نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۹۸
۲۵-۴۰
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.15099.2128

ارزیابی تأثیر اختلاط توفوردی و سولفوسولفورون برگندم و علف‌های‌هرز خردل‌وحشی (*Sinapis arvensis* L.) و شبدرشیرین (*Melilotus officinalis* L.) با استفاده از منحنی‌های هم‌اثر

سحر آخوندی[۱]، جاوید قرخلو[۲*]، ناصر یاقرانی[۳]، افشین سلطانی[۴]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۲]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۳]استادیار بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
[۴]استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۶

چکیده

سابقه و هدف: کاربرد علف‌کش‌ها برای کنترل علف‌های‌هرز در کشاورزی و بالا بردن تولید محصولات زراعی از نظر کمی و کیفی اجتناب ناپذیر است. از طرف دیگر، در کاربرد علف‌کش‌ها مسئله مقاومت علف‌های‌هرز به علف‌کش‌ها بایستی مورد توجه قرار گیرد. اختلاط علف‌کش‌ها باعث افزایش کارایی علف‌کش‌ها و کنترل بهتر و مؤثرتر علف‌های‌هرز شده و می‌تواند منجر به تأخیر در بروز مقاومت علف‌های هرز به علف‌کش‌ها شود. پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی اختلاط سولفوسولفورون و توفوردی و میزان گیاه‌سوزی گندم در اثر این اختلاط انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر اختلاط دو علف‌کش توفوردی و سولفوسولفورون بر گندم و نیز علف‌های‌هرز خردل-وحشی و شبدرشیرین آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پاییز سال ۱۳۹۴ در گلخانه پردیس دانشگاه علوم‌کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان اجرا شد. در این پژوهش از دو علف‌کش رایج در مزارع گندم استان گلستان شامل: علف‌کش دومنظوره سولفوسولفورون (آپیروس) و علف‌کش پهن‌برگ‌کش توفوردی استفاده شد. علف‌کش‌ها به میزان صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۲ برابر دز توصیه شده، ۲۰۰۰ گرم ماده مؤثره توفوردی و ۲۶/۶ گرم ماده مؤثره سولفوسولفورون با پنج نسبت اختلاط (۰:۱۰۰)، (۲۵:۷۵)، (۵۰:۵۰)، (۷۵:۲۵) و (۱۰۰:۰) به‌کار برده شدند. تابع لوگ-لجستیک برای برازش داده‌های مربوط به پاسخ وزن خشک گیاهان در مقابل دزهای مختلف علف‌کش‌ها برای هر نسبت اختلاط استفاده و مقادیر علف‌کش مورد نیاز برای ۵۰ درصد بازدارندگی رشد گیاهان (GR_{50}) برآورد گردید. سپس از منحنی‌های هم‌اثر و مدل‌های اختلاط برای تعیین اثر اختلاط علف‌کش‌های سولفوسولفورون و توفوردی استفاده شد.

یافته‌ها: تعداد بوته‌های زنده‌مانده شبدرشیرین و خردل‌وحشی (نسبت به شاهد) در اثر افزایش دز مصرف علف‌کش‌های توفوردی و سولفوسولفورون و نسبت‌های مختلف اختلاط آن‌ها کاهش یافت، در دزهای بالا تمام بوته‌های علف‌هرز از بین رفتند. اختلاط علف‌کش‌های توفوردی و سولفوسولفورون روی وزن خشک علف‌های‌هرز خردل‌وحشی و شبدرشیرین اثر گذاشت. مقدار علف‌کش‌های توفوردی و سولفوسولفورون لازم برای ۵۰ درصد کاهش وزن خشک علف‌های‌هرز خردل‌وحشی

*مسئول مکاتبه: Gherekhloo@yahoo.com

به‌ترتیب ۰/۶۳۹ و ۰/۹۰۶برابر دز توصیه‌شده برآورد شد، این مقادیر برای شبدرشیرین به‌ترتیب ۱/۰۴۳ و ۱/۰۶۳ درصد دز توصیه‌شده علف‌کش‌های یاد شده بود. هم‌چنین مقایسه میانگین وزن‌خشک بوته‌های گندم نشان داد هیچ تفاوت معنی‌داری بین وزن‌خشک بوته‌ها هنگام استفاده از سولفوسولفورون به‌صورت خالص وجود نداشت، بنابراین علف‌کش سولفوسولفورون تأثیری در کاهش وزن گندم ندارد.

نتیجه‌گیری: نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر بیانگر آن است که اختلاط دو علف‌کش مورد مطالعه باعث کاهش کارایی سولفوسولفورون شد. همچنین اختلاط دو علف‌کش سولفوسولفورون و توفوردی در دز توصیه‌شده تأثیر معنی‌داری روی وزن خشک گندم نداشت.

واژه‌های کلیدی: تابع لوگ، لجستیک، دز، پاسخ، علف‌کش، وزن خشک.

مقدمه

گندم به‌عنوان مهم‌ترین محصول زراعی ایران و جهان همواره در رتبه اول تولید و مورد توجه بشر و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی می‌باشد. بنابراین تلاش برای افزایش تولیدات کشاورزی با بهره‌گیری از روش‌های نوین از جمله مدیریت صحیح علف‌های هرز، از اهمیت خاصی برخوردار است (۴). علف‌های‌هرز با رقابت بر سر منابع غذایی و آب، مانع از دسترسی مطلوب گیاه زراعی به این منابع شده و در نتیجه باعث کاهش تولید و افزایش هزینه آن می‌شود. عملیات وجین و کنترل مکانیکی علف‌های-هرز در مزارع گندم کارایی کافی را برای کنترل علف-های‌هرز ندارد، لذا کاربرد علف‌کش در این محصول برای بالا بردن عملکرد اجتناب ناپذیر است (۲۱). عدم وجود تنوع در نحوه‌ی عمل علف‌کش‌ها، کشاورزان را وادار به استفاده از علف‌کش‌هایی بانحوه‌ی عمل یکسان نموده است.کاربرد هم‌زمان پهن‌برگ‌کش‌ها و باریک‌برگ‌کش‌ها همواره به‌منظور کاهش دفعات سم‌پاشی مدنظر کشاورزان بوده است (۱۱). تولید علف‌کش‌های جدید و سوق‌دادن تحقیقات در جهت استفاده حداقل از مواد شیمیایی با کاربرد علف‌کش‌های قوی و مؤثر با دز مصرفی کمتر و هم‌چنین کاربرد آن‌ها به‌صورت اختلاط به‌منظور کاهش بیوتیپ‌های مقاوم، با هدف اثرات کمتر بر محیط‌زیست و کنترل توأم علف‌های‌هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ با یک‌بار سم‌پاشی و کاهش هزینه‌ها مدنظر است (۱۷).

اختلاط علف‌کش‌ها بازدهی و راندمان آن‌ها را از جنبه‌های مختلف افزایش دهد که از مهم‌ترین آن‌ها کاهش تعداد دفعات سمپاشی و در صورتی‌که اختلاط آن‌ها حالت افزایشی داشته باشد، کاهش میزان علف‌کش مصرفی است(۱۸). البته باید در نظر داشت که اختلاط نامناسب علف‌کش‌ها احتمال دارد که منجر به صدمه و آسیب به محصول زراعی شود و کنترل نامناسبی از علف‌های‌هرز را در پی داشته باشد (۵). اختلاط علف‌کش اغلب از گسترش فلور متنوع علف‌هرز جلوگیری می‌کند و مقاومت علف‌های‌هرز را در برابر علف‌کش به‌تأخیر می‌اندازد (۲۷). اختلاط علف‌کش‌ها بهترین روش برای بهبود کنترل و کاهش رشد علف‌های‌هرز است (۲۹). در اختلاط چند مادهٔ شیمیایی با یکدیگر، برای ارتباط یک عامل بر عامل دیگر از واژهٔ اثرات متقابل[1] استفاده می‌شود (۹). اثرات متقابل علف‌کش‌ها ممکن است بصورت فیزیکی یا شیمیایی در محلول سمپاشی و یا بیولوژیکی در گیاه باشد. نتایج اثرات متقابل بین علف‌کش‌ها، ممکن

1. Interaction Effects

است هم‌افزایی[1] (فعالیت افزایش یافته دو علف‌کش)، افزایشی[2] (بدون فعالیت برای دو علف‌کش) و یا هم‌کاهی[3] (فعالیت کاهش یافته دو علف‌کش) باشد (۸، ۳۰). دامالاس (۲۰۰۴) گزارش داد که اثرات هم‌کاهی سه برابر بیشتر از هم‌افزایی رخ می‌دهد. وی هم‌چنین بیان داشت که اثرات هم‌افزایی بیشتر در علف‌های هرز پهن‌برگ و در اختلاط‌هایی با ترکیبات علف‌کشی متعلق به گروه‌های شیمیایی یکسان اتفاق می‌افتد (۹). اختلاط علف‌کش‌ها با جایگاه هدف متفاوت می‌تواند مقاومت علف‌های‌هرز به علف‌کش را به تأخیر اندازد. اثرات اختلاط فورام‌سولفورون با توفوردی +ام‌سی‌پی‌آ روی علف‌هرز سلمه‌تره از حالت افزایشی یا هم‌کاهی ضعیف، اختلاط علف‌کش‌های فورام‌سولفورون، نیکوسولفورون و نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون با توفوردی + ام‌سی‌پی‌آ روی علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) به‌ترتیب از حالت هم‌افزایی، افزایشی و هم‌کاهی تبعیت کرد (۲۶). آرمل و همکاران (۲۰۰۵) گزارش دادند که مخلوط مزوتریون به همراه ۵۶۰ گرم در هکتار آترازین در مقایسه با زمانی که مزوتریون به تنهایی به‌کار رفت، رویش مجدد کنگرصحرایی (*Cirsium arvense* L.) را به مراتب بیشتر کاهش داد (۳). با توجه به مطالب بیان شده این تحقیق با هدف ارزیابی کارایی اختلاط دو توفوردی و سولفوسولفورون برای مهار علف‌های‌هرز پهن برگ خردل‌وحشی (*Sinapis arvensis* L.) و شبدرشیرین (*Melilotus officinalis* L.) و مطالعهٔ اثرات افزایشی، هم‌افزایی و یا هم‌کاهی ناشی از اختلاط آنها و نیز تأثیر احتمالی این اختلاط بر گیاه زراعی گندم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات اختلاط سولفوسولفورون و توفوردی بر کنترل علف‌های‌هرز خردل‌وحشی و شبدرشیرین در مقادیر کاهش یافته، آزمایش دُز-پاسخ، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۴ به اجرا درآمد.

مواد گیاهی: بذرهای خردل‌وحشی (*Sinapis arvensis* L.) و شبدرشیرین (*Melilotus officinalis* L.) از مرکز تحقیقات و آموزش‌کشاورزی و منابع‌طبیعی استان گلستان در پاییز سال ۱۳۹۴ تهیه شدند. این بذرها به همراه بذرهای گندم رقم مروارید تا شروع انجام آزمایش در دمای اتاق نگهداری شدند.

آماده‌سازی بذور و شکست خواب: به‌منظور شکست خواب بذرهای خردل‌وحشی، در محلول اسیدجیبرلیک ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام به‌مدت ۲۴ ساعت غوطه‌ور شده، داخل پتری‌های هشت سانتی‌متری حاوی کاغذ صافی گذاشته و بعد از آن با آب مقطر شستشو داده و به‌مدت دو روز در دمای محیط ۲۵ درجه داخل انکوباتور گذاشته تا جوانه بزنند (۲۴).

برای شکست خواب بذرهای شبدرشیرین از اسیدسولفوریک غلیظ (۹۸٪) استفاده شد، به‌طوری که بذرهای شبدرشیرین را در اسیدسولفوریک‌غلیظ (۹۸ درصد) به‌مدت یک دقیقه قرار داده و بعد از یک دقیقه کاملاً بذرها را شسته و داخل پتری‌دیش‌های هشت سانتی‌متری حاوی یک لایه کاغذ صافی منتقل شد و در دمای محیط ۲۵درجه داخل انکوباتور گذاشته تا جوانه بزنند و برای کشت آماده شوند (۱). پس از ظهور ساقه‌چه و ریشه‌چه، بذرهای پیش جوانه‌دار شده گیاهان مورد مطالعه به‌طور جداگانه با تراکم ده بذر گلدان کشت شدند.

1. Synergism
2. Additive
3. Antagonism

تیمارهای اختلاط علف‌کش: نسبت اختلاط علف‌کش‌های سولفوسولفورون و توفوردی بر اساس درصد شرح ذیل می‌باشد:
۱۰۰٪ سولفوسولفورون (A_{100})، ۲۵٪ توفوردی+ ۷۵٪ سولفوسولفورون ($D_{25}A_{75}$)، ۵۰٪ توفوردی + ۵۰٪ سولفوسولفورون ($D_{50}A_{50}$)، ۷۵٪ توفوردی + ۲۵٪ سولفوسولفورون ($D_{75}A_{25}$)، ۱۰۰٪ توفوردی (D_{100}).

آزمون دز-پاسخ: تیمارهای آزمایش شامل دُزهای ۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱ و۲ برابر دز توصیه شده، معادل ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ گرم ماده مؤثره توفوردی و ۰، ۶/۶۵، ۱۳/۳، ۱۹/۹۵و ۲۶/۶ گرم مادهٔ مؤثره سولفوسولفورون در هکتار برای پنج نسبت اختلاط ۱۰۰:۰، ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵ و ۰:۱۰۰ در نظر گرفته شد. گیاهان در مرحله ۴-۳ برگی با استفاده از سم‌پاش پشتی شارژی مدل ماتابی با خروجی ۲۵۰ لیتر در هکتار در فشار دو بار سم‌پاشی شدند. چهار هفته بعد از اعمال علف‌کش بر روی گیاه‌زراعی و علف‌های‌هرز، در تراکم نهایی بوته‌های سبز زنده هر گلدان از محل طوقه قطع و با ثبت تعداد بوته‌های زنده به آون با دمای ۷۰ درجه به‌مدت ۷۲ ساعت منتقل و سپس وزن خشک به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد.

برای هر نسبت اختلاط یک آزمایش دز-پاسخ انجام شد تا میزان GR_{50} برای هر نسبت با استفاده از آنالیز رگرسیون به‌دست آید. از آنالیز رگرسیون و برازش تابع لوگ-لجستیک (تابع ۱) برای توصیف روند تغییرات پاسخ وزن خشک گیاهان در مقابل دزهای مختلف اختلاط علف‌کش‌ها استفاده شد (۲۵).

تابع (۱)

$$f(x,b,d,e) = c + \frac{d-c}{1+exp\{b(log(x)-log(GR_{50}))\}}$$

پارامترهای ارائه شده در این تابع عبارتند از:
b: شیب منحنی در نقطه GR_{50}؛ c: حد پایین منحنی بیانگر پاسخ وقتی که میزان علف‌کش حداکثر است؛ d: حد بالایی منحنی گویای پاسخ وقتی‌که میزان علف‌کش صفر است.
GR_{50} : مقدار علف‌کش لازم برای کاهش ۵۰ درصد وزن خشک علف‌هرز در حد فاصل c و d.

در مواردی که c=0 بود این پارامتر از تابع (۱) حذف و در حالت جدید، تابع سه پارامتره (تابع ۲) به داده‌های مربوطه برازش داده شده تا برآورد دقیق‌تری از سایر پارامترها به‌دست آید (۲۵).

تابع (۲)

$$f(x,b,d,e) = \frac{d}{1+exp\{b(log(x)-log(RG_{50}))\}}$$

مدل فوق با استفاده از نرم‌افزار R و بسته drc[1] که به‌همین منظور طراحی شده است (۲۵)، به‌طور جداگانه به داده‌های حاصل از وزن خشک دزهای اختلاط برازش داده شد.

پس از برآورد میزان GR_{50} برای هر یک از نسبت‌ها، از منحنی‌های هم‌اثر و مدل هولت[2] (تابع۳) برای تعیین اثر اختلاط سولفوسولفورون و توفوردی استفاده شد. مدل هولت، مدلی غیرخطی است که به‌صورت زیر بیان می‌شود:

تابع(۳)

$$\log(RG_{50}mix) = -\lambda \log\left(\left(\frac{P}{RG_{50}mix}\right)^{1/\lambda} + \left(\frac{1-P}{RG_{50}mix}\right)^{1/\lambda}\right)$$

در این تابع P: نشان‌دهنده درصد اختلاط است و اگر $\lambda=1$ باشد بیانگر حالت افزایشی ؛ $\lambda<1$ بیانگر حالت تشدیدکنندگی یا سینرژیستی و $\lambda>1$ بیانگر حالت بازدارندگی یا آنتاگونیستی است.

1. Dose response curve
2. Hewllet

در منحنی دز-پاسخ، دزها در مقیاس لگاریتمی آورده شده‌اند، لذا فاصله افقی بیانگر نسبت دو دزی است که پاسخ یکسانی را موجب می‌شوند. به این نسبت اصطلاحاً توان نسبی اطلاق می‌گردد و بدین شکل بیان می‌شود:

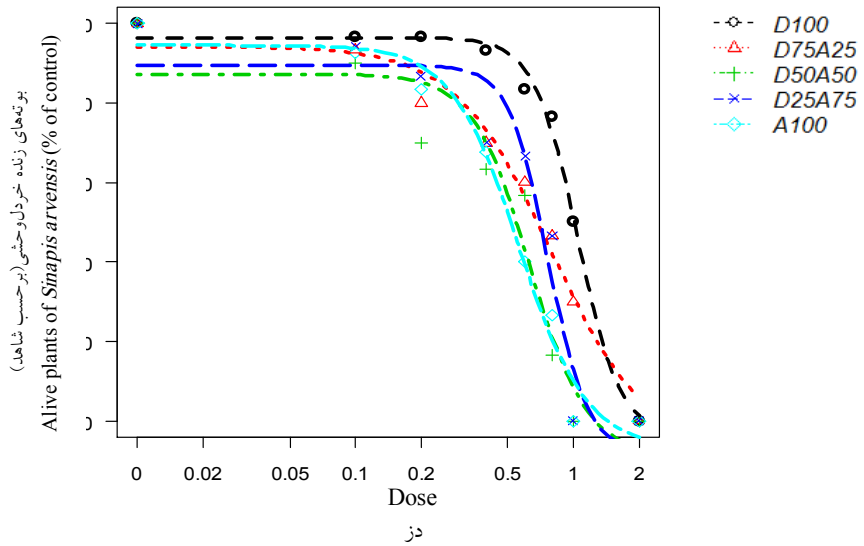
$$R = \frac{z_1}{z_2}$$

z_1 و z_2 دزهای دو تیمار علف‌کش یک و دو هستند. توان نسبی نشان می‌دهد که چه مقدار باید از دز z_2 بیشتر یا کمتر استفاده کرد تا همان نتیجه حاصل از دز z_1 به‌دست آید. اگر R معادل یک باشد، دو تیمار علف‌کشی توان یکسانی دارند. اگر R بیش از یک به‌دست آید بدین معنی است که علف‌کش یک قوی‌تر از علف‌کش دو عمل کرده است، و اگر R کمتر از یک باشد، علف‌کش یک توان بیشتری از علف‌کش دو دارد (۲۷).

از آنالیز واریانس برای بررسی اثر اختلاط علف‌کش‌ها بر وزن‌خشک گندم استفاده و جهت مقایسه ضرایب مدل‌ها از شاخص‌خطای استاندارد (SE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد.

نتایج و بحث

ارزیابی کاربرد اختلاط دو علف‌کش بر روی خردل‌وحشی: دزهای مختلف توفوردی وسولفوسولفورون واختلاط آن‌ها بر روی علف‌هرز خردل‌وحشی اثر گذاشتند و باعث کاهش تعداد بوته زنده‌مانده آن شدند. تعداد بوته‌های زنده‌مانده برای منحنی دز-پاسخ، معیار و شاخص دقیقی برای کارایی علف‌کش‌ها نیست (۱۳). در دزهای بالا تمام بوته‌های علف‌هرز از بین رفتند (شکل ۱). میزان ۰/۵۳۸ برابر دز توصیه‌شده توفوردی مورد نیاز بوده تا تعداد بوته‌های خردل‌وحشی به ۵۰٪ شاهد تیمار نشده برسد، این مقدار برای سولفوسولفورون معادل ۱/۰۱۸ دز توصیه‌شده به‌دست آمد. این موضوع نشان‌دهنده توانایی نسبی توفوردی در کنترل خردل‌وحشی بیشتر از سولفوسولفورون است. مقادیر GR_{50} برآورد شده برای اختلاط‌های $D_{75}A_{25}$ ، $D_{50}A_{50}$ و $D_{25}A_{75}$ به‌ترتیب معادل ۰/۶۳۰، ۰/۷۶۵ و ۰/۷۸۲ دز توصیه‌شده برآورد شد (جدول ۱).



شکل ۱- روند تغییرات تعداد بوته‌های زنده خردل وحشی در اثر مصرف نسبت‌های مختلف اختلاط علف‌کش‌های توفوردی (D) وسولفوسولفورون (A) (دزها بر حسب نسبت از دز توصیه شده).

Figure 1- Changes in number of alive plants of wild mustard as affected by application of different ratios and rates of 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mix.

جدول ۱- ضرایب معادله لوگ-لجستیک دز- پاسخ برای توصیف تأثیر نسبت‌های مختلف اختلاط علف‌کش‌های توفوردی (D) و

سولفوسولفورون (A) برحسب پاسخ تعداد خردل‌وحشی.

Table 1- Coefficients of log-logistic dose-response curve for describing efficacy of different ratios of 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mix based on number of wild mustard.

نسبت‌های اختلاط Mixing ratio	ضرایب Coefficient		
	d	*b*	GR_{50}
٪۱۰۰ توفوردی (D_{100})	93.589(4.788)	3.258(0.768)	0.538(0.045)
٪۷۵ توفوردی + ٪۲۵ سولفوسولفورون ($D_{75}A_{25}$)	88.555(8.013)	5.775(0.413)	0.630(0.090)
٪۵۰ توفوردی + ٪۵۰ سولفوسولفورون ($D_{50}A_{50}$)	84.463(10.730)	4.799(0.494)	0.765(0.074)
٪۲۵ توفوردی+ ٪۷۵ سولفوسولفورون($D_{25}A_{75}$)	93.328(5.383)	2.219(0.571)	0.782(0.191)
٪۱۰۰ سولفوسولفورون (A_{100})	96.119(2.055)	4.851(0.880)	1.018(0.031)

اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای استاندارد (SE) را نشان می‌دهد.

Values in parenthesis represent standard error (SE).

(d) حد بالا، (b) شیب کاهش وزن خشک در نقطهED_{50}، (ED_{50}) مقدار علف‌کش لازم برای کاهش ۵۰ درصد تعداد بوته‌های زنده مانده علف‌هرز نسبت به شاهد تیمار نشده.

(d) upper limit, (b) dry weight reduction slope at ED_{50} point , (ED_{50}) amount of herbicide needed for 50% reduction in number of survived plants compared to control.

تغییرات وزن خشک بوته‌های علف‌هرز خردل‌وحشی در مقابل دزهای مختلف توفوردی و سولفوسولفورون و اختلاط آن‌ها از حالت سیگموئیدی پیروی می‌کند. به‌نحوی‌که با افزایش دز علف‌کش‌ها و با اختلاط آن‌ها، وزن خشک بوته‌های خردل‌وحشی دچار کاهش شد و این کاهش در دزهای بالاتر شدیدتر بوده و وزن خشک گیاه به صفر رسید (شکل ۲).

بر اساس پارامترهای برآورده شده توسط تابع لوگ-لجستیک، اختلاف بین مقادیر برآورد شده برای حد بالای منحنی‌ها (پارامترd) معنی‌دار نبود. حد پایین نیز برای همه تیمارها صفر شده که حاکی از آن است که هر دو علف‌کش و اختلاط آن‌ها در دزهای بالا باعث مرگ کامل علف‌هرز خردل‌وحشی شدند. مقادیر متفاوت از GR_{50} برای تیمارهای مختلف برآورد شد (جدول۲). مقدار ۰/۶۳۹دز توصیه‌شده توفوردی باعث کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک خردل وحشی شد، درحالی‌که مقدار سولفوسولفورون لازم جهت ۵۰ درصد کاهش وزن خشک خردل‌وحشی به میزان ۰/۹۰۶ دز توصیه‌شده برآورد شد که بیانگر کارایی نسبی بالاتر توفوردی نسبت به سولفوسولفورون بود. مقدار GR_{50} برای اختلاط‌های $D_{75}A_{25}$، $D_{50}A_{50}$ و $D_{25}A_{75}$ به‌ترتیب معدل ۰/۷۲۴، ۰/۹۰۶ و ۰/۸۴۷ دز توصیه شده تخمین زده شد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از GR_{90} مشخص شد مقدار ۰/۹۳۱ برابر دز توصیه شده از توفوردی ٪۱۰۰ و مقدار ۰/۹۶۵ برابر دز توصیه شده از $D_{75}A_{25}$ لازم است تا تأثیر ۹۰ درصدی بر خردل‌وحشی گذاشته شود. GR_{90} اختلاط‌های $D_{50}A_{50}$، $D_{25}A_{75}$ و D_{100} به‌ترتیب معادل ۱/۰۲۳، ۱/۰۹۸ و ۱/۴۸۹ برآورد شد. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که در حالت اختلاط، کاربرد دز توصیه شده علفکش باعث از بین رفتن ۹۰ درصد از علف‌هرز خردل وحشی شد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت توفوردی نسبت به سولفوسولفورون خردل‌وحشی را بیشتر کنترل می‌کند. در اثر اختلاط دو علف‌کش، با افزایش سهم توفوردی سمیت برای خردل‌وحشی بیشتر می‌شود. همین‌طور نتایج جدول ۳ بیان می‌کند که نسبت GR_{50} تیمار D_{100} به GR_{50} تیمار $D_{75}A_{25}$ و نیز GR_{50} توفوردی ٪۱۰۰ به GR_{50} تیمارهای $D_{50}A_{50}$، $D_{25}A_{75}$ و A_{100} اختلاف معنی‌داری با یک داشت و این امر بیان‌کننده این است که توفوردی و سولفوسولفورون در حالت خالص و

اختلاط با نسبت‌های مختلف، کارایی و اثر جداگانه‌ای روی خردل‌وحشی دارند. نسبت GR_{50} تیمار $D_{75}A_{25}$ به GR_{50} تیمار $D_{50}A_{50}$ اختلاف معنی‌داری با یک نداشت؛ ولی اختلاف نسبت GR_{50} تیمار $D_{75}A_{25}$ به GR_{50}تیمار $D_{75}A_{25}$ و A_{100} با یک معنی‌دار بود. GR_{50} اختلاط $D_{50}A_{50}$ به اختلاط $D_{25}A_{75}$ و A_{100} و بین GR_{50} اختلاط $D_{25}A_{75}$ به A_{100} نیز اختلاف معنی‌دار با یک داشت.

$[GR_{50}(A_{100\%}) = GR_{50}(A_{50\%} + 2,4\text{-}D_{50\%})] > GR_{50}(A_{75\%} + 2,4\text{-}D_{25\%}) > GR_{50}(A_{25\%} + 2,4\text{-}D_{75\%}) > GR_{50}(2,4\text{-}D_{100\%})$

جدول ۲- ضرایب معادله لوگ-لجستیک دز- پاسخ برای توصیف تأثیر نسبت‌های مختلف اختلاط علف‌کش‌های توفوردی (D) و سولفوسولفورون (A) بر حسب پاسخ وزن خشک بوته‌های خردل‌وحشی (نسبت به شاهد).

Table 2- Coefficients of log-logistic dose-response curve for describing efficacy of different ratios of 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) herbicides tank mix based on dry weight of wild mustard (compared to control).

دزهای اختلاط Mixing Doses	ضرایب Coefficient			
	d	*b*	GR_{50}	GR_{90}
۱۰۰٪ توفوردی (D_{100}) 2,4-D 100%	97.251(3.200)	5.711(1.034)	0.639(0.024)	0.931(0.212)
۷۵٪ توفوردی + ۲۵٪سولفوسولفورون ($D_{75}A_{25}$) 2,4-D 75% + Sulfosulfuron 25%	92.777(3.244)	7.489(2.103)	0.724(0.034)	0.965(0.151)
۵۰٪ توفوردی+ ۵۰٪ سولفوسولفورون($D_{50}A_{50}$) 2,4-D 50% + Sulfosulfuron 50%	93.036(3.344)	7.223(1.170)	0.906(0.043)	1.023(0.172)
۲۵٪ توفوردی+ ۷۵٪ سولفوسولفورون ($D_{25}A_{75}$) 2,4-D 25% + Sulfosulfuron 75%	89.152(3.364)	4.927(1.719)	0.847(0.038)	1.098(0.149)
۱۰۰٪سولفوسولفورون (A_{100}) Sulfosulfuron 100%	94.173(3.153)	4.370(1.0116)	0.906(0.043)	1.489(0.532)

اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای استاندارد (SE) را نشان می‌دهد.

Values in parenthesis represent standard error (SE).

(d) حد بالا، (b) شیب کاهش وزن خشک در نقطهGR_{50} ، (GR_{50} و GR_{90}) مقدار علف‌کش لازم به‌ترتیب برای ۵۰ و ۹۰ درصد کاهش در وزن خشک علف‌هرز نسبت به شاهد تیمار نشده.

(d) upper limit, (b) dry weight reduction slope at GR_{50} point , (GR_{50}andGR_{90}) amount of herbicide needed for 50% and 90% reduction in number of survived plants compared to control.

عدد لاندا ۰/۹۹ برای خردل‌وحشی حاکی از آن است که اثر اختلاط دو علف‌کش از روند آنتاگونیستی به سمت افزایشی تبعیت میکند (شکل ۳). در آزمایش موسوی و همکاران (۲۰۰۵) نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب توفوردی و دایوران در کنترل تربچه‌وحشی و خردل‌وحشی نیز دارای خاصیت هم‌افزایی است. طوری‌که نتایج آنها نشان داد اختلاط توفوردی و دایوران با دزهای به‌ترتیب ۲۵۰و ۵۰۰ میلی‌گرم در هکتار اثرات هم‌افزایی علف‌کش‌ها بر یکدیگر در اثر اختلاط را در پی داشت (۲۲). ترکیب مزوتریون و آترازین در علف‌های‌هرز توق (*Xanthium strumarium* L.)، تاج‌خروس (*Amaranthus palmeri* S. Wats.)، کنگرصحرایی [*Cirsium arvense* (L.) Scop.] و گاوپنبه (*Abutilon theophrasti* Medik.) اثرات هم‌افزایی داشت (۲، ۳). در منابع متعددی افزایش مقادیر کمی آترازین و مزوتریون باعث افزایش کارایی علف‌کش علیه علف‌های هرز از جمله علف‌های‌هرز چند ساله شده که این امر احتمالاً به‌دلیل افزایش تحرک مزوتریون در آوندهای چوبی و آبکشی در گیاه است (۳، ۱۵). در تحقیقی که روی علف‌هرز خردل‌وحشی انجام شد اثر اختلاط چند علف‌کش به‌صورت دو به دو بررسی شد. ترکیب گلایفوسیت و گلوفوزینات آمونیوم اثر آنتاگونیستی داشت، در حالی‌که اختلاط گلایفوسیت و مت‌سولفورون‌متیل، گلایفوسیت و ایمازاپیر، گلوفوزینات آمونیوم و مت‌سولفورون‌متیل،

گلوفوزینات‌آمونیوم و ایمازاپیر حالت هم افزایی داشت (۱۹). گرین و بایلی (۲۰۰۱) بیان داشتند که حتی اگر اثر متقابل علف‌کش‌ها تنها افزایشی باشد، کاربرد مخلوط مواد شیمیایی با همدیگر بهتر از کاربرد منفرد آنها است. برای مثال، تعداد ورود تجهیزات سمپاشی از مزرعه برای کاربرد دو علف‌کش باریک‌برگ‌کش و پهن‌برگ‌کش از دوبار به یک‌بار کاهش می‌یابد (۱۲).

جدول ۳- مقادیر برآورد شده نسبت GR_{50} تیمارهای مختلف اختلاط توفوردی و سولفوسولفورون بر وزن خشک خردل‌وحشی (نسبت به شاهد).

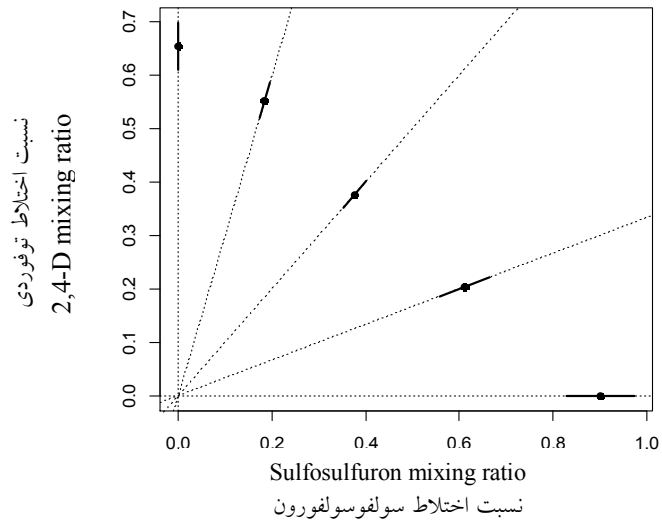
Table 3- Estimated values for GR_{50} ratio of different 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mix treatments on dry weight of wild mustard (compared to control).

توانایی نسبی Relative potency	برآورد شده Estimated	خطای‌استاندارد Standard error	p-valuve
$2,4\text{-}D_{100}/2,4\text{-}D_{75}AP_{25}$	0.882	0.054	0.032^{*}
$2,4\text{-}D_{100}/2,4\text{-}D_{50}AP_{50}$	0.898	0.046	0.0018^{**}
$2,4\text{-}D_{100}/2,4\text{-}D_{25}AP_{75}$	0.755	0.044	$<0.0001^{**}$
$2,4\text{-}D_{100}/AP_{100}$	0.706	0.043	$<0.0001^{**}$
$2,4\text{-}D_{75}AP_{25}/2,4\text{-}D_{50}AP_{50}$	0.961	0.059	0.521^{ns}
$2,4\text{-}D_{75}AP_{25}/2,4\text{-}D_{25}AP_{75}$	0.855	0.055	0.011^{*}
$2,4\text{-}D_{75}AP_{25}/AP_{100}$	0.800	0.053	0.0004^{**}
$2,4\text{-}D_{50}AP_{50}/2,4\text{-}D_{25}AP_{75}$	0.889	0.053	0.040^{*}
$2,4\text{-}D_{50}AP_{50}/AP_{100}$	0.831	0.051	0.0015^{**}
$2,4\text{-}D_{25}AP_{75}/AP_{100}$	0.934	0.061	0.291^{ns}

** و * به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۱ و ۵ درصد، ns معنی‌دار نبودن

AP: سولفوسولفورون

** and*: significant effect at $p \leq 1\%$ and $\leq 5\%$, respectively; ns: not- significant at $p \leq 5\%$.
AP: sulfosulfuron

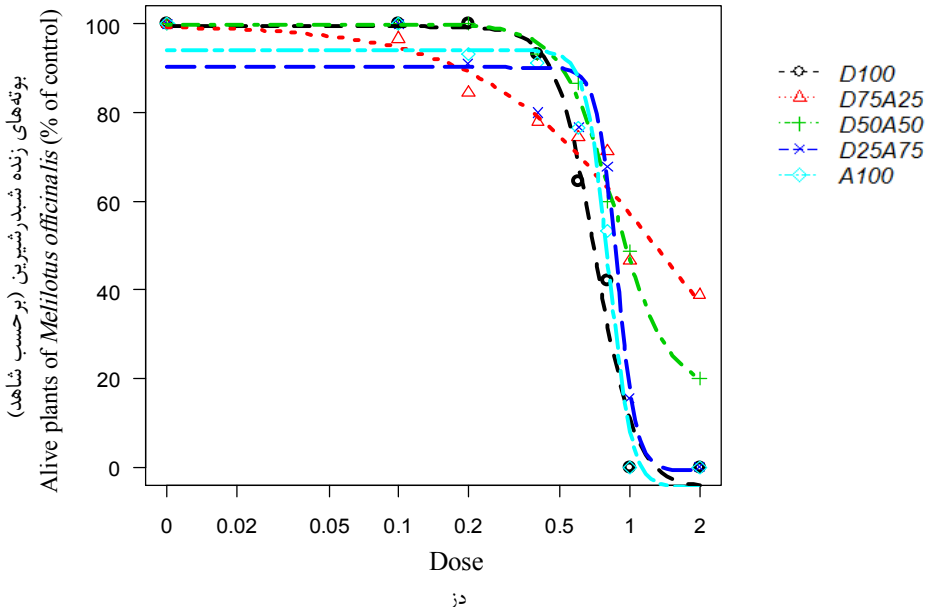


شکل ۳- برازش منحنی آیزوبول در اثر مصرف نسبت‌های مختلف اختلاط علف‌کش‌های توفوردی و سولفوسولفورون برای علف-هرز خردل‌وحشی (دزها برحسب نسبت از دز توصیه شده).

Figure 3- Fitting of isobole curve obtained from application of different ratios of 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mixtures for wild mustard.

ارزیابی کاربرد اختلاط علف‌کش بر روی شبدرشیرین: تعداد بوته‌های زنده‌مانده شبدر شیرین (نسبت به شاهد) در اثر مصرف توفوردی و سولفوسولفورون و نسبت‌های مختلف اختلاط آن‌ها با افزایش دز علف‌کش‌ها کاهش یافته و حتی در دزهای بالاتر به صفر رسید (شکل ۴)، در نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین مقادیر برآورد شده حد بالای منحنی (پارامترd) تیمارهای مختلف وجود ندارد.

برای این‌که تعداد بوته‌های شبدرشیرین به ۵۰ درصد شاهد تیمار نشده برسد، به میزان ۰/۸۱۰ دز توصیه‌شده سولفوسولفورون مورد نیاز است؛ این مقدار برای توفوردی برابر با ۰/۵۲۵ دز توصیه شده بود که بیان‌کننده توانایی بیشتر توفوردی در کنترل شبدرشیرین است. مقادیر GR_{50} برای اختلاط‌های $D_{75}A_{25}$، $D_{50}A_{50}$ و $D_{25}A_{75}$ به‌ترتیب معادل ۱/۲۹۱، ۰/۸۵۵ و ۰/۸۷۵ برآورد شد (جدول ۴).



شکل ٤- روند تغییرات تعداد بوته‌های زنده شبدرشیرین در اثر مصرف نسبت‌های مختلف اختلاط توفوردی (D) و سولفوسولفورون (A).

Figure 4- Changes in number of alive plants of sweet clover as affected by application of different ratios and rates of 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mix.

با در نظر گرفتن نتایج به‌دست آمده جدول (۴) از تابع لوگ-لجستیک بین حد بالای منحنی‌ها (پارامترd) در دز صفر بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد؛ ولی حد پایین منحنی (پارامترc) تیمارهای $D_{75}A_{25}$ و $D_{50}A_{50}$ به‌ترتیب معادل ۳۳/۷۴ و ۲۰/۸۵ درصد از شاهد تیمارنشده برآورد شد که اختلاف معنی‌داری با دز صفر داشت، یعنی اختلاط‌های ذکر شده نتوانستند باعث از بین بردن و مرگ کامل شبدرشیرین حتی در دزهای بالاتر از دز توصیه شده شوند. وزن خشک شبدرشیرین در دزهای بالای تیمارهای $D_{25}A_{75}$،D_{100} و A_{100} صفر برآورد شد.

جدول ٤- ضرایب معادله لوگ-لجستیک دز- پاسخ برای توصیف تأثیر نسبت‌های مختلف اختلاط توفوردی و سولفوسولفورون برحسب تعداد شبدرشیرین.

Table 4- Coefficients of log-logistic dose-response curve for describing efficacy of different ratios of 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mix based on number of sweet clover.

نسبت‌های اختلاط Mixing ratio	ضرایب Coefficient			
	c	*d*	*b*	GR_{50}
۱۰۰٪ توفوردی (D_{100}) 2,4-D 100%	0	97.979(6.434)	2.686(0.711)	0.525(0.062)
۷۵٪ توفوردی + ۲۵٪ سولفوسولفورون ($D_{75}A_{25}$) 2,4-D75% +Sulfosulfuron 25%	0	99.595(5.745)	1.145(0.292)	1.291(0.216)
۵۰ ٪ توفوردی + ۵۰٪ سولفوسولفورون ($D_{50}A_{50}$) 2,4-D 50% +Sulfosulfuron50%	17.210(4.376)	99.876(1.749)	3.829(0.634)	0.855(0.038)
۲۵٪ توفوردی+ ۷۵٪ سولفوسولفورون ($D_{25}A_{75}$) 2,4-D 25% +Sulfosulfuron75%	0	90.158(4.484)	10.855(4.880)	0.875(0.035)
۱۰۰٪سولفوسولفورون (A_{100}) Sulfosulfuron100%	0	92.974(5.023)	12.320(1.433)	0.810(0.038)

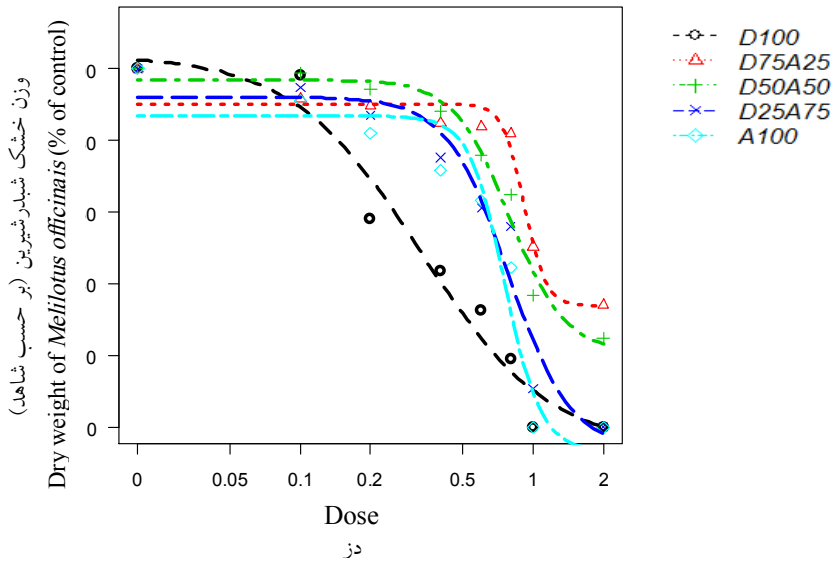
اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای استاندارد (SE) را نشان می‌دهد.

Values in parenthesis represent standard error (SE).

(c)حدپایین، (d) حد بالا، (b) شیب کاهش وزن خشک در نقطه ED_{50}، (ED_{50}) مقدار علف‌کش لازم برای کاهش ۵۰ درصد تعداد بوته‌های زنده مانده علف‌هرز نسبت به شاهد تیمار نشده.

(c) lower limit, (d) upper limit, (b) dry weight reduction slope at ED_{50} point , (ED_{50}) amount of herbicide needed for 50% reduction in number of survived plants compared to control.

بر اساس مقادیر برآورد شده GR_{50} توفوردی مشخص شد که ۰/۲۹۷ درصد از دز توصیه‌شده لازم است تا سبب کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک شبدرشیرین شود. همین‌طور مقادیر GR_{50} برای سولفوسولفورون ۰/۷۳۷ و برای اختلاط D25A75 برابر با ۰/۷۶۰ برآورد شد که نشان‌دهنده این است که سولفوسولفورون کیفیت پهن‌برگ‌کشی بهتری نسبت به باریک‌برگ‌کشی دارد. در اختلاط‌های $D_{75}A_{25}$ و $D_{50}A_{50}$ مقادیر GR_{50} برآورد شده معادل ۰/۹۱۷ و ۰/۷۸۹ محاسبه گردید، به‌طوری‌که در این اختلاط‌ها افزایش مقدار GR_{50} نمایانگر این است که به مقدار علف‌کش سولفوسولفورون بیشتری برای رسیدن به ۵۰٪ کاهش وزن خشک شبدرشیرین در اثر اختلاط سولفوسولفورون و توفوردی مورد نیاز است. با توجه به نتایج جدول ۵ نسبت GR_{50} توفوردی ۱۰۰٪ به همه اختلاط‌های $D_{75}A_{25}$، $D_{50}A_{50}$، $D_{25}A_{75}$ و A_{100} اختلاف معنی‌دار با یک دارد؛ اما نسبت GR_{50} سایر اختلاط‌ها به هم، اختلاف معنی‌داری با یک ندارد. اختلاف نسبت GR_{50} اختلاط $D_{75}A_{25}$ با GR_{50} هیچ کدام از اختلاط‌های $D_{50}A_{50}$، $D_{25}A_{75}$ و A_{100} با یک معنی‌دار نبود. هم‌چنین نسبت GR_{50} تیمار $D_{50}A_{50}$ درصدی به GR_{50} تیمار $D_{25}A_{75}$ و A_{100} نیز اختلاف معنی‌داری با یک نداشت. در نسبت GR_{50} سولفوسولفورون خالص نیز به GR_{50} اختلاط $D_{25}A_{75}$ اختلاف معنی‌داری با یک مشاهده نشد. برای درک بهتر از اثر علف‌کش باید به مقادیر GR_{90} مندرج در جدول ۵ مراجعه نمود. طبق جدول ۵ مقدار GR_{50} اختلاط علف‌کش‌های $D_{75}A_{25}$ و $D_{50}A_{50}$ به‌ترتیب ۴/۴۸۰ و ۲/۸۰۷ برآورد شد که نشان می‌دهد برای اثر بیشتر اختلاط علف‌کش باید به‌ترتیب حدود چهار و دو برابر دز توصیه شده استفاده کرد تا علف‌کش ۹۰ درصد اثر خود را بر روی علف‌هرز شبدرشیرین بگذارد.



شکل ۵- روند تغییرات وزن‌خشک بوته‌های شبدرشیرین در اثر مصرف نسبت‌های مختلف اختلاط توفوردی (D) و سولفوسولفورون (A).

Figure 5- Changes in dry weight of sweet clover as affected by application of different ratios and rates of 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mix.

جدول ۵- ضرایب معادله لجستیک دز-پاسخ برای توصیف تأثیر نسبت‌های اختلاط توفوردی و سولفوسولفورون بر وزن خشک بوته‌های شبدرشیرین (نسبت به شاهد).

Table 5- Coefficients of log-logistic dose-response curve for describing efficacy of different ratios of 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mix based on dry weight of sweet clover (compared to control).

دزهای اختلاط Mixing Doses	ضرایب Coefficient				
	c	d	*b*	GR_{50}	GR_{90}
۱۰۰٪ توفوردی (D_{100}) 2,4-D100%	0	103.57(5.811)	1.725(0.199)	0.297(0.035)	1.043(0.158)
۷۵٪توفوردی+ ۲۵٪سولفوسولفورون ($D_{75}A_{25}$) 2,4-D75% +Sulfosulfuron 25%	33.74(5.06)	95.33(6.163)	1.826(0.407)	1.346(0.151)	>2
۵۰٪ توفوردی + ۵۰٪سولفوسولفورون ($D_{50}A_{50}$) 2,4-D50% + Sulfosulfuron50%	20.85(8.06)	96.83(3.252)	3.662(1.375)	0.789(0.070)	2.807(0.749)
۲۵٪ توفوردی+ ۷۵٪سولفوسولفورون ($D_{25}A_{75}$) 2,4-D25% +Sulfosulfuron 75%	0	91(5.08)	3.809(1.446)	0.760(0.063)	1.351(0.203)
۱۰۰٪ سولفوسولفورون (A_{100}) Sulfosulfuron100%	0	86.34(4.463)	6.337(2.177)	0.737(0.05)	1.063(0.085)

اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای استاندارد (SE) را نشان می‌دهد.

Values in parenthesis represent standard error (SE).

(c)حد پایین، (d) حد بالا، (b) شیب کاهش وزن خشک در نقطهGR_{50} ، (GR_{50}و GR_{90}) مقدار علف‌کش لازم به‌ترتیب برای ۵۰ و ۹۰ درصد کاهش در وزن خشک علف‌هرز نسبت به شاهد تیمار نشده.

(c) lower limit, (d) upper limit, (b) dry weight reduction slope at GR_{50} point , (GR_{50}andGR_{90}) amount of herbicide needed for 50% and 90% reduction in number of survived plants compared to control.

جدول ٦-مقادیر برآورد شده نسبت GR_{50} تیمارهای مختلف اختلاط توفوردی و سولفوسولفورون بر وزن خشک بوته‌های شبدرشیرین (نسبت به شاهد).

Table 6- Estimated values for GR_{50} ratio of different 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mix treatments on dry weight of sweet clover (compared to control).

توانایی نسبی Relative potency	برآورد شده Estimated	خطای‌استاندارد Estandard error	p-valuve
$2,4\text{-}D_{100}/2,4\text{-}D_{75}AP_{25}$	0.221	0.072	$<0.0001^{**}$
$2,4\text{-}D_{100}/2,4\text{-}D_{50}AP_{50}$	0.305	0.088	$<0.0001^{**}$
$2,4\text{-}D_{100}/2,4\text{-}D_{25}AP_{75}$	0.391	0.084	$<0.0001^{**}$
$2,4\text{-}D_{100}/AP_{100}$	0.403	0.085	$<0.0001^{**}$
$2,4\text{-}D_{75}AP_{25}/2,4\text{-}D_{50}AP_{50}$	1.381	0.148	0.274^{ns}
$2,4\text{-}D_{75}AP_{25}/2,4\text{-}D_{25}AP_{75}$	1.769	0.237	0.0017^{**}
$2,4\text{-}D_{75}AP_{25}/AP_{100}$	1.824	0.237	0.0008^{**}
$2,4\text{-}D_{50}AP_{50}/2,4\text{-}D_{25}AP_{75}$	1.281	0.155	0.073^{ns}
$2,4\text{-}D_{50}AP_{50}/AP_{100}$	1.320	0.153	0.040^{*}
$2,4\text{-}D_{25}AP_{75}/AP_{100}$	1.030	0.102	0.764^{ns}

** و * به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح ۱ و ۵ درصد، ns معنی‌دارنبودن

AP: سولفوسولفورون

** and*: significant effect at $p\leq 1\%$ and $\leq 5\%$, respectively; ns: not- significant at $p\leq 5\%$.
AP: sulfosulfuron

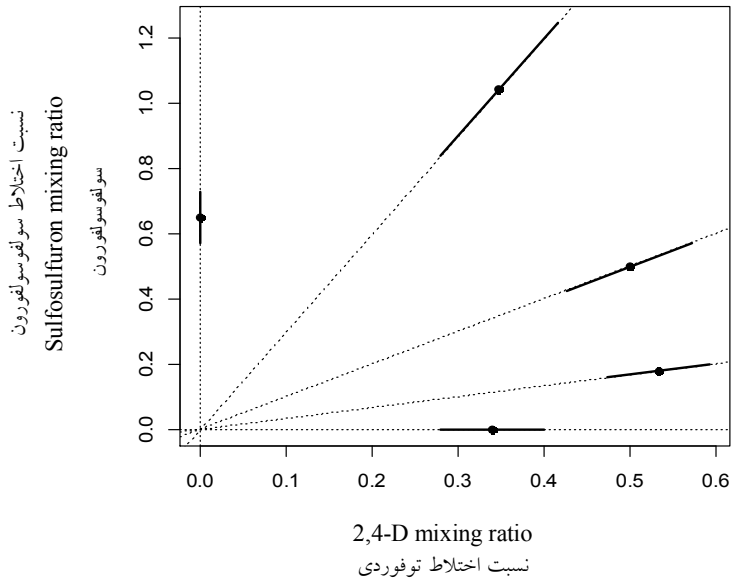
مقادیر GR_{90} در مورد تیمارهای D_{100}، A_{100} و $D_{25}A_{75}$ یک برآورد شده است. می‌توان ذکر کرد استفاده از دز یک برابر توصیه شده این اختلاط کنترل ۹۰ درصدی علف‌هرز شبدرشیرین را به همراه دارد. برای شبدرشیرین عدد لاندا ۰/۰۳۶ برآورد گردید که این عدد کوچکتر از یک بوده در نتیجه اختلاط دو علف‌کش برای کنترل شبدرشیرین روند هم‌کاهی را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۶ حالتی که اختلاط علف‌کش‌های $D_{75}A_{25}$ و $D_{50}A_{50}$ طی می‌کنند هم‌کاهی است، در صورتی‌که اثر تیمارهای D_{100}، A_{100} و اختلاط $D_{25}AP_{75}$ از حالت افزایشی پیروی می‌کنند. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که استفاده از توفوردی به‌صورت خالص بهترین کارایی را در کنترل علف‌هرز شبدرشیرین داشته است و همین‌طور به دلیل عدم مقاومت شبدرشیرین به توفوردی می‌توان از اختلاط ۲۵درصدی دز توصیه‌شده توفوردی با ۷۵ درصد از دز توصیه‌شده سولفوسولفورون برای کنترل مؤثر شبدر شیرین استفاده کرد.با افزایش سهم سولفوسولفورون در اختلاط، مقدار GR_{50} افزایش یافت. در واقع در مقادیر کمتر از حدتوصیه شده، اضافه نمودن سولفوسولفورون به توفوردی قابلیت بازدارندگی این علف‌کش را کاهش داد. در اثرات هم‌کاهی، زمانی که دو آفت‌کش با یکدیگر به‌کار می‌روند، میزان کارایی یکی یا هر دو در حالت اختلاط نسبت به کاربرد منفرد آن‌ها کاهش می‌یابد (۳۱). هم‌چنین با توجه به شکل ۶ شیب نمودار هنگامی‌که از توفوردی به‌صورت خالص استفاده می‌شود تند است ولی با افزودن سولفوسولفورون به توفوردی شیب نمودار کاهش وزن شبدرشیرین کمتر می‌شود.

$GR_{50}\ (AP_{25\%} + 2,4\text{-}D_{75\%}) > GR_{50}\ (AP_{50\%} + 2,4\text{-}D_{50\%}) > GR_{50}\ (AP_{75\%} + 2,4\text{-}D_{25\%}) > GR_{50}\ (AP_{100\%}) > GR_{50}\ (2,4\text{-}D_{100\%})$

در مطالعه‌ای گزارش که مخلوط توفوردی با فورام‌سولفورون با هم سازگار بودند و باعث کنترل مناسب و مؤثر علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در مرحله دو تا چهار برگی و مرحله چهار تا شش برگی شدند؛ هم‌چنین از این علف‌کش‌ها در مقایسه با اختلاط‌های توفوردی با فورام‌سولفورون مقدار کمتری

مصرف گردید که اثر سینرژیستی را نشان داد. این امر موجب کاهش کارایی علف‌کش توفوردی شد اما باید توجه داشت که کنترل طیف گسترده‌ای از علف‌های هرز به‌خصوص گونه‌های غیرحساس و مقاوم در این مرحله رشدی در اثر اختلاط این دو علف‌کش از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه است (۲۶). هوگی و همکاران (۲۰۰۸) اثر هم‌افزایی مزوتریون و آترازین برای کنترل تاج خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) و نیلوفرپیچ (*Ipomoa coccinea* L.) مقاوم به آترازین را گزارش کردند (۱۵). هم‌چنین اثر مشترک مزوتریون با بروموکسینیل روی تاج‌خروس‌های حساس حالت هم‌افزایی داشت در بیوتیپ‌های مقاوم نیز با افزایش مقدار مزوتریون روند هم‌افزایی این علف‌کش با آترازین نیز تشدید شد (۲۸). علّت این هم‌افزایی احتمالاً به‌خاطر تکمیل نحوه‌ی عمل علف‌کش‌ها با هم دیگر متفاوت است. اختلاط علف‌کش‌های بازدارنده ACCase اغلب روند آنتاگونیستی را نشان می‌دهند. هم‌چنین اختلاط علف‌کش‌های خانواده ACCase و ALS، علف‌کش کوین‌کلارک با کلومازون + پروپارنیل یا تیوبنکارب روی علف‌هرز سوروف (*Echinocloa crus-galli* (L.) Beauv.) اثر آنتاگونیستی داشت درحالی‌که اختلاط کلومازون با پروپارنیل + تیوبنکارب، پروفوکسی‌دیم با سی هالوفوپ‌باتیل یا کلومازون اثر سینرژیکی را در کنترل علف‌هرز سوروف نشان داد (۲۰). در حالتی که اختلاط علف‌کش‌های ایمازتاپیر با کلودیم، فلوازیفوپ، کویزالافوپ یا ستوکسیدیم نشان می‌دهند آنتاگونیستی است و در مقایسه با عملکرد این علف‌کش‌ها در صورت کاربرد خالص مقدار علف‌کش بیشتری مورد نیاز است (۲۳).



شکل٦- برازش منحنی آیزوبول در اثر مصرف نسبت‌های مختلف اختلاط توفوردی (D) و سولفوسولفورون (A) برای علف‌هرز شبدرشیرین.

Figure 6- Fitting of isobole curve obtained from application of different ratios of 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mixtures for sweet clover.

اثـــر اخـــتلاط علـــف‌کـــش‌هـــای توفـــوردی و سولفوسولفورون بر روی گندم: نتایج مقایسه میانگین وزن‌خشک بوته‌هـای گنـدم در نسـبت‌هـای مختلـف اخـتلاط توفـوردی و سولفوسـولفورون در جـدول ۷ نشان داده شـده اسـت. وزن‌خشـک بوتـه‌هـای گنـدم تیمارهای مختلف کاربرد سولفوسولفورون به‌صـورت خالص تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که گویای ایـن است سولفوسولفورون تأثیری در کاهش وزن خشـک گنـدم نـدارد. در اخـتلاط‌هـای $D_{25}A_{75}$، $D_{50}A_{50}$ و $D_{75}A_{25}$ در دزهـــای ۰/۶، ۰/۸، ۱ و ۲ برابـــر دز توصیه‌شده بیشترین کاهش وزن خشک گندم مشاهده شـد. اخـتلاط توفـوردی و سولفوسـولفورون، دامنـه تحمل بوته‌های گندم نسبت به علف‌کش‌ها را کـاهش داد. در تیمار D_{100} دزهای یک و دو برابـر دز توصـیه شده این علف‌کش بیشـترین کـاهش در وزن خشـک گندم را موجب شد. نتایج آزمایش فتحـی (۲۰۱۴) در بررسی علف‌کش‌های دومنظوره مت‌سولفورون‌متیـل+ سولفوسولفورون، سولفوسولفورون و مزوسولفورون + یدوسـولفورون + مفـن‌پـایر نشـان داد علـف‌کـش سولفوسولفورون در وزن خشک تک‌بوته گنـدم تـأثیر چندانی نداشت (۱۰). هم‌چنین بر اساس گزارش‌های حسامی و همکاران (۲۰۰۷) سولفوسولفورون به‌میزان ۳۱ گرم در هکتار بیشترین عملکرد بیولـوژیکی گنـدم را نسبت به علف‌کش مزوسولفورون + یدوسولفورون + مفن‌پایر دارد که دلیل آن کنترل علـف‌هـرز و عـدم تأثیر سوء این علف‌کـش بـر گنـدم اسـت (۱۴). ایـن مشاهده با نتایج جانسـون و پیـرر (۲۰۰۳) و بـراین و همکـاران (۱۹۹۹) مغـایرت دارد (۱۶، ۶)؛ ولـی در راستای نتـایج بـراین و همکـاران (۲۰۰۰) اسـت کـه گزارش کردند گندم تحمل بالایی به علـف‌کـش‌هـای سولفونیل‌اوره دارد (۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین وزن‌خشک بوته‌های گندم دراثر مصرف نسبت‌های مختلف اختلاط توفوردی و سولفوسولفورون.

Table 7- Mean comparison of wheat dry weight as affected by different ratios of 2,4-D (D) and sulfosulfuron (A) tank mixtures.

دز × توصیه‌شده Dose	نسبت‌های اختلاط توفوردی و سولفوسولفورون 2,4-D and sulfosulfuron tank mixtures				
	٪۱۰۰ توفوردی 2,4-D 100%	٪۷۵ توفوردی+ ٪۲۵سولفوسولفورون 2,4-D75%+ sulfosulfuron25%	٪۵۰ توفوردی + ٪۵۰ سولفوسولفورون 2,4-D50%+ sulfosulfuron50%	٪۲۵ توفوردی + ٪۷۵ سولفوسولفورون 2,4-D25%+ sulfosulfuron75%	٪۱۰۰ سولفوسولفورون Sulfosulfuron100%
0	0.422a	0.422a	0.422a	0.422a	0.422a
0.1	0.418a	0.422a	0.422a	0.424a	0.422a
0.2	0.417a	0.423a	0.421a	0.421a	0.421a
0.4	0.399ab	0.407b	0.417a	0.419ab	0.421a
0.6	0.399ab	0.403bc	0.405b	0.414bc	0.421a
0.8	0.391ab	0.397cd	0.400b	0.409c	0.419a
1	0.384c	0.39cd4	0.399b	0.409c	0.418a
2	0.382c	0.393d	0.400b	0.408c	0.418a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column the means with similar letters are not significantly different at the 5% probability level, according to LSD

نتیجه‌گیری کلی

اختلاط دو علف‌کش توفوردی و سولفوسولفورون روی علف‌های‌هرز پهن‌برگ حالت آنتاگونیسمی را نشان داد. اختلاط این دو علف‌کش منجر به کارایی بهتر توفوردی برای کنترل شبدرشیرین شد. افزایش سهم توفوردی نسبت به سولفوسولفورون برای خردل‌وحشی سمی‌تر است. افزایش سهم سولفوسولفورون در اختلاط، میزان گیاه‌سوزی بوته‌های گندم را کاهش داد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کلیه عزیزانی که در اجرای این پژوهش همکاری نمودند تشکّر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. Ahmadi, A., and Ghaderi-Far. F. 2008. Effects of chemical scarification on dormancy and germination *Melilotus officinalis* L. (lam). In: Iranian Conference of Crop Science, 10. Karaj, 2008. (In Persian)
2. Abendroth, J.A., Martin, A.R., and Roeth, F.W. 2006. Plant response to combinations of mesotrione and photosystem II inhibitors. Weed Technol. 20: 267-274.
3. Armel, R.G., Hall, G.J., and Cullen, N. 2005. Mesotrione plus atrazine mixtures for control of Canada thistle (*Cirsium arvense*). Weed Sci. 53: 202-211.
4. Baghestani, M.A., Zand, E., Shimi, P., Faghih, A., Khalghani, J., and Min-Bashi, M. 2001. An analysis of the management of weeds in the country. Internal Journal of Weed Research. Institute of Plant Pests and Diseases. (In Persian)
5. Beckie, H.J., and Tardif, F.J. 2012. Herbicide cross resistance in weeds. Crop Protect. 35: 15-28.
6. Brain, L.S., AL-Khatib, K., and Stahlman, P. 1999. Absorption and translocation of MON 37500 in wheat and other grass species. Weed Sci. 47: 37-40.
7. Brain, L.S., AL-Khatib, K., Stahlman, P., and Isakson, P. 2000. Efficacy and Metabolism of Mon37500 in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Weedy grass species as affected by Temperature and Soil moisture. Weed Sci. 48: 541-548.
8. Chitband A.A., Ghorbani R., Rashed Mohassel M.H., Zare A., and Abbaspoor M. 2013. Isobolographic analysis for additive, synergism and antagonism in binary mixture of mesosulfuron + iodosulfuron and clodinafop-propargyl and optimizing them with citowett and frigate surfactants on wild oat *(Avena ludoviciana)*. Iran J. Weed Sci. 9: 93-104. (In Persian)
9. Damalas C.A. 2004. Herbicide Tank Mixtures: Common Interactions. Rev. Int. J. Agric. Biol. 6: 209-212.
10. Fathi, A. 2014. Integrated management of Alvand wheat straw weeds using drought-tolerant herbicides and planting densities. J. Agric Eng. Nat. Resourc. 11: 3. 31-36. (In Persian)
11. Gherekhloo, J., Rashed Mohassel, M. H., Nasiri Mahalati,M., Zand, E., Ghanbari, A.,De Prado, R., Osuna, M. D., and Vidal, R. 2007. Evaluation of resistance to acetyl CoA carboxylase inhibiting herbicides in resistant-*Phalaris minor*. 2nd Iranian Weed Science Congress (Mashhad). 29 and 30 January. 517-522. (In Persian)
12. Green, J.M., and Baily, S. 2001. Herbicide interactions with herbicides and other agricultural chemicals. Monograph series of the Weed Science Society of America (USA).
13. Hatami Moghaddam, Z. 2016. Tracing biotypes of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) and turnipweed (*Rapistrum rugosum* L.) resistant to tribenuron-methyl in wheat fields of Golestan province and studying some of their resistance mechanisms. Thesis for the degree of PhD in Agronomy, College of Agronomy Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)

14. Hesami, A., Lorzadeh, Sh., and Ariannia, N. 2007. Effect of dual purpose herbicide and tillage systems on weed control in wheat (*Triticum aestivum* L.). Proceeding of the 2nd Iranian Weed Science Congress. Pp: 126-133. (in Persian)
15. Hugie, J.A., Bollero, G.A. Tranel, P.J., and Riechers, D.E. 2008. Defining the rate requirements for synergism between mesotrione and atrazine in redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). Weed Sci. 56: 265-270.
16. Janson, P.K., and Peerer, T.F. 2003. Wheat and crop response to Mon37500. Weed Technology. 17: 55-59.
17. Jensen, K.I.N., and Caseley, J.C. 1995. Antagonistic effect of 2, 4-D and bentazon on Control of *Avena fatua* with tralkoxydim. Weed Res. 30: 389-395.
18. Kloppenburg, D.J., and Hall, J.C. 2006. Penetration of clopyralid and related weak acid herbicides into and through isolated cuticular membranes of *Euonymus fortunei*. Weed Res. 30: 431-438.
19. Kudsk, P., and Mathiassen, S.K. 2004. Joint action of amino acid biosynthesis inhibiting herbicides. Weed Res. 44: 313-322.
20. Matzenbancher, F.O. 2013. Rapid diagnosis of resistance to imidazolinone herbicide in baruyard grass (*Echinochloa crus-galli*) and control of resistant biotypes with alternative herbicides. Planta Daninha. 31: 645-656.
21. Montazeri, M., Zand, E., and Baghestani, M.A. 2007. Weed Control in Wheat (*Triticum aestivum*), Iran. Plant Protection Institute of Iran, Tehran. (In Persian)
22. Mousavi, S.K., Zand, A., and Saremi, H. 2005. Physiological function and application of herbicides. Pest and Plant Disease Research and Publication Center of Zanjan University Press. 283 p. (In Persian)
23. Myers, P.F., and Coble, H.D. 1992. Antagonism of graminicide activity on annual grass species by imazethapyr. Weed Technol. 6: 333-338.
24. Najari Kalantari, N., 2013. Identification of ACCase and ALS inhibitory herbicides in wheat fields of Aq Qala city and preparation of their distribution map. Msc Thesis, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 77 p. (In Persian)
25. Ritz, C., and J.C. Streibig. 2005. Bioasay Analysis Using R. J. Stat Softw. 12: 5. 1-22.
26. Sarabi, V., Ghanbari, A., Rashed Mohasel, M.H., Nasiri Mhalati, M., and Rastgoo, M. 2013. Effects of Mixture of Foramsulfuron and Nicosulfuron Herbicides with 2, 4-D + MCPA on the Control of Weeds in Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) and Common lambsquarters (*Chenopodium album* L.). J. Plant Protect. 28: 1. 66-78.(In Persian)
27. Streibig, J.C. 2003. Assessment of herbicide effects. Available at: www.google.com/webhp?sourceid = chrome – instant & ion = 1&espv = 2&ie = UTF-8 #q = assessment%20of %20 herbicide%20 effects. Accessed date: 24 May 2015.
28. Sutton, P., Richards, C., Buren, L., and Glasgow, L. 2002. Activity of mesotrione on resistant weeds in weeds in maize. Pest Manag. Sci. 58: 981-984.
29. Tawaha, A.M., Turk, M.A., and Machaire, G.A. 2001.Morphological and yield traits of Awnless barley as affected by date and rate of sowing under Mediterranean condition. Crop Res. 22: 311-313.
30. Verbruggen, E.M.J., and Van den Brink P.J. 2010. Review of recent literature concerning mixture toxicity of pesticides to aquatic organisms. RIVM, P.O. Box 1, 3720 BA Bilthoven, the Netherlands. www.rivm.nl. National Institute for Public Health and the Environment.
31. Zand, E., Baghestani, M.A., Soufizadeh, S., Eskandari, E., PourAzar, R., Veysi, M., Mousavi, K., and Barjasteh, A. 2007. Evaluation of some newly registered herbicide for weed control in wheat (*Triticum aestivum* L.) in Iran. Crop Protect. 26: 1349-1358. (In Persian)