ساخت و ارزیابی سامانه کنترل مقدار کوددهی بر اساس جابه‌جایی دستگاه فاروئر–کودکار

سید مرتضی صداقت حسینی[۱*]، مرتضی الماسی[۲]، سعید مینایی [۳] و محمد رضا ابراهیم زاده[۴]

۱–مدرس گروه فنی و ماشین‌های کشاورزی، مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره)،
morteza.s.hosseini@gmail.com
۲–استاد گروه مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
۳–دانشیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۴–استادیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری

چکیده

ازجمله راه‌های کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، استفاده از کشاورزی دقیق می‌باشد. بخش زیادی از کود شیمیایی مصرفی در کشور، توسط ماشین‌های کودکار و کودریز دارای موزع نوع گردنده پره‌دار (با نام تجاری مینی–ماکس) مصرف می‌شود. از این‌رو در این تحقیق سامانه کنترل خروجی کود گرانوله بر روی یک دستگاه فاروئر–کودکار چهار ردیفه ساخت شرکت تراشکده نصب‌گردید و دستگاه مزبور به یک دستگاه کودکار نرخ متغیر تبدیل شد. سامانه مذکور شامل حسگر جابجایی دستگاه، حسگر موقعیت دریچه موزع‌ها، عملگر دریچه موزع‌ها و واحد کنترل الکترونیکی بود. پس از پیاده‌سازی اجزاء، دستگاه مذکور مورد ارزیابی کارگاهی و مزرعه‌ای قرارگرفت. در آزمون‌های کارگاهی زمان تأخیر کودکاری در دو حالت صعودی و نزولی تغییر نرخ کوددهی اندازه‌گیری‌شد. در آزمون مزرعه‌ای، تأثیر عوامل سرعت پیشروی در محدوده سرعت کاری دستگاه (۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت) و مقدار کود مصرفی در محدوده مقادیر رایج کوددهی (۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار) بر دقت دستگاه اندازه‌گیری شد. داده‌های به‌دست آمده فوق در قالب طرح کرت‌های خرد شده و با استفاده از نرم افزار Design-Expert تجزیه و تحلیل شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تأثیر سرعت پیشروی، نرخ کوددهی و اثر متقابل آنها بر دقت دستگاه در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. خطای کوددهی دستگاه در سرعت پیشروی بالا (۸ کیلومتر در ساعت) و نرخ کوددهی کم (۷۵ کیلوگرم در هکتار) بیشترین مقدار بود.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی دقیق، کودکار نرخ متغیر، موزع نوع گردنده پره‌دار

مقدمه

در دهه‌های اخیر با افزایش تقاضای محصولات کشاورزی، نرخ رشد تولیدات آنها نیز افزایش چشمگیری داشته است که این افزایش، با فشارهای زیست محیطی همراه بوده‌است. منشاء اکثر آلودگی‌های آب‌های زیر زمینی، نهاده‌های شیمیایی مورد استفاده در فعالیت‌های کشاورزی می‌باشند(Link *et al*., 2006). طبق آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۸۶، در میان نهاده‌های شیمیایی مصرفی، سالیانه ۲۶۹۹۹۲۰ تن کود شیمیایی در ایران مصرف می‌شود (صداقت حسینی و همکاران، ۱۳۹۱). درصورتی‌که مقدار کود مصرفی

بر اساس نتایج آزمون خاک و با مطالعات اولیه انجام شود، افزایش مقدار کود مصرفی تا حد بهینه، عملکرد محصول را افزایش داده اما مصرف بیشتر از آن مقدار باعث کاهش عملکرد می‌گردد (Tola *et al.*, 2008). این در حالی است که افزایش مصرف کود، علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید، درآمد را نیز به دلیل کاهش عملکرد، تقلیل می‌دهد. در روش‌های مرسوم کاربرد یکنواخت کودهای شیمیایی، توجهی به تغییرات پتانسیل حاصلخیزی نقاط مختلف مزرعه نمی‌شود. بنابراین برخی از قسمت‌های مزرعه از مقدار کود کمی برخوردار می‌شوند در حالی‌که قسمت‌های دیگر مقدار بیشتراز نیازکود، به‌دست می‌آورند. لازم است تا مقادیر کودهای گرانوله به دقت در مقادیر تجویز شده استفاده شوند تا با توجه به متغیرهای مواد مغذی گیاه درون مزرعه تولید محصول بهینه شود (Swisher *et a* , 2002). از این رو امروزه مدیریت موضعی در تولید محصولات زراعی[1] به عنوان یک فناوری بر اساس تهیه و تحلیل اطلاعات، نقش به سزایی در توسعه کشاورزی دقیق داشته‌است. از موارد اصلی مدیریت موضعی محصولات زراعی، کاربرد فنآوری نرخ متغیر نهاده‌ها[2] است که در آن انجام هرگونه عملیات زراعی از جمله کاربرد نهاده‌هایی نظیر بذر، کود، مواد شیمیایی و آب بر اساس نیاز هر بخش از مزرعه صورت می‌پذیرد و رایج‌ترین فناوری به کار رفته در کشاورزی دقیق می‌باشد (لغوی، ۱۳۸۲).

اکثر کودهای شیمیایی مصرفی به‌شکل گرانوله می‌باشند. کودهای شیمیایی گرانوله را می‌توان با استفاده از دستگاه‌های کودپاش، کودکار یا کودریز به‌کار برد. مزیت کودپاش‌ها در سرعت عمل آنها و افزایش ظرفیت ماشین می‌باشد. ماشین‌های کودریز و کودکار به دلیل اینکه کودهای شیمیایی را فقط در ردیف‌های محصول قرار می‌دهند، باعث افزایش راندمان و دقت موقعیت کود مصرفی و کاهش هزینه‌های مرتبط با آن می‌شوند (Maleki *et a* , 2007). دستگاه‌های کودکار به دلیل اینکه کود را زیر خاک قرار می‌دهند و از تصعید شدن آن جلوگیری می‌گردد باعث افزایش راندمان کود مصرفی می‌شوند.

نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که اکثر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه کاربرد نرخ متغیر کودهای شیمیایی گرانوله با استفاده از کودپاش‌ها بوده‌است. یک سامانه کنترل نرخ متغیر حسگرمبنا کود گرانوله فسفاته طراحی شده و روی یک دستگاه کودکار ساخت شرکت آمازون[3] نصب گردید. این دستگاه مقدار فسفر موجود در خاک را با استفاده از حسگر طیف‌سنجی VIS-NIR[4] که توسط مؤذن و همکاران (۲۰۰۵) طراحی شده‌بود (Mouazen *et al.*, 2005) اندازه‌گیری می‌نمود. تغییر مقدار کود خروجی در سامانه مذکور با استفاده از اهرم جعبه دنده که سرعت موزع را نسبت به سرعت پیشروی دستگاه تغییر می‌داد صورت می‌گرفت (Maleki *et al.*, 2008). در تحقیقی با استفاده از موزع هلیسی کود گرانوله که Jafari (1991) طراحی کرده‌بود، دستگاه کودکار نرخ متغیر نقشه مبنایی ساخته و ارزیابی گردید. محور این موزع توسط یک موتور پله‌ای گردش می‌کرد که با تغییر سرعت گردش

[1] Site specific crop management (SSCM)
[2] Variable Rate Application (VRA)
[3] Amazone
[4] Spectrophotometer

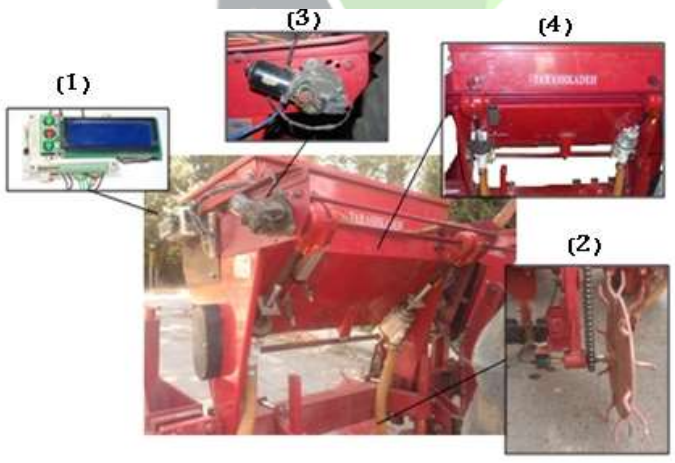
آن متناسب با سرعت پیشروی و با توجه به مقدار مورد نیاز خروجی کود، تنظیم می‌گردید (Loghavi and Forouzanmehr, 2010).

یکی از راه‌های تولید ماشین‌های نرخ متغیر، نصب سامانه کنترل روی دستگاه‌های کاربرد یکنواخت رایج می‌باشد (Jafari *et al.*, 2010). از آنجایی که اکثر دستگاه‌های کودکار و کودریز موجود در کشور، دارای موزع نوع گردنده پره‌دار می‌باشند، در این تحقیق، ابتدا سامانه‌ای برای کنترل کردن موزع نوع گردنده پره‌دار ارائه شده توسط (صداقت حسینی و فرزانه، ۱۳۸۹) ساخته شد و پس از نصب کردن آن بر روی یک دستگاه فاروئر–کودکار چهار ردیفه ساخت شرکت تراشکده، کودکار نرخ متغیر، برای انجام عملیات کوددهی مزارع ذرت در ایران، تهیه (بومی‌سازی) شد. دقت دستگاه فاروئر–کودکار نرخ متغیر مذکور در مزرعه آموزشی مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره) مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

اجزای سامانه کنترل دریچه موزع‌ها

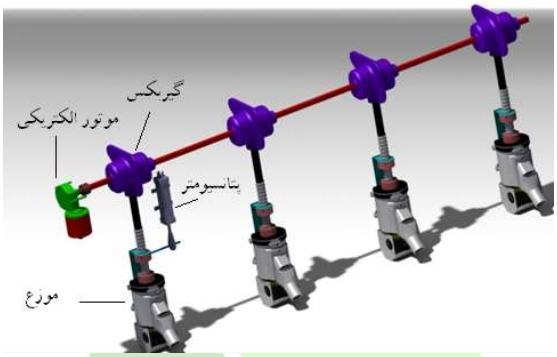
اجزاء سامانه مورد استفاده (شکل ۱) عبارتند از: واحد کنترل الکترونیکی (1) که دارای ریز پردازنده AVR مدل Atmega 32 می‌باشد و وظیفه آن کنترل مقدار باز بودن دریچه‌ها متناسب با شرایط کاری دستگاه و در نتیجه تأمین نرخ کوددهی است. یک عدد چرخش سنج[1] (2) با مشخصات (مدل:E50S8-100-3-T-24 با ولتاژ5%± 12-24V DC ساخت شرکت Autonics کشور کره جنوبی) به محور چرخ زمین‌گرد متصل شد و به‌عنوان حسگر جابجایی دستگاه از آن استفاده می‌شود. عملگر دریچه‌ها (3) که یک عدد الکتروموتور با مشخصات (۱۲ ولت DC مدل ۷۰۵ ساخت شرکت JIDECO) است و قابلیت دوران به هر دو جهت را دارد. گردش محور عملگر به چپ و راست، باعث باز و بسته‌شدن دریچه‌ها می‌شود. از یک عدد پتانسیومتر خطی به عنوان حسگر جابجایی دریچه موزع‌ها (4) استفاده شد. این حسگر موقعیت دریچه موزع‌ها را برای واحد کنترل الکترونیکی ارسال می‌نماید.



شکل ۱. اجزاء سامانه کنترلی

[1] Shaft encoder

نیروی دورانی عملگر توسط سازوکار محرک دریچه‌ها (شکل ۲) به محور هر چهار موزع منتقل می‌شود. یک عدد پتانسیومتر خطی با مشخصات (مدل KTC 100، کورس ۱۰۰ میلیمتر و مقاومت ۳/۴ کیلو اهم ساخت شرکت Hidromatt هنک کنگ) به عنوان حسگر دریچه موزع‌ها به دریچه اولین موزع متصل گردید تا به‌طور مداوم موقعیت آن را به واحد کنترل الکترونیکی ارسال نماید. از آن‌جایی‌که موقعیت تمام دریچه‌ها، یکسان می‌باشد، این حسگر وضعیت همه آنها را به‌طور هم‌زمان به واحد کنترل الکترونیکی، ارسال می‌نماید.



شکل ۲. سازوکار محرک و حسگر موقعیت دریچه موزع ها

روش مکان‌یابی سامانه

روش مکان‌یابی در سامانه مذکور مبتنی بر تخمین مسافت[1] می‌باشد (لغوی، ۱۳۸۲). در این روش، قبل از شروع کار دستگاه در مزرعه، نقشه تجویزی در GIS تهیه می‌گردد. سپس نقشه مذکور به‌موازات ردیف‌های کشت محصول به شبکه‌های مربعی تقسیم می‌شود. ابعاد شبکه‌های ایجاد شده، برابر با عرض کار دستگاه می‌باشد. پس از شبکه‌بندی نقشه مذکور، مسیر حرکت دستگاه در مزرعه تعیین می‌شود (شکل ۳). تعداد مسیرهای (ردیف‌های) عبوری دستگاه در مزرعه، معادل حاصل تقسیم عرض مزرعه به عرض کار دستگاه است.

در این‌صورت ترتیب مسیرهای حرکت دستگاه در مزرعه مشخص گردیده و نرخ‌های کوددهی معادل هر کدام از شبکه‌های (سلول‌های) موجود در هر ردیف کاری، به‌ترتیب و متناسب با مسیر حرکت دستگاه، از نقشه تجویزی استخراج شده و به‌شکل ماتریس به حافظه واحد کنترل الکترونیکی، وارد می‌شود. به‌این ترتیب معادل تعداد مسیرهای عبوری دستگاه کودکار در مزرعه، ماتریس نرخ کوددهی، به‌دست خواهدآمد. ماتریس‌های نرخ کوددهی به ترتیب و متناسب با مسیرهای حرکت دستگاه، در حافظه واحد کنترل الکترونیکی قرار داده شده و با حرکت دستگاه در مزرعه، چرخش‌سنج، جابجایی طولی آن را اندازه‌گیری می‌کند. در فواصل پیشروی معادل ابعاد شبکه، نرخ کوددهی جدید (هدف) از اطلاعات موجود در ماتریس هر ردیف کاری و به‌ترتیب توسط

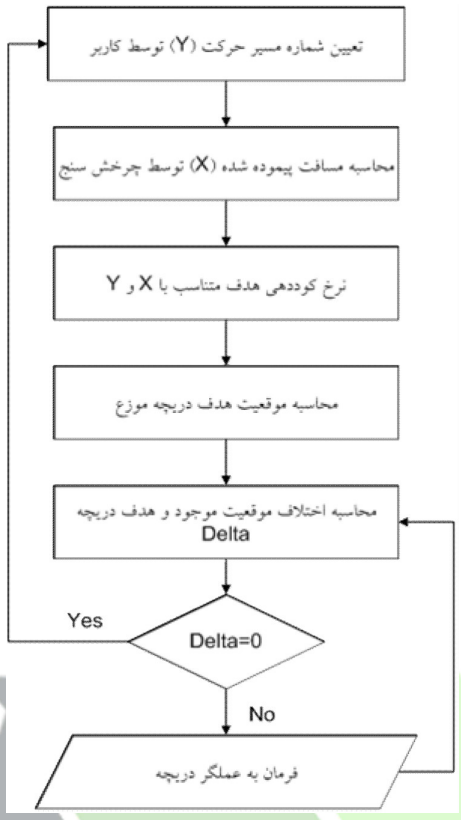
[1] Dead reckoning

واحد کنترل الکترونیکی خوانده می‌شود. در انتهای هر مسیر و پس از دور زدن دستگاه و در ابتدای مسیر جدید آن، کاربر تراکتور اهرم تعیین شماره ردیف که در جلوی داشبورد تراکتور نصب شده‌است را می‌فشارد. در این حالت واحد کنترل الکترونیکی، اطلاعات مربوط به ردیف (مسیر) حرکت بعدی را در نظر گرفته و بدین ترتیب جابجایی عرضی دستگاه نیز مشخص می‌گردد. از آنجایی‌که در عملیات زراعی محصولات ردیفی عرض کار واقعی دائماً مساوی عرض کار دستگاه بوده و همپوشانی یا فاصله بین دو ردیف متوالی ایجاد نمی‌گردد، خطای تجمعی تعیین موقعیت عرضی (Y) دستگاه توسط سامانه، کاهش می‌یابد.

شکل ۳. شبکه بندی مزرعه و تعیین مسیرهای حرکت دستگاه در مزرعه

طرز کار سامانه

نحوه کنترل کردن موقعیت دریچه موزع‌ها توسط واحد کنترل الکترونیکی، طبق شکل ۴ به شرح زیر می‌باشد. هنگام حرکت دستگاه کودکار در مزرعه، شماره مسیر حرکت (موقعیت Y) آن توسط کاربر تراکتور و با اهرم مربوطه، مشخص می‌شود. از سوی دیگر حسگر جابجایی دستگاه، موقعیت طولی دستگاه (X) را مشخص می‌کند. با مشخص شدن شماره‌های ردیف و شبکه، نرخ کوددهی هدف از اطلاعات وارد شده در حافظه واحد کنترل الکترونیکی، تعیین می‌شود. وضعیت کاری دستگاه (سرعت پیشروی و موقعیت دریچه موزع) توسط حسگرهای مربوطه به واحد کنترل الکترونیکی ارسال می‌شود. واحد کنترل الکترونیکی، مقدار باز بودن دریچه برای تأمین نرخ کوددهی هدف را متناسب با سرعت پیشروی، تعیین می‌نماید. سپس اختلاف بین موقعیت‌های موجود (اولیه) و هدف دریچه، توسط واحد کنترل الکترونیکی محاسبه می‌شود. در صورتی‌که مقدار این اختلاف صفر نباشد، فرمان گردش در سمت مورد نیاز به عملگر دریچه موزع‌ها ارسال می‌شود. پس از ارسال فرمان، مجدداً مقدار این اختلاف، توسط واحد کنترل الکترونیکی، محاسبه شده و مراحل فوق مجدداً تکرار می‌شوند تا مقدار فاصله موقعیت موجود و هدف دریچه موزع‌ها صفر شود (به عبارت دیگر دریچه به نقطه هدف برسد).



شکل ۴. الگوریتم کنترل موقعیت دریچه موزع

آزمون‌های کارگاهی

مشخصات فیزیکی کود شیمیایی مصرفی

از آنجایی که مشخصات فیزیکی کود مصرفی بر نرخ کوددهی دستگاه تأثیر می‌گذارد، مشخصات فیزیکی آن بر اساس دستورالعمل آزمون تجهیزات کودپاشی با شماره استاندارد ۷۸۰۶۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی دستگاه مذکور از کود اوره با جرم حجمی ظاهری ۱/۳۳ گرم بر سانتیمتر مکعب، جرم حجمی واقعی ذرات ۲/۲۴ گرم بر سانتیمتر مکعب، متوسط قطر ذرات ۱/۶ میلیمتر و مقدار رطوبت بر مبنای وزن خشک ۲۳/۰۷ درصد استفاده شد.

آزمون‌های مزرعه‌ای

واسنجی حسگر جابجایی

از آنجایی‌که نوع سطح تردد دستگاه در مزرعه بر دقت خروجی حسگر جابجایی تأثیر دارد، پس از نصب حسگر روی محور چرخ زمین‌گرد دستگاه، برای واسنجی آن مسافت‌های طی شده به ازای ۱۰ دور گردش چرخ زمین‌گرد در سه سطح سرعت پیشروی در محدوده مناسب کودکار ۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت و با ۵ بار تکرار در مزرعه ذرت اندازه‌گیری شد. میانگین

تعداد پالس‌های ارسال شده از حسگر برای پیمودن فاصله مذکور، محاسبه‌گردید. با تقسیم میانگین فاصله پیموده شده به میانگین تعداد پالس‌ها، ضریب جابجایی دستگاه محاسبه گردید که مقدار آن ۱/۷۴ سانتیمتر جابجایی دستگاه به ازای هر پالس ارسالی توسط حسگر بود. از این ضریب برای تبدیل تعداد پالس‌های ارسالی از چرخش‌سنج به جابجایی دستگاه در مزرعه ذرت در واحد کنترل استفاده شد.

تعیین خطای سامانه

ارزیابی خطای سامانه در مزرعه ذرت با فواصل ردیف‌های کشت ۷۵ سانتیمتر انجام شد. در ۳ عدد از ردیف‌های کشت و در امتداد طول آن‌ها، نوارهای پارچه ای به طول ۳۲ متر و عرض ۳۰ سانتیمتر قرار داده شد. برای نمونه گیری در فواصل ۵۰ سانتیمتر، طول این نوار پارچه ای با فواصل ۵۰ سانتیمتری از هم جدا شد. محل قرارگیری پارچه مذکور دقیقاً زیر خروجی اولین واحد کودکار که شیار بازکن آن باز شده بود، قرار داشت (شکل ۵). مسیر حرکت دستگاه در مزرعه به نواحی با فواصل ۸ متری تقسیم گردید. نرخ کوددهی هدف برای فواصل فوق الذکر به ترتیب ۳۰۰، ۲۲۵، ۱۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار برای واحد کنترل سامانه تعیین گردید. از آنجایی که در محل های تغییر نرخ کوددهی، نرخ اولیه و نرخ هدف روی دقت دستگاه تأثیر می گذارند، داده های مربوط به قسمت اول (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اول) حذف گردید. در محدوده سرعت کاری دستگاه، سه سطح سرعت پیشروی ۳/۵، ۵/۷۵ و ۸ کیلومتر در ساعت و با سه بار تکرار دستگاه درون مزرعه مذکور حرکت داده شد. مقدار کود خروجی از دستگاه در هر کدام از فواصل نیم متری پارچه نمونه گیری، جداگانه و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شدند. سپس میانگین مقادیر کود خروجی واقعی بر حسب کیلوگرم در هکتار در هر فاصله ۸ متری محاسبه شد. اختلاف مقادیر اندازه گیری شده با مقادیر هدف و خطای کاری دستگاه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شدند.

$$a_C = \left|\frac{F_a - F_t}{F_t}\right| \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن a_C خطای دستگاه (درصد)، F_a نرخ کوددهی اندازه‌گیری شده (واقعی) و F_t نرخ کوددهی هدف می‌باشد.

شکل ۵. محل قرار گیری پارچه نمونه گیری

اثر عوامل مستقل سرعت پیشروی و نرخ کوددهی بر خطای سامانه، با استفاده از نرم افزار Design-Expert و در قالب طرح کرت های خرد شده بررسی شد.

نتایج و بحث

آزمون‌های مزرعه ای

نتایج تجزیه واریانس نشان می دهد سرعت پیشروی، نرخ کوددهی و اثر متقابل آنها بر دقت عملیات کودکاری، در سطح یک درصد اثر معنی داری دارند (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی و نرخ کوددهی سیستم بهینه شده بر میانگین خطای عملیات کوددهی (درصد).

منابع تغییرات	df	مجموع مربعات	میانگین مربعات (درصد)
کرت	۲	۲۳/۷۵	۱۱/۸۷
سرعت	۲	۴۸۴/۹۵	۲۴۲/۴۷**
سرعت*کرت	۴	۱۷/۳۷	۴/۳۴
نرخ کوددهی	۲	۱۵۵/۷۶	۷۷/۸۸**
نرخ*سرعت	۴	۲۲۵/۳۴	۵۶/۳۳**

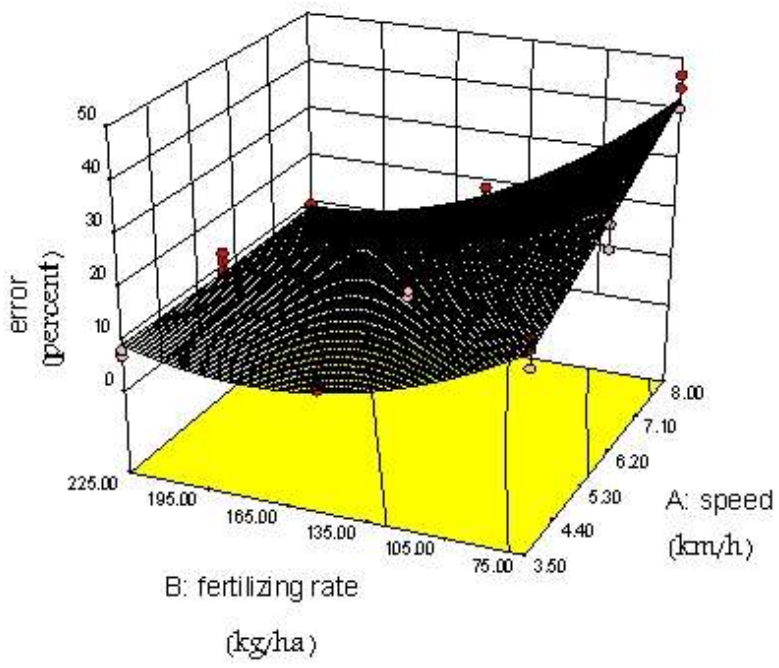
متغیرهایی که میانگین مربعات آنها با علامت ** مشخص شده اند نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در سطح یک درصد می باشند.

قابل ذکر است که مقادیر نسبتاً زیاد زمان تأخیر سامانه در مقایسه با نتایج ارئه شده توسط لغوی و فروزانمهر (2010)، همراه با مقایسه نحوه عملکرد آنها قابل بررسی است. تغییر نرخ کوددهی در این سامانه، برخلاف انواع دیگر (که با کنترل سرعت گردش محور موزع است) توسط کنترل مقدار بازبودن دریچه موزع‌ها انجام می‌شود. از این‌رو امکان استفاده از سامانه مذکور، به‌صورت نرخ ثابت وجود داشته و در صورت از کار افتادن قسمت‌های الکتریکی آن می‌توان به‌شکل دستی سامانه را تنظیم کرده و به‌حالت نرخ ثابت از آن استفاده نمود. درصورتی‌که در سامانه‌های دیگر با از کار افتادن قسمت‌های الکتریکی، اماکن استفاده از سامانه میسر نیست.

از آنجایی که با افزایش سرعت پیشروی دستگاه، فاصله طی شده در مدت زمان تغییر نرخ کوددهی، افزایش می‌یابد، در نتیجه در این حالت خطای کوددهی افزایش می‌یابد (شکل ۷). لغوی و فروزانمهر (2010) نیز نتایج مشابهی را گزارش نمودند. بخشی از افزایش خطا در این تحقیق نسبت به نتایج آنها را می‌توان به روش محاسبه خطا دانست. در این تحقیق قدر مطلق خطا در نظر گرفته‌شد در حالیکه در تحقیق لغوی و فروزانمهر، بدون قدر مطلق محاسبه‌گردید. در این صورت مقادیر خطاهای منفی و مثبت همدیگر را خنثی کرده و باعث کاهش میانگین خطا گردیده است.

اثر سرعت در نرخ های کوددهی کم، بیشتر شده و می توان اذعان داشت در نرخ های کوددهی کم و سرعت های پیشروی زیاد، دقت کوددهی شدیداً کاهش یافته است (شکل۶). در نرخ‌های کوددهی کم، به‌دلیل کاهش مخرج رابطه (۱)، درصد خطای محاسبه‌شده کم می‌شود. از سوی دیگر در این حالت به دلیل کاهش اندازه مجرای دریچه موزع‌ها، سیالیت دانه‌های کود تغییر کرده و خطای کوددهی افزایش می‌یابد.

درصورتی‌که خطای مجاز ۲۰ درصد در نظر گرفته‌شود، محدوده مناسب سرعت پیشروی دستگاه، کمتر از ۷ کیلومتر در ساعت توصیه می‌شود (شکل۷).



شکل ۶. نتایج آزمون اثر متقابل سرعت پیشروی و نرخ کوددهی بر خطای کوددهی

نتیجه‌گیری

تأخیر زمانی سامانه مذکور برای مقادیر تغییر نرخ کوددهی ۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در حالت صعودی به ترتیب ۱/۴۴ و ۷/۷۴ ثانیه و برای حالت نزولی به ترتیب ۱/۲ و ۶/۶ ثانیه بود. وجود این تأخیر زمانی باعث‌گردید تا دقت کوددهی دستگاه در سرعت پیشروی بالا (۸ کیلومتر در ساعت) کمترین مقدار باشد. اثر متقابل سرعت پیشروی و نرخ کوددهی بر دقت سامانه اثر معنی‌دار داشته و دقت آن در سرعت‌های پیشروی زیاد و نرخ‌های کوددهی کم، کمترین مقدار بود.

توصیه می‌شود برای افزایش دقت (کاهش خطا) سامانه، در سرعت‌های پیشروی کمتر از ۷ کیلومتر در ساعت از آن استفاده شود.

پیشنهاد می‌گردد با استفاده از سازوکاری بتوان سرعت حرکت دریچه را افزایش داده تا زمان تأخیر سامانه کاهش یافته و دقت کوددهی افزایش یابد.

منابع

۱- صداقت حسینی، م.، م. الماسی، س. مینایی، و م. ر. ابراهیم زاده. ۱۳۹۱. طراحی، ساخت و ارزیابی کولتیواتور-کودکار نرخ متغیر نقشه مبنا. هفتمین کنگره متی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون کشاورزی. دانشگاه شیراز.

۲- صداقت حسینی، م.، و فرزانه، ی. ۱۳۸۹. سیستم کنترل الکترونیکی کودکار نرخ متغیر. ثبت اختراع به شماره ۶۷۲۷۴.

۳- لغوی، م. ۱۳۸۲. راهنمای کشاورزی دقیق برای متخصصین کشاورزی. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی.

4- Jafari, J. F. 1991. Astudy of themetering of free following particulate solids using multiflight screw. institution of mechanical engineers, (pp. 113-120).

5- Jafari, M., A. Hemmat, and M. Sadeghi. 2010. Development and performance assessment of a DC electric variable-rate cotroller for use on grain drills. Computers and Electronics in Agriculture. 56-65.

6- Link, J., S. Graeff, W. Batchelor, and W. Claupein. 2006. Evaluating the economic and environmental impact of enviromental compensation payment policy under uniform and variable-rate nitrogen management. Agricultural Systems (91), 135-153.

7- Loghavi, M. and E. Forouzanmehr, 2010. Design, Development and Field Evaluation of a Map-Based Variable Rate Granular Application Control System. ASABE Meeting Presentation .

8- Maleki, M. R., A. M. Mouazen, B. De Ketelaere, H. Ramon, and J. De Baerdemaeker. 2008. On-the-go variable rate phosphorus fertilisation based on a VIS-NIR soil sensor. 99(1) (35-46).

9- Maleki, M. R., A. M. Mouazen, H. Ramon, and J. De Baerdemaeker. 2007. Optimisation of soil VIS-NIR sensor-based variable rate application system of soil phosphorus soil and tillage research. 94 (239-250).

10- Mouazen, A. M., J. De Baerdemaeker, and H. Ramon. 2005. Towards development of on-the-go soil moisture content sensor using a fibre-type NIR spectrophotometer. 80 (171-183).

11- Swisher, D. W., S. C. Borgelt, and K. A. Sudduth. 2002. Optical sensor for granular fertilizer flow rate measurement. ASAE , 45(4), 881-888.

12- Tola, E., T. Kataoka, M. Burce, H. Okamoto, and S. Hata. 2008. Granular fertiliser application rate control system with integrated output volume measurement. Biosystems Engineering , 411-416.

Development and evaluation of fertilizing control system of Furrower–fertilizer applicator based on site specific variations

Morteza Sedaghat Hosseini[1*] Morteza Almassi[2] Saeid Minaei[3] Mohhamad Reza Ebrahimzadeh[4]

1- Lecturer, Department of Technical and Farm machinery, Imam Khomeini Higher Education Center
2- Professor, Department of Agricultural Mechanization, Azad University Science and Research Branch
3- Associate Professor, Department of Farm machinery, Tarbiat Modares University
4- Assistant Professor, Department of Agricultural Mechanization, Azad University Shahr-e-Rey Branch

Abstract

Precision agriculture is one of the ways to reduce environmental pollution and energy consumption in agriculture. Since most Fertilizer applicators in Iran have fluted wheel (Mini-Max) type metering device, the control of flow rate fertilizer system was installed on a four rows Furrower – fertilizer applicator that was made in Tarashkadeh Company. The system consisted of machine displacement sensor, metering device gate position sensor, actuator of metering device gate and electronic control unit. Then the machine was evaluated in laboratory and on field. Delay time of machine was measured in both the ascending and descending changes in the fertilizing rate. The effects of travel speed (3.5, 5.75 and 8 Km hr^{-1}) and fertilizing rate (75, 150 and 225 Kg ha^{-1}) factors on the machine accuracy were measured. The data were analyzed in frame of split plot design with Design-Expert software. The results showed that effects of travel speed, fertilizing rate and their reciprocal effect on accuracy of the machine were significant under 1% level. Also, travel speed at 8 Km ha^{-1} and fertilizing rate at 75 Km ha^{-1} had the minimum accuracy.

Keywords: precision farming, Variable rate application, Metering device Mini-Max type