

مقاله علمی - پژوهشی

طراحی، ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی یک واحد کارنده مالچ زنده

مجید داودی^۱، سعید مینایی^{۲*} و احمد شریفی مالواجردی^۳

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد؛ و استاد مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۲۴

چکیده

پژوهش حاضر شامل طراحی، ساخت، و ارزیابی یک واحد کارنده مالچ زنده است. در این مطالعه در راستای کشاورزی پایدار و به منظور رفع مشکلات استفاده از ماشین‌های کشاورزی در انجام عملیات کاشت مالچ زنده، یک واحد کارنده به صورت نمونه اولیه طراحی و ساخته شد تا با به کارگیری اصول صحیح در فرایند کاشت مخلوط، گیاه پوششی را در شیپارهای بین ردیف‌های گیاه اصلی بکارد. در این کارنده از موتور الکتریکی و صفحه سقوط برای انتقال بذر از موزع به زمین بهره‌گیری شد. نتیجه این تحقیق، یک نمونه اولیه از کارنده‌ای است که با قابلیت کاشت ۱۹/۶ تا ۱۶۳/۲ گرم در دقیقه می‌تواند مالچ زنده ماشک گل‌خوشه‌ای را با تلرانس اندکی (±۵٪) در تمام عرض شیپار ۷۵ سانتی‌متری بکارد. آزمایش‌های کارگاهی به منظور ارزیابی عملکرد دستگاه در شرایط شبیه‌سازی شده صورت گرفت. آزمون کارگاهی کارنده بر پایه استاندارد ASAE S341.2 DEC92، برای ارزیابی توزیع عرضی بذر و توزیع طولی بذر و در قالب طرح‌های فاکتوریل کامل تصادفی اجرا شد. نتایج ارزیابی اولیه کارنده نشان داد که با تغییر سرعت دورانی موزع، قسمت‌های مختلف روی صفحه سقوط از نظر تحویل حجم بذر با هم تفاوت معنی‌داری دارند. موقعیت‌های مختلف صفحه از نظر شکستگی بذرها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. افزایش سرعت دورانی محور موزع از ۲۰ به ۲۵ دور در دقیقه منجر به افزایش معنی‌دار میزان شکستگی بذرها شد. با افزایش سرعت دورانی محور موزع، ضریب نایک‌واختی همه خروجی‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی

کاشت، موتور DC، موزع، مدولاسیون عرض پالس

مقدمه

مدیریت و کنترل علف‌های هرز و جایگزینی مناسب برای علف‌کش‌ها مطرح شده است. مالچ زنده عبارت است از گیاهی پوششی^۲ که به صورت مخلوط یا در حاشیه ردیف‌های گیاه زراعی اصلی به منظور توقف رشد علف‌های هرز، کاهش فرسایش خاک، کاهش

در چند دهه اخیر، بر به کارگیری روش‌های کشاورزی پایدار بسیار تاکید شده است. کاهش استفاده از سموم و علف‌کش‌ها یکی از هدف‌های کشاورزی پایدار است. در این زمینه، کاشت مالچ زنده^۱ به عنوان راهکاری مناسب و جدید برای

<http://doi: 10.22092/AMSR.2021.353515.1378>

Email: minae@modares.ac.ir

*نگارنده مسئول:

1- Cover Crop

2- Living Mulch

هرز ذرت دانه‌ای را در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب به میزان ۹۶ و ۸۵ درصد کاهش دهد (Hoffman *et al.*, 1993).

بررسی وضعیت موجود نشان می‌دهد که متاسفانه یکی از مشکلات عمده کاشت مالچ زنده، استفاده نشدن از ماشین‌های مناسب برای عملیات کاشت دو یا چند گیاه به صورت هم‌زمان یا بین ردیف‌های محصول اصلی است. برای کاشت مالچ زنده می‌توان از کارنده‌های مخصوصی استفاده کرد که کارنده بین ردیفی^۲ نامیده می‌شوند. طراحی این کارنده‌ها به نحوی است که برای کاشت گیاه پوششی از مرحله ۵ یا ۶ برگی (زمان کوددهی و خاک‌دهی پای بوته) تا پیش از زمان برداشت گیاه اصلی (ذرت یا سویا) بتوان از آنها استفاده کرد. کارنده‌های بین ردیفی در واقع خطی کارهای با شاسی بلند هستند که قابلیت کاشت ۲ یا ۳ ردیف گیاه پوششی به فاصله‌های ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری در میان ردیف‌های ۷۰ تا ۷۵ سانتی‌متری گیاه اصلی را دارند. این کارنده‌ها، افزون بر کاشت گیاه پوششی، قادر به اجرای یکی از عملیات کوددهی یا خاک‌دهی پای بوته نیز هستند (Curran *et al.*, 2015).

هزینه اولیه بسیار بالای این کارنده‌ها و طراحی آنها برای زمین‌های با آبیاری بارانی سبب شده است تا کشاورزان تمایل چندانی برای به کارگیری آنها نداشته باشند. اگر شرایطی فراهم شود که ماشین‌های کاشت ارزان قیمت برای ارقام گیاهی ویژه کاشت مالچ زنده فراهم شود، طولی نخواهد کشید که این روش جایگاه حقیقی و مناسب خود را در تولیدات کشاورزی، مشابه روش کاشت خالص، به دست خواهد آورد. بنابراین، لازم است کارنده‌ای دقیق که بتواند با به کارگیری اصول صحیح، گیاه پوششی را در میان ردیف‌های گیاه

رواناب، افزایش حاصلخیزی و تعدیل دمای خاک کشت می‌شود (Martin *et al.*, 1999).

کاشت مالچ زنده منجر به حفاظت خاک از فرسایش آبی و بادی (Baets *et al.*, 2011)، جذب، بازتولید و توزیع مجدد مواد مغذی، به ویژه نیترات‌ها و افزایش ماده آلی خاک (Ding *et al.*, 2006) کاهش آبشویی علف‌کش‌ها (Potter *et al.*, 2007)، فراهم کردن زیستگاهی برای حشرات مفید (Tillman *et al.*, 2004)، سرکوب علف‌های هرز و گیاهان ناخواسته و امکان افزایش عملکرد محصولات بعدی می‌شود (Blanco-Canqui, 2012).

ذرت از جمله گیاهانی است که درباره تأثیر مالچ زنده بر عملکرد آن پژوهش‌های بسیاری شده است. عملکرد ذرت سیلویی در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک کشور، به دلیل پایین بودن مقدار مواد آلی خاک و کمبود نیتروژن، معمولاً پایین است. این مشکل باید با استفاده از کودهای نیتروژنی برطرف شود ولی متأسفانه این کودها به صورت مؤثر استفاده نمی‌شوند و کارایی آنها پایین است (Aladesanwa & Adigun, 2008). همکاران (Bakhtiari Moghadam *et al.*, 2011) در مطالعات خود نشان دادند که مالچ زنده از طریق کنترل علف‌های هرز و بهبود نیتروژن خاک موجب افزایش عملکرد ذرت می‌شود. بغدادی و همکاران (Baghdadi *et al.*, 2017) با بررسی برهم‌کنش مالچ زنده ماشک گل‌خوشه‌ای^۱ و کود نیتروژنی بر عملکرد دانه و علوفه ذرت گزارش دادند که اثر زمان کاشت مالچ زنده و کود نیتروژنی بر عملکرد دانه ذرت معنی‌دار است و بهترین زمان برای کاشت ماشک گل‌خوشه‌ای در مرحله ۲ تا ۴ برگی ذرت است.

طبق گزارش پژوهشگران، مالچ زنده ماشک گل‌خوشه‌ای می‌تواند زیست توده علف‌های

1- Viciavillosa

2- Inter-Seeder

و به کمک مدولاسیون عرض پالس (PWM^۱) قابل تنظیم تامین شود. از آنجا که تمام تراکتورهای امروزی دارای منبع برق هستند، تامین منبع تغذیه آن به راحتی امکان پذیر خواهد بود.

۲- برای پوشش تمامی عرض شیار بین ردیف‌های گیاه اصلی، به جای چندین لوله سقوط، از صفحه مورب قابل تنظیم در زیر موزع (صفحه سقوط) استفاده شود.

۳- شاسی کارنده به صورتی طراحی شود که افزون بر امکان اتصال به صورت مستقل به تراکتور، بتواند به راحتی روی هر ماشین دیگری سوار شود.

۴- برای انتقال بذر از مخزن به صفحه سقوط از مجموعه‌ای موزع شامل چند غلتک شیاردار استفاده شود.

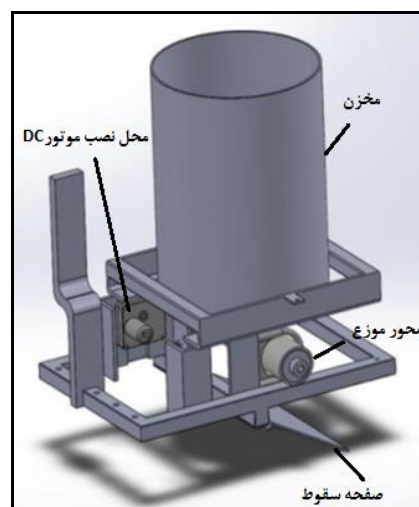
اساس این طراحی بر پایه گنجاندن محدودیت‌های پروژه در قالب کارنده‌های فعال موجود نهاده شد و نمونه اولیه کارنده (شکل ۱) و مجموعه موزع (شکل ۲) در نرم‌افزار Solidworks مدل‌سازی و پس از آن محاسبات دقیق پی گرفته شد.

اصلی بکارد، با هزینه مناسب طراحی شود تا خرید و استفاده از آن برای کشاورزان ممکن شود. از این رو تلاش می‌شود تا با طراحی، ساخت و ارزیابی یک واحد کارنده مالچ زنده گامی موثر برای رفع نیاز ماشینی و گسترش علوم مرتبط به زراعت گیاهان استراتژیک و حفاظت از منابع آبی و خاکی کشور برداشته شود.

مواد و روش‌ها

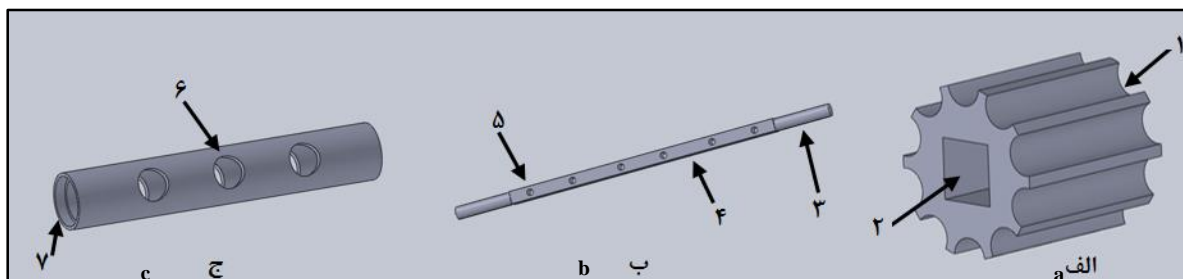
هدف اصلی این تحقیق، عبارت است از طراحی، ساخت و ارزیابی کارنده‌ای ساده، کم حجم و قابل اعتماد که بتواند راه‌حل موثری برای کاشت مالچ زنده (در این تحقیق ماشک گل خوشه‌ای) درون شیارهای بین ردیف‌های گیاه اصلی (ذرت) ارائه دهد. برای تامین هدف‌های ذکر شده و پس از مطالعه مکانیزم‌های به کار رفته در کارنده‌های موجود و بررسی تحقیقات پیشین در زمینه مشابه، این نتیجه حاصل آمد که واحد کارنده مالچ زنده دارای چهار ویژگی زیر باشد:

۱- توان برای موزع آن از طریق موتور الکتریکی DC



شکل ۱- طراحی اولیه کارنده مالچ زنده

Fig. 1 - Initial design of a live mulch planter



شکل ۲- قطعات داخلی مجموعه موزع

الف) غلتک موزع (۱- شیار غلتک، ۲- سوراخ چهار گوش مرکز غلتک)، ب) محور موزع (۳- قسمت انتهایی محور با سطح مقطع دایره‌ای برای نصب در داخل بلبرینگ، ۴- قسمت میانی محور با سطح مقطع مربعی، ۵- سوراخ‌های مهار کردن دو طرف غلتک) و ج) پوسته بیرونی مجموعه موزع (۶- سوراخ‌های رابط بین غلتک با مخزن و صفحه سقوط، ۷- محل نصب بلبرینگ)

Fig. 2- Internal parts of the seed meter set

a) Seed meter roller (1- Roller groove, 2- Square hole of roller center), b) Seed meter axis (3- The end part of the axis with a circular cross-section for installation inside the bearing, 4- The middle part of the axis with a square cross-section, 5- The restraining holes on both sides of the roller) and C) The outer shell of the seed meter set (6- The holes between the roller with the hopper and the fall plate, 7- The place of bearing installation)

اگر موتور الکتریکی با سرعت ۲۰ دور در دقیقه معادل ۰/۳۳ دور در ثانیه به کار گرفته شود، با فرض حالت یک به یک از موتور به محور موزع خواهیم داشت:

$$\text{زمان لازم برای یک دور کامل موزع} = \frac{1}{0.33} = 3 \text{ s} \quad (2)$$

از رابطه‌های ۱ و ۲ می‌توان نتیجه گرفت که محور موزع در هر متر مربع پیشروی، ۰/۳۷ دور خواهد زد.

$$\text{تعداد دوران محور موزع در متر مربع پیشروی} = \frac{1.11}{3} = 0.37 \quad (3)$$

از آنجا که بهترین تراکم کاشت ماشک گل خوشه‌ای، ۴۰ بوته در هر متر مربع است (Bakhtiari Moghadam *et al.*, 2011)، تعداد بوته عبارت خواهد بود از:

$$\text{تعداد بوته مورد نیاز در هر دور محور موزع} = \frac{40}{0.37} \approx 108 \quad (4)$$

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌های مربوط به نحوه پراکنش عرضی بذر از صفحه سقوط، تصمیم گرفته شد که مکانیزم موزع شامل سه غلتک

برای دنبال کردن محاسبات دقیق، ویژگی‌های فیزیکی بذر ماشک گل خوشه‌ای (ابعاد، کرویت، وزن هزار دانه، ضریب اصطکاک استاتیکی و زاویه پشته تخلیه) اندازه‌گیری شد. سنجش ویژگی‌های فیزیکی، روی نمونه‌ای اجرا شد که از مرکز تحقیقات کرج دریافت شده بود.

پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ویژگی‌های فیزیکی بذر ماشک گل خوشه‌ای و با در دست داشتن اطلاعاتی مانند سرعت پیشروی ردیف کار ذرت و عرض نوار کاشت آن، بهترین تراکم بوته ماشک گل خوشه‌ای (تعداد بوته در هر متر مربع)، تعداد موزع مورد نیاز به شرح زیر محاسبه و مجموعه موزع طراحی شد (شکل ۲):

برای کاشت هر متر مربع از ماشک گل خوشه‌ای باید مسافتی برابر با ۱/۵۴ متر طی شود. از آنجا که سرعت پیشروی مناسب برای کاشت ذرت ۵ کیلومتر در ساعت معادل ۱/۳۹ متر در ثانیه است، خواهیم داشت:

$$\text{زمان لازم برای پوشش یک متر مربع} = \frac{1.54}{1.39} = 1.11 \text{ s} \quad (1)$$

"ویژگی‌های اتصال سه نقطه در تراکتورهای کشاورزی جهت اتصال ادوات و ماشین‌های سوار شونده - نوع ۱، ۲ و ۳" و استاندارد ملی شماره ۲۵۵۹ با عنوان "ویژگی‌های اتصال سه نقطه در تراکتورهای چرخ لاستیکی کشاورزی جهت اتصال ادوات سوار شونده - تیپ ۱" استفاده شد.

بعد از محاسبات و طراحی لازم، عملیات ساخت کارنده آغاز شد. برای ساخت شاسی اصلی این کارنده، قوطی فولادی (HSS) ۲۰ × ۲۰ با ضخامت ۳ میلی‌متر به کار برده شد. در ساخت مالبنده و نقاط اتصال کارنده به سایر ادوات کشاورزی، از یک اتصال کرپی مربوط به ردیف‌کار جان‌دیر و برای اتصال به تراکتور از گوشواره‌های اتصال مخصوص تراکتور G238 بهره‌گیری شد، تا این کارنده هم قابلیت اتصال با کرپی و هم قابلیت اتصال به بازوهای تراکتور را داشته باشد. برای مهار مخزن، از دو پیچ متری ۴۰ سانتی‌متری به قطر ۸ میلی‌متر و یک تسمه فلزی به طول ۳۳ سانتی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر استفاده گردید. دو انتهای تسمه، دو سوراخ به قطر ۹ میلی‌متر زده شد (شکل ۳). سه لوله یک دوم اینچی از سمت سوراخ‌های مخزن به سمت سوراخ‌های لوله موزع و برای ارتباط این دو جا زده شد. به منظور نصب این سه لوله تغذیه، از چسب آکوارיום برای کسب اطمینان از درزبندی مجموعه استفاده شد.

در ساخت صفحه سقوط، ورق فولادی به ضخامت ۴ میلی‌متر و در ابعاد ۳۳ در ۲۰ سانتی‌متر به کار گرفته شد. صفحه سقوط از یک سمت با دو عدد لولا به شاسی اصلی جوش داده شد. به طرف دیگر صفحه دو عدد پیچ قلاب‌دار جوش داده شد. قلاب‌ها برای اتصال زنجیر به منظور مهار کردن صفحه در زاویه دلخواه تعبیه گردید. زنجیر پوشاننده

شیاردار باشد. در هر شیار غلتک باید حداقل سه بذر هم‌زمان و در راستای طولی قرار بگیرد. در نتیجه تعداد شیار روی هر غلتک موزع برابر خواهد بود با:

$$(5) \quad 12 = \frac{108}{3 \times 3} = \text{تعداد شیارهای غلتک موزع}$$

عرض هر شیار باید به گونه‌ای باشد که یک بذر به راحتی در آن قرار گیرد ولی دو بذر نتوانند هم‌زمان در عرض شیار قرار گیرند. از آنجا که قطر میانگین دانه‌های ماشک گل خوشه‌ای در دامنه ۳/۴۶ تا ۴/۳۸ میلی‌متر است، عرض هر شیار ۵/۵ میلی‌متر و بین دو شیار متوالی ۱/۷ میلی‌متر دیواره در نظر گرفته شد. بر مبنای فرض‌های فوق، محیط و قطر هر غلتک موزع به ترتیب زیر محاسبه گردید:

$$(6) \quad 86.4 \text{mm} = (12 \times 5.5) + (12 \times 1.7) = \text{محیط غلتک موزع}$$

$$(7) \quad 27.5 \text{mm} = \frac{86.4}{\pi} = \text{قطر غلتک موزع}$$

برای طراحی مخزن بذر، زاویه شیب کف مخزن با استفاده از رابطه ۸ محاسبه شد (Stepanoff, 1969):

$$(8) \quad \alpha > 45 + \frac{\phi}{2}$$

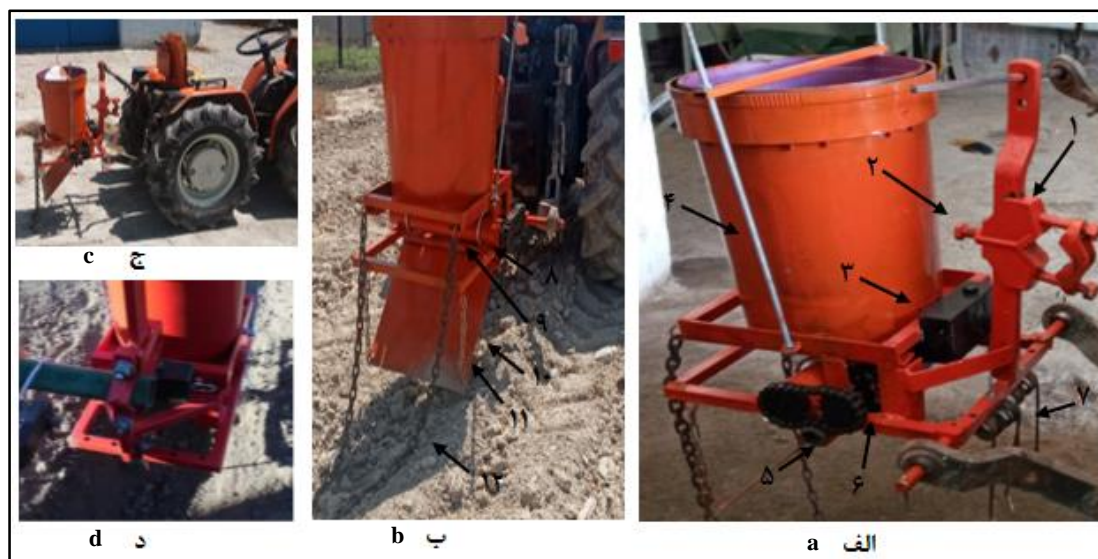
که در آن،

α = زاویه شیب کف مخزن؛ و ϕ = زاویه استقرار مواد روی یکدیگر. با توجه به اینکه زاویه استقرار بذر گیاه پوششی ماشک گل خوشه‌ای در آزمایشی جداگانه، ۱۰/۸۵ درجه محاسبه شده بود، مخزن با زاویه شیب ۵۰/۴۲ درجه طراحی شد. در کف مخزن سه خروجی یک دوم اینچی تعبیه گردید.

برای استخراج ابعاد و اندازه‌های اتصال سه نقطه کارنده، از استاندارد ملی شماره ۲۵۵۸ با عنوان

منبع توان با استفاده از داده‌های نرم‌افزار Motor Sizing انتخاب شد. در این نرم‌افزار با توجه به داده‌های ورودی (جرم محور (چگالی و حجم)، سرعت مورد نیاز، زاویه دوران و مشخصات سیستم انتقال توان)، گشتاور و توان مورد نیاز موتور الکتریکی به ترتیب ۸/۳۳ نیوتن متر و ۴۰ وات محاسبه گردید. کنترل کننده PWM مورد نیاز برای این کارنده با ولتاژ کاری ۱۲ ولت و آمپراژ کاری ۳ تا ۱۰ آمپر ساخته و در محفظه‌ای پلاستیکی قرار داده شد. قطعات طراحی شده پس از ساخت روی شاسی مونتاژ گردید.

بذر نیز با دو عدد پیچ فلاپدار به شاسی متصل شد. برای ساخت پوسته بیرونی مجموعه موزع از لوله ۵ لایه PVC سفید به شماره ۴ استفاده شد. قطر خارجی این لوله ۴۰ میلی‌متر و قطر داخلی آن ۲۶/۶ میلی‌متر است. در ساخت محور موزع، شفت مربعی ۱۰ میلی‌متری به کار گرفته شد. دو انتهای شفت به منظور نصب بلبرینگ و چرخ زنجیر متحرک، به صورت دایره‌ای تراشکاری گردید. برای ساخت غلتک موزع از پرینتر سه بعدی استفاده شد. محل‌های مشخص شده به عنوان ورودی و خروجی روی لوله PVC سوراخ شد.



شکل ۳- کارنده مالچ زنده و اجزای آن

الف) واحد کارنده از نمای کنار (۱- کربی مخصوص، ۲- پیچ تنظیم کشویی کربی، ۳- کنترل کننده PWM، ۴- پیچ مهار مخزن، ۵- تنظیم کننده کشش زنجیر، ۶- موتور DC، ۷- هرس فنری)، ب- کارنده مالچ زنده از نمای پشت (۸- پیچ U مهار موزع، ۹- موزع، ۱۰- صفحه سقوط، ۱۱- زنجیر مهار و تنظیم صفحه سقوط، ۱۲- زنجیر پوشاننده)، ج) اتصال کارنده به تراکتور و د- اتصال کارنده به تیرافزار ردیف کار مکانیکی

Fig. 3- Live mulch planter and its components

a) Planter unit from the side view (1- Special crepe, 2- Crepe sliding adjusting screw, 3- PWM controller, 4- hopper restraint screw, - Spring harrow), b) Live mulch planter from rear view (8- U-screw restraint, 9- seed V5- Chain tension adjuster, 6- DC motor, meter, 10- fall plate, 11- restraint and adjustment chains of fall plate, 12- cover chains), c) Connection of the planter to the tractor and d) Connection of the planter to the mechanical row crop planter

کردن کارنده بود. این آزمایش با هدف تعیین میزان خروج بذر در سرعت‌های مختلف تنظیم شده توسط کنترل کننده PWM بر حسب گرم بر دقیقه و رسم

آزمون و ارزیابی

کارنده پس از تکمیل شدن در دو مرحله آزمایش و ارزیابی شد. مرحله اول شامل کالیبره

چرخاندن پیچ تنظیم PWM می‌تواند تعداد نامحدود سرعت ایجاد کند، روی محفظه کنترل آن، همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، به منظور مشخص کردن سرعت‌های مد نظر نشانه‌گذاری شد. با چرخاندن پیچ تنظیم و درست در نقطه‌ای که محور موزع شروع به حرکت کرد به عنوان نقطه مبنا نشانه‌گذاری شد. سپس هشت نقطه با فاصله‌های تقریباً ۶ میلی‌متری از یکدیگر در اطراف پیچ تنظیم نشانه‌گذاری شد.



شکل ۴- علامت‌گذاری انجام شده در اطراف ولوم کنترل‌کننده PWM
Fig. 4- Marking done around the PWM controller volume

نمودار مربوط صورت پذیرفت. مرحله دوم شامل آزمایش‌های کارگاهی برای کسب اطمینان از یکنواختی توزیع بذر پس از برخورد به صفحه سقوط کارنده بود. به منظور کالیبره کردن، کارنده در محل مربوط قرار داده شد و برای جلوگیری از حرکت در حین آزمایش، مهار شد. توان الکتریکی مورد نیاز با یک شارژر باتری کارگاهی ۱۲ ولت و جریان ۲ آمپر ساعت به عنوان منبع تغذیه تامین و مخزن با بذر ماشک گل‌خوشه‌ای پر شد. با توجه به اینکه

زمانی کوتاه متوالی) مهم خواهد بود. بنابراین، در این بخش از تحقیق موارد زیر ارزیابی شدند.

۱- یکنواختی ریزش بذر از قسمت‌های مختلف صفحه سقوط

برای بررسی یکنواختی توزیع بذر پس از برخورد به صفحه سقوط، ابتدا کارنده در دو جهت طولی و عرضی تراز گردید تا اطمینان حاصل شود نتایج به دست آمده مربوط به صفحه سقوط، میزان تغذیه و ... مستقل از شیب دستگاه هستند. برای اجرای این آزمایش، صفحه سقوط با زاویه ۳۵ درجه تنظیم و با زنجیر مربوط در این موقعیت مهار شد. برای تعیین نحوه توزیع بذر پس از برخورد با صفحه سقوط، از یک جعبه مقوایی به منظور جمع‌آوری بذرهای ریخته شده (شکل ۵) استفاده شد. دهانه

پس از نشانه‌گذاری پیچ تنظیم، میزان خروج بذر در مدت یک دقیقه در سرعت‌های مختلف تعیین شد. برای این منظور کل بذر خروجی از موزع در هر نشانه مشخص شده روی تنظیم‌کننده PWM پس از یک دقیقه جمع‌آوری و وزن شد. با این کار، میزان خروج بذر بر حسب گرم در دقیقه در ۹ سرعت مختلف به دست آمد. این آزمایش در سه نوبت تکرار شد.

آزمون کارگاهی کارنده بر اساس استاندارد ASAE S341.2 DEC92 برای ارزیابی خطی کارها دنبال شد (Anon, 1993). بر پایه این استاندارد در ارزیابی خطی کارها برای بذرکاری، توزیع عرضی بذر (میزان بذرکاری توسط خروجی‌های متوالی) و توزیع طولی بذر (توزیع خروجی بذر از موزع در بازه‌های

فاصله های سه سانتی‌متری نشانه‌گذاری شد. نشانه‌گذاری از یک انتهای صفحه سقوط صورت گرفت تا در مراحل مختلف این آزمون دهانه باز جعبه دقیقاً زیر فاصله‌های نشانه‌گذاری شده روی صفحه سقوط قرار بگیرد.

این جعبه به نحوی ثابت گردید که به اندازه سه سانتی‌متر باز باشد. دو لبه جعبه با زاویه‌ای قرار گرفتند که اطمینان حاصل شود بذر ریخته شده به درون جعبه در هر دامنه از صفحه سقوط مربوط به همان دامنه است. سپس روی صفحه سقوط به



شکل ۵- جعبه جمع‌آوری و نشانه‌های روی صفحه سقوط
Fig. 5- Collection box and signs on the fall screen

سقوط در ۵ سطح. نمونه‌برداری‌ها در سه تکرار. برای جمع‌آوری بذره‌های ریخته شده از صفحه سقوط به منظور بررسی یکنواختی توزیع بذر در بازه‌های کوتاه زمانی از هر قسمت صفحه سقوط، سه شانه خالی تخم‌مرغ به فاصله یک متر از یکدیگر و در مسیر مستقیم روی زمین قرار داده شد. در هر تکرار از آزمایش، تراکتور با سرعت ثابت ۵ کیلومتر در ساعت از روی شانه‌ها عبور داده شد. با جمع‌آوری بذره‌های ریخته شده در خانه‌های شانه تخم‌مرغ، داده‌برداری صورت گرفت. به منظور جلوگیری از تغییر وضعیت بذرها پس از سقوط در هر خانه، درون خانه‌ها پنبه قرار داده شد (شکل ۶).

این آزمایش با سرعت‌های ۳ و ۷ از محدوده حرکت پیچ تنظیم PWM اجرا شد. بذره‌های خروجی از هر قسمت در مدت یک دقیقه جمع‌آوری و وزن شد و نتایج به دست آمده برای بررسی‌های بعدی یادداشت گردید.

۲- یکنواختی توزیع بذر از هر قسمت صفحه سقوط در بازه‌های کوتاه زمانی

آزمایش تعیین نحوه پراکنش بذر پس از برخورد با صفحه سقوط در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی اجرا شد. متغیرهای مورد بررسی در این آزمایش عبارت بودند از سرعت دورانی محور موزع در دو سطح و موقعیت خروجی از صفحه



شکل ۶- بررسی یکنواختی توزیع بذر در بازه‌های کوتاه زمانی

Fig. 6- Investigation of uniformity of seed distribution in short time intervals

یکنواختی U_c از رابطه‌های ۹ تا ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$S_{pf} = \frac{T_s}{F_n} \quad (9)$$

که در آن،

T_s = تعداد دانه‌های جمع‌آوری شده از هر مجرای خروجی در بازه زمانی معین؛ F_n = تعداد جعبه در مسیر هر مجرای خروجی؛ و S_{pf} = میانگین تعداد دانه در هر جعبه.

$$F_c = 1 - \left| \frac{S_f}{S_{pf}} - 1 \right| \quad (10)$$

که در آن،

F_c = ضریب جعبه؛ و S_f = تعداد دانه‌های جمع‌آوری شده در جعبه مورد نظر.

$$U_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{ci} \quad (11)$$

که در آن،

U_c = ضریب یکنواختی؛ و F_{ci} = ضریب جعبه i ام. بنابراین ضریب یکنواختی برابر است با $1 - U_c$.

تصویرهایی از ارزیابی دستگاه حین کار در مزرعه شامل آماده‌سازی شیار ۷۵ سانتی‌متری و اشباع کردن خاک آن، عملیات کاشت بعد از حذف کردن زنجیر پوشاننده و نحوه پخش کردن بذر در کف شیار، نیز در شکل ۷ نشان داده شده است.

۳- درصد آسیب‌دیدگی ظاهری و پنهان بذرهای خروجی از موزع در سرعت‌های مختلف محور موزع

به منظور تعیین شکستگی، تعداد بذرهای شکسته شده شمارش شد. برای تعیین آسیب به قوه نامی، از بذرهای به ظاهر سالم در هر آزمایش مربوط به یک سرعت دورانی محور موزع، ۱۰۰ بذر به طور تصادفی انتخاب و قوه نامیه آنها با نمونه شاهد (بذرهایی که از موزع عبور نکرده بودند) مقایسه شد.

۴- محاسبه ضریب نایکنواختی (معیار ارزیابی نایکنواختی خروج بذر با زمان از هر قسمت صفحه)

ضریب تغییرات (CV) از حاصل تقسیم انحراف معیار بر میانگین به دست می‌آید و به صورت گسترده برای ارزیابی کودپاش‌ها و بذرپاش‌ها به کار می‌رود (Bashford, 1993). ضریب تغییرات بر اثر خطاهای آماری تحت تاثیر قرار می‌گیرد و نسبت به مقادیر خیلی زیاد و کم (داده‌های پرت) بسیار حساس است. تحقیقات نشان داده است که ضریب تغییرات برای ارزیابی عملکرد خطی کارها مناسب نیست، در نتیجه شاخص جدیدی به اسم ضریب یکنواختی برای ارزیابی یکنواختی تعداد دانه خارج شده از هر موزع معرفی شده است (Maleki et al., 2006). ضریب



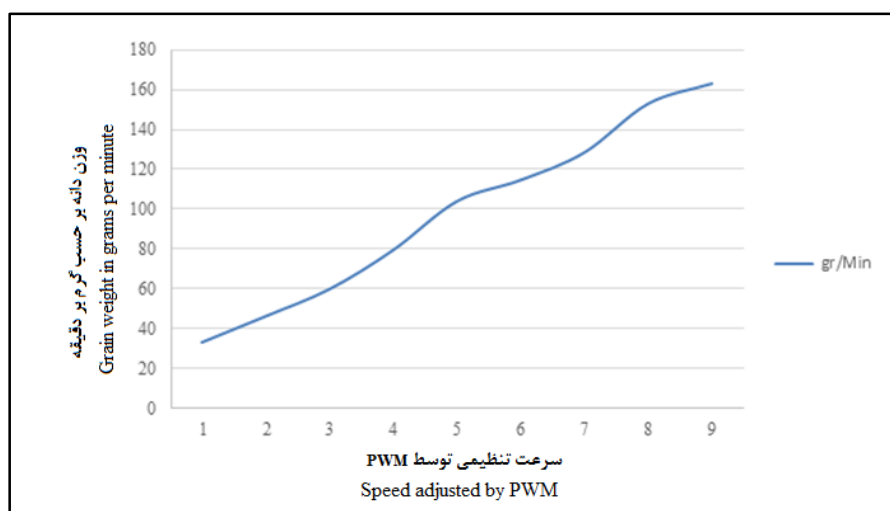
شکل ۷- ارزیابی دستگاه در حین کار

Fig. 7- Evaluation of the device during operation

نتایج و بحث

ترتیب از ۱۹/۶ تا ۱۶۳/۲ گرم در دقیقه خروجی داشته باشد. بررسی و تحلیل داده‌های به دست آمده از آزمایش کارنده در سرعت‌های مختلف (شکل ۸)، نشان می‌دهد که بین میزان خروجی بذر و سرعت دورانی محور موزع رابطه‌ای تقریباً خطی وجود دارد.

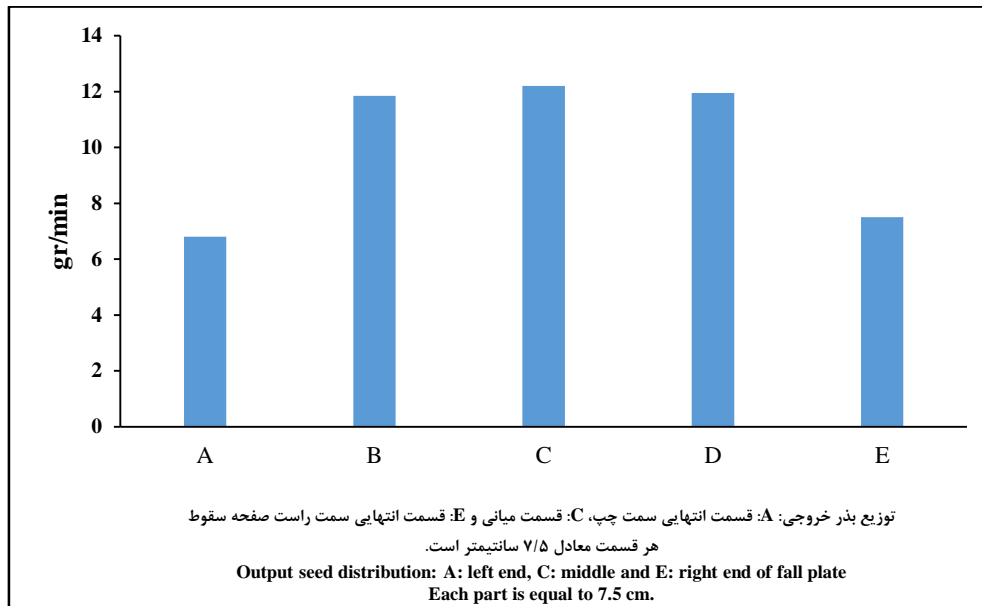
نتایج بررسی‌ها در کارگاه نشان داد که این کارنده قادر به فعالیت است در صورتی که سرعت دورانی محور موزع از ۴ تا ۳۳/۳ دور در دقیقه تنظیم شده باشد. در این محدوده کاری، کارنده می‌تواند به



شکل ۸- میزان خروج بذر بر حسب گرم در دقیقه در سرعت‌های مختلف محور موزع

Fig. 8- Seed output rate in grams per minute at different speeds of the seed meter axis

بررسی نتایج به دست آمده از آزمون توزیع نیز تقریباً یکنواخت است و تلرانس کوچکی در حدود نشان می‌دهد که توزیع بذر در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از طرفین خط مرکزی صفحه سقوط ۰/۵۴ گرم دارد اما در ادامه با دور شدن از مرکز، توزیع بذر کاهش می‌یابد (شکل ۹).



شکل ۹- نحوه توزیع بذر از صفحه سقوط

Fig. 9- How to distribute seeds from the fall plate

جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهد که اثر سرعت دورانی محور موزع بر میزان بذرکاری معنی‌دار است، رابطه افزایش میزان بذرکاری با افزایش سرعت محور موزع خطی است. بنابراین در این کارنده، می‌توان تغییر در میزان بذرکاری را با تغییر سرعت محور موزع کنترل کرد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس میزان بذرکاری از قسمت‌های مختلف صفحه سقوط

Table 1- Results of variance analysis of seeding rate from different parts of the fall plate

میانگین مربعات	درجه آزادی	عوامل آزمایش
Mean of squares	Degree of freedom	Experiment factors
92716.64**	1	Rotation speed of seed meter axis (a) (a) سرعت دورانی محور موزع
7012.81**	4	Position on the fall plate (b) (b) موقعیت روی صفحه سقوط
279.91 ^{ns}	4	a×b
258.68	20	Experiment error خطای آزمایش

**Significant at probably level of 1%

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns: Nonsignificant

ns معنی دار نبودن

اثر سرعت چرخشی محور موزع بر تعداد بذرهای شکسته معنی‌دار بود، ولی اثر موقعیت خروجی‌ها بر آن معنی‌دار نبود (جدول ۲). با افزایش سرعت دورانی محور موزع، تعداد بذر شکسته افزایش یافت (شکل ۱۰). این نتیجه را کارایل و همکاران (Karayel et al., 2011) نیز گزارش داده‌اند.

عموما آسیب‌های مکانیکی بذر در کشت مکانیزه در مسیر انتقال و توزیع بذر رخ می‌دهد. هنگامی که موزع، می‌چرخد مقداری بذر به صورت حجمی در بین شیارهای استوانه و پوسته بیرونی موزع گیر می‌کند، در اثر چرخش استوانه شیاردار بین دانه‌های بذر و همچنین بین بذر و سطح تماس اصطکاک ایجاد می‌شود و در نتیجه تعدادی از بذرها می‌شکنند. بذر پس از خروج از موزع در اثر نیروی ثقل روی صفحه سقوط می‌افتد، ارتفاع موزع از سطح زمین و برخورد بذر در هنگام سقوط روی صفحه از علل دیگر آسیب‌های مکانیکی این بذرکار می‌تواند باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تعداد بذرهای شکسته شده

Table 2 - Results of variance analysis of the number of broken seeds

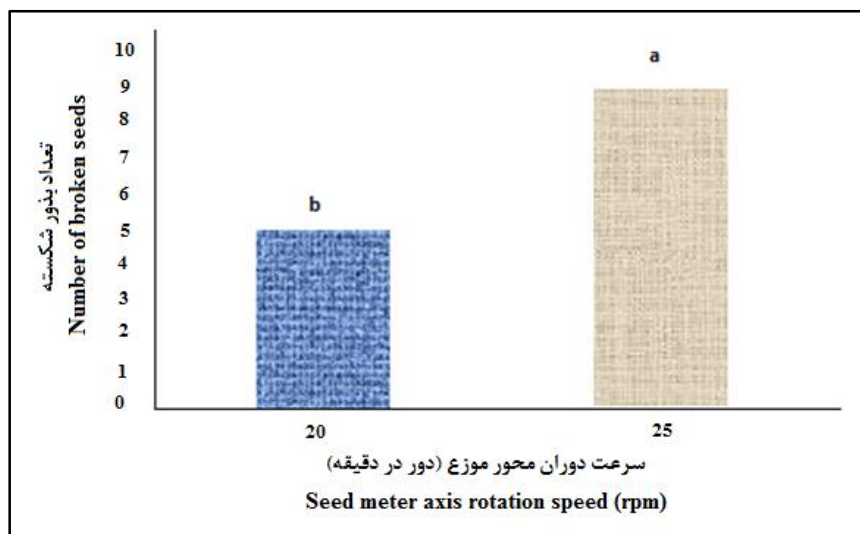
میانگین مربعات	درجه آزادی	عوامل آزمایش	
Mean of squares	Degree of freedom	Experiment factors	
124.03**	1	سرعت دورانی محور موزع (a)	Rotation speed of seed meter axis (a)
0.62 ^{ns}	4	موقعیت روی صفحه سقوط (b)	Position on the fall plate (b)
12.7 ^{ns}	4	a×b	
4.17	20	خطای آزمایش	Experiment error

**Significant at probably level of 1%

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns: Nonsignificant

ns معنی دار نبودن



شکل ۱۰- تأثیر سرعت دورانی محور موزع بر مقدار بذر شکسته

Fig. 10 - The effect of the rotational speed of the seed meter axis on the amount of broken seeds

میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

The means that are common to at least one latin letter do not differ significantly in the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

تأثیر سرعت دورانی موزع بر قوه نامیه بذر در جدول ۳ آورده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در دامنه سرعت دورانی محور موزع که در این آزمایش به کار گرفته شد، درصد جوانه‌زنی بذر تحت تاثیر افزایش سرعت دورانی محور موزع قرار نگرفته است.

جدول ۳- درصد بذرهای جوانه زده در ژرمیناتور پس از سه روز

Table 3- Percentage of germinated seeds in germinator after three days

سرعت دورانی محور موزع (دور در دقیقه)		
Rotation speed of seed meter axis (rpm)		
25	20	شاهد (Control)
92	93	92

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس بذرهای آسیب دیده پنهان

Table 4 - Results of variance analysis of hidden damaged seeds

میانگین مربعات	درجه آزادی	عوامل آزمایش
Mean of squares	Degree of freedom	Experiment factors
4.06 ^{ns}	1	سرعت دورانی محور موزع (a) (a) Rotation speed of seed meter axis
0.50 ^{ns}	4	موقعیت روی صفحه سقوط (b) (b) Position on the fall plate
30.33 ^{ns}	4	a×b
7.69	20	خطای آزمایش

ns: Nonsignificant

ns معنی دار نبودن

نایکنواختی کاهش یابد. این نتیجه عکس اتفاقی است که در کارنده‌های متداول دارای لوله سقوط دیده می‌شود. در این کارنده‌ها برخورد بذر با دیواره لوله سقوط عامل نایکنواختی است و با افزایش سرعت موزع نایکنواختی افزایش می‌یابد. این نتیجه را قاسم‌نژاد ملکی (Ghasemnejad Maleki, 2019) نیز گزارش داده است. از سوی دیگر دلیل یکنواختی بیشتر در موزع‌های کناری را می‌توان به هم‌پوشانی اتفاق افتاده پس از برخورد بذرهای خارج شده از این موزع‌ها و موزع میانی به صفحه سقوط نسبت داد.

اثر سرعت چرخشی محور موزع و اثر موقعیت خروجی بر میانگین ضریب نایکنواختی معنی‌دار است (جدول ۵). با افزایش سرعت محور موزع، ضریب نایکنواختی کاهش می‌یابد (شکل ۱۱). بیشینه نایکنواختی مربوط به خروجی میانی کارنده است. با افزایش سرعت موزع، شتاب برخورد بذر با صفحه سقوط افزایش می‌یابد و از آنجا که پراکنش بذر روی صفحه سقوط در اثر ضربات متوالی، غلتش و سقوط از سطح شیب‌دار اتفاق می‌افتد می‌توان انتظار داشت با افزایش سرعت موزع، دامنه پراکنش در تمام سطح کار افزایش و

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس برای ضریب نایکنواختی

Table 5 - Results of variance analysis for non-uniformity coefficient

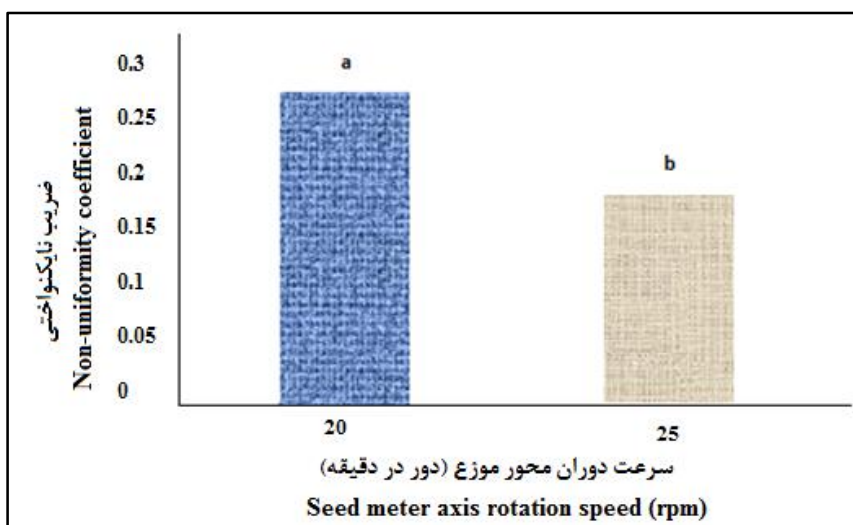
میانگین مربعات	درجه آزادی	عوامل آزمایش
Mean of squares	Degree of freedom	Experiment factors
0.05**	1	سرعت دورانی محور موزع (a) (a) Rotation speed of seed meter axis
0.05**	4	موقعیت خروجی روی صفحه سقوط (b) (b) Position on the fall plate
0.00 ^{ns}	4	a×b
0.00	20	خطای آزمایش

**Significant at probably level of 1%

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

ns: Nonsignificant

ns معنی دار نبودن



شکل ۱۱- اثر سرعت چرخش محور موزع بر ضریب نایکنواختی

Fig. 11- The effect of the seed meter axis rotation speed on the non-uniformity coefficient

میانگین‌های دارای حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

The means that are common to at least one latin letter do not differ significantly in the 5% probability level based on Duncan's multiple range test.

نتایج آزمایش حاکی از کارکرد مطلوب دستگاه است. کارنده قادر به کاشت در تمام عرض شیار است. توزیع بذر در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از طرفین خط مرکزی صفحه سقوط تقریباً یکنواخت است و تلرانس کوچکی در حدود ۰/۵۴ گرم دارد. با دور شدن از مرکز، توزیع بذر کاهش می‌یابد که برای کاشت مالچ زنده از جهت رقابت با گیاه اصلی می‌تواند مطلوب باشد. سرعت دورانی محور موزع از ۴ تا ۳۳/۳ دور در دقیقه قابل تنظیم است که در این محدوده کاری، کارنده می‌تواند به ترتیب از ۱۹/۶ تا ۱۶۳/۲ گرم در دقیقه خروجی داشته باشد. بهترین نتایج از لحاظ مجموع شاخص‌های کاشت در سرعت میانی محور موزع حاصل شد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش طراحی، ساخت و آزمایش یک دستگاه کارنده مالچ زنده برای کاشت گیاه پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای در بین ردیف‌های کاشت گیاه ذرت اجرا گردید. برای دستیابی به کارنده‌ای قابل قبول، اولاً از صفحه سقوط برای پراکنش بذر در داخل شیار استفاده شد و ثانیاً از موتور الکتریکی گیربکس‌دار جریان مستقیم، برای سبک کردن وزن دستگاه و کم کردن تعداد قطعات مکانیکی، بهره گرفته شد. در طراحی و ساخت این دستگاه کارنده که برای کاشت مالچ زنده، به ماشین‌های کاشت یا کولتیواتورها منضم می‌شود، صرفه‌جویی در هزینه‌ها، سادگی طرح و قابلیت تولید در داخل کشور در نظر گرفته شده است.

مراجع

Aladesanwa, R. D., & Adigun, A. W. (2008). Evaluation of sweet potato (*Ipomoea batatas*) live mulch at different spacing's for weed suppression and yield response of maize (*Zea mays* L.) in southwestern Nigeria. *Crop Protection*, 27, 968-975.

- Anon. (1993). ASAE S341.2 DEC92. Procedure for measuring distribution uniformity and calibration-granular broadcast spreaders. *ASAE Standards*. St. Joseph, MI.
- Baets, S. D. E., Poesen, J. J., Meersmans, J. J., & Serlet, L. L. (2011). Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena*, 85, 237-244.
- Baghdadi, A., Balazadeh, M., Kashani, A., & Golzardi, F. (2017). Integrated crop management effect on carbon and nitrogen of soil. *Journal of Water and Soil*, 31(4), 1093-1107. (in Persian)
- Bakhtiari Moghadam, M., Vazan, S., Golzardi, F., Azizkhani, S., & EsfaniFarahani, M. (2011). *Effect of mungbean living mulch on density and dry weight of weeds in corn field. Proceedings of the 63rd International Symposium on Crop Protection*, May 24, Ghent University, Ghent, Belgium.
- Bashford, L. L. (1993). External flute seed metering evaluation related to site specific farming. *ASAE International winter meeting*, Paper No. 93-8517.
- Blanco-Canqui, H. H., Claassen, M. M., & Presley, D. R. (2012). Summer cover crops fix nitrogen, increase crop yield, and improve soil-crop relationships. *Agronomy Journal*, 104, 137-147.
- Curran, B., Roth, G., Dillon, G., Houser, R., & Hoover, J. (2015). Raley cropping to plant cover crops using new technologies. Department of Plant Science, Penn State University, Matthew Ryan, Soil and Crop Sciences Section. Sustainable Ag Systems Laboratory, USDA-ARS.
- Ding, G. W., Liu, X., Herbert, S. S., Novak, J. J., Amarasiriwardena, D. D., & Xing, B. S. (2006). Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*, 130, 229-239.
- Ghasemnejad Maleki, H. (2019). Field evaluation of mechanized cultivation planters of rapeseed in Shoushtar region. *Journal of Plant Production Science*, 8(2), 183-196. (in Persian)
- Hoffman, M. L., Regnier, E. E., & Cardina, J. (1993). Weed and corn (*Zea mays* L.) responses to a hairy vetch (*Vicia villosa* L.) cover crop. *Weed Technology*, 7, 594-599.
- Karayel, D., Wiesehoff, M., Özmerzi, A., & Müller, J. (2011). Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high speed camera system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 21(2), 99-93.
- Maleki, M. R., Mouazen, A. M., De Ketelaere, B., & De Baerdemaker, J. (2006). A new index for seed distribution uniformity evaluation of grain drills. *Biosystems Engineering*, 94, 471-475.
- Martin, R. C., Greyson, P. R., & Gordon, R. (1999). Competition between corn and a living mulch. *Canadian Journal of Plant Science*, 79, 579-586.
- Potter, T. L., Bosch, D. D., Joo, H. H., Schaffer, B. B., & Munoz-Carpena R. R. (2007). Summer cover crops reduce atrazine leaching to shallow groundwater in Southern Florida. *Journal of Environmental Quality*, 36, 1301-1309.
- Stepanoff, A. J. (1969). *Gravity flow of bulk solids and transportation of solids in suspension*. John Willey & Sons Inc.
- Tillman, G. G., Schomberg, H. H., Phatak, S. S., Mullinix, B. B., Lachnicht, S. S., Timper, P. P., & Olson, D. D. (2004). Influence of cover crops on insect pests and predators in conservation tillage cotton. *Journal of Economic Entomology*, 97, 1217-1232.



Research Paper

Design, Development, and Laboratory Evaluation of a Live-Mulch Planter Unit

M. Davoudi, S. Minaei* and A. Sharifi Malvajerdi

*Corresponding Author: Professor, Biosystems Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: minae@modares.ac.ir.

Received: 7 February 2021, Accepted: 15 December 2021

[http://doi: 10.22092/AMSR.2021.353515.1378](http://doi:10.22092/AMSR.2021.353515.1378)

Abstract

This research includes the design, manufacturing, and evaluation of a live mulch planter unit. In order to address the problems of using agricultural machinery in performing live mulch planting in the furrows or simultaneously with the main crop, a prototype planting unit was designed. In this planter, a seed-drop plate was used to convey the seeds from the metering device to the ground. The result of this project was a prototype of a planter with the ability to plant 19.6 to 163.2 grams per minute of live mulch (hairy vetch) with a tolerance of 0.54 grams along the entire width of a 75 cm furrow. Laboratory and field experiments were conducted to evaluate its performance in actual field conditions, based on planting accuracy and field efficiency. The Laboratory test was performed according to ASAE S341.2 DEC92 standard for Grain Drill evaluation. Results of the initial evaluation of the planter showed that changing the rotational speed of the metering device significantly affected seed output on the drop plate in terms of seeding rate. The position of the outlets did not differ significantly in terms of seed damage. Increasing rotational speed of the metering device significantly increased the tendency of metering mechanism to damage seeds. Increasing rotational speed of the metering device significantly decreased index of non-uniformity in all outlets.

Keywords: DC Motor, Planting, Pulse Width Modulation, Seed Meter



© 2021 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)