مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۵/ شماره ۳/سال ۱۳۹۳/ص ۸۰-۶۷

ساخت و ارزیابی نشاکار نیمه‌خودکار برای کشت متراکم نشای ریشه لخت پیاز

اورنگ تاکی* و اردشیر اسدی**

*نگارنده مسئول: اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، ص. پ. ۱۹۹-۸۱۷۸۵، تلفن: ۳۷۷۶۰۰۶۱(۰۳۱)، پیام‌نگار: orangtaki@yahoo.com

** به‌ترتیب: استادیار پژوهش؛ و عضو هیأت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۱۸

چکیده

در ایران نشاکاری پیاز در حال حاضر به‌صورت دستی و با نیروی ۱۱۰-۱۰۰ نفر- روز در هکتار با استفاده از نشاهای ریشه لخت و با تراکم بسیار زیاد (۸۰۰-۷۰۰ هزار بوته در هکتار) در شرایط سخت انجام می‌گیرد. در این تحقیق، یک ماشین نشاکار نیمه‌خودکار طراحی، ساخته و ارزیابی شد که قابلیت تامین تراکم مورد نظر کشاورزان مناطق مرکزی ایران را دارد. واحد کارنده این ماشین یک موزع چرخان استوانه‌ای دارد که نشاگذاری در سلول‌های آن دستی (با نیروی کارگر) است. این استوانه دوار در بالای لوله سقوط و در صفحه افقی حرکت دورانی دارد و این حرکت را ماشین کشنده تامین می‌کند. با چرخش استوانه دوار نشاها، به‌طور مجزا و منظم از آن خارج و در فاصله‌های زمانی مشخص وارد لوله سقوط می‌شوند. در ادامه، نشاها بر اثر نیروی وزن حرکت می‌کنند و پس از خروج از لوله سقوط به درون شیاری رها می‌شوند که شیاربازکن ایجاد کرده است. خاکدهی و استقرار نشاها را چرخ‌های فشار انتهایی بلافاصله انجام می‌دهند. در فرآیند طراحی واحد کارنده، انحنای مناسب لوله سقوط و زاویه قرارگیری چرخ‌های فشار به‌گونه‌ای انتخاب شد که ضمن کوچک نگه‌داشتن عرض واحد کارنده، استقرار نشاهای ریشه لخت نیز در حد مطلوبی تامین شود. از ترکیب ۹ واحد کارنده (٤ واحد در جلو و ٥ واحد در عقب) که روی دو دیرک‌افزار متصل به یکدیگر سوار می‌گردند، یک ماشین سوار شونده تراکتوری تشکیل گردید. نتایج ارزیابی شاخص‌های عملکردی ماشین نشاکار در یک مزرعه ۱۰۰۰ متر مربعی نشان داد که در این ماشین، امکان نزدیک کردن واحدهای کارنده تا حد ۱۷ سانتی‌متر بدون بر هم زدن استقرار نشاهای واحدهای جلوی وجود دارد و واحدهای کارنده روی هر شاسی می‌توانند با فاصله ۳٤ سانتی‌متر از یکدیگر قرار گیرند که فضای لازم را برای نشستن کارگران در کنار یکدیگر تامین می‌کند. با این آرایش می‌توان استقرار اولیه بیش از ۹۰ درصد نشاها را تضمین کرد. ظرفیت مزرعه‌ای این ماشین با احتساب سرعت ۰/۲۷ کیلومتر بر ساعت و راندمان ۹۰ درصد در ۸ ساعت کار روزانه تقریبا ۳۰۰۰ متر مربع است که در آن ۹ کارگر نشاگذار و ۲ کارگر پشتیبانی (برای نشارسانی و ترمیم نشاهای رها شده) شرکت دارند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با مجموع ۱۱ کارگر- روز می‌توان حدود ۳۰۰۰ متر مربع را با ماشین، نشاکاری کرد که در مقایسه با روش نشاکاری با دست در نیروی کارگری مورد نیاز نزدیک به ٦۳ درصد صرفه‌جویی می‌شود.

واژه‌های کلیدی

مکانیزاسیون پیاز، موزع ثقلی، نشاکاری

مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به محدودیت منابع آبی و نهاده‌های کشاورزی در ایران، تولید پیاز از طریق کشت نشایی رو به گسترش است. کاشت نشا در حال حاضر به‌صورت دستی و با نیروی ۱۱۰-۱۰۰ کارگر- روز در هکتار با استفاده از نشاهای ریشه لخت و با تراکم بسیار

© 2016,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

زیاد (۸۰۰-۷۰۰ هزار بوته در هکتار) در شرایط سخت انجام می‌گیرد. با ماشینی کردن کشت نشا می‌توان به کاهش بیشتر هزینه تولید و بالا بردن رفاه کشاورزان پیازکار کمک کرد. در دنیا برای کاشت پیاز با ماشین‌های نشاکار از دو سیستم اتوماتیک و نیمه‌اتوماتیک (برحسب استفاده از نیروی انسانی در نشاگذاری) استفاده می‌شود. در روش اتوماتیک معمولا از نشاهایی استفاده می‌شود که در سلول‌های کوچک استوانه‌ای یا هرمی کاشته می‌شوند. این سلول‌ها معمولا در قالب یک سینی، یا پالت، به یکدیگر متصل‌اند و نشاها را بسته به جنس این سلول‌ها یا با آنها می‌کارند (تجزیه‌پذیر سلول) و یا با توده خاک اطراف ریشه (تجزیه‌پذیر نبودن سلول) می‌کارند. در این روش، نشاگذاری با مکانیسم‌های خودکار انجام می‌گیرد. معمولا در این حالت نشاها به‌واسطه نیروی وزن توده خاک اطراف ریشه با سقوط آزاد داخل شیار رها می‌شوند (Robb *et al.*, 1994) به‌کارگیری سیستم‌های تمام خودکار برای شرایطی توصیه می‌شود که به تراکم کم نشا نیاز است. با این همه، در ایران برای محصولاتی مانند پیاز که نیاز به تراکم بالا می‌باشد، هزینه تولید نشا به‌همراه هزینه حمل و نقل آن، کشت با ماشین خودکار را غیر اقتصادی می‌سازد.

در سیستم نیمه‌اتوماتیک که در آن نشاگذاری را کارگر انجام می‌دهد، می‌توان از نشاهای ریشه لخت نیز استفاده کرد که هزینه تولید آنها نسبت به‌روش تمام اتوماتیک به‌مراتب کمتر است. در این سیستم، نشا معمولا با دو روش به‌داخل شیار انتقال داده می‌شود. در روش اول، مجموعه‌ای از انبرک‌ها روی یک چرخ دوار یا یک زنجیر بی‌انتها قرار دارند، که در جلو دست کارگر باز می‌شوند و پس از گرفتن نشا، آن را در داخل شیار رها می‌کنند. در این روش به‌علت حرکت انگشتی‌ها در خلاف جهت پیشروی تراکتور، حداقل فاصله ممکن بین بوته‌ها روی ردیف معمولا ۱۲-۱۰ سانتی‌متر است (سرعت خطی انگشتی اگر بیشتر از سرعت پیشروی تراکتور باشد باعث بیرون انداختن نشای کاشته شده قبلی می‌گردد) (Anon, 2010). همچنین، فاصله بین ردیف‌های کاشت (به‌علت وجود چرخ انگشتی بین چرخ‌های فشار) نمی‌تواند کمتر از ۲۵ سانتی‌متر باشد. با این آرایش کاشت می‌توان حداکثر ۳۵۰۰۰۰ بوته در هکتار مستقر کرد که کمتر از نصف تعداد مورد تقاضاست. از دیگر مکانیسم‌های انتقال نشا، چرخ نشاگیر بشقابی ساده است که از دو صفحه لاستیکی قابل انعطاف تشکیل می‌شود. این دو صفحه لاستیکی به‌صورت زاویه‌دار نسبت به هم قرار دارند و در مقداری مشخص از کمان‌هایشان با هم در تماس هستند. در این مکانیسم، بعد از شیاربازکن، این دو صفحه لاستیکی قرار دارد که یکی با چرخ فشار سمت راست و دیگری با چرخ فشار سمت چپ از طریق تسمه به چرخش درمی‌آید. سرعت بشقاب‌های طرف چپ و راست به‌کمک تسمه مارپیچی با هم یکسان می‌شود. با حرکت نشاکار، بشقاب‌ها شروع به چرخش می‌کنند و نشاگذار، قبل از تماس دو بشقاب، نشاها را بین آنها قرار می‌دهد. با این نشاکار می‌توان نشاهای ریشه لخت و نشاهای همراه با گلدان‌های کاغذی را کاشت (Beranacki *et al.*, 1967).

در روش دوم، نشاها در داخل سلول‌های یک موزع چرخان (چرخ و فلک افقی[1]) قرار داده می‌شود و با قرار گرفتن هر سلول در بالای لوله سقوط، نشا بر اثر وزن خود به‌داخل لوله رها می‌شود. در این روش معمولا از نشاهای سلولی استفاده می‌شود و وزن توده خاک اطراف ریشه حرکت نشا را در لوله سقوط تضمین می‌کند. دقت فاصله‌گذاری بین بوته‌ها در حالت سقوط آزاد کمتر است تا در روش استفاده از انبرک. برابر گزارش ساگس و همکاران (Suggs *et al.*,1989) درصد بوته‌های استقرار یافته در فاصله‌ها مطلوب در ماشین مجهز به موزع چرخان

1- Carousel

۲/۵ برابر کمتر است تا در ماشین مجهز به انبرک‌های نشاگیر. این مقایسه روی نشاهای پیاز پرورش یافته در سلول‌های کاغذی انجام یافته است. برای حصول اطمینان از استقرار نشا پس از سقوط، در بعضی از این سیستم‌ها در داخل شیاربازکن مکانیسم رفت و برگشتی وجود دارد که نشا را به‌سمت عقب می‌فشارد و از خوابیدگی آن پس از سقوط جلوگیری می‌کند (Anon, 2013a). وجود این مکانیسم نیز به نوبه خود باعث عریض شدن واحدهای کارنده می‌شود و در نتیجه نزدیک کردن ردیف‌های کاشت به یکدیگر (کمتر از ۲۵ سانتی‌متر) ناممکن خواهد شد.

در ایران با توجه به کمبود آب و استقبال کشاورزان از روش نشاکاری، تلاش‌هایی در جهت ساخت نشاکار برای محصولات مختلف شده است. از آن جمله ماشین نشاکار با سیستم تغذیه خشابی که قهرمانیان (Ghahramanian, 1998) برای کشت نشای پیاز طراحی کرده است. در این ماشین، ابتدا نشاهای پیاز در خزانه داخل سلول‌های خشاب گذاشته می‌شوند و پس از آن کاربر آنها را در مزرعه داخل جاخشابی ماشین قرار می‌دهد. با حرکت تسمه انتقال، نشاها یک یک به‌درون ناودانی‌های حمل نشا قرار می‌گیرند و زمانی‌که در بالای قیف لوله سقوط می‌رسند، در اثر نیروی وزن داخل لوله سقوط قرار می‌گیرند. در ادامه، یک مکانیسم میله‌ای نشای در حال سقوط را به‌حالت عمود در می‌آورد و بدین صورت نشا وارد شیاری می‌شود که شیاربازکن ایجاد کرده است، نشا به‌واسطه چرخ‌های فشار بلافاصله استقرار پیدا می‌کند. این عملیات تا خالی شدن کل خشاب ادامه دارد. در ارزیابی نشاکار خشابی دیده شده است که بعضی از نشاها در خشاب گیر می‌کنند که باعث اتلاف وقت جهت رفع گرفتگی آن می‌شود.

حسینی (Hoseini, 2006) نشاکار نیمه‌اتوماتیک دیگری را با هدف بالا بردن سرعت و دقت کاشت نشای گلدانی چغندر طراحی کرده و ساخته است. موزع این دستگاه از نوع سلولی چرخان است که به‌صورت آسیابی روی صفحه ثابت پایینی در حال حرکت است و لوله سقوط در زیر آن قرار گرفته است. برای رعایت دقیق فاصله نشاها روی خطوط، از سنسورهای مادون قرمز نصب شده روی چرخ حامل و موزع دستگاه و از یک میکروکنترلر استفاده شده است. با حرکت کردن تراکتور، چرخ زمین گرد حرکت می‌کند و این حرکت به‌صورت تعداد پالس به میکروکنترلر وارد می‌شود. بعد از اینکه تعداد پالس به حد نصاب مورد نظر رسید، دستور حرکت توسط میکروکنترولر به موتور پله‌ای داده می‌شود که به موزع متصل است و موزع تا لحظه‌ای که حفره حاوی نشا دقیقا روی لوله سقوط قرارگیرد به چرخش خود ادامه می‌دهد.

در تحقیق حاضر، با هدف تامین تراکم بالای مورد نیاز کشاورزان پیاز کار ایرانی، تلاش شده است با طراحی و ساخت یک واحد نشاکار با عرض کوچک و آرایش مناسب آنها روی شاسی، تا حد امکان ردیف‌های کاشت را به هم نزدیک کرد. همچنین، با انتخاب مکانیسم مناسب توزیع و انتقال نشا به‌داخل شیار فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت را نیز تا حد مورد نیاز کمتر کرد.

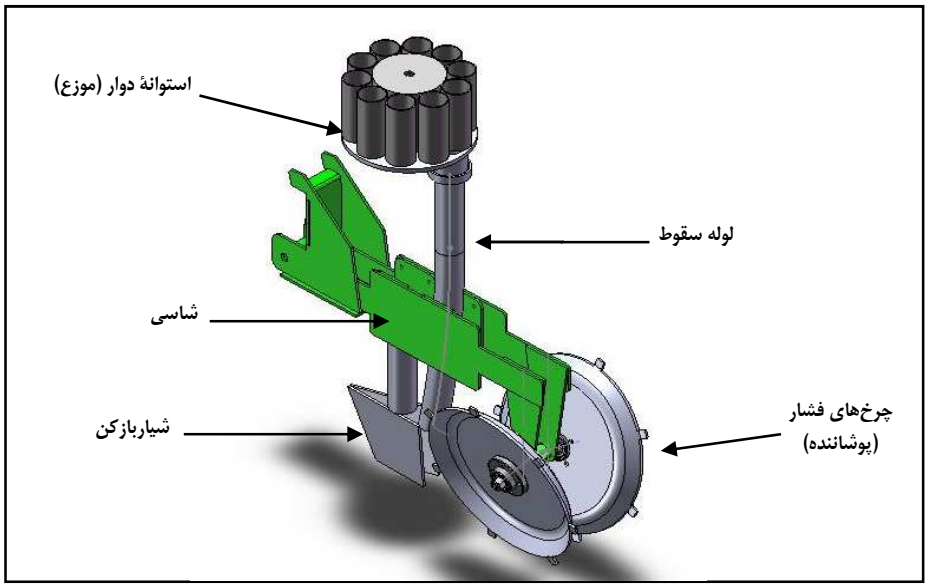
مواد و روش‌ها

با توجه به نیازهای زراعی کاشت پیاز در شرایط ایران، ساخت ماشین نشاکار با در نظر گرفتن دو خواسته فنی اصلی آغاز گردید. اول اینکه ماشین قادر به تامین تراکم زیاد بوته در واحد سطح، تا ۷۰ تا ۸۰ بوته در متر مربع، باشد. حداقل فاصله بین بوته‌ای روی خطوط کاشت ۷ سانتی‌متر (متوسط اندازه قطر غده‌های بازارپسند) در نظر گرفته شد. بدین ترتیب برای تامین تراکم مورد نظر، فاصله خطوط کاشت باید حداکثر ۱۷-۱۵ سانتی‌متر باشد

کـه نشـان مـی‌دهـد عـرض کـار هـر واحـد کارنـده نیـز نباید از این مقـدار بیشـتر باشـد. دوم آنکـه بـا توجـه بـه اقتصادی نبودن تهیه نشای گلدانی که در آن هزینه تولیـد و حمل نشا ۶ برابر مقداری است که در روش خزانـه‌گیـری سنتی دیده می‌شود (Anon, 2013b)، ماشین نشاکار بایـد قابلیت کشت نشای ریشه لخت را داشته باشد.

در بیشتر نشاکارهای نیمـه‌خودکـار مخصـوص نشـای ریشه لخت، از موزع‌هـای مجهـز بـه چـرخ دوار یـا زنجیـر بی‌انتها استفاده می‌شود که در آنهـا عـرض واحـد کارنـده، به‌علت قرار گـرفتن چـرخ دوار در بـین چـرخ‌هـای فشـار، حداقل ۲۵ سانتی‌متر است. این مقدار عرض باعث می‌شود که فاصله ردیف‌های کاشت بیش از ۲۵ سانتی‌متر باشد که با اولین خواسته فنی ماشـین مغـایرت دارد. بـدین لحـاظ برای به حداقل رساندن عرض واحد کارنده، پیشنهاد شد از روش سقوط آزاد نشا در داخل لوله سقوط برای انتقـال بـه درون شیار استفاده شود. این روش بـا توجـه بـه میلـه‌ای بودن شکل نشاهای پیاز و سنگین بودن بخـش زیـرین آن، که حرکـت روان نشـا را در داخـل لولـه تـامین مـی‌کنـد، امکان‌پذیر خواهد بود.

بر این اسـاس، نمونـه اولیـه یـک واحـد کارنـده برابـر شکل ۱ طراحی گردید. طرز کـار ایـن ماشـین بـر مبنـای تغذیه دستی نشا (توسط کارگر) به‌داخل حفره‌های استوانه دوار (موزع) است. این استوانه دوار در بـالای لولـه سـقوط حرکـت دورانـی دارد و حرکـت آن را ماشـین کشـنده آن تامین می‌کند. با چرخش استوانه دوار نشاها تک تک و بـه طور منظم از آن خارج و به فاصله‌های زمانی مشـخص وارد لوله سقوط می‌شـوند. بـر اثـر سـقوط آزاد، نشـاها از لولـه سـقوط خـارج مـی‌شـوند و در شـیار ایجـاد شـده توسـط شیاربازکن قرار می‌گیرند و چرخ‌های فشار انتهایی بلافاصله خاکدهی و استقرار نشا را انجام می‌دهند.



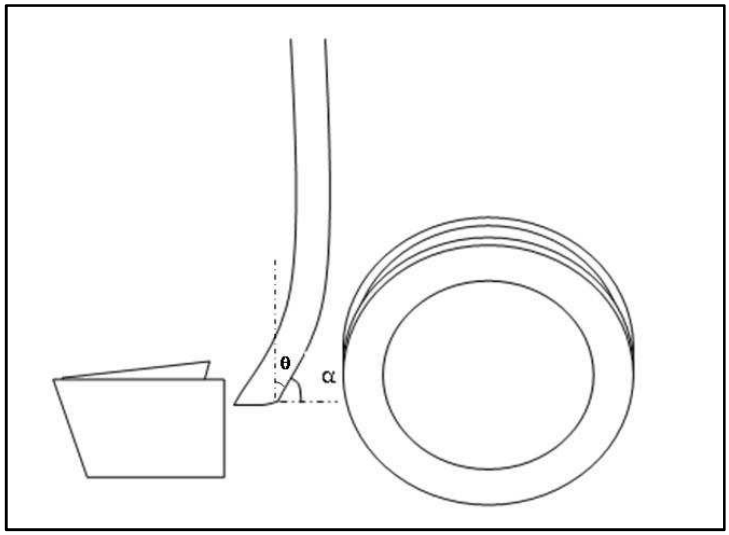
شکل ۱- شمای کلی یک واحد نشاکار

در مرحله بعد، نمونه اولیـه واحـد کارنـده بـا انتخـاب اندازه‌های تقریبی ساخته شد. قطر داخلی لوله سقوط، بـر مبنای حداقل اندازه‌ای که بزرگترین نشای دو برگـی از آن به‌راحتی عبور کند، برابر ۵۰ میلی‌متر در نظر گرفتـه شـد. شیاربازکن استفاده شده در واحد کارنـده از نـوع کفشـکی است و از دو صفحه ذوزنقه‌ای تشـکیل شـده اسـت کـه در

یک ضلع به یکدیگر متصل شده‌اند. شیب صفحات به گونه‌ای است که فاصله دو صفحه در انتها برابر قطر داخلی لوله سقوط است تا قرار گرفتن نشا را در داخل شیار تضمین کند.

چرخ‌های فشار ماشین از دو چرخ مخروطی فلزی با زاویه مخروط ۴۵ درجه و به قطر ۴۰ سانتی‌متر، تشکیل شده است که مقابل هم با آرایش v شکل قرار گرفته اند. آرایش v شکل باعث می‌گردد که فاصله چرخ‌ها از فشردن خاک (در پایین‌ترین قسمت) به‌تدریج افزایش یابد و از گیر کردن کلوخ بین دو چرخ جلوگیری کند. عرض هر چرخ فشار ۶ سانتی‌متر و کمترین فاصله دو چرخ ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. واحد ساخته شده، بدون ملحقات مربوط به موزع، برای آزمون اولیه روی دیرک‌افراز[1] نصب شد و با تراکتور مجهز به دنده خزشی در داخل بستری با خاک نرم به حرکت درآمد. نشاها به‌روش دستی و بدون در نظر گرفتن یکنواختی فاصله‌های بین بوته‌ای به داخل لوله سقوط قرار داده شدند. مشاهدات مزرعه‌ای به هنگام آزمایش نشان داد که تنها نشاهایی برافراشته می‌شوند و به‌حالت عمودی قرار می‌گیرند که اولا در هنگام خروج از لوله سقوط به‌سمت عقب متمایل می‌گردند (در داخل شیار به‌سمت عقب می‌خوابند) و ثانیا چرخ فشار خاک طرفین شیار را به اندازه کافی بفشارد.

بر این مبنا شکل‌های مختلف لوله سقوط و اندازه و آرایش چرخ‌های فشار به‌عنوان عوامل مهم استقرار نشا در نظر گرفته شد. برای بررسی شکل‌های مختلف لوله سقوط، استفاده از لوله‌های سقوط انحنادار پیشنهاد شد که بتواند ضمن تامین حرکت روان نشا، متمایل شدن نشاها را به عقب نیز موجب شود. بدین منظور علاوه بر لوله عمودی، پنج لوله سقوط با انحناهای مختلف آزمایش و نتایج کار آنها مقایسه شد. شعاع‌های انحنا مورد مقایسه شامل ۱۹۵، ۱۸۵، ۱۷۵، ۱۶۵ و ۱۵۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند که زاویه‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه را (نسبت به خط قائم) در بخش خروجی لوله سقوط ایجاد می‌کردند (θ در شکل ۲).



شکل ۲- زاویه خروجی لوله سقوط نسبت به خط قائم (θ) و نسبت به خط افق (α)

این مقایسه در یک طرح آماری کاملا تصادفی با چهار تکرار در یک خاک نرم (عاری از کلوخ) اجرا و چگونگی خوابیدگی نشا در هر تیمار بررسی شد. برای این کار، لوله‌های سقوط با انحناهای مختلف در ارتفاع

1- Toolbar

۱۵ سانتی‌متری از سطح زمین (برابر ارتفاع متوسط نشا، بدون احتساب قسمتی از آن که در خاک قرار می‌گیرد) و در محلی مناسب در پشت شیاربازکن روی شاسی سوار گردیدند. سپس مجموعه شیاربازکن و هر یک از لوله‌های سقوط (بدون چرخ فشار) در چهار قسمت زمین (به‌صورت تصادفی) با سرعت ۷ سانتی‌متر بر ثانیه (۰/۲۵ کیلومتر در ساعت) در طولی برابر ۱۰ متر کشیده شد و نحوه قرارگیری نشاهای انداخته شده در لوله سقوط در ۵ متر میانی بررسی گردید.

پس از انتخاب شکل لوله سقوط، برای یکنواخت کردن فاصله بین نشاها و همچنین تامین فرصت زمانی مورد نیاز برای برداشتن دسته‌های نشا از جعبه نشا توسط کاربر، یک موزع سلولی ساخته شد. موزع واحد کارنده با توجه به شکل میله‌ای نشاهای پیاز، از ۷ سلول استوانه‌ای فلزی به قطر برابر با قطر لوله سقوط انتخابی و به طول برابر با طول نشاها (۱۵۰ میلی‌متر) تشکیل شده که آرایش آنها دایره‌ای است. در زیر هر سلول موزع دریچه‌ای تعبیه شده است که هنگام رسیدن به بالای لوله سقوط باز می‌شود و نشا را به‌داخل لوله سقوط رها می‌کند. شکل شیب‌دار دریچه، دقت لازم برای رها شدن نشا در زمان مناسب را تضمین می‌کند. مبنای انتخاب تعداد سلول‌های موزع، اندازه‌گیری زمان لازم برای جدا کردن و قرار دادن یک نشا به‌داخل لوله سقوط (به‌طور متوسط یک ثانیه) و زمان لازم برای برداشتن یک دسته نشا توسط کاربر از جعبه (به‌طور متوسط ۶ ثانیه) بود. نیروی مورد نیازبرای چرخش موزع از چرخ حامل ماشین تامین می‌شود.

در مرحله بعد تاثیر اندازه (عرض) و زوایای قرارگیری چرخ های فشار نسبت به یکدیگر بررسی شد. محدودیت اصلی در طراحی چرخ‌های فشار، بزرگ بودن عرض فضای اختصاص یافته به مجموعه یک جفت چرخ فشار بود که خاکدهی و فشردن کردن طرفین یک ردیف کاشت را به‌عهده دارد. با توجه به فاصله ۱۷ سانتی‌متری ردیف‌های کاشت (خواسته زراعی کاشت نشای پیاز) و با در نظر گرفتن اینکه واحد های کارنده روی دو ردیف متوالی (دو دیرک‌افزار) قرار می‌گیرند، اندازه عرض مجموعه دو چرخ یک واحد در بالاترین نقطه باید حداکثر ۳۳ سانتی‌متر و در پایین‌ترین نقطه حداکثر ۱۶/۵ سانتی‌متر باشد (به‌ترتیب w_2 و w_1 در شکل ۳) تا بر نشاهای استقرار یافته توسط واحدهای جلوی تاثیر نگذارد. این فاصله‌ها با در نظر گرفتن تلرانس لازم برای تداخل نداشتن واحدهای مجاور در اثر لقی های احتمالی در نظر گرفته شد (شکل ۳). با توجه به این محدودیت، چهار چرخ مخروطی به قطر ۴۰ سانتی‌متر و با زاویه مخروط ۴۵ درجه ساخته شد. یک جفت از آنها به عرض ۴۵ و دوتای دیگر به عرض ۵۵ میلی‌متر. برای هر جفت چرخ دو حالت قرارگیری موازی و همگرا ($\beta=0^\circ$ و $\beta=4^\circ$، شکل ۳) در نظر گرفته شد و بدین ترتیب از ترکیب دو عرض چرخ و دو زاویه قرارگیری چهار تیمار به‌دست آمد.

در کلیه تیمارها زاویه عمودی چرخ‌ها نسبت به یکدیگر (α) ۱۸ درجه در نظر گرفته شد. این چهار تیمار در یک طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در زمینی با بستری نرم (لوم رسی) مقایسه شدند. برای این کار هر جفت چرخ فشار در دو حالت موازی و همگرا روی واحد کارنده نمونه نصب و واحد روی یک دیرک‌افزار قابل اتصال به تراکتور سوار و با سرعت برابر ۰/۲۷ کیلومتر در ساعت کشیده شد. نشاکاری واحد کارنده و یک کاربر برای هر یک از چهار تیمار در سه تکرار ۱۰ متری (در سه قسمت مختلف مزرعه) اجرا شد و نتایج به‌دست آمده از تیمارها از نظر درصد نشاهای مدفون و رها شده، زاویه استقرار نشاها نسبت به خط عمود، درصد نشاهای استقرار یافته، یکنواختی عمق کاشت و یکنواختی فاصله‌های بین بوته‌ای ارزیابی شدند. عمق کاشت نشا در تمامی تیمارها

۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. واحد نمونه از قسمت‌های مختلف تشکیل شده بود شامل شاسی، شیاربازکن و لوله سقوط (منتخب آزمون قبلی)، موزع دوار، صندلی کاربر و جعبه نشا. با احتساب یک ثانیه برای قرار دادن نشا در هر سلول موزع توسط کاربر و احتساب فاصله بین بوته‌ای ۷ سانتی‌متر روی خطوط کاشت، سرعت پیشروی به‌دست آمد. چنین سرعتی با استفاده از دنده خزشی[1] برای تراکتورها متداول قابل حصول است.

برای محاسبه درصد نشاهای دفن شده در این سه قطعه، فاصله بین بوته‌ای بالاتر از ۹ سانتی‌متر بررسی و تعداد نشاهای کاملا پوشیده شده با خاک، تعیین گردید. نشاهای رها شده نشاهایی هستند که ریشه آنها بدون پوشش خاک بر سطح زمین قرار گرفته‌اند. برای به‌دست آوردن درصد نشاهای رها شده در هر فاصله تعداد نشاهای رها شده بر سطح خاک بر تعداد کل نشاهای کاشته شده تقسیم گردید. پس از تعیین این شاخص‌ها، ردیف‌های کاشته شده آبیاری شدند و در فاصله‌های معین، با تقسیم کردن تعداد بوته‌های استقرار یافته طی دو هفته پس از آبیاری بر کل بوته‌های انداخته شده (مجموع دفن شده‌ها و رها شده‌ها) نسبت استقرار نشاها به‌دست آمد.

میانگین و انحراف معیار فاصله‌های بین بوته‌ای با اندازه‌گیری فاصله بین بوته‌های مستقر شده در فاصله‌های معین شده در هر تیمار به‌دست آمد. با اندازه‌گیری انتهای نشا تا سطح خاک برای ۵۰ نشا در هر ردیف، عمق کاشت تعیین شد. میانگین‌های پارامترهای اندازه‌گیری شده از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

پس از انتخاب اجزای مختلف واحد کارنده، ۹ واحد مشابه ساخته شد. این ۹ واحد روی دو دیرک‌افزار متصل به یکدیگر (۴ واحد در جلو و ۵ واحد در عقب) به گونه‌ای نصب شدند که واحدهای ردیف عقب در وسط فاصله واحدهای جلوی واقع شوند (شکل ۴). دو دیرک‌افزار با دو مکانیسم چهار بازویی اتصال داده شدند تا ماشین بتواند از ناهمواری‌های زمین تبعیت کند. در زیر هر شاسی ۲ چرخ آهنی به عرض ۸ سانتی متر و به قطر ۵۰ سانتی‌متر قرار داده شدند برای حمل شاسی و کاربران در حین کار و همچنین تامین نیروی محرک موزع‌ها. ابعاد و مشخصات ماشین در جدول ۱ آورده شده است.

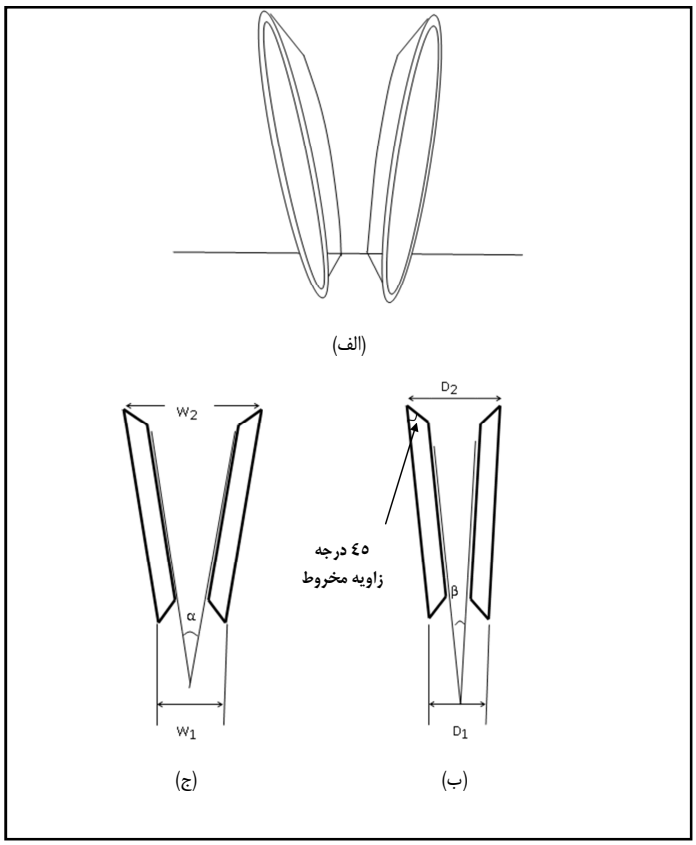
جدول ۱ – مشخصات عمومی ماشین ساخته شده

مشخصات	مقدار
طول	۲۳۰ سانتی‌متر
عرض	۲۲۰ سانتی‌متر
ارتفاع	۱۴۰ سانتی‌متر
وزن	۱۰۴۰ کیلوگرم
نوع شیاربازکن	کفشکی
دامنه سرعت پیشروی	۱- ۰/۲۵ کیلومتر در ساعت
بازده مزرعه‌ای	۹۰ درصد
فاصله واحدهای‌کارنده	۱۷ سانتی‌متر
حجم تقریبی هر مخزن نشا	۱۰ دسی‌متر مکعب
موزع	چرخ و فلکی ۷ سلولی

1- Creep Gear

با توجه به فاصله کم واحدهای کارنده روی هر شاسی، صندلی‌های کاربران با آرایش خاصی روی ماشین تعبیه گردید تا فضای لازم برای نشاگذاری برای هر کاربر فراهم گردد. برای محاسبه شاخص‌های عملکردی ماشین، نشاکاری (ظرفیت مزرعه‌ای) در مزرعه‌ای به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع (۱۲/۵ ×۸۰ متر) اجرا شد. برای این منظور سرعت پیشروی واقعی، زمان‌های غیر مفید (زمان دور زدن، پر کردن مخزن نشا و رفع گیرهای احتمالی) و زمان مفید در کاشت با نشاکار در سه کرت به طول ۸۰ متر اندازه‌گیری شد.

راندمان مزرعه‌ای از نسبت زمان مفید به کل زمان صرف شده (زمان مفید + زمان غیر مفید) محاسبه گردید. در حین عملیات کاشت علاوه بر نیروی کارگری مستقر بر روی ماشین، نیروی کارگری لازم برای نشا رسانی به ماشین و ترمیم بوته‌های مستقر نشده نیز بر حسب کارگر- ساعت در هکتار محاسبه شد.



شکل ۳- نحوه قرارگیری چرخ‌های فشار مخروطی
(الف) شماتیک آرایش چرخ‌ها (دید از عقب)، (ب) زاویه افقی قرار گیری چرخ‌ها نسبت به یکدیگر (دید از بالا) و (ج) زاویه عمودی قرارگیری چرخ‌ها نسبت به یکدیگر (دید از عقب)

نتایج و بحث

در بررسی عملکرد واحد کارنده نمونه مشاهده گردید که نشاهای خارج شده از یک لوله سقوط عمودی، بسته به زوایه تمایل برخورد آن با زمین، به جلو و یا به عقب (در جهت پیشروی و یا خلاف جهت پیشروی) می‌خوابند. خوابیدگی نشا به طرفین به‌علت وجود دیواره شیاربازکن تقریبا ناممکن است. در این بررسی مشخص شد که نشاهایی که به‌سمت جلو می‌خوابند با پیشروی شیاربازکن

به‌سمت جلو، به‌طور کامل در کف شیار قرار می‌گیرند و خاکدهی چرخ های فشار آنها را در زیر خاک دفن می‌کند. اما نشاهای خوابیده به‌سمت عقب با فشرده شدن خاک طرفین شیار به‌وسیله چرخ فشار، برافراشته می‌شوند و به‌حالت عمودی قرار می‌گیرند.

نتایج چگونگی قرار گرفتن نشا در شیار کاشت در لوله‌های سقوط با انحناهای مختلف در جدول ۲ نشان می‌دهد که با افزایش انحنا (زاویه خروجی) لوله سقوط، قرارگیری نشاهای متمایل به جلو کاهش می‌یابد. افزایش زاویه خروجی از ۵ به ۱۰ درجه، تاثیری بر میزان قرارگیری نشاهای رو به جلو وجود ندارد ولی افزایش زاویه خروجی از ۱۰ به ۱۵ و ۲۰ درجه، اختلاف معنی‌داری در این شاخص ایجاد می‌کند. با این همه، در زاویه انحنای ۱۵ درجه باز هم ۲۸ درصد نشاها در شیار کاشت به‌سمت جلو قرار می‌گیرند. با افزایش انحنا از ۱۵ به ۲۰ و ۲۵ درجه، درصد نشاهای متمایل به جلو به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و به‌میزان ۲ درصد می‌رسد. اما بین زاویه خروجی ۲۰ و ۲۵ درجه، اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. از آنجا که افزایش انحنای لوله سبب افزایش طول لوله سقوط و در نتیجه افزایش طول واحد می‌شود. شعاع انحنای ۱۶۵ سانتی‌متر یا زاویه خروجی ۲۰ درجه به‌عنوان حداقل انحنای لازم انتخاب گردید.

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های درصد نشاهای متمایل به عقب و جلو در لوله‌های سقوط با انحناهای مختلف

شعاع انحنا (سانتی‌متر)	زاویه خروجی لوله سقوط نسبت به خط قائم (درجه)	چگونگی قرارگیری نشا در شیار	
		نشاهای متمایل به عقب (درصد)	نشاهای متمایل به جلو (درصد)
∞	صفر (عمود)	۲۲ d*	۸۸ d
۱۹۵	۵	۵۱ c	۴۹c
۱۸۵	۱۰	۵۹ c	۴۱ c
۱۷۵	۱۵	۷۲ b	۲۸ b
۱۶۵	۲۰	۹۸a	۲a
۱۵۵	۲۵	۹۸a	۲a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های درصد استقرار نشاها، درصد نشاهای دفن شده، درصد نشاهای رها شده، عمق کاشت و انحراف معیار عمق کاشت، در تیمارهای مختلف چرخ‌های فشار در جدول ۳ آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که بیشترین درصد استقرار نشا در تیمار چرخ‌های ۴۵ میلی‌متری همگرا مشاهده می‌شود (۹۱ درصد) که با اختلاف معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارهاست. مشاهدات مزرعه‌ای نشان داده است که همگرایی چرخ‌ها در قسمت عقب (زاویه طولی ۴ درجه) باعث بهبود جمع‌آوری خاک و فشردن آن به طرفین ردیف کاشت می‌شود. فشردن خاک در این حالت، با حرکت جزیی خاک به‌سمت جلو همراه است که این حرکت برافراشته شدن نشاهای متمایل به عقب را تضمین می‌کند. با این حال، این آرایش در زمانی که عرض چرخ‌ها ۵۵ میلی‌متر است محدودیت در فاصله ردیف‌های کاشت سبب نزدیک شدن بیش از حد دو چرخ در قسمت عقب (۳۵ میلی‌متر) می‌شود و گیر کردن خاک بین دو چرخ را به‌دنبال دارد. گیر کردن خاک بین دو چرخ در

مواردی به بالا آمدن خاک (در هنگام خروج چرخ از خاک) منجر می‌گردید که نتیجه آن رها شدن نزدیک به ۱۶ درصد نشاها بود.

فشرده شدن بیش از حد خاک در بین چرخ‌ها نیزدر مواردی باعث رانده شدن نشاها به‌سمت بالا و جلو و دفن ۱۸درصد نشاها شد. رانده شدن نشاها به‌سمت بالا در این تیمار همچنین باعث کاهش معنی‌دار عمق کاشت، نشاها در مقایسه با تیمارهای دیگر، شده است (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد در استفاده از چرخ‌های عریض‌تر، فاصله بین دو چرخ نیز باید به تناسب افزایش یابد، اما در خصوص این محصول با توجه به محدودیت در فاصله ردیف‌ها، دستیابی به فاصله مطلوب با چرخ‌های ۵۵ میلی‌متری ناممکن است. عریض‌تر بودن عرض چرخ به معنی بزرگتر بودن سطح جانبی مخروط و مزیت آن مرتفع شدن پشته‌های اطراف ردیف کاشت برای محصولاتی است که نیاز به عمق کاشت بیشتری دارند. مقایسه چرخ‌های ۴۵ میلی‌متری در دو حالت موازی و همگرا از نظر درصد نشاهای استقرار یافته نشان می‌دهد که در حالت موازی بودن، نشاهای استقرار یافته ۲۲ درصد نسبت به‌حالت همگرا کمتر است. درصد بالای نشاهای رها شده و دفن شده به این معناست که تلفات نشا و نیز نیروی کارگری برای ترمیم عملیات کاشت بالا می‌رود. نشاهایی که ساقه آنها به کلی دفن می‌شود، قابلیت سبز شدن ندارند و واکاری آنها نیز مقدور نیست. از این نظر چرخ‌های ۴۵ میلی‌متری با آرایش همگرا کمترین تلفات نشا (۲ درصد) را نیز به‌دنبال داشته است.

بررسی زاویه استقرار نشا نسبت به خط افق در تیمارهای مختلف در جدول ۳ نشان می‌دهد که قابلیت برافراشته کردن نشاها در چرخ‌های همگرا بیشتر است تا در چرخ‌های موازی. پیشتر گفته شد که نشاها در زمان خروج از لوله سقوط و قرار گرفتن در شیار، با زاویه کمی (۱۵-۸ درجه) به‌سمت عقب می‌خوابند که ریشه نشا در عمیق‌ترین محل شیار (در بین دیواره‌های شیار بازکن) و ساقه نشا، عقب‌تر روی قسمتی از شیار قرار می‌گیرد که با عبور شیاربازکن در اثر ریزش خاک نیمه‌پر شده است. نشاهای خوابیده سپس بر اثر فشار اعمال شده از طرف چرخ‌های فشار به خاک اطراف آنها برافراشته می‌شوند. زاویه‌های عمودی و افقی چرخ‌های همگرا به گونه‌ای طراحی شده است که جریان خاک به‌سمت جلو و بالا، نشاها را تا نزدیک به حالت عمودی (۸۵ درجه) برافراشته کند. در مورد چرخ‌های همگرای ۵۵ میلی‌متری، به‌علت کوچک بودن فاصله بین چرخ‌ها و کشیده شدن بیش از حد خاک به‌سمت جلو، نشاها پس از برافراشته شدن کامل، تا حدی نیز به‌سمت جلو متمایل می‌گردند (زاویه ۱۲۵ درجه) و در مواردی نیز به خوابیده شدن کامل نشا به‌سمت جلو و دفن شدن آن می‌انجامد. متوسط زاویه استقرار نشاها در چرخ‌های موازی نیز نشانگر آن است که فشار به خاک از طرف چرخ‌ها، نشاها را به‌شکل مطلوب برافراشته نکرده است و زاویه استقرار آنها نزدیک به‌حالت خوابیده روی زمین است. در نتیجه، درصد نشاهای مدفون به‌مقدار معنی‌داری بیشتر از درصد نشاهایی است که با به‌کارگیری چرخ‌های همگرا دفن شده‌اند.

بنابراین، چرخ‌های فشار همگرا به عرض ۴۵ میلی‌متر مناسب‌ترین ترکیب برای خاک‌دهی و استقرار گیاه انتخاب گردید و واحد نشاکار از ترکیب این چرخ های فشار و لوله سقوط با انحنای ۱۶۵ سانتی‌متری ساخته شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین شاخص‌های عملکردی در چرخ‌های فشار مورد آزمون

عرض چرخ (میلی‌متر)	زاویه طولی چرخ‌ها (درجه)	کمترین فاصله بین دو چرخ (میلی‌متر)	استقرار نشاء (درصد)	نشاهای مدفون شده (درصد)	نشاهای رها شده (درصد)	زاویه استقرار نشاها نسبت به خط افق (درجه)	متوسط عمق کاشت نشا (سانتی‌متر)	انحراف معیار عمق کاشت
۵۵	صفر	۵۵	۶۷bc *	۱۳b	۱۸a	۲۵c	۷/۸a	۱/۲
	۴	۳۵	۶۳ c	۱۸a	۱۶a	۱۲۵a	۵/۵b	۱/۷
۴۵	صفر	۵۵	۶۹b	۱۱ b	۱۷a	۲۱c	۷/۶a	۱/۴
	۴	۵۵	۹۱a	۲ c	۴b	۸۵b	۷/۲a	۱/۲

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج ارزیابی شاخص‌های عملکردی ماشین نشاکار (شامل ۹ واحد کارنده) نشان می‌دهد که این ماشین، قابلیت آن را دارد که واحدهای کارنده تا حد ۱۷ سانتی‌متر به یکدیگر نزدیک شوند بی‌آنکه استقرار نشاهای واحدهای جلوی بر هم زده شود. بدین معنی که واحدهای کارنده روی هر شاسی با فاصله ۳۴ سانتی‌متر از یکدیگر قرار می‌گیرند. در این آرایش، امکان نشستن روی صندلی و نشاگذاری (به‌دست کارگران نشاگذار) نیز به‌راحتی فراهم است. عرض کار ماشین نیز به گونه‌ای است که امکان پوشش دادن فاصله مرکز تا مرکز چرخ های تراکتور (چرخ های باریک) میسر خواهد بود (شکل ۴).

نتایج اندازه‌گیری سرعت پیشروی واقعی تراکتور نشان می‌دهد که برای حفظ فاصله نشاها (در حدود ۷ سانتی‌متر) و اطمینان از نشاگذاری در همه سلول‌های موزع توسط کاربران مختلف، تراکتور باید به‌طور متوسط با سرعت ۰/۰۷۶ متر بر ثانیه (۰/۲۷ کیلومتر بر ساعت) حرکت کند. این سرعت در محدوده سرعت سامانه خزشی طراحی شده برای تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ در دور موتور ۱۵۰۰ (دور در دقیقه) قرار می‌گیرد. متوسط زمان مفید کاشت در طول ۸۰ متر (برابر طول مزارع کشاورزان پیازکار)، ۱۹ دقیقه و متوسط زمان غیر مفید ۲ دقیقه است. بر این اساس، راندمان مزرعه‌ای ماشین حدود ۹۰ درصد محاسبه می‌شود. ظرفیت مزرعه‌ای ماشین با توجه به شاخص‌های تعیین شده (راندمان مزرعه‌ای، سرعت واقعی کاشت و عرض کار ماشین) در ۸ ساعت کار روزانه ۳۰۱۳ متر مربع (۰/۰۳۸ هکتار در ساعت) است که ۹ کارگر نشاگذار انجام می‌دهند. علاوه بر این، زمان‌سنجی‌ها نشان می‌دهد که در حین نشاکاری به ازای ۱۰۰۰ متر مربع تقریبا ۳ کارگر- ساعت برای ترمیم نشاهای رها شده و ۲ کارگر- ساعت برای دسته‌بندی و نشارسانی به ماشین نیاز است. بدین ترتیب جمعا ۱۵ کارگر- ساعت برابر تقریبا ۲ کارگر- روز برای ۳۰۰۰ متر مربع (برابر ظرفیت روزانه ماشین) باید در نظر گرفت. این زمان‌سنجی نشان می‌دهد که با ۱۱ کارگر- روز می‌توان ۳۰۰۰ متر مربع را با ماشین نشاکاری کرد. در روش نشاکاری با دست حدود ۳۰ کارگر- روز (بر اساس اندازه‌گیرهای منطقه‌ای) مورد نیاز است تا ۳۰۰۰ متر مربع زمین نشاکاری شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از این ماشین ۶۳ درصد در نیروی کارگری مورد نیاز صرفه‌جویی خواهد شد.

شکل ٤- ماشین نشاکار ۹ ردیفه در حین نشاکاری

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که با انتخاب شکل مناسب لوله سقوط (زاویه انحنای لوله) و نیز انتخاب مناسب اندازه و زاویه بهینه چرخ‌های فشار می‌توان عرض واحد کارنده را تا حد لازم برای نزدیک کردن فاصله ردیف‌های کاشت (تا ۱۷ سانتی متر) کاهش داد. همچنین، استفاده از روش ثقلی برای انتقال نشا از لوله سقوط به‌درون شیار کاشت، امکان کاهش فاصله بین بوته‌ای را تا ۷ سانتی‌متر روی ردیف‌های کاشت فراهم می‌کند. این دو عامل می‌تواند تراکم ۷۰۰ تا ۸۰۰ هزار بوته در هکتار را امکان‌پذیر سازد. با توجه به ظرفیت موثر مزرعه‌ای این ماشین، استفاده از آن در کاشت نشای ریشه لخت پیاز سبب می‌شود ۶۳ درصد از نیروی کارگری مورد نیاز در مقایسه با روش دستی، کاهش یابد. علاوه بر کاهش نیروی کارگری، بهبود شرایط کار کارگران از مزایای دیگر استفاده از ماشین خواهد بود. امکان استفاده از سایه‌بان روی ماشین و استفاده از صندلی‌های ارگونومیک، شرایط سخت کار در آفتاب و نشستن روی پا را، که در روش کاشت دستی گریزناپذیر است، بهبود می‌بخشد.

مراجع

Anon, 2010. Evaluation of a Gripper Type Transplanter in Bare-Root Seedlings of Onion. Technical Report. Esfahan Agriculture Organization. (in Farsi)

Anon, 2013a. Ferrari Costruzioni Meccaniche Products Catalogue. Available at: http://www. ferraricostruzioni.com

Anon. 2013b. Oral Communication with Local Producer of Onion Seedlings. (in Farsi)

Beranacki, H., Haman, J. and Kanafojski, G. 1967. Agricultural Machines Theory and Construction. Washington. PWRIL. Warszawa.

Ghahramanian, G. 1998. Development of an onion transplanter. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Shiraz University. Shiraz. Iran. (in Farsi)

Hoseini, M. 2006. Evalution of a cell type transplanter. M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. Shiraz University. Shiraz. Iran. (in Farsi)

Robb, J. G., Smith, J. A., Wilson, R. G. and Yonts, C. D. 1994. Paper-pot transplanting system overview and potential for vegetable production. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 4(2): 166-171.

Suggs, C. W., Eddington D. L., Seaboch, T. R. and Peel, H. B. 1989. Automatic Feeding Transplanter. American Society of Agricultural Engineers.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.15/No.3/2014/P:67-80*

Development of Semi-Automatic Transplanter for Dense Planting of Bare-Root Onion Seedlings

O. Taki* and A. Asadi

*Corresponding Author: Assistant Professor, Agriculture Engineering Research Department, Esfahan Agricultural and Natural Resources Educational and Research Center, P.O. Box: 81785-199, Esfahan, Iran. E-Mail: orangtaki@yahoo.com
Received: 30 November 2013, Accepted: 9 August 2014

Transplanting bare-root onion seedlings is currently conducted manually under difficult conditions and requires 100 to 110 workers to plant 700-800 thousand stands per ha. The present study developed and evaluated a semi-automatic transplanter that meets the demands of farmers for a densely populated field. Each planter features a carrousel with cells that are manually fed by a worker. The carrousel then rotates to deliver seedlings one-by-one into a drop tube, where gravimetric force guides them into a groove by made by a trencher. The seedlings are established by press wheels which gather the soil around their roots. The curvature of the drop tube and angle of the press wheel were evaluated and the best options were selected based on the establishment of the bare-root seedlings and the ability to keep planter width to a minimum. The transplanter consisted of nine planter units installed on two parallel toolbars. The machine was tested on a 1000 m^2 field and it was found that the planting rows can be set as closely as 17 cm apart without disturbing the planted seedlings of the front row. This allows the spacing between adjacent units on each toolbar to be 34 cm, which is sufficient for the operators to sit next to each other. This arrangement established a stand at 90% field capacity for 3000 m^2 working for 8 h at a travel speed of 0.25 km/h. The operation required nine laborers to work the machine, one to fill the seedling boxes and one to replant the missed sections of rows. The transplanter was able to do the work of 11 manual worker days for a 3000 m^2 area at the same stand density as that obtained manually while saving 63% in labor.

Keywords: Gravimetric Distributer, Onion Mechanization, Transplanting