چغندرقند/ جلد ۳۸/ شماره ۱/ ۱۴۰۱

تأثیر نوع و غلظت مویان بر کارایی علف‌کش اختصاصی چغندرقند (بتانال پروگرس اُ.اِف.)

The effect of surfactant type and its concentration on the efficacy of the selective herbicide of sugar beet (Betanal Progress O.F.)

اکبر علی وردی [۱]* و محیا مالمیر [۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/JSB.2023.359185.1308

ا. علی وردی و م. مالمیر. ۱۴۰۱. تأثیر نوع و غلظت مویان بر کارایی علف‌کش اختصاصی چغندرقند (بتانال پروگرس اُ.اِف.). **چغندرقند، ۳۸(۱): ۱۰۹- ۱۲۲.**

چکیده

در آزمایشی، تأثیر افزودن شش غلظت (صفر، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصدحجمی) از سه نوع مویان (غیریونیِ سیتووت، کاتیونیِ فریگیت و آنیونیِ دی‌اُکتیل) به محلول‌های پاشش حاوی شش دُز (صفر، ۵۱/۳۷۵، ۱۰۲/۷۵، ۲۰۵/۵، ۴۱۱، ۸۲۲ گرم ماده مؤثره در هکتار) از فن مدیفام + دسمدیفام + اتوفومیسیت (بتانال پروگرس اُ.اِف.) علیه دم‌روباهی سبز بررسی شد. هم‌چنین، ویژگی‌های فیزیکی محلول‌های پاشش مزبور و قطرک ۵ میکرولیتری از آنها روی سطح‌برگ این گیاه بررسی شد تا مکانیسم عمل مویان‌ها مشخص شود. غلظت میسل بحرانی مویان‌های سیتووت، فریگیت و دی‌اُکتیل به‌ترتیب در مقادیر ۰/۲، ۰/۲ و ۰/۱ درصدحجمی با کشش سطحی برابر ۳۱/۵، ۳۸/۱ و ۳۲/۵ میلی‌نیون بر متر تشخیص داده شد. افزودن مویان‌ها به محلول پاشش سبب کاهش زاویه تماس قطرک با سطح‌برگ، افزایش مساحت خیس شده برگ با قطرک، کاهش مدت‌زمان تبخیر قطرک از سطح‌برگ، کاهش اندازه قطرات پاشش، افزایش مساحت خیس شده کاغذحساس به رطوبت با محلول‌پاشش و افزایش کارایی علف‌کش علیه دم‌روباهی سبز شد که تماماً وابسته به غلظت مویان‌ها بود. عملکرد مویان‌ها به‌صورت دی‌اُکتیل > سیتووت > فریگیت رتبه‌بندی شد. غلظت‌های بالاتر از ۰/۲ و ۰/۱۵ درصدحجمی از مویان‌های سیتووت و دی‌اُکتیل تاثیری در بهبود کارایی علف‌کش نداشت؛ لذا، نتیجه کاربرد غلظت‌های بالاتر فقط تحمیل هزینه مویان اضافی است. در مورد مویان فریگیت، غلظت‌های بالاتر از ۰/۱۵ درصدحجمی سبب کاهش کارایی علف‌کش شد؛ لذا، نتیجه کاربرد غلظت‌های بالاتر نه تنها اتلاف هزینه مویان اضافی، بلکه هزینه خسارت علف‌های هرز به عملکرد چغندرقند به واسطه کاهش کارایی علف‌کش نیز هست.

واژه‌های کلیدی: چغندرقند، زمان تبخیر قطرک، زاویه تماس قطرک، سطح تماس قطرک، کشش سطحی

۱- دانشیار علوم علف‌های هرز، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. *- نویسنده مسئول a.aliverdi@basu.ac.ir

۲ – دانش‌آموخته کارشناسی رشته زراعت و اصلاح نباتات، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی،، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

مقدمه

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) گیاهی دو ساله از خانواده اسفناجیان است که به‌صورت گیاهی یکساله جهت استحصال شکر کشت می‌شود. در سال ۲۰۱۹، تقریباً ۴/۶ میلیون هکتار از اراضی جهان زیرکشت چغندرقند رفته است که نتیجه آن تولید بیش از ۲۷۹ میلیون تن ریشه چغندرقند بوده است. سهم ایران در همین سال، کشت تقریباً ۷۹ هزار هکتار با برداشت بیش از ۵/۳ میلیون تن ریشه بوده است (FAO 2019).

رشدرویشی روزتی چغندرقند از آن رقیب بسیار ضعیفی در برابر علف‌های هرزی برای کسب منابع (نور، آب و موادغذایی) ساخته است. به همین دلیل، چغندرقند ازجمله گیاهان زراعی است که بیشترین خسارت را از وجود علف‌های هرز می‌بیند. طول دوره‌ای از چرخه رشد چغندرقند که برای جلوگیری از کاهش عملکرد اقتصادی بایستی عاری از علف‌های هرز نگه‌داشته شود، بسیار طولانی و بیش از ۸۰ روز است که از روز پنجم پس از کاشت شروع می‌شود (Aliverdi and Karami 2020). محققان تخمین زده‌اند که همجواری علف‌های هرز تا ۳۰ روز پس از سبزشدن چغندرقند می‌تواند عملکردریشه چغندرقند را تا ۴۵درصد کاهش دهد. به عبارتی دیگر، به ازای هر روز تأخیر در کنترل علف‌های هرز، افت ۱/۵ درصدی در عملکردریشه چغندرقند قابل انتظار است (Soroka and Gadzhieva 2006). تاکنون، ۲۲ گونه علف‌هرز پهن‌برگ و شش گونه علف‌هرز باریک‌برگ در مزارع چغندرقند کشورمان مشاهده و گزارش شده است (Zand *et al*. 2019). علف‌هرز باریک‌برگ، یکساله و تابستانه با مسیر فتوسنتزی چهار کربنه دم‌روباهی سبز (*Setaria viridis* (L.) P. Beauv.) ازجمله علف‌های هرز مهم مزارع چغندرقند کشور محسوب می‌شود. محققان تخمین زده‌اند که حداقل تراکمی از دم‌روباهی سبز که می‌تواند افت معنی‌داری در عملکردریشه چغندرقند ایجاد کند برابر ۰/۰۶ بوته در طول یک متر ردیف است. هم‌چنین، حضور یک بوته دم‌روباهی سبز به ازای هر بوته چغندرقند در تمام طول فصل رشد می‌تواند افت ۲۶ درصدی در عملکرد ریشه چغندرقند را رقم بزند (Mesbah *et al*. 1994).

ترکیب علف‌کشی پیش مخلوط فن‌مدیفام + دس‌مدیفام + اتوفومیسیت با نام تجاری بتانال پروگرس اُ.ف. (مایع امولسیون شونده ۲۷/۴ درصد) قادر به کاهش بیش از ۹۰ درصدی در تراکم و وزن‌خشک دم‌روباهی سبز در مزارع چغندرقند است (Abdollahi and Ghadiri 2004). این ترکیب علف‌کشی است که به‌صورت شاخ و برگ مصرف، به‌کار برده می‌شود، مخلوطی از سه ماده مؤثره علف‌کشی به نام‌های فن‌مدیفام + دس‌مدیفام + اتوفومیسیت است. نحوه عمل فن‌مدیفام و دس‌مدیفام بازدارندگی از فتوسنتز در محل فتوسیستم II و نحوه عمل اتوفومیسیت بازدارندگی بیوسنتز اسیدهای چربی زنجیره بلند در کلروپلاست است (Zand *et al*. 2019).

اگرچه کنترل شیمیایی علف‌های هرز آسان، مؤثر و مقرون به صرفه است، ولی این روش همیشه در معرض نگاه موشکافانه روزافزونی نیز قرار دارد. در کل، تصویر اجتماعی از علف‌کش‌ها بسیار بد است؛ زیرا اثرات نامناسب آنها بر موجودات غیرهدف، ایجاد آلودگی در آب‌های سطحی و زیرسطحی و وجود باقیمانده آنها در موادغذایی در تحقیقات متعددی به اثبات رسیده است(Jing *et al*. 2016). با این وجود، توافق عمومی وجود دارد که علف‌کش‌ها جزء جدایی‌ناپذیر کشاورزی مدرن هستند و اگر کشاورز به علف‌کش دسترسی نداشته باشد، درآمد کل صنعت کشاورزی کاهش خواهد یافت. در دانمارک، نتیجه

ممنوعیت کلی کاربرد علف‌کش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است؛ نتیجه اینکه بسته به نوع زراعت، درآمد کشاورز ۲۰ تا ۹۰ درصد و تولیدناخالص ملی تا ۰/۸ درصد کاهش یافت (Kudsk 2008). بنابراین، باید تلاش کرد تا کاربردی درست و منطقی از علف‌کش‌ها به جامعه کشاورزی ارائه داد که روش-های بهینه‌سازی در مقدار مصرف علف‌کش‌ها ازجمله این تلاش‌هاست. پیش از این، بهینه‌سازی در مقدار مصرف علف-کش‌ها در بسیاری موارد به‌وسیله کشاورزان، نه به‌خاطر نگرانی‌های زیست محیطی بلکه به دلیل فشار هزینه‌هایی که امروزه کشاورزان با آن رو به رو هستند، پذیرفته شده است (da Silva Santos *et al*. 2021).

افزودن مویان به مخزن‌سمپاش را می‌توان به‌عنوان شناخته شده ترین روش بهینه‌سازی در مقدار مصرف علف-کش‌های شاخ و برگ مصرف دانست. مویان‌ها موادی هستند که از یک بخش آب‌دوست و یک بخش آب‌گریز تشکیل شده-اند. بخش آب‌گریز مویان نیز از واحدهای تکرارشونده اکسید اتیلن (C_2H_4O) تشکیل شده است. براساس ساختار شیمیایی گروه‌های آب‌دوست و آب‌گریز، که تعیین‌کننده ویژگی مویان نیز است، پنج دسته مویان وجود دارد که شامل سیلیکونی، غیریونی (مانند سیتووت)، کاتیونی (مانند فریگیت)، آنیونی (مانند دی‌اُکتیل) و دوگانه (Hazen 2000). تمامی انواع مویان‌ها می‌تواند کشش سطحی قطرک را کاهش دهند (Xu *et al*. 2010). کشش سطحی نیرویی از سوی مولکول‌های داخل قطرک است که شکل تقریباً کروی به آن می‌دهد. آب که به‌عنوان حامل در دسترس برای پاشش علف‌کش‌ها استفاده می‌شود دارای کشش‌سطحی بالایی است؛ حدوداً ۷۲ میلی‌نیوتن بر متر. لذا، قطرک آب تقریباً به‌صورت کروی روی سطح برگ مومی قرار می‌گیرد. در این وضعیت، قطرک حداقل سطح تماس را با سطح برگ ایجاد می‌کند. به عبارتی دیگر، وقتی کشش سطحی قطرک بالا است، زاویه تماس قطرک با سطح‌برگ نیز بالا می‌باشد. با افزودن مویانی مناسب در غلظت مناسب به آب، زاویه تماس قطرک با سطح‌برگ به‌واسطه کاهش در کشش‌سطحی قطرک کاهش می‌یابد. این امر سطح تماس قطرک با سطح‌برگ را افزایش می‌دهد. این موضوع به معنای خارج شدن قطرک از حالت کروی و گرایش به تخت شدن در محل تماس با سطح‌برگ است. به عبارتی دیگر، قطرک به‌صورت لایه نازکی روی سطح‌برگ مومی پخش می-شود و اصطلاحاً آنرا خیس می‌کند. محققان متعددی ثابت کرده‌اند که افزودن مویان مناسب (Aliverdi *et al*. 2009) در غلظت مناسب (Green 1996) می‌تواند سبب خیس کردن مؤثر سطوح علف‌های هرز با محلول پاشش علف‌کش‌ها شود که این امر باعث نفوذ مؤثر ماده مؤثره علف‌کش از سطح بیشتری به پیکر علف‌هرز می‌شود؛ لذا، کارایی علف‌کش‌ها بهبود می‌یابد. توانایی کاهش در کشش‌سطحی قطرک پاشش به‌وسیله مویان‌های سیلیکونی در مقایسه با سایر انواع مویان‌ها بیشتر است که می‌تواند خطر خشک شدن سریع‌تر قطرک پاشش و نیز تجزیه نوری سریع‌تر ماده مؤثره علف‌کش را به‌همراه داشته باشد (Meng *et al*. 2021). مویان‌های غیریونی در غلظت‌های پایین، خیس کننده خوبی هستند و به سختی آب سمپاشی نیز حساس نیستند. درمقابل، مویان‌های کاتیونی به‌دلیل اینکه می‌توانند با کاتیون‌های آب سخت رقابت کنند و از غیرفعال شدن علف‌کش‌های اسیدی ضعیف جلوگیری کند (از طریق کلات‌شدن)، مفید هستند. برعکس، حساسیت مویان‌های آنیونی به سختی آب سمپاشی مسبب عدم‌کاربرد این نوع مویان‌ها در کشاورزی است. مویان‌های دوگانه بسته به اسیدیته محلول‌پاشش به شکل مویان آنیونی

یا کاتیونی در می‌آیند. اگرچه این نوع مویان‌ها خطرات محیط زیستی ندارند، ولی به‌دلیل ایجاد لزوجت بالا عملاً در بخش کشاورزی استفاده نمی‌شوند(Hazen 2000). به‌طورکلی، مشخص است که هیچ مویانی وجود ندارد که به‌تواند جذب همه انواع علف‌کش‌ها را افزایش دهد (Polli *et al*. 2021). در حال حاضر، هیچ تئوری علمی یا مدل جامعی نیز وجود ندارد که به‌تواند به‌صورت کمّی اثر یک مویان خاص بر کارایی یک علف‌کش خاص را پیش‌گویی کند. به همین دلیل، انتخاب نوع و غلظت مویان نیز به یک سردرگمی در بین کشاورزان تبدیل شده است. از اینرو، تنها به‌واسطه اجرای آزمایش می‌توان به (نا)سازگاری یک مویان خاص با یک علف‌کش خاص پی برد (Aliverdi *et al*. 2009).

در این آزمایش، تأثیر کاربرد سه نوع مویان غیریونیِ سیتووت، کاتیونیِ فریگیت و آنیونیِ دی‌اُکتیل بر کارایی علف-کش بتانال پروگرس اُ.اِف. بر روی علف‌هرز دم روباهی سبز موردبررسی قرار گرفت. علاوه‌بر این، با بررسی ویژگی‌های فیزیکی قطرک و محلول پاشش علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. سعی شد تا مکانیسم عمل این نوع مویان‌ها نیز مشخص شود.

مواد و روش‌ها

آزمایش زیست‌سنجی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و باقی آزمایش‌ها در آزمایشگاه بیولوژی علف‌های هرز دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی همدان در اوایل تابستان ۱۳۹۸ اجرا شد.

آزمایش کشش سطحی

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل (۳ نوع مویان × ۶ غلظت مویان) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در محیط آزمایشگاه (دمای هوا ۲۲ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت‌نسبی ۱۴ الی ۱۷ درصد) انجام گرفت. سه نوع مویان شامل مویان‌های غیریونیِ سیتووت (مایع امولسیون‌شونده حاوی ۱۰۰ درصد آلکیلاریل پلی گلیکول اتر)، کاتیونیِ فریگیت (مایع قابل حل در آب حاوی ۴۱ درصد تالو آمین اتوکسیله) و آنیونیِ دی‌اُکتیل (مایع امولسیون شونده حاوی ۷۰ درصد سولفوساکسینات سدیم به‌همراه ۰/۰۵ درصد مولیبدن و ۰/۱ مس) بودند که هر کدام در شش غلظت شامل صفر، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد حجمی به‌محلول از پیش آماده شده علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. اضافه شدند. غلظت ۰/۲ مویان‌ها برابر مقدار توصیه شده آنهاست. برای آماده کردن محلول علف‌کش، مقدار ۳ گرم ماده مؤثره علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. را به ۱ لیتر آب اضافه شد. غلظت این محلول تقریباً برابر ۸۲۲ گرم ماده مؤثره در ۲۷۰ لیتر آب بود که در آزمایش زیست‌سنجی به‌عنوان مقدار توصیه شده علف‌کش استفاده شده است. کشش‌سطحی آب (بدون علف‌کش و بدون‌مویان) نیز به‌منظور انجام مقایسات اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کشش‌سطحی محلول‌ها از روش صعود موئینگی و رابطه ۱ (Vanhanen *et al*. 2008) استفاده شد.

$$\gamma = 0.5 \times \rho \times g \times r \times (h + (r \div 3)) \qquad (۱)$$

در این معادله، γ: کشش‌سطحی برحسب میلی‌نیوتن بر متر، ρ : چگالی محلول برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، g: شتاب گرانش‌زمین که ثابت و برابر ۹/۸ متربرثانیه است، r : شعاع لوله مویین که در این آزمایش برابر ۰/۵ میلی‌متر بود و

h : ارتفاع ستون محلول بالا آمده در لوله مویین برحسب متر است.

آزمایش زاویه تماس قطرک و مساحت خیس شده برگ با قطرک

برای این آزمایش از همان محلول‌هایی که در آزمایش کشش‌سطحی تهیه شده بودند استفاده شد. لذا، این آزمایش نیز به‌صورت فاکتوریل (۳ نوع مویان شامل سیتووت، فریگیت و دی‌اُکتیل × ۶ غلظت شامل صفر، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد حجمی) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار تحت همان شرایط محیط آزمایشگاه انجام گرفت. زاویه تماس قطرک آب (بدون علف‌کش و بدون مویان) با برگ و مساحت خیس شده برگ با قطرک نیز به‌منظور انجام مقایسات اندازه-گیری شد. برای بررسی تأثیر نوع و غلظت مویان بر زاویه تماس قطرک با برگ دم‌روباهی سبز و مساحت خیس شده برگ با قطرک از روش تجزیه و تحلیل تصویر استفاده شد (Chen *et al*. 2018; Ku 2019). برای این کار، روی لبه میز چسب دوطرفه نصب شد. قطعاتی از برگ دوم دم‌روباهی سبز با طول حدوداً ۳ سانتی‌متری روی چسب دو طرفه نصب شد؛ به‌صورتی که سطح‌رویی برگ نمایان باشد. با استفاده از میکروپیپت آزمایشگاهی، ۳ قطرک (تکرارها) ۵ میکرولیتری از محلول به آرامی روی هر قطعه برگ قرار داده شد. سپس، با استفاده از دوربین عکس‌برداری، تصویر قطرک از نمایی جانبی و بالایی به‌ترتیب به‌منظور برآورد زاویه تماس قطرک با برگ و مساحت خیس شده برگ با قطرک برداشته شد. تصاویر در نرم‌افزار Image J مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

آزمایش سرعت تبخیر قطرک

به قطراتی که در آزمایش زاویه و سطح تماس قطرک بر روی سطح‌رویی برگ دم‌روباهی سبز قرار گرفته بود فرصت داده شد تا خشک و ناپدید شوند. لذا، این آزمایش نیز به‌صورت فاکتوریل (۳ نوع مویان شامل سیتووت، فریگیت و دی‌اُکتیل × ۶ غلظت شامل صفر، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد حجمی) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار تحت همان شرایط محیط آزمایشگاه انجام گرفت. باید توجه داشت که فرآیند ناپدید شدن قطرات شامل تبخیر به هوا و جذب توسط بافت‌گیاهی است. سرعت تبخیر قطرک آب (بدون علف‌کش و بدون مویان) نیز به‌منظور انجام مقایسات اندازه‌گیری شد.

آزمایش زیست سنجی

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل (۶ مقدار علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. شامل صفر، ۵۱/۳۷۵، ۱۰۲/۷۵، ۲۰۵/۵، ۴۱۱، ۸۲۲ گرم ماده مؤثره در هکتار × ۳ نوع مویان شامل سیتووت، فریگیت و دی‌اُکتیل × ۶ غلظت مویان شامل صفر، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد حجمی) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. سال قبل از انجام آزمایش، بذرهای دم‌روباهی سبز از محوطه دانشگاه جمع‌آوری شده بودند. بذرها درون محلول ۲ گرم در لیتر نیترات‌پتاسیم به‌مدت ۱۵ دقیقه غوطه ور شدند (Sebastian *et al*. 2014) و سپس تعداد تقریباً ۲۰ بذر در درون گلدان‌های ۲ لیتری پلاستیکی قهوه‌ای رنگ با مقطع مربعی در عمق نیم سانتی-متری خاک کاشته شد. خاک مورد استفاده در تهیه بستر به‌ترتیب دارای نسبت چهار:یک:یک از خاک:ماسه بادی:کود دامی بود. تا زمان سبز شدن گیاه‌چه‌ها، حداقل دو بار در روز سطح خاک گلدان‌ها مرطوب شد. پس از آن، گیاهان بر حسب نیاز به‌صورت یکنواخت و برابر آبیاری شدند. در مرحله یک

برگی، تراکم گیاهان به پنج بوته در هر گلدان کاهش داده شد. تیمارها در مرحله چهار برگی دم‌روباهی سبز پاشیده شدند. مقدار ۸۲۲ گرم ماده مؤثره در هکتار برابر مقدار سه لیتر ماده تجاری در هکتار ذکر شده روی برچسب است. تیمارها به‌وسیله سمپاش پشتی کمپرسوری (مدل سولو ۴۶۱، آلمان) مجهز به نازل بادبزنی استاندارد ۱۱۰۰۲ تحت فشار ۳۰۰ کیلوپاسکال در شرایط هوای آزاد و بیرون از گلخانه (دمای هوای ۱۸ الی ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۸ الی ۳۲ درصد) اعمال شدند. پس از گذشت چهار هفته از روز سمپاشی، اندام‌های هوایی درون گلدان‌ها از سطح‌خاک برداشت و وزن‌خشک آنها پس از دو روز خشکاندن در درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد توزین شد. داده‌های به‌دست آمده تقسیم بر ۵ (تعداد بوته در هر گلدان) و در تجزیه و تحلیل آماری استفاده شدند.

آزمایش مساحت خیس‌شده و تراکم قطرات با محلول پاشش

آزمایش به‌صورت فاکتوریل (۳ نوع مویان شامل سیتووت، فریگیت و دی‌اُکتیل × ۶ غلظت شامل صفر، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد حجمی) در قالب طرح پایه کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار آب (بدون علف‌کش و بدون مویان) نیز به‌منظور انجام مقایسات اعمال شدند. این آزمایش زمانی که مقدار ۸۲۲ گرم ماده مؤثره در هکتار از علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. در آزمایش زیست سنجی در حال پاشیده‌شدن بود انجام گرفت. در این آزمایش، از کاغذهای حساس به رطوبت با ابعاد ۷۶ × ۲۶ میلی‌متر استفاده شد. کاغذحساس به رطوبت دارای یک سطح زردرنگ است که پس از برخورد قطرات پاشش به آن به رنگ پایدارآبی در می‌آید. کاغذهای حساس به رطوبت روی سکوی ام.دی.اف روکش‌دار نصب و به‌صورت افقی بر روی سطح زمین در مسیر حرکت نازل قرار داده شدند. پس از سمپاشی، کاغذها به‌طور جداگانه اسکن شدند. تصویر کاغذها در محیط نرم‌افزار Image J پردازش و تراکم قطرات و درصد مساحت آبی رنگ شده کاغذها برآورد و سپس تجزیه و تحلیل آماری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در آزمایش زیست‌سنجی، پاسخ وزن‌خشک اندام‌های هوایی دم‌روباهی سبز به تیمارها با روش تجزیه و تحلیل رگرسیون غیرخطی با کمک مدل چهار پارامتری لُگ لجستیک (رابطه ۲) تخمین زده شد (Ritz *et al*. 2015).

$$Y = \frac{C + (D - C)}{\{1 + exp[b(logX - logED50)]\}} \qquad (۲)$$

در این معادله، Y بیان‌گر وزن‌خشک اندام هوایی دم-روباهی سبز، پارامترهای D و C به‌ترتیب حدود مجانب بالا و پایین وزن‌خشک اندام هوایی دم‌روباهی سبز در مقادیر صفر و بی‌نهایت بتانال پروگرس اُ.اِف.، پارامتر ED_{50} بیان‌گر مقدار بتانال پروگرس اُ.اِف. لازم (X) برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک اندام‌هوایی دم‌روباهی سبز بین حدود مجانب بالا و پایین (D و C) است و پارامتر b متناسب با شیب منحنی در محدوده-ی پارامتر ED_{50} می‌باشد. آنالیز داده‌ها در محیط نرم‌افزار R انجام گرفت. آزمون عدم‌برازش (p-value > ۰/۰۵) روی این داده‌ها نشان داد که مدل مزبور برازش مناسبی روی داده‌ها فراهم کرده است. هم‌چنین، با بررسی نمودار باقی‌مانده‌ها در محیط نرم‌افزار، توزیع مستقل، تصادفی و یکنواخت آنها محرز شد. مقایسه مقادیر بتانال پروگرس اُ.اِف. لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک اندام‌های هوایی دم‌روباهی سبز با کمک مقادیر خطای استاندارد انجام گرفت. در سایر آزمایش‌ها، آنالیز

داده‌ها به‌روش تجزیه واریانس در محیط نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین این داده‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات ساده نوع و غلظت مویان و متقابل بین آنها بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

در این آزمایش، کشش‌سطحی آب بدون علف‌کش و مویان برابر ۷۲/۱ میلی‌نیوتن بر متر اندازه‌گیری شد که با افزودن علف‌کش به ۵۷/۴ میلی‌نیوتن بر متر تقلیل پیدا کرد (جدول ۲). کاهش جزئی در کشش سطحی آب با افزودن فرمولاسیون‌های امولسیون‌شونده به‌دلیل حضور ترکیبات امولسیون‌کننده در فرمولاسیون علف‌کش است. به‌طور مشابه، گزارش شده است که با افزودن مقدار ۴۰ و ۴۴ گرم فرمولاسیون امولسیون‌شونده علف‌کش‌های کلودینافوپ پروپارژیل و فنوکساپروپ پی اتیل به آب، کشش‌سطحی آب از ۷/۲ میلی‌نیوتن بر متر به‌ترتیب به ۵۸ و ۴۲ میلی‌نیوتن بر متر یافت است (Gauvrit and Lamrani 2008). افزودن مویان‌ها به محلول علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. سبب کاهش معنی‌داری در کشش سطحی آن شد (جدول ۲). پایین‌ترین مقدار کشش‌سطحی محلول پاشش بتانال پروگرس اُ.اِف. (در دامنه ۲۹/۲ الی ۳۱/۵ میلی‌نیوتن بر متر) در غلظت‌های ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصدحجمی از مویان‌های سیتووت و دی‌اُکتیل مشاهده شد. در مورد مویان دی‌اُکتیل، افزودن غلظت‌های بالاتر از ۰/۱ درصد حجمی و در مورد مویان‌های سیتووت و فریگیت، افزودن غلظت‌های بالاتر از ۰/۲ درصدحجمی تأثیری بر کشش‌سطحی محلول‌پاشش بتانال پروگرس اُ.اِف. نداشت. لذا، مقادیر مزبور را می‌توان به‌عنوان غلظت میسل‌بحرانی در نظر گرفت. غلظت میسل‌بحرانی به غلظتی از مویان در محلول گفته می‌شود که دارای کمترین کشش‌سطحی باشد و با افزایش غلظت مویان بالاتر از آن کاهش کشش‌سطحی معنی‌دار نبوده و به حالت پایداری می‌رسد. در این غلظت برای اولین بار میسل‌ها تشکیل می‌شوند. میسل حالتی از آرایش مولکول‌های مویان است که در آن بخش‌های چربی دوست ملکول مویان درون قفسی کروی از بخش‌های آب‌دوست مولکول مویان قرار می‌گیرد (Janků *et al*. 2012).

جدول ۱ جدول تجزیه واریانس تأثیر نوع و غلظت مویان بر صفات اندازه‌گیری شده

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کشش سطحی محلول پاشش	زاویه تماس قطرک با برگ	مساحت خیس شده برگ با قطرک	زمان تبخیر قطرک از سطح برگ	تراکم قطرات روی کاغذ	مساحت خیس شده کاغذ با پاشش
نوع مویان (الف)	۲	۳۴۵/۰۳	۴۴۱/۶۸	۱۴۸/۹۰	۲۱۰۴۸۹/۰۷	۹۸۰/۳۶	۴۴۳/۰۸
غلظت مویان (ب)	۵	۸۲۲/۴۳	۴۶۱۲/۸۵	۷۱/۵۲	۱۱۰۰۸۸/۹۲	۱۱۹۸/۸۸	۲۶۸/۲۵
اثرمتقابل الف×ب	۱۰	۳۰/۶۳	۶۸/۴۷	۸/۸۳	۲۱۴۱۰/۴۰	۶۴/۳۷	۴۶/۶۶
خطا	۳۶	۴/۰۸	۲/۵۲	۰/۰۴	۲۷۹/۶۶	۱/۹۲	۰/۹۷
ضریب تغییرات (٪)	–	۵/۱۵	۳/۰۱	۳/۲۰	۲/۸۸	۲/۹۱	۲/۸۵

منابع تغییر الف، ب و الف×ب در تمامی صفات اندازه‌گیری شده تحت آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند.

مقایسه مویان‌ها در غلظت میسل بحرانی آنها نشان می‌دهد که قدرت کاهندگی کشش سطحی مویان دی‌اُکتیل بیشتر از مویان سیتووت و قدرت‌کاهندگی کشش‌سطحی مویان سیتووت بیشتر از مویان فریگیت است. در تحقیق قبلی، غلظت میسل‌بحرانی مویان‌های سیتووت و فریگیت در محلول علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل به‌ترتیب برابر ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد حجمی اندازه‌گیری شده بود (Aliverdi *et al*. 2009).

زاویه‌تماس قطرک آب بدون‌علف‌کش و مویان با سطح برگ دم‌روباهی سبز برابر ۱۲۲/۴ درجه اندازه‌گیری شد که با افزودن علف‌کش به ۹۴/۷ درجه تقلیل پیدا کرد (جدول ۲). به‌طورکلی، وقتی زاویه‌تماس قطرک آب با سطح برگ علف‌هرزی بیشتر از ۱۱۰ درجه باشد نشان‌دهنده آن است که موم‌کوتیکولی سطح‌برگ علف‌هرز از نوع بلورین است (Knoche 1994) و نیز وقتی زاویه‌تماس قطرک آب با سطح‌برگ علف‌هرزی بیشتر از ۹۰ درجه باشد آن‌را به‌عنوان علف‌هرزی با خیس‌پذیری دشوار دسته‌بندی باید کرد (Lin *et al*. 2016). از اینرو، دم‌روباهی سبز احتمالاً دارای موم‌کوتیکولی بلورین است و خیس‌پذیری آن از طریق پاشش دشوار است. افزودن هریک از انواع مویان‌ها در تمامی غلظت‌ها به محلول علف‌کش توانست زاویه‌تماس قطرک با سطح‌برگ دم‌روباهی سبز را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. در این رابطه، مویان کاتیونی فریگیت در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد حجمی عملکردی ضعیف، مویان غیریونی سیتووت در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۱۵ درصدحجمی عملکردی متوسط و سایر تیمارها نیز عملکردی قوی از خود به نمایش گذاشتند. شکل کروی قطرک آب (بدون‌علف‌کش و مویان) مانع تصویربرداری و اندازه‌گیری مساحت خیس شده برگ با قطرک بود. به هر حال، وقتی علف‌کش به آب اضافه شد، و سپس تبخیر قطرک و مساحت خیس شده برگ با قطرک برابر ۱/۸ میلی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. به‌جز در غلظت ۰/۱ درصد حجمی از مویان فریگیت، افزودن هریک از انواع مویان‌ها در تمامی غلظت‌ها به محلول علف‌کش توانست مساحت خیس شده برگ با قطرک را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (جدول ۲). به‌طور کلی، با افزایش غلظت هر سه مویان استفاده شده در این آزمایش به‌طور پیوسته مساحت خیس شده برگ با قطرک افزایش یافت. تیمارهای ۰/۱ درصد حجمی مویان فریگیت و ۰/۴ درصد حجمی مویان دی‌اُکتیل به‌ترتیب کم‌اثرترین و مؤثرترین تیمار در خیساندن سطح برگ دم‌روباهی تشخیص داده شدند. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که بین کشش‌سطحی محلول پاشش بتانال پروگرس اُ.اِف. و زاویه‌تماس قطرک با سطح‌برگ دم‌روباهی سبز همبستگی مثبت ولی بین کشش‌سطحی محلول‌پاشش بتانال پروگرس اُ.اِف. و مساحت خیس شده برگ با قطرک همبستگی منفی وجود دارد (جدول ۲) که این نتایج تایید کننده منابع متعدد قبلی است (Xu *et al*. 2010; Gimenes *et al*. 2013; Lin *et al*. 2016).

مدت زمانی برابر ۹۴۸ ثانیه طول کشید تا قطرک آب (بدون علف‌کش و مویان) از سطح برگ دم‌روباهی سبز تبخیر شود. قطرک آب حاوی علف‌کش ولی بدون‌مویان پس از ۷۲۲ ثانیه تبخیر شد (جدول ۲). مدت زمان لازم برای تبخیر قطرک با افزودن هر سه مویان به محلول علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. کاهش یافت. قطرک حاوی ۰/۴ درصد حجمی از مویان دی‌اُکتیل سریعترین خشک شدن را به نمایش گذاشت (۲۷۶ ثانیه).

جدول ۲ تأثیر نوع و غلظت مویان بر ویژگی‌های فیزیکی محلول و قطرک پاشش بتانال پروگرس اُ.اِف. و کارایی آن علیه دم‌روباهی سبز

نوع مویان	غلظت مویان در محلول (درصد حجمی)	کشش سطحی محلول پاشش (میلی‌نیوتن بر متر)	زاویه تماس قطرک با برگ (زاویه)	مساحت خیس‌شده برگ با قطرک (میلی‌مترمربع)	زمان تبخیر قطرک از سطح برگ (ثانیه)	تراکم قطرات (تعداد قطرک در سانتی‌مترمربع)	مساحت خیس‌شده کاغذ با پاشش (درصد)	مقدار علف‌کش برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک (گرم ماده مؤثره در هکتار)
آب (بدون علف‌کش و مویان)		۷۲/۱	۱۲۲/۴	–	۹۴۸	۳۷/۲	۱۶/۷	–
آب (با علف‌کش بدون مویان)		۵۷/۴ a	۹۴/۷ a	۱/۸ g	۷۳۲ a	۳۰/۵ h	۲۳/۴ f	۶۸۷/۶ b
سیتووت	۰/۱	۴۲/۹ c	۴۶/۸ c	۵/۸ de	۷۰۸ ab	۴۱/۳ f	۲۹/۸ de	۶۰۱/۸ d
	۰/۱۵	۳۶/۳ e	۴۸/۳ c	۶/۵ d	۶۳۶ b	۴۲/۵ ef	۳۴/۴ c	۵۸۲/۵ d
	۰/۲	۳۱/۵ fg	۳۸/۱ d	۷/۱ cd	۶۷۲ ab	۴۹/۴ d	۳۳/۰ d	۵۳۲/۵ e
	۰/۳	۲۹/۲ g	۳۷/۰ d	۷/۷ cd	۶۳۶ b	۵۳/۷ c	۳۰/۷ de	۵۱۳/۰ ef
	۰/۴	۲۹/۶ g	۳۷/۲ d	۷/۹ c	۶۴۸ b	۶۲/۰ b	۳۴/۵ c	۵۴۱/۹ e
فِریگیت	۰/۱	۴۹/۳ b	۶۱/۵ b	۲/۴ fg	۶۹۶ ab	۳۱/۴ gh	۲۸/۲ e	۶۵۰/۳ c
	۰/۱۵	۴۳/۳ c	۵۵/۲ b	۳/۱ f	۴۹۱ cd	۳۴/۸ g	۲۵/۹ ef	۵۱۴/۵ ef
	۰/۲	۳۸/۱ de	۴۴/۷ cd	۴/۱ ef	۵۴۰ c	۳۹/۲ f	۳۱/۰ d	۵۷۱/۴ de
	۰/۳	۳۹/۲ d	۴۰/۵ d	۴/۶ e	۴۴۴ d	۴۵/۲ e	۳۷/۱ c	۶۱۲/۹ d
	۰/۴	۳۷/۴ de	۴۰/۱ d	۶/۴ d	۳۸۴ de	۵۴/۶ c	۳۶/۶ c	۷۲۵/۱ a
دی‌اُکتیل	۰/۱	۳۲/۵ f	۳۸/۲ d	۷/۸ cd	۵۲۸ c	۴۸/۶ de	۳۸/۳ bc	۴۹۵/۱ f
	۰/۱۵	۳۲/۴ f	۳۷/۷ d	۸/۲ c	۵۱۶ cd	۵۴/۱ c	۴۳/۹ a	۴۳۲/۵ g
	۰/۲	۳۱/۰ fg	۳۶/۴ d	۱۱/۲ b	۳۸۴ de	۵۰/۳ d	۴۵/۱ a	۴۱۳/۴ g
	۰/۳	۳۱/۱ fg	۳۶/۵ d	۱۲/۰ b	۳۴۸ d	۶۹/۵ a	۴۰/۷ b	۴۲۲/۰ g
	۰/۴	۲۹/۸ fg	۳۶/۱ d	۱۴/۷ a	۲۷۶ f	۶۸/۴ a	۴۲/۴ ab	۴۱۰/۲ g

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک طبق آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد اختلافی با یکدیگر ندارند. مقایسه مقادیر بتانال پروگرس اُ.اِف. لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک اندام‌های هوایی دم‌روباهی سبز با کمک مقادیر خطای استاندارد انجام گرفته است.

مدت‌زمان تبخیر کوتاه‌تر در قطرک حاوی مویان ممکن است به‌دلیل پخش‌شدن بیشتر آن روی سطح‌برگ و ایجاد لایه نازک‌تر از مایع روی سطح برگ باشد. بنابراین می‌توان برای قطرک متصور شد: ۱) جذب سریع‌تر قطرک به بافت گیاه و ناپدید شدن سریعتر آن و ۲) تبادل حرارتی سریع‌تر قطرک با هوا و خشک شدن سریع‌تر آن. هر چه لایه مایع روی سطح‌برگ نازک‌تر باشد، تبادل حرارتی آن نیز با هوا سریع‌تر بوده و لذا سریع‌تر تبخیر می‌شود. از طرف دیگر، هر چه لایه مایع روی سطح‌برگ نازک‌تر باشد، مساحتی از سطح‌برگ که خیس شده‌اند، نیز بیشتر شده و لذا فرصت بیشتری را برای جذب مایع توسط بافت گیاه ایجاد می‌شود. با این حال، سهم تبادل حرارت و جذب گیاه در تبخیر قطرات ناشناخته است و باید در آینده بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد (Gimenes *et al*. 2013). در آزمایش حاضر، قطرات حاوی مویان سیتووت در مقایسه با سایر مویان‌ها دیرتر تبخیر شدند. از آنجایی که مساحت خیس شده با قطرات حاوی دی‌اُکتیل بیشتر از سیتووت بود. لذا، استدلال جیمنز و همکاران (Gimenes *et al*. 2013)) در این مورد صادق است. اما، مساحت خیس شده با قطرات حاوی سیتووت بیشتر از فریگیت بود که متناقض با استدلال انجام گرفته به‌وسیله جیمنز و همکاران (2013) است. به‌نظر می‌رسد که مویان سیتووت ویژگی جاذب رطوبتی نیز داشته باشد که علی‌رغم پخش‌شدن بیشتر قطرک حاوی آن در سطح برگ در مقایسه با قطرک حاوی مویان فریگیت، ولی دیرتر تبخیر شده است.

با پاشیدن آب (بدون علف‌کش و مویان) روی کاغذحساس به رطوبت، تراکم ۳۷/۲ قطرک در میلی‌مترمربع

مشاهده شد که مساحتی برابر ۱۶/۷ درصد را خیس کرده بود. با پاشیدن آب حاوی علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. (بدون‌مویان)، تراکم ۳۰/۵ قطرک در میلی‌مترمربع مشاهده شد که مساحتی برابر ۲۳/۴ درصد را خیس کرد (شکل ۱). افزودن مویان فریگیت با غلظت ۰/۱ درصدحجمی به محلول علف‌کش تأثیری بر تراکم قطرات نداشت. به‌طور کلی، وقتی غلظت هر سه مویان افزایش داده شد، تراکم قطرات نیز افزایش پیدا کرد که نشان‌دهنده کاهش اندازه قطرات پاشش است. همان‌طور که قبلاً مشاهده و گزارش شده است (Rick and Bonn 2020)، کاهش کشش‌سطحی محلول‌پاشش با افزودن مویان‌ها احتمالاً موجب می‌شود که ورقه پاشش سریع‌تر و راحت‌تر پاره‌پاره شود و قطرات کوچک‌تری ایجاد شود. در مقابل، با افزایش غلظت مویان‌ها سطح بیشتری از کاغذ نیز خیس شد که ممکن است به سبب کاهش اندازه قطرات و یا پخش‌شدن قطرات روی سطح‌کاغذ باشد. بیشترین تراکم قطرات در تیمارهای افزودن ۰/۳ و ۰/۴ درصدحجمی مویان دی‌اُکتیل مشاهده شد (به‌ترتیب با ۶۹/۵ و ۶۸/۴ قطرک در میلی‌مترمربع). کم‌ترین تراکم قطرات نیز در تیمارهای افزودن ۰/۱ و ۰/۱۵ درصدحجمی مویان فریگیت مشاهده شد (به‌ترتیب با ۳۱/۴ و ۳۴/۸ قطرک در میلی‌مترمربع). در تحقیقات قبلی، کاهش اندازه قطرات پاشش با افزودن مویان به‌محلول پاشش گزارش شده است (Ellis and Tuck 1999; Miller and Ellis 2000; Ellis *et al*. 2001; Kooij *et al*. 2018; Rick and Bonn 2020). با این وجود، گاهی به بی‌تأثیری افزودن مویان به‌محلول پاشش بر اندازه قطرات پاشش (Kooij *et al*. 2018) و حتی افزایش اندازه قطرات پاشش (Oliveira *et al*. 2013; Al Heidary *et al*. 2014) در تحقیقات قبلی اذعان شده است که نتایج این تحقیقات اثبات کننده نقش نوع مویان بر اندازه قطرات پاشش و کارایی علف‌کش است.

وقتی از مویان استفاده نشد، مقدار ۶۸۷/۶ گرم ماده‌مؤثره در هکتار از فرمولاسیون علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. لازم بود تا سبب کاهش ۵۰ درصدی وزن‌خشک دم‌رباهی سبز شود (جدول ۲). به‌جز در مورد غلظت ۰/۴ درصد حجمی مویان فریگیت، افزودن هریک از انواع مویان‌ها در تمامی غلظت‌ها به‌محلول علف‌کش توانست از مقدار مزبور بکاهد که نشان‌دهنده افزایش کارایی علف‌کش علیه دم‌روباهی سبز است. این بهبود می‌تواند به دو دلیل باشد. اولین اینکه با افزودن مویان به محلول پاشش، کشش‌سطحی آن کاهش می‌یابد که منجربه ایجاد قطراتی با اندازه کوچک‌تر می‌شود (جدول ۲). با توجه به اینکه یک همبستگی منفی بین اندازه قطرات پاشش و میزان نشست قطرات پاشش وجود دارد (Lesnik *et al*. 2012; Meyer *et al*. 2016)؛ از این‌رو، می‌توان انتظار داشت که ماده مؤثره علف‌کش بیشتری به هدف برخورد کرده است که باعث بهبود کارایی علف‌کش شده است. دومین دلیل اینکه زاویه تماس قطرک با سطح‌برگ به‌واسطه کاهش در کشش‌سطحی قطرک کاهش می‌یابد (جدول ۲). این امر سطح‌تماس قطرک با سطح‌برگ را افزایش می‌دهد (جدول ۲). با توجه به اینکه در این حالت علف‌کش می‌تواند از سطح بیشتری به پیکر علف‌هرز نفوذ کند؛ لذا، کارایی علف‌کش‌ها بهبود می‌یابد (Green 1996). در مورد مویان غیریونی سیتووت، با افزایش غلظت مویان از ۰/۱ تا ۰/۲ درصد حجمی به‌طور پیوسته کارایی علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. را علیه دم‌روباهی سبز افزایش داد، ولی غلظت‌های بالاتر از ۰/۲ تأثیر معنی‌داری بر کارایی علف‌کش نداشت. در مورد مویان آنیونی دی‌اُکتیل، افزایش غلظت مویان از ۰/۱ تا ۰/۱۵

درصد حجمی سبب افزایش کارایی علف‌کش شد ولی غلظت‌های بالاتر از ۰/۱۵ تأثیر معنی‌داری بر کارایی علف‌کش نداشت. در مورد مویان کاتیونی فریگیت، تأثیر غلظت مویان نتایج متفاوتی را به نمایش گذاشت. بدین صورت که با افزایش غلظت مویان از ۰/۱ تا ۰/۱۵ درصدحجمی سبب افزایش کارایی علف‌کش شد ولی افزایش غلظت بالاتر از ۰/۱۵ سبب کاهش کارایی علف‌کش شد؛ به‌حدی که کارایی علف‌کش به‌همراه فریگیت در غلظت ۰/۴ درصدحجمی در مقایسه با کارایی علف‌کش تنها (بدون مویان) کمتر بود. تأثیر منفی غلظت‌های بالای مویان قبلاً به‌وسیله گاسکین و استونز (1993) در مورد یک مویان سیلیکونی (Silwet L-77) به همراه علف‌کش گلایفوسیت علیه گندم *(Triticum aestivum)* و به وسیله گرین (Green 1996) در مورد یک مویان کاتیونی (تالوآمین اتوکسیلات) به همراه علف‌کش ریم‌سولفورون علیه دم‌روباهی کبیر (*Setaria faberi*) گزارش شده است. غلظت‌های بالای مویان کاتیونی فریگیت احتمالاً موجب صدمه سلول‌های زیر قطرک پاشش شده است. از این‌رو، فعالیت تماسی مویان فریگیت در غلظت‌های بالا منجربه کاهش جذب، انتقال و کارایی علف‌کش بتانال پروگرس اُ.اِف. در دم‌روباهی سبز شده است. گرین (1996) بیان داشت که غلظت بالای مویان می‌تواند محیطی بتنی شکل را پیش آورد که سبب کاهش جذب جذب، انتقال و کارایی علف‌کش می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که نوع مویان در عملکرد آن بسیار تأثیرگذار است. اگرچه انواع مویان می‌توانند کشش سطحی محلول پاشش و زاویه تماس قطرک روی برگ را کاهش دهند، اما شدت کاهش به نوع مویان بستگی دارد. در این عملکردها، موفقیت مویان‌های استفاده در این آزمایش را می‌توان بدین صورت رتبه‌بندی کرد: مویان آنیونی دی‌اُکتیل > مویان غیریونی سیتووت > مویان کاتیونی فریگیت. نتایج این آزمایش ثابت کرد که همبستگی بین میزان پخش شدن قطرک روی برگ و مدت زمان تبخیر قطرک همیشه نمی‌تواند منفی باشد، چون داشتن ویژگی جاذب رطوبتی مویان غیریونی سیتووت سبب نقض همبستگی مزبور شد. هم‌چنین، نتایج این آزمایش نشان داد که انتخاب غلظت مناسب مویان می‌تواند بسیار بحرانی باشد چرا که کاربرد غلظت‌های بالا از مویان‌های دی‌اُکتیل و سیتووت می‌تواند سبب اتلاف هزینه مویان اضافی شود. در مورد مویان فریگیت، کاربرد غلظت‌های بالا ضمن اتلاف هزینه مویان اضافی، می‌تواند کارایی علف‌کش را کاهش دهد که به واسطه آن، هزینه خسارت علف‌های هرز کنترل نشده را نیز باید تحمل کرد.

منابع مورد استفاده

References

Abdollahi F, Ghadiri H. Effect of separate and combined applications of herbicides on weed control and yield of sugar beet. Weed Technology. 2004; 18: 968-976.

Al Heidary M, Douzals JP, Sinfort C, Vallet A. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. Crop Protection. 2014; 63: 120-130.

Aliverdi A, Rashed-Mohassel MH, Zand E, Nassiri-Mahallati M. 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. 2009; 9: 292-299.

Aliverdi A, Karami S. The effect and elimination of the settled soil on jimsonweed's shoot on efficacy of clopiralid. Journal of Sugar Beet. 2020; 36: 107-115. (in Persian, abstract in English)

Chen H, Muros-Cobos JL, Amirfazli A. Contact angle measurement with a smartphone. Review of Scientific Instruments. 2018; 89: 035117.

Da Silva Santos RT, Vechia JFD, Dos Santos CAM, Almeida DP, Da Costa Ferreira M. Relationship of contact angle of spray solution on leaf surfaces with weed control. Scientific Reports. 2021; 11: 9886.

Ellis MB, Tuck CR. How adjuvants influence spray formation with different hydraulic nozzles. Crop Protection. 1999; 18: 101-109.

Ellis MB, Tuck CR, Miller PCH. How surface tension of surfactant solutions influences the characteristics of sprays produced by hydraulic nozzles used for pesticide application. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2001; 180: 267-276.

FAO. 2019. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (accessed 27 Jan. 2022)

Gaskin RE, Stevens PJG. Antagonism of the foliar uptake of glyphosate into grasses by organosilicone surfactants. part 1: effects of plant species, formulation, concentrations and timing of application. Pesticide Science. 1993; 38: 185-192.

Gauvrit C, Lamrani T. Influence of application volume on the efficacy of clodinafop- propargyl and fenoxaprop-p-ethyl on oats. Weed Research. 2008; 48: 78-84.

Gimenes MJ, Zhu H, Raetano CG, Oliveira RB. Dispersion and evaporation of droplets amended with adjuvants on soybeans. Crop Protection. 2013; 44: 84-90.

Green JM. Interaction of surfactant dose and spray volume on rimsulfuron activity. Weed Technology. 1996; 10: 508-511.

Hazen JL. Adjuvants terminology, classification and chemistry. Weed Technology. 2000; 14: 773-784.

Janků J, Bartovská L, Soukup J, Jursík M, Hamouzová K. Density and surface tension of aqueous solutions of adjuvants used for tank-mixes with pesticides. Plant, Soil and Environment. 2012; 58: 568-572.

Jing X, Yao G, Liu D, Liu M, Wang P, Zhou Z. Environmental fate of chiral herbicide fenoxaprop- ethyl in water-sediment microcosms. Scientific Reports. 2016; 6: 26797.

Knoche M. Effect of droplet size and carrier volume on performance of foliage-applied herbicides. Crop Protection. 1994; 13: 163-178.

Kooij S, Sijs R, Denn M, Villermaux E, Bonn D. What determines the drop size in sprays? Physical Review X. 2018; 8: 031019.

Ku KM. Development of lab curriculum for teaching role of surfactant on waxy leaf surface and contact angle measurement using smartphone application and its educational efficacy analysis. Trends in Agriculture and Life Sciences. 2019; 57: 33-42.

Kudsk P. Optimising herbicide dose: a straightforward approach to reduce the risk of side effects of herbicides. Environmentalist. 2008; 28: 49-55.

Lesnik M, Kramberger B, Vajs S. The effects of drift-reducing nozzles on herbicide efficacy and maize (*Zea mays* L.) yield. Zemdirbyste. 2012; 99: 371-378.

Lin H, Zhou H, Xu L, Zhu H, Huang H. Effect of surfactant concentration on the spreading properties of pesticide droplets on *Eucalyptus* Leaves. Biosystems Engineering. 2016; 143: 42-49.

Meng Y, Wang M, Wang Z, Hu H, Ma Y. Surface tension and spreading coefficient of single-and mix-pesticide solutions with aerial spraying organosilicone adjuvant. International Journal of Precision Agricultural Aviation. 2021; 4: 6-13.

Mesbah A, Miller SD, Fornstrom KJ, Legg DE. Kochia (*Kochia scoparia*) and green foxtail (*Setaria viridis*) interference in sugarbeets (*Beta vulgaris*). Weed Technology. 1994; 8: 754-759.

Meyer CJ, Norsworthy JK, Kruger GR, Barber TL. Effect of nozzle selection and spray volume on droplet size and effi cacy of Engenia tank-mix combinations. Weed Technology. 2016; 30: 377-390.

Miller PCH, Ellis MCB. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. Crop Protection. 2000; 19: 609-615.

Oliveira RB, Antuniassi UR, Mota AAB, Chechetto RG. Potential of adjuvants to reduce drift in agricultural spraying. Engenharia Agricola. 2013; 33: 986-992.

Polli EG, Alves GS, Moraes JG, Kruger GR. Influence of surfactant-humectant adjuvants on physical proper ties, droplet size, and efficacy of glufosinate formulations. Agrosystems, Geosciences and Environment. 2022; 5: e20230.

Sebastian J, Wong MK, Tang E, Dinneny JR. Methods to promote germination of dormant *Setaria viridis* seeds. PLoS One. 2014; 9: e95109.

Sijs R, Bonn D. The effect of adjuvants on spray droplet size from hydraulic nozzles. Pest Management Science. 2020; 76: 3487-3494.

Soroka SV, Gadzhieva GJ. State of weed infestation and features of sugar beet protection in Belarus. Matica Srpska Journal for Natural Sciences. 2006; 110: 165-172.

Ritz C, Baty F, Streibig JC, Gerhard D. Dose-response analysis using R. PLoS One. 2015; 10: e0146021.

Vanhanen J, Hyvarinen AP, Anttila T, Viisanen Y, Lihavainen H. Ternary solution of sodium chloride, succinic acid and water surface tension and its influence on cloud droplet activation. Atmospheric Chemistry and Physics. 2008; 8: 4595-4604.

Xu L, Zhu H, Ozkan HE, Thistle HW. Evaporation rate and wetted area of water droplets with and without surfactant at different locations on waxy leaf surfaces. Biosystems Engineering. 2010; 106: 58-67.

Zand E, Nezamabadi N, Baghestani MA, Shimi P, Mousavi SK. A guide to chemical control of weeds in Iran. Jihad-e-Daneshgahi Press. Mashhad. 2019. pp. 154. (in Persian)