

## بررسی برخی عوامل موثر بر میزان یکنواختی پاشش در کودپاش دامی

محسن حیدری سلطان آبادی<sup>۱\*</sup> و بهشاد طحانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۸

تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۱۰

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲- گروه مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ایران  
\* مسئول مکاتبه: mheisol@gmail.com

### چکیده

استفاده از کودهای حیوانی به دلیل تجزیه پذیر بودن و حفظ محیط طبیعی از جمله روش‌های نیل به اهداف توسعه کشاورزی پایدار می‌باشد. امروزه کودهای حیوانی مانند کودهای شیمیایی توسط کودپاش‌های مختلف در سطح مزارع پخش می‌شود. از جمله عوامل بررسی عملکرد این کودپاش‌ها می‌توان به عرض پاشش و یکنواختی طولی و عرضی پخش کود اشاره کرد. در تحقیق حاضر، 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 (به‌عنوان فاکتور فرعی) بر یکنواختی و میزان کود پاشیده شده، بررسی گردید. 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 تحقیق نشان دادند که از میان سطوح مورد آزمون، مناسب‌ترین حالت کاری دستگاه کودپاش در استفاده از تیغه با زاویه بسته و فاصله عرضی تردها به‌میزان ۱۲ تا ۱۴ متر به‌دست می‌آید. در این حالت ظرفیت مزرعه‌ای موثر دستگاه در حدود ۵/۱ هکتار در ساعت، راندمان مزرعه‌ای در حدود ۶۴/۲ درصد و میزان دقت آزمایش‌ها به‌میزان ۹۴/۵ درصد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ظرفیت مزرعه‌ای، عرض پاشش، کود دامی، کودپاش سانتریفوژ، یکنواختی پاشش

### ۱- مقدمه

میزان مصرف و یکنواختی تخصیص کود دامی در سطح مزرعه حائز اهمیت است.

امروزه با پیشرفت مکانیزاسیون کشاورزی، عملیات کوددهی مانند بسیاری از عملیات‌های دیگر زراعی، توسط ماشین انجام می‌شود. این ماشین‌ها معمولاً شامل یک تریلر حمل کود بوده که به سیستم‌های انتقال و پخش کود مجهز شده‌اند. در اکثر این کودپاش‌ها یک نقاله زنجیری یا هلیس‌های جفتی، وظیفه انتقال کود را از کف مخزن به انتها یا کناره دریچه‌های خروجی به‌عهده دارد. قسمت پخش‌کننده معمولاً از صفحات دوار، نقاله‌های انتقال‌دهنده یا غلتک‌های خردکننده افقی یا عمودی تشکیل شده است (پوپا و همکاران، ۲۰۰۹؛ لاگو و همکاران، ۲۰۰۵). این کودپاش‌ها نیروی محرکه خود را عمدتاً از محور تواندهی تراکتور (PTO) یا بعضاً از چرخ زمین‌گرد تریلر دریافت می‌کنند. تاکنون از طرح‌های زیادی در ساخت کودپخش‌کن‌ها استفاده شده است. تقی‌زاده‌طامه و همکاران (۱۳۹۴-آ) یک دستگاه کودپاش دامی

امروزه مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی موجب آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، کاهش تولید محصولات کشاورزی و اسیدی شدن خاک‌ها شده است (آدلی و همکاران، ۲۰۱۰). مصرف کودهای دامی علاوه بر نداشتن معایب کودهای شیمیایی، موجب تقویت منابع آلی خاک، بهبود تغذیه گیاه و در نهایت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد (لی و لیو، ۲۰۰۶). همچنین استفاده از کودهای حیوانی موجب ازدیاد فعالیت میکروارگانیسم‌ها، کاهش سله بستن خاک، افزایش ذخیره آب و اکسیژن در خاک و بهبود ساختمان آن شده و افزایش کمی و کیفی محصول را به دنبال خواهد داشت (گراهام و وانس، ۲۰۰۰؛ شاریلی و همکاران، ۲۰۰۴). میزان مصرف کود حیوانی به‌فاکتورهای نظیر ماده آلی خاک، نوع گیاه مورد کشت، بافت خاک و میزان بارندگی بستگی دارد. در یک روش مناسب کوددهی، دو عامل

سرعت دورانی آن بستگی دارد (دوهانیک و همکاران، ۲۰۰۴). کوکو و وایرین (۲۰۰۹)، شیوه بهینه‌سازی پاشش دقیق کود را با استفاده از پخش‌کن‌های سانتریفوژ مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه آن‌ها تابع هزینه، اختلاف بین مقدار کود مورد نیاز خاک و میزان کود پخش شده بود. نتایج به‌دست‌آمده نشان دادند که خطای پاشش به مقدار چشمگیری برای مسیرهای موازی درون مزرعه کاهش می‌یابد. ون‌لیدرک و همکاران (۲۰۰۹)، جریان ذرات پخش‌کننده سانتریفوژ کود را با استفاده از تکنیک DEM شبیه‌سازی کردند. مدل به‌دست آمده با استفاده از روش DEM به‌وسیله آزمایش‌های تجربی با دو شیوه متفاوت مورد ارزیابی و تأیید قرار گرفت. در روش اول میزان ذرات پخش‌شده در داخل جعبه‌های چیده شده اطراف دیسک جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. روش دوم شامل جمع‌آوری ذرات روی زمین بعد از پرتاب شدن از دیسک چرخان بود. تفسیر آماری و کیفی نتایج به‌دست آمده از دو آزمون تجربی در سرعت ۵۰۰ - ۳۰۰ دور در دقیقه با نتایج به دست آمده از مدل DEM مطابقت داشت. اما در سرعت‌های بالاتر گردش دیسک (۶۵۰ - ۵۰۰ دور در دقیقه) شبیه‌سازی در مقایسه با نتایج تجربی دارای اختلاف زیادی بود. در تحقیقی مخلوط سه نوع کود نیترات آمونیم، فسفات دی آمونیم و پتاسیم با نسبت ۱۷-۱۷-۱۷ به وسیله یک کودپاش پشت تراکتوری کششی پخش گردید و سپس نسبت کودهای پخش شده و یکنواختی پاشش بررسی شد. نتایج نشان داد که نسبت پخش شده به صورت ۱۷-۱۸-۱۷ تغییر یافته است. طبق همین نتایج میزان غیریکنواختی پاشش براساس ضرایب تغییرات پخش کودهای یاد شده به ترتیب ۴ درصد، ۲۵ درصد و ۲۶ درصد حاصل شد (ویبرک و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهشی تقی‌زاده‌طامه و همکاران (۱۳۹۴-ب)، به طراحی و ساخت یک ماشین کودپاش سانتریفوژ، ویژه کود دامی پرداختند و تأثیر زاویه قرارگیری پره‌ها (شعاعی و غیر شعاعی) و گودی صفحه کودپران را بر عملکرد ماشین بررسی نمودند. نتایج نشان دادند که با افزایش زاویه پره‌ها، عرض پاشش ماشین بیشتر می‌شود. همچنین عرض پاشش در صفحه کودپران گود، بیشتر از عرض پاشش با صفحه کودپران صاف بود. شیخ‌داوودی و ثنایی‌فرد (۱۳۹۱) اثر جرم حقیقی و ظاهری دانه و نرخ خروجی دانه را بر عرض موثر پاشش و عرض کل پاشش در دو بذریاش نوسانی و گریز از مرکز مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که عرض کل پاشش پاشنده‌های گریز از مرکز، بیش از عرض کل پاشش پاشنده‌های نوسانی است. همچنین مشخص شد که عرض موثر پاشش و عرض کل پاشش دانه‌های با میانگین جرم بیشتر و دانه‌های با جرم حجمی بالاتر، بیشتر از دانه‌های با میانگین جرم و جرم حجمی حقیقی کمتر است. از طرفی با افزایش نرخ پاشش در اثر افزایش میزان دبی، عرض پاشش بیشتر می‌شود. پریش (۲۰۰۲)، اثر ارتفاع پخش و سرعت دورانی محور

ساختند که در آن از دو هلیس برای انتقال کود در کف مخزن و از دو استوانه مارپیچی برای پاشش کود استفاده شده بود. نتایج تحقیق آن‌ها در بررسی اثر سرعت و جرم مواد پخش شونده بر عرض پاشش نشان دادند که نرخ پاشش کود در بازه ۰/۰۲۲ تا ۰/۰۷۳ متر مکعب بر ثانیه متغیر است. همچنین با افزایش سرعت دورانی و ضریب اصطکاک داخلی کود، توان دورانی افزایش می‌یابد. عرض متوسط پاشش کود در این دستگاه با احتساب سرعت دورانی ۸۱۰ دور در دقیقه‌ای برای استوانه مارپیچی، در حدود ۱۴ متر گزارش شده است.

عرض پاشش و یکنواختی پخش کود در دو راستای طولی و عرضی، دو عامل اصلی تعیین‌کننده عملکرد کودپاش‌ها از جمله کودپاش‌های دامی محسوب می‌شوند. غیر یکنواختی پخش کود می‌تواند علاوه بر کوددهی ناکافی در قسمت‌هایی از سطح مزرعه، موجب کوددهی بیش از حد در مناطق دیگر شده و نهایتاً غیریک-نواختی رشد محصول را باعث شود. بر این اساس پخش مناسب کود، یکی از مراحل مهم در آماده‌سازی زمین برای تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود (دوهانیک و همکاران، ۲۰۰۴). یکنواختی پخش کود دامی تابع عوامل متعددی چون نوع و کیفیت کود، مشخصات فنی کودپاش و نیز نحوه کودپاشی در مزرعه می‌باشد. به-عنوان مثال کود دامی خشک و تر از نظر یکنواختی پاشش متفاوت هستند. همچنین تنظیمات و مشخصات فنی کودپاش نظیر سرعت دورانی کودپران‌ها (صفحات دوار یا گریز از مرکز)، تعداد این صفحات و نیز تعداد و نحوه اتصال تیغه‌های کودپران به صفحات دوار تأثیر به‌سزایی در یکنواختی و عرض پاشش کود دارد. علاوه بر موارد مطرح شده، نحوه کاربرد کودپاش‌ها به خصوص رعایت فاصله عرضی تردهای مجاور هم نقش انکارناپذیری در یکنواختی پخش کود ایفا می‌نماید.

تحقیقات متعددی در زمینه مدل‌سازی و محاسبه یکنواختی پاشش کودپاش‌ها انجام شده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۱)، اثر تعداد پره‌های تک دیسک مسطح چرخان (۴، ۶ و ۸ پره) و وضعیت قرارگیری پره‌ها به دو صورت شعاعی و غیرشعاعی را بر یکنواختی پاشش دو نوع کود شیمیایی نیترات آمونیم و سوپرفسفات سه‌گانه بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان دادند که تعداد پره هیچ تأثیری بر روی یکنواختی توزیع کود شیمیایی در هر دو نوع کود ندارد. در حالی که وضعیت قرارگیری پره‌ها اثر معنی‌داری بر یکنواختی توزیع ایجاد می‌نماید. در پایان آن‌ها دیسک ۸ پره‌ای با موقعیت پره‌های غیرشعاعی را بهترین گزینه از نظر توزیع یکنواختی معرفی کردند. تحقیق دیگری نشان داد که اصطکاک، عامل چندان مهمی در الگوی پخش کود نیست. در حالی که موقعیت اولیه قطعات کود بر روی صفحه کودپران، عامل تعیین‌کننده در سرعت زاویه‌ای و مسافت طی شده توسط کود است. سرعت خطی ذرات کود به‌اندازه صفحه کودپران و



شکل ۱- کودپاش مورد استفاده در آزمایش‌ها



شکل ۲- نحوه قرار گرفتن پره‌های کودپران در حالت بسته (وضعیت ۱) و حالت باز (وضعیت ۲)

کود پس از انتقال از کف مخزن به وسیله نقاله زنجیری، از دریچه خروجی عبور کرده و بر روی دو صفحه کودپران ریخته می‌شود. ذرات کود در اثر چرخش صفحات و برخورد با پره‌های ناودانی شکل، به اطراف پرتاب و پخش می‌شوند. در این تحقیق به منظور تعیین عملکرد دستگاه کودپاش مارک بوفالو، با استفاده از طرح کرت‌های خرد شده در سه تکرار، زاویه پره صفحه کودپران در دو حالت زاویه کاملاً باز و زاویه کاملاً بسته (که به اختصار زاویه باز و زاویه بسته اطلاق می‌گردد) به عنوان فاکتور اصلی و فاصله عرضی تردهای مجاور هم در شش سطح ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ متر به عنوان فاکتور فرعی تغییر داده شد و اثر آن بر میزان یکنواختی عرضی پاشش کود و مقدار کود پخش شده در واحد سطح مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور در هر تکرار ابتدا پره صفحه کودپران در یکی از زاویه‌های باز یا بسته قرار گرفت. سپس تنظیمات دیگر (به سفارش سازنده) شامل باز بودن کامل دریچه خروجی، تنظیم سرعت صفحات کودپران در حالت بیشینه ۱۰۰۰ دور در دقیقه و محور هیدروموتور زنجیر نقاله در حالت بیشینه ۶۶ دور در دقیقه و رسیدن سرعت محور تواندهی تراکتور به ۵۴۰ دور در دقیقه بر روی کودپاش انجام شد. در قدم بعدی عملیات کودپاشی در یک مسیر

تواندهی را بر روی الگوی پخش در دو پخش‌کن دوار و پاندولی مورد بررسی قرار داد. نتایج تحقیق نشان دادند که هر دو نوع پخش‌کن دوار و پاندولی نسبتاً به تغییرات کوچک در ارتفاع پخش غیر حساس هستند و تغییر بیشتر در ارتفاع پخش‌کن دوار، الگوی پخش را بهبود می‌بخشد. نتایج پژوهش دیگری مشخص نمودند که در کودپاش‌های دو دیسک مسطح با افزایش سرعت دورانی، عرض پاشش بیشتر می‌شود. در کودپاش تک دیسک مسطح، فاصله توزیع با افزایش سرعت چرخش دیسک (از ۵۴۰ تا ۸۱۰ دور در دقیقه)، بیشتر می‌شود (یلدیریم، ۲۰۰۶). دینتوا و همکاران (۲۰۰۴)، گزارش دادند که سرعت‌های مختلف چرخش دیسک در کودپاش تک دیسک مسطح (۲۸۰، ۵۱۶، ۷۵۲ و ۹۱۰ دور در دقیقه) بر الگوی پخش تأثیرگذار است.

با توجه به اهمیت یکنواختی پاشش کود دامی در دو جهت طولی و عرضی و لزوم به‌کارگیری روش‌های تأمین این یکنواختی در ادوات کودپاش، در تحقیق حاضر تأثیر دو عامل آرایش تیغه‌های کودپران و فاصله عرضی تردهای مجاور بر میزان یکنواختی و مقدار پاشش کود در یک دستگاه کودپاش پشت تراکتوری مدل بوفالو مورد بررسی قرار گرفت. همچنین شاخص‌های راندمان و ظرفیت مزرعه‌ای در این کودپاش اندازه‌گیری شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی یک دستگاه تریلر کود پخش‌کن دامی تحت نام بوفالو، ساخت شرکت ماشین‌ساز سورنا انجام شد. کودپاش مذکور دارای دو چرخ حامل و مجهز به سیستم کنترل تمام هیدرولیکی بوده و به صورت کششی در پشت تراکتورهای با قدرت ۷۵ اسب بخار قابل راه اندازی است (شکل ۱). کودپاش مذکور از یک مخزن کود به ظرفیت ۶۰۰۰ لیتر، نقاله زنجیری در کف مخزن جهت هدایت کود به دریچه خروجی، دو عدد صفحه کودپران (سانتریفوژ) در انتهای دستگاه، همزن ماریچی در قسمت طولی مخزن و شیرها و اتصالات هیدرولیکی تشکیل شده است. بعد از ریختن کود دامی جامد در مخزن کودپاش، دستگاه توسط تراکتور در سطح مزرعه کشیده می‌شود و هم‌زمان با چرخش محور تواندهی تراکتور (PTO)، یک هیدروپمپ، روغن را در مسیر هیدرولیکی به جریان در می‌آورد. فشار روغن، موجب راه‌اندازی دو هیدروموتور متصل به نقاله زنجیری کف مخزن، هیدروموتور متصل به همزن ماریچی داخل مخزن و دو هیدروموتور متصل به دو صفحه سانتریفوژ (کودپران) می‌گردد. بر روی هر صفحه کودپران ۴ پره با مقطعی به شکل ناودانی نصب شده است. پره‌ها قابلیت تنظیم در دو وضعیت زاویه‌ای نسبت به مرکز صفحه پاشش را دارند (شکل ۲). با تنظیم زاویه این پره‌ها و همچنین سرعت دورانی صفحات چرخان از طریق شیر کنترل فشار می‌توان عرض پاشش کود را کنترل نمود.



شکل ۳- نحوه قرار دادن جعبه‌ها در مسیر کودپاشی

پس از تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مربوط به اندازه‌گیری یک‌نواختی عرضی پاشش و دستیابی به مناسب‌ترین حالت تیغه کودپران از لحاظ یک‌نواختی عرضی پاشش، یک‌نواختی طولی پاشش کود نیز اندازه‌گیری شد. به این منظور در یک مسیر جداگانه، جعبه‌ها با فواصل مساوی در طول مسیر کودپاشی چیده شده و عملیات کودپاشی، ثبت وزن کود جمع‌شده در جعبه‌ها و اندازه‌گیری ضریب تغییرات اجرا گردید. در آزمایش‌های تکمیلی و بعد از تشخیص عرض موثر (فاصله عرضی مناسب تردهای مجاور) کودپاش، ظرفیت و راندمان مزرعه‌ای کودپاش نیز اندازه‌گیری شد. به این منظور در دو زمین به ابعاد  $48 \times 62/5$  و  $45 \times 48$  متر مربع اقدام به کودپاشی شد و کل زمان کودپاشی و سرعت پیش‌روی تراکتور و کودپاش ثبت گردید. ظرفیت مزرعه‌ای نظری و موثر و راندمان مزرعه‌ای کودپاش به ترتیب از روابط زیر به دست آمد (الماسی و همکاران، ۱۳۸۷):

$$f_t = \frac{W \times v}{10} \quad (2)$$

$$f_e = \frac{A}{T} \quad (3)$$

$$ef = \frac{f_e}{f_t} \times 100 \quad (4)$$

در این معادلات،  $f_t$  ظرفیت مزرعه‌ای نظری (هکتار بر ساعت)،  $W$  عرض موثر کودپاش دامی (متر)،  $v$  سرعت پیش‌روی تراکتور و کودپاش (کیلومتر در ساعت)،  $f_e$  ظرفیت مزرعه‌ای موثر (هکتار بر ساعت)،  $A$  مساحت زمین کودپاشی شده (هکتار)،  $T$  کل زمان کودپاشی (ساعت) و  $ef$  راندمان مزرعه‌ای (درصد) است.

در پایان آزمایش‌ها و به منظور تعیین دقت روش اندازه‌گیری میزان کود پخش شده از طریق جعبه‌های کوچک، آزمایشی ترتیب داده شد که در آن عملیات کودپاشی در یک تردد با شرایط فنی آزمایش‌های قبلی (مناسب‌ترین تنظیم کودپاش از لحاظ حالت تیغه کودپران) بر روی ۳ پلاستیک با ابعاد  $4 \times 20$  متر که با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر روی زمین پهن شده بودند، اجرا گردید. در ادامه کودهای ریخته شده بر

مستقیم ۲۰ متری اجرا گردید. سعی شد که سرعت پیش‌روی تراکتور و کودپاش در تمامی آزمایش‌ها به صورت یکسان و در حدود  $6/6$  کیلومتر در ساعت حفظ گردد. در این سرعت پیش‌روی، امکان تردد مناسب در زمین مورد آزمایش فراهم می‌شد. در پایان مسیر عملیات قطع شده و پس از دور زدن تراکتور و کودپاش با حفظ فاصله از تردد قبلی به میزان مثلاً ۸ متر، کودپاشی تکرار می‌شد. این عملیات برای تردد سوم نیز انجام گردید. برای فواصل عرضی ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ متر نیز عملیات مشابه انجام شد. تمامی عملیات یاد شده با زاویه دوم پره نیز اجرا گردید. به منظور تعیین مقدار کود پخش شده در واحد سطح و میزان یک‌نواختی پاشش، از ۱۱ عدد جعبه با ابعاد  $50 \times 50 \times 10$  سانتی‌متر استفاده شد (بی‌نام، ۲۰۰۳). این جعبه‌ها عمود بر مسیر حرکت و در فاصله ۱۰ متری شروع کودپاشی، به فواصل مساوی از یکدیگر به گونه‌ای روی زمین قرار گرفتند که عرض پاشش اسمی (۲۰ متر) کودپاش را در برگیرند (شکل ۳). با گذر تراکتور و کودپاش از محل جعبه‌ها، کود جمع شده در آن‌ها تخلیه و توزین گردید. کود مورد استفاده در آزمایش‌ها از نوع کود گاوی، دارای رطوبت  $17/6$  درصد و دانسیته ظاهری  $0/26$  کیلوگرم بر متر مکعب بود. میزان یک‌نواختی پاشش و تعیین هم‌پوشانی مناسب براساس محاسبه ضریب تغییرات وزن کود جمع شده در ظرف‌ها و از رابطه ۱ به دست آمد (گالیلی و همکاران، ۱۹۸۷؛ بی‌نام، ۲۰۰۳). این پارامتر آماری در این‌جا نشان دهنده درصد تغییرات وزن کود پخش شده در عرض (یا طول) مسیر کودپاشی است.

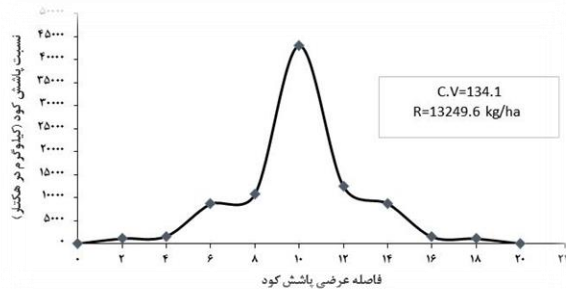
$$C.V = \frac{\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}{\bar{x}} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه،  $C.V$  ضریب تغییرات (درصد)،  $i$  شماره ظرف،  $x_i$  وزن کود جمع شده در ظرف  $i$  ام (کیلوگرم)،  $n$  تعداد ظروف و  $\bar{x}$  میانگین وزن کود جمع‌آوری شده (کیلوگرم) در همه ظروف است. مقدار کود پخش شده ( $R_p$ ) بر حسب کیلوگرم در هکتار به روش نسبت‌گیری از رابطه (۲) به دست آمد:

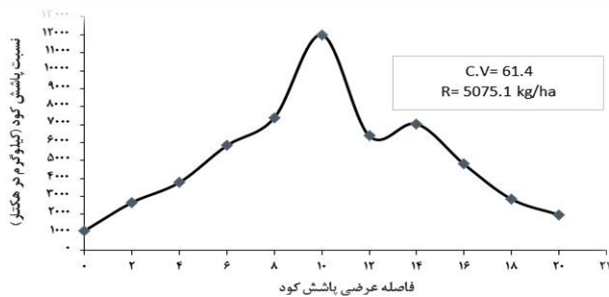
$$R_p = \frac{\bar{x}}{0.025} \times 10000 \quad (2)$$

مقدار  $0/025$  متر مربع، مساحت داخلی هر جعبه می‌باشد.

تردها و نیز اثر متقابل این دو در سطح آماری یک درصد بر میزان یکنواختی و مقدار کود پخش شده معنی دار شده است (جدول ۱). جدول ۲ و ۳ میانگین‌های میزان یکنواختی (ضریب تغییرات) و مقدار وزنی کود پخش شده و شکل ۶ و ۷ تغییرات مقادیر این دو را نسبت به هم نشان می‌دهد.



شکل ۴- الگوی پاشش عمومی کودپاش دامی در حالت تیغه کودپران با زاویه باز (در یک تردد)



شکل ۵- الگوی پاشش عمومی کودپاش دامی در حالت تیغه کودپران با زاویه بسته (در یک تردد)

روی هر یک از پلاستیک‌ها جمع‌آوری و توزین شد و میانگین کود پخش شده در واحد سطح (با توجه به ابعاد پلاستیک‌ها) به دست آمد. دقت روش اندازه‌گیری مقدار پاشش کود از رابطه زیر تعریف گردید.

$$AC = \frac{|R_p - R_f|}{R_p} \times 100 \quad (۵)$$

در این معادله  $AC$  خطای اندازه‌گیری (درصد)،  $R_p$  مقدار کود پخش شده (کیلوگرم در هکتار)، به روش جمع‌آوری در جعبه و  $R_f$  میانگین کود پخش شده (کیلوگرم در هکتار) به روش جمع‌آوری روی پلاستیک است. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 16.0 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و میانگین‌های اثرات معنی دار شده با آزمون دانکن مقایسه شدند.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- میزان یکنواختی عرضی پاشش کود

همان‌گونه که بیان گردید، ضریب تغییرات اندازه‌گیری شده در برآورد یکنواختی پاشش کود، نشان دهنده درصد تغییرات وزن کود پخش شده در عرض (یا طول) مسیر کودپاشی است. به عبارت دیگر هر چه مقدار عددی ضریب تغییرات بیشتر باشد، نشان می‌دهد که یک-نواختی پاشش کود در عرض یا طول مسیر حرکت کودپاش کمتر است. شکل‌های ۴ و ۵ الگوی پاشش کود را در یک تردد کودپاش در دو حالت تیغه با زاویه بسته و باز نمایش می‌دهد. مقایسه ضریب تغییرات این دو الگوی پاشش نشان می‌دهد که استفاده از تیغه در حالت زاویه باز موجب غیریک‌نواختی بیشتری در پاشش گردیده است به صورتی که بخش اعظم کود در ناحیه مرکزی عرض پاشش، پخش شده است. تغییر حالت تیغه صفحه کودپران از باز به بسته، تا حد زیادی این مشکل را برطرف کرده به صورتی که ضریب تغییرات پاشش تا حدود نصف، کاهش یافته است. تجزیه واریانس اثر حالت تیغه کودپران و فاصله عرضی تردها نشان داد که اثر ساده حالت تیغه کودپران و فاصله عرضی

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر حالت تیغه کودپران و فاصله عرضی تردها بر یکنواختی و مقدار کود پخش شده

منابع تغییر	درجه آزادی	یکنواختی پاشش کود	مقدار کود پخش شده	میانگین مربعات
تکرار	۲	۷/۵۷	۵۷۲۳/۶۸	
حالت تیغه کودپران	۱	۶۸۳۹۷/۹۴**	۳۱۵۲۹۹۰۳۳/۵**	
خطای نوع اول	۲	۶/۱۷	۷۶۳۴/۹۸	
فاصله عرضی تردها	۵	۴۴۷/۳۴**	۱۰۴۳۰۷۲۹/۷۱**	
حالت تیغه کودپران × فاصله عرضی تردها	۵	۲۷۱/۲۴**	۱۲۷۵۹۱۹/۷۲**	
خطای نوع دوم	۲۰	۴/۸	۱۳۶۳۸/۸۹	

\*\* معنی دار در سطح آماری یک درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های ضریب تغییرات پاشش (درصد)

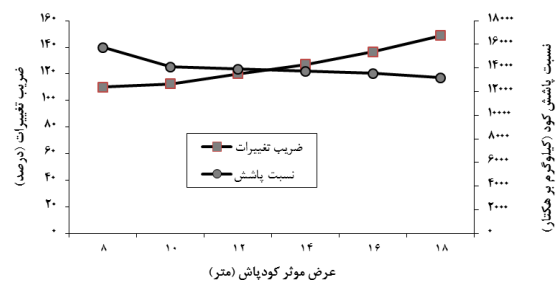
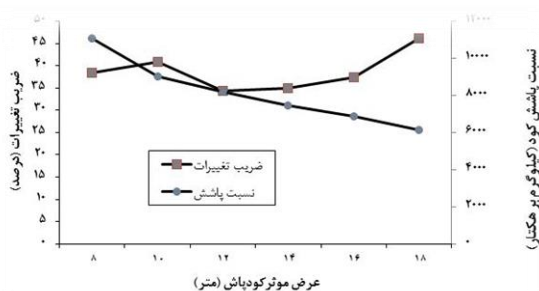
فاصله عرضی تردهای کنار هم (متر)						
حالت تیغه کودپران	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸
تیغه با زاویه باز	۱۱۰e	۱۱۲/۵e	۱۲۰/۲ad	۱۲۷ac	۱۳۶/۶ab	۱۴۸/۷a
تیغه با زاویه بسته	۳۸/۵gh	۴۰/۹g	۳۴/۴i	۳۴/۹hi	۳۷/۳gh	۴۶/۱f

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، در سطح آماری ۵ درصد فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن)

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های مقدار کود پخش شده (کیلوگرم بر هکتار)

فاصله عرضی تردهای کنار هم (متر)						
حالت تیغه کودپران	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸
تیغه با زاویه باز	۱۵۷۴۰a	۱۴۱۰۰b	۱۳۹۱۰bc	۱۳۷۳۰cd	۱۳۵۴۰d	۱۳۱۶۰e
تیغه با زاویه بسته	۱۱۰۶۰f	۹۰۳۳g	۸۱۸۴h	۷۴۴۴i	۶۸۴۷j	۶۱۳۸k

میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، در سطح آماری ۵ درصد فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن)

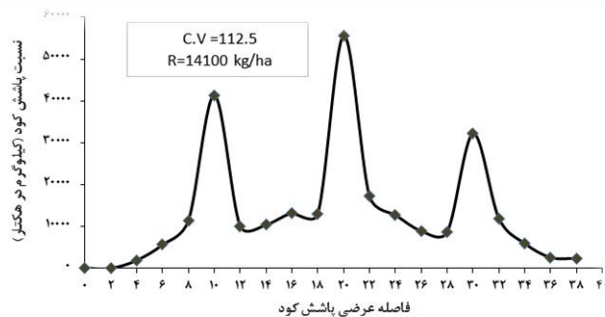


شکل ۶- مقادیر ضریب تغییرات و مقدار کود پخش شده در حالت تیغه با زاویه باز

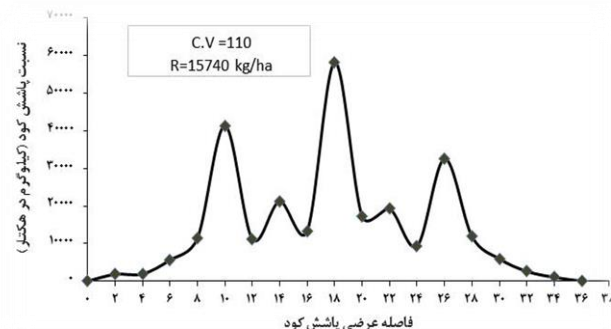
شکل ۷- مقادیر ضریب تغییرات و مقدار کود پخش شده در حالت تیغه با زاویه بسته

وضعیت مقدار ۱۴۱۰۰ تا ۱۵۷۴۰ کیلوگرم در هکتار برآورد می‌گردد (شکل ۶). شکل‌های ۸ تا ۱۱ الگوی پاشش کود را در حالت‌های بیان شده نشان می‌دهند. در تحقیق مشابهی، احمدی مقدم و همکاران (۱۳۹۲)، اثر تعداد پره‌های تک دیسک مسطح چرخان و وضعیت قرارگیری آن‌ها (شعاعی و غیرشعاعی) را بر روی یکنواختی توزیع کودهای گرانوله دو نوع کود شیمیایی بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان دادند که بیشترین یکنواختی در پره‌های غیرشعاعی قابل مشاهده است. گالیلی و همکاران (۱۹۸۷)، کودپاشی ساختند که در آن یک پروانه عمودی عملیات پخش کود را انجام می‌داد. در بررسی این دستگاه، عرض موثر کودپاشی به ترتیب ۱۹ متر برای کود سولفات آمونیم، ۲۷ متر برای کود اوره، ۳۹ متر برای کود سوپر فسفات و ۵۴ متر برای کود پی-کا -۱۰-۳۰، به دست آمد. میزان ضریب پراکندگی کودپاشی برای کود سولفات آمونیم ۲۷ درصد و برای سه کود دیگر بین ۱۰ تا ۱۵ درصد محاسبه شد.

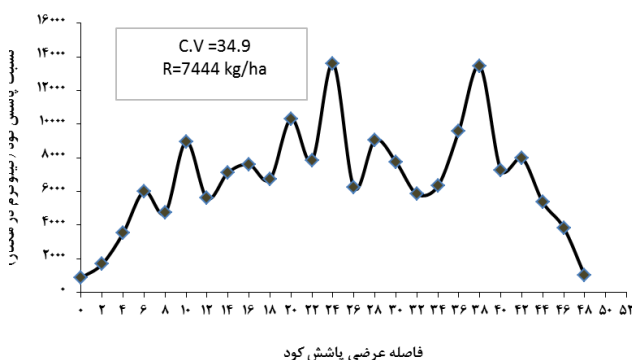
بر این اساس کمترین پراکندگی پاشش در حالت تیغه با زاویه باز در فاصله عرضی ۸ و ۱۰ متر قابل مشاهده است. در حالی که با استفاده از تیغه با زاویه بسته، کمترین ضریب تغییرات در فاصله عرضی ۱۲ تا ۱۴ متر به دست می‌آید. از آنجا که ضریب تغییرات پاشش کود نشان دهنده میزان یکنواختی پاشش در سراسر فاصله عرضی پاشش است، انتخاب تنظیمات مناسب کودپاش براساس حداقل بودن ضریب تغییرات خواهد بود. بر این اساس در کودپاشی با صفحه کودپران مجهز به تیغه با زاویه بسته، فاصله عرضی تردها باید بین ۱۲ تا ۱۴ متر باشد (شکل ۷). در این شرایط میزان کود پاشیده شده در سطح مزرعه بین ۷۴۴۴ تا ۸۱۸۴ کیلوگرم در هکتار است. ضریب تغییرات بالا در تیغه‌های با حالت باز نسبت به تیغه‌های بسته، نشان از نامناسب بودن این تنظیم روی کودپاش بوده و استفاده از آن قابل توصیه نخواهد بود. با این وجود فاصله عرضی تردهای ۸ تا ۱۰ متر، کمترین ضریب تغییرات را در حالت تیغه باز به خود اختصاص داده است. میزان پاشش کود در این



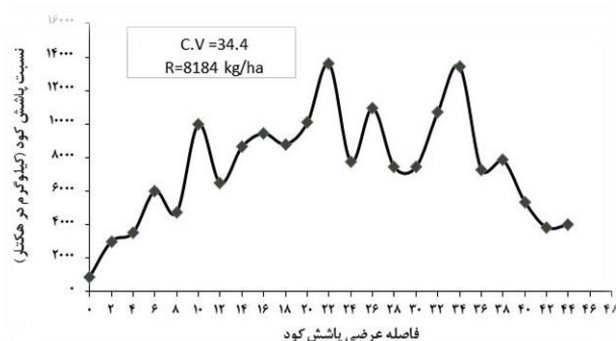
شکل ۹- الگوی پاشش کودپاش دامی با فاصله ۱۰متری ترددها (تیغه صفحه کودپران با زاویه باز)



شکل ۸- الگوی پاشش کودپاش دامی با فاصله ۸ متری ترددها (تیغه صفحه کودپران با زاویه باز)



شکل ۱۱- الگوی پاشش کودپاش دامی با فاصله ۱۴متری ترددها (تیغه صفحه کودپران با زاویه بسته)



شکل ۱۰- الگوی پاشش کودپاش دامی با فاصله ۱۲متری ترددها (تیغه صفحه کودپران با زاویه بسته)

کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. بنابراین دقت آزمایش‌های اندازه‌گیری به‌روش نصب جعبه در حدود ۹۴/۵ درصد است.

#### ۳-۴- ظرفیت و راندمان مزرعای کودپاش

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ظرفیت و راندمان مزرعای کودپاش در دو زمین مجزا در جدول ۴ خلاصه شده است. بر این اساس میانگین ظرفیت مزرعای موثر و راندمان مزرعای کودپاش به ترتیب ۵/۱ هکتار بر ساعت و ۶۴/۲ درصد به‌دست آمد. در این آزمایش‌ها عرض موثر کودپاش بر اساس نتایج اندازه‌گیری الگوی پاشش کود به‌میزان ۱۲ متر در نظر گرفته شد. یکی از دلایل راندمان کم دستگاه، مربوط به‌زمان دورزدن‌های آن در انتهای خطوط تردد بود. چرا که وزن تریلر کودپاش و کود داخل آن موجب کندی حرکت و افزایش زمان دور زدن می‌شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری نهایی

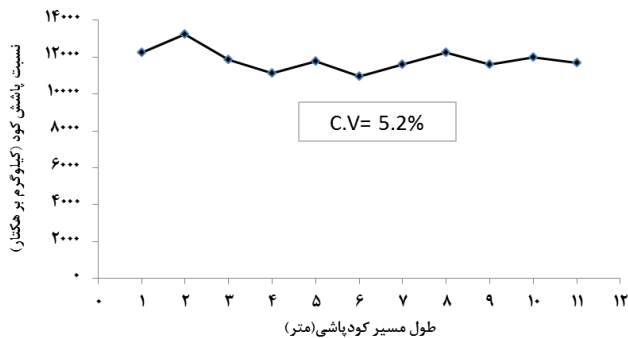
بررسی‌های پژوهش حاضر بر روی یک دستگاه کودپاش دامی نشان داد که کاربرد تیغه در حالت زاویه بسته نسبت به‌نوع زاویه باز به‌طور چشم‌گیری یکنواختی پاشش کود را در عرض کار کودپاش افزایش می‌دهد. هم‌چنین کود پاشی در فواصل عرضی ۱۲ تا ۱۴ متر،

#### ۳-۲- میزان یکنواختی طولی پاشش کود

نتایج اندازه‌گیری ضریب تغییرات وزنی کود پخش شده در طول مسیر کودپاشی، در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. بر این اساس میزان تغییرات نسبت کودپاشی در طول مسیر کودپاشی ۵/۲ درصد می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشخص است تغییرات نسبت پاشش کود در طول مسیر کودپاشی بسیار کمتر از عرض کودپاشی است که البته دور از انتظار نیست. تغییرات مقدار کود پخش شده در طول مسیر کودپاشی از تغییرات لحظه‌ای خروجی کود از کودپاش ناشی می‌شود که این خود بیشتر در اثر تغییر مشخصات توده کود در حال خروج از کودپاش نشأت می‌گیرد.

#### ۳-۳- دقت روش اندازه‌گیری مقدار پاشش کود

بر اساس نتایج آزمایش‌ها میزان دقیق مقدار کود پخش شده به روش جمع‌آوری روی پلاستیک (در یک تردد و در حالت تیغه کودپران با زاویه بسته) ۴۸۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در حالت کاملاً مشابه، مقدار کود پخش شده به‌روش اندازه‌گیری در جعبه، ۵۰۷۵



هم‌پوشانی مناسب عرض‌های کودپاشی را تأمین کرده و یک‌نواختی پاشش کود در حد قابل قبول خواهد بود. تحت شرایط یاد شده ظرفیت مزرعه‌ای موثر کودپاش در حدود ۵/۱ هکتار بر ساعت و راندمان مزرعه‌ای در حدود ۶۴/۲ درصد به‌دست آمد.

شکل ۱۲- تغییرات نسبت پاشش کود در طول مسیر کودپاشی

جدول ۴- نتایج عملکرد دستگاه کودپاش دامی

راندمان	ظرفیت مزرعه‌ای اسمی (هکتار بر ساعت)	ظرفیت مزرعه‌ای موثر (هکتار بر ساعت)	بکسوات (درصد)	زمان انجام کار (ثانیه)	ابعاد زمین (متر مربع)	سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)
۶۵/۱۵	۷/۹۲	۵/۱۶	۱/۹	۲۰۹	۶۲/۵ × ۴۸	۶/۶
۶۳/۲۵	۷/۹۲	۵/۰۱	۱/۹	۱۵۵	۴۵ × ۴۸	۶/۶

## منابع

- احمدی مقدم، پ. احمدی، ی. صالحی، ف. ۱۳۹۲. مقایسه دو نوع پخش‌کننده کودپاش‌های سانتریفوژ به‌منظور بهینه‌سازی الگوی پخش کود. نشریه ماشین‌های کشاورزی. ۳ (۲): ۸۵-۹۱.
- احمدی، ی. شیخی آراسته، ا. احمدی مقدم، پ. ۱۳۹۱. اثر تعداد پره‌های تک دیسک مسطح چرخان و وضعیت قرارگیری آنها (شعاعی و غیرشعاعی) بر روی یک‌نواختی توزیع کوه‌های گرانوله. هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه شیراز. الماسی، م. کیانی، ش. لویمی، ن. ۱۳۸۷. مبانی مکانیزاسیون کشاورزی. چاپ چهارم. انتشارات جنگل. تهران.
- تقی‌زاده‌طامه، ج. جعفری، ع. موسی‌زاده، ح. طربی، ن. ۱۳۹۴-آ. طراحی، ساخت و شبیه‌سازی عملکرد ماشین‌نوین کودپاش هلیسی کود دامی. نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- تقی‌زاده‌طامه، ج. جعفری، ع. موسی‌زاده، ح. طربی، ن. ۱۳۹۴-ب. طراحی، ساخت و ارزیابی ماشین کودپاش سانتریفوژ کود دامی. نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- شیخ‌داوودی، م. ثنایی‌فرد، ع. ۱۳۹۱. بررسی و مقایسه پارامترهای موثر بر نوع پاشش بذریاش‌های نوسانی و گریز از مرکز. مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

Adeleye, E. O., Ayeni L. S. and Ojeniyi. S. O. 2010. **Effect of poultry manure on soil physico-chemical properties, leaf nutrient contents and yield of yam (*Dioscorea Rotundata*) on Alfisol in Southwestern Nigeria.** Journal of American Science. 6(10), 871-878.

Anon. 2003. **EN 13080, Agricultural machinery – Manure spreaders – Environment protection – Requirements and test methods.** CEN. 2003. 22 pages Applied Engineering Agriculture. 18(3): 297-299.

Dintwa, E., Liedekerke P. V., Olieslangers R., Tijsskens E. and Ramon H. 2004. **Model for simulation of particle flow on a centrifugal fertilizer spreader.** Biosystem Engineering. 87(4): 407-415.



- Duhovnik, J., Benedicic J and Bernik. R. 2004. **Analysis and design parameters for inclined rotors used for manure dispersal on broadcast spreaders for solid manure.** Transactions of the ASAE, 47(5). 1389-1404.
- Galili, N. I., Shmulevich C. and Coble G. 1987. **Wide-Swath Vertical Type Centrifugal Spreader.** ASAE. Paper No. 86-1510.
- Graham, P. H. and Vance. C. P. 2000. **Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs.** Field Crops Research. 65(2). 93-106.
- Koko, J. and Virin. T. 2009. **Optimization of a fertilizer spreading process. Mathematics and Computers in Simulation.** Vol 79(10). 3099-3109.
- Lague, C., Landry H. and Roberge M. 2005. **Engineering of land application systems for livestock manure: A Review.** Canadian Biosystems Engineering. 47 (6). 17-28.
- Li, S. T. and Liu. R. L. 2006. **Establishment and evaluation for maximum permissible concentrations of heavy metals in biosolid wastes as organic manure.** Journal of Agro-Environment Science. 25, 777-782.
- Parish, R. L. 2002. **Broadcast spreader pattern sensitivity to impeller spout height and PTO speed.** Applied Engineering in Agriculture. 18(3):297-299.
- Popa, L., Pirna I., Nedelcu A. and Ciuperca R. 2009. **Spreading machine of 5 tons capacity, MG-5.** Research Journal of Agricultural Science. 41(2), 489-493.
- Sharpley, A. N., McDowell R. W. and Kleinman. P. J. 2004. **Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure.** Soil Science Society of America Journal. 68(6). 2048-2057.
- Van Liedekerke, P., Tijssens E., DintwaAnthonis E. J. and Ramon. H. 2009. **DEM simulations of the particle flow on a centrifugal fertilizer spreader.** Powder Technology. 190(3). 348-360.
- Virk, S. S., Mullenix D. K., Sharda A., Hall J. B., Wood C. W., Fasina O. O. and Fulton, J. P. 2013. **Case study: Distribution uniformity of a blended fertilizer applied using a variable-rate spinner-disc spreader.** Applied engineering in agriculture. 29(5), 627-636.
- Yildirim, Y. 2006. **Effect of cone angle and revolution speed of disc on fertilizer distribution uniformity in single-disc rotary fertilizer spreaders.** Applied Sciences. 6(14): 2875-2881.

# Investigation of Some Effective Parameters on Distribution Uniformity of Manure Spreader

M. Heidarisoltanabadi<sup>1\*</sup> and B. Tahani<sup>2</sup>

Received: 27 February 2018

Accepted: 1 December 2018

<sup>1</sup>Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

<sup>2</sup>Mechanical Biosystems and Mechanization, Faculty of Food Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Iran

\*Corresponding author: mheisol@gmail.com

## Abstract

Land application of manure due to their degradability and preservation of natural environment is one of the important alternatives for chemicals in the sustainable agricultural. Today's it is possible to spread manures by machines as like as distributing chemical fertilizers on the farm's surface. There are several parameters to assess the performance of these manure spreaders such as the spreading width, the longitudinal and transverse uniformity of fertilizer distribution. In the present research by using a semi integral manure spreader machine, the impact of the position of screen blades in two position of open and closed angles (as the main factor) and adjacent transverse distance of 8, 10, 12, 14, 16 and 18 meters (as a sub factor) were evaluated. Experiments were carried out by using a split plot design in a randomized complete block with three replications. By selecting the appropriate position of screen blades and adjacent transverse distance (work width), real field capacity, field performance and accuracy of the tests were obtained on the manure spreader. The results showed that the most suitable operating mode was the closed angle blade position and 12 to 14 meters distance between two adjacent transverse. In this condition, the actual field capacity and field performance of the machine and accuracy of the tests were about 5.1 ha/hr, 64.2% and 94.5%, respectively.

**Keyword:** Centrifugal Spreader, Distribution Uniformity, Manure, Work Width, Field Capacity