نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۸۳-۳۷۳

Journal of Plant Protection
Vol. 34, No. 3, Fall 2020, P. 373-383

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر توالی و فاصله زمانی افزودن ماده افزودنی و سولفوسولفورون به آب سخت در کنترل یولاف وحشی زمستانه (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana* Durieu.)

اکبر علی وردی[1*]- سمیه بدرخانی[2]- گودرز احمدوند[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۴

چکیده

اینکه آیا توالی و فاصله زمانی افزودن ماده افزودنی و علف‌کش به آب سخت می‌تواند کارایی علف‌کش را تحت تاثیر قرار دهد یا خیر تاکنون بدون پاسخ مانده بود. در آزمایش دُز-پاسخ که در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا اجرا شد، شش مقدار از سولفوسولفورون با آب مقطر و آب سخت حاوی کاتیون‌های Na^{+}، Ca^{++} و Fe^{+++} (۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نمک کربناتی) با و بدون افزودن اسیدسیتریک (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) یا سولفات آمونیوم (۲۰ گرم در لیتر) نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن علف‌کش به حامل‌های پاشش بر روی یولاف وحشی زمستانه در مرحله چهار برگی پاشیده شد. نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون غیرخطی نشان داد که برعکس سولفات‌آمونیوم که بر کارایی سولفوسولفورون بی‌تاثیر بود، افزودن اسیدسیتریک به آب مقطر با هر توالی و فاصله زمانی نسبت به سولفوسولفورون باعث بهبود کارایی سولفوسولفورون شد. حضور کاتیون‌های Na^{+}، Ca^{++} و Fe^{+++} در حامل پاشش مقدار سولفوسولفورون لازم برای کاهش ۹۰ درصدی وزن خشک یولاف وحشی زمستانه را به ترتیب از ۹/۸۰ به ۲۷/۶۰، ۴۷/۴۸ و ۵۰/۳۲ گرم در هکتار افزایش داد. بین شدت ناسازگاری کاتیون‌های Ca^{++} و Fe^{+++} اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. افزودن هر دو ماده افزودنی نیم ساعت بعد از افزودن سولفوسولفورون به آب مقطر حاوی کاتیون‌ها هیچ تاثیری در رفع اثر ناسازگار کاتیون‌ها بر کارایی سولفوسولفورون نداشت. برعکس، افزودن سولفوسولفورون نیم ساعت بعد از افزودن مواد افزودنی به آب مقطر حاوی کاتیون‌ها بهترین کارایی سولفوسولفورون را رقم زد. بنابراین، موضوع توالی صحیح افزودن ماده افزودنی و علف‌کش به آب سخت حایز اهمیت است. عدم اطلاع از این موضوع، نه تنها سبب عدم کنترل علف‌هرز بلکه هزینه‌های اضافی به کشاورز تحمیل خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: املاح آب سخت، علف‌کش اسیدی ضعیف، کیفیت آب سمپاشی

مقدمه

در سیستم‌های زراعی، علف‌های هرز به عنوان مهمترین نگرانی کشاورزان مطرح هستند. آنها برای کسب منابعی مانند آب، مواد غذایی و نور با گیاهان زراعی رقابت می‌کنند و سبب کاهش شدید عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (۹). تاکنون، روش‌های متعددی برای کنترل علف‌های هرز معرفی شده است. با این وجود، از زمان کشف و توسعه علف‌کش‌ها در دهه ۱۹۴۰، روش شیمیایی کنترل علف‌های هرز همیشه به عنوان مهمترین روش شناخته شده است. زیرا کاربرد این روش آسان، مؤثر و مقرون به صرفه است (۴۶). کارایی علف کش‌ها در مهار علف‌های هرز تحت تأثیر عوامل متعددی مانند مرحله رشدی علف‌هرز، فرمولاسیون علف‌کش، شرایط آب و هوایی در قبل، حین و بعد از کاربرد علف‌کش و فناوری کاربرد علف‌کش قرار دارد. علاوه بر این، از آنجایی که برای کاربرد علف‌کش‌ها اغلب به آب احتیاج است؛ لذا، ویژگی کمی آن مانند حجم پاشش (۳۸) و ویژگی کیفی آن مانند سختی، اسیدیته، کدورت و دما نقش موثری در کارایی آنها ایفا می‌کنند (۸). کشاورزان معمولاً از همان آبی که برای آبیاری استفاده می‌کنند برای کاربرد علف‌کش‌ها استفاده می‌کنند (۲). بخشی از کیفیت منابع آب کشاورزی مربوط به میزان بارش آسمانی و بخشی دیگر مربوط به جنس بستر زمین (حضور لایه‌های آهکی و نمکی در آن) است. این دو عامل سبب شده است تا در مناطق خشک جهان

۱- استادیار علوم علف‌های هرز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: a.aliverdi@basu.ac.ir)
۲- کارشناسی ارشد شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
DOI: 10.22067/jpp.v34i3.85993

مانند ایران، کیفیت منابع آب کشاورزی با چالش‌های جدی روبرو شود. بررسی‌ها نشان می‌دهند که وضعیت نامطلوب کمیت منابع آب کشاورزی کشور در سال‌های آتی تشدید خواهد شد (۲۶). از این‌رو، استفاده از آب‌هایی با کیفیت پایین (سخت و شور) برای کاربرد علف کش‌ها در حال حاضر و آینده اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (۱).

اثر ناسازگار حضور املاح کاتیونی سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، منگنز و آهن در آب سخت بر کارایی علف‌کش‌های اسیدی ضعیف (ضریب تفکیک اسیدی (pKa) اینگونه علف‌کش‌ها کمتر از هفت است) به وسیله محققان متعددی به اثبات رسیده است. برای مثال، گلایفوسیت (۲، ۲۲، ۲۳، ۴۱ و ۴۶)، گلوفوسینات (۴۳)؛ دایکامبا (۸)، توفوردی (۳۴)، کلتودیم (۳۰)، ستوکسیدیم (۲۹)، سافلوفنازیل (۳۹)، ایمازاتاپیر (۱)، تمبوتریون (۴۸)، مزوتریون (۹)، نیکوسولفورون (۱۵) و سینوسولفورون (۱۸). این اثر ناسازگار به علت تشکیل نمک علف کش-کاتیون است که به دلیل حلالیت پایین آن در آب قادر به عبور (جذب) از کوتیکول برگ علف هرز نیست؛ لذا، سبب افت شدید کارایی علف‌کش می‌شود. علاوه براین، رسوب این نمک‌ها در مجاری، صافی‌ها، نازل‌ها و مخزن سمپاش سبب انسداد آنها می‌شوند (۲۷). راهکارهای متعددی جهت تقلیل اثر ناسازگار حضور املاح کاتیونی در آب سخت بر کارایی علف‌کش‌ها ابداع و معرفی شده است که عبارتند از کاهش حجم پاشش (۲)، افزودن مواد افزودنی مانند اسید سیتریک (۴۵)، سولفات آمونیوم (۸، ۴۳)، نیترات آمونیوم (۳۵)، فسفات پتاسیم (۴۸)، استات تترادی‌آمین‌اتیلن (۷)، گلوکوهپتونات و لیگنین سولفونات (۶)، سولفات تیوآمونیوم (۳۱) به مخزن سمپاش، مغناطیسی کردن آب سخت (۱ و ۲) و اسمز معکوس کردن آب سخت (۲۳).

براساس طبقه‌بندی کمیته کاری مقاومت به علف‌کش، سولفوسولفورون یکی از اعضای علف‌کش‌های گروه B، بازدارنده بیوسنتز اسیدهای آمینه، است که دارای ویژگی اسیدی ضعیف با pKa برابر ۳/۵ است (۴) که برای مهار علف‌های هرز باریک برگی مانند یولاف وحشی زمستانه (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana* Durieu.) در مزارع گندم کشور به ثبت رسیده است. با این حال، هیچ گزارشی مبنی بر اینکه آیا کارایی سولفوسولفورون همانند سایر علف کش‌های اسیدی ضعیف تحت تاثیر املاح کاتیونی موجود در آب سخت قرار می‌گیرد یا خیر وجود ندارد. پاسخ‌دهی به این سوال، اولین هدف آزمایش حاضر بود. علاوه براین، در منابع و در عمل مشاهده می‌شود که در روش افزودن مواد افزودنی به مخزن سمپاش برای تقلیل اثر ناسازگار حضور املاح کاتیونی در آب سخت بر کارایی علف کش‌ها، "بلافاصله" بعد از افزودن ماده افزودنی به حامل پاشش (آب مخزن سمپاش)، علف‌کش به حامل پاشش اضافه می‌شود. لذا، هیچ گزارشی مبنی بر اینکه آیا توالی افزودن ماده افزودنی و علف‌کش و نیز فاصله زمانی بین افزودن آنها به حامل پاشش حاوی آب سخت می‌تواند کارایی سولفوسولفورون را تحت تاثیر قرار دهد یا خیر وجود ندارد. پاسخ‌دهی به این سوال، دومین و مهمترین هدف آزمایش حاضر بود.

مواد و روش‌ها

در اواخر بهار ۱۳۹۷، بذرهای یولاف وحشی زمستانه از حاشیه مزرعه‌ای در شهرستان مریانج استان همدان جمع‌آوری و تا شروع آزمایش درون یخچال در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در این مزرعه، سابقه کاربرد علف‌کش سولفوسولفورون وجود نداشت. در اوایل پاییز ۱۳۹۷، لما و پالئای بذرها به صورت دستی از آنها جدا شد تا شرایط برای ایجاد یکنواختی در جوانه‌زنی فراهم شود. به منظور تسریع در جوانه‌زنی، بذرها پیش‌تیمار شدند. برای این کار ابتدا، بذرها درون محلول هیپوکلرید سدیم پنج درصد به مدت پنج دقیقه غوطه‌ور، با آب مقطر شستشو و سپس، درون پتری‌دیش‌هایی با قطر ۱۱ سانتی‌متری حاوی یک لایه کاغذ صافی خیس شده با ۱۰ میلی‌لیتر از محلول ۰/۲ گرم نیترات پتاسیم در لیتر قرار داده شدند. پتری‌دیش‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در تاریکی درون یخچال و سپس به مدت ۴۸ ساعت در تاریکی در دمای اتاق نگهداری شدند (۲). با این کار، جوانه‌زنی حدوداً ۱۰۰ درصدی بذرها حاصل شد. با مشاهده اولین علائم خروج ریشه‌چه، بذرها برای کشت درون گلدان‌ها به گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان منتقل شدند. تعداد هشت گیاهچه با طول ریشه‌چه یک سانتی‌متری و طول کولئوپتیل نیم سانتی‌متری در هر گلدان سه لیتری به ابعاد ۱۳×۱۳×۱۱ سانتی‌متر از جنس پلاستیکی با مقطع مربعی شکل قهوه‌ای رنگ حاوی خاک:ماسه بادی:کود دامی به ترتیب با نسبت ۱:۱:۴ در عمق یک سانتی‌متری خاک کشت شدند. بر حسب نیاز، گلدان‌ها به صورت برابر آبیاری و علف‌های هرز داخل آنها در زمان پرورش یولاف وحشی زمستانه به طور مستمر وجین دستی شدند.

آزمایش به صورت واکنش به مقدار علف‌کش به صورت فاکتوریل (۷ × ۴ × ۶) در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل مقدار سولفوسولفورون (آپیروس، گرانول وتابل ۷۵ درصد) در شش سطح صفر، ۱/۲۵، ۲/۵۰، ۵، ۱۰ و ۲۰ گرم سولفوسولفورون در هکتار بود. بر اساس دستورالعمل برچسب علف-کش، مقدار ۲۶/۶ گرم سولفوسولفورون در هکتار برای کاربرد در شرایط مزرعه توصیه شده است. با این وجود، براساس تجربه قبلی (۳) مبنی بر حساسیت بالاتر یولاف وحشی زمستانه پرورش یافته در شرایط گلخانه به سولفوسولفورون در مقایسه با شرایط مزرعه، حداکثر مقدار سولفوسولفورون در این آزمایش برابر ۲۰ گرم در هکتار انتخاب و بکار برده شد. فاکتور دوم شامل نوع حامل پاشش در چهار سطح آب مقطر، آب مقطر حاوی کلرید سدیم (NaCl، مرک آلمان)، آب

مقطر حاوی کلرید کلسیم ($CaCl_2$، مرک آلمان) و آب مقطر حاوی کلرید آهن سه ظرفیتی ($FeCl_3$، مرک آلمان) بود. برای آماده‌سازی حامل‌های پاشش حاوی املاح کاتیونی، مقدار ۶۰۰ میلی‌گرم از نمک های کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید آهن سه ظرفیتی به طور جداگانه در یک لیتر آب مقطر حل شد (۳۴). فاکتور سوم شامل توالی و ترتیب زمانی افزودن ماده افزودنی و علف‌کش به حامل پاشش در هفت سطح بدون ماده افزودنی، افزودن اسیدسیتریک ($C_6H_8O_7$، مرک آلمان) نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن سولفوسولفورون به حامل پاشش، افزودن سولفات آمونیوم ($(NH_4)_2SO_4$)، مرک آلمان) نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن سولفوسولفورون به حامل پاشش بود. از طریق پیش آزمایشی، مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم اسید سیتریک در لیتر انتخاب و بکار برده شد. در آزمایشگاه، این مقدار اسید سیتریک توانسته بود تا pH آب مقطر را به pKa سولفوسولفورون که برابر ۳/۵ است (۴) برساند. سولفات آمونیوم به مقدار ۲۰ گرم در لیتر بکار برده شد (۳۴). براساس دستورالعمل برچسب علف‌کش، حامل پاششِ تمامی تیمارها به میزان یک میلی‌لیتر در لیتر مویان غیریونی با نام تجاری رِست قبل از پاشش آنها اضافه شد. تمامی محلول‌ها در مدت انتظارشان قبل پاشش آنها به طور دائم تکان داده می‌شدند.

تیمارها در مرحله چهار برگی یولاف وحشی زمستانه توسط سمپاش دستی فشاری پنج لیتری با نازل بادبزنی دوقلوی استاندارد پلاستیکی زرد رنگ با شماره ۱۱۰۰۲ (ASJ، ایتالیا) در فشار پاشش سه بار با یک حجم پاشش ۲۲۰ لیتر در هکتار انجام گرفتند. عملیات سمپاشی در هیجدهم آبان ۱۳۹۷ و در بیرون از محیط گلخانه و در هوای آزاد انجام گرفت؛ در شرایطی که رطوبت نسبی ۶ ± ۵۵ درصد و دما ۳ ± ۱۷ درجه سانتی‌گراد بود. در روز سمپاشی، به طور تصادفی بوته‌های چهار گلدان، که مازاد بر نیاز آزمایش کشت شده بودند، برداشت و وزن خشک تک بوته آنها به دست آمد (نتیجه: ۰/۱ گرم در هر بوته). این عدد به عنوان وزن خشک تک بوته یولاف وحشی زمستانه در زمان اعمال تیمارها در نظر گرفته شد. پس از سمپاشی، گلدان‌ها مجدداً در درون گلخانه قرار داده شدند.

پنج هفته پس از سمپاشی، زیست توده هوایی بوته‌های درون گلدان‌ها از یک سانتی‌متری سطح خاک برداشت و در درون پاکت های کاغذی قرار داده شدند. سپس، وزن خشک آن‌ها بعد از خشک کردن در درون آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به وسیله ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. داده-های وزن خشک به‌دست آمده از هر گلدان بر عدد هشت (تعداد بوته در هر گلدان) تقسیم و سپس، از آنها ۰/۱ (وزن‌های تک بوته در روز سمپاشی) کسر گردید. نهایتاً، از داده‌های وزن خشک تک بوته در تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد.

واکنش وزن خشک تک بوته یولاف وحشی زمستانه به تیمارها با روش تجزیه و تحلیل رگرسیون غیرخطی با کمک مدل چهار پارامتری لجستیک (معادله ۱) و با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۲،۶،۲ تخمین زده شد (۳۶). براساس نتایج آزمون عدم برازش (p-value > ۰/۰۵)، این مدل برازش قابل قبولی روی داده‌ها فراهم کرد. همچنین، با بررسی نمودار باقی‌مانده‌ها، توزیع مستقل، تصادفی و یکنواخت آنها محرز گردید.

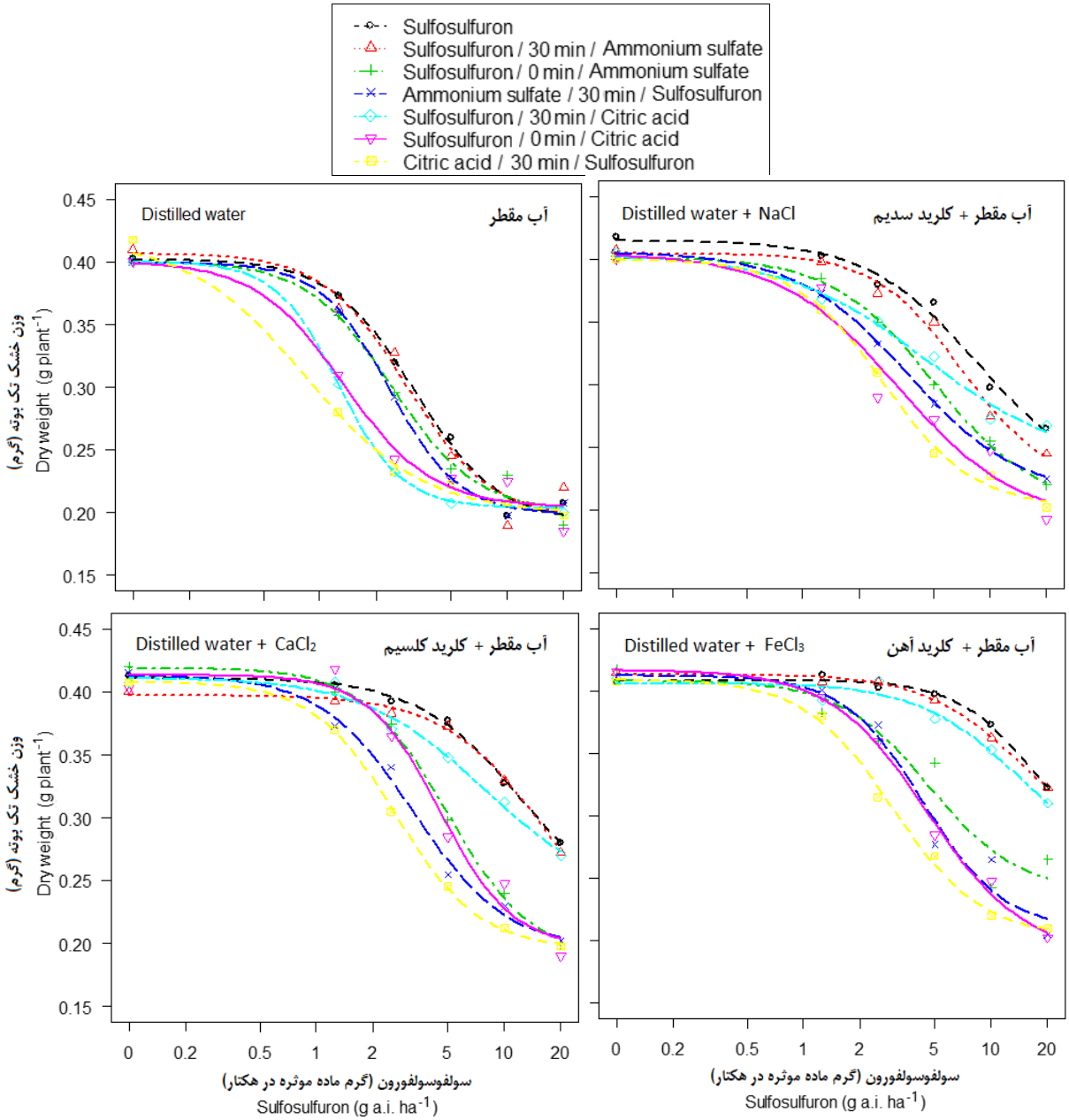
معادله ۱
$$Y = \frac{C+(D-C)}{\{1+exp[B\,(logX-logED)]\}}$$

در این معادله: Y بیانگر وزن خشک تک بوته یولاف وحشی زمستانه، D و C به ترتیب حدود مجانب‌های بالا و پایین وزن خشک یولاف وحشی زمستانه در مقادیر صفر و بی‌نهایت سولفوسولفورون، پارامتر ED_{50} بیانگر مقدار سولفوسولفورون لازم (X) برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک یولاف وحشی زمستانه بین حدود مجانب‌های بالا و پایین (D و C) است، و B متناسب با شیب منحنی در محدوده ی پارامتر ED_{50} می‌باشد. با کمک کدهای دستوری نرم‌افزار، مقادیر پارامتر ED_{90} منحنی‌های واکنش به مقدار علف‌کش نیز تخمین زده شد (۳۶)؛ لذا، از این پارامتر برای بیان نتایج این آزمایش استفاده شد. برای مقایسه آماری بین مقادیر پارامتر ED_{90} از خطای استاندارد آنها استفاده شد.

نتایج و بحث

علایم ناشی از مصرف سولفوسولفورون به صورت توقف در رشد بوته‌ها متناسب با مقدار علف‌کش مشاهده شد. رگرسیون چهارپارامتری لجستیک برازش مناسبی به روند پاسخ وزن خشک یولاف وحشی زمستانه به دزهای علفکش سولفوسولفورون تحت نوع آب سخت و ماده افزودنی نشان داد (آزمون عدم برازش بیشتر از ۰/۰۵). در منحنی‌های واکنش به مقدار سولفوسولفورون که مجموعاً ۲۸ منحنی بود (شکل ۱)، دامنه حد بالا بین ۰/۳۹ تا ۰/۴۲ گرم در نوسان بود که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. همچنین، دامنه حد پایین این منحنی‌ها بین ۰/۱۹ تا ۰/۲۸ گرم در نوسان بود که تفاوت آماری معنی‌دار با یکدیگر نداشتند. همچنین، شیب منحنی‌ها در نقطه ED_{50} بین ۱/۰۹ تا ۲/۱۶ در نوسان بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

نتایج نشان داد که وقتی از آب مقطر به عنوان حامل پاشش استفاده شد، افزودن سولفات‌آمونیوم با هر توالی و ترتیب زمانی نسبت به سولفوسولفورون، تاثیر معنی‌داری بر کارایی آن در کنترل یولاف وحشی زمستانه نداشت (جدول ۱). در حالی‌که، افزودن اسیدسیتریک به حامل پاشش آب مقطر با هر توالی و ترتیب زمانی نسبت به سولفوسولفورون، سبب بهبود معنی‌دار کارایی سولفوسولفورون در کنترل یولاف وحشی زمستانه شد.



شکل ۱- منحنی‌های واکنش وزن خشک تک بوته یولاف وحشی زمستانه به مقادیر سولفوسولفورون پاشیده شده با حامل‌های پاشش آب مقطر، آب مقطر حاوی کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید آهن با و بدون افزودن اسیدسیتریک یا سولفات‌آمونیوم نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن سولفوسولفورون به حامل‌های پاشش

Figure 1- The dose-response curves for winter wild oat dry weight to sulfosulfuron sprayed with distilled water, distilled water containing NaCl, $CaCl_2$ and $FeCl_3$ with and without adding citric acid or ammonium sulfate at 30 min before, simultaneous, and 30 min after adding sulfosulfuron to the spray carrier

براساس مقادیر ED_{90}، افزودن اسید سیتریک نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن سولفوسولفورون به حامل پاشش آب مقطر به ترتیب سبب بهبود ۳/۲، ۲/۳ و ۲/۴ برابری کارایی سولفوسولفورون شد که احتمالاً دلیل آن فرآیندی به نام تله یونی باشد. محققان زیادی تلاش کرده‌اند تا مکانیسم بهبود کارایی علف‌کش‌های اسیدی ضعیف (توفوردی (۱۰)، کلروسولفورون (۱۲)، گلایفوسیت (۲۵)، کلوپیرالید، پیکلورم (۳۳)، بنتازون (۲۱)، نیکوسولفورون (۱۳) و بسیاری از علف‌کش‌های اسیدی ضعیف دیگر

(۴۴)) ناشی از کاهش pH محلول پاشش را تعیین کنند. آنها اعتقاد دارند که کاهش pH سبب نفوذپذیری بیشتر علف‌کش‌های اسیدی ضعیف به درون کوتیکول در طی فرآیند تله یونی می‌شود. در محیط قلیایی، علف‌کش‌های اسیدی ضعیف دارای بار الکتریکی منفی در ساختار خود هستند؛ لذا، دارای خاصیت آب‌دوستی بیشتری هستند. در محیط اسیدی، این علف‌کش‌ها با دریافت یون H^+ به حالت بدون بار الکتریکی تبدیل و خاصیت آب‌گریزی بیشتری پیدا می‌کنند (شکل ۲) (۴۴). حلالیت در آب سولفوسولفورون در pH = ۵ برابر ۱۷/۶، در pH = ۷ برابر ۱۶۲۷ و در pH = ۹ برابر ۴۸۲ میلی‌گرم در لیتر در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است (۱۶). با کاهش pH حامل پاشش با افزودن اسیدسیتریک، مولکول‌های سولفوسولفورون بدون بار الکتریکی (آب‌گریز) می‌شوند. لذا، قادرند

جدول ۱- تأثیر حامل پاشش، توالی و فاصله زمانی افزودن ماده افزودنی و علف‌کش به حامل پاشش بر مقدار سولفوسولفورون (گرم ماده موثره در هکتار) لازم برای کاهش ۵۰ و ۹۰ درصدی وزن خشک یولاف وحشی زمستانه

Table 1- The effect of spray carrier, sequence and time interval of adding adjuvant and herbicide to spray carrier on the dose of sulfosulfuron (g active ingredient ha^{-1}) required for 50 and 90 % reduction in dry weight of winter wild oat

حامل پاشش Spray carrier	ترتیب افزودن مواد شیمیایی به حامل پاشش Sequence of adding chemicals to spray carrier	ED_{50} (g a.i. ha^{-1})	ED_{90} (g a.i. ha^{-1})
آب مقطر Distilled water (DW)	Sulfosulfuron	3.18 (0.29) ^{de}	9.80 (2.07) ^{bc}
	Sulfosulfuron / 30 min / $(NH_4)_2SO_4$	2.88 (0.30) ^{d}	8.83 (1.05) ^{b}
	Sulfosulfuron / 0 min / $(NH_4)_2SO_4$	2.40 (0.24) ^{cd}	7.47 (0.98) ^{b}
	$(NH_4)_2SO_4$ / 30 min / Sulfosulfuron	2.31 (0.29) ^{cd}	7.73 (1.05) ^{b}
	Sulfosulfuron / 30 min / $C_6H_8O_7$	1.25 (0.16) ^{b}	3.06 (0.56) ^{a}
	Sulfosulfuron / 0 min / $C_6H_8O_7$	1.33 (0.14) ^{b}	4.27 (1.00) ^{a}
	$C_6H_8O_7$ / 30 min / Sulfosulfuron	0.83 (0.29) ^{ab}	4.11 (1.20) ^{a}
آب مقطر + کلرید سدیم DW + NaCl	Sulfosulfuron	7.61 (2.31) ^{g}	27.60 (4.83) ^{f}
	Sulfosulfuron / 30 min / $(NH_4)_2SO_4$	7.11 (2.14) ^{fg}	23.54 (3.02) ^{ef}
	Sulfosulfuron / 0 min / $(NH_4)_2SO_4$	5.02 (0.71) ^{f}	20.22 (1.77) ^{e}
	$(NH_4)_2SO_4$ / 30 min / Sulfosulfuron	3.61 (0.40) ^{e}	16.49 (2.08) ^{d}
	Sulfosulfuron / 30 min / $C_6H_8O_7$	4.90 (0.59) ^{f}	36.35 (4.90) ^{fg}
	Sulfosulfuron / 0 min / $C_6H_8O_7$	2.47 (0.65) ^{cd}	9.01 (3.55) ^{bc}
	$C_6H_8O_7$ / 30 min / Sulfosulfuron	2.70 (0.42) ^{cd}	7.37 (1.38) ^{b}
آب مقطر + کلرید کلسیم DW + $CaCl_2$	Sulfosulfuron	11.91 (2.24) ^{h}	47.48 (4.16) ^{h}
	Sulfosulfuron / 30 min / $(NH_4)_2SO_4$	15.44 (4.36) ^{h}	58.50 (12.04) ^{hi}
	Sulfosulfuron / 0 min / $(NH_4)_2SO_4$	4.94 (0.86) ^{f}	15.34 (3.40) ^{cd}
	$(NH_4)_2SO_4$ / 30 min / Sulfosulfuron	3.30 (0.41) ^{de}	11.83 (0.81) ^{c}
	Sulfosulfuron / 30 min / $C_6H_8O_7$	7.53 (1.18) ^{g}	39.72 (5.14) ^{h}
	Sulfosulfuron / 0 min / $C_6H_8O_7$	4.69 (0.80) ^{ef}	13.28 (2.14) ^{cd}
	$C_6H_8O_7$ / 30 min / Sulfosulfuron	2.64 (0.30) ^{cd}	8.42 (2.27) ^{b}
آب مقطر + کلرید آهن DW + $FeCl_3$	Sulfosulfuron	17.13 (5.2) ^{h}	50.32 (7.30) ^{hi}
	Sulfosulfuron / 30 min / $(NH_4)_2SO_4$	12.11 (2.71) ^{h}	48.73 (8.74) ^{h}
	Sulfosulfuron / 0 min / $(NH_4)_2SO_4$	5.24 (1.12) ^{fg}	27.63 (5.63) ^{fg}
	$(NH_4)_2SO_4$ / 30 min / Sulfosulfuron	4.28 (0.85) ^{ef}	12.05 (1.46) ^{c}
	Sulfosulfuron / 30 min / $C_6H_8O_7$	14.79 (5.24) ^{h}	59.53 (10.35) ^{i}
	Sulfosulfuron / 0 min / $C_6H_8O_7$	4.59 (0.82) ^{ef}	17.42 (3.68) ^{de}
	$C_6H_8O_7$ / 30 min / Sulfosulfuron	2.98 (0.32) ^{de}	9.98 (2.49) ^{bc}

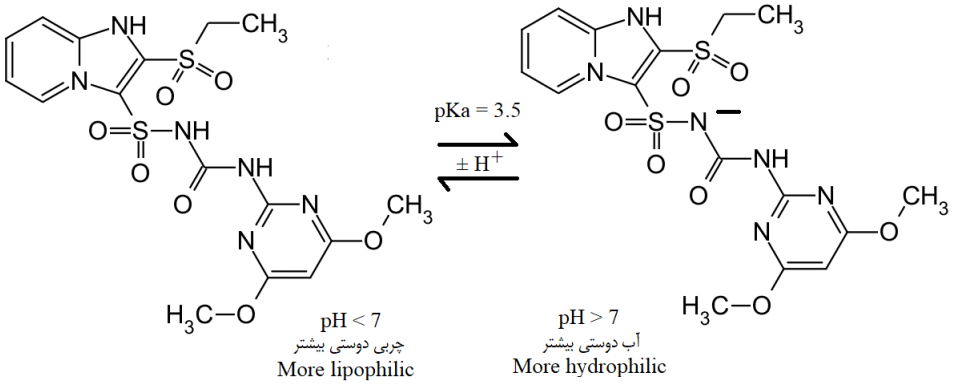
اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد هستند. مقادیر ED_{90} دارای حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری براساس خطاهای استاندارد ندارند.

$(NH_4)_2SO_4$: سولفات‌آمونیوم. $C_6H_8O_7$: اسیدسیتریک.

Standard errors are in parentheses. The ED_{90} values with the same letter are not significantly different ($P < 0.05$) based on the standard errors. $(NH_4)_2SO_4$: ammonium sulfate. $C_6H_8O_7$: citric acid.

تا از عرض کوتیکول و غشاء سلولی با سهولت بیشتری عبور کنند. سپس، سولفوسولفورون بدون بار الکتریکی در داخل سلول (جایی که یون H^+ به دلیل پمپاژ آن به بیرون سلول نسبتاً کمیاب است) یک یون H^+ از دست می‌دهد و مجدداً مولکول‌های سولفوسولفورون بار الکتریکی (آب‌دوست) تشکیل می‌شوند که خاصیت آب‌دوستی بیشتری پیدا می‌کند و دیگر قادر به خروج از سلول نیستند. به این طریق، علف‌کش‌های اسیدی ضعیف درون سلول (یا درون آوندهای آبکش) به دام افتاده و به طور کارآمدی منتقل می شوند (۴۴).

محققان متعددی گزارش کرده‌اند که افزودن سولفات‌آمونیوم به محلول پاشش علف‌کش‌های گروه A (۲۰ و ۴۲)، گروه C (۱۹ و ۴۷)، گروه G (۳۲، ۳۸، ۴۳ و ۴۹)، گروه H (۲۴، ۴۳) و گروه O (۵ و ۴۰) سبب بهبود کارایی آنها می‌شود. این علف‌کش‌ها با دریافت آنیون NH_4^+ از سولفات‌آمونیوم خاصیت آب‌گریزی بیشتری پیدا می‌کنند که نفوذپذیری آنها برای عبور از عرض کوتیکول و غشاء سلولی بیشتر است. پس از عبور از کوتیکول و غشاء سلولی، یون NH_4^+ از مولکول علف‌کش جدا می‌شود. از اینرو، مجدداً مولکول‌های علف‌کش دارای بار الکتریکی منفی و خاصیت آب‌دوستی بیشتر می‌شوند و دیگر قادر به خروج از سلول نیستند. از اینرو، کارایی علف‌کش با افزودن سولفات‌آمونیوم افزایش می‌یابد. با این وجود، افزودن سولفات‌آمونیوم به محلول پاشش علف‌کش‌های گروه B گاهی بی‌تاثیر (نیکوسولفورون (۱۳) و ایمازامتابنز (۱۷)) و گاهی با تاثیر منفی (متسولام (۱۱)) بر کارایی آنها گزارش شده است.



شکل ۲- ساختار و خاصیت سولفوسولفورون در شرایط اسیدی و قلیایی

حلالیت در آب سولفوسولفورون در pH = ۵ برابر ۱۷/۶ و در pH = ۹ برابر ۴۸۲ میلی‌گرم در لیتر در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است (۱۶).

Figure 2- Structure and property of sulfosulfuron under acidic and alkaline conditions

Water solubility of sulfosulfuron has been measured up to 17.6 mg L^{-1} at pH = 5 and 482 mg L^{-1} at pH = 9 in 20°C (16).

نتایج نشان داد که حضور کاتیون‌های Na^+، Ca^{++} و Fe^{+++} در حامل پاشش توانست مقدار ED_{90} را از ۹/۸۰ گرم ماده موثره در هکتار به ترتیب ۲۷/۶۰، ۴۷/۴۸ و ۵۰/۳۲ گرم ماده موثره در هکتار افزایش دهد (جدول ۱) که نشان دهنده به ترتیب کاهش ۶۴/۵، ۷۹/۳ و ۸۰/۵ درصدی کارایی سولفوسولفورن در کنترل یولاف وحشی زمستانه با حضور املاح کاتیونی در حامل پاشش است. بین شدت اثر ناسازگار املاح کاتیونی Ca^{++} و Fe^{+++} اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همانطور که در بخش مقدمه اشاره شد، اثر ناسازگار حضور انواع کاتیون‌های (Na^+، K^+، Ca^{++}، Mg^{++}، Zn^{++}، Mn^{++} و Fe^{+++}) در حامل پاشش بر کارایی علف‌کش‌های اسیدی ضعیف به وسیله محققان متعددی به اثبات رسیده است. همانند سایر علف‌کش‌های اسیدی ضعیف، سولفوسولفورون نیز در شرایط قلیایی به بخش‌های آنیونی (با بار الکتریکی منفی) و کاتیونی (H^+) تفکیک می‌شود (شکل ۲). بخش آنیونی سولفوسولفورون با کاتیون‌های شبه فلزی موجود در آب پیوند برقرار کند. در نتیجه، نمک علف‌کش–کاتیون بلوری شکل (۱) تشکیل می‌شود که به دلیل حلالیت پایین آن در آب قادر به عبور (جذب) از کوتیکول برگ علف هرز نیست؛ لذا، سبب افت شدید کارایی علف‌کش می‌شود. هافمن و همکاران (۱۴) گزارش کردند که حضور کاتیون Ca^{++} در حامل پاشش سبب افزایش اندازه قطره‌های پاشش می‌شود. در نتیجه، نشست قطره‌ها روی برگ به شدت کاهش می‌یابد. آنها این پدیده را دومین دلیل اُفت کارایی علف‌کش پاشیده شده با آب سخت دانستند. شدت اثر ناسازگار کاتیون‌ها بر کارایی سولفوسولفورون به ظرفیت کاتیونی آنها بستگی داشت. به عبارتی دیگر، شدت اثر ناسازگار کاتیون‌های دو و سه ظرفیتی بیشتر از کاتیون تک ظرفیتی بود. این نتایج با یافته‌های نالواجا و ماتیسیاک (۲۸) با گلایفوسیت علی وردی و همکاران (۱) با ایمازتاپیر تطابق دارد.

از نظر آماری، مقادیر ED_{90} بدست آمده برای تیمارهای افزودن

سولفوسولفورون نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن سولفات‌آمونیوم به حامل پاشش حاوی کاتیون Na^+ به ترتیب برابر ۲۳/۵۴ > ۲۰/۲۲ > ۱۶/۴۹ گرم ماده موثره در هکتار؛ برای تیمارهای افزودن سولفوسولفورون نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن سولفات‌آمونیوم به حامل پاشش حاوی کاتیون Ca^{++} به ترتیب برابر ۵۸/۵۰ > ۱۵/۳۴ ≥ ۱۱/۸۳ گرم ماده موثره در هکتار و برای تیمارهای افزودن سولفوسولفورون نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن سولفات‌آمونیوم به حامل پاشش حاوی کاتیون Fe^{+++} به ترتیب برابر ۴۸/۷۳ > ۲۷/۶۳ > ۱۲/۰۵ گرم ماده موثره در هکتار بود. مقادیر ED_{90} بدست آمده برای تیمارهای افزودن سولفوسولفورون نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن اسیدسیتریک به حامل پاشش حاوی کاتیون Na^+ به ترتیب برابر ۳۶/۳۵ > ۹/۰۱ ≥ ۷/۳۷ گرم ماده موثره در هکتار؛ برای تیمارهای افزودن سولفوسولفورون نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن اسیدسیتریک به حامل پاشش حاوی کاتیون Ca^{++} به ترتیب برابر ۳۹/۷۲ > ۱۳/۲۸ > ۸/۴۲ گرم ماده موثره در هکتار و برای تیمارهای افزودن سولفوسولفورون نیم ساعت قبل، همزمان و نیم ساعت بعد از افزودن اسیدسیتریک به حامل پاشش حاوی کاتیون Fe^{+++} به ترتیب برابر ۵۹/۵۳ > ۱۷/۴۲ > ۹/۹۸ گرم ماده موثره در هکتار بود. به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهند که توالی و فاصله زمانی افزودن ماده افزودنی و سولفوسولفورون به آب سخت بر کارایی سولفوسولفورون در کنترل یولاف وحشی زمستانه تاثیر معنی‌داری دارد. با مقایسه این نتایج با تیمار کاربرد سولفوسولفورون به تنهایی با حامل آب مقطر (مقدار ED_{90} برابر ۹/۸۰ گرم ماده موثره در هکتار) می‌توان چنین استنتاج کرد که افزودن مواد افزودنی نیم ساعت بعد از افزودن سولفوسولفورون به آب سخت هیچ تاثیری در رفع اثر ناسازگار املاح کاتیونی موجود در آب سخت بر کارایی سولفوسولفورون نداشته است. به نظر می‌رسد که وقتی علف کش قبل از مواد افزودنی به آب سخت افزوده شود، نمک علف‌کش – کاتیون تشکیل می‌شود. لذا، کاتیون‌های آب سخت امکان دریافت آنیون‌های H^+ از اسیدسیتریک و NH_4^+ از سولفات‌آمونیوم را از دست می‌دهند. به همین دلیل، این توالی افزودن مواد شیمیایی به آب سخت هیچ تاثیری در رفع اثر ناسازگار املاح کاتیونی موجود در آب سخت بر کارایی سولفوسولفورون نداشته است. این در حالی است که بهترین کارایی سولفوسولفورون زمانی حاصل شد که نیم ساعت بعد از افزودن مواد افزودنی به آب سخت اضافه شود. چنین رفتاری در آماده سازی محلول پاشش سبب حذف کامل اثر ناسازگار املاح کاتیونی موجود در آب سخت بر کارایی سولفوسولفورون شد. به نظر می‌رسد که وقتی مواد افزودنی قبل از علف‌کش به آب سخت افزوده شود، کاتیون‌های آب سخت می‌توانند آنیون‌های H^+ از اسیدسیتریک و NH_4^+ از سولفات‌آمونیوم را دریافت کنند. سپس، با تشکیل و رسوب نمک کاتیون–آنیون، آب سخت به آب نرم تبدیل می‌شود که مشکلی در کارایی علف‌کش ایجاد نمی‌کند. تاکنون، آزمایش مشابهی به اجرا در نیامده بود، ولی در یک آزمایش که با هدف تاثیر توالی افزودن مویان و علف‌کش به آب نرم (نه آب سخت) انجام گرفته است، راموس و همکاران (۳۷) گزارش کردند که افزودن مویان قبل از افزودن علف‌کش‌های آمینوپیرالید و فلورکسی‌پیر در مقایسه حالت برعکس سبب کنترل بهتر *Senna obtusifolia* می‌شود.

نهایتاً، با مقایسه تیمارهای افزودن علف‌کش نیم ساعت بعد از افزودن مواد افزودنی به حامل‌های پاشش حاوی Na^+ و Ca^{++}، کارایی اسیدسیتریک در مقایسه با سولفات‌آمونیوم در رفع اثر ناسازگار املاح کاتیونی موجود در آب سخت بر کارایی سولفوسولفورون بیشتر بود. دلیل احتمالی این موضوع قبلاً بحث شد.

نتیجه‌گیری

آزمایش حاضر نشان می‌دهد که رمز بهینه‌سازی کارایی مواد افزودنی نرم‌کننده آب سخت در توالی صحیح افزودن آنها نسبت به علف‌کش به آب سخت است. اگر توالی افزودن صحیح انجام نگیرد، یعنی اگر علف‌کش نیم ساعت قبل از ماده افزودنی به آب سخت افزوده شود، هیچ تاثیری در رفع اثر ناسازگار املاح کاتیونی موجود در آب سخت بر کارایی علف‌کش ندارد. این بدین معنی است که نه تنها علف‌های هرز به خوبی کنترل نخواهند شد بلکه هزینه‌های اضافی (علف‌کش + ماده افزودنی + کاربرد) را متحمل کشاورز خواهد کرد. لذا، در شرایطی که کشاورز قصد استفاده از آب سخت برای کاربرد علف‌کش اسیدی ضعیفی مانند سولفوسولفورون دارد، افزودن ترجیحاً اسیدسیتریک و اگر دردسترس نبود سولفات‌آمونیوم نیم ساعت قبل از افزودن سولفوسولفورون به حامل پاشش توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان قدردان معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا همدان برای تخصیص گرنت برای اجرای این آزمایش هستند که در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز به انجام رسیده است.

منابع

1- Aliverdi A., Ganbari A., Rashed-Mohassel M.H., Nassiri-Mahallati M., and Zand E. 2014a. Overcoming the antagonistic effect from spray carrier minerals on imazethapyr activity. Agronomy Journal 106(5): 1569–1573.

2- Aliverdi A., Ganbari A., Rashed-Mohassel M.H., Nassiri-MmahalatiI M., and Zand E. 2014b. Overcoming hard water antagonistic to glyphosate or imazethapyr with water conditioners. Notulae Scientia Biologicae 6(2): 244–249.
3- 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.
4- Anonymous. 2019. Sulfosulfuron. In: Pesticide Properties Data Base, University of Hertfordshire. https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/603.htm
5- Asif M., Tanveer A., Safdar M.E., Ali A., and Ahmad S. 2019. Effect of dicamba and adjuvant combination on *Parthenium* control, fodder yield and yield components of forage sorghum (*Sorghum bicolor*). Planta daninha, 37. https://doi.org/10.1590/s01008358201937010003 6
6- Bailey W.A., Poston D.H., Wilson H.P., and Hines T.E. 2002. Glyphosate interactions with manganese. Weed Technology 16(4): 792–799.
7- Bernards M.L., Thelen K.D., and Penner D. 2005. Glyphosate efficacy is antagonized by manganese. Weed Technology 19(1): 27–34.
8- Devkota P., Spaunhorst D.J., and Johnson W.G. 2016a. Influence of carrier water pH, hardness, foliar fertilizer, and ammonium sulfate on mesotrione efficacy. Weed Technology 30(3): 617–628.
9- Devkota P., Whitford F., and Johnson W.G. 2016b. Influence of spray-solution temperature and holding duration on weed control with premixed glyphosate and dicamba formulation. Weed Technology 30(1): 116–122.
10- Devkota P., and Johnson W.G. 2019. Influence of carrier water pH, foliar fertilizer, and ammonium sulfate on 2,4-D and 2,4-D plus glyphosate efficacy. Weed Technology 33(4): 562–568.
11- El-Metwally I.M., El-Rokiek K.G., Ahmed S.A., El–Desoki E.R., and Abd-Elsamad E.E.H. 2010. Effect of adding urea or ammonium sulphate on some herbicides efficiency in controlling weeds in onion plants. Journal of American Science 6(11): 536–543.
12- Fahl G.M., Kreft L., Altenburger R., Faust M., Boedeker W., and Grimme L.H. 1995. pH-dependent sorption, bioconcentration and algal toxicity of sulfonylurea. Aquatic Toxicology 31(2): 175–187.
13- Green J.M., and Cahill W.R. 2003. Enhancing the biological activity of nicosulfuron with pH adjusters. Weed Technology 17(2): 338–345.
14- Hoffmann W.C., Bagley W.E., Fritz B.K., Lan Y., and Martin D.E. 2008. Effects of water hardness on spray droplet size under aerial application conditions. Applied Engineering in Agriculture 24(1): 11–14.
15- Hajmohammadnia Ghalibaf K., Mathiassen S., Kudsk P., and Hosseini S.A. 2013. Effect of soluble ions in water in spray tank on nicosulfuron performance. Iranian Weed Science Congress 5: 608–611. (In Persian with English abstract)
16- HSDB. 2020. Sulfosulfuron. In: PubChem, CID: 86426. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sulfosulfuron
17- Hsiao A.I., Liu S.H., and Quick W.A. 1996. Effect of ammonium sulfate on the phytotoxicity, foliar uptake, and translocation of imazamethabenz in wild oat. Journal of Plant Growth Regulation 15(3): 115–120.
18- Izadi-Darbandi E., Nessari N., and Azarian F. 2013. Effect of water hardiness on sinosulfuron efficiency for controlling weeds. Iranian Weed Science Congress 5: 714–717. (In Persian with English abstract)
19- Izadi-Darbandi E., Aliverdi A., Anabestani M., and Shamsabadi A. 2019. Adjuvants to improve phenmedipham + desmedipham + ethofumesate efficacy against weeds in sugar beet (*Beta vulgaris*). Planta daninha, 37. https://doi.org/10.1590/s01008358201937010002 1
20- Harker K.N. 1995. Ammonium sulfate effects on the activity of herbicides for selective grass control. Weed Technology 9(2): 260–266.
21- Liu Z.Q. 2004. Bentazone uptake into plant foliage as influenced by surfactants and carrier pH. Australian Journal of Agricultural Research 55(9): 967–971.
22- Mahoney K.J., Nurse R.E., and Sikkema P.H. 2014. The effect of hard water, spray solution storage time, and ammonium sulfate on glyphosate efficacy and yield of glyphosate-resistant corn. Canadian Journal of Plant Science 94(8): 1401–1405.
23- Manuchehri M.R., Dotray P.A., Keeling J.W., Morris T.S., Morgan G.D., and Woodward J.E. 2018. Influence of water quality and ammonium sulfate on glyphosate efficacy. Journal of Experimental Agriculture International 23(5): 1–7.
24- Maschhoff J.R., Hart S.E., and Baldwin J.L. 2000. Effect of ammonium sulfate on the efficacy, absorption, and translocation of glufosinate. Weed Science 48(1): 2–6.
25- Molin W.T., and Hirase K. 2004. Comparison of commercial glyphosate formulations for control of prickly side, purple nutsedge, and sicklepod. Weed Biology and Management 4(3): 136–141.
26- Moridi A., Kerachian R., and Zokaei M. 2017. Assessment of Iran's Water Resources Quality (2004-2014). Iran-Water Resources Research 12(4): 23–35. (In Persian with English abstract)
27- Nalewaja J.D., Woznica Z., and Matysiak R. 1991. 2,4-D Amine antagonism by salts. Weed Technology 5(4): 873–880.

28- Nalewaja J.D., and Matysiak R. 1991. Salt antagonism of glyphosate. Weed Science 39(4): 622–628.
29- Nalewaja J.D., Matysiak R., and Szelenzniak E. 1994. Sethoxydim response to spray carrier chemical properties and environment. Weed Technology 8(3): 591–597.
30- Nandula V.K., Poston D.H., Reddy K.N., and Koger C.H. 2007. Formulation and adjuvant effects on uptake and translocation of clethodim in bermudagrass (*Cynodon dactylon*). Weed science, 55(1):6–11.
31- Nosratti I., Alizade H., and Mashhadi H.R. 2012. Effect of some adjuvants in reducing antagonistim of spray carrier water cations to 2,4-D + MCPA efficacy on licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.). Annals of Biological Research, 3(1):2631–2635.
32- Nurse R.E., Hamill A.S., Kells J.J., and Sikkema P.H. 2008. Annual weed control may be improved when AMS is added to below-label glyphosate doses in glyphosate-tolerant maize (*Zea mays* L.). Crop Protection 27: 452–8.
33- Palma G., Demanet R., Jorquera M., Mora M.L., Briceño G., and Violante A. 2015. Effect of pH on sorption kinetic process of acidic herbicides in a volcanic soil. Journal of Soil Science and Plant Nutrient 15(3). http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000023
34- Patton A.J., Weisenberger D.V., and Johnson W.G. 2016. Divalent cations in spray water influence 2,4-D efficacy on dandelion (*Taraxacum officinale*) and broadleaf plantain (*Plantago major*). Weed Technology 30(2): 431–440.
35- Penner D. 2000. Activator adjuvants. Weed Technology 14(4): 785–791.
36- Ritz C., Baty F., Streibig J.C., and Gerhard D. 2015. Dose-response analysis using R. PLoS One 10(12): e0146021.
37- Ramos M.F.T., Santos R.T.S., Griesang F., Almeida D.P., and Ferreira M.C. 2019. Does the sequence of addition of herbicide and adjuvants to the spray solution influence sicklepod control? Arquivos do Instituto Biológico 86: 1-7.
38- Ramsdale B.K., Messersmith C.G. and Nalewaja J.D. 2003. Spray volume, formulation, ammonium sulfate, and nozzle effects on glyphosate efficacy. Weed Technology 17: 589–598.
39- Roskamp J.M., Turco R.F., Bischoff M., and Johnson W.G. 2013a. The influence of carrier water pH and hardness on saflufenacil efficacy and solubility. Weed Technology 27(3): 527–533.
40- Roskamp J.M., Chahal G.S., and Johnson W.G. 2013b. The effect of cations and ammonium sulfate on the efficacy of dicamba and 2,4-D. Weed Technology 27(1): 72–77.
41- Simarmata M., Taufik M., and Peranginangin Z.Z. 2017. Efficacy of paraquat and glyphosate applied in water solvents from different sources to control weeds in oil palm plantation. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science 12(2): 58–64.
42- Smith A.M., and Born, W.H.V. 1992. Ammonium sulfate increases efficacy of sethoxydim through increased absorption and translocation. Weed Science 40(3): 351–358.
43- Soltani N., Nurse R., Robinson D., and Sikkema P. 2011. Effect of ammonium sulfate and water hardness on glyphosate and glufosinate activity in corn. Canadian Journal of Plant Science 91(6): 1053–1059.
44- Sterling T.M. 1994. Mechanisms of Herbicide absorption across plant membranes and accumulation in plant cells. Weed Science 42(2): 263–276.
45- Thelen K.D., Jackson E.P., and Penner D. 1995. The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. Weed Science 43(4): 541–548.
46- Travlos I., Cheimona N., and Bilalis D. 2017. Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. Agronomy 7(3): 60–69.
47- Wanamarta G., Penner D., and Kells J.J. 1989. The basis of bentazon antagonism on sethoxydim absorption and activity. Weed Science 37(3): 400–404.
48- Zollinger R.K, Howatt K., Bernards M.L., and Young B.G. 2016. Ammonium sulfate and dipotassium phosphate as water conditioning adjuvants. In: Pesticide Formulation and Delivery Systems (ed. Goss G.). 42–51.
49- Zollinger R.K., Nalewaja J.D., Peterson D.E., and Young B.G. 2010. Effect of hard water and ammonium on weak acid herbicide activity. Journal of ASTM International 7(6): 1–10.

Journal of Plant Protection
Vol. 34, No. 3, Fall 2020, P. 373-383

نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۸۳-۳۷۳

The Effect of Sequence and Time Interval of Adding Adjuvant and Sulfosulfuron to Hard Water in the Control of Winter Wild Oat (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana* Durieu.)

A. Aliverdi[1*]- S. Badrkhani[2]- G. Ahmadvand[3]

Received: 29-04-2020
Accepted: 14-07-2020

Introduction: In arid regions such as Iran, water hardness, as a result of existence of calcium- and magnesium-containing minerals, is a serious challenge for irrigation practice. The irrigation systems are often applied to spray herbicides. Therefore, using hard water having high cations for herbicide application is inevitable. Such water can adversely affect the activity of some herbicides particularly weak acid ones. A solution for overcoming this problem is the addition of an adjuvant to the tank. It is well established that the addition of $(NH_4)_2SO_4$ (43) and $C_6H_8O_7$ (45) will efficiently remove the cations of hard water from the spray solution of weak acid herbicides. However, there is no report on whether the efficacy of sulfosulfuron (a weak acid herbicide, pKa = 3.5) is affected by the cations of hard water. Furthermore, it is observed in literature and practice that the addition of herbicide to the tank is immediately done after adding the adjuvant to the tank. Thus, there is no report on whether the sequence and time interval of adding adjuvant and herbicide to hard water could be affected by the efficacy of weak acid herbicide.

Materials and Methods: The seeds of winter wild oat (*Avena sterilis* ssp. *ludoviciana* Durieu.) were primed in the same method which was already described (3). Then, eight seedlings with a 1-cm radicle and 0.5-cm coleoptile were transplanted at a 1-cm depth within each 3-liter pot filled with a 1:1:4 ratio of sand: animal manure: clay loam soil, respectively. The experiment was carried out as a dose-response study in a completely randomized design with three factorial (6×4×7) and four replications. The 1st factor was the dose of sulfosulfuron (0, 1.25, 2.5, 5, 10, and 20 g a.i. ha^{-1}). The 2nd factor included the type of spray carrier (distilled water, hard water containing sodium chloride (NaCl), calcium chloride ($CaCl_2$) and iron chloride ($CaFe_3$) at 600 mg L^{-1}). The 3rd factor was also the sequence and time interval of adding adjuvant and herbicide to the spray carrier (with and without adding 500 mg citric acid (C6H8O7) L^{-1} or 20 g ammonium sulfate ($(NH_4)_2SO_4$) L^{-1} at 30 min before, simultaneous, and 30 min after adding sulfosulfuron to the spray carrier). Five weeks after spraying, the response of individual dry weight of winter wild oat to treatments was analyzed as a nonlinear regression. This was carried out by using a four parametric logistic model (36) to estimate the values of ED_{50} and ED_{90} which are the doses of sulfosulfuron causing a 50 and 90% reduction in the dry weight as compared to the control, respectively.

Results and Discussion: In contrast to ammonium sulfate which was ineffective, the addition of citric acid to distilled water under each sequence and time interval improved the efficacy of sulfosulfuron. Decreasing the pH can permit the weak acidic herbicides to pass through the cuticle and then cell membrane during the ionic trap process. The presence of Na^+, Ca^{++} and Fe^{+++} cations in the spray carrier increased the amount of sulfosulfuron required for 90% reduction in the dry weight of winter wild oat from 9.80 to 27.60, 47.48, and 50.32 g ha^{-1}, respectively. There was no significant difference between the intensity of the incompatibility of Ca^{++} and Fe^{+++} cations. Similar to other weak acid herbicides, sulfosulfuron can also be ionized into anionic (a negatively charged form) and cationic (H^+) fragments under alkaline conditions. The anionic part of sulfosulfuron bonds with the cations in hard water. As a result, a crystalline herbicide-cation salt is formed which is not able to pass through the cuticle due to its low solubility in water. The addition of both adjuvants 30 min after the addition of sulfosulfuron to distilled water containing the cations had no effect on removing the adverse effect of cations on the efficacy of sulfosulfuron. Conversely, adding sulfosulfuron 30 min after the addition of both adjuvants to the distilled water containing the cations provided the best efficacy of sulfosulfuron. When the adjuvants are added to hard water before herbicide, the cations of hard water can receive the cation of H^+ from citric acid or NH_4^+

1- Assistant Professor in Weed Science, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(*- Corresponding Author Email: a.aliverdi@basu.ac.ir)
2- Master of Science in Weed Science, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
3- Associate Professor in Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

from ammonium sulfate. Then, the formation and sediment of the cation-anion salt turns hard water into soft water, having no problem with the efficacy of sulfosulfuron.

Conclusion: The issue of correct sequence for adding adjuvant and herbicide to hard water is important. Lack of knowledge about this issue can lead to not only the lack of weed control but also the imposition of additional costs on the farmer.

Keywords: Spray carrier quality, Hard water cations, Weak acid herbicide