

## طراحی، ساخت و ارزیابی کودپاش بادی دو ردیفه با عرض پاشش بالا

محمد صادق عسکری<sup>۱</sup>، داود محمدزمانی<sup>۲\*</sup>، محمد غلامی پرشکوهی<sup>۳</sup> و سید محمد جاویدان<sup>۴</sup>

### چکیده

افزایش عرض کار در ماشین‌های کشاورزی منافی را برای کشاورز به دنبال دارد که می‌تواند به کاهش مصرف سوخت، کاهش تراکم خاک، کاهش لهیدگی محصول، کاهش استهلاک تراکتور و قطعات و سرعت بخشیدن به روند انجام عملیات مزرعه‌ای منجر شود. در این پژوهش روشی برای افزایش عرض پاشش کودپاش‌ها پیشنهاد شده است. در این روش حذف نیروی مکانیکی برای پرتاب کود گرانوله و جایگزینی آن با جریان هوا پیشنهاد شده است. در طرح پیشنهادی، جریان هوا توسط دو عدد دمنده حلزونی که دهانه آن به طرفین تراکتور متمایل است و جریان باد زیادی تولید می‌کند، تأمین شد. نیروی چرخشی مورد نیاز این دو عدد دمنده و همزن داخل مخزن کود توسط محور تواندهی تراکتور و با یک سامانه چرخ تمسه‌ای با نسبت ۱ به ۴ تأمین شد. کود توسط دریچه قابل تنظیم که در زیر مخزن تعبیه شده است به داخل لوله‌های انتقال، هدایت شده و دمنده‌های حلزونی، کود را توسط مکشی که انجام می‌دهند به داخل خود کشیده و آن را با نیروی دمشی بالا به صورت هدایت شده به بیرون پرتاب می‌کند که در نتیجه کود تا فاصله بسیار دورتری در مقایسه با روش مرسوم پرتاب می‌شود. بعد از اتمام مراحل ساخت و نصب اجزاء، دستگاه مورد ارزیابی مزرعه‌ای قرار گرفت. در ارزیابی این دستگاه هدف، اندازه‌گیری عرض پاشش و یکنواختی پاشش بود. بدین منظور دستگاه در شرایط زراعی مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای آزمون شامل سرعت پیشروی (بر حسب کیلومتر در ساعت در دو سطح)، میزان سرعت دمش دمنده‌ها (بر حسب درصد باز بودن دریچه دمنده در دو سطح) و میزان ریزش کود (بر حسب درصد باز بودن دریچه کشویی در دو سطح) و صفات نیز شامل یکنواختی پاشش و عرض پاشش بود. به منظور بررسی اثر بر هم کنش عوامل مختلف از آزمون فاکتوریل با طرح بلوک‌های کامل تصادفی و برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. آزمون‌ها در سه تکرار انجام گرفت و به منظور مقایسه نتایج از روش تجزیه واریانس با آزمون دانکن با سطح اطمینان پنج درصد استفاده شد تا اثر تغییر پارامترهای مختلف بر نتایج تعیین شود. سرعت بهینه پیشروی این دستگاه ۱۰ کیلومتر در ساعت، عرض پاشش آن ۴۶ متر و یکنواختی پاشش آن به طور میانگین ۵ گرم بر مترمربع اندازه‌گیری و تعیین شد.

**واژه‌های کلیدی:** دمنده حلزونی، عرض پاشش، کود شیمیایی، کودپاش بادی، یکنواختی پاشش.

**ارجاع:** عسکری م. ص. محمدزمانی د. غلامی پرشکوهی م. و جاویدان س. م. ۱۴۰۱. طراحی، ساخت و ارزیابی کودپاش بادی دو ردیفه با عرض پاشش بالا. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۲: ۵۱-۶۰. DOI: <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10059.526>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، تاکستان، ایران

۲- گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، تاکستان، ایران

۳- گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، تاکستان، ایران

۴- گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی تربیت مدرس، تهران، ایران

\* نویسنده مسئول: [dr.dmzamani@gmail.com](mailto:dr.dmzamani@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱

## مقدمه

در ایران استفاده از کودهای شیمیایی تجاری در طول سالیان اخیر به طور مداوم افزایش پیدا کرده است، به طوری که در سال ۱۳۹۸ بیش از یک میلیون و پانصد و پنجاه هزار تن کود شیمیایی توسط وزارت جهاد کشاورزی، تحویل کشاورزان شد (Abdi Rokni *et al.*, 2019). این درحالی است که مصرف کود شیمیایی در کشور ایران در پنجاه و پنج سال گذشته بالغ بر هشتاد میلیون و هفتصد هزار تن بوده است، که پنج میلیون و چهارصد هزار تن مربوط به بیست و سه سال قبل از انقلاب و هفتاد و پنج میلیون و سیصد هزار تن مربوط به سی و دو سال بعد از انقلاب است، که رشد مصرف چشم‌گیری را نشان می‌دهد (Yazdani *et al.*, 2019).

امروزه پژوهشگران و کارشناسان درصدد دستیابی به روش‌های گوناگون برای کاهش مصرف سوخت و استهلاک ماشین‌ها می‌باشند که از طرفی خواستار بازده بیشتر ادوات در مقابل انرژی صرف شده، وقت و هزینه‌های جانبی کمتر در مقابل کار انجام شده نیز می‌باشد. یکی از مشکلات بخش کشاورزی در زمینه کوددهی محصول در هنگام کاشت و داشت در اختیار نداشتن دستگاهی مناسب برای این کار است (Hossein Motlagh *et al.*, 2020; Korshunov *et al.*, 2020). مشکلات موجود در دستگاه‌های کودپاش امروزی که در زمان کاشت و خصوصاً در زمان داشت مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از عرض پاشش کم، عدم پاشش یکنواخت، لهیدگی محصول به هنگام عبور تراکتور و وارد آمدن خسارت، فشردگی خاک بر اثر عبور بیش از حد تراکتور در زمین، صرف زمان بالا برای انجام عملیات کودپاشی، مصرف سوخت و استهلاک بالای تراکتور به دلیل تردد بالای تراکتور در زمین (Devkota *et al.*, 2020; XueMei *et al.*, 2019; May *et al.*, 2019). یک دستگاه ایده‌آل، دستگاهی است که علاوه بر نداشتن چنین مشکلاتی بتواند کارایی خود را در دراز مدت حفظ کرده و با کاهش هزینه‌ها برای کشاورز مقرون به‌صرفه باشد (Korshunov *et al.*, 2020). با گذشت هر سال و بهبود وضعیت طراحی آن دستگاه نسبت به قبل می‌توان امیدوار به ورود دستگاهی کاملاً ایده‌آل به بازار در سال‌های آینده بود.

برای بهبود وضعیت دستگاه‌ها در شرایط فعلی می‌توان بر روی هر کدام از ایرادهای وارده موجود متمرکز شده و

برای اصلاح آن تا حدی اقدام کرد. مشکلاتی از قبیل مناسب نبودن یکنواختی پاشش، عرض پاشش کم دستگاه و یا مصرف سوخت بالای تراکتور در حین عملیات کودپاشی، مواردی هستند که هر پژوهشگر و یا علاقه‌مند به کشاورزی می‌تواند بر روی آن متمرکز شده و گامی موثر در جهت افزایش کیفیت و بهبود عملیات کودپاشی بردارد (Kluza *et al.*, 2019).

(Ahmadi *et al.*, 2014) در یک تحقیق علمی با عنوان مقایسه دو نوع پخش کننده کودپاش‌های سانتریفوژ به منظور بهینه‌سازی الگوی پخش کود به منظور دستیابی به الگوی بهینه پخش کود، اثرات تعداد پره و وضعیت قرارگیری آن در یک کودپاش دوار تک دیسکی، روی دو نوع مختلف کود بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی صورت گرفت. متغیرها شامل تعداد پره در سه سطح (۴، ۶ و ۸)، زاویه قرارگیری پره‌ها در دو سطح (شعاعی و غیرشعاعی) و نیز نوع کود در دو سطح (سوپر فسفات تریپل و اوره) می‌باشد. نتایج نشان داد که تعداد پره و نوع کود، اثر معنی‌داری بر یکنواختی پخش کود ندارد. اما وضعیت قرارگیری پره‌ها بر روی صفحه‌پران، تاثیر معنی‌داری بر یکنواختی الگوی پخش کود دارد. بهترین الگوی پخش توسط صفحه پران ۸ پره‌ای با وضعیت قرارگیری غیرشعاعی پره‌ها و برای کود سوپر فسفات تریپل به دست آمد (Ahmadi, *et al.*, 2014).

(Taghizadeh *et al.*, 2015) در پژوهشی دیگر به طراحی، ساخت و بررسی عملکرد ماشین کودپاش هلیسی پرداخته شد که قادر به پخش کود دامی در رطوبت‌های مختلف و با حداکثر عرض پاشش بود. در آن تحقیق تاثیر سرعت و جرم ذرات کود بر عرض پاشش ماشین مورد بررسی قرار گرفت. توان دورانی ماشین شامل توان هلیس و درام‌های پاشش بود که در سرعت‌های مختلف دورانی و در سه نوع کود با ضرایب اصطکاک داخلی متفاوت محاسبه شد. حجم مخزن این ماشین ۶ متر مکعب و عرض پاشش آن ۱۴ متر محاسبه شد و نرخ پاشش کود در بازه ۰/۰۲۲ تا ۰/۰۷۳ مترمکعب بر ثانیه به دست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش ضریب اصطکاک داخلی کود و سرعت دورانی، توان دورانی افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار توان دورانی و کششی ماشین به ترتیب برابر ۳۴/۲ و ۴۵/۱۸ اسب بخار تعیین شد.

بالا، یکنواختی پاشش را نیز حفظ نماید. هدف این تحقیق طراحی و ساخت دستگاهی است که بتواند اهداف فوق را برآورده سازد.

### مواد و روش‌ها

برای طراحی کودپاش بادی مورد نظر ابتدا مراحل کاری دستگاه مورد بررسی قرار گرفت. انجام عملیات کودپاشی در دستگاه کودپاش بادی باید بر اساس این مراحل انجام شود: سوار کردن دستگاه بر روی اتصال سه نقطه تراکتور، بارگیری مخزن، تحریک محور تواندهی و گردش همزمان دمنده‌ها و هم‌زن، باز کردن دریچه‌های خروجی کود به مقدار تعیین شده هم‌زمان با حرکت رو به جلوی تراکتور با سرعت تعیین شده، سقوط دانه‌های کود در درون لوله‌های مکش و مکش آن‌ها به داخل دمنده‌ها و پرتاب دانه‌های کود به بیرون و هدایت آن توسط کانال‌های هدایت کننده. بر این اساس، در طراحی دستگاه اجزاء اصلی عبارت بودند از دمنده، پوسته حلزونی دمنده، لوله‌های مکش، کانال انتقال، سامانه چرخ تسمه‌ای افزایشده سرعت محور تواندهی که این اجزاء بر روی یک کودپاش معمولی نصب شد (شکل ۱).

دمنده به عنوان قلب دستگاه می‌باشد و باید به صورت کاملا دقیق و بر اساس اصول فنی ساخته شود. به دلیل وجود محور و پره‌های گردنده با سرعت دورانی بالا هرگونه حالت نامتعادل در این قطعات منجر به لرزش‌های شدید شده، در نتیجه شکستگی قطعات، پایه‌ها، محورها، یاتاقان‌ها و خرابی بلبرینگ‌ها را به همراه دارد. مجموعه دمنده از اجزاء مختلف تشکیل شد که عبارتند از صفحه اصلی و محورها، پره‌ها، پایه‌های سوار شونده، محورها، یاتاقان‌ها و سازه نگه دارنده، پوسته حلزونی، بلبرینگ‌ها و یاتاقان‌ها، چرخ تسمه‌ها، درپوش، لوله‌های مکش و کانال‌های انتقال. شکل ۲ پره‌های دمنده و وضعیت استقرار آنها را نمایش می‌دهد. پوسته یکی از مهمترین اجزاء تشکیل دهنده دمنده است که وظیفه هدایت باد تولید شده توسط پره‌ها را بر عهده دارد. در پوسته‌ها حفره‌ای جهت مکش باد و کانالی برای هدایت باد تولید شده، تعبیه شد. با توجه به اصول کار این نوع دمنده‌ها، باد از طرفین و یا یک طرف دمنده، به داخل پوسته مکیده می‌شود و بعد از طی یک مسیر، در داخل دمنده با شدت به طرف بیرون هدایت می‌شود (شکل ۳).

(Heydari & Tahani, 2018) در تحقیقی به تاثیر موقعیت تیغه صفحه کودپران در دو حالت زاویه باز و بسته (به‌عنوان فاکتور اصلی) و فاصله عرضی تردهای مجاور هم در شش فاصله ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ متر (به عنوان فاکتور فرعی) بر یکنواختی و میزان کود پاشیده شده، پرداختند. آزمایش‌ها با استفاده از طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و بر روی یک دستگاه کودپاش دامی دو چرخ با توان مورد نیاز ۷۵ اسب بخار، اجرا شد. پس از انتخاب مناسب‌ترین حالت تیغه و فاصله عرضی بهینه، ظرفیت واقعی و راندمان مزرعه‌ای کودپاش و نیز میزان دقت آزمایش‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که از میان سطوح مورد آزمون، مناسب‌ترین حالت کاری دستگاه کودپاش در استفاده از تیغه با زاویه بسته و فاصله عرضی تردها به میزان ۱۲ تا ۱۴ متر به دست می‌آید. در این حالت ظرفیت مزرعه‌ای موثر دستگاه در حدود ۱/۵ هکتار در ساعت، راندمان مزرعه‌ای در حدود ۲/۶۴ درصد و میزان دقت آزمایش‌ها به میزان ۵/۹۴ درصد به دست آمد (Heydari & Tahani, 2018).

با توجه به موارد مطرح شده، پیش‌بینی می‌شود چنانچه در میان معایب موجود بر کودپاش‌های فعلی، بر یکنواختی و عرض پاشش دستگاه متمرکز شد، می‌توان بسیاری از مشکلات و نواقص این دستگاه‌ها را برطرف کرد. حال اگر بتوان عرض پاشش را بدون تغییر در الگوی پاشش به دو برابر رساند، با این افزایش، مواردی از قبیل لهیدگی محصول، فشرده‌گی خاک، مصرف سوخت و استهلاک تراکتور و زمان صرف شده جهت انجام عملیات به میزان نصف کاهش خواهد یافت (Syawaladi et al., 2019). موارد ذکر شده زمانی قابل دستیابی است که بتوان عرض پاشش را به دو برابر افزایش داد، اما اگر دستگاهی در اختیار باشد که عرض پاشش آن سه، چهار یا پنج برابر حالت فعلی باشد، تمام مواد گفته شده به میزان یک سوم، یک چهارم و یک‌پنجم کاهش خواهد یافت.

بنابراین چنانچه دستگاهی عرض پاشش بالایی داشته باشد و علاوه بر عرض پاشش بالا بتواند یکنواختی پاشش را نیز حفظ نماید، این دستگاه به شرایط ایده‌آل بسیار نزدیک می‌باشد (Hu et al., 2020). با توجه به دلایل ذکر شده، بسیار منطقی است که جهت بهبود وضعیت فعلی به دنبال طراحی و ساخت دستگاهی بود که علاوه بر عرض پاشش



شکل ۱- دستگاه کودپاش بادی ساخته شده



ب



الف

شکل ۲- الف - پره های دمنده ب - نحوه قرارگیری و وضعیت پره، محور و پایه ها

با حرکت به سمت دهانه خروجی دمنده، حجم باد تولید شده بیشتر می شود، بنابراین محفظه داخلی آن نیز بزرگتر خواهد شد. هرچه ارتفاع عمودی ورودی محفظه، کمتر باشد ادغام باد در حال تولید و باد تولید شده قبلی که قصد خروج از محفظه را دارد کمتر خواهد بود. برای پاشش به سمت چپ، با توجه به راست گرد بودن محور توان دهی باید یکی از دمنده ها را وارونه نمود، برای این منظور با افزودن قاب محفظه بر روی دهانه خروجی، زاویه پرتاب مناسب به دست آمد.



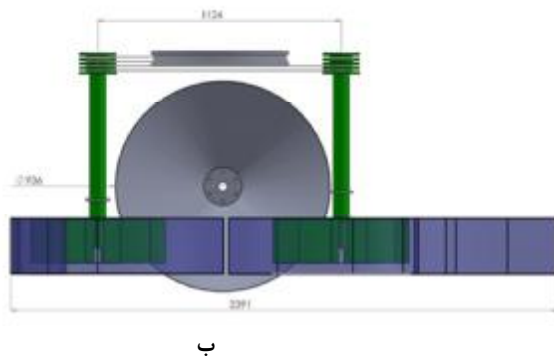
شکل ۳- پوسته حلزونی شکل دمنده

شده قطر چرخ تسمه محور توان‌دهی ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. جدول ۱ مشخصات فنی دستگاه ساخته شده ارائه شده است. شکل ۴ نمای افقی از دستگاه و چرخ تسمه‌ها را نمایش داده است.

جدول ۱- مشخصات فنی دستگاه

مشخصات	اندازه	واحد
ابعاد	۲۳۵ (ارتفاع) × ۱۰۵ × ۲۳۰ (طول)	Cm
عرض پاشش نظری	۴۶	m
وزن دستگاه	۶۲۰	Kg
سرعت محور توان‌دهی	۵۴۰	RPM
توان مورد نیاز	۸	HP
نوع اتصال	اتصال سه نقطه (سوار)	-----

دمنده طراحی شده قادر است با سرعت دورانی ۲۲۰۰- ۱۸۰۰ دور در دقیقه کار کند و با توجه به سرعت دورانی ۵۴۰ دور در دقیقه محور توان‌دهی تراکتور، باید سرعت آن را تا اندازه مطلوب افزایش داد. برای این منظور از یک چرخ تسمه با قطر ۶۰ سانتی‌متر بر روی محور توان‌دهی و از یک چرخ تسمه ۱۵/۵ سانتی‌متر بر روی دمنده استفاده شد که با توجه به ضریب تبدیل یک به چهار، از این دو چرخ تسمه استفاده شده است. می‌توان برای رسیدن به این ضریب تبدیل، از چرخ تسمه‌های ۳۹/۱۰ و ۴۶/۱۲ نیز استفاده کرد، تا بتوان به سرعت دلخواه رسید، اما این نکته حائز اهمیت است که در سرعت‌ها و توان بالا استفاده از چرخ تسمه‌های با قطر کم باعث شل شدن و لغزش تسمه می‌شود که کمترین قطر مناسب برای چرخ تسمه این دمنده ۱۵/۵ سانتی‌متر برآورد شد. برای رعایت ضریب ذکر



شکل ۴- الف) نحوه قرارگیری چرخ تسمه‌ها و ب) نمای افقی دستگاه کودپاش بادی به همراه وضعیت چرخ تسمه‌ها

بودن دریچه دمنده در دو سطح) و میزان ریزش کود (بر حسب درصد باز بودن دریچه کشویی در دو سطح). به منظور بررسی اثر بر هم کنش عوامل مختلف از آزمون فاکتوریل با طرح بلوک‌های کامل تصادفی و برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. آزمون‌ها در سه تکرار انجام گرفت و به منظور مقایسه نتایج از روش تجزیه واریانس با آزمون دانکن با سطح اطمینان پنج درصد استفاده شد تا اثر تغییر پارامترهای مختلف بر نتایج تعیین شود.

برای انجام آزمون‌ها باید شرایط مطلوب فراهم می‌شد تا بتوان نتایج قابل قبولی در حین و بعد از انجام آزمون کسب کرد. این شرایط عبارت بود از هموار بودن زمین، شرایط مناسب جوی (عدم وزش باد و بارش باران). آزمون‌ها با تراکتوری با قدرت کششی مناسب و سرعت دورانی ۵۴۰

بعد از اتمام مراحل ساخت و نصب اجزاء، دستگاه مورد ارزیابی مزرعه‌ای قرار گرفت. عملکرد این کودپاش علاوه بر عوامل ذکر شده در بخش قبل، متأثر از سرعت دورانی دمنده، اندازه دانه‌های کود و میزان هوای ورودی دمنده‌ها است. در ارزیابی این دستگاه هدف، بررسی میزان پاشش کود شیمیایی به مقدار معین بر حسب کیلوگرم در هکتار و اندازه‌گیری عرض پاشش و نیز یکنواختی پاشش بود. بدین منظور دستگاه در شرایط زراعی مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور ارزیابی دستگاه طراحی شده و تعیین مناسب‌ترین حالت عملکردی دستگاه، هشت آزمون مزرعه‌ای بر روی دستگاه کودپاش طراحی شده انجام گرفت. متغیرهای مستقل (تیمارهای) آزمون عبارتند از سرعت پیشروی (بر حسب کیلومتر در ساعت در دو سطح)، میزان سرعت دمش دمنده‌ها (بر حسب درصد باز

پاشش به مقدار ایده‌آل پنج گرم در هر مترمربع نزدیک باشد، یعنی باید سرعت بهینه پیشروی، میزان ریزش از دریچه مخزن کود و سرعت فن‌ها بر اساس میزان میانگین الگوی پاشش بهینه پنج گرم بر مترمربع به دست آید. ارزیابی به منظور تعیین سرعت بهینه و مقایسه هزینه دستگاه ساخته شده و روش مرسوم نیز انجام گردید. برای این منظور از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار و چهار تکرار استفاده گردید. هر کرت دارای ابعاد ۵۰ متر در ۱۰ متر است که پس از انجام عمل کشت، تیمار سرعت پیشروی در دو سطح ۸ و ۱۰ کیلومتر در ساعت، تیمار میزان باز و بسته بودن دریچه هوا در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ درصد و تیمار میزان باز و بسته بودن دریچه مخزن کود برای ۵۰ کیلوگرم در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ درصد اعمال و صفات یکنواختی پاشش و برد (عرض) پاشش اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس پاشش کود در دو سرعت پیشروی ۸ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت، بر اساس جدول ۲ به دست آمد. در جدول ۳ مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد دستگاه در سرعت‌های پیشروی مختلف و در مقادیر مختلف باز بودن دریچه کود و دریچه هوا ارائه شده است.

دور در دقیقه محور تواندهی انجام شد. آزمون‌ها در کرت‌هایی با ابعاد ۵۰ متر در ۱۰ متر و پاشش کود در امتداد طولی زمین انجام گرفت.

با توجه به بکارگیری کود از ته در انجام آزمون‌ها، به منظور ایجاد شرایط ایده‌آل، تنظیمات باید به گونه‌ای انجام شد که بتوان میانگین استاندارد ریزش کود در هر هکتار را به دست آورد. بر اساس توصیه کارشناسان کشاورزی در بخش زراعت و تولید کنندگان این نوع کودها میزان مطلوب پاشش، در هر نوبت کوددهی و برای هر هکتار به طور متوسط ۵۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است. یعنی مقدار ایده‌آل یکنواختی پاشش در هر مترمربع باید به میزان پنج گرم بر مترمربع باشد.

برای ارزیابی الگوی پاشش از یک قاب در ابعاد ۱×۱ متر برای اندازه‌گیری میزان پاشش در سطوح مختلف و به صورت تصادفی استفاده شد. در ابتدای کار دو عدد قاب در دو طرف مسیر تردد تراکتور در فواصل تصادفی قرار داده شد و دستگاه بر روی تنظیمات مورد نظر و حالات انتخاب شده قرار داده شد. میزان درجه دریچه ریزش کود در دو حالت تمام باز و نیمه‌باز تنظیم شد. میزان مکش فن‌ها نیز در دو حالت نیمه باز و کاملاً باز قرار داده شد که با قرار دادن در این حالات میزان خروجی باد نیز تغییر پیدا می‌کند. چنانچه ورودی مکش فن‌ها به نصف کاهش داده شود، دمش آن نیز به حدود نصف کاهش پیدا می‌کند. لذا برای سه متغیر ذکر شده هشت حالت به وجود آمد. برای تنظیم حالات دستگاه، باید طوری عمل می‌شد که میزان

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس پاشش کود (در سرعت ۸ و ۱۰  $\text{kmh}^{-1}$ )

میانگین اختلاف	انحراف معیار	واریانس	t جفت شده	Sig(2-tailed)
۱/۵	۰/۹۱۲	۰/۸۳۱	۰/۹۵	۰/۳۸

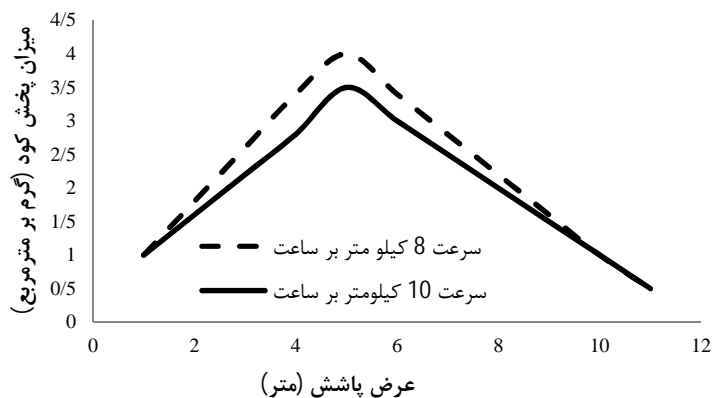
است. در نمودار، بیشینه عرض پاشش از خط میانی، در سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت ۵ متر، و میزان پاشش ۳/۵ گرم در هر مترمربع، در سرعت ۸ کیلومتر بر ساعت، میزان پخش، ۴ گرم بر مترمربع را نشان می‌دهد. این به آن معناست که در عرض پاشش کم، سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت، به مقدار مطلوب ۲/۵ گرم بر متر مربع، نزدیک‌تر و مناسب‌تر می‌باشد.

### مقایسه نتایج پاشش کود در سرعت‌های ۸ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت در ۵۰ درصد باز بودن دریچه خروجی مخزن و باد

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود میزان دمش دمنده، به میزان نصف هوادهی کامل آن تنظیم شده و میزان عرض پاشش نیز به نصف کاهش یافته است و تنظیمات خروجی کود به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار، به میزان نصف یا همان ۲/۵ گرم بر مترمربع، تنظیم شده

جدول ۳- مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد دستگاه

عرض پاشش (m)	میزان پاشش کود (kgm <sup>-2</sup> )	وضعیت باز بودن دریچه مخزن کود برای ۵۰ کیلوگرم	وضعیت باز و بسته بودن دریچه هوا	سرعت (kmh <sup>-1</sup> )
۲۳	۴	۰/۵	۰/۵	۸
۲۳	۱۲	۱	۰/۵	۸
۴۶	۴	۰/۵	۱	۸
۴۶	۷/۵	۱	۱	۸
۲۳	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱۰
۲۳	۱۰	۱	۰/۵	۱۰
۴۶	۳	۰/۵	۱	۱۰
۴۶	۵	۱	۱	۱۰

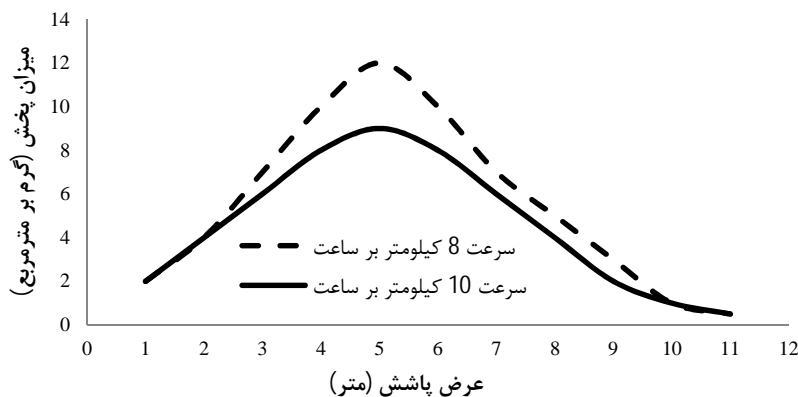


شکل ۵- مقایسه میزان پاشش کود در سرعت‌های ۸ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت (دریچه کود و دریچه هوا به میزان ۵۰ درصد باز بوده است)

مقدار ۱۲ گرم بر مترمربع را نشان می‌دهد. این به آن معناست که میزان خروجی حجم باد به میزان نصف، برای سرعت ۸ کیلومتر در ساعت، مقدار ۱۲ گرم بر مترمربع و برای سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت مقدار ۹ گرم کود بر مترمربع با عرض پاشش مفید، کمتر از ۱۰ متر از خط میانی ایجاد کرده است که با مقدار مطلوب ۵ گرم بر مترمربع فاصله زیادی داشته و این میزان پاشش برای دو سرعت ۸ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت قابل قبول نمی‌باشد.

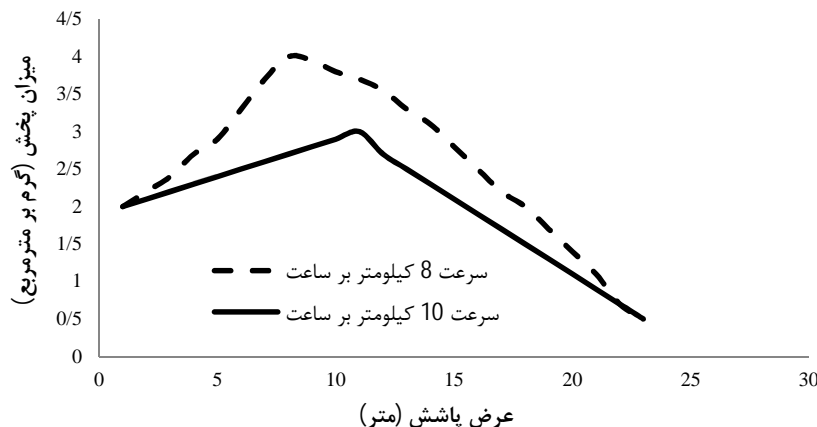
### مقایسه سرعت ۸ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت برای میزان خروجی کامل کود با نصف خروجی باد

در حالت دوم، دستگاه بدون تغییر در میزان خروجی باد، خروجی دریچه کود دو برابر، یا همان مقدار مطلوب ۵۰ کیلوگرم بر هکتار تنظیم شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، عرض پاشش، برای سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت به مقدار ۵ متر در نقطه اوج منحنی، تا میزان نه گرم بر مترمربع و در سرعت ۸ کیلومتر بر ساعت



شکل ۶- مقایسه سرعت ۸ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت برای میزان خروجی کامل کود با نصف خروجی باد

بر مترمربع و در سرعت ۸ کیلومتر بر ساعت در عرض پاشش ۱۱ متر میزان ۴ گرم بر مترمربع را نشان می‌دهد. این به آن معناست که در سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت، میزان پاشش، در هر متر به مقدار مطلوب ۲/۵ گرم بر متر مربع نزدیک‌تر بوده و نسبت به سرعت ۸ کیلو متر بر ساعت، از مقدار پاشش مناسب‌تری برخوردار می‌باشد.



شکل ۷- مقایسه سرعت ۸ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت برای میزان باد کامل با نصف خروجی مخزن کود

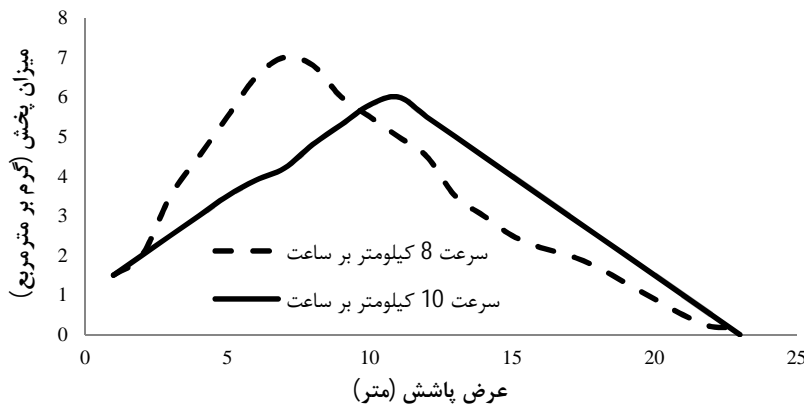
داده شده است. این به آن معناست که در تمام حالات، تنظیمات سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت با خروجی کود ۵۰ کیلوگرم بر هکتار با قدرت کامل خروجی دمنده با دور تعیین شده محور تواندهی بهترین حالت، یعنی مقدار مطلوب ۵ گرم بر متر مربع، که بیشترین عرض پاشش را به وجود آورده نزدیک می‌باشد و این حالت مناسب‌ترین حالت برای کارکرد دستگاه می‌باشد.

### مقایسه سرعت ۸ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت برای میزان باد کامل با نصف خروجی مخزن کود

در شکل ۷ میزان خروجی دریچه کود به مقدار ۲۵ کیلوگرم بر هکتار و میزان خروجی باد به صورت کاملاً باز با قدرت خروجی برابر دمنده تنظیم شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت در عرض پاشش ۱۱ متر از خط میانی میزان ۳ گرم

### مقایسه سرعت ۸ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت برای میزان باد کامل با خروجی کامل مخزن کود

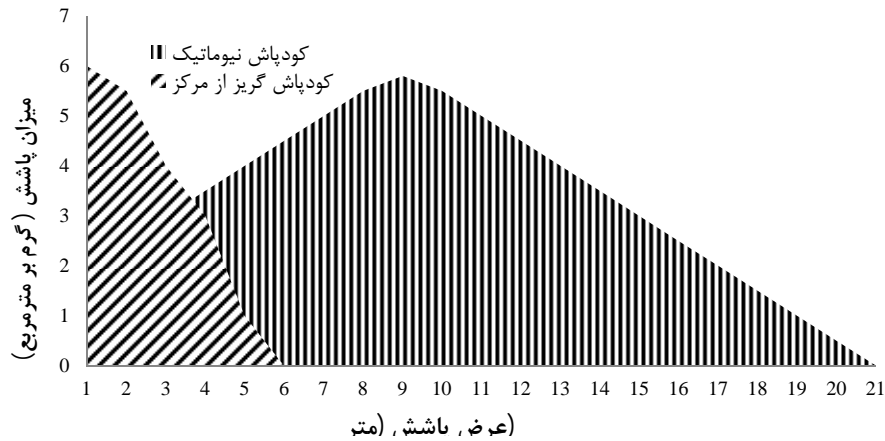
در شکل ۸ تنظیمات دستگاه در دمنده‌ها به صورت کاملاً باز و در دریچه خروجی کود به صورت ۵۰ کیلوگرم بر هکتار قرار داده شده است. همان‌طور که در منحنی مشاهده می‌شود در عرض پاشش ۱۱ متر مقدار ۵ گرم بر مترمربع پاشش برای سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت و مقدار ۷ گرم بر مترمربع، برای سرعت ۸ کیلومتر بر ساعت، نشان



شکل ۸- مقایسه سرعت ۸ و ۱۰ کیلومتر بر ساعت برای میزان باد کامل با خروجی کامل مخزن کود



پاشش به مقدار ۶ گرم بر مترمربع در فاصله ۱۱ متری از خط میانی با شیب نسبتاً آرام به طرفین متمایل می‌باشد و در روش پاشش توسط دستگاه گریز از مرکز مقدار ۶ گرم بر مترمربع در نقطه صفر خط میانی حاصل شده است. این به آن معناست که یکنواختی پاشش و عرض پاشش در دستگاه کودپاش بادی بهتر می‌باشد.



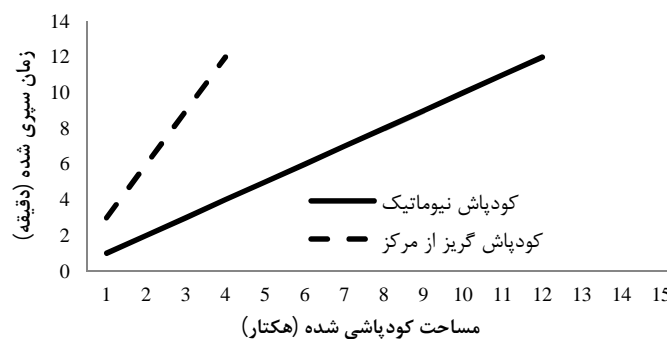
شکل ۹- عرض پاشش برای دستگاه کودپاش بادی و گریز از مرکز در سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت

پاشیده است. این به آن معناست که کودپاش بادی در زمان یکسان میزان پاشش ۳ برابر بیشتر را نسبت به دستگاه کودپاش گریز از مرکز انجام داده و مساحت بیشتری را در زمان یکسان در جهت عملیات کودپاشی ثبت کرده است.

### مقایسه عرض پاشش در دستگاه کودپاش بادی و کودپاش گریز از مرکز در سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت

شکل ۹ مقایسه عرض پاشش برای دو حالت دستگاه کودپاش بادی و دستگاه کودپاش گریز از مرکز را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشینه مقدار

مقایسه زمان سپری شده در دستگاه کودپاش بادی و گریز از مرکز در سرعت ۱۰ کیلومتر در ساعت در شکل ۱۰ همان‌گونه که مشاهده می‌شود در زمان یکسان ۱۲ دقیقه، دستگاه کودپاش بادی سطح ۱۲ هکتار را تحت عملیات پاشش کود قرار داده، در صورتی که دستگاه کودپاش گریز از مرکز تنها مقدار ۴ هکتار را



شکل ۱۰- زمان سپری شده در کودپاش بادی و گریز از مرکز در سرعت ۱۰ کیلومتر در ساعت

کوددهی با دستگاه ساخته شده برابر ۱۷۹۰۰ تومان برای هر هکتار می‌باشد و همین سطح با ۸۹۵۰۰ تومان در روش مرسوم کوددهی انجام می‌گیرد و تفاوت ۷۱۶۰۰ تومان در هزینه به‌دست می‌آید.

### ظرفیت مزرعه‌ای دستگاه و مقایسه هزینه

برای کودپاش بادی طراحی شده که دارای عرض کار ۴۶ متر و سرعت پیشروی ۱۰ کیلومتر در ساعت می‌باشد، ظرفیت مزرعه‌ای ثنوری دستگاه ۴۶ هکتار در ساعت به‌دست آمد. در مقایسه هزینه‌ها نیز هزینه غیرمشترک

- spraying in animal manure. *Journal of Agricultural Mechanization*, 4(2): 71-80
- Hossein Motlagh, N., Mohammadrezaei, M., Hunt, J., & Zakeri, B. (2020). Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. *Energies*, 13(2): 494
- Hu, J., He, J., Wang, Y., Wu, Y., Chen, C., Ren, Z., & He, P. (2020). Design and study on lightweight organic fertilizer distributor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169: 105149
- Kluza, P. A., Kuna-Broniowska, I., & Parafiniuk, S. (2019). Modeling and Prediction of the Uniformity of Spray Liquid Coverage from Flat Fan Spray Nozzles. *Sustainability*, 11(23): 6716
- Korshunov, V. Y., Belous, N. M., Torikov, V. E., & Boiko, A. A. (2020). *Evaluation of energy efficiency of technologies used in abrasive machining of agricultural machinery parts*. *Materials Today: Proceedings* Liljedahl, L. A. (n.d.). Effect of fluid properties and nozzle parameters on drop size distribution from fan spray nozzles.
- May, S., & Kocabiyik, H. (2019). Design and development of an electronic drive and control system for micro-granular fertilizer metering unit. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162: 921-930
- Syawaladi. (2019). *Construction Design and Performance of Dry Leaf Shredder with Vertical Rotation for Compost Fertilizer*. *Proceedings of the Second International Conference on Science, Engineering and Technology*.
- Taghizadeh, J., Jafari, A., Mousazadeh, H., & Torobi, N. (2015). Design, construction and simulation of the performance of a new helical fertilizer machine for livestock manure. *Iranian Biosystems Engineering Quarterly (Iranian Agricultural Sciences)*, 47(2): 197-205
- XueMei, W., Li, G., Fipps, G., Zhang, F., & Yu, L. (2019). Improvement design and experiment of a small deep-placement fertilizer applicator. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*.
- Yazdani, S., Ramezani, MR., Ghasemi, A., Ghaem Maghami, ST. (2019). Analysis of Factors Affecting the Reduction in Fertilizer Use to Achieve Sustainable Saffron Production (Case Study: Gonabad County). *Iranian Agricultural Economics and Development Research*, 50(3): 421-435.

## نتیجه‌گیری

افزایش عرض پاشش کودپاش‌ها روشی موثر برای افزایش ظرفیت مزرعه‌ای است. لذا در این پژوهش سعی شد تا روشی مبتنی بر بکارگیری جریان هوا به منظور افزایش فاصله پرتاب کود ارائه گردد. در طرح پیشنهادی، جریان هوا توسط دو عدد دمنده حلزونی که دهانه آن به طرفین تراکتور متمایل است و جریان باد زیادی تولید می‌کند، تأمین شد. آزمون‌های دستگاه در شرایط مزرعه‌ای نشان داد طرح پیشنهادی توانست عرض پاشش را در مقایسه با کودپاش‌های رایج تا حد موثری افزایش دهد در حالیکه این افزایش، تأثیر منفی بر میزان تراکم کود در واحد سطح نداشت. نتایج پژوهش نشان داد که در تمام حالات، تنظیمات سرعت ۱۰ کیلومتر بر ساعت با خروجی کود ۵۰ کیلوگرم بر هکتار با قدرت کامل خروجی دمنده با دور تعیین شده محور تواندهی بهترین حالت، یعنی مقدار مطلوب ۵ گرم بر متر مربع، که بیشترین عرض پاشش را به‌وجود آورده نزدیک می‌باشد و این حالت مناسب‌ترین حالت برای کارکرد دستگاه می‌باشد.

اگرچه در این مطالعه مقایسه هزینه تولید این نوع کودپاش‌ها در مقایسه با کودپاش‌های مرسوم انجام نشد لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی جنبه‌های اقتصادی تولید و بکارگیری این نوع کودپاش مورد ارزیابی قرار گیرد.

## منابع

- Abdi Rokni, Kh., Hosseini Yakani, SA., Abedi, S., & Kashiri Kolaei, F. (2019). Effect of Optimization of Chemical Fertilizers Consumption on Optimal Cropping Pattern in the Framework of Positive Mathematical Programming (Case Study of Sari Goharbaran). *Journal of Agricultural Economics Research*, 11(42): 263-276
- AhmadiMoghadam, J., Ahmadi, Y., & Salehi, F. (2014). Comparison of two types of centrifugal fertilizer spreaders in order to optimize the fertilizer distribution pattern. *Agriculture Machinery*, 3(2): 85-91
- Devkota, R., Pant, L. P., Gartaula, H. N., Patel, K., Gauchan, D., Hambly-Odame, H., & Raizada, M. N. (2020). Responsible Agricultural Mechanization Innovation for the Sustainable Development of Nepal's Hillside Farming System. *Sustainability*, 12(1): 374
- Heydari, M., & Tahani, B. (2018). Investigation of some factors affecting the uniformity of