

طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه پاشش نرخ متغیر برای کنترل علف هرز

آرزو لک^{۱*}، حسین بهفر^۲ و شمس اله عبدالله پور^۳

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۲۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبه Arezoolak71@gmail.com

چکیده

در دهه‌های گذشته، بدون توجه به تنوع مکانی علف‌های هرز، علف‌کش‌ها در همه جای مزرعه به‌طور یکسان پخش می‌شدند. کاربرد یکسان علف‌کش‌ها موجب بروز مشکلات زیست محیطی مانند آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی و مشکلات اقتصادی می‌شود. نگرانی‌های عمومی مربوط به عوارض جانبی منفی استفاده از علف‌کش‌ها، منجر به توسعه سامانه کاربرد علف‌کش‌ها شده است. فناوری سمپاشی نرخ جریان متغیر یکی از فناوری‌هایی است که امروزه در کشاورزی دقیق به‌طور گسترده استفاده می‌شود. لیکن در کشور ما هنوز به‌طور کامل توسعه نیافته است. در این تحقیق دو نوع سامانه به‌منظور دست‌یابی به پاشش نرخ متغیر طراحی و ساخته شد. در سامانه نوع اول، از شیر موتوردار استفاده گردید. تست‌های آزمایشگاهی روی نازل TeeJet از نوع مدل ۱۱۰۰۶ در سه فشار کاری ۲،۳ و ۴ بار و چهار وضعیت چرخش سروو موتور ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۸۰ درجه با سه بار تکرار انجام شد. یکی از معایب این سامانه، تغییرات فشار است که باعث کاهش عملکرد دستگاه پاشش می‌شود. چرا که تغییرات فشار باعث غیریک‌نواخت شدن الگوی پاشش شده و اندازه قطرات را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در سامانه نوع دوم از شیرهای سولونوئیدی استفاده شد که از مدولاسیون عرض پالس (PWM) ایجاد شده توسط میکروکنترلر برای کنترل این شیرها بهره گرفته شد. اثر چرخه کار و فشار به‌عنوان فاکتورهای موثر بر روی زاویه پاشش مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. ترکیب‌های تیماری در پنج سطح چرخه کار (۲۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۹۰٪) و فشار در سه سطح (۲،۳ و ۴ بار) انجام شد. فاکتور چرخه کار و فشار بر زاویه پاشش و نرخ جریان اثر افزایشی داشتند. میانگین زاویه پاشش بر اساس چرخه کار و فشار به‌وسیله آزمون دانکن مقایسه شد. مطابق نتایج به‌دست آمده، زاویه پاشش در چرخه کار ۹۰٪ و فشار ۴ بار از چرخه‌های کار دیگر و سایر فشارها بیش‌تر می‌باشد. واژه‌های کلیدی: سمپاشی نرخ جریان متغیر، چرخه کار، زاویه پاشش، مدولاسیون عرض پالس

۱- مقدمه

نشان داده‌اند که علف‌های هرز در لکه‌های متراکم به صورت گروهی ایجاد می‌شوند (مارشال^۲، ۱۹۹۸).

تیمار یک‌نواخت مزرعه باعث چشم‌پوشی از تغییراتی می‌شود که ناشی از خواص خاک است، که ممکن است مناطقی کمتر یا بیش از حدود نیاز، تحت تیمار قرار گیرد که باعث افزایش مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی مرتبط با استفاده ناکارآمد خاک و شرایط معمول منابع می‌شود (ریزاردی^۳، ۲۰۰۶). با توجه به ماهیت لکه‌ای بودن علف‌های هرز، می‌توان دریافت که مدیریت یک‌نواخت علف‌های هرز کل مزرعه باعث تحمیل مخارج غیر ضروری علف‌کش‌ها می‌شود. (در واقع، زمانی که، علف‌کش‌ها با نرخ یکسان در سراسر مزرعه استفاده می‌شوند، مناطق

علف‌های هرز از آغاز فعالیت کشاورزی یعنی در حدود ده هزار سال پیش با انسان همراه می‌باشند و کشاورزان از همان ابتدای عمل‌آوری محصولات کشاورزی، با مشکل رشد علف‌های هرز مواجه بوده‌اند. عمده‌ترین هدف انسان از کنترل علف‌های هرز آن است که بتواند عملکرد محصول را در طی سال‌های مختلف حفظ نماید. در اکوسیستم‌های کشاورزی، علف‌های هرز با محصول کشاورزی برای آب، نور خورشید، مواد مغذی و فضا رقابت می‌کنند و در نتیجه ظرفیت تولیدی سامانه کاهش پیدا می‌کند. اگرچه بیش‌تر علف‌کش‌ها به‌صورت یک‌نواخت در مزرعه اعمال می‌شوند، براساس شواهد موجود، علف‌های هرز به‌صورت مساوی در مزارع توزیع نشده‌اند. در واقع مطالعات متعدد

¹ Patching

² Marshall

³ Rizzardi

هنگام کاهش مصرف سم در مقایسه با کاربرد روش‌های سنتی، رشد بهتری دارد و گزارش دادند که اولتراسونیک‌ها عملکرد خوبی در تعیین علف‌های هرز بلند (بلند تر از گیاهان) و در مزارع زغال با تراکم پایین‌تر دارند.

تانگ ونگ‌کیت^۷ و همکاران (۲۰۰۶) استفاده از سامانه نرخ متغیر را با روش مدولاسیون عرض پالس (PWM)^۸ برای پاشش علف‌کش‌ها بین ردیف‌های نیشکر توسعه دادند. نتیجه‌ای که از این تحقیق بدست آمد، این بود که این سامانه نرخ پاشش متغیر علف‌کش، عملکرد رضایت بخشی تحت شرایط مزرعه داشت و با بکار بردن این سمپاش توسعه داده شده، مصرف مقدار علف‌کش‌ها حداقل ۲۰٪ کاهش پیدا کرد.

لیورنس^۹ و همکاران (۲۰۱۰)، عملکرد پاشش معمولی را با سامانه نرخ متغیر طراحی شده برای اندازه‌گیری تغییرات در ابعاد تاج در سه رقم تاک را در مراحل مختلف محصول مقایسه کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که به‌طور کلی میانگین مقدار صرفه‌جویی سم، حدود ۵۸٪ است که میزان قابل توجهی می‌باشد.

هدف اصلی این تحقیق، توسعه سامانه نرخ متغیر جریان است که موجب استفاده بهینه از علف‌کش در مزرعه شود. برای تحقق این هدف، سامانه الکترونیکی لازم طراحی و ساخته شده بر روی نازل مناسب مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت و سامانه مناسب انتخاب شد.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق دو سامانه به منظور کنترل نرخ جریان، مورد بررسی قرار گرفتند.

۲-۱- طراحی سامانه کنترل نازل با سیگنال تعدیل شده

قطعات اصلی این سامانه شامل واحد میکروکنترلر مبتنی بر ژنراتور سیگنال PWM، واحد محرک و شیر سلونوئیدی است (شکل ۱).

- میکروکنترلر

میکروکنترلر مورد استفاده در این تحقیق از نوع ATMEGA328 بود. هر سیگنال PWM به یک چرخه کار مشخص (DC) برای مطابقت با نرخ جریان نازل مربوط بود. فلوجارت برنامه میکروکنترلر برای تولید سیگنال‌های PWM با چرخه کار مورد نظر در شکل ۲ نشان داده شده است.

بدون علف‌های هرز و یا با تراکم پایین به‌رحال مورد پاشش قرار می‌گیرند). تنوع مکانی علف‌های هرز، درک عمومی از آفت‌کش‌ها و هزینه بالای مدیریت علف‌های هرز، منجر به توسعه سامانه‌های مدیریت علف هرز می‌شود تا علف‌کش‌ها با دقت بیشتری استفاده شوند. مرتبط کردن داده‌های عملکرد با نقشه‌های تغییرات مواد غذایی خاک در سراسر مزرعه، آغاز مفهوم جدیدی از مدیریت کشاورزی می‌باشد، که در حال حاضر، به‌طور کلی کشاورزی دقیق نام گرفته است. پیشرفت تکنولوژی اجازه داده است تا کشاورزی به سمت کشاورزی مکان ویژه سوق داده شود. کنترل منطبق با توزیع مکانی علف‌های هرز در مزارع کشاورزی می‌تواند مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی داشته باشد. بنابراین مدیریت علف هرز مکان ویژه (SSWM)^۱، حوزه پژوهشی بسیار فعالی می‌باشد. در مدیریت علف‌های هرز مکان ویژه از اطلاعات مکانی برای مکان‌یابی و تیمار علف‌های هرز استفاده می‌شود. با توجه به مطالعات فلتون^۲ و مک کلوی^۳ (۱۹۹۲) مزایای بالقوه SSWM شامل کاهش حجم پاشش، کاهش هزینه علف‌کش‌ها، کاهش زمان پرکردن مجدد مخزن، کاهش فشردگی خاک به دلیل تجهیزات سم‌پاشی سبک‌تر، کاهش پاشش غیر هدف و افزایش کنترل علف‌های هرز مقاوم می‌باشند. برخی از تحقیقات نشان داده‌اند که نرخ علف‌کش را می‌توان بدون کاهش کنترل علف‌های هرز یا کم کردن عملکرد محصول، کاهش داد. بنابراین نرخ علف‌کش در طول برنامه مکان ویژه، با توجه به میزان آلودگی به علف هرز، متنوع می‌باشد.

تاکنون پژوهش‌هایی در مورد طراحی و ساخت سامانه‌های نرخ متغیر در سمپاشی صورت انجام شده است. هنگ^۴ و همکاران (۲۰۱۱) برای سامانه نرخ متغیر از حسگر اولتراسونیک برای ارزیابی طولی و عرضی مزرعه استفاده کردند. در واقع هدف از این پژوهش، پاشش مواد سمی روی درختان بود که برای استفاده از سمپاش خودکار نرخ متغیر نیاز به اندازه‌گیری دقیق ساین تاج درخت بود. نتایج نشان داد که حسگر، در مناطق باز عملکرد ضعیفی دارد چرا که با کاهش درجه حرارت، میزان خطای سامانه افزایش می‌یابد، اما عوامل دیگری همانند گرد و غبار تاثیر معنی‌داری روی سامانه ندارند.

زمان^۵ و همکاران (۲۰۱۱) از سامانه نرخ متغیر خودکار (VRT)^۶ برای مزارع زغال اخته استفاده کردند. چرا که علف‌های هرز عامل اصلی محدود کننده عملکرد در مزرعه‌های زغال اخته وحشی می‌باشد. بر اساس آزمایش‌های مختلف روی گیاه، به این نتیجه رسیدند که گیاه،

¹Site- Specific Weed Management

²Felton

³McCloy

⁴Hang

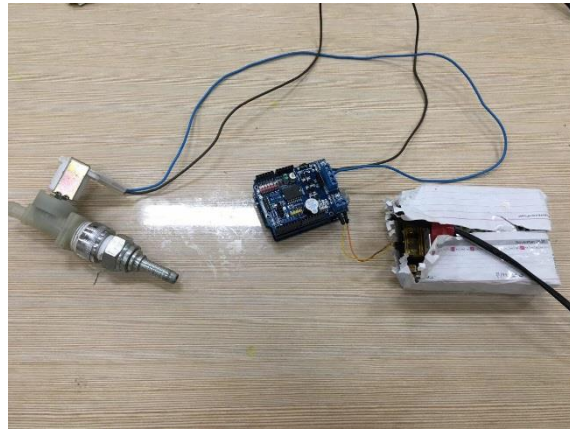
⁵Zaman

⁶Variable Rate Technology

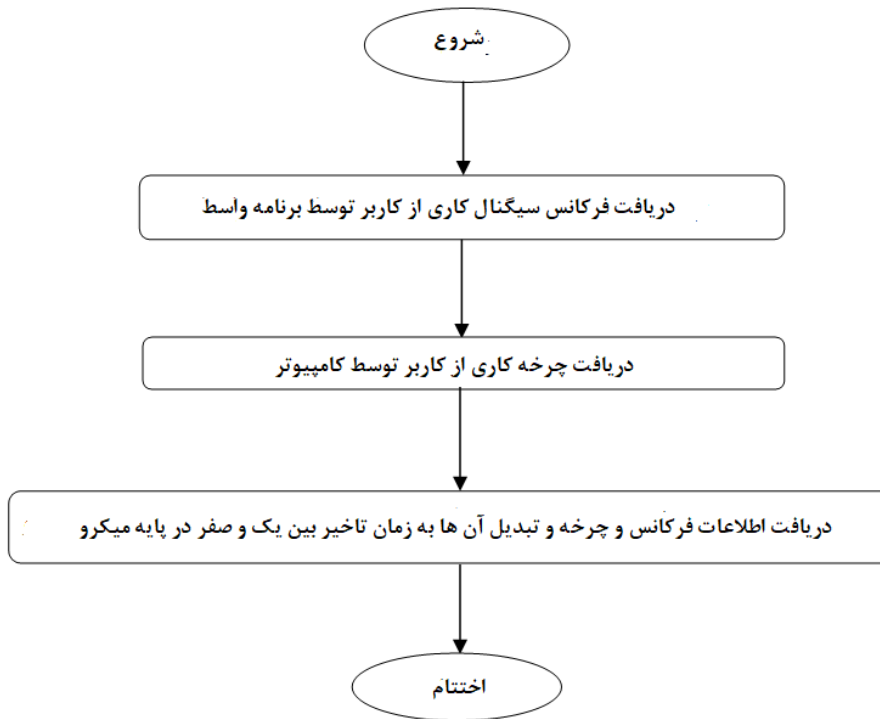
⁷Tangwongkit

⁸Pulse Width Modulation

⁹Llorens



شکل ۱- اجزای سامانه کنترل نازل با روش PWM

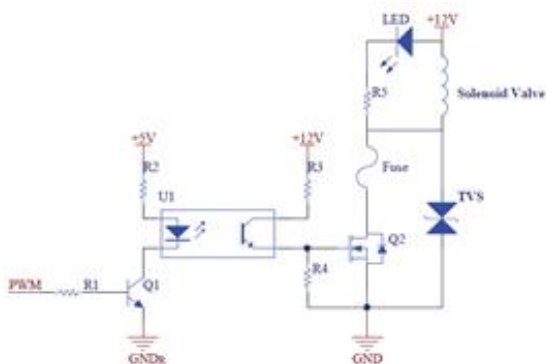


شکل ۲- فلوچارت نحوه تغییر چرخه و فرکانس در میکروکنترلر

-واحد محرک

میکروکنترلر با ولتاژ ۵ ولت را برای مطابقت با توان شیرهای برقی تقویت می‌کند (+۱۲V). واحد محرک مورد استفاده در این سامانه از نوع L298P بود. شکل ۳ واحد محرک را به همراه مدارش نشان می‌دهد.

دستورات ارسالی از میکروکنترلر به شیر ضعیف می‌باشد (به دلیل پایین بودن جریان خروجی از میکرو، حدود ۲۰ mA) و برای تحریک شیر کافی نمی‌باشد. به دلیل بالا بودن زمان پاسخ، مدار تحریک ترانزیستوری به کار برده شد که سیگنال‌های PWM ایجاد شده توسط



شکل ۳- واحد محرک و مدار آن

از مدولاسیون پالس کنترل می‌شود. در این روش، مقدار چرخه کار به صورت خطی متناسب با مقدار PWM تغییر می‌یابد (شکل ۴).

شیر سلونوئیدی

به منظور کنترل نازل از شیر سلونوئیدی استفاده شد. ولتاژ ورودی این شیر ۱۲ ولت جریان مستقیم است. بده خروجی شیرها با استفاده

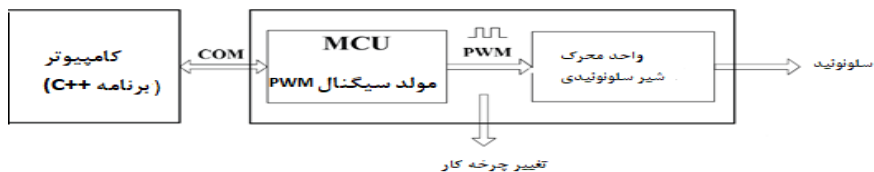
شکل ۴- شیر سلونوئیدی



فشارکاری، ۳ بار تکرار شد. برنامه‌ای در C++ برای مشخص کردن چرخه کار PWM نوشته شد که از طریق پورت COM روی میکروکنترلر بارگذاری شد. سپس سیگنال PWM ایجاد شده با فرکانس مشخص (۱۵،۱۰،۷،۳HZ) به مدار محرک شیر برقی انتقال یافت (شکل ۵).

۲-۲- بررسی عملکرد سامانه کنترل نازل با سیگنال تعدیل شده

به منظور بررسی دقت سامانه کنترل نرخ جریان، نرخ جریان نازل با تیپ ۱۱۰۰۶ برای پنج چرخه کار (۰،۷۰٪، ۰،۵۰٪، ۰،۳۰٪، ۰،۲۰٪) و سه فشار کاری (۴،۳،۲bar) با ۴ فرکانس مختلف (۱۵،۱۰،۷، ۳HZ) فشار اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری دبی برای هر چرخه کار و

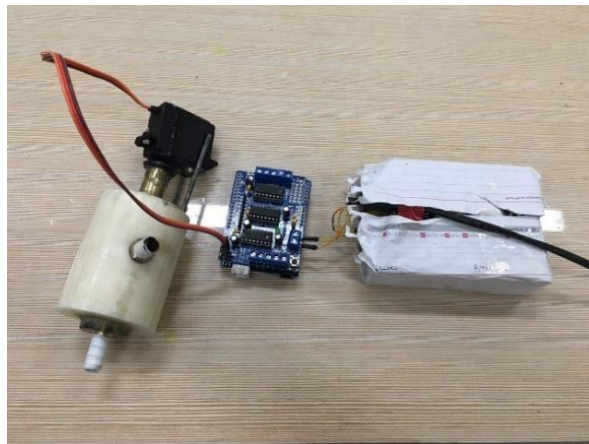


شکل ۵- دیاگرام ایجاد سیگنال PWM و انتقال آن به شیر

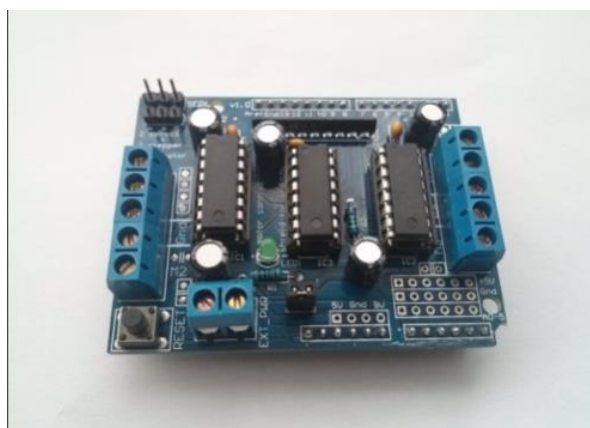
مورد استفاده مشابه میکرو کنترلر سامانه اول بود. لیکن از واحد محرک مخصوص سروو موتور و از نوع L293D در این سامانه استفاده شد (شکل ۷).

۲-۳- طراحی سامانه کنترل جریان

قطعات ماژول کنترل نرخ جریان شامل میکروکنترلر، واحد محرک مخصوص سروو موتور و شیر موتوردار است (شکل ۶). میکرو کنترلر



شکل ۶- اجزای سامانه کنترل جریان

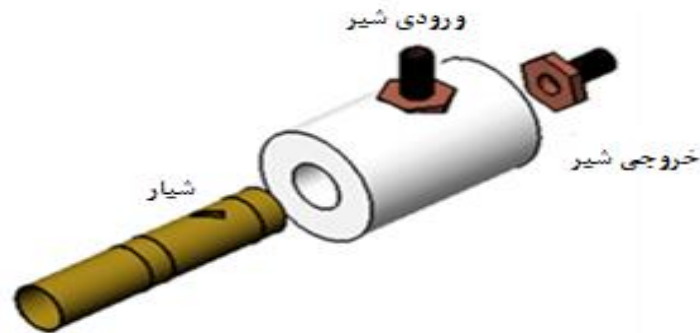


شکل ۷- مدار محرک L293D

موتور کنترل می‌شود. با تغییر میزان بازبودن دریچه، نرخ جریان کنترل می‌شود. بدین‌صورت که هنگامی که میزان چرخش سروو موتور تغییر می‌یابد، قسمت بیشتری از شیر در زیر دریچه ورودی شیر قرار می‌گیرد در نتیجه میزان آب بیشتری به دریچه خروجی رسیده و دبی افزایش می‌یابد.

شیر مورد استفاده در این سامانه از نوع شیر موتور دار بود. این شیر ابتدا در نرم‌افزار Solid-works طراحی و سپس ساخته شد (شکل ۸ و ۹).

همان‌طور که مشخص است، شیرموتوردار دارای یک ورودی و یک خروجی است. در زیر دریچه ورودی شیار قرار دارد که توسط سروو



شکل ۸- طرح شیر موتوردار ساخته شده



شکل ۹- مجموعه شیر کنترل جریان و نازل

۲-۵- نحوه بدست آوردن تصاویر الگوی پاشش

در این پژوهش، تصاویر پاشش برای نازل TeeJet در پنج چرخه کار و در سه فشار کاری برای هر چهار فرکانس در نرخ ۳۰ ثانیه/فریم با استفاده از یک دوربین ویدئویی دیجیتال با وضوح نسبتاً بالا برای سامانه اول گرفته شد (نیکون D7200). برای این کار، مقوای سیاهی در پشت نازل به عنوان تصویر پیش‌زمینه برای الگوهای پاشش تصاویر نصب شد. در این آزمایش مقداری شیر به-آب اضافه شد تا با پیش‌زمینه سیاه، الگوی پاشش با وضوح بیشتری ظاهر شود. شکل (۱۰) نحوه انجام کار را نشان می‌دهد.

۲-۴- بررسی عملکرد سامانه کنترل جریان

برنامه مربوط به شیر موتور دار با استفاده از برنامه ++C نوشته و اجرا شد و با استفاده از پورت COM در اختیار میکروکنترلر قرار گرفت. در این برنامه مقدار درجه‌ای که سروو موتور می‌چرخد مشخص شد. شیر موتوردار در چهار درجه ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۸۰ سروو - موتور و در سه فشار کاری ۲، ۳ و ۴ بار ارزیابی گردید. نرخ‌های جریان نازل Teeet برای هر آزمون با ۳ بار تکرار اندازه‌گیری شد.



شکل ۱۰- نحوه به دست آمدن تصاویر الگوی پاشش

تغییر فشار یک ایراد برای سامانه کنترل نرخ جریان با شیر موتوردار می‌باشد. چرا که در سم‌پاشی ثابت بودن فشار امری مهم می‌باشد. تغییر فشار الگوی پاشش را غیریک‌نواخت می‌کند. هم‌چنین اندازه ذرات را تغییر داده و موجب کاهش عملکرد دستگاه می‌شود. چرا که عملکرد پاشش بستگی به اندازه ذرات دارد. در نتیجه نمی‌توان شیر موتور دار را به صورت برخط در مزرعه به منظور کنترل نرخ جریان به کار برد. چرا که در هر بار تغییر درجه چرخش سروو موتور، نیاز به ثابت نگه داشتن فشار کاری خواهد بود. اگر بتوان مکانیزمی طراحی کرد که به طور خودکار موجب ثابت ماندن فشار دستگاه در حین کار شود، می‌توان شیر ساخته شده را برای سامانه کنترل نرخ جریان به کار گرفت. در نتیجه سامانه مورد نظر نیازمند اصلاحاتی به منظور افزایش عملکرد پاشش می‌باشد.

۳-۲- نتایج مربوط به سامانه کنترل نازل با سیگنال

تعدیل شده

همان‌طور که اشاره شد، شیر سولونوئیدی مربوط به این سامانه در فرکانس‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در نتیجه در ابتدا می‌بایست فرکانس مناسب برای شیر سولونوئیدی موجود، انتخاب می‌شد. برای اینکار داده‌های به دست آمده در فرکانس‌های مختلف مقایسه شدند. در فرکانس‌های بالامشخص شد که تغییرات دبی در بازه کوچکتی می‌باشد که به دلیل پایین بودن زمان پاسخ شیر سولونوئیدی بود. در فرکانس پایین‌تر، نوسانات فشار در چرخه‌های کار پایین قابل ملاحظه بود. نوسان فشار برای فرکانس پایین و در چرخه‌های کار پایین بدین علت است که میزانی از زمان که در طی آن شیر بسته است نسبت به چرخه‌های کار بالاتر، بیش‌تر است. لذا در این مدت جریان عبوری از نازل صفر بوده و در نتیجه فشار سامانه نیز صفر می‌شود. با باز شدن شیر، سیال از نازل خارج شده و فشار سامانه به فشار

بعد از آماده شدن تجهیزات مورد نیاز، دستگاه در سه فشار کاری مشخص شروع به کار کرد و از تصاویر پاشش عکس گرفته شد. در هر بار آزمایش، چرخه کار (۹۰%-۲۰) و فرکانس ۳، ۷، ۱۰ و ۱۵ هرتز نیز با استفاده از برنامه ++C تغییر داده شد. در نهایت ۴۸ تصویر از الگوهای پاشش به دست آمد. سپس تصاویر مورد تحلیل قرار گرفتند تا مشخص شود که چگونه نازل‌های پاشش با توجه به عمل پالس شیر، تنظیم می‌شوند

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج مربوط به سامانه کنترل جریان

رابطه خطی بین درجه چرخش سروو موتور و میانگین نرخ جریان سه تکرار برای نازل تی جت در فشارهای ۲، ۳ و ۴ بار در جدول ۱ نشان داده شده است.

معادله خطی بین درجه چرخش سروو موتور و نرخ جریان همانند رابطه ۱ می‌باشد:

$$Q = aD + b \quad (1)$$

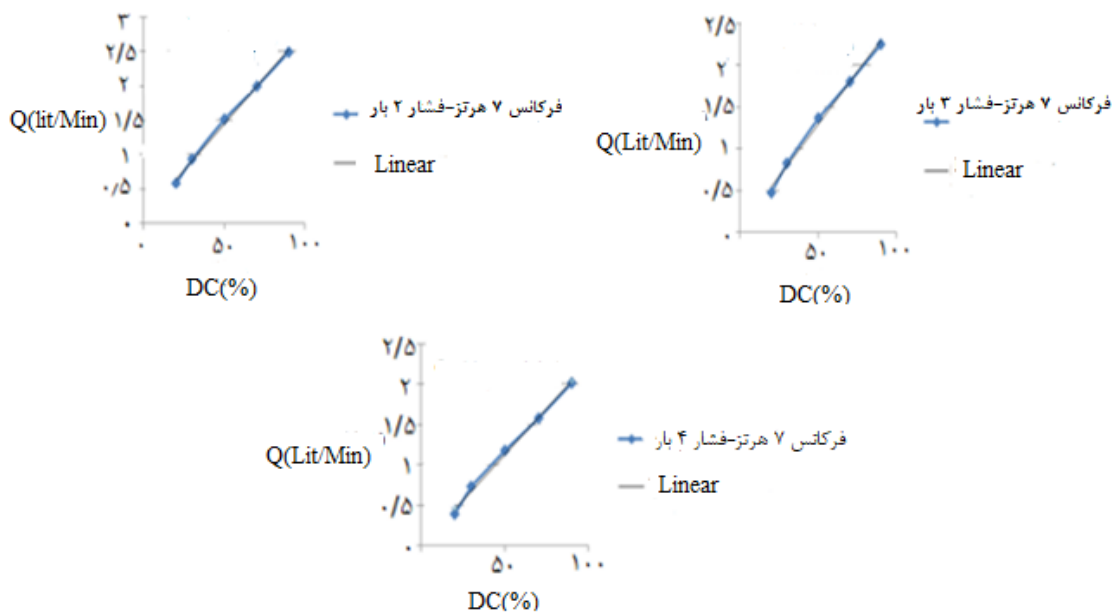
که در این رابطه D درجه چرخش سروو موتور (درجه)، Q نرخ جریان نازل (L/Min)، a, b ثابت‌های کالیبراسیون هستند. طبق رابطه (۱) با افزایش درجه چرخش سروو موتور، نرخ جریان نازل نیز افزایش می‌یابد. بنابراین بیش‌ترین نرخ جریان در زاویه ۹۰ درجه، زمانی که کل شیار زیر ورودی شیر قرار گرفته است، حاصل می‌شود. در فرکانس تعیین شده در ۳ فشار کاری و در ۵ چرخه‌کار هنگام تست شیرتویی، مشخص شد که هنگام تغییر درجه چرخش سروو موتور و در نتیجه میزان باز ماندگی شیار، تغییرات فشار تا ۰/۵ بار وجود دارد. در تمامی آزمون‌ها بعد از تغییر فشار، بازگرداندن فشار به فشار کاری مورد نظر به صورت دستی انجام شد و داده‌ها ثبت شد.

جدول ۱- معادلات رگرسیون دبی-درجه چرخش سروو موتور برای سه فشار کاری ۴، ۳، ۲ بار

| فشار (bar) | معادلات رگرسیون خطی |
|------------|--|
| ۲ | $Q = 0.02D + 0.01$ $R^2 = 0.9869$ |
| ۳ | $Q = 0.0227D + 0.0187$ $R^2 = 0.9795$ |
| ۴ | $Q = 0.0245D + 0.0101$ $R^2 = 0.9791$ |

رگرسیون و ضریب تبیین آن برای هر نمودار به دست آمد. شکل (۱۱) این نمودارها را نشان می‌دهد.

تنظیمی مورد نظر می‌رسد. با افزایش چرخه کار، مدت زمان بسته بودن شیر کاهش پیدا کرده و نوسان فشار از بین می‌رود. در نتیجه بهترین فرکانس برای سامانه مورد نظر فرکانس ۷ هرتز انتخاب شد. نمودار دبی چرخه کار در برنامه اکسل رسم شد و معادلات



شکل ۱۱- نمودارهای دبی- چرخه کار برای سه فشار کاری مختلف

همانطور که اشاره شد برای سامانه کنترل نازل با سیگنال تعدیل شده تصاویر پاشش در چرخه‌های کار مختلف و در فشارهای مختلف به دست آمدند. تصاویر موجود، با استفاده از نرم‌افزار متلب (MATLAB) به منظور تعیین تغییرات در زاویه پاشش، آنالیز شد. نمونه‌هایی از تصاویر به دست آمده برای فشار کاری مشخص در شکل ۱۲ قابل مشاهده می‌باشد.

پس از تعیین زاویه پاشش برای شرایط مختلف آزمایشی، داده‌های بدست آمده توسط آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با دو فاکتور چرخه کار در پنج سطح ۲۰،۳۰،۵۰،۷۰،۹۰ درصد و فشار در سه سطح ۲،۳ و ۴ بار تجزیه و تحلیل شد. میانگین زاویه پاشش بر اساس چرخه کار به وسیله آزمون دانکن مقایسه شد و نتایج در نمودار شکل ۱۳ آورده شده است. مطابق این نمودار، زاویه پاشش در چرخه کار ۹۰٪ از چرخه‌های کاری دیگر بیشتر می‌باشد. احمد و بودی (۱۹۸۱) ادعان داشتند که با افزایش خروجی نازل، زاویه پاشش افزایش می‌یابد میانگین زاویه پاشش بر اساس فشار نیز به وسیله آزمون دانکن مقایسه شد و نتایج در شکل ۱۴ آورده شده است. مطابق با این نمودار، زاویه پاشش با فشار ۴ bar از سایر فشارها بیش تر است. به‌طور میانگین با افزایش فشار از ۲ به ۴ بار، میزان زاویه پاشش ۹ درصد (۸/۲ درجه) افزایش یافته که نشان می‌دهد اثر فشار در مقایسه با چرخه کار بیش تر است.

۴- نتیجه گیری

- با تکنولوژی نرخ متغیر می‌توان مقدار دقیقی از مواد شیمیایی را برای مطابقت با تراکم علف هرز به‌منظور کاهش میزان مصرف علف‌کش و آلودگی محیط زیست، به کار برد.

- هنگام تغییر درجه چرخش سروموتور و در نتیجه میزان باز ماندگی شیر، در شیر سروموتور تغییرات فشار تا ۵/۰ بار وجود دارد که موجب کاهش عملکرد دستگاه می‌شود. چرا که عملکرد پاشش بستگی به اندازه ذرات دارد. در نتیجه نمی‌توان شیر موتوردار را به‌صورت برخط در مزرعه به منظور کنترل نرخ جریان به کار برد.

- سامانه کنترل نرخ جریان، سیگنال‌های PWM با پهناهای پالس متغیر ایجاد می‌کند و موجب تغییر نرخ جریان می‌شود. ژنراتور سیگنال PWM کنترل شده با میکروکنترلر، دقیقاً سیگنال‌های PWM با پهناهای پالس مورد نظر، برای مطابقت با چرخه کار معین، تولید می‌کند. در این تحقیق به‌وضوح دیده می‌شود که نرخ جریان نازل با چرخه کار کنترل شده با PWM در محدوده ۲۰٪ تا ۹۰٪ و فشار کاری در محدوده ۲ تا ۴ بار، افزایش می‌یابد.

- کنترل PWM قادر به تغییرات سریع و دقیق نرخ جریان گسترده بدون تغییر فشار کاری سم‌پاش است. کار در فشار ثابت، تغییرات در زاویه پاشش و اندازه قطرات را محدود می‌کند.

همان‌طور که از نمودارها مشخص است یک رابطه خطی بین میانگین نرخ جریان سه تکرار و چرخه کار برای نازل تی جت در فشارهای کاری ۲، ۳ و ۴ بار وجود دارد که در جدول ۲ برای فرکانس ۷ هرتز آورده شده است.

جدول ۲- معادلات رگرسیون دبی - چرخه کار برای ۳ فشار کاری مختلف در فرکانس ۷ هرتز

| معادلات رگرسیون خطی | فشار (bar) | فرکانس (HZ) |
|---|------------|-------------|
| $Q = 0.027DC + 0.0987$ $R^2 = 0.9962$ | ۲ | |
| $Q = 0.0249DC + 0.0458$ $R^2 = 0.9936$ | ۳ | ۷ |
| $Q = 0.0225DC + 0.0056$ $R^2 = 0.9944$ | ۴ | |

*حروف مشابه نشانگر عدم اختلاف معنی دار و حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ است.

همان‌طور که در معادلات مشخص است، یک رابطه خطی بین دبی و چرخه کار همانند رابطه ۲ وجود دارد:

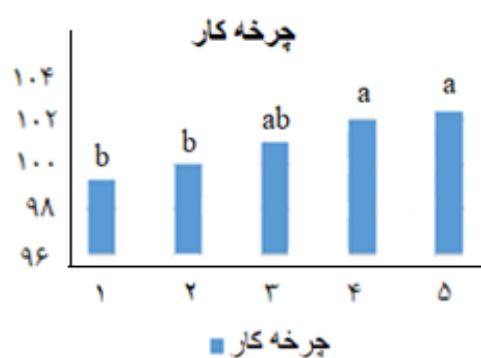
$$Q = cDC + d \quad (2)$$

که در این رابطه، Q نرخ جریان نازل ($L \cdot \text{Min}^{-1}$)، c, d ثابت‌های کالیبراسیون و DC چرخه کار کنترل شده با سیگنال PWM هستند. با توجه به این رابطه مشخص می‌شود که با افزایش چرخه کار (میزان زمان از یک سیکل که شیر باز است) دبی نیز متناسب با آن افزایش می‌یابد. پس حداکثر دبی در چرخه کار ۱۰۰٪ که شیر در کل سیکل باز می‌ماند، حاصل می‌شود. پس از بدست آوردن رابطه بین دبی و چرخه کار این معادله وارد کامپیوتر می‌شود و پس از تعیین دبی بر حسب میزان تراکم علف هرز، چرخه کار مربوط به آن بدست می‌آید.

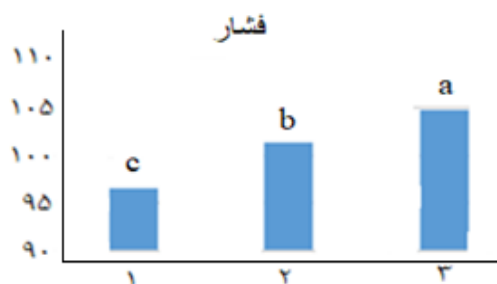
زمانی که نیاز به تغییر دبی و در نتیجه چرخه کار باشد، میکروکنترلر، دستور تغییر چرخه کار را از کامپیوتر گرفته و بر حسب آن چرخه کار را تغییر می‌دهد. پس تغییر نرخ دبی در مزرعه می‌تواند به‌صورت برخط انجام گیرد. بنابراین، دومین سامانه، نرخ جریان نازل‌های کنترل شده با سیگنال PWM را به‌صورت دقیق و خطی تنظیم می‌کند. لیو^{۱۳} و ژو^{۱۴} (۲۰۱۴) رابطه‌ای برای میزان دبی کنترل شده با PWM ارائه دادند و نشان دادند که افزایش چرخه کار، میزان دبی را افزایش می‌دهد.



شکل ۱۲- تصاویر پاشش در فرکانس ۷ هرتز و فشار کاری ۲ بار برای (الف) DC=۲۰٪ (ب) DC=۳۰٪ (ج) DC=۵۰٪ (د) DC=۷۰٪ (ه) DC=۹۰٪



شکل ۱۳- مقایسه میانگین زاویه پاشش در چرخه کار بر اساس آزمون دانکن*
حروف مشابه نشانگر عدم اختلاف معنی دار و حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ است.



شکل ۱۴- مقایسه میانگین نرخ جریان در فشار بر اساس آزمون دانکن*
حروف مشابه نشانگر عدم اختلاف معنی دار و حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪ است.

منابع مورد استفاده

- Felton, W. L. and McCloy, K. R. 1992. **Spot spraying. Agricultural Engineering**, 11: 9-12
- Hang, Z., Yubin, L., Wenfu, W. , Clin, H. , Yanbo, H., Xinyu, X. , Liang, J. and Fritz, B. 2010. **Development of a PWM Precision Spraying Controller for Unmanned Aerial Vehicles**. *Journal of Bionic Engineering* 7(2010), 276–283.
- Llorens, J., Gil, E., Llop, J. and Escolà, A. 2010. **Variable rate dosing in precision viticulture: use of electronic devices to improve application efficiency**. *Crop Protection* 29(3).
- Liu, H. Zhu, H. Shen, Y. Chen, Y. and H. Ozkan, H.E. 2014. **Development of Digital Flow Control System for Multi-Channel Variable-Rate Sprayers**. *Transactions of the ASABE* 57(1): 273-281.
- Marshall, E. J. P. 1988. **Field-scale estimates of grass weed populations in arable land**. *Weed Research*. 28: 191-198.
- Rizzardi, K. 2006. **Site-specific weed management in peanut**. (ARACHIS HYPOGAEA L. pp.123).
- Tangwongkit, R. ,Salokhe, V. ,Jayasuriya, H. 2006. **Development of a real-time, variable rate herbicide applicator using machine vision for between-row weeding of sugarcane fields**. *Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal*.
- Zaman, Q.U., Esau, T.J., Schumann, A.W., Percival, D.C., Chang Y.K. and Read S.M. 2011. **Development of prototype automated variable rate sprayer for real-time spot-application of agrochemicals in wild blueberry fields**. *Computers and electronics in agriculture*. 76(2):175-82.

Design, Construction and Evaluation of Variable Rate Spraying System for Weed Controlling

A. Lak^{1*}, H. Behfar² and SH. Abdollahpour³

Received: 12 March 2017

Accepted: 15 October 2017

¹Master student of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding Author: E-mail: Arezoolak71@gmail.com

Abstract

In the past decades, herbicides were generally applied at a uniform rate to the entire field. But uniform application causes environmental problems such as soil and groundwater pollution and economic problems. General concern about the negative effects of using herbicide was resulted to the development of a new herbicide application system. Variable flow rate technology is being used extensively in precision agriculture. But, it is not developed sufficiently in our country. In this study two types of systems were designed to achieve a suitable variable rate spraying system. For the first step, motorized valve was utilized. Laboratory tests were conducted with TeeJet nozzle at three different operating pressure levels (2 to 4 bar) and four rotational positions of a servo motor (30, 45, 60, 80 degrees). The performance reduction of the machine due to the pressure variations is one of the disadvantages of this system. The pressure variations caused the spray pattern to be non-uniformed and it also affected the droplet size. For the second tests, a solenoid valve was used which was controlled by pulse width modulation. The duty cycle and operating pressure as effective factors were examined on the spraying angle. The experiments were performed in the form of factorial based on completely randomized design in three replications. The spraying angle measured at five levels in the combined treatment of the duty cycle (20%, 30%, 50%, 70%, 90%) and operating pressure at three levels (2, 3, 4 bar). The duty cycle and pressure had a positive effect on spraying angle and flow rate as well. The spraying angle variation was just 3% when the duty cycle was changed from 20% to 90%.

Keyword: Variable rate spraying system, Duty cycle, Spraying angle, Pulse width modulation