ارتقاء سامانه موزع یک چیزل سیدر با بهره گیری از فناوری مکاترونیک جهت کشت در کشاورزی حفاظتی

بهرام فداکار[1*]، محمد حسین رئوفت[2]، سعادت کامگار[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

۳- عضو هیئت علمی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

* ایمیل نویسنده مسئول: fadakarbahram@yahoo.com

چکیده

سرش چرخ زمین سبب عدم دقت در ریزش بذر توسط کارنده‌ها می‌شود. این سرش ناشی از گشتاور زیاد روی محور چرخ، درگیری نامناسب چرخ باز زمین، وجود بقایای گیاهی و ناهمواری‌های موجود در مزرعه می‌باشد. استفاده از سامانه مکاترونیک جهت دوران موزع، موجب حذف گشتاور اعمالی ناشی از سیستم انتقال نیروی مکانیکی بر روی محور چرخ و بهبود یکنواختی ریزش بذر می‌شود. این سامانه شامل موتور الکتریکی به عنوان محرک موزع، دو انکدر برای سنجش سرعت پیشروی و سنجش پس خورد دوران محور موزع و مدار کنترل برای پردازش داده ها می‌باشد. سرعت کارنده توسط یک انکدر نصب شده بروی چرخ زمین اندازه‌گیری , پردازش و اعمال ضرایبی بر روی آن توسط مدار کنترل، به صورت یک ولتاژ برای موتور راه انداز محور موزع فرستاده می شود. و انکدر دوم بروی محور موزع صحت دوران محور را را اندازه گیری می کند. در آزمایشات صحرایی به منظور ایجاد شرایط مختلف سرش از دو نوع چرخ زمینی (فلزی آج دار و لاستیکی) همچنین سه سطح پوشش بقایا گندم (بدون بقایا، ۵۰٪ بقایا و ۸۰٪) و سرعت‌های ۴، ۶ و ۸ کیلومتر بر ساعت به عنوان تیمار استفاده گردید. و میزان ریزش بذر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که سیستم انتقال نیروی مکاترونیکی باعث بهبود در دقت ریزش بذر به ترتیب ۸ درصد (با چر خ لاستیکی) و ۳/۵ درصد (با چرخ فلزی اجدار) نسبت به روش مکانیکی شده است. سایر نتایج بیانگر آنست که میزان ریزش در انتقال نیروی مکاترونیکی در سطوح مختلف بقایا و سرعت‌های ۴ و ۶ کیلومتر بر ساعت تقریبا برابر میزان هدف (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) میباشد. اما با افزایش سرعت به ۸ کیلومتر بر ساعت و پوشش۸۰ درصد بقایا حداکثر ۴/۵ درصد کاهش در میزان ریزش به وجود می‌آید. در مقابل در سامانه انتقال نیروی مکانیکی کاهش بیش از ۱۰ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بقایای گیاهی، چیزل، سرش چرخ، کارنده، مکاترونیک

مقدمه

همپای انقلاب‌های گوناگون سیاسی، اجتماعی، صنعتی که در سال‌های گذشته روی داد، دانش کشاورزی نیز تحت تأثیر پدیده ای به نام انقلاب سبز متحول شد .اگرچه در پی انقلاب سبز، کشاورزی مسیر شکوفایی را طی کرد اما به مرور معلوم شد انقلاب سبز نیز خالی از ایراد و اشکال نیست .عوارض تخریبی استفاده از سموم و آفت کشها، به کارگیری ماشین آلات صنعتی و... از آثار منفی انقلاب سبز به شمار می رفت که سرانجام در دهه ۸۰ قرن میلادی کارشناسان امور کشاورزی را واداشت تا تدبیری برای رفع کاستی ها بیندیشند. آنچه ا مروز از آن به عنوان "کشاورزی پایدار "نامبرده می شود در واقع همان تدبیری است که برای مقابله با عوارض این کشاورزی مکانیزه حدود سه دهه پیش به کار گرفته شد و کشاورزی حفاظتی نیز یکی از گرایشهای این شیوه اصلاحی محسوب می شود.

در روش کشاورزی حفاظتی خاکورزی باید بدان گونه انجام شود که پس از انجام عملیات کاشت، حداقل ۳۰ درصد از سطح مزرعه با بقایای گیاهی پوشیده باقی بماند.(McCarthy *et. al*, 1999) کشاورزی حفاظتی دارای سه رکن اساسی حداقل دستکاری و به هم زدن خاک (حداقل خاکورزی)، حفظ پوشش حداقل ۳۰ درصد از سطح خاک با بقایای گیاهی و استفاده از تناوب زراعی مناسب می باشد. در این روش به دلیل باقی ماندن بقایای گیاهی در سطح خاک و همچنین به دلیل به حداقل رسیدن به هم خوردگی خاک در حین عملیات خاکورزی و کاشت، علاوه بر کاهش فرسایش بادی و آبی، به دلایل کاهش تبخیر و تعرق از سطح خاک، درصد رطوبت خاک نیز افزایش می‌یابد و به بهبود ساختمان خاک کمک می‌شود.

ماشین های کاشت در مزارع دارای پوشش گیاهی زیاد کارآیی خود را از دست می‌دهند و دقت کاشت آنها به شدت کاهش می‌یابد .(Frye and lindwall, 1986)این امر به علت عدم درگیری مناسب چرخ زمین با زمین بوده که خود منجر به ایجاد عدم یکنواختی در کاشت بذر می‌شود. نتایج بسیاری از تحقیقات نشان داده است که غیر یکنواختی در کاشت بذر سبب کاهش عملکرد نهایی محصول می شود و همچنین باعث کاهش تمایل کشاورزان به استفاده از روش خاکورزی حفاظتی شده است. (Erbach 1981; Unger, 1980) علاوه بر این یکی از مهمترین وظایف کارنده‌ها ریزش مناسب بذر برای حصول به جمعیت مورد نظر از لحاظ تعداد گیاه در واحد سطح است. این عمل خود متأثر از کارآیی سیستم موزع بذر می‌باشد. بنابرین طراحی صحیح واحد محرک دستگاه موزع یک اقدام اساسی برای کارآیی رضایت بخش آن کارنده است.

از مزایای کاربرد سیستم کنترل و اندازه گیری الکترونیکی در کارنده‌ها از بین بردن اصطکاک مکانیکی موجود در سیستم انتقال نیروی مکانیکی به موزع می باشد. مطالعات متعددی درارتباط با ارتقاء واحد اندازه گیری بذر بصورت الکتریکی انجام شده است.

در سال ۱۹۹۸، white و همکاران کارنده‌ای را طراحی و ساختند که قادر به کشت انواع مختلف غلات می بود. سوئیچینگ بین نوع بذر توسط یک کامپیوتر که از GPS به عنوان موقعیت یاب استفاده می‌کرد، کنترل می شد. نتایج مطالعات آنها نشان داد که در سرعت پیشروی۷/۲ کیلومتر برساعت،دقت متوسط کارنده برای تغییر نوع بذر ۵/۵ متر می‌باشد(white *et al*., 1998).

در سال ۱۳۸۸ کامگار و همکاران برای بهبود عملکرد یک نوع ردیف کار، سامانه مکاترونیکی را طراحی و آماده کردند. این سامانه از یک پردازنده اصلی، یک الکتروموتور و یک مدار الکترونیکی به منظور تامین حرکت واحد اندازه گیری بذر استفاده می کرد. ایشان با توجه به یافته های خود، اعلام کردند که سامانه مکاترونیک کمترین میزان شاخص چندتایی نسبت به سامانه مکانیکی را دارد(کامگار و همکاران، ۱۳۸۸).

با توجه به پژوهش‌های انجام شده، واحد اندازه‌گیری بذر کارنده ها باید در برابر سرش چرخ زمین گرد اصلاح شود. این مهم می‌تواند با افزایش هماهنگی بین چرخش چرخ زمین گرد و واحد اندازه گیری بذر به دست آید.لذا تحقیق حاضر به منظور طراحی و ساخت سامانه مکاترونیک جهت برطرف نمودن مشکلات انتقال نیروی مکانیکی به موزع یک خطی کار چیزل سیدر با نیل به اهداف زیر انجام شد.

-حذف انتقال قدرت مکانیکی از چرخ به محور موزع خطی کار و تعبیه سیستم انتقال قدرت برقی همراه با لوازم مربوطه به منظور کاهش خطا

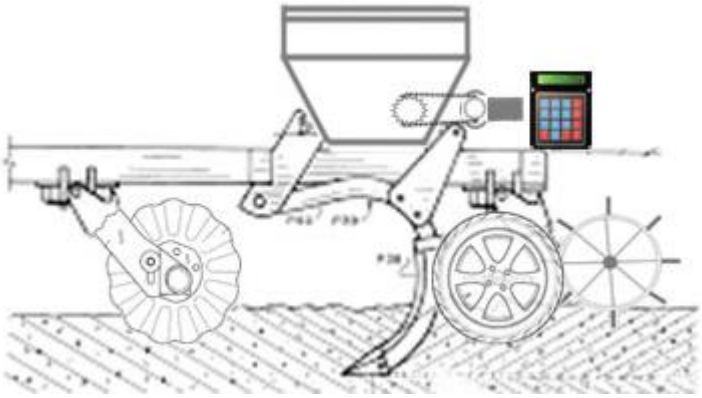
- ارزیابی آزمایشگاهی کارایی سیستم مکاترونیک در توزیع میزان کاشت متفاوت

- انجام آزمایشات مزرعه ای به منظور ارزیابی عملکرد مزرعه ای دستگاه

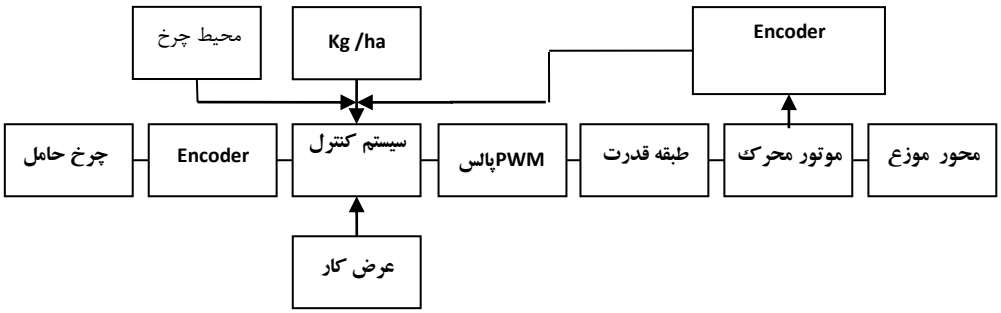
مواد و روش‌ها

در این پژوهش که در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد، جهت تغییر یک دستگاه کارنده مجهز به چیزل به یک دستگاه خطی کار کشت مستقیم مکاترونیکی و بررسی عوامل موثر بر خروجی بذر از مخزن، منضماتی از جمله دو انکودر، مدار پردازش و کنترل، موتور الکتریکی منبع تغذیه و محلی برای افزودن وزن به شاسی جهت بهبود در یکنواختی ریزش بذر به آن اضافه شد. به منظور کاهش گشتاور های مکانیکی موجود روی محور چرخ خطی کار، سیستم انتقال توان مکانیکی اولیه انتقال به کمک خورشیدی و زنجیر (از چرخ به موزع) به طور کامل حذف و به جای این سامانه از یک سیستم مکاترونیکی جایگزین استفاده گردید.

این سامانه به این صورت است که سرعت دستگاه توسط یک سامانه الکترونیکی و انکدر اندازه‌گیری می شود. خروجی پس از پردازش و اعمال ضرایبی بر روی آن، به صورت یک ولتاژ برای موتور برقی متصل به محور موزع فرستاده می شود(شکل ۱).



شکل ۱- شماتیک کارنده مورد استفاده در پژوهش



شکل ۲- شماتیک طراحی شده برای برنامه ریزی و ساخت سیستم مکاترونیکی

قسمت های عمده این سامانه عبارت اند از:

۱.انکدر

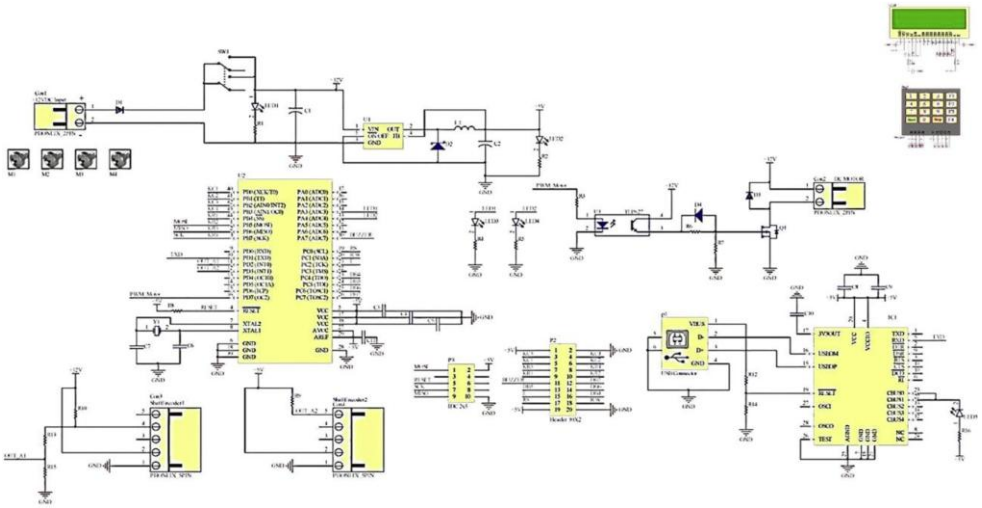
در پژوهش حاضر برای اندازه گیری سرعت پیشروی و همچنین پس خورد میزان دوران محور موزع، دو انکدر چرخشی مدل Autonics E50S8-1000 به کار گرفته شد. که هر کدام ۱۰۰۰ پالس به ازای یک دور چرخش تولید می‌کنند. یکی از انکدرها بر روی چرخ زمین گرد، و دیگری بر روی شفت محور موزع کوپل گردید. سیگنال ارسالی از انکدر چرخ حامل پردازش و به عنوان سرعت واقعی پیشروی کارنده، و به همین ترتیب خروجی انکدر محور موزع به عنوان پس خورد سرعت واقعی چرخش موزع اندازه گیری شد.

۲.موتور محور موزع

به منظور تبدیل توان الکتریکی خروجی سامانه دیجیتال، به توان مکانیکی از یک الکترو موتور DC مدل D12-8001-45W استفاده شد. و از باتری تراکتور به عنوان منبع ولتاژ برای راه‌اندازی موتور استفاده شد. هدف از کنترل سرعت موتور، گرفتن سیگنال ولتاژ مطلوب از مدار کنترل و راندن موتور در آن سرعت می‌باشد. مدار کنترل ، سرعت موتور را نیز اندازه‌گیری می‌کند. که این کنترل سرعت همراه با پس‌خورد جهت کنترل سرعت به صورت مدار بسته(حلقه بسته) عمل می کند.

۳.مدار کنترل

به منظور دریافت اطلاعات حرکت و ارسال ولتاژ مناسب به موتور از یک میکرو کنترلر استفاده گردید. میکروکنترلر به کار رفته در پژوهش مدار کنترل از نوع Atmega16 بود.که یک میکروکنترلر ۱۶ بیتی با توان مصرف پایین بر اساس ساختار AVR_{Risl} می‌باشد میکروکنترلر در واقع مغز اصلی دستگاه است و تمامی ورودی و خروجی ها به سیستم را تحت کنترل دارد. ورودی سیستم پالس های خروجی انکدر چرخ حامل و محور موزع، محیط چرخ و میزان ریزش بذر در هکتار و خروجی آن پالس های PWM متناسب با این ورودی‌ها است. که این پالس برای موتور راه انداز محور موزع فرستاده می شود.برای وارد کردن اطلاعات به سامانه الکترونیکی از یک صفحه کلید ماتریسی ۴×۴ استفاده گردید. همچنین برای نمایش اطلاعات حرکت و اطمینان از صحت اطلاعات وارد شده از یک Lcd 2×16 بهره گیری شد. تمامی سیستم های توضیح داده شده پس از آماده سازی و آزمایش اولیه به صورت یک بسته ساخته شده برای استفاده در مزرعه آماده گردید



شکل ۳- مدار کنترل بکار گرفته شده در پژوهش حاضر

به منظور تأمین توان الکتریکی مورد نیاز برای واحد الکترونیکی ساخته شده از باتری تراکتور استفاده گردید. و جهت نصب سامانه مکاترونیک(موتو محرک و انکدر) روی کارنده، تمامی قطعات مکانیکی شامل زنجیر و خورشیدی از روی کارنده جدا شده، و در قسمت سمت چپ دستگاه (از پشت) موتور الکتریکی با اتصالات ویژه ای که ساخته شده(شکل ۳)، بر روی شاسی مناسب و در امتداد محور موزع نصب گردید. همچنین اتصالات و کوپلینگ‌های مربوط به انکدر، بروی چرخ پنجم و و محور موزع کارنده مربوطه نصب گردید(شکل ۳).

ارزیابی آزمایشگاهی سامانه مکاترونیک

هنانگونه که بیان گردید. چرخش چرخ لاستیکی یا ستاره‌ای موجب به حرکت در آوردن انکدر شده و خروجی این انکدر به مدار کنترل ارسال و از مدار کنترل متناسب با میزان ریزش دلخواه می بایست ولتاژ متناسب به موتور موزع ارسال گردد. بدیهی است خروجی انکدر به عنوان ولتاژورودی مدار و خروجی مدار به عنوان ولتاژ ورودی موتور محسوب می گردد و لذا لازم بود که ابتدا با اعمال یک دامنه ولتاژ به موتور موزع ، داده‌های میزان خروجی بذر جمع‌آوری و منحنی کالیبره رسم گردد. در مرحله بعدی از طریق تنظیم مدار کنترل رابطه معقولی بین ولتاژ خروجی انکدر و ولتاژمورد نظر در خروجی مدار کنترل برقرار گردید. بدین ترتیب با حرکت دستگاه در مزرعه خطی کار متناسب با بذرکار حرکت بذور را به لوله سقوط می فرستد. بدین نیروی مورد نیاز چرخش موزع منحصرا از موتور الکتریکی متصل به آن تامین و چرخش لاستیکی یا ستاره‌ای فقط اطلاعات پیشروی را تامین می کند و بدین ترتیب چرخش چرخ‌های مذکور متاثر از گشتاور ناشی از محور موزع نمی‌باشد

شکل ٤- اتصالات موتور محرک و انکدر

در این پژوهش برای اندازه گیری میزان بقایا ابتدا و قبل از انجام عملیات کاشت، با خارج کردن بقایا بوسیله قاب ۰/۵ × ۰/۵متر مربع بطور تصادفی در ۱۵ نقطه از مزرعه از لحاظ وزنی اندازه گیری شد. سپس طبق رابطه –۱ به درصد پوشش سطح خاک از بقایا تبدیل شد و تیمارهای ۰ ، ۵۰ و ۸۰ درصداعمال گردید. پس از انجام آزمایشات در مزرعه از یک قاب ۰/۵×۰/۵ متر برای نمونه برداری استفاده شد و بذور کشت شده جمع آوری گردید و به سبب پوشیده شدن لایه‌ای از خاک بستر بروی بذور با توجه به وزن هزار دانه، وزن آن‌ها محاسبه گردید. داده‌های بدست آمده از هر کرت در طرح کرت‌های دوبار خرد شده با فاکتور بقایا به عنوان کرت اصلی، فاکتور نحوه انتقال نیرو به موزع به عنوان کرت فرعی و سرعت به عنوان فاکتور سوم با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. و مقایسه میانگین‌ها با پس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

$$y = \left(1 - e^{-0.000644^{x}}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه x: وزن خشک بقایای اندازه‌گیری شده در واحد سطح (پوند بر ایکر) و y: درصد پوشش بقایای سطحی.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به میزان ریزش بذر (وزن در واحد سطح) در جدول شماره ۱ نشان داده شده که تیمارهای نحوه انتقال نیرو به محور موزع، میزان بقایا و سرعت بر روی میزان ریزش با احتمال ۹۵ درصد اثر معنی داری دارند.

جدول-۱ تجزیه واریانس میزان ریزش بذر در سرعت، میزان بقایا و شرایط مختلف انتقال نیرو

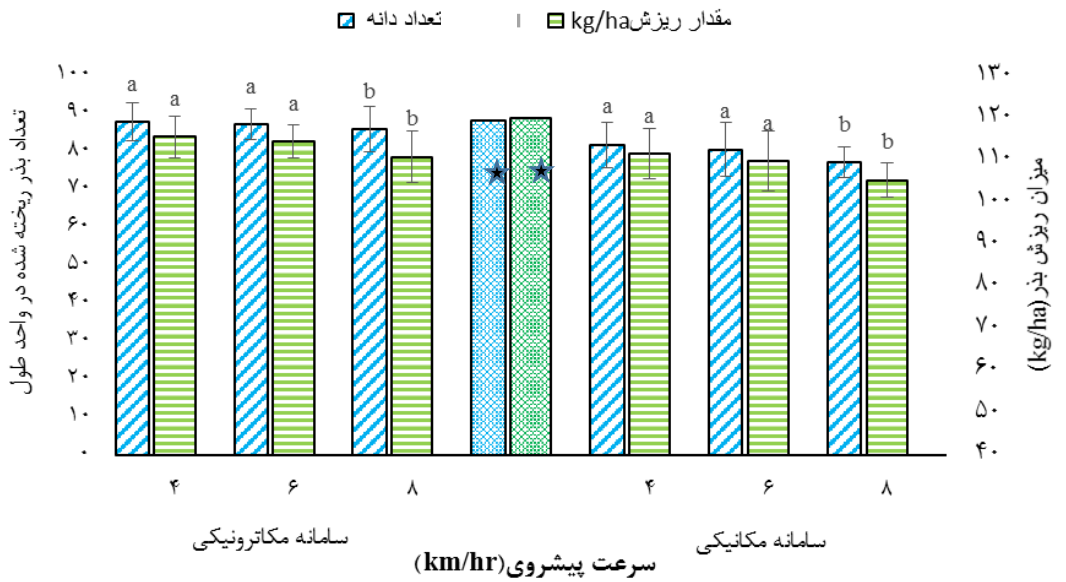
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	
تکرار	۲	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۷	
پوشش سطحی بقایا	۲	۱۷۷/۷۲	۸۸/۸۶	۵۸۱/۶۴	*
خطا	۴	۰/۶۱	۰/۱۵	۰/۱۳	
نحوه انتقال نیرو	۳	۴۸۳/۹۹	۱۴۶/۳۳	۱۰۴/۴۳	*
پوشش سطحی بقایا × نحوه انتقال نیرو	۶	۸۱/۵۳	۱۳/۵۸	۹/۷۰	*
خطا	۱۸	۲۵/۲۲	۱/۴۰	۱/۲۰	
سرعت	۲	۴۳/۱۶	۲۱/۵۸	۱۸/۵۰	*
سرعت×پوشش سطحی بقایا	۴	۳/۹۴	۰/۹۸	۰/۸۵	ns
نحوه انتقال نیرو × سرعت	۶	۱۴/۹۸	۲/۴۹	۲/۱۴	ns
سرعت×پوشش سطحی بقایا×نحوه انتقال نیرو	۱۲	۷/۹۰	۰/۶۵	۰/۵۶	ns
خطا	۴۸	۵۶/۰۰	۱/۱۶		
کل	۱۰۷	۷۹۴/۲۵			

* نشان دهنده ی معنی دار بودن و ns نشان از عدم وجود اثر معنی دار اثر بر شاخص مورد نظر است $P<0.05$

اثر سرعت بر میزان ریزش بذر

در سیستم انتقال نیروی مکانیک با توجه به مکانیزم تامین نیرو از چرخ، در سرعت های ۴ و ۶ کیلومتر بر ساعت، در زمین مدت تماس چرخ با خاک مناسب بوده و از این رو مدت زمان چرخش محور موزع جهت سنجش بذر نیز کافی بوده و به همین علت میزان بذری که روانه لوله سقوط می گردد با میزان ریزش هدف که ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتارمی‌باشد اختلاف محسوسی ندارد .با زیاد شدن سرعت پیشروی، موزع می بایست حجم بیشتری مواد را به لوله سقوط هدایت کند که این موجب اعمال مومنتم بیشتری بر روی ذرات گندم شده و نیاز به گشتاور بیشتری برای چرخش محور دارد .گشتاور محور از طریق چرخ زمین تامین می شود و با توجه به اینکه حد اصطکاک چرخ و زمین، ثابت است گشتاور نمی تواند از یک حد مشخص فراتر رود و چرخ دچارسرش شده و

محور با سرعت لازم نمی چرخد و لذا ریزش در سرعت های بالا کمتر از حد لازم میباشد. در مقابل در سیستم انتقال نیروی مکاترونیکی چون این سیستم بی نیاز از تامین نیرو از چرخ زمین گرد می باشد از این رو مشکلات مربوط به میزان تماس و درگیری چرخ با خاک مرتفع می گردد(شکل ۱).

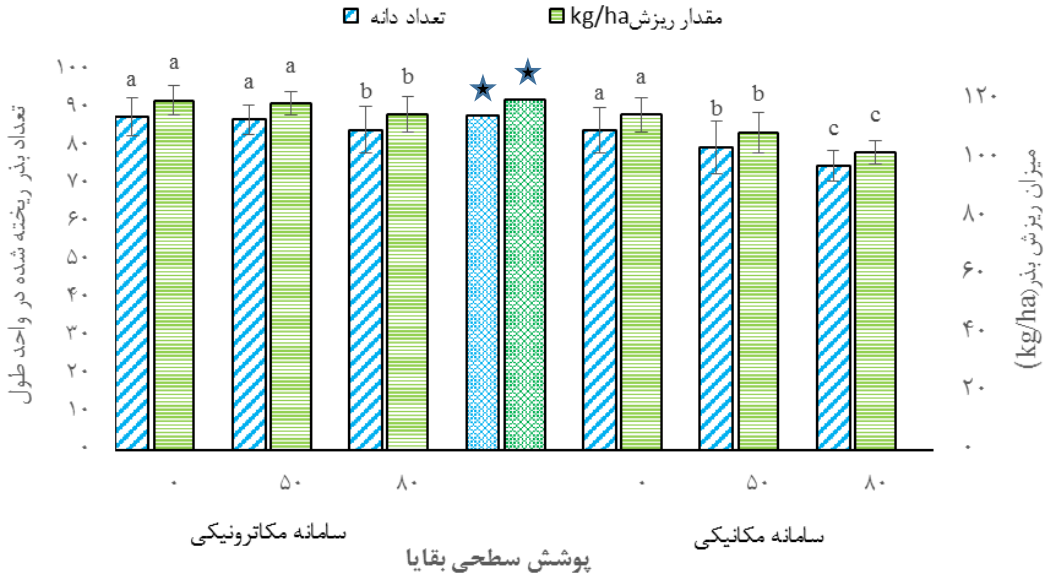


نمایانگر میزان ریزش بذر مطلوب برای کاشت گندم به کمک چیزل سیدر به میزان رایج در منطقه (۱۲۰ kg/ha)

★ **شکل-۵ مقایسه میانگین میزان ریزش بذر در سرعت‌های مختلف پیشروی**

اثر میزان بقایا بر میزان ریزش بذر

میزان بقایا از نظر آماری بر میزان ریزش گندم خروجی از مخزن اثر معنی داری دارد که در این رابطه بیشترین میانگین ریزش بذر مربوط به زمین بدون بقایا است. با افزایش پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک، سرش چرخ با خاک بیشتر شده و یکنواختی فرمان دهی به سیستم راه انداز محور موزع دچار مشکل شده و لذا میزان ریزش کاهش می یابد. و کمترین مقدار میانگین مربوط به سطح ۸۰ درصد بقایا و سرعت ۸ کیلومتر بر ساعت می باشد که ۱۶ درصد نسبت به میزان ریزش هدف کمتر بود اما با اضافه کردن سامانه مکاترونیک و استفاده از چرخ زمین‌گرد، بدون گشتاور ناشی از چرخش موزع، باعث بهبود در وضعیت ریزش بذر در تمامی سطوح بقایا شد. و نسبت به میزان ریزش هدف تغییرات چندانی نداشت. و می‌توان گفت سامانه مکاترونیک میزان ریزش را مستقل از میزان بقایا ساخته است(شکل ۲).

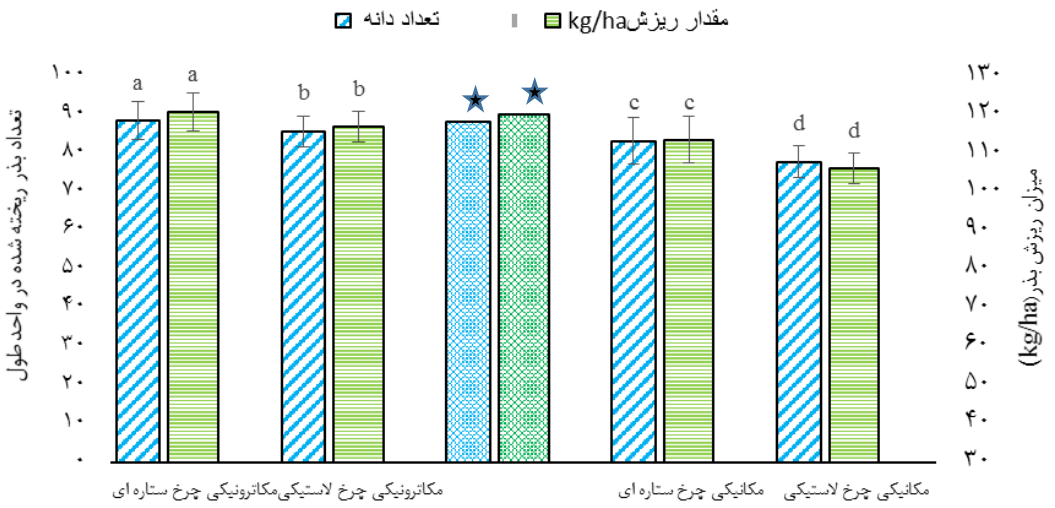


★ نمایانگر میزان ریزش بذر مطلوب برای کاشت گندم به کمک چیزل سیدر به میزان رایج در منطقه (۱۲۰ kg/ha)

شکل -٦ مقایسه میانگین میزان ریزش بذر در پوششهای مختلف بقایای سطحی و دو سامانه تامین نیرو

اثر نحوه انتقال نیرو بر میزان ریزش بذر

در مورد اثرات نحوه انتقال نیرو بر میزان ریزش بذر می‌توان گفت در حالتی که سامانه مکانیکی است با توجه به مکانیزم تامین نیرو از چرخ زمین گرد و وجود چرخ دنده، سرش چرخ زمین بر روی مکانیزم موزع تاثیر گذار است. لذا میزان ریزش در دستگاه مکانیکی وابسته به شرایط زمین و نحوه تماس چرخ با زمین می باشد. در سامانه انتقال نیروی مکاترونیکی این سیستم بی نیاز از تامین نیرو از چرخ زمین گرد می باشد و از این رو مشکلات مربوط به میزان تماس و درگیری چرخ با خاک مرتفع می گردد. استفاده از چرخ زمین گرد که گشتاور ناشی از حرکت محور موزع بر روی آن اعمال نمی‌شود این امکان را می دهد که عامل راه انداز سامانه مکاترونیکی تحت تاثیر سرش قرار نگیرد. در سامانه مکاترونیکی به علت کافی بودن گشتاور چرخ برای چرخاندن انکدر چرخشی میزان ریزش مستقل از نوع زمین است. از این رو میزان ریزش مورد نظر با توجه به نمودارهای آنالیز سامانه انتقال نیروی مکاترونیک نسبت به سامانه انتقال نیروی مکانیکی مطلوب تر است(شکل ۳).

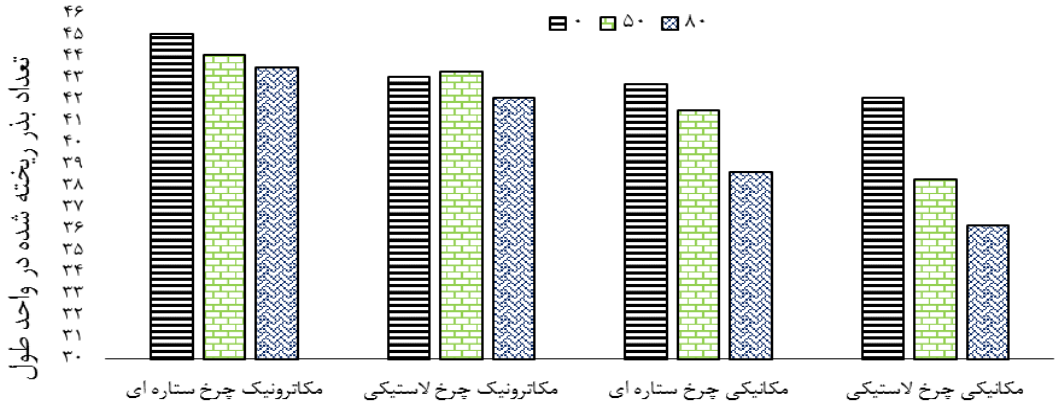


نحوه انتقال نیرو به محور موزع

★ نمایانگر میزان ریزش بذر مطلوب برای کاشت گندم به کمک چیزل سیدر به میزان رایج در منطقه (۱۲۰ kg/ha)

شکل -۷ مقایسه میانگین اثر نحوه سیستم انتقال نیرو بر مقدار ریزش گندم

با توجه به نمودار، میزان ریزش گندم در سطح بدون بقایای و سامانه انتقال نیروی مکاترونیک چرخ ستاره‌ای بالاترین میزان می باشد و از نظر آماری با میزان سطح بدون بقایا و سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت و دستگاه مکانیکی تفاوت معنی داری ندارد و در یک سطح میانگینی می باشند. در مجموع سیستم انتقال نیروی مکاترونیک نسبت به سیستم مکانیکی دارای عملکرد بهتری در میزان ریزش بذر در حالات مختلف بقایا می باشد. که دلیل آن دور بودن سیستم مکاترونیکی از شرایط متغیر موثر بر سامانه معمول مکانیکی حداقل تغییرات ریزشی در آن به وجود آمده است(شکل ۴).



سامانه انتقال نیرو

شکل -۸ مقایسه اثر متقابل نحوه تامین نیرو و میزان بقایا

نتیجه گیری

۱-تعبیه سیستم انتقال نیروی مکاترونیکی باعث بهبود در دقت ریزش بذر به ترتیب برابر ۸ درصد (با چر خ لاستیکی) و ۳/۵ درصد (با چرخ فلزی اجدار) نسبت به روش مکانیکی شده است.

۲-با توجه به اینکه در کارنده های رایج هر دو سیستم انتقال توان، از چرخ لاستیکی و چرخ ستاره‌ای جهت تامین نیروی مورد نیاز محور موزع استفاده می‌گردد. چرخ ستاره‌ای به دلیل درگیری مناسب تر مخصوصا زمانی که سطح مزرعه پوشیده از بقایا می‌باشد. از دقت بالاتری برخوردار است. تعبیه این نوع چرخ در سامانه مکاترونیک ۳ درصد و در سامانه مکانیکی ۴/۷۵ درصد بهبود در میزان ریزش به وجود می آورد.

۳-به منظور حصول یکنواختی پاشش بذر در حد هدف، استفاده از چیزل سیدر با چرخ فلزی آج دار و سامانه انتقال مکاترونیکی در سرعت های کمتر از ۸ کیلومتر بر ساعت و زمین با پوشش بقایای ۵۰ درصد توصیه می گردد.

٤-افزایش سطح بقایا و سرعت پیشروی تاثیر کمی در دقت سامانه مکاترونیکی نسبت به مکانیکی از لحاظ میزان ریزش دارد.

منابع

فداکار، ب. ۱۳۹۵. ارتقاء سامانه موزع یک نوع کارنده مجهز به چیزل با بهره گیری از فناوری مکاترونیک جهت کشت در اراضی با بقایای گیاهی. پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی. دانشگاه شیراز .

Erbach, D. C. 1981. Planting for Crop Production with Conservation. In: Crop Production with Conservation in the 1980s. ASAE Publication 7-81: 50-56

Frye, W. W., and C. W. Lindwall. "Zero-tillage research priorities." *Soil and tillage Research* 8 (1986): 311-316.

Jafari, M., Hemmat, A., Sadeghi, M. 2010. Development and Performance Assessment of a DC Electric Variable-Rate Controller for Use on Grain Drills. Computers and Electronics in Agriculture. 73: 56-65

Kamgar, S., F. Noei-Khodabadi, and S. M. Shafaei. "Design, development and field assessment of a controlled seed metering unit to be used in grain drills for direct seeding of wheat." Information Processing in Agriculture 2.3 (2015): 169-176.

Kamgar, Saadat, and Mohammad Javad Eslami. "Design, development and evaluation of a mechatronic transmission system for upgrading performance of a row crop planter." 2012 Dallas, Texas, July 29-August 1, 2012. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2012.

Licht, Amir N., Chanan Goldschmidt, and Shalom H. Schwartz. "Culture, law, and corporate governance." International review of law and economics 25.2 (2005): 229-255.

Raoufat, M. H., and A. Matbooei. "Row cleaners enhance reduced tillage planting of corn in Iran." Soil and Tillage Research 93.1 (2007): 152-161.

Shearer, A. 2001. DGPS-Based Guidance of High-Speed Application Equipment. ASABE Paper NO. 01-1190

White, J. L., Whitcraft, J. C., Thompson, J. C., & Peterson, C. L. (1998). AVARIABLE VARIETY GRAIN DRILL FOR WHEAT PRODUCTION. Applied Engineering in Agriculture, 14(1), 7-17.