

## اتوماسیون سمپاشی گلخانه ها به کمک ربات سیار

علیرضا رفیق<sup>۱</sup>، حمید مشهدی میغانی<sup>۲</sup>، داود کلانتری<sup>۳\*</sup>، مسعود موسوی خراسانی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید

<sup>۲</sup> استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

<sup>۳</sup> استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه ساری

<sup>۴</sup> کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه / باشگاه پژوهشگران جوان

\*نویسنده مسئول:

مازندران - دانشگاه ساری - دانشکده کشاورزی - گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی

پست الکترونیکی: [dkalantari2000@gmail.com](mailto:dkalantari2000@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۶

### چکیده

مطالعات اخیراً منتشر شده حاکی از آن است که عملیات سمپاشی، اثرات خطرناکی بر روی سلامت افرادی که سمپاش بر روی دوش آنها قرار گرفته است دارد. به ویژه هنگامیکه مشغول کار در داخل گلخانه، در شرایط درجه حرارت بالا و تهویه ضعیف می‌باشند. اتوماسیون و انجام خودکار کارها در گلخانه موجب پیشگیری از بروز عوارض خطرناک و ناخواسته انسانی می‌گردد ضمن اینکه به میزان قابل توجهی راندمان کلی و بهره‌وری افزایش می‌یابد. هدف از انجام این تحقیق، طراحی و ساخت رباتی بوده که کلیه عملیات سمپاشی داخل گلخانه را به طور خودکار و بدون دخالت نیروی انسانی انجام دهد. به منظور افزایش دقت و استفاده بهینه از راهروهای گلخانه جهت هدایت ربات از لوله‌های آب گرم به کار رفته در کف راهروها استفاده گردید. نیروی محرکه ربات توسط یک موتور DC تامین گردید. جهت کنترل میزان سم موجود در مخزن از سیستم کنترل وزن به کمک Load cell استفاده شده است. در پایان جهت ارزیابی کیفیت پاشش (QC)، اندازه قطرات با استفاده از کاغذهای حساس اندازه‌گیری گردید و کیفیت پاشش ربات سمپاش ۲/۵۶ تعیین گردید.

**واژه‌های کلیدی:** سمپاش، گلخانه، رباتیک، هدایت خودکار

### مقدمه

کار در داخل گلخانه، در شرایط درجه حرارت بالا و تهویه ضعیف می‌باشند. اتوماسیون و انجام خودکار کارها در گلخانه موجب پیشگیری از بروز عوارض خطرناک و ناخواسته انسانی می‌گردد ضمن اینکه به میزان قابل توجهی راندمان کلی و بهره‌وری افزایش می‌یابد (Gan-Mor et al., 1997).

یک سمپاش خودکار به جهت جلوگیری از تماس انسان با مواد شیمیایی خطرناک، اطمینان از دوز محاسبه شده بهینه سم به کار رفته بر روی تمام گیاهان به طور مساوی و همچنین به حداقل رساندن ضایعات با توجه به افزایش دقت بسیار با ارزش می‌باشد (Hetzroni & Meron, 2003). مزیت دیگر استفاده از سمپاش خودکار استفاده از غلظتهای مختلف سم در گلخانه بدون افزایش احتمال خطر برای سلامت انسان میباشد (Haire, 2003).

در نتیجه، هزینه‌های قابل توجه اقتصادی و اجتماعی مربوط به فرایند سمپاشی دستی در گلخانه‌ها (بخصوص هزینه‌های کارگری و خطراتی که سلامت انسان را تهدید میکند) به مراتب اهمیت و لزوم طراحی و کاربرد ربات سمپاش خودکار، با منافع اقتصادی و اجتماعی را نشان می‌دهد.

محققان زیادی در نوشته‌های خود کاربرد وسایل نقلیه خودکار در بخش کشاورزی را گزارش کرده‌اند. در اینجا اشاره

کاربردهای سودمند رباتیک برای پوشش حوزه‌های بیشتر به عنوان فرصت جایگزینی با نیروی انسانی، که راه‌های موثر با بازگشت سرمایه را فراهم می‌کند، روز به روز در حال گسترش می‌باشد. این مسئله هنگامی اهمیت پیدا می‌کند که کارهایی که نیاز است انجام گیرد به طور بالقوه برای ایمنی و سلامت کارگران مضر می‌باشد، یا هنگامیکه کارها با اطمینان و دقت بیشتری توسط رباتیک انجام می‌گیرد. امروزه استفاده از توزیع‌کننده‌های دارو یا مواد شیمیایی سنگین، پخش‌کننده‌های کود یا سم و غیره، به بکارگیری از گزینه‌های بدون سرنشین، بیشتر و بیشتر مورد علاقه و توجه گلخانه‌داران هستند (Bovey, 1967).

وظیفه یک گلخانه، ایجاد شرایط مطلوب رشد برای گیاهان در تمام طول عمرشان میباشد (Badgery-Parker, 1999). جو مطلوب ایجاد شده در داخل گلخانه برای رشد گیاه، سبب میشود که آفات و امراض به خوبی رشد کنند، لذا استفاده از آفت‌کشها و دیگر محصولات شیمیایی که باید به طور مستقیم روی گیاهان اسپری شود، ضرورت می‌یابد (Pasinetti, 1952).

مطالعات اخیراً منتشر شده تایید میکنند که عملیات سمپاشی، اثرات خطرناکی بر روی سلامت افرادی که سمپاش بر روی دوش آنها قرار گرفته است دارد. به ویژه هنگامیکه مشغول

۱۹۹۴ پروژه ای با نام Agrobot را معرفی نمودند که ربات آنها برای برداشت گوجه فرنگی گلخانه ای به کار برده می‌شد (Sandini et al., 1990) و (Dario et al., 1994).

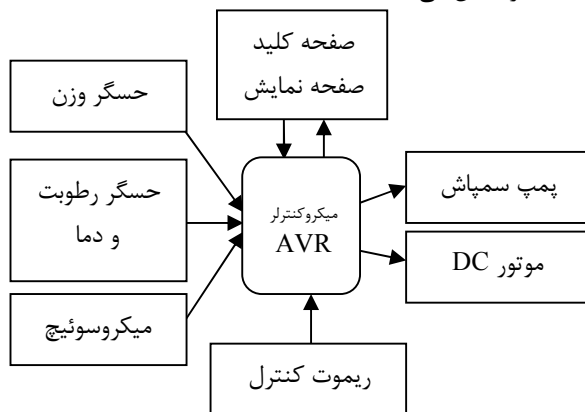
### مواد و روشها

ربات سمپاش حاضر از بخش‌های مختلفی تشکیل شده که در ذیل روش طراحی و ساخت هر کدام از این بخش‌ها به تفصیل شرح داده شده است.

### واحد کنترل و پردازش

این بخش به منزله مغز ربات بوده و با توجه به برنامه داده شده به آن نیازهای کاربر را در زمینه کنترل و انجام عملیات، مرتفع می‌سازد. هسته مرکزی این واحد از یک میکروکنترلر تشکیل شده است که اطلاعات را از ورودی‌های خود گرفته و با توجه به برنامه تعریف شده، پس از پردازش اطلاعات فرمان نهایی را صادر و به خروجی‌ها تحویل می‌دهد.

در این تحقیق از میکرو کنترلر AVR سری mega ۳۲at و ۱۶ استفاده شد. اولین گام در ساخت برد اصلی ربات، پس از انتخاب میکروکنترلر، برنامه نویسی و پروگرام کردن آن می‌باشد. میکروکنترلرها دارای کامپایلرهای خاصی می‌باشد که با زبانهای Assembly, basic, c می‌توان برای آنها برنامه نوشت سپس برنامه نوشته شده را توسط دستگاهی به نام پروگرامر<sup>۱</sup> روی آی سی انتقال داده و ذخیره می‌کنیم. در اینجا از زبان برنامه نویسی بیسیک<sup>۱۱</sup> و نرم افزار بیسکام<sup>۱۲</sup>، جهت نوشتن برنامه و از پروگرامر مدل STK 300 جهت پروگرام کردن میکرو کنترلر استفاده شده است. شکل ۱ نمودار بلوکی عملکرد واحد کنترل کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمودار بلوکی عملکرد ربات سمپاش  
Fig 1 Block diagram of sprayer robots

ای به بعضی از کارهای انجام شده در این زمینه می‌گردد. مسعودی و همکاران در سال ۱۳۸۹ موفق به طراحی و ساخت یک ربات متحرک برای انجام عملیات سمپاشی در گلخانه گردیدند (مسعودی و همکاران ۱۳۸۹). ربات ساخته شده یک ربات متحرک با دو چرخ محرک در قسمت عقب و یک چرخ هرزگرد در قسمت جلو و با فرمانگیری دیفرانسیلی بود که برای هدایت بین راهروها از حسگرهای آلتراسونیک استفاده می‌نمود. سامونز و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۵ یک ربات سمپاش متحرک را برای انجام عملیات سمپاشی گلخانه ساختند. ربات آنها برای حرکت خودکار از لوله‌های آب گرم تعبیه شده در کنار راهروها استفاده می‌نمود (Sammons et al., 2005). شین و کیم<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۱ سیستم هدایت خودکار برای یک سمپاش کوچک باغی را با بکارگیری اهداف لوله استیل ضدزنگ جهت انعکاس امواج فراصوتی به سمت حسگرهای فراصوتی توسعه دادند (Shin & Kim, 2001). میسائو<sup>۳</sup> در سال ۲۰۰۱ ماشین بینایی را برای سیستم فرمانگیری خودکار با استفاده از تخته‌های هدف قرمز رنگ، جهت هدایت یک سمپاش برقی بکار گرفت. یک دوربین ویدئویی جهت گرفتن تصویر از مسیر حرکت شامل اهداف قرمز رنگ استفاده شد. الگوریتم‌های پردازش تصویر فاصله از موقعیت کنونی و وسیله نقلیه تا هدف را تعیین می‌کردند و سپس موقعیت واقعی تا مسیر تعریف شده وسیله نقلیه مقایسه شد و از طریق یک سیستم کنترل فرمانگیری خودکار اصلاح شد (Misao, 2001). ون هنتن و همکاران<sup>۴</sup> در سال ۲۰۰۲ یک ربات خودکار را به منظور برداشت خیار گلخانه ای ارائه نمودند که از لوله‌های آب گرم به منظور مسیر یابی استفاده می‌نمود (Stombaugh & Shearer, 2001). مندو و همکاران<sup>۵</sup> ربات سیار (Aurora) را به منظور انجام عملیات سمپاشی معرفی نمودند. ربات مذکور با استفاده از یک کاربر کنترل می‌گردید (Mandow et al., 1996). سابرامانیان و همکاران<sup>۶</sup> و همچنین سینگ و همکاران<sup>۷</sup> در سال ۲۰۰۵ موفق به طراحی و ساخت یک ربات کوچک سمپاش برای کار در گلخانه گردیدند ربات آنها از منطق فازی برای مسیر یابی استفاده می‌نمود (Singh et al., 2005) و (Subramanian et al., 2005). ساندینی و همکاران<sup>۸</sup> و همچنین داریو و همکاران<sup>۹</sup> در سال

<sup>۱</sup> Sammons et al., 2005

<sup>۲</sup> Shin and Kim, 2001

<sup>۳</sup> Misao, 2001

<sup>۴</sup> Van Henten et al., 2002

<sup>۵</sup> Mandow et al., 1996

<sup>۶</sup> Subramanian et al., 2005

<sup>۷</sup> Singh et al., 2005

<sup>۸</sup> Sandini et al., 1990

<sup>۹</sup> Dario et al., 1994

<sup>۱</sup> programmer

<sup>۱۱</sup> Basic

<sup>۱۲</sup> Bascom

این قسمت از ربات تمامی اجزا را در کنار هم جمع کرده و شکل ربات را تشکیل می دهد. مواد بسیار زیادی از فلزات تا پلاستیکها هستند که می توان برای این منظور استفاده کرد. برای ساخت شاسی ربات از پروفیل های فلزی به ضخامت ۲ میلیمتر و ابعاد ۲۰×۲۰ میلیمتر استفاده گردید. این قوطی ها توسط عملیات خم کاری و جوشکاری به شکل دو قاب مربع شکل تبدیل شد که توسط ۴ ستون، به فاصله ۳۰ سانتیمتری از یکدیگر، در امتداد قائم ثابت شدند.

این شاسی به انضمام کلیه اجزای قرار گرفته روی آن از طریق نیروی محرک یک موتور DC که توسط تسمه و پولی به محور عقب منتقل می شود در سطح گلخانه حرکت می کند. به منظور هدایت خودکار ربات در بین راهروها از لوله های آب گرم تعبیه شده در کف راهروها استفاده گردید که در واقع این لوله ها مسیر ریل گونه ای را برای حرکت ربات فراهم آورده اند (شکل ۳). لذا جهت حرکت و هدایت بهینه ربات روی این ریلها از نوعی چرخ شیاردار استفاده گردید.



شکل ۳: لوله های آب گرم به کار رفته در گلخانه گوجه فرنگی

Fig 3 Warm water pipes used in the tomato greenhouse

### واحد محرک

این واحد از یک موتور DC تشکیل شده که وظیفه آن تامین نیروی محرک مورد نیاز جهت حرکت ربات در سطح گلخانه می باشد. موتورهای DC دارای مدارات درایو گوناگون و الگوریتم های مختلفی برای کنترل می باشند که در اینجا از درایور L298 و روش PWM جهت راه اندازی موتور استفاده شده است. منبع تغذیه ربات نیز از دو عدد باطری ۱۲ ولت تامین می گردد.

به منظور تشخیص وجود کلیه موانع در مسیر حرکت ربات و همچنین تشخیص انتهای ردیف و پایان عملیات سمپاشی از یک سری سنسورهای تماسی با نام میکروسوئیچ در جلو و عقب ربات استفاده گردیده که در صورت برخورد با موانع مذکور توسط خاموش کردن موتور و پمپ سمپاش، حرکت ربات و

پس از این مرحله، با توجه به ورودی ها و خروجی های میکروکنترلر و محاسبه ولتاژ و جریان مصرفی، سایر المانهای الکترونیکی از قبیل باتری، رگولاتور، خازن، دیود، ترانزیستور و ... را انتخاب کرده و پس از تست اولیه کلیه اجزا بر روی برد برد<sup>۱</sup>، با استفاده از نرم افزار Protel اقدام به طراحی مدار چاپی برد اصلی کرده در پایان کلیه قطعات الکترونیکی مورد استفاده، توسط لحیم کاری روی آن سوار می شود (شکل ۲).



شکل ۲: برد اصلی ربات

Fig 2 Robot main board

### واسطه های کاربری

به منظور مشاهده، ورود اطلاعات و انتخاب عملیات از دو نوع واسط کاربری به نام های صفحه نمایش و صفحه کلید استفاده می شود. ربات حاضر اطلاعاتی از قبیل تاریخ، ساعت، میزان دما و رطوبت، وزن مخزن سم و ... را از طریق صفحه نمایش به کاربر نشان می دهد. کاربر با استفاده از صفحه کلید تنظیماتی از قبیل ساعت و تاریخ را انجام داده و نوع عملیات مورد نظر را انتخاب می کند.

از طرفی با قرار گیری یک عدد دوربین بی سیم می توان عملیات سمپاشی و وضعیت گیاهان را در خارج گلخانه کنترل کرده و در صورت لزوم و در مواقع اضطراری با استفاده از یک سامانه کنترل رادیویی ربات را متوقف نمود. شایان ذکر است که ربات فوق جهت کنترل شرایط داخل گلخانه مجهز به یک سنسور رطوبت و دما می باشد که میزان رطوبت و دمای موجود در گلخانه را از طریق صفحه نمایشگر، به صورت لحظه ای به نمایش در می آورد.

### شاسی و واحد محرک

پس از طراحی و ساخت واحد کنترل مهمترین بخش ربات سمپاش، یک شاسی جهت حمل تمامی اجزای ربات و یک موتور جهت به حرکت درآوردن آن در سطح گلخانه می باشد.

<sup>1</sup>Bread Board

میکروکنترلر روشن می‌شوند. عملیات مذکور تا انتهای گلخانه به همین صورت ادامه خواهد داشت.

جهت کنترل میزان محلول سم داخل مخزن از سامانه‌ای جهت سنجش وزن مخزن استفاده شده است. برای این عمل از سنسوری به نام لودسل استفاده می‌کنیم. این حسگر در قسمت فوقانی شاسی نصب شده و مخزن روی آن قرار می‌گیرد. وظیفه این حسگر کنترل لحظه‌ای میزان محلول موجود در مخزن سم است بگونه‌ای که همیشه مقدار مناسبی از سم در اختیار پمپ و نازلها قرار گیرد. به گونه‌ای که میزان محلول سم موجود در مخزن را دائما اندازه‌گیری کرده و به محض آنکه وزن محلول سم داخل مخزن از حد مجاز کمتر شود، با فرمان میکروکنترلر، ربات متوقف شده و با قطع عملیات سمپاشی مسئول گلخانه از طریق زنگ اختطار در جریان خالی شدن مخزن سم قرار می‌گیرد. کاربر پس از پر کردن مجدد مخزن سم و فشردن یک کلید، گلخانه را ترک کرده و ربات بکار خود ادامه می‌دهد.

در پایان پس از اتمام عملیات سمپاشی با رسیدن ربات به انتهای مسیر بر اثر برخورد سنسورهای تماسی با موانع تعبیه شده در انتهای مسیر عملیات سمپاشی متوقف و ربات خاموش می‌گردد.

#### ارزیابی عملکرد ربات سمپاش

ارزیابی‌های میدانی در یکی از گلخانه‌های شهرک گلخانه‌ای امان آباد شهرستان اراک انجام شد. دمای داخل گلخانه ۲۲ درجه سانتیگراد و رطوبت محیط ۶۸ درصد بود.

ربات سمپاش ساخته شده از نظر کیفیت سمپاشی بوته‌ها، محلول مصرفی، ارتفاع پاشش، زمان پاشش، مقدار تلفات سم و محلول مصرفی در مقایسه با سم پاش‌های پشتی و فرغونی مجهز به لانس معمولی بر اساس استاندارد شماره ۱۰۳۴۷ سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت.

#### الف- تعیین سرعت بهینه پیشروی ربات سمپاش ساخته شده

جهت تعیین سرعت بهینه پیشروی ربات، عملیات سمپاشی در مسیری به طول ۱۰ متر در سه سرعت ۱۲، ۲۲ و ۳۵ سانتیمتر بر ثانیه، در سه تکرار انجام شد. پس از هر بار سمپاشی، کارت‌های حساس جمع‌آوری شد و کیفیت سمپاشی<sup>۱</sup> مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفت. در نهایت پس از مقایسه سه تیمار مورد آزمایش با یکدیگر، سرعت بهینه پیشروی بر اساس بهترین کیفیت پاشش انتخاب گردید.

به منظور اندازه‌گیری ضریب کیفیت سمپاشی<sup>۲</sup> در تکرارهای مربوط به هر یک از سرعت‌های پیشروی ربات سمپاش،

عملیات سمپاشی متوقف می‌گردد. برای این منظور از چهار عدد میکروسوئیچ استفاده گردید.

#### واحد سمپاش

جهت انجام عملیات سمپاشی از یک مخزن مکعبی به حجم ۱۰ لیتر، دو عدد پمپ ۱۲ ولت، دو بوم عمودی حامل نازل‌های پاشش، تعدادی سنسور تماسی و یک سنسور وزن استفاده شده است.

ربات حاضر (شکل ۴)، می‌بایست عملیات سمپاشی را با توجه به موقعیت خود، در دو حالت یک طرفه و دو طرفه انجام دهد. حالت سمپاشی یکطرفه مربوط به ردیف‌های اول و آخر گلخانه می‌باشد که گیاهان کشت شده تنها در یک سمت ربات قرار دارند و حالت دو طرفه مربوط به راهروهای میانی بوده که گیاهان کشت شده در هر دو سمت ربات قرار گرفته‌اند. برای این منظور از دو میکروسوئیچ در طرفین ربات و مارک‌هایی در ابتدا و انتهای هر ردیف جهت تعیین حالت سمپاشی استفاده شده است.



شکل ۴- ربات سمپاش طراحی و ساخته شده

Fig 4 The designed and manufactured sprayer robot

هنگامی که ربات حرکت خود را از اولین ردیف گلخانه آغاز می‌کند، پس از برخورد مارکر به میکروسوئیچ و تحریک آن، میکروکنترلر با ارسال سیگنالی پمپ مربوطه را روشن کرده و پمپ پس از دریافت سیگنال، محلول سم را از داخل مخزن سم به سمت نازل‌های آن سمت هدایت می‌کند. عمل سمپاشی تا انتهای ردیف ادامه داشته و با تحریک مجدد میکروسوئیچ توسط مارکر موجود در انتهای ردیف، پمپ مذکور خاموش شده و عملیات سمپاشی متوقف می‌گردد. سپس ربات مسیر منحنی شکل انتهای راهرو را در حالی که عملیات سمپاشی متوقف شده طی کرده و به ابتدای ردیف بعدی می‌رسد. هنگام ورود به راهروهای میانی، هر دو میکروسوئیچ تعبیه شده در طرفین ربات توسط مارک‌های موجود تحریک شده و هر دو پمپ توسط

<sup>1</sup> Spraying quality

<sup>2</sup> Qc



تیمار مورد آزمایش، کارت های حساس را جمع آوری و پس از دسته بندی داده های حاصل از شمارش قطرات در جدول فراوانی و انجام عملیات تجزیه واریانس، سمپاشی که دارای کمترین میانگین ضریب کیفیت سمپاشی بود، به عنوان بهترین سمپاش از لحاظ کیفیت سمپاشی معرفی شد. سرعت حرکت ربات در این مرحله همان سرعت بهینه بدست آمده از بند الف انتخاب گردید.

#### ج- اندازه گیری ارتفاع پاشش

ارتفاع پاشش هر سمپاش بوسیله کارت های حساس قرار داده شده بر روی هر بوته اندازه گیری شد. روش کار به این صورت بود که پس از انجام عملیات سمپاشی، کارت های حساس موجود در ارتفاع بالای ۱۷۵ سانتیمتر جمع آوری و شماره گذاری شد. سپس در هر ارتفاع از مجموع ۲۰ کارت جمع آوری شده، ۱۰ کارت به صورت کاملا تصادفی انتخاب شد و از بین آنها تعداد کارت هایی که در اثر نشست قطرات سم روی آنها به طور واضح تغییر رنگ داده بودند، در جدولی درج شده و میانگین آنها در نمودارهای میله ای دسته بندی شدند.

#### د- اندازه گیری زمان سمپاشی

مدت زمان مورد نیاز جهت سمپاشی در مسافتی به طول ۱۰ متر توسط زمان سنج دیجیتال اندازه گیری و ثبت شد. روش کار به این صورت بود که همزمان با اندازه گیری کیفیت پاشش در بند ب زمان صرف شده جهت سم پاشی توسط تیمارهای مختلف در ۳ تکرار، بوسیله زمان سنج اندازه گیری، ثبت و میانگین آنها با یکدیگر مقایسه شد.

#### ه- اندازه گیری ریزش سم روی زمین

ریزش سم روی زمین یکی دیگر از موارد مهم در سمپاشی است که باعث آلودگی محیط گلخانه و خاک می شود. برای تعیین آن، زیر هر بوته، سه گروه کارت حساس قرار داده شد. پس از سمپاشی و جمع آوری کارت ها، با اندازه گیری تعداد و قطر قطرات در ۱ سانتیمتر مربع، مساحت قطرات نشسته شده بر روی کارت های حساس و میانگین آن محاسبه شد.

#### و- اندازه گیری محلول مصرفی

به منظور اندازه گیری میزان محلول مصرفی، مخزن سمپاش ها قبل از سمپاشی کاملا با آب پر شده و پس از پایان عملیات سمپاشی در مسیر تعیین شده توسط ظروف مدرج مجدداً مخزن ها پر شده و از این طریق مقدار محلول مصرفی تعیین گردید.

در این تحقیق از طرح های کاملا تصادفی برای تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شد. سمپاش های دستی و ربات سمپاش بعنوان تیمارهای مورد آزمون و کیفیت سمپاشی، زمان

کاغذهای حساس با ابعاد ۳×۷ سانتیمتر به فواصل ۵۰ سانتیمتر در جهت حرکت سمپاش ها و به فاصله ۲۵ سانتیمتر در راستای ارتفاع بوته، قرار داده شدند. این کاغذها مانند کاغذ تورنسل بوده و با برخورد قطرات سم تغییر رنگ می دهند. به منظور تعیین قطر تقریبی قطرات به منظور تجزیه و تحلیل، اندازه قطرات گروه بندی و سپس میانه آنها در نظر گرفته می شود. با تشکیل جدول فراوانی و تعیین قطر قطراتی که در ۵۰ درصد فراوانی قرار دارند، مقادیر قطر میانه حجمی<sup>۱</sup>، قطر میانه عددی<sup>۲</sup> و در نهایت ضریب کیفیت سمپاشی با استفاده از رابطه ۱ تعیین شد. هرچه ضریب کیفیت سمپاشی به عدد یک نزدیکتر باشد کیفیت پاشش بهتر است. جهت تعیین مقدار سم ریخته شده روی زمین نیز کاغذهای حساس در دسته هایی با طرح های ستاره ای در پای بوته ها و روی زمین قرار گرفتند.

$$Q_C = \frac{VDM}{NDM} \quad (1)$$

روش انجام کار بدین صورت بود که کارت های حساس، در مسیری به طول ۱۰ متر در فواصل ۵۰ سانتیمتری نسبت به یکدیگر در جهت حرکت ربات و به فاصله ۲۵ سانتیمتری نسبت به یکدیگر در راستای ارتفاع هر بوته از ارتفاع ۲۵ تا ۲۵۰ سانتیمتری، در ۳ تکرار قرار داده شده و داده ها توسط آنها جمع آوری شدند. پس از انجام عملیات سمپاشی توسط ربات، کارت ها به منظور شمارش تعداد قطرات و تعیین قطر متوسط حجمی و عددی و ضریب کیفیت سمپاشی، جمع آوری و از هر تکرار تعداد ۳۰ عدد کاغذ حساس بصورت کاملا تصادفی انتخاب و توسط اسکنر<sup>۳</sup> اسکن شدند. سپس با استفاده از نرم افزار ACDS Pro 3 و به کمک قابلیت Crop، مربعی با ابعاد ۱×۱ سانتیمتر به صورت کاملا تصادفی از سطح کارت جدا کرده و با روش بزرگنمایی تعداد و قطر قطرات تعیین شد. برای این منظور، قطرات گروه بندی شدند و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با توجه به اینکه قطرات کاملا به شکل دایره ای نمی باشند، قطر متوسط در نظر گرفته شد.

#### ب- اندازه گیری ضریب کیفیت سمپاشی<sup>۴</sup>

بر اساس استاندارد ذکر شده، جهت ارزیابی عملکرد سمپاش ها و مقایسه آنها با یکدیگر از لحاظ کیفیت پاشش، مطابق روش ذکر شده در بند الف، کاغذهای حساس با ابعاد ۳×۷ سانتیمتر به فواصل ۵۰ سانتیمتر در راستای حرکت سمپاش ها و به فاصله ۲۵ سانتیمتر در راستای ارتفاع بوته در ۳ تکرار، قرار داده شدند. پس از انجام عملیات سمپاشی توسط ۳

<sup>1</sup>VMD

<sup>2</sup>NMD

<sup>3</sup>Scanner

<sup>4</sup>QC

لانس معمولی کاملا تیره شده بود، ضریب کیفیت سمپاشی برای آن قابل محاسبه نبود. از مقایسه میانگین کیفیت های پاشش مربوط به ربات سمپاش و سمپاش پشتی می توان به این نتیجه رسید که ربات سمپاش قطرات سم را با کیفیت بهتری نسبت به سایر تیمار های مورد آزمایش پخش می کند.

### زمان سمپاشی

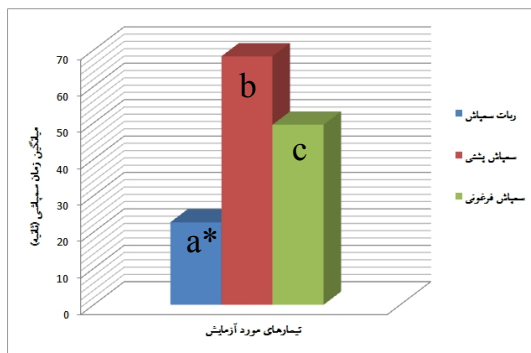
زمان مورد نیاز جهت سمپاشی ۱۰ متر از یک ردیف کشت، در جدول ۳ آمده است. بر طبق داده های موجود در جدول مذکور، زمان سمپاشی برای سمپاشی به روش دستی با سمپاش پشتی با اختلاف معنی داری از سمپاشی بوسیله ربات سمپاش بیشتر بوده است که این نشانگر مزیت استفاده از ربات سمپاش نسبت به روش دستی می باشد.

جدول ۳: داده های مربوط به میانگین زمان سمپاشی (ثانیه)

Table 3- Data of mean spraying time (s)

سمپاش فرقیونی	سمپاش پشتی	ربات سمپاش	
۵۰/۹	۶۹/۶	۲۲/۷	تکرار اول
۴۷/۳	۶۵/۸	۲۲/۶	تکرار دوم
۵۰/۲	۶۹/۴	۲۲/۷	تکرار سوم
۴۹/۴۶	۶۸/۲۶	۲۲/۶۶	میانگین

شکل ۵ میانگین زمان صرف شده جهت سمپاشی گلخانه توسط تیمار های مختلف را بر اساس آزمون دانکن با یکدیگر مقایسه کرده است.



شکل ۵- نمودار ستونی میانگین زماه های سمپاشی هر تیمار \* بر اساس آزمون دانکن میانگین های مشخص شده با حروف

انگلیسی غیرمشابه دارای اختلاف معنی داری هستند

Figure 5- Bar diagram of the means of spraying times of each treatment

\* The determined means by different alphabets have meaningful difference based on Duncan test

سمپاشی، ارتفاع پاشش، میزان تلفات سم و محلول مصرفی بعنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شدند. آزمایش ها در سه تکرار انجام شد و تجزیه و تحلیل داده های بدست آمده توسط نرم افزار Excel انجام شدند.

### نتایج

#### سرعت بهینه پیشروی

نتایج حاصل از اندازه گیری کیفیت سمپاشی ربات ساخته شده در سرعت های پیشروی مختلف و در ۳ تکرار، در جدول ۱ دسته بندی شده است.

جدول ۱- کیفیت پاشش در سرعت های پیشروی مختلف ربات سمپاش ساخته شده

Table 1- Spraying quality at different forward velocities of manufactured spraying robot

سرعت پیشروی ربات (سانتیمتر بر ثانیه)	ضریب کیفیت پاشش		
	تکرار اول	تکرار دوم	تکرار سوم
۱۲	۳/۲۲	۳/۱۵	۳/۳۵
۲۲	۲/۷۵	۲/۲۵	۲/۶۸
۳۵	۳/۹۳	۳/۶۶	۳/۹۸

از مقایسه میانگین کیفیت های پاشش مربوط به ربات سمپاش در سرعت های مختلف بر اساس آزمون دانکن می توان به این نتیجه رسید که سرعت پیشروی بهینه ربات سمپاش جهت پاشش مطلوب سم، سرعت ۲۲ سانتیمتر بر ثانیه می باشد.

#### ضریب کیفیت سمپاشی

کیفیت پاشش برای کارت هایی که به صورت کاملا تصادفی انتخاب شده بودند، محاسبه گردید. سپس میانگین آنها در هر تکرار، در جدول ۲ دسته بندی شد.

جدول ۲- میانگین ضریب کیفیت پاشش مربوط به کارت های حساس

استفاده شده در ارزیابی عملکرد سمپاش ها

Table 2- Means of spraying coefficient concerning sensitive cards used for evaluation of sprayers' performance

سمپاش فرقیونی	سمپاش پشتی	ربات سمپاش	
غیر قابل شمارش	۴/۱۵	۲/۸۳	تکرار اول
غیر قابل شمارش	۴/۷۸	۲/۲۱	تکرار دوم
غیر قابل شمارش	۳/۹۷	۲/۶۴	تکرار سوم
غیر قابل شمارش	۴/۳	۲/۵۶	میانگین

همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، به علت اینکه سطح روی کاغذهای حساس برای سمپاش فرقیونی مجهز به

جدول ۴- میانگین مساحت قطرات ریخته شده روی کارت های حساس  
هر تکرار (میلیمتر مربع)  
Table 4 Mean of droplet areas on sensitive cards at different replicates (mm<sup>2</sup>)

ربات سمپاش پشتی	سمپاش	سمپاش فرقونی	
تکرار اول	۵/۵۳	۷/۸۶	غیر قابل شمارش
تکرار دوم	۵/۶۱	۷/۱۷	غیر قابل شمارش
تکرار سوم	۵/۵۸	۶/۹۰	غیر قابل شمارش
میانگین	۵/۵۷	۷/۳۱	غیر قابل شمارش

با توجه به جدول ۴ برای سمپاش های پشتی و ربات با توجه به کارتهای حساس و محاسبات انجام شده میزان مساحت ریزش سم ۷/۳۱ و ۵/۵۷ میلیمتر مربع بدست آمد. به علت اینکه سطح روی کاغذهای حساس برای سمپاش فرقونی تیره شده بود، مساحت ریزش سم برای آن قابل محاسبه نبود. از مقایسه میانگین میزان تلفات سم مربوط به ربات سمپاش و سمپاش پشتی می توان به این نتیجه رسید که ربات سمپاش ریزش سم کمتری دارد و کمتر باعث آلودگی خاک و بستر کشت می گردد.

#### مقدار محلول مصرفی

مقدار محلول مصرفی تکرار های مختلف هر تیمار در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- مقدار محلول مصرفی تکرار های هر تیمار ( لیتر)

Table 5- Amount of consumed liquid for each at treatments for different replicates (L)

ربات سمپاش	سمپاش پشتی	سمپاش فرقونی	
تکرار اول	۴/۳	۵/۲	۷/۸
تکرار دوم	۳/۸	۵/۷	۷/۵
تکرار سوم	۴/۱	۴/۹	۷/۱
میانگین	۴/۰۶	۵/۲۶	۷/۴۶

با مقایسه میانگین ها می توان به این نتیجه رسید که مقدار محلول مصرفی توسط ربات سمپاش در مسیری به طول ۱۰ متر نسبت به دو تیمار دیگر کمتر بوده که باتوجه به ضریب کیفیت پاشش ربات، بیانگر صرفه جویی در مصرف سم می باشد.

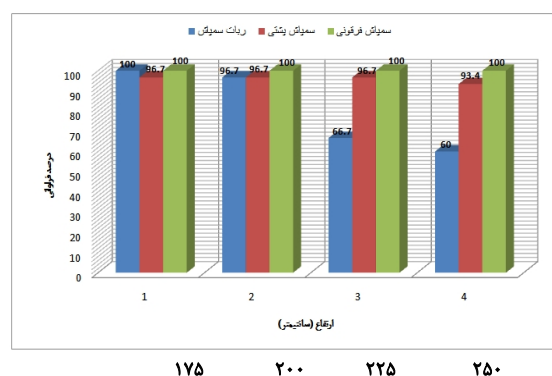
#### نتیجه گیری و جمع بندی

سرعت پیشروی بهینه ربات سمپاش جهت پاشش مطلوب سم، سرعت ۲۲ سانتیمتر بر ثانیه می باشد. با مقایسه میانگین کیفیت های پاشش مربوط به سمپاشی توسط ربات سمپاش در سرعت پیشروی مذکور و سمپاش های پشتی و فرقونی می توان به این نتیجه رسید که ربات سمپاش قطرات سم را با کیفیت بهتری نسبت به سایر تیمار های مورد آزمایش پخش می کند. ربات سمپاش ساخته شده نسبت به دو سمپاش دیگر از لحاظ

نتایج حاصل از مقایسه میانگین زمان سمپاشی نشان می دهد که بیشترین مقدار زمان سمپاشی مربوط به سمپاش پشتی و کمترین زمان مربوط به ربات سمپاش بود که این بیانگر عملکرد بهتر ربات سمپاش نسبت به سمپاش های متداول از لحاظ زمان مورد نیاز جهت سمپاشی می باشد.

#### ارتفاع پاشش

میانگین کارتهای حساس خیس شده در ارتفاع های مختلف، در ارزیابی سه تیمار مورد آزمایش به صورت نمودارهای ستونی در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- نمودار مربوط به درصد فراوانی کارتهای خیس شده بر اساس ارتفاع قرارگیری آنها

Fig 6 Frequency percentage of saturated cards on the basis of their heights

همان طور که شکل ۶ نشان می دهد، بین میانگین کارتهای حساس خیس شده توسط هر سه سمپاش مورد آزمایش اختلاف معنی داری در ارتفاع های ۱۷۵ و ۲۰۰ سانتیمتری وجود ندارد. این بدان معنی است که تیمارهای مورد آزمایش عملاً قادر به سمپاشی تا ارتفاع ۲ متری نسبت به سطح زمین می باشند.

بین ربات سمپاش و دو تیمار دیگر در ارتفاع ۲۲۵ و ۲۵۰ سانتیمتری اختلاف معنی داری از لحاظ تعداد کارتهای حساس خیس شده مشاهده شد که نشان می دهد ربات سمپاش ساخته شده نسبت به دو سمپاش دیگر از لحاظ رساندن قطرات سم به ارتفاع بیش از ۲ متر دارای عملکرد مطلوبی نمی باشد که این نقیصه در عملکرد ربات میتواند به علت کوتاه بودن بوم سمپاشی باشد.

#### مقدار تلفات سم

جدول ۴ مقادیر میانگین مساحت قطرات ریخته شده روی کارتهای حساس هر تکرار را نشان می دهد.

طرفی با توجه به میزان محلول مصرفی موجب صرفه جویی در مصرف سم میگردد.

با توجه به نتایج فوق می توان به این نتیجه رسید که ربات سمپاش ساخته شده از لحاظ فاکتورهای موجود در استانداردهای ملی در مقایسه با سمپاشهای متداول دارای عملکرد مطلوب بوده و می توان آنرا جهت انجام عملیات خودکار سمپاشی در گلخانه ها به کار برد.

رساندن قطرات سم به ارتفاع بیش از ۲ متر دارای عملکرد مطلوبی نمی باشد که این نقیصه در عملکرد ربات می تواند به علت کوتاه بودن بوم سمپاشی یا ضعیف بودن پمپ سمپاش باشد. زمان سمپاشی ربات سمپاش ساخته شده با اختلاف معنی داری کمتر از دو تیمار دیگر بود که بیانگر عملکرد بهتر ربات سمپاش نسبت به سمپاشهای متداول از لحاظ زمان مورد نیاز جهت سمپاشی می باشد. ربات سمپاش ریزش سم کمتری داشته و کمتر باعث آلودگی خاک و بستر کشت می گردد. از

## منابع

1. Bovey R. "La défense des plantes cultivées Editions Payot Lausanne", 1967.
2. Badgery-Parker, J. (1999), *Agnote DPI/249*, Edition1, pp. 1-2.
3. L. Pasinetti. "Malattie delle piante", Hoepli, Milano, 1952
4. Gan-Mor S., Ronen B., Kazaz I., Josef S., Bilanki Y. (1997), "Guidance for Automatic Vehicle for Greenhouse Transportation", *ACTA Horticulture*, Vol 443, pp. 99-104.
5. Hetzroni A., Meron M., (2003). "Mapping Tree Canopy for Precision Spraying", **Technical Report, Department of Agriculture**, Illinois, pp. 75-83.
6. Haire, B. (2003). "UGA Scientists Develop 'row-bot'- Farming Robots not Science fiction but technical fact", **Technical Report**, Georgia Faces, University of Georgia.
7. مسعودی، حسن؛ امید، محمود؛ علیمردانی، رضا؛ محتسبی، سید سعید و باقری شورکی، سعید .. (۱۳۸۹). "طراحی، ساخت و ارزیابی یک ربات متحرک برای انجام عملیات سمپاشی در داخل گلخانه"، **ششمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون**. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
8. Sammons, P.J.; Tomonari, F. & Bulgin, A. (2005). "Autonomous Pesticide spraying robot for use in a greenhouse". *Australian Conference on Robotics and Automation*, pp. 1-9, ISBN 0-9587583-7-9, December 2005, Sydney, Australia
9. Shin, B. and Kim, S. 2001." Autonomous guidance system for small orchard sprayer with ultrasonic sensors". *ASAE Paper* No. 011193. St. Joseph, Mich.: ASAE.
10. Misao, Y. 2001."An image processing based automatic steering power system". *ASAE Paper* No. 013106. St. Joseph, Mich.: ASAE.
11. Stombaugh, T. S., and Shearer, S. A. 2001. "DGPS-based guidance of high-speed application equipment". *ASAE Paper* No. 011190. St. Joseph, Mich.: ASAE.
12. Mandow, A.; Gómez de Gabriel, J.M.; Martínez, J.L.; Muñoz, V.F.; Ollero, A. & García, A. (1996). "The Autonomous Mobile Robot Aurora for Greenhouse Operation". *IEEE Robotics and Automation Magazine*, Vol. 3, No. 4, 18-28, ISSN 1070-9932.
13. Subramanian, V.; Burks, T.F. & Singh, S. (2005). "Autonomous Greenhouse Sprayer Vehicle Using Machine Vision and Radar for Steering Control". *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 21, No. 5, 935-943, ISSN 0883-8542.
14. Singh, S.; Lee, W.S. & Burks, T.F. (2005). "Autonomous Robotic Vehicle Development for Greenhouse Spraying". *Transactions of the ASAE*, Vol. 48, No. 6, 2355-2361, ISSN 0001-2351.
15. Sandini, G.; Buemi, F. ; Massa, M. & Zucchini, M. (1990)."Visually Guided Operations in Greenhouses". *IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems*, pp. 279- 285, July 1990, IEEE, Ibaraki, Japan.
16. Dario, P.; Sandini, G.; Allotta, B.; Bucci, A.; Buemi, F.; Massa, M.; Ferrari, F.; Magrassi, M.; Bosio, L.; Valleggi, R.; Gallo, E.; Bologna, A.; Cantatore, F.; Torrielli, G. & Mannucci., A. (1994)."The Agrobot Project for Greenhouse Automation". *Acta Hort.(ISHS)*, Vol. 361, 85-92.



## GREENHOUSE SPRAYING AUTOMATION USING MOBILE ROBOTS

Alireza Rafigh<sup>1</sup>, Hamid Mashhadi Mighani<sup>2</sup>, Davoud Kalantari<sup>3\*</sup>, Masoud Kalantari Khorasani<sup>4</sup>

1-M.Sc. Student, Eglid Branch of Azad University

2-Assistant Professor of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Arak branch of Azad University

3-Assistant Professor of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Sari University

4-Kermanshah Branch of Azad University, Young Researchers Club

dkalantari2000@gmail.com

### Abstract

The recent published studies have shown that spraying process has detrimental effect on the health of persons who hold the sprayers on their backs, particularly when working in greenhouse at high temperature with low air-conditioning. Automation in greenhouse can prevent the occurrence of dangerous problems while it can significantly increase the total efficiency. The objective of this study was to design and manufacture a robot that would be able to perform all of spraying process automatically with no need to human labor. In order to increase the accuracy and optimized use of greenhouse corridors, warm water pipelines were used for robot navigation. The robot was powered using a DC motor. A weight controlling system including a load cell was used to control the amount of liquid in tank. Finally in order to evaluate the spraying quality (Qc), the size of droplets was measured using sensitive papers and the quality of spraying was obtained to be 2.56.

**Keywords:** Sprayer, greenhouse, robotic, automatic navigation