

Pretilachlor and bensulfuron methyl interactions in paddy weed control

Shaban Alizadeh¹, Hasan Alizadeh^{*2}, Bijan Yaghoubi³, Mostafa Oveisi⁴

1,2,4- Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Rice Research Institute of Iran (RRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

(Received: May 13, 2020 - Accepted: July 23, 2020)

ABSTRACT

The efficacy of pretilachlor from chloroacetamide herbicides inhibiting lipid synthesis and bensulfuron from sulfonyleureas urea inhibiting the synthesis of enzyme acetolactate synthase in the control of barnyardgrass and bulrush were investigated in sole and mixed applications at 0, 25, 50, 75, 100 and 125% of the recommended doses. The results showed that weed control in response to different doses of two herbicides could be expressed by logistic dose-response model ($R^2 \geq 95\%$). The required dose for 50% reduction of barnyard grass biomass (ED50) in the treatment with pretilachlor and bensulfuron was 17.1% and 24.7% of the recommended dose, respectively, and 32.3% and 26.4% of the recommended dose for bulrush respectively, indicating higher efficiency of pretilachlor in barnyardgrass and bensulfuron in bulrush controls. While pretilachlor provided complete control of barnyardgrass, none of the herbicides were able to completely control bulrush up to 125% of the recommended dose. According to the fitted dose response logistic model ($R^2 \geq 95\%$), mixing the recommended doses of bensulfuron with 75% of recommended dose of pretilachlor or the recommended dose of pretilachlor with 25% of recommended dose of bensulfuron resulted in 100% control of bulrush. Today, sedges are the most abundant and diverse weeds in rice fields, and according to the results of this study, to control the most prevalent weed of this group, bulrush, mixing of herbicides is necessary. By mixing the pretilachlor and bensulfuron herbicides, it is possible to control bulrush and barnyardgrass, the two key weeds of paddy, with lower doses of these herbicides, which require further studies in field conditions to determine the appropriate dose.

Keywords: Compatibility, herbicide, mixing, rice, weed.

برهم کنش علف کش‌های پرتیلاکلر و بن‌سولفورون متیل در کنترل علف‌های هرز شالیزار

شعبان علی زاده^۱، حسن علیزاده^{*۲}، بیژن یعقوبی^۳، مصطفی اویسی^۴

۱ و ۲ و ۴ - به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران،

۳ - دانشیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۲۴ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲)

چکیده

علف‌های هرز آن‌ها هم‌کارایی علف‌کش‌های پرتیلاکلر از علف‌کش‌های کلرواستامیدی بازدارنده سنتز چربی و بن‌سولفورون از سولفونیل‌اوره‌های بازدارنده سنتز آنزیم استولاکتات سینتاز به صورت انفرادی و نیز برهم‌کنش آن‌ها در صورت اختلاط در دزهای صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد دز توصیه شده در کنترل سوروف و پیזור بررسی شد. نتایج نشان داد که کنترل علف‌های هرز در تیمار با دزهای مختلف دو علف‌کش با مدل دز-پاسخ لوجستیک قابل بیان بود ($R^2 \geq 95\%$). دز لازم برای ۵۰ درصد کاهش زیست‌توده سوروف (ED50) در تیمار با پرتیلاکلر و بن‌سولفورون، به ترتیب ۱۷/۱ و ۲۴/۷ درصد دز توصیه شده و برای پیזור، ۳۲/۳ و ۲۶/۴ درصد دز توصیه شده بود که بیانگر کارایی بیشتر پرتیلاکلر در کنترل سوروف و بن‌سولفورون در کنترل پیזור بود، درحالی‌که پرتیلاکلر، کنترل کامل سوروف را موجب شد، اما هیچ‌یک از علف‌کش‌ها تا ۱۲۵ درصد دز توصیه شده، قادر به کنترل کامل پیזור نبودند. مطابق مدل دز-پاسخ لوجستیک برازش شده ($R^2 \geq 95\%$) با اختلاط دز توصیه شده بن‌سولفورون با ۷۵ درصد پرتیلاکلر و نیز دز توصیه شده پرتیلاکلر با ۲۵ درصد بن‌سولفورون، کنترل ۱۰۰ درصد پیזור را به دنبال داشت. امروزه جگن‌ها فراوانترین و متنوع‌ترین علف‌های هرز مزارع برنج هستند و مطابق نتایج این تحقیق برای کنترل علف‌هرز شاخص این گروه یعنی پیזור، اختلاط علف‌کش‌ها ضروری است. با اختلاط دو علف‌کش پرتیلاکلر و بن‌سولفورون، کنترل دو علف‌هرز کلیدی شالیزار یعنی پیזור و سوروف با دز کمتری از این علف‌کش‌ها میسر است که نیازمند بررسی‌های بیشتر در شرایط مزرعه‌ای برای تعیین دز مناسب است.

کلمات کلیدی: اختلاط، برنج، سازگاری، علف‌کش، علف‌هرز.

* Corresponding author E-mail: malizade@ut.ac.ir

مقدمه

مصرف شده و در سطح برگ قرار دارند، وجود دارد (Hatzios & Penner, 1985).

کاهش کنترل گراس‌ها، هنگامی‌که آن‌ها با دیگر علف‌کش‌ها به‌صورت هم‌زمان مصرف شده‌اند، گزارش شده است. نتایج تحقیقات نشان دهنده کاهش کارایی فنوکساپروپ (بازدارنده سنتز استیل‌کوآنزیم‌آکربوکسیلاز ACCase) در کنترل سوروف در اختلاط با هالوسولفورون (Zhang *et al.*, 2005) و بن‌سولفورون‌متیل (Jordan, 1995) بوده است. به‌علاوه اثرات آنتاگونیستی در اختلاط فنوکساپروپ با بیس‌پایرباک سدیم، پنوکسولام، کوئینکلوراک و ایمازاتاپیر گزارش شده است (Blouin *et al.*, 2010). نتایج تحقیقات، بیانگر کارایی فنوکساپروپ در اختلاط با بنتازون (Jordan, 1995)، تریکلوپیر (Stauber *et al.*, 1991) و بروموکسینیل (Stauber *et al.*, 1991) و توفوردی (Mueller *et al.*, 1989) بوده است. ستوکسیدیم نیز با بنتازون (Young & Hart., 1999) و بروموکسینیل دارای آنتاگونیستی بود (Stauber *et al.* 1991). علف‌کش‌های گروه استولاکتازسیتاز دارای بازدارندگی بر کارایی باریک‌برگ‌کش‌ها بودند (Burke *et al.*, 2004). بنتازون، تریکلوپیر، بن‌سولفورون، هالوسولفورون و پروپانیل علف‌کش‌هایی هستند که با پنوکسولام و سای‌هالوفوب قابلیت اختلاط و کاربرد هم‌زمان دارند (Baldwin *et al.* 2001). اختلاط علف‌کش کلریمورون با گلیفوسیت، کاهش کارایی گلیفوسیت در کنترل سوروف را موجب نشد، اما این اختلاط دارای سودمندی اقتصادی خاصی هم نبود (Jordan *et al.*, 1997).

علف‌کش SAN 582 از خانواده کلرواستامیدها است که قبل از کشت ذرت، سورگوم، بادام و سویا با خاک مخلوط می‌شود. این علف‌کش با ستوکسیدیم در

فلور علف‌های‌هرز شالیزارها، متنوع و ترکیبی از نازک‌برگ‌ها، پهن‌برگ‌ها و جگن‌ها است. علف‌های‌هرز فوق‌داری واکنش متفاوتی به علف‌کش‌ها هستند و استفاده از حداقل دو یا چند علف‌کش جهت کنترل آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است. کاربرد چند علف‌کش در یک مزرعه ممکن است تناوبی و یا به‌صورت اختلاط باشد. اختلاط علف‌کش‌ها همیشه دور از مخاطره نبوده است و ترکیب آن‌ها، گاه موجب کاهش کارایی^۱، افزایش کارایی^۲ و گاه فاقد هرگونه تأثیر افزایشی یا کاهش^۳ بر کارایی آن‌ها است. در صورت انتخاب علف‌کش‌های سازگار با یکدیگر و اختلاط دو یا چند علف‌کش در یک محلول سمپاشی، مزیت‌های متعددی از جمله صرفه‌جویی در زمان مورد نیاز برای کاربرد علف‌کش و کنترل طیف گسترده‌تری از علف‌های‌هرز در مقایسه با مصرف انفرادی آن‌ها حاصل خواهد شد. به‌علاوه بهره‌گیری از خاصیت سینرژیستی علف‌کش‌ها، کاهش هزینه را به دنبال دارد و میزان ورود سموم به محیط را کاهش می‌دهد (Streibig & Jensen 2000; Kudsk & Mathiasen) (2004).

موفقیت در اختلاط علف‌کش‌ها، به کارایی هر جزء علف‌کش و مؤثر بودن آن به آن میزانی است که در کاربرد انفرادی دارد (Myer & Coble 1992). وقتی علف‌کش‌ها اختلاط می‌یابند، عکس‌العمل بین آن‌ها می‌تواند در محلول تهیه شده، در سطح گیاه، در خاک، در داخل اندام‌های گیاه و در سطح سلولی اتفاق افتد (Green & Baily., 1988; Barret, 1993). به‌علاوه احتمال واکنش علف‌کش‌ها با آفت‌کش‌هایی که از قبل

¹ Antagonism

² Synergism

³ Additive

سینرژیستی هستند، در حالی که پندیمتالین (بازدارنده جفت شدن میکروتوبول‌ها) با سولفونیل‌اوره‌ها، دارای اثرات آنتاگونیستی یا افزایشی است (Kaushik et al., 2006). همچنین نتایج بررسی دیگری نشان داد که اختلاط تیوبنکارب با لونداکس، دارای روابط سینرژیستی بود و تشدید گیاه‌سوزی برنج را موجب شد (Hill et al., 1990).

اختلاط علف‌کش‌ها دارای مزایای دیگری نیز هست و آن‌ها ممکن است از تغییر فلور جمعیت علف‌های هرز که در اثر کاربرد یک علف‌کش اتفاق می‌افتد، جلوگیری کنند. منظور از تغییر فلور، ظهور گونه‌های متحمل و نه مقاوم هرز به علف‌کشی است که به‌طور تکراری مصرف می‌شود. به هر حال، استفاده از اختلاط علف‌کش‌ها می‌تواند منجر به توسعه علف‌های هرز دارای مقاومت به چند علف‌کش شود (Barrett, 1993). به‌طور کلی در زراعت برنج، یک جزء ترکیب در اختلاط علف‌کش‌ها، سولفونیل‌اوره‌هایی همانند بن‌سولفورون و پیرازوسولفورون هستند (Naylor, 1996).

شالیکاران، اختلاط علف‌کش‌های باریک‌برگ‌کش با پهن‌برگ و جگن‌کش را ترجیح می‌دهند تا طیف کنترل علف‌های هرز را وسیع‌تر نمایند و تعداد دفعات کاربرد علف‌کش‌ها را کاهش دهند (Jordan, 1995). علاوه بر اختلاط علف‌کش‌های انتخابی یک محصول، در برخی موارد، اختلاط شامل یک علف‌کش غیرانتخابی پس‌رویشی با یک علف‌کش دارای باقیمانده فعال در خاک است (Lanclos et al., 2002) تا بدین وسیله، طول دوره کنترل علف‌های هرز طولانی‌تر شود. بخ‌طور کلی در اختلاط، علف‌کش‌هایی با مکانیزم عمل متفاوت با یکدیگر ترکیب می‌شوند (Lanclos et al., 2002).

علف‌کش‌های خاک‌پاش متعدّد با مکانیزم عمل متفاوت از گروه‌های شیمیایی کلرواستامیدها،

کنترل سوروف، جانسون‌گراس و سیگنال‌گراس (*Brachiaria platyphylla*) در کاربرد پس‌رویشی و اختلاط در تانک سمپاشی، دارای رابطه سینرژیستی بود (Scott, 1997).

اختلاط فنوکساپروپ با اتوکسی‌سولفورون، بهبود ۴۳ تا ۶۹ درصدی کنترل سوروف در مقایسه با کاربرد انفرادی فنوکساپروپ را موجب شد، در حالی که اختلاط آزیم‌سولفورون با فنوکساپروپ، دارای اثر کاهشی بود و کاهش ۸۶ درصدی کنترل لپتوکلوآ (*Leptochloa* sp.) در مقایسه با مصرف انفرادی فنوکساپروپ را در پی داشت (Bhullar et al., 2016). اختلاط سای‌هالوفوب و پنوکسولام با دیگر پهن‌برگ‌کش‌ها یا جگن‌کش‌ها میسر است و امکان کنترل همه علف‌های هرز را با یک مرتبه سمپاشی فراهم می‌نماید (Ntanos et al., 2002). اختلاط بیس‌پایریباک‌سدیم با فنوکساپروپ، فاقد اثر سوء بر کارایی آن‌ها بود، در حالی که بیس‌پایریباک‌سدیم و سای‌هالوفوب، دارای آنتاگونیسم شدید بودند و کارایی بیس‌پایریباک‌سدیم در اختلاط بین این دو، به‌شدت کاهش پیدا کرد. بنابراین در صورت حضور علف‌هرز باریک‌برگ لپتوکلوآ، اختلاط بیس‌پایریباک با فنوکساپروپ قابل توصیه است (Boger et al., 2002).

کاربرد همزمان بیس‌پایریباک‌سدیم با تیوبنکارب، دارای اثر افزایشی در کنترل سوروف بود (Fischer et al., 2004). اختلاط باریک‌برگ‌کش‌های مولینیت با پرتیلاک‌ر، دارای تأثیر منفی بر کارایی آن‌ها بود. به‌علاوه تیوبنکارب و بوتاکلر هر یک به‌تنهایی، از کارایی خوبی در کنترل سوروف برخوردارند و اختلاط آن‌ها، کاهش کارایی کنترل این علف‌هرز را به‌دنبال داشت (Ntanos et al., 1992). پرتیلاک‌ر (بازدارنده سنتز اسیدهای چرب با زنجیره بلند) و سولفونیل‌اوره‌ها (بازدارندگان ALS) دارای روابط

پهن‌برگ‌های شالیزارهای شمال کشور است. کاربرد همزمان این دو علف‌کش، اقتصادی‌ترین روش برای کنترل علف‌های‌هرز در کشت نشایی برنج است. این پژوهش با هدف بررسی امکان اختلاط بن‌سولفورون و پرتیلاکلر جهت کنترل همزمان سوروف و پیروز، با هدف کاهش مصرف علف‌کش‌ها انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در موسسه تحقیقات برنج کشور (معاونت مازندران، آمل)، در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ درجه شرقی و ارتفاع ۲۹/۸ متر از سطح دریا در شرایط گلدانی فضای آزاد در سال ۱۳۹۵ انجام شد. میزان نزولات سالانه در سال اجرای آزمایش ۷۹۲/۹ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد بود (Anonymous, 2017). بافت خاک مورد استفاده در آزمایش از نوع سیلتی لومی بود. برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

دی‌تیوکاربامات‌ها، بازدارندگان سنتز رنگدانه، دی‌نیتروآنیلین‌ها، علف‌کش‌های هورمونی و بازدارندگان سنتز استولاکتاز سینتاز برای کنترل سوروف در شالیزار معرفی شده‌اند، ولی تعدد علف‌کش‌های خاک‌پاش برای کنترل جگن‌های چندساله برنج بسیار محدود است و تنها علف‌کش موجود، بن‌سولفورون‌متیل (بن‌سولفورون) است. همچنین با وجود تنوع علف‌کش‌های خاک‌پاش، بیش از ۹۰ درصد بازار تجارت این ترکیبات در دو دهه اخیر، منحصر به کلرواستامیدها (بوتاکلر و پرتیلاکلر) بوده است که بوتاکلر در حال حذف از لیست سموم مجاز کشور است. بنابراین با توجه به سابقه مصرف گسترده کلرواستامیدها و احتمال افزایش مصرف پرتیلاکلر در آینده و نیز ضرورت کاربرد بن‌سولفورون، بررسی برهم‌کنش این علف‌کش‌ها در کنترل علف‌های‌هرز شالیزار ضروری به نظر می‌رسد. سوروف، مهمترین و فراوانترین علف‌هرز شالیزارهای گیلان است و پرتیلاکلر، از علف‌کش‌های رایج برای کنترل آن است. از سوی دیگر، بن‌سولفورون تنها و پرمصرف‌ترین علف‌کش برای کنترل جگن‌ها و

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش

Table 1. Soil physicochemical properties of the experimental site

K (PPM)	P (PPM)	N (PPM)	EC ($\mu\text{m}\text{ cm}^{-1}$)	OC (%)	pH	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
156	9.5	0.1	1.41	1	6.8	27	52	23

آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل دو علف‌کش بن‌سولفورون‌متیل (DF 60%, 62.5 g ha^{-1}) و پرتیلاکلر (EC 50%, 1.75 L ha^{-1}) بود که هر یک در شش سطح صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد دز توصیه‌شده بررسی شدند و فاکتور دوم، گونه علف‌هرز شامل دو گونه‌ی سوروف (*Bolboschoenus*) و پیروز (*Echinochloa crus galli*)

بود. ابتدا غده‌های پیروز و بذر سوروف و برنج (رقم شیرودی) در خزانه کشت شدند و علف‌های‌هرز در مرحله‌ی ۱/۵ تا دو برگی و برنج در مرحله‌ی سه تا چهار برگی به‌طور هم‌زمان در گلدان نشاکاری شدند. گلدان‌های مورد استفاده، بیضوی شکل به قطر ۲۴ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بود که حدود دوسوم آن‌ها از خاک پر شد و مشابه شرایط شالیزار در حالت غرقاب گل‌آب یا پادل شدند و بدون

زه‌کش بودند. نشاکاری گیاهچه‌های برنج و علف‌هرز، در تاریخ ۱۴ تیرماه ۱۳۹۸ انجام شد. برنج و علف‌های هرز به‌صورت مخلوط در هر گلدان کشت شدند و هر گلدان حاوی دو کپه برنج (هر کپه دو گیاهچه) و دو گیاهچه علف‌هرز سوروف یا پیروز بود. مطابق نتایج آزمایش خاک، از کودهای شیمیایی اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، فسفات‌آمونیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات‌پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده شد. زمان مصرف کودها و تیمارهای علف‌کشی، به‌ترتیب یک و چهار روز پس از نشاکاری بود. با توجه به هدف آزمایش که مطالعه برهم‌کنش دو علف‌کش رایج و پرمصرف بن‌سولفورون و پرتیلاکلر در کنترل علف‌های هرز کلیدی سوروف و پیروز در برنج بود، کارایی این علف‌کش‌ها در کاربرد انفرادی و اختلاط هر یک از دزهای یک علف‌کش با سطوح مختلف (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد دز توصیه شده) علف‌کش دیگر بررسی شد. گلدان‌ها در تمام فصل رشد، تا ارتفاع حدود پنج تا هفت سانتی‌متر غرقاب بودند. مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج و بیماری بلاست مطابق عرف انجام شد.

جهت بررسی تأثیر تیمارهای مورد بررسی بر برنج و علف‌های هرز، در مرحله برداشت پس از کف‌بردن گیاه زراعی و علف‌های هرز و تفکیک آن‌ها، نمونه‌ها جداگانه به مدت ۴۸ ساعت، در آون ۷۵ درجه سانتیگراد قرار گرفتند و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Version 9.13) انجام شد. با توجه به این‌که در این پژوهش، تیمارها شامل یک سری از داده‌های کمی (دز علف‌کش) بود، بنابراین از تجزیه رگرسیون به‌منظور برازش مدل مناسب جهت بررسی روند تغییرات صفات (زیست‌توده برنج و

$$Y = \frac{c}{1+(x/ED50)^b} \quad \text{معادله ۱}$$

در این معادله، Y: زیست‌توده علف‌هرز، C: حداکثر زیست‌توده، x: دز علف‌کش و ED50: دزی از علف‌کش است که در آن ۵۰ درصد کاهش زیست‌توده به‌دست می‌آید.

در مواردی که کنترل کامل علف‌هرز حاصل نشده بود، روند کاهش زیست‌توده علف‌هرز با مدل دز-پاسخ استاندارد (Seefeldt et al., 1995., Streibig & Jensen., 2000) (معادله ۲) بررسی شد:

$$Y = c + \frac{d-c}{(1+\exp(b(\log(x)-\log(ED\ 50))))} \quad \text{معادله ۲}$$

که در این معادله، Y: زیست‌توده علف‌هرز (گرم در گلدان)، C: حداقل زیست‌توده، D: حداکثر زیست‌توده، b: شیب خط در اطراف ED 50 و ED 50: دزی است که در آن، ۵۰ درصد زیست‌توده علف‌هرز در آن دز کاهش می‌باید.

عملکرد بیولوژیک برنج به‌عنوان تابعی از دز علف‌کش با مدل خطی قابل بیان بود.

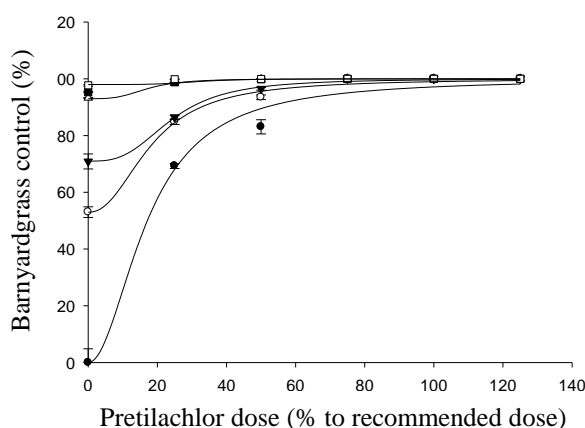
$$f = y_0 + a * x \quad \text{معادله ۳}$$

که در آن، f: عملکرد بیولوژیک، y_0 : حداکثر زیست‌توده برنج، a: شیب خط و x دز علف‌کش است. برازش مدل‌های فوق با استفاده از نرم‌افزار Sigma plot (Version 12.3) انجام شد.

نتایج و بحث

دز-پاسخ زیست‌توده سوروف در کاربرد انفرادی پرتیلاکلر و اختلاط بن‌سولفورون با پرتیلاکلر پرتیلاکلر دارای کارایی بسیار خوبی در کاهش زیست‌توده سوروف بود و این علف‌کش به‌تنهایی،

علف‌کش در دزهای ۲۵ تا ۱۲۵ درصد دز توصیه شده، ۵۳/۲ تا ۹۸ درصد سوروف را کنترل کرد. این داده‌ها کارایی بهتر پرتیلاکلر در کنترل سوروف نسبت به بن‌سولفورون در کاربرد انفرادی را نشان می‌دهد. اختلاط بن‌سولفورون با پرتیلاکلر، افزایش کارایی و کاهش بیشتر زیست‌توده سوروف را موجب شد (شکل ۱، جدول ۱).



شکل ۱- منحنی دز- پاسخ زیست‌توده سوروف به کاربرد پرتیلاکلر • به تنهایی (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد دز توصیه شده) و اختلاط دزهای ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد بن‌سولفورون با پرتیلاکلر

Figure 1. Dose response of barnyardgrass biomass to pretilachlor sole application (●, 0, 25, 50, 75, 100 and 125% of recommended dosage “1750 g ai.ha⁻¹”) and pretilachlor mixture with bensulfuron (○ 25, ▼ 50, △ 75, ■ 100 and □ 125% of recommended dosage “62.5 g ai ha⁻¹”).

۷۸ گرم ماده تجاری در هکتار (DF 60%)، قادر به کنترل کامل سوروف نبود که بیانگر نامناسب بودن این علف‌کش برای کنترل سوروف در صورت کاربرد به تنهایی در شالیزار است.

مطابق توصیه‌های سازمان حفظ نباتات، حداکثر دز توصیه شده این علف‌کش، ۷۵ گرم در هکتار تا مرحله سه برگی علف‌های هرز است. در پژوهش حاضر، زمان کاربرد این علف‌کش، مرحله ۱/۵ برگی سوروف بود. بدیهی است کارایی علف‌کش در شرایط مزرعه‌ای، به مراتب کمتر از شرایط گلدانی است؛ بنابراین بن‌سولفورون را نمی‌توان علف‌کش مناسبی برای کنترل سوروف قلمداد نمود. کارایی دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد پرتیلاکلر در کنترل سوروف و در

قادر به کنترل کامل سوروف بود (شکل ۱، جدول ۱). دز لازم برای ۵۰ و ۹۰ درصد کنترل سوروف با مصرف پرتیلاکلر به تنهایی، به ترتیب ۱۷ و ۵۱/۷ درصد دز مورد بررسی (1.75 L.ha⁻¹) بود (شکل ۱، جدول ۱). به علاوه بر اساس پارامترهای تجزیه رگرسیون، مصرف بن‌سولفورون (Min) به تنهایی نیز دارای کنترل خوبی بر روی سوروف بود و این

افزودن ۲۵ و ۵۰ درصد دز توصیه شده بن‌سولفورون به پرتیلاکلر، افزایش کارایی این علف‌کش و کاهش شدید زیست‌توده سوروف را در پی داشت و در کمتر از ۵۰ درصد دز توصیه شده پرتیلاکلر، منجر به بیش از ۹۰ درصد کاهش زیست‌توده سوروف شد. افزودن دزهای ۷۵ درصد و بالاتر بن‌سولفورون به پرتیلاکلر، کنترل کامل سوروف را به همراه داشت.

دز-پاسخ زیست‌توده سوروف به کاربرد بن‌سولفورون به تنهایی و اختلاط آن با پرتیلاکلر بن‌سولفورون به تنهایی در ۵۰ و ۹۰ درصد دز توصیه شده، به ترتیب سبب کاهش ۲۴/۷ و ۸۳ درصدی زیست‌توده سوروف شد (شکل ۲، جدول ۲)، اما این علف‌کش تا ۱۲۵ درصد دز مورد بررسی یعنی حدود

علف‌کش بن‌سولفورون برای ۹۰ درصد کاهش زیست‌توده سوروف در صفر، ۲۵ و ۵۰ درصد دز پرتیلاکلر، به‌ترتیب ۸۳، ۴۱ و ۱۷ درصد بود. دزهای بالاتر پرتیلاکلر در اختلاط با بن‌سولفورون، کنترل کامل سوروف را موجب شدند (شکل ۲، جدول ۲).

سطح صفر بن‌سولفورون، به‌ترتیب ۶۹، ۸۳ و ۱۰۰ درصد بود که بیانگر کارایی بیشتر پرتیلاکلر نسبت به بن‌سولفورون در کنترل سوروف است. با افزودن دزهای ۲۵ و ۵۰ درصد بن‌سولفورون به پرتیلاکلر، امکان کنترل ۱۰۰ درصدی سوروف در غلظت‌های کمتری از علف‌کش بن‌سولفورون فراهم شد. دز لازم

جدول ۱- ضرایب برازش معادله سه پارامتره سیگموئیدی لجستیک به روند کاهش زیست‌توده سوروف در کاربرد پرتیلاکلر به تنهایی (صفر تا ۱۲۵ درصد دز توصیه‌شده) و اختلاط آن با بن‌سولفورون

Table 1. Parameters estimated by fitting the three-parameter sigmoidal logistic model to barnyardgrass biomass reduction in sole application of pretilachlor and mixed with different levels of bensulfuron

Treatments	Model parameters (SE)				
	Min (se)	max (se)	ED50 (se)	ED90 (se)	R ²
Sole application of pretilachlor (0-125%)	0 (2.7)	100 (0.5)	17.1 (3.4)	51.7 (4.9)	0.99 **
Pretilachlor dosages + 25% bensulfuron	53.2 (1.7)	100 (0.4)	≥ 0 (0)	33 (3.7)	0.99 **
Pretilachlor dosages + 50% bensulfuron	71 (2.7)	100 (0.2)	-	30 (4.8)	0.99 **
Pretilachlor dosages + 75% bensulfuron	93 (2.7)	100 (0.2)	-	-	0.99 **
Pretilachlor dosages + 100% bensulfuron	95 (2.7)	100 (0.19)	-	-	0.98 **
Pretilachlor dosages + 125% bensulfuron	98 (2.7)	100 (0.3)	-	-	0.99 **

Max: مقادیر میانگین حد بالا، Min: مقادیر میانگین حد پایین، ED50 و ED90: مقدار علف‌کشی که ۵۰ و ۹۰ درصد جمعیت علف‌هرز را کنترل می‌کند، se:

خطای برآورد، دزهای پرتیلاکلر: صفر، ۲۰، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد دز توصیه شده.

Max: mean values for upper limit, Min: mean values for lower limit, ED50 & ED90: the rate needed to provide 50 and 90% control, se: error of the estimates, pretilachlor doses: 0, 25, 50, 75, 100 and 125 % of recommended dose.

جدول ۲- ضرایب برازش معادله سه پارامتره سیگموئیدی لجستیک به روند کاهش زیست‌توده سوروف در کاربرد بن‌سولفورون به تنهایی و اختلاط آن با پرتیلاکلر

Table 2. Parameters estimated by fitting the three-parameter sigmoidal logistic model to barnyardgrass biomass reduction in sole application of bensulfuron and mixed with different levels of pretilachlor

Treatments	Parameter estimates (SE)				
	Min (se)	max (se)	ED50 (se)	ED90 (se)	R ²
Sole application of bensulfuron (0-125%)	0 (0)	98 (0.3)	24.7 (3.3)	83	0.99 **
Bensulfuron + 25% pretilachlor	69 (2.1)	100 (0.7)	-	41	0.96 **
Bensulfuron + 50% pretilachlor	83 (1.4)	100 (0.3)	-	17	0.99 **
Bensulfuron + 75% pretilachlor	100	100	-	-	-
Bensulfuron + 100% pretilachlor	100	100	-	-	-
Bensulfuron + 125% pretilachlor	100	100	-	-	-

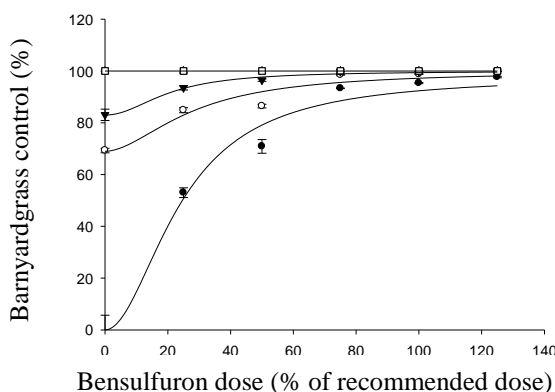
Max: مقادیر میانگین حد بالا، Min: مقادیر میانگین حد پایین، ED50 و ED90: مقدار علف‌کشی که ۵۰ و ۹۰ درصد جمعیت علف‌هرز را کنترل می‌کند، se:

خطای برآورد، دزهای بن‌سولفورون: صفر، ۲۰، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد دز توصیه شده.

Max: mean values for upper limit, Min: mean values for lower limit, ED50 & ED90: the rate needed to provide 50% and 90% control, se: error of the estimates, bensulfuron doses: 0, 25, 50, 75, 100 and 125 % of recommended dose.

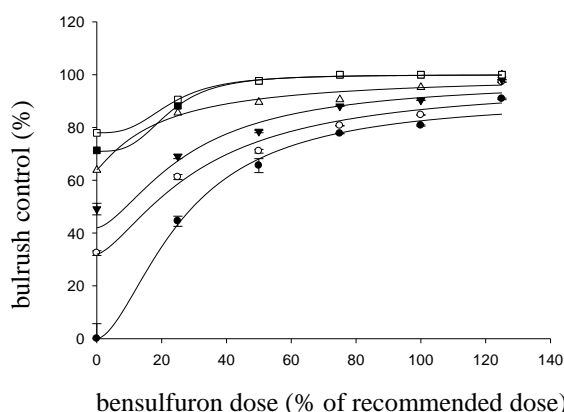
نسبت به کاربرد این علف‌کش به‌تنهایی شد؛ اگرچه اختلاط دزهای ۲۵ و ۵۰ درصد پرتیلاکلر با بن‌سولفورون (تا غلظت ۱۲۵ درصد دز توصیه شده بن‌سولفورون) نیز نتوانست امکان کنترل کامل پیروز را فراهم آورد. افزایش دز پرتیلاکلر (دزهای بالاتر از ۷۵ درصد دز توصیه شده) با بن‌سولفورون، کنترل کامل پیروز را در پی داشت.

دز-پاسخ پیروز به کاربرد بن‌سولفورون به‌تنهایی و اختلاط بن‌سولفورون با پرتیلاکلر حداکثر کارایی بن‌سولفورون در کنترل پیروز ۹۱ درصد بود (جدول ۳) که بیانگر عدم کارایی این علف‌کش تا ۱۲۵ درصد دز توصیه‌شده در کنترل پیروز است (شکل ۳). اختلاط پرتیلاکلر با بن‌سولفورون، موجب افزایش کارایی بن‌سولفورون



شکل ۲- منحنی دز پاسخ زیست توده سوروف به کاربرد بن سولفورون ● به تنهایی (دز صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد دز توصیه شده) و اختلاط آن با پرتیلاکلر (دزهای ۲۵ ○، ۵۰ ▼ و ۷۵ △ درصد دز توصیه شده). اختلاط دزهای بالاتر پرتیلاکلر با بن سولفورون، کنترل کامل سوروف را موجب شد که امکان نمایش داده‌ها میسر نیست.

Figure 2. Dose response of barnyardgrass biomass to sole application of bensulfuron ● (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of recommended dose “62.5 g ai.ha⁻¹”) and the its mixture with pretilachlor (○ 25 and ▼ 50% of recommended dosages “1750 g ai ha⁻¹”).



شکل ۳- منحنی دز- پاسخ زیست توده پیروز به کاربرد بن سولفورون به تنهایی ● (دزهای صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد دز توصیه شده) و اختلاط بن سولفورون با دزهای ۲۵ ○، ۵۰ ▼، ۷۵ △، ۱۰۰ ■ و ۱۲۵ □ درصد دز توصیه شده پرتیلاکلر

Figure 3. Dose response of bulrush biomass to sole application of bensulfuron ● (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of recommended dose “62.5 g ai.ha⁻¹”) and its mixture with pretilachlor (○ 25, ▼ 50, △ 75, ■ 100 and □ 125% of recommended dose “1750 g ai ha⁻¹”).

در صورت کاربرد دزهای ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد غلظت توصیه شده پرتیلاکلر، دز لازم از علف کش بن سولفورون برای ۹۰ درصد کاهش زیست توده پیروز، به ترتیب ۱۲۵، ۸۷، ۴۵، ۲۷ و ۲۴ درصد بن سولفورون بود (جدول ۳). دز- پاسخ پیروز به کاربرد پرتیلاکلر به تنهایی و اختلاط بن سولفورون با پرتیلاکلر، افزایش کنترل پیروز را موجب شد.

۱۲۵ درصد دز توصیه شده، قادر به کنترل کامل پیروز نبود و حداکثر کارایی آن در ۱۲۵ درصد دز توصیه شده، ۷۸ درصد بود (شکل ۴، جدول ۴). کنترل پیروز در دزهای ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد بن سولفورون به تنهایی، به ترتیب ۴۴، ۶۶، ۷۸، ۸۱ و ۹۱ درصد بود (جدول ۴) و اختلاط بن سولفورون با پرتیلاکلر، افزایش کنترل پیروز را موجب شد.

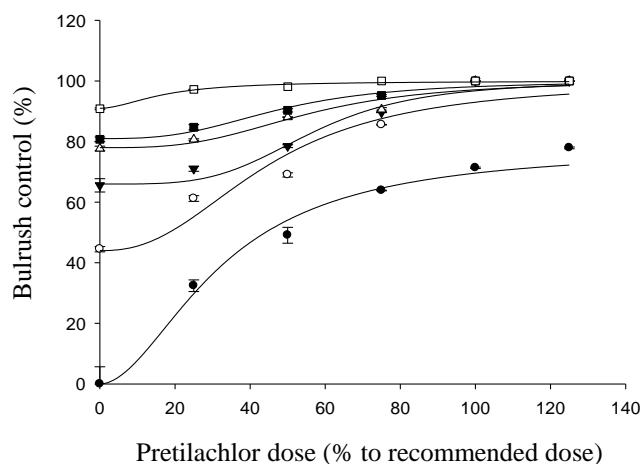
جدول ۳- ضرایب مربوط به برازش معادله چهار پارامتره دز- پاسخ استاندارد (-) $f1 = \min + (\max - \min) / (1 + (x/EC50)^{-Hillslope})$ به روند کاهش زیست توده پیروز در کاربرد بن سولفورون به تنهایی و اختلاط آن با دزهای مختلف پرتیلاکلر (Hillslope))

Figure 3. Parameters estimated by fitting the standard four-parameter dose-response model to bulrush biomass reduction in sole application of bensulfuron and mixed with different levels of pretilachlor

Treatments	Parameter estimates (SE)				
	Min (se)	Max (se)	ED 50 (se)	ED 90 (se)	0.99 **
Sole application of bensulfuron (0-125%)	0 (0.2)	91 (1.3)	26.4 (2.1)	≥ 125 (-)	0.96 **
Bensulfuron doses + 25% pretilachlor	32 (0.2)	97 (1.3)	32.5 (4.8)	125 (5.3)	0.98 **
Bensulfuron doses + 50% pretilachlor	42 (0.2)	98 (0.3)	28.0 (3.5)	87 (3.2)	0.96 **
Bensulfuron doses + 75% pretilachlor	64 (1.2)	100 (0.3)	19.4 (5.8)	45 (2.5)	0.99 **
Bensulfuron doses + 100% pretilachlor	71 (1.9)	100 (0.2)	22.2 (3.4)	27 (0.3)	0.99 **
Bensulfuron doses + 125% pretilachlor	78 (2.4)	100 (0.2)	22.7 (2.6)	24 (0.38)	0.99 **

Max: مقادیر میانگین حد بالا، Min: مقادیر میانگین حد پایین، ED50: مقدار علف کشی که ۵۰ درصد جمعیت علف هرز را کنترل می کند، b: میانگین شیب، se: خطای برآورد.

Max: mean values for upper limit, Min: mean values for lower limit, ED50: the rate needed to provide 50% control, b: mean values for slope, se: error of the estimates, bensulfuron doses: 0, 25, 50, 75, 100 and 125 % of recommended dose.



شکل ۴- منحنی دز- پاسخ زیست توده پیروز به کاربرد پرتیلاکلر به تنهایی (دزهای صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد دز توصیه شده) و اختلاط آن با دزهای ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد دز توصیه شده بن سولفورون

Figure 4. Bulrush biomass response to sole application of pretilachlor (● (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of recommended dose “62.5 g ai.ha⁻¹”) and its mixture bensulfuron

(○ 25, ▼ 50, △ 75, ■ 100 and □ 125 % of recommended dosages “62.5 g ai ha⁻¹”).

جدول ۴- ضرایب مربوط به برازش معادله چهار پارامتره دز پاسخ استاندارد (-) $f1 = \min + (\max - \min) / (1 + (x/EC50)^{-Hillslope})$ به درصد کنترل پیروز در کاربرد پرتیلاکلر به تنهایی و اختلاط آن با بن سولفورون متیل

Figure 4. Parameters estimated by fitting the standard four-parameter dose-response model to bulrush control percentage in sole application of pretilachlor and mixed with different levels of bensulfuron

Treatments	Parameter estimates (SE)				
	Min (se)	Max (se)	ED 50 (se)	ED 90 (se)	R2
Sole application of pretilachlor (0-125%)	0 (0.0)	78 (1.3)	32.3 (2.8)	≥125%	0.99 **
Pretilachlor doses + 25% bensulfuron	44 (2.3)	100 (1.3)	45.1 (6)	84 (6.3)	0.93 **
Pretilachlor doses + 50% bensulfuron	66 (4.7.0)	100 (0.3)	56 (3.9)	71 (0.9)	0.98 **
Pretilachlor doses + 75% bensulfuron	78 (6.5)	100 (0.5)	54 (5.8)	58 (0.9)	0.96 **
Pretilachlor doses + 100% bensulfuron	81(6.7)	100 (0.2)	47 (3.8)	46 (0.5)	0.99 **
Pretilachlor doses + 125% bensulfuron	91 (8.2)	100 (0.2)	17 (3.8)	≥90	0.99 **

Max: مقادیر میانگین حد بالا، Min: مقادیر میانگین حد پایین، ED50 و ED90: مقدار علف کشی که ۵۰ و ۹۰ درصد جمعیت علف هرز را کنترل می کند، se: خطای برآورد.

Max: mean values for upper limit, Min: mean values for lower limit, ED50 & ED90: the rate needed to provide 50% and 90% control, se: error of the estimates.

جگن‌ها و پهن‌برگ‌ها، دارای واکنش مشابهی به علف‌کش‌ها هستند. به دلیل افزایش جمعیت جگن‌ها یا پهن‌برگ‌ها و متحمل بودن آن‌ها به غرقاب، مبارزه شیمیایی برای مدیریت آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است. پرتیلاکلر و بن‌سولفورون، به ترتیب علف‌کش‌های انتخابی برای کنترل سوروف و پیروز هستند، ولی دارای کارایی خوبی در کنترل گونه دیگر نیز دارند.

تاکنون علف‌کش‌ها براساس دز توصیه شده منحصر به خود آن علف‌کش مصرف می‌شدند و اثرات متقابل آن‌ها با یکدیگر، کمتر در نظر قرار گرفته است. با توجه به این‌که پرتیلاکلر و بن‌سولفورون، از علف‌کش‌های پرمصرف برنج در کشت نشایی هستند و هر یک دارای طیف اثر گسترده‌ای در کنترل علف‌های‌هرز می‌باشند و از سوی دیگر، به‌تنهایی قادر به کنترل تمام علف‌های‌هرز نیستند، نتایج این تحقیق نشان داد که دو علف‌کش با یکدیگر سازگارند و با اختلاط آن‌ها، امکان کنترل هر دو گروه علف‌های‌هرز با دز کمتری از این علف‌کش‌ها میسر است. به علاوه با توجه به عملکرد اختصاصی هر علف‌کش، مطابق تراکم و فراوانی علف‌های‌هرز می‌توان جزء اصلی و فرعی ترکیب را انتخاب نمود. به‌طورکلی، سوروف دارای حساسیت بیشتری به هر دو علف‌کش بن‌سولفورون و پرتیلاکلر بود؛ اگرچه ED50 و ED90 علف‌کش پرتیلاکلر برای کنترل سوروف، به‌طور معنی‌داری کمتر از بن‌سولفورون بود.

هر دو علف‌کش پرتیلاکلر و بن‌سولفورون، تا ۱۲۵ درصد دز توصیه شده، قادر به کنترل کامل پیروز نبودند، درحالی‌که اختلاط آن‌ها، امکان کنترل کامل این علف‌هرز را فراهم نمود. بدیهی است که کارایی این علف‌کش‌ها در شرایط مزرعه‌ای، کمتر از شرایط گلدانی خواهد بود و بررسی‌های تکمیلی برای رسیدن به نتایج کاربردی، پیشنهاد می‌شود.

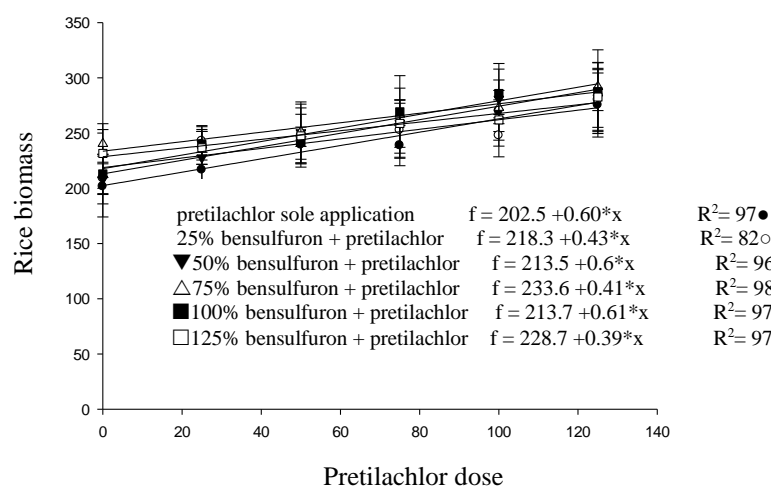
با اختلاط دزهای ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد دز توصیه‌شده بن‌سولفورون با پرتیلاکلر، دز پرتیلاکلر برای ۹۰ درصد کنترل پیروز، به ترتیب ۸۴، ۷۱، ۵۸ و ۴۶ درصد کاهش یافت.

زیست‌توده برنج

روند تغییرات زیست‌توده برنج در سطوح مختلف اختلاط علف‌کش‌های پرتیلاکلر و بن‌سولفورون در شکل ۵ نشان داده شده است. زیست‌توده برنج با افزایش دز پرتیلاکلر، روند افزایشی یافت و با افزودن دزهای مختلف بن‌سولفورون به پرتیلاکلر، واکنش برنج به دو علف‌کش، مشابه واکنش آن به کاربرد پرتیلاکلر به‌تنهایی بود. این نتایج بیانگر تحمل برنج نشایی به علف‌کش‌ها است. عملکرد بیولوژیک بیشتر برنج در تیمارهای علف‌کشی نسبت به تیمار شاهد بدون علف‌هرز، احتمالاً به دلیل رشد برخی جلبک‌ها و خزها در این تیمار است که ممکن است بخشی از منابع را جذب و به خود اختصاص داده باشند. به‌علاوه در برخی منابع نیز اثرات مثبت علف‌کش‌ها بر رشد برنج گزارش شده است. بن‌سولفورون در دزهای کمتر از دز توصیه شده، دارای اثرات تحریک‌کنندگی بر رشد علف‌های‌هرز بود (Vidotto et al., 2007) و با توجه به تحمل بیشتر برنج به این علف‌کش، ممکن است تحریک رشد برنج را موجب شده باشد.

نتیجه‌گیری کلی

سوروف مهم‌ترین و فراوان‌ترین علف‌هرز برنج در شالیزارهای شمال کشور است و مصرف حداقل یک علف‌کش برای کنترل آن در بیش از ۹۵ درصد مزارع رایج است. علاوه بر سوروف، گونه‌های‌هرز دیگری از خانواده پهن‌برگ‌ها و یا جگن‌ها نیز در شالیزار یافت می‌شود که این دو گروه از علف‌های‌هرز یعنی



شکل ۵- پاسخ زیست‌توده برنج به کاربرد پرتیلاکلر به تنهایی (صفر تا ۱۲۵ درصد دز توصیه‌شده) و اختلاط آن با دزهای ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد بن‌سولفورون متیل

Figure 5. Rice biomass response to sole application of pretilachlor (● 0, 25, 50, 75, 100 and 125% of recommended dose) and its mixture with bensulfuron (○ 25, ▼ 50, △ 75, ■ 100 and □ 125 % of recommended dosages).

منابع

- Baldwin, F. L., Boyd, J.W. and Smith, K.L. 2001. Recommended chemicals for weed and brush control. Little Rock, AR: University of Arkansas Cooperative Extension Service. 64-73.
- Barrett, M. 1993. Interactions of herbicides and other agrochemicals in plants: Interactions in mixtures with other herbicides and with safeners, fungicides, insecticides and nematicides. In: Altman J, editor. Pesticide interactions in crop production: Beneficial and deleterious effects. Boca Raton (Florida): CRC Press. 113-132
- Bhullar, M.S., Kumar, S., Kaur, S., Kaur, T., Singh, J., Yadav, R., Chauhan, B.S. and Gill, G. 2016. Management of complex weed flora in dry-seeded rice. Crop Prot. 83: 20-26.
- Blouin, D.C., Webster, E.P. and Bond, J.A. 2010. On a method of analysis for synergistic and antagonistic joint-action effects with fenoxaprop mixtures in rice (*Oryza sativa*). Weed Technol. 24: 583-589.
- Boger, P., Wakabayashi, K. and Hirai, K. 2002. Herbicide classes in development. Berlin-Heidelberg Springer.
- Burke, I.C., Price, A.J., Wilcut, J.W. Jordan, D.L., Culpepper, A.S. and Tredaway-Ducar, J. 2004. Annual grass control in peanut (*Arachis hypogaea*) with clethodim and imazapic. Weed Technol. 18: 88-92.
- Fischer, A.J., Cheatham, D.P., Vidotto, F. and De Prado, R. 2004. Enhanced effect of thiobencarb on bispyribac-sodium control of *Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss. in California rice (*Oryza sativa* L.). Weed Biol. Manag. 4: 206-212.
- Green, J.M. and Bailey, S.P. 1988. Herbicide interactions with herbicides and other chemicals. In C. G. McWhorter and M. R. Gephardt, eds. Methods of Applying Herbicides and Other Agricultural Chemicals. Champaign, IL: WSSA. 37-61.
- Hatzios, K.K. and D. Penner. 1985. Interactions of herbicides with other agrochemicals in higher plants. Rev. Weed Sci. 1: 1-63.
- Hill, J.E., Roberts, S.R. and Bayer., D.E. 1990. Crop response and weed control from new herbicide combinations in water-seeded rice (*Oryza Sativa*). Weed Technol. 4(4): 838-842.
- Hydrick, D.E. and Shaw, D.R. 1994. Effects of tank-mix combinations of nonselective foliar and selective

- soil-applied herbicides on three weeds. *Weed Technol.* 8: 129–133.
- Jordan, D.L. 1995. Interactions of fenoxaprop-ethyl with bensulfuron and bentazon in dry-seeded rice (*Oryza sativa*). *Weed Technol.* 9: 724–727.
- Jordan, D.L., York, A.C. Griffin, J.L. Clay, P.A. Vidrine, P.R. and Reynolds, D.B. 1997. Influence of application variables on efficacy of glyphosate. *Weed Technol.* 11: 354–362.
- Jordan, D. and Kendig, J. (1998). Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control with postemergence applications of propanil and clomazone in dry-seeded rice (*Oryza sativa*). *Weed Technol.* 12(3); 537–541.
- Kaushik, S., Inderjit, Streibig, J.C. and Cedergreen, N. 2006. Activities of mixtures of soil-applied herbicides with different molecular targets. *Pest Manag. Sci.* 62: 1092–1097.
- Kudsk, P. and Mathiassen, S.K. 2004. Joint action of amino acid biosynthesis inhibiting herbicides. *Weed. Res.* 44: 313–322.
- Lanclos, D.Y., Webster, E.P. and Zhang, W. 2002. Glufosinate tank-mix combinations in glufosinate-resistant rice (*Oryza sativa*). *Weed Technol.* 16: 659–663.
- Mueller, T.C., Witt, W.W. and Barrett, M. 1989. Antagonism of johnsongrass (*Sorghum halepense*) control with fenoxaprop, haloxyfop, and sethoxydim by 2,4-D. *Weed Technol.* 3: 86–89.
- Myer, P.F. and Coble, H.D. 1992. Antagonism of graminicide activity on annual grass species by imazethapyr. *Weed Technol.* 6: 333–338.
- Naylor, R. 1996. Herbicides in Asian rice: transitions in weed management. IRRI. 270 Pp.
- Ntanos, D.A., Koutroubas, S.D. and Mavrotas, C. 2000. Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control in water-seeded rice (*Oryza sativa*) with cyhalofop-butyl. *Weed Technol.* 14: 383–388.
- Rhodes, G.N., Jr. and Coble, H.D. 1984. Influence of application variables on antagonism between sethoxydim and bentazon. *Weed Sci.* 32: 436–441.
- Scott, R.C. 1997. SAN 582 synergism with postemergence herbicides. Ph.D. Thesis. Mississippi State University, Mississippi State, MS. 93 Pp.
- Seefeldt, S.S., Jensen, J.E. and Fuerst, E.P. 1995. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. *Weed Technol.* 9: 218–227.
- Stauber, L.G., Nastasi, P., Smith, R.J. Jr., Baltazar, A.M. and Talbert, R.E. 1991. Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) and bearded sprangletop (*Leptochloa fascicularis*) control in rice. *Weed Technol.* 5: 337–344.
- Streibig, J.C. and Jensen, J.E. 2000. Actions of herbicides in mixtures. Pages 153–180 in A. H. Cobb and R. C. Kirkwood, eds. *Herbicides and Their Mechanisms of Action*. Sheffield, England, UK: Sheffield Academic.
- Streibig, J. 1988. Herbicide bioassay. *Weed Res.* 28(6): 479–484.
- Van der Vliet, L. and Ritz, C. 2013. Statistics for analyzing ecotoxicity test data. In: Férard J, Blaise C, editors. *Encyclopedia of Aquatic Ecotoxicology*. New York: Springer. 1081–1096.
- Vidotto, F., Tesio, F., Tabacchi, M. and Ferrero, A. 2007. Herbicide sensitivity of *Echinochloa* species accessions in Italian rice fields. *Crop Prot.* 26: 285–293
- Young, B.G. and Hart. S.E. 1999. Woolly cupgrass management in sethoxydim-resistant corn. *J. Prod. Agric.* 12: 225–228.
- Zhang, W., Webster, E.P. Blouin, D.C. and Leon. C.T. 2005. Fenoxaprop interactions for barnyardgrass. *Weed Technol.* 19: 293–297.