

طراحی و ساخت سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع نقشه - مینا

نیکروز باقری*، حجت احمدی، سید کاظم علوی پناه، محمود امید و کریم گرامی**

* نگارنده مسئول، نشانی: کرج، میدان شهید فهمیده، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ص. پ. ۳۱۵۸۵-۸۴۵، تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰ (۰۲۶)، پیام‌نگار: nikroozbagheri@yahoo.com.au

** به ترتیب: دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران و پژوهشگر موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران، استاد سنجش از دور دانشگاه تهران؛ استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران؛ و پژوهشگر موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۴

چکیده

هدف از این پژوهش طراحی و ساخت سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع برای برگ‌پاشی ذرت است. از شیرهای سلونوئیدی جهت تغییر بده خروجی افشانک‌ها با استفاده از فناوری تعدیل عرض پالس (PWM) و از حسگرهای بده توربینی و ماژول GPS به ترتیب برای اندازه‌گیری بده شیرهای سلونوئیدی و تعیین مختصات لحظه‌ای دستگاه استفاده شد. نرم‌افزار سامانه با استفاده از زبان برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک ۶ نوشته شد. وظایف نرم‌افزار عبارت است از: دریافت مختصات لحظه‌ای GPS، دریافت اطلاعات نقشه کود نیتروژن، مقایسه مختصات لحظه‌ای دستگاه با مختصات نقشه کود، صدور دستور پاشش به شیرهای سلونوئیدی، دریافت خروجی حسگرها و مقایسه با بده مطلوب و سرانجام اعمال سامانه کنترل. به منظور بررسی عملکرد سامانه، آزمون‌های دقت و تأخیر زمانی پاشش در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان می‌دهد میانگین اختلاف مقادیر بده نقشه کود با بده خروجی سامانه در وضعیت کنترل حلقه باز و حلقه بسته آزمون‌ها به ترتیب ۱۰/۰ و ۳/۶ درصد و حداکثر مقدار تأخیر زمانی سامانه ۰/۵۴ ثانیه است. نتایج آزمون t-جفت شده نشان می‌دهد که بین مقادیر بده خروجی سامانه و بده نقشه کود در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی

فناوری نرخ متغیر، کشاورزی دقیق، کودپاشی، کود نیتروژن مایع

مقدمه

می‌انجامد (Noh et al., 2005). کودهای اضافه بدون آن که جذب گیاه شود، وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی شده و مسمومیت و آلودگی زیست‌محیطی را به همراه دارد (Fleming & Westfall, 2000). از طرفی مصرف مواد حاوی نیترات بالا و تبدیل آن به نیتروزآمین در معده که ماده‌ای سرطان‌زا است، در درازمدت سلامت انسان را به خطر می‌اندازد (Malakouti & Keshavarz, 2006).

نتایج حاصل از یک پژوهش نشان می‌دهد که در روش سراسر پاشی کود اوره برای تولید بیشترین عملکرد، تنها ۱۳ درصد از سطح مزرعه کود مناسب

امروزه روش مرسوم دادن کود نیتروژن، پاشش یکنواخت کود در سطح مزرعه است. درحالی‌که مقدار کود نیتروژن مورد نیاز برای دستیابی به عملکرد بهینه در موقعیت‌های مکانی مختلف مزرعه تغییر می‌کند (Ghazvini et al., 2006). نتیجه پاشش یکنواخت کود نیتروژن معمولاً کم‌پاشی یا بیش‌پاشی کود در محل‌های مختلف مزرعه می‌باشد. کم‌پاشی کود موجب کاهش کیفیت و پایین آمدن عملکرد محصول می‌شود و بیش‌پاشی به آلودگی آب‌های زیرزمینی و محیط‌زیست



بیشترین خطای کاربرد سم ۲۰ درصد است. شروک و همکاران (Schrock *et al.*, 2001) یک سامانه اندازه‌گیری تعدیل عرض پالس^۱ (PWM) را به منظور اندازه‌گیری کود آمونیاک بی‌آب بررسی کردند. بررسی این محققان نشان می‌دهد که این سامانه قادر به توزیع مقادیر متفاوت کود است. کارارا و همکاران (Carrara *et al.*, 2004) یک سامانه نرخ متغیر را به منظور کاربرد علف‌کش برای محصول گندم طراحی کردند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که سامانه پاشش علف‌کش نرخ متغیر موجب کاهش ۲۹ درصد مصرف علف‌کش، در مقایسه با کاربرد یکنواخت آن است. بورا و همکاران (Bora *et al.*, 2005) قابلیت فناوری PWM را برای کنترل میزان جریان یک کودپاش آمونیاک بدون آب بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که با ۳/۲ میلیون سیکل، افشانک‌ها دارای قابلیت اطمینان ۸۴ درصد هستند. هانا و همکاران (Hanna *et al.*, 2006) به منظور بهبود یکنواختی پاشش آمونیاک، از چند راهه^۲ PWM استفاده کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد به کارگیری این سامانه موجب افزایش یکنواختی در پاشش می‌شود. کیم و همکاران (Kim *et al.*, 2008) عملکرد یک کودپاش دانه‌ای نیوماتیکی نرخ متغیر را برای محصول برنج بررسی کردند. نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد که یکنواختی پاشش در جهات عرضی و طولی به ترتیب ۱۳/۱-۱۱/۲ و ۲/۹-۱۵/۳ درصد و دقت کاربرد نهاده از ۸۱/۹-۹۷/۴ درصد در گستره سرعت کاری دستگاه متغیر است. بنور و تیلور (Bennur & Taylor, 2009) پاسخ زمانی یک سامانه نرخ متغیر مصرف کود را با دو نوع سامانه تزریق کود شامل استفاده از روش PWM با افشانک‌های دهانه ثابت و استفاده از افشانک‌های سطح متغیر بررسی کردند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که این دو نوع کنترلر برای رسیدن به حداقل پاسخ زمانی در حدود ۰/۵ ثانیه، عملکردهای متفاوتی دارند.

دریافت می‌کند و ۳۶ درصد از سطح مزرعه مقداری بیشتر و ۴۸ درصد مقداری کمتر کود دریافت می‌کند (Ghazvini *et al.*, 2006) هم‌چنین نتایج مطالعه ۲۷ مزرعه در چهار منطقه آمریکا طی دو سال آزمایش نشان می‌دهد که مقدار بهینه نیتروژن به طور میانگین ۱۱۰ کیلوگرم بر هکتار است در صورتی که کشاورزان ۳۸۱ کیلوگرم بر هکتار کود مصرف می‌کنند (Li *et al.*, 2008). با توجه به تاثیر منفی مصرف کم یا بیش از حد کودها، لزوم به‌کارگیری روش‌های جدید مدیریتی مبتنی بر توزیع دقیق کود و افزایش کارایی آن ضروری به نظر می‌رسد. از جمله فناوری‌هایی که می‌تواند موجب تحقق این هدف شود کشاورزی دقیق است. به کمک این فناوری می‌توان مقدار بهینه کودهای نیتروژن را بر حسب نیاز گیاه و در نواحی مورد نظر مزرعه توزیع کرد (Sui & Thomasson, 2006).

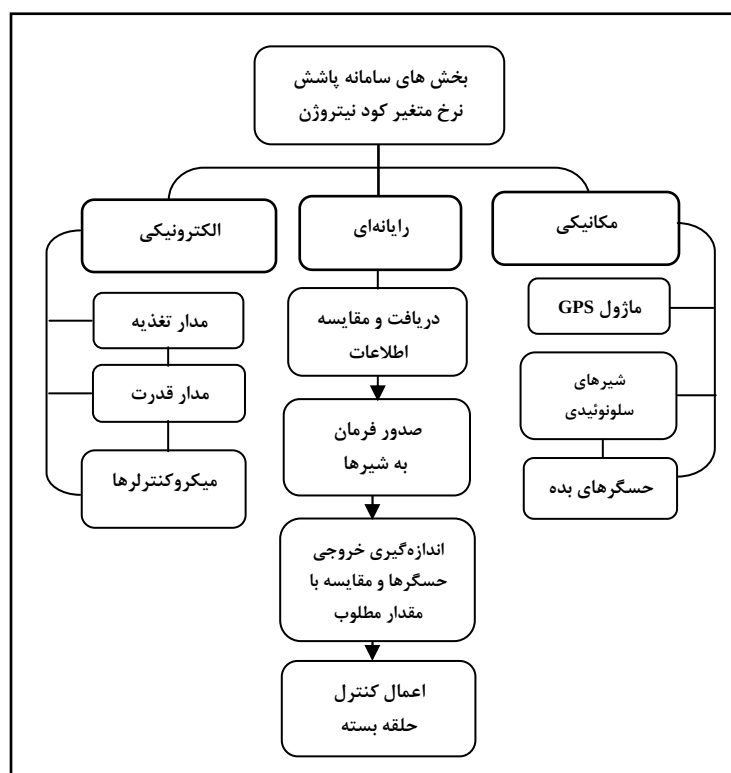
تاکنون پژوهش‌هایی در خصوص طراحی و ساخت سامانه‌های نرخ متغیر در سمپاش‌ها و کودپاش‌ها اجرا شده است؛ راکول و آیرز (Rockwell & Ayers, 1994) به منظور توزیع نرخ متغیر مواد شیمیایی، یک سامانه کنترل فشار-مبنا طراحی کردند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد با این‌که عملکرد سامانه رضایت‌بخش است، کاربرد سخت‌افزارهای مناسب و الگوریتم کنترل بهتر می‌تواند عملکرد را بهبود بخشد. گپالاپیلا و همکاران (Gopalapillai *et al.*, 1999) یک سامانه کنترل بده را که به منظور کاربرد موضعی علف‌کش طراحی شده بود، آزمایش کردند. در این سامانه، از شیرهای سلونوئیدی استفاده شد که بر مبنای تعدیل عرض پالس در فرکانس ۱۰ هرتز عمل می‌کردند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که سامانه برای پاشش دقیق مناسب است. الگادی و آیرز (Al-Gaadi & Ayers, 1999) یک سامانه نرخ متغیر پاشش علف‌کش را توسعه دادند و عملکرد و دقت آن را آزمودند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که

سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری استفاده شد قسمت‌های اصلی این دستگاه عبارت‌اند از: مخزن، پمپ دیافراگمی با محدوده فشار ۴۰ بار و توان شش اسب بخار (۴/۵ کیلووات)، فشارسنج، شیر تنظیم فشار، شیرهای اصلی قطع و وصل جریان، شاسی، تیرک، و ۱۶ عدد افشانک مخروطی توخالی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم. پمپ سمپاش از طریق محور توان‌دهی^۱ P.T.O با سرعت ۵۴۰ دور در دقیقه به کار افتاده و به علت مستقل بودن از دنده انتخاب شده، محلول را با فشار و بده ثابت انتقال می‌دهد. سامانه پاشش نرخ متغیر کود از سه بخش اصلی مکانیکی، الکترونیکی و رایانه‌ای تشکیل شده است. بخش‌های اصلی سامانه در شکل ۱ نشان داده

هدف از این پژوهش، طراحی و ساخت سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن نقشه-مبنا، جهت مدیریت دقیق توزیع کودهای نیتروژن برای محصول ذرت است. از نوآوری‌های این پژوهش، طراحی و ساخت یک سامانه نقشه-مبنای همزمان با قابلیت دریافت پیوسته اطلاعات نقشه واقعی کود، مقایسه مختصات نقشه با مختصات لحظه‌ای دستگاه، صدور دستور پاشش، کنترل بده خروجی افشانک‌ها (با استفاده از فناوری تعدیل عرض پالس)، مقایسه خروجی افشانک‌ها با مقدار مطلوب، و کاهش خطا از طریق سامانه کنترل حلقه بسته تناسبی است.

مواد و روش‌ها

به منظور پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع، از یک



شکل ۱- بخش‌های اصلی سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع.

بخش مکانیکی سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع

این بخش شامل شیرهای سلونوئیدی، حسگرهای بده، و ماژول GPS است.

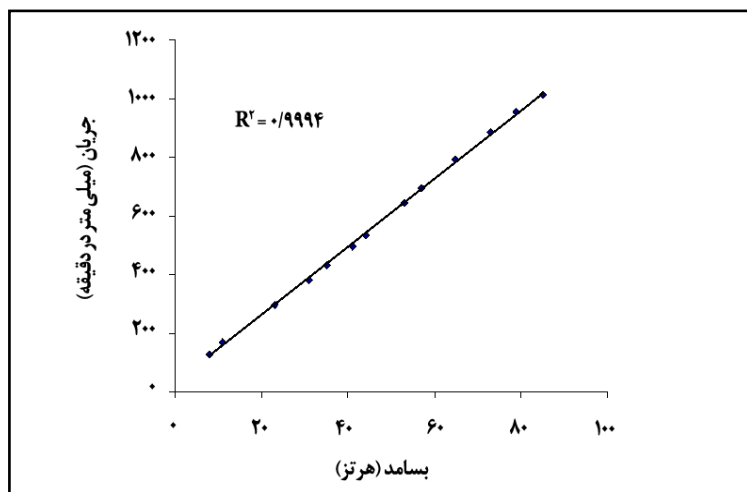
- شیرهای سلونوئیدی

به منظور راه اندازی افشانک‌ها به صورت مستقل، از شیرهای سلونوئیدی^۱ مدل T-GK (محصول شرکت TORK) به صورت جداگانه برای هر افشانک استفاده شد. دامنه فشار شیرها ۴۰ اتمسفر، ولتاژ ورودی ۱۲ ولت جریان مستقیم، توان ۱۴ وات، و بسامد ۲۵ هرتز است. بده خروجی شیرها با استفاده از تعدیل عرض پالس کنترل می‌شود. در این روش، مقدار چرخه وظیفه^۲ به صورت خطی متناسب با مقدار PWM تغییر می‌یابد.

- حسگرهای بده

از حسگرهای بده توربینی دیجیتالی (مارک

Remag Version 2000) برای هر واحد افشانک به صورت جداگانه، به منظور اندازه‌گیری بده عبوری از شیرهای سلونوئیدی در سامانه کنترل حلقه بسته، استفاده شد. بده خروجی حسگرها با بده نقشه کود مقایسه و در صورت وجود اختلاف، سیگنالی جهت کاهش خطا ارسال می‌شود. این حسگر برای اندازه‌گیری دقیق مایعات با دقت سه درصد است. به ازای هر لیتر محلول، ۴۶۰۰ پالس ارسال نموده و محدوده فشار کاری آن ۲۵ بار است. رابطه سرعت زاویه‌ای توربین و سرعت جریان مایع خطی است. جهت واسنجی حسگرها، با اعمال فرکانس‌های متفاوت، بده خروجی حسگر در یک دقیقه اندازه‌گیری شد. نمودار واسنجی حسگر بده در شکل ۲ و وضعیت نصب شیرهای سلونوئیدی و حسگرهای نصب شده روی بوم در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار واسنجی حسگر بده.

بخش الکترونیکی سامانه پاشش نرخ متغیر کود

نیتروژن مایع

این بخش شامل بورد کنترل (میکروکنترلرها، مدار تغذیه و مدار قدرت) است.

- ماژول GPS

به منظور تشخیص مختصات لحظه‌ای دستگاه، از ماژول GPS مارک NEO-DK با دقت ۲/۵ متر استفاده شد. این ماژول روی محور بوم و در وسط افشانک‌ها نصب شد.

1- Solenoid Valve

2- Duty Cycle (DC)



شکل ۳- شیرهای سلونوئیدی و حسگرهای نصب شده روی بوم.

- میکروکنترلرها

در این سامانه از میکروکنترلر ATMEGA16 با ۴ کانال PWM استفاده شد. هر کانال PWM برای راه اندازی یکی از شیرهای سلونوئیدی به کار گرفته می شود. این سامانه دو میکروکنترلر دارد که یکی به منظور راه اندازی شیرها و دیگری برای ارتباط با رایانه و ارسال و دریافت داده در نظر گرفته شده است.

- مدار تغذیه

از مدار تغذیه برای تأمین ولتاژ مورد نیاز راه اندازی شیرها (۱۲ ولت) و ولتاژ تغذیه میکروکنترلر (پنج ولت) استفاده شد.

- مدار قدرت

از مدار قدرت دستگاه به منظور تبدیل جریان میکروکنترلر (۲۰ میلی آمپر) به جریان لازم برای راه اندازی شیرهای سلونوئیدی استفاده شد.

بخش رایانه‌ای سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع

به منظور برقراری ارتباط کارور با سخت افزار دستگاه و برقرار کردن ارتباط بخش‌های الکترونیکی و مکانیکی با یکدیگر، بخش رایانه‌ای طراحی و پیاده سازی شد. برنامه نرم افزاری با واسط گرافیکی با استفاده از زبان برنامه نویسی

ویژوال بیسیک ۶^۱ نوشته شد. قابلیت‌های این برنامه به

شرح زیر می باشد:

الف- دریافت مختصات لحظه‌ای از مازول GPS.

ب- دریافت اطلاعات نقشه کود نیتروژن،

ج- مقایسه مختصات لحظه‌ای دستگاه با مختصات نقشه

کود نیتروژن،

د- صدور دستور پاشش به شیرهای سلونوئیدی،

ه- دریافت خروجی حسگرها و مقایسه با بده نقشه کود

نیتروژن،

و- اعمال سامانه کنترل حلقه بسته.

پس از تشخیص مقدار پاشش در مختصات مورد نظر،

دستور اجرا به بخش مکانیکی سامانه کنترل داده

می شود. در این برنامه، قابلیت اعمال ورودی به

شیر به دو صورت دستی از طریق کارور

و به صورت خودکار از طریق قرائت و اعمال توسط

نقشه کود نیتروژن ایجاد شده است. نقشه

کود نیتروژن مورد نیاز از تصویر سنجنده ASTER

ماهواره TERRA با قدرت تفکیک زمینی ۱۵ متر

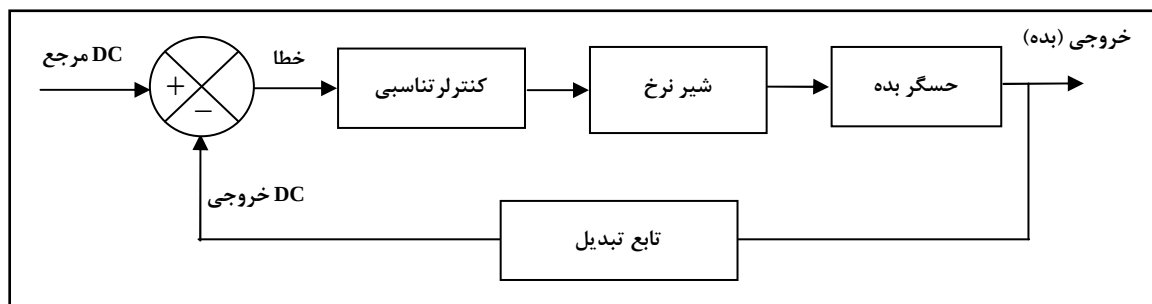
استخراج شده است (Bagheri et al., 2011).

برای کاستن خطا و اثر اغتشاش در خروجی، از سامانه

کنترل حلقه بسته تناسبی استفاده شد. در این

سامانه، حسگر بده، بده تأمین شده به وسیله

شیرهای سلونوئیدی را قرائت می‌کند و ضمن مقایسه با بده نقشه کود، سیگنالی برای کاهش خطا ارسال می‌شود. بلوک دیاگرام کنترل حلقه بسته تناسبی در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- بلوک دیاگرام کنترل حلقه بسته تناسبی.

صدور دستور پاشش و قرائت مقدار محلول پاشیده شده (توسط حسگر بده) را ثبت می‌کرد.

بررسی عملکرد سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع

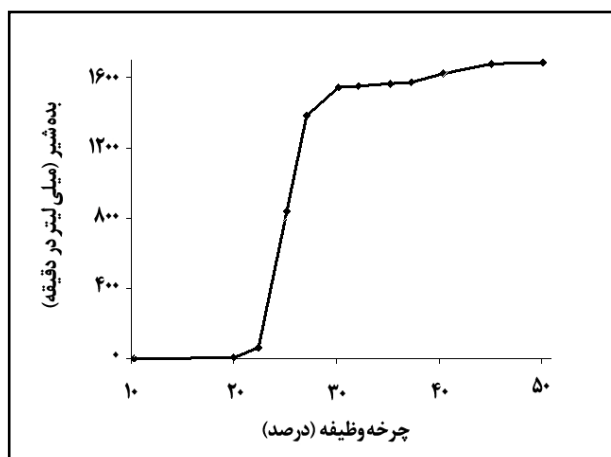
برای بررسی عملکرد سامانه، آزمون دقت دستگاه برای دو تیمار کنترل حلقه بسته و کنترل حلقه باز در سه تکرار روی سطح آسفالت در فضای باز اجرا شد. در تمامی آزمون‌ها، گاز دستی در وضعیتی قرار داده شد که سرعت استاندارد محور توان‌دهی (۵۴۰ دور در دقیقه) تأمین شود. به منظور تعیین رابطه چرخه وظیفه شیر با بده خروجی آن، آزمونی در سه تکرار اجرا شد. در این آزمون با تغییر دادن چرخه وظیفه، بده خروجی شیر در مدت یک دقیقه اندازه‌گیری شد. برای مقایسه مقادیر بده خروجی سامانه کنترل حلقه بسته با بده نقشه کود، آزمون t -جفت شده در سطح احتمال یک درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 اجرا شد. از معیارهای مهم دیگر ارزیابی سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع، تعیین حداکثر تأخیر زمانی از مرحله صدور فرمان به شیر سلونوئیدی تا اعمال دستور می‌باشد. برای تعیین این معیار، آزمون‌هایی در سه تکرار اجرا شد. در این آزمون‌ها، مقدار چرخه وظیفه از حداقل به حداکثر تغییر داده می‌شد و نرم‌افزار فاصله زمانی بین

نتایج و بحث

رابطه چرخه وظیفه و بده شیر سلونوئیدی

رابطه چرخه وظیفه و بده شیر سلونوئیدی در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۵، دامنه تغییرات چرخه وظیفه را از ۱۰ تا ۵۱ درصد نشان می‌دهد. به عبارت دیگر سامانه قادر است مقدار جریان با نسبت ۵/۱:۱ تولید کند. گیلز و همکاران موفق به ایجاد نسبت‌های ۴:۱ شدند (Giles et al., 1995). علت این‌که مقدار خروجی شیر سلونوئیدی به ازای بده‌های کمتر از ۱۰ درصد صفر است، وجود اینرسی در شیر می‌باشد. این امر باعث می‌شود تا شیر نتواند در مقادیر چرخه وظیفه کمتر از ۱۰ درصد بر نیروی اینرسی غلبه و مجرای خروجی شیر را باز کند. پاشش افشانک‌ها به ازای مقادیر مختلف چرخه وظیفه در شکل ۶ نشان داده شده است. بده خروجی افشانک‌ها با افزایش مقدار چرخه وظیفه افزایش می‌یابد.

طراحی و ساخت سامانه پاشش نرخ متغیر کود...



شکل ۵- رابطه چرخه وظیفه و بده شیر سلونوئیدی.



شکل ۶- پاشش افشانکها (از راست به چپ چرخه وظیفه ۵۰، ۳۰، و ۲۰ درصد).

همان طور که در نمودارهای شکل ۷ قابل مشاهده است، مقادیر بده خروجی سامانه و بده نقشه کود (بده مطلوب) رابطه خطی دارند. با این حال مقادیر ورودی و خروجی انطباق کامل با یکدیگر ندارند و بین آنها چند درصد اختلاف دیده می شود. میانگین خطا و ضریب پراکندگی سامانه کنترل حلقه باز در جدول ۱ نشان داده شده است.

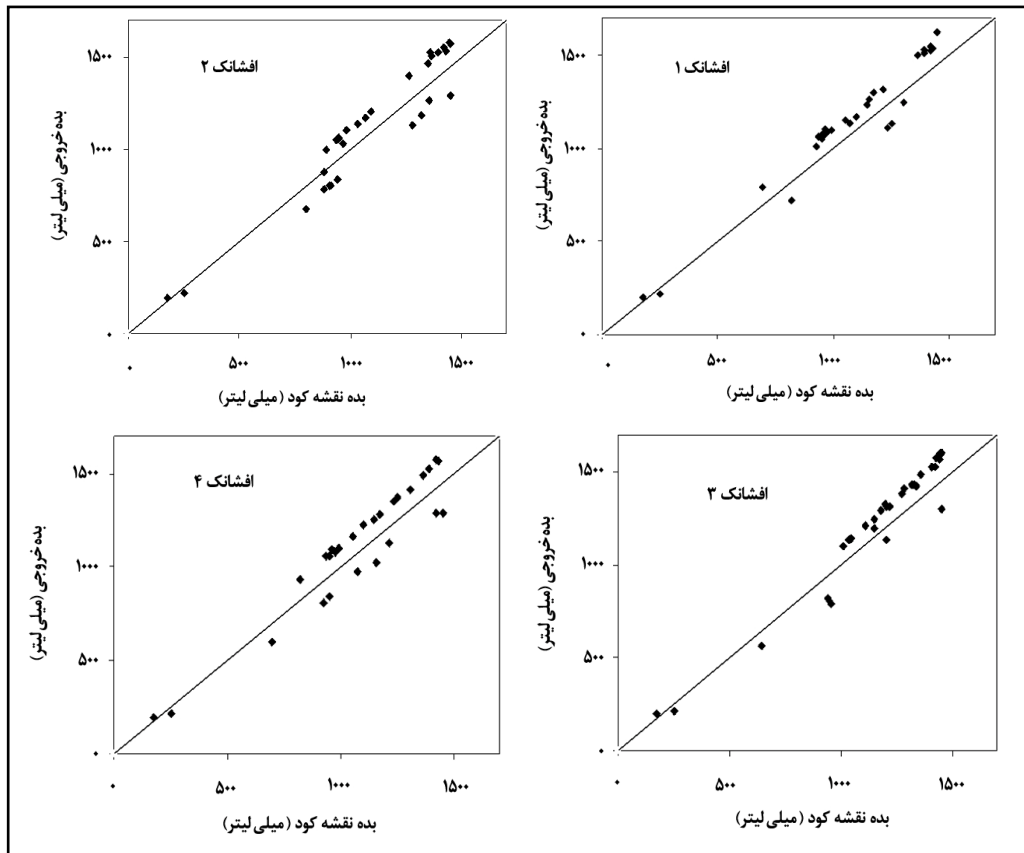
نتایج آزمون دقت پاشش سامانه نرخ متغیر کود نیتروژن مایع

- نتایج آزمون سامانه کنترل حلقه باز

میانگین بده افشانکها در سه تکرار برای سامانه کنترل حلقه باز در مقایسه با مقادیر بده نقشه کود نیتروژن در شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۱- میانگین خطا و ضریب پراکندگی سامانه کنترل حلقه باز (درصد)

شماره افشانک	میانگین خطا (درصد)	ضریب پراکندگی (درصد)
افشانک ۱	۹/۹	۲۵/۳
افشانک ۲	۱۰/۱	۲۵/۲
افشانک ۳	۹/۹	۲۴/۴
افشانک ۴	۱۰/۲	۲۸/۸
میانگین	۱۰/۰	۲۵/۹



شکل ۷- مقایسه میانگین بده نقشه کود نیتروژن و بده خروجی سامانه کنترل حلقه باز.

سامانه کنترل حلقه بسته در سه تکرار در شکل ۸ نشان داده شده است.

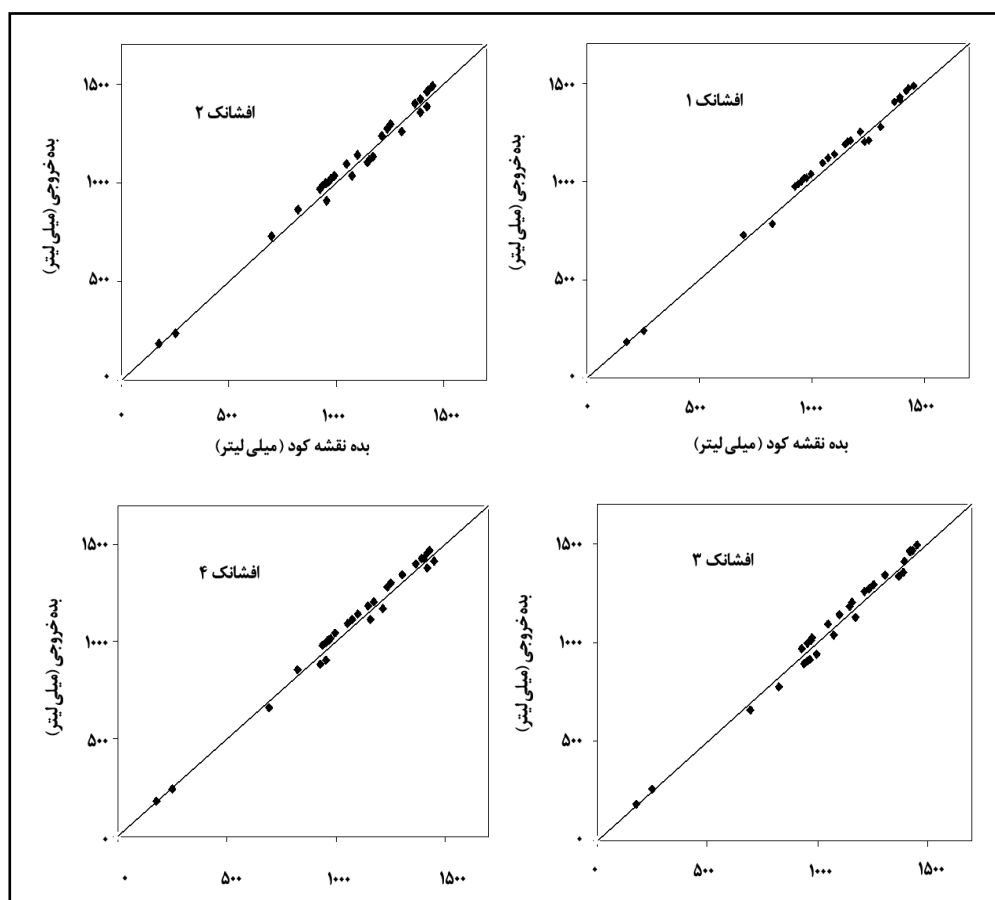
بر اساس شکل ۸، بده خروجی سامانه با بده نقشه کود دارای رابطه خطی است. هم‌چنین مقادیر ورودی و خروجی بر هم انطباق کامل ندارند یعنی چند درصد اختلاف می‌باشند. میانگین خطا و ضریب پراکندگی سامانه کنترل حلقه بسته در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، مقدار خطای پاشش سامانه کنترل حلقه باز ۱۰/۰ درصد و ضریب پراکندگی پاشش افشانک‌ها ۲۵/۹ درصد است. این مقدار خطا، توانایی شیر سلونوئیدی را در تأمین بده پیش از اعمال هرگونه بازخورد به ورودی شیر و کاهش خطا، نشان می‌دهد.

- نتایج آزمون سامانه کنترل حلقه بسته

مقایسه مقادیر بده نقشه کود نیتروژن و بده خروجی

جدول ۲- میانگین خطا و ضریب پراکندگی سامانه کنترل حلقه بسته (درصد)		
شماره افشانک	میانگین خطا (درصد)	ضریب پراکندگی (درصد)
افشانک ۱	۳/۶	۱۳/۲
افشانک ۲	۳/۶	۱۴/۴
افشانک ۳	۳/۶	۱۵/۱
افشانک ۴	۳/۵	۱۴/۶
میانگین	۳/۶	۱۴/۳



شکل ۸- بده خروجی سامانه کنترل حلقه بسته با بده نقشه کود نیتروژن.

بسته، کاهش انحراف معیار مشاهدات از نقطه میانگین است.

نتایج آزمون t -جفت شده نشان می‌دهد که در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری بین بده خروجی سامانه پاشش نرخ متغیر و بده نقشه کود نیتروژن وجود ندارد. بنابراین می‌توان از دقت سامانه در حین کودپاشی اطمینان حاصل کرد.

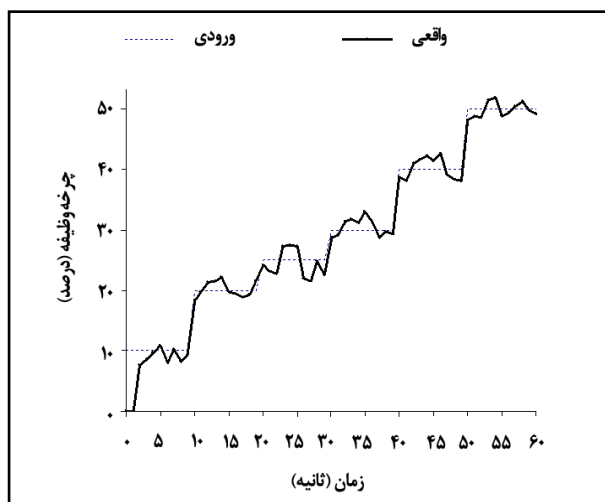
نتایج آزمون سنجش حداکثر تأخیر زمانی در سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن

مقادیر تأخیر زمانی پاشش افشانک‌ها در سه تکرار برای افشانک‌های یک تا چهار به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۵۶، ۰/۵۴ و ۰/۵۲ ثانیه به دست آمد. بنابراین، میانگین حداکثر تأخیر زمانی سامانه ۰/۵۴ ثانیه است. این نتیجه با پژوهش بنور و تیلر (Bennur & Taylor, 2009) سازگار است. این مقدار، حداکثر تأخیر زمانی از لحظه صدور

همان‌طور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، خطای پاشش سامانه کنترل حلقه بسته ۳/۶ درصد است. این مقدار خطا در سامانه کنترل حلقه باز، ۱۰/۰ درصد است. کاهش خطای پاشش در سامانه کنترل حلقه بسته در مقایسه با سامانه کنترل حلقه باز به علت ارسال سیگنال بازخورد با هدف کاهش خطا می‌باشد. این سیگنال موجب محاسبه مجدد مقدار چرخه وظیفه (که بر حسب محاسبه اختلاف مقدار چرخه وظیفه مطلوب و موجود می‌باشد) و کاهش خطا می‌شود. بنابراین، سامانه کنترل حلقه بسته می‌تواند مقدار خطای بده را از ۱۰/۰ به ۳/۶ درصد کاهش دهد. الگادی و آیرز (Al-Gaadi & Ayers, 1999) خطای اعمال سم ۲۰ درصد را به دست آوردند. هم‌چنین، ضریب پراکندگی افشانک‌ها ۱۴/۳ است. این ضریب نیز در مقایسه با سامانه کنترل حلقه باز ۱۱/۶ درصد کاهش دارد. علت کاهش ضریب پراکندگی افشانک‌ها در نوع حلقه

متفاوت چرخه وظیفه (با پله‌های ۱۰ درصد) نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، پس از اعمال چرخه وظیفه ۱۰ درصد، کمتر از یک ثانیه طول می‌کشد تا دهانه شیر باز شود. پس از آن شیر سعی می‌کند تا مقدار خروجی خود را نزدیک به وضعیت مطلوب برساند. دلیل وجود نوسان‌های متوالی در نمودار، نوع سیستم کنترل به کار رفته است. در این طرح از سامانه کنترلی تناسبی استفاده شده است که اگر چه می‌تواند خروجی شیر را در حد قابل قبولی نزدیک به نقطه بهینه نگه دارد اما نمی‌تواند دقیقاً به آن برسد. استفاده از سیستم‌های مشتقی و انتگرالی در این کنترلر می‌تواند پاسخ شیر را بهبود بخشد.

فرمان به شیر تا قرائت مقدار بده تأمین شده توسط حسگرهای بده در افشانک‌های مختلف است. این مقدار تأخیر در مواقعی است که سامانه بخواهد بده را از حداقل به حداکثر مقدار برساند؛ در حالی که در شرایط مزرعه‌ای معمولاً مقادیر بده دریافتی از نقشه کود نیتروژن برای پیکسل‌های هم‌جوار چنین وضعیتی ندارد. این مقدار حداکثر تأخیر زمانی بیانگر مناسب بودن سرعت عکس‌العمل سامانه در تغییر نرخ اعمال کود است. این تأخیر عمدتاً به علت اینرسی شیر سلونوئیدی و تأخیر در باز شدن دهانه ورودی شیر می‌باشد. شکل ۹ تغییرات خروجی شیر سلونوئیدی را نسبت به زمان به ازای مقادیر



شکل ۹- تغییرات خروجی شیر سلونوئیدی نسبت به زمان به ازای مقادیر مختلف چرخه وظیفه.

- وجود نوسان‌های زیاد در مقادیر چرخه وظیفه تا رسیدن به نقطه مطلوب، نشان می‌دهد که کنترل تناسبی خیلی مناسب برای کنترل شیرهای سلونوئیدی به کار رفته است.

قدردانی

از دانشگاه تهران و اتاق فکر جهاد کشاورزی به دلیل تأمین هزینه‌های پروژه و از جناب آقای مهندس سید امیرعباس مؤذن جهت حمایت‌های همه‌جانبه ایشان برای اجرای پژوهش قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری

- نتایج به دست آمده از پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از فناوری تعدیل عرض پالس روش مناسبی برای نرخ متغیر کردن سامانه‌های پاشش کود است. این سامانه می‌تواند نسبت‌های جریان مختلفی تولید کند.

- سامانه طراحی شده با دقتی مناسب قادر به تأمین بده مورد نیاز است. همچنین سامانه کنترل حلقه بسته نسبت به حلقه باز دقت بالاتری نشان می‌دهد.

- مقدار تأخیر زمانی سامانه برای هدف مورد نظر (پاشش کود) مناسب ارزیابی می‌شود.

مراجع

- Al-Gaadi, K. A. and Ayers, P. D. 1999. Integrating GIS and GPS into a spatially variable rate herbicide application system. *Appl. Eng. Agric.* 15(4): 255-262.
- Bagheri, N., Ahmadi, H., Omid, M. and Alavipanah, S. K. 2011. Preparing nitrogen variability map for corn based on satellite imagery. *Iranian J. Biosystem Eng.* 42(1): 103-111.
- Bennur, P. J. and Taylor, R. K. 2009. Response time evaluation of real-time sensor based variable rate technology equipment. *ASABE Annual International Meeting*. Reno. Nevada.
- Bora, G. C., Schrock, M. D., Oard, D. L., Grimm, J. J., Kolb, T. C. and Higgins, J. J. 2005. Reliability tests of pulse width modulation (PWM) valves for flow rate control of anhydrous ammonia. *Appl. Eng. Agric.* 21(6): 955-960.
- Carrara, M. Comparetti, A. Febo, P. and Orlando, S. 2004. Spatially variable rate herbicide application on durum wheat in Sicily. *Biosystems Eng.* 87(4): 387-392.
- Fleming, K. L., Westfall, D. G., Wiens, D. W. and Brodahi, M. C. 2000. Evaluating farmer defined management zone maps for variable rate fertilizer application. *Precision Agric.* 2(2): 201-215.
- Ghazvini, H. D., Almasi, M. and Fathi, M. 2006. Application effect of digital maps (for VRT machines) for optimum fertilizer consumption in precision farming in Borkhar, Esfehen. *Proceedings of the 4th National Congress on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*. Aug. 29-30. Tabriz. Iran. (in Farsi)
- Giles, D. K., Young, B. W., Alexander, P. R. and French, H. M. 1995. Intermittent control of liquid flow from fan nozzles in concurrent air streams: wind tunnel studies of droplet size effects. *J. Agric. Eng. Res.* 62(2): 77-83.
- Gopalapillai, S., Tian, L. and Zheng, J. 1999. Evaluation of a flow control system for site-specific herbicide application. *T. ASAE.* 42(4): 863-870.
- Hanna, H. M., Boyd, P. M., Baumgartner, K. J., Baker, J. L. and Colvin, T. S. 2006. Field application uniformity of impellicone and pulse-width-modulated Anhydrous Ammonia manifolds. *Appl. Eng. Agric.* 22(3): 365-371.
- Kim, Y. J., Kim, H. J., Ryu, K. H. and Rhee, J. Y. 2008. Fertiliser application performance of a variable-rate pneumatic granular applicator for rice production. *Biosystems Eng.* 100(4): 498-510.
- Li, F., Gnyp, M. L., Jia, L., Miao, Y., Yu, Z., Koppe, W., Bareth, G., Chen, X. and Zhang, F. 2008. Estimating N status of winter wheat using a handheld spectrometer in the North China Plain. *Field Crop. Res.* 106(1): 77-85.
- Malakouti, M. J. and Keshavarz, P. 2006. Look at the Fertility Status of Iranian Soils (Evaluation and Utilization). Sana Pub. Tehran. (in Farsi)
- Noh, H., Zhang, Q., Han, S., Shin, B. and Reum, D. 2005. Dynamic calibration and image segmentation methods for multispectral imaging crop nitrogen deficiency sensors. *T. ASAE.* 48(1): 393-401.
- Rockwell, A. D. and Ayers, P. D. 1994. Variable rate sprayer development and evaluation. *Appl. Agric.* 10(3): 327-333.
- Schrock, M. D., Grimm, J. J., Oard, D. L., Taylor, R. K., Kolb, T. C. and Anderson, J. D. 2001. Performance of a multipoint pulse-width modulation metering system for ammonia. *T. ASAE.* 44(2): 211-216.
- Sui, R. and Thomasson, J. A. 2006. Ground-Based sensing system for cotton nitrogen status determination. *T. ASAE.* 49(6): 1983-1991.

A Map-Based System for Variable Rate Liquid Nitrogen Fertilizer Application

N. Bagheri*, H. Ahmadi, S. K. Alavipanah, M. Omid and K. Gerami

* Corresponding Author: former Ph. D student in mechanics of Agricultural machinery, University of Tehran, Researcher of Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran. P. O. Box: 31585-845, E-Mail: nikroozbagheri@yahoo.com.au

Received: 21 February 2012, Accepted: 14 July 2012

This research designed, constructed and evaluated a map-based variable rate application system for liquid nitrogen fertilizer. Solenoid valves were used to change nozzle flow using pulse-wide modulation technology. A turbine flow sensor and GPS module were used to measure solenoid valve flow and online system coordination, respectively. The graphical user interface software was designed by Visual Basic 6. This program received online coordination from a GPS module, received fertilizer map data, compared online and map coordinates, specified application order, received sensor output and compared it with optimum data and then applied proportional closed-loop control. To evaluate the system, accuracy and time-delay experiments were carried out with 3 replications. The results showed that the average difference between map data and system flow for open and close-loop controllers were 10.0 and 3.6%, respectively. The maximum time delay was 0.54 s. Results also showed that, at 1% probability, no significant difference was observed between the system flow and nitrogen fertilizer map data.

Keywords: Fertilizer applicator, Nitrogen fertilizer, Precision agriculture, Variable rate technology