌نگار: dr.dmzamani@gmail.com

** به ترتیب: عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان؛ مدرس گروه مکانیک آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۹

چکیده

در این تحقیق به منظور کشت ماشینی نشای گوجه‌فرنگی، یک نشاکار تمام خودکار طراحی، ساخته و ارزیابی شد. در این ماشین، یک سازوکار پله‌ای سینی نشا را به تدریج به سمت پایین و طرفین هدایت می‌کند تا بازوی بردارنده بتواند با بردارنده سوزنی شکل خود به داخل خاک سلول فرو رود و نشا را در اختیار بگیرد. آنگاه بازو با حرکت به سمت موقعیت لوله سقوط، نشا را همراه با خاک بستر رها می‌کند. سپس نشا به درون شیپار ایجادشده با شیپار بازکن هدایت می‌شود. به منظور ارزیابی عملکرد دستگاه، آزمون مزرعه‌ای دستگاه اجرا شد. درصد آسیب‌های مکانیکی به نشاها، زاویه استقرار نشاها از خط قائم و تغییر فاصله بین نشاها روی ردیف کشت نیز از صفات مورد بررسی بودند. آزمون‌ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از سه سطح سرعت پیشروی ۱، ۱/۵ و ۲ کیلومتر در ساعت و عمق کشت در دو سطح ۵ و ۱۰ سانتی‌متر. در اجرای آزمون‌ها در هر واحد آزمایشی از بلوک، دستگاه یک ردیف ۲۲ متری را نشاکاری می‌کرد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که اثر تغییر سرعت پیشروی دستگاه، عمق کشت و اثر متقابل آنها بر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار است. با توجه به نتایج آزمون‌ها، مناسب‌ترین سرعت پیشروی و عمق کشت برای نشاکار طراحی شده به ترتیب ۱ کیلومتر در ساعت و ۵ سانتی‌متر تعیین شد. ظرفیت تئوری دستگاه با یک ردیف کشت و در سرعت ۱ کیلومتر در ساعت، ۰/۶+ هکتار در ساعت تعیین شد.

واژه‌های کلیدی

سینی نشا، ماشین خودکار کشت نشا، نشای گوجه‌فرنگی

مقدمه

بیش از پیش نشان می‌دهد. هزینه‌های نیروی انسانی، دقت در نشاکاری و تفاوت در عمق کاشت نشاهای موجود و غیره از جمله عوامل دیگری است که کشت ماشینی نشای سبزی‌ها را ضروری می‌سازد. مکانیزه کردن کشت نشا به مفهوم کاهش نیاز به نیروی کارگری در عملیات کشت است که در این فرآیند کمینه آسیب به نشاها و بیشینه راندمان کشت نیز حاصل شود. این نیاز هنگامی

نشاکاری و کاشت انواع سبزی به صورت سنتی، عملیاتی طاقت‌فرسا و کم بازده است. به علاوه، نشاکاری با روش مرسوم در شرایط کاشت مضاعف که طی آن برداشت محصول قبلی از زمین، آماده کردن بستر و نشاکاری باید در بازه زمانی کوتاهی انجام گیرد کاری است دشوار. این عوامل، ضرورت مکانیزه کردن نشاکاری را

۹ درصد، 45 ± 1 سانتی‌متر، $7 \pm 1/5$ سانتی‌متر و ۳ تا ۴ درصد بود. ظرفیت مزرعه‌ای دستگاه ۰/۱۱۴ هکتار در ساعت با بازده مزرعه‌ای ۳۰/۰۶ درصد اندازه‌گیری شد. در این تحقیق، عملکرد کلی دستگاه مطلوب ارزیابی شد. پراسانا کومار و راهمان (Prasanna Kumar & Raheman, 2012) سازوکاری برای تغذیه‌ی نشا در یک نشاکار خودکار ارائه دادند. ارزیابی آزمایشگاهی این سامانه نشان داد که در این سازوکار می‌توان به تغذیه‌ی ۳۳ تا ۵۰ نشا در دقیقه دست یافت. در شرایط زراعی واقعی، سازوکار پیشنهادی دارای بازده ۹۸ تا ۹۹ درصد با سرعت پیشروی ۰/۹ کیلومتر در ساعت بود. کاظمین‌خواه (Kazmeinkhah, 2007) به منظور کشت نشای چغندرقد، یک نشاکار نیمه خودکار طراحی کرد که می‌توانست نشاها را با فاصله‌ی ردیف ۶۵ سانتی‌متر، فاصله‌ی نشا ۵۰/۳ سانتی‌متر و در عمق ۱۳ سانتی‌متر کشت کند. انحراف کشت نشا نسبت به موقعیت مطلوب ۴/۵ درصد در راستای ردیف کشت و ۳/۶ درصد در راستای عمود بر ردیف کشت بود. جاویدان و محمدزمانی (Javidan & Mohammadzamani, 2012) یک نشاکار نیمه خودکار گوجه‌فرنگی طراحی کردند که در آن از نشاگیرهای نوع مخروطی استفاده شده بود. کاشت با این دستگاه از نظر دقت، سرعت و هزینه، نسبت به روش کشت دستی، دارای اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵ درصد است و نسبت به روش دستی برتری دارد.

با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان به اهمیت توسعه‌ی روش‌هایی به منظور کاهش هزینه‌ی تولید گوجه‌فرنگی، به ویژه در بخش کاشت، پی برد. توسعه‌ی این روش‌ها علاوه بر کاهش هزینه‌ی تولید، به افزایش علاقه‌ی کشاورزان به کشت این محصول مهم خواهد انجامید. توسعه و کاربرد ماشین‌های کشت نشای گوجه‌فرنگی یکی از این راهکارهاست. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاکنون هیچ نمونه‌ای از به کارگیری روش تمام مکانیزه در کشت نشای گوجه‌فرنگی در ایران در منابع علمی در زمان اجرای این تحقیق گزارش نشده است. در این تحقیق به طراحی،

به وجود می‌آید که درآمد حاصل از به کارگیری نیروی کارگری کمتر از درآمد به دست آمده از جایگزین کردن ماشین باشد (Javidan & Mohammadzamani, 2012). امروزه برای کشت ماشینی نشای سبزی‌ها، تجهیزات زیادی طراحی و ساخته شده است، ولی در ایران با اینکه زمین‌های وسیعی زیر کشت نشای انواع سبزی به ویژه گوجه‌فرنگی می‌رود تاکنون در زمینه‌ی کاربرد ماشین گام‌های گسترده و منسجم برداشته نشده و از تجهیزات وارداتی هم به صورت محدود استفاده شده است. این نیاز با افزایش کشت محصولاتی که می‌توان آنها را نشاکاری کرد بیشتر احساس می‌شود و در پاسخ به آن باید تجهیزات و دستگاه‌هایی برای مکانیزه کردن این نوع کشت طراحی کرد و ساخت.

چو و همکاران (Chow, et al., 1980) یک نشاکار نیمه خودکار کاهو طراحی کردند. سرعت نشاکاری این دستگاه در مزرعه برابر ۲۰۰۰ نشا بر ساعت و خطای کشت بوته‌ها در فواصل ۳۰ سانتی‌متر برابر ۳ درصد بود. هافار (Haffar, 1995) در کشور امارات متحده عربی ماشینی نشاکار طراحی کرد که سازوکار انتقال نشا در آن از نوع تسمه نقاله‌ای بود و برای نشاکردن نشاهای گلدانی و همچنین نشای لخت تنظیم می‌شد. لیدند و همکاران (Ladeinde et al., 1995) در کشور نیجریه نشاکار تک ردیفه‌ای برای کاشت قلمه‌ی گیاه کاساوا (شبیه قلمه نیشکر) طراحی کردند. این دستگاه با سرعت میانگین ۴/۳۹ کیلومتر بر ساعت، ظرفیت مزرعه‌ای ۰/۳۹ هکتار در ساعت و راندمان مزرعه‌ای ۶۰ درصد کار می‌کرد. ناندد و همکاران (Nandede, et al., 2013) یک نشاکار چند مرحله‌ای و خودکار کشت سبزی را برای کشت نشاهای گلدانی گوجه‌فرنگی ارزیابی کردند. این نشاکار سه ردیفه می‌توانست نشاها را با فاصله‌های ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متر روی ردیف و سرعت پیشروی متوسط ۲ کیلومتر بر ساعت کشت کند. میزان ناکاشت ماندن نشا، میزان نشاهای زاویه‌دار، فاصله‌ی کشت روی ردیف، عمق کشت و میزان آسیب‌های وارد شده به نشاها به ترتیب ۴ تا ۵ درصد، ۸ تا

طراحی، ساخت و ارزیابی نشاکار تمام...

بررسی سازوکارهای موجود و نیز ارائه طرح جدید، چندین مدل از نمونه‌های خارجی (نمونه داخلی وجود ندارد) مطالعه و با توجه به شرایط بومی و نیز الگوی کشت گوجه‌فرنگی، بهترین طرح انتخاب شد. پس از مدل‌سازی اولیه دستگاه و سازوکارهای آن با نرم‌افزار SolidWorks، مراحل ساخت نمونه اولیه آغاز و دستگاه در شرایط مزرعه‌ای ارزیابی شد. شکل ۱ تصویری از نشاکار ساخته شده و اجزای آن را نمایش می‌دهد.

ساخت و ارزیابی یک ماشین نشاکار تمام خودکار گوجه‌فرنگی با تکیه بر فناوری بومی و متناسب با شرایط زراعی و اقتصادی جامعه کشاورزی ایران پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

قبل از آغاز طراحی مفهومی دستگاه، شرایط کشت نشای گوجه‌فرنگی در استان قزوین (منطقه مورد مطالعه) بررسی شد. پس از آن، به منظور



شکل ۱- نشاکار ساخته شده و اجزای آن

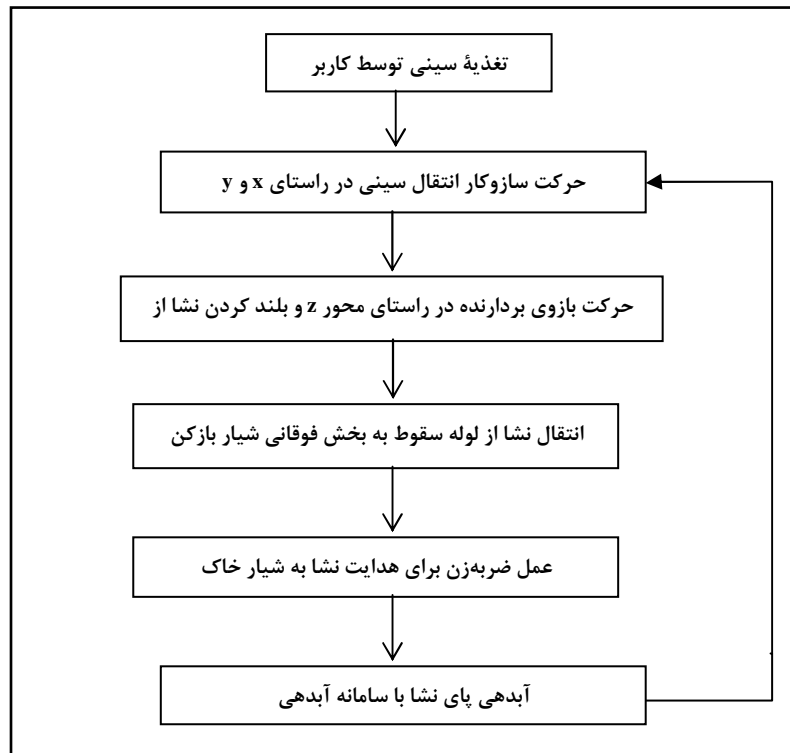
(۱) سازوکار جفجغه، ۲- شیار بازکن، ۳- مخزن باد و کمپرسور، ۴- جعبه کنترل و PLC، ۵- بازوی بردارنده و سینی نشا، ۶- سازوکار جابه جایی سینی در راستای محور x)

به درون شیار خاک. در ادامه، به تشریح عملکرد این سازوکارها پرداخته می‌شود.

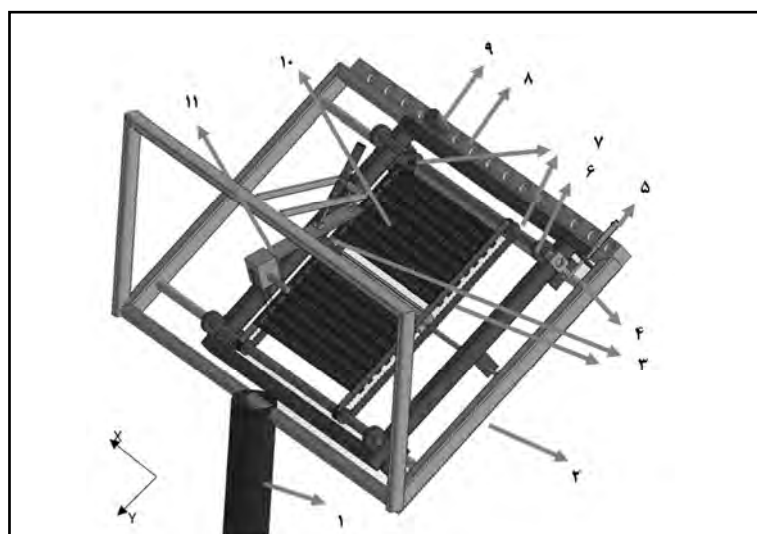
شکل ۳ مدل هندسی سازوکار و اجزای سامانه جابه‌جایی سینی نشا را در صفحه XY و بازوی بردارنده نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است، این سازوکار از یک جفت تسمه دندانه‌دار و دو جفت پولی دندانه‌دار تشکیل شده است. با حرکت تسمه‌ها به سمت

به منظور انتخاب مناسب‌ترین سازوکار برای طراحی اجزای نشاکار موردنظر، ابتدا بلوک دیاگرام مورد نیاز برای اجرای مراحل کاشت نشا از سینی نشا رسم شد (شکل ۲). مدل ارائه شده در این مطالعه از سه سازوکار اصلی و مستقل از یکدیگر تشکیل شده است که عبارت‌اند از: سازوکار جابه‌جایی سینی در صفحه XY، بازوی بردارنده نشا از سینی و بیرون‌انداز نشا از صفحه فوقانی شیاربازکن

پایین (در راستای محور y)، سینی نشا نیز که از ناحیه لبه روی تسمه‌ها سوار شده است به سمت پایین حرکت می‌کند. حرکت تسمه‌ها به صورت پله‌ای در نظر گرفته شده است تا بدین طریق در هر پله از حرکت تسمه به سمت پایین، یک ردیف جدید از سلول‌های سینی در مقابل بازوی بردارنده قرار گیرد. به منظور تأمین حرکت پله‌ای تسمه، از یک سازوکار جغجغه‌ای مرتبط با یک جک بادی (نیوماتیکی) استفاده شد (شکل ۳).



شکل ۲- بلوک دیاگرام مراحل مورد نیاز برای کشت خودکار نشا با دستگاه



شکل ۳- مدل هندسی سازوکار جابه جایی سینی در راستای دو محور x و y و بازوی بردارنده

(۱- لوله سقوط ۲- شاسی با زاویه 60° درجه نسبت به افق ۳- تسمه‌های دندانه‌دار ۴- ابزار جغجغه ۵- جک ۶- یاتاقان ۷- پولی‌های دندانه‌دار ۸- محدودکننده ۹- گوی ۱۰- سینی نشا ۱۱- بازوی بردارنده)

بستر از جنس پیت‌موس است که رطوبت آن در هنگام کشت به ۱۸ درصد می‌رسد. پس از آنکه سوزن‌ها خاک و نشا را در بر گرفتند، بازوی بردارنده به صورت دورانی به سوی موقعیت لوله سقوط حرکت می‌کند، آنگاه سوزن‌ها به واسطه جک بادی از یکدیگر فاصله می‌گیرند و بدین ترتیب نشا به همراه خاک ریشه در اثر نیروی وزن خود به درون لوله سقوط پایین می‌افتد.

سازوکار بیرون انداز نشا در شیار بازکن

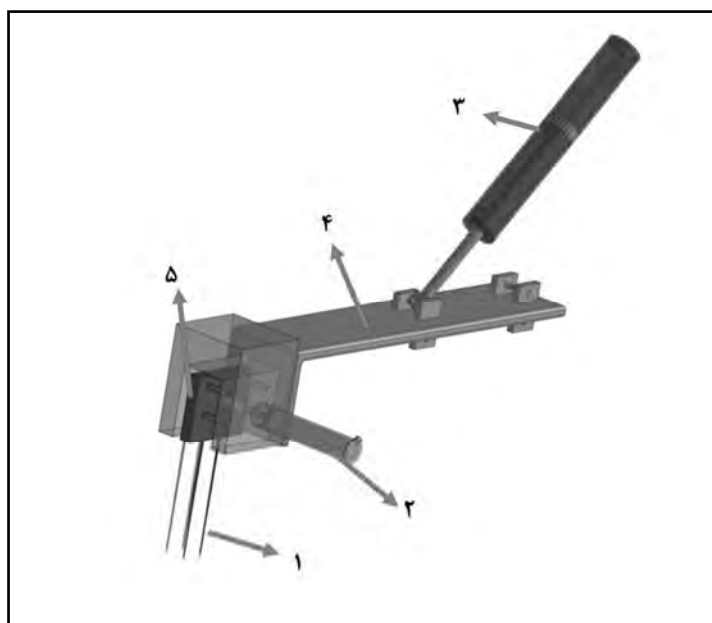
پس از عبور نشا از لوله سقوط، اولین محل سقوط بخشی از صفحه فوقانی شیاربازکن خواهد بود. دلیل سقوط نکردن نشا به طور مستقیم درون شیار ایجاد شده با شیاربازکن این است که احتمال جابه جایی و کج شدن نشا از حالت عمودی کم شود و یه سخنی دیگر چنانچه نشا به طور مستقیم به درون شیار خاک سقوط کند، امکان جابه‌جایی و کج شدن از حالت قائم نیز وجود خواهد داشت. از یک سازوکار بیرون‌انداز برای انتقال نشا به درون شیار خاک استفاده شد. از یک میله ضربه‌زن در اتصال با یک جک بادی برای ایجاد حرکت ضربه‌ای متناسب با سرعت بازوی بردارنده استفاده شده است. این ضربه‌زن به مانند چوب گلف عمل می‌کند و با اعمال ضربه‌ای ملایم به خاک بستر نشا، آن را به درون شیار انتقال می‌دهد. شکل ۵ طرح‌واره سازوکار ضربه‌زن را نمایش می‌دهد. از یک جفت پوشاننده کفشی و یک جفت چرخ فشار دهنده نیز در انتهای شیاربازکن به منظور خاکدهی اطراف بوته و فشردن خاک آن بهره گرفته شد.

سازوکار جابه‌جایی سینی نشا در صفحه xy

پس از اینکه بازوی بردارنده اولین نشای موجود در یک سلول را برداشت، نوبت به دومین نشا می‌رسد. بلند کردن نشا از دومین سلول نشا روی ردیف اول، مستلزم قرارگیری سلول دوم در مقابل بازوی بردارنده است. برای این منظور، لازم است سینی نشا در راستای جانبی (یعنی در محور x) جابه‌جایی داشته باشد. برای رسیدن به این هدف از یک جک بادی با طول کورس بالا (۵۰ سانتی‌متر) استفاده شد. در سامانه‌های بادی (نیوماتیکی) نمی‌توان میزان جابه‌جایی دسته جک را به دقت کنترل کرد (به دلیل تراکم پذیری باد)، از این رو از یک محدود کننده ویژه برای این منظور استفاده شد. این محدود کننده از ۱۵ سوراخ تشکیل شده است (شکل ۳).

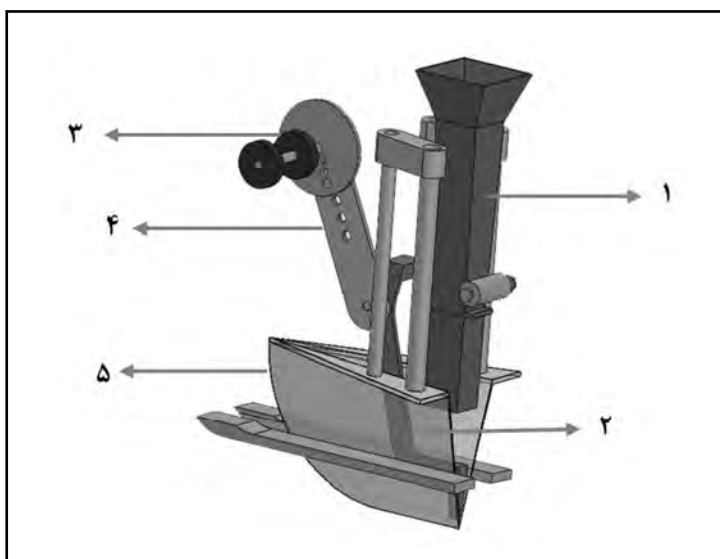
سازوکار بازوی بردارنده نشا از سینی

همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ۴ مشخص شده است، بازوی بردارنده از دو جفت سوزن با طول ۲۰ سانتی‌متر تشکیل شده است. این سوزن‌ها در نوک بازو به گونه‌ای نصب شده‌اند که با حرکت دورانی بازو به سمت سلول سینی، به طور عمود و با کمینه آسیب به نشا به خاک درون سلول نفوذ می‌کنند، پس از آن دهانه سوزن‌ها اندکی به سوی یکدیگر نزدیک می‌شود تا خاک را همراه با ریشه و در نتیجه نشا را به آغوش بگیرد. در مورد سینی به کار رفته در ارزیابی دستگاه، میزان نفوذ سوزن‌ها سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد. سینی‌ها دارای ۱۰۵ سلول با عمق ۵ سانتی‌متر هستند و از پلی اتیلن نرم ساخته شده‌اند. یادآوری می‌شود که سینی‌های نشا دارای خاک



شکل ۴- بازوی بردارنده نشا از سینی

(۱- سوزن‌ها ۲- جک بادی سوزن‌ها ۳- جک بادی بازوی بردارنده ۴- بازوی بردارنده نشا ۵- صفحه جابه جاشونده)



شکل ۵- شیاربازکن و سازوکار بیرون انداز نشا از شیار بازکن

(۱- لوله سقوط، ۲- میله بیرون انداز نشا ۳- یاتاقان‌های محور افقی محرک بیرون انداز نشا، ۴- اهرم محرک بیرون انداز و ۵- شیار بازکن)

داده‌های مربوط به حسگرهای نوری و میکروسویچ‌ها، فرمان تحریک شیرهای برقی را صادر کند. PLC مورد استفاده در این تحقیق (FBs-24MC, FATEK, Taiwan) قابلیت دریافت چهارده ورودی دیجیتال ۲۴ ولت جریان مستقیم را داراست که بسامد

کنترل کننده الکترونیکی اجزای محرک دستگاه سامانه کنترل الکترونیکی نشاکار از نوع کنترل کننده منطقی برنامه پذیر (PLC) انتخاب شد. کنترل کننده به کار رفته در ارتباط با یک رایانه همراه و برنامه کنترلی توسعه یافته با WinProladder قادر است پس از دریافت

و تغییر سرعت دورانی موتور با اهرم گاز دستی، سرعت پیشروی در ۱، ۱/۵ و ۲ کیلومتر در ساعت تثبیت شد. میزان آسیب دیدگی‌های فیزیکی نشا به صورت قراردادی اندازه‌گیری شد (آسیب هر برگ نشا: ۱۰ درصد؛ آسیب به ساقه نشا: ۲۰ درصد؛ جدا شدن ساقه از نشا اگر همراه با برگ باشد، این درصد برای برگ‌ها نیز محاسبه می‌شود و مقدار آن با توجه به هر برگ افزایش می‌یابد)؛ آسیب به ریشه نشا: ۳۰ درصد (درصد ذکر شده برای آسیب دیدگی کامل ریشه است و اگر آسیب ریشه جزئی باشد از مقدار آن کاسته خواهد شد) (Javidan & Mohammadzamani, 2012). این درصدها با بازبینی هر نشای کاشته شده در پایان کاشت اندازه‌گیری شد.

نشاهای رقم "کومودورو" گوجه‌فرنگی به کار برده شد. این نشاها در زمان کشت در مرحله چهار برگی بودند. زمین مورد استفاده دارای خاک لومی شنی با چگالی توده ۱/۲۵ گرم به ازای سانتی‌متر مکعب با رطوبت ۱۲ درصد پایه خشک بود. خاک با نمونه‌برداری تصادفی و ارسال آن به آزمایشگاه آزمایش شد. برای تعیین بافت خاک از روش مثلث بافت خاک بعد از تعیین درصد رس، سیلت و شن، و برای اندازه‌گیری چگالی توده از نسبت وزن خاک خشک به حجم کل نمونه و برای اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک از روش وزنی، یعنی نسبت وزن آب به وزن خاک خشک شده در آون، استفاده شد.

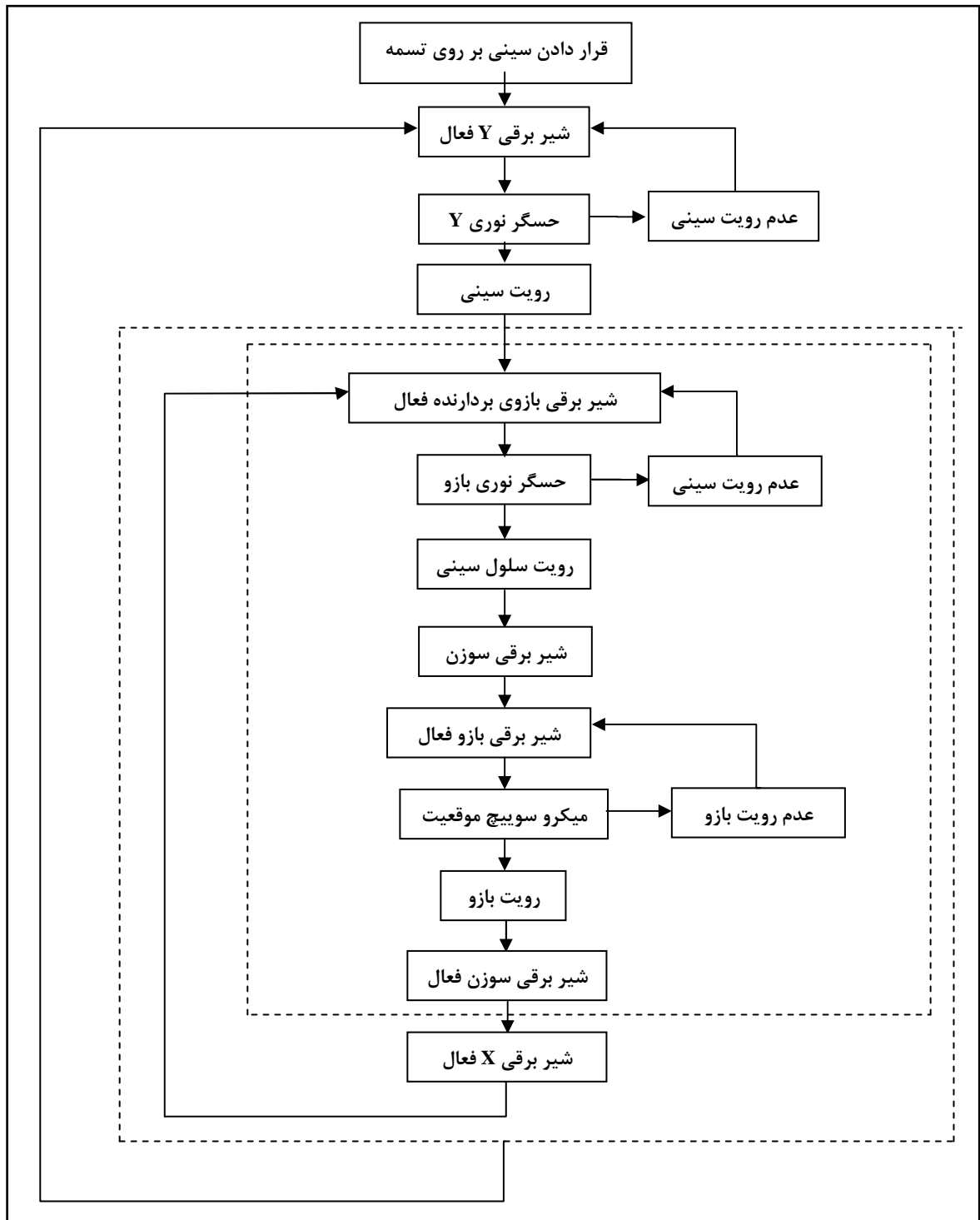
جریان برای دو ورودی ۲۰۰ کیلوهرتز و بسامد جریان برای دوازده ورودی دیگر ۲۰ کیلوهرتز است. نمودار بلوکی برنامه‌ریزی شده برای طراحی برنامه کنترلی PLC در شکل ۶ ارائه شده است.

آزمون دستگاه و تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد نشاکار طراحی شده و اندازه‌گیری فاصله بین نشاهای کشت شده، زاویه استقرار و درصد آسیب فیزیکی نشاها، آزمون مزرعه‌ای دستگاه در اردیبهشت ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان اجرا شد. قبل از آغاز شدن آزمون‌ها، زمین موردنظر با گاوآهن برگرداندار دوطرفه به عمق ۳۰ سانتی‌متر شخم زده شد و پس از آن از هرس بشقابی و ماله برای تسطیح نهایی استفاده شد.

به منظور تأمین توان کششی و دورانی دستگاه، از تراکتور MF399 با توان ۱۱۰ اسب بخار و به منظور تأمین توان دورانی مورد نیاز پمپ باد، از محور تواندهی استفاده شد. با توجه به طراحی دستگاه با یک سازوکار کشت، نشاها به صورت یک ردیفه کشت شدند.

برای اندازه‌گیری سرعت واقعی پیشروی دستگاه، از یک چرخ‌سنج^۱ متصل به محور چرخ حامل نشاکار استفاده شد. با استفاده از انتخاب دنده ثابت در جعبه دنده تراکتور



شکل ۶- نمودار بلوکی طراحی شده برای برنامه کنترل PLC

در دو سطح ۵ و ۱۰ سانتی‌متر. متغیر سرعت پیشروی با v_1, v_2, v_3 به ترتیب ۱، ۱/۵ و ۲ کیلومتر در ساعت) و متغیر عمق کاشت با d_1 و d_2 به ترتیب ۵ و ۱۰ سانتی‌متر) مشخص شده است. تیمارها شامل ترکیبات

آزمون‌ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از ترکیب سه سطح سرعت پیشروی شامل سرعت ۱، ۱/۵ و ۲ کیلومتر در ساعت و عمق کشت

مختلف سرعت پیشروی و عمق کشت و نیز اثر متقابل آنها بر فاصله کشت بین نشاها روی ردیف کشت تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارد. با افزایش سرعت پیشروی، سرعت جابه‌جایی سینی نشا در راستای X و Y و نیز بازوی بردارنده نشا و سرانجام بیرون‌انداز نشا از شیاربازکن نیز افزایش می‌یابد. بدین مفهوم که تعداد چرخه‌های^۱ کاری سازوکارهای مختلف دستگاه در واحد زمان افزایش می‌یابد. منظور از یک چرخه کاری مجموعه‌ای از عملیات است که سازوکارها باید انجام دهند تا در آن یک نشا از سینی نشا برداشته شود، به لوله سقوط منتقل و در پایان در شیار خاک گذاشته شود. افزایش تعداد چرخه‌ها در واحد زمان به دلیل ناکافی بودن زمان برای اجرای وظایف هر سازوکار منجر به کاهش دقت عملیات کشت خواهد شد. مقایسه میانگین فاصله نشاها روی ردیف کشت در تیمارهای مختلف (جدول ۳) گویای این مطلب است که با افزایش سرعت پیشروی، میانگین فاصله‌های بین نشاهای کشت شده به میزان ۴۴ سانتی‌متر از تیمار اول (v_1d_1) به ۴۹ سانتی‌متر تا تیمار ششم (v_3d_2) افزایش داشته است (هر تیمار با علامت $v_i d_j$ مشخص شده است). گرچه بیشترین فاصله بین نشاها مربوط به تیمار سوم (v_2d_1) به میزان ۵۱ سانتی‌متر است. از میان تیمارهای مورد بررسی، تیمار اول (v_1d_1)، چهارم (v_2d_2) و پنجم (v_3d_1) دارای مناسب‌ترین فاصله بین نشاهاست که به مقدار مطلوب ۴۵ سانتی‌متر نزدیک‌تر است.

شش‌گانه $v_i d_j$ است که به صورت کاملاً تصادفی در واحدهای آزمایشی (کرت‌ها) درون هر بلوک قرار داده شده‌اند. طول هر کرت آزمایشی ۲۲ متر و فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۱۰ متر در نظر گرفته شد. تجزیه آماری و مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 انجام گرفت. ظرفیت نظری دستگاه نیز بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد:

$$C_t = \frac{nvD}{10} \quad (1)$$

که در آن،

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

نتایج و بحث

تأثیر سرعت پیشروی و عمق کشت بر فاصله بین نشاهای ردیف کشت

جدول ۱ اطلاعات کلی متغیرهای وابسته در تیمارها را نشان می‌دهد. جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس داده‌های فاصله بین نشاهای ردیف کشت را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که از این جدول مشخص است، تیمارهای

جدول ۱- اطلاعات کلی مربوط به متغیرهای وابسته در تیمارها

متغیر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	واریانس
فاصله کشت (سانتی‌متر)	۴۴	۵۱	۴۷/۲۳	۲/۶۳	۶/۹۳
زاویه استقرار نشا (درجه)	۱۱	۲۰	۱۵/۵۱	۲/۷۲	۷/۴۳
آسیب دیدگی فیزیکی (درصد)	۶	۱۹/۵۳	۱۴/۰۹	۴/۲۱	۱۷/۷۹

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفت فاصله بین نشاها در ردیف کشت

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
تکرار	۲	۹۹/۷۵	۴۹/۸۷	۳۴/۹۳ ^{ns}
عمق کشت	۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۴ ^{**}
سرعت پیشروی	۲	۳	۱/۵۰	۱/۰۵ ^{**}
عمق کشت × سرعت پیشروی	۲	۰/۷۵	۰/۳۷	۰/۲۶ ^{**}
خطا	۱۰	۱۴/۲۸	۱/۴۲	-
ضریب تغییرات (درصد)	-	-	۵	-

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns: نبود اختلاف معنی‌دار

جدول ۳- آزمون مقایسه میانگین فاصله‌های بین

نشاها در ردیف کشت در تیمارهای مختلف

تیمار	میانگین فاصله بین نشاها (سانتی‌متر)
v ₁ d ₁	۴۴ ^a
v ₁ d ₂	۴۷ ^{bc}
v ₂ d ₁	۵۱ ^d
v ₂ d ₂	۴۴ ^a
v ₃ d ₁	۴۶ ^b
v ₃ d ₂	۴۹ ^c

حروف مشابه در ستون میانگین فاصله بین نشاها نشانگر نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

تأثیر سرعت پیشروی و عمق کشت بر زاویه استقرار نشا

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۴ اثر سرعت پیشروی، عمق کشت و نیز اثر متقابل آنها در صفت زاویه استقرار نشاها از دیدگاه آماری معنی‌دار است. بدین مفهوم که تغییر سرعت پیشروی دستگاه و عمق کشت بر زاویه استقرار نشاها تأثیرگذار است. علت این امر را می‌توان چنین تحلیل کرد که با افزایش سرعت پیشروی از ۱ به ۱/۵ و ۲ کیلومتر در ساعت، سرعت کلیه سازوکارهای حرکتی دستگاه نیز افزایش می‌یابد. این امر به ایجاد تکان‌هایی در بدنه، به ویژه در محل شیار بازکن، می‌انجامد. از طرفی، با افزایش سرعت پیشروی، شدت برگشت خاک به شیار ایجاد شده با شیاربازکن نیز بیشتر می‌شود و این امر موجب تغییر بیشتر زاویه استقرار نشا از حالت قائم

خواهد شد. گرچه به نظر می‌رسد سرعت ضربه به نشا با ضربه‌زن نشا در شیاربازکن هم می‌تواند بر تغییر زاویه استقرار تأثیرگذار باشد. با افزایش عمق کشت، به دلیل افزایش ارتفاع سقوط نشا و نیز به دلیل افزایش جابه‌جایی خاک، زاویه استقرار نشا نسبت به خط قائم افزایش می‌یابد. با توجه به آزمون مقایسه میانگین‌ها برای زاویه استقرار نشا در جدول ۵ می‌توان استنباط کرد که بین زاویه استقرار نشا روی زمین در تیمارهای مختلف نیز اختلاف معنی‌دار وجود دارد. داده‌های این جدول نشان می‌دهد که با افزایش سرعت پیشروی و نیز با افزایش عمق کشت، زاویه استقرار نشا نیز افزایش می‌یابد، گرچه در تیمارهای سوم (v₂d₁) و چهارم (v₂d₂) این روند به صورت منطقی دنبال نشده است. کمترین زاویه استقرار نسبت به خط قائم مربوط به تیمار اول (v₁d₁) است.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفت زاویه استقرار نشا

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
تکرار	۲	۷۹/۳۹	۳۶/۶۹	۹/۶۱ ^{ns}
عمق کشت	۱	۲/۴۱	۲/۴۱	۰/۵۸ ^{**}
سرعت پیشروی	۲	۱/۴۴	۰/۷۲	۰/۱۷ ^{**}
عمق کشت×سرعت پیشروی	۲	۱/۹۱	۰/۹۵	۰/۲۳ ^{**}
خطا	۱۰	۴۱/۳۰	۴/۱۳	-
ضریب تغییرات (درصد)	-	-	۱۷	-

** اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns: نبود اختلاف معنی دار

جدول ۵- آزمون مقایسه میانگین زاویه استقرار نشاها

در تیمارهای مختلف

تیمار	میانگین زاویه استقرار نشا نسبت به خط قائم (درجه)
v ₁ d ₁	۱۱ ^a
v ₁ d ₂	۱۵ ^b
v ₂ d ₁	۱۹ ^c
v ₂ d ₂	۱۴ ^b
v ₃ d ₁	۱۴ ^{ab}
v ₃ d ₂	۱۷ ^{bc}

حروف مشابه در ستون میانگین زاویه استقرار نشا، نشانگر نبود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

تأثیر سرعت پیشروی و عمق کشت بر درصد آسیب‌های فیزیکی نشا

از داده‌های جدول ۶ می‌توان گفت که اثر تغییرات سرعت پیشروی، عمق کشت و نیز اثر متقابل آنها بر صفت آسیب‌های فیزیکی به نشاها معنی دار است. نکته قابل توجه این است که در تمام آزمون‌ها اثر تکرار بر صفات سه گانه مورد بررسی معنی دار نبوده است.

با افزایش سرعت پیشروی دستگاه، میزان آسیب‌های فیزیکی به ساقه، برگ و ریشه نشا افزایش می‌یابد زیرا، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، با افزایش سرعت پیشروی، سرعت عمل سازوکارهای مختلف دستگاه نیز افزایش می‌یابد که باعث خواهد شد به هنگام فرورفتن سوزن‌های بردارنده به داخل خاک ریشه نشا احتمال برخورد سوزن‌ها و آسیب رساندن آنها به اجزای نشا بیشتر شود. همچنین، حرکت سریع سازوکارهای جابه‌جایی سینی در راستای X و

Y موجب می‌شود سینی در مختصات مناسب مستقر نشود و حتی امکان آسیب دیدگی سینی نشا بر اثر سوزن‌ها هم وجود دارد.

با بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۷ می‌توان مشاهده کرد که بیشترین میزان آسیب‌ها مربوط به تیمار سوم (v₂d₁) و کمترین آن مربوط به تیمار اول (v₁d₁) است. بیشترین آسیب در تیمار ششم (v₃d₂) مشاهده نمی‌شود اما در تیمار سوم (v₂d₁) بیشترین درصد آسیب دیده می‌شود. به نظر می‌رسد در این تیمار، دستگاه به تغییرات سرعت پیشروی پاسخ مناسب نداده است؛ بدین مفهوم که بر اساس قاعده باید در تیمار ششم (v₃d₂) بیشترین درصد آسیب به نشاها مشاهده شود اما این نتیجه در تیمار سوم (v₂d₁) دیده می‌شود. بنابراین، برای این تیمار دستگاه طراحی شده به هیچ عنوان مناسب نیست.

جدول ۶ - نتایج تجزیه واریانس صفت درصد آسیب‌های فیزیکی به نشاها

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
تکرار	۲	۱۳۹/۰۲	۶۹/۵۱	۵/۳۵ ^{ns}
عمق کشت	۱	۲۹/۹۹	۲۹/۹۹	۲/۳۱ ^{**}
سرعت پیشروی	۲	۰/۵۱	۰/۲۵	۰/۰۲ ^{**}
عمق کشت × سرعت پیشروی	۲	۳/۲۴	۱/۶۲	۰/۱۲ ^{**}
خطا	۱۰	۱۲۹/۷۹	۱۲/۹۷	-
ضریب تغییرات (درصد)	-	-	۲۹	-

^{**} اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns: نبود اختلاف معنی‌دار

جدول ۷ - آزمون مقایسه میانگین‌ها برای درصد

آسیب‌های فیزیکی به نشاها

تیمار	آسیب‌های فیزیکی به نشا (درصد)
v ₁ d ₁	۷/۲۷ ^a
v ₁ d ₂	۱۳/۲۱ ^{bc}
v ₂ d ₁	۱۸/۷۸ ^d
v ₂ d ₂	۱۵/۸۰ ^{bcd}
v ₃ d ₁	۱۲/۳۵ ^b
v ₃ d ₂	۱۷/۱۳ ^{cd}

حروف مشابه در ستون آسیب‌های فیزیکی، نشانگر نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

ظرفیت تئوری دستگاه

با توجه به نتایج بخش‌های قبل می‌توان تیمار اول (v₁d₁): سرعت پیشروی ۱ کیلومتر در ساعت و عمق کشت ۵ سانتی‌متر) را مناسب‌ترین تیمار از دیدگاه صفات مورد بررسی برای دستگاه طراحی شده در نظر گرفت. بر این اساس، با سرعت پیشروی ۱ کیلومتر در ساعت و با در نظر گرفتن ۶۰ سانتی‌متر فاصله بین ردیف‌های کشت، می‌توان ظرفیت تئوری دستگاه را بر اساس رابطه ۲ محاسبه کرد:

$$C_t = \frac{1 \times 0.6}{10} = 0.06 \text{ hah}^{-1} \quad (2)$$

بدین ترتیب، ظرفیت تئوری دستگاه با یک ردیف کشت نشا ۰/۰۶ هکتار در ساعت است، اگرچه با در نظر گرفتن شرایط واقعی و زمان‌های مورد نیاز برای سرویس، تعمیر، دور زدن‌ها، بارگیری سینی نشا و غیره، ظرفیت

واقعی کمتر خواهد بود. از دیدگاه نظری، در مقایسه با روش کشت دستی که به طور متوسط روزانه (۸ ساعت کار) ۲۰ کارگر یک هکتار را نشاکاری می‌کنند، نشاکار مورد نظر قادر است حدود ۰/۵ هکتار را در مدت زمان مشابه نشاکاری کند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر تیمارهای مختلف سرعت پیشروی و عمق کشت بر صفات فاصله بین نشاها روی هر ردیف کشت، زاویه استقرار نشا و درصد آسیب‌های فیزیکی نشاها مشخص شد که در تمامی تیمارها تأثیر تغییر سرعت پیشروی و عمق کشت بر صفات مورد بررسی از لحاظ آماری معنی‌دار است. کمترین میزان صفات مورد بررسی مربوط به تیمار اول (v₁d₁) است، در حالی که با افزایش سرعت پیشروی و عمق کشت، مقادیر

مرتبط با صفات مورد بررسی افزایش می‌یابد. تیمار سوم (v_3d_2) ، نسبت به سایر تیمارها، در تمامی صفات دارای مقادیر بیشتری است. در سایر تیمارها روندی منطقی در تغییر مقادیر صفات مشاهده می‌شود. می‌توان با کاهش سرعت پیشروی به کمتر از ۱ کیلومتر در ساعت، مقادیر صفات مورد نظر را کاهش داد ولی این امر به کاهش ظرفیت دستگاه می‌انجامد و منطقی به نظر نمی‌رسد. بر این اساس، با در نظر گرفتن سرعت پیشروی بهینه ۱ کیلومتر در ساعت و با در نظر گرفتن عرض کاشت ۶۰ سانتی‌متر می‌توان به ظرفیت تئوری ۰/۰۶ هکتار در ساعت دست یافت.

مراجع

- Chow, J. B, J. Wang., J. K. and Myers, A. L. 1980. Hand-fed lettuce seedling block transplanter, Trans. ASABE. 23(5): 1117-1120.
- Haffar, I. 1995. Design and field evaluation of a Low cost Crop transplanter with multiple seedlings feed. AMA-Agric. Mech. ASIA AF. J. 26(3): 29-32.
- Javidan, M. and Mohammad Zamani, D. 2012. Design, Construction and Evaluation of a Semi-automatic Tomato Transplanter. M.Sc. thesis. Islamic Azad University. Takestan Branch. Iran. (In Persian)
- Kazmeinkhah, K. 2007. Determination of Energetic and Ergonomic Parameters of a Semi-automatic Sugar-beet Steckling Transplanter. J. Agric. Sci. Technol. 9(3):19-198.
- Ladeinde, M. A., S. Verma., S. R. and Baksher, V. 1995. Performance of semi-automatic tractor - mounted cassava planter. AMA-Agric. Mech. ASIA AF. J. 26(1): 27-30.
- Nandede, B.M., Kumar Ranjeet, Padhee D. 2013. Evaluation of multistage automatic vegetable transplanter (MAVT) for pot seedlings of tomato. BIOINFOLET - A Quart. J. Life Sci. 10(1b): 193-195.
- Prasanna Kumar, G. V. and Raheman, H. 2012. Automatic feeding mechanism of a vegetable transplanter. Int. J. Agric. Biol. Eng. 5(2): 20-27.

Design, Construction, and Evaluation of Fully-Automatic Tomato Transplanter

D. Mohammad Zamani^{*}, J. Ghezavati and M. Nazari

* Corresponding Author: Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran. Email: dr.dmzamani@gmail.com

Received: 20 August 2015, Accepted: 8 February 2016

The present study designed, constructed, and evaluated a fully-automatic tomato transplanter. In this device, a step mechanism gradually guides the tray to the left, right, and down under the arm so that the pin lifter can be position to penetrate the soil in the cell to grasp a seedling. The arm then positions itself over the tube and releases the seedling in its soil pot. The seedling falls into the previously plowed furrow. To evaluate operation of the machine, field testing was conducted. Mechanical damage to seedlings, seedling establishment angle according to the vertical line, and seedling spacing on the row was investigated. Tests used a factorial randomized complete block design with three replications. The treatments consisted of traveling speed (1, 1.5, and 2 kmh⁻¹) and depth (5 and 10 cm). In each experimental unit of the block, the machine traveled the 22 m length to plant one row. Results showed that traveling speed, depth, and the interaction of distance between planted seedlings, seedling establishment angle, and mechanical damage to seedling was significant. Results indicated that the most appropriate traveling speed was 1 kmh⁻¹ and depth of planting was 5 cm. With a traveling speed of 1 kmh⁻¹, a theoretical capacity of 0.06 hah⁻¹ was determined for the single-row machine.

Keywords: Automatic transplanting machine, Transplanting tray, Tomato seedling