

Research Article

Plant Prod., 2021, 44(3), 331-344
<http://plantproduction.scu.ac.ir//>

ISSN (P): 2588-543X
ISSN (E): 2588-5979

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 Haloxyfop-R-methyl

Akbar Aliverdi^{1*} , Samira Karami²

- 1- *Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (a.aliverdi@basu.ac.ir)
2- Ph.D Student in Agrotechnology-Weed Science, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Citation: Aliverdi, A., & Karami, S. (2021). 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 haloxyfop-r-methyl. *Plant Productions*, 44(3), 331-344.

 10.22055/PPD.2020.32527.1875

Received: 5 February, 2020

Accepted: 30 April, 2020

Abstract

Introduction

Since the leaves of a grass species are perpendicularly oriented to the ground, spraying an ACCase inhibitor with a conventional hydraulic nozzle can not cause an adequate control. In such a situation, it is well established that a large endo-drift of the spray droplets may occur. Recently, a new spray technique, angled spray, has been introduced to maximize the deposition of spray droplets on a vertical target surface (i.e., grassy species). This technique is simple, inexpensive, and available to farmers. Therefore, it can be noteworthy to them. This research aimed to study the effect of a number of angled sprays by three flat fan nozzle types on the efficacy of haloxyfop-R-methyl against winter wild oat.

Materials and Methods

This study was conducted as dose-response bioassay at the Research Greenhouse of Bu-Ali Sina University in 2019. Haloxyfop-R-methyl at seven doses (0, 5.06, 10.12, 20.25, 40.5, 60.75, and 81 ml a.i. ha⁻¹) were sprayed at 300 kPa spray pressure using three flat fan nozzle types having different atomization quality (standard (Fine: 144–235 µm), anti-drift (Medium: 236–340 µm), and air induction (Extremely Coarse: 503–665 µm)) in seven angled sprays (vertical spray and non-vertical sprays with 10, 20, 30, 40, 50, and 60° forward) on winter wild oat at the three-leaf



stage. The haloxyfop-R-methyl dose required to give a 50% reduction in dry weight of winter wild oat (ED_{50}) was detected.

Results and Discussion

The ED_{50} values were significantly affected by the nozzle type and the spray angle. With a vertical spray, the ED_{50} values of 32.51, 44.05, and 53.98 ml a.i. ha^{-1} were obtained from the flat fan nozzles of standard, anti-drift, and air induction, respectively. The best efficacy of haloxyfop-R-methyl was obtained using a 30° forward angled spray by standard flat fan nozzle ($ED_{50} = 15.10$ ml a.i. ha^{-1}), a 40° forward angled spray by anti-drift flat fan nozzle ($ED_{50} = 17.13$ ml a.i. ha^{-1}), and a 50° forward angled spray by air induction flat fan nozzle ($ED_{50} = 17.61$ ml a.i. ha^{-1}). From this experiment, the following points were obtained: 1) with a vertical spray, there is a negative correlation between the herbicide efficacy and the spray droplet size; 2) with a non-vertical spray, there is a neutral correlation between the herbicide efficacy and the spray droplet size; 3) when the droplets produced by a nozzle is larger, the more non-vertical spray is required to obtain maximum herbicide efficacy.

Conclusion

A method to minimize the endo-drift of group A herbicide, leading to an increased efficacy of them, is a forward angled spray. This method was more advantageous for larger spray droplets than for smaller spray droplets. To obtain a maximum advantage of this method, larger spray droplets need more spray angle for better deposition on vertically oriented leaves than smaller spray droplets.

Keywords: Droplet size, Herbicide, Spray angle

تأثیر پاشش عمودی و غیرعمودی انواع نازل‌های بادبزی بر کارایی کنترل یولاف وحشی زمستانه (*Avena sterilis* subsp. *ludoviciana* Durieu.) توسط هالوکسی فوپ-آر-متیل

اکبر علی‌وردی^{۱*}، سمیرا کرمی^۲

۱- *نویسنده مسئول: استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران (a.aliverdi@basu.ac.ir)
۲- دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی- علوم علف‌های هرز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶

چکیده

بهینه‌سازی مصرف علف‌کش‌ها می‌تواند آثار سوء آن‌ها بر محیط‌زیست را کاهش دهد. روش بهینه‌سازی باید ساده، ارزان و در دسترس باشد تا مورد استقبال کشاورزان قرار بگیرد. در آزمایشی که به صورت واکنش به مقدار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا در بهار ۱۳۹۷ اجرا شد، هفت مقدار از هالوکسی فوپ-آر-متیل (صفر، ۵/۰۶، ۱۰/۱۲، ۲۰/۲۵، ۴۰/۵، ۶۰/۷۵ و ۸۱ میلی لیتر ماده مؤثره در هکتار) با استفاده از سه نوع نازل بادبزی با کیفیت قطرک‌سازی متفاوت (استاندارد، ضدبادبردگی و القاءکننده هوا) در هفت زاویه پاشش نسبت به زمین (پاشش عمودی و پاشش‌های غیرعمودی با ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه زاویه به جلو) روی یولاف وحشی زمستانه پاشیده شد. مقدار هالوکسی فوپ-آر-متیل لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک یولاف وحشی زمستانه (ED_{50}) محاسبه شد که متأثر از نوع نازل و زاویه پاشش بود. در حالت پاشش عمودی، مقادیر ED_{50} با نازل‌های بادبزی استاندارد، ضدبادبردگی و القاءکننده هوا به ترتیب برابر ۳۲/۵۱، ۴۴/۰۵ و ۵۳/۹۸ میلی لیتر ماده مؤثره در هکتار به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. این نتیجه حاکی از وجود رابطه‌ای منفی بین کارایی علف‌کش و اندازه قطرات پاشش است. بهترین کارایی از هالوکسی فوپ-آر-متیل با پاشش غیرعمودی با زاویه ۳۰ درجه به جلو به وسیله نازل بادبزی استاندارد، با پاشش غیرعمودی با زاویه ۴۰ درجه به جلو به وسیله نازل بادبزی ضدبادبردگی و با پاشش غیرعمودی با زاویه ۵۰ درجه به جلو به وسیله نازل بادبزی القاءکننده هوا به دست آمد. این نتیجه نشان داد که در حالت پاشش غیرعمودی، بین کارایی علف‌کش و اندازه قطرات پاشش همبستگی وجود ندارد.

کلیدواژه‌ها: اندازه قطره، زاویه پاشش، علف‌کش

مقدمه

(2019). در کلروپلاست، این گروه از علف‌کش‌ها با متوقف ساختن فعالیت آنزیم استیل کوآنزیم-آ-کربوکسیلاز سبب توقف ساخت انواع اسیدهای چرب می‌شوند. از آنجایی که اسیدهای چرب از اجزای مهم

از ۱۰۷ علف‌کش به ثبت رسیده در ایران، ۱۷ علف‌کش بر اساس طبقه‌بندی کمیته کاری مقاومت به علف‌کش (HRAC) متعلق به گروه A هستند (Zand et al.,

غشاهای سلولی هستند؛ لذا رشد و نمو سلولی سریعاً متوقف می شود. نهایتاً، این عمل سبب مرگ تدریجی علف های هرز باریک برگ را فراهم می سازد (Cobb and Reade, 2010). این گروه از علف کش های پس رویشی قادرند به طور انتخابی علف های هرز باریک برگ یکساله و چندساله سمج را در برخی از گیاهان زراعی راهبردی کشور کنترل کنند. برای مثال، از سال ۱۳۷۸، علف کش هالوکسی فوپ-آر-متیل به میزان ۸۱ میلی لیتر ماده مؤثره در هکتار برای کاربرد در مزارع کلزا (*Brassica napus* L.) کشور به منظور مهار علف های هرز یکساله ای مانند یولاف وحشی زمستانه (*Avena sterilis* subsp. *ludoviciana*) (Moss, 2015) به ثبت رسیده است (Zand et al., 2019).

اجتناب ناپذیر بودن کاربرد علف کش ها سبب اتکای روز افزون کشاورزان برای کاربرد بی رویه آن ها و بروز مسائل متعدد زیست محیطی ناشی از کاربرد آن ها شده است (Khajavi et al., 2019). در ایران، یولاف وحشی زمستانه به چند علف کش از گروه A مقاوم شده است (Tatari et al., 2018). لذا، برای کاهش آثار سوء علف کش ها بر محیط زیست باید رویکرد بهینه سازی مصرف آن ها دنبال شود. هدف اصلی در چنین رویکردی، به حداکثر رساندن میزان نشست قطرات پاشش بر روی سطح هدف یعنی اندام های هوایی علف هرز یا به عبارتی دیگر، به حداقل رساندن اتلاف قطرات پاشش در درون منطقه سمپاشی (endo-drift) (Jensen, 2012) است. البته، رویکرد بهینه سازی مصرف علف کش ها باید ساده، ارزان و در دسترس باشد تا مورد توجه کشاورزان قرار گیرد. در صورت تحقق این هدف، آثار سوء علف کش ها بر محیط زیست نیز کاسته خواهد شد.

به طور کلی، زاویه تماس بیشتر از ۱۱۰ درجه بین قطره آب با سطح برگ علف هرز نشان دهنده آن است که موم کوتیکولی سطح برگ علف هرز از نوع بلورین است (Knoche, 1994). عمدتاً، سطح برگ علف های هرز باریک برگ دارای این نوع موم کوتیکولی است

(Hess and Foy, 2000). قاعدتاً، خیساندن علف های هرز دارای موم کوتیکولی بلورین با قطرات پاشش بسیار دشوار است (Knoche, 1994). از آنجایی که زاویه تماس قطره آب با سطح برگ یولاف وحشی برابر ۱۸۰ درجه اندازه گیری و گزارش شده است (Harr, 1991)؛ لذا، خیساندن این علف هرز با قطرات پاشش بسیار دشوار است. میزان نشست قطرات پاشش بر روی علف های هرز دارای موم کوتیکولی بلورین (خواه باریک برگ باشد یا پهن برگ) قویاً وابسته به کشش سطحی محلول پاشش است (Knoche, 1994). به همین دلیل، کاهش دادن کشش سطحی محلول پاشش علف کش های گروه A با افزودن مویان امری بسیار ضروری است (Aliverdi et al., 2009). در شرایطی که از انواع نازل های هیدرولیکی یک بادبزنه رایج (مثلاً، نازل بادبزنی استاندارد) جهت کاربرد علف کش های گروه A استفاده شود (به جرأت می توان گفت که در کل کشورمان چنین شرایطی حاکم است!)، تقریباً قائم بودن برگ علف های هرز باریک برگ می تواند به عنوان دومین دلیل خیس پذیری بسیار دشوار آن ها تلقی شود (Jensen, 2012). از آنجایی که برگ علف های هرز باریک برگ، مثل یولاف وحشی زمستانه، به صورت قائم نسبت به زمین قرار می گیرد و نیز از آنجایی که قطرات پاشش به وسیله انواع نازل های هیدرولیکی یک بادبزنه رایج به طور عمود بر زمین پاشیده می شود؛ لذا، قطرات پاشش علف کش های گروه A عمدتاً به صورت اریب به سطح برگ علف های هرز باریک برگ برخورد می کنند. در نتیجه، به احتمال قوی از روی سطح برگ بر روی سطح خاک پرش کرده و هدر می روند (Jensen, 2007).

نتایج تحقیقات قبلی نشان داده است که تغییر دادن جهت پاشش از حالت عمودی به غیر عمودی سبب بهبود قابل توجهی در نشست قطرات پاشش انواع قارچ کش ها بر روی گندم (Miller et al., 2002; Nicholson et al., 2003; Parkin et al., 2006; Jensen and Spliid,

جمع آوری و تا شروع آزمایش در محیط آزمایشگاه نگهداری شدند. آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان اجرا گردید.

به منظور سبز شدن یکنواخت گیاهچه‌ها در واحدهای آزمایشی، پوشش‌های در بردارنده بذرها (لما و پالنا) به‌طور دستی از آن‌ها جدا شدند. بذرها پس از ضدعفونی سطحی با محلول هیپوکلرید سدیم ۵ درصد به مدت ۵ دقیقه در درون پتری دیش‌های پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی‌متری حاوی یک لایه کاغذ صافی قرار گرفتند. به منظور خواب‌شکنی بذرها، ۱۵ میلی‌لیتر از محلول ۰/۲ گرم نیترات پتاسیم در یک لیتر آب مقطر در درون هر یک از پتری دیش‌ها ریخته شد. سپس، پتری دیش‌ها در تاریکی در درون یخچال با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و سپس در تاریکی در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شدند (Aliverdi et al., 2009). با این روش، جوانه‌زنی بذرها به میزان ۱۰۰ درصد حاصل شد که قبلاً حدوداً ۲۰ درصد بود. در ۲۴ شهریور ۱۳۹۸، زمانی که طول غلاف برگ لپه‌ای گیاهچه‌ها حدوداً یک سانتی‌متر بود، تعداد ۵ گیاهچه با فاصله‌ای منظم از یکدیگر در درون گلدان‌های پلاستیکی قهوه‌ای رنگ با مقطع مربعی (عرض ۱۶ × طول ۱۶ × ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر) حاوی خاک، ماسه بادی و کود دامی به ترتیب با نسبت ۱:۱:۴ در عمق ۲ سانتی‌متری نشاء شدند. تراکم کاشت حدوداً ۱۹۵ بوته در مترمربع بود. سپس، گلدان‌ها به درون گلخانه تحقیقاتی منتقل و به میزان برابر هر ۵ روز یک بار آبیاری شدند.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل (۶ × ۳ × ۶) در قالب طرح کامل تصادفی و در ۴ تکرار انجام گرفت. فاکتور اول مقدار علف‌کش در هفت سطح شامل صفر، ۵/۰۶، ۱۰/۱۲، ۲۰/۲۵، ۴۰/۵، ۶۰/۷۵ و ۸۱ میلی‌لیتر در هکتار ماده مؤثره هالوکسی فوپ-آر-متیل (گالانت سوپر، ۱۰/۸ درصد فرمولاسیون امولسیون شونده، شرکت آریا شیمی،

2005) و سیب‌زمینی (Robinson et al., 2000) می‌شود. در این گزارش‌ها، پاشش غیرعمودی نسبت به پاشش عمودی سبب کنترل بهتر عوامل بیماری‌زای گیاهی و کاهش نشست قطرات پاشش بر روی سطح خاک و اتلاف آن‌ها شده است. چنین تغییری در جهت پاشش نازل سبب بهبود نشست قطرات پاشش محلول کودهای شیمیایی بر روی پایتال (*Hedera algeriensis* Hibberd) نیز شده است (Fouqu'e and Nuytens, 2011). به نتایج مشابهی با پاشیدن آب مقطر به‌طور عمودی و غیرعمودی بر روی کاغذهای حساس به رطوبتی که به‌طور عمودی نصب شده بودند، به‌دست آمده است (Wolf and Peng, 2011). با این وجود، تأثیر چنین تغییری در جهت پاشش نازل بر کارایی علف‌کش‌ها به‌طور محدود بررسی و کمی‌سازی شده است. برای مثال، تأثیر تغییر دادن جهت پاشش نازل بادبزی از حالت عمودی به غیرعمودی بر کارایی هالوکسی فوپ اتوکسی اتیل (از سال ۱۳۹۴، این علف‌کش از فهرست علف‌کش‌های مجاز کشور حذف شده است (Zand et al., 2019) علیه چچم چندساله (*Lolium perenne* L.) (Jensen, 2007)، کلودینافوپ پروپارژیل و فلوآزیفوپ-پی-بوتیل علیه چچم چندساله، دم روباهی کبیر (*Alopecurus myosuroides* Huds.) و چمن ابریشم نما (*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv.) و آیوکسینیل + بروماکسینیل علیه کلزای خودرو (*Brassica napus* L.) (Jensen, 2012) گزارش شده است.

از این‌رو، این پژوهش قصد داشت تا تأثیر پاشش عمودی و غیرعمودی سه نوع نازل بادبزی با کیفیت قطرک‌سازی متفاوت را بر کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل علیه یولاف وحشی زمستانه بررسی کند.

مواد و روش‌ها

در اواخر بهار ۱۳۹۷، بذرها یولاف وحشی زمستانه از مزارع شهرستان مریانج واقع در استان همدان

به منظور تنظیم زوایای پاشش نازل نسبت به زمین، صفحه نیم‌دایره‌ای از جنس پلاستیک به لانس سمپاش متصل شد (شکل ۲). در مرکز صفحه نیم‌دایره‌ای سوراخی ایجاد و میله‌ای از جنس آهن به‌عنوان آونگ (Pendulum) از آن آویزان شد. با ثابت نگه داشتن ارتفاع نازل نسبت به سطح خاک گلدان (۵۰ سانتی‌متر) ولی با تغییر دادن ارتفاع دستگیره لانس نسبت به سطح زمین، محل آونگ بر روی صفحه نیم‌دایره‌ای دچار تغییر می‌شود. البته باید توجه داشت که آونگ همیشه به صورت عمود بر زمین آویزان باقی می‌ماند و در حقیقت صفحه نیم‌دایره‌ای در حال چرخ است. بدین گونه، زوایای پاشش مختلف نازل نسبت به زمین قابل تنظیم شد. برای مثال، وقتی آونگ بر روی خط قرمز صفحه نیم‌دایره‌ای قرار داشت، زاویه پاشش نازل به صورت عمودی (صفر درجه) بود (شکل ۲ الف). وقتی آونگ بر روی دومین خط سبز صفحه نیم‌دایره‌ای قرار داشت، پاشش غیر عمودی نازل با ۲۰ درجه زاویه نسبت به زمین ایجاد شد (شکل ۲ ب). وقتی آونگ بر روی چهارمین خط سبز صفحه نیم‌دایره‌ای قرار داشت، پاشش غیر عمودی نازل با ۴۰ درجه زاویه نسبت به زمین ایجاد شد (شکل ۲ ج). به همین ترتیب، سایر زوایای پاشش غیر عمودی نازل تنظیم شدند.

برای اعمال تیمارها از سمپاش کمپرسوری پستی استفاده شد. این سمپاش جهت پاشش ۲۵۰ لیتر آب در هکتار در فشار پاشش ۳۰۰ کیلو پاسکال کالیبره شد. عملیات سمپاشی در هوای آزاد بین ساعات ۸ تا ۱۰ صبح ۲۶ آبان ۱۳۹۸ انجام گرفت. در زمان سمپاشی، بوته‌های یولاف وحشی زمستانه در مرحله ۳ برگ‌گی کامل قرار داشتند. چهار گلدان مربوط به هر تیمار با فاصله ۲۰ سانتی متری از یکدیگر در مسیر عبور نازل قرار گرفتند. به گونه‌ای که نازل از بالای گلدان‌ها با ارتفاع ۵۰ سانتی متر نسبت به سطح خاک گلدان‌ها عبور داده شد. در حین سمپاشی، دما و رطوبت نسبی هوا

زاهدان)، فاکتور دوم نوع نازل در سه سطح شامل نازل بادبزنی استاندارد (Standard Flat Fan nozzle)، نازل بادبزنی ضد بادبردگی (Anti-Drift Flat Fan nozzle) و نازل بادبزنی القاء کننده هوا (Air Induction Flat Fan nozzle) و فاکتور سوم زاویه پاشش نسبت به زمین در هفت سطح شامل پاشش عمودی (صفر درجه رو به جلو) و پاشش‌های غیر عمودی با ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه زاویه به سمت جلو بود.

شماره نازل‌های استفاده شده در این آزمایش ۱۱۰۰۲ با پوشش زرد رنگ پلاستیکی بود. بخش خروجی در نازل بادبزنی استاندارد (Agrotop, 2013) از جنس پلاستیک ولی در نازل‌های بادبزنی ضد بادبردگی و بادبزنی القاء کننده هوا (MagnoJet, 2015) از جنس سرامیک بود. براساس کتابچه راهنمای این نازل‌ها، کیفیت قطرک‌سازی نازل‌های بادبزنی استاندارد، بادبزنی ضد بادبردگی و بادبزنی القاء کننده هوا در فشار ۳۰۰ کیلو پاسکال به ترتیب ریز (Fine) (با قطر قطرات بین ۱۱۴ تا ۲۳۵ میکرومتر)، متوسط (Medium) (با قطر قطرات بین ۲۳۶ تا ۳۴۰ میکرومتر) و به شدت درشت (Extremely coarse) (با قطر قطرات بین ۵۰۳ تا ۶۶۵ میکرومتر) است. تصویری از نازل‌های استفاده شده در آزمایش در شکل (۱) ارائه شده است.

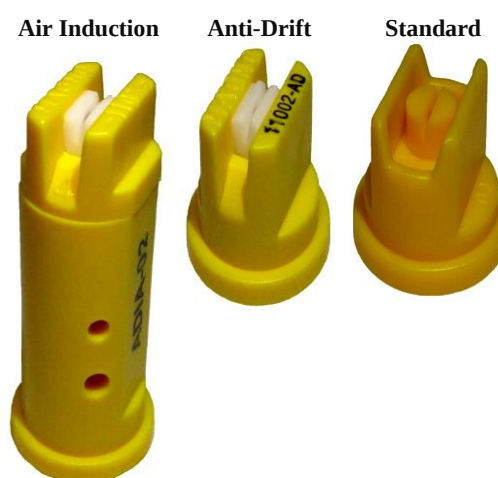


Figure 1. The types of Flat Fan nozzles used in the study

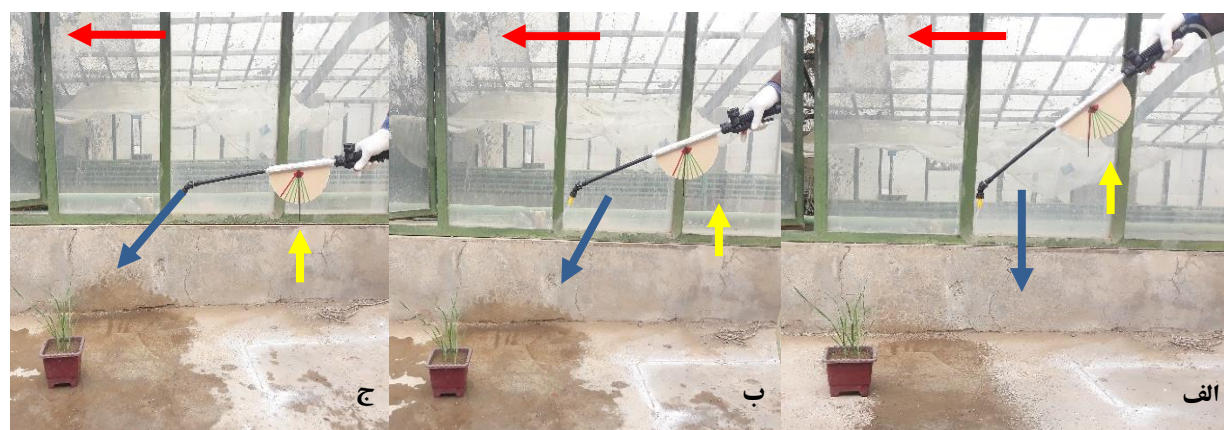


Figure 2. The setting method of nozzle spray angles relative to the ground in experiment. a) Vertical spray, b) non-vertical spray with 20° forward, and c) non-vertical spray with 40° forward. Blue arrow: the trajectory of spray droplets, Red arrow: the trajectory of nozzle and yellow arrow: the location of pendulum relative to the semicircular plate attached to the lance of sprayer

$$Y = \frac{c + (d - c)}{\{1 + \exp[b(\log x - \log ED_{50})]\}} \quad \text{معادله ۱}$$

در این معادله، Y بیانگر وزن خشک یولاف وحشی زمستانه، d و c حد مجانب بالا و پایین وزن خشک در مقادیر صفر و بی نهایت هالوکسی فوپ-آر-متیل، آماره ED_{50} بیانگر مقدار هالوکسی فوپ-آر-متیل لازم (x) برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک یولاف وحشی زمستانه بین حدهای مجانب بالا و پایین است و b برابر شیب منحنی در محدوده ED_{50} است. برای مقایسه آماری بین مقادیر آماره ED_{50} از مقادیر خطاهای استاندارد آن‌ها استفاده شد.

در بررسی منحنی‌های واکنش به مقدار هالوکسی فوپ-آر-متیل که مجموعاً ۲۱ منحنی بود، دامنه حد بالا بین ۰/۹۴ تا ۱/۰۵ گرم در نوسان بود که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. هم‌چنین، دامنه حد پایین این منحنی‌ها بین ۰/۱۲ تا ۰/۱۴ گرم در نوسان بود که تفاوت آماری معنی‌دار با یکدیگر نداشتند. هم‌چنین، شیب منحنی‌ها در نقطه ED_{50} بین ۲/۱۳ تا ۳/۷۰ در نوسان بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. این نتایج نشان دهنده موازی بودن تمامی منحنی‌ها با یکدیگر است. لذا، وقتی دو منحنی واکنش به مقدار علف کش با یکدیگر موازی باشند، از نسبت

به ترتیب برابر ۱۷ درجه سانتی گراد و ۶۵ درصد و جریان هوا ساکن بود. پس از سمپاشی، گلدان‌ها دوباره در درون گلخانه قرار داده شدند. در روز سمپاشی، گیاهان موجود در درون ۴ گلدان (که اضافه کشت شده بودند) از سطح خاک برداشت و پس از توزین وزن خشک آن‌ها، به عنوان وزن اولیه گیاهان در زمان اعمال تیمارها در نظر گرفته شدند (نتیجه = وزن تک بوته برابر ۰/۲۷ گرم بود).

در ۲۴ آذر ۱۳۹۸، گیاهان تیمار شده از سطح خاک برداشت و وزن خشک آن‌ها پس از دو روز خشکاندن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد توزین شد. داده‌های به دست آمده در ابتدا تقسیم بر ۵ (تعداد بوته در هر گلدان) و سپس منهای ۰/۲۷ (وزن اولیه بوته در زمان اعمال تیمارها) شدند.

سپس، پاسخ وزن خشک تک بوته یولاف وحشی زمستانه به تیمارها با روش آنالیز رگرسیون غیرخطی با کمک مدل چهار آماره‌ای لجستیک (معادله ۱) در محیط نرم افزار R تجزیه و تحلیل شد (Ritz et al., 2015). براساس نتایج آزمون عدم برازش ($p \text{ value} > 0/05$)، این مدل برازش قابل قبولی روی داده‌ها فراهم کرد. هم‌چنین، با بررسی نمودار باقی مانده‌ها، توزیع مستقل، تصادفی و یکنواخت آن‌ها محرز گردید.

۳۴/۵۱، ۴۴/۰۵ و ۵۳/۹۸ میلی لیتر ماده مؤثره هالوکسی فوپ-آر-متیل در هکتار به دست آمد که با یکدیگر دارای اختلاف معنی داری بودند. این نتیجه می تواند به دلیل اندازه قطرات پاشش متفاوتی باشد که این نوع نازل ها ایجاد می کنند. در فشار ۳۰۰ کیلو پاسکال، ۲۳۵

مقادیر آماره ED_{50} مربوط به دو منحنی می توان برای ارزیابی میزان فاصله افقی بین آن ها استفاده کرد. این نسبت را پتانسیل نسبی (R) می نامند (Ritz et al., 2006). در این آزمایش، برای محاسبه پتانسیل نسبی از معادله ۲ استفاده شد.

$$\text{معادله ۲} \quad R = \frac{ED_{50} \text{ (زاویه پاشش عمودی)}}{ED_{50} \text{ (زاویه پاشش غیر عمودی)}}$$

در این معادله، پتانسیل نسبی برابر ۱ بدین معنی است که تغییر زاویه پاشش نازل از حالت عمودی به غیر عمودی تاثیری بر کارایی علف کش ندارد. پتانسیل نسبی بیشتر از ۱ بدین معنی است که پاشش غیر عمودی نازل سبب بهبود کارایی علف کش در مقایسه با پاشش عمودی نازل شده است. برعکس، پتانسیل نسبی کمتر از ۱ بدین معنی است که پاشش غیر عمودی نازل سبب کاهش کارایی علف کش در مقایسه با پاشش عمودی نازل شده است.

نتایج و بحث

در شکل ۳، منحنی های واکنش وزن خشک تک بوته یولاف وحشی زمستانه به مقدار هالوکسی فوپ-آر-متیل مربوط به پاشش عمودی با نازل های بادبزی استاندارد (شکل ۳ الف)، ضد بادبردگی (شکل ۳ ب) و القاء کننده هوا (شکل ۳ ج) به همراه منحنی های مربوط به پاشش غیر عمودی آن ها در زاویه ای که بیشتر از آن زاویه تأثیر معنی داری بر کارایی علف کش نداشت نمایش داده شده است. بقیه منحنی ها به علت ازدحام آن ها نمایش داده نشده اند ولی آماره مقدار هالوکسی فوپ-آر-متیل لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک تک بوته یولاف وحشی زمستانه (ED_{50}) برای تمامی منحنی ها در جدول ۱ ارائه شده است. به طور کلی، نتایج نشان داد که مقدار آماره ED_{50} به طور معنی داری تحت تأثیر نوع نازل و زاویه پاشش آن نسبت به زمین قرار گرفت. در وضعیت پاشش عمودی، مقدار آماره ED_{50} با نازل های بادبزی استاندارد، ضد بادبردگی و القاء کننده هوا به ترتیب برابر

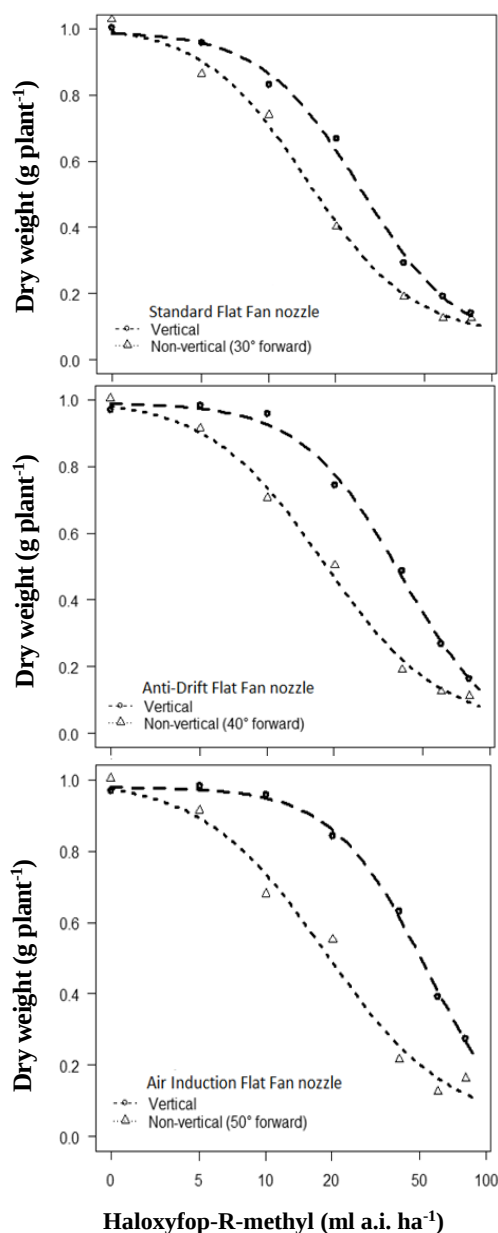


Figure 3. Response of winter wild oat dry weight to the doses of haloxyfop-R-methyl (ml a.i. ha⁻¹) sprayed vertically (○) and non-vertically (Δ) with 30° forward by standard flat fan nozzle (a), 40° forward by anti-drift flat fan nozzle (b) and 50° forward by air induction flat fan nozzle (c)

Table 1. The effect of nozzle type and nozzle spray angle on the dose of haloxyfop-R-methyl (ml active ingredient ha⁻¹) required for 50% reduction in dry weight of winter wild oat (ED₅₀)

Nozzle type	Nozzle spray angle	ED ₅₀ (SE) (ml a.i. ha ⁻¹)	Relative potency
Standard flat fan	Vertical	32.51 (3.01) de	1.00
	Non-vertical (10° forward)	31.89 (2.43) de	1.02
	Non-vertical (20° forward)	22.06 (1.45) c	1.47
	Non-vertical (30° forward)	15.10 (0.92) a	2.15
	Non-vertical (40° forward)	15.22 (0.71) a	2.14
	Non-vertical (50° forward)	16.93 (1.21) ab	1.92
	Non-vertical (60° forward)	15.79 (0.34) a	2.06
Anti-drift flat fan	Vertical	44.05 (5.34) fg	1.00
	Non-vertical (10° forward)	41.92 (3.91) fg	1.05
	Non-vertical (20° forward)	27.11 (2.39) d	1.62
	Non-vertical (30° forward)	23.09 (1.14) c	1.91
	Non-vertical (40° forward)	17.13 (1.34) ab	2.57
	Non-vertical (50° forward)	18.15 (0.65) b	2.43
	Non-vertical (60° forward)	17.84 (0.72) b	2.47
Air induction flat fan	Vertical	53.98 (3.22) h	1.00
	Non-vertical (10° forward)	45.65 (4.67) g	1.25
	Non-vertical (20° forward)	37.67 (2.85) f	1.51
	Non-vertical (30° forward)	32.88 (2.03) e	1.73
	Non-vertical (40° forward)	23.50 (1.77) c	2.42
	Non-vertical (50° forward)	17.61(2.05) ab	3.24
	Non-vertical (60° forward)	17.79 (1.78) b	3.20

Standard errors (SE) are in parentheses. The ED₅₀ values with the same letter are not significantly different ($P < 0.05$) based on the standard errors. In each nozzle type, the relative potency values are obtained by dividing the ED₅₀ of vertical spray angle by the ED₅₀ of non-vertical spray angle.

بادبزنی القاء کننده هوا به ترتیب به میزان ۲۰ و ۱۵ درصد کمتر از نازل بادبزنی استاندارد گزارش شده است (Jensen, 2012). کارایی کلودینافوپ پروپارژیل و ستوکسیدیم علیه یولاف وحشی زمستانه با نازل بادبزنی القاء کننده هوا به ترتیب به میزان ۳۵ (Aliverdi and Ahmadvand, 2018) و ۳۰ درصد (Aliverdi, 2018) کمتر از نازل بادبزنی استاندارد بود. کارایی سیکلوکسیدیم علیه جو دره با نازل بادبزنی ضدبادبردگی به میزان ۱۰ درصد کمتر از نازل بادبزنی استاندارد بود (Aliverdi and Karami, 2019). در کل، علف‌های هرز باریک برگ به دلیل داشتن برگگی با موم کوتیکولی بلورین دارای ویژگی خیس‌پذیری دشوار هستند (Knoche, 1994). قطرات درشت‌تر در مقایسه با قطرات کوچک‌تر بر روی سطح برگ چنین علف‌های هرزی به سختی نشست می‌کنند که این امر سبب رسانش ماده مؤثره کمتری از علف‌کش به سطح

نازل بادبزنی استاندارد قطرات پاششی با قطری بین ۱۰۶ تا میکرومتر، نازل بادبزنی ضدبادبردگی قطرات پاششی با قطری بین ۲۳۶ تا ۳۴۰ میکرومتر و نازل بادبزنی القاء کننده هوا قطرات پاششی با قطری بین ۵۰۳ تا ۶۶۵ میکرومتر ایجاد می‌کنند. بر این اساس، می‌توان بین کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل و اندازه قطرات پاشش رابطه‌ای منفی ترسیم کرد. به عبارتی دیگر، کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل با افزایش اندازه قطرات پاشش کاهش پیدا کرد. در تحقیقات قبلی، وجود چنین رابطه منفی بین کارایی علف‌کش و اندازه قطرات پاشش در حالت پاشش عمودی به اثبات رسیده بود (Sasaki et al., 2013; Creech et al., 2015; Meyer et al., 2016). این قاعده در رابطه با علف‌کش‌های گروه A نیز صادق است. برای مثال، در حالت پاشش عمودی، کارایی فلوآزیفوپ-پی-بوتیل و هالوکسی فوپ اتوکسی اتیل علیه چچم چندساله با نازل

آن‌ها می‌شود. از این رو، کارایی باریک‌برگ‌کش‌ها با کاهش اندازه قطرات پاشش به شدت افزایش می‌یابد (Aliverdi et al., 2009).

وقتی هالوکسی فوپ-آر-متیل با نازل بادبزنی ضد بادبردگی بکار رفت، همانند نازل بادبزنی استاندارد، پاشش غیر عمودی با زاویه ۱۰ درجه به جلو (ED_{50}) برابر ۴۱/۹۲ میلی‌لیتر ماده مؤثره در هکتار) نتوانست تأثیر معنی‌داری بر کارایی علف‌کش در مقایسه با پاشش عمودی این نوع نازل (ED_{50} برابر ۴۴/۰۵ میلی‌لیتر ماده مؤثره در هکتار) داشته باشد. اما، با غیر عمودتر کردن پاشش تا زاویه ۴۰ درجه به جلو، کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل به‌طور معنی‌دار و پیوسته افزایش پیدا کرد. نهایتاً، بهترین کارایی از علف‌کش به وسیله پاشش غیر عمودی با زاویه ۴۰ درجه به جلو به‌دست آمد (ED_{50} برابر ۱۷/۱۳ میلی‌لیتر ماده مؤثره در هکتار). از این زاویه به بعد، تغییر معنی‌داری در کارایی علف‌کش در مقایسه با پاشش غیر عمودی با زاویه ۴۰ درجه به جلو مشاهده نشد. براساس پتانسیل نسبی، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با پاشش غیر عمودی نازل بادبزنی القاء کننده هوا با زوایای پاشش ۵۰ و ۶۰ درجه به جلو، کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل تقریباً به میزان ۳/۲ برابر در مقایسه با پاشش عمودی این نوع نازل افزایش یافت.

وقتی هالوکسی فوپ-آر-متیل با نازل بادبزنی القاء کننده هوا بکار رفت، برخلاف دو نوع نازل قبلی، پاشش غیر عمودی با زاویه ۱۰ درجه به جلو (ED_{50}) برابر ۴۵/۶۵ میلی‌لیتر ماده مؤثره در هکتار) نتوانست تأثیر معنی‌داری بر کارایی علف‌کش در مقایسه با پاشش عمودی این نوع نازل (ED_{50} برابر ۵۳/۹۸ میلی‌لیتر ماده مؤثره در هکتار) داشته باشد. براساس پتانسیل نسبی، کارایی علف‌کش به میزان ۲۵ درصد با تغییر زاویه ۱۰ درجه‌ای به جلو بهبود پیدا کرد. در مطالعه قبلی، بهبود ۱۷ درصدی در کارایی سیتوکسیدیم علیه یولاف

وحشی زمستانه با تغییر دادن زاویه پاشش به میزان ۱۳ درجه به جلو در نازل بادبزنی القاء کننده هوا مشاهده شده بود (Aliverdi, 2018). با غیر عمودتر کردن پاشش با نازل القاء کننده هوا تا زاویه ۵۰ درجه به جلو، کارایی علف‌کش به‌طور معنی‌دار و پیوسته بهبود پیدا کرد. نهایتاً، بهترین کارایی از هالوکسی فوپ-آر-متیل با نازل القاء کننده هوا در پاشش غیر عمودی با زاویه ۵۰ درجه به جلو به‌دست آمد (ED_{50} برابر ۱۷/۶۱ میلی‌لیتر ماده مؤثره در هکتار). از این زاویه به بعد، تغییر معنی‌داری در کارایی علف‌کش در مقایسه با پاشش غیر عمودی با زاویه ۵۰ درجه به جلو مشاهده نشد. براساس پتانسیل نسبی، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با پاشش غیر عمودی نازل بادبزنی القاء کننده هوا با زوایای پاشش ۵۰ و ۶۰ درجه به جلو، کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل تقریباً به میزان ۳/۲ برابر در مقایسه با پاشش عمودی این نوع نازل افزایش یافت. این نتایج تأیید کننده نتایج به‌دست آمده به وسیله (Jensen, 2007, 2012) است که وی گزارش کرد که نه تنها تغییر جهت پاشش از حالت عمودی به غیر عمودی به سمت جلو سبب بهبود کارایی علف‌کش‌ها می‌شود بلکه تغییر جهت پاشش از حالت عمودی به غیر عمودی به سمت عقب نیز سبب بهبود کارایی علف‌کش‌های گروه A می‌شود. با این وجود، وی گزارش کرد که تغییر جهت پاشش از حالت عمودی به غیر عمودی تأثیری بر کارایی آیوکنسینیل + بروماکسینیل در مهار علف هرز داوطلب کلزا (گیاه دولپه‌ای) نداشته است. سایر پژوهشگران قبلی گزارش کرده‌اند که نشست قطرات پاشش (قارچ‌کش و کود مایع) بر روی گیاه زراعی باریک‌برگ (گندم) با تغییر دادن جهت پاشش از حالت عمودی به غیر عمودی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (Miller et al., 2002; Nicholson et al., 2003; Parkin et al., 2006; Jensen and Spliid, 2005; Wolf and Peng, 2011).

اگرچه در این آزمایش میزان نشست پاشش ارزیابی نشده است، ولی بر اساس نتایج سایر محققان قبلی می‌توان استنتاج کرد که با تغییر زاویه پاشش از حالت عمودی به غیر عمودی امکان افزایش نشست قطرات پاشش هالوکسی فوپ-آر-متیل بر روی یولاف وحشی زمستانه که دارای برگ‌های تقریباً قائم نسبت به زمین است (شکل ۲) فراهم می‌شود. لذا، کارایی علف کش بهبود خواهد یافت. علاوه بر این، این عمل می‌تواند از نشست قطرات پاشش بر روی سطح خاک و اتلاف آن‌ها جلوگیری کند (Jensen, 2007). در منابع علمی، به کمی‌سازی تأثیر تغییر زاویه پاشش نازل از حالت عمودی به غیر عمودی بر کارایی علف کش‌ها بسیار محدود توجه شده است. با این حال، تولید کنندگان نازل خیلی خوب به این موضوع و تأثیر آن توجه کرده‌اند. زیرا بعضی از انواع نازل‌هایی که برای کاربرد علف کش‌های شاخ و برگ مصرف تولید شده‌اند قادرند پاشش غیر عمودی با زوایای پاشش مختلف به جلو را فراهم سازند. برای مثال، نازل بادبزنی القاء کننده هوا متراکم زاویه دار (Compact Fan Air-Tilt nozzle) با ۱۳ درجه زاویه به جلو (ASJ, 2018)، نازل بادبزنی القاء کننده هومافاظ (Hypro® Guardian AIRflat fan nozzle) با ۲۰ درجه زاویه به جلو (Hypro, 2013)، نازل بادبزنی زاویه دار (Tilt 30 flat fan nozzle) (ASJ, 2018)، نازل بادبزنی سه بعدی (Defy 3D nozzle)، نازل سیب زمینی (Syngenta Potato Nozzle) (Syngenta, 2020)، نازل بادبزنی سوپر توربو (Super Turboflat fan nozzle)، نازل بادبزنی سوپر توربو القاء کننده هوا (Air Induction Super Turboflat fan nozzle) (MagnoJet, 2015) با ۳۰ درجه زاویه به جلو. در بالا، با مقایسه آماره ED₅₀ مربوط به پاشش عمودی نازل‌های بادبزنی استاندارد، ضد بادبردگی و القاء کننده هوا به رابطه‌ای منفی بین کارایی علف کش و اندازه قطرات پاشش پی برده شد.

با این وجود، از نتایج می‌توان چنین استنتاج کرد که با پاشش غیر عمودی می‌توان این رابطه را به حالت خنثی درآورد. به طوری که کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل علیه یولاف وحشی زمستانه در سه وضعیت پاشش: ۱) پاشش غیر عمودی با زاویه ۳۰ درجه به جلو با نازل بادبزنی استاندارد (ED₅₀ برابر ۱۵/۱۰ میلی لیتر ماده مؤثره در هکتار)، ۲) پاشش غیر عمودی با زاویه ۴۰ درجه به جلو با نازل بادبزنی ضد بادبردگی (ED₅₀ برابر ۱۷/۱۳ میلی لیتر ماده مؤثره در هکتار) و ۳) پاشش غیر عمودی با زاویه ۵۰ درجه به جلو با نازل بادبزنی القاء کننده هوا (ED₅₀ برابر ۱۷/۶۱ میلی لیتر ماده مؤثره در هکتار) از نظر آماری برابر بود. این نتایج نشان داد که هر چقدر اندازه قطرات تولیدی یک نازل بزرگ‌تر باشد، پاشش غیر عمودی تر الزامی است. به طور مشابه، کارایی کلودینافوپ پروپارژیل بکار رفته با سه نوع نازل مذکور در زاویه ۶۰ درجه به جلو در مهار چچم چندساله برابر گزارش شده است (Jensen, 2007). به عبارتی دیگر، با پاشش غیر عمودی، تأثیر گذاری عامل اندازه قطرات پاشش بر کارایی علف کش از بین می‌رود.

نتیجه گیری

از این آزمایش، نکات زیر دریافت شد: ۱) کارایی هالوکسی فوپ-آر-متیل علیه یولاف وحشی زمستانه تحت تأثیر نوع نازل و زاویه پاشش نسبت به زمین قرار دارد؛ ۲) وجود رابطه منفی بین کارایی علف کش و اندازه قطرات پاشش در حالت پاشش عمودی نازل صادق است، نه در حالت پاشش غیر عمودی؛ و ۳) هر چقدر اندازه قطرات تولیدی یک نازل بزرگ‌تر باشد، پاشش غیر عمودی تر جهت کسب کارایی بالاتر از علف کش الزامی است.

در حال حاضر، رایج‌ترین نوع نازل در دسترس کشاورزان ایرانی نازل بادبزنی استاندارد است. از آنجایی که روش تغییر زاویه پاشش نازل به منظور بهینه‌سازی

هالوکسی فوپ-آر-متیل را به نصف مقدار توصیه شده آن در روش رایج (پاشش عمودی) کاهش داد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان قدردان پیشنهاد آقای دکتر فخرالدین صالحی عضو هیأت علمی دانشگاه بوعلی سینا برای نحوه تنظیم زوایای پاشش نازل هستند.

مصرف علف کش هیچ هزینه اضافی متحمل کشاورز نمی‌سازد و فقط با چرخاندن و تنظیم کردن بوم سمپاش قابل اجراست؛ لذا، پاشش غیرعمودی این نوع نازل با ۳۰ درجه زاویه به سمت جلو برای کسب بالاترین کارایی از هالوکسی فوپ-آر-متیل علیه یولاف وحشی زمستانه توصیه می‌شود. با اجرای این روش می‌توان مصرف

References

- Agrotop. (2013). *Product catalogue 109E*. Retrieved from https://www.agrotop.com/Katalog_109E/mobile/index.html.
- Aliverdi, A. (2018). The selection of proper nozzle for spraying sethoxydim at two wind speeds to control winter wild oat (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*). *Journal of Plant Protection*, 32(2), 299-306. [In Farsi]
- Aliverdi, A., & Ahmadvand, G. (2018). The effect of nozzle type on clodinafop-propargyl potency against winter wild oat. *Crop Protection*, 114, 113-119.
- 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. [In Farsi]
- Aliverdi, A., Rashed-Mohassel, M. H., Zand, E., & Nassiri-Mahllati, M. (2009). Increased foliar activity of clodinafop-propargyl and/or tribenuron-methyl by surfactants and their synergistic action on wild oat (*Avena ludoviciana*) and wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Weed Biology and Management*, 9(4), 292-299.
- ASJ. (2018). *Product Catalogue, nozzles and accessories*. Retrieved from <http://www.asjnozzle.it/index.php/en/downloads/item/general-catalogue>.
- Cobb, A. H., & Reade, J. P. H. (2010). *Herbicides and plant physiology* (2nd ed). UK.: John Wiley and Sons Inc.
- Creech, C. F., Henry, R. S., Fritz, B. K., & Kruger, G. R. (2015). Influence of herbicide active ingredient, nozzle type, orifice size, spray pressure, and carrier volume rate on spray droplet size characteristics. *Weed Technology*, 29(2), 298-310.
- Foqu'e, D., & Nuytens, D. (2011). Effects of nozzle type and spray angle on spray deposition in ivy pot plants. *Pest Management Science*, 67(2), 199-208.
- Harr, J. (1991). *The leaf surface of major weeds*. Basel, Switzerland: Sandoz Agro Limited.
- Hess, F. D., & Foy, C. L. (2000). Interaction of surfactants with plant cuticles. *Weed Technology*, 14(4), 807-813.
- Hypno. (2013). *Product catalogue*. Retrieved from 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.

- Jensen, P. K. (2012). Increasing efficacy of graminicides with a forward angled spray. *Crop Protection*, 32, 17-23.
- Jensen, P. K., & Spliid, N. H. (2005). Loss of spray liquid to the soil below cereal crops as related to formulation, drop size, spray angling, travel speed and boom height. *Annual Review Agriculture Engineering*, 4(1), 323-331.
- Khajavi, T. M., Avarseji, Z., Gholam Alipour Alamdari, E., & Biabani, A. (2019). evaluating the effect of pendimethalin herbicide residue on wheat and barely. *Journal of Plant Protection*, 42(4), 483-494. [In Farsi]
- Knoche, M. (1994). Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. *Crop Protection*, 13(3), 163-178.
- MagnoJet. (2015). *Product catalogue*. Retrieved from <http://www.magnojet.com.br/produtos>.
- Meyer, C. J., Norsworthy, J. K., Kruger, G. R., & Barber, T. L. (2016). Effect of nozzle selection and spray volume on droplet size and efficacy of Engenia tank-mix combinations. *Weed Technology*, 30(2), 377-390.
- Miller, P. C. H., Lane, A. G., & Wheeler, H. C. (2002). *Optimising fungicide application according to crop canopy characteristics in wheat*. HGCA Project Report no. 277. Retrieved from [https://ahdb.org.uk/optimising fungicide-use-by-varying-application-according-to-crop-canopy-characteristics-in-wheat](https://ahdb.org.uk/optimising-fungicide-use-by-varying-application-according-to-crop-canopy-characteristics-in-wheat)
- Moss, S. (2015). *Identification of wild-oats*. Rothamsted Research, Harpenden, Herts AL5 2JQ, UK. Retrieved from <https://croprotect.cl0.ethr.dev/uploads/Wild-Oats-Leaflet-Final-easy-read-11Nov15.pdf>.
- Nicholson, P., Turner, J. A., Jenkinson, P., Jennings, P., Stonehouse, J., Nuttall, M., Dring, D., Weston, G., & Thomsett, M. (2003). *Maximising control with fungicides of Fusarium ear blight (feb) in order to reduce toxin contamination of wheat*. HGCA Project Report no. 297. Retrieved from <https://ahdb.org.uk/maximising-control-with-fungicides-of-fusarium-ear-blight-feb-in-order-to-reduce-toxin-contamination-of-wheat>.
- Parkin, C. S., Miller, P. C. H., Powell, E. S., Orson, J. H., Gill, J., Magan N., & Aldred, D. (2006). *Improving the deposition and coverage of fungicides on ears to control Fusarium ear blight and reduce mycotoxin contamination of grain*. Home-Grown Cereals Authority. Project Report No. 383. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/238086670>.
- Ritz, C., Baty, F., Streibig, J. C., & Gerhard, D. (2015). Dose-response analysis using R. *PLoS One*, 10(12), e0146021.
- Ritz, C., Cedergreen, N., Jensen, J.E., and Streibig, J.C. 2006. Relative potency in nonsimilar dose-response curves. *Weed Science*, 54(3), 407-412.
- Robinson, T. H., Scott, T. A. J., & Marshall, D. J. (2000). The effect of nozzle angle and nozzle types on the deposition and biological performance of potato blight fungicides. *Aspects of Applied Biology*, 57, 267-272.
- Sasaki, R. S., Teixeira, M. M., Alvarenga, C. B., Santiago, H., & Maciel, C. F. S. (2013). Spectrum of droplets produced by use adjuvants. *Idesia*, 31(1), 27-33.
- Syngenta. (2020). *Product catalogue*. Retrieved from <https://www.syngenta.ie/node/276/nozzles>.
- Tatari, S., Gherekhloo, J., Siahmarguee, A., & Kazemi, H. (2018). Identification of resistant Avena ludoviciana Dur accessions to ACCase inhibitor herbicides in Gonbad-E Kavus wheat fields and mapping their distribution. *Plant Productions*, 41(2), 103-116. [In Farsi]

- Wolf, T. M., & Peng, G. (2011). Improving spray deposition on vertical structures: The role of nozzle angle, boom height, travel speed, and spray quality. *Pest Technology*, 5(1), 67-72.
- Zand, E., Nezamabadi, N., Baghestani, M. A., Shimi, P., & Mousavi, S. K. (2019). *A guide to chemical control of weeds in Iran*. Mashhad: Jahad Daneshgahi Press. [In Farsi]