



Effect of Flat Fans Spray Angle Relative to the Vertical Direction on the Ground in Standard, Anti-Drift and Air-Induction Dual Flat Fan Nozzles on Imazethapyr Efficacy on Velvetleaf (*Abutilon Theophrasti*)

Samira Karami¹, Akbar Aliverdi²

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. Email: samira.karami1992@gmail.com

2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: a.aliverdi@basu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Apr. 8, 2026

Revised: May. 26, 2026

Accepted: June. 4, 2026

Published online: Summer 2026

Keywords:

Chlorophyll fluorescence,
Post-emergence herbicide,
Nozzle type,
Spray coverage

ABSTRACT

Role of the angle between flat fans in dual flat fan nozzles on herbicide efficacy has not been studied. In a pot experiment, six doses of imazethapyr were sprayed with three types of flat fan nozzles, including standard, anti-drift, and air-induction, with 11 injection geometries, including 1 single flat fan nozzle and 10 dual flat fan nozzles, on velvetleaf to estimate the dose needed for 50% control (ED₅₀). Spray coverage on water-sensitive papers installed at three different positions, and also, chlorophyll fluorescence was measured. In one position of water-sensitive papers, spray coverage with single flat fan nozzles was standard > anti-drift > air-induction, indicating a more spray coverage with small droplets, leading to a further decrease in the area between the Kautsky curve and the maximum chlorophyll fluorescence. The ED₅₀ values for single flat fan nozzles were as standard < air-induction > anti-drift, with 14.46, 15.03 and 19.84 g/ha, respectively. The number of flat fans affected imazethapyr efficacy. The angle of the fans relative to the ground in dual flat fan nozzles was also determined as a determining factor on imazethapyr efficacy. Based on the results, it is recommended that anti-drift dual flat fan nozzles producing coarse droplets (350-450 microns) with an angle between flat fans of 100° (a flat fan with 70° forward and another with 30° backward) and air-induction producing extremely coarse droplets (450-550 microns) and 40° (a flat fan with 30° forward and another with 10° backward) are used to apply imazethapyr on velvetleaf.

This article: Karami, S., Aliverdi, A., (2026) Effect of Flat Fans Spray Angle Relative to The Vertical Direction on the Ground in Standard, Anti-Drift and Air-Induction Dual Flat Fan Nozzles on Imazethapyr Efficacy on Velvetleaf (*Abutilon Theophrasti*), *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 57 (2),101-118. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.412418.665644>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.412418.665644>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Currently, herbicides are considered an important and essential tool in agrosystems, and a large part of the increase in crop yield depends on them. One of the pillars of the rational use of herbicides is the selection of appropriate application equipment. Nozzle technology has always been advancing. Dual flat fan nozzles create two non-vertical injection, with an angle between flat fans. They may have symmetrical or asymmetrical injection geometry. Dual flat fan nozzles have been showed better performance compared with single flat fan nozzles on herbicide efficacy. However, it has been reported that performance of them are dependent on the application timing of herbicide. In single flat fan nozzles, the correction of injection angle can lead to improved spray coverage on weeds, leading to a better herbicide efficacy. Therefore, it is suggested as a simple solution to optimize the dosage of herbicide. However, despite the availability of dual flat fan nozzles, the effect of the flat fans spray angle relative to the vertical direction on the ground on the spray coverage and herbicide efficacy has not been investigated. In this study, it is assumed that the change in angle of the flat fans spray relative to the vertical direction on the ground in dual flat fan nozzles can affect herbicide efficacy. Therefore, this study was conducted with the aim of accepting or rejecting the above hypothesis and also the effect of droplet size on the above hypothesis.

Methods

The experiment was conducted during the summer of 2024 in the Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. It was conducted as a factorial completely randomized design with three replications. The first factor was the herbicide dose, including six doses of imazethapyr (0, 6.25, 12.5, 25, 50 and 100 g a.i. ha⁻¹), the second factor was the nozzle type, including three types of flat fan nozzles (standard, anti-drift, and air-induction), and the third factor was the injection geometry of nozzle, using 1 single flat fan nozzle and 10 dual flat fans nozzles. At the seven-leaf stage, spraying was carried out between 6-8 am. Immediately after spraying, spray coverage on water-sensitive papers installed at three different positions was measured. Moreover, chlorophyll fluorescence and dry weight was measured 3 and 28 days after spraying, respectively.

Results

The results showed that in two positions of water-sensitive papers, spray coverage with single flat fan nozzles was as a standard > anti-drift > air-induction. This indicates a more spray coverage with small droplets, leading to further decrease in the Area between the Katski curve and the maximum chlorophyll fluorescence. No significant change was observed for F_v/F_m among treatments. A positive correlation was observed between the Area and F_v/F_m . However, the ED₅₀ values for single flat fan nozzles were as standard < air-induction > anti-drift, with 14.46, 15.03 and 19.84 g ha⁻¹, respectively, which is consistent with the data obtained from sensitive papers. The number of flat fans affected imazethapyr efficacy. The angle of the fans spray relative to the vertical direction on the ground in dual flat fan nozzles was also determined as a determining factor on imazethapyr efficacy. Among standard dual flat fan nozzles, the lowest and highest ED₅₀ was observed with an angle between flat fans of 100° (a flat fan with 70° forward and another with 30° backward) and 40° (a flat fan with 20° forward and another with 20° backward), respectively. Among anti-drift dual flat fan nozzles, the lowest and highest ED₅₀ was observed with an angle between flat fans of 100° (a flat fan with 70° forward and another with 30° backward) and 40° (a flat fan with 40° forward and another with 0° backward), respectively. Among air-induction dual flat fan nozzles, the lowest and highest ED₅₀ was observed with an angle between flat fans of 40° (a flat fan with 30° forward and another with 10° backward) and 40° (a flat fan with 30° forward and another with 10° backward), respectively.

Conclusion

Based on the results, it is recommended that anti-drift dual flat fan nozzles producing coarse droplets (350-450 microns) with an angle between flat fans of 100° (a flat fan with 70° forward and another with 30° backward) and air-induction producing extremely coarse droplets (450-550 microns) and 40° (a flat fan with 30° forward and another with 10° backward) are used to apply imazethapyr on velvetleaf.

Funding

The study was funded by the University of BU-Ali Sina, Country Iran, and Grant No. 1877650.

Authorship contribution

First author: student: Preparation of samples, Do the test and data curation Perform calculations, formal analysis, Analysis and interpretation of information and results, writing—original draft preparation.

Second author: Thesis supervisor: writing—review and editing, visualization, supervision, project

administration, Check and control the results, Editing, reviewing, and finalizing the article.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

We would like to thank the Vice Chancellor for Research of Bu Ali Sina University for financial support in carrying out this research.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

تأثیر زاویه پاشش بادبزنها نسبت به راستای قائم بر زمین در نازل‌های دو بادبزنه استاندارد، ضد بادبردگی و القاء‌کننده هوا بر کارایی علف‌کش ایمازاتاپیر علیه علف‌هرز گاوپنبه (*Abutilon theophrasti*)

سمیرا کرمی^۱، اکبر علی‌وردی^۲^۱ گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: samira.karami1992@gmail.com^۲ نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه:a.aliverdi@basu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

نقش زاویه بین بادبزنها در نازل‌های دو بادبزنه بر کارایی علف‌کش‌ها به دلیل پوشش مناسب تاکنون بررسی نشده است. در آزمایش‌های گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، شش مقدار از ایمازاتاپیر با سه نوع نازل استاندارد، ضد بادبردگی و القاء‌کننده هوا با ۱۱ جهت پاشش بادبزنها (۱ نازل تک بادبزنه و ۱۰ نازل دو بادبزنه) بر روی گاوپنبه پاشیده شد تا مقدار علف‌کش لازم برای کنترل ۵۰ درصدی (ED₅₀) برآورد شود. پوشش پاشش روی کاغذهای حساس به رطوبت در سه موقعیت مختلف و نیز فلورسانس کلروفیل برگ اندازه‌گیری شد. در یک موقعیت از کاغذهای حساس به رطوبت، پوشش پاشش با نازل‌های تک بادبزنه به صورت استاندارد < ضد بادبردگی > القاء‌کننده هوا بود. این نشان‌دهنده پوشش بیشتر توسط قطرات کوچکتر بود که باعث کاهش بیشتر در سطح بین منحنی کاتسکی و حداکثر فلورسانس کلروفیل شد. مقادیر ED₅₀ با نازل‌های تک بادبزنه به صورت استاندارد < القاء‌کننده هوا > ضد بادبردگی به ترتیب با ۱۴/۴۶، ۱۵/۰۳ و ۱۹/۸۴ گرم ایمازاتاپیر در هکتار بدست آمد. تعداد بادبزنها بر کارایی ایمازاتاپیر تأثیر گذاشت. زاویه پاشش بادبزنها نسبت به راستای قائم بر زمین در نازل‌های دو بادبزنه نیز عامل تعیین‌کننده‌ای بر کارایی ایمازاتاپیر بود. براساس نتایج، کاربرد ایمازاتاپیر با نازل‌های دو بادبزنه ضد بادبردگی دارای زوایای بین بادبزنها ۱۰۰ (یک بادبزنها ۷۰ درجه به جلو و دیگری ۳۰ درجه به عقب) با قطرات درشت (۳۵۰-۴۵۰ میکرونی) و القاء‌کننده هوا دارای زوایای بین بادبزنها ۴۰ (یک بادبزنها ۳۰ درجه به جلو و دیگری ۱۰ درجه به عقب) با قطرات خیلی درشت (۴۵۰-۵۵۰ میکرونی) توصیه می‌گردد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۱/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۳/۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۳/۱۴

تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۵

واژه‌های کلیدی:

پوشش پاشش،

علف‌کش پس‌رویشی،

فلورسانس کلروفیل،

نوع نازل.

استناد: کرمی، سمیرا، علی‌وردی، اکبر، (۱۴۰۵) تأثیر زاویه پاشش بادبزنها نسبت به راستای قائم بر زمین در نازل‌های دو بادبزنه استاندارد، ضد بادبردگی و القاء‌کننده هوا بر کارایی علف‌کش ایمازاتاپیر علیه علف‌هرز گاوپنبه (*Abutilon theophrasti*)، *مجله مهندسی بیوسیستم ایران/ ایران*، ۵۷ (۲)، ۱۱۸-۱۰۱.

<https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.412418.665644>

© نویسنده‌گان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2026.412418.665644>

مقدمه

علف‌های هرز چالشی عمده در بخش کشاورزی محسوب می‌شوند که از طریق تأثیر سوء بر بهره‌وری محصولات کشاورزی باعث کاهش عملکرد آن‌ها می‌شوند. از اینرو، کنترل آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Tataridas et al., 2025). در حال حاضر، علف‌کش‌ها ابزاری مهم و ضروری برای کنترل علف‌های هرز در نظام‌های زراعی محسوب می‌شوند و بخش زیادی از افزایش عملکرد گیاهان زراعی در گرو کاربرد آنهاست (خواجوی و همکاران، ۱۳۹۸). با این حال، کاهش مصرف علف‌کش‌ها به علت مخاطرات زیست محیطی ناشی از کاربرد آن‌ها از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، بقایای سموم در مواد غذایی، تأثیر نامطلوب بر موجودات غیر هدف و شیوع علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها امری بسیار جدی است. با کاربرد منطقی علف‌کش‌ها می‌توان ضمن دستیابی به کاهش مصرف آن‌ها و متعاقباً کاهش پیامدهای زیست محیطی ناشی از آن‌ها، امنیت غذایی سالم را نیز برای جامعه تضمین کرد (Paporisch et al., 2020). این مواد شیمیایی باید در منطقه خاصی از هدف که توسط حشرات، آفات، بیماری‌ها یا علف‌های هرز اشغال شده است، اعمال شوند و از اینرو، باید در انتخاب تجهیزات کاربرد به درستی اقدام شود (Shirwal et al., 2020). در کاربرد علف‌کش‌های پس‌رویشی که هدف، رساندن ماده مؤثره به سطح برگ علف‌هرز است، ضمن حداکثر نشست قطرات پاشش، باید توزیع یکنواختی از آن‌ها نیز رخ دهد (Shaw et al., 2000). برای دستیابی به پوشش و توزیع یکنواخت قطرات پاشش روی سطح زیرین برگ‌ها و بخش پشتی بوته در مسیر حرکت سمپاش از نگرانی‌های اصلی در کاربردهای مواد شیمیایی کشاورزی محسوب می‌شود. بنابراین، پوشش پاشش مناسب به عنوان یک عامل کلیدی برای کنترل شیمیایی مؤثر علف‌های هرز محسوب می‌شود (Sharpe et al., 2017). کارایی علف‌کش‌ها در کنترل علف‌های هرز متأثر از توانایی نفوذ ماده مؤثره در کوتیکول برگ آن‌هاست. جذب برگ علف‌کش نیز به ساختار تاج پوشش و ساختار سطح برگ که ممکن است کرک‌دار و یا مومی باشد وابسته است (Basi et al., 2012). کوتیکول برگ علف‌هرز گاوپنبه (*Abutilon theophrasti*) حاوی موم بلورین بوده و نیز از کرک‌های متراکم، کوتاه و ستاره‌ای شکل پوشیده است. به همین دلیل، وجود کرک‌ها باعث می‌شود پوشش مناسبی از علف‌کش در سطح گیاه به دلیل خیس‌پذیری دشوار رخ ندهد (Smith et al., 2000).

نازل یکی از کلیدی‌ترین اجزای تعیین‌کننده اندازه و توزیع فضایی قطرات پاشش است (Li et al., 2019). فناوری تولید نازل‌ها همیشه در حال پیشرفت بوده است. به طوری که تولیدکنندگان تاکنون بیش از ۷۰ نوع نازل مختلف برای استفاده در موقعیت‌های مختلف طراحی و به بازار معرفی کرده‌اند. در این بین می‌توان به نازل دو بادبزن اشاره کرد. در این نوع نازل، محلول پاشش از دو روزنه خارج می‌شود و اصطلاحاً آن‌ها دو بادبزنی پاشش را ایجاد می‌کنند که زاویه بین آن‌ها می‌تواند متقارن و یا نامتقارن باشد (Aliverdi & Borghei., 2021). نازل‌های دو بادبزن با ایجاد دو مسیر پاشش، معمولاً غیر عمودی، امکان برخورد بهتر قطرات به سطوح علف‌های هرز را فراهم می‌سازند (علی‌وردی و شریفی، ۱۳۹۹). در نتیجه امکان پُرش قطرات از سطوح، پس از برخورد، به حداقل می‌رسد. به همین دلیل، قطرات پاشش بیشتری با نازل دو بادبزن در مقایسه با نازل تک بادبزن بر روی سطوح علف‌های هرز نشست می‌کند. در نتیجه، امکان کاهش مصرف علف‌کش‌ها میسر می‌شود. برای مثال، علی‌وردی و کرمی (۱۳۹۸) گزارش کردند که نازل‌های دو بادبزن عملکرد بهتری در مقایسه با نازل‌های تک بادبزن بر کارایی علف‌کش سیکلوکسیدیم در کنترل علف‌هرز جودره داشتند. با این وجود، گزارش شده است که عملکرد نازل‌های تک بادبزن و دو بادبزن به زمان کاربرد علف‌کش نیکوسولفورون علیه گاوپنبه نیز بستگی دارد. به طوری که قبل از طلوع آفتاب، عملکرد نازل دو بادبزن بهتر از عملکرد نازل تک بادبزن گزارش شده است. در حالی که بعد از طلوع آفتاب، عملکرد نازل تک بادبزن بهتر از عملکرد نازل دو بادبزن است (Aliverdi et al., 2021).

از نظر اندازه قطرات پاشش، نازل دو بادبزن در انواع متفاوتی تولید شده است. برای مثال، نازل‌های دو بادبزن استاندارد، ضد بادبردگی و القاء‌کننده هوا که اندازه قطرات پاشش متفاوتی برحسب فشار پاشش را ایجاد می‌کنند. به طور کلی، در یک فشار ثابت، اندازه قطرات تولیدی در نازل دو بادبزن ضد بادبردگی به دلیل داشتن سیستم پیش‌روزنه به منظور کاهش فشار پاشش در اتافک نازل، بزرگتر از نازل دو بادبزن استاندارد است. همچنین، اندازه قطرات تولیدی در نازل دو بادبزن القاء‌کننده هوا که ضمن داشتن سیستم پیش‌روزنه، به سیستم مکش هوای و تئوری نیز مجهز است، بزرگتر از نازل دو بادبزن ضد بادبردگی است. از طرفی دیگر، قطرات تولیدی در نازل دو بادبزن القاء‌کننده هوا محتوی حبابچه‌های هواست که باعث نشست مؤثرتر آن‌ها روی سطوح علف‌های هرز می‌شود. تولید قطرات بزرگتر می‌تواند خطر بادبردگی به بیرون از منطقه‌ی سمپاشی را به حداقل برساند که لازمه کاربرد ایمن و بهینه علف‌کش‌ها در شرایطی با خطر بادبردگی

بالاست (Bolat & Özlüoymak, 2020). تحقیقات گذشته روی نازل‌های تک بادبزن نشان داده است که تغییر دادن جهت پاشش از حالت عمودی به غیر عمودی سبب بهبود قابل توجهی در نشست قطرات پاشش و کارایی علف‌کش‌ها روی علف‌های هرز بویژه علف‌های هرز باریک برگ شده است (Jensen, 2007; Jensen, 2012; Aliverdi & Zarei, 2020). به عبارتی دیگر، تصحیح زاویه پاشش به طور قابل توجهی منجر به بهبود پوشش پاشش روی سطوح علف‌های هرز می‌شود و به همین دلیل به عنوان راهکاری ساده برای بهینه‌سازی مصرف علف‌کش‌ها مطرح شده است (Lin et al., 2024). بر این اساس، انواعی از نازل‌های تک بادبزن دارای زاویه پاشش به جلو به وسیله تولیدکنندگان نیز طراحی و معرفی شده است؛ از جمله: نازل تک بادبزن القاء‌کننده هوای متراکم زاویه‌دار با ۱۳ درجه زاویه به جلو (ASJ, 2018)، نازل تک بادبزن القاء‌کننده هوا با ۲۰ درجه زاویه به جلو (Hypro, 2013) و نازل تک بادبزن زاویه‌دار (ASJ, 2018)، نازل تک بادبزن سه‌بعدی (Syngenta, 2020)، نازل تک بادبزن سوپر توربو^۱ و نازل تک بادبزن سوپر توربو القاء‌کننده هوا (MagnoJet, 2015) با ۳۰ درجه زاویه به جلو. با این وجود و علی‌رغم دسترسی به نازل‌های دو بادبزن، تاکنون به تأثیر زاویه بین دو بادبزن در نازل‌های دو بادبزن بر پوشش پاشش و کارایی علف‌کش‌ها هیچ مطالعه‌ای انجام نشده است.

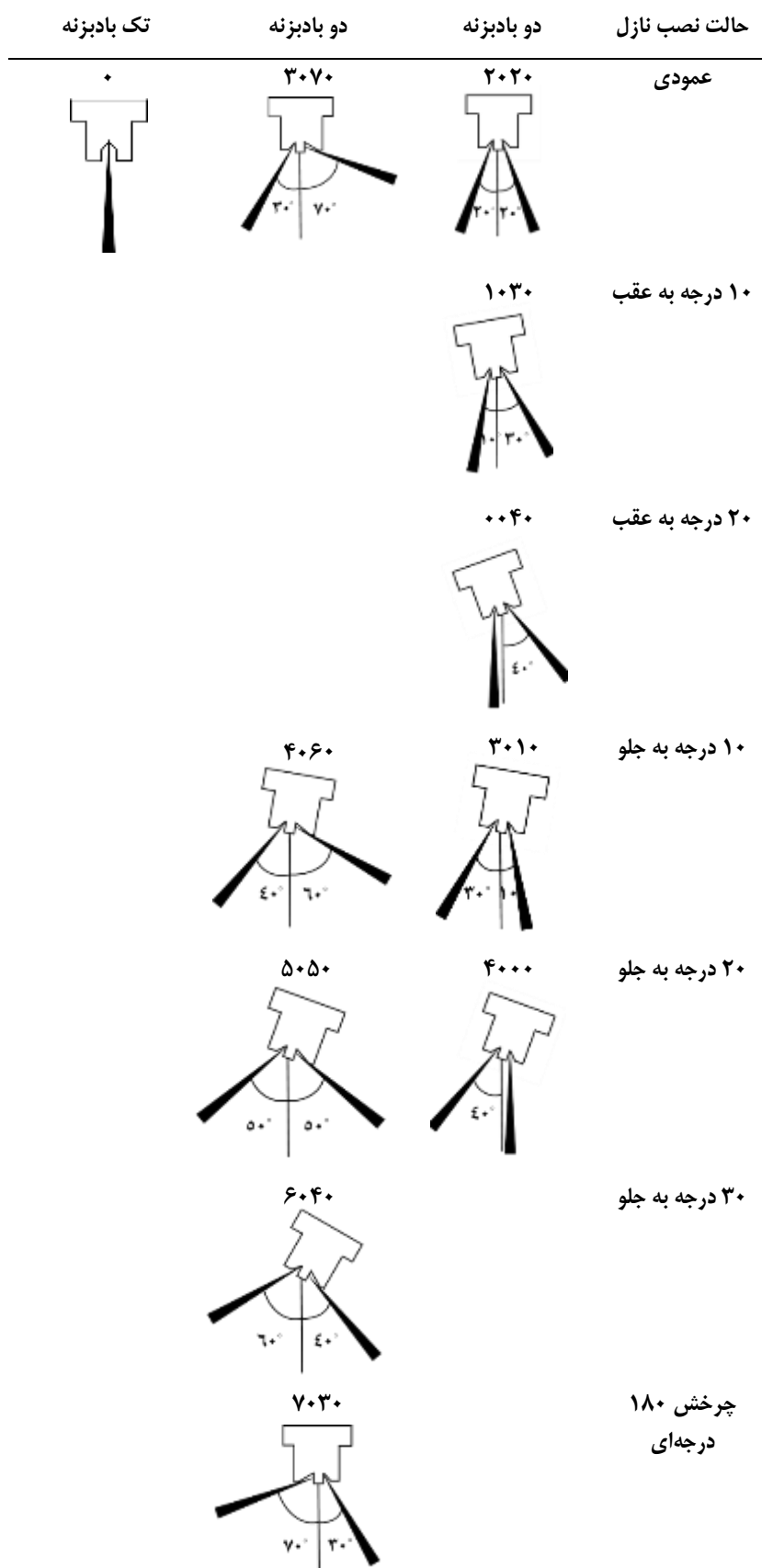
در این پژوهش، فرض بر این بود که تغییر در زاویه پاشش بادبزن‌ها نسبت به راستای قائم بر زمین در نازل‌های دو بادبزن می‌تواند کارایی علف‌کش‌ها را تحت تأثیر قرار دهد که از طریق قرار دادن کاغذهای حساس به رطوبت در مسیر حرکت نازل و اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل و وزن خشک بررسی کند. از اینرو، این پژوهش با هدف پذیرش یا رد فرضیه فوق و نیز تأثیرپذیری فرضیه فوق از اندازه قطرات پاشش انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش در تابستان ۱۴۰۳ در دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. بذره‌های گاوپنبه استفاده شده در پاییز ۱۴۰۲ از مزارع شهرستان گرگان جمع‌آوری شده بود. بذرها به مدت یک ساعت در آب ۶۰ درجه سلسیوس درون یک ظرف استیل درب‌دار به منظور خواب‌شکنی آن‌ها نگهداری شدند. دمای آب حداقل به مدت یک ساعت ثابت نگهداشته شد. سپس، بذرها درون پتری‌دیش‌های پلاستیکی دارای یک لایه کاغذ صافی واتمن شماره ۱ قرار گرفتند و در هر کدام از آنها ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد. پتری‌دیش‌ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای آزمایشگاه درون یک جعبه کارتنی در تاریکی نگهداری شدند (Ravlić et al., 2015). سپس در ۱۳ تیر ۱۴۰۳، تعداد ۱۰ بذر تیمار شده در هر گلدان پلاستیکی قهوه‌ای در ابعاد ۱۵×۱۵×۱۰ سانتی‌متر که با خاکی با ویژگی معلوم (۲۸/۹ درصد رس، ۴۷ درصد سیلت، ۲۳/۶ درصد شن و ۰/۶ درصد ماده آلی) پر شده بودند در عمق نیم سانتی‌متری کشت شدند. گلدان‌ها به درون گلخانه منتقل شدند. گلدان‌ها آبیاری شدند. پس از سبز شدن گیاهچه‌ها، گلدان‌ها به محیط بیرون از گلخانه و هوای آزاد انتقال یافتند و آبیاری بسته به نیاز آبی آن‌ها انجام شد. در مرحله دو برگی، گیاهچه‌ها برای نگهداشت سه بوته در هر گلدان که از نظر رشدی، دارای اندازه بوته یکنواختی بودند تنک شدند.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول: مقدار علف‌کش که شامل شش مقدار از ایمازاتاپیر (صفر، ۶/۲۵، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ گرم ماده مؤثره در هکتار)، فاکتور دوم: نوع نازل که شامل نازل‌های بادبزنی استاندارد، ضد بادبردگی و القاء‌کننده هوا و فاکتور سوم: زاویه پاشش بادبزن(ها) نسبت به راستای قائم بر زمین که شامل ۱ نازل تک بادبزن و ۱۰ نازل دو بادبزن بود که نحوه تنظیم آن‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. تیمارها در یک اتاقک سمپاشی به اجرا درآمدند و لذا، تغییر زوایای پاشش بادبزن‌ها نسبت به راستای قائم بر زمین در نازل‌های دو بادبزن از طریق تغییر زاویه نصب دو نوع نازل دو بادبزن در دسترس در بازار شامل نازل‌های دو بادبزن ۲۰۲۰ و ۳۰۷۰ ایجاد شد. تغییر زوایا برای نازل دو بادبزن ۲۰۲۰ شامل ۱۰ و ۲۰ درجه به جلو و عقب و برای نازل دو بادبزن ۳۰۷۰ شامل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه به جلو و چرخش ۱۸۰ درجه‌ای آن بود. شماره تمامی نازل‌های مورد استفاده در پژوهش ۱۱۰۰۲ (زرد رنگ) بود که تحت فشار ۳ بار، حجم پاشش ۲۱۰ لیتر آب در هکتار را فراهم می‌کرد. مشخصات و اندازه قطرات پاشش حاصل از نازل‌های فوق در جدول ۱ ذکر شده است.

در مرحله هفت برگی، عملیات سمپاشی در روزهای ۲۳ و ۲۴ مرداد ۱۴۰۳ در بین ساعات ۶ تا ۸ صبح انجام گرفت. در این بازه زمانی که ساعت پاشش مناسب برای کاربرد ایمازاتاپیر نیز هست، بوته‌های گاوپنبه حرکت برگی از خود نشان نمی‌دهند و برگ آن‌ها در وضعیت کاملاً افقی بود (Zhou et al., 2007).

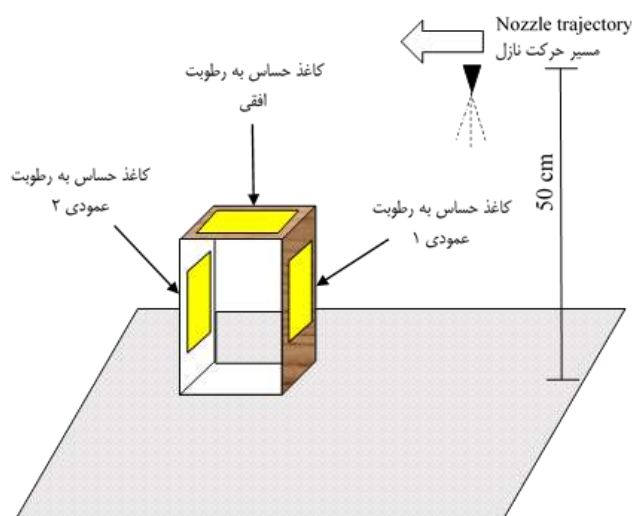


شکل ۱. نحوه تنظیم زوایای بین بادبزن‌ها در نازل‌های دو بادبزنه. جهت حرکت نازل از راست به چپ می‌باشد. اعداد روی نازل‌ها نشان دهنده زاویه پاشش هر بادبزن نسبت به خط عمود بر زمین است. برای مثال، در زاویه پاشش دو بادبزن ۲۰، یکی از بادبزن‌ها ۲۰ درجه به جلو و بادبزن دیگر ۲۰ درجه به عقب پاشش می‌کند.

جدول ۱. ویژگی‌های نازل‌های بادبزی استفاده شده در این پژوهش در فشار پاشش ۳ بار

شرکت تولیدکننده	دسته‌بندی قطرات پاشش	قطر قطرات پاشش (میکرون)	زاویه بادبزن (ها) نسبت به خط عمود بر زمین	هندسه پاشش	علامت اختصاری (قراردادی)	نوع نازل
ASJ, Italy	ریز	۲۳۵-۱۴۴	۰	تک بادبزنه	SSFF	استاندارد
Magnojet, Brazil	ریز	۲۳۵-۱۴۴	۰	تک بادبزنه	ADSFF	ضد بادبردگی
Magnojet, Brazil	فوق العاده درشت	بزرگ‌تر از ۵۵۰	۰	تک بادبزنه	AISFF	القاء کننده هوا
Magnojet, Brazil	ریز	۲۵۰-۱۵۰	۲۰۲۰	دو بادبزنه	SDFF	دو بادبزنه استاندارد
Magnojet, Brazil	متوسط	۳۵۰-۲۵۰	۲۰۲۰	دو بادبزنه	ADDF	دو بادبزنه ضد بادبردگی
Magnojet, Brazil	خیلی درشت	۵۵۰-۴۵۰	۲۰۲۰	دو بادبزنه	AIDFF	دو بادبزنه القاء کننده هوا
Magnojet, Brazil	متوسط	۳۵۰-۲۵۰	۳۰۷۰	دو بادبزنه	SDFF	دو بادبزنه استاندارد
Magnojet, Brazil	درشت	۴۵۰-۳۵۰	۳۰۷۰	دو بادبزنه	ADDF	دو بادبزنه ضد بادبردگی
Magnojet, Brazil	خیلی درشت	۵۵۰-۴۵۰	۳۰۷۰	دو بادبزنه	AIDFF	دو بادبزنه القاء کننده هوا

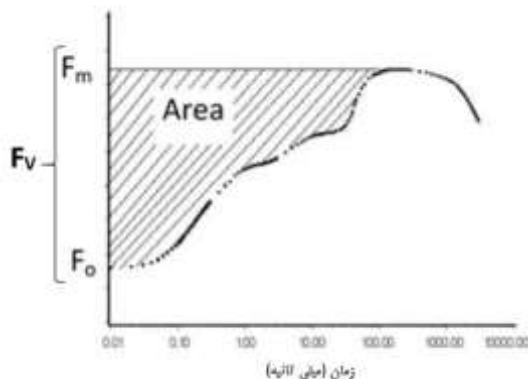
همزمان با پاشش مقدار نهایی علف‌کش (۱۰۰ گرم ایمازاتاپیر در هکتار)، سه کاغذ حساس به رطوبت به رنگ زرد و با ابعاد ۲۶×۷۶ میلی‌متر طبق شکل ۲ در مسیر حرکت نازل قرار گرفت و توسط گیره به یک سکوی چوبی نصب شد. کاغذهای حساس به رطوبت برای توصیف کیفیت پاشش پس از نشست روی هدف استفاده می‌شوند تا پوشش پاشش ارزیابی شود (Subr, 2020). هر قطره پاشش می‌تواند یک لکه آبی رنگ روی سطح زرد رنگ کاغذ حساس به رطوبت باقی بگذارد. کاغذ شماره ۱ به طور عمودی بر روی لکه جلویی سکو با فاصله ۴۰ سانتی‌متر از نوک نازل و رو به مسیر حرکت نازل، کاغذ شماره ۲ به طور افقی بر روی لکه فوقانی سکو با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از نوک نازل و کاغذ شماره ۳ به طور عمودی بر روی لکه عقبی سکو و پشت به مسیر حرکت نازل با فاصله ۴۰ سانتی‌متر از نوک نازل نصب شدند (ناصر و علی‌وردی، ۱۳۹۹). ارزیابی میزان پوشش پاشش حاصل از برخورد عمودی قطرات با کمک کاغذ حساس به رطوبت شماره ۲ و ارزیابی میزان پوشش پاشش حاصل از برخورد غیر عمودی قطرات با کمک کاغذهای حساس به رطوبت شماره ۱ و ۳ میسر می‌شود. پس از سمپاشی، کاغذها در درون نایلون‌های پلاستیکی زیپ‌دار قرار داده شدند. پس از اسکن آن‌ها، تصاویر آنها در محیط نرم افزار Image J پردازش شد. درصد مساحت خیس شده (لکه‌های آبی) به عنوان پوشش پاشش جهت تجزیه و تحلیل استفاده شد. برای تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین و رسم نمودارها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹٫۴ استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.



شکل ۲. موقعیت قرارگیری کاغذهای حساس به رطوبت در مسیر حرکت نازل

سه روز پس از سمپاشی، فلورسانس کلروفیل در گیاهانی که با مقدار پاشش نهایی علف‌کش (۱۰۰ گرم ایمازاتاپیر در هکتار) تیمار شده بودند با دستگاه فتوسنتز متر مدل IRGA LCA4 اندازه‌گیری شد. برای این کار، از هر گلدان یک برگ توسعه یافته و جوان انتخاب

شد و با استفاده از گیره‌های کلیپس به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند. سپس، یک پالس نوری در طول موج ۶۵۰ نانومتر با شدت ۳۰۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه و به مدت ۴ ثانیه به این برگ‌ها تابیده شد تا شاخص‌های حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو (F_v/F_m) و سطح بین منحنی کاتسکی و F_m (Area) که حداکثر ظرفیت کوئینونی فتوسیستم دو است اندازه‌گیری شوند (خاتمی و همکاران، ۱۴۰۲). شاخص‌های اندازه‌گیری شده در منحنی کاتسکی در شکل ۳ نشان داده شده است. واکنش فلورسانس کلروفیل ممکن است ناشی از تداخل در زنجیره انتقال الکترون و یا تداخل در بازیابی پروتئین‌های مرتبط در زنجیره انتقال الکترون باشد (Weber et al., 2017). داده‌های بدست آمده نیز همانند داده‌های بدست آمده از آزمایش کاغذهای حساس به رطوبت تجزیه و تحلیل شدند.



شکل ۳. مؤلفه‌های فتوستتزی اندازه‌گیری شده در منحنی کاتسکی در این پژوهش. F_0 : فلورسانس پایه، F_m : فلورسانس حداکثر، F_v : فلورسانس نسبی و تفاضل دو مؤلفه F_0 و F_m و Area: سطح بین منحنی کاتسکی و F_m .

یک ماه پس از سمپاشی، بوته‌ها از نزدیک سطح خاک برای اندازه‌گیری وزن خشک برداشت شدند. وزن خشک آن‌ها پس از ۴۸ ساعت خشک کردن در درون آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس توزین شد. سپس، به منظور تجزیه و تحلیل آن‌ها، وزن خشک تک بوته گاوپنبه با مدل چهار پارامتری لجستیک (معادله ۱) در محیط نرم‌افزار R نسخه ۲،۱،۰ بر روی مقادیر علف کش برآزش داده شد.

$$Y = \frac{D-C}{1+\exp[B(\log X - \log ED_{50})]} \quad \text{(معادله ۱)}$$

در این معادله، Y بیانگر وزن خشک گاوپنبه، D و C مجانب حد بالا و پایین وزن خشک در مقادیر صفر و نهایی ایمازاتاپیر، ED_{50} بیانگر مقدار ایمازاتاپیر لازم (X) برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک گاوپنبه بین حد بالا و پایین (D و C) و B متناسب با شیب منحنی در محدوده ED_{50} می‌باشد. مقادیر ED_{50} با کمک خطای استاندارد آنها با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

پوشش پاشش

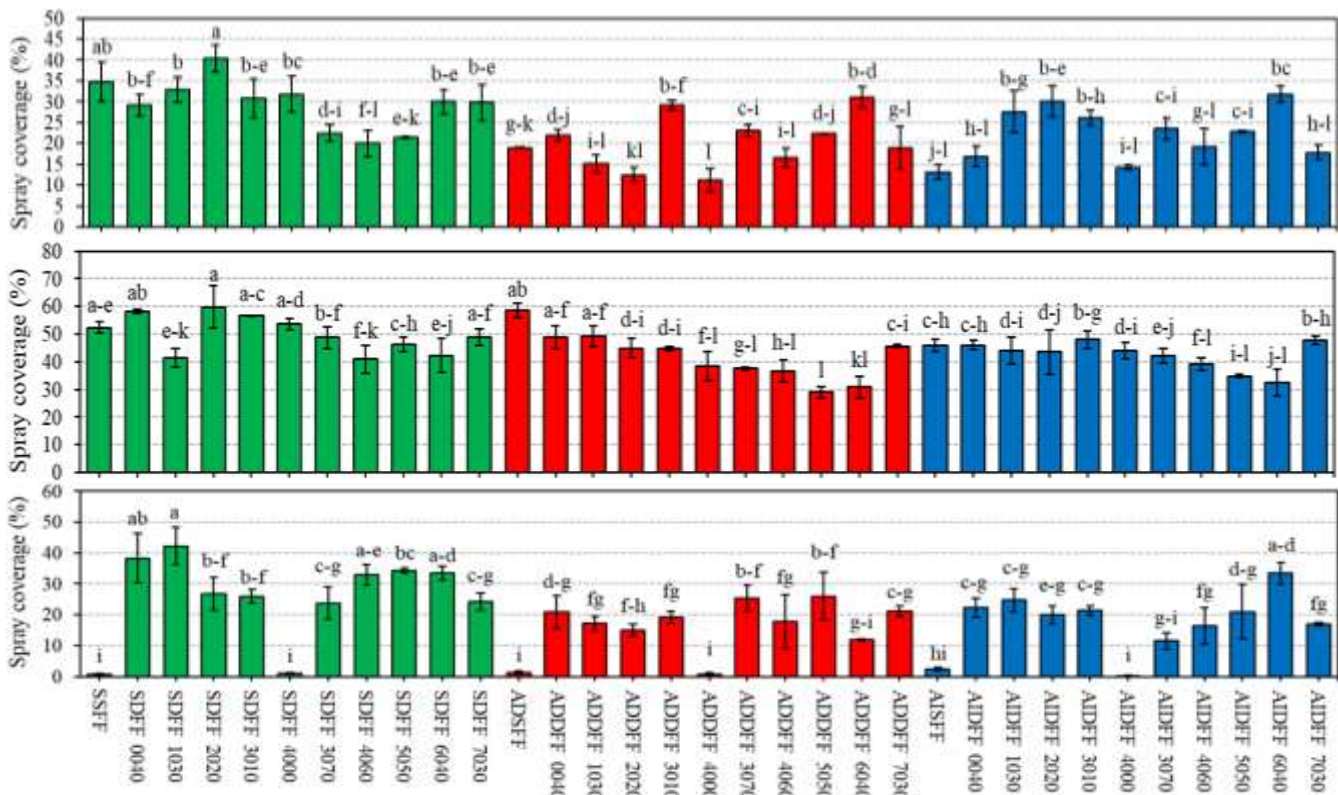
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده نوع نازل و زاویه پاشش آن و نیز اثر متقابل بین آنها بر پوشش پاشش روی کاغذهای حساس به رطوبت قرار گرفته در تمامی موقعیت‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش پاشش با نازل‌های تک بادبزنه بر روی کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۱ به صورت استاندارد (۳۴/۷۶ درصد) < ضدبادبردگی (۱۹ درصد) ≤ القاء‌کننده هوا (۱۳/۱ درصد) بود (شکل ۴). پوشش پاشش با نازل‌های تک بادبزنه بر روی کاغذ حساس به رطوبت افقی به صورت استاندارد (۵۲/۳ درصد) ≥ ضدبادبردگی (۵۸/۴۶ درصد) < القاء‌کننده هوا (۴۶ درصد) بود. در کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۲، ضمن اینکه تفاوتی در میزان پوشش پاشش ایجاد شده به وسیله نازل‌های فوق مشاهده نشد، ناتوانی آنها در پوشش این کاغذ محرز بود به طوری که کمتر از ۳ درصد پوشش پاشش بر روی آنها مشاهده شد. ناتوانی نازل‌های تک بادبزنه استاندارد، ضدبادبردگی و القاء‌کننده هوا با شماره ۱۱۰۰۲ با حجم پاشش ۱۱۰ لیتر آب در هکتار در پوشش کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۲ در پژوهش ناصر و علی‌وردی (۱۳۹۹) نیز گزارش شده است. به طور کلی، نتایج فوق نشان می‌دهد که با درشت‌تر شدن قطرات پاشش، میزان پوشش آن‌ها کاهش می‌یابد که با یافته‌های مطالعات قبلی مطابقت دارد. به طوری که پاشش با اندازه قطرات کوچک‌تر منجر به ایجاد تعداد قطرات بیشتر و پوشش بهتر آن‌ها می‌شود (Subr, 2020). در یافته‌های محققان قبلی (Ramsdale & Messersmith, 2001) نیز مشاهده شده است که نازل‌های استاندارد و ضدبادبردگی قطرات پاشش کوچکتری را در مقایسه با نازل القاء‌کننده هوا تولید می‌کنند؛ لذا، بیشترین پوشش را روی کاغذهای حساس به رطوبت ایجاد کردند.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نوع نازل و زاویه پاشش آن بر مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش

منابع تغییر	درجه آزادی	کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۱	کاغذ حساس به رطوبت افقی	کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۲	سطح بین منحنی کاتسکی و (Area) Fm	حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو (Fv/Fm)
نوع نازل	۲	۷۹۳/۰۹**	۶۲۷/۴۷**	۹۲۶/۶۲**	۲۷۱۱۵۶۸۹**	۰/۰۰۰۵۰**
زاویه پاشش	۱۰	۱۳۵/۶۷**	۳۰۹/۶۷**	۸۴۲/۰۷**	۴۶۴۰۳۳۷۷**	۰/۰۰۰۲۲**
نوع نازل × زاویه نازل	۲۰	۱۰۷/۶۵**	۶۵/۷۹**	۱۰۴/۸۶**	۶۱۴۷۲۵۳۰**	۰/۰۰۰۵۸**
خطا	۶۶	۸/۲۴	۱۱/۵۲	۱۶/۷۵	۲۹۸۳۹۴۱	۰/۰۰۰۰۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۲/۰۳	۷/۵۶	۲۰/۷۵	۴/۹۰	۰/۹۸

** نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد براساس آزمون توکی است.

نازل تک بادبزنه استاندارد نسبت به نازل‌های دو بادبزنه استاندارد با زوایای ۳۰۷۰، ۴۰۶۰، ۵۰۵۰ و نیز نسبت به اکثر نازل‌های دو بادبزنه ضد بادرگی با زوایای ۰۰۴۰، ۱۰۳۰، ۲۰۲۰، ۴۰۰۰، ۳۰۷۰، ۴۰۶۰، ۵۰۵۰ و ۷۰۳۰ و همینطور نسبت به اکثر نازل‌های دو بادبزنه القاء کننده هوا با زوایای ۰۰۴۰، ۳۰۷۰، ۴۰۶۰، ۵۰۵۰، ۷۰۳۰ پوشش بیشتری را روی کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۱ ایجاد کرد (شکل ۴). با این وجود، در تحقیق قبلی (ناصر و علی‌وردی، ۱۳۹۹) گزارش شده است که انواع نازل‌های دو بادبزنه استاندارد با زاویه ۳۰۳۰ و ضد بادرگی و القاء کننده با زاویه ۱۵۱۵ در مقایسه با نازل‌های تک بادبزنه پوشش بیشتری از محلول علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل را در موقعیت کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۱ فراهم کردند. نازل تک بادبزنه استاندارد نسبت به نازل‌های دو بادبزنه استاندارد با زاویه ۴۰۶۰ و نیز نسبت به برخی از نازل‌های دو بادبزنه ضد بادرگی با زوایای ۳۰۷۰، ۴۰۶۰، ۵۰۵۰ و ۶۰۴۰ و همینطور نسبت به برخی از نازل‌های دو بادبزنه القاء کننده هوا با زوایای ۴۰۶۰، ۵۰۵۰ و ۶۰۴۰ پوشش بیشتری را روی کاغذ حساس به رطوبت افقی ایجاد کرد (شکل ۴). بر روی کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۲، نازل تک بادبزنه استاندارد نسبت به تمامی انواع نازل‌های دو بادبزنه (بجز نازل‌های دو بادبزنه استاندارد، ضد بادرگی و القاء کننده هوا با زاویه ۴۰۰۰) پوشش کمتری داشت (شکل ۴).



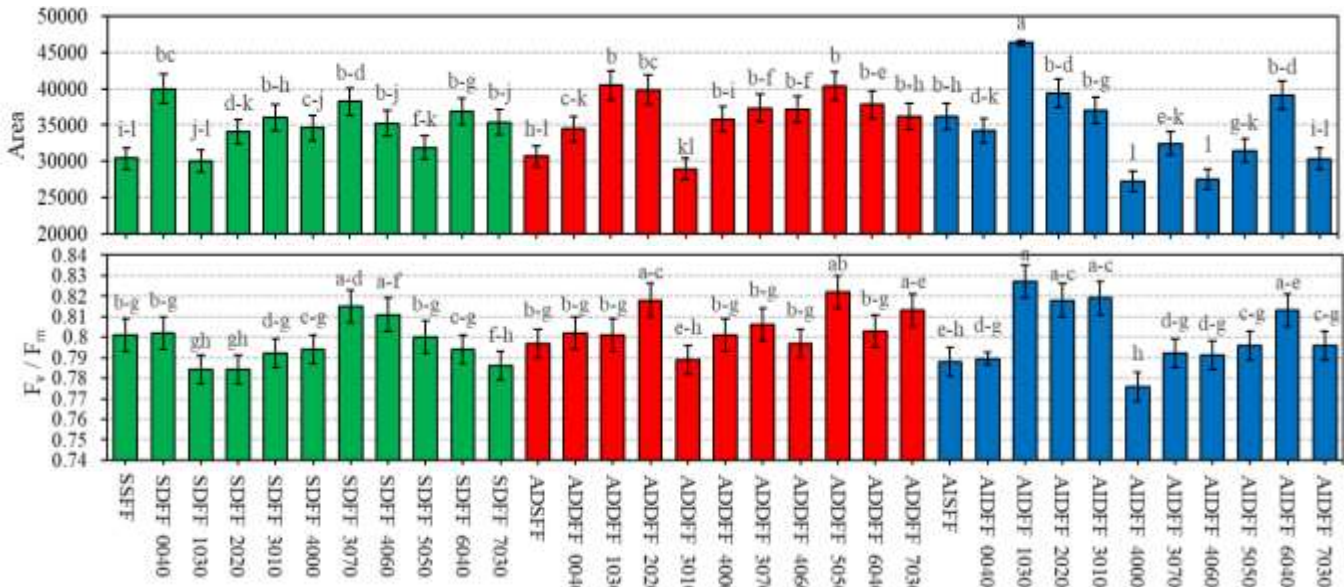
شکل ۴. درصد پوشش پاشش محلول حاوی ۱۰۰ گرم ایمازتاپیر در هکتار با نازل‌های تک بادبزنه استاندارد (SSFF)، دو بادبزنه استاندارد (SDFE)، تک بادبزنه ضد بادرگی (ADSFF)، دو بادبزنه ضد بادرگی (ADDF)، تک بادبزنه القاء کننده هوا (AISFF) و دو بادبزنه القاء کننده هوا (AIDFF) بر روی کاغذهای حساس به رطوبت قرار گرفته به صورت عمودی ۱ (بالا)، افقی (وسط) و عمودی ۲ (پایین). برای موقعیت قرارگیری کاغذهای حساس به رطوبت در مسیر حرکت نازل‌ها به شکل ۲ مراجعه شود. شماره درج شده در کنار نام نازل‌های دو بادبزنه نشان دهنده نحوه تنظیم زاویه بین دو بادبزن آنهاست که در شکل ۱ توضیح داده شده است.

در بین همه نازل‌ها، بیشترین پوشش پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۱ مربوط به نازل دو بادبزنی استاندارد با زاویه ۲۰۲۰ (۴۰/۳۳ درصد) و کمترین پوشش پاشش مربوط به نازل دو بادبزنی ضد بادبردگی با زاویه ۴۰۰۰ (۱۱/۲ درصد) بود (شکل ۴). در بین نازل‌های دو بادبزنی استاندارد، کمترین پوشش پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۱ مربوط به زاویه ۴۰۶۰ (۱۹/۹۵ درصد) و بیشترین پوشش پاشش مربوط به زاویه ۲۰۲۰ (۴۰/۳۳ درصد) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی، کمترین پوشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۱ مربوط به زاویه ۶۰۴۰ (۳۱/۰۶ درصد) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی القاء‌کننده هوا، کمترین پوشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۱ مربوط به زاویه ۴۰۰۰ (۱۱/۲ درصد) و بیشترین پوشش مربوط به زاویه ۶۰۴۰ (۳۱/۸ درصد) بود. در بین همه نازل‌ها، بیشترین و کمترین پوشش پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت افقی به ترتیب مربوط به نازل دو بادبزنی استاندارد با زاویه ۲۰۲۰ (۵۹/۸۶ درصد) و نازل دو بادبزنی ضد بادبردگی با زاویه ۵۰۵۰ (۲۸/۹۳ درصد) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی استاندارد، کمترین پوشش پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت افقی مربوط به زاویه ۴۰۶۰ (۴۰/۸۶ درصد) و بیشترین پوشش پاشش مربوط به زاویه ۲۰۲۰ (۵۹/۸۶ درصد) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی، کمترین پوشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت افقی مربوط به زاویه ۵۰۵۰ (۲۸/۹۳ درصد) و بیشترین پوشش پاشش مربوط به زاویه ۱۰۳۰ (۴۹/۲ درصد) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی القاء‌کننده هوا، کمترین پوشش پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت افقی مربوط به زاویه ۶۰۴۰ (۳۲/۵ درصد) و بیشترین پوشش پاشش مربوط به زاویه ۳۰۱۰ (۴۸ درصد) بود. یافته‌های فوق به وضوح نشان می‌دهد که زاویه پاشش بادبزنی‌ها نسبت به راستای قائم بر زمین در نازل‌های دو بادبزنی نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد پاشش دارد و موقعیت قرارگیری کاغذهای حساس به رطوبت نیز در میزان خیس شدن آن‌ها با محلول پاشش ایمازاتاپیر نقش دارد. طبق پژوهش قبلی بر روی نازل تک بادبزنی (Sayinci et al., 2006)، تغییر در زاویه پاشش از حالت عمودی به غیر عمودی (۱۵ درجه به جلو یا عقب) تأثیر معنی‌داری بر نشست قطرات پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت افقی نداشت. با این حال، تغییرات فوق تأثیر معنی‌داری بر قرارگیری قطرات پاشش بر روی کاغذهای حساس به رطوبت عمودی ۱ و ۲ داشت. در مطالعه‌ای دیگر، محققان نشان دادند که نازل‌های دو بادبزنی نسبت به نازل‌های تک بادبزنی دارای توزیع یکنواخت‌تری از قطرات پاشش با ضریب تغییرات کمتر از ۳ درصد را در حجم‌های پاشش مختلف فراهم کردند (Negrisoli et al., 2021). در مطالعه دیگر که با قارچ‌کش‌ها سر و کار داشته است، نشست قطرات پاشش بر روی برگ سویا با نازل دو بادبزنی استاندارد بهتر از نازل تک بادبزنی استاندارد گزارش شده است (Derksen et al., 2008).

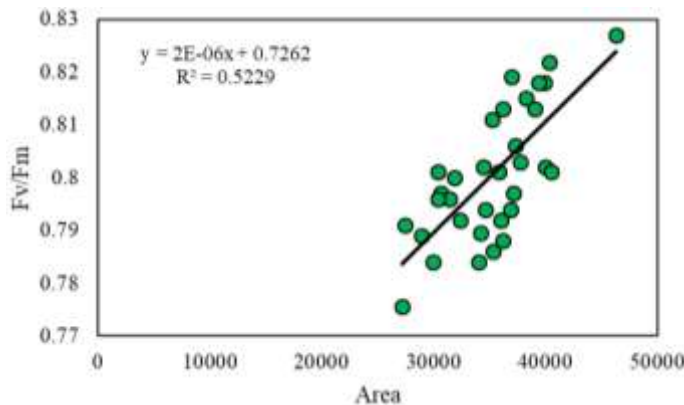
فلورسانس کلروفیل

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده نوع نازل و زاویه پاشش آن و نیز اثر متقابل بین آن‌ها بر حداکثر کارایی کوانتومی فتوسینتیم دو (F_v/F_m) و سطح بین منحنی کاتسکی و حداکثر ظرفیت کوئینونی فتوسینتیم دو (Area) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که Area در گیاهان تیمار شده با نازل تک بادبزنی استاندارد (۳۰۳۷۸) تفاوت معنی‌داری با نازل تک بادبزنی ضد بادبردگی (۳۰۶۵۰) نداشت ولی با نازل تک بادبزنی القاء‌کننده هوا (۳۶۱۷۷) تفاوت معنی‌داری داشت (شکل ۵). این در حالی است که بین نازل‌های فوق، تفاوتی از نظر F_v/F_m مشاهده نشد. مقدار Area در پاشش با نازل استاندارد تک بادبزنی در مقایسه با نازل‌های دو بادبزنی استاندارد با زوایای ۰۰۴۰، ۳۰۱۰، ۳۰۷۰، ۶۰۴۰ و نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی با زوایای ۱۰۳۰، ۲۰۲۰، ۳۰۷۰، ۴۰۶۰، ۵۰۵۰، ۶۰۴۰ و ۷۰۳۰ و نیز نازل‌های دو بادبزنی القاء‌کننده هوا با زوایای ۱۰۳۰، ۲۰۲۰، ۳۰۱۰، ۶۰۴۰ کمتر بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی استاندارد، بیشترین و کمترین مقدار Area به ترتیب مربوط به زوایای ۰۰۴۰ (۳۹۹۸۲) و ۱۰۳۰ (۲۹۹۹۲) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی، بیشترین و کمترین مقدار Area به ترتیب مربوط به زوایای ۱۰۳۰ (۴۰۴۷۳) و ۳۰۱۰ (۲۸۹۲۶) بود. در حالی که در بین نازل‌های دو بادبزنی القاء‌کننده هوا، بیشترین و کمترین مقدار Area به ترتیب مربوط به زوایای ۱۰۳۰ (۴۶۳۱۷) و ۴۰۰۰ (۲۷۱۹۳) بود. تا حدود زیادی نتایج مشابهی در رابطه با مؤلفه F_v/F_m مشاهده شد. به طوری که مقدار مؤلفه F_v/F_m در گیاهان تیمار شده با سه نوع نازل تک بادبزنی (استاندارد، ضد بادبردگی و القاء‌کننده هوا) تغییری نشان نداد (شکل ۵)، اگرچه یک رابطه منفی بین مقدار F_v/F_m با اندازه قطرات پاشش نازل‌های فوق قابل رؤیت است. از نظر آماری، مقدار مؤلفه F_v/F_m در پاشش با نازل استاندارد تک بادبزنی فقط در مقایسه با نازل دو بادبزنی القاء‌کننده هوا با زاویه ۱۰۳۰ کمتر بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی استاندارد، کمترین مقدار F_v/F_m مربوط به زوایای ۱۰۳۰ و ۲۰۲۰ (۰/۷۸) و بیشترین مقدار آن مربوط به زاویه ۳۰۷۰ (۰/۸۱) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی، کمترین مقدار F_v/F_m مربوط به زاویه ۳۰۱۰ (۰/۷۸) و بیشترین مقدار آن مربوط به زاویه ۵۰۵۰ (۰/۸۲) بود. این در حالی بود که در بین نازل‌های دو بادبزنی القاء‌کننده هوا، کمترین مقدار F_v/F_m مربوط به زاویه ۴۰۰۰ (۰/۷۷) و بیشترین مقدار آن مربوط به زاویه ۱۰۳۰ (۰/۸۲) بود. علف‌کش ایمازاتاپیر با مهار آنزیم استوهیدروکسی اسید سنتاز، تولید اسیدهای آمینه

شاخه‌دار در گیاهان را برای تولید پروتئین و رشد سلول متوقف می‌سازد. اگرچه فتوسنتز هدف اصلی ایمازاتاپیر نیست، اما تغییرات مؤلفه‌های فتوسنتزی در گاوپنبه تیمار شده با آن قابل تشخیص بود. قبلاً، چنین تشخیصی را با کاربرد ایمازاتاپیر روی *Galega orientalis* (Lang et al., 2022) و نیز سایر علف‌کش‌ها با نحوه عمل مشابه با ایمازاتاپیر، برای مثال کاربرد علف‌کش مزوسولفورن متیل + یدوسولفورن متیل روی *Avena fatua* (Khatami et al., 2024) و *Phalaris minor* (آورسجی و محمدوند، ۱۳۹۷)، گزارش شده است. همانند تحقیقات گذشته، همبستگی مثبتی بین مقادیر مؤلفه‌های Area و F_v/F_m مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ۵. مقادیر حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو (F_v/F_m) و سطح بین منحنی کاتسکی و F_m (Area) در برگ گاوپنبه تیمار شده با ایمازاتاپیر پاشیده شده با نازل‌های تک بادبزنه استاندارد (SFFF)، دو بادبزنه استاندارد (SDFE)، تک بادبزنه ضد بادبردگی (ADSFF)، دو بادبزنه ضد بادبردگی (ADDFE)، تک بادبزنه القاءکننده هوا (AISFF) و دو بادبزنه القاءکننده هوا (AIDFF). شماره درج شده در کنار نام نازل‌های دو بادبزنه نشان دهنده نحوه تنظیم زاویه بین دو بادبزن است که در شکل ۱ توضیح داده شده است.



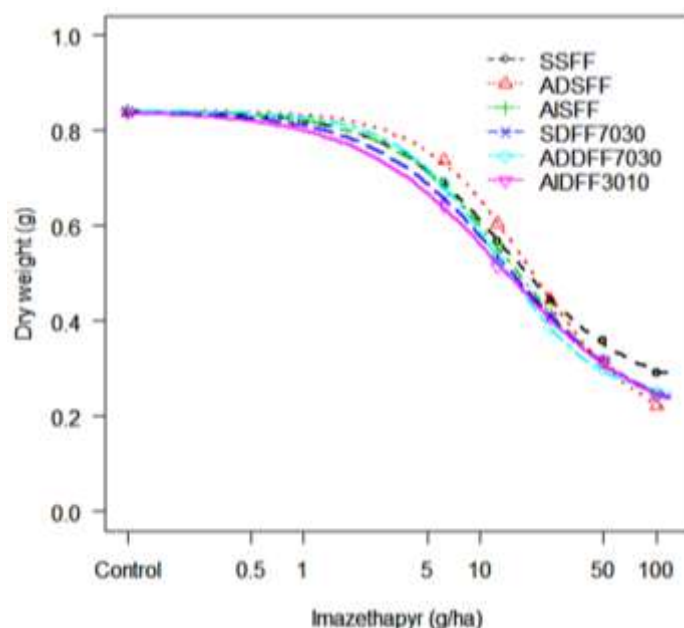
شکل ۶. همبستگی بین مؤلفه‌های Area و F_v/F_m بدست آمده در این پژوهش.

کارایی علف‌کش

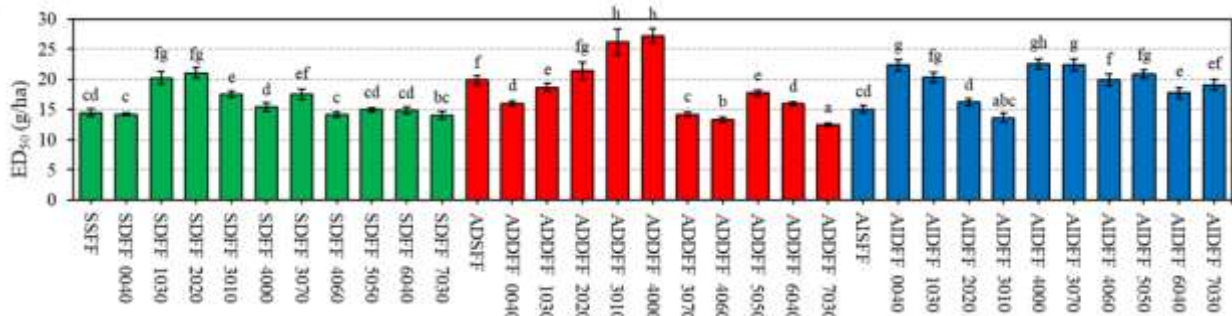
منحنی‌های واکنش گاوپنبه به مقادیر ایمازاتاپیر پاشیده شده با نازل‌های تک بادبزنه و دو بادبزنه استاندارد، ضد بادبردگی و القاءکننده هوا در شکل ۷ و مقادیر مؤلفه ED_{50} برای منحنی‌های فوق در شکل ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مقادیر ED_{50} برای نازل‌های فوق به صورت استاندارد (۱۴/۴۶ گرم در هکتار) > القاءکننده هوا (۱۵/۰۳ گرم در هکتار) > ضد بادبردگی (۱۹/۸۴ گرم در هکتار) بود. علی‌رغم اینکه اندازه قطرات پاشش تولید شده به وسیله نازل‌های تک بادبزنه استاندارد و القاءکننده هوا به طور قابل توجهی متفاوت بود (جدول ۱)، ولی بین مقادیر ED_{50} برای این دو نوع نازل اختلاف آماری مشاهده نشد. این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه قطرات تولید شده با نازل القاءکننده هوا درشت‌تر هستند و پوشش پاشش کمتری ایجاد می‌کنند (شکل ۴)، اما به دلیل داشتن حبابچه‌های هوا قادرند نشست مؤثرتری

داشته باشند و موجب کارایی بهتر علف‌کش شوند. در گزارشات قبلی که بر کارایی سیکلوکسیدیم علیه جودره (علی‌وردی و کرمی، ۱۳۹۸) و کارایی علف‌کش هالوکسی‌فوپ‌متیل علیه یولاف وحشی زمستانه (علی‌وردی و کرمی، ۱۴۰۰) تمرکز داشتند نیز عملکرد نازل‌های تک بادبزنه به صورت استاندارد < نازل ضد بادبردگی < نازل القاء‌کننده هوا گزارش شده است. در مطالعه‌ای دیگر، کنترل گاوپنبه با ایمازاتاپیر پاشیده شده با نازل‌هایی با قطرات پاشش ریز، بسیار درشت و فوق‌العاده درشت به ترتیب ۳۴، ۲۳ و ۶۲ درصد گزارش شده است (Urach Ferreira et al., 2021). در مطالعه‌ای دیگر، کارایی کنترل توق (*Xanthium strumarium*) با آسی‌فلورفن در حجم پاشش ۱۱۲ لیتر در هکتار با قطرات ۲۵۰ میکرونی بیشتر از قطرات ۳۵۰ میکرونی گزارش شده است (Shaw et al., 2000).

در بین نازل‌های دو بادبزنه استاندارد، کمترین و بیشترین مقدار ED_{50} به ترتیب متعلق به زوایای ۷۰۳۰ (۱۴/۰۴) گرم ایمازاتاپیر در هکتار و ۲۰۲۰ (۲۱/۰۵) گرم ایمازاتاپیر در هکتار بود (شکل ۸). این در حالی است که بین نازل‌های فوق از نظر پوشش پاشش در موقعیت کاغذ افقی تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۴). مقدار ED_{50} در نازل تک بادبزنه استاندارد در مقایسه با نازل‌های دو بادبزنه استاندارد با زوایای ۱۰۳۰، ۲۰۲۰، ۳۰۱۰ و ۳۰۷۰ کمتر بود. به عبارتی دیگر، نازل‌های دو بادبزنه استاندارد فوق باعث کاهش کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه شدند. در حالی که عملکرد سایر نازل‌های دو بادبزنه استاندارد با زوایای ۰۰۴۰، ۴۰۶۰، ۵۰۵۰، ۶۰۴۰ و ۷۰۳۰ در مقایسه با نازل تک بادبزنه استاندارد از نظر آماری اختلاف نداشت (شکل ۸). نکته قابل توجه اینکه نازل دو بادبزنه استاندارد با زاویه ۴۰۰۰ عملکردی مشابه با نازل تک بادبزنه استاندارد داشت. پوشش پاشش مشابه این دو نوع نازل مذکور بر روی کاغذ حساس به رطوبت عمودی ۲ نیز قابل توجه بود (شکل ۴). از اینرو، در رابطه با ۴ مورد از ۱۰ نازل دو بادبزنه استاندارد، مؤلفه ED_{50} تحت تأثیر تعداد بادبزنی قرار گرفت. به طور کلی، یکی از دلایل افزایش عملکرد نازل‌ها با افزایش تعداد بادبزنی این است که افزایش تعداد بادبزنی نازل باعث کاهش اندازه قطرات به وجود آمده می‌شود که در نشست بهتر قطرات روی سطوح علف‌هز تأثیرگذار است (علی‌وردی و کرمی، ۱۳۹۸). در مطالعه قبلی، افزایش تعداد بادبزنی نازل استاندارد از یک به دو بادبزنی (با زاویه ۳۰۳۰) باعث افزایش کارایی پاشش علف‌کش سیکلوکسیدیم شد (علی‌وردی و کرمی، ۱۳۹۸). با این وجود، در پژوهش حاضر نازل تک بادبزنه استاندارد نسبت به دو بادبزنه استاندارد توانست کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه را افزایش دهد. برآیند پوشش پاشش در نازل تک بادبزنه استاندارد بر روی کاغذهای حساس به رطوبت در هر سه موقعیت نسبت به دو بادبزنه استاندارد با زوایای ۱۰۳۰، ۲۰۲۰، ۳۰۱۰ و ۳۰۷۰ بسیار کمتر بود ولی کارایی کنترل گاوپنبه با نازل تک بادبزنه استاندارد بهتر از نازل دو بادبزنه استاندارد بود. قبلاً پژوهشگران (Dai et al., 2023) به تأثیر زاویه نصب نازل تک بادبزنه استاندارد روی بوم سمپاش بر نفوذ پاشش و کارایی علف‌کش پی بردند.



شکل ۷. منحنی‌های پاسخ وزن خشک گاوپنبه به مقادیر ایمازاتاپیر پاشیده شده با نازل‌های تک بادبزنه استاندارد (SSFF)، تک بادبزنه ضد بادبردگی (ADSFF)، تک بادبزنه القاء‌کننده هوا (AISFF)، دو بادبزنه استاندارد (SDF7030) ۷۰۳۰، دو بادبزنه ضدبادبردگی (ADD7030) ۷۰۳۰، دوبادبزنه القاء‌کننده هوا (AID7030) ۳۰۱۰.



شکل ۸. مقدار ایمازاتاپیر لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک علف‌هرز گاوپنبه (ED_{50}) وقتی با نازل‌های تک بادبزنه استاندارد (SSFF)، دو بادبزنه استاندارد (SDFE)، تک بادبزنه ضد بادبردگی (ADSFF)، دو بادبزنه ضد بادبردگی (ADDF)، تک بادبزنه القاء‌کننده هوا (AISFF) و دو بادبزنه القاء‌کننده هوا (AIDFF) پاشیده شد. شماره درج شده در کنار نام نازل‌های دو بادبزنه نشان دهنده نحوه تنظیم زاویه بین دو بادبزن است که در شکل ۱ توضیح داده شده است.

در بین نازل‌های دو بادبزنه ضد بادبردگی، کمترین و بیشترین مقدار ED_{50} به ترتیب متعلق به زوایای ۷۰۳۰ (۱۲/۴۸) گرم ایمازاتاپیر در هکتار) و ۴۰۰۰ (۲۷/۱۷) گرم ایمازاتاپیر در هکتار) بود (شکل ۸). مقدار ED_{50} در نازل تک بادبزنه ضد بادبردگی در مقایسه با نازل‌های دو بادبزنه ضد بادبردگی با زوایای ۳۰۱۰ و ۴۰۰۰ کمتر بود. به عبارتی دیگر، نازل‌های دو بادبزنه ضد بادبردگی باعث کاهش کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه در مقایسه با نازل تک بادبزنه ضد بادبردگی شدند. در حالی که مقدار ED_{50} در سایر نازل‌های دو بادبزنه ضد بادبردگی با زوایای ۰۰۴۰، ۱۰۳۰، ۳۰۷۰، ۴۰۶۰، ۵۰۵۰، ۶۰۴۰ و ۷۰۳۰ در مقایسه با نازل تک بادبزنه ضد بادبردگی کمتر بود. به عبارتی دیگر، نازل‌های دو بادبزنه ضد بادبردگی باعث افزایش کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه در مقایسه با نازل تک بادبزنه ضد بادبردگی شدند. مقادیر ED_{50} در نازل تک بادبزنه ضد بادبردگی و دو بادبزنه ضد بادبردگی با زاویه ۲۰۲۰ از نظر آماری تفاوتی نداشتند.

در بین نازل‌های دو بادبزنه القاء‌کننده هوا، کمترین و بیشترین مقدار ED_{50} به ترتیب متعلق به زوایای ۳۰۱۰ (۱۳/۶۱) گرم ایمازاتاپیر در هکتار) و ۴۰۰۰ (۲۲/۵۴) گرم ایمازاتاپیر در هکتار) بود (شکل ۸). مقدار ED_{50} در نازل تک بادبزنه القاء‌کننده هوا در مقایسه با نازل‌های دو بادبزنه القاء‌کننده هوا با زوایای ۰۰۴۰، ۱۰۳۰، ۴۰۰۰، ۳۰۷۰، ۴۰۶۰، ۵۰۵۰، ۶۰۴۰ و ۷۰۳۰ کمتر بود. به عبارتی دیگر، نازل‌های دو بادبزنه القاء‌کننده هوا مذکور باعث کاهش کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه در مقایسه با نازل تک بادبزنه القاء‌کننده هوا شدند. در حالی که مقادیر ED_{50} در نازل تک بادبزنه القاء‌کننده هوا و دو بادبزنه القاء‌کننده هوا با زوایای ۲۰۲۰ و ۳۰۱۰ از نظر آماری تفاوتی نداشتند. نتایج فوق نشان می‌دهد که با درشت‌تر شدن قطرات پاشش، تعداد نازل‌های دو بادبزنه‌ای که کنترل گاوپنبه بهتری را در مقایسه با نازل تک بادبزنه داشتند رو به کاهش است. به عبارتی دیگر، با افزایش اندازه قطرات پاشش از اثرگذاری عامل دو بادبزنه نازل کاسته می‌شود. در پژوهش قبلی، مقادیر ED_{50} برای نازل‌های تک بادبزنه القاء‌کننده هوا و دو بادبزنه القاء‌کننده هوا با زاویه ۱۵۱۵ به ترتیب برابر با ۱۶/۲۹ و ۲۵/۱۱ گرم کلودینافوپ پروپارژیل در هکتار علیه یولاف وحشی گزارش شده است (ناصر و علی‌وردی، ۱۳۹۹). همچنین، کارایی کنترل بهتر گاوپنبه با علف‌کش‌های مزوسولفورون و پیش‌مخلوط ریم‌سولفورون + تیفن‌سولفورون متیل با کاربرد آن‌ها به وسیله نازل دو بادبزنه القاء‌کننده هوا در مقایسه با نازل تک بادبزنه القاء‌کننده هوا گزارش شده است (Brankov et al., 2023). ماندگاری پاشش به ویژگی‌های محلول پاشش و گونه گیاهی بستگی دارد. کشش سطحی، سرعت و اندازه قطرات پاشش عوامل مهمی هستند که می‌توانند کیفیت پوشش برگ را تحت تأثیر قرار دهند. نشست قطرات پاشش بیشتر بر روی برگ‌های تاج خروس ریشه قرمز با استفاده از نازل‌های تک بادبزنه استاندارد در مقایسه با نازل‌های تک بادبزنه ضد بادبردگی به دلیل اندازه قطرات کوچکتر گزارش شده است (Ramsdale & Messersmith, 2001). به همین دلیل، یک توضیح برای عملکرد بهتر نازل تک بادبزنه استاندارد توانایی آن برای تولید قطرات کوچکتری است که می‌تواند پس از برخورد روی سطح برگ گاوپنبه نشست کند. هر دو سطح برگ گاوپنبه دارای کرک‌های ستاره‌ای شکل می‌باشد که ظاهری مخملی به آن می‌دهد. کرک‌ها در جذب و پخش قطرات پاشش تأثیر می‌گذارند. از اینرو، آنها ممکن است باعث خیس‌پذیری دشوار گیاه شوند زیرا آنها در زیر قطرات پاشش حفره‌های هوایی ایجاد می‌کنند که از تماس قطرات با سطح برگ جلوگیری می‌کنند. در نتیجه، قطرات پاشش ممکن است به دلیل برخورد با کرک‌ها، پخش و هدر روند (Sanyal et al., 2006). در پژوهش حاضر نیز محرز گردید که قطرات کوچک‌تر در مقایسه با قطرات درشت‌تر، ضمن فراهم‌سازی پوشش پاشش بهتر، احتمالاً باعث نشست بهتر بر روی سطح برگ گاوپنبه نیز شده باشد. به عبارتی دیگر، با افزایش اندازه قطرات پاشش از اثرگذاری عامل دو بادبزنه بودن کاسته می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر، اندازه قطرات پاشش به عنوان یک عامل تعیین کننده در کارایی علف‌کش ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه تشخیص داده شد. با این وجود، اگرچه قطرات تولید شده با نازل القاء‌کننده هوا درشت‌تر بودند و پوشش پاشش کمتری ایجاد کردند، اما به دلیل داشتن حبابچه‌های هوا قادر بودند نشست مؤثرتری داشته باشند و موجب کارایی بهتر علف‌کش شوند. عامل تعداد بادبزنی نیز بر کارایی علف‌کش ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه تأثیرگذار است که رابطه معکوسی با اندازه قطرات پاشش دارد. به طوری که با افزایش اندازه قطرات پاشش از اثرگذاری عامل دو بادبزنی بودن کاسته می‌شود. همچنین، عامل زاویه پاشش بادبزنی‌ها نسبت به راستای قائم بر زمین در نازل‌های دو بادبزنی عامل تعیین کننده دیگری در کارایی علف‌کش ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه تشخیص داده شد. به عنوان یک توصیه کاربردی که سه عامل فوق‌الذکر را در نظر دارد، کاربرد ایمازاتاپیر با قطرات پاشش دارای حبابچه هوای درشت (۳۵۰-۴۵۰ میکرونی) و حبابچه هوا خیلی درشت (۴۵۰-۵۵۰ میکرون) با نازل‌های دو بادبزنی ضدباردگی با زاویه ۷۰° و القاء‌کننده هوا با زاویه ۳۰° توصیه می‌گردد. انتظار بر این است که با اندازه قطرات پاشش درشت و خیلی درشت در تیمارهای فوق‌بتوان از خطر بادبردگی قطرات پاشش نیز تا حدود زیادی کاست که لازم است این موضوع در تحقیقات آینده تأیید گردد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه دانشگاه بوعلی سینا دانشکده کشاورزی در قالب پژوهانه پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول و همچنین پژوهانه برای سایر نویسندگان انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: دانشجو: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله
نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌هایی پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

مقاله بایستی تشکر و قدردانی داشته باشد. نمونه جملات:
از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا به خاطر حمایت مالی در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

منابع

- آورسجی، زینب، محمدوند، المیرا. (۱۳۹۷). بررسی پارامترهای مختلف فلورسانس کلروفیل علف‌هرز فالاریس (*Phalaris minor*) تحت تأثیر علف‌کش مزوسولفورون متیل + یدوسولفورون متیل. تولیدات گیاهی، ۴۱(۳)، ۶۳-۷۲.
- خاتمی، سیده آسیه، برمکی، مرتضی، آل ابراهیم، محمدتقی. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر علف‌کش مزوسولفورون متیل + یدوسولفورون متیل در ترکیب با اسید سالیسیلیک بر کنترل علف‌هرز یولاف‌وحشی (*Avena fatua*). دانش علف‌های هرز ایران، ۱۹(۱)، ۲۵-۳۹.



- خواجوی، تاج محمد، اورسجی، زینب، غلامعلی پور علمداری، ابراهیم، بیابانی، عباس. (۱۳۹۸). ارزیابی تأثیر پسماند علف‌کش پندی‌متالین بر گندم و جو. تولیدات گیاهی. ۴۲(۴). ۴۸۳-۴۹۴.
- علی‌وردی، اکبر، شریفی، محمد. (۱۳۹۹). اثر متقابل بین نوع نازل و ساعت کاربرد در روز بر کارایی پاراکوات در مهار گاوپنبه (*Abutilon theophrasti* Medicus). پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران. ۳۴(۱)، ۱۱۳-۱۲۳.
- علی‌وردی، اکبر، کرمی، سمیرا. (۱۳۹۸). تأثیر نوع و شماره نازل‌های یک، دو و سه بادبزنه بر عملکرد سیکلوکسیدیم علیه جودره (*Hordeum spontaneum* Koch). پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران. جلد ۳۳(۴)، ۴۶۵-۴۷۴.
- علی‌وردی، اکبر، کرمی، سمیرا. (۱۴۰۰). تأثیر پاشش عمودی و غیرعمودی انواع نازل‌های بادبزی بر کارایی کنترل یولاف وحشی زمستانه (*Avena sterilis subsp. ludoviciana* Durieu) توسط هالوکسی‌فوب-آر-متیل. تولیدات گیاهی. ۳۳(۳)، ۳۳۱-۳۴۴.
- ناصر، نرگس، علی‌وردی، اکبر. (۱۳۹۹). تأثیر نوع نازل و حجم پاشش بر کارایی کلودینافوپ پروپارژیل در کنترل یولاف وحشی زمستانه (*Avena sterilis subsp. ludoviciana* Durieu). دانش علف‌های هرز ایران. ۱۶(۱)، ۳۷-۴۸.

REFERENCES

- Aliverdi, A., & Karami, S. (2019). Effect of the vertical and non-vertical spray of flat fan nozzle types on the control efficacy of winter wild oat (*Avena sterilis subsp. ludoviciana* Durieu.) by Haloxypfop-R-methyl. *Plant Productions*, 44(1), 331-344. <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.32527.1875>. (in Persian)
- Aliverdi, A., & Karami, S. (2019). The effect of type and size of single, twin, and triplet flat fan nozzles on the activity of cycloxydim against wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.). *Journal of Plant Protection*, 33(4), 465-474. <https://doi.org/10.22067/jpp.v33i4.81208>. (in Persian)
- Aliverdi, A., & Sharifi, M. (2020). Interaction effect between nozzle type and application time of day on the efficacy of paraquat to control velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medicus.). *Journal of Plant Protection*, 34(1), 113-123. <https://doi.org/10.22067/jpp.v34i1.84218>. (in Persian)
- Aliverdi, A., & Borghei, M. (2021). Spray coverage and biological efficacy of single, twin symmetrical, and twin asymmetrical flat fan nozzles. *Acta Technologica Agriculturae*, 24(2), 92-96. <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0015>.
- Aliverdi, A., & Zarei, M. (2020). Forward angled spray: a method for improving the efficacy of herbicides. *Journal of Plant Protection Research*, 60(3). <https://doi.org/10.24425/jppr.2020.133952>.
- Aliverdi, A., Aliverdi, A., & Jason, C.F. (2021). The outlet design of flat fan nozzle varies the application time of day effect on nicosulfuron activity. *Journal of Agricultural Science*, 187-182. <https://doi.org/10.15159/jas.21.40>.
- ASJ. (2018). Abba spray jet company. Product catalogue, nozzles and accessories. *Compact Fan Air-Tilt nozzle*. <http://www.asjnozzle.it/index.php/en/downloads/item/general-catalogue>.
- Avarseji, Z., & Mohammadvand, E. (2018). Studying the effect of mesosulfuron methyl + iodosulfuron methyl on chlorophyll fluorescence parameters of *Phalaris minor*. *Journal of Plant Productions*, 41(3), 63-72. <https://doi.org/10.22055/ppd.2018.21851.1468> (in Persian)
- Basi, S., Hunsche, M., & Noga, G. (2013). Effects of surfactants and the kinetic energy of monodroplets on the deposit structure of glyphosate at the micro-scale and their relevance to herbicide bio-efficacy on selected weed species. *Weed Research*, 53(1), 1-11. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2012.00947.x>.
- Bolat, A., & Özlüoymak, Ö.B. (2020). Evaluation of performances of different types of spray nozzles in site-specific pesticide spraying. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(4), 1199-1212. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n4p1199>
- Brankov, M., Vieira, B.C., Alves, G.S., Zaric, M., Vukoja, B., Houston, T., & Kruger, G.R. (2023). Adjuvant and nozzle effects on weed control using mesotrione and rimsulfuron plus thifensulfuron-methyl. *Crop Protection*, 167, 106209. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106209>.
- Dai, S., Ou, M., Du, W., Yang, X., Dong, X., Jiang, L., Zhang, T., Ding, S., & 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>.
- Derksen, R.C., Zhu, H., Ozkan, H.E., Hammond, R.B., Dorrance, A.E., & Spongberg, A.L. (2008). Determining the influence of spray quality, nozzle type, spray volume, and air-assisted application strategies on deposition of pesticides in soybean canopy. *Transactions of the ASABE*, 51(5), 1529-1537. <https://doi.org/10.3906/tar-2006-126>.
- Hypro. (2013). Product catalogue. Guardian air flat fan nozzle. https://www.agratech.co.uk/files/attachments/726/Guardian_Air_datasheet.pdf
- Jensen, P.K. (2007). Nonvertical spray angles optimize graminicide efficacy. *Weed Technology*, 21(4), 1029-

1034. <https://doi.org/10.1614/WT-07-044.1>.
- Jensen, P.K. (2012). Increasing efficacy of graminicides with a forward angled spray. *Crop protection*, 32, 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.10.017>.
- Khajavi, T.M., Avarseji, Z., Gholam Alipour Alamdari, E., & Biyabani, A. (2020). Evaluating the effect of pendimethalin herbicide residue on wheat and barely. *Plant Productions*, 42(4), 483-494. <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.25477.1589> (in Persian)
- Khatami, S.A., Alebrahim, M.T., & Korres, N.E. (2024). Effect of herbicide mesosulfuron-methyl+ iodosulfuron-methyl and salicylic acid treatment on the chlorophyll fluorescence and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). <https://doi.org/10.20944/preprints202411.0911.v1>.
- Khatami, S.A., Barmaki, M., & Alebrahim, M.T. (2023). Effect of mesosulfuron methyl + iodosulfuron methyl herbicide in combination with salicylic acid on wild oat (*Avena fatua*). *Iranian Journal of Weed Science*, 19(1), 25-39. <https://doi.org/10.22034/IJWS.2023.129112>. (in Persian)
- Lang, J., Zikmundová, B., Hájek, J., Barták, M., & Váczi, P. (2021). The effects of foliar application of phenoxy and imidazoline family herbicides on the limitation of primary photosynthetic processes in *Galega orientalis* L. *Agronomy*, 12(1), 96. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010096>.
- Li, X., Lu, D., Wang, S., Zhang, M., Lei, X., & Lyu, X.L. (2019). Droplet distribution and airflow simulation of a newly designed agricultural twin fluid nozzle. *International Agricultural Engineering Journal*, 28(2), 194-202.
- Lin, J., Cai, J., Xiao, L., Liu, K., Chen, J., Ma, J., & Qiu, B. (2024). An angle correction method based on the influence of angle and travel speed on deposition in the air-assisted spray. *Crop Protection*, 175, 106444. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106444>.
- MagnoJet. (2015). Product catalogue. Super turbo flat fan nozzle and air induction super turbo flat fan nozzle. <http://www.magnojet.com.br/produtos>
- Naser, N., & Aliverdi, A. (2020). Effect of nozzle type and spray volume on clodinafop-propargyl efficacy in winter wild oat (*Avena sterilis* subsp. *ludoviciana* Durieu.) control. *Iranian Journal of Weed Science*. 16(1). 37-48. <https://doi.org/10.22092/IJWS.2020.1601.1283>. (in Persian)
- Negrisoni, M.M., Souza, D.M.D., Rodrigues, D.M., Jesus, P.J.D., & Raetano, C.G. (2021). Effect of angled spray nozzle designs on spray distribution and droplet spectrum. *Revista Ciência Agronômica*, 52(3), e20197043. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210029>.
- Paporisch, A., Laor, Y., Rubin, B., & Eizenberg, H. (2020). Effect of repeated application of sulfonyleurea herbicides on sulfosulfuron dissipation rate in soil. *Agronomy*, 10(11), 1724. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111724>.
- Ramsdale, B.K., & Messersmith, C.G. (2001). Drift-reducing nozzle effects on herbicide performance. *Weed Technology*, 15(3), 453-460. [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2001\)015\[0453:DRNEOH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015[0453:DRNEOH]2.0.CO;2).
- Ravlić, M., Baličević, R., Lučić, P., Mazur, P., & Lazić, A. (2015). Dormancy and germination of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medik.) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) seeds. *Herbologia*, 15(2).
- Sanyal, D., Bhowmik, P.C., & Reddy, K.N. (2006). Leaf characteristics and surfactants affect primisulfuron droplet spread in three broadleaf weeds. *Weed Science*, 54(1), 16-22. <https://doi.org/10.1614/WS-05-019R.1>.
- Sayinci, B., Demir, B., & Cetin, E. (2021). Effects of position angles in twin-jet spray applications on droplet penetration of hydraulic nozzles. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(2), 203-212. <https://doi.org/10.3906/tar-2006-126>.
- Sharpe, S.M., Boyd, N.S., Dittmar, P.J., MacDonald, G.E., Darnell, R.L., & Ferrell, J.A. (2018). Spray penetration into a strawberry canopy as affected by canopy structure, nozzle type, and application volume. *Weed Technology*, 32(1), 80-84. <https://doi.org/10.1017/wet.2017.86>.
- Shaw, D.R., Morris, W.H., Webster, E.P., & Smith, D.B. (2000). Effects of spray volume and droplet size on herbicide deposition and common cocklebur (*Xanthium strumarium*) control. *Weed Technology*, 14(2), 321-326. [http://doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0321:EOSVAD\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0321:EOSVAD]2.0.CO;2).
- Shirwal, S., Veerangouda, M., Palled, V., Sushilendra, Hosamani, A., & Krishnamurthy, D. (2020). Studies on operational parameters of different spray nozzles. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(1), 1267-1281. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.901.140>.
- Smith, D.B., Askew, S.D., Morris, W.H., Shaw, D.R., & Boyette, M. (2000). Droplet size and leaf morphology effects on pesticide spray deposition. *Transactions of the ASAE*, 43(2), 255-259. <https://doi.org/10.13031/2013.2700>.
- Subr, A., Al-Ahmadi, A., & Abbas, M. (2020). Effect of nozzle type and some locally used surfactants on the



- spray quality. *The Iraqi Journal of Agricultural Science*, 51(3), 856-864. <https://doi.org/10.36103/ijas.v51i3.1040>.
- Syngenta. (2020). Product catalogue. Hypro® defy 3D nozzle and syngenta potato nozzle. <https://www.syngenta.ie/application/nozzles>.
- Tataridas, A., Anastasi, M., Vieites-Álvarez, Y., López-González, D., Campillo-Cora, C., Giusti, A., Sánchez-Moreiras, A.M., & Freitas, H. (2025). EU-funded research to advance agroecological weed management in Europe, Part I: vision. *Open Research Europe*, 5, 211. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.20296.1>.
- Urach Ferreira, P.H., Ferguson, J.C., Reynolds, D.B., Kruger, G.R., & Irby, J.T. (2021). Crop residue and rainfall timing effect on pre-emergence herbicides efficacy using different spray nozzle types. *International Journal of Pest Management*, 70(2), 91-101. <https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1953188>.
- Weber, J.F., Kunz, C., Peteinatos, G.G., Santel, H.J., & Gerhards, R. (2017). Utilization of chlorophyll fluorescence imaging technology to detect plant injury by herbicides in sugar beet and soybean. *Weed Technology*, 31(4), 523-535. <https://doi.org/10.1017/wet.2017.22>.
- Zhou, J., Tao, B., Messersmith, C.G., & Nalewaja, J.D. (2007). Glyphosate efficacy on velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) is affected by stress. *Weed Science*, 55(3), 240-244. <https://doi.org/10.1614/WS-06-173.1>.