Plant Production and Genetics **تولید و ژنتیک گیاهی**

Vol. 4, No. 1, Spring & Summer 2023, p. 1-18 **جلد ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحه ۱۸-۱**

مقاله پژوهشی

DOI: 10.34785/J020.2022.013

استفاده از منحنی‌های هم‌اثر در بررسی اثرات اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و فلومیوکسازین در کنترل علف‌های‌هرز سیب‌زمینی

الهام صمدی کلخوران[۱]، محمدتقی آل ابراهیم*[۲]، حمیدرضا محمددوست چمن آباد[۲]، جنزکارل استربیگ[۳]، اکبر قویدل[۴]

۱. دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. استاد، گروه علوم محیطی و گیاهی، دانشگاه کپنهاگ، کپنهاگ، دانمارک

۴. دانشیار، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۳

چکیده

یکی از مؤثرترین روش‌ها برای جلوگیری و به تأخیر انداختن بروز مقاومت به علف‌کش‌ها و افزایش طیف کنترلی علف‌های‌هرز، اختلاط علف‌کش‌ها می‌باشد. به منظور بررسی تأثیر اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و فلومیوکسازین، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در اردبیل در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون، علف‌کش متری‌بوزین با دزهای ۱۰/۹۳، ۲۱/۸۷، ۴۳/۷۵، ۸۷/۵، ۱۷۵، ۳۵۰ و ۷۰۰ گرم ماده مؤثره در هکتار و هالوسولفورون با دزهای ۰/۷۸، ۱/۵۶۲، ۳/۱۲۵، ۶/۲۵، ۱۲/۵، ۲۵ و ۵۰ گرم ماده مؤثره در هکتار در نسبت‌های اختلاط (۰:۱۰۰)، (۲:۹۸)، (۷:۹۳)، (۱۸:۸۲) و (۱۰۰:۰) درصد در سه تکرار استفاده شد. در اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین، علف‌کش متری‌بوزین با دزهای ۱۰/۹۳، ۲۱/۸۷، ۴۳/۷۵، ۸۷/۵، ۱۷۵، ۳۵۰ و ۷۰۰ گرم ماده مؤثره در هکتار و فلومیوکسازین با دزهای ۰/۹۷، ۱/۹۵، ۳/۹، ۷/۸۱، ۱۵/۶۲، ۳۱/۲۵ و ۶۲/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار در نسبت‌های اختلاط (۰:۱۰۰)، (۳:۹۷)، (۸:۹۲)، (۲۱:۷۹) و (۱۰۰:۰) درصد در سه تکرار بکار برده شد. آزمایش در دو مرحله‌ی پیش‌رویشی (هفت روز پس از کاشت سیب‌زمینی) و پس‌رویشی (مرحله‌ی سبز شدن ۷۵ درصد سیب‌زمینی، ۳۵ روز پس از کاشت) مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر ED_{50} و ED_{90} نشان داد که نسبت اختلاط (۱۰۰:۰) درصد متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین در مرحله‌ی پیش‌رویشی بیشترین تأثیر را در کاهش وزن خشک کل علف‌های هرز پیچک صحرایی و چسبک داشت. منحنی‌های هم اثر نشان داد که بر همکنش اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین، با استفاده از مدل افزایش غلظت، بصورت هم‌کاهی می‌باشد.

کلیدواژگان: اثر همکاهی، اختلاط علف‌کش، کنترل شیمیایی، لگ لجستیک

---

*ایمیل نویسنده مسئول: m_ebrahim@uma.ac.ir

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از نظر تأمین غذای مردم جهان، سومین محصول غذایی مهم بعد از برنج و گندم در جهان می‌باشد (CPRI, 2014; Samadi Kalkhoran and Alebrahim, 2016a, 2017). علف‌های هرز، خسارتی به ارزش میلیاردها دلار در هر سال به محصولات کشاورزی وارد می‌کنند و سبب افزایش هزینه‌های تولید می‌شوند (Hussain *et al*., 2015). استفاده از علف‌کش‌ها، یکی از مؤثرترین روش‌های مدیریت علف‌های هرز است (Thrall *et al*., 2011; Samadi Kalkhoran *et al*., 2016b, 2021b). در دهه‌های اخیر، کاربرد مداوم و گسترده علف‌کش‌ها سبب توسعه سریع بیوتیپ‌های مقاوم علف‌های‌هرز، افزایش نگرانی‌های زیست محیطی و هزینه‌های بالای تولید شده است (Beckie *et al*., 2012; Khalil Tahmasebi *et al*., 2017). به علت کاربرد گسترده علف‌کش‌ها با محل عمل مشابه و عدم کشف علف‌کش‌های جدید، تا سال ۲۰۲۱، ۵۱۵ بیوتیپ از علف‌های هرز که متعلق به ۲۶۳ گونه از علف‌های هرز هستند، مقاوم به علف‌کش‌ها شدند که از میان آن‌ها، ۱۵۲ گونه دو لپه و ۱۱۱ گونه تک لپه هستند و در ۹۴ گیاه زراعی در ۷۱ کشور در سراسر جهان ایجاد شده است (Heap, 2021). برای جلوگیری و به تأخیر انداختن بروز مقاومت به علف‌کش‌ها و همچنین کاهش مقاومت چندگانه در علف‌های‌هرز راهکارهای مختلفی توصیه شده است. اختلاط دو یا چند علف‌کش در مخزن سم‌پاش، برای کنترل طیف وسیعی از علف‌های‌هرز بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (Baghestani *et al*., 2008; Khalil Tahmesebi *et al*., 2018).

کاربرد اختلاط علف‌کش‌ها باعث ایجاد اثرات متقابل مواد شیمیایی در محلول، سطح گیاه، خاک و درون بافت شامل جذب، انتقال به جایگاه هدف سلول می‌شوند (Green and Baily, 2001). اثرات متقابل می‌تواند به سه صورت افزایشی، هم‌کاهی و هم‌افزایی باشد (Kudsk, 2008). کاربرد اختلاط علف‌کش‌های انتخابی در حالت هم‌فزایی دارای مزایای زیادی در مقایسه با کاربرد خالص علف‌کش‌ها می‌باشد از جمله: کاهش هزینه تولید گیاهان زراعی بوسیله‌ی ذخیره زمان و کار، کاهش فشردگی خاک از طریق حذف عملیات‌های زراعی چندگانه در مزرعه، بهبود ایمنی گیاه زراعی از طریق کاربرد دز کمتر ترکیب مواد شیمیایی بکار رفته در مقایسه با کاربرد دز بالاتر یک ماده شیمیایی، افزایش طیف کنترلی علف‌های‌هرز، کاهش بقایای مواد شیمیایی در گیاهان زراعی یا خاک از طریق کاربرد حداقل دزهای مواد شیمیایی، به تأخیر انداختن بروز مقاومت علف‌های هرز به علف‌کش‌های انتخابی (Streibig and Jensen, 2000). امروزه، در کشاورزی بطور گسترده‌ای از اختلاط علف‌کش‌ها استفاده می‌شود. از دلایلی که اختلاط علف‌کش‌ها در دهه‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته می‌توان به بالا بودن هزینه کشف علف‌کش‌های جدید، طیف گسترده کنترل علف‌های‌هرز و از دست دادن کارایی اکثر علف‌کش‌ها پس از مدتی استفاده از آن‌ها اشاره کرد. اختلاط علف‌کش‌ها می‌تواند نیمه عمر علف‌کش‌ها را به خصوص زمانیکه برخی از علف‌های‌هرز به آسانی به یکی از علف‌کش‌ها مقاوم می‌شود، را طولانی کند (Wrubel and Gressel, 1994). در اختلاط‌هایی که علف‌کش‌ها از خانواده‌های متفاوتی هستند اثرات هم‌کاهی بیشتر دیده می‌شود. اثرات هم‌افزایی نیز بیشتر در علف‌کش‌هایی که از یک خانواده شیمیایی می‌باشند ایجاد می‌شود (Samadi Kalkhoran *et al*., 2021c).

به منظور محاسبه اثرات متقابل علف‌کش‌ها از روش ایزوبول استفاده می‌شود (Samadi Kalkhoran *et al*., 2021a; Samadi Kalkhoran *et al*., 2022). برای نشان دادن اثرات متقابل ترکیبات متفاوت اختلاط علف‌کش‌ها، از لگاریتم تغییرشکل یافته داده‌ها بفرم منحنی‌های ایزوبول، استفاده می‌شود. در روش ایزوبول در هر منحنی در پاسخ، سطحی از علف‌کش که باعث ۵۰٪ کاهش در وزن می‌شود (ED_{50})، استفاده می‌شود. این روش ایزوبول، درحقیقت مطالعه پاسخ‌های گیاه در ED_{50} هر علف‌کش و نسبت‌های مختلف اختلاط آنهاست. این روش، منحنی دز پاسخ در سطح ۵۰ درصد را، بعنوان معیاری برای اندازه‌گیری پاسخ گیاه برای اختلاط علف‌کش بصورت افزایشی، سینرژیست و آنتاگونیستی و اثرات تشدیدکنندگی جایگزین می‌کند (Jonker *et al*., 2005). متری‌بوزین با نام تجاری سنکور (Sencor, WP 70%) از علف‌کش‌های بازدارنده‌های فتوسیستم II و از خانواده تریازینون می‌باشد (Samadi Kalkhoran *et al*., 2021a). در ایران، متری‌بوزین برای سیب‌زمینی به میزان ۷۵۰-۱۰۰۰ گرم در هکتار و بصورت

پیش‌رویشی به ثبت رسیده است (Samadi Kalkhoran *et al*., 2021a). (Azadbakht and Alebrahim, 2017) گزارش کردند که متری‌بوزین هم بصورت پیش‌رویشی و هم پس‌رویشی جهت کنترل علف‌های هرز استفاده می‌شود. مصرف پس‌رویشی آن باعث ایجاد زردی در واریته‌های Russet Norkotah و AC Novachip سیب‌زمینی می‌شود (Arsenault and Ivany, 1996). متری‌بوزین با اتصال به پروتئین D_1 در فتوسیستم II باعث بازدارندگی در فتوسیستم II در گیاهان حساس می‌شود (Robinson *et al*., 1996). این علف‌کش می‌تواند طیف وسیعی از علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ را کنترل کند و سازگاری خوبی با محصولات زراعی دارد (Zand *et al*., 2007). ولی کاربرد زودهنگام آن در اوایل رشد سیب‌زمینی نمی‌تواند در طول فصل رشد، علف‌های هرز تابستانه دیر هنگام از جمله جنس تاج‌خروس (*Amaranth* spp.) خرفه (*Portulaca oleracea* L.) و تاج‌ریزی (*Solanum nigrum* L.) را به خوبی کنترل کند؛ بنابراین از روش‌های دیگر بایستی استفاده شود (Alebrahim *et al*., 2012).

هالوسولفورون (سمپرا، ٪WG۷۵) یک علف‌کش سیستمیک انتخابی، از خانواده سولفونیل اوره است (Vencill, 2002). سولفونیل اوره‌ها از بیوستز اسیدآمینه‌های زنجیره‌ای شاخه‌دار مانند والین، لوسین و ایزولوسین جلوگیری می‌کند. محل هدف سولفونیل اوره‌ها آنزیم استولاکتات سینتاز است (Vencill, 2002). علف‌کش هالوسولفورون می‌تواند علف‌های هرز پهن‌برگ و جگن‌ها را کنترل کند. بعبارتی دیگر، هالوسولفورون برای کنترل اویارسلام زرد (*Cyperus esculentus* L.) و قهوه‌ای (*Cyperus rotundus* L.)، سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.)، تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)، توق (*Xanthium strumarium* L.)، گاوپنبه (*Abutilon theophrasti* L.) خردل‌وحشی (*Sinapis arvensis* L.) و تاتوره (*Datura stramonium* L.) در سیب‌زمینی، برنج، ذرت، لوبیای سفید، سیب‌زمینی شیرین، هندوانه و طالبی استفاده می‌شود (MacRae *et al*., 2008; Soltani *et al*., 2014). این علف‌کش بصورت پیش کاشت مخلوط با خاک، پیش‌رویشی و پس‌رویشی استفاده می‌شود (Sikkema *et al*., 2004). علف‌کش فلومیوکسازین (پلچ، ٪WP۵۰) علف‌کشی از خانواده N- فنیل فتالیمید است (Mossler and Langeland, 2006) و از بازدارنده‌های پروتوپورفیرینوژن اکسیداز (Protoprophynogen oxidase) می‌باشد (Vasilakoglou *et al*., 2013). آنزیم پروتوپورفیرینوژن اکسیداز یک آنزیم مهم در بیوسنتز هم و کلروفیل *a* می‌باشد (Mueller *et al*., 2014). این علف‌کش در سطح جهانی، برای کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ در نخود فرنگی، سویا، پنبه، یونجه، چغندرقند، سیب‌زمینی، پیاز، سیب‌زمینی شیرین، نعناع و انگور استفاده می‌شود (Boydston *et al*., 2012; Hermann *et al*., 2017) با توجه به مطالب مذکور، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر اختلاط علف‌کش متری‌بوزین با هالوسولفورون و علف‌کش متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر کنترل علف‌های‌هرز سیب‌زمینی می‌باشد. یافتن دز و نسبت اختلاط مؤثر علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین از اهداف دیگر پژوهش می‌باشد. از سویی دیگر دز توصیه شده بیش از مقدار مورد نیاز برای علف‌کش متری‌بوزین می‌باشد و مقدار بیشتری را به محیط وارد می‌کند، بر این اساس کاهش دز علف‌کش‌های بکار رفته برای کنترل علف‌های هرز در کاربرد خالص و اختلاط با یکدیگر بخصوص در مراحل ابتدایی رشد از دیگر اهداف این پژوهش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای در طی فصل بهار و تابستان سال ۱۳۹۸ در مزرعه‌ای واقع در ۱۲ کیلومتری شمال شهر اردبیل در روستای شیخ کلخوران با ۱۳۵۰ متر از سطح دریا و طول جغرافیایی °۴۸ و ′۲۰ و عرض جغرافیایی °۳۸ و ′۱۵ با اقلیم نیمه خشک و سرد با متوسط بارندگی ۲۹۶/۱ میلی‌متر در ۳۰ سال گذشته و متوسط حداقل و حداکثر دمای مطلق ۳۳/۸- و ۳۹/۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه ۳ و ۱۵/۱ اجرا شد. خاک مزرعه دارای بافتی رسی لومی، اسیدیته (pH) ۷/۷۶، هدایت الکتریکی (EC) ۲/۰۴ دسی زیمنس بر متر و درصد کربن آلی ۰/۸۵ بود. زمین قبل از کاشت، با گاوآهن برگردان‌دار در ۱۴ شهریور ماه سال ۱۳۹۷ شخم زده شد. سپس با استفاده از دیسک دوبار عمود بر هم خاک نرم و کلوخه‌ها خرد شد. عملیات شخم ثانویه شامل دیسک‌زنی و تهیه جوی و پشته‌ها در ۲۰ فروردین ماه سال ۱۳۹۸ انجام شد و فاصله بین ردیف‌های کاشت ۷۵ سانتی‌متری در نظر گرفته شد. طول و عرض کرت‌ها ۲*۳ متر مربع و فاصله بین بلوک‌ها (تکرارهای آزمایش) یک متر در نظر گرفته شد. غده‌های سیب‌زمینی رقم آگریا با فاصله ردیف ۷۵ سانتی‌متر و روی

ردیف ۲۵ سانتی‌متر در عمق ۱۰ سانتی‌متری با ماشین سیب‌زمینی کار کشت شد. اولین آبیاری ۱۰ روز بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی با توجه به نیاز آبی گیاه حدود ۱۰-۷ روز یک‌بار انجام گردید. عملیات آبیاری مزرعه به صورت جوی‌پشته ای و در بین فاروئرها انجام شد. با مشاهده سوسک کلرادو، مزرعه با سم کنفیدور به میزان ۲۵۰ میلی-لیتر در هکتار علیه لارو سن اول و دوم این آفت سم‌اشی شد. هر کرت آزمایشی به دو نیم تقسیم شد و نیمه اول هر کرت تحت تیمار سمپاشی قرار گرفت ولی نیمه‌ی دوم کرت، سمپاشی انجام نشد و به عنوان شاهد همان کرت در نظر گرفته شد.

دو آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و با تراکم ثابت سیب‌زمینی پیاده شد. آزمایش اول برای اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و آزمایش دوم برای اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین به اجرا در آمد. آزمایش در دو مرحله‌ی پیش‌رویشی (هفت روز پس از کاشت سیب‌زمینی) و پس‌رویشی (مرحله‌ی سبز شدن ۷۵ درصد سیب‌زمینی، ۳۵ روز بعد از کاشت) مورد ارزیابی قرار گرفت. در اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون، علف‌کش متری‌بوزین با دزهای ۱۰/۹۳، ۲۱/۸۷، ۴۳/۷۵، ۸۷/۵، ۱۷۵، ۳۵۰ و ۷۰۰ گرم ماده مؤثره در هکتار و هالوسولفورون با دزهای ۰/۷۸، ۱/۵۶۲، ۳/۱۲۵، ۶/۲۵، ۱۲/۵، ۲۵ و ۵۰ گرم ماده مؤثره در هکتار در نسبت‌های اختلاط (۰:۱۰۰)، (۲:۹۸)، (۷:۹۳)، (۱۸:۸۲) و (۱۰۰:۰) درصد استفاده شد. در اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین، علف‌کش متری‌بوزین با دزهای ۱۰/۹۳، ۲۱/۸۷، ۴۳/۷۵، ۸۷/۵، ۱۷۵، ۳۵۰ و ۷۰۰ گرم ماده مؤثره در هکتار و فلومیوکسازین با دزهای ۰/۹۷، ۱/۹۵، ۳/۹، ۷/۸۱، ۱۵/۶۲، ۳۱/۲۵ و ۶۲/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار در نسبت‌های اختلاط (۰:۱۰۰)، (۳:۹۷)، (۸:۹۲)، (۲۱:۷۹) و (۱۰۰:۰) درصد استفاده شد. وزن خشک علف‌های هرز، ۲۱ روز بعد از کاربرد اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بوسیله یک کودرات ۰/۷۵×۰/۵۰ متر مربع اندازه‌گیری شد. همچنین ۲۱ روز پس از کاربرد اختلاط علف‌کش‌ها، ارزیابی چشمی بوته‌های سیب‌زمینی انجام شد. وزن خشک علف‌های‌هرز در هر دو بخش تیمار شده و تیمار نشده (شاهد همان کرت) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، کل بوته‌های برداشت شده از داخل کوادرات ۰/۷۵×۰/۵۰ متر مربع، در داخل پاکت‌های کاغذی قرار داده شد و در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و توزین شد. برای آنالیز داده‌های وزن خشک علف‌های هرز از نرم افزار R ورژن ۴-۰-۱ استفاده شد. برای تعیین ED_{50} هر یک از نسبت‌های اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین برای وزن خشک کل علف‌های هرز از مدل لگ لجستیک سه پارامتره (معادله ۱) استفاده شد (Striebig and Jensen, 2000)

معادله (۱)

$$U_{ij}=\frac{D}{1+\exp\{b_i\ (\log b(z_{ij})|(\log ED_{50(i)}))\}}$$

U_{ij} بیانگر وزن خشک علف‌های هرز j ام که موجب پاسخ در دز j ام فرمولاسیون (z_{ij}) می‌شود. D حد بالا وزن خشک علف‌های هرز، ED_{50} مقدار فرمولاسیون i لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک، b_i متناسب با شیب خط در محدوده ED_{50} می‌باشد. پس از تعیین مقادیر ED_{50} از پارامتر پتانسیل نسبی (معادله ۲)، استفاده شد. پتانسیل نسبی بین علف‌کش‌ها در کاربرد خالص علف‌کش‌ها از معادله دو محاسبه شد:

معادله (۲) $r = ED_{50A}/ED_{50B}$

پتانسیل نسبی (r) بین علف‌کش‌های A و B نرخ بیولوژیکی بین علف‌کش‌ها را زمانیکه به صورت خالص بکار برده می-شوند، بیان می‌کند (Streibig *et al*., 1998). از مدل افزایش غلظت (Concentration addation) برای تعیین اثرات هم-افزایی، همکاهی و افزایشی اختلاط علف‌کش‌ها استفاده شد (Streibig *et al*., 1998). مدل افزایش غلظت مدلی است خطی که بصورت ذیل بیان می‌شود:

معادله (۳) $Z_1=r.Z_2= z_m= z_1 + r.z_2$

Z_1 و Z_2 به ترتیب مقادیر ED_{50} برای علف‌کش یک و دو در حالت کاربرد خالص و z_1 و z_2 به ترتیب مقادیر ED_{50} برای علف‌کش یک و دو در حالت کاربرد اختلاط علف‌کش‌ها است. صحت و دقت مدل با آزمون عدم برازش (Lack of fit) مورد ارزیابی قرار گرفت (Ritz and Streibig, 2015). نمودارهای هم اثر (ایزوبول) حاصل از اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین شامل: خط عمود (محور y) نسبت (۰:۱۰۰) درصد هالوسولفورون یا فلومیوکسازین، خط افقی (محور x) نسبت (۰:۱۰۰) درصد متری‌بوزین و خطاهای اریب نسبت-های مختلف اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با

هالوسولفورون یا اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین می‌باشد. بر روی خط‌های منقطع (نقطه‌چین) خط‌های مشکی و توپری قرار دارد که نشان‌دهنده خطای استاندارد ED_{50} هر یک از نسبت‌ها می‌باشد. خط مستقیمی که تمام منحنی‌ها را قطع می‌کند خط اثر افزایش غلظت (هم‌اثر) است، نقاطی که بصورت معنی‌داری پایین‌تر از این خط قرار می‌گیرد، اثرات تشدید کنندگی (هم‌افزا) و نقاطی که به طور معنی‌داری بالاتر از این خط قرار گیرند، نشان دهنده اثرات بازدارنده (هم‌کاهی) در اختلاط دو علف‌کش می‌باشد. در رسم نمودارهای هم اثر مبنا بر این است که زمانیکه دو علف‌کش باهم مخلوط می‌شوند اختلاط دو علف‌کش به صورت افزایش غلظت باشد و دو علف‌کش هیچ اثر متقابلی با یکدیگر نداشته و حالت تشدید کنندگی و یا کاهندگی بر روی یکدیگر نداشته باشند، یعنی اثر دو علف‌کش در حالت اختلاط با اثر هر یک از علف‌کش‌ها در حالت خالص برابر است. درصورتیکه علف‌کش‌ها بر روی یکدیگر اثر بگذارند منجر به ایجاد اثر افزایشی یا کاهشی دو علف‌کش نسبت به میزان پاسخ پیش‌بینی شده خواهد شد. آنالیز داده‌های حاصل از ارزیابی چشمی خسارت به سیب‌زمینی با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.2 انجام شد و میانگین‌ها هم با استفاده از روش آزمون LSD در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

علف‌های هرز مشاهده شده در مزرعه سیب‌زمینی مورد آزمایش عبارت بودند از: پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.)، چسبک (*Setaria viridis* L.)، سلمه‌تره، تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)، کنگر صحرایی (*Cirsium arvensis*)، تاج خروس رونده یا خوابیده (*Amaranthus blitoides*)، تلخه (*Acroptilon repens* L.)، خلر (*Lathyrus sativus*) پیچک صحرایی و چسبک از علف‌های هرز غالب مزرعه سیب‌زمینی بودند.

کاربرد اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین باعث ایجاد خسارت به بوته‌های سیب‌زمینی شد. میزان خسارت در مرحله‌ی پیش‌رویشی نسبت به مرحله‌ی پس‌رویشی کمتر بود؛ بطوری‌که کاربرد در ۶۲/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار از اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین با نسبت اختلاط (۱۰۰:۰) درصد در مرحله‌ی پس‌رویشی باعث ایجاد بالاترین خسارت به میزان ۱۵ درصد شد و در مرحله‌ی پیش‌رویشی این میزان ۷/۵ درصد بود. علائمی که بر روی بوته‌های سیب‌زمینی ایجاد شده بود شامل نکروز در مرحله‌ی پس‌رویشی و عدم جوانه‌زنی سیب‌زمینی در مرحله‌ی پیش‌رویشی بود. میزان خسارت در اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون در مرحله‌ی پس‌رویشی ۵ درصد بود که در دز ۵۰ گرم ماده مؤثره در هکتار با نسبت اختلاط (۱۰۰:۰) درصد بالاترین آسیب را ایجاد کرد. در مرحله‌ی پیش‌رویشی میزان آسیب بسیار ناچیز بود. علائمی که پس از کاربرد اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون ایجاد می‌شود شامل لکه‌های زرد رنگ روی برگ‌ها می‌باشد (داده‌ها نشان داده نشده‌اند). بطور کلی تفاوت در میزان تحمل سیب‌زمینی، به تفاوت در متابولیسم (Dayan *et al*., 1996)، تفاوت در جذب ریشه (Wehtje *et al*., 1997)، تفاوت در جذب شاخ و برگ در مراحل اولیه رشدی (Li *et al*., 2000) بستگی دارد. لاو و همکاران (Love *et al*., 2003) بیان کردند که اولین علائم بعد از کاربرد متری‌بوزین، بیرنگی رگبرگ‌ها و کلروز می‌باشد. علائم کاربرد علف‌کش متری‌بوزین در سیب‌زمینی شامل بی‌رنگی، بازدارندگی رشد ریشه و شاخ و برگ، بدشکلی غده‌ها و کاهش اندازه غده‌ها می‌باشد (Mukherjee *et al*., 2012). یورمیس و همکاران (Uremis *et al*., 2009) گزارش کردند که ۵-۷ روز بعد از کاربرد متری‌بوزین، کلروز در حاشیه برگ‌ها ایجاد می‌شود ولی بعد از ۱۵ روز این علائم از بین می‌رود. از بین رفتن علائم حاصل از متری‌بوزین توسط فونسکا و همکاران (Fonseca *et al*., 2018) نیز گزارش شده است. تحمل بعضی از ارقام سیب‌زمینی به علف‌کش متری‌بوزین بعلت الحاق آن می‌باشد؛ بطوریکه متری‌بوزین الحاق شده در رگ‌برگ‌ها باقی می‌مانند و هیچ تأثیری در فتوسنتز ایجاد نمی‌کند. در ارقامی که نسبت به متری‌بوزین حساس هستند، متری‌بوزین غیر الحاقی، در محل هدف خود بر فتوسنتز تأثیر می‌گزارند (Gawronski *et al*., 1985). بر اساس گزارشات (Grichar *et al*., 2003)، دو هفته بعد از کاربرد پس‌رویشی هالوسولفورون کلروز، بازدارندگی رشد و نکروز در حاشیه برگ‌ها دیده شد. کاربرد هالوسولفورون بصورت پس‌رویشی به میزان ۳۳ گرم در هکتار موجب بازدارندگی رشد سیب‌زمینی به میزان ۷-۲۰ درصد شد؛ در حالیکه در دز ۶۶ گرم در هکتار، میزان این بازدارندگی به ۱۸-۲۶ رسید. پاسخ‌های رقم‌های مختلف سیب‌زمینی به کاربرد هالوسولفوورن متفاوت بود. میزان بازدارندگی رشد در رقم آتلانتیک سیب‌زمینی در دز ۶۶

گرم در هکتار به ۴۰ درصد رسید. Huchinson *et al.*, (2005) گزارش کردند که کاربرد پس‌رویشی فلومیوکسازین باعث ایجاد نکروز و خشک شدن سریع شاخ و برگ می‌شود. (Hutchinson, 2007) بیان داشتند که علائم اولیه خسارت فلومیوکسازین به صورت چروکیدگی برگ‌ها و بازدارندگی رشد دیده می‌شود. سمیت و آسیب در کاربرد پس‌رویشی فلومیوکسازین بیشتر می‌باشد و در ساقه و برگ، قهوه‌ای شدن و نکروز شدن آن‌ها دیده شد. اما در کاربرد پیش‌رویشی بعد از هشت هفته این علایم کاهش پیدا کرد (Vasilakoglou *et al.*, 2013).

تأثیر اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر وزن خشک کل علف‌های‌هرز در دو مرحله‌ی پیش‌رویشی و پس‌رویشی سیب‌زمینی

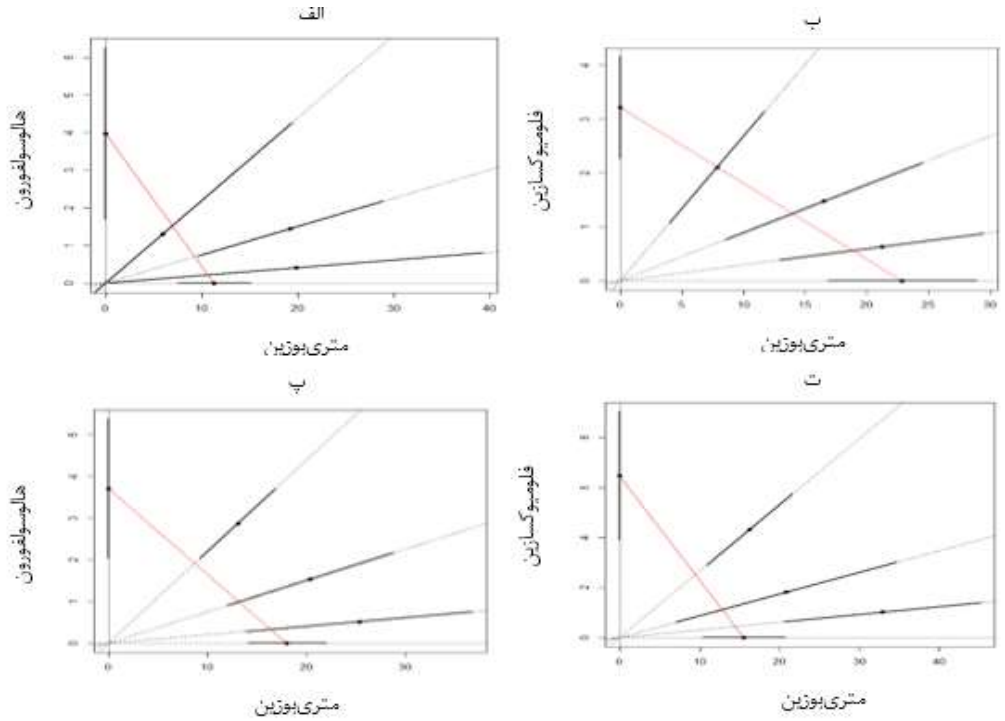
داده‌های وزن خشک کل علف‌های هرز حاصل از اختلاط‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین در دو مرحله‌ی پیش‌رویشی و پس‌رویشی با مدل لگ لجستیک سه پارامتره برازش داده شد. آزمون عدم برازش در هر دو مرحله‌ی مورد بررسی و برای هر دو اختلاط معنی‌دار نشد ($P\geq$۰/۰۵) (جدول ۱). پارامترهای برآورد شده مدل لگ لجستیک سه پارامتره برای هر دو اختلاط مورد بررسی در مراحل پیش‌رویشی و پس‌رویشی در جدول ۱ آورده شده است. همانطوریکه ملاحظه می‌شود، مقادیر ED_{50} نسبت‌های مختلف اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین متفاوت می‌باشد. کاربرد دزهای ۱۱/۲۸، ۲۰/۲۶، ۲۰/۷۱، ۷/۲۸ و ۳/۷۰ گرم ماده مؤثره در هکتار بصورت پیش‌رویشی به ترتیب با نسبت‌های اختلاط (۰:۱۰۰)، (۲:۹۸)، (۷:۹۳)، (۱۸:۸۲) و (۱۰۰:۰) درصد از اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون باعث کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک کل علف‌های هرز در مزرعه شد (جدول ۱). مقادیر ED_{50} اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین با نسبت‌های (۰:۱۰۰)، (۳:۹۷)، (۸:۹۲)، (۲۱:۷۹) و (۱۰۰:۰) درصد بصورت پیش‌رویشی به ترتیب ۲۲/۸۷، ۲۱/۸۶، ۱۷/۹۹، ۹/۹۵، ۳/۲۱ گرم ماده مؤثره در هکتار برای وزن خشک کل علف‌های هرز می‌باشد (جدول ۱). حداقل دزهای مورد نیاز برای کاهش وزن خشک کل علف‌های هرز توسط اختلاط‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین در مرحله‌ی پس‌رویشی به مراتب بیشتر از مرحله‌ی پیش‌رویشی می‌باشد. همانطوریکه در جدول ۱ ملاحظه می‌شود کاربرد دزهای ۱۸/۰۲، ۲۵/۸۵، ۲۱/۸۹، ۱۵/۹۳، ۳/۹۷ گرم ماده مؤثره در هکتار به ترتیب با نسبت‌های (۰:۱۰۰)، (۲:۹۸)، (۷:۹۳)، (۱۸:۸۲) و (۱۰۰:۰) درصد از اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون بصورت پس‌رویشی باعث کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک کل علف‌های هرز شد. برای اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین مقادیر ED_{50} در نسبت‌های (۰:۱۰۰)، (۳:۹۷)، (۸:۹۲)، (۳۱:۷۹) و (۱۰۰:۰) درصد در مرحله‌ی پس‌رویشی، به ترتیب مقادیر ۱۵/۴۹، ۳۳/۸۶، ۲۲/۶۵، ۲۰/۵۴ و ۶/۴۶ گرم ماده مؤثره در هکتار بدست آمد (جدول ۱). با دقت در مقادیر ED_{50} می‌توان دریافت که اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین در مرحله‌ی پیش‌رویشی کمترین میزان ED_{50} را در نسبت‌های مختلف ایجاد کرد (جدول ۱). کاربرد علف‌کش‌ها بصورت خالص به خوبی توانست وزن خشک کل علف‌های هرز را کاهش دهد. بیشترین کاهش مربوط به کاربرد خالص فلومیوکسازین در مرحله‌ی پیش‌رویشی با ۳/۲۱ =ED_{50} می‌باشد. نسبت‌های اختلاط (۱۸:۸۲) درصد متری‌بوزین با هالوسولفورون و (۲۱:۷۹) درصد متری‌بوزین با فلومیوکسازین نسبت به سایر نسبت‌های اختلاط بیشترین کاهش وزن خشک کل علف‌های هرز را بهمراه داشت (جدول ۱). مقادیر ED_{50} نشان داد که با افزایش میزان درصد هالوسولفورون در اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و فلومیوکسازین در اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین، مقادیر ED50 کاهش یافت که نشان از اثربخشی بیشتر هالوسولفورون و فلومیوکسازین نسبت به متری‌بوزین در کاهش وزن خشک کل علف‌های‌هرز دارد.

جدول ۱- برآورد پارامترهای بدست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتره برای اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین در مرحله‌ی پیش‌رویشی و پس‌رویشی بر وزن خشک کل علف‌های هرز

وزن خشک در مرحله پیش‌رویشی (متری‌بوزین: هالوسولفورون)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۰۰ (۰/۱۴)	۲۱۸/۵۹ (۹/۵۳)	۱۱/۲۸ (۱/۹۲)	۱۰۱/۶۳ (۱۷/۷۸)	۰/۹۹
(۲:۹۸)	۱/۳۷ (۰/۴۳)	۱۷۰/۸۵ (۴۶/۴۴)	۲۰/۲۶ (۹/۹۰)	۹۲/۸۵ (۱۹/۰۹)	۰/۹۸
(۷:۹۳)	۱/۵۷ (۰/۳۷)	۱۶۸/۵۲ (۲۳/۳۰)	۲۰/۷۱ (۵/۱۹)	۸۳/۷۶ (۱۷/۸۳)	۰/۹۸
(۱۸:۸۲)	۰/۸۲ (۰/۲۵)	۱۹۹/۹۴ (۸۵/۶۰)	۷/۲۸ (۸/۲۱)	۵۷/۱۸ (۱۰/۶۰)	۰/۹۸
(۱۰۰:۰)	۱/۲۶ (۰/۲۵)	۱۹۶/۴۰ (۲۴/۶۳)	۳/۷۰ (۱/۱۴)	۱۸/۵۵ (۳/۲۳)	۰/۹۸
وزن خشک در مرحله پیش‌رویشی (متری‌بوزین: فلومیوکسازین)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۲۱ (۰/۱۵)	۱۸۹/۴۶ (۸/۹۱)	۲۲/۸۷ (۳/۰۳)	۱۳۶/۳۶ (۲۹/۲۲)	۰/۳۲
(۲:۹۷)	۲/۱۲ (۰/۶۴)	۱۶۷/۹۰ (۲۴/۲۴)	۲۱/۸۶ (۴/۲۵)	۶۱/۵۵ (۱۲/۴۳)	۰/۳۲
(۸:۹۲)	۱/۸۰ (۰/۵۶)	۱۴۱/۱۹ (۲۲/۱۲)	۱۷/۹۹ (۴/۳۴)	۶۰/۸۶ (۱۵/۷۵)	۰/۳۲
(۲۱:۷۹)	۱/۶۵ (۰/۴۳)	۱۸۱/۴۳ (۲۷/۵۰)	۹/۹۵ (۲/۴۳)	۳۷/۵۲ (۷/۸۰)	۰/۳۲
(۱۰۰:۰)	۱/۸۱ (۰/۴۰)	۲۱۱/۱۱ (۲۰/۲۵)	۳/۲۱ (۰/۴۷)	۱۰/۷۴ (۲/۰۴)	۰/۳۲
وزن خشک در مرحله پس‌رویشی (متری‌بوزین: هالوسولفورون)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۲۷ (۰/۱۴)	۱۳۰/۲۴ (۵/۱۷)	۱۸/۰۲ (۱/۹۸)	۱۰۱/۳۲ (۲۴/۳۵)	۰/۹۸
(۲:۹۸)	۱/۷۱ (۰/۴۳)	۹۶/۸۶ (۱۳/۴۲)	۲۵/۸۵ (۵/۸۲)	۹۹/۷۶ (۲۳/۶۷)	۰/۹۸
(۷:۹۳)	۱/۴۸ (۰/۲۸)	۱۱۱/۱۵ (۱۲/۱۴)	۲۱/۸۹ (۴/۵۱)	۹۵/۸۸ (۱۷/۸۲)	۰/۹۸
(۱۸:۸۲)	۱/۷۱ (۰/۳۲)	۱۰۴/۹۸ (۸/۲۵)	۱۵/۹۳ (۲/۳۲)	۱۰۴/۱۳ (۴۷/۵۲)	۰/۹۸
(۱۰۰:۰)	۱/۳۶ (۰/۲۴)	۱۱۴/۴۰ (۱۲/۰۰)	۳/۹۷ (۰/۸۳)	۲۲/۷۰ (۴/۴۴)	۰/۹۸
وزن خشک در مرحله پس‌رویشی (متری‌بوزین: فلومیوکسازین)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۰۱ (۰/۱۶)	۴۰۵/۷۲ (۲۰/۴۸)	۱۵/۴۹ (۲/۶۰)	۱۳۴/۶۰ (۴۱/۴۷)	۰/۹۵
(۲:۹۷)	۲/۲۷ (۰/۹۱)	۲۲۵/۵۰ (۲۸/۲۳)	۳۳/۸۶ (۶/۳۲)	۸۸/۸۸ (۳۰/۹۹)	۰/۹۵
(۸:۹۲)	۱/۵۶ (۰/۵۲)	۲۶۲/۵۹ (۴۷/۱۹)	۲۲/۶۵ (۷/۴۸)	۹۱/۸۸ (۲۸/۳۸)	۰/۹۵
(۲۱:۷۹)	۱/۸۹ (۰/۵۳)	۲۷۱/۳۷ (۲۴/۳۴)	۲۰/۵۴ (۳/۴۱)	۶۵/۶۱ (۱۹/۸۸)	۰/۹۵
(۱۰۰:۰)	۱/۵۳ (۰/۳۲)	۳۴۲/۷۸ (۳۱/۲۱)	۶/۴۶ (۱/۲۸)	۲۷/۰۶ (۶/۱۲)	۰/۹۵

مقادیر داخل پرانتز نشانگر خطای استاندارد است

نمودارهای هم‌اثر حاصل از اختلاط نسبت‌های مختلف متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین شامل خط عمود (محور y) نسبت ۱۰۰ درصد هالوسولفورون یا فلومیوکسازین، خط افقی (محور x) نسبت ۱۰۰ درصد متری‌بوزین و خط‌های اریب (از سمت محور y) به ترتیب (۱۸:۸۲)، (۷:۹۳) و (۲:۹۸) درصد برای اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و برای متری‌بوزین با فلومیوکسازین (۲۱:۷۹)، (۸:۹۲) و (۲:۹۷) درصد می‌باشد (شکل ۱). بر روی خط‌های منقطع خط‌های مشکی و توپری وجود دارد که خطای استاندارد ED_{50} هر یک از نسبت‌ها را نشان می‌دهد. خط مستقیمی که تمام منحنی‌ها را قطع می‌کند خط اثر افزایش غلظت (هم اثر) است، نقاطی که پایین‌تر از این خط قرار دارد اثرات تشدیدکنندگی (هم‌افزا) و نقاط که پایین‌تر قرار گیرد، اثرات بازدارندگی (هم‌کاهی) دارند. با توجه به نمودار هم‌ثر (ایزوبول)، اکثر مشاهدات اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون (بجز یک مشاهده) و متری‌بوزین با فلومیوکسازین (بجز یک مشاهده) در سطح پاسخ ED_{50} بیرون از خط ایزوبول قرار دارند. بدین معنی که نسبت‌های اختلاط تأثیر کمتری از مقدار پیش بینی شده مطابق با مدل افزایش غلظت (ADM) داشتند. بنابراین اختلاط های ذکر شده برای وزن خشک کل علف‌های هرز از حالت بازدارندگی (هم‌کاهی) تبعیت می‌کنند (شکل ۱).



شکل ۱- نمودار هم اثر (ایزوبول ۵۰ درصد) مدل لگ لجستیک برای نشان دادن اثر اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر وزن خشک کل علف‌های هرز در دو زمان مصرف پیش‌رویشی (الف و ب) و پس‌رویشی (پ و ت) در مزرعه

تأثیر اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر وزن خشک پیچک صحرایی در دو مرحله‌ی پیش‌رویشی و پس‌رویشی سیب‌زمینی

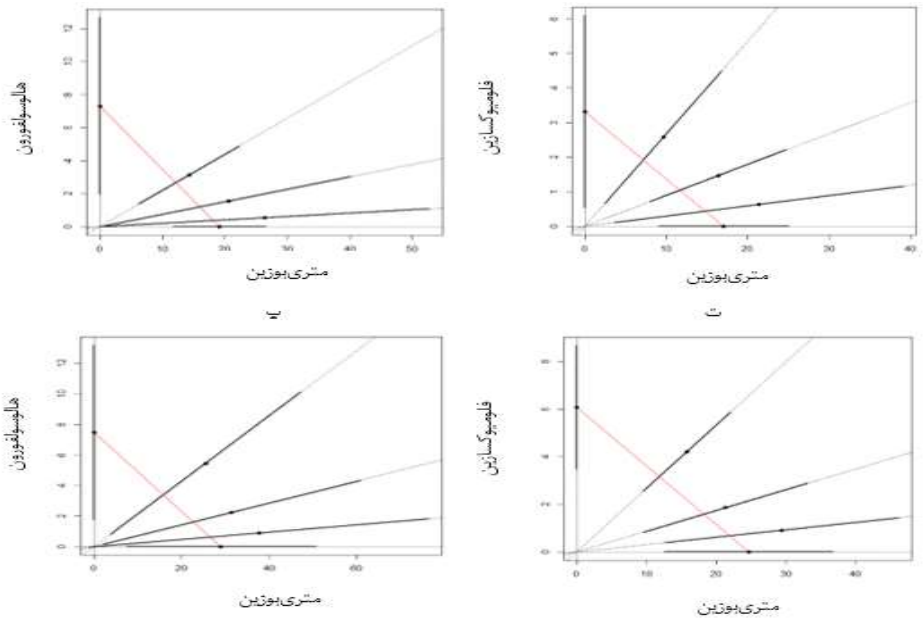
داده‌های وزن خشک پیچک صحرایی حاصل از اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین با مدل لگ لجستیک سه پارامتره برازش داده شد. آزمون عدم برازش در سطح ($P\geq$۰/۰۵) معنی‌دار نشد (جدول ۲). بنابراین مشخص شد که داده‌ها برازش خوبی به مدل لگ لجستیک سه پارامتره داشتند (جدول ۲). در کل پراکنش داده‌ها در طول منحنی نیز روند خوبی داشت. پارامترهای برآورد شده حاصل از مدل لگ لجستیک سه پارامتره نشان داد که کاربرد خالص علف‌کش‌های هالوسولفورون و فلومیوکسازین می‌تواند وزن خشک پیچک صحرایی را بخوبی کاهش داد؛ بطوریکه کاربرد علف‌کش‌های هالوسولفورون و فلومیوکسازین به تنهایی به ترتیب در مقادیر ۷/۳۱ و ۳/۳۱ در مرحله‌ی پیش‌رویشی سبب کاهش ۵۰ درصدی در وزن خشک پیچک صحرایی می‌شود (جدول ۲). بر اساس پارامتر ED_{50} کاربرد اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون بصورت پیش‌رویشی با مقادیر ۲۶/۸۷، ۲۲/۰۹، ۱۷/۳۸ گرم ماده مؤثره در هکتار به ترتیب با نسبت اختلاط (۲:۹۸)، (۷:۹۳) و (۱۸:۸۲) درصد باعث کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک پیچک صحرایی می‌شود (جدول ۲). مقدار ماده مؤثره لازم برای کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک پیچک صحرایی در اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین در نسبت‌های اختلاط (۳:۹۷)، (۸:۹۲) و (۲۱:۷۹) درصد به ترتیب ۲۲/۰۵، ۱۷/۸۹، ۱۲/۲۱ گرم ماده مؤثره در هکتار در مرحله‌ی پیش‌رویشی می‌باشد (جدول ۲). مقادیر ED_{50} در اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون در مرحله‌ی پس‌رویشی در نسبت‌های اختلاط (۱۰۰:۰)، (۲:۹۸)، (۷:۹۳)، (۱۸:۸۲) و (۱۰۰:۰) درصد به ترتیب ۲۸/۹۷، ۳۸/۵۹، ۳۳/۷۰، ۳۰/۹۵ و ۷/۴۸ گرم ماده مؤثره در هکتار می‌باشد؛ در حالیکه برای اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین در مرحله‌ی پس‌رویشی، این مقادیر در نسبت‌های (۱۰۰:۰)، (۳:۹۷)، (۸:۹۲)، (۲۱:۷۹) و (۱۰۰:۰) درصد به ترتیب به ۲۴/۶۷، ۳۰/۳۳، ۲۳/۱۹، ۲۰/۰۴ و ۶/۰۷ گرم ماده مؤثره در هکتار رسید (جدول ۲). با توجه به مطالب بالا، مشخص شد که کاربرد خالص علف‌کش‌ها بهتر از اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین می‌تواند وزن خشک پیچک

صحرایی را کاهش دهد. با توجه به مقادیر ED_{50} می‌توان دریافت که اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با فلومیوکسازین در مرحله‌ی پیش‌رویشی کاراتر از متری‌بوزین با هالوسولفورون می‌باشد. بهترین نسبت اختلاط به ترتیب در اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفوورن و متری‌بوزین با فلومیوکسازین در هر دو مرحله‌ی پیش و پس‌رویشی در نسبت (۱۸:۸۲) و (۲۱:۷۹) درصد با کمترین ED_{50} نسبت به سایر نسبت‌ها می‌باشد (جدول ۲). با توجه به نمودار ایزوبول (هم‌اثر) تمامی مشاهدات اختلاط متری-بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین در سطح پاسخ ED_{50} بیرون از خط ایزوبول قرار دارند. بنابراین اختلاط های ذکر شده برای وزن خشک پیچک صحرایی از حالت بازدارندگی (هم‌کاهی) تبعیت می‌کنند (شکل ۲).

جدول ۲- برآورد پارامترهای بدست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتره برای اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر وزن خشک پیچک صحرایی در مرحله‌ی پیش‌رویشی و پس‌رویشی در مزرعه

وزن خشک در مرحله پیش‌رویشی (متری‌بوزین: هالوسولفورون)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۴۴ (۰/۳۲)	۴۷/۹۶ (۳/۷۳)	۱۹/۱۱ (۳/۷۵)	۸۷/۲۲ (۲۶/۹۴)	۰/۹۴
(۲:۹۸)	۱/۶۳ (۰/۹۸)	۳۰/۱۴ (۹/۲۱)	۲۶/۸۷ (۱۳/۴۸)	۱۰۳/۲۷ (۵۶/۷۸)	۰/۹۴
(۷:۹۳)	۱/۲۳ (۰/۳۹)	۴۶/۲۹ (۱۰/۴۲)	۲۲/۰۹ (۱۰/۶۰)	۱۳۰/۰۱ (۴۵/۲۵)	۰/۹۴
(۱۸:۸۲)	۱/۷۰ (۰/۶۲)	۳۸/۲۰ (۵/۶۵)	۱۷/۳۸ (۴/۸۹)	۶۳/۱۹ (۲۳/۴۳)	۰/۹۴
(۱۰۰:۰)	۱/۶۰ (۰/۷۶)	۳۳/۸۴ (۵/۳۵)	۷/۳۱ (۲/۶۸)	۲۸/۸۵ (۱۲/۶۲)	۰/۹۴
وزن خشک در مرحله پیش‌رویشی (متری‌بوزین: فلومیوکسازین)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۶۷ (۰/۵۶)	۲۹/۲۱ (۳/۰۷)	۱۷/۰۴ (۴/۰۰)	۶۳/۰۴ (۲۵/۷۵)	۰/۹۹
(۳:۹۷)	۲/۰۶ (۱/۲۳)	۲۸/۷۶ (۸/۶۶)	۲۲/۰۵ (۹/۱۴)	۶۴/۰۷ (۲۵/۶۵)	۰/۹۹
(۸:۹۲)	۲/۵۱ (۱/۹۹)	۲۷/۹۰ (۶/۳۱)	۱۷/۸۹ (۴/۵۷)	۴۲/۸۰ (۲۳/۹۸)	۰/۹۹
(۲۱:۷۹)	۱/۸۹ (۱/۰۷)	۲۵/۳۸ (۶/۰۴)	۱۲/۲۱ (۴/۵۲)	۳۸/۹۶ (۱۹/۱۷)	۰/۹۹
(۱۰۰:۰)	۱/۶۹ (۰/۹۳)	۲۸/۲۹ (۷/۲۷)	۳/۳۱ (۱/۳۸)	۱۲/۱۵ (۶/۰۴)	۰/۹۹
وزن خشک در مرحله پس‌رویشی (متری-بوزین: هالوسولفورون)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۲۰ (۰/۳۹)	۳۱/۴۶ (۴/۰۹)	۲۸/۹۷ (۱۰/۸۶)	۱۷۸/۱۶ (۹۵/۲۳)	۱/۰۰
(۲:۹۸)	۱/۷۳ (۱/۲۷)	۲۶/۴۶ (۷/۷۵)	۳۸/۵۹ (۱۹/۸۴)	۱۳۶/۶۸ (۸۸/۸۶)	۱/۰۰
(۷:۹۳)	۱/۵۸ (۰/۸۰)	۲۹/۵۱ (۶/۶۴)	۳۳/۷۰ (۱۵/۷۹)	۱۳۵/۳۷ (۶۸/۰۳)	۱/۰۰
(۱۸:۸۲)	۱/۹۸ (۱/۴۶)	۲۱/۲۷ (۴/۲۱)	۳۰/۹۵ (۱۳/۱۸)	۹۳/۶۸ (۶۱/۳۲)	۱/۰۰
(۱۰۰:۰)	۱/۹۱ (۱/۲۰)	۲۲/۲۲ (۳/۸۹)	۷/۴۸ (۲/۸۶)	۲۳/۵۴ (۱۴/۸۴)	۱/۰۰
وزن خشک در مرحله پس‌رویشی (متری-بوزین: فلومیوکسازین)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۷۹ (۰/۶۱)	۲۶/۱۸ (۳/۰۰)	۲۴/۶۷ (۶/۰۶)	۸۴/۱۲ (۳۴/۶۹)	۱/۰۰
(۳:۹۷)	۲/۳۷ (۱/۲۸)	۲۵/۳۷ (۴/۹۰)	۳۰/۳۳ (۸/۶۷)	۷۶/۶۰ (۲۹/۸۰)	۱/۰۰
(۸:۹۲)	۳/۱۹ (۲/۵۰)	۱۹/۸۵ (۳/۸۹)	۲۳/۱۹ (۶/۴۲)	۴۶/۱۱ (۱۹/۱۶)	۱/۰۰
(۲۱:۷۹)	۳/۱۴ (۱/۷۳)	۲۲/۷۶ (۲/۷۵)	۲۰/۰۴ (۳/۹۶)	۴۰/۳۵ (۱۴/۷۴)	۱/۰۰
(۱۰۰:۰)	۲/۵۵ (۱/۳۹)	۲۳/۹۳ (۳/۰۱)	۶/۰۷ (۱/۲۹)	۱۴/۳۷ (۶/۳۱)	۱/۰۰

مقادیر داخل پرانتز نشانگر خطای استاندارد است



شکل۲- نمودار هم اثر (ایزوبول ۵۰ درصد) مدل لگ لجستیک برای نشان دادن اثر اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر وزن خشک پیچک صحرایی در دو زمان مصرف پیش‌رویشی (الف و ب) و پس‌رویشی (پ و ت)

تأثیر اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر وزن خشک چسبک در دو مرحله‌ی پیش رویشی و پس رویشی سیب‌زمینی

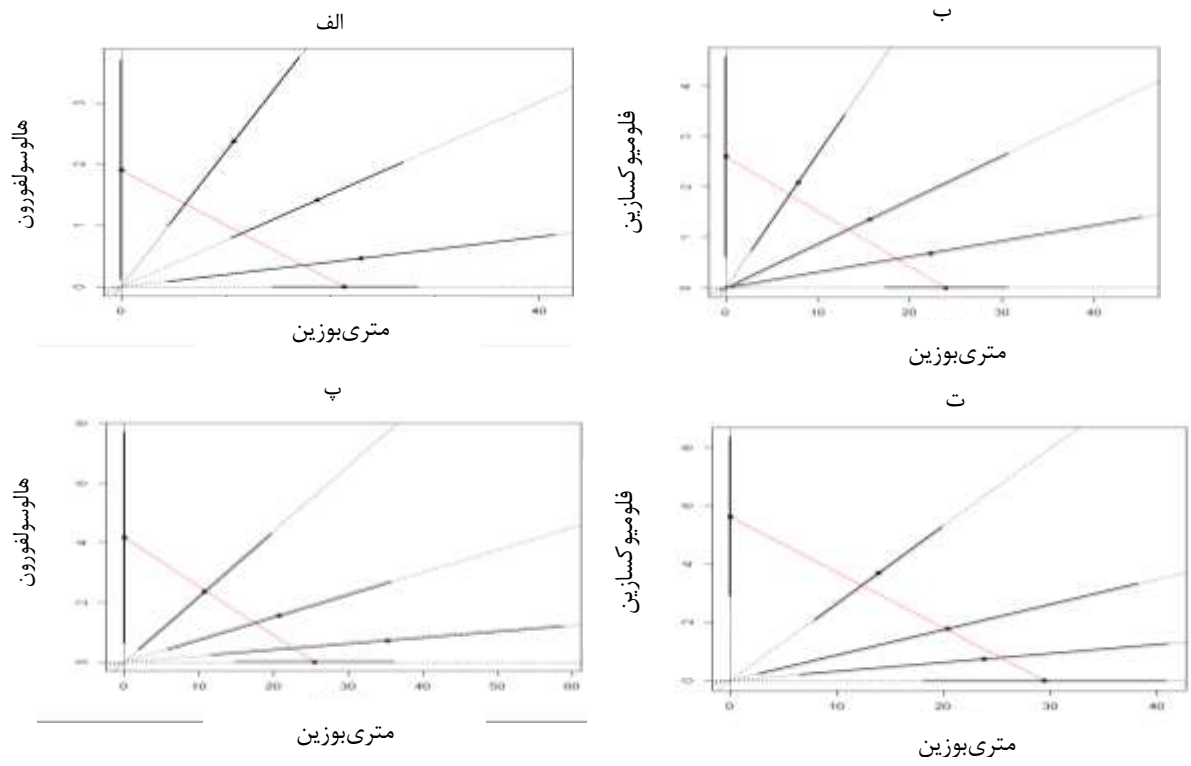
مدل لگ لجستیک سه پارامتره بخوبی توانست روند داده‌های وزن خشک چسبک در دزها و نسبت‌های مختلف اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین را نشان دهد. آزمون عدم برازش مدل نیز برای داده‌های وزن خشک چسبک در هر دو اختلاط مورد بررسی معنی‌دار نشد ($P\geq$۰/۰۵) (جدول ۳). با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌شود که کاربرد خالص علف‌کش‌ها به خوبی توانست وزن خشک چسبک را کاهش دهد. مقادیر ED_{50} اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون در نسبت‌های (۰:۱۰۰)، (۲:۹۸)، (۷:۹۳)، (۱۸:۸۲) و (۱۰۰:۰) درصد در مرحله پیش‌رویشی به ترتیب بصورت ۲۱/۳۶، ۲۳/۴۱، ۲۰/۱۹، ۱۳/۱۷ و ۱/۹۰ گرم ماده مؤثره در هکتار و برای نسبت‌های (۰:۱۰۰)، (۳:۹۷)، (۸:۹۲)، (۳۱:۷۹) و (۱۰۰:۰) درصد از اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین به ترتیب ۲۳/۸۶، ۲۲/۹۸، ۱۷/۰۲، ۹/۹۳ و ۲/۶۰ گرم ماده مؤثره در هکتار برای وزن خشک چسبک بود (جدول ۳). در مرحله‌ی پس‌رویشی کاربرد ۲۵/۴۱، ۳۵/۹۴، ۲۲/۲۳، ۱۳/۱۲ و ۴/۱۷ گرم ماده مؤثره در هکتار به ترتیب با نسبت (۰:۱۰۰)، (۲:۹۸)، (۷:۹۳)، (۱۸:۸۲) و (۱۰۰:۰) درصد از اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و کاربرد ۲۹/۴۶، ۲۹/۵۴، ۲۲/۱۸، ۱۷/۵۶ و ۵/۶۲ گرم ماده مؤثره در هکتار به ترتیب با نسبت (۰:۱۰۰)، (۳:۹۷)، (۸:۹۲)، (۳۱:۷۹) و (۱۰۰:۰) درصد از اختلاط متری‌بوزین با فلومیوکسازین موجب کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک چسبک شد (جدول ۳). مقادیر ED_{50} نشان داد که کاربرد خالص هالوسولفورون و فلومیوکسازین به تنهایی می‌تواند به خوبی وزن خشک چسبک را کاهش دهد. هالوسولفورون نسبت به فلومیوکسازین وزن خشک چسبک را به مراتب بیشتر کاهش داد (جدول ۳). بهترین نسبت اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین به ترتیب در (۱۸:۸۲) و (۳۱:۷۹) درصد می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳- برآورد پارامترهای بدست آمده از تابع لگ لجستیک سه پارامتره برای اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر وزن خشک چسبک در دو مرحله‌ی پیش‌رویشی و پس‌رویشی سیب‌زمینی

وزن خشک در مرحله پیش‌رویشی (متری‌بوزین:هالوسولفورون)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۷۵ (۰/۳۶)	۳۱/۵۶ (۲/۳۲)	۲۱/۳۶ (۳/۵۱)	۷۴/۵۹ (۱۷/۲۲)	۰/۹۱
(۲:۹۸)	۱/۸۶ (۰/۷۴)	۲۶/۴۳ (۶/۷۱)	۲۳/۴۱ (۹/۴۹)	۷۶/۱۴ (۲۰/۰۱)	۰/۹۱
(۷:۹۳)	۲/۱۹ (۰/۸۹)	۲۳/۹۰ (۳/۶۰)	۲۰/۱۹ (۴/۴۲)	۵۴/۹۶ (۱۸/۸۰)	۰/۹۱
(۱۸:۸۲)	۱/۶۶ (۰/۴۹)	۲۵/۹۲ (۴/۰۶)	۱۳/۱۷ (۳/۷۹)	۴۶/۱۶ (۱۴/۹۷)	۰/۹۱
(۱۰۰:۰)	۱/۶۳ (۰/۵۸)	۳۱/۶۷ (۹/۱۰)	۱/۹۰ (۰/۸۹)	۷/۳۲ (۱/۸۴)	۰/۹۱
وزن خشک در مرحله پس‌رویشی (متری-بوزین:هالوسولفورون)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۳۲ (۰/۲۹)	۳۹/۰۲ (۳/۱۰)	۲۵/۴۱ (۵/۳۰)	۱۳۳/۴۴ (۴۶/۵۹)	۰/۹۸
(۲:۹۸)	۱/۵۳ (۰/۵۱)	۳۵/۶۳ (۶/۲۰)	۳۵/۹۴ (۱۲/۰۳)	۱۵۰/۰۵ (۵۰/۹۵)	۰/۹۸
(۷:۹۳)	۱/۷۱ (۰/۶۸)	۳۶/۲۲ (۷/۴۰)	۲۲/۲۳ (۸/۰۶)	۸۰/۰۱ (۲۵/۰۳)	۰/۹۸
(۱۸:۸۲)	۱/۴۹ (۰/۶۰)	۳۸/۲۵ (۸/۲۹)	۱۳/۱۲ (۵/۳۹)	۵۷/۲۱ (۱۹/۹۴)	۰/۹۸
(۱۰۰:۰)	۱/۲۷ (۰/۵۱)	۳۶/۰۲ (۷/۰۸)	۴/۱۷ (۱/۷۶)	۲۳/۴۲ (۱۰/۵۶)	۰/۹۸
وزن خشک در مرحله پیش‌رویشی (متری-بوزین:فلومیوکسازین)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۲/۰۸ (۰/۵۱)	۳۱/۲۴ (۲/۲۶)	۲۳/۸۶ (۳/۳۳)	۶۸/۵۳ (۱۷/۰۸)	۰/۹۹
(۳:۹۷)	۱/۴۶ (۰/۵۹)	۳۰/۷۹ (۹/۰۰)	۲۲/۹۸ (۱۱/۸۴)	۱۰۳/۳۶ (۳۲/۷۰)	۰/۹۹
(۸:۹۲)	۱/۵۸ (۰/۷۰)	۲۴/۰۰ (۶/۸۳)	۱۷/۰۲ (۸/۱۷)	۶۷/۹۰ (۲۶/۰۵)	۰/۹۹
(۲۱:۷۹)	۱/۸۴ (۰/۶۴)	۳۱/۲۰ (۶/۴۲)	۹/۹۳ (۳/۲۱)	۳۲/۶۳ (۸/۲۰)	۰/۹۹
(۱۰۰:۰)	۱/۷۱ (۰/۷۲)	۲۸/۸۴ (۷/۰۹)	۲/۶۰ (۰/۹۸)	۹/۳۳ (۳/۱۰)	۰/۹۹
وزن خشک در مرحله پس‌رویشی (متری-بوزین:فلومیوکسازین)	شیب خط	حد بالا	ED_{50}	ED_{90}	عدم برازش (Lack of fit)
(۰:۱۰۰)	۱/۱۹ (۰/۱۹)	۸۱/۶۲ (۵/۴۲)	۲۹/۴۶ (۵/۷۰)	۱۸۵/۳۶ (۴۲/۹۲)	۰/۹۹
(۳:۹۷)	۱/۹۲ (۰/۷۶)	۵۹/۷۴ (۱۳/۸۸)	۲۹/۵۴ (۸/۹۲)	۷۶/۷۳ (۲۱/۶۷)	۰/۹۹
(۸:۹۲)	۱/۴۹ (۰/۵۶)	۵۹/۸۹ (۱۳/۷۹)	۲۲/۱۸ (۹/۷۰)	۹۶/۸۷ (۳۳/۳۴)	۰/۹۹
(۲۱:۷۹)	۲/۳۳ (۱/۰۴)	۴۹/۸۲ (۶/۴۹)	۱۷/۵۶ (۳/۸۰)	۴۴/۹۶ (۱۶/۰۳)	۰/۹۹
(۱۰۰:۰)	۲/۰۴ (۰/۷۹)	۴۸/۳۸ (۶/۲۸)	۵/۶۲ (۱/۳۶)	۱۶/۴۶ (۵/۹۵)	۰/۹۹

مقادیر داخل پرانتز نشانگر خطای استاندارد است

نمودارهای هم‌اثر نشان داد که در اختلاط علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین برای وزن خشک چسبک تمامی مشاهدات در خارج از خط ایزوبول قرار گرفتند، بدین معنی که نسبت‌های اختلاط تأثیر کمتری از مقدار پیش بینی شده مطابق با مدل افزایش غلظت (ADM) داشتند. در کل دزهای ED_{50} تخمین زده شده برای هر پنج نسبت اختلاط بطور معنی‌داری بر اساس ۹۵ درصد فاصله اطمینان جانبی بیشتر از مقدار پیش بینی شده مطابق با ADM بودند. همانطوریکه در شکل ۳ نیز مشخص است اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین برای وزن خشک چسبک از حالت هم‌کاهی تبعیت کرده است.



شکل ۳- نمودار هم اثر (ایزوبول ۵۰ درصد) مدل لگ لجستیک برای نشان دادن اثر اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر وزن خشک چسبک در دو زمان مصرف پیش‌رویشی (الف و ب) و پس‌رویشی (پ و ت)

نتایج پژوهش نشان داد که اثرات اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر وزن خشک کل، پیچک صحرایی و چسبک حالت همکاهی داشت. کاربرد خالص علف‌کش۲های متری‌بوزین، هالوسولفورون و فلومیوکسازین در مقایسه با کاربرد اختلاط متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین توانست وزن خشک کل علف‌هایئ هرز، پیچک صحرایی و چسبک را بطور مؤثری کاهش دهد. آنچه از نتایج قابل برداشت می‌باشد این است که با افزایش درصد نسبت‌های هالوسولفورون یا فلومیوکسازین به ترتیب در اختلاط‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین مقادیر ED_{50} نسبت‌ها کاهش می‌یابد که حاکی از مؤثر بودن بیشتر هالوسولفورون و فلومیوکسازین می‌باشد.

عوامل زیادی در کارایی علف‌کش‌ها مؤثر می‌باشد که از مهمترین آن‌ها مرحله‌ی رشدی علف‌های هرز، نوع گونه علف‌های هرز، ویژگی شیمیایی و ماهیت شیمیایی علف‌کش را می‌توان نام برد. از عوامل مؤثر در کارایی علف‌کش‌ها، مرحله‌ی رشدی علف‌های هرز می‌باشد. بعلت اینکه مرحله‌ی رشدی بر جذب و انتقال علف‌کش‌ها به جایگاه هدف مؤثر می‌باشد. در مرحله‌ی پیش‌رویشی سیب‌زمینی، علف‌های‌هرزی که در مراحل ۲ تا ۴ برگی یا ۶ تا ۸ برگی هستند بعلت پوشش کامل سطح برگ‌ها توسط علف‌کش‌ها میزان جذب و انتقال علف‌کش‌ها به جایگاه هدف بیشتر می‌باشد. از طرفی دیگر، بعلت اینکه فتوسنتز در مراحل اولیه رشد بیشتر می‌باشد، بیشتر بودن فتوسنتز باعث افزایش سرعت تخلیه از برگ‌ها می‌شود. در نتیجه انتقال شیره گیاهی سریعتر انجام می‌شود؛ بنابراین علف‌کش‌ها در دز بیشتر و زمان کوتاهتری به محل هدف می‌رسند. همچنین از تداخلات بوجود آمده بین دو علف‌کش در برخی از نسبت‌های اختلاط در مراحل بالاتر کاسته می‌شود. از طرف دیگر هرچه مرحله‌ی رشدی بزرگتر باشد میزان علف‌کش لازم برای کاهش ۵۰ و ۹۰ درصدی وزن خشک علف‌های هرز بیشتر خواهند بود. برای ایجاد سمیت میزان علف‌کش مورد نیاز بستگی به وزن گیاه دارد (Schuster *et al*., 2007).

نتایج آزمایشات نشان داد که نسبت اختلاط (۱۰۰:۰) درصد علف‌کش‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون بیشترین کارایی را بر علف هرز چسبک داشت. تحقیقات متعدی نشان داد که علف‌کش هالوسولفورون کارایی خوبی بر علف‌های هرز

باریک برگ داشت و برای افزایش طیف کنترلی علف‌های هرز با پهن‌برگ‌کش‌ها اغلب اختلاط پیدا می‌کند (Damalas and Eleftherohorinos, 2001). Zhang *et al*., 1995) گزارش کردند که بدلیل اختلافات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بین باریک‌برگ‌ها و پهن‌برگ‌ها هالوسولفورون بیشتر بر باریک‌برگ‌ها مؤثر بود. تفاوت در مریستم انتهایی بر جذب و انتقال اختلاط علف‌کش‌های شاخ و برگ مصرف به ویژه سیستمیک‌هایی که به بافت مریستم انتقال داده می‌شوند اثرگذار می‌باشند. علاوه بر این، مریستم‌های انتهایی پهن‌برگ‌ها با پوشش محافظتی پوشیده شده است بنابراین مریستم باریک‌برگ‌ها در برابر محلول‌پاشی در دسترس است (Cobb and Read, 2010).

هیچ مطالعه‌ای درباره تأثیر اختلاط‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر علف‌های‌هرز سیب‌زمینی گزارش نشده است. (Mamnoei *et al*., 2016) در مطالعه‌ای که به مدت دو سال انجام گرفت، گزارش کردند که کاربرد متری‌بوزین به میزان ۷۵۰ گرم در هکتار تراکم پیچک صحرایی را در سال اول و دوم به ترتیب ۲۸ و ۲۷ درصد و وزن خشک آن را ۲۸ و ۲۶ درصد در جیرفت کاهش داد (ShirMohammadi *et al*., 2010) گزارش کردند که علف‌کش متری‌بوزین بطور مطلوب پیچک صحرایی را کنترل کرد. ایشان گزارش کردند که کاربرد متری‌بوزین به میزان ۷۵۰ گرم در هکتار وزن خشک سلمه‌تره، تاج خروس ریشه قرمز و پیچک صحرایی را به ترتیب به میزان ۴۷/۹۵، ۷۹/۲۸ و ۳۳/۳۹ درصد در ۳۰ روز بعد از کاربرد علف‌کش کاهش داد. تحقیقات زیادی نشان دادند که هالوسولفورون برای کنترل اویارسلام زرد (*Cyperus esculentus* L.) و قهوه‌ای (*Cyperus rotundus* L.) ، سلمه‌تره، جنس تاج‌خروس، توق (*Xanthium strumarium* L.) گاوپنبه (*Abutilon theophrasti* L.) خردل‌وحشی، تاتوره (*Datura stramonium*L.) و هفت‌بند در گیاهان زراعی مختلف استفاده می‌شود (Soltani *et al*., 2014). گریچار و همکاران (Grichar *et al*., 2003) گزارش کردند که کاربرد ۳۳ و ۶۶ گرم در هکتار هالوسولفوورن بصورت پیش‌رویشی در سه مکان مختلف بطور متوسط باعث کاهش ۸۴ و ۹۶/۶۶ درصدی و بصورت پس رویشی باعث کنترل ۸۷/۶۶ و ۸۵ درصدی اوریاسلام قهوه‌ای شد. کاربرد پیش‌رویشی هالوسولفورون به میزان ۴۸ و ۱۱۰ گرم در هکتار، تاج‌خروس ریشه قرمز، سلمه‌تره، هفت بند، گاوپنبه، تاتوره را بیش از ۹۲ درصد کنترل کرد (Brown and Masiunas, 2002)؛ در مطالعه‌ی دیگری گزارش شده است که کاربرد ۳۰-۵۰ گرم در هکتار هالوسولفورون بیشتر از ۹۱ درصد تاج‌خروس پالمر(*Amaranthus palmerii* L.) را کنترل کرد (Brandenberger *et al*., 2005a). در همین راستا، مکرآ و همکاران (MacRao *et al*., 2008) بیان کردند که کاربرد پیش‌رویشی هالوسولفورون در مقادیر ۲۶، ۳۹ و ۵۲ گرم در هکتار، تاج‌خروس پالمر را به ترتیب به میزان ۸۱، ۹۴ و ۹۷ درصد کنترل کرد. در همان مطالعه بیان شده است که کاربرد پیش‌رویشی و پس‌رویشی زود هنگام هالوسولفورون توانست بیش از ۹۷ درصد گونه‌ای تاج‌خروس (*Amaranthus hybridus* L.) را کنترل کند (MacRao *et al*., 2008). در پژوهشی دیگر نیز به این نتیجه رسیدند که کاربرد ۲۶، ۳۹ و ۷۷ گرم در هکتار، بیش از ۸۳ درصد از تاج‌خروس (*Amaranthus thumble* L.) را در دو و چهار هفته پس از سمپاشی، کنترل کرد (Brandenberger *et al*., 2005b). بطور کلی، علف‌کش فلومیوکسازین بصورت پیش۲رویشی و پس۲رویشی استفاده می۲شود و زمانی که بصورت خاک مصرف استفاده می‌شود بسیاری از گیاهچه‌های حساس را از بین می‌برد. در حالیکه بصورت شاخ و برگ مصرف، باعث ایجاد نکروز می‌شود (Hutchinson, 2007; Jhala *et al*., 2012). فلومیوکسازین از طریق ریشه و شاخ و برگ جذب می‌شود و باعث بازدارندگی آن می‌شود. کاربرد فلومیوکسازین در دزهای ۳۶، ۷۵ و ۱۰۸ گرم ماده مؤثره در هکتار بصورت پیش‌رویشی در گلدان تعداد ساقه‌ها و وزن تر پیچک صحرایی را به ترتیب ۹۸ تا ۱۰۰ درصد کاهش داد در کاربرد بصورت پس‌رویشی تعداد ساقه‌ها را ۸۹ تا ۹۶ درصد و وزن تر آن را ۹۰ تا ۹۸ درصد توانست کاهش دهد (Vasilakoglu *et al*., 2013). کاربرد فلومیوکسازین در دزهای ۱۰۸ و ۱۴۴ گرم ماده مؤثره در هکتار بصورت پیش-رویشی در مزرعه سیب‌زمینی ۱۰۰ درصد تعداد پیچک صحرایی و در کاربرد پس رویشی ۱۳ تا ۶۲ درصد کاهش داد (Vasilakoglu *et al*., 2013). حساسیت پیچک به کاربرد پیش‌رویشی فلومیوکسازین نسبت به کاربرد پس-رویشی آن به جذب آن توسط ریشه مربوط می‌شود (WSSA, 2007). در کاربرد پس‌رویشی این علف‌کش، کارایی فلومیوکسازین بعلت جذب کمتر توسط ریشه کمتر بود (Devine and Vanden Born, 1991).در مطالعات

متعددی گزارش شده است که این علف‌کش، می‌تواند علف‌های هرز سلمه‌تره، جنس تاج‌خروس، تاج‌ریزی پرزدار، گندمک (*Stellaria media* L.)، توق، دوستک (*Setaria verticillata* L.)، پنجه مرغی، اویارسلام زرد و قهوه‌ای، پیچک، خرفه، سوروف، پانیکوم (*Panicum hysterophorus* L.) و چمن (*Poa annua* L.) را در گیاهان زراعی مختلف کنترل کند (Vasilakoglou *et al*., 2013; Reed *et al*., 2014). کاربرد فلومیوکسازین به میزان ۵۰ گرم ماده مؤثره در هکتار، ۲۷ و ۵۶ روز بعد از کاشت توانست سلمه‌تره، سوروف، تاج‌خروس ریشه قرمز و تاج‌ریزی را به ترتیب بیش از ۹۹ ، ۱۰۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد در سیب‌زمینی کنترل کند (Boydston *et al*., 2012). Wilson *et al*. (2002) در تحقیقی گزارش کردند که کاربرد پیش رویشی فلومیوکسازین در مقادیر ۳۵-۷۰ گرم ماده مؤثره در هکتار و کاربرد پس رویشی آن به میزان ۳۵-۱۰۵ گرم در هکتار سلمه‌تره و تاج خروس ریشه قرمز را بطور مؤثرتری کنترل کرد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصله از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که نسبت اختلاط (۱۰۰:۰) درصد اختلاط‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین در مرحله‌ی پیش‌رویشی مؤثرترین تیمار در بین نسبت‌های اختلاط بود که توانست وزن خشک کل علف‌های هرز، پیچک صحرایی و چسبک را بطور مؤثری کاهش دهد. منحنی‌های هم اثر حاصل از هر دو اختلاط مورد بررسی در مرحله‌ی پیش‌رویشی و پس‌رویشی نشان داد کاربرد اختلاط‌های متری‌بوزین با هالوسولفورون و متری‌بوزین با فلومیوکسازین بر وزن خشک علف‌های هرز حالت همکاهی (آنتاگونیستی) داشت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی که اجرای طرح تحقیقاتی حاضر را با حمایت‌های مالی مساعدت نمودند، قدردانی می‌گردد.

منابع

Alebrahim, M.T., Majd, R., Rashed Mohassel, M.H., Wilkakson, S., Baghestani, M.A., Ghorbani, R., & Kudsk, P. (2012). Evaluating the efficacy of preand post-emergence herbicides for controlling *Amaranthus retroflexus* L. and *Chenopodium album* L. in potato. *Crop Protection*, *42*, 345- 350.

Azadbakht, A., & Alebrahim, M.T. (2017). Potato cultivation (Insects, disease and weed management). Jahad Daneshgahi publishing. 214 p. (In Persian).

Baghestani, M.A., Zand, E., Soufizadeh, S., Beheshtian, M., Haghighi, A., Barjasteh, A., Birgani, D.G., & Deihimfard, R. (2008). Study on the efficacy of weed control in wheat (*Triticum aestivum* L.) with tank mixtures of grass herbicides with broadleaved herbicides. *Crop Protection*, *27*, 104-111.

Beckie, H.J. and Tardif, F.J. (2012). Herbicide cross resistance in weeds. *Crop Protection*, *35*, 15-28.

Bellinder, R.R., Kirkwyland, J.J., Russel, W.W., & Colquhoun, J.B. (2000). Weed control and potato (*Solanum tuberosum*) yield with banded herbicides and cultivation. *Weed Technology*, *14*, 30-35.

Boydston, R.A., Felix, J., & Al-Khatib, K. (2012). Pre-emergence herbicides for potential use in potato production. *Weed Technology*, *26*,731–739.

Brandenberger, L.P., Shrefler, J.W., Webber III, C.L., Talbert, R.E., Payton, M.E., Wells, L.K., & M. McClelland. (2005). Pre-emergence weed control in direct-seeded watermelon. *Weed Technology*, *19*, 706–712.

Brown, D., & Masiunas, J. (2002). Evaluation of herbicide on pumpkin (*Cucurbits* spp.). *Weed Technology*, *16*, 282-292.

Cobb, A.H., & Reade, J.P.H. (2010). Herbicides and Plant Physiology. 2nd ed. Wiley-Blackwell. West Sussex, United Kingdom.

CPRI. (2014). Weed management in potato. CPRI Technical Bulletin No. 99, Central Potato Research Institute, Shimla, Himachal Pradesh, India, 2014; 78.

Damalas, C.A., & Eleftherohorinos, I.G. 2001. Dicamba and atrazine antagonism on sulfonylurea herbicides used for johnsongrass (*Sorghum halepense*) control in corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, *15*, 62–67.

Dayan, F.E., Green, H.M., Weete, J.D., & Hancock, H.G. 1996. Postemergence activity of ulfentrazone: effects of surfactants and leaf surfaces. *Weed Science*, *44*, 797–803.

Devine, M.D., & Vanden Born, W.H. (1991). Absorption and transport in plants. p. 119-141. In Grover R., and A.J. Cessna (eds.) Environmental chemistry of herbicides. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA

Fonseca, L.F., Luz, J.M.Q., Uarte, I.N., & Wangen, D.B. (2018). Weeds control with herbicides applied in pre-emergence in potato cultivation. *Bioscience Journal*, *34*(2), 279-286.

Gawronski, S.W., Haderlie, L.C., Callihan, R.H., & Dwelle, R.B. (1985). Metribuzin absorption, translocation, and distribution in two potato *(Solanum tuberosum)* cultivars. *Weed Science*, *33*, 629-634

Green, J.M., & Baily, S.P. (2001). Herbicide interactions with herbicides and other agricultural chemicals. In: *Weed Science Handbook*. Pp: 37-60.

Grichar, W.J., Besler, B.A., & Brewer. K.D. (2003). Purple nutsedge control and potato (*Solanum tuberosum*) tolerance to sulfentrazone and halosulfuron. *Weed Technology*, *17*, 485–490.

Heap, I. 2021. The international herbicide resistant weeds databases. Online. Internet. October 28, 2021. Available www.weedscience.org.

Hussain, S., Khaliq, A., Matloob, A., Fahad, S., & Tanveer, A. (2015). Interference and economicthreshold level of little seed canary grass in wheat under different sowing times. *Environmental Science and Pollution Research International*, *22*, 441–449.

Hutchinson, P.J.S. (2007). A comparison of flumioxazin and rimsulfuron tank mixtures for weed control in potato. *Weed Technology*, *21*(4),1023–1028.

Hutchinson, P.J.S., Boydston, R.A., & Ransom, C.V. (2005). Weed Management in Potatoes with Spartan Herbicide. PNW Bulletin 577. University of Idaho Educational Communications, Moscow, ID. 6 p.

Jhala, A.J., Ramirez, A.H.M., & Singh, M. (2012). Rimsulfuron tank mixed with Flumioxazin, Pendimethalin, or Oryzalin for control of broadleaf weeds in Citrus. *Horticulture Technology*, *22*(5),637-648.

Jonker, M.J., Svendsen, C. Bedaux, J.J.M., Bongers, M., & Kammenga, J.E. (2005). Significance testing of synergistic/antagonistic, dose level-dependent, or dose ratio-dependent effects in mixture dose-response analysis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *24*, 2701–2713.

Khalil Tahmasebi, B., Alebrahim, M.T., Fakhari, R., & De Prado, R. (2017). A look at the phenomenon of weed resistance to herbicides; from theory to exploitation. *Weed Research Journal*, *9*(1), 83-101. (In Persian).

Khalil Tahmasebi, B., Alebrahim, M.T., Roldán-Gómez, R.A. De Silveira, H.M., De Carvalho, L.B., La Cruze, R.A., & De Prado, R. (2018). Effectiveness of alternative herbicides on three Conyza species from Europe with and without glyphosate resistance. *Crop Protection*, *112*, 350-355.

Kudsk, P. (2008). Optimising herbicide dose: a straight forward approach to reduce the risk of side effects of herbicides. *Environmentalist*, *28*, 49–55.

Love, S.L., Novy, R., Corsini, D.L., & Bain. P. (2003). Variety selection and management. In J. C. Stark & S. L. Love, eds. Potato Production Systems. Moscow, ID: University of Idaho Agricultural. Pp. 21–47.

MacRae, A.W., Culpepper, A.S., Batts, R.B., & Lewis, K.L. (2008). Seeded watermelon and weed response to Halosulfuron applied pre- emergence and post-emergence. *Weed Technology*, *22*, 86–90

Mamnoei, E., Karaminezhad, M.R., Rashed Mohassel, M.H., Shimi, P., & Aeen, A. (2016). The evaluation of some herbicides effect on potato weed control in Jiroft and Karaj. *Crop Protection*, *30*(3), 368-378. (In Persian).

Mueller, T.C., Bill, W., Boswell, S.,Mueller, S., & Lawrence, E.S. (2014). Dissipation of Fomesafen, Saflufenacil, Sulfentrazone, and Flumioxazin from a tennessee soil under field conditions. *Weed Science*, *62*, 664–671.

Reed, T.V, McCullough, P.E., & Grey, T. (2014). Evaluation of adjuvants on Flumioxazin efficacy for annual bluegrass and smooth crabgrass control in bermudagrass. *Applly Turfgrass Science, 11*(1), 1-6

Ritz, C., Baty, F., Streibig, J.C., & Gerhard, D. (2015). Dose-Response Analysis Using R. *Plos One. 10*(12), e0146021.

Robinson, D.K., Monks, D.W., & Monaco, T.J. (1996). Potato (*Solanum tuberosum* L.*)* tolerans and susceptibility of eight weeds to rimsulfuron with and without metribuzin. *Weed Technology*, *10*, 29-34.

Samadi Kalkhoran, E., & Alebrahim, M.T. (2016a). The evaluation of Oxadiargyl on weed control in different growth stages. *Journal of Plant Protection*, *30*(3), 426-440. (In Persian).

Samadi Kalkhoran, E., & Alebrahim, M.T. (2016b). Efficacy of oxadiargyl reduced doses for the control of weeds in potato (*Solanum tuberosum*) with different application timing. *Iranian Weed Science*, *12*(1395),1-15. (In Persian).

Samadi Kalkhoran, E., Alebrahim, M.T., & Faraji, H. (2019). The evaluation of Ethalfluralin, Trifluralin and Pendimethalin efficacy of different doses on controlling of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Weed Crop Production*, *12*(1), 79-98. (In Persian).

Samadi Kalkhoran, E., Alebrahim, M.T., Mohammaddust Chamn Abad, H.R., Streibig, J.C., & Ghavidel, A. 2021a. Investigation of relative toxicity of some combined herbicides on earthworm (*Eisenia fetida* L.) Biomass. *Iranian water and soil research*, *52*(6), 1661-1672. (In Persian).

Samadi Kalkhoran, E., Alebrahim, M.T., Mohammaddust Chamn Abad, H.R., Streibig, J.C. and Ghavidel, A. (2021b). The evaluation of some herbicide mixtures performance on potato (*Solanum tuberosum* L.) weed control and their effect on earthworm (*Eisenia fetida* L.) population. Ph. D. Thesis. Mohaghegh Ardabili University. Ardabil. Iran. (In Persian).

Samadi Kalkhoran, E., Alebrahim, M.T., Mohammaddust Chamn Abad, H.R., Streibig, J.C. and Ghavidel, A. & Tseng, T.M.P. (2021c). The joint action of some broadleaf herbicides on potato (*Solanum tuberosum* L.) weeds and photosynthetic performance of potato. *Agriculture*, *11*(11),1103.

Samadi Kalkhoran, E., Alebrahim, M.T., Mohammaddust Chamn Abad, H.R., Streibig, J.C. Ghavidel, A. & Tseng, T.M.P. (2022). The survival response of earthworm (*Eisenia foetida* L.) to individual and binary mixtures of herbicides. *Toxics*, *10*, 320-333.

Schuster, C.L., Al-Khatib, K. & Dille, J.A. (2007). Mechanism of antagonism of mesotrione on sulfonylurea herbicides. *Weed Science*, *55*, 429-434.

ShirMohammadi, K., Zand, E., Baghestani, M.A., Rahi, A.R., & MirHadi, S.M.J. (2010). The evaluation of some herbicides on broadleaf weed control of potato. *Plant and Ecosystem*, *24*(6), 77-87.

Sikkema, P.H., Soltani, N., Shropshire, C., & Cowan, T. (2004). Tolerance of white beans to postemergence broadleaf herbicides. *Weed Technology*, *18*, 893–901.

Soltani, N., Nurse, R.E., Shropshire, C., & Sikkema, P.H. (2014). Weed control in white bean with various Halosulfuron tankmixes. *Advances in Agriculture*, *2014*, 1–7.

Streibig, J.C. and. Jensen, J.E. (2000). Actions of herbicides in mixtures. In: Herbicides and their mechanisms of actio*n*. CRC Press Lnc. p. 153–180.

Streibig, J.C., Kudsk, P., & Jensen, J.E. (1998). A general joint action model for herbicide mixture. Pesticide Science, *53*, 21-28.

Thrall, P.H., Oakeshott, J.G., Fitt, G., Southerton,S., Heino, M., & Denison., R. (2011). Evolution in agriculture: the application of evolutionaryapproaches to the management of biotic interactions in agro-ecosystems. *Evolutionary Applications*, 4, 200–215.

Uremis, M.E., Caliskan, A., Uludag, A., & S. Caliskan. (2009). Weed management in early-season potato productionin the editerranean conditions of turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science, 15*(5), 423-434.

Vasilakoglou, I., Dhima, K., Paschalidis, K., Gatsis, T., Zacharis, K., & Galanis, M. (2013). Field bindweed (*Convolvulus arvensis* L.) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) control in potato by pre- or post-emergence applied flumioxazin and sulfosulfuron. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *73*(1), 24-30.

Vencill, W.K. (2002). Herbicide Handbook. 8th ed. Lawrence, KS: Weed Science Society of America. 493 p.

Wehtje, G.R., & Walker, R.H. (1997). Interactions of glyphosate and 2,4-DB for the control of selected morning glory (*Ipomoea* spp.) species. *Weed Technology*, *11*, 152–156.

Wilson, D.E., Nissen, S.J., & Thompson, A. (2002). Potato (*Solanum tuberosum*) variety and weed response to Sulfentrazone and Flumioxazin. *Weed Technology*, *16*, 567–574.

Wrubel, R.P., & Gressel, J. (1994). Are mixtures useful for delaying the rapid evolution of resistance? A case study. *Weed Technology*, *3*, 635-648.

Zand, E., Baghestani, M.A., Bitarafan, M., & Shimi, P. (2007). Guideline of registered herbicides in Iran with the approach of weed resistance management to herbicides. Jahad Daneshgahi publishing. P68. (In Persian).

Zhang, J., Hamill, A.S., & Weaver, S.E. (1995). Antagonism and synergism between herbicides: trends from previous studies. *Weed Technology*, *9*, 86–90.

Plant Production and Genetics **تولید و ژنتیک گیاهی**

Vol. 4, No. 1, Spring & Summer 2023, p. 1- 18 **جلد ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۲، صفحه ۱۸-۱**

Research Article DOI: 10.34785/J020.2022.013

The use of dose-effect curves for studying mixing effects of metribuzin with halosulfurom and flumioxazin on potato weed control

Elham Samadi Kalkhoran[1], Mohammad Taghi Alebrahim[2*], Hamid Reza Mohammadduost Chamn Abad[2], Jens Carl Streibig[3], Akbar Ghavidel[4]

1. Ph.D. graduate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Professor, Department of Plant and Environmental Science, Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark
4. Associated Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 23-06-2022

Accepted: 25-08-2022

Abstract

The most effective tool to prevent and delay resistance to herbicides, and increase weed control spectrum is herbicide tank mixtures. In order to evaluate the effects of binary mixtures of metribuzin:halosulfuron and metribuzin:flumioxazin on potato weeds, a field experiments was conducted in factorial experiments in a randomized complete block design in Ardabil in 2019 .The doses of metribuzin were 10.93, 21.87, 43.75, 87.5, 175, 350 and 700 g ai. ha^{-1} and halosulfuron doses were 0.78, 1.562, 3.125, 6.25, 12.5, 25 and 50 g ai. ha^{-1}. The metribuzin:halosulfuron uses (100:0), (98:2), (93:7), (82:18) and (0:100)% mixture ratios with three replications. On the other hand, the doses of metribuzin were 10.93, 21.87, 43.75, 87.5, 175, 350 and 700 g ai. ha^{-1} and flumioxazin were 0.97, 1.95, 3.9, 7.81, 15.62, 31.25 and 62.5 g ai. ha^{-1}. The metribuzinf1umioxazin mixtures ratios were (100:0), (97:3), (92:8), (79:21) and (0:100) % with three replications. The experiments were carried out on two-time levels: pre-emergence (7 days after planting) and post-emergence (75% potato emergence, 35 days after planting). The ED_{50} and ED_{90} values indicated (0:100) % metribuzin:halosulfuron and metribuzin:flumioxazin had the most effective treatment on total weed, *convolvulus arvensis* and *setaria viridis* biomass. Dose-effect curves demonstrated metribuzin:halosulfuron and metribuzin:flumioxazin followed an antagonistic effect based on the additive dose model (ADM) reference model.

Keywords: Antagonism, herbicides mixtures, chemical control, log-logistic.

Citation: Samadi Kalkhoran, E., Alebrahim, M.T., Mohammadduost Chaman Abad, H.R., Stereibig, J.C., & Ghavidel, A. (2023). The use of dose-effect curves for studying mixing effects of metribuzin with halosulfurom and flumioxazin on potato weed control. *Plant Production and Genetics*, 4(1), 1-18. https://doi.org/10.34785/J020.2022.013.

Copyrights:
Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

*Corresponding Author Email: m_ebrahim@uma.ac.ir