

## ساخت و ارزیابی سامانه کنترل غلظت محلول خروجی سمپاش میزان متغیر

محمد یونسی الموتی\* و سید مرتضی صداقت حسینی\*\*

\* نگارنده مسئول: موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ص. پ. ۸۴۵-۳۱۵۸۵، تلفن: ۰۲۶(۰۳۲۷۰۵۳۲۰)، پیام‌نگار: mohamadyounesi@yahoo.com  
\*\* به ترتیب: دانشیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ و استادیار مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره)، موسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی  
تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۶

### چکیده

در این تحقیق، سامانه کنترل غلظت محلول مصرفی برای دستگاه سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری، ساخته و ارزیابی شد. این سامانه شامل حسگر سرعت پیشروی سمپاش، پمپ مقسم مواد شیمیایی، محرک پمپ مقسم، حسگر سرعت دورانی پمپ مقسم، واحد اختلاط آب با مواد شیمیایی و واحد کنترل الکترونیکی است. با نصب سامانه روی دستگاه سمپاش پشت تراکتوری، قابلیت کاربرد مواد شیمیایی محلول در آب با مدیریت موضعی ایجاد شد. از محلول آب نمک برای تعیین دقت سامانه در مزرعه به این دلیل استفاده شد که اندازه‌گیری غلظت آن آسان است. این سامانه از نوع تزریق مستقیم است که برای تغییر غلظت محلول مصرفی، مقدار ماده مؤثر را در سیال حامل (آب) تغییر می‌دهد. در آزمون کارگاهی، اثر عوامل فشار محلول مصرفی و سرعت دورانی محور پمپ مقسم در بده خروجی پمپ مقسم ارزیابی شد. رابطه رگرسیونی بین متغیر وابسته بده خروجی پمپ مقسم و متغیرهای مستقل تهیه شد. در آزمون‌های مزرعه‌ای، نقشه توصیه‌ای غلظت محلول مصرفی برای قطعه زراعی مورد استفاده با نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. اثر سرعت پیشروی (۳ سطح ۳، ۶ و ۹ کیلومتر در ساعت) و فشار رایج پاشش محلول در مزرعه (۳ سطح ۳، ۴ و ۵ بار) بر مقدار خطای غلظت محلول خروجی (درصد) افشانک‌های اول و آخر سمت راست تیرک، نیز به‌طور جداگانه ارزیابی شد. نتایج آزمون کارگاهی نشان می‌دهد سرعت دورانی پمپ مقسم، فشار محلول مصرفی و اثر متقابل آنها بر بده پمپ در سطح یک درصد معنی دار است. نتایج آزمون مزرعه نیز نشان می‌دهد که فشار محلول مصرفی و سرعت پیشروی در خطای غلظت محلول خروجی از افشانک اول معنی دار نیست و اثر سرعت پیشروی در خطای غلظت محلول خروجی از افشانک آخر در سطح یک درصد معنی دار است. متوسط میانگین خطای افشانک‌های اول و آخر به ترتیب ۲/۷۱ و ۳/۵۶ درصد است.

### واژه‌های کلیدی

سامانه کنترل، سمپاش، غلظت متغیر، کشاورزی دقیق، مدیریت موضعی

### مقدمه

(Anon, 2013). در سال ۱۳۸۹ مقدار ۳۹۷۶۰۹۳ تن کود شیمیایی در کشور توزیع شده که ۱۷۸۲۶۴۰ تن آن تولید داخل بوده و بقیه با صرف ارز وارد کشور شده است (Sedaghat Hosseini et al., 2012). فناوری میزان متغیر<sup>۱</sup> نهاده‌ها یکی از فناوری‌های کاربردی در مدیریت

استفاده بی‌رویه و غیر اصولی از نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی باعث افزایش آلودگی‌های زیست محیطی و هزینه تولید محصولات کشاورزی می‌شود. سالیانه در کشور ۳۵۷۳ تن انواع سموم شیمیایی مصرف می‌شود

از ورود به مزرعه می‌توان میزان مصرف مواد شیمیایی را تخمین زد. تأخیر زمانی بین نمونه برداری از مزرعه و به‌کارگیری مواد شیمیایی امکان پردازش داده‌های را در جهت کسب اطمینان و حتی ارتقای صحت آنها فراهم می‌سازد. همچنین در این روش، مشکل کمبود حسگرهای خاص، مانند پاشنده‌های حسگر مینا، وجود ندارد (Morgan & Ess, 1997).

اکثر سم‌پاش‌های میزان‌متغیر از دو روش یکی روش فشار مینا و دیگری روش تزریقی استفاده می‌کنند. در نوع فشار مینا، با تغییر فشار محلول مصرفی بده خروجی سم‌پاش تغییر و در نتیجه مقدار سم مصرفی در واحد سطح نیز تغییر می‌کند. در روش تزریقی مقدار محلول مصرفی تغییر نمی‌کند بلکه غلظت آن تغییر می‌کند. در مخزن اصلی سم‌پاش فقط آب ریخته می‌شود و ماده مؤثر خالص در مخزنی جداگانه است. با تغییر مقدار ماده مؤثر تزریق شده در آب عبوری از افشانک‌ها، غلظت محلول مصرفی تغییر می‌کند (Gopalapillai, et al., 1999). در روش تزریقی، علاوه بر یکنواختی اندازه ذرات محلول پاشیده شده، ماده مؤثر (سم) اضافی باقیمانده در مخزن را می‌توان پس از عملیات سم‌پاشی می‌توان برای مصارف بعدی کنار گذاشت.

با نصب سامانه‌های کنترلی روی ماشین‌های میزان یکنواخت<sup>۳</sup> می‌توان آنها را به نوع میزان‌متغیر تبدیل کرد (Jafari et al., 2010). زمان پاسخ یکی از مهمترین عوامل مؤثر در عملکرد دقیق سم‌پاش‌های نوع تزریقی است. با توجه به نتایج آزمون‌های کارگاهی، زمان پاسخ سم‌پاش‌های نوع تزریقی به‌طور معنی‌داری به دو عامل بستگی دارد یکی میزان فشار سیال حامل و دیگری محل تزریق ماده مؤثر علف‌کش (Mohammadzamani et al., 2012). از آنجایی که اکثر سم‌پاش‌های رایج در کشور از نوع بوم‌دار ۴۰۰ لیتری پشت تراکتوری هستند، ساخت و نصب سامانه‌های کنترلی در

موضعی در تولید محصولات زراعی<sup>۱</sup> است. در این روش، هر نهاده از جمله کود شیمیایی، با توجه به پتانسیل تولید و نیاز هر قسمت از مزرعه به‌کار برده می‌شود که علاوه بر کاهش تأثیرات زیست محیطی، باعث کاهش هزینه‌ها و انرژی مصرفی در تولید محصولات می‌گردد. گزارش‌هایی مبنی بر کاهش بیش از ۵۰ درصد از میزان مصرف آفت‌کش‌ها در نتیجه استفاده از فناوری‌های کاربرد میزان‌متغیر سموم وجود دارد (Morgan & Ess, 1997). یکی از مهمترین دستاوردهای کشاورزی دقیق، کاربرد فناوری میزان‌متغیر به منظور کاهش مصرف مواد شیمیایی است به گونه‌ای که کاهش ۵۰ درصد در کاربرد علف‌کش‌های پیش‌رویشی در زراعت ذرت گزارش شده است (Al-Gaadi & Ayers, 1999). با به‌کارگیری نقشه مدیریت اعمال علف‌کش، ۲۹ درصد در میزان مصرف صرفه‌جویی می‌گردد (Carrara et al., 2004). با استفاده از فناوری اعمال میزان‌متغیر و طبق نقشه رقومی مدیریت<sup>۲</sup> مزرعه بر اساس تغییرات درصد کربن آلی خاک و بافت خاک، به‌طور متوسط ۳۱ درصد در مصرف علف‌کش پیش‌رویشی بلاذکس صرفه‌جویی می‌شود (Mohammadzamani et al., 2008). میزان کاربرد علف‌کش در سه نوع یا منطقه از خاک هر مزرعه می‌تواند تا حدود ۵۰ درصد تغییر کند (Baver & Schefcik 1994).

با طراحی و ساخت سامانه کود پاش مایع میزان‌متغیر و ارزیابی آن در مزرعه با استفاده از نقشه الکترونیکی با شبکه‌هایی به ابعاد ۲ در ۲ متر، مشخص شد که به‌کارگیری این سامانه می‌تواند مصرف کود شیمیایی را نسبت به روش متداول (اعمال یکنواخت کود)، ۵۸/۳۶ درصد بکاهد (Behzadi & Javadi, 2008). مصرف مواد شیمیایی بر مبنای نقشه، در مقایسه با روش مصرف علف‌کش بر مبنای حسگر، دارای مزایای قابل توجهی است. در روش مصرف مواد شیمیایی بر مبنای نقشه، قبل

به دست آمد و در آزمون‌های مزرعه‌ای دقت آن در سرعت‌های مختلف پیشروی و غلظت‌های متفاوت محلول مصرفی ارزیابی شد.

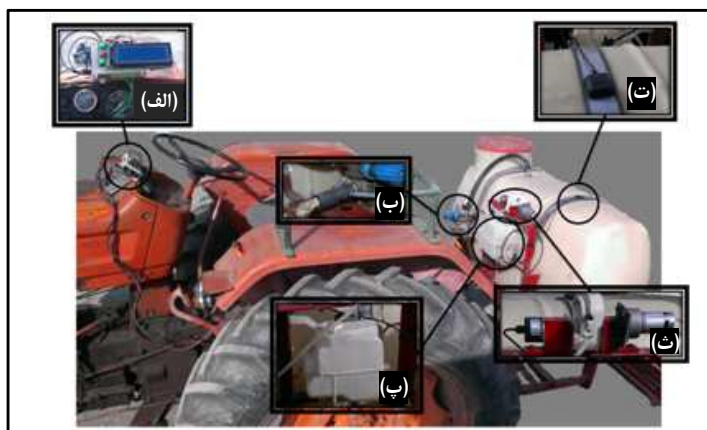
### مواد و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا سامانه کنترل الکترونیکی غلظت محلول مصرفی ساخته شد. این سامانه روی یک دستگاه سمپاش بوم‌دار پشت تراکتوری ۴۰۰ لیتری با تیرک ۸ متری و ۱۶ افشانک و پمپ دیافراگمی سه سیلندر نوع برتولینی، ساخت شرکت ضرغامی، نصب شد. در این پژوهش از افشانک‌های نوع تی جت با شماره ۱۱۰۰۴ و جنس استیل استفاده شد. جهت تعیین دقت غلظت محلول مصرفی سمپاش به شکلی دقیق، آزمون‌های کارگاهی و مزرعه‌ای انجام شد.

### اجزای سامانه تزریق سم

سامانه کنترل غلظت مواد شیمیایی عبارت‌اند از: مخزن سم (ماده شیمیایی)، پمپ مقسم<sup>۱</sup>، محرک (الکتروموتور) پمپ مقسم، حسگر سرعت دورانی پمپ مقسم، واحد کنترل الکترونیکی، گیرنده GPS، حسگر سرعت پیشروی تراکتور، واحد اختلاط مواد شیمیایی با آب و لوله‌های انتقال (شکل ۱).

این گونه سم‌پاش‌ها بالطبع می‌تواند مورد استفاده تعداد بیشتری از کشاورزان باشد و در نتیجه باعث تسریع در توسعه کشاورزی دقیق در کشور و کاهش تأثیرات زیست محیطی حاصل از روش‌های سنتی کاربرد مواد شیمیایی در کشاورزی می‌شود. تنها نمونه سامانه سم‌پاشی میزان متغیر ساخته شده در کشور دارای واحد تزریق نوع کنترل دامنه پالس است که در آن از انژکتورهای موتورهای بنزینی استفاده شده است و ممکن است بر اثر استفاده از سموم شیمیایی خوردگی و فرسایش در آنها ایجاد شود. مرور منابع نشان می‌دهد که در بررسی و ارزیابی سامانه گفته شده از آزمون کارگاهی بهره گرفته شده است و نتایج آزمون مزرعه‌ای از دستگاه فوق در دسترس نیست. از این رو پس از بررسی نتایج پژوهش‌ها و مرور منابع، تصمیم گرفته شد سامانه کنترل غلظت محلول مصرفی نوع تزریق مستقیم ساخته شود. در این سامانه پاشش، برای از بین بردن احتمال خوردگی اجزای سم‌پاش بر اثر مواد شیمیایی مصرفی، ماده مؤثر سم در سیال حامل آن از طریق پمپ مقسم تزریق می‌شود. با ساخت سامانه و نصب آن در سم‌پاش پشت تراکتوری، امکان ایجاد سم‌پاش نوع میزان متغیر فراهم شد. در آزمون‌های کارگاهی، سم‌پاش مذکور پس از تعیین عوامل مؤثر در غلظت محلول مصرفی سم‌پاش رابطه بین آنها نیز



شکل ۱- اجزای سامانه تزریق. الف) واحد کنترل الکترونیکی، ب) واحد اختلاط، پ) مخزن سم، ت) آنتن گیرنده GPS، ث) مجموعه پمپ مقسم و محرک پمپ و حسگر سرعت دورانی پمپ مقسم

## گیرنده GPS

پروتکل مورد استفاده در گیرنده NIMEA است.

برای تعیین موقعیت (مختصات جغرافیایی) ماشین در مزرعه از یک دستگاه گیرنده GPS مدل NEO-5Q ساخت شرکت U-blox AG کشور سوئیس با خطای محتمل مستدیر (CEP)<sup>۱</sup> یک و نیم متر استفاده شد. خطای گیرنده GPS می‌تواند در دقت سم‌پاش میزان‌متغیر تأثیر مستقیم داشته باشد اما اکثر گیرنده‌های GPS موجود خطایی در همین محدوده دارند و با توجه اندازه قطعه‌بندی نقشه توصیه‌ای این پژوهش (ابعاد ۱۰ در ۱۰ متر)، دقت در محدوده گیرنده مذکور می‌تواند جوابگوی نیاز آنها باشد.

اگر به کاربردهای با دقت بالاتر نیاز باشد می‌توان از گیرنده‌های نوع دقیق‌تر مثل RTK یا گیرنده دو فرکانسه استفاده کرد؛ این گیرنده‌ها هزینه بالاتری دارند و کمیاب تر هستند. گیرنده به‌کار گرفته شامل یک عدد ماژول و یک آنتن مغناطیسی است. آنتن این گیرنده در مرکز عرض کار دستگاه قرار داده شد.

## حسگر سرعت پیشروی دستگاه

برای تعیین سرعت پیشروی دستگاه از یک عدد چرخش‌سنج دورانی<sup>۲</sup> استفاده شد که مشخصات آن از این قرار است: مدل: E50S8-100-3-T-24 با ولتاژ 12-24V DC  $\pm 5\%$  ساخت شرکت Autonics کشور کره جنوبی. این حسگر با استفاده از چرخ دنده به محور چرخ جلو تراکتور متصل شد (شکل ۲). برای واسنجی حسگر، مسافت بیست متر روی سطح مزرعه علامت گذاری و این مسافت با سه سرعت پیشروی ۳، ۶ و ۹ کیلومتر در ساعت با سه تکرار پیموده شد. میانگین تعداد پالس‌های ایجاد شده توسط چرخش‌سنج اندازه‌گیری شد. فاصله مذکور (۲۰ متر)، به میانگین تعداد پالس‌های ایجاد شده تقسیم شد که عدد ۰/۵۶ سانتی‌متر به دست آمد، این عدد مسافت پیموده شده تراکتور به ازای دو پالس متوالی ارسالی از چرخش‌سنج است.



شکل ۲- محل قرارگیری حسگر سرعت پیشروی

1- Circular Error Probable

2- Shaft Encoder

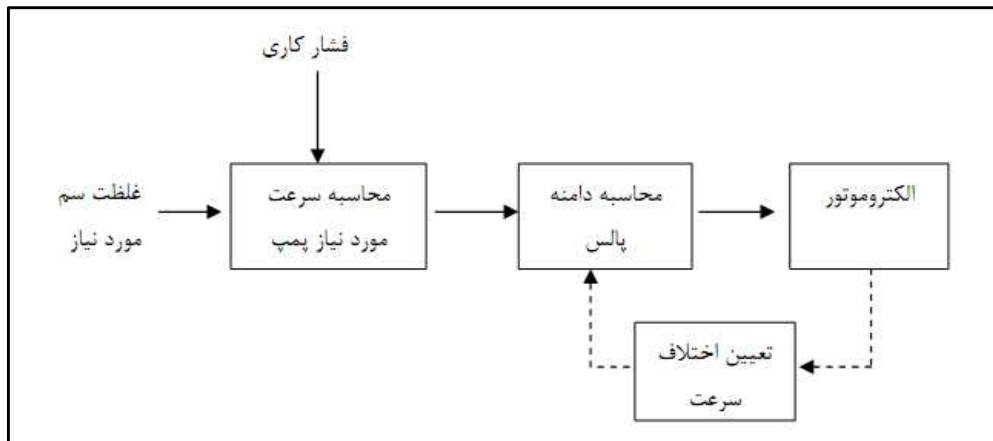
عرض پالس<sup>۱</sup> توسط واحد کنترل الکترونیکی، تنظیم می‌شود. از آنجاکه مقدار فشار سیال حامل بر مقدار محلول ارسالی توسط پمپ مقسم تاثیر دارد، مقدار فشار کاری سمپاش را کاربر قبل از کاربرد آن به واحد کنترل الکترونیکی وارد می‌کند تا با استفاده از رابطه<sup>۳</sup> سرعت محور پمپ مقسم تنظیم گردد. سرعت کاری دستگاه دائما توسط حسگر سرعت دورانی به واحد کنترل الکترونیکی ارسال می‌شود. کنترل سرعت دورانی پمپ مقسم به صورت حلقه بسته است. واحد کنترل الکترونیکی عرض پالس را طوری کنترل می‌کند تا بازخورد حسگر سرعت دورانی پمپ مقسم، سرعت هدف را نشان دهد (شکل ۳).

### حسگر سرعت دورانی پمپ مقسم

یکی از عوامل مؤثر بر دبی سم مصرفی، سرعت دورانی پمپ مقسم است، به همین دلیل از یک عدد حسگر سرعت دورانی برای تعیین این سرعت استفاده شد. یک عدد چرخش‌سنج دورانی (مشابه حسگر سرعت پیشروی) نیز به عنوان حسگر سرعت دورانی به کار گرفته شد.

### محرك محور پمپ مقسم

یک عدد الکتروموتور 37GB-3540-12V-560RPM (محصول شرکت LANDA) به عنوان محرك محور پمپ مقسم به کار گرفته شد. سرعت این الکتروموتور با کنترل



شکل ۳- طرح واره کنترل سرعت الکتروموتور

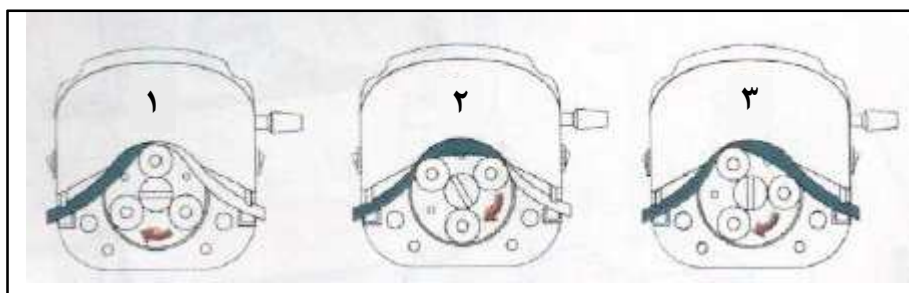
گردش محور پمپ، غلتک‌ها به لوله فشار وارد می‌کنند و با عبور غلتک‌ها مایع درون لوله از قسمت ورودی به قسمت خروجی حرکت داده می‌شود (شکل ۴). مقدار مایع عبوری از این نوع پمپ‌ها به مدل پمپ، ویسکوزیته مایع عبوری، تعداد غلتک‌ها، قطر لوله، فشار محیط خروجی مایع و سرعت دورانی محور پمپ بستگی دارد.

### پمپ مقسم

برای تنظیم مقدار سم (ماده شیمیایی) مصرفی، از یک عدد پمپ غلتکی پرستاتیک<sup>۲</sup> (مدل YZ2515X شرکت Longer Pump محصول کشور چین) استفاده شد. ساختمان این پمپ شامل سه غلتک دوار متصل به محور پمپ است. لوله‌ای از جنس سیلیکون در بخشی از محیط دایره حرکت غلتک‌ها به‌طور ثابت قرار داده شده است. با

1- Pulse width modulation

2- Peristaltic

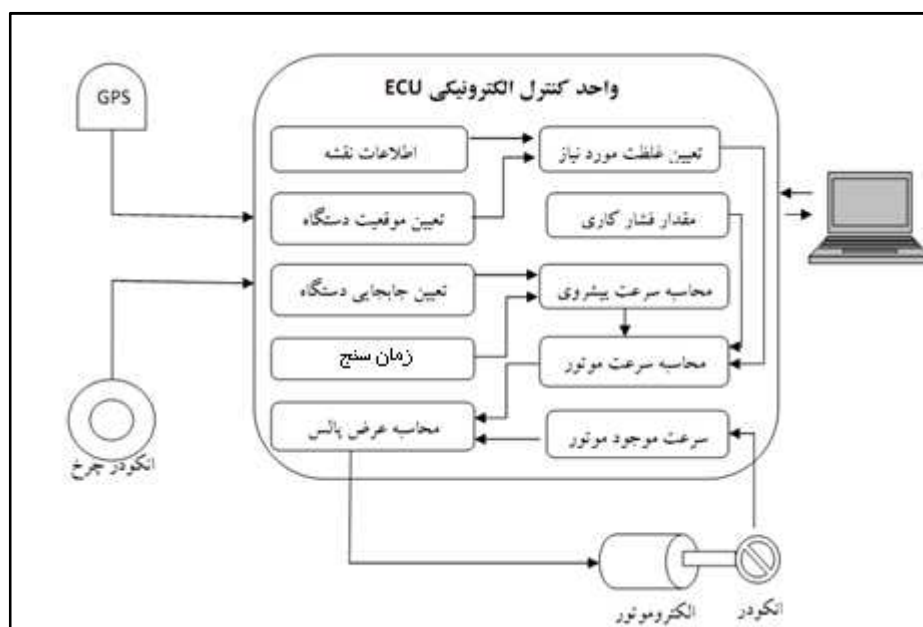


شکل ۴- طرح واره مراحل کاری پمپ پریستالتیک

### واحد کنترل الکترونیکی

تجزیه و تحلیل می‌کند و منطبق با الگوریتم و با توجه به شرایط کاری دستگاه، تصمیم مناسب را اتخاذ می‌گیرد. به عبارت دیگر، این واحد سرعت هدف محور محرک پمپ مقسم را متناسب با موقعیت دستگاه در مزرعه (غلظت هدف محلول سم)، سرعت پیشروی تراکتور و فشار کاری سمپاش و بر اساس رابطه ۳ محاسبه می‌کند و سرعت آن را به مقدار هدف می‌رساند (شکل ۵).

واحد کنترل الکترونیکی شامل یک مدار الکترونیکی است که ریز پردازنده‌ای از نوع AVR مدل Atmega32 دارد. این واحد در جلو کابین تراکتور نصب می‌شود و راننده با LCD روی آن از یک سری اطلاعات کاری از جمله سرعت پیشروی، غلظت سم مصرفی و سرعت محرک پمپ مقسم آگاه خواهد شد. اطلاعات جمع‌آوری شده را حسگرها به واحد مذکور می‌فرستند و AVR آنها را



شکل ۵- طرح واره کاری واحد کنترل الکترونیکی

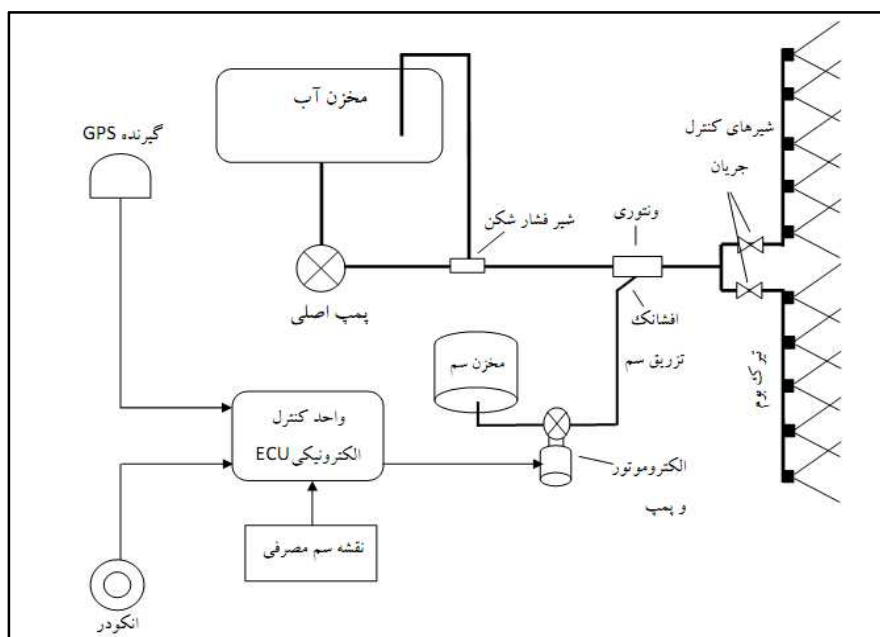
### مخزن مواد شیمیایی

این سامانه مخزنی دارد با ظرفیت حدوداً ۴ لیتر برای نگهداری سم خالص که در زیر آن یک الکترو پمپ (۱۲ ولت) کوچک به عنوان همزن هیدرولیکی قرار دارد که از رسوب کردن ذرات شیمیایی پودری شکل جلوگیری می‌کند. قسمت خروجی پمپ به مجموعه افشانک تزریق و لوله ونتوری متصل است. لوله ونتوری در مسیر انتقال آب از پمپ سمپاش و رگولاتور به شیرهای کنترل جریان بوم سمپاش قرار دارد.

### طرز کار سامانه

در مخزن اصلی سمپاش (۴۰۰ لیتری) آب ریخته می‌شود و پمپ اصلی فقط آب (سیال حامل) را به تیرک و افشانک‌ها پمپ می‌کند. مقدار سم مورد نیاز را پمپ

مقسم از مخزن سم به واحد اختلاط سم (لوله ونتوری) می‌فرستد. سم در آنجا با آب عبوری مخلوط می‌شود. با تغییر مقدار سم تزریقی، غلظت محلول مصرفی کنترل می‌گردد. در سمپاش میزان متغیر ساخته شده در کشور (که پیشتر در مورد آن توضیح داده شده است) برای تزریق ماده مؤثر به سیال حامل از تغییر دامنه پالس انژکتورهای تزریق ماده مؤثر استفاده شده است و واحد اختلاط به جای لوله ونتوری در پیچۀ واگرا است. موقعیت دستگاه در مزرعه را گیرنده GPS تعیین می‌کند. اطلاعات به دست آمده را حسگرهای سیستم به واحد کنترل الکترونیکی ارسال می‌کنند. واحد کنترل بر اساس موقعیت سمپاش در مزرعه و متناسب با نقشه غلظت محلول مورد نیاز، سرعت پمپ مقسم را کنترل می‌کند (شکل ۶).



شکل ۶- طرز کار سامانه

### آزمون‌های کارگاهی

#### واسنجی پمپ مقسم

برای واسنجی پمپ مقسم استوانه‌ای مدرج به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر جایگزین مخزن سم شد (شکل ۷).

مخزن اصلی (۴۰۰ لیتری) سمپاش با آب پر شد. موتور تراکتور به کار انداخته شد و به صورت درجا، سرعت دورانی محور PTO در حالت ۵۴۰ دور در دقیقه تنظیم شد. استوانه مدرج از آب پر شد. پس از تنظیم فشار کاری

تکرار اندازه‌گیری شد. اطلاعات به دست آمده در قالب طرح فاکتوریل به صورت کاملاً تصادفی با نرم‌افزار Design Expert تجزیه و تحلیل شد. با استفاده از آزمون دانکن، اطلاعات ارزیابی و رابطه رگرسیونی بین متغیر وابسته بده پمپ مقسم برحسب لیتر در دقیقه با دو متغیر مستقل سرعت گردش پمپ و فشار کاری دستگاه تعیین شد.

پمپ اصلی سمپاش توسط شیر رگولاتور، پمپ مقسم به مدت ۶۰ ثانیه به کار افتاد.

قبل از به کار انداختن پمپ مقسم، سرعت دورانی آن تنظیم شد. مقدار کاهش سطح آب داخل استوانه مدرج به عنوان بده پمپ مقسم ثبت گردید. بده پمپ برای سه سطح فشار کاری ۳، ۴ و ۵ بار و چهار سطح سرعت دورانی پمپ مقسم ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ دور در دقیقه، در سه



شکل ۷- محل قرار گیری استوانه مدرج

آب نمک مرجع (۵۲/۵ گرم بر لیتر) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS، رابطه رگرسیونی بین غلظت محلول آب نمک و EC آن تعیین شد.

### ارزیابی مزرعه‌ای

#### تهیه نقشه غلظت محلول مورد نیاز

قبل از ارزیابی دستگاه در مزرعه و به منظور تهیه نقشه غلظت محلول مورد نیاز، نقشه مرکز آموزش عالی امام خمینی (ره) روی تصویر تهیه شده از سایت گوگل ارت انطباق داده شد و به این ترتیب مختصات جهانی مرکز آموزش تعیین شد به عبارت دیگر نقشه مرکز آموزش به صورت زمین مرجعی شد. با استفاده از نرم‌افزار

### تعیین رابطه غلظت و هدایت الکتریکی (EC)<sup>۱</sup> محلول آب نمک

برای تعیین دقت کار دستگاه در مزرعه، از محلول آب نمک با غلظت ۵۲/۵ گرم در لیتر (به جای سم خالص) استفاده شد. برای این منظور قبل از عملیات مزرعه‌ای، رابطه بین مقدار هدایت الکتریکی (EC) و غلظت آب نمک تهیه شد. ابتدا مقدار EC آب خالص به عنوان غلظت صفر درصد و EC محلول آب نمک با غلظت ۵۲/۵ گرم در لیتر به عنوان غلظت ۱۰۰ درصد اندازه‌گیری شد. پس از آن، مقدار EC مخلوط‌هایی از ۱۰۰ سی سی آب خالص و به ترتیب ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۵۰، ۵۵۰ و ۷۰۰ سی سی از محلول

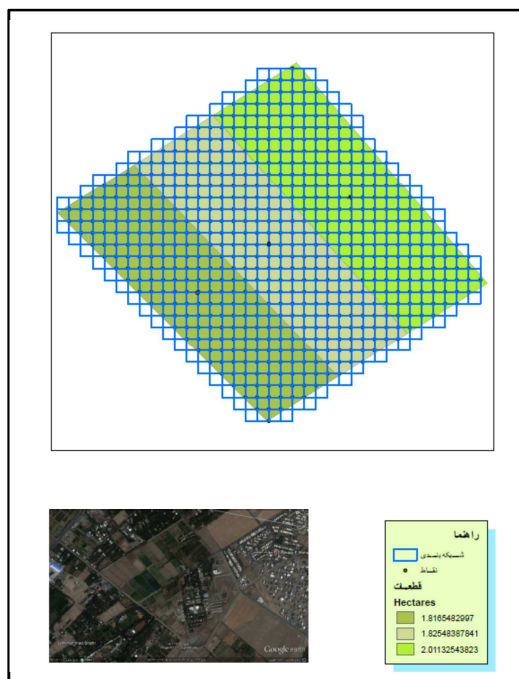
1- Electrical Conductivity

2- Google Earth



مورد استفاده در مزارع سه سطح ۱، ۴ و ۷ لیتر در هکتار برای سه بخش مزرعه در نظر گرفته شد تا به این ترتیب با حرکت سمپاش در مزرعه، تغییر غلظت محلول مصرفی به شکل از قبل برنامه‌ریزی شده به دو شکل صعودی و نزولی و مقادیر تغییر حداقل، متوسط و حداکثر باشند. جدول مختصات مرکز سلول‌ها و غلظت مورد نیاز آنها طبق نقشه شکل ۸ و با فرمت EXCEL تهیه شد به عنوان نقشه غلظت محلول مورد نیاز و به صورت ماتریس به حافظه واحد کنترل الکترونیکی وارد شد.

ArcGIS، نقشه زمین مرجع شده<sup>۱</sup> قطعه مزرعه مورد نظر تهیه و به ابعاد ۱۰ در ۱۰ متری شبکه‌بندی شد (شکل ۸). مزرعه مورد نظر در جهت عمود بر حرکت تراکتور به سه بخش تقسیم شد. به هنگام تغییر ناحیه سمپاشی، زمان پاسخ سامانه مهم‌ترین عامل مؤثر در دقت عملیات سمپاشی است، از این‌رو برای ارزیابی این موضوع که آیا تغییر غلظت محلول مصرفی اثر معنی‌دار روی دقت عملیات سمپاشی دارد یا نه و نیز به منظور فراهم آوردن مقایسه آماری بین آنها، در محدوده غلظت سموم شیمیایی



شکل ۸- نقشه شبکه‌بندی شده مزرعه

نمونه مربوط به یکی از بخش‌های غلظت ۱، ۴ و ۷ لیتر در هکتار بود. عملیات سمپاشی با سه سرعت پیشروی مختلف ۳، ۶ و ۹ کیلومتر در ساعت (محدوده سرعت مناسب کاری سمپاش) و سه سطح فشار کاری ۳، ۴ و ۵ بار (محدوده فشار مناسب سمپاش) ادامه یافت. نمونه‌های خروجی از افشانک‌ها برای فاصله ۵ متر حرکت تراکتور در مزرعه جمع‌آوری و در ظرف‌های درپوش‌دار جداگانه قرار

پس از وارد کردن اطلاعات نقشه غلظت محلول مورد نیاز به حافظه واحد کنترل الکترونیکی، مخزن سم از محلول آب نمک با غلظت ۵۲/۵ گرم در لیتر پر شد. محل‌های نمونه‌گیری از خروجی افشانک‌های اول و آخر سمت راست تیرک سمپاش در مزرعه علامت‌گذاری شدند. پس از تنظیمات اولیه دستگاه، محلول پاشی در مزرعه آغاز شد. در هر مسیر حرکت، سه بار نمونه‌گیری شد. هر

که در آن،  
 $E =$  خطای غلظت محلول خروجی (درصد)؛  $Q_a =$  مقدار محلول اندازه‌گیری شده (لیتر بر هکتار)؛ و  $Q_t =$  مقدار محلول مورد نیاز (تئوری) است.  
 پس از محاسبه خطای همه نمونه‌ها، اثر سرعت پیشروی و فشار محلول مصرفی در خطای غلظت محلول خروجی از دو افشانک به طور جداگانه با استفاده از نرم‌افزار SPSS و در قالب طرح فاکتوریل آزمایش شدند.

### نتایج و بحث

#### رابطه بده پمپ مقسم

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر دو عامل فشار و سرعت دورانی پمپ تزریق و اثر متقابل آنها روی بده خروجی پمپ مقسم در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۱).

داده شد. در آزمایشگاه با استفاده از استوانه مدرج حجم نمونه‌ها اندازه‌گیری و EC هر یک از آنها تعیین شد. غلظت هر یک از نمونه‌ها با استفاده از رابطه رگرسیونی حاصل از مرحله قبل محاسبه شد. پس از تعیین شدن غلظت نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱، مقدار محلول مصرفی در هکتار برای هر یک از نمونه‌ها محاسبه شد.

$$Q = \frac{C}{100} \times V \times 4 \quad (1)$$

که در آن،

$Q =$  مقدار محلول مصرفی (لیتر بر هکتار)؛  $C =$  غلظت نمونه (درصد)؛ و  $V =$  حجم نمونه (میلی لیتر در ۲/۵ متر مربع) است.

با استفاده از رابطه ۲ خطای هر یک از نمونه‌ها محاسبه شد.

$$E = \left| \frac{Q_a - Q_t}{Q_t} \right| \times 100 \quad (2)$$

جدول ۱- تجزیه واریانس فشار و سرعت پمپ در بده پمپ مقسم (میلی لیتر در دقیقه)

عوامل	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
تیمار	۱۱	۲۷۰۵۰۰۰	۲۴۵۹۱۱/۸۲**
فشار	۲	۸۲۳۳۳/۷۲	۴۱۱۶۶/۸۶**
سرعت	۳	۲۶۱۹۸۷۹/۱۹	۸۷۳۲۹۳/۰۶**
سرعت × فشار	۶	۲۸۱۷/۳۹	۴۶۹/۵۶**
خطا	۲۴	۱۹۷/۳۳	

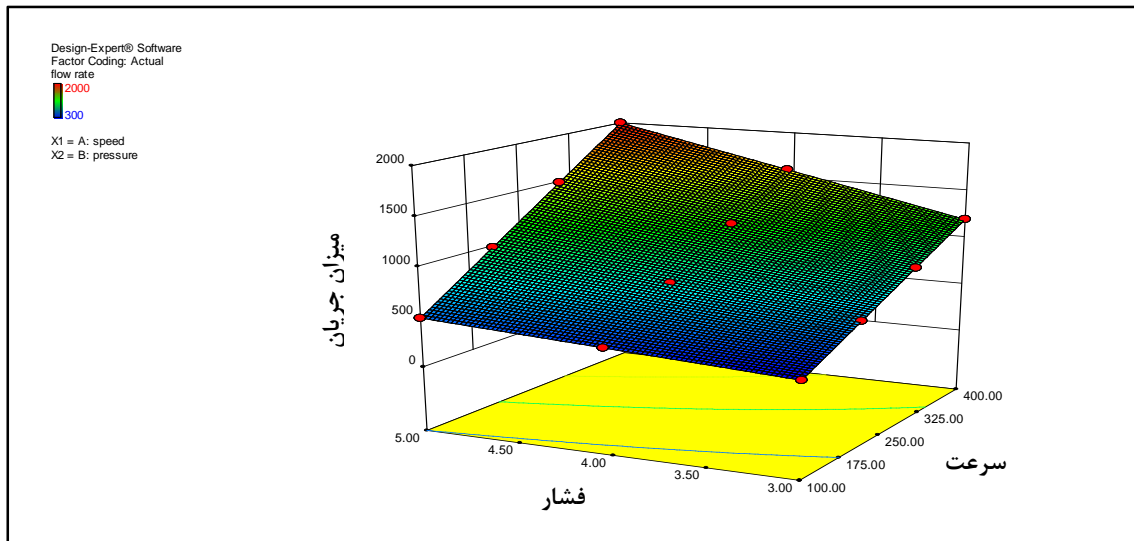
\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

که در آن،  
 $Q =$  بده پمپ تزریق (میلی لیتر در دقیقه)؛  $P =$  فشار سیال حامل (بار)؛ و  $n =$  سرعت دورانی پمپ تزریق (دور در دقیقه) است.  
 با توجه به رابطه ۳، با کاهش فشار سیال حامل و افزایش سرعت دورانی پمپ مقسم مقدار بده پمپ مقسم افزایش می‌یابد. روند این تغییرات در شکل ۹ ارائه شده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که سرعت گردش پمپ مقسم، فشار سیال حامل و اثر متقابل آنها روی بده پمپ مقسم مؤثر هستند. از این رو رابطه رگرسیونی بین آن تهیه شد که نتایج آن در رابطه ۳ آورده شده است.

$$Q = (2.497 \times n) - (53.167 \times P) - (0.021 \times P \times n) + 93.667 \quad (3)$$

$$F = 8469.54^{**} \quad \text{and} \quad R^2 = 0.999$$



شکل ۹- تغییرات بده پمپ مقسم با تغییر سرعت پمپ و فشار سیال حامل

الکترونیکی مشخص شود. کفایت می‌کند. اگر از حسگر فشار برای تعیین برخط<sup>۱</sup> فشار سیال حامل استفاده شود، دیگر نیاز نخواهد بود که هنگام تغییر فشار سیال حامل مقدار آن در حافظه واحد کنترل الکترونیکی به طور دستی وارد شود.

### ارزیابی مزرعه‌ای دستگاه

تعیین رابطه غلظت و EC محلول آب نمک

رابطه بین غلظت محلول آب نمک (درصد حجمی) و مقدار EC (میلی زیمنس بر سانتی‌متر) آن، به شکل رابطه ۵ به دست آمد.

$$C = (3.72 \times 10^{-5} \times EC^3) + (0.009 \times EC^2) + (0.998 \times EC) - 0.557 \quad (5)$$

$$F = 14033.727^{**} \quad \text{and} \quad R^2 = 0.999$$

که در آن،

$C$  = غلظت نمک (درصد حجمی)؛ و  $EC$  = مقدار هدایت الکتریکی محلول (میلی زیمنس بر سانتی‌متر) است.

با توجه به رابطه ۵، افزایش  $EC$  محلول به ازای افزایش غلظت نمک آن به شکل درجه سه است (شکل ۱۰). از رابطه مذکور برای تعیین غلظت سم مصرفی در مزرعه استفاده شد.

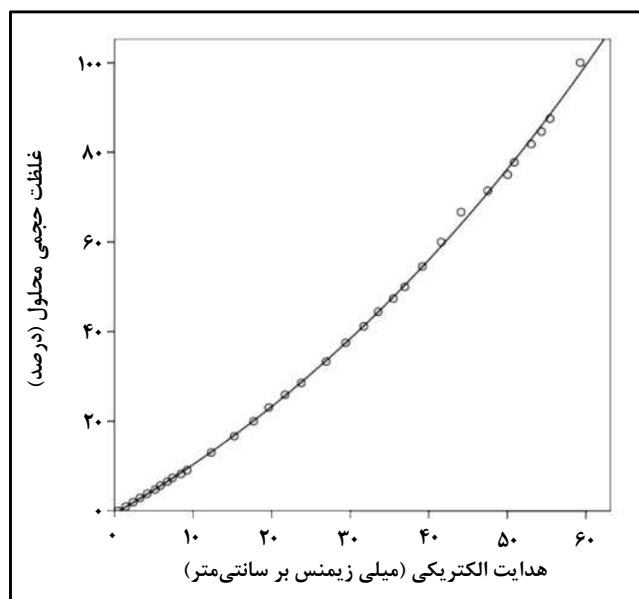
مقدار سم مصرفی در هکتار علاوه بر مقدار خروجی پمپ مقسم (لیتر در دقیقه) به عرض کار و سرعت پیشروی سم‌پاش نیز بستگی دارد. از آنجا که عرض کار سم‌پاش مورد استفاده ۸ متر است، رابطه مقدار سم مصرفی به شکل رابطه ۴ خواهد بود.

$$Q = \frac{(2.497 \times n) - (53.167 \times P) - (0.021 \times P \times n) + 93.667}{V \times 13.33} \quad (4)$$

که در آن،

$Q$  = مقدار سم مصرفی (لیتر بر هکتار)؛ و  $V$  = سرعت پیشروی تراکتور (کیلومتر در ساعت) است.

در برنامه واحد کنترل الکترونیکی، رابطه ۴ به عنوان تابع کنترل، مورد استفاده قرار گرفت. واحد کنترل الکترونیکی با توجه به سرعت پیشروی دستگاه (که با حسگر مشخص می‌شود)، فشار سیال حامل (که دستی وارد می‌شود) و مقدار سم مصرفی مورد نیاز (که از نقشه توصیه‌ای مشخص می‌شود) سرعت مورد نیاز پمپ مقسم را از رابطه ۴ محاسبه و کنترل می‌کند. با توجه به اینکه سم‌پاش‌ها مجهز به شیر کنترل فشار (رگولاتور) هستند، با تنظیم کردن فشار سیال حامل در ابتدای عملیات سم‌پاشی، این فشار در کل مزرعه ثابت باقی خواهد ماند و کافی است مقدار آن در ابتدای عملیات برای واحد کنترل



شکل ۱۰- تغییرات غلظت حجمی محلول نمک به ازای تغییرات EC آن

### ارزیابی مزرعه‌ای

اول سمت راست بوم نشان می‌دهد که دو عامل

نتایج تجزیه واریانس اثر سرعت پیشروی و فشار سیال حامل در خطای غلظت خروجی افشانک (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس سرعت پیشروی تراکتور و فشار سیال حامل در خطای غلظت محلول خروجی از افشانک اول (درصد)

عوامل	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
سرعت پیشروی	۲	۰/۲۹	۰/۱۴
فشار سیال حامل	۲	۱/۴۳	۰/۷۱
سرعت × فشار	۴	۰/۲۹	۰/۰۷
خطا	۱۸	۷/۵۸	۰/۴۲

می‌کشد تا غلظت جدید محلول خروجی به آن برسد، از این رو خطای افشانک آخر در سرعت‌های پیشروی بیشتر تراکتور، تا حدی افزایش یافته‌است که باعث معنی‌دار شدن تأثیر سرعت در دقیق بودن محلول خروجی از افشانک‌ها شده است.

عامل سرعت پیشروی تراکتور در خطای غلظت خروجی از افشانک آخر سمت راست در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). فاصله افشانک آخر از محل اختلاط آب و سم بیشتر از فاصله افشانک اول از محل اختلاط آب و سم است و بالطبع مدت زمان بیشتری طول

جدول ۳- تجزیه واریانس سرعت پیشروی تراکتور و فشار سیال حامل در خطای غلظت محلول خروجی از افشانک آخر (درصد)

عوامل	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
سرعت پیشروی	۲	۱/۸۶	۰/۹۳**
فشار سیال حامل	۲	۰/۶۰	۰/۳۰
سرعت × فشار	۴	۰/۲۳	۰/۰۵
خطا	۱۸	۳/۹۷	۰/۲۲

\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ساخت و ارزیابی سامانه کنترل غلظت محلول...

داشته باشد. به طور کلی میانگین خطای افشانک اول معادل ۲/۷۱ درصد است (جدول ۴). روند تغییرات خطای افشانک اول با تغییر سرعت پیشروی و فشار سیال حامل، در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

نتایج آزمون دانکن در مورد افشانک اول نشان می‌دهد که با افزایش سرعت پیشروی تراکتور و کاهش فشار سیال حامل، مقدار خطای غلظت محلول خروجی افزایش می‌یابد اما مقدار آن در حدی نیست که در سطوح متفاوت قرار

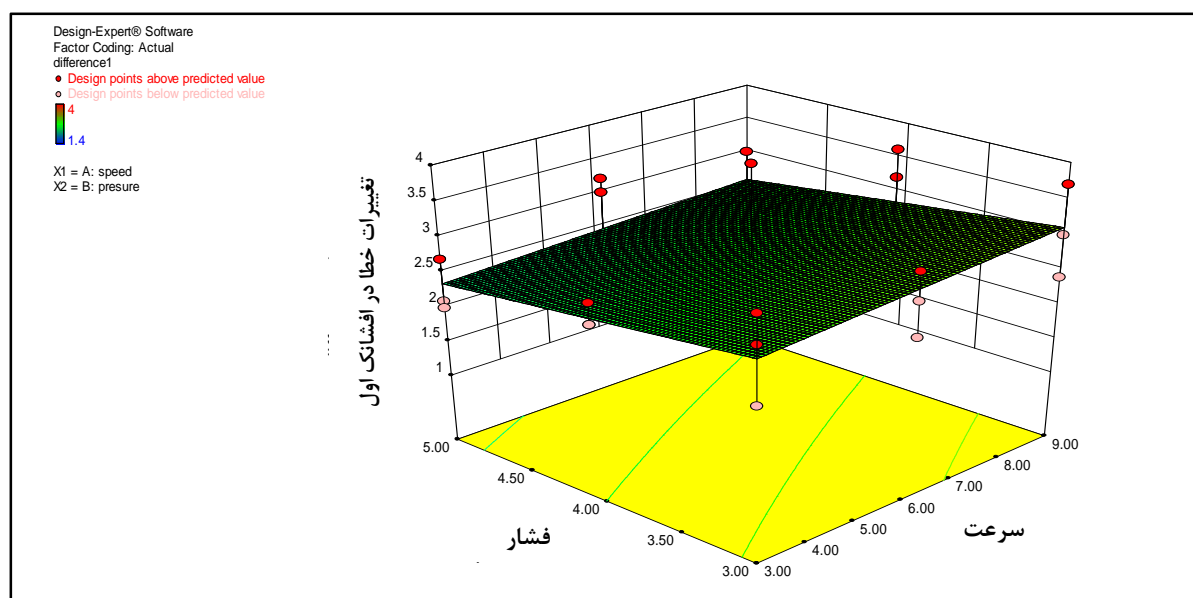
جدول ۴- نتایج آزمون دانکن سرعت پیشروی و فشار سیال حامل در خطای غلظت محلول خروجی از افشانک اول (درصد)

عوامل	سطح	میانگین خطای خروجی (درصد)
سرعت پیشروی (کیلومتر بر ساعت)	۳	۲/۵۷ a
	۶	۲/۷۳ a
	۹	۲/۸۳ a
فشار سیال حامل (بار)	۳	۲/۸۸ a
	۴	۲/۸۶ a
	۵	۲/۳۸ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج آزمون دانکن در مورد افشانک آخر نشان می‌دهد که سرعت ۹ کیلومتر در ساعت بیشترین خطای غلظت محلول خروجی (۳/۸۸ درصد) و سرعت ۳ کیلومتر در ساعت کمترین خطای غلظت محلول خروجی را دارد (جدول ۵). به طور متوسط خطای غلظت محلول خروجی از افشانک آخر ۳/۵۶ درصد است. افزایش خطا در افشانک آخر به دلیل فاصله بیشتر آن تا محل اختلاط سم و آب است.

نتایج آزمون دانکن در مورد افشانک آخر نشان می‌دهد که سرعت ۹ کیلومتر در ساعت بیشترین خطای غلظت محلول خروجی (۳/۸۸ درصد) و سرعت ۳ کیلومتر در ساعت کمترین خطای غلظت محلول خروجی



شکل ۱۱- تغییرات خطای غلظت محلول خروجی از افشانک اول (درصد) با تغییرات سرعت پیشروی تراکتور و فشار سیال حامل

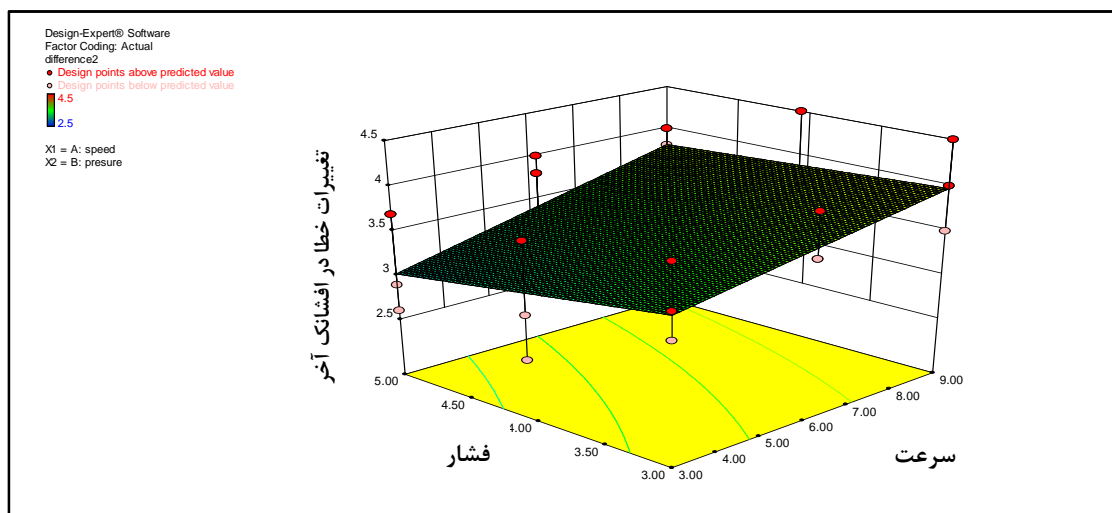
جدول ۵- نتایج آزمون دانکن سرعت پیشروی و فشار سیال حامل در خطای غلظت محلول خروجی از افشانک آخر (درصد)

عوامل	سطح	میانگین خطای خروجی (درصد)
سرعت پیشروی (کیلومتر در ساعت)	۳	۳/۲۴ a
	۶	۳/۵۶ ab
	۹	۳/۸۸ b
فشار سیال حامل (بار)	۳	۳/۷۷ a
	۴	۳/۴۷ a
	۵	۳/۴۴ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

در خطای خروجی از افشانک آخر می‌شود. به طور کلی، سطح نمودار خطای افشانک آخر (شکل ۱۲) بالاتر از سطح نمودار خطای افشانک اول (شکل ۱۱) است که خطای بیشتر افشانک آخر را نشان می‌دهد.

روند تغییرات خطای غلظت محلول خروجی از افشانک اول و افشانک آخر به ازای تغییر سرعت پیشروی و فشار سیال حامل به ترتیب در شکل ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. تغییر سرعت پیشروی در مقایسه با تغییر فشار سیال حامل، باعث تغییر بیشتری



شکل ۱۲- تغییرات خطای غلظت محلول خروجی از افشانک آخر (درصد) با تغییرات سرعت پیشروی تراکتور و فشار سیال حامل

است. دورتر بودن محل قرارگیری افشانک آخر نسبت به افشانک اول در مسیر محلول خروجی باعث افزایش خطای آن در موقع تغییر غلظت در مزرعه است. سرعت پیشروی اثر معنی‌داری در خطای افشانک آخر دارد که دلیل آن مسافت طولانی‌تری است که در سرعت‌های پیشروی

### نتیجه‌گیری

نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای نشان می‌دهد که خطای غلظت محلول خروجی از افشانک اول نسبت به خطای غلظت محلول خروجی از افشانک آخر کمتر و به ترتیب به طور متوسط ۲/۷۱ و ۳/۵۶ درصد

- بیشتر به هنگام تغییر غلظت محلول خروجی پیموده می‌شود. فشار سیال حامل اثر معنی‌داری در خطای غلظت محلول خروجی از افشانک‌ها ندارد.
- برای افزایش دقت دستگاه هنگام کار در مزرعه، توصیه می‌شود با عنایت به محدوده زمان مناسب موجود، سرعت عملیات کمتر شود.
- پیشنهاد می‌شود با نزدیک‌تر کردن محل قرارگیری واحد اختلاط افشانک‌ها یا با افزایش تعداد واحدهای اختلاط روی تیرک سم‌پاش، مقدار خطای عملیات سمپاشی کاهش داده شود.
- از سامانه‌های مکان‌یابی دقیق‌تر مانند گیرنده‌های RTK یا دو فرکانسه، به‌جای گیرنده GPS، استفاده شود؛ این کار باعث کاهش خطای مکان‌یابی و در نتیجه کاهش خطای سامانه می‌شود.

## مراجع

- Al-Gaadi, K. A. and Ayers, P. D. 1999. Integration GIS and GPS into a spatially variable rate herbicide application system. *Trans. ASAE*. 15(4): 255-262.
- Anon. 2013. Statistics Reports of Agriculture. Vol. II. Ministry of Agriculture, Department of Economic Planning, Statistics and Information Technology Office. (in Farsi)
- Baver, W. D. and Schefcik, M. 1994. Using differential GPS to improve crop yields. *GPS World* (February), 38-41.
- Behzadi, B. and Javadi, A. 2008. Design, development and evaluation of a variable rate liquid fertilizer using local management in precision agriculture. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> National Conference of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization of Iran*. Aug. 27-28. Mashhad. Iran. (in Farsi)
- Carrara, M., Comparetti, A., Febo, P. and Orlando, S. 2004. Spatially variable rate herbicide application on durum wheat in sicily. *Biosys. Eng.* 87(4): 387-392.
- Gopalapillai, S., Tian, L. and Zheng, J. 1999. Evaluation of a flow control system for site-specific herbicide applications. *Trans. ASAE*. 36(3): 685-690.
- Jafari, M., Hemmat, A. and Sadeghi, M. 2010. Development and performance assessment of a DC electric variable-rate controller for use on grain drills. *Comput. Electron. Agric.* 73, 56-65.
- Mohammadzamani, D., Minaee, S., Alimardani, R., Almassi, M. and Yousefi, R. 2008. Using GPS for production of a management digital map for herbicides application in variable-rate spraying system. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> National Conference of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization of Iran*. Aug. 27-28. Mashhad. Iran. (in Farsi)
- Mohammadzamani, D., Minaee, S., Alimardani, R. and Almassi, M. 2012. Design, development and workshop evaluation of variable rate application of sprayer system based on soil map. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> National Conference of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization of Iran*. Shiraz. Iran. (in Farsi)
- Morgan, M. and Ess, D. 1997. *The Precision Farming Guide for Agriculturists*. Moline, Illinois: John Deer Pub.
- Sedaghat Hosseini, M., Almasi, M., Minaee, S. and Ebrahimzadeh, M. R. 2012. Design, development and evaluation a map base variable rate fertilizer applicator. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> National Conference of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization of Iran*. Shiraz. Iran. (in Farsi)

## **Construction and Evaluation of Outlet Flow Control System for a Variable Rate Sprayer**

**M. Younesi\* and S. M. Sedaghat Hosseini**

\* Corresponding author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, AREEO, P. O. Box: 31585-845, Karaj, Iran. Email: mohamadyounesi@yahoo.com  
Received: 9 August 2014, Accepted: 6 June 2015

This study designed and built an electronic control system to control the chemical concentration of the spray solution in a crop sprayer. The system consisted of a speed sensor, a chemical metering pump, driver, and rotating speed sensor, mixing unit, and electronic control unit. The sprayer provided site-specific crop management after installation of the system on a field sprayer. The direct injection system changed the volume of the mixed chemicals in the carrier fluid (water) to change the concentration of the spray solution. The effects of spray solution pressure and rotational speed of metering pump on pump discharge were evaluated in laboratory testing. A regression relationship was observed between the dependent variable (metering pump discharge) and independent variables. In farm tests, the prescriptive map for concentration of spraying solution was first developed using ArcGIS software. The effects of travel speed (3, 6, and 9 km/h) and spray pressure (3, 4, and 5 bar) on spray concentration error of the first and last nozzles on the right-hand side of the sprayer boom were evaluated. The results showed no significant effect for pressure of sprayed solution and travel speed of the machine on the error of sprayed solution concentration of the first nozzle. The effect of travel speed of the machine was significant on the error of the sprayed solution concentration of the last nozzle. The mean sprayed solution concentration error of the first nozzle was 2.71% and of the last nozzle was 3.56%.

**Keywords:** Control System, Precision Agriculture, Sprayer, Site-Specific Management, Variables Rate Technology