# طراحی و ساخت سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع مبتنی بر نقشه

**نیکروز باقری[1]، حجت احمدی[2]، محمود امید[3]، سید کاظم علوی پناه[4]، بهراد باقری[5]**

**1- دانشجوی سابق دکتری مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران، پژوهشگر موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی**

**2- دانشیار گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران**

**3- استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران**

**4- استاد سنجش از دور دانشگاه تهران**

**5- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران**

**nikroozbagheri@yahoo.com.au**

## چکیده

**پژوهش حاضر به منظور طراحی و ساخت سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن انجام شد. این سامانه از سه بخش اصلی مکانیکی، الکترونیکی و رایانه ای تشکیل شده است . از فناوری تعدیل عرض پالس (PWM) برای کنترل شیرهای سلونوئیدی استفاده شد. از جمله وظایف این سامانه، دریافت مختصات لحظه ای GPS، دریافت اطلاعات نقشه کود نیتروژن، مقایسه مختصات لحظه ای دستگاه با مختصات نقشه کود، دستور پاشش به شیرهای سلونوئیدی، دریافت خروجی حسگرها و مقایسه با مقدار بده مطلوب و در نهایت اعمال کنترل حلقه بسته تناسبی می باشد. به منظور ارزیابی سامانه آزمون ها یی در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که رابطه چرخه وظیفه و مقدار بده شیر، خطی با $R^2$=0.72 است. هم چنین میانگین اختلاف مقادیر بده نقشه کود با بده دستگاه در وضعیت کنترل حلقه باز و بسته آزمون ها به ترتیب 10/03 و 3/57 درصد به دست آمد. نتایج آزمون نمونه های جفتی نشان داد که در سطح احتمال یک درصد، تفاوت معنی داری بین مقادیر بده دستگاه و نقشه کود وجود ندارد.**

**واژه های کلیدی: کشاورزی دقیق، کود نیتروژن، کودپاش، فناوری نرخ متغیر.**

## مقدمه

امروزه روش مرسوم اعمال کود نیتروژن شامل پاشش یکنواخت کود در سطح مزرعه می باشد. این درحالی است که مقدارکود نیتروژن مورد نیاز برای دستیابی به عملکرد بهینه در موقعیت های مکانی مختلف مزرعه تغییر می کند (قزوینی و همکاران، 1385). پاشش یکنواخت کود نیتروژن معمولاً منجر به کم پاشی یا بیش پاشی کود می شود. کم پاشی کود موجب کاهش کیفیّت و عملکرد محصول شده و بیش پاشی آن به آلودگی آب های زیرزمینی و محیط زیست و افزایش آسیب پذیری محصول نسبت به آفات و بیماری ها منجر می گردد (Noh et al., 2005). کودهای اضافه بدون جذب توسط گیاه، وارد آب های سطحی و زیر زمینی شده، مسمومیّت و آلودگی زیست محیطی را به همراه دارد (Fleming, & Westfall., 2000).

نتایج حاصل از یک پژوهش نشان داد که در روش سراسر پاشی کود اوره برای تولید بیشترین عملکرد، تنها 13درصد از سطح مزرعه کود مناسب دریافت کرده و 36 درصد از سطح مزرعه مقدار بیشتر و 48 درصد آن مقدار کمتری کود دریافت کرده است (قزوینی و همکاران، 1385).

با توجه به اثرات منفی مصرف کم و یا بیش از حدّ کودها، لزوم به کارگیری روش های جدید مدیریتی که بر توزیع دقیق و افزایش کارایی کود استوار است، ضروری به نظر می رسد (خلدبرین و اسلام زاده، 1380). از جمله فناوری هایی که می تواند موجب تحقق چنین امری گردد، کشاورزی دقیق است. به کمک این فناوری می توان مقدار بهینه کودهای نیتروژن را بر حسب نیاز گیاه و در مکان های مورد نظر مزرعه توزیع کرد (Sui&Thomasson., 2006). بنابراین هدف از این پژوهش طراحی و ساخت یک سامانه پاشش نرخ متغیرکود نیتروژن مبتنی بر نقشه، جهت مدیریت دقیق توزیع کودهای نیتروژن برای محصولات کشاورزی می باشد. تاکنون پژوهش هایی در خصوص طراحی و ساخت سامانه های نرخ متغیر در سمپاش ها و کودپاش ها انجام شده از جمله گپالاپیلا و همکاران (1999) یک سامانه کنترل بده را که به منظور اعمال موضعی علف کش طراحی شده بود، آزمون نمودند. در این سامانه از شیرهای سلونوئیدی که بر مبنای تعدیل عرض پالس در فرکانس 10 هرتز عمل می کردند، استفاده شده است . نتایج نشان دادکه سامانه برای پاشش دقیق مناسب است (Gopalapillai et al., 1999). شروک و همکاران (2001) یک سامانه اندازه گیری تعدیل عرض پالس[1](PWM) به منظور اندازه گیری و توزین کود آمونیاک بی آب را بررسی کردند . نتایج نشان داد که این سامانه قادر به توزیع نرخ های متفاوت کود است (Schrock et al., 2001). کارارا و همکاران (2004) یک سامانه نرخ متغیر را به منظور اعمال علف کش برای محصول گندم طراحی نمودند. نتایج نشان داد که سامانه پاشش علف کش نرخ متغیر موجب کاهش 29 درصدی علف کش در مقایسه با اعمال یکنواخت آن می باشد (Carrara et al., 2004). برا و همکاران (2005) قابلیت فناوری PWM را برای کنترل نرخ جریان یک کودپاش آمونیاک بدون آب بررسی کردند. نتایج نشان داد که با 3/2 میلیون سیکل، افشانک ها دارای قابلیت اطمینان 84 درصد می باشند (Bora et al., 2005). هانا و همکاران (2006) به منظور بهبود یکنواختی پاشش آمونیاک از چند راهه[2] PWM استفاده کردند. نتایج نشان دادکه در سطح اطمینان 99 درصد این سامانه، موجب افزایش یکنواختی در پاشش می شود (Hanna et al., 2006). کیم و همکاران (2008) عملکرد یک کودپاش نیوماتیکی دانه ای نرخ متغیر را برای محصول برنج بررسی کردند. نتایج آزمون ها نشان داد که یکنواختی پاشش در جهات عرضی و طولی به ترتیب 13/1-11/2 و 15/3-2/9 درصد به دست آمد . هم چنین دقت اعمال نهاده از 97/4-81/9 درصد درگستره سرعت کاری دستگاه متغیر بود(Kim et al., 2008). بنور و همکاران (2009) پاسخ زمانی یک سامانه نرخ متغیر اعمال کود را با دو نوع سامانه تزریق کود شامل استفاده از روش PWM با افشانک های دهانه ثابت و استفاده از افشانک های سطح متغیر بررسی کردند. نتایج نشان داد که این دو نوع کنترلر برای رسیدن به حداقل پاسخ زمانی در حدود 0/5 ثانیه دارای عملکردهای متفاوتی هستند (Bennur & Taylor., 2009).

## مواد و روش ها

به منظور پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع از یک سمپاش بوم دا ر پشت تراکتوری استفاده شد . سامانه پاشش نرخ متغیر کود از سه بخش اصلی مکانیکی، الکترونیکی و رایانه ای تشکیل شده است.

### بخش مکانیکی سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع

این بخش سامانه شامل شیرهای سلونوئیدی، حسگرهای بده و ماژول GPS می باشد.

1. Pulse Wide Modulation
2. Manifold

**- شیرهای سلونوئیدی مورد استفاده در سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع**

به منظور امکان راه اندازی افشانک ها به صورت مستقل، از شیرهای سلونوئیدی [1] جداگانه ای (4 شیر برای 4 افشانک) برای هر افشانک استفاده شد. دامنه فشار شیرها40 اتمسفر بوده و تغییر بده خروجی آنها با استفاده از تعدیل عرض پالس صورت گرفت. در این روش مقدار چرخه وظیفه به صورت خطی متناسب با مقدار PWM تغییر می یافت. رابطه چرخه وظیفه[2] (DC) پالس PWM و میزان محتوی تایمر هشت بیتی میکروکنترلر عبارت است از:

$$DC = \frac{100PWM}{255} \quad (1)$$

که در آن:

DC: چرخه وظیفه، درصد

PWM: فرکانس تعدیل پالس

**- حسگرهای بده مورد استفاده در سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع**

از حسگرهای بده توربینی دیجیتالی مارک Remag Version2000 برای هر واحد افشانک به صورت جداگانه به منظور اندازه گیری بده عبوری از شیرهای سلونوئیدی در سامانه کنترل حلقه بسته استفاده شد. رابطه سرعت زاویه ای توربین و سرعت جریان مایع خطی است . جهت واسنجی حسگرها، با اعمال فرکانس های متفاوت، بده خروجی حسگر در یک دقیقه اندازه گیری شد.

**- ماژول GPS مورد استفاده در سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع**

جهت تشخیص مختصات لحظه ای دستگاه از ماژول GPS با دقت دو متر استفاده شد. این ماژول بر روی محور بوم و در وسط افشانک ها نصب شد.

**بخش الکترونیکی سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع**

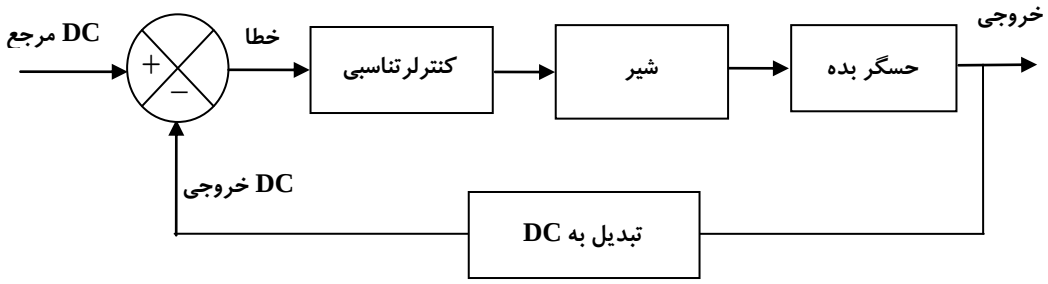
این بخش شامل بوردکنترل، برنامه میکروکنترلرها، مدار تغذیه و مدار قدرت می باشد . در این سامانه از میکروکنترلر ATMEGA16 با 4 کانال PWM استفاده شد. هر کدام از کانال ها برای راه اندازی یکی از شیرهای سلونوئیدی استفاده شد. از مدار قدرت دستگاه به منظور تبدیل جریان میکروکنترلر (20 میلی آمپر) به جریان لازم برای راه اندازی شیرهای سلونوئیدی (2/5 آمپر) استفاده شد. هم چنین از مدار تغذیه برای تأمین ولتاژ مورد نیاز راه اندازی شیرها (12 ولت) و ولتاژ تغذیه میکروکنترلر (پنج ولت) استفاده شد.

**بخش رایانه ای سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن مایع**

بخش رایانه ای به منظور برقراری ارتباط کارور با سخت افزار دستگاه و برقراری ارتباط بخش های الکترونیکی و مکانیکی با یکدیگر طراحی و پیاده سازی شد . برنامه نرم افزاری با واسط گرافیکی با استفاده از زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک [3] 6 نوشته شد. قابلیت های این برنامه عبارتند از: دریافت مختصات لحظه ای از ماژولGPS، دریافت اطلاعات نقشه کود نیتروژن ، مقایسه مختصات لحظه ای دستگاه با مختصات نقشه کود نیتروژن، اعمال دستور پاشش به شیرهای سلونوئیدی، دریافت خروجی حسگرها و مقایسه با بده نقشه کود نیتروژن

1. Solenoid Valve
2. Duty Cycle
3. Visual Basic 6

و اعمال سامانه کنترل. پس از تشخیص مقدار پاشش در مختصات مورد نظر، دستور اعمال به بخش مکانیکی سامانه کنترل صادرمی 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 . شایان ذکر است نقشه کود نیتروژن به صورت واقعی بر مبنای تصاویر ماهواره ای تهیه شده است . به منظور حذف خطا و اثر اغتشاش بر روی سامانه از کنترل حلقه بسته تناسبی استفاده شد. در این سامانه بده تأمین شده به وسیله شیرهای سلونوئیدی، توسط حسگر جریان قرائت شده و با بده نقشه کود مقایسه و سیگنالی برای کاهش خطا ارسال می شود . شکل (1) بلوک دیاگرام کنترل حلقه بسته تناسبی را نشان می دهد.

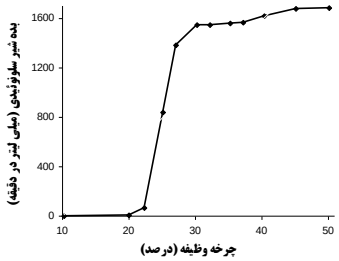



**شکل(1) بلوک دیاگرام کنترل حلقه بسته تناسبی**

## بحث و نتایج

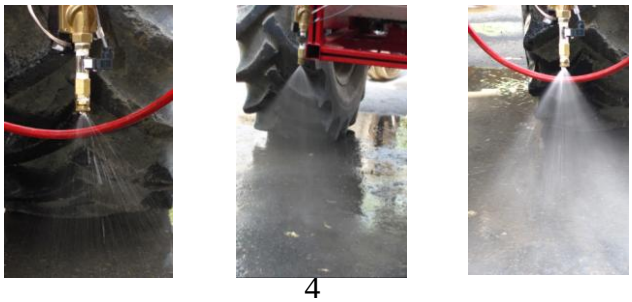
### رابطه تغییر چرخه وظیفه با بده شیر سلونوئیدی

شکل(2) رابطه بده و چرخه وظیفه شیر سلونوئیدی را نشان می دهد . شکل(2) نشان می دهد رابطه چرخه وظیفه و بده شیر را می توان به یک رابطه خطی با $R^2=0.72$ تخمین زد. هم چنین سامانه قادر است جریان با نسبت 5/1:1 تولید کند. اینرسی شیر موجب می شود خروجی شیرسلونوئیدی به ازاء بده های کمتر از 10 درصد، صفر باشد. زیرا شیر قادر به غلبه بر نیروی اینرسی در مقادیر چرخه وظیفه پایین نیست.




**شکل (2) رابطه چرخه وظیفه و بده شیر سلونوئیدی**

شکل (3) بده افشانک ها به ازاء مقادیر مختلف چرخه وظیفه را نشان می دهد . بده خروجی افشانک ها با افزایش مقدار چرخه وظیفه افزایش می یابد.

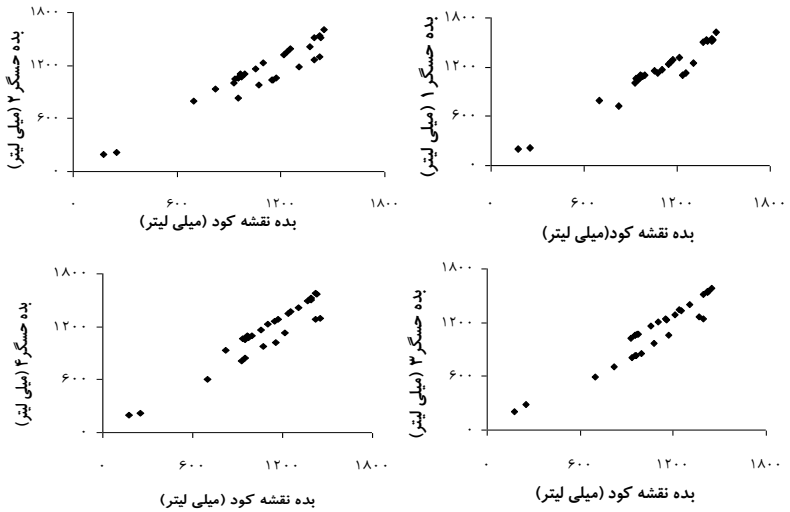


**شکل(3) مقدار بده افشانک ها (از چپ به راست چرخه وظیفه 20، 30 و 50 درصد)**

## آزمون دقت پاشش سامانه نرخ متغیر کود نیتروژن مایع

### - آزمون سامانه کنترل حلقه باز

شکل (4) میانگین آزمایشگاهی بده چهار افشانک در سه تکرار را برای سامانه کنترل حلقه باز نشان می دهد.




**شکل(4) مقدار بده نقشه کود و بده تأمین شده توسط سامانه کنترل حلقه باز**

همان طور که در نمودارها قابل مشاهده است، بده اعمال شده با بده خروجی از سامانه کنترل دارای رابطه خطی می باشد. جدول (1) میانگین درصد اختلاف مقادیر خروجی بده در سامانه کنترل حلقه باز را نشان می دهد.

**جدول (1) درصد اختلاف مقادیر بده مطلوب (نقشه کود) با بده تأمین شده در سامانه کنترل حلقه باز**

| شماره افشانک | تکرار اول | تکرار دوم | تکرار سوم | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| **افشانک 1** | 10/09 | 9/61 | 9/98 | 9/89 |
| **افشانک 2** | 10/44 | 9/62 | 10/12 | 10/06 |
| **افشانک 3** | 10/27 | 9/57 | 9/92 | 9/92 |
| **افشانک 4** | 10/78 | 9/86 | 10/09 | 10/24 |
| میانگین | | | | 10/03 |

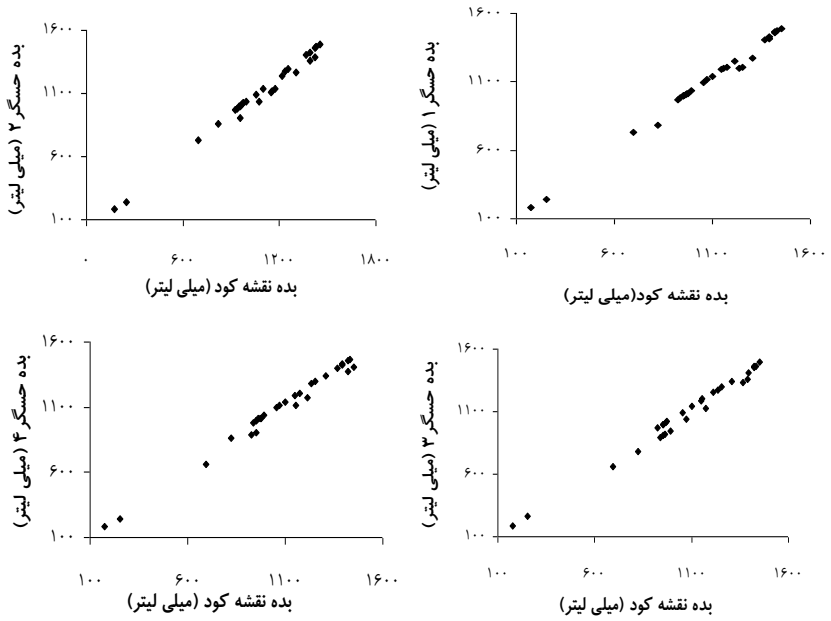
همان طور که در جدول (1) نشان داده شده است، درصد اختلاف مقادیر بده نقشه کود با بده سامانه کنترل حلقه باز 10/03 درصد به دست آمد. این مقدار اختلاف به علت عدم توانایی شیر در تنظیم مقدار پاشش و تقریب رابطه چرخه وظیفه و بده به یک رابطه خطی بوده که باعث بروز خطا در پاشش گردیده است.

### - آزمون سامانه کنترل حلقه بسته

شکل (5) مقادیر بده اعمالی به شیر سلونوئیدی و بده تأمین شده با استفاده از سامانه کنترل حلقه بسته در سه تکرار را نشان می دهد . مقدار بده نقشه کود با بده تأمین شده توسط سامانه دارای رابطه خطی اس ت. جدول (2) درصد اختلاف مقادیر بده نقشه کود با مقدار بده تأمین شده توسط سامانه کنترل حلقه بسته را نشان می دهد.

**جدول (2) درصد اختلاف مقادیر بده نقشه کود با مقدار بده تأمین شده درسامانه کنترل حلقه بسته**

| شماره افشانک | تکرار اول | تکرار دوم | تکرار سوم | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| **افشانک 1** | 3/80 | 3/14 | 3/74 | 3/56 |
| **افشانک 2** | 3/78 | 3/23 | 3/70 | 3/57 |
| **افشانک 3** | 3/81 | 3/13 | 3/82 | 3/59 |
| **افشانک 4** | 3/77 | 3/17 | 3/71 | 3/55 |
| میانگین | | | | 3/57 |




**شکل (5) مقدار بده نقشه کود و بده تأمین شده در سامانه کنترل حلقه بسته**

همان طورکه در جدول (2) نشان داده شده ، میانگین درصد اختلاف مقادیر بده نقشه کود و بده سامانه 3/57 درصد می باشد. این مقدار در سامانه کنترل حلقه باز، 10/03درصد است. کاهش اختلاف مقادیر بده نقشه کود و بده سامانه به علت استفاده از کنترل حلقه بسته و ارسال سیگنال کاهش خطا می باشد. این سیگنال موجب محاسبه مقدار چرخه وظیفه مج دد و کاهش خطا می شود . هم چنین به منظور مقایسه مقادیر بده افشانک ها در

سامانه کنترل حلقه بسته با بده نقشه کود، آزمون نمونه های جفتی در سطح احتمال یک درصد با استفاده از نرم افزارSPSS16 انجام شد. نتایج آزمون نشان د اد که در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی داری بین بده سامانه و نقشه کود وجود ندارد. بنابراین می توان از دقت سامانه در حین عملیات کودپاشی اطمینان حاصل نمود.

**تأخیر زمانی پاشش در سامانه پاشش نرخ متغیر کود نیتروژن**

جدول (4) تأخیر زمانی پاشش افشانک ها در سه تکرار را نشان می دهد . نتایج جدول (4) نشان می دهد که حداکثر مقدار تأخیر زمانی از لحظه اعمال فرمان به شیر تا قرائت مقدار بده تأمین شده توسط حسگرهای بده در افشانک ها و تکرار های مختلف 0/54 ثانیه است. این مقدار تأخیر در مواقعی است که دامنه پاشش از حداقل به حداکثر مقدار برسد؛ در حالی که در عمل معمولاً مقادیر بده دریافتی از نقشه کود نیتروژن چنین وضعیتی ندارد. این مقدار تأخیر زمانی بیانگر مناسب بودن سرعت واکنش سامانه در تغییر نرخ اعمال کود می باشد . این تأخیر زمانی عمدتاً به علت اینرسی شیرسلونوئیدی و تأخیر در باز شدن شیر می باشد.

**جدول (4) حداکثر تأخیر زمانی افشانک ها در سه تکرار**

| شماره افشانک | تکرار اول | تکرار دوم | تکرار سوم | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| | ثانیه | ثانیه | ثانیه | **(ثانیه)** |
| افشانک1 | 0/56 | 0/57 | 0/54 | 0/55 |
| افشانک2 | 0/55 | 0/61 | 0/53 | 0/56 |
| افشانک3 | 0/57 | 0/51 | 0/56 | 0/54 |
| افشانک4 | 0/51 | 0/50 | 0/57 | 0/52 |

**نتیجه گیری**

- نتایج به دست آمده از پژوهش نشان می دهد که استفاده از فناوری تعدیل عرض پالس روش مناسبی برای نرخ متغیر نمودن سامانه های پاشش است. این سامانه می تواند نسبت های جریان مختلفی تولید نماید.
- سامانه طراحی شده قادر به تأمین بده مورد نیاز با دقت مناسبی می باشد . هم چنین سامانه کنترل حلقه بسته نسبت به حلقه باز دقت بالاتری دارد.
- مقدار تأخیر زمانی سامانه برای کودپاشی مناسب ارزیابی شد.

**قدردانی**

بدین وسیله از اتاق فکرجهاد کشاورزی و وزارت صنعت، معدن و تجارت برای تأمین هزینه های طرح و از جناب آقای مهندس سیّد امیرعبّاس مؤذن جهت همکاری های ارزنده ایشان از انجام پژوهش قدردانی می شود.

**فهرست منابع**

خلدبرین، ب. اسلام زاده، ط.1380. تغذیه معدنی گیاهان آلی. ترجمه کتاب مارشنر. مرکز نشردانشگاه شیراز. 902 صفحه. شیراز. ایران.

قزوینی، ح. الماسی، م. فتحی،م. 1385. تأثیر استفاده از نقشه های دیجیتال در کشاورزی دقیق بر مصرف بهینه کود در منطقه برخوار اصفهان. چهارمین کنگره ملّی ماشین های کشاورزی. تبریز. ایران.

Bennur, P.J. and Taylor, R.K. 2009. Response time evaluation of real-time sensor based variable rate technology equipment. ASABE annual international meeting sponsored by ASABE.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. Applied Engineering in Agriculture. 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 Engineering. 87(4): 387-392.

Fleming, K.L. and Westfall, K.G. 2000. Evaluating farmer definded management zone maps for variable rate fertilizer application. Precision Agriculture. 2: 201-215.

Gopalapillai, S. Tian, L. and Zheng, J. 1999. Evaluation of a flow control system for site-specific herbicide application. Journal of 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. Applied Engineering in Agriculture. 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. Journal of Biosystems Engineering. 100: 498-510.

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. The Information & Electrical technologies Division of ASAE.

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. Transactions of the ASAE. 44(2): 211-216.

Sui, R. and Thomasson, J.A. 2006. Ground-Based sensing system for cotton nitrogen status determination.Transactions of ASABE. 49(6): 1983-1991.

## Design and Construction of variable rate liquid nitrogen fertilizer application- system based on satellite imagery

**Abstract**

The present research was carried out for design and construction of a map based variable rate liquid nitrogen fertilizer application system. The system is composed of mechanical, electronical and computer parts. Pulse wide modulation (PWM) technology was used for controlling solenoid valves. This system is able to: receive online coordination from GPS module, receive fertilizer map data, compare online and map coordination, apply application order, receive sensors output and compare them with optimum data and then apply proportional close-loop control. To evaluate system, all experiments were carried out in 3 replications. Results showed that the relationship between duty cycle (DC) and flow is linear with the coefficient of $R^2$=0.72. So, the system is capable of producing flow with 5.1:1 rates. The results showed that the average difference between map data and system flow for open and close-loop controller are 10.03 and 3.57%, respectively. In addition, the maximum time delay was obtained 0.54 seconds. Also, results showed that at the probability level of 1%, no significant difference was observed between system flow and nitrogen fertilizer map data.

**Keywords:** Fertilizer applicator, Nitrogen fertilizer, Precision Agriculture, Variable rate technology.