

Research Paper

Performance Evaluation of a Backpack Sprayer Equipped with a T-jet Nozzle in a Simulated Laboratory Environment

Mohammad Amin Nematollahi^{*1}, Saadat Kamgar¹, Hassan Shakoori¹, Naser Razavizadeh¹, Kamran Maleki-Majd¹, Seyed Mehdi Nassiri¹, Abdolabbas Jafari²

¹ Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

² Lincoln Agritech, Lincoln University, Lincoln, New Zealand.

Article history

Submitted: 2025/10/10

Revised: 2025/11/01

Accepted: 2025/11/30

Published
online: 2025/12/21

Keywords:

Drift

Image processing

Spraying operations

Surface coverage

percentage

Water sensitive paper

*Corresponding author
email:

manema@shirazu.ac.ir

ORCID: 

0000-0001-5780-2723



Abstract

In this study, the performance of a backpack sprayer equipped with a T-jet nozzle was evaluated under laboratory conditions. To investigate the amount of liquid droplet deposition on each pot, water-sensitive papers were used. The water-sensitive papers were then analyzed using image processing techniques with ImageJ software. This research was conducted based on a factorial experiment arranged in a completely randomized design, including the factors of forward speed at three levels (2, 3.5, and 5 km h⁻¹), spraying pressure at three levels (2, 3, and 4 bar), and distance of the pots from the fan at three levels (1, 2, and 3 m), with three replications. In all measurements, the nozzle height above the ground was maintained at 90 cm. The results showed that with increasing forward speed, the volumetric diameters of 10%, 50%, and 90% and the surface coverage decreased by approximately 11% and 31%, respectively. However, this decreasing trend was not statistically significant at all speed levels, such that no significant difference was observed between the speeds of 3.5 and 5 km h⁻¹ at the 5% probability level. The minimum and maximum solution deposition were obtained at pressures of 4 bar (19.37%) and 3 bar (28.53%), respectively. The highest surface coverage percentage was observed in pots located at the farthest distance from the fan. Ultimately, the highest surface coverage percentage was achieved in the treatment with a forward speed of 2 km h⁻¹ and a spraying pressure of 3 bar.

How to cite this paper:

Nematollahi, M.A., Kamgar, S., Shakoori, H., Razavizadeh, N., Maleki-Majd, K., Nassiri, S.M., Jafari, A. (2025). Performance Evaluation of a Backpack Sprayer Equipped with a T-jet Nozzle in a Simulated Laboratory Environment. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*. 37: 1-14. <https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.14798.735> (In Persian)



Authors retain the copyright and full publishing rights. Published by [Shahrekord University](https://www.shahrekord.ac.ir). This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

<https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.14798.735>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In recent decades, the extensive use of pesticides and herbicides in agriculture has raised significant environmental and health concerns. Excessive and improper application can lead to adverse effects, including water contamination, biodiversity loss, and risks to human health. Consequently, enhancing the efficiency of pesticide application has become a critical priority for sustainable agriculture. One of the most effective approaches to improving pesticide application is to ensure uniform spray distribution and producing droplets of appropriate size, as droplet size directly influences spray coverage, drift, and pesticide effectiveness.

Previous research has shown that spraying performance is significantly affected by factors such as nozzle type, spray pressure, travel speed, and the physicochemical properties of the spray liquid. Key indicators for evaluating spray quality include surface coverage percentage, volume median diameter, and spray uniformity, which are typically assessed using image analysis and water-sensitive papers. While many studies have addressed large-scale field spraying, relatively limited research has focused on potted plants under controlled environments such as greenhouses. This study investigates the influence of operational parameters, specifically forward speed, spray pressure, and distance of the fan from the pots on spray deposition characteristics in eggplant plants grown in pots. The goal is to evaluate droplet distribution and spray uniformity in relation to plant surface coverage. By applying cost-efficient image processing methods, the research aims to provide practical insights for improving pesticide application in greenhouses and small-scale farming systems.

Material and Methods

This study was conducted using a mobile-frame system at the Department of Biosystems Engineering, Shiraz University, to evaluate spraying performance under

controlled conditions. A backpack sprayer (METEC SPRAYER) equipped with a TJ60-11004 nozzle was mounted on a galvanized steel frame designed for a 3 m spray width. The system was powered by a 1.1 kW electric motor (Motogen, Tabriz), and its speed was regulated using an inverter (Hyundai N50, South Korea). An axial fan generated a 3 m/s airflow parallel to the spray path, calibrated using an anemometer (Lutron YK-2001 AL). Eggplant seedlings were cultivated in pots, and water-sensitive papers were placed around plants to assess spray coverage and drift. After spraying, cards were scanned (HP Scanjet 3770, 2400 dpi) and analyzed with ImageJ 1.46r. A factorial design in a completely randomized layout was employed, with three levels of pressure (2, 3, 4 bar), speed (2, 3.5, 5 km/h), and fan distance from the pots (1, 2, 3 m). Data were analyzed using Duncan's test at the 5% significance level with SPSS (version 26).

Results and Discussion

The results of the variance analysis indicated that forward speed had a significant effect on the volumetric diameter parameters (DV0.1, DV0.5, and DV0.9) and surface coverage percentage at the 5% probability level. Additionally, spray pressure, fan distance from the pots, and the interaction between forward speed and pressure on surface coverage demonstrated statistically significant differences. Increasing the forward speed from 2 to 5 km/h led to a decrease of approximately 11% in volumetric droplet diameters, attributed to reduced droplet deposition on target surfaces due to shorter residence time. Surface coverage also decreased by nearly 31% as forward speed increased, due to the nozzle's shorter exposure time over the plants. At forward speeds of 2, 3.5, and 5 km/h, the average surface coverage was 29.07%, 23.94%, and 20.06%, respectively. Spray pressure significantly influenced surface coverage. The highest surface coverage of 28.53% was observed at 3 bar pressure, while the lowest coverage of 19.37% was observed at 4 bar pressure. The distance of the fan from the pots affected

spray deposition; pots located farther from the fan received greater coverage due to droplet drift. No significant difference was observed between those pots positioned closer to the fan. The interaction between spray pressure and forward speed was significant at the 5% probability level. The highest surface coverage was observed at 3 bar and 2 km/h, while the lowest was recorded at 4 bar and 5 km/h. Overall, higher forward speeds and pressures led to smaller droplets and greater drift, reducing overall spray deposition efficiency on target surfaces.

Conclusions

This study investigated the spray performance of a backpack sprayer equipped with a TeeJet nozzle under varying operational conditions. The results demonstrated that forward speed and spray pressure significantly affect both droplet size and surface coverage. Specifically, increased forward speed led to a reduction in volumetric droplet diameters ($DV_{0.1}$, $DV_{0.5}$, $DV_{0.9}$) and a notable decline in surface coverage, primarily due to reduced nozzle residence time over the target area. Among the evaluated spray pressures, 3 bar provided better overall coverage than 2 and 4 bar, likely due to lower droplet drift at lower pressures. Fan distance also played a critical role in deposition patterns, with pots farther from the fan receiving greater coverage due to the redistribution of airborne droplets. Optimal spraying performance was achieved at a spray pressure of 3 bar, forward speed of 2 km/h, and fan distance of 3 m. These findings offer practical insights for improving pesticide application efficiency in greenhouse or semi-controlled environments. Further research is recommended to validate these results under field conditions and to explore the influence of additional environmental factors, such as wind direction, humidity, and canopy structure, on spray dynamics.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge Shiraz University for its financial support.

Author Contributions

Author1: Writing – review & editing, Writing – original draft, Visualization, Validation, Supervision, Resources, Project administration, Methodology, Investigation, Funding acquisition, Formal analysis, Conceptualization.

Author2: Visualization, Validation, Supervision, Resources, Project administration, Methodology, Investigation, Funding acquisition, Formal analysis, Conceptualization.

Author3: Visualization, Validation, Software, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization.

Author4: Writing – review & editing, Visualization, Validation, Software, Methodology, Investigation, Formal analysis.

Author5: Writing – review & editing, Visualization, Validation, Software, Methodology, Investigation, Formal analysis.

Author6: Writing – review & editing, Visualization, Validation, Investigation.

Author7: Writing – review & editing, Visualization, Validation.

Data Availability Statement

Data will be made available on request.

Ethical Considerations

The authors confirm that research ethics were considered throughout the research methodology, including data definition, data collection, data analysis, data interpretation, and plagiarism, to provide the final report.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper

Funding Statement

This work was supported by grant number 148321 from Shiraz University.



تعیین عملکرد یک سمپاش پشتی مجهز به افشانک تی جت در محیط شبیه سازی شده آزمایشگاهی

محمدامین نعمت‌اللهی^{۱*}، ساعات کامگار^۱، حسن شکوری^۱، ناصر رضوی زاده^۱، کامران ملکی مجد^۱، سید مهدی نصیری^۱، عبدالعباس جعفری^۲

۱- بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲- لینکلن اگریتک، دانشگاه لینکلن، لینکلن، نیوزلند.

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۸	در این پژوهش کارایی یک سمپاش پشتی مجهز به یک افشانک تی جت به صورت آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی مقدار نشست قطرات مایع بر روی هر گلدان از کاغذ حساس به آب استفاده شد. سپس کاغذهای حساس به آب به کمک روش پردازش تصویر و با نرم افزار ImageJ مورد ارزیابی قرار گرفتند. این پژوهش بر پایه آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل عوامل سرعت پیشروی در سه سطح (۲، ۳/۵ و ۵ کیلومتر بر ساعت)، فشار سمپاش در سه سطح (۲، ۳ و ۴ بار) و سه سطح فاصله گلدان‌ها از پنکه (۱، ۲ و ۳ متر) در سه تکرار انجام شد. در تمامی اندازه‌گیری‌ها، ارتفاع افشانک از زمین ۹۰ سانتی‌متری بود. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش سرعت پیشروی، قطرهای حجمی ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد و پوشش سطحی به ترتیب حدود ۱۱ درصد و ۳۱ درصد کاهش یافتند. با این حال، این روند کاهشی در همه سطوح سرعت از نظر آماری معنی‌دار نبود، به گونه‌ای که بین سرعت‌های ۳/۵ و ۵ کیلومتر بر ساعت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، مشاهده نشد. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان نشست محلول به ترتیب در فشار ۴ بار به مقدار ۱۹/۳۷ درصد و فشار ۳ بار به مقدار ۲۸/۵۳ حاصل گردید. در گلدان‌هایی که در دورترین فاصله از پنکه قرار داشتند، بیش‌ترین مقدار درصد پوشش سطحی مشاهده شد. در نهایت بیش‌ترین درصد پوشش سطحی در تیمار با سرعت پیشروی ۲ کیلومتر بر ساعت و فشار ۳ بار حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی:

بادبردگی، پردازش تصویر

درصد پوشش سطحی

سمپاشی

کاغذ حساس به آب

*پست الکترونیکی نویسنده

مسئول:

manema@shirazu.ac.ir

ORCID: 

۰۰۰۰-۰۰۰۱-۵۷۸۰-۲۷۲۳



نحوه استناد به این مقاله:

نعمت‌اللهی، م.ا.، کامگار، س.، شکوری، ح.، رضوی زاده، ن.، ملکی مجد، ک.، نصیری، س.م.، جعفری، ع. (۱۴۰۴). تعیین عملکرد یک سمپاش پشتی مجهز به افشانک تی جت در محیط شبیه سازی شده آزمایشگاهی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ۳۷:

۱-۱۴. شناسه دیجیتال: <https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2026.14798.735>

مقدمه

سالانه میلیون‌ها لیتر آفت‌کش و علف‌کش برای جلوگیری از گسترش بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز مزارع، توسط کشاورزان مصرف می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد میزان مصرف غیرمجاز سم و مواد شیمیایی، تأثیر زیان‌آوری بر محیط زیست دارد. از این رو، برای تأثیر بیش‌تر این مواد، افزایش بازده و کاهش مصرف آنها، بایستی تدابیری اتخاذ کرد. یکی از اقدام‌های مؤثر و عملی در این زمینه، واسنجی سم‌پاش برای ایجاد قطرات با اندازه مناسب و پاشش یکنواخت مواد شیمیایی است (Jadav *et al.*, 2019). بادبردگی سم، شره‌کردن، مصرف زیاد سم و یکنواخت نبودن الگوی پاشش، جزء مسائلی است که در سم‌پاشی مزارع برای ارزیابی بازده سم‌پاشی بررسی می‌شوند. توانایی برخورد قطرات سم با سطوح گیاه، تابعی از اندازه ذرات سم است، به خصوص هنگامی که این ذرات با جریان هوا حمل می‌شوند (Khan *et al.*, 2024). اندازه قطر ذرات از بارزترین مشخصاتی است که بر میزان تأثیر آفت‌کشی سموم، بازده سم‌پاشی و فواصل بادبردگی اثر می‌گذارد (Yates, 1973; Safari, 2011; Jafari Malekabadi *et al.*, 2016).

درصد پوشش سطحی^۱، ضریب یکنواختی^۲، اندازه قطر میانه حجمی^۳، قطر میانه عددی^۴، ذرات سم و میزان بادبردگی^۵، عواملی هستند که در ارزیابی عملکرد سم‌پاش‌ها مورد توجه محققان قرار می‌گیرند. درصد پوشش سطحی، بیان‌کننده‌ی میزان پوشش سطوح هدف، توسط محلول سم است و پوشش بیش‌تری از سطح، توسط ذرات کوچک‌تر به دست می‌آید. این شاخص با استفاده از روش‌های گوناگونی از جمله استفاده از سنجش الگوی سم‌پاشی، استفاده از فیلترهای کاغذی، روش‌های فلورسنت و همچنین تحلیل تصویر کاغذهای حساس به آب^۶، اندازه‌گیری می‌شود (Fattahi & Abdollah pour, 2024; Foqué & Nuytens, 2011).

اندازه قطر میانه حجمی، شاخصی است که به طور گسترده برای اندازه‌گیری قطرات محلول سم به کار برده می‌شود و با واحد میکرون سنجیده می‌شود. قطر میانه حجمی، قطر میانه‌ی ذرات پاشش است که جمعیت قطرات پاشیده شده را از لحاظ حجم، به دو زیر مجموعه مساوی تقسیم می‌کند. بر این اساس که مجموع حجم قطرات بزرگ‌تر از قطر میانه حجمی با مجموع حجم قطرات کوچک‌تر از قطر میانه حجمی

برابر است. هر چه میزان قطرات درشت در محلول سم‌پاشی شده کم‌تر باشد، بیان‌گر کیفیت پاشش بالاتری است. در واقع قطرات کوچک‌تر پوشش بهتری دارند (Cerruto *et al.*, 2019; Ranta *et al.*, 2021). استفاده از کارت‌های حساس به آب برای تعیین کیفیت سم‌پاشی و نیز به دست آوردن شاخص قطر میانه حجمی، یکی از متداول‌ترین روش‌های ارزیابی کیفیت پاشش است. همچنین، این روش جزء مقرون به صرفه‌ترین روش‌ها به شمار می‌آید. به همین دلیل امروزه به صورت گسترده از این روش استفاده می‌شود (Ilari *et al.*, 2023).

برای سنجش میزان پوشش کارت‌های حساس به آب، می‌توان از فناوری‌های مرتبط با پردازش تصویر به کمک رایانه استفاده کرد. در این روش علیرغم عدم نیاز به تجهیزات خاص و تنها با کمک رایانه، فرآیند ارزیابی بسیار سریع، ساده و با دقت قابل قبول نسبت به هزینه اولیه آزمایش انجام پذیر است (Sun *et al.*, 2024).

پژوهش‌های متعددی در رابطه با ارزیابی کیفیت پاشش سموم، انجام شده است که در ادامه به چند نمونه اشاره می‌شود. (Nasseri *et al.*, 2008) اثر قطر روزنه‌ی افشانک، فشار پمپ و سرعت پیش‌روی بر یکنواختی پاشش را بررسی و بهترین یکنواختی پاشش در سرعت پیش‌روی ۸/۱۷ کیلومتر بر ساعت گزارش کردند. (Daneshjoo *et al.*, 2008) نیز با استفاده از پردازش تصویر، تراکم و اندازه قطرات محلول سم را اندازه‌گیری کردند. روش ارائه شده، توانایی اندازه‌گیری قطرات کوچک را با خطای حدود ۱۰ درصد و قطرات بزرگ را با خطای کم‌تر از یک درصد داشت.

(Haji Agha Alizadeh *et al.*, 2015) عوامل‌های مؤثر بر عملکرد یک سم‌پاشی الکتروایستا را در سطوح رویی و پشتی برگ گیاه با استفاده از پردازش تصویر، ارزیابی کردند. در این پژوهش اثرات ذرات سم بر کاغذهای حساس به آب ثبت و داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، تحلیل شدند. سپس، شاخص‌هایی مانند قطر میانه حجمی، درصد پوشش سطحی و نسبت یکنواختی نشست ذرات محاسبه و از نظر آماری بررسی گردیدند. نتایج گزارش شده در این پژوهش نشان داد که تأثیر عامل‌های مورد بررسی در سطوح رو و پشت برگ در برخی موارد متفاوت هستند. همچنین، اثر باردارسازی ذرات بر درصد پوشش سطحی از نظر آماری با احتمال ۹۹ درصد معنادار بود. (Behzadipour *et al.*, 2017) از یک

4- Number Median Diameter
5- Drift
6- Water Sensitive Paper (WSP)

1- Coverage Percentage
2- Uniformity Coefficient
3- Volume Median Diameter

سطوح کاغذهای حساس به آب، استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که این نرم‌افزار توانایی تحلیل قابل قبولی در تحلیل میزان پوشش سم‌پاشی تیمارهای مختلف داشت (Mangado *et al.*, 2013). در پژوهشی دیگر، توزیع پاشش سم‌پاشی درختان مرکبات با استفاده از کوادکوپتر مطالعه شد. شاخص‌هایی مانند درصد پوشش سم، قطر میانه حجمی و تراکم ذرات پخش شده اندازه‌گیری شد. در پژوهش آن‌ها، عملیات سم‌پاشی در سه ارتفاع پروازی ۰/۶، ۱/۲ و ۱/۸ متر از تاج درخت و با سرعت ۳/۵ متر بر ثانیه انجام شد. همچنین، در این تحقیق دو نوع تاج درخت شامل تاج مثلی و مثلی معکوس به عنوان اهداف سم‌پاشی انتخاب شد. کاغذهای حساس به آب داخل تاج درخت در سه سطح ارتفاع پایین (۱/۳ متر)، متوسط (۱/۷ متر) و بالا (۲/۱ متر) از سطح زمین قرار داده شد. کاغذهای حساس به آب با استفاده از نرم‌افزار Depositscan مورد پردازش و تحلیل قرار گرفتند و بهینه‌ترین پوشش در ارتفاع پروازی ۱/۲ متر بر اساس مقدار ضریب تغییرات، مشاهده شد. اختلاف معنادار بین ارتفاع پایین و بالا برای شاخص‌های چگالی و پوشش قطرات گزارش شد (Tang *et al.*, 2018).

Mahmoudi *et al.* (2019) میزان بادبردگی در افشانک‌های مختلف را با روش پردازش تصویر و کاغذهای حساس به آب، ارزیابی کردند. در تحقیق آن‌ها از سه نوع افشانک رایج (سطح بادبزی ۸۰۰۲، ۱۱۰۰۳ و ۱۱۰۰۴) با فشار پاشش (۲، ۳ و ۴ بار) و سرعت باد (۵، ۸ و ۱۱ کیلومتر در ساعت) استفاده شد. فراسنجه‌های بادبردگی، سطح پوشش، قطر میانه‌ی حجمی، قطر میانه‌ی عددی قطرات و کیفیت پاشش با روش پردازش تصویر، تعیین شدند.

در پژوهشی دیگر، یک سم‌پاش با جریان کم هوا برای سم‌پاشی یک تاکستان طراحی شد. اثر سرعت پیشروی سمپاش، فاصله‌ی پاشش و زاویه آرایش افشانک بر روی پوشش سطحی، نفوذ و توزیع قطرات سم، مورد بررسی قرار گرفت. فاصله پاشش و زاویه آرایش افشانک، بیش‌ترین کم‌ترین تأثیر را بر پوشش سطحی داشتند. شرایط بهینه برای سم‌پاشی به صورت سرعت پیشروی سمپاش ۰/۶۵ متر بر ثانیه، فاصله پاشش ۰/۹ متر و زاویه آرایش افشانک ۲۰ درجه تعیین شد (Dai *et al.*, 2023).

بنابراین، پژوهش حاضر به مسئله مهم بهبود یکنواختی پاشش و کارایی پاشش سموم با شبیه‌سازی شرایط واقعی،

سم‌پاش توربینی زراعی (توربولاینر- مدل Turbine SE-800) آزمایشی برای ارزیابی یکنواختی پاشش در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، استفاده کردند. تحلیل تصاویر با استفاده از نرم‌افزارهای ImageJ و MATLAB انجام شد.

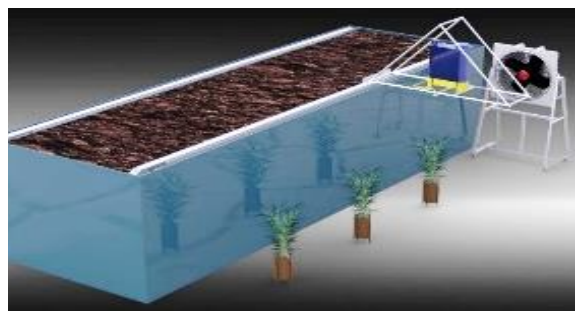
نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که با افزایش فشار، قطر حجمی ۵۰ درصد، قطر میانه عددی و شاخص کیفیت پاشش، دارای روندی کاهشی بودند و افزایش دور پروانه و سرعت پیشروی، موجب کاهش قطر حجمی ۵۰ درصد و قطر میانه عددی شد. در ترکیب تیمارها، افزایش فشار و دور پروانه باعث کاهش ۷۲، ۶۹ و ۴۶ درصد به ترتیب در قطر حجمی ۵۰ درصد، قطر میانه عددی و شاخص کیفیت پاشش شد. همچنین، با توجه به اهمیت شاخص کیفیت پاشش، بیش‌ترین میزان این شاخص (۲/۹۱) در حالتی رخ داد که دستگاه با فشار ۱۰۰۰ کیلوپاسکال، دور پروانه ۲۴۳۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۹ کیلومتر بر ساعت تنظیم شده بود.

Cavalier & Lenik (2010) با استفاده از کاغذهای حساس به آب، تأثیر اندازه قطرات، نوع افشانک و حجم محلول‌پاشی را در عملکرد عملیات سم‌پاشی، مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج به دست آمده، اندازه قطرات در عملکرد عملیات سم‌پاشی دارای تأثیر بیش‌تری بود. یکنواختی پاشش سه نوع سم‌پاش تجاری موجود که از نوع هوا کمک^۱ که دارای سامانه تخلیه هوای متفاوتی بودند، مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌هایی برای ارزیابی نوع پاشش افشانک‌ها، توزیع سم پاشش شده و همچنین جریان هوای تولیدی انجام گرفت. اندازه‌گیری شاخص‌های ارزیابی، تحت شرایط پایش شده آزمایشگاهی انجام شد. در پژوهش انجام شده، تفاوت‌های مهمی در الگوهای جریان هوا و توزیع مایع (سم) بین سم‌پاش‌های مختلف مشاهده شد که نشان می‌دهد توزیع مایع به طور مستقیم با الگوی جریان تولید هوا ارتباط دارد (Dekeyser *et al.*, 2013).

در پژوهشی با استفاده از روش پردازش تصویر، میزان پوشش تیمارهای سم‌پاشی یک سامانه خودکار سم‌پاش را بررسی کردند. بدین منظور کاغذهای حساس به آب اسکن شده و در سه سطح خاکستری، تقسیم‌بندی شد. سپس تصاویر دودویی با دو مشخصه ذرات و بدون ذرات (زمینه کارت) جمع‌آوری گردید و در نهایت از نرم‌افزار ImageJ برای تجزیه و تحلیل این تصاویر دودویی و ایجاد دسته‌بندی میزان پوشش

سایر سطوح سرعت با کمک اینورتور ایجاد شد. اینورتور استفاده شده در این پژوهش، ساخت شرکت Hyundai, model N700E، با بیشینه فرکانس تولیدی ۶۰ هرتز بود. یک تابلوی برق نیز برای نصب اینورتور و سایر تجهیزات پایشی مورد نیاز ساخته شد. این تابلو برق شامل یک کلید اصلی برای قطع و وصل جریان برق به داخل مدار، دو عدد متصل کننده، دو عدد فیوز (که مستقیماً با دو میکروسوییچ نصب شده بر روی مسیر حرکت شاسی در ارتباط است)، یک کلید برای روشن و خاموش کردن پنکه، یک عدد دیمر برای پایش دور و سرعت پنکه و یک کلید دوطرفه برای پایش حرکت شاسی در دو مسیر رفت و برگشت بود. میکروسوییچها برای پایش و توقف شاسی در ابتدا و انتهای مسیر حرکت به فاصله ۸ متر از یکدیگر نصب شدند. از یک پنکه با توان ۳۲۰ وات، سرعت ۱۲۰۰ دور بر دقیقه و حجم هوای خروجی ۸۰۰۰ متر مکعب بر ساعت، برای تولید جریان باد استفاده شد.

این پنکه بر روی یک شاسی به صورتی نصب شد که فاصله مرکز پنکه از زمین، یک متر بود. شدت جریان باد تولیدی پنکه با استفاده از دیمر نصب شده بر روی تابلو برق، قابل پایش بود. همچنین برای دستیابی به سرعت باد مورد نظر و واسنجی پنکه از بادسنج توربینی با نام تجاری Lutron YK-2001 AL استفاده شد.



شکل ۱- نمایی از سامانه سمپاشی

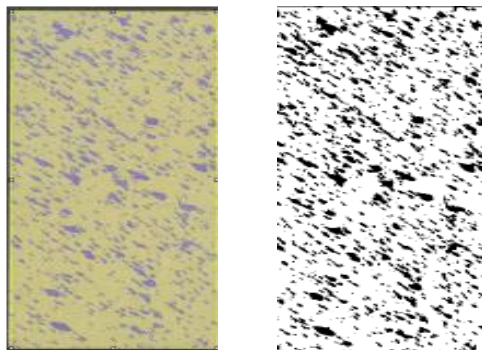
نشا‌های کاشته شده در گلدانها برای انجام آزمونها پرورش یافتند. از تعداد ۳ بوته بادمجان داخل هر گلدان، یک بوته نگهداری و بقیه وجین شدند. پس از رشد بوتهها به ۷ تا ۸ برگ، کاغذهای حساس به آب در بالا و پایین گیاه برای ارزیابی کیفیت پاشش و پوشش سطحی، همچنین برای بررسی بادبردگی، بر روی زمین نیز قرار داده شد. موقعیت قرارگیری کاغذهای حساس به آب نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.

انجام شد. هدف این تحقیق بررسی اثر فشار پاشش، سرعت پیشروی و فاصله پنکه از گلدانها بر ویژگیهای کیفی پاشش (از جمله درصد پوشش سطحی و فاصله نسبی قطر قطرات) است. ویژگی متمایز این پژوهش، استفاده همزمان از مجموعه‌ای از عاملهای عملیاتی به همراه روشهای دقیق پردازش تصویر برای تحلیل شاخصهای کیفی پاشش است. بدین ترتیب، تحقیق حاضر علاوه بر پر کردن خلأ موجود در ادبیات علمی، می‌تواند چارچوبی کاربردی برای ارتقای کارایی مصرف سم، کاهش اثرات زیست‌محیطی و بهبود سلامت محصولات در مزارع، فراهم کند.

مواد و روشها

آزمایشهای این پژوهش بر روی شاسی متحرک واقع بر روی انباره‌ی خاک، در بخش مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام گردید. سمپاش مورد استفاده از نوع پستی (منبع تغذیه باتری شارژ شونده) با نام تجاری METEC SPRAYER مجهز به افشانک مدل TJ60-11004 ساخت کشور چین بود. قبل از طراحی و ساخت شاسی سمپاش، میزان عرض پاشش سمپاش در بیشترین ارتفاع کاری (۱۰۰ سانتی‌متر) و بیشترین فشار کاری (۵ بار) در نظر گرفته شد. این عرض پاشش برابر با ۲۷۰ سانتی‌متر بود و در نهایت شاسی سمپاش برای عرض پاششی برابر با ۳ متر، طراحی و ساخته شد. برای ساخت شاسی سمپاش با حداقل وزن از لوله گالوانیزه استفاده شد و این شاسی توسط سیم بکسل بر روی شاسی مجموعه انباره‌ی خاک ثابت و مهار شد. پس از قرار دادن سمپاش بر روی شاسی، کابلها توسط یک عدد بکسل سفت‌کن به صورت کاملاً کشیده درآمدند و نیز شاسی سمپاش در راستای افق تراز گردید (شکل ۱). برای تأمین قدرت برای حرکت مجموعه شاسی از یک موتور برقی ۲۲۰ ولت با قدرت ۱/۱ کیلووات، ساخت شرکت موتوژن تبریز با سرعت نامی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به همراه یک جعبه‌دنده با نسبت دور ۱:۱۶ استفاده شد. مجموعه موتور و جعبه‌دنده بر روی یک شاسی مجزا نصب و روی سطح زمین، کاملاً مهار گردید. با استفاده از دو چرخدنده‌ی خورشیدی و یک زنجیر تک لایه، انتقال نیرو از محور خروجی جعبه‌دنده به محور اصلی شاسی انباره‌ی خاک، منتقل شد. همچنین، خروجی چرخ خورشیدی به نسبت ۴۸:۲۲ بود. این نسبتها امکان ایجاد سرعت پیشروی بیشینه ۵ کیلومتر بر ساعت را فراهم می‌نمود.

در درون برنامه، عملیات بازخوانی و پردازش تصویر صورت گرفت. پس از بازخوانی تصویر با استفاده از فیلتر RGB Stack، تصاویر رنگی به تصویر خاکستری و نهایتاً تصاویر خاکستری به تصاویر سیاه و سفید (دودویی) تبدیل شدند (شکل ۳).

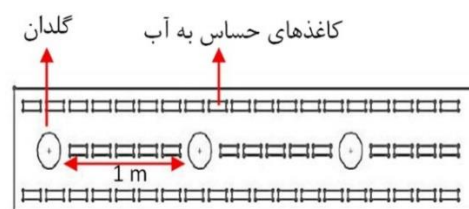


شکل ۳- تبدیل تصویر رنگی به دودویی

در نتیجه با اعمال گزینه آستانه‌گذاری، شرایط محاسبه ذرات توسط نرم‌افزار فراهم گردید. فیلترهای متعددی برای آستانه‌گذاری در نرم‌افزار، تعریف شده است که پس از بررسی آن‌ها، فیلتر Haung، به عنوان مناسب‌ترین فیلتر از بین انواع موجود انتخاب و برای تمامی تصاویر اعمال شد. موارد محاسبه شده توسط نرم‌افزار شامل: (۱) تعداد ذرات شناسایی شده، (۲) مساحت کلی قطرات، (۳) مساحت قطرات به صورت مجزا، (۴) درصد پوشش سطح و (۵) میانگین و انحراف معیار مساحت ذرات بود. نرم‌افزار تمامی لکه‌های موجود را شمارش و مساحت آن‌ها را با فرض دایروی بودن، محاسبه نمود (Cunha et al., 2012). با داشتن مساحت قطرات و با استفاده از مساحت دایره، قطر متناظر با هر قطره به دست آمد. اطلاعات خروجی نرم‌افزار به صورت فایل Excel ارائه و ذخیره شد. همچنین شاخص بدون بعد فاصله نسبی قطر قطرات (RSF^1) که نشان دهنده یکنواختی توزیع اندازه ذرات است، با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Gil et al., 2013):

$$RSF = \frac{DV_{0.9} - DV_{0.1}}{DV_{0.5}} \quad (1)$$

که $DV_{0.1}$ ، $DV_{0.5}$ و $DV_{0.9}$ به ترتیب مقادیر قطر حجمی ۱۰ درصد، ۵۰ درصد (قطر میانه حجمی) و ۹۰ درصد است. این کمیت‌ها بر اساس نمودار توزیع فروانی قطرات به دست می‌آید و نشان دهنده درصد قطرات ریز، میانه جمعیت قطر ذرات و درصد قطرات درشت است. درصد پوشش ذرات که بیان‌گر درصد پوشش کاغذهای حساس به آب است و نیز قطر میانه حجمی که اندازه قطر وسط ذرات است، دو فراسنجه مهم



شکل ۲- موقعیت قرارگیری کاغذهای حساس به آب (نمای بالا)

جهت شبیه‌سازی با شرایط واقعی سم‌پاشی، پنکه در سرعت باد ۳ متر بر ثانیه و در امتداد مسیر حرکت سم‌پاش، تنظیم شد (Lee et al., 2023; Nuytens et al., 2006). برای انجام سم‌پاشی، ارتفاع افشانک از سطح زمین ۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. انتخاب این ارتفاع با هدف ایجاد پوشش مناسب و یکنواختی پاشش، مطابق تحقیقات پیشین برای سم‌پاش‌های پشته‌ای، مورد استفاده قرار گرفته است (Alheidary, 2018). فاصله‌ی پنکه تا گلدان اول یک متر بود و نیز تعداد سه گلدان (G) با فاصله یک متر از یک‌دیگر در جهت حرکت سم‌پاش بر روی زمین قرار گرفتند. سایر تیمارهای مورد بررسی، شامل سرعت حرکت سم‌پاش (V) در سه سطح (۲، ۳/۵ و ۵ کیلومتر بر ساعت)، فشار کاری سم‌پاش (P) در سه سطح (۲، ۳ و ۴ بار) بودند. تمامی آزمایش‌ها طبق استاندارد ملی ایران در دمای 1 ± 25 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 54 ± 2 درصد، انجام شد (Anonymous, 2015). این پژوهش بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار، انجام شد. مقایسه میانگین عوامل با پس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد به کمک نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۶) مورد مقایسه قرار گرفت و نمودارها با نرم‌افزار EXCEL (نسخه ۲۰۲۱) ترسیم شد. پس از جمع‌آوری کارت‌های حساس به آب، با استفاده از عملیات پردازش تصویر، کیفیت پاشش سم‌پاش مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا تمامی کارت‌ها توسط اسکنر مدل HP Scanjet 3770 با رزولوشن ۲۴۰۰ dpi اسکن شدند. علت انتخاب این رزولوشن، شناسایی ریزترین ذرات موجود بر روی کارت‌های حساس به آب بود تا میزان خطا در شناسایی ذرات توسط نرم‌افزار به حداقل کاهش یابد. سپس تصاویر اسکن شده کارت‌ها با استفاده از نرم‌افزار ImageJ 1.46r مورد بازخوانی و پردازش قرار گرفتند. کارت‌های حساس به آب استفاده شده به صورت استاندارد دارای اندازه‌ی 70×29 mm بودند. در مقایسه با نرم‌افزار MATLAB که اساس کار همراه با کد نویسی است، نرم‌افزار ImageJ نیاز به کدنویسی نداشته و با تعریف اصول کار به صورت پیش فرض

در تعیین کیفیت سمپاشی هستند (Tang et al., 2018).

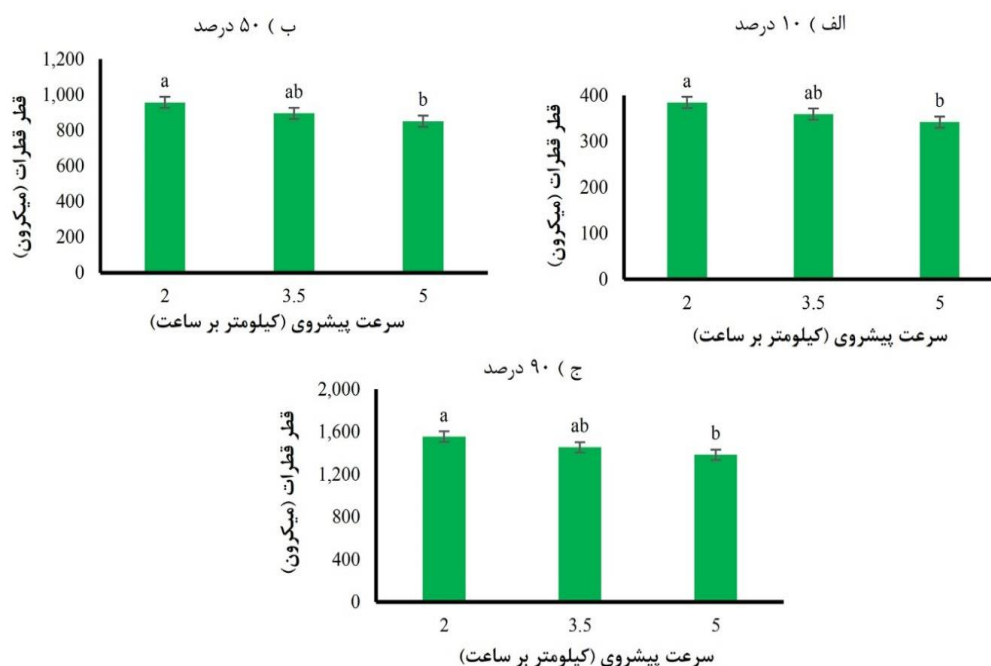
نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به بررسی عوامل سرعت پیشروی، فشار سمپاشی و فاصله پنکه از گلدان بر صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۱، نشان داده شده است. با توجه به این جدول، اثر سرعت پیشروی بر قطر حجمی ۱۰ درصد، قطر حجمی ۵۰ درصد، قطر حجمی ۹۰ درصد و درصد پوشش سطحی در سطح احتمال ۵ درصد، معنادار شده است. همچنین، فشار سمپاشی، فاصله پنکه از گلدان و اثر متقابل سرعت و فشار بر درصد پوشش سطحی در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری مشاهده شده است.

مطابق شکل ۴، با افزایش سرعت پیشروی از ۲ به ۵ کیلومتر بر ساعت، قطر حجمی ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد، حدود ۱۱ درصد کاهش یافتند. این کاهش به دلیل کم‌تر شدن میزان قطرات رسیده به سطوح هدف است که با پژوهش (Behzadipour et al., 2017) تطابق دارد. آنها در پژوهش خود به ارزیابی فشار پاشش (۱۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۵۰۰ کیلوپاسکال)، دور پروانه (۱۹۹۸ و ۲۴۳۰ دور در دقیقه) و سرعت پیشروی (۹ و ۱۳/۵ کیلومتر بر ساعت) در سمپاش توربینی زراعی بر کیفیت پاشش و قطر قطرات با پردازش تصویر، پرداختند. مطابق با پژوهش صورت گرفته با افزایش سرعت، قطر حجمی ۵۰ درصد، به میزان ۱۴ درصد کاهش می‌یابد. این پدیده را

می‌توان بدین صورت توجیه کرد که با افزایش سرعت پیشروی، مدت‌زمان قرارگیری نازل بر روی سطح هدف کاهش یافته و در نتیجه قطرات درشت فرصت کافی برای نشست روی سطح گیاه را پیدا نمی‌کنند. از سوی دیگر، افزایش سرعت، موجب آشفته‌گی بیش‌تر جریان هوا در اطراف بوته‌ها شده و این امر باعث افزایش پراکندگی و بادبردگی قطرات سبک‌تر می‌شود. در نتیجه سهم قطرات ریز در توزیع کلی بیش‌تر شده و مقدار $DV_{0.5}$ کاهش می‌یابد. این روند با نتایج گزارش‌شده در پژوهش دیگر نیز مطابقت دارد (Grella et al., 2017a).

شکل ۵، اثر سرعت پیشروی بر مقدار پوشش سطحی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است با افزایش این عامل از ۲ به ۵ کیلومتر بر ساعت، درصد پوشش سطحی به اندازه ۳۱ درصد، کاهش می‌یابد. علت این کاهش، کوتاه‌تر شدن مدت زمان حضور افشانک بر روی سطوح هدف بود. در سرعت پیشروی ۲، ۳/۵ و ۵ کیلومتر بر ساعت به ترتیب به طور میانگین میزان ۲۹/۰۷، ۲۳/۹۴ و ۲۰/۰۶ درصد، پوشش سطحی حاصل شد که با نتایج پژوهش‌های (Asaei et al., 2016) و (Behzadipour et al., 2017) هم‌خوانی دارد. هر چند نوع سمپاش‌ها در این تحقیقات متفاوت بوده است، اما در هر دو مطالعه نیز مانند پژوهش حاضر با افزایش سرعت پیشروی، کاهش پوشش سطحی گزارش گردید.



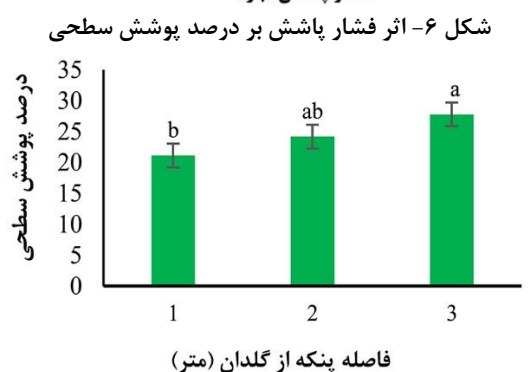
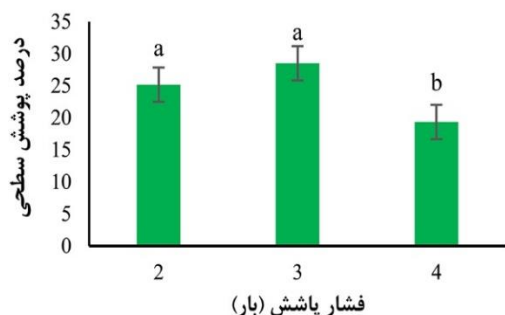
شکل ۴- اثر سرعت پیشروی بر قطرهای حجمی: الف) ۱۰ درصد، ب) ۵۰ درصد و ج) ۹۰ درصد.

جدول ۱- تجزیه واریانس فراسنجه‌های اندازه‌گیری شده

منبع تغییرات	درجه آزادی (df)	F value				درصد پوشش سطحی	RSF
		DV _{0.1}	DV _{0.5}	DV _{0.9}			
V	۲	۲/۵۰۰*	۲/۳۹۰*	۴/۹۰۸*		۹/۷۰۷*	۰/۰۰۳ ^{ns}
P	۲	۰/۷۴۴ ^{ns}	۰/۰۵۲ ^{ns}	۰/۰۹۴ ^{ns}		۱۰/۲۱۲*	۰/۳۱۸ ^{ns}
G	۲	۱/۱۷۶ ^{ns}	۰/۴۱۲ ^{ns}	۰/۱۰۸ ^{ns}		۵/۲۸۲*	۱/۳۱۳ ^{ns}
V×P	۴	۰/۵۶۹ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۷۰ ^{ns}		۴/۲۶۱*	۱/۰۸۶ ^{ns}
V×G	۴	۰/۰۲۴ ^{ns}	۰/۰۴۱ ^{ns}	۰/۰۵۵ ^{ns}		۰/۱۶۵ ^{ns}	۰/۰۱۰ ^{ns}
P×G	۴	۱/۰۹۶ ^{ns}	۱/۰۹۴ ^{ns}	۱/۵۷۸ ^{ns}		۰/۵۶۳ ^{ns}	۰/۳۵۹ ^{ns}
V×P×G	۸	۰/۳۷۱ ^{ns}	۰/۰۶۴ ^{ns}	۰/۷۷۷ ^{ns}		۱/۵۷۷ ^{ns}	۰/۵۶۴ ^{ns}
Error	۸۱	-	-	-		-	-
Total	۱۰۷	-	-	-		-	-

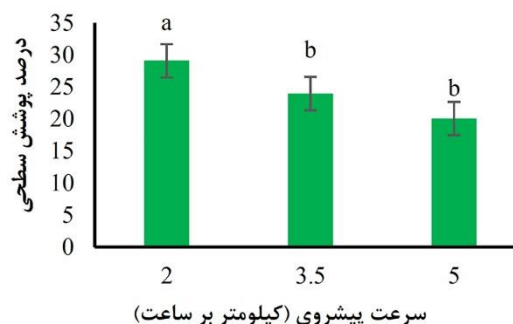
* وجود اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد و ns عدم وجود اختلاف معنادار است.

اثر فاصله پنکه از گلدان بر درصد پوشش سم در شکل ۷ نشان داده شده است. بدین صورت که گلدان شماره ۳ که در دورترین فاصله نسبت به منبع پنکه قرار داشت، دارای بیش‌ترین درصد پوشش بود. علت این امر بادبردگی و انتقال قطرات محلول بر روی گلدان دوم و سوم بود (Shakoori, 2019). برای گلدان‌های اول و دوم که به پنکه نزدیک‌تر بودند، اختلاف معناداری مشاهده نشد.



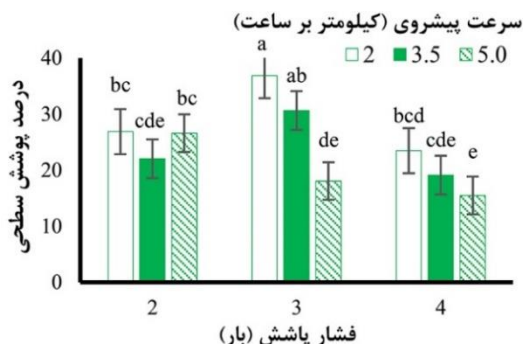
شکل ۷- اثر فاصله پنکه از گلدان بر درصد پوشش سطحی

شکل ۶ نشان می‌دهد با تغییر فشار از ۲ بار به ۳ بار، درصد پوشش افزایش یافت، اما با افزایش فشار از ۳ بار به ۴ بار، کاهش در درصد پوشش سطحی ایجاد شد که این کاهش به دلیل ریزش شدن قطرات محلول و مستعد بادبردگی شدن این قطرات است. بدین ترتیب، بیش‌ترین درصد پوشش سطحی در فشار ۳ بار با مقدار ۲۸/۵۳ درصد و کم‌ترین نشست سم نیز در فشار ۴ بار با مقدار ۱۹/۳۷ به دست آمد. یافته‌های این پژوهش با گزارش‌های (Mohseni Mahani et al., 2017) و (Salcedo et al., 2022) مطابقت داشت. هرچند نوع سم‌پاش‌ها و نازل‌های استفاده‌شده در این مطالعات متفاوت بود، اما در هر دو پژوهش نیز مانند تحقیق حاضر، افزایش فشار منجر به تولید قطرات ریزتر، افزایش بادبردگی و کاهش پوشش سطحی گردید. این موضوع نشان می‌دهد که روند مشاهده‌شده در فشارهای بالا، به نوع سم‌پاش و نازل محدود نمی‌شود.

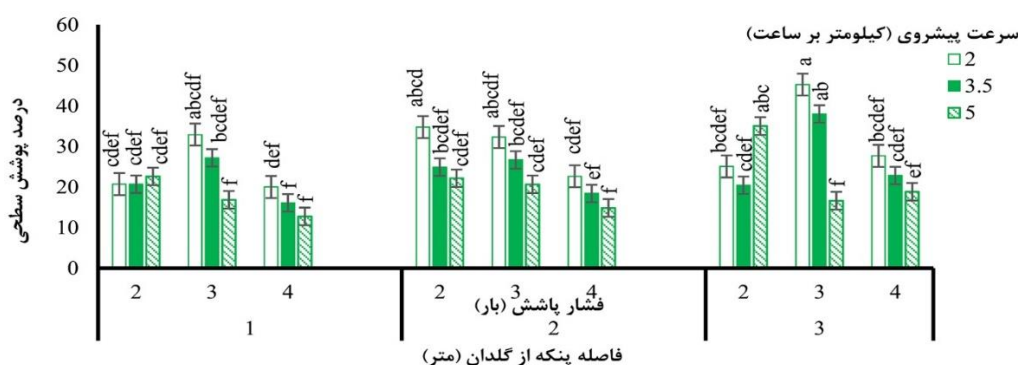


شکل ۵- اثر سرعت پیشروی بر درصد پوشش سطحی

قطرات کم و همچنین عبور سریع تر سمپاش از روی گلدان، مقدار بادبرگی بیش تر و میزان درصد پوشش سطحی کم تر می شود. نتایج به دست آمده با نتایج پژوهش های Nuyttens *et al.* (2014); Grella *et al.* (2017b); Behzadipour *et al.* (2017) مطابقت دارد.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل فشار سمپاشی و سرعت پیشروی بر درصد پوشش سطحی



شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه تایی (فشار سمپاشی، سرعت پیشروی و فاصله پنکه از گلدان) بر درصد پوشش سطحی

بیشترین سهم از میزان پاشش محلول را به خود اختصاص دادند. در نهایت شرایط کاری بهینه سمپاش پستی مجهز به افشانک تی جت برای گلدان های بادمجان در تیمار با فشار ۳ بار، سرعت پیشروی ۲ کیلومتر بر ساعت و فاصله ۳ متر پنکه از گلدان مشاهده شد که بیشترین نشست محلول در این حالت حاصل گردید. نتایج این پژوهش می تواند کمکی به عملیات سمپاشی گلخانه های گیاه بادمجان با استفاده از سمپاش پستی مجهز به افشانک تی جت کند.

مشارکت نویسندگان

نحوه و میزان مشارکت نویسندگان در انجام این پژوهش به صورت زیر است:

نویسنده اول: نگارش متن اولیه مقاله، نگارش و بازبینی و اصلاح مقاله، بازبینی، اعتبارسنجی، نظارت، منابع، مدیریت

شکل ۸ مقایسه میانگین اثر متقابل فشار سمپاشی و سرعت پیشروی را بر درصد پوشش سطحی، نشان می دهد. در دو فشار ۳ و ۴ بار با افزایش سرعت پیشروی، پوشش سطحی به ترتیب ۵۱ و ۳۴ درصد، کاهش پیدا می کند. بنابراین تیمار با فشار ۳ بار و سرعت پیشروی ۲ کیلومتر بر ساعت، بیشترین درصد پوشش سطحی و تیمار با فشار ۴ بار و سرعت پیشروی ۵ کیلومتر بر ساعت، کمترین درصد پوشش را دارا بودند. با توجه به شکل ۹ با دورتر شدن گلدان ها از پنکه، درصد پوشش سطحی افزایش پیدا کرد و بیشترین مقدار آن برای تیمار با فشار ۳ بار، سرعت پیشروی ۲ کیلومتر بر ساعت و فاصله ۳ متر بود. افزایش فشار سمپاشی منجر به ریزتر شدن قطر قطرات می شود که در نتیجه به دلیل قطر کم تر و سبک تر شدن، بیش تر در معرض بادبردگی قرار می گیرند و درصد پوشش کاهش پیدا می کند. با زیاد شدن سرعت پیشروی و افزایش فشار هوا بر روی افشانک های سمپاش، اندازه قطر

نتیجه گیری

در این مطالعه، عملکرد یک سمپاش مجهز به افشانک تی جت به منظور بررسی یکنواختی پاشش و پوشش سطحی در شرایط مختلف، مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل شده، تغییرات در سرعت پیشروی باعث تغییر در میزان درصد پوشش سطحی و متناسب با تغییر در پوشش سطحی، قطرهای حجمی ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد نیز، دستخوش تغییرات شد. این تغییرات بدین صورت بود که با افزایش سرعت پیشروی، کاهش در هر دو عامل درصد پوشش سطحی و اندازه قطر قطرات، مشاهده گردید. همچنین مقایسه میانگین سطوح مختلف فشار کاری سمپاش نشان داد که فشار ۳ بار نسبت به فشار ۲ و ۴ بار دارای درصد پوشش سطحی بهتری بود. گلدان هایی که در دورترین فاصله از پنکه قرار داشتند،

- of the operational parameters of crops turbine sprayer (turbo liner) on spray quality and diameter of droplets, Using Image Processing. *Journal of Agricultural Machinery* 7 (1): 61-72. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.v7i1.48194>
- Cavalier, S., & Lenik, M. (2010). Impact of nozzle types on efficacy of herbicides applied for weed control in maize. *Faculty of Agriculture and Life Sciences Maribor*, 77: 439-444.
- Cerruto, E., Manetto, G., Longo, D., Failla, S., & Papa, R. (2019). A model to estimate the spray deposit by simulated water sensitive papers. *Crop protection*, 124, 104861. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104861>
- Cunha, M., Carvalho, C., & Marcal, A. R. (2012). Assessing the ability of image processing software to analyse Spray quality on water-sensitive papers used as artificial targets. *Biosystems Engineering*, 111(1): 11-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.10.002>
- Dai, S., Ou, M., Du, W., Yang, X., Dong, X., Jiang, L., ... & Jia, W. (2023). Effects of sprayer speed, spray distance, and nozzle arrangement angle on low-flow air-assisted spray deposition. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1184244. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1184244>
- Daneshjoo, M., Abbaspoorfard, M., Aghkhani, M., & Arian, M. (2008). *Evaluation and application of suitable software for measuring the density and size of poison droplets. The 5th National Conference on Agricultural Machinery Engineering (Biosystems)*. Aug. 27. Ferdowsi University of Mashhad. Iran. (In Persian)
- Dekeyser, D., Duga, A. T., Verboven, P., Endalew, A. M., Hendrickx, N., & Nuytens, D. (2013). Assessment of orchard sprayers using laboratory experiments and computational fluid dynamics modelling. *Biosystems Engineering*, 114(2): 157-169. [10.1016/j.biosystemseng.2012.11.013](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.11.013)
- Fattahi, S. H., & Abdollah pour, S. (2024). Sensitivity analysis of variables affecting spray drift from pesticides for their environmental risk assessments on agricultural lands. *Environment, Development and Sustainability*, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-04452-x>
- Foqué, D., & Nuytens, D. (2011). Effects of nozzle type and spray angle on spray deposition in ivy pot plants. *Pest Management Science*, 67(2): 199-208. <https://doi.org/10.1002/ps.2051>
- Gil, E., Llorens, J., Llop, J., Fàbregas, X., Escolà, A., & Rosell-Polo, J. R. (2013). Variable rate sprayer. Part 2-vineyard prototype: Design, implementation, and validation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 95: 136-150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2013.02.010>
- Grella, M., Gallart, M., Marucco, P., Balsari, P., & Gil, E. (2017a). Ground Deposition and Airborne Spray Drift Assessment in Vineyard and Orchard: The Influence of Environmental Variables and Sprayer
- پروژه، روش‌شناسی، بررسی، تامین مالی، تحلیل، مفهوم‌سازی. نویسنده دوم: بازبینی، اعتبارسنجی، نظارت، منابع، مدیریت پروژه، روش‌شناسی، بررسی، تامین مالی، تحلیل، مفهوم‌سازی. نویسنده سوم: بازبینی، اعتبارسنجی، نرم‌افزار، روش‌شناسی، بررسی، تحلیل، گردآوری داده‌ها، مفهوم‌سازی. نویسنده چهارم: نگارش و بازبینی و اصلاح مقاله، بازبینی، اعتبارسنجی، نرم‌افزار، روش‌شناسی، بررسی، تحلیل. نویسنده پنجم: نگارش و بازبینی و اصلاح مقاله، بازبینی، اعتبارسنجی، نرم‌افزار، روش‌شناسی، بررسی، تحلیل. نویسنده ششم: نگارش و بازبینی و اصلاح مقاله، بازبینی، اعتبارسنجی، بررسی. نویسنده هفتم: نگارش و بازبینی و اصلاح مقاله، بازبینی، اعتبارسنجی.
- ### دست‌رسی به داده‌ها
- داده‌ها در صورت درخواست، در اختیار قرار خواهند گرفت.
- ### اصول اخلاقی
- نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تایید همه آنها است.
- ### تضاد منافع نویسندگان
- در این مقاله هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تایید همه نویسندگان است.
- ### حمایت مالی
- این کار با حمایت مالی (شماره گرنت - ۱۴۸۳۲۱) از دانشگاه شیراز انجام شده است.
- ### منابع
- Alheidary, M. (2018). Effect of the operating pressure and nozzle height on droplet properties using knapsack sprayer. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 49 (3). <https://doi.org/10.36103/ijas.v49i3.105>
- Anonymous. (2015). Equipment for crop protection Knapsack sprayers-Part 2: Test methods. INS: 10346-2.
- Asaei, H., Jafari, A., & Loghavi, M. (2016). Development and evaluation of a targeted orchard sprayer using machine vision technology. *Journal of Agricultural Machinery* 6 (2): 362-375. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jam.v6i2.37220>
- Behzadipour, F., Ghaseminezhad Rayini, M., Asoudar, M. A., Marzban, A., & Mahdizadeh, S. (2017). Study

- Biosystems Engineering* 48: 353-360. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.141127.664715>
- Nasseri, M., Abbaspoorfard, M., Chaji, H., and Jafarzade, E. (2008). *Investigating the effect of nozzle aperture diameter, pump pressure and tractor speed, on uniformity of spraying in turbine agitator sprayer (Turboliner). The 5th National Conference on Agricultural Machinery Engineering (Biosystems)*. Aug. 27. Ferdowsi University of Mashhad. Iran. (In Persian).
- Nuyttens, D., De Schampheleire, M., Steurbaut, W., Baetens, K., Verboven, P., Nicolaï, B., ... & Sonck, B. (2006). Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers, Part 1: Meteorological conditions. *Aspects of applied biology*, 77(2).
- Nuyttens, D., Zwervaegeher, I., & Dekeyser, D. (2014). Comparison between drift test bench results and other drift assessment techniques. *Aspects of Applied Biology: International Advances in Pesticide Application*, 122(2), 293-301.
- Ranta, O., Marian, O., Muntean, M. V., Molnar, A., Ghețe, A. B., Crișan, V., ... & Rittner, T. (2021). Quality analysis of some spray parameters when performing treatments in vineyards in order to reduce environment pollution. *Sustainability*, 13(14), 7780. <https://doi.org/10.3390/su13147780>
- Safari, M. (2011). Development and evaluation of boom automizer sprayer to control sunn pests in wheat production. *Research project final report. Ministry of Jahad-e-Agriculture. AREEO, Agricultural Engineering Research Institute Pub.* (In Persian).
- Salcedo, R., Zhu, H., Jeon, H., Ozkan, E., Wei, Z., Gil, E., Campos, J., & Román, C. (2022). Droplet size distributions from hollow-cone nozzles coupled with PWM valves. *Journal of the ASABE*, 65(4), 695-706. <http://dx.doi.org/10.13031/ja.15064>
- Shakoori, H. (2019). Numerical simulation and laboratory evaluation of a sprayer T-jet nozzle flow (M. Sc. Thesis), Faculty of Agricultural, Department of Biosystems Engineering, Shiraz university, Shiraz, Iran. (In Persian)
- Sun, D., Hu, J., Huang, X., Luo, W., Song, S., & Xue, X. (2024). Study on the Improvement of Droplet Penetration Effect by Nozzle Tilt Angle under the Influence of Orthogonal Side Wind. *Sensors*, 24(9), 2685. <https://doi.org/10.3390/s24092685>
- Tang, Y., Hou, C. J., Luo, S. M., Lin, J. T., Yang, Z., & Huang, W. F. (2018). Effects of operation height and tree shape on droplet deposition in citrus trees using an unmanned aerial vehicle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 148: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.026>
- Yates, W. E., & Akesson, N. (1973). Reducing pesticide chemical drift. Van Valkenburg, Wade, ed. *Pesticide Formulations*, 275.
- Settings. *Sustainability*, 9(5), 728. <https://doi.org/10.3390/su9050728>
- Grella, M., Gil, E., Balsari, P., Marucco, P., & Gallart, M. (2017b). Advances in developing a new test method to assess spray drift potential from air blast sprayers. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(3), e0207-e0207.
- Haji Agha Alizadeh, H., Poor Vosoughi, H., & Bakhtiari, A. A. (2015). Evaluating functional factors of electrostatic spraying for the upper and rear surfaces of the leaves using image processing. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 47: 39-49. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijbse.2016.58476>
- Ilari, A., Piancatelli, S., Centorame, L., Moumni, M., Romanazzi, G., & Foppa Pedretti, E. (2023). Distribution Quality of Agrochemicals for the Revamping of a Sprayer System Based on Lidar Technology and Grapevine Disease Management. *Applied Sciences*, 13(4), 2222. <https://doi.org/10.3390/app13042222>
- Jadav, C. V., Jain, K. K., & Khodifad, B. C. (2019). Spray of chemicals as affected by different parameters of air assisted sprayer: a review. *Current Agriculture Research Journal*, 7(3). <https://doi.org/10.12944/CARJ.7.3.03>
- Jafari Malekabadi, A., Sadeghi, M., & Zaki Dizaji, H. (2016). Comparing Quality of a Telescopic Boom Sprayer with Conventional Orchard Sprayers in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18: 585-599. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2016.18.3.1.3>
- Jafari Malekabadi, A., Sadeghi, M & Zaki Dizaji, H. (2014). Design and Fabrication of Telescopic Boom for Spraying Orchards and Comparison with a Conventional Sprayer. *Journal of Mechanical sciences in agricultural machines*, 2(2): 28-43. (In Persian).
- Khan, F. A., Khorsandi, F., Ali, M., Ghafoor, A., Raza Khan, R. A., Umair, M., ... & Hussain, Z. (2024). Spray drift reduction management in agriculture: A review. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 20(1), 1-36.
- Lee, S.-y., Park, J., Choi, L.-y., Daniel, K. F., Hong, S.-w., Noh, H. H., & Yu, S.-H. (2023). Quantifying Airborne Spray Drift Using String Collectors. *Agronomy*, 13(11), 2738. <https://doi.org/10.3390/agronomy13112738>
- Mahmoudi, F., Heidarbeigi, K., & Azizpanah, A. (2019). Evaluation of the Effect of Pressure and Wind Speed on the Amount of Drift through the Image Processing Method. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(1), 213-221.
- Mangado, J., Arazuri, S., Arnal, P., Jarén, C., & López, A. (2013). Measuring the accuracy of a pesticide treatment by an image analyzer. *Procedia Technology*, 8, 498-502.
- Mohseni Mahani, M., Shamsi, M., & Maghsoodi, H. (2017). Design and development of a portable sprayer launched on tree crown. *Iranian Journal of*

