نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۵، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۴، ص ۲۶۰-۲۵۱

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 5, No. 2, Fall - Winter 2015, p. 251-260

ساخت و ارزیابی سامانه کودکاری نرخ متغیر

عاطفه دمیرچی[۱]- محمد حسین آق خانی[۲*]- مهدی خجسته پور[۳]- جلال برادران مطیع[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۲۴

چکیده

مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی در کنار مسائل فنی، تولیدکنندگان محصولات کشاورزی را وادار کرده است روش‌های جدید را در مدیریت تولید محصولات کشاورزی به‌کار گیرند. در روش‌های متداول تولید محصولات کود شیمیایی به‌طور یکنواخت در سطح مزرعه توزیع می‌گردد. این در حالی است که نیاز خاک در سطح مزرعه یکنواخت نیست. هدف از این تحقیق کوددهی با استفاده از فناوری نرخ متغیر و متناسب با نیاز خاک می‌باشد. اجزا اصلی سامانه کودکاری نرخ متغیر در این تحقیق عبارتند از: دستگاه کودکار مجهز شده با موزع خودکار، تجهیزات تعیین سرعت پیشروی دستگاه و تجهیزات الکترونیکی برای تنظیم و کنترل سامانه. نتایج ارزیابی دستگاه نشان داد که نصب سامانه کودکاری ساخته شده موجب صرفه‌جویی ۶۸/۸۳ درصدی نسبت به روش متداول توزیع یکنواخت صرفه‌جویی گردید. از آنجایی‌که در ایران کودکاری بدون در نظر گرفتن تغییرات در مزرعه صورت می‌گیرد، به‌کارگیری این سامانه می‌تواند تحول بنیادینی در کاهش مصرف کود ایجاد نماید.

واژه‌های کلیدی: فن‌آوری نرخ متغیر، کودکاری، موزع هوشمند

مقدمه

امروزه تولید ارزان و کافی محصولات کشاورزی با هزینه پایین و بازده بالا با اهدافی چون توسعه پایدار، عدم آلودگی آب‌های زیرزمینی، جلوگیری از انواع فرسایش و آلاینده‌ها و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ذهن متخصصان کشاورزی و زیست‌محیطی را به‌خود معطوف کرده است.

در روش‌های مرسوم، مزرعه و محصول در نقاط مختلف، یکنواخت درنظر گرفته شده و برای اعمال کود با توجه به متوسط نیاز مزرعه و با یک درصد اضافی به‌عنوان ضریب اطمینان، نرخ کودپاشی (مقدار کود در هکتار) تعیین و به‌طور یکنواخت در مزرعه توزیع می‌شود (Morgan, 2003). پخش غیراصولی کودهای شیمیایی در سطح مزرعه اثرات مخرب دارد و نگرانی‌های اجتماعی و زیست‌محیطی و اقتصادی را افزایش می‌دهد. بسیاری از کودهای شیمیایی بدون آنکه جذب گیاه شوند وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌گردند و سبب مسمومیت و آلودگی محیط‌زیست می‌شوند. نیترات‌هایی که از درون خاک شسته می‌شوند عمدتاً آب‌های زیرزمینی را آلوده می‌کنند.

در فن‌آوری اعمال متغیر نهاده‌ها، نقشه نیاز کودی در هر ناحیه از مزرعه در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه می‌شود. قبل از ورود کودکار نرخ متغیر به مزرعه، نقشه در رایانه بارگذاری می‌شود. رایانه و کنترل‌کننده با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و اطلاعات موقعیت ناحیه‌ها که توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) فراهم می‌شود، نرخ کاربرد متغیر نهاده را به‌صورت پیوسته کنترل می‌نماید. ماشین‌هایی که در کشاورزی دقیق استفاده می‌شوند باید قادر به تغییر به‌موقع نرخ اعمال نهاده‌ها در نواحی مختلف مزرعه براساس نقشه از پیش‌تعیین شده باشند.

بنابراین، ماشین‌هایی که برای اعمال نهاده‌ها با نرخ یکنواخت طراحی و ساخته شده‌اند، نیاز به تغییراتی در طراحی مکانیکی خود دارند تا بتوان آنها را با استفاده از اجزاء و عوامل کنترل به‌صورت ماشین‌های نرخ متغیر درآورد. در این زمینه تحقیقات متعددی انجام شده است که برخی از آنها در ادامه آمده است. صداقت حسینی و همکاران (۲۰۱۲) با ساخت یک سامانه نرخ متغیر و افزودن آن به یک دستگاه کلتیواتور کودکار، نشان دادند که سرعت پیشروی و نرخ کودکاری بر دقت ریزش مؤثر بوده و کمترین دقت در سرعت‌های پیشروی بالا و نرخ‌های ریزش کم رخ می‌دهد (Sedaghat-Hoseini *et al.*, 2012).

در تحقیقی، تغییرات مکانی فاکتورهای حاصلخیزی خاک (K.P.N) و عملکرد دانه گندم با استفاده از واریوگرام، GPS و GIS

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲ و ۳- دانشیاران گروه مهندسی بیوسیستم و اعضای مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: Aghkhani@um.ac.ir
۴- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

بررسی و نقشه‌های دیجیتالی در بلوک‌های ۵×۵ برای استفاده در ماشین‌های نرخ متغیر بررسی شد (Ghazvini *et al.*, 2006). نتایج بررسی این نقشه‌ها نشان داد که در روش سراسرپاشی کود اوره، برای تولید بیشترین عملکرد محصول تنها ۱۳٪ سطح مزرعه مقدارکود مناسب دریافت کرده و بقیه مزرعه نیتروژن کمتر یا بیشتر از نیاز دریافت کرده است. این درحالی است که روش اعمال نرخ متغیر ۵۲ کیلوگرم در هکتار در مصرف اوره صرفه‌جویی شده بود. همچنین در روش سراسرپاشی فسفر و پتاس به‌ترتیب ۲۵٪ و ۱۱٪ از سطح مزرعه کود کافی دریافت کرده و بقیه سطح مزرعه کمتر یا بیشتر از نیاز کود دریافت می‌کند.

در تحقیق دیگری ملکی و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات مکانی خاک را در یک مزرعه بررسی و سپس با استفاده از فن‌آوری کوددهی نرخ متغیر، فسفر را در شبکه‌های یک متر مربع اعمال کردند (Maleki *et al.*, 2007). موضوع این مطالعه طراحی و کاربرد سامانه کوددهی نرخ متغیر حسگر مبنا جهت اعمال در حال حرکت فسفر در مزرعه ذرت بود. حسگر مورد نظر در جلوی یک دستگاه کارنده برای اندازه‌گیری در حال حرکت فسفر خاک نصب شد. حسگر مقدار فسفر را در حال حرکت اندازه‌گیری کرده و سپس سیگنالی به اعمال‌کننده کود برای تنظیم نرخ اعمال ارسال می‌نمود. با استفاده از این دستگاه، عملکرد گیاه ذرت در حالت اعمال ویژه مکانی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

نتایج مطالعه موردی یک مزرعه پنبه، نشان داد اعمال نرخ متغیر نیتروژن، در قطعه زمین دارای عملکرد بالا، ۲۱/۵ kg ha^{-1} (یعنی ۱۳۷ kg ha^{-1}) و قطعه زمین با عملکرد پایین نیز ۳۰/۵ kg ha^{-1} بیشتر از حالت اعمال یکنواخت کود دریافت می‌کنند (Robert *et al.*, 1993). همچنین با اعمال روش فن‌آوری نرخ متغیر (نقشه مبنا) نیتروژن میانگین عملکرد محصول ۱۱۲۸ kg ha^{-1} بود که حدود ۲۲/۶ kg ha^{-1} بیشتر از شیوه اعمال یکنواخت بود.

در تحقیقی سامانه‌ی کنترل نرخ کود با استفاده از حسگر تشخیص میزان خروجی کود در حین حرکت در ژاپن توسعه داده شد به‌گونه‌ای که در مقایسه با سامانه‌های رایج اعمال متغیر کود دانه‌ای کاهش معنی‌داری در خطای اعمال کود وجود داشت (Tola *et al.*, 2008). سامانه مورد نظر نرخ خروجی کود را در یک دستگاه بذرکار پنوماتیک به‌صورت مکانیکی و به‌طور خودکار اندازه گرفته و اعمال می‌کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که زمان پاسخ به فرمان صادره از سیستم کنترل نرخ کود جهت اعمال کود در مکان مورد نظر در مزرعه حدود ۰/۹۵ تا ۱/۹ ثانیه طول می‌کشید.

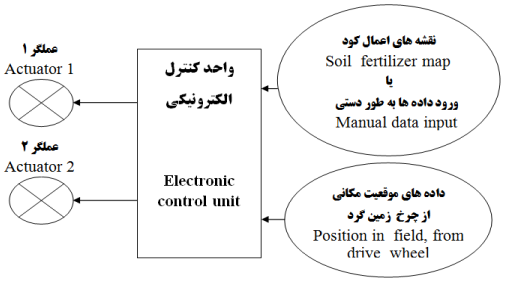
هدف از این تحقیق ساخت و ارزیابی یک سامانه نرخ متغیر نقشه مبنا است که بتوان با نصب آن برروی کودکارهای ردیفی رایج داخل کشور آنها را به یک کودکار نرخ متغیر تبدیل نمود.

مواد و روش‌ها

در ماشین‌های کودکار نرخ متغیر از تغییر سرعت دورانی محور موزع‌ها برای اعمال کودکاری استفاده شده است. در این روش یک موتور DC روی محور اصلی تمام موزع‌ها به‌طور مشترک نصب می‌شد که این امر باعث کاهش دقت در اعمال کود می‌گردد. دلیل این امر عدم تفکیک میزان کوددهی واحدها در عرض دستگاه می‌باشد، که با نصب موتور جداگانه می‌توان در عرض دستگاه نیز میزان متفاوتی کود با توجه به نیاز خاک قرار گرفته زیر هر واحد اعمال کرد. ضمناً در هیچ یک از این تحقیقات برای چرخش همزن درون مخزن موتور DC جداگانه در نظر گرفته نشده است که باعث عدم یکنواختی در ریزش کود می‌گردد. از این رو در این طرح برای هر موزع یک موتور به‌طور جداگانه در نظر گرفته شد و محور همزن نیز توسط یک موتور DC جداگانه به حرکت در خواهد آمد.

ملزومات سامانه کنترل نرخ متغیر

در سامانه‌های کنترل نرخ متغیر نقشه مبنا اطلاعات حاصلخیزی خاک مزرعه که توسط آزمایش خاک به‌دست می‌آیند بر روی نقشه‌های زمین منطبق شده و به دستگاه منتقل شود. اطلاعات این نقشه مبنای تصمیم‌گیری و اعمال نهاده‌های کشاورزی در زمین است. با حرکت کارنده در زمین اطلاعات مربوط به مکان کارنده توسط مکان‌یاب به مدار الکترونیکی فرستاده شده و با اطلاعات نقشه مقایسه و فرمان لازم به موتور موزع مبنی بر تعداد دور مناسب برای مقدار مورد نظر ریزش کود داده می‌شود. این تغییر در اعمال نرخ کود توسط یک موزع خودکار اجرا می‌شود. محور اصلی موزع توسط یک موتور الکتریکی به حرکت در می‌آید که از مدار الکتریکی کودکار فرمان می‌گیرد و قابل کنترل است. در سامانه کنترل نرخ متغیر، داده‌های مکانی مربوط به زمین توسط GPS و داده‌های خاک که توسط آزمایش خاک به‌دست آمده است، با هم مرتبط شده و به‌صورت یک نقشه در می‌آیند، سپس توسط صفحه کلید وارد حافظه واحدکنترل الکترونیکی دستگاه شده و در آن ذخیره می‌گردد (شکل۱).



شکل ۱– طرحواره کلی دستگاه

Fig.1. Schematic of the system

همچنین با حرکت کارنده در زمین اطلاعات مربوط به مکان کارنده توسط مکان‌یاب به مدار الکترونیکی فرستاده شده و پس از تطبیق با داده‌های مکانی ذخیره شده در حافظه، فرمان لازم به موتور موزع مبنی بر تعداد دور مناسب برای مقدار ریزش مورد نظر داده می‌شود. این تغییر در اعمال نرخ توسط یک موزع هوشمند الکترو-مکانیکی صورت می‌گیرد. در طرح حاضر، محور اصلی موزع توسط یک موتور الکتریکی به حرکت در می‌آید که از مدار الکترونیکی کارنده فرمان می‌گیرد و قابل کنترل است.

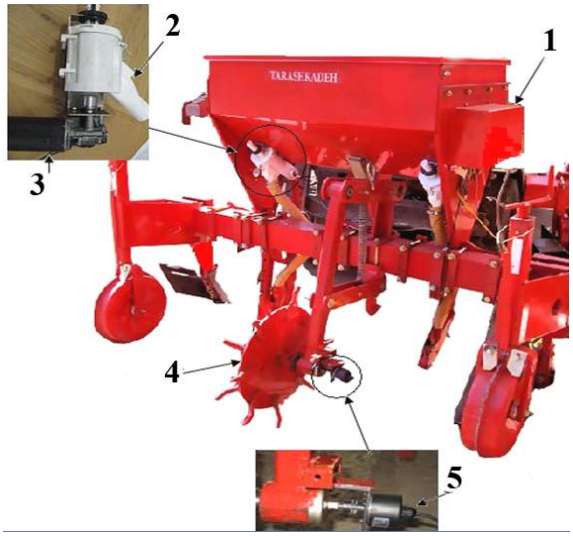
طراحی دستگاه

به‌منظور طراحی و انتخاب موتور مناسب، گشتاور مورد نیاز برای چرخش محور موزع به‌وسیله یک تورک‌متر اندازه‌گیری شد که مقدار ۱/۲ نیوتن- متر به‌دست آمد. با توجه به بیشینه نرخ نیاز زمین به کود ازته و سرعت حرکت تراکتور در زمان کودکاری که به‌ترتیب ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۸ کیلومتر در ساعت است، بیشینه سرعت دورانی محور موزع ۵۵ دور بر دقیقه و توان مورد نیاز برای چرخش محور موزع ۶/۹ وات محاسبه شد. برای تأمین سرعت‌های چرخشی مورد نیاز محور موزع از یک موتور DC و جعبه دنده استفاده شد. در این تحقیق جعبه دنده با کاهش نسبت دنده ۱:۶۹ انتخاب شد. موتور انتخاب شده دارای توان ۲۷/۵وات (به‌دلیل موجود نبودن موتور ۶/۹ وات در بازار، موتور قوی‌تری انتخاب شد) و ولتاژ ۲۴ ولت و ۷/۵ آمپر می‌باشد. با توجه به نسبت تبدیل جعبه دنده و سرعت موتور، سرعت چرخشی محور موزع در محدوده ۰ تا ۶۵ دور در دقیقه قابل تنظیم می‌باشد. برای تعیین سرعت و موقعیت دستگاه نسبت به مسیر حرکت از دورسنج[1] محوری مدل E50S8-600-6-L-5 ساخت شرکت Autonix کشور کره، بر روی چرخ زمین گرد استفاده شد. به‌ازای هر دور گردش کدکننده محوری، ۶۰۰ پالس از آن خارج می‌شود (شکل ۲).

برای ورود داده‌های خاک به سامانه کنترل از یک صفحه کلید مجهز به نمایشگر استفاده شد. نمایشگر کاراکتری آن از نوع (۲×۱۶) قابل حمل توسط کاربر استفاده شد. از این نمایشگر برای وارد نمودن اطلاعات به‌طور دستی، شامل مشخصات زمین زراعی، تعداد کرت‌ها و ردیف‌های کشت و همچنین درصد کود مورد نیاز خاک هر بخش از مزرعه نسبت به یک مقدار پیش فرض، استفاده می‌شود.

ارزیابی عملکرد سامانه

ارزیابی عملکرد سامانه شامل دو بخش آزمون‌های ایستا و در حرکت بود. در بخش ایستا، هدف تعیین مقدار ریزش کود بر حسب گرم با توجه به تغییرات دور محور موزع و همچنین بررسی صحت عملکرد سیستم کنترل الکترومکانیکی با توجه به مقادیر فرمان داده شده به دستگاه است. از نتایج این بخش در تنظیمات کالیبراسیون دستگاه استفاده شد. بدین منظور در مرحله اول مقدار ریزش کود از هر موزع در دورهای ۵ rpm تا ۵۵ rpm با فواصل ۵ rpm در سه تکرار در وضعیت حداکثر ریزش (موقعیت F0 موزع)، اندازه‌گیری شد.



شکل ۲- سامانه کودکار نرخ متغیر: ۱- مدارات الکترونیکی، ۲- موزع، ۳- موتور موزع، ۴- چرخ ستاره‌ای و ۵- انکودر جابه‌جایی

Fig.2. System of variable rate fertilizer: 1- Electronic unit, 2- Distributor, 3- Star wheel & 4- Displacement encoder

آزمون‌های در حرکت

در بخش آزمون در حرکت، بررسی میزان ریزش کود با توجه به مقادیر تعیین شده در شرایط مشخص و بررسی دقت کاشت کود از نظر مکانی (تأخیر و تعجیل) می‌باشد. منظور از تأخیر، تعیین میزان فاصله‌ای است که کود بعد از محل مورد نظر (محلی که برای دستگاه تنظیم شده است) روی زمین ریخته است. و منظور از تعجیل تعیین میزان فاصله‌ای است که کود قبل از محل مورد نظر روی زمین ریخته است. به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر میزان ریزش کود در آزمون‌های بخش اول از دو طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی ۲×۲×۳ با تیمارهای نوع کود (آلی دانه‌ریز و ازته گرانوله)، سرعت پیشروی (۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) و طول کرت (۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر) در شرایط نیاز کودی ۲۵ و ۵۰ درصد (۲۵ و ۵۰ درصد اعمال کود نسبت به کودکاری با نرخ ثابت) با سه تکرار، استفاده شد. قبل از شروع آزمون کلیه قطعات و موزع‌ها از نظر فنی مورد بررسی قرار گرفتند. بر همین اساس ارزیابی دستگاه به‌صورت آزمایشگاهی با شبکه‌های مجازی انجام شد. جهت اندازه‌گیری و توزین مقادیر کود خارج شده از موزع‌ها

1- Encoder

در هر کرت زیر موزع‌ها ظروف جمع‌آوری کود قرار داده شد. میزان نیاز خاک به کود در حالت نرخ ثابت، ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد، بنابراین در حالت درصد نیاز ۵۰ درصد به دستگاه مقدار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار و برای درصد نیاز ۲۵ درصد مقدار ۹۰ کیلوگرم در هکتار به سامانه فرمان داده شد. مشخصات فیزیکی کودهای مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی کودهای استفاده شده

Table 1- Physical properties of used fertilizers

نوع کود Fertilizer type	درصد رطوبت Moisture content	چگالی توده ($kg\ m^{-3}$) Bulk density	زاویه قرارگیری (درجه) Angle of repose	قطر میانگین (mm) Mean diameter
آلی دانه‌ریز Organic granulated	4.3	998	26.2	2.31
ازته – دانه‌ای N-Granuled	0.88	804	25.68	1.89

بررسی تأخیر و تعجیل در اعمال کود

بررسی میزان تأخیر و تعجیل دستگاه در ریزش کود بر روی شبکه‌های مجازی، در کرت‌های اعمال ویژه مکانی انجام شد. بدین منظور روی یک قطعه زمین مسطح خط‌کشی‌هایی به طول ۱۰۰ سانتی‌متر و عرض یک واحد کودکار، برای ایجاد کرت‌ها و شبکه‌های مجازی اجرا شد که درون هر شبکه ظروفی برای جمع‌آوری کود ریخته شده قرار داده شد. اگر سامانه جلوتر یا عقب‌تر از خطوط شبکه ریزش می‌کرد، با علامت‌گذاری ابتدا و انتهای مکان ریزش اشتباه و تقسیم طول خطا (از ابتدای خط) بر طول شبکه، میزان خطا بر حسب سانتی‌متر در آن شبکه به‌دست می‌آید. با جمع خطاهای به‌وجود آمده در کل شبکه‌ها در هر کرت، خطای تجمعی کرت به‌دست می‌آید. حال اگر این خطا را بر طول کرت تقسیم کرده و در ۱۰۰ ضرب کنیم دقت سامانه بر حسب درصد محاسبه می‌گردد. دقت سامانه بدین مفهوم است که در ۱۰۰ سانتی‌متر طول کرت چند سانتی‌متر ریزش اشتباه صورت گرفته است. این آزمون مشخص‌کننده کیفیت عملکرد سیستم مکان‌یابی دستگاه (چرخ زمین‌گرد) و تأثیر آن بر اعمال نرخ متغیر کود در کرت‌ها می‌باشد. حداکثر سرعت کاری تراکتور برای بررسی کارایی مطلوب سامانه (۸ کیلومتر در ساعت) در این آزمون‌ها لحاظ شد.

نتایج و بحث

رابطه‌ی دور محور موزع با ریزش کود

میزان کود خارج شده از هر موزع در وضعیت دریچه F0 در سرعت‌های مختلف چرخش موزع اندازه‌گیری و نتایج آن در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است. همبستگی (رگرسیون خطی) میان داده‌های کود خارج شده از موزع و دور محور موزع بر حسب rpm برابر با ۰/۹۹ به‌دست آمد، که دارای رابطه رگرسیونی y = ۷۱/۶۳۶ x +۷۵/۱۸۲ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این دو پارامتر دارای رابطه خطی بسیار خوبی می‌باشند. از نتایج این نمودار و رابطه رگرسیونی به‌دست آمده در برنامه‌نویسی مدار کنترل دستگاه استفاده شد. بدین ترتیب می‌توان با خواندن مقدار دور موتور محور موزع‌ها، میزان ریزش کود را محاسبه و با توجه به نیاز زمین مقدار کود مصرفی را کنترل کرد.

بررسی عملکرد دستگاه در اعمال مقدار کود تنظیم شده

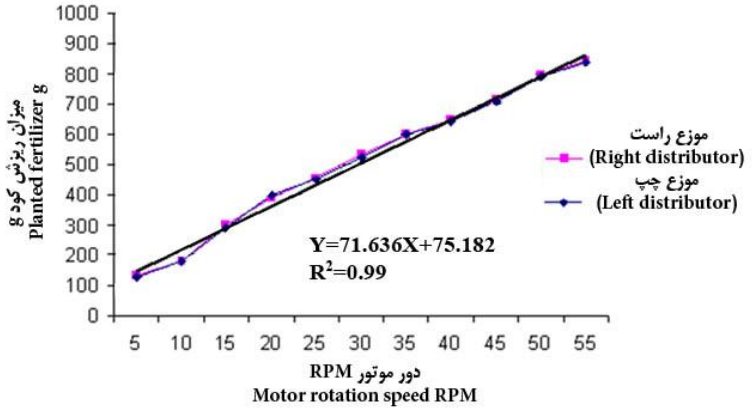
به‌منظور بررسی سیستم کنترلی دور محور موزع‌ها و سامانه اعمال کود، در حالت‌های مختلف از پیش تنظیم شده (۵ تا ۹۵ درصد نیاز به کود) میزان ریزش کود توسط کودکار در وضعیت دریچه F0 اندازه‌گیری شد و نتایج زیر حاصل گردید. (شکل ۴)

ضریب همبستگی (رگرسیون خطی) میان داده‌های میزان ریزش تنظیم‌شده و میزان ریزش واقعی کود ۰/۹۹ به‌دست آمد که دارای رابطه رگرسیونی خطی y = ۱/۰۳۲۶x بود. برقراری رابطه خطی با همبستگی بالا منجر به افزایش دقت سامانه می‌گردد زیرا یکی از عوامل مؤثر بر دقت میزان ریزش کود متناسب با مقدار تنظیم‌شده می‌باشد.

تولا و همکاران (۲۰۰۸) یک سامانه کنترل نرخ کود را با استفاده از حسگر تشخیص میزان خروجی کود در ژاپن توسعه دادند. آنها رابطه بین میزان ریزش کود و نیاز خاک را با همبستگی ۰/۹۹۹ گزارش دادند.

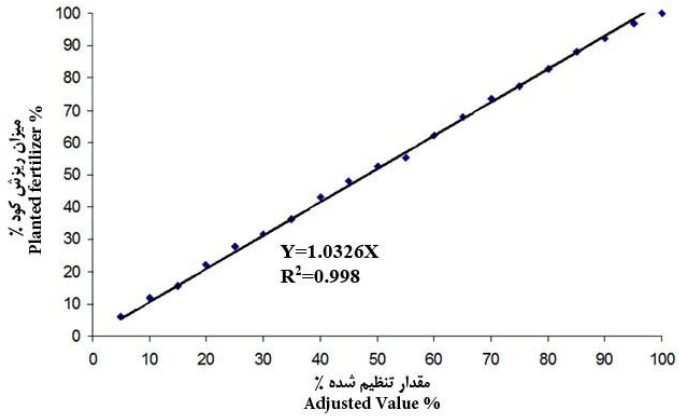
آزمون در حرکت سامانه

تأثیر فاکتورهای سرعت پیشروی، طول کرت و نوع کود طی دو سری آزمایش در درصدهای نیاز ۲۵ و ۵۰ درصد بر میزان ریزش کود جدول‌های ۲ و ۳ نتایج تجزیه واریانس آزمون در حرکت سامانه نصب شده روی کودکار نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار رابطه بین دور موتور محور موزع و میزان ریزش کود، وضعیت دریچه F0

Fig. 3. Relationship between fertilizer motor speed (rpm) and planted fertilizer (g) at valve position F0



شکل ٤- نمودار رابطه بین میزان تنظیم‌شده‌ی کود و میزان ریزش کودکار

Fig. 4. Relationship between adjusted value and planted fertilizer

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورها بر میزان ریزش کود در درصد نیاز ۲۵ درصد

Table 2- Analyze of variance of effect of three factors (speed, section length and fertilizer type) on planted fertilizer at 25% soil needs

منبع تغییر Source	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	F
نوع کود A (Fertilizer type)	1	1201.86	75.21**
طول کرت B (Plot length)	2	44.86	2.808^{ns}
سرعت پیشروی C (Speed)	1	26.28	1.645^{ns}
اثر متقابل AB (Intraction)	1	9.278	0.581^{ns}
اثر متقابل AC (Intraction)	2	353.337	22.111**
اثر متقابل BC (Intraction)	1	99.031	6.197**
اثر متقابل ABC (Intraction)	1	17.128	1.072^{ns}
اشتباه (Error)	60	15.98	

ns اختلاف غیرمعنی‌دار و ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورها بر میزان ریزش کود در درصد نیاز ۵۰ درصد

Table 3- Analyze of variance of effect of three factors (speed, section length and fertilizer type) on planted fertilizer at 50% soil needs

منبع تغییر Source	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	F
نوع کود A (Fertilizer type)	1	702.084	30.839**
طول کرت B (Plot length)	2	134.818	5.922**
سرعت پیشروی C (Speed)	1	1013.75	44.529**
اثر متقابل AB (Intraction)	1	6.938	0.305^{ns}
اثر متقابل AC (Intraction)	2	351.861	15.455**
اثر متقابل BC (Intraction)	1	15.938	0.7^{ns}
اثر متقابل ABC (Intraction)	1	49.021	2.153^{ns}
اشتباه (Error)	60	22.766	

ns اختلاف غیرمعنی‌دار و ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪

جداول تجزیه واریانس ۲ و ۳ در دو سطح کوددهی ۲۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز خاک تهیه شده‌اند. مطابق با نتایج این دو جدول نوع کود تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در میزان کوددهی دستگاه دارد. تأثیر فاکتور طول کرت‌ها بر میزان کوددهی در سطح نیاز ۲۵ درصد معنی‌دار نشد که مطلوب است ولی در سطح نیاز ۵۰ درصد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. دلیل معنی‌دار شدن در سطح نیاز ۵۰ درصد را می‌توان به عواملی نظیر قطع و وصل‌های جریان کود در طول آزمون، تغییر سرعت موتورها و خطای حاصل از آنها در یک مقدار مشخص کود خروجی دانست، به‌طوری‌که در سطح نیاز ۲۵ درصد خطای حاصل از این عوامل بر میزان کود خروجی سهم کمتری داشته و مطابق پیش‌فرض دستگاه اثر طول کرت معنی‌دار نگردیده است.

فاکتور سرعت پیشروی نیز در سطح نیاز ۵۰ درصد معنی‌دار ولی در سطح نیاز ۲۵ درصد اثر غیر معنی‌داری بر میزان کوددهی دستگاه دارد که مطابق با تحقیق انجام شده توسط صداقت‌حسینی و همکاران (۲۰۱۲) است. برای این مورد نیز می‌توان دلایلی مشابه مورد قبل ارائه کرد، بدین ترتیب که به‌دلیل شدت بیشتر ریزش کود، با تغییر سرعت پیشروی عواملی نظیر لرزش‌های دستگاه باعث ریزش ناخواسته کود از موزع‌ها می‌شد (به‌دلیل عدم آب‌بندی کامل خروجی موزع) و این میزان تغییر در ریزش کود سهم قابل توجهی در مقادیر جمع‌آوری شده داشته که موجب معنی‌دار شدن اثر سرعت در سطح نیاز ۵۰ درصد شده است. سهم تغییر میزان ریزش ناشی از لرزش‌های دستگاه در مزرعه در سطح نیاز ۲۵ درصد نسبت به مقادیر کود جمع‌آوری شده کمتر بوده و درنتیجه اثر سرعت غیر معنی‌دار به‌دست آمده است. فاکتورهای نوع کود و طول کرت کاملاً مستقل از هم بوده‌اند و اثر دوگانه آنها بر میزان کوددهی غیر معنی‌دار است. با توجه به اینکه میزان خروج یا میزان ریزش کود تابعی از میزان باز بودن دریچه و سرعت دورانی موتورها می‌باشد این نتایج کاملاً منطقی می‌باشد.

دقت سامانه در میزان ریزش کود

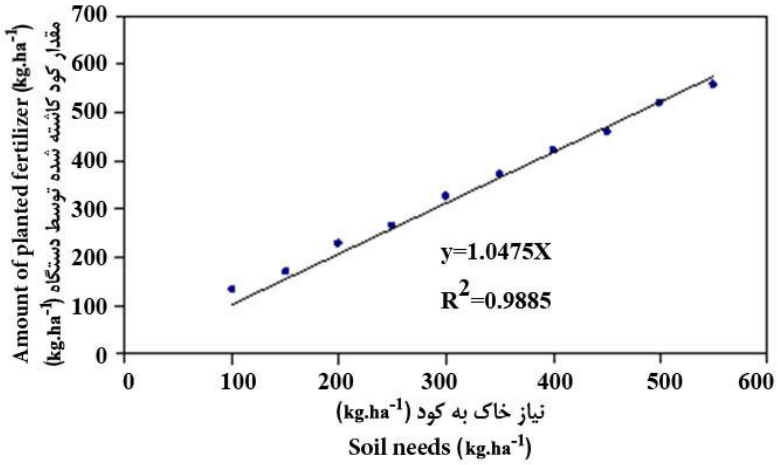
برای اندازه‌گیری میزان خطای ناشی از مقدار اعمال کود، میزان ریزش کود در نرخ ریزش‌های مختلف اندازه‌گیری گردید (شکل ۵).

همبستگی میان داده‌های این دو پارامتر ۰/۹۸ به‌دست آمد که دارای معادله y = ۱/۰۴۷۵x بود و نشان‌دهنده برقرار بودن رابطه خطی با همبستگی بسیار بالا بین فاکتورهای مورد نظر است. برقراری رابطه خطی با همبستگی بالا منجر به افزایش دقت سامانه می‌گردد زیرا یکی از عوامل مؤثر بر دقت میزان ریزش می‌باشد. همچنین مطابق نمودار شکل ۵ با افزایش نرخ ریزش میزان خطا در مقدار ریزش نیز کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان کم شدن سهم عوامل ایجاد خطا (لرزش‌ها، تنظیم مجدد موزع‌ها و سرش چرخ) در مقدار کود ریخته شده با افزایش مقدار ریزش دانست.

تولا و همکاران (Tola *et al.*, 2008) یک سامانه کنترل نرخ کود را با استفاده از حسگر تشخیص میزان خروجی کود در ژاپن توسعه دادند. آنها رابطه بین میزان ریزش کود و نیاز خاک را با همبستگی ۰/۹۹۹ گزارش دادند.

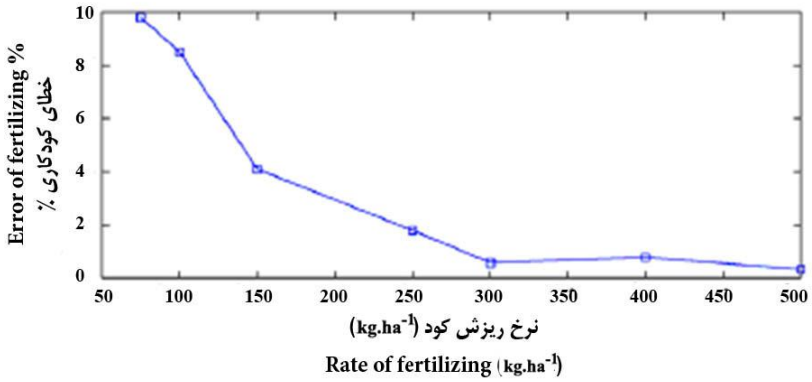
بررسی میزان کود مصرفی

کود مورد نیاز هر قسمت از مزرعه براساس داده‌های نیاز خاک، اعمال شد. انجام این آزمایش به‌منظور تعیین میزان صرفه‌جویی کود با استفاده از روش مدیریت موضعی است. در این آزمایش فرض شد در روش اعمال یکنواخت کود ازته ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود در مزرعه استفاده می‌شود حال با استفاده از داده‌های نیاز خاک مزرعه، کوددهی با سیستم نرخ متغیر اجرا گردید. مقایسه میانگین میزان کود مصرفی در کرت‌های با اعمال ویژه مکانی و کرت‌های اعمال یکنواخت در ۱۰۰ متر مربع در شکل ۷ آمده است.



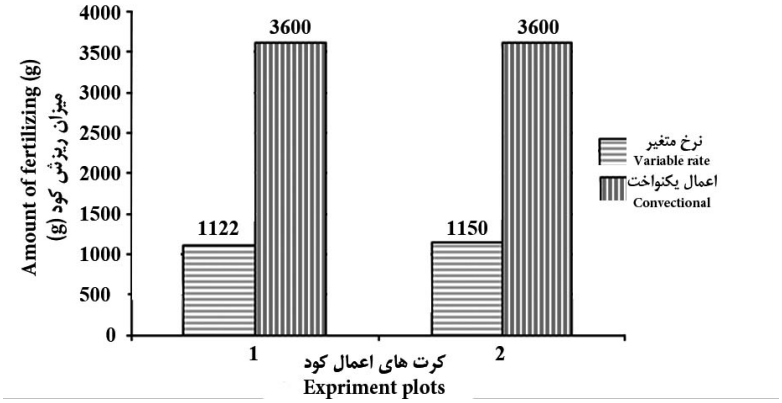
شکل۵– رابطه بین میزان نیاز کودی و میزان ریزش کودکار

Fig.5. Relationship between soil needs and planted fertilizer



شکل٦– رابطه خطای ریزش کود با نرخ ریزش

Fig.6. Relationship between error in planting fertilizer and infusing rate



شکل۷– مقایسه بین میزان مصرف کود در دو شیوه اعمال خاص مکانی و اعمال یکنواخت

Fig.7. Comparison between fertilizer consumption in variable rate fertilizing and conventional method

همانگونه که در نمودار معلوم است، میزان کود مصرفی در کاربرد ویژه مکانی به‌طور میانگین ۱۱۲۲ گرم و در کاربرد یکنواخت ۳۶۰۰ گرم (به‌ازای مساحت ۱۰۰ متر مربع هر کرت) می‌باشد. این موضوع بدین معناست که در شیوه کاربرد ویژه مکانی کود ۶۸/۸۳ درصد صرفه‌جویی در مصرف کود شده است. البته لازم به ذکر است که استفاده از روش مدیریت موضعی در اعمال متغیر کود همیشه باعث صرفه‌جویی نخواهد شد.

در تحقیق ملکی و همکاران (Maleki *et al*., 2007) مقدار اعمال فسفر با استفاده از فن‌آوری نرخ متغیر به اندازه ۴ کیلوگرم در هکتار بیشتر از اعمال یکنواخت فسفر به‌دست آمد.

پاز و همکاران که بر مبنای نیاز خاک اعمال کود را انجام دادند ۲۵ درصد در مصرف کود صرفه‌جویی کردند (Paz *et al.,* 1999). اقبال و همکاران نیز از فن‌آوری نرخ متغیر برای مزرعه ۵۰۰ هکتاری ذرت استفاده کردند که نتیجه آن ۷۵ درصد کاهش مقدار مصرف یکنواخت کود ازته بود (Eghball *et al*., 2003). هوگن بوم و همکاران (Hoogen-boom *et al*., 1994) از روش اعمال نیتروژن بر مبنای نقشه خاک توانستند ۱۷/۵ درصد در مصرف کود نیتروژن صرفه‌جویی کنند.

نتیجه‌گیری

در بررسی‌های فوق سامانه کودکار براساس نیاز خاک در نقاط مختلف زمین، کوددهی را انجام داد. مقایسه میان اعمال کود در کرت‌های اعمال ویژه مکانی و اعمال یکنواخت نشان داد میزان صرفه‌جویی بستگی به تغییرات مواد مغذی خاک دارد و زمینی که از لحاظ مواد مغذی فقیر باشد صرفه‌جویی کمتری در میزان اعمال کود خواهد داشت.

افزایش و یا کاهش میزان کود مصرفی در شیوه اعمال ویژه مکانی (سیستم نرخ متغیر) وابسته به میزان نیاز کودی خاک می‌باشد که از داده‌های فرضی از پیش تعیین شده به‌دست آمده است. درحالی‌که میزان کود مصرفی در شیوه اعمال یکنواخت همواره ثابت است و ربطی به تغییرات ازت خاک ندارد.

در ایران حدود ۳۰۰ تا۵۰۰ کیلوگرم کود ازته در هر هکتار در ۳ نوبت در طول دوره کشت به زمین داده می‌شود و حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم کود پتاس و فسفات در هکتار داده می‌شود. به‌عنوان نمونه در مزرعه تحت بررسی با اعمال سیستم نرخ متغیر باعث صرفه‌جویی ۶۸/۸۳ درصدی در میزان هزینه کود مصرفی می‌گردد. با توجه به اینکه ذرت سطح بالایی را در کشور دارا بوده و میزان کود اوره مصرفی بالایی دارد این میزان صرفه‌جویی باعث بهره‌وری بالای اقتصادی و کاهش آلودگی محیطزیست و درنتیجه حاصلخیزتر شدن خاک منطقه خواهد شد.

منابع

1. Eghball, B., J. S. Schepers, M. Negahban, and M. R. Schelemmer. 2003. Spatial and temporal variability of soil nitrate and corn yield: multifractal analysis. Agronomy Journal 95: 339-346.
2. Ghazvini, H. M., V. M. Almasi, and M. Fathi. 2006. Effect of use of digital maps in precision agriculture on fertilizer consumption in Barkhvar region Isfahan province- Iran, The 4th national conference of agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Tabriz, Iran. (In Farsi).
3. Hoogen-boom, G. J., J. W. Jones, P. W. Wilkens, W. D. Batchelor, W. T. Bowen, L. A. Hunt, N. Pickering, U. Singh, D. C. Godwin, B. Baer, K. J. Boote, J. T. Ritchie, and J. W. White. 1994. Crop models In: Tsuji, G. Y., Vehara, G., Balas, S. (Eds.), DSSAT (The decision support system for agrotechnology transfer) version 3, Vol. 2. University of Hawaii, Honolulu, HI, PP. 95-246.
4. Morgan, M. 2003. The precision-farming guide for Agriculturists (Translated by Loghavi, M.), Education and Extention Organization. Tehran. (In Farsi).
5. Maleki, M. R., A. M. Mouazen, H. Ramen, and J. De Baerdemaeker. 2007. Optimization of soil VIS-NIR sensor- based variable rate application system of soil phosphoris. Soil and Tillage Research 94: 239-250.
6. Paz, J. O., W. D. Batchelor, T. S. Colvin, S. D. Logsdon, T. C. Kaspar, and D. L. Karlen. 1999. Model-based technique to determine variable rate nitrogen for corn. Transactions of the ASAE 61: 69-75
7. Robert, P. C., R. H. Rust, and W. E. Larson. 1993. Proceedings 1st. Workshop soil- specific Crop Management, ASA- CSSA- SSSA, Madison, WI.
8. Sedaghat-Hoseini, M., M. Almasi, S. Minaei, and M. Ebrahimzadeh. 2012. Design and evaluation of a map based variable rate cultivator-fertilizer, The 7th National Congress of Agriculture Machinery Engineering and Mechanization, Shiraz, Iran.
9. Tola, E., T. Kataoka, M. Burce, H. Okamato, and S. Hata. 2008. Granular Fertilizer Application Rate Control System with Integrated Output Volume Measurement. Biosystems Engineering 1001: 411-416.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 5, No. 2, Fall - Winter 2015, p. 251-260

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۵، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۴، ص ۲۶۰-۲۵۱

Fabrication and evaluation of variable rate fertilizer system

A. Damirchi[1]- M. H. Aghkhani[2*]- M. Khojastehpour[3]- J. Baradaran Motie[4]

Received: 21-11-2013
Accepted: 15-07-2014

Introduction: In conventional farming, the soil and crop are considered uniform in different locations of the farm and the fertilizers are applied according to the average of soil needs with an additional percentage for safety (Loghavi, 2003). Non-essential chemical fertilizers in the field have harmful effects and social, economic and environmental concerns will increase. Many fertilizers go into the surface waters and ground waters and cause poisoning and environmental pollution without being absorbed by the plants. In variable rate technology, the soil fertilizer needs a map of all parts of the farm which is prepared with the GIS system. This map is uploaded on the computer before variable rate fertilizer machine starts. The computer continually controls the fertilizing rate for each part of the farm using a fertilizing map and global positioning system. The purpose of this study is to construct and evaluate a map-based variable rate fertilizer system that can be installed on a common fertilizer in Iran to be used as a variable rate system.
Materials and methods: In common variable rate fertilizers, the rotational speed change of the distributor shaft is used to apply fertilizers. In this way, a DC motor is assembled on the main shaft of all distributors, which reduces the fertilizing accuracy. The reason for this is that there is no separation for units along the width of the fertilizer. Therefore, we used one DC motor for each distributor and another motor to rotate the agitator in the tank.
System Set up: To design and select a suitable engine, the required torque for the rotation distributor shaft was measured by a torque meter and the amount of 2.1 Nm was acquired for that. With regard to the maximum rate of nitrogen fertilizer for land and tractor speed at the time of fertilizing, the order of 350 kg per hectare and 8 km per hour, the maximum distributor shaft speed and power required to rotate distributor shaft were calculated to be 55 rpm and 6.9 watts, respectively. The selected motor was rated 27.5 watts, 24 volts and 7.5 amperes (Since there were no 6.9 watts motors in the market, a more powerful motor was selected). According to the gear ratio and motor speed, the speed of the distributor shaft was adjustable in the range of 0 to 65 rpm. To determine the speed and position with respect to the direction, a central encoder (E50S8-600-6-L-5 model manufactured by Autonix Korea) was used on the ground wheel. The encoder had 600 pulses per revolution of the axis.
Performance evaluation of the system: Performance evaluation of the system consists of two parts; static and moving tests. In static tests, the purpose was the determination of the fertilizer loss (in grams), due to changes in distributor speed as well as the accuracy of the electromechanical control system according to the command values sent to the device. Results of this part were used for the calibration of the device.
In motion tests: In motion tests, the assessment of fertilizer loss was due to values set in a given situation and the accuracy of planted fertilizer in place (delay and acceleration) is reviewed. The delay is found by the determination of the distance that the fertilizer was placed after the desired location on the ground and the acceleration is found by the determination of the distance that the fertilizer is placed before the desired location on the ground.
Results and discussion: The distributor flow rate on F0 valve position was measured for different rotation speeds. The correlation (linear regression) between the planted fertilizer and rotation speed of distributor shaft (rpm) were 0.99 for y=71.636x+75.182. So, it can be deduced that these two parameters have a good linear correlation. The results achieved from diagrams and regression model were used in the programming of the system control unit. Thus, by reading the distributors motor speed, the amount of fertilizer can be calculated and the amount of used fertilizer according to the need of the farm in each part is controlled. The effect of plot length on the amount of fertilizing on 25% need level was not significant, but it was significant on 50% need level. This is due to stopping and starting fertilizer flow during the test, changes in motors speed and error of these on fertilizer output at a certain amount of fertilizing so that at the 25% need level, the error resulting from these factors had less share on the amount of plant fertilizer and the effect of plot

1- Former MSc student of Mechanics of Agricultural Machinary Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2 & 3- Associate Professors of Biosystems Engineering and Members of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- PhD student of Mechanics of Agricultural Machinary Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Aghkhani@um.ac.ir)

length was not significant according to the system default. On the other hand, the effect of forward speed was significant on the 50% need level and insignificant on the 25% need level.
Conclusions: In order to calculate the accuracy of the system, the error from the application amount of fertilizer was measured at different fertilizing rates. The correlation between the adjusted fertilizing rate and the measured fertilizing rate was 0.98 with regression model of y=1.0475x which shows the good accuracy of the system.

Keywords: Intelligent metering device, Fertilizing, Variable rate technology