

Effect of Angle Setting Fans in Dual Flat Fan Nozzles Producing Different Droplet Sizes on Imazethapyr Efficacy on Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*)

Samira Karami¹ and Akbar Aliverdi^{2*}

1-Ph.D student - Weed Science, Department of Plant Production and Genetics, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

alahbareruca@gmail.com a.aliverdi@basu.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.98310-1281>

Introduction

Currently, herbicides are considered an essential tool to control weeds in agro-systems, and a large part of the increase in crop yields 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 so that one of its products is dual flat fan nozzles, creating two non-vertical injections, with an angle between the flat fans. They may have symmetrical or asymmetrical injection geometry. In General, dual flat fan nozzles have been showed better performance compared with single flat fan nozzles on herbicide efficacy. Spray angle correction, or in other words, angling the spray path of the fan, significantly improves spray coverage on weeds and has therefore been proposed as a simple and inexpensive solution for optimizing herbicide use. However, despite the availability of dual flat fan nozzles, no study has been conducted to date on the effect of changing the spray direction of the fans in dual flat fan nozzles on spray coverage and herbicide efficacy. In this study, it was hypothesized that changing the spray direction of the fans in dual flat fan nozzles could affect the efficacy of imazethapyr herbicides against velvetleaf. Therefore, this study was conducted with the aim of accepting or rejecting the above hypothesis and also the influenceability of the above hypothesis on the size of the spray droplets.

Materials and Methods

The experiment was conducted during the summer of 2024 at 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 7 dual flat fans nozzles. Treatments were applied at the seven-leaf stage of velvetleaf between 6-8 am. Immediately after spraying, the spray coverage on water-sensitive papers installed at three different positions was measured. Moreover, chlorophyll fluorescence and dry weight were measured 3 and 28 days after spraying, respectively.

Results and Discussion

In two of the three water-sensitive paper positions, the spray coverage ranking with single flat fan nozzles was standard > anti-drift > air-induction. These results indicate greater spray coverage

with smaller spray droplets, resulting in a greater reduction in the area between the Kautsky curve and the maximum chlorophyll fluorescence. However, the ED₅₀ values with single flat fan nozzles were ranked as standard < air-induction < anti-drift, with 14.46, 15.03, and 19.84 g imazethapyr ha⁻¹, respectively. In addition, the results showed that the number of fans had a positive effect on the efficacy of imazethapyr against velvetleaf, but its effectiveness decreased with increasing droplet size. Although the droplets produced with the air-induction nozzles were larger and produced less spray coverage, they were able to settle and possibly penetrate more effectively due to the presence of air bubbles, resulting in better herbicide efficacy. The number of fans also affects the efficacy of imazethapyr against velvetleaf, with droplet size inversely related to the number of fans. As the size of the spray droplets increases, the effectiveness of being two fans decreases. Also, the angle setting of the dual flat fan nozzles was found to be a determining factor in the efficacy of imazethapyr against velvetleaf. Among the standard dual flat fan nozzles, the lowest and highest ED₅₀ values were observed with one fan spraying 5° backward and another fan spraying 35° backward (10.87 g imazethapyr ha⁻¹) and with one fan spraying 45° forward and another fan spraying 15° forward (14.74 g imazethapyr ha⁻¹), respectively. Among the anti-drift dual flat fan nozzles, the lowest and highest ED₅₀ values were observed with one fan spraying 5° forward and another fan spraying 25° backward (10.82 g imazethapyr ha⁻¹) and one fan spraying 45° forward and another fan spraying 15° forward (26.09 g imazethapyr ha⁻¹), respectively. Among the air-induction dual flat fan nozzles, the lowest and highest ED₅₀ values were observed with one fan spraying 25° forward and another fan spraying 5° backward F25B5 (11.45 g imazethapyr ha⁻¹) and one fan spraying 45° forward and another fan spraying 15° forward (16.57 g imazethapyr ha⁻¹), respectively.

Conclusion

Based on the results of the present study, one of the following three treatments is recommended for spraying imazethapyr against cotton bollworm: 1) standard dual flat fan nozzle with one fan spraying 5° backward and another fan spraying 35° backward, 2) anti-drift dual flat fan nozzle with one fan spraying 5° forward and another fan spraying 25° backward, and 3) air-induction dual flat fan nozzle with one fan spraying 25° forward and another fan spraying 5° backward.

Keywords: Chlorophyll fluorescence, post-emergence herbicide, nozzle type, spray coverage.

تأثیر تغییر در زاویه پاشش بادبزنها در نازل‌های دو بادبزنه تولید کننده اندازه قطرات متفاوت بر کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه (*Abutilon theophrasti*)

سمیرا کرمی^۱ و اکبر علی‌وردی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰

۱- دانشجوی دکتری علوم علف‌های هرز، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

alahbareruca@gmail.com یا a.aliverdi@basu.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.98310-1281>

چکیده

علی‌رغم اینکه تأثیر زاویه‌دهی به پاشش در نازل تک بادبزنه بر کارایی علف‌کش‌ها به اثبات رسیده است و از آن به عنوان روشی ساده و بی‌هزینه در بهبود کارایی علف‌کش‌ها یاد شده است، اما تاکنون مطالعه‌ای به تأثیر این روش در نازل‌های دو بادبزنه انجام نشده است. از اینرو، در یک آزمایش واکنش به مقدار علف‌کش که به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت، ۶ مقدار از ایمازاتاپیر با ۳ نوع نازل استاندارد، ضد بادبردگی و القاء‌کننده هوا با ۸ جهت پاشش بادبزن (۱) نازل تک بادبزنه که یک پاشش عمودی را فراهم می‌کرد و ۷ نازل دو بادبزنه که هر یک دو پاشش غیر عمودی را فراهم می‌کرد) بر روی گاوپنبه پاشیده شد تا مقدار علف‌کش لازم برای کنترل ۵۰ درصدی (ED_{50}) برآورد شود. ضمناً، پوشش پاشش روی کاغذهای حساس به رطوبت نصب شده در سه موقعیت مختلف و نیز فلورسانس کلروفیل برگ مورد سنجش قرار گرفت. در یکی از سه موقعیت کاغذ حساس به رطوبت، رتبه‌بندی پوشش پاشش با نازل‌های تک بادبزنه به صورت استاندارد < ضد بادبردگی < القاء‌کننده هوا بود. این نتایج نشان‌دهنده پوشش بیشتر توسط قطرات کوچکتر است که منجر به کاهش بیشتر در سطح بین منحنی کاتسکی و حداکثر فلورسانس کلروفیل شد. با این وجود، رتبه‌بندی مقادیر ED_{50} 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 بود. علاوه بر این، نتایج نشان داد که تعداد بادبزن بر کارایی ایمازاتاپیر تأثیر مثبتی داشت، ولی تأثیرگذاری آن با افزایش اندازه قطرات کاهش یافت. همچنین، زاویه‌دهی به نازل‌های دو بادبزنه نیز عامل تعیین‌کننده‌ای بر کارایی ایمازاتاپیر تشخیص داده شد. براساس نتایج پژوهش حاضر، یکی از سه تیمار زیر برای پاشیدن ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه قابل توصیه است: (۱) نازل دو بادبزنه استاندارد که یک بادبزن با پاشش ۵ درجه‌ای به سمت عقب و یک بادبزن دیگری با پاشش ۳۵ درجه‌ای به سمت عقب دارد، (۲) نازل دو بادبزنه ضد بادبردگی که یک بادبزن با پاشش ۵ درجه‌ای به سمت جلو و یک بادبزن دیگری با پاشش ۲۵ درجه‌ای به سمت عقب دارد و (۳) نازل دو بادبزنه القاء‌کننده هوا که یک بادبزن با پاشش ۲۵ درجه‌ای به سمت جلو و یک بادبزن دیگری با پاشش ۵ درجه‌ای به سمت عقب دارد.

واژه‌های کلیدی: پوشش پاشش، علف‌کش پس‌رویشی، فلورسانس کلروفیل، نوع نازل.

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 بوم‌نظام‌های زراعی محسوب می‌شوند و بخش زیادی از افزایش عملکرد گیاهان زراعی در گرو کاربرد آنهاست (Khajavi et al., 2020). با این حال، کاهش مصرف علف‌کش‌ها به علت مخاطرات زیست محیطی ناشی از کاربرد آن‌ها از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، بقایای آن‌ها 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). علف‌کش‌ها 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 پس رویشی 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). دستیابی به پوشش و توزیع یکنواخت قطرات پاشش روی سطح زیرین برگ‌ها و بخش پشتی بوته علف‌هرز در مسیر حرکت سمپاش از نگرانی‌های اصلی در کاربردهای مواد شیمیایی کشاورزی محسوب می‌شود. کارایی علف‌کش‌ها در کنترل علف‌های هرز متأثر از توانایی نفوذ ماده مؤثره در کوتیکول برگ آن‌هاست. جذب برگی 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، این گیاه ویژگی مضاعفی جهت خیس‌پذیری دشوار را ارائه می‌دهد (Smith et al., 2000). بنابراین، پوشش پاشش مناسب به عنوان یک عامل کلیدی برای کنترل شیمیایی مؤثر علف‌های هرز محسوب می‌شود (Sharpe et al., 2017).

نازل یکی از کلیدی‌ترین اجزای سمپاش است که تعیین‌کننده اندازه قطرات پاشش و مسیر حرکت آنهاست (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 نوع نازل دو بادبزنه اشاره کرد. در این نوع نازل، محلول پاشش از دو روزنه خارج می‌شود و اصطلاحاً آن‌ها دو بادبزن پاشش را ایجاد می‌کنند که زاویه بین آن‌ها می‌تواند متقارن و یا نامتقارن باشد (Aliverdi & Borghei, 2021). نازل‌های دو بادبزنه با ایجاد دو مسیر پاشش، معمولاً غیر عمودی، امکان برخورد بهتر قطرات به سطوح علف‌های هرز را فراهم می‌سازند (Aliverdi & Sharifi, 2020). در نتیجه امکان پُرش قطرات از سطوح، پس از برخورد، به حداقل می‌رسد. به همین دلیل، قطرات پاشش بیشتری با نازل دو بادبزنه در مقایسه با نازل تک بادبزنه بر روی سطوح علف‌های هرز نشست می‌کند. در نتیجه، امکان کاهش مصرف علف‌کش‌ها میسر می‌شود. برای مثال، علی‌وردی و کرمی (Aliverdi & Karami, 2019b) گزارش کردند که نازل‌های دو بادبزنه عملکرد بهتری در مقایسه با نازل‌های تک بادبزنه بر کارایی علف‌کش سیکلوکسیدیم در کنترل علف‌هرز جودره داشتند. با این وجود، گزارش شده است که عملکرد نازل‌های تک بادبزنه و دو بادبزنه به زمان کاربرد علف‌کش نیکوسولفورون علیه گاوپنبه نیز بستگی دارد. به طوری که قبل از طلوع آفتاب، عملکرد نازل دو بادبزنه بهتر از عملکرد نازل تک بادبزنه گزارش شده است. در حالی که بعد از طلوع آفتاب، عملکرد نازل تک بادبزنه بهتر از عملکرد نازل دو بادبزنه است (Aliverdi et al., 2021).

از نظر اندازه قطرات پاشش، انواع متفاوتی از نازل‌های دو بادبزنه تولید شده است. برای مثال، نازل‌های دو بادبزنه استاندارد، ضد بادبردگی و القاء‌کننده هوا که اندازه قطرات پاشش متفاوتی در فشار ثابت را ایجاد می‌کنند. به طور کلی، در یک فشار ثابت، اندازه قطرات تولیدی در نازل دو بادبزنه ضد بادبردگی به دلیل داشتن سیستم پیش‌روانه به منظور کاهش فشار پاشش درون اتاقک نازل، بزرگتر از نازل دو بادبزنه استاندارد است. همچنین، اندازه قطرات تولیدی در نازل دو بادبزنه القاء‌کننده هوا که ضمن داشتن سیستم پیش‌روانه، به سیستم مکش هوای ونتوری^۱ نیز مجهز است، بزرگتر از نازل دو بادبزنه ضد بادبردگی است. اگرچه قطرات تولیدی در نازل دو بادبزنه القاء‌کننده هوا درشت هستند ولی محتوی حبابچه‌های هواست که باعث نشست مؤثرتر آن‌ها روی سطوح علف‌های هرز می‌شود. تولید قطرات بزرگتر می‌تواند خطر بادبردگی به بیرون از منطقه‌ی سمپاشی

¹. Ventori

۱ را به حداقل برساند که لازمه کاربرد ایمن و بهینه علف‌کش‌ها در شرایطی با خطر بادبردگی بالاست (Bolat & Özlüoymak, 2020).

۲
۳ تحقیقات گذشته روی نازل‌های تک بادبزن نشان داده است که تغییر دادن جهت پاشش از حالت عمودی به غیر
۴ عمودی سبب بهبود قابل توجهی در نشست قطرات پاشش و کارایی علف‌کش‌ها روی علف‌های هرز بویژه علف‌های هرز
۵ باریک برگ شده است (Jensen, 2007; Jensen, 2012; Aliverdi & Zarei, 2020). تصحیح زاویه پاشش یا به عبارتی
۶ دیگر، زاویه‌دهی به مسیر پاشش بادبزن به طور قابل توجهی منجر به بهبود پوشش پاشش روی سطوح علف‌های هرز می‌شود
۷ و به همین دلیل به عنوان راهکاری ساده و در عین حال بی هزینه برای بهینه‌سازی مصرف علف‌کش‌ها مطرح شده است
۸ (Lin et al., 2024). بر این اساس، انواعی از نازل‌های تک بادبزن دارای زاویه پاشش به جلو به وسیله تولیدکنندگان از جمله
۹ نازل تک بادبزن القاءکننده هوای متراکم زاویه‌دار با ۱۳ درجه زاویه به جلو (ASJ, 2018)، نازل تک بادبزن القاءکننده هوا با
۱۰ ۲۰ درجه زاویه به جلو (Hypro, 2013) و نازل تک بادبزن زاویه‌دار (ASJ, 2018)، نازل تک بادبزن سه‌بعدی (Syngenta, 2020)
۱۱ نازل تک بادبزن سوپر توربو^۱ و نازل تک بادبزن سوپر توربو القاءکننده هوا (MagnoJet, 2015) با ۳۰ درجه زاویه
۱۲ به جلو نیز طراحی و معرفی شده است. پژوهشگران (Dai et al., 2023) به تأثیر زاویه نصب نازل تک بادبزن استاندارد روی
۱۳ بوم سمپاش بر نفوذ پاشش و کارایی علف‌کش پی بردند.

۱۴ با این حال و علی‌رغم دسترسی به نازل‌های دو بادبزن، تاکنون هیچ مطالعه‌ای به تأثیر تغییر دادن جهت پاشش بادبزن‌ها
۱۵ در نازل‌های دو بادبزن بر پوشش پاشش و کارایی علف‌کش‌ها نپرداخته است. در این پژوهش، فرض بر این بود که تغییر دادن
۱۶ جهت پاشش بادبزن‌ها در نازل‌های دو بادبزن می‌تواند کارایی علف‌کش‌ها را تا پیرایه‌ای که گاوپنبه را تحت تأثیر قرار دهد، از اینرو،
۱۷ این پژوهش با هدف پذیرش یا رد فرضیه فوق و نیز تأثیرپذیری فرضیه فوق از اندازه قطرات پاشش انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

۲۰ پژوهش در تابستان ۱۴۰۳ در دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. بذرهایی گاوپنبه استفاده شده در پاییز ۱۴۰۲ از مزارع
۲۱ شهرستان گرگان جمع‌آوری شده بود. بذرها به مدت یک ساعت در آب ۶۰ درجه سانتی‌گراد درون یک ظرف استیل درب‌دار
۲۲ به منظور خواب‌شکنی آن‌ها نگهداری شدند. دمای آب حداقل به مدت یک ساعت ثابت نگهداشته شد. سپس، بذرها درون
۲۳ پتری‌دیش‌های پلاستیکی دارای یک لایه کاغذ صافی واتمن شماره ۱ قرار گرفتند و درون هر کدام از آن‌ها ۱۰ میلی‌لیتر آب
۲۴ مقطر ریخته شد. پتری‌دیش‌ها به مدت ۱۲ ساعت در دمای آزمایشگاه درون یک جعبه کارتنی در تاریکی نگهداری شدند
۲۵ (Ravlić et al., 2015). سپس و در ۱۳ تیر ۱۴۰۳، تعداد ۱۰ بذر تیمار شده درون هر گلدان پلاستیکی قهوه‌ای در ابعاد
۲۶ 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
۲۷ آلی) پر شده بودند در عمق نیم سانتی‌متری کشت شدند. گلدان‌ها به درون گلخانه منتقل و آبیاری شدند. پس از سبز شدن
۲۸ گیاهچه‌ها، گلدان‌ها به محیط بیرون از گلخانه و هوای آزاد انتقال یافتند و آبیاری بسته به نیاز آبی آن‌ها انجام گرفت. در
۲۹ مرحله دو برگی، گیاهچه‌ها برای نگهداشت سه بوته در هر گلدان که از نظر رشدی، دارای اندازه بوته یکنواختی بودند تنک
۳۰ شدند.

¹. Super Turbo

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول: مقدار علف کش که شامل شش مقدار از ایمازاتاپیر (صفر، ۶/۲۵، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ گرم ماده مؤثره در هکتار) (پرسوئیت، ۱۰ درصد مایع قابل حل در آب، شرکت شیمیایی سادات مهان، تهران)، فاکتور دوم: نوع نازل که شامل نازل‌های بادبزنی استاندارد، ضد بادبردگی و القاء کننده هوا و فاکتور سوم: زاویه پاشش بادبزنی (ها) که شامل ۱ نازل تک بادبزنی و ۸ زاویه متفاوت از بادبزنی‌ها بود که نحوه تنظیم آن‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. تیمارها در یک اتاقک سمپاشی به اجرا در آمدند و لذا، زاویه‌دهی به نازل‌های دو بادبزنی از طریق تغییر زاویه نصب آن‌ها انجام گرفت. هر سه نوع نازل دو بادبزنی استفاده شده در این پژوهش در بازار در دسترس هستند (جدول ۱) و زاویه دو بادبزنی آن‌ها ۳۰ درجه بود؛ به طوری که یک بادبزنی دارای پاششی با ۱۵ درجه به سمت جلو و بادبزنی دیگر دارای پاششی با ۱۵ درجه به سمت عقب است. لذا، در پژوهش حاضر، این نازل با کد ۱۵۱۵ معرفی شده است. زاویه‌دهی به نازل دو بادبزنی ۱۵۱۵ شامل ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درجه به جلو و عقب 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.

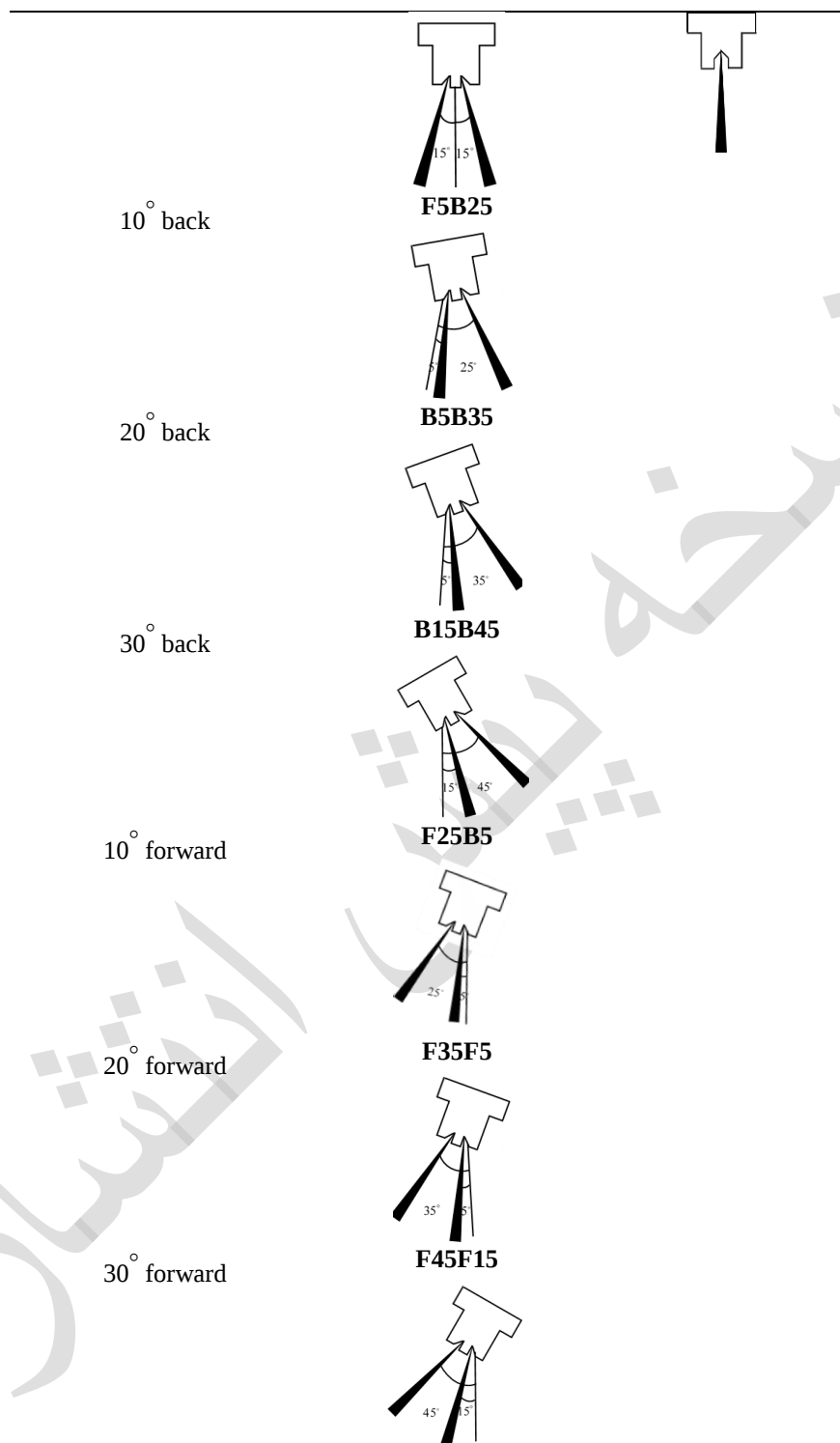
در مرحله هفت برگی، عملیات سمپاشی در ۲۳ مرداد ۱۴۰۳ در بین ساعات ۶ تا ۸ صبح انجام گرفت. در این بازه زمانی که ساعت پاشش مناسب برای کاربرد ایمازاتاپیر نیز هست، بوته‌های گاوپنبه حرکت برگی از خود نشان نمی‌دهند و برگ آن‌ها در وضعیت کاملاً افقی بود (Zhou et al., 2007).

همزمان با پاشش مقدار نهایی علف کش (۱۰۰ گرم ایمازاتاپیر در هکتار)، سه کاغذ حساس به رطوبت^۱ 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 حاصل از پاشش ارزیابی شود (Subr, 2020). قطرات پاشش می‌توانند لکه‌های آبی رنگی روی سطح زرد رنگ کاغذ حساس به رطوبت باقی بگذارند. کاغذ شماره ۱ به طور عمودی بر روی لبه جلویی سکو با فاصله ۴۰ سانتی‌متر از نوک نازل و رو به مسیر حرکت نازل، کاغذ شماره ۲ به طور افقی بر روی لبه فوقانی سکو با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از نوک نازل و کاغذ شماره ۳ به طور عمودی بر روی لبه عقبی سکو و پشت به مسیر حرکت نازل با فاصله ۴۰ سانتی‌متر از نوک نازل نصب شدند (Naser & Aliverdi., 2020).

ارزیابی میزان پوشش پاشش ناشی از برخورد عمودی قطرات با کمک کاغذ حساس به رطوبت شماره ۲ و ارزیابی میزان پوشش پاشش ناشی از برخورد غیر عمودی قطرات با کمک کاغذهای حساس به رطوبت شماره ۱ و ۳ میسر می‌شود. پس از سمپاشی، کاغذها 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 رنگ) به عنوان پوشش پاشش جهت تجزیه و تحلیل استفاده شد. برای تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS نسخه ۹٫۴ و Excel استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

Nozzle installation mode	Dual flat	Single flat
Vertical	F15B15	0

¹. Water-sensitive paper (WSP)



شکل ۱- نحوه زاویه‌دهی به نازل‌های دو بادبزنی. جهت حرکت نازل از راست به چپ می‌باشد. اعداد روی نازل‌ها نشان دهنده زاویه پاشش هر بادبزنی نسبت به خط عمود بر زمین است. برای مثال، در زاویه پاشش دو بادبزنی F15B15، یکی از بادبزنی‌ها ۱۵ درجه به جلو (F) و بادبزنی دیگر ۱۵ درجه به عقب (B) پاشش می‌کند.

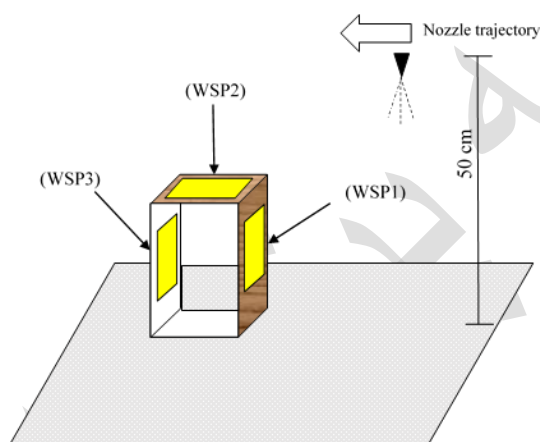
Figure 1 - Angle setting of Dual flat fan nozzles. Nozzle trajectory is from right to left.. Number on each nozzle represent the injection angle of each fan to the line perpendicular to the ground. For example, in a two-fan spray angle

of F15B15, one fan sprays 15° forward (F) and the other fan sprays 15° backward (B).

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

Table 1- In this research, the characteristics of flat fan nozzles used in this study are in 3 bar injection pressure

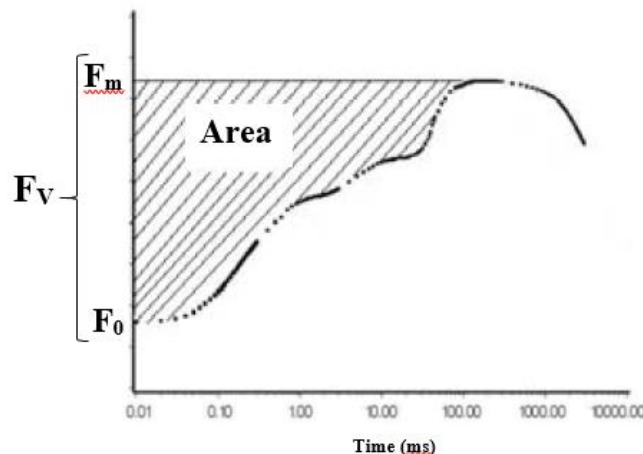
Nozzle type	Abbreviation	Spray geometry	Nozzle angle	VMD range (μm)	Droplet category	Manufacturer
Standard Fan	SSFF	Single flat	-	144-235	Fine	ASJ, Italy
Anti-Drift Fan	ADSFF	Single flat	-	144-235	Fine	Magnojet, Brazil
Air Induction Fan	AISFF	Single flat	-	>550	Extremely coarse	Magnojet, Brazil
Twin Fan Standard	Sdff	Dual flat	F15B15	61-105		ASJ, Italy
Twin Fan Anti drift	ADDFF	Dual flat	F15B15	404-502	Very coarse	ASJ, Italy
Twin Fan Air Induction	AIDFF	Dual flat	F15B15	503-665	Extremely coarse	ASJ, Italy



شکل ۲- موقعیت قرارگیری کاغذهای حساس به رطوبت در مسیر حرکت نازل. WSP: کاغذ حساس به رطوبت

Figure 2- Position of sensitive papers to moisture in nozzle movement. WSP: Water-sensitive paper

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 II (F_v/F_m) و سطح بین منحنی کاتسکی و F_m (Area) که حداکثر ظرفیت کوئینونی فتوسیستم II است اندازه‌گیری شوند (Khatami et al., 2023). 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 فتوسنتزی 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_m و F_0

Figure 3- Photosynthetic parameters measured in Kautsky curve in this study. F_0 : basic fluorescence, F_m : maximum fluorescence, F_v : relative fluorescence and difference of two components of F_0 and F_m

یک ماه پس از سمپاشی، بوته‌ها از نزدیک سطح خاک برداشت و وزن خشک آن‌ها پس از ۴۸ ساعت خشک کردن در درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد توزین شد. سپس، وزن خشک تک بوته گاوپنبه با مدل چهار پارامتری لجستیک (معادله ۱) در محیط نرم‌افزار R نسخه ۲,۱,۰ بر روی مقادیر علف‌کش برازش و تجزیه و تحلیل 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 محدوده‌ی ED_{50} می‌باشد. مقادیر ED_{50} با کمک خطای استاندارد آن‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. خطای استاندارد برای ارزیابی دقت ED_{50} تیمارها و میزان خطای وارد شده بر روی نمودارهای میله‌ای استفاده شد و همینطور اطمینان حاصل شود تفاوت‌های مشاهده شده بین تیمارها از نظر آماری معنادار هستند یا خیر؟ بدین صورت که اگر مثبت منفی ED_{50} تیماری با مثبت منفی ED_{50} تیمار دیگری دارای اختلاف بود، آن با حروف مختلفی نمایش داده شود. همچنین خطای استاندارد ED_{50} در سطح معنی‌داری ۵ درصد برآورد شد و برای ارزیابی وجود تفاوت‌های معنی‌داری در بین ED_{50} ها استفاده شد (Ritz et al., 2015). بر اساس نتایج آزمون عدم برازش ($p\text{-value} > 0.05$)، مدل چهار پارامتری لگاریتمی برازش قابل قبولی روی داده‌ها فراهم کرد.

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 یا پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان پوشش پاشش با نازل‌های تک بادبزنه بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره

۱ به صورت استاندارد (۳۴/۷۶ درصد) $\leq$ ضد بادبردگی (۳۰/۸ درصد) $<$ القاء کننده هوا (۱۵ درصد) بود (شکل ۴). پوشش
۲ پاشش با نازل‌های تک بادبزنه بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۲ به صورت استاندارد (۵۲/۳ درصد) $\geq$ ضد بادبردگی
۳ (۵۸/۴۶ درصد) $\leq$ القاء کننده هوا (۴۶ درصد) بود. در کاغذ حساس به رطوبت شماره ۳، ضمن اینکه تفاوتی در میزان پوشش
۴ پاشش ایجاد شده به وسیله نازل‌های فوق مشاهده نشد، ناتوانی آن‌ها در پوشش این کاغذ محرز بود به طوری که کمتر از ۳
۵ درصد پوشش پاشش بر روی آن‌ها مشاهده شد. ناتوانی نازل‌های تک بادبزنه استاندارد، ضد بادبردگی و القاء کننده هوا با شماره
۶ ۱۱۰۰۲ با حجم پاشش ۱۱۰ لیتر آب در هکتار در خیساندن کاغذ حساس به رطوبت شماره ۳ در پژوهش ناصر و علی‌وردی
۷ (Naser & Aliverdi, 2020) نیز گزارش شده است. به طور کلی، نتایج فوق نشان می‌دهد که با درشت‌تر شدن قطرات
۸ پاشش، میزان پوشش آن‌ها کاهش می‌یابد که با یافته‌های مطالعات قبلی نیز مطابقت دارد. به طوری که پاشش با اندازه
۹ قطرات کوچک‌تر منجر به ایجاد تعداد قطرات بیشتر و پوشش بهتر آن‌ها می‌شود (Subr, 2020). در یافته‌های محققان قبلی
۱۰ (Ramsdale & Messersmith, 2001) نیز مشاهده شده است که نازل‌های استاندارد و ضد بادبردگی قطرات پاشش
۱۱ کوچکتری را در مقایسه با نازل القاء کننده هوا تولید می‌کنند؛ لذا، بیشترین پوشش را روی کاغذهای حساس به رطوبت ایجاد
۱۲ کردند.

۱۳ پوشش پاشش به وسیله نازل تک بادبزنه استاندارد روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۱ نسبت به نازل‌های دو بادبزنه
۱۴ استاندارد، ضد بادبردگی (به غیر از B5B35 در نازل ضد بادبردگی) و القاء کننده هوا اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴). با
۱۵ این وجود، در تحقیق قبلی (Naser & Aliverdi, 2020) گزارش شده است که انواع نازل‌های دو بادبزنه استاندارد با زاویه
۱۶ F30B30 و ضد بادبردگی و القاء کننده با زاویه F15B15 در مقایسه با نازل‌های تک بادبزنه پوشش بیشتری از محلول علف‌کش
۱۷ کلودینافوپ پروپارژیل را در موقعیت کاغذ حساس به رطوبت شماره ۱ فراهم کردند. همچنین، پوشش پاشش به وسیله نازل
۱۸ تک بادبزنه استاندارد در کاغذ حساس به رطوبت شماره ۲ نسبت به نازل‌های دو بادبزنه استاندارد، ضد بادبردگی و القاء کننده
۱۹ هوا اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴). بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۳، نازل تک بادبزنه استاندارد نسبت تمامی
۲۰ انواع نازل‌های دو بادبزنه بجز نازل‌های دو بادبزنه استاندارد، ضد بادبردگی و القاء کننده هوا با زاویه‌های F35F5، F25B5،
۲۱ F45F15 پوشش کمتری داشت (شکل ۴).

۲۲ در بین همه نازل‌ها، بیشترین پوشش پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۱ مربوط به نازل دو بادبزنه استاندارد
۲۳ با زاویه F25B5 (۴۵/۹۵ درصد) و کمترین پوشش پاشش مربوط به نازل دو بادبزنه ضد بادبردگی با زاویه B5B35 (۱۹/۴۶
۲۴ درصد) بود (شکل ۴). در بین نازل‌های دو بادبزنه استاندارد، کمترین پوشش پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۱
۲۵ مربوط به زاویه B5B35 (۲۶/۴۳ درصد) و بیشترین پوشش پاشش مربوط به زاویه F25B5 (۴۵/۹۵ درصد) بود. در بین
۲۶ نازل‌های دو بادبزنه ضد بادبردگی، کمترین پوشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۱ مربوط به زاویه B5B35 (۱۹/۴۶
۲۷ درصد) و بیشترین پوشش مربوط به زاویه F35F5 (۳۱/۱ درصد) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنه القاء کننده هوا، کمترین
۲۸ پوشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۱ مربوط به زاویه F15B15 (۲۲/۷۶ درصد) و بیشترین پوشش مربوط به
۲۹ زاویه B15B45 (۳۱/۲۳ درصد) بود.

۳۰ در بین همه نازل‌ها، بیشترین و کمترین پوشش پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۲ به ترتیب مربوط به نازل
۳۱ دو بادبزنه استاندارد با زاویه F15B15 (۶۶/۲۳ درصد) و نازل دو بادبزنه ضد بادبردگی با زاویه B15B45 (۳۸/۸ درصد) بود.
۳۲ در بین نازل‌های دو بادبزنه استاندارد، کمترین پوشش پاشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۲ مربوط به زاویه
۳۳ F45F15 (۵۵/۴ درصد) و بیشترین پوشش پاشش مربوط به زاویه F15B15 (۶۶/۲۳ درصد) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنه

- ۱ ضد بادبردگی، کمترین پوشش بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۲ مربوط به زاویه B15B45 (۳۸/۸ درصد) و بیشترین
- ۲ پوشش پاشش مربوط به زاویه F5B25 (۵۷/۳۳ درصد) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنه القاء کننده هوا، کمترین پوشش پاشش
- ۳ بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۲ مربوط به زاویه F35F5 (۴۳/۰۶ درصد) و بیشترین پوشش پاشش مربوط به زاویه
- ۴ B15B45 (۶۱/۰۳ درصد) بود. یافته‌های فوق نشان می‌دهد که تغییر در زاویه پاشش بادبزن‌ها در نازل‌های دو بادبزنه نقش
- ۵ تعیین کننده‌ای در عملکرد پاشش دارد و موقعیت قرارگیری کاغذهای حساس به رطوبت نیز در میزان خیس شدن آن‌ها با
- ۶ محلول پاشش ایمازاتاپیر نقش دارد. طبق پژوهش قبلی بر روی نازل تک بادبزنه (Sayinci et al., 2006)، تغییر در زاویه
- ۷ پاشش از حالت عمودی به غیر عمودی (۱۵ درجه به جلو یا عقب) تأثیر معنی‌داری بر نشست قطرات پاشش بر روی کاغذ
- ۸

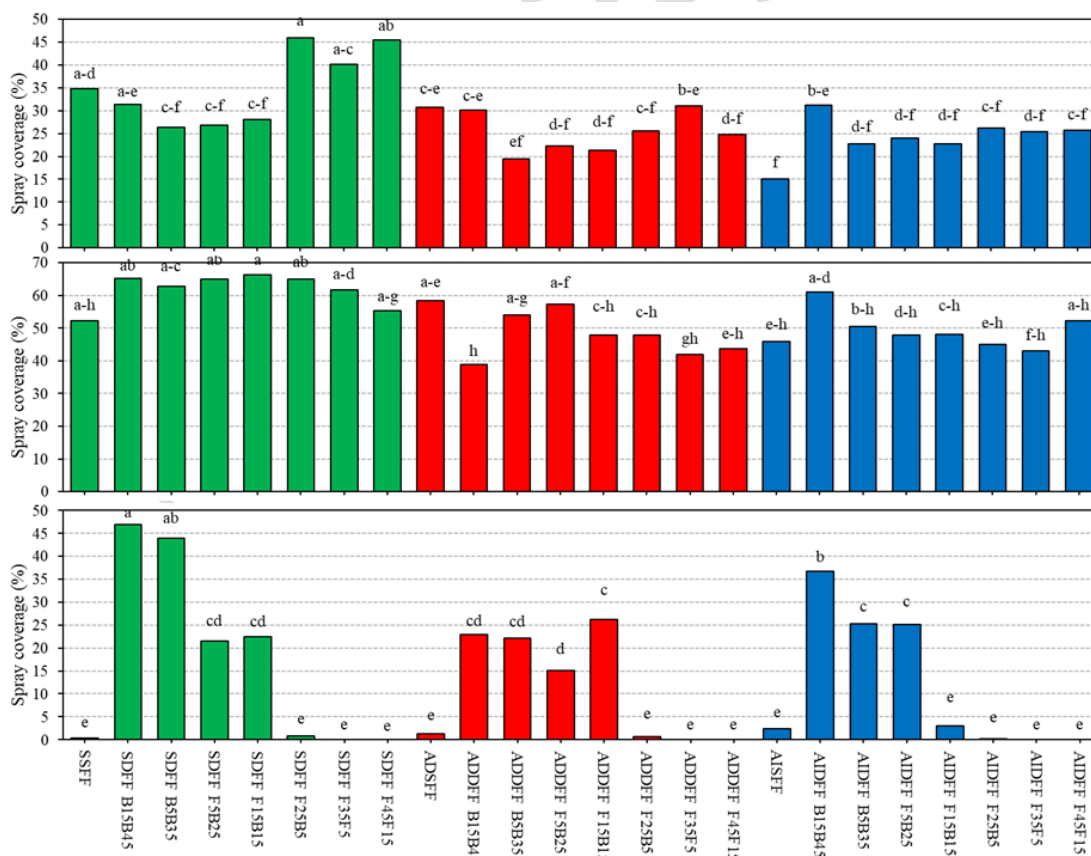
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر نوع نازل و تغییر زاویه پاشش آن بر مؤلفه‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش

Table 2- Variance analysis (mean square) for the effect of nozzle type and its angle setting on measured parameters in this study

S.O.V	df	WSP 1	WSP 2	WSP 3	Area	Fv/Fm
Nozzle Type (N)	2	803.55**	1292.87**	261.46**	8928795 ^{ns}	0.00223**
Angle setting (A)	7	153.29**	64.75*	1947.83**	76256260**	0.00044**
N × A	14	83.97**	133.04**	163.46**	88651902**	0.00075**
Error	48	21.40	22.50	8.09	3005318	0.00006
CV (%)	-	16.37	8.91	21.55	5.05	0.98

** و * نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و ^{ns} نشان دهنده غیر معنی‌دار بودن بر اساس آزمون توکی است.

** and * signify a significance level of one and five percent and ^{ns} is non - meaning based on Tukey test .



شکل ۴- پوشش پاشش محلول حاوی ۱۰۰ گرم ایمازتاپیر در هکتار با نازل‌های تک بادبزنی استاندارد (SSFF)، دو بادبزنی استاندارد (SDFF)، تک بادبزنی ضد بادبردگی (ADSFF)، دو بادبزنی ضد بادبردگی (ADDFF)، تک بادبزنی القاءکننده هوا (AISFF) و دو بادبزنی القاءکننده هوا (AIDFF) بر روی کاغذهای حساس به رطوبت شماره ۱ (بالا)، ۲ (وسط) و ۳ (پایین). برای موقعیت قرارگیری کاغذهای حساس به رطوبت به شکل ۲ مراجعه کنید. شماره درج شده در کنار نام نازل‌های دو بادبزنی نشان دهنده نحوه تنظیم زاویه بین دو بادبزنی آنهاست که در شکل ۱ توضیح داده شده است.

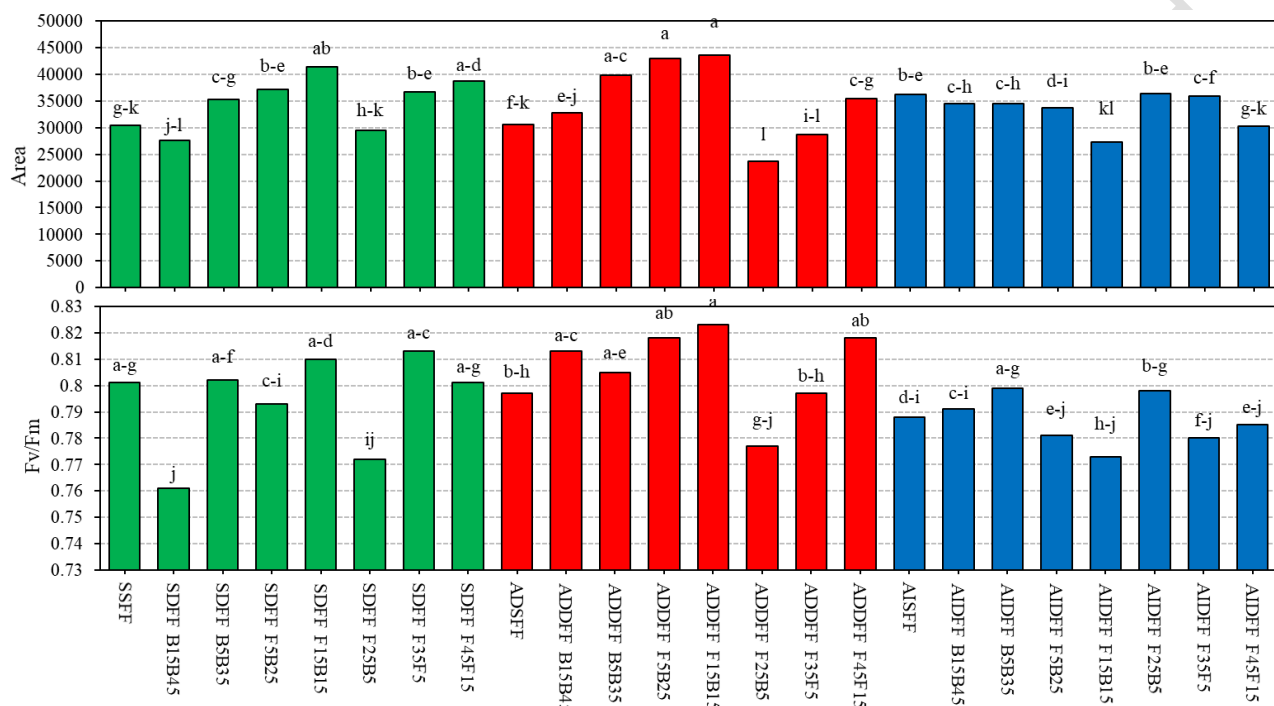
Figure 4- Spray coverage containing 100 g imazethapyr ha⁻¹ by standard single flat fan (SSFF), standard dual flat fan (SDFF), Anti-drift single flat fan (ADSFF), Anti-drift dual flat fan (ADDFF) Air-induction single flat fan (AISFF), and Air-induction dual flat fan (AIDFF) nozzles were placed on water sensitive papers 1 (top), 2 (middle), and 3 (bottom). For the position of water-sensitive papers is referred to Figure 2. Number next to the name of dual flat fan nozzle indicates its angle setting, described in Figure 1.

حساس به رطوبت افقی (شماره ۲) نداشت. با این حال، تغییرات فوق تأثیر معنی‌داری بر قرارگیری قطرات پاشش بر روی کاغذهای حساس به رطوبت شماره ۱ و ۳ 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 داشت، 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

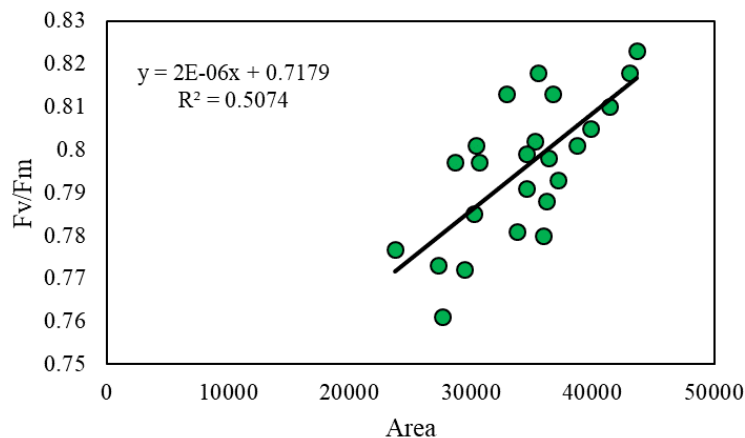
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده نوع نازل و زاویه پاشش آن و نیز اثر متقابل بین آن‌ها بر حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو (F_v/F_m) و سطح بین منحنی کاتسکی و حداکثر ظرفیت کوئینونی فتوسیستم دو (Area) (به جزء اثر ساده نوع نازل روی Area که معنی‌دار نبود) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول 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 F15B15، F5B25، F35F5، F45F15 و نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی با زوایای B5B35، F5B25، F15B15 و نیز نازل‌های دو بادبزنی القاءکننده هوا با زوایای F25B5 و F35F5 کمتر بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی استاندارد، بیشترین و کمترین مقدار Area به ترتیب مربوط به زوایای F15B15 (۴۱۴۰۳) و B15B45 (۲۷۶۱۰) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی، بیشترین و کمترین مقدار Area به ترتیب مربوط به زوایای F15B15 (۴۳۵۹۵) و F25B5 (۲۳۷۳۶) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی القاءکننده هوا، بیشترین و کمترین مقدار Area به ترتیب مربوط به زوایای F25B5 (۳۶۳۶۵) و F15B15 (۲۷۲۹۸) 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 اختلافی را 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، در بین نازل‌های دو بادبزنی استاندارد، کمترین مقدار F_v/F_m مربوط به زاویه B15B45 (۰/۷۶) و بیشترین مقدار آن مربوط به زاویه F35F5 (۰/۸۱) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی، کمترین مقدار F_v/F_m مربوط به زاویه F25B5 (۰/۷۷) و بیشترین مقدار آن مربوط به زاویه F15B15 (۰/۸۲) بود. در بین نازل‌های دو بادبزنی القاءکننده هوا، کمترین مقدار F_v/F_m مربوط به زاویه F15B15 (۰/۷۷) و بیشترین مقدار آن مربوط

به زاویه B5B35 (۰/۷۹) بود. علف کش ایمازتاپیر با مهار آنزیم استوهیدروکسی اسید سنتاز، تولید اسیدهای آمینه شاخه‌دار در گیاهان را برای تولید پروتئین و رشد سلول متوقف می‌سازد. اگرچه فتوستنز هدف اصلی ایمازتاپیر نیست، اما تغییرات مؤلفه‌های فتوستنزی در گاوپنبه تیمار شده با آن قابل تشخیص بود. قبلاً، چنین تشخیصی را با کاربرد ایمازتاپیر روی *Galega orientalis* (Lang et al., 2022) و نیز سایر علف‌کش‌ها با نحوه عمل مشابه با ایمازتاپیر، برای مثال کاربرد علف‌کش مزوسولفورن متیل + یدوسولفورن متیل روی *Avena fatua* (Khatami et al., 2024) و *Phalaris minor* (Avarseji & Mohammadvand, 2018)، گزارش شده است. همانند تحقیقات گذشته، همبستگی مثبتی نیز 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 ایمازتاپیر پاشیده شده با نازل‌های تک بادبزنه استاندارد (SSFF)، دو بادبزنه استاندارد (SDFE)، تک بادبزنه ضد بادبردگی (ADSFF)، دو بادبزنه ضد بادبردگی (ADDFE)، تک بادبزنه القاکنده هوا (AISFF) و دوبادبزنه القاکنده هوا (AIDFF). شماره درج شده در کنار نام نازل‌های دو بادبزنه نشان دهنده نحوه تنظیم زاویه بین دو بادبزنه آنهاست که در شکل ۱ توضیح داده شده است.

Figure 5- Maximum efficiency of photochemical(II) efficiency (F_v/F_m) and the area between kautsky curve and F_m (Area) in velvetleaf leaf treated with imazethapyr by standard nozzle single flat fan (SSFF), standard dual flat fan (SDFE), Anti-drift single flat fan (ADSFF), Anti-drift dual flat fan (ADDFE) Air-induction single flat fan (AISFF) and Air-induction dual flat fan (AIDFF). Number next to the name of dual flat fan nozzle indicates its angle setting, described in Figure 1.



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

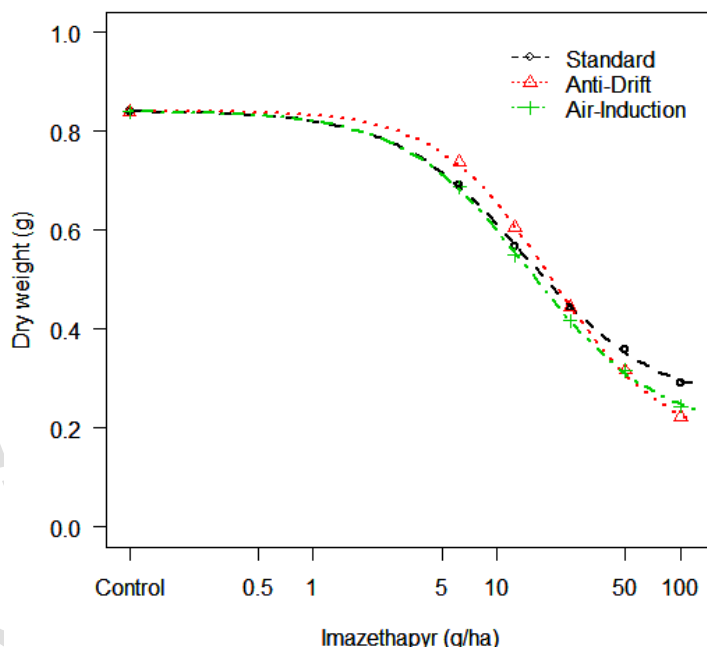
Figure 6- Correlation between F_v/F_m and Area values obtained in this study

کارایی علف‌کش

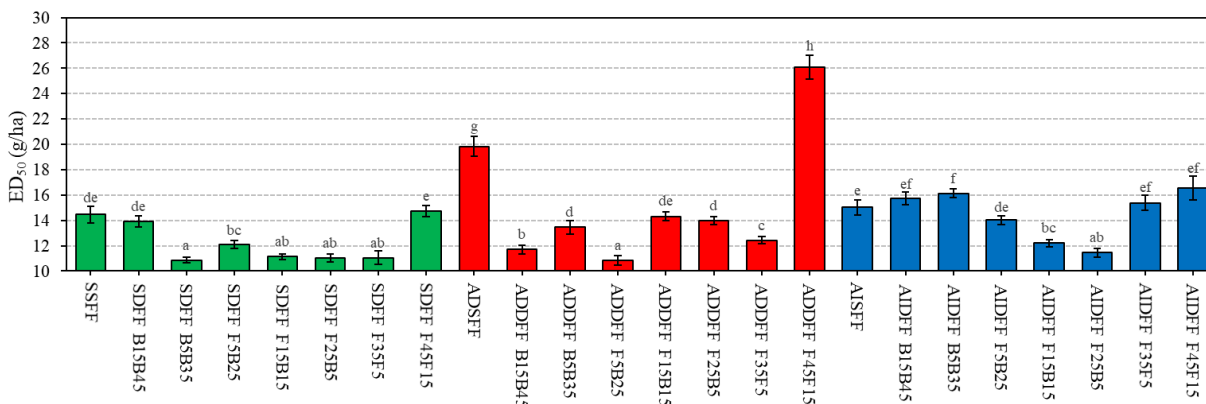
منحنی‌های واکنش گاوپنبه به مقادیر ایمازاتاپیر پاشیده شده با نازل‌های تک بادبزنه استاندارد، ضد بادبردگی و القاء‌کننده هوا در شکل ۷ و مقادیر مؤلفه ED_{50} برای منحنی‌های فوق در شکل ۸ ارائه شده است. نتایج نشان داد که رتبه‌بندی مقادیر ED_{50} برای نازل‌های فوق به صورت استاندارد (۱۴/۴۶ گرم در هکتار) > القاء‌کننده 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 است (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 توسط 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 (Aliverdi & Karami, 2019b) و کارایی علف‌کش هالوکسی‌فوپ‌متیل علیه یولاف وحشی زمستانه (Aliverdi & Karami, 2019a) 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 فوق العاده درشت به ترتیب ۲۳، ۳۴ 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 B5B35 (۱۰/۸۷ گرم ایمازاتاپیر در هکتار) و F45F15 (۱۴/۷۴ گرم ایمازاتاپیر در هکتار) بود (شکل ۸). این نتیجه در حالی مشاهده شد که پوشش پاشش بیشتری توسط نازل دو بادبزنه استاندارد با زاویه B5B35 نسبت به زاویه F45F15 در هر ۳ کاغذ حساس به رطوبت مشاهده شد (شکل ۴). مقدار ED_{50} در نازل تک بادبزنه استاندارد در مقایسه با نازل‌های دو بادبزنه استاندارد با زوایای B5B35، F5B25، F15B15، F25B5 و F35F5 بیشتر بود. به عبارتی دیگر، نازل‌های دو بادبزنه استاندارد فوق باعث افزایش کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه شدند. در حالی که عملکرد نازل‌های دو بادبزنه استاندارد با زوایای B15B45 و

۱ F45F15 در مقایسه با نازل تک بادبزنه استاندارد از نظر آماری اختلاف نداشت (شکل ۸). نکته قابل توجه اینکه نازل‌های
 ۲ دو بادبزنه استاندارد با زوایای F35F5، F25B5 و F45F15 عملکردی مشابه با نازل تک بادبزنه استاندارد را داشت. در بالا
 ۳ نیز ذکر شد که پوشش پاشش مشابهی توسط نازل‌های مذکور بر روی کاغذ حساس به رطوبت شماره ۳ نیز مشاهده شد
 ۴ (شکل ۴). از اینرو، در رابطه با ۵ مورد از ۷ نازل دو بادبزنه استاندارد، مؤلفه ED₅₀ تحت تأثیر تعداد بادبزن قرار گرفت. به طور
 ۵ کلی، یکی از دلایل افزایش عملکرد نازل‌ها با افزایش تعداد بادبزن این است که افزایش تعداد بادبزن نازل باعث کاهش اندازه
 ۶ قطرات به وجود آمده می‌شود که سبب بهبود نشست قطرات روی سطوح علف‌هرز می‌شود (Aliverdi & Karami, 2019b).
 ۷ در مطالعه قبلی، افزایش تعداد بادبزن نازل استاندارد از یک به دو بادبزن با زاویه‌های F20F20 و F30F30 باعث افزایش
 ۸ کارایی پاشش علف‌کش سیکلوکسیدیم شد (Aliverdi & Karami, 2019b). با این وجود، در پژوهش حاضر، نازل تک
 ۹ بادبزنه استاندارد نسبت به دو بادبزنه استاندارد نتوانست کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه را افزایش دهد. برآیند پوشش پاشش
 ۱۰ در نازل‌های دو بادبزنه استاندارد با زوایای B5B35، F5B25، F15B15، F25B5 و F35F5 بر روی کاغذهای حساس به
 ۱۱ رطوبت در هر سه موقعیت نسبت به نازل تک بادبزنه استاندارد بسیار بیشتر بود که باعث افزایش کارایی کنترل گاوپنبه نسبت
 ۱۲ به نازل تک بادبزنه استاندارد شد.



۱۳ شکل ۷- منحنی‌های پاسخ وزن خشک گاوپنبه به مقادیر ایمازاتاپیر پاشیده شده با نازل‌های تک بادبزنه استاندارد، ضد بادبردگی و القاء‌کننده هوا
 ۱۴
 ۱۵ **Figure 7-** Dose-response curves of velvetleaf dry weight to imazethapyr sprayed with single flat fan standard, anti-
 ۱۶ drift, and air-induction nozzles
 ۱۷



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

Figure 8- Imazethapyr in order to reduce velvetleaf weed dry weight by 50 percent (ed_{50}) when standard nozzle single flat fan (SSFF), standard dual flat fan (SDFF), Anti-drift single flat fan (ADSFF), Anti-drift dual flat fan (ADDF) Air-induction single flat fan (AISFF) and Air-induction dual flat fan (AIDFF). Number next to the name of dual flat fan nozzle indicates its angle setting, described in Figure 1.

در بین نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی، کمترین و بیشترین مقدار ED_{50} به ترتیب متعلق به زوایای F5B25 (۱۰/۸۲) گرم ایمازاتاپیر در هکتار و F45F15 (۲۶/۰۹) گرم ایمازاتاپیر در هکتار بود (شکل ۸). مقدار ED_{50} در نازل تک بادبزنی ضد بادبردگی در مقایسه با نازل دو بادبزنی ضد بادبردگی با زاویه F45F15 کمتر بود. به عبارتی دیگر، نازل دو بادبزنی ضد بادبردگی فوق باعث کاهش کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه در مقایسه با نازل تک بادبزنی ضد بادبردگی شد. در حالی که مقدار ED_{50} در سایر نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی با زوایای F15B15، F5B25، B5B35، B15B45، F25B5 و F35F5 در مقایسه با نازل تک بادبزنی ضد بادبردگی کمتر بود. به عبارتی دیگر، نازل‌های دو بادبزنی ضد بادبردگی فوق باعث افزایش کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه در مقایسه با نازل تک بادبزنی ضد بادبردگی شدند.

در بین نازل‌های دو بادبزنی القاء‌کننده هوا، کمترین و بیشترین مقدار ED_{50} به ترتیب متعلق به زوایای F25B5 (۱۱/۴۵) گرم ایمازاتاپیر در هکتار و F45F15 (۱۶/۵۷) گرم ایمازاتاپیر در هکتار بود (شکل ۸). مقدار ED_{50} در نازل تک بادبزنی القاء‌کننده هوا در مقایسه با نازل دو بادبزنی القاء‌کننده هوا با زاویه B5B35 کمتر بود. به عبارتی دیگر، نازل دو بادبزنی القاء‌کننده هوا فوق باعث کاهش کارایی ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه در مقایسه با نازل تک بادبزنی القاء‌کننده هوا شد. در حالی که مقادیر ED_{50} در نازل تک بادبزنی القاء‌کننده هوا و دو بادبزنی القاء‌کننده هوا با زوایای F45F15، F35F5، F5B25، B15B45 از نظر آماری تفاوتی نداشتند. نتایج فوق نشان می‌دهد که با درشت‌تر شدن قطرات پاشش، تعداد نازل‌های دو بادبزنی که کنترل گاوپنبه بهتری را در مقایسه با نازل تک بادبزنی موجب شدند رو به کاهش است. به عبارتی دیگر، با افزایش اندازه قطرات پاشش از اثرگذاری عامل دو بادبزنی بودن کاهش می‌یابد. در پژوهش قبلی، مقادیر ED_{50} برای نازل‌های تک بادبزنی القاء‌کننده هوا و دو بادبزنی القاء‌کننده هوا با زاویه B15B15 به ترتیب برابر با ۱۶/۲۹ و ۲۵/۱۱ گرم کلودینافوپ پروپارژیل در هکتار علیه یولاف وحشی گزارش شده است (Naser & Aliverdi, 2020). همچنین، کارایی کنترل بهتر گاوپنبه با علف-کش‌های مزوسولفورون و پیش‌مخلوط ریم‌سولفورون + تیفن‌سولفورون متیل با کاربردهای نازل دو بادبزنی القاء‌کننده

هوا در مقایسه با نازل تک بادبزنه القاء‌کننده هوا گزارش شده است (Brankov et al., 2023). ماندگاری قطرات پاشش روی سطح برگ علف‌های هرز به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محلول پاشش و گونه گیاهی بستگی دارد. کشش سطحی، سرعت و اندازه قطرات پاشش عوامل مهمی هستند که می‌توانند کیفیت خیساندن برگ را تحت تأثیر قرار دهند. نشست قطرات پاشش بیشتر بر روی برگ‌های تاج خروس ریشه قرمز با استفاده از نازل‌های تک بادبزنه استاندارد به دلیل اندازه قطرات کوچکتر در مقایسه با نازل‌های تک بادبزنه ضد بادبردگی 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 قطره با سطح برگ جلوگیری می‌کنند. در نتیجه، قطرات پاشش ممکن است به دلیل برخورد با کرک‌ها، پرش کند 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 طرفی دیگر، با افزایش اندازه قطرات پاشش از اثرگذاری عامل دو بادبزنه بودن نیز کاهش شد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، اندازه قطرات پاشش به عنوان یک عامل تعیین‌کننده 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 نیز ایجاد کردند، اما به دلیل داشتن حبابچه‌های هوا قادر بودند نشست و احتمالاً نفوذ مؤثرتری داشته باشند و موجب کارایی بهتر علف‌کش شوند. عامل تعداد بادبزن 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 بادبزنه بودن کاهش یافت. همچنین، عامل زاویه‌دهی بادبزن‌ها در نازل‌های دو بادبزنه عامل تعیین‌کننده دیگری در کارایی علف‌کش ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه تشخیص داده شد. از اینرو، فرضیه‌های مطرح شده در بخش مقدمه مورد تأیید قرار می‌گیرد. به عنوان یک توصیه کاربردی، یکی از سه تیمار زیر برای پاشیدن ایمازاتاپیر علیه گاوپنبه را انتخاب گردد: ۱) نازل دو بادبزنه استاندارد با زاویه B5B35 (۲) نازل دو بادبزنه ضد بادبردگی F5B25 (۳) نازل دو بادبزنه القاء‌کننده هوا F25B5.

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر قرخلو، عضو هیئت علمی محترم دانشگاه گرگان و همچنین جناب آقای دکتر توسلی که در جمع آوری و ارسال بذرهای گاوپنبه ما را یاری نمودند نهایت سپاس و قدردانی را دارم. پژوهش انجام شده بخشی از رساله دکتری تصویب شده در دانشگاه بوعلی سینا می‌باشد.

Reference

Aliverdi, A., & Karami, S. (2019a). 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

- Haloxifop-R-methyl. *Plant Productions*, 44(1), 331-344.
<https://doi.org/10.22055/ppd.2020.32527.1875>. (in Persian with English abstract)
- Aliverdi, A., & Karami, S. (2019b). 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 with English abstract)
- 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 with English abstract)
- 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*. website: <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 with English abstract)
- 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. website: 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 with English abstract)
- 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 with English abstract)
- 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. website: <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 with English abstract)
- Negrisola, 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., Balićević, R., Lučić, P., Mazur, P., & Lazić, A. (2015). Dormancy and germination of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medik.) and redroot pegweed (*Amaranthus retroflexus* L.) seeds. *Herbologia*, 15(2).

- 1 Ritz, C., Baty, F., Streibig, J. C., & Gerhad, D. (2015). Dose-response analysis using R. *Plos one*,
2 10(12), e0146021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021>.
- 3 Sanyal, D., Bhowmik, P.C., & Reddy, K.N. (2006). Leaf characteristics and surfactants affect
4 primisulfuron droplet spread in three broadleaf weeds. *Weed Science*, 54(1), 16-22.
5 <https://doi.org/10.1614/WS-05-019R.1>.
- 6 Sayinci, B., Demir, B., & Cetin, E. (2021). Effects of position angles in twin-jet spray applications
7 on droplet penetration of hydraulic nozzles. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(2),
8 203-212. <https://doi.org/10.3906/tar-2006-126>.
- 9 Sharpe, S.M., Boyd, N.S., Dittmar, P.J., MacDonald, G.E., Darnell, R.L., & Ferrell, J.A. (2018).
10 Spray penetration into a strawberry canopy as affected by canopy structure, nozzle type, and
11 application volume. *Weed Technology*, 32(1), 80-84. <https://doi.org/10.1017/wet.2017.86>.
- 12 Shaw, D.R., Morris, W.H., Webster, E.P., & Smith, D.B. (2000). Effects of spray volume and
13 droplet size on herbicide deposition and common cocklebur (*Xanthium strumarium*) control.
14 *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).
- 15 Shirwal, S., Veerangouda, M., Palled, V., Sushilendra, Hosamani, A., & Krishnamurthy, D.
16 (2020). Studies on operational parameters of different spray nozzles. *International Journal of*
17 *Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(1), 1267-1281.
18 <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.901.140>.
- 19 Smith, D.B., Askew, S.D., Morris, W.H., Shaw, D.R., & Boyette, M. (2000). Droplet size and leaf
20 morphology effects on pesticide spray deposition. *Transactions of the ASAE*, 43(2), 255-259.
21 <https://doi.org/10.13031/2013.2700>.
- 22 Subr, A., Al-Ahmadi, A., & Abbas, M. (2020). Effect of nozzle type and some locally used
23 surfactants on the spray quality. *The Iraqi Journal of Agricultural Science*, 51(3), 856-864.
24 <https://doi.org/10.36103/ijas.v51i3.1040>.
- 25 Syngenta. (2020). Product catalogue. Hypro® defy 3D nozzle and syngenta potato nozzle.
26 website: <https://www.syngenta.ie/application/nozzles>.
- 27 Tataridas, A., Anastasi, M., Vieites-Álvarez, Y., López-González, D., Campillo-Cora, C., Giusti,
28 A., Sánchez-Moreiras, A.M., & Freitas, H. (2025). EU-funded research to advance
29 agroecological weed management in Europe, Part I: vision. *Open Research Europe*, 5, 211.
30 <https://doi.org/10.12688/openreseurope.20296.1>.
- 31 Urach Ferreira, P.H., Ferguson, J.C., Reynolds, D.B., Kruger, G.R., & Irby, J.T. (2021). Crop
32 residue and rainfall timing effect on pre-emergence herbicides efficacy using different spray
33 nozzle types. *International Journal of Pest Management*, 70(2), 91-101.
34 <https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1953188>.
- 35 Weber, J.F., Kunz, C., Peteinatos, G.G., Santel, H.J., & Gerhards, R. (2017). Utilization of
36 chlorophyll fluorescence imaging technology to detect plant injury by herbicides in sugar beet
37 and soybean. *Weed Technology*, 31(4), 523-535. <https://doi.org/10.1017/wet.2017.22>.
- 38 Zhou, J., Tao, B., Messersmith, C.G., & Nalewaja, J.D. (2007). Glyphosate efficacy on velvetleaf
39 (*Abutilon theophrasti*) is affected by stress. *Weed Science*, 55(3), 240-244.
40 <https://doi.org/10.1614/WS-06-173.1>.
- 41
- 42