نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص. ۳۰۶-۲۹۹

Journal of Plant Protection
Vol. 32, No. 2, Summer 2018, P. 299-306

انتخاب نازل مناسب به منظور پاشش ستوکسیدیم در دو سرعت باد برای کنترل علف هرز یولاف وحشی زمستانه (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*)

اکبر علی وردی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۹

چکیده

برای کاربرد ایمن و بهینه‌ی علف‌کش‌ها لازم است که بادبردگی به بیرون از منطقه‌ی سمپاشی[2] و هَدرروی آن در درون منطقه سمپاشی[3] به حداقل رسانده شود. در این ارتباط، یک تصمیم مدیریتی بحرانی می‌تواند انتخاب نازل مناسب برای پاشش علف‌کش در شرایط بادی مختلف باشد. در یک آزمایش دُز-پاسخ، شش مقدار از ستوکسیدیم با استفاده از چهارده نوع نازل ۱۱۰۰۲ در دو سرعت وزش باد ۰/۵ و ۹/۵ متر در ثانیه بر روی یولاف وحشی زمستانه در مرحله پنج برگی پاشیده شد. نازل بادبزنی استاندارد دوقلو و نازل بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰ به ترتیب در سرعت وزش باد ۰/۵ و ۹/۵ متر در ثانیه به عنوان مناسب‌ترین نازل برای پاشش ستوکسیدیم با یک حجم حامل استاندارد ۲۱۰ لیتر در هکتار علیه یولاف وحشی زمستانه تعیین شدند. در سرعت وزش باد ۰/۵ متر در ثانیه، با افزایش اندازه قطرات ایجاد شده به وسیله نازل‌ها (کیفیت قطرک‌سازی)، مقدار ستوکسیدیم مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک یولاف وحشی زمستانه افزایش یافت که نشان دهنده آن است که کارایی علف‌کش کاهش یافت. در سرعت وزش باد ۹/۵ متر، با افزایش اندازه قطرات ایجاد شده به وسیله نازل‌ها از بسیار ریز تا درشت مقدار ستوکسیدیم مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک یولاف وحشی زمستانه کاهش یافت که نشان دهنده آن است که کارایی علف‌کش افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: بادبردگی، دُز-پاسخ، دو بادبزنه، علف‌کش، یک بادبزنه

مقدمه

اگرچه کاربرد علف‌کش‌ها به عنوان نگرانی حقوق بشر جهانی مطرح شده است (۲۴)، ولی آنها می‌توانند امنیت غذایی بشر را تضمین نمایند به شرط اینکه تکنیک کاربرد منطقی علف‌کش مورد توجه قرار گیرد (۷). اصول اساسی در تکنیک کاربرد منطقی علف‌کش شامل کیفیت انتخابی علف‌کش، کاربرد در زمان مناسب و دقت تجهیزات کاربرد است (۴). در تجهیزات (سمپاش‌ها) رایج کاربرد علف‌کش‌ها، نازل هیدرولیکی به عنوان یک جزء کلیدی و تأثیرگذار بر دقت سمپاشی مطرح است (۱۷). به همین دلیل، فناوری تولید نازل همیشه در حال بهبود بوده و در حال حاضر شاهد آن هستیم که تولیدکنندگان بیش از ۶۰ نوع مختلف نازل طراحی و معرفی کرده‌اند که برای استفاده در موقعیت‌های مختلف در دسترس هستند. در بین چهار نقش نازل، نقش اصلی یک نازل قطرک‌سازی محلول پاشش است که به منظور نشست یکنواخت و مؤثر محلول پاشش بر روی سطح هدف لازم و ضروری است (۸). کیفیت قطرک‌سازی محلول پاشش به نوع فرمولاسیون علف‌کش (۸)، مواد افزودنی (۲۰)، فشار سمپاشی (۱۲)، شماره نازل (۱۱) و نوع نازل (۱۴) بستگی دارد. تمامی انواع نازل‌های هیدرولیکی دامنه وسیعی از اندازه قطرات را با یک توزیع نرمال تولید می‌کنند (۱۰). سرنوشت هر یک از قطرات بستگی به اندازه آنها دارد. دو سرنوشت کلی برای قطرات بعد از تشکیل می‌توان متصور بود، بدین گونه که یا آنها بر روی سطح هدف نشست می‌کنند و یا به سطح غیر هدف فرار می‌کنند (۱۰). قطرات ریز با قطر کمتر از ۱۰۰ میکرون و قطرات درشت با قطر بیش از ۵۰۰ میکرون اغلب پتانسیل بسیار بالایی برای فرار دارند. قطرات ریز به احتمال زیاد از طریق بادبردگی به بیرون از منطقه‌ی سمپاشی فرار خواهند کرد (۱۰)، بخصوص زمانی که سرعت وزش باد در زمان کاربرد بیشتر از ۱/۵ متر

۱- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: a.aliverdi@basu.ac.ir
DOI: 10.22067/jpp.v32i2.68476
2- Exo-drift
3- Endo-drift

بر ثانیه باشد (۱۴). قطرات درشت به احتمال زیاد بـه دلیـل پَـرش یـا پرتاب از روی هدف پس از برخـورد در درون منطقـه سمپاشـی هَـدر خواهند رفت (۱۰)، بخصوص زمانی که هدف یک علـف‌هـرز باریـک برگ مانند یولاف وحشی باشد که دارای سطح بـرگ قـائم بـا خـیس پذیری اندک است (۲).

علف‌کش‌های پس رویشی نفوذی نظیر ستوکسیدیم، بازدارنـده‌ی آنزیم استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز، باید زمانی بکـار بـرده شـوند کـه سرعت وزش باد کمتر از ۱/۵ متر بـر ثانیـه باشـد (۱۴). بـرای چنـین شرایط محیطی، تولیدکنندگان استفاده از نازلی را توصیه می‌کننـد کـه در فشار مورد نظر دارای کیفیت قطـرک‌سـازی بسـیار ریـز (بـا قطـر قطرات بین ۶۱ تا ۱۰۵ میکرون)، ریز (با قطر قطرات بین ۱۰۶ تا ۲۳۵ میکرون)، متوسط (با قطر قطرات بین ۲۳۶ تا ۳۴۰ میکرون) یا درشت (با قطر قطرات بین ۳۴۱ تا ۴۰۳ میکرون) باشد تا هَدرروی علف‌کـش در درون منطقه‌ی سمپاشـی بـه حـداقل برسـد (۵). در وضـعیتی کـه سرعت وزش باد در زمان کاربرد علف‌کش‌های پـس رویشـی نفـوذی بیشتر از ۱/۵ متر بر ثانیه باشد، باید از نازلی استفاده شود که در فشـار مورد نظر دارای کیفیت قطرک‌سازی درشت، بسـیار درشـت (بـا قطـر قطرات بین ۴۰۴ تا ۵۰۲ میکرون)، به شدت درشت (بـا قطـر قطـرات بین ۵۰۳ تا ۶۶۵ میکرون) یا فوق العاده درشت (با قطر قطرات بـیش از ۶۶۵ میکرون) باشد تا میزان فـرار قطـرات بـه بیـرون از منطقـه‌ی سمپاشی به حداقل برسد (۵). ایـن دسـته‌بنـدی در رابطـه بـا کیفیـت قطرک‌سازی نازل‌ها به وسیله انجمن مهندسان کشاورزی آمریکـا (۳) انجام گرفته است.

با توجه به تنوع بسیار زیاد نازل‌ها، بحـث انتخـاب نـازل مناسـب برای پاشش انواع علف‌کش‌ها برای کنترل گونه‌های مختلف علف‌هرز می‌تواند باعث سردرگمی شـود. در ایـن پـژوهش، عملکـرد ۱۴ نـازل مختلف بر کارایی ستوکسیدیم در کنتـرل علـف‌هـرز یـولاف وحشـی زمستانه تحت دو سرعت وزش باد مجاز و غیرمجاز برای پاشش ایـن علف‌کش مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

بذور یولاف وحشی زمستانه (۱۸) از محوطـه‌ی دانشـگاه بـوعلی سینا همدان در اواخر بهار ۱۳۹۴ جمع‌آوری شـدند. در اواخـر تابسـتان ۱۳۹۵، ابتدا پوسته در بر دارنده بـذر از آنهـا جـدا شـد و ضـد عفـونی سطحی بذور با محلول هیپوکلرید ۵ درصد و به مدت ۵ دقیقه صورت گرفت. بذور درون پتری دیش‌هایی با قطر ۱۱ سانتیمتر که حاوی یک لایه کاغذ صافی بودنـد، قـرار داده شـدند. سـپس، ۱۰ میلـی‌لیتـر از محلول ۰/۲ گرم نیترات پتاسیم در لیتر به هر یک از پتری دیش‌ها، به منظور شکسته شدن خواب بذر، اضافه شد. پتری دیـش‌هـای حـاوی بذور به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴ تا ۵ درجه سانتی‌گراد در تـاریکی مطلق در درون یخچال نگهداری شدند. پس از اعمـال سـرما، پتـری دیش‌ها درون ژرمینـاتور بـا ۱۶ سـاعت تـاریکی بـا دمـای ۲۰ درجـه سانتیگراد و ۸ ساعت تاریکی با دمای ۱۰ درجه سانتیگراد، به ترتیب با رطوبت نسبی ۴۵ و ۶۵ درصد جوانه‌دار شـدند (۲). سـپس، تعـداد ۱۰ گیاهچه با طول کولئوپتیل یـک سـانتی‌متـری در درون گلـدان‌هـای پلاستیکی قهوه‌ای رنگ با مقطع مربعی (۲۵۶ سانتی‌متر مربع مساحت و ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع) در عمق یک سانتی‌متری خاک کاشـته شـدند. خاک مورد استفاده در تهیه‌ی بستر کاشـت حـاوی ۲۸/۹ درصـد رس، ۴۷/۰ درصد سیلت، ۲۳/۶ درصد شـن و ۰/۶ درصـد مـاده آلـی بـود. گلدان‌ها به درون گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا منتقل شدند و هر پنج روز آبیاری شـدند. در مرحلـه یـک برگـی کامل، تعداد بوته‌های درون هر گلدان به ۶ بوته تقلیل یافتند.

تیمارهـای آزمایشـی عبـارت بودنـد از ۶ مقـدار از علـف‌کـش ستوکسیدیم که با استفاده از ۱۴ نوع نازل مختلف در ۲ سـرعت وزش باد در ۴ تکرار بر روی گیاهچه‌های پنج برگی یولاف وحشی زمسـتانه پاشیده شدند. مقادیر علف‌کـش بکـار رفتـه شـامل ۰، ۲۳/۵، ۴۷، ۹۴، ۱۸۷/۵ و ۳۷۵ گرم ماده مؤثره در هکتار بود کـه آخـرین دُز کـاربردی مقدار توصیه شده بر روی برچسـب علـف‌کـش اسـت. نـام و کیفیـت قطرک‌سازی نازل‌ها در فشار ۳ بار در شکل ۱ ذکر شده است. شـماره تمامی نازل‌ها ۱۱۰۰۲ بود. این نازل‌ها به وسیله TeeJet آمریکا، ASJ ایتالیا یا Albuz فرانسه تولید می‌شوند. تیمارهـای بـالا در دو سـرعت وزش باد طبیعـی حـدوداً ۰/۵ و ۹/۵–۹ متـر بـر ثانیـه در فضـای آزاد بیرون گلخانه پاشیده شدند.

در یک روز بادی (بعد از ظهر ۲۲ مهر ۱۳۹۵) کـه سـرعت وزش باد ۹/۵ متر بر ثانیه بود، تیمارهای مربوط بـه سـرعت وزش بـاد غیـر مجاز برای سمپاشی پاشیده شدند. در این زمان، دمای هـوا و رطوبـت نسبی به ترتیب برابر ۱۶ سانتی‌گراد و ۳۵ درصد بود. بعد از ظهـر روز آینده (۲۳ مهر ۱۳۹۵) که سرعت وزش باد حدوداً ۰/۵ متـر بـر ثانیـه بود، تیمارهای مربوط به سرعت وزش باد مجاز برای سمپاشی پاشیده شدند. در این زمان، دمای هوا و رطوبت نسـبی بـه ترتیـب برابـر ۱۷ درجه سانتی‌گراد و ۳۱ درصد بود. در هر دو روز سمپاشـی، هـیچ لکـه ابری در آسمان مشاهده نشد. جهت وزش باد عمود بر راسـتای مسـیر حرکت نازل بود. تیمارها با استفاده از ۲۱۰ لیتر آب در هکتار به وسیله سمپاش پشتی فشاری در فشار ۳ بار بکار برده شدند. ارتفـاع نـازل تـا سطح خاک گلدان حدوداً ۰/۵ متر بود. در روزهای سمپاشـی، گیاهـان موجود در درون ۴ گلدان از سطح خاک برداشت شدند و پس از توزین وزن خشک آنها، به عنوان وزن اولیه گیاهان در زمان اعمـال تیمارهـا در نظر گرفته شدند. پس از سمپاشی، گلدان‌ها مجدداً در درون گلخانه قرار داده شدند.

نوع نازل Nozzle type کیفیت قطرک‌سازی Atomization quality	بادبزنی استاندارد Standard Flat Fan ریز Fine	بادبزنی استاندارد دوقلو Twin Fan Standard بسیار ریز Very Fine	بادبزنی دوقلوی توربو Turbo Twin Flat درشت Coarse	بادبزنی ضد بادبردگی Fan Low Drift ریز Fine	بادبزنی ضد بادبردگی دوقلو Twin Fan Low Drift بسیار درشت Very Coarse	بادبزنی القاکننده هوا متراکم Compact Fan Air درشت Coarse	بادبزنی القاکننده هوا دوقلو Twin Fan Air به شدت درشت Extremely Coarse
نوع نازل Nozzle type کیفیت قطرک‌سازی Atomization quality	بادبزنی زاویه گسترده توربو Turbo Wide Angle Flat متوسط Medium	بادبزنی القاکننده هوا توربو Turbo Air Induction Flat فوق العاده درشت Ultra Coarse	بادبزنی القاکننده هوا متراکم زاویه‌دار Compact Fan Air-Tilt درشت Coarse	بادبزنی القاکننده هوا دوقلوی توربو Air Induction Turbo Twin Flat بسیار درشت Very Coarse	بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰ Air Induction Twin Fan 3070 درشت Coarse	بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا فشار پایین Low Pressure Air Induction Twin Flat درشت Coarse	بادبزنی القاکننده هوا فشار پایین Low Pressure Air Induction Flat درشت Coarse

شکل ۱- نازل‌های مورد استفاده در پژوهش و کیفیت قطرک‌سازی آنها در فشار ۳ بار.

Figure 1- The nozzles used in research and their atomization quality at 3 bar.

چهار هفته پس از سمپاشی، گیاهان تیمار شده از سطح خاک برداشت شدند و وزن خشک آنها پس از ۲ روز خشک کردن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد توزین شد. در مقادیر بالای کاربرد علف کش، بخصوص در مقادیر ۱۸۷/۵ و ۳۷۵ گرم ماده مؤثره در هکتار، گیاهان اغلب مرده بودند ولی در مقدار ۲۳/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار تمامی گیاهان زنده بودند. داده‌های بدست آمده در ابتدا تقسیم بر ۶ (تعداد بوته در هر گلدان) و سپس منهای ۰/۱۵ گرم (وزن اولیه هر بوته در زمان اعمال تیمارها) شدند. سپس، پاسخ وزن خشک علف‌هرز یولاف وحشی زمستانه به تیمارها با تکنیک آنالیز رگرسیون غیرخطی با مدل چهار پارامتری لجستیک (معادله ۱) و با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۲,۶,۲ تجزیه و تحلیل شد (۱۹):

معادله ۱
$$Y = \frac{C+(D-C)}{\{1+exp[B\,(logX-logED)]\}}$$

در این معادله: Y بیانگر وزن خشک یولاف وحشی زمستانه، D و C حد مجانب بالا و پایین وزن خشک در مقادیر صفر و بی‌نهایت ستوکسیدیم، ED_{50} بیانگر مقدار علف‌کش لازم (x) برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک علف‌هرز بین حدود بالا و پایین (D و C) است، و B متناسب با شیب منحنی در محدوده‌ی ED_{50} می‌باشد. شیب منحنی‌ها بین ۰/۹۹ در نازل بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا فشار پایین در سرعت باد ۰/۵ متر در ثانیه تا ۲/۱۳ در نازل بادبزنی القاکننده هوا دوقلو در سرعت باد ۹/۵ متر در ثانیه در نوسان بود که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. از آنجایی که اهمیت پارامتر ED_{50} در مطالعات دُز–پاسخ علف‌کش‌ها بیشتر از سایر پارامترها (مانند ED_{10} و ED_{90}) است (۱۹)، از اینرو؛ فقط نتایج مربوط به پارامتر ED_{50} ارائه شد.

دسته‌بندی نازل‌ها بر اساس کیفیت قطرک‌سازی به وسیله انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا (۳) انجام گرفته است.

نتایج و بحث

مقادیر پارامتر ED_{50} به طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع نازل و سرعت وزش باد قرار گرفت (جدول ۱). در زمانیکه سمپاشی در سرعت وزش باد ۰/۵ متر در ثانیه انجام گرفت، کمترین و بیشترین مقدار ED_{50} به ترتیب در کاربرد نازل بادبزنی استاندارد دوقلو و نازل بادبزنی القاکننده هوا توربو بدست آمد، بدین صورت که برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک یولاف وحشی زمستانه با استفاده از نازل های بادبزنی استاندارد دوقلو و بادبزنی القاکننده هوا توربو به ترتیب ۱۲/۸۱ و ۶۲/۷۲ گرم ماده‌ی مؤثره ستوکسیدیم مورد نیاز بود. در چنین وضعیتی از سرعت وزش باد، عملکرد نازل‌ها بر اساس پارامتر ED_{50} به صورت زیر بود: بادبزنی القاکننده هوا توربو > بادبزنی القاکننده هوا دوقلو > بادبزنی القاکننده هوا فشار پایین > بادبزنی ضد بادبردگی دوقلو > بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا فشار پایین > بادبزنی القاکننده هوا دوقلوی توربور > بادبزنی القاکننده هوا متراکم > بادبزنی القاکننده هوا متراکم زاویه دار > بادبزنی ضد بادبردگی > بادبزنی دوقلوی توربو > بادبزنی زاویه گسترده توربو > بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰ > بادبزنی استاندارد > بادبزنی استاندارد دوقلو. در این رتبه‌بندی، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر پارامتر ED_{50} حاصل از نازل‌های بادبزنی استاندارد دوقلو و بادبزنی استاندارد وجود داشت. همچنین، اختلاف معنی‌داری بین نازل‌های بادبزنی القاکننده هوا فشار پایین و بادبزنی زاویه گسترده توربو، بین نازل بادبزنی القاکننده هوا دوقلو و هر یک از نازل‌های بادبزنی القاکننده هوا دوقلوی توربو و بادبزنی القاکننده هوا توربو وجود داشت. عملکرد عالی نازل بادبزنی استاندارد دوقلو بدون شک با کیفیت قطرک‌سازی آن در ارتباط است. این نازل قطرات ریزتری در مقایسه با سایر نازل‌ها ایجاد می‌کند. همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می شود، با افزایش اندازه قطرات ایجاد شده به وسیله نازل‌ها (کیفیت قطرک‌سازی)، مقدار دُز مورد نیاز از علف‌کش ستوکسیدیم برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک یولاف وحشی زمستانه افزایش یافت. به عبارتی دیگر، همبستگی منفی قوی (R^2= ۰/۹۶) بین کارایی علف‌کش ستوکسیدیم در کنترل یولاف وحشی زمستانه با اندازه قطرات ایجاد شده به وسیله نازل‌ها وجود داشت. عوامل تأثیرگذار بر میزان نشست قطره بر روی سطح هدف (برگ علف‌هرز) عبارتند از: ریخت‌شناسی سطح برگ (۲۱)، حجم حامل پاشش (۱۷)، کشش سطحی محلول پاشش (۱) و اندازه قطرات (۲۳). محققان به خوبی ثابت کرده‌اند که هنگامی که سرعت وزش باد پایین (مجاز برای سمپاشی) است، میزان نشست قطرات ریز در مقایسه با قطرات درشت بر روی سطح هدف بیشتر است. متعاقباً، با افزایش میزان نشست قطرات بر روی سطح هدف، کارایی علف‌کش شاخ و برگ مصرف نیز افزایش می‌یابد. در مقابل، قطرات درشت به احتمال زیاد پس از برخورد با سطح هدف در طی فرآیند پَرش از روی سطح هدف به هَدر خواهند رفت. به همین دلیل، کارایی علف‌کش شاخ و برگی که با قطرات درشت پاشیده شده کمتر از زمانی است که با قطرات ریز پاشیده شود (۶، ۱۵ و ۱۶). به همین دلیل، بهترین و بدترین کارایی ستوکسیدیم در کنترل علف‌هرز یولاف وحشی زمستانه در سرعت وزش باد پایین به ترتیب در کاربرد نازل بادبزنی استاندارد دوقلو با کیفیت قطرک‌سازی بسیار ریز (با قطر قطرات بین ۶۱ تا ۱۰۵ میکرون) و نازل بادبزنی القاکننده هوا توربو با کیفیت قطرک‌سازی فوق العاده درشت (با قطر قطرات بیش از ۶۶۵ میکرون) بدست آمد.

جدول ۱- مقادیر پارامتر ED_{50} برای علف‌کش ستوکسیدیم در کنترل یولاف وحشی زمستانه که با ۱۴ نوع نازل تحت دو سرعت باد مختلف بکار برده شده است

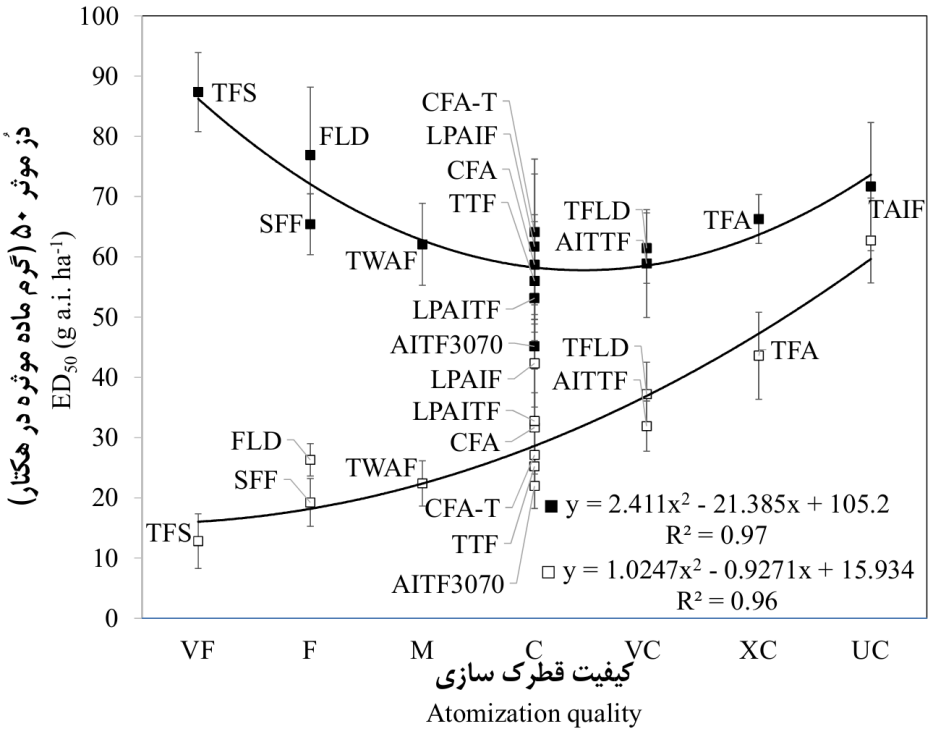
Table 1- Estimated ED_{50} values for sethoxydim on the control of winter wild oat which it was applied with 14 nozzle types at two wind speeds

سرعت باد (متر بر ثانیه) Wind speed ($m\ s^{-1}$)		نوع نازل (11002)
9.5	0.5	
65.42 (5.05)	19.23 (3.96)	بادبزنی استاندارد Standard Flat Fan
64.13 (12.10)	27.09 (4.52)	بادبزنی القاکننده هوا متراکم زاویه‌دار Compact Fan Air-Tilt
76.89 (11.28)	26.30 (2.69)	بادبزنی ضد بادبردگی Fan Low Drift
58.70 (8.29)	31.68 (5.75)	بادبزنی القاکننده هوا متراکم Compact Fan Air
62.08 (6.79)	22.40 (3.77)	بادبزنی زاویه گسترده توربو Turbo Wide Angle Flat
71.67 (10.64)	62.72 (7.05)	بادبزنی القاکننده هوا توربو Turbo Air Induction Flat
61.69 (12.06)	42.32 (7.24)	بادبزنی القاکننده هوا فشار پایین Low Pressure Air Induction Flat
87.35 (6.56)	12.81 (4.53)	بادبزنی استاندارد دوقلو Twin Fan Standard
61.45 (5.83)	37.23 (5.28)	بادبزنی ضد بادبردگی دوقلو Twin Fan Low Drift
66.27 (4.07)	43.60 (7.22)	بادبزنی القاکننده هوا دوقلو Twin Fan Air
55.98 (9.88)	25.22 (3.41)	بادبزنی دوقلوی توربو Turbo Twin Flat
58.88 (8.95)	31.91 (4.16)	بادبزنی القاکننده هوا دوقلوی توربو Air Induction Turbo Twin Flat
45.13 (5.63)	21.96 (3.74)	بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰ Air Induction Twin Fan 3070
53.13 (7.78)	32.73 (8.79)	بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا فشار پایین Low Pressure Air Induction Twin Flat

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد هستند

سمپاشی در سرعت وزش باد ۹/۵ متر در ثانیه باعث افزایش معنی‌دار در مقادیر پارامتر ED_{50} در تمامی نازل‌ها بجز نازل بادبزنی القاکننده هوا توربو شد. به عبارتی دیگر، با افزایش سرعت وزش باد به مقادیر بیشتری از علف‌کش برای کاهش۵۰ درصدی در وزن خشک یولاف وحشی زمستانه نیاز بود. در زمانیکه سمپاشی در سرعت وزش باد ۹/۵ متر در ثانیه انجام گرفت، کمترین و بیشترین مقدار ED_{50} به ترتیب با استفاده از نازل بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰ و نازل بادبزنی استاندارد دوقلو بدست آمد، بدین صورت که برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک یولاف وحشی زمستانه با استفاده از نازل بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰ و نازل بادبزنی استاندارد دوقلو به ترتیب به ۴۵/۱۳ و ۸۷/۳۵ گرم ماده‌ی مؤثره از علف‌کش ستوکسیدیم مورد نیاز بود. در سرعت وزش باد ۹/۵ متر در ثانیه، عملکرد نازل‌ها بر اساس پارامتر ED_{50} به صورت زیر بود: بادبزنی استاندارد دوقلو > بادبزنی ضد بادبردگی > بادبزنی القاکننده هوا توربو > بادبزنی القاکننده هوا دوقلو > بادبزنی استاندارد > بادبزنی القاکننده هوا متراکم زاویه دار > بادبزنی زاویه گسترده توربو > بادبزنی القاکننده هوا فشار پایین > بادبزنی ضد بادبردگی دوقلو > بادبزنی القاکننده هوا دوقلوی توربور > بادبزنی القاکننده هوا متراکم > بادبزنی دوقلوی

توربو > بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا فشار پایین > بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰. در این رتبه‌بندی، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر پارامتر ED_{50} حاصل از نازل‌های بادبزنی استاندارد دوقلو و بادبزنی استاندارد وجود داشت. همچنین، اختلاف معنی‌داری بین نازل بادبزنی ضد بادبردگی و هر یک از نازل‌های بادبزنی زاویه گسترده توربو و بادبزنی القاکننده هوا دوقلو وجود داشت. اختلاف معنی‌داری بین نازل بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰ و هر یک از نازل‌های بادبزنی القاکننده هوا دوقلو، بادبزنی ضد بادبردگی و بادبزنی زاویه گسترده توربو وجود داشت. همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، در سرعت وزش ۹/۵ متر در ثانیه، با افزایش اندازه قطرات ایجاد شده به وسیله نازل‌ها از بسیار ریز (VF) تا درشت (C) مقدار ستوکسیدیم مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک یولاف وحشی زمستانه کاهش یافت که نشان دهنده آن است که کارایی علف‌کش افزایش یافته است. عملکرد نازل‌هایی که قطرات ریزتری ایجاد می کند به شدت تحت تأثیر سرعت وزش باد است، چون قطرات ریز به راحتی از طریق بادبردگی فرار می‌کنند (۱۰). از اینرو، عملکرد نازل بادبزنی استاندارد دوقلو با کیفیت قطرک‌سازی بسیار ریز (با قطر قطرات بین ۶۱ تا ۱۰۵ میکرون) در مقایسه با سایر نازل‌ها به شدت تحت تأثیر وزش باد قرار گرفت و باعث شد که کمترین کارایی علف کش ستوکسیدیم بدست آید. با این حال، با افزایش اندازه قطرات ایجاد شده به وسیله نازل‌ها از درشت (C) تا فوق العاده درشت (UC) کارایی علف‌کش ستوکسیدیم در کنترل یولاف وحشی زمستانه کاهش یافت. به نظر می‌رسد که حجم حامل پاشش عامل محدود کننده در عملکرد چنین نازل‌هایی و در چنین سرعت وزش بادی باشد.



شکل ۲- همبستگی بین مقادیر ED50 علف‌کش ستوکسیدیم در کنترل یولاف وحشی زمستانه در سرعت وزش باد ۰/۵ متر در ثانیه (□) و ۹/۵ متر در ثانیه (■) و کیفیت قطرک‌سازی نازل‌ها که عبارت بودند از TFS: بادبزنی استاندارد دوقلو؛ FLD: بادبزنی ضد بادبردگی؛ SFF: بادبزنی استاندارد؛ TWAF: بادبزنی زاویه گسترده توربو؛ LPAITF: بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا فشار پایین؛ LPAIF: بادبزنی القاکننده هوا فشار پایین؛ CFA: بادبزنی القاکننده هوا متراکم؛ CFA-T: بادبزنی القاکننده هوا متراکم زاویه‌دار؛ TTF: بادبزنی دوقلوی توربو؛ AITF3070: بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰؛ TFLD: بادبزنی ضد بادبردگی دوقلو؛ AITTF: بادبزنی القاکننده هوا دوقلوی توربو؛ TFA: بادبزنی القاکننده هوا دوقلو؛ TAIF: بادبزنی القاکننده هوا توربو

Figure 2- A correlation between the ED_{50} values of sethoxydim against winter wild oat at two wind speeds of 0.5 (□) or 9.5 m s^{-1} (■) and the atomization quality of nozzles, including TFS: Twin Fan Standard; FLD: Fan Low Drift; SFF: Standard Flat Fan; TWAF: Turbo Wide Angle Flat; LPAITF: Low Pressure Air Induction Twin Flat; LPAIF: Low Pressure Air Induction Flat; CFA: Compact Fan Air; CFA-T: Compact Fan Air-Tilt; TTF: Turbo Twin Flat; AITF3070: Air Induction Twin Fan 3070; TFLD: Twin Fan Low Drift; AITTF: Air Induction Turbo Twin Flat; TFA: Twin Fan Air; TAIF: Turbo Air Induction Flat

تحقیقات نشان داده‌اند که وقتی از نازل‌هایی با کیفیت قطرک سازی بسیار درشت تا فوق العاده درشت استفاده شود، کارایی علف-کش کوئیزالوفوپ پی اتیل در کنترل علف‌هرز سوروف با افزایش حجم حامل پاشش افزایش یافت (۲۲). در مقابل، زمانی که از نازل هایی با کیفیت قطرک‌سازی بسیار ریز تا متوسط استفاده شود، کارایی علف‌کش‌های فورام سولفورون و بنتازون در کنترل سوروف با افزایش حجم حامل پاشش کاهش یافت (۱۶). از اینرو، احتمالاً با افزایش شماره نازل از ۰۲ زرد رنگ به ۰۳ آبی رنگ یا ۰۴ قرمز رنگ می‌توان عملکرد نازل‌هایی با کیفیت قطرک‌سازی بسیار درشت تا فوق العاده درشت را بهبود بخشید که این موضوع باید در پژوهش‌های بعدی به اثبات برسد.

یک نقش دیگر نازل می‌تواند جهت دادن به قطرات ایجاد شده باشد (۸). هفت نازل لیست شده در ابتدای جدول ۱ جزو نازل‌های یک بادبزنه و هفت نازل بعدی جزو نازل‌های دو بادبزنه هستند. بجز در نازل بادبزنی القاکننده هوای متراکم زاویه‌دار، در تمامی نازل‌های یک بادبزنه (نازل‌هایی که دارای یک روزنه خروجی هستند و الگوی پاشش آنها به صورت بادبزنی است) جهت بادبزن عمود بر سطح زمین است. در نازل بادبزنی القاکننده هوای متراکم زاویه‌دار جهت بادبزن به میزان ۱۳ درجه به سمت مسیر حرکت نازل منحرف است. در نازل های دو بادبزنه (نازل‌هایی که دارای دو روزنه خروجی هستند و الگوی پاشش آنها به صورت بادبزنی مضاعف است) محلول پاشش از دو روزنه خارج می‌شود و دو بادبزن ایجاد می‌کند. در نازل بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰، زاویه یکی از بادبزنها به میزان ۳۰ درجه در جهت مسیر حرکت نازل و زاویه بادبزن دیگر به میزان ۷۰ درجه برخلاف جهت حرکت نازل است. در سایر نازل‌های دو بادبزنه، زاویه یکی از بادبزنها به میزان ۳۰ درجه در جهت مسیر حرکت نازل و زاویه بادبزن دیگر به میزان ۳۰ درجه برخلاف جهت حرکت نازل است. از آنجایی که برگهای علف‌های هرز باریک برگ به صورت نسبتاً قائم قرار دارند به همین دلیل در صورتی که قطرات پاشش به طور عمود بر زمین پاشیده شود، خیس‌پذیری برگهای این گونه از علف‌های هرز پایین خواهد بود. علت اصلی خیس‌پذیری اندک برگ علف‌های هرز باریک برگ نیز قائم بودن برگ آنهاست (۲). نازل‌هایی که بادبزن زاویه‌داری ایجاد می‌کنند، بخصوص در مورد نازل‌های دوقلو، امکان برخورد عمودی قطرات به سطح برگ‌های علف‌های هرز باریک برگ و متعاقباً کاهش پَرش قطره از سطح آنها را فراهم می‌سازند. علاوه بر این، نازل‌های دوقلو امکان خیس‌سازی قسمت پشت و جلوی علف های هرز در مسیر حرکت نازل را نیز فراهم می‌کنند (۱۱). در مقایسه با ۶ نوع نازلی که کیفیت قطرک‌سازی درشتی دارند، نازل دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰ به دلیل جهت دادن مناسب به قطرات ایجاد شده بهترین عملکرد را در هر دو سرعت وزش باد به نمایش گذاشت (شکل ۲). جنسن (۱۳) نیز گزارش کرد نازل‌های دوبادبزنه (دوقلو) در مقایسه با نازل‌های یک بادبزنه (یک قلو) باعث بهبود کارایی علف-کش‌ها شد.

به عنوان جمع‌بندی نهایی، نازل‌های بادبزنی استاندارد دوقلو و نازل بادبزنی دوقلوی القاکننده هوا ۳۰۷۰ به ترتیب در سرعت وزش باد پایین و بالا به عنوان مناسب ترین نازل برای پاشش ستوکسیدیم با حجم حامل استاندارد ۲۱۰ لیتر در هکتار علیه یولاف وحشی زمستانه تعیین شدند. احتمالاً، در صورتی می‌توان از نازل‌هایی با کیفیت قطرک‌سازی درشت تا فوق العاده درشت بهره بیشتری در سرعت وزش باد بالا برد که از حجم حامل پاشش بیشتری استفاده شود. این موضوع باید در پژوهش‌های آتی به اثبات برسد.

سپاسگزاری

از آقایان Mahmoud Sbeity، Francesca Barbotto و Patrick Levesque به ترتیب مدیریت فروش شرکت‌های TeeJet در آمریکا، ASJ در ایتالیا و Albuz در فرانسه که علاوه بر نازل‌های مورد آزمایش، نمونه‌ای رایگان از تمامی انواع نازل‌های تولیدی خود را جهت آموزش به دانشجویان و نیز پژوهش در اختیار بنده قرار دادند قدردانی می‌کنم. همچنین، از بانوان نسرین زنده‌پاک، سمیه ابراهیم پور فرجی، مهیا مالمیر، کوثر عبدالحسینی و مروارید صالحی که در زمان سمپاشی کمک فراوانی کرده‌اند تشکر می‌کنم.

منابع

1- Aliverdi A., and Hammami H. 2016. The effect of cationic and nonionic surfactants on the efficacy of ALS-inhibitor herbicides against *Avena sterilis*. Zemdirbyste-Agriculture, 103(3):289-296.
2- Aliverdi A., Rashed-Mohassel M.H., Zand E., and Mahallati M.N. 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.
3- ASAE. 2009. Spray nozzle classification by droplet spectra. The American Society of Agricultural Engineers, S572.1, 4 p.
4- Asogwa E.U., and Dongo L.N. 2009. Problems associated with pesticide usage and application in Nigerian cocoa production: a review. African Journal of Agricultural Research, 4(8):675-683.

5- AST. 2017. Spray nozzles and accessories for crop protection. Agrotop Spray Technology, Cataloge 109E, p. 7.
6- Brown L., Soltani N., Shropshire C., Spieser H., and Sikkema P.H. 2007. Efficacy of four corn (*Zea mays* L.) herbicides when applied with flat fan and air induction nozzles. Weed Biology and Management, 7(2):55-61.
7- Cobb A.H., and Reade J.P.H. 2010. Herbicides and plant physiology. 2nd ed. John Wiley & Sons Inc. UK.
8- Contiero R.L., Biffe D.F., Constantin J., de Oliveira R.S., Braz G.B.P., Lucio F.R., and Schleier J.J. 2016. Effects of nozzle types and 2,4-D formulations on spray deposition. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 51(12):888-893.
9- Creech C.F., Henry R.S., Fritz B.K., and Kruger G.R. 2014. 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.
10- Czaczyk Z., Kruger G., and Hewitt A. 2012. Droplet size classification of air induction flat fan nozzles. Journal of Plant Protection Research, 52(4):415-420.
11- Ferguson J.C., Chechetto R.G., Hewitt A.J., Chauhan B.S., Adkins S.W., Kruger G.R., and O'Donnell C.C. 2016. Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. Crop Protection, 81:14-19.
12- Hewitt A.J., Solomon K.R., and Marshall E.J.P. 2009. Spray droplet size, drift potential, and risks to nontarget organisms from aerially applied glyphosate for coca control in Colombia. Journal of Toxicology and Environmental Health Part A, 79(15):921-929.
13- Jensen P.K. 2012. Increasing efficacy of graminicides with a forward angled spray. Crop Protection, 32:17-23.
14- Kruger G.R., Klein R.N., and Ogg C.L. 2013. Spray drift of pesticides. NebGuide G1773, UNL Extension. http://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1773.pdf (visited 16 October 2017).
15- Kudsk P. 2008. Optimising herbicide dose: a straightforward approach to reduce the risk of side effects of herbicides. Environmentalist, 28(1):49-55.
16- Lesnik M., Kramberger B., and Vajs S. 2012. The effects of drift-reducing nozzles on herbicide efficacy and maize (*Zea mays* L.) yield. Zemdirbyste-Agriculture, 99(4):371-378.
17- Meyer C.J., Norsworthy J.K., Kruger G.R., and 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.
18- Moss S. 2015. Identification of wild-oats. Rothamsted Research, Harpenden, Herts AL5 2JQ, UK.
19- Ritz C., Baty F., Streibig J.C., and Gerhard D. 2015. Dose-Response Analysis Using R. PLoS One, 10(12):e0146021
20- Sasaki R.S., Teixeira M.M., Alvarenga C.B., Santiago H., and Maciel C.F.S. 2013. Spectrum of droplets produced by use adjuvants. Idesia, 31(1):27-33.
21- Sanyal D., Bhowmik P.C., and Reddy K.N. 2006. Influence of leaf surface micro morphology, wax content, and surfactant on primisulfuron droplet spread on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) and green foxtail (*Setaria viridis*). Weed Science, 54(4):627-633.
22- Sikkema E.H., Brown L., Shropshire C., Spieser H., and Soltani N. 2008. Flat fan and air induction nozzles affect soybean herbicide efficacy. Weed Biology and Management, 8:31-38.
23- Stagnari F., Chiarini M., and Pisante M., 2007. Influence of fluorinated surfactants on the efficacy of some post-emergence sulfonylurea herbicides. Journal of Pesticide Science, 32(1):16-23.
24- UN. 2017. Report of the Special Rapporteur on the right to food. United Nations, General Assembly, Human Rights Council, A/HRC/34/48.