

## طراحی و ساخت سامانه تثبیت کننده الگوی پاشش افشانک هیدرولیکی

سعید علی عسگریان<sup>۱\*</sup>، حمیدرضا قاسم زاده<sup>۱</sup>، منوچهر بهرامی<sup>۲</sup>، عباس همت<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۲۲

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- گروه مهندسی برق، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

\*مسئول مکاتبه E-mail: saeed.aliasgarian@tabrizu.ac.ir

### چکیده

سمپاش‌های بوم بلند به عنوان ماشین‌هایی با کارایی بالا قابلیت انجام عملیات سمپاشی در بازه زمانی مناسب را برای کشاورزان فراهم می‌آورند. علیرغم مطالعات گسترده در زمینه بهبود عملکرد پاششی هنوز ناهمگنی الگوی پاشش ناشی از ارتعاشات بوم به عنوان مشکلی جدی مطرح است. در این مطالعه هدف کنترل عملکرد پاششی افشانک از طریق تغییر زاویه پاشش متناسب با تغییرات ارتفاع ناشی از حرکت عمودی افشانک بود. تغییر زاویه پاشش از طریق تغییر فشار سیال ورودی به افشانک انجام شد. برای داشتن نرخ پاشش ثابت بدون توجه به تغییرات فشار از روش کنترل جریان مدولاسیون پهنای پالس استفاده گردید. برنامه کنترل‌کننده فشار و نرخ پاشش سیال به‌عنوان تابعی از ارتفاع افشانک در محیط نرم‌افزار LabVIEW توسعه داده شد. به منظور ارزیابی سامانه، فشار کاری و زاویه پاشش افشانک در حین عملیات به ترتیب با فشار و زاویه پاشش هدف مقایسه شد. آزمون مقایسه میانگین و همچنین بررسی مشابهت توزیع فشار هدف و فشار کاری سامانه توسط آزمون کلموگروف اسمیرنوف توانایی نسبی سامانه در فراهم آوردن فشار هدف را نشان داد. آزمون T در ۷۸ درصد ارتفاع‌های اندازه‌گیری عدم اختلاف معنی‌دار برای زوایای پاشش عملیاتی در سطح احتمال ۵ درصد را نشان داد. همچنین نتایج آزمون کلموگروف اسمیرنوف اختلاف معنی‌دار توزیع زوایای پاشش عملیاتی متوسط و زوایای پاشش هدف در سطح احتمال ۱ درصد را نشان داد. بنابراین به نظر می‌رسد با توجه به وجود فشار کاری مناسب در سامانه با بکارگیری افشانک‌های سازگارتر و نیز کاهش تاخیر عملیاتی سامانه نتایج نسبتاً بهتری قابل انتظار باشد.

کلید واژه: زاویه پاشش، فشار سیال، کنترل فشار، مدولاسیون پهنای پالس

## Design and Development of a Hydraulic Nozzle Spray Pattern `Stabilization System

Saeed Aliasgarian<sup>1</sup>, Hamid Reza Ghassemzadeh<sup>1</sup>, Manouchehr Bahrami<sup>2</sup>, and Abbas Hemmat<sup>3</sup>

Received: 16 Dec 2021

Accepted: 13 July 2021

<sup>1</sup>Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Electrical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>3</sup>Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

\*Corresponding author: E-mail: saeed.aliasgarian@tabrizu.ac.ir

### Abstract

Long boom sprayers as efficient and high-performance machines enable farmers to carry out crop protection within a reasonable period. Despite many pieces of research, heterogeneity in spray pattern due to boom vibration remains a major challenge. In the present research, the feasibility of adjusting spray angle through pressure variation in conjunction with spray rate control using a pulse width modulation (PWM) to accomplish desired spray pattern was investigated. A program developed via LabVIEW software to control the spray pressure along with spray rate as a function of nozzle height. System evaluation was done by comparison the operational pressure and nozzle spray angle during the test with expected pressure and spray angle, respectively. Mean comparison test and also examination the similarity of the target pressure and the working pressure distributions by Kolmogorov-Smirnov test showed the relative ability of the system to produce the target pressure. T-Test result shows insignificant difference (5% probability level) for operational spray angle in 78% of measurement height. The result of Kolmogorov-Smirnov test showed significant difference (1% probability level) between the distribution of average operational spray angle and goal spray angle. Therefore, considering the existence of target pressure in the system, it is concluded that by using more compatible nozzle and reducing the system operational delay better results can be expected.

**Keywords:** Fan angle, Fluid pressure, Pressure control, Pulse width modulation

### How to cite:

Aliasgarian S. A., Ghassemzadeh H. R., Bahrami M. and Hemmat A. 2022. *Design and Development of a Hydraulic Nozzle Spray Pattern `Stabilization System*. Journal of Agricultural Mechanization 7 (1):13-21.

## ۱- مقدمه

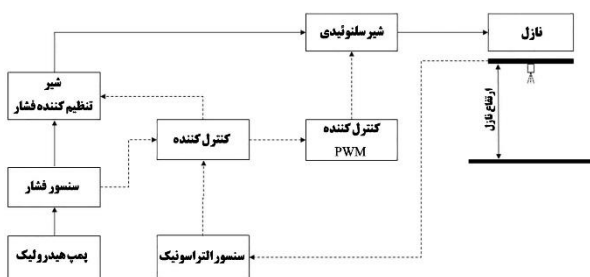
سمپاشی مورد توجه قرار گرفته است. Ghasemzadeh & Humburg (2016) روشی برای بهبود عملکرد پاششی در شرایط نوسانات عمودی بوم پیشنهاد کردند. در این روش اصلاح الگوی پاشش با تغییر زاویه پاشش متناسب با تغییرات ارتفاع افشانک صورت می‌گیرد که تغییر زاویه پاشش توسط کنترل فشار سیال انجام می‌شود. همچنین تامین نرخ پاشش هدف به‌طور همزمان و با بکارگیری مدولاسیون پهنای پالس (PWM) انجام می‌شود. در روش PWM با تغییر میزان مقاومت شیر در برابر سیال عبوری می‌توان کنترل جریان و فشار سیال را به‌طور مستقل از یکدیگر انجام داد (Mercaldi et al., 2017). سمپاش‌های مجهز به PWM روشی جایگزین برای کنترل نرخ کاربرد سموم و در عین حال ثابت نگهداشتن فشار کاری و اندازه قطرات پاششی در گستره‌ای از سرعت‌های کاری را ارائه می‌دهند (Butts et al., 2019).

هدف از مطالعه حاضر بررسی امکان کنترل زاویه پاشش با تغییر فشار پاشش به عنوان تابعی از ارتفاع افشانک به منظور دستیابی به الگو و نرخ پاشش مطلوب بوده است. همزمان با کنترل فشار پاششی تنظیم نرخ پاشش با استفاده از روش PWM انجام شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- تجهیزات مورد استفاده

سامانه پیشنهادی شامل افشانک بادبزی (مدل XR11002)، مبدل التراسونیک (مدل SRF05)، پمپ هیدرولیکی، حسگر فشار (Trafag- 8287)، تنظیم‌کننده فشار (شیر پروانه‌ای RDS)، شیر سلنئیدی کنترل جهت (Burkert- model 200) و کنترل‌کننده (Arduino- Mega2560) است. نمودار بلوکی سامانه پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودار بلوکی سامانه تثبیت کننده الگوی پاشش افشانک

Fig 1. A block diagram of nozzle spray pattern stabilization system

Teejet- XR11002 افشانکی سازگار با مکانیزم کنترل جریان PWM با توزیع پاشش رضایت‌بخش در گستره‌ی وسیعی از فشارهای کاری است (Anonymous, 2016). دامنه اندازه‌گیری مبدل فراصوت انتخابی ۲۰ تا ۴۵۰۰ میلی‌متر با دقت ۲ میلی‌متر است.

امروزه برای تولید بهینه و نیز محافظت از محصولات کشاورزی کاربرد مواد شیمیایی ضروری است (Herbst et al., 2015). صرف نظر از هزینه‌های هنگفت استفاده از مواد شیمیایی، نگرانی‌ها در مورد مخاطرات بکارگیری این مواد برای سلامتی انسان و هشداری زیست محیطی به‌طور فزاینده‌ای رو به افزایش است (Mercaldi et al., 2017; Daam et al., 2019; Liao et al., 2019; de Souza et al., 2020). با افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، استفاده از ماشین‌آلات با کارایی بالاتر اجتناب‌ناپذیر است. این ضرورت در سمپاش‌های بوم‌دار با افزایش عرض کاری پاسخ داده شده است. در سمپاش‌های بوم بلند تلاطم‌های ملایم ماشین، نوسانات شدید در انتهای بوم را به‌دنبال دارد (Clijmans et al., 2000) و به‌همین دلیل رفتار دینامیکی این سمپاش‌ها مسئله‌ای حیاتی است. (Anthonis et al., 2005) مهم‌ترین حرکات ارتعاشی تاثیرگذار بوم روی الگوی پاشش را به دو دسته حرکات متقارن یا نامتقارن در صفحه افقی و حرکات دورانی حول محور طولی در جهت حرکت طبقه بندی کرده اند. تاثیر نوسانات در انتهای بوم ناهمگنی پاشش در سطح مزرعه خواهد بود (Langenakens et al., 1999; Dou et al., 2021). (Lebeau et al., 2004) به منظور جبران حرکات افقی ناخواسته نازل بر توزیع پاشش طولی یک سامانه کنترلی شامل مجموعه‌ای از قوانین (قوانین توصیف کننده ارتباط بین سرعت نازل، جریان نازل و نشست پاشش)، اندازه‌گیری آنی تغییرات سرعت افقی بوم و مکانیزم کنترل جریان نازل با استفاده از مدولاسیون پهنای پالس را توسعه دادند.

در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری عمدتاً در زمینه شبیه‌سازی رفتار دینامیکی سمپاش‌های بوم‌دار، طراحی، ساخت و بهینه‌سازی سیستم‌های تعلیق انجام شده است اما با وجود این تلاش‌ها عملکرد سمپاش هنوز با چالش‌های جدی روبرو است (Balsari et al., 2017). (Lardoux et al., 2007) تاثیر نوسانات بوم بر روی توزیع پاشش را مورد مطالعه قرار داد که نتایج نشان‌دهنده افزایش ناهمگنی توزیع پاشش به‌دنبال نوسانات بوم بود. مطالعه مزرعه‌ای تاثیر نوع و ارتفاع نازل بر نرخ مصرف و توزیع پاشش در یک سمپاش بوم‌دار مجهز به نازل‌های بادبزی مسطح و مخروطی توخالی نشان داد که یکنواختی توزیع و همچنین خطای نرخ کاربرد با ارتفاع نازل متناسب بوده و افزایش ارتفاع پاشش بالا رفتن یکنواختی پاشش و همچنین خطای نرخ کاربرد بیشتر را به دنبال دارد (Al-Gaadi, 2010). مرور مطالعات انجام شده در زمینه بهبود عملکرد پاششی در شرایط نوسانات مزرعه‌ای نشان می‌دهد که عملکرد پاششی افشانک کمتر به‌عنوان ابزاری برای غلبه بر ناهمگنی توزیع پاشش در حین عملیات

$$\alpha = 86.48 - 1.1H + 0.54w \quad (1)$$

که در این رابطه H ارتفاع افشانک بر حسب سانتی متر، w عرض پاشش بر اساس سانتی متر و  $\alpha$  زاویه پاشش بر حسب درجه است.

رابطه (۲) فشار هدف در ارتفاع‌های مختلف عملیاتی برای تامین زاویه پاشش مناسب را برآورد می‌کند ( $R^2 = 0/99$ ).

$$P = 2024.88 - 2.521\alpha - 0.997\alpha^2 + 0.0103\alpha^3 \quad (2)$$

که در این رابطه  $\alpha$  و P به ترتیب زاویه پاشش بر حسب درجه و فشار سیال بر حسب میلی‌بار است.

رابطه بین فشار سیال (P)، نرخ جریان (F) و سیکل کاری (D) در رابطه (۳) بیان شده است ( $R^2 = 0/97$ ). در این رابطه فشار در گستره ۰/۵ تا ۴/۵ بار، سیکل کاری در گستره ۱۰ تا ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده است.

$$D = 140.5 + 8.8P - \frac{298.7}{F} - 1.1P^3 + \frac{725.1}{F^2} - \quad (3)$$

$$535 \frac{P}{F} + 2.5P^3 - \frac{1597.4}{F^3} + 788.9 \frac{P}{F^2} + 45.7 \frac{P^3}{F}$$

که در این رابطه P، F و D به ترتیب فشار سیال بر حسب بار، نرخ جریان بر حسب میلی‌لیتر بر ثانیه و سیکل کاری بر حسب درصد است. برآورد روابط با استفاده از نرم افزار DataFit 9 انجام شد.

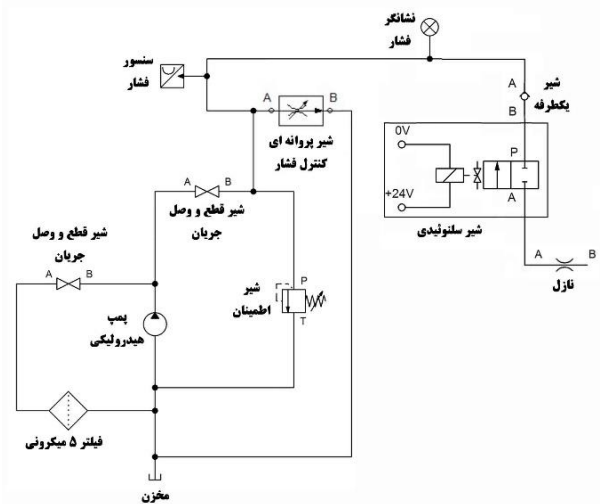
## ۲-۴- طراحی نرم افزار

نرم افزار LabVIEW به منظور پیاده‌سازی و کنترل فرآیند در سامانه پیشنهادی در نظر گرفته شد. همانگونه که در فلوجارت برنامه (شکل ۳) نشان داده شده است، به منظور اصلاح سیگنال‌ها و حذف اثرات نویز فیلتر میانگین متحرک بر روی داده‌های دریافتی از حسگرهای فشار و فراصوت اعمال شد. فشار مورد نیاز برای دستیابی به زاویه پاشش مطلوب بر اساس ارتفاع افشانک محاسبه گردید. پس از مقایسه فشار محاسباتی و فشار موجود در سامانه، دستور مناسب شامل باز، بسته یا تثبیت موقعیت تنظیم کننده فشار ارسال می‌شود. در فرآیندی همزمان، مقدار سیکل کاری به منظور دستیابی به نرخ پاشش هدف با توجه به فشار محاسباتی تعیین و سیگنال PWM مربوطه به شیر سلنوییدی ارسال می‌شود. مولفه فرکانسی سیگنال PWM برابر با ۱۰ هرتز در نظر گرفته شد که فرکانس کاری معمول در سمپاش‌های کشاورزی است (Butts et al., 2019).

گستره‌ی اندازه‌گیری حسگر فشار ۰ تا ۱۰ بار با دقت اندازه‌گیری برابر با ۰/۵ درصد گستره فشار کاری بود. شیر سلنوییدی مورد استفاده در حالت معمول بسته، با گستره فشار کاری صفر تا ۶ بار بود. زمان پاسخ شیر سلنوییدی در مراحل باز و بسته شدن به ترتیب برابر ۵ تا ۱۸ و ۸ میلی‌ثانیه و نرخ کاری شیر ۱۰۰۰ سیکل بر دقیقه بود. بر اساس آزمون‌های اولیه بهترین زمان تحریک برای تنظیم‌کننده فشار برابر با ۵۰ میلی‌ثانیه تعیین شد.

## ۲-۲- هیدرولیک

مدار هیدرولیک سامانه در شکل ۲ نشان داده شده است. برای تامین جریان سیال از پمپ محیطی دیزل‌ساز مدل DM80 استفاده شد. محافظت از بخش‌های الکتروهیدرولیکی در برابر آلودگی‌ها توسط فیلتر ۲۰ میکرون به همراه شیر اطمینان در خط کنارگذر انجام شد. فشار باز شدن شیر اطمینان روی ۴/۵ بار تنظیم شد. برای جلوگیری از ضربه قوچ در سامانه قبل از شیر سلنوییدی از یک شیر یک‌طرفه استفاده گردید.

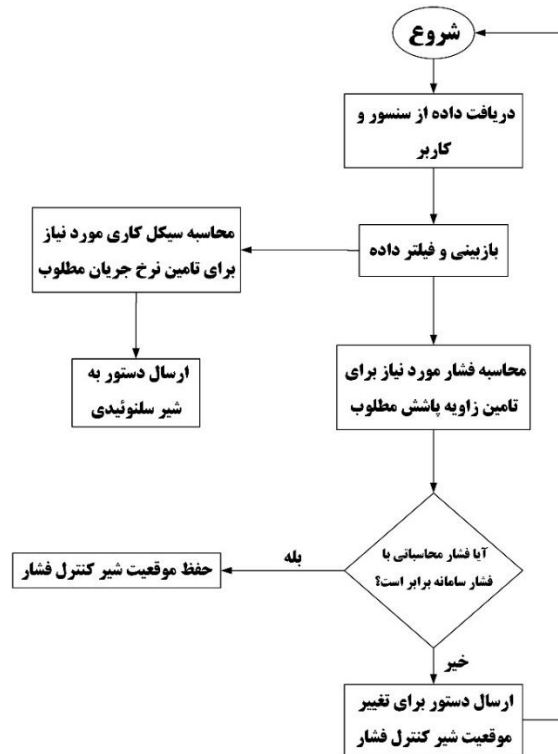


شکل ۲- مدار هیدرولیکی سامانه پیشنهادی

Fig 2. Hydraulic circuit diagram of the proposed system

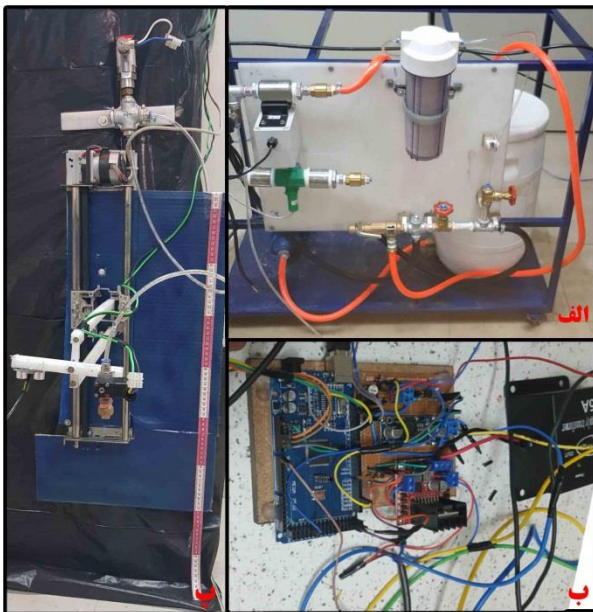
## ۲-۳- پارامترها و روابط

به منظور تعیین مقدار ایده‌آل زاویه پاشش، در ارتفاع‌های مختلف فشار افشانک تا رسیدن به عرض پاشش مورد نظر تغییر داده شد و سپس زاویه پاشش مربوطه (زاویه پاشش هدف) اندازه‌گیری گردید. از برنامه پردازش تصویر Image Pro Plus برای اندازه‌گیری زاویه پاشش در تصاویر گرفته شده در حین عملیات استفاده شد (Dorr et al., 2013). مدل منحنی خطی ( $R^2 = 0/97$ ) برآورد شده در رابطه (۱) نشان داده شده است.



شکل ۳- فلوچارت برنامه کنترلی پیاده سازی شده

Fig 3. Implemented Control Application flowchart



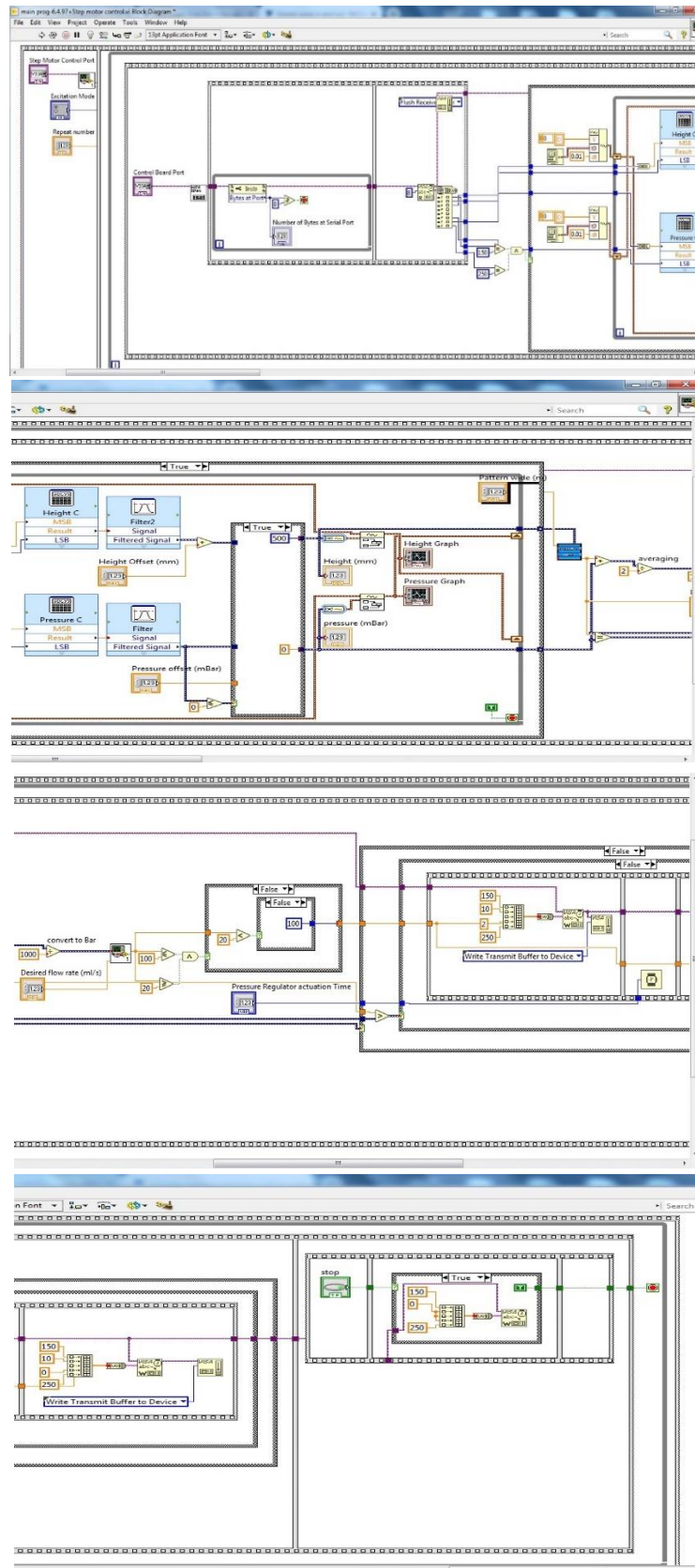
شکل ۴- سامانه طراحی شده (الف) پنل هیدرولیکی (ب) مدار الکترونیکی (پ) پایه حمل کننده افشانک

Fig 4. Designed system a) hydraulic panel b) electronic circuit c) nozzle carrier stand

واسط کاربری به منظور نمایش مقادیر عددی پارامترها و نیز نمودارهای مرتبط در حین فرآیند کنترل توسط نرم افزار LabVIEW طراحی شد. داده‌های بدست آمده از آزمایش در قالب فایل اکسل و با نرخ نمونه برداری ۲۰ نمونه بر ثانیه ذخیره شد. نمایی از بلوک دیاگرام برنامه در شکل ۵ نشان داده شده است.

### ۵-۲- ارزیابی سامانه

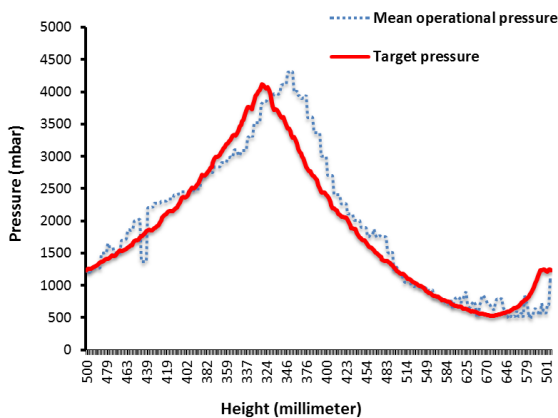
مجموعه شبیه سازی شامل موتور پله‌ای برای تغییر موقعیت عمودی افشانک مورد استفاده قرار گرفت. این مجموعه قادر به حمل افشانک نصب شده در راستای عمودی در گستره فرکانسی ۰/۰۳۸ تا ۰/۲۳۱ هرتز و در محدود ارتفاعی مورد آزمون یعنی ۲۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر بود. در عملیات معمول سمپاشی حداقل ارتفاع پاشش برای افشانک با زاویه پاشش ۱۱۰ درجه برابر با ۴۰ سانتی‌متر توصیه شده است (Anonymous, 2016). سامانه طراحی شده در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- Control Panel برنامه در محیط LabVIEW  
 Fig 5. Application control panel in LabVIEW environment

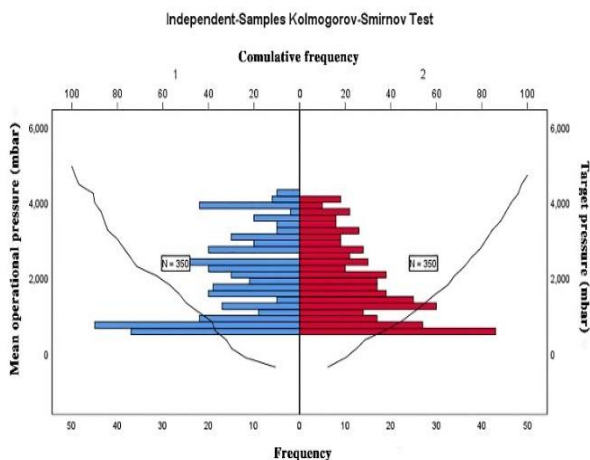
جدول ۱- نتایج آزمون کلموگروف اسمیرنوف در بررسی  
مشابهت توزیع نمونه های فشار عملیاتی متوسط و فشار هدف  
**Table 1. Kolmogorov-Smirnov result for  
similarity distribution determination of mean  
operational pressure and goal pressure samples**

700	تعداد نمونه Total N	
0.094	مطلق Absolute	بیشترین اختلاف Most Extreme Differences
0.049	مثبت Positive	
-0.094	منفی Negative	
1.247	آماره آزمون Test Statistic	
0.089	Sig. (آزمون دوطرفه) Asymptotic Sig. (2-sided test)	



شکل ۶- مقایسه فشار عملیاتی متوسط و فشار هدف

**Fig 6. Comparison of mean operational pressure and target pressure**



شکل ۷- توزیع فشارهای عملیاتی متوسط (آبی) و فشارهای هدف

**Fig 7. Mean operational pressures (blue) and target pressures (red) Distribution**

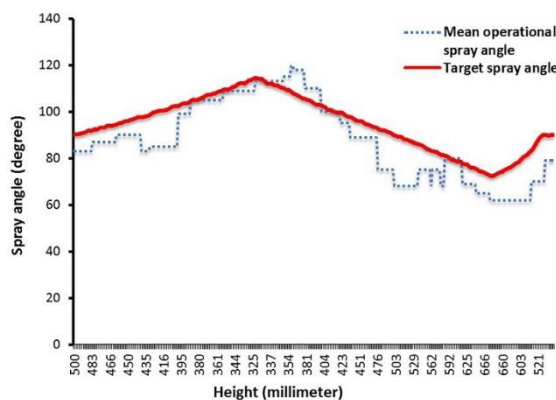
به منظور آزمون سامانه، پمپ هیدرولیکی راه اندازی و افشانک در موقعیت ثابت در وضعیت باز قرار گرفت. پس از شروع پاشش و قرارگرفتن سامانه در وضعیت کاری نرمال افشانک در شرایط شبیه سازی نوسانات حرکتی قرار داده شد. شبیه سازی حرکتی به صورت حرکت رفت و برگشتی و شروع حرکت از ارتفاع ۵۰ سانتی متری سطح پاشش بود. افشانک پس از حرکت به سمت پایین در ارتفاع ۳۰ سانتی متری سطح متوقف و با تغییر جهت حرکت به سمت بالا حرکت می کرد. پس از رسیدن افشانک به ارتفاع ۷۰ سانتی متری سطح، حرکت متوقف و با تغییر جهت حرکت افشانک دوباره به موقعیت اولیه یعنی ارتفاع ۵۰ سانتی متری سطح باز می گشت. این کورس حرکتی به طور پیوسته ۱۵ بار تکرار گردید.

فشار افشانک (فشار عملیاتی) و زاویه پاشش متناظر برای ارتفاع های از پیش تعیین شده افشانک ارزیابی شد. آزمایشی برای ارزیابی قابلیت کنترلی سامانه در تغییر فشار متناسب با تغییرات ارتفاع افشانک طراحی گردید. برای این منظور آزمون T تک نمونه ای با ۱۵ تکرار در هر یک از ارتفاع های مدنظر انجام شد و در هر ارتفاع مقدار فشار هدف به عنوان مقدار آزمون در نظر گرفته شد. همچنین با بکارگیری آزمون کلموگروف اسمیرنوف دو نمونه ای شباهت توزیع مجموعه های فشار عملیاتی متوسط و فشارهای هدف بررسی شد. ارزیابی زاویه پاشش نیز به روش مشابه صورت پذیرفت. برای تحلیل آماری از نرم افزار SPSS 16.0 استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمون T در ۹۶ درصد ارتفاع های مدنظر در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری برای فشارهای عملیاتی اندازه گیری شده مشاهده نشد و نیز بقیه سطوح ارتفاعی در گستره مشخصی قرار نداشتند و به طور تصادفی توزیع شده بودند. بنابراین اینگونه می توان نتیجه گرفت که عملکرد سامانه در تامین فشار هدف تحت تاثیر تغییرات ارتفاع نبوده است. در مقایسه فشار هدف و فشار عملیاتی متوسط در ارتفاع های مختلف (شکل ۶)، بیشترین عدم تطابق بعد از نقاط تغییر جهت حرکتی افشانک شامل ارتفاع های ۳۷۳ و ۶۷۷ میلی متر مشاهده شد که اختلاف فشار متناظر با این نقاط به ترتیب برابر ۱۱۱۱/۹۸ و ۶۸۷/۳۹ میلی بار بود. این گونه به نظر می رسد که اختلافات مشاهده شده به دلیل تاخیر سامانه در پاسخ به تغییر جهت حرکت ایجاد شده است ولی توانایی سامانه در جبران اختلافات واضح است. بر اساس نتایج بدست آمده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف فرض صفر آزمون یعنی مشابهت توزیع نمونه های فشار عملیاتی متوسط و فشار هدف رد نشد و توزیع این دو نمونه در سطح احتمال ۵ درصد فاقد اختلاف معنی دار بود (جدول ۱). مشابهت دو توزیع در شکل ۷ قابل مشاهده است.

سامانه طراحی شده در تامین فشار هدف نسبتاً موفق بوده است ولی در تامین زاویه پاشش هدف عملکرد قابل قبولی نداشته است. Dorr et al., 2013 امکان تغییر مشخصات پاششی شامل اندازه و سرعت ذرات، چگالی سیال و زاویه پاشش بسته به طراحی افشانک، پارامترهای عملیاتی و فرمول پاشش را گزارش کرده است. بنابراین با توجه به وجود فشار هدف در محل افشانک، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که عملکرد افشانک در تامین زاویه پاشش مد نظر رضایت‌بخش نبوده است. البته با توجه به فلسفه عملکردی طراحی افشانک‌های متداول، این عملکرد دور از انتظار نمی‌باشد. تولیدکنندگان افشانک‌های بادبزی به دنبال تثبیت زاویه پاشش با وجود تغییرات محتمل در فشار کاری سمپاش حین عملیات مزرعه‌ای می‌باشند (Anonymous, 2016). افشانک در شرایط تغییر فشار، در برابر تغییر زاویه پاشش مقاومت می‌کنند و تغییرات مشاهده شده زاویه پاشش به شکل پله‌ای اتفاق می‌افتد (شکل ۹). بنابراین می‌توان گفت که در روش پیشنهادی استفاده از افشانک با قابلیت زاویه پاشش متغیر به منظور عکس‌العمل سریع و متناسب در مقابل تغییرات فشار سیال ایده‌آل است. بنابراین کنترل دقیق فشار سامانه از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا فشار نامناسب به شکل نامطلوبی عملکرد پاششی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. (Dorr et al., 2013) از نوع و موقعیت افشانک و همچنین ارتفاع، فشار و نرخ جریان پاشش به عنوان فاکتورهای عملیاتی تاثیرگذار بر روی توزیع قطرات پاششی یاد کرده است. همچنین نقص در تولید روزنه افشانک‌های هیدرولیکی، خوردگی ناشی از استفاده طولانی مدت، آسیب‌های ایجاد شده در بدنه افشانک در طول زمان، خطا در نصب افشانک و مشکلات آب‌بندی از جمله فاکتورهای ساختاری ایجادکننده اختلال در زاویه پاشش می‌باشند (Topark et al., 2019). بنابراین، به نظر می‌رسد که در روش پیشنهادی انتخاب و نصب افشانک و همچنین چکاپ دوره‌ای دقیق از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل ۹- مقایسه زاویه پاشش عملیاتی متوسط و زاویه پاشش هدف

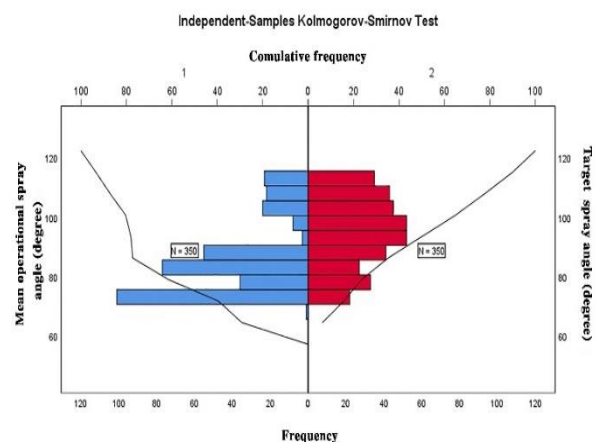
Fig 9. Comparison of the mean operational spray angle and the target spray angle

نتایج آزمون T در ۷۸ درصد ارتفاع‌های اندازه‌گیری عدم اختلاف معنی‌دار برای زوایای پاشش عملیاتی در سطح احتمال ۵ درصد را نشان داد. در بقیه موارد سامانه قادر به تامین زاویه پاشش هدف نبوده است. همچنین بر اساس نتایج آزمون کلموگروف اسمیرنوف فرض صفر آزمون یعنی مشابهت توزیع نمونه‌های زوایای عملیاتی متوسط و زوایای پاشش هدف رد شد و اختلاف معنی‌دار مابین توزیع زوایای عملیاتی متوسط و زوایای پاشش هدف در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۲) که این اختلاف به وضوح در شکل ۸ قابل مشاهده است. مقادیر حداقل و حداکثر زاویه پاشش عملیاتی متوسط به ترتیب برابر با ۶۲ و ۱۱۸ درجه و مقادیر ارتفاعی متناظر با آن به ترتیب برابر ۶۸۲ و ۳۲۰ میلی‌متر بود. با در نظر گرفتن زوایای پاشش عملیاتی متوسط و زوایای پاشش هدف (شکل ۹)، این‌گونه به نظر می‌رسد که دو نمودار با وجود مقداری تاخیر دارای الگوی رفتاری مشابه می‌باشند.

جدول ۲- نتایج آزمون کلموگروف اسمیرنوف در بررسی مشابهت توزیع نمونه‌های زاویه پاشش عملیاتی متوسط و زاویه پاشش هدف

Table 2. Kolmogorov-Smirnov result for similarity distribution determination of mean operational spray angle and goal spray angle samples

700	تعداد نمونه Total N
0.526	بیشترین اختلاف Most Extreme Differences
0.526	مطلق Absolute
0.526	مثبت Positive
0.000	منفی Negative
6.955	آماره آزمون Test Statistic
0.000	Sig (آزمون دوطرفه) Asymptotic Sig.(2-sided test)



شکل ۸- توزیع فشارهای عملیاتی متوسط (آبی) و فشارهای هدف  
Fig 8. Operational (blue) and target spray angle (red) distribution

Daam, M. A., Chelinho, S., Niemeyer, J. C., Owojori, O. J., De Silva, P. M. C. S., Sousa, J. P., van Gestel, C. A. M., and Römbke, J. (2019). *Environmental risk assessment of pesticides in tropical terrestrial ecosystems: Test procedures, current status and future perspectives*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 181: 534-547.

de Souza, R. M., Seibert, D., Quesada, H. B., de Jesus Bassetti, F., Fagundes-Klen, M. R., and Bergamasco, R. (2020). *Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review*. *Process Safety and Environmental Protection*. 135:22-37.

Dorr, G. J., Hewitt, A. J., Adkins, S. W., Hanan, J., Zhang, H., and Noller, B. (2013). *A comparison of initial spray characteristics produced by agricultural nozzles*. *Crop Protection*. 53: 109-117.

Dou, H., Zhai, C., Chen, L., Wang, S., and Wang, X. (2021). *Field variation characteristics of sprayer boom height using a newly designed boom height detection system*. in *IEEE Access*. 9: 17148-17160.

Ghasemzadeh, H. R. and Humburg, D. D. (2016). *Using variable spray angle fan nozzle on long spray booms*. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 18: 82-90.

Herbst, A., Osteroth, H. J., Fleer, W., and Stendel, H. (2015). *A method for testing automatic spray boom height control systems*. in *ASABE 2015 Annual International Meeting*. St. Joseph, MI, USA.

Langenakens, J. J., Clijmans, L., Ramon, H., and De Baerdemaeker, J. (1999). *The effects of vertical sprayer boom movements on the uniformity of spray distribution*. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 74 (3): 281-291.

Lardoux, Y., Sinfort, C., Enfält, P., Miralles, A., and Sevilla, F. (2007). *Test method for boom suspension influence on spray distribution, part ii: validation and use of a spray distribution model*. *Biosystems Engineering*. 96 (2): 161-168.

Lebeau, F., El Bahir, L., Destain, M. F., Kinnaert, M., and Hanus, R. (2004). *Improvement of spray deposit homogeneity using a PWM spray controller to compensate horizontal boom speed variations*. *Computers and Electronics in Agriculture* 43 (2): 149-161.

Liao, J. Y., Fan, C., Huang, Y. Z., and Pei, K. J. C. (2019). *Distribution of residual agricultural pesticides and their impact assessment on the survival of an endangered species*. *Journal of Hazardous Materials*. 121871.

Mercaldi, H. V., Peñaloza, E. A. G., Mariano, R. A., Oliveira, V. A., and Cruvinel, P. E. (2017). *Flow and pressure regulation for agricultural sprayers using solenoid valves*. *IFAC-PapersOnLine*. 50 (1): 6607-6612.

Mercaldi, H. V., Penaloza, E. G., Mariano, R. A., Oliveira, V. A., and Cruvinel, P. E. (2017). *Flow and Pressure Regulation for Agricultural Sprayers Using Solenoid Valves\*\*This work was supported by the CNPq under grant 306.477/2013-0 and the Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Instrumentação)*

#### ۴- نتیجه گیری

فشار موجود در سامانه در ارتفاع‌های مختلف تقریباً با فشار مورد نیاز سازگار بود. سامانه برای کنترل فشار در نقاط تغییر جهت حرکت با مشکل مواجه بود ولی عملکرد جبرانی موفقیت‌آمیزی داشت. زاویه پاشش افشانک در حین آزمون برخی اوقات غیرقابل منتظره بود که احتمالاً به دلیل عملکرد نامناسب افشانک و نیز تاخیر ناشی از عملکرد اجزاء مختلف سامانه بوده است. با در نظر گرفتن هدف طراحی سامانه، بکارگیری افشانک‌های سازگارتر و نیز کاهش تاخیر عملیاتی برای عملکرد بهتر سامانه ضروری است.

#### سپاس‌گزاری

این مطالعه با حمایت دانشگاه تبریز انجام شده است. ما تشکر خود را از دکتر محمد مقدم واحد به واسطه کمک‌های بی‌دریغ ایشان در انجام این مطالعه ابراز می‌داریم.

#### منابع

Al-Gaadi, K. A. (2010). *Effect of nozzle height and type on spray density and distribution for a ground field sprayer*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 9 (1): 1-12

Anonymous. (2016). TeeJet technologies: catalog 51A-M. [Online]. Available: [https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET/documents/catalogs/cat51a\\_us.pdf](https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET/documents/catalogs/cat51a_us.pdf). [Accessed 29 April 2016].

Anthonis, J., Audenaert, J., and Ramon, H. (2005). *Design Optimisation for the Vertical Suspension of a Crop Sprayer Boom*. *Biosystems Engineering* 90 (2): 153-160.

Balsari, P., Gil, E., Marucco, P., van de Zande, J. C., Nuyttens, D., Herbst, A., and Gallart, M. (2017). *Field-crop-sprayer potential drift measured using test bench: Effects of boom height and nozzle type*. *Biosystems Engineering*. 154: 3-13.

Butts, T. R., Samples, C. A., Franca, L. X., Dodds, D. M., Reynolds, D. B., Adams, J. W., Zollinger, R. K., Howatt, K. A., Fritz, B. K., Hoffmann, W. C., Luck, J. D., and Kruger, G. R. (2019). *Optimum droplet size using a pulse-width-modulation sprayer for applications of 2,4-D choline plus glyphosate*. *Agronomy Journal*. 111 (3): 1425-1432.

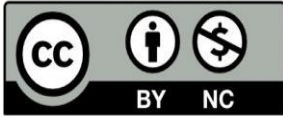
Clijmans, L., Ramon, H., Sas, P., and Swevers, J. (2000). *Sprayer boom motion, part 2: validation of the model and effect of boom vibration on spray liquid deposition*. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 76 (2): 121-128.

Cui, L. F., Xue, X. Y., Ding, S. M., and Le, F. X. (2019). *Development of a DSP-based electronic control system for the active spray boom suspension*. *Computers and Electronics in Agriculture*. 166: 105024.

*sprayer nozzles using computer vision technique.* in  
CISET - 2nd Cilicia International Symposium on  
Engineering and Technology, Mersin, Turkey.

*under Project MP2 No. 02.11.07.0.25.00.00. IFAC-  
PapersOnLine. 50 (1): 6607-6612.*

Toprak, A. N., Sayıncı, B., Demir, B., Köylü, F., and  
Çetin, N. (2019). *Determination of spray angle in*



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)