نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۲۸-۲۱

Journal of Plant Protection
Vol. 32, No. 1, Spring 2018, P. 21-28

ارزیابی اختلاط علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون با علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در کنترل علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)

وحید سرابی[1*]- علی قنبری[2]- محمدحسن راشد محصل[3]- مهدی نصیری محلاتی[4]- مهدی راستگو[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۲

چکیده

سولفونیل اوره‌ها علف‌کش‌هایی دومنظوره هستند، ولی خصوصیات باریک برگ‌کشی بیشتری نسبت به پهن برگ‌کشی دارند. از این‌رو، بهتر است این علف‌کش‌ها با دیگر علف‌کش‌های پهن برگ که جایگاه هدف متفاوتی دارند، مخلوط شوند. به منظور ارزیابی اثرات اختلاط علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون با علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در کنترل علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز در مرحله رشدی چهار تا شش برگی کامل، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۰ انجام شد. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت دُز مختلف از علف‌کش‌ها در چهار تکرار به اجرا درآمد. نسبت‌های اختلاط بین دو علف‌کش از ۱۰۰:۰، ۱۲/۵: ۸۷/۵، ۲۵: ۷۵، ۵۰: ۵۰، ۷۵: ۲۵، ۱۲/۵: ۸۷/۵ و ۱۰۰:۰ متغیر بود. نتایج پاسخ به دُز منحنی‌ها در مخلوط علف‌کشی با کاهش ۵۰ و ۹۰ درصدی در وزن خشک علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز در مدل افزایشی دُز مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که اختلاط علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ با علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون نسبت به کاربرد هر یک از علف‌کش‌ها به تنهایی کنترل کمتری را روی علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز در پی دارد، بطوری‌که در اختلاط این دو علف‌کش تمامی مشاهدات صرف‌نظر از سطح پاسخ بیرون از خط آیزوبول قرار گرفتند و هم‌کاهی شدیدی بین دو علف‌کش اختلاط یافته مشاهده شد. از این‌رو، اختلاط علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ با علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون برای کنترل این گونه علف‌هرزی توصیه نمی‌شود، زیرا مقدار علف کش بیشتری را به محیط وارد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره، علف‌کش‌های گروه فنوکسی، علف هرز پهن برگ، مخلوط دوتایی، مدل افزایشی دُز

مقدمه

به جرأت می‌توان علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز[6] را به عنوان یکی از مهمترین علف‌های‌هرز رایج در مزارع ذرت به حساب آورد، چرا که توانایی تولید بذر فراوانی داشته و جمعیت‌های مقاوم به علف کش در آن بسیار مشاهده شده است (۲۹ و ۳۳). مطالعات نشان داده‌اند که سبز شدن همزمان این علف‌هرز با ذرت در تراکم ۵ بوته در متر مربع، می‌تواند عملکرد ذرت را در حدود ۵۰ درصد کاهش دهد (۱۰). علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون یکی از علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره است که برای کنترل علف‌های‌هرز باریک برگ و برخی پهن برگ‌ها نظیر تاج خروس، خرفه[7]، آفتابپرست[8]، شیرتیغی[9]، سلمه تره[10] و پیچک صحرایی[11] در ذرت بکار می‌رود (۲۸). علف کش‌های جدید معرفی شده نظیر نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون ضمن کنترل مناسب برخی از علف‌های‌هرز، قادر به کنترل قابل قبول برخی از علف‌های‌هرز خسارت‌زا در محصول ذرت نیستند و همین موضوع سبب ایجاد خسارت علی‌رغم مصرف علف‌کش مزبور در زراعت ذرت می‌شود (۱). زند و همکاران (۳۱) مشاهده کردند که علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون در دُز ۱۷۵ گرم در هکتار در شرایط کرمانشاه و ورامین وزن خشک علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز را به ترتیب ۶۳/۰۸ و ۷۵/۸۹ درصد نسبت به شاهد کاهش می

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
(*- ایمیل نویسنده مسئول: (Email: Sarabi20@azaruniv.edu
۲، ۳، ۴ و ۵- به ترتیب دانشیار، استاد، استاد و دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

DOI: 10.22067/jpp.v32i1.46418

6- *Amaranthus retroflexus* L.
7- *Portulaca oleracea* L.
8- *Heliotropium europaeum* L.
9- *Sonchus* sp.
10- *Chenopodium album* L.
11- *Convolvulus arvensis* L.

دهد.

از سوی دیگر، با توجه به محدود بودن علف‌کش‌های موجود در کشور برای کنترل علف‌های‌هرز ذرت و به دلیل کاربرد بیش از اندازه علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره به احتمال زیاد در آینده‌ای نزدیک مسأله مقاومت به این گروه علف‌کشی به طور گسترده پیش خواهد آمد. البته راهکارهای متفاوتی برای جلوگیری یا تأخیر تکامل مقاومت به علف‌کش‌ها و کاهش تهدید مقاومت چندگانه در علف‌های‌هرز توصیه شده‌اند که تناوب زراعی، تناوب علف‌کش‌های با نحوه عمل متفاوت، کاربرد روش‌های کنترل مکانیکی و زراعی (در برنامه‌هایی که مدیریت آن به خوبی تدوین شده و قدرت رقابتی محصول در برابر علف‌های‌هرز را بالا می‌برند) و نیز مخلوط علف‌کش‌ها از آن جمله‌اند (۳، ۵ و ۳۰). تحقیقات نشان داده‌اند که علف‌کش‌های تنظیم کننده رشد زمانی‌که با علف‌کش‌های بازدارنده آنزیم ALS مخلوط شوند، موجب کنترل بهتر علف‌های‌هرز پهن برگ می‌شوند (۶، ۱۱، ۱۴، ۱۸ و ۲۲). اختلاط علف‌کش 2,4-DB با اسیفلورفن، بنتازون، کلریموران، لاکتوفن، فومسافن و یا ایمازاکوئین، علف‌هرز نیلوفرپیچ هندی[1]را بهتر از کاربرد خالص آنها کنترل کرد (۲ و ۱۲). ایساکس و همکاران (۱۳) نیز گزارش کردند که اثرات اختلاط علف‌کش‌های هالوسولفورون و توفوردی بر علف‌هرز سلمه تره در مرحله‌ای که گیاهچه‌ها ۷/۵ تا ۹ سانتیمتر ارتفاع داشتند، از نوع هم‌افزایی بوده است. با این حال، برخی از تحقیقات انجام گرفته نشان داده‌اند که صرف‌نظر از نوع گونه و علف‌کش، اثرات هم‌کاهی چندین برابر بیشتر از اثرات هم‌افزایی رخ می‌دهند (۳۲). از این رو، مخلوط علف‌کش‌ها ممکن است همیشه کنترل موثری از علف‌های‌هرز را در پی نداشته باشد و در برخی موارد منجر به کاهش کارایی آنها روی علف‌های‌هرز شود. زمانی‌که پهن برگ‌کش‌ها با باریک برگ‌کش‌های پس‌رویشی نظیر آریل اُکسی فنوکسی پروپیونات‌ها و سیکلوهگزان‌دیون‌ها و یا سولفونیل اوره‌ها و ایمیدازولینون‌ها مخلوط شدند، کنترل باریک برگ‌ها کاهش یافت (۷، ۸، ۹، ۱۹ و ۲۰). هارت و واکس (۸) گزارش کردند که اختلاط علف کش دایکمبا با ایمازتاپیر در مخزن سمپاش، جذب و متعاقباً کارایی آن را روی دم روباهی کبیر[2]، حِلفه[3] و سورگوم دانه‌ای[4] کاهش می‌دهد. همچنین دابلز و کاپوستا (۴) مشاهده کردند هنگامی‌که نیکوسولفورون با آترازین، بنتازون، بروموکسینیل و یا دایکمبا به همراه آترازین در مخزن سمپاش مخلوط می‌شود، کنترل دم روباهی کبیر کاهش می‌یابد.

بر این اساس، تحقیق حاضر با هدف دسترسی به ترکیب مناسبی از اختلاط علف‌کش توفوردی + امسی‌پی‌آ با علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون برای مهار بهتر علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز و مطالعه اثرات افزایشی، هم‌افزایی و یا هم کاهی ناشی از اختلاط علف‌کش‌ها انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات اختلاط علف‌کش نیکوسولفورون + ریم سولفورون (اولتیما، WG ۷۵ درصد، شرکت شیمیایی گل‌سم گرگان، گرگان، ایران) با علف‌کش توفوردی + امسی‌پی‌آ (یو-۴۶ کمبی فلوئید، SL ۶۷/۵ درصد، شرکت شیمیایی زی‌جیانگ، هانگ‌زو، چین) در کنترل علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت دُز مختلف از علف‌کش‌ها و در چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۰ انجام شد. پس از خواب‌شکنی با قرارگیری به مدت ۲ دقیقه در اسید سولفوریک غلیظ (۹۸ درصد)، بذور تاج خروس ریشه قرمز در سینی‌های ۲۰۰ سلولی پر شده با پیت‌ماس کاشته شدند. گیاهچه‌ها پس از سبز شدن در سینی‌های کشت و رسیدن به مرحله دو برگی حقیقی به گلدان‌های یک لیتری منتقل شدند. دمای گلخانه در این آزمایش ۲۰ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شب و میزان روشنایی در طول شبانه‌روز ۱۴ ساعت در نظر گرفته شد. پس از رسیدن گیاهچه‌ها به مرحله دو برگی کامل، گیاهچه‌های اضافی تنک شده و در هر گلدان ۳ عدد از آنها نگهداری شد. خاک مورد استفاده در این آزمایش از یک سوم خاکبرگ، یک سوم ماسه و یک سوم خاک معمولی تشکیل شده بود. رطوبت خاک گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی و نزدیک به آن حفظ شد و گلدان‌ها هر دو روز یکبار آبیاری شدند. علف‌های‌هرز در مرحله ۴ تا ۶ برگی کامل بوسیله سمپاش ریلی با خروجی ۲۰۰ لیتر در هکتار و با فشار پاشش ۳۰۰ کیلوپاسکال و مجهز به نازل بادبزنی یکنواخت (۸۰۰۲) سمپاشی شدند. قبل از آزمایشات اختلاط و در قالب آزمایشات پیش تیمار، مقدار دُز لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز در مورد علف‌کش توفوردی + امسی‌پی‌آ با کاربرد دُزهای ۲۰/۲۵، ۵۰/۶۲۵، ۱۰۱/۲۵، ۲۰۲/۵، ۴۰۵، ۶۰۷/۵، ۸۱۰ و ۱۰۱۲/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار و در مورد علف‌کش نیکوسولفورون + ریم سولفورون با کاربرد دُزهای ۱۸/۷۵، ۳۷/۵، ۵۶/۲۵، ۷۵، ۹۳/۷۵، ۱۱۲/۵ و ۱۳۱/۲۵ گرم ماده مؤثره در هکتار بدست آمد که نتایج آن در مطالعات سرابی و همکاران (۲۴) به چاپ رسیده است، بطوری‌که مقدار دُز لازم از علف‌کش‌های توفوردی + امسی‌پی‌آ و نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون در کاربرد خالص برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز به ترتیب برابر با ۵۵/۹۸ و ۲۲/۳۳ گرم ماده مؤثره در هکتار بود. بر این اساس، تیمارهای اختلاط

1- *Ipomoea hederacea* var. *integriuscula*
2- *Setaria feberi* Herrm.
3- *Imperata cylindrica* (L.) Beauv.
4- *Sorghum bicolor* (L.) Moench

علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ با علف‌کش نیکوسولفورون + ریم سولفورون در نظر گرفته شدند. نسبت بین علف‌کش‌ها از ۱۰۰:۰، ۱۲/۵: ۸۷/۵، ۲۵: ۷۵، ۵۰: ۵۰، ۷۵: ۲۵، ۸۷/۵: ۱۲/۵ و ۱۰۰:۰ متغیر بود. هفت دُز برای هر نسبت اختلاط در نظر گرفته شد و هر دُز شامل چهار تکرار بود که دُزهای بدست آمده برای هر نسبت اختلاط در جدول ۱ آمده است. منحنی‌های دُز-پاسخ برای هر نسبت اختلاط با توجه به تخمین نه چندان دقیق پارامترها و ردّ آزمون عدم برازش مدل چهار پارامتره، با مدل ۳ پارامتری گامپرتز (معادله ۱) بنابر جمع مربعات باقیمانده کمتر (RSS[1]) نسبت به مدل سه پارامتره لُجستیک در بسته drc و با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۲۰۱۰ رسم شدند (۲۷):

معادله (۱) $$f(x,(b,d,e)) = \frac{d}{1+\exp\{b(\log(x)-\log(e))\}}$$

که در آن d، حد بالای منحنی پاسخ وزن خشک به علف‌کش در دُز صفر از علف‌کش خالص یا اختلاط مورد نظر، b شیب نسبی در محدوده e و e پارامتری است که ED_{50} را بیان کرده و مقدار علف کشی است که نصف پاسخ بین حد مجانب بالا (d) و پایین (صفر) را ایجاد کند. پارامتر ED_{50} می‌تواند بوسیله هر ED_x دیگری جایگزین شود، بطوری‌که مدل سه پارامتری انتخاب شده برای تخمین مقدار علف‌کش مورد نیاز برای بدست آوردن کاهش ۵۰ و ۹۰ درصدی (ED_{50} و ED_{90}) وزن خشک علف‌هرز نسبت به تیمار شاهد مورد استفاده قرار گرفت. صحت و دقت مدل و منحنی برازش داده شده با آزمون عدم برازش[2] مورد ارزیابی قرار گرفته و با استفاده از نمودار باقیمانده‌ها یکنواختی و عدم یکنواختی واریانس بررسی شد (۲۳). همچنین تبدیل دو طرفه‌ای (Box-Cox) برای یکنواختی واریانس در مواردی‌که مورد نیاز بود، انجام شد. دُز ED_{50} و ED_{90} پیش‌بینی شده مخلوط مطابق با مدل ADM[3] (برای مثال ED_{50mix}) می‌تواند به آسانی بر پایه ED_{50} دُز علف‌کش‌های بکار رفته به تنهایی و نسبت علف‌کش‌ها در مخلوط محاسبه شود:

معادله (۲) $$ED_{50mix} = \frac{ED_{50A}}{(\alpha+(1-\alpha)R)}$$

که در آن ED_{50A}، دُز ED_{50} علف‌کش A، α نسبت علف‌کش A در مخلوط و R پتانسیل نسبی بین علف‌کش‌های A و B است که نرخ بیولوژیکی بین علف‌کش‌ها را زمانی‌که به تنهایی بکار برده شوند، بیان می‌کند (۲۶). شکل آیزوبول مدل ADM با مشخص کردن ED_{50} یا ED_{90} دُز هر یک از علف‌کش‌ها در مخلوط، روی محورهای x و y و وصل کردن یک خط راست بین آنها رسم شد، بطوری‌که خط راست پاسخ پیش‌بینی شده شکل آیزوبول مدل ADM را نشان می‌دهد. دُزهای ED_{50} و ED_{90} مشاهده‌ای نیز روی شکل کشیده شده و با شکل آیزوبول مدل ADM مقایسه شدند. همچنین ارزیابی شد که آیا ED_{50} یا ED_{90} تخمین زده شده در مخلوط علف‌کش‌ها در ۹۵ درصد فاصله اطمینان از ED_{50} یا ED_{90} پیش‌بینی شده قرار دارد یا خیر؛ بطوری‌که اگر انحراف معنی‌دار ED_{50} یا ED_{90} تخمین زده شده از ED_{50} یا ED_{90} پیش‌بینی شده، بالاتر از خط آیزوبول قرار گیرد، اثر هم‌کاهی را نشان خواهد داد و اگر این انحراف معنی‌دار، پایین‌تر از خط آیزوبول قرار گیرد، اثر هم‌افزایی را نشان خواهد داد و چنانچه بر روی خط آیزوبول قرار گیرد، نشان‌دهنده اثرات افزایشی خواهد بود.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از منحنی‌های دُز- پاسخ (شکل ۱)، تأثیر اختلاط علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ با علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون در تمامی نسبت‌های اختلاط بر علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز بدتر از کاربرد خالص هر یک از علف‌کش‌ها بود. بر این اساس، کاربرد ۶۰/۷۹ و ۶۳۹/۵۹ گرم ماده مؤثره در هکتار از علف کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ و ۹/۹۰ و ۱۰۴/۱۲ گرم ماده مؤثره در هکتار از علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون به ترتیب موجب کاهش ۵۰ و ۹۰ درصدی وزن خشک علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز در نسبت اختلاط ۱۲/۵: ۸۷/۵ شد، درحالی‌که برای کاهش ۵۰ و ۹۰ درصدی وزن خشک این علف‌هرز به ۵۵/۹۸ و ۳۷۵/۲۶ گرم ماده مؤثره در هکتار از تیمار خالص علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ نیاز بود. در نسبت اختلاط ۲۵: ۷۵ برای کاهش ۹۰ درصدی وزن خشک تاج خروس ریشه قرمز به کاربرد ۷۲۲/۲۷ گرم ماده مؤثره از علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ و ۲۸۰/۸۸ گرم ماده مؤثره در هکتار از علف کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون نیاز بود که مقدار کاربرد علف-کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ نسبت به اختلاط ۱۲/۵: ۸۷/۵ بیشتر بوده و تأثیر بدتری نیز داشته است. در نسبت‌های اختلاط ۵۰: ۵۰، ۷۵: ۲۵ و ۸۷/۵: ۱۲/۵ علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ با علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون نیز با وجودیکه مقدار دُز مورد نیاز علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ برای کاهش ۹۰ درصدی وزن خشک علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز کاهش یافته است، ولی مقدار دُز مورد نیاز علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون به یکباره افزایش نشان داده است، بطوری‌که در این نسبت‌های اختلاط به ترتیب به ۶۴۹/۷۲، ۹۲۹/۷۱ و ۱۴۱۰/۰۲ گرم ماده مؤثره در هکتار از این علف کش نیاز بوده است که نشان‌دهنده اثرات تداخلی بیشتر از سوی علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ روی علف‌کش نیکوسولفورون + ریم سولفورون است (جدول ۲).

1- Residual Sum of Squares
2- Lack-of-fit test
3 Additive Dose Model (ADM)

جدول ۱- تیمارهای علف‌کشی با نسبت‌های مختلف اختلاط بر علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز بر حسب گرم مادهٔ مؤثره در هکتار طی آزمایش‌های گلخانه‌ای

Table 1- Herbicide treatments based on g a.i./ha in various fixed-ratio binary mixtures on redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L) at the greenhouse studies

علف‌کش Herbicide	نسبت‌های اختلاط Mixture ratios						
	(۱۰۰:۰) (100:0)	(۸۷/۵ : ۱۲/۵) (87.5:12.5)	(۷۵ : ۲۵) (75:25)	(۵۰ : ۵۰) (50:50)	(۲۵ : ۷۵) (25:75)	(۱۲/۵ : ۸۷/۵) (12.5:87.5)	(۰:۱۰۰) (0:100)
	دُزهای هر علف‌کش در مخلوط (گرم مادهٔ مؤثره در هکتار) Herbicide doses in mixture (g a.i. ha^{-1})						
توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ + نیکوسولفورون+ریم‌سولفورون 2,4-D+MCPA + nicosulfuron+rimsulfuron	50.625	129.58	111.97	76.47	38.80	20.14	0
	+0	+21.09	+43.54	+89.77	+137.58	+162.95	+18.75
″	101.25	259.15	223.95	152.95	77.61	40.28	0
	+0	+42.19	+87.09	+179.55	+275.17	+325.90	+37.5
″	202.5	388.74	335.92	229.43	116.42	60.42	0
	+0	+63.28	+130.64	+269.33	+412.75	+488.85	+56.25
″	405	518.32	447.90	305.9	155.22	80.56	0
	+0	+84.38	+174.18	+359.1	+550.34	+651.80	+75
″	607.5	647.91	559.87	382.37	194.03	100.70	0
	+0	+105.47	+217.73	+448.87	+687.92	+814.75	+93.75
″	810	777.49	671.85	458.85	232.83	120.84	0
	+0	+126.56	+261.27	+538.65	+825.50	+977.70	+112.5
″	1012.5	907.03	783.87	535.34	271.64	140.98	0
	+0	+147.65	+304.83	+628.45	+963.11	+1140.66	+131.25

جدول ۲- مقادیر دُز مؤثر مورد نیاز علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون در اختلاط با علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در نسبت‌های مختلف برای بدست آوردن کاهش ۵۰ و ۹۰ درصدی در وزن خشک علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز در مرحله چهار تا شش برگی کامل

Table 2- Doses required of nicosulfuron plus rimsulfuron in mixture with 2,4-D plus MCPA in various fixed-ratio binary mixtures for 50 and 90% reduction in redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) aboveground dry matter at four-to six-true leaf stage

علف‌کش Herbicide	نسبت اختلاط Mixture ratio	دُز مؤثر (گرم مادهٔ مؤثره در هکتار) Effective dose (g a.i. ha^{-1})	
		ED_{50}	ED_{90}
توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ 2,4-D + MCPA	100:0	55.98 (10.02)	375.26 (82.04)
نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون + توفوردی + امسی‌پی‌آ 2,4-D + MCPA plus nicosulfuron + rimsulfuron	87.5:12.5	60.79+9.90 (20.18+3.28)†	639.59+104.12 (74.67+12.16)
〃	75:25	57.40+22.32 (19.55+7.61)	722.28+280.88 (98.81+38.42)
〃	50:50	43.06+50.55 (13.76+16.16)	553.46+649.72 (85.98+100.94)
〃	25:75	20.72+73.47 (6.52+23.11)	262.23+929.71 (44.20+156.72)
〃	12.5:87.5	12.25+99.15 (3.81+30.85)	174.27+1410.02 (33.82+273.66)
نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون Nicosulfuron + rimsulfuron	0:100	22.33 (6.70)	266.94 (99.01)

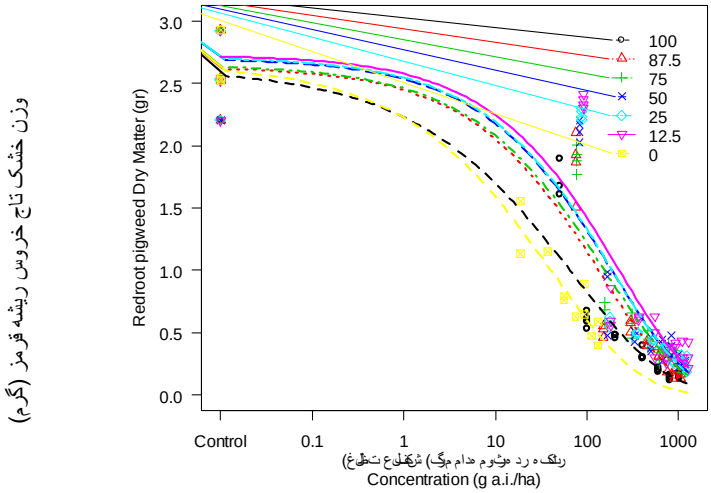
† خطاهای استاندارد در داخل پرانتز گزارش شده‌اند

† Standard errors are in parentheses

بر اساس نتایج این تحقیق، در اختلاط علف‌کش توفوردی + ام سی‌پی‌آ با علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون، تمامی مشاهدات در سطوح پاسخ ED_{50} و ED_{90} بیرون از خط آیزوبول قرار گرفتند و اختلاط‌های انجام گرفته کمتر از حد انتظار مطابق با ADM فعال و مؤثر بودند. سه تا از ۵ نسبت اختلاط در سطح پاسخ ED_{50} و تمامی ۵ نسبت اختلاط در سطح پاسخ ED_{90} به طور معنی‌داری بالاتر از ED_{50} و ED_{90} دُز پیش‌بینی شده مورد انتظار مطابق با ADM قرار گرفتند و تنها دو تا از اختلاط‌ها (نسبت‌های اختلاط ۱۲/۵: ۸۷/۵ و ۷۵:۲۵) در سطح پاسخ ED_{50} بر اساس ۹۵ درصد فاصله اطمینان جانبی انحراف معنی‌داری از خط ADM نداشتند. با این حال، اگر دو تا از نسبت‌های اختلاط نیز از دیگر اختلاط‌ها متمایز باشند، می‌توان نتیجه گرفت که اختلاط توفوردی + امسی‌پی‌آ با علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون از ADM پیروی نکرده است. این امر نشان می‌دهد که صرف‌نظر از سطوح پاسخ، در اختلاط علف‌کش توفوردی + امسی‌پی‌آ با علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون هم‌کاهی شدیدی بین دو علف‌کش ایجاد می‌شود (شکل ۲). برخی از محققین گزارش کرده‌اند که اختلاط آترازین با علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره موجب حالت هم‌کاهی می‌شود (۴ و ۷). هارت و پنر (۷) گزارش کردند که این حالت هم‌کاهی به خاطر کاهش انتقال علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره در دم روباهی کبیر بوده و هیچ اثری روی جذب یا متابولیسم آن ندارد. در مقابل، نتایج دیگر محققین نیز نشان داده است که جذب علف‌کش نیکوسولفورون و ریم-سولفورون در دم روباهی سبز و دم روباهی زرد زمانی‌که این علف-کش‌ها با مزوتریون و یا مزوتریون به همراه آترازین بکار روند، کاهش می‌یابد (۲۵).

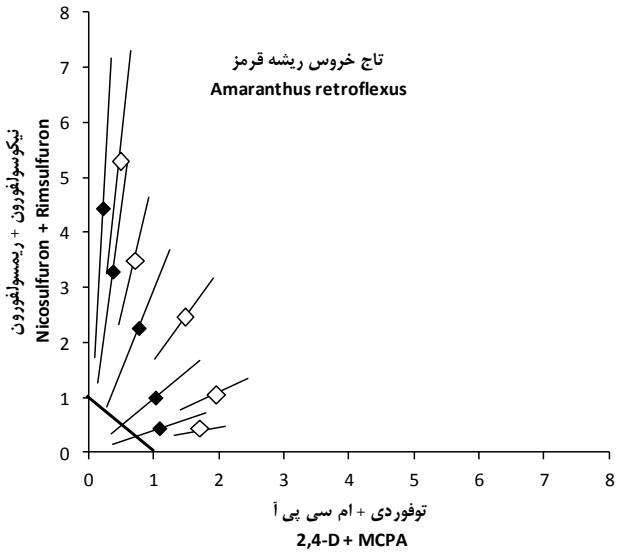
اجزاء و نوع فرمولاسیون علف‌کش‌ها در مخلوط علف‌کشی می تواند منجر به افزایش یا کاهش کارایی علف‌کش‌ها نسبت به مقدار پیش‌بینی شده مطابق با خط آیزوبول و ADM شود (۱۶). نوع فرمولاسیون می‌تواند نقش محوری را در جذب ماده فعال علف‌کش به گیاه بازی کند و به نظر می‌رسد که نوع فرمولاسیون در یک علف کش می‌تواند روی جذب ماده فعال دیگر فرمولاسیون در مخلوط علف‌کشی نیز تأثیر بسزایی داشته باشد (۱۶). احتمال می‌رود بخشی از اثرات کمتر علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون روی علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز به دلیل فرمولاسیون این علف‌کش باشد که به صورت گرانول‌های پخش شونده در آب بوده و با تأثیر علف‌کش توفوردی + امسی‌پی‌آ در اختلاط پذیری و حلالیت آن، از میزان جذب و اثرگذاری آن کاسته شده است که این تأثیر در اختلاط‌هایی که نسبت علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون در آنها بیشتر بوده، نمود بیشتری داشته است. نالواجا و ماتیسیاک (۲۱) گزارش کردند که برخی از فرمولاسیون‌های نمکی علف‌کش توفوردی در اختلاط با علف‌کش گلایفوسیت بیشتر از دیگر فرمولاسیون‌ها حالت هم‌کاهی نشان می‌دهند. همچنین کودسک و ماتیاسن (۱۵) بیان داشتند که فعالیت شاخ و برگی علف‌کش ایمازامتابنز-متیل در علف‌هرز یولاف وحشی[1] زمانی‌که با فرمولاسیون نمک امسی‌پی‌آ، مکوپروپ و یا فرمولاسیون نمک یا اِستر بروموکسینیل و بنتازون مخلوط شود، کاهش می‌یابد.

1- *Avena fatua* L.



شکل ۱- منحنی‌های پاسخ وزن خشک علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز به دُزهای علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ و علف‌کش نیکوسولفورون + ریمسولفورون در کاربرد خالص و اختلاط با نسبت‌های مختلف در مرحله چهار تا شش برگی کامل. نسبت‌های اختلاط بر اساس نسبت علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ در مخلوط نشان داده شده‌اند

Figure 1- Dose-response curves of 2,4-D + MCPA and nicosulfuron + rimsulfuron applied alone or in different mixture ratios on redroot pigweed at the four- to six-true leaf stage. Mixture ratios has been shown based on 2,4-D + MCPA ratio in mixture



شکل ۲- آیزوبول و اطلاعات مربوط به اختلاط علف‌کش توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ و علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون در سطوح پاسخ ED_{50} (◆) و ED_{90} (◇) روی علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز. تمامی تیمارها در نسبت‌های اختلاط با بکار بردن فرمولاسیون تجاری علف‌کش‌ها انجام شده‌اند. میله‌ها (بارها) فاصله اطمینان ۹۵ درصدی برای دُزهای ED_{50} و ED_{90} تخمینی را نشان می‌دهند. دُزها روی محورهای x و y استاندارد شده اند، بطوری‌که دُز ED_{50} و ED_{90} علف‌کش‌های بکار رفته به صورت خالص روی ۱ ثابت شده است

Figure 2- Isoboles and data for fixed-ratio binary mixtures of 2,4-D + MCPA with nicosulfuron + rimsulfuron at the ED_{50} (◆) and ED_{90} (◇) response levels. All treatment in mixture ratios were done with commercial formulations using redroot pigweed as test plant. Bars indicate 95% confidence intervals for the estimated ED_{50} and ED_{90} doses. The doses have been scaled, so that the doses of the herbicides applied separately are 1.0

در آزمایشی دیگر، ماتیاسن و کودسک (۱۷) در کاربرد شاخ و برگی مخلوط کلروسولفورون یا مت‌سولفورون و امسی‌پی‌آ به صورت نمک دی‌متیل آمین هم‌کاهی شدیدی را در سطوح پاسخ ED_{50} و ED_{90} گزارش کردند.

حضور دُز مؤثر علف‌کش‌ها در جایگاه هدف بسیار مهم است. به دلیل رقابت و تداخل علف‌کش‌ها در جذب و انتقال، به نظر می‌رسد هیچ یک از علف‌کش‌ها نتوانسته‌اند در دُز مؤثر به جایگاه هدف انتقال یابند. از سوی دیگر، در اثر کاهش جذب و انتقال به جایگاه هدف، گیاهرز در غلظت‌های کمتر علف‌کشی فرصت داشته تا مولکول‌های علف‌کش را متابوله کند و در کاربرد غلظت‌های بیشتر علف‌کشی نیز به مدت زمان زیادی نیاز بوده تا علف‌کش‌ها بتوانند در غلظت مؤثر به جایگاه هدف رسیده و علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز را کنترل کنند. از این‌رو، وزن خشک این علف‌هرز در تیمارهای اختلاط در مقایسه با تیمار خالص علف‌کش‌ها کاهش کمی داشته است. به عبارت دیگر، در تیمارهای اختلاط در مقایسه با کاربرد خالص هر یک از علف‌کش‌ها به مقدار دُز بیشتری نیاز بوده است.

به طور کلی، علف‌کش نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون در اختلاط با علف‌کش توفوردی + امسی‌پی‌آ تأثیر کمتری نسبت به تیمار خالص هر یک از علف‌کش‌ها روی علف‌هرز تاج خروس ریشه قرمز داشت، بطوری‌که حتی کاهش ۹۰ درصدی در وزن خشک این علف‌هرز در دُزهای بالاتر از دُز توصیه شده علف‌کش نیکوسولفورن + ریم سولفورون بدست آمد. کارایی کاهش یافته این اختلاط می‌تواند به سبب ناسازگاری فیزیکوشیمیایی یا عدم سازگاری بیولوژیکی باشد، بطوری‌که نوع فرمولاسیون و طریقه عمل هر یک از علف‌کش‌ها موجب محدودیت جذب و انتقال علف‌کش دیگر شده است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و مسئولین گلخانه تحقیقاتی آن دانشکده در ازای فراهم نمودن تسهیلات و امکانات آزمایشی مورد لزوم در این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Baghestani M.A., Zand E., Pourazar R., Esfandiari H., and Mamnouie A. 2009. Effect of various herbicides in corn fields. Iranian Research Institute of Plant Protection. (In Persian with English abstract)
2- Barker M.A., Thompson L., Jr., and Godley F.M. 1984. Control of annual morningglory (*Ipomoea* spp.) in soybeans (*Glycine max*). Weed Science, 32:813–818.
3- Cavan G., Cussans J., and Moss S.R. 2000. Modelling different cultivation and herbicide strategies for their effect on herbicide resistance in Alopecurus myosuroides. Weed Research, 40:561–568.
4- Dobbels A.F., and Kapusta G. 1993. Post-emergence weed control in corn (*Zea mays*) with nicosulfuron combinations. Weed Technology, 7:844–850.
5- Gressel J. 1990. Synergizing herbicides: Review. Weed Science, 5:49–82.
6- Hart S.E. 1997. Interacting effects of MON 12000 and CGA-152005 with other herbicides in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). Weed Science, 45:434–438.
7- Hart S.E., and Penner D. 1993. Atrazine reduces primisulfuron transport to meristems of giant foxtail (*Setaria faberi*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). Weed Science, 41:28–33.
8- Hart S.E., and Wax L.M. 1996. Dicamba antagonizes grass weed control with imazethapyr by reducing foliar absorption. Weed Technology, 10:828–834.
9- Hart S.E., Kells J.J., and Penner D. 1992. Influence of adjuvants on the efficacy, absorption, and spray retention of primisulfuron. Weed Technology, 6:592–598.
10- Hartley M.J., and Popay A.J. 1992. Yield losses due to weeds in sugarbeet, corn and dwarf beans. p. 52-54. Proceedings of the 45th Newzeland plant protection conference, 11-13 Aug. 1992. Wellingto, Newzeland.
11- Himmelstein F.J., and Durgy R.J. 1996. Common ragweed control in field corn with postemergence herbicides. Proceedings, Northeastern Weed Science Society, 50: 161.
12- Hope J.H. 1986. Performance of combinations of 2,4-DB with new postemergence broadleaf and grass herbicides in soybeans. Proceedings, Southern Weed Science Society, 39: 84–85.
13- Isaacs M.A., Hatzios K.K., Wilson H.P., and Toler J. 2006. Halosulfuron and 2,4-D Mixtures' Effects on Common lambsquarter's (*Chenopodium album*). Weed Technology, 20:137–142.
14- Kalnay P.A., Glenn S., and Phillips II. W.H. 1995. Hemp dogbane and lambsquarters control in no-till corn with MON 12037 tank mixtures. Proceedings, Northeastern Weed Science Society, 49: 38.
15- Kudsk P., and Mathiassen S.K. 1994. Effect of broadleaf herbicides on imazamethabenz-methyl performance on wild oat (*Avena fatua* L.). Weed Research, 34:251-263.
16- Kudsk P., and Mathiassen S.K. 2004. Joint action of amino acid biosynthesis-inhibiting herbicides. Weed Research, 44:313–322.

17- Mathiassen S.K., and Kudsk P. 1993. Joint action of sulfonylurea herbicides and MCPA. Weed Research, 33:441-447.
18- Menbere H., and Ritter R.L. 1995. Postemergence control of triazine-resistant common lambsquarters in no-till corn. Proceedings, Northeastern Weed Science Society, 49: 92.
19- Mueller T.C., Witt W.W., and Barrett M. 1989. Antagonism of johnsongrass (*Sorghum halepense*) control with fenoxaprop, haloxyfop, and sethoxydim by 2,4-D. Weed Technology, 3:86–89.
20- Myers P.F., and Coble H.D. 1992. Antagonism of graminicide activity on annual grass species by imazethapyr. Weed Technology, 6:333–338.
21- Nalewaja J.D., and Matysiak R. 1992. 2,4-D and salt combinations affect glyphosate phytotoxicity. Weed Technology, 6:322-327.
22- Parks R.J., Curran W.S., Roth G.W., Hartwig N.L., and Calvin D.D. 1995. Common lambsquarters (*Common lambsquarters*) control in corn with postemergence herbicides and cultivation. Weed Technology, 9:728–735.
23- Ritz C., and Streibig J.C. 2005. Bioassay analysis using R. Journal of Statistical Software, 12 (5):1–22.
24- Sarabi V., Ghanbari A., Rashed Mohassel M.H., Nassiri Mahallati M., and Rastgoo M. 2014. Evaluation of broadleaf weeds control with some post-emergence herbicides in maize (*Zea mays* L.) in Iran. International Journal of Plant Production 8 (1):19-32.
25- Schuster C.L., Al-Khatib K., and Dille J.A. 2007. Mechanism of antagonism of mesotrione on sulfonylurea herbicides. Weed Science, 55:429–434.
26- Streibig J.C., Kudsk P., and Jensen J.E. 1998. A general joint action model for herbicide mixtures. Pesticide Science, 53:21-28.
27- Streibig J.C., Rudemo M., and Jensen J.E. 1993. Dose-response models. p. 29-55. In J.C. Streibig, and P. Kudsk (eds.) Herbicide Bioassay. CRC Press, Boca Raton, FL.
28- Vencill W. 2002. Herbicide Handbook. 8th ed. Weed Science Society of America, Lawrence, KS.
29- Weaver S.E. 1983. Pigweed *(Redroot, Green and Smooth).* Factsheet ND: AGDEX 642. Ministry of Agriculture and food, Ontario, Canada.
30- Wrubel R.P., and Gressel J. 1994. Are mixtures useful for delaying the rapid evolution of resistance? A case study. Weed Technology, 8:635-648.
31- Zand E., Baghestani M.A., Pourazar R., Sabeti P., Gezeli F., Khayyami M.M., and Razzazi A. 2009. Efficacy evaluation of ultima (nicosulfuron + rimsulfuron), lumax (mesotrione + S metolachlor + terbuthylazine) and amicarbazone in comparison with current herbicides to control of weeds in corn. Journal of Plant Protection 23, 42-55. (In Persian with English abstract)
32- Zhang J., Hamill A.S., and Weaver S.E. 1995. Antagonism and synergism between herbicides: trends from previous studies. Weed Technology, 9:86–90.
33- Zimdahl R.L. 1993. Fundamentals of Weed Science. Academic Press, INC.