

پی جویی مقاومت توده‌های پنیرک (*Malva parviflora* L.) به علف‌کش‌های بازدارنده آنزیم استولاکتات سینتتاز و اکسین مصنوعی در مزارع گندم استان خوزستان

علی کمایی^۱، الهام الهی فرد^{۲*}، عبدالرضا سیاهپوش^۱، محمد حسین طیب^۱

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران، ۲ و ۳- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران، ۴- کارشناس، اداره مدیریت حفظ نباتات، سازمان جهاد کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲۱)

چکیده

پنیرک، علف‌هرزی رایج در مزارع گندم استان خوزستان می‌باشد که اغلب توسط علف‌کش‌های تری‌بنورون-متیل، و تو، فور-دی + ام‌سی‌پی‌آ، از گروه‌های بازدارنده استولاکتات سینتتاز و اکسین مصنوعی، مهار می‌شود. اخیراً، گزارش‌هایی مبنی بر مهار ضعیف پنیرک با علف‌کش‌های ذکر شده، به‌ویژه در مزارع گندم مناطق جنوب خوزستان ارائه شده است. بنابراین، به دلیل فقدان تحقیق در خصوص بروز مقاومت پنیرک به این علف‌کش‌ها و به منظور برآورد سطح مقاومت در میان توده‌های پنیرک، بذور گونه پنیرک گل‌ریز از مزارع گندم مناطق جنوب خوزستان جمع‌آوری و بررسی‌های گیاه کامل در گلدان انجام شد. نتایج آزمایش دُز-پاسخ بر مبنای وزن تر نشان داد که توده‌های پنیرک گل‌ریز، با درجات مختلف مقاومت بین ۲/۰۵ تا ۱۰/۱۱ و ۲/۵۱ تا ۳/۰۹، به ترتیب نسبت به تری‌بنورون-متیل و تو، فور-دی + ام‌سی‌پی‌آ مقاومت نشان دادند. همچنین، نتایج آزمایش دُز-پاسخ بر مبنای تعداد بوته‌های زنده مانده، حاکی از مقاوم بودن توده‌ها با درجات مختلف مقاومت بین ۶/۶۲ تا ۱۵/۹۸ و ۲/۶۸ تا ۲/۹۱ به ترتیب نسبت به تری‌بنورون-متیل و تو، فور-دی + ام‌سی‌پی‌آ بود.

واژه‌های کلیدی: اثر هورمسیس، درجه مقاومت، دُز-پاسخ، زیست‌سنجی در گلدان، غربالگری، وزن تر.

Tracing the resistance to acetolactate synthase and synthetic auxins in little mallow (*Malva parviflora* L.) in wheat fields of Khuzestan province

Ali Kamaei¹, Elham Elahifard^{1*}, Abdolreza Siyahpoosh¹, Mohammad Hossein Tabib²

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran, 2. Plant Protection Management Administration, Jihad Agricultural Organization of Khuzestan, Ahvaz, Iran.

(Received: May 30, 2018 - Accepted: November 12, 2019)

ABSTRACT

Little mallow is a common weed in wheat fields of Khuzestan province, which is often controlled by tribenuron-methyl and 2,4-D+MCPA, from acetolactate synthase inhibitors and synthetic auxin herbicides. Recently, there have been some reports about poor control of this plant with these herbicides, especially in wheat fields of Southern Khuzestan. Therefore, due to the lack of research on the occurrence of mallow resistance to the mentioned herbicides and to estimate the resistance level among the mallow populations, little mallow seeds were collected from wheat fields in southern Khuzestan and whole plant assays were carried out in the pot. Dose-response results revealed that the resistance factor (RF) based on fresh weight for resistant (R) populations to tribenuron-methyl, and 2,4-D+MCPA were 2.05-10.11 and 2.51-3.09 fold higher than susceptible (S) plant, respectively. Similarly, the resistance factor (RF) based on survival plants for resistant (R) populations to tribenuron-methyl, and 2, 4-D+MCPA were 2.14-34.93 and 1.99-2.91 fold higher than susceptible (S) plant, respectively. The E population, however, was not significantly different from S population in response to tribenuron-methyl.

Keywords: Dose-response, fresh weight, hormesis effect, resistance factor, screening, whole plant assay.

* Corresponding author E-mail: e.elahifard@ramin.ac.ir

مقدمه

پنیرک یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز پهن برگ در مزارع گندم استان خوزستان می‌باشد. از زمان معرفی علف‌کش تو،فور-دی در ایران (سال ۱۳۴۷) تاکنون، اصلی‌ترین روش مهار و یا مدیریت پنیرک، استفاده از تو،فور-دی بوده است؛ هرچند در سال‌های اخیر و با معرفی علف‌کش‌های دو منظوره‌ای از خانواده بازدارنده استولاکتات سینتاز (ALS) مانند سولفوسولفورون، مزوسولفورون-متیل + آیودوسولفورون-متیل سدیم + مفن‌پیردای‌اتیل (آتلانتیس) و به تازگی مزوسولفورون-متیل + آیودوسولفورون-متیل سدیم + دیفلوفنیکان + مفن‌پیردای‌اتیل (آتللو)، کشاورزان از این علف‌کش‌ها و عمدتاً به منظور مهار یولاف‌وحشی مقاوم به علف‌کش کلودینافوپ-پروپارگیل، در مزارع گندم استفاده می‌کنند. البته نکته قابل ذکر آن است که در اغلب مناطق استان، استفاده از دو علف‌کش تو،فور-دی + ام‌سی‌پی‌آ به علاوه کلودینافوپ-پروپارگیل، به منظور مهار علف‌های هرز پهن‌برگ و کشیده‌برگ در مزارع گندم رواج دارد (Zand et al., 2017).

به طوری که می‌دانیم، کاربرد مداوم علف‌کش‌های مشابه یا علف‌کش‌های مختلف با ساز و کار عمل مشابه، منجر به ایجاد فشار انتخاب بالا می‌شود و گونه‌های مقاوم، فرصت رشد و نمو پیدا خواهند کرد. به طور کلی، فشار انتخاب، یکی از اساسی‌ترین عوامل موثر بر تکامل مقاومت به علف‌کش‌ها در علف‌های هرز می‌باشد که با کاربرد علف‌کش‌ها اعمال می‌شود (Jasieniuk et al., 1996; Christoffers, 1999).

تاکنون بیشتر از ۱۰ سال از زمان شروع اولین تحقیقات پی جویی مقاومت به علف‌کش‌ها در ایران می‌گذرد. علف‌کش‌های خانواده آریلوکسی فنوکسی پروپیونات و بازدارنده‌های فتوسنتز در فتوسیستم دو و علف‌های هرز یولاف‌وحشی زمستانه (*Avena ludoviciana* Durieu.)، خونی‌واش (*Phalaris minor* Retz.)، گوراگو (*Chenopodium murale* L.) و گونه‌های تاج خروس (*Amaranthus* spp.) جز اولین علف‌کش‌ها و توده‌هایی بودند که طی سال ۱۳۸۴-۱۳۸۵ مقاومت به آن‌ها گزارش شد (Bena Kashani et al., 2006; Elahifard et al., 2006; Rastgoo et al., 2006; Zand et al., 2010a; Gherekhloo et al., 2015).

نکته‌ای که در مورد این توده‌ها جلب توجه می‌نماید این است که همه توده‌های مقاوم مذکور متعلق به مزارع گندم و جو می‌باشند؛ چرا که سطح زیر کشت این دو محصول در کشور، از سایر محصولات بیشتر می‌باشد؛ به طوری که از حدود ۱۲/۹۶ میلیون هکتار زمین زراعی در سال ۸۴-۸۳، حدود ۹/۳۷ میلیون هکتار (۷۲/۲۸ درصد) به غلات اختصاص داشته است و از این مقدار، گندم ۷۳/۴ و جو ۱۶/۷ درصد سهم داشته‌اند

مطالعات این پژوهش شامل آزمایش‌های غربالگری و آزمایش‌های دُز-پاسخ با علف‌کش‌های مختلف مورد آزمایش، در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در شهرستان رامهرمز در استان خوزستان و روی هفت توده بذر پنیروک گل‌ریز جمع‌آوری شده از مزارع گندم استان خوزستان انجام شد. مطالعات مزرعه‌ای شامل جمع‌آوری توده‌های مشکوک به مقاومت از سطح مزارع استان خوزستان با حداقل پنج سال سابقه مصرف بازدارنده‌های استولاکتات سینتاز، اکسین‌های مصنوعی با ۲۵ سال سابقه مصرف و همچنین عدم رضایت کشاورزان نسبت به کارایی علف‌کش‌های مذکور در سال‌های گذشته، جمع‌آوری شدند. لازم به ذکر است که توده حساس نیز از بخش‌هایی که سابقه سمپاشی با علف‌کش‌های مذکور را نداشت، جمع‌آوری شدند.

علف‌کش‌های مورد استفاده در آزمایش

برخی ویژگی‌های کاربردی علف‌کش‌های به کار گرفته شده در این آزمایش، مقدار توصیه شده و سال ثبت آن‌ها در ایران در جدول ۱ ارایه شده است.

(Gherekhloo & Zand, 2010). همچنین مقایسه مصرف و سطح سمپاشی توسط باریک‌برگ‌کش‌ها، پهن‌برگ‌کش‌ها و علف‌کش‌های دو منظوره طی سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۸۴ و ۸۶-۱۳۸۵ نیز حاکی از آن است که طی این دو سال، میزان مصرف هر سه گروه از این علف‌کش‌ها نسبت به سال قبل افزایش داشته است (Gherekhloo & Zand, 2010).

بر اساس گزارش کشاورزان، مهندسين ناظر و کارشناسان در منطقه در خصوص مهار نشدن پنیروک در مزارع گندم با علف‌کش‌های رایج، توده‌های مشکوک از مزارع، به‌منظور پی‌جویی احتمالی بروز مقاومت در پنیروک به علف‌کش‌های تری‌بنورون-متیل، و تو، فور-دی جمع‌آوری شد. بنابراین هدف اصلی از انجام پژوهش حاضر، بررسی مقاومت پنیروک به علف‌کش‌های بازدارنده استولاکتات سینتاز در مزارع گندم خوزستان و هدف ویژه آن، تعیین درجه مقاومت توده‌های مقاوم بود.

مواد و روش‌ها

زمان و محل اجرای آزمایش

جدول ۱- مشخصات عمومی علف‌کش‌های مورد استفاده در آزمایش (Forouzesheh *et al.*, 2015; Zand *et al.*, 2017)

Table 1. General characteristics of applied herbicides in the experiments (Forouzesheh *et al.*, 2015; Zand *et al.*, 2017)

Group ¹	Site of action	Chemical family	Common name	Trade name and formulation	Registration year	Recommended dose per hectare
2 (B)	Asetolactate synthase	Sulfonylureas	Tribenuron-methyl	Granestar (DF 75%)	1990	15-20 g
4 (O)	Synthetic auxins	Phenoxy	2, 4-D+MCPA	U46 combi fluid (SL 67.5%)	1968	1-1.5 L

¹حروف داخل پرانتز، طبقه‌بندی بر اساس کمیته کاری مقاومت به علف‌کش (HRAC) می‌باشد.

¹Letters in parenthesis are classification based on HRAC group.

جهت غربال توده‌های مشکوک به مقاومت به علف‌کش‌های گفته شده، آزمایش‌های گلدانی به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. برای کشت از گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، حاوی یک قسمت رس، یک قسمت شن و یک قسمت خاک‌برگ، استفاده شد. سپس ۱۰ عدد بذر جوانه زده، به‌صورت سطحی کشت شدند و درنهایت تعداد شش بوته در هر گلدان نگه داشته شدند. سمپاشی گیاهچه‌ها در مرحله سه تا چهار برگی بوته‌های پنیروک گل‌ریز، با غلظت توصیه شده

آماده‌سازی و جوانه‌دار کردن بذور

جهت اجرای آزمایش‌ها لازم بود تا با شکستن خواب بذر، جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها یکنواخت باشد. برای شکستن خواب بذور پنیروک گل‌ریز، بذرها به مدت ۲۰ دقیقه در اسید سولفوریک غلیظ ۹۸ درصد غوطه‌ور شدند (Chauhan *et al.*, 2006; Ansari *et al.*, 2016) و پس از شستشو با آب مقطر، تا شروع آزمایش در دمای اتاق نگهداری شدند.

آزمایش‌های زیست‌سنجی در گلدان

آزمایش غربالگری

پایین مساوی صفر، در شرایطی که میزان پاسخ در بالاترین غلظت اعمال شده به صفر نزدیک و یا صفر شود استفاده می‌شود و پارامترهای آن شبیه معادله قبلی است (Ritz & Streibig, 2005).

$$f(x, (b, d, e)) = \frac{d}{1 + \exp\{b(\log(x) - \log(e))\}} \quad (2)$$

تجزیه، تحلیل و ترسیم داده‌های زیست‌سنجی، توسط نرم‌افزار R و بسته نرم‌افزاری drc (Ritz & Streibig, 2005)، انجام شد. به علاوه، برای اطمینان از برازش صحیح تابع مورد استفاده، از آزمون فقدان برازش^۱ موجود در بسته نرم‌افزاری نیز استفاده شد. درجه و یا فاکتور مقاومت (RF) (معادله ۳)، یعنی نسبت ED₅₀ توده مقاوم به ED₅₀ توده حساس، به عنوان شاخصی برای بررسی و مقایسه میزان مقاومت توده‌ها مورد استفاده قرار گرفت (Ritz & Streibig, 2005).

$$RF = \frac{\text{توده مورد نظر } ED_{50}}{\text{توده حساس } ED_{50}} \quad (3)$$

همچنین از مدل چهار و پنج پارامتری Brain & Cousens (1989) (معادله ۴)، که به منظور برازش داده‌های حاصل از تیمار علف‌کش‌های هورمونی مانند تو، فور-دی+ام‌سی-پی آ تعریف شده است، بر روی توده‌های پنبیرک استفاده شد.

$$f(x, b, c, d, e, f) = c + \frac{d - c + fx}{1 + \exp(b(\log(x) - \log(e)))} \quad (4)$$

نتایج و بحث

آزمایش غربالگری

پس از اعمال دُز توصیه شده بر روی تمامی توده‌ها، از آن‌جا که وزن تر می‌تواند به عنوان یک شاخص مناسب برای غربال اولیه توده‌های مشکوک به مقاومت مورد استفاده قرار گیرد (Moss et al., 2007)، توده‌ها بر این اساس مورد قضاوت قرار گرفتند (جدول ۲)؛ به طوری که توده‌هایی که درصد کاهش وزن تر آن‌ها نسبت به شاهد بین ۰-۳۶، ۳۶-۷۲، ۷۲-۸۱ و ۸۱-۱۰۰ درصد باشد، به ترتیب در گروه‌های RRR (قطعا مقاوم)، RR (احتمالا مقاوم)، R? (مشکوک به مقاومت) و S (حساس) قرار گرفتند (Moss et al., 2007).

علف‌کش‌های گفته شده در جدول ۱، به وسیله سمپاش پشتی مجهز به نازل بادبزی (تی جت ۱۱۰۰۳) با فشار دو بار اعمال شد. در هفته چهارم و ششم پس از سمپاشی، تعداد گیاهان زنده مانده در هر گلدان یادداشت شدند و به صورت درصد گیاهان باقیمانده نسبت به پیش از سمپاشی محاسبه شدند. پس از ثبت تعداد گیاهان زنده مانده، بوته‌های هر گلدان از سطح خاک قطع و جمع‌آوری شدند و وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد. میانگین وزن تر اندام هوایی برای هر تک بوته محاسبه شد و سپس درصد وزن تر بوته‌های هر توده تیمار شده با علف‌کش نسبت به شاهد خودش (تیمار نشده با علف‌کش) محاسبه شد.

آزمون دُز-پاسخ

به منظور بررسی درجه مقاومت توده‌های غربال شده، پاسخ توده‌ها در یک آزمایش گلدانی بررسی شد. تمامی شرایط رشد تا رسیدن به مرحله سه تا چهار برگی و سپس سمپاشی و برداشت بوته‌ها، مشابه آزمایش غربالگری بود؛ به طوری که واکنش توده‌های حساس و توده‌هایی که در آزمایش غربالگری مشکوک به مقاومت شدند، در مقابل غلظت‌های مختلف علف‌کش‌های تری‌بنورون-متیل (صفر، ۰/۱۵، ۱/۵، ۱۵، ۱۵۰ و ۱۵۰۰ گرم ماده موثر در هکتار) و تو، فور-دی+ام‌سی-پی آ (صفر، ۴۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۵۰۰۰ میلی لیتر ماده موثر در هکتار) بررسی شد و سپس همه تیمارها با شاهد بدون علف‌کش مقایسه شد.

تجزیه آماری

برای تجزیه آماری منحنی واکنش به غلظت علف‌کش، از آنالیز رگرسیون و رابطه Log-logistic چهار پارامتری ارائه شده توسط Ritz & Streibig (2005) استفاده شد (معادله ۱).

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

که در آن: b، شیب منحنی در نقطه d:e، حد بالای منحنی دُز-پاسخ؛ c، حد پایین منحنی دُز-پاسخ و e، غلظت بیان‌کننده ED₅₀ می‌باشد

مدل سه پارامتری Log-logistic (معادله ۲) با حد

¹ Lack of fit F test

جدول ۲- نتایج آزمایش غربالگری توده‌های *Malva parviflora* L. مشکوک به مقاومت به علف‌کش‌های تری‌بنورون-متیل، و تو، فور-دی+ام‌سی‌پی‌آ

Table 2. Result of screening of suspected resistant *Malva parviflora* L. populations subjected to tribenuron-methyl and 2,4-D+MCPA

Herbicide	Population	Fresh weight reduction (% as control)	"R" ratings	Survival reduction (% as control)
Tribenuron-methyl	A	84.93	S	58.33
	B	66.97	RR	0
	C	45.63	RR	4.17
	D	16.68	RRR	0
	E	70.75	RR	30
	F	32.45	RRR	0
	G	37.99	RRR	26.67
	S	84.24	S	60.42
2,4-D+MCPA	A	95.66	S	91.67
	B	18.39	RRR	0
	C	34.59	RRR	4.17
	D	8.51	RRR	0
	E	100	S	100
	F	81.80	S	50
	G	91.83	S	83.33
	S	100	S	100

RRR: قطعاً مقاوم؛ RR: احتمالاً مقاوم و S: حساس.

RRR= Confirmed resistant, highly likely to reduce herbicide performance; RR= Confirmed resistant, probably reducing herbicide performance, and S= Susceptible.

۳؛ اگرچه میزان درجه مقاومت توده‌ها با یکدیگر متفاوت بود (جدول ۳).

نتایج بررسی واکنش توده‌های مشکوک به مقاومت نسبت به کاربرد دُزهای مختلف تری‌بنورون-متیل نشان داد که همه توده‌ها به این علف‌کش مقاوم بودند (جدول

جدول ۳- پارامترهای برآورد شده رگرسیون غیر خطی برای وزن تر در زیست‌سنجی‌های گیاه کامل توده‌های حساس و مقاوم *Malva parviflora* L. در پاسخ به تری‌بنورون-متیل

Table 3. Estimated non-linear regression parameters for fresh weight in whole-plant assays of susceptible and resistant populations of *Malva parviflora* L. in response to tribenuron-methyl sodium

Population	Lower limit	Upper limit	Slope	ED ₅₀	RF
B	0	99.93 (0.71)	0.45 (0.01)	1.46 (0.08)	2.25 (0.64)*
C	0	99.82 (1.11)	0.61 (0.02)	2.69 (0.20)	4.14 (1.04)**
D	0	100.76 (4.03)	0.55 (0.06)	6.57 (1.96)	10.11 (2.67)**
E	8.41 (3.76)	98.79 (4.95)	0.84 (0.19)	1.33 (0.41)	2.05 (0.65) ^{ns}
F	0	99.92 (2.79)	0.50 (0.04)	3.64 (0.76)	5.60 (1.52)**
G	0	99.73 (1.07)	0.61 (0.02)	2.51 (0.18)	3.86 (0.98)**
S	0	99.91 (2.29)	0.79 (0.06)	0.65 (0.08)	-

مقادیر نشان داده شده در پرانتزها، خطای استاندارد می‌باشند. ED₅₀=میزان علف‌کش مورد نیاز جهت کاهش ۵۰٪ وزن تر گیاه. RF=درجه مقاومت (ED₅₀R/ED₅₀S).^a سطح معنی‌داری احتمال مدل رگرسیون غیر خطی. **P=۰/۰۱، *P=۰/۰۵ و ns=عدم اختلاف معنی‌دار

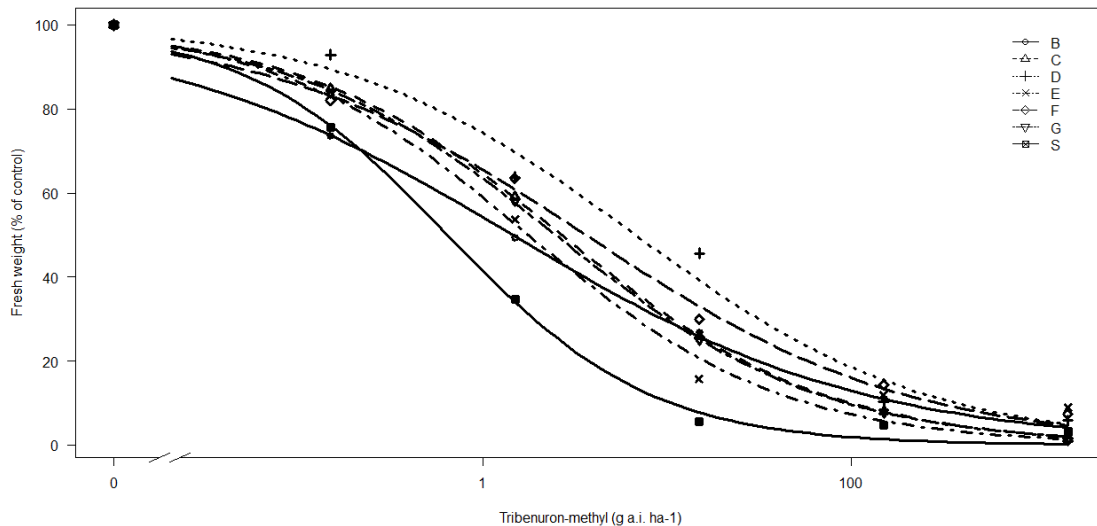
Values in parentheses are standard errors. ED₅₀= effective rate required to reduce the response of plants to 50%. RF= Resistance factor (ED₅₀ R/ED₅₀ S).^aLevel of significance probability non-linear regression model. **P= 0.01, *P=0.05 and ns=Non significant difference.

توده‌ها (جدول ۳) با تعیین حدود اطمینان برآورد پارامترها مشخص شد که توده D با درجه مقاومت ۶/۵۷ (گرم ماده موثر در هکتار) با تمامی توده‌ها اختلاف معنی‌دار داشت (P≤۰/۰۱). بر این اساس، در مورد سایر توده‌ها می‌توان اظهار داشت که اختلاف میان توده‌های B و E، C و G، C و F معنی‌دار نبود؛ این در حالی است که اختلاف میان این توده‌ها با توده حساس (S)

با افزایش دُز مصرفی تری‌بنورون-متیل، وزن تر توده‌های پنی‌ریک گل‌ریز حساس و مشکوک به مقاومت، به صورت سیگموئیدی کاهش یافت (شکل ۱). واکنش توده‌های مقاوم به دُزهای مختلف تری‌بنورون-متیل، با توجه به توده حساس نشان داد که توده‌های پنی‌ریک گل‌ریز، دارای درجات مختلفی از مقاومت نسبت به تری‌بنورون بودند (جدول ۳). مقایسه میان ED₅₀

پارامتر شیب منحنی بیشتر باشد، زیست‌توده پنیرک گل‌ریز با شیب تندتری در پاسخ به افزایش دُز کاربرد علف‌کش کاهش می‌یابد (جدول ۳).

معنی‌دار بود. در خصوص درجه مقاومت‌های محاسبه شده، در میان توده‌ها، توده E اختلاف معنی‌داری با توده حساس نداشت ($P \leq 0.01$) (جدول ۳). در مورد پارامتر شیب منحنی‌های دُز-پاسخ، واضح است که هرچه مقدار



شکل ۱- پاسخ وزن تر توده‌های حساس و مقاوم *Malva parviflora* L. نسبت به کاربرد غلظت‌های مختلف تری‌بنورون-متیل
Figure 1. Fresh weight response of susceptible and resistant *Malva parviflora* L. populations to different tribenuron-methyl concentrations

همچنین، Afshari *et al.* (2017) پس از پی‌جویی توده‌های خردل وحشی مقاوم به تری‌بنورون-متیل گزارش کردند که ۵۷ درصد توده‌ها، دارای درجه مقاومت خیلی زیاد، ۳۱/۵ درصد از آن‌ها دارای مقاومت زیاد و ۱۰/۵ درصد دارای مقاومت کم بودند. همچنین توالی‌یابی DNA خردل وحشی نشان داد که جهش در موقعیت آلانین ۱۲۲ با جایگزینی پرولین، علت بروز مقاومت مبتنی بر تغییر محل هدف بوده است (Afshari *et al.*, 2017).

تو، فور-دی+ام‌سی‌پی‌آ

با توجه به منحنی‌های پاسخ برازش داده شده در شکل ۳، روند کاهش وزن تر در توده‌های حساس و مقاوم، ابتدا به‌صورت افزایشی و سپس کاهشی بود که نمونه‌ای از واکنش هورمسیس گیاهان به کاربرد برخی علف‌کش‌ها بود. بر اساس جدول ۵، هر سه توده B، D و C، درجات مختلفی از مقاومت را به توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ نشان دادند؛ به‌طوری‌که درجه مقاومت در این توده‌ها نسبت توده حساس، به‌ترتیب

بررسی پاسخ توده‌ها بر اساس تعداد بوته‌های زنده مانده نسبت به شاهد، درجات مختلفی از مقاومت در بین توده‌های پنیرک گل‌ریز را نشان داد که در این میان، توده D بیشترین مقاومت را نسبت به تری‌بنورون-متیل نشان داد و سایر توده‌ها در رده‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۴، شکل ۲). بررسی پارامترهای ED₅₀ محاسبه شده بر اساس مقادیر حدود اطمینان برآوردها نشان داد که به جز توده‌های F و G که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند، اختلاف میان سایر توده‌ها یا یکدیگر معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۴). بررسی درجه مقاومت‌های محاسبه شده (جدول ۳) نشان داد که تمامی توده‌ها اختلاف معنی‌داری با توده حساس داشتند ($P \leq 0.01$).

موارد مشابه‌ای از بروز مقاومت در علف‌های هرز نسبت به تری‌بنورون-متیل در ایران در توده‌های شلمی به دلیل جهش در محل هدف (Pro-197-Ser) و همچنین مقاومت مبتنی بر غیر محل هدف (متابولیسم) گزارش شده است (Hatami Moghadam *et al.*, 2016).

۳/۰۹، ۲/۷۳ و ۲/۵۱ بود؛ در حالی که میزان ۱۹۷/۹۵ گرم ماده موثر در هکتار، باعث کاهش وزن تر توده حساس به میزان ۵۰ درصد نسبت شاهد شد؛ این مقدار کاهش برای توده‌های مقاوم B، D و C، به ترتیب

۶۱۱/۷۳، ۵۴۱/۳۵ و ۴۹۶/۳۷ گرم ماده موثر در هکتار برآورد شد.

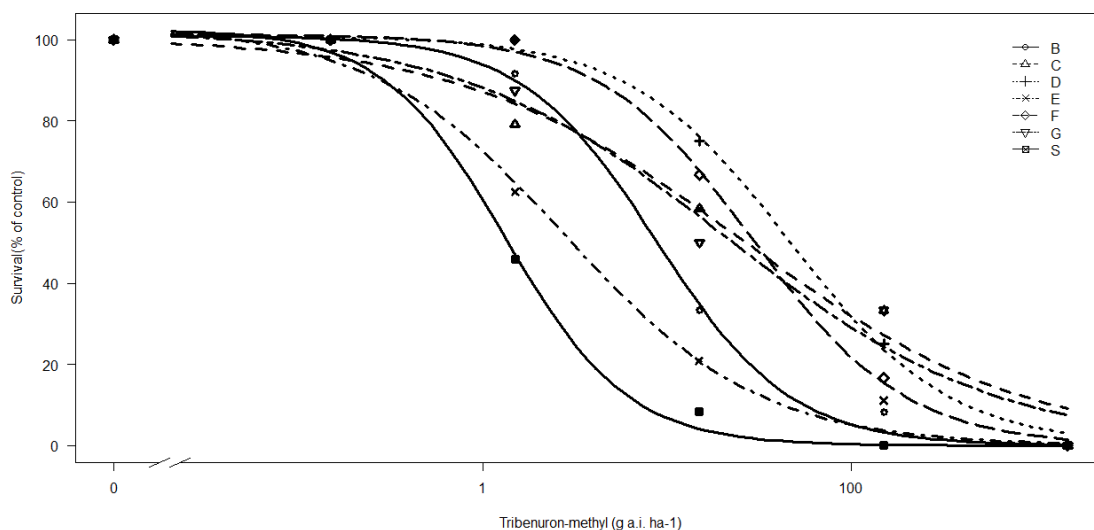
جدول ۴- پارامترهای برآورد شده رگرسیون غیر خطی بوته‌های زنده مانده در زیست‌سنجی‌های گیاه کامل توده‌های حساس و مقاوم *Malva parviflora* L. در پاسخ به تری‌بنورون-متیل

Table 4. Estimated non-linear regression parameters of survived plants in whole-plant assays of susceptible and resistant *Malva parviflora* L. populations in response to tribenuron-methyl

Population	Upper limit	Slope	ED ₅₀	RF
B	100.97 (2.83)	1.19 (0.21)	8.74 (1.31)	6.62 (1.65)**
C	100.75 (6.19)	0.57 (0.11)	26.09 (12.75)	19.76 (7.18)**
D	100.92 (1.74)	1.00 (0.08)	46.11 (5.43)	34.93 (9.24)**
E	103.32 (3.71)	0.82 (0.11)	2.83 (0.59)	2.14 (0.61)**
F	101.31 (2.91)	1.05 (0.16)	29.31 (5.39)	22.20 (5.65)**
G	102.57 (5.39)	0.59 (0.10)	21.09 (8.57)	15.98 (5.37)**
S	102.51 (2.36)	1.30 (0.21)	1.32 (0.12)	-

مقادیر نشان داده شده در پرانتزها، خطای استاندارد می‌باشند. ED₅₀= میزان علف کش مورد نیاز جهت کاهش ۵۰٪ وزن تر گیاه. RF=درجه مقاومت (ED₅₀R/ED₅₀S). سطح معنی‌داری احتمال مدل رگرسیون غیر خطی. **P=۰/۰۱.

Values in parentheses are standard errors. ED₅₀= effective rate required to reduce the response of plants to 50%. RF= Resistance factor (ED₅₀ R/ED₅₀ S). *Level of significance probability non-linear regression model. **P= 0.01.

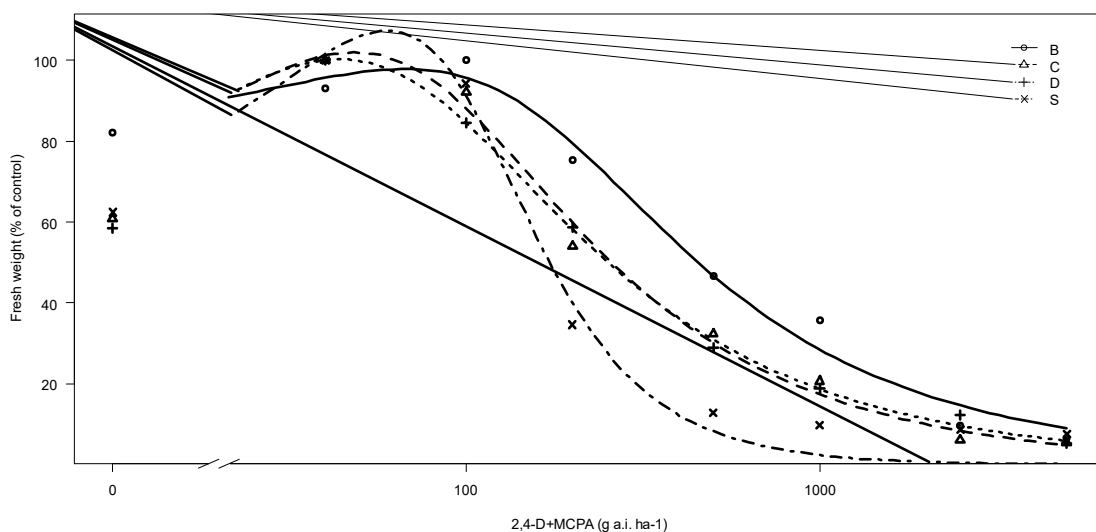


شکل ۲- پاسخ بوته‌های زنده مانده توده‌های حساس و مقاوم *Malva parviflora* L. نسبت به کاربرد غلظت‌های مختلف تری‌بنورون-متیل

Figure 2. Survived plant responses of susceptible and resistant *Malva parviflora* L. populations to different tribenuron-methyl concentrations

درصد تعداد بوته‌های زنده مانده توده‌های پنی‌ریک گل- ریز به توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ نشان داد هر سه توده B، D و C، به ترتیب با درجه مقاومت ۲/۶۸، ۲/۹۱ و ۱/۹۹ نسبت به این علف کش و در مقایسه با توده حساس از خود مقاومت نشان دادند (شکل ۴ و جدول ۵).

هرچند بر اساس مقادیر حدود اطمینان محاسبه شده برای پارامتر ED₅₀ توده‌ها (جدول ۵)، اختلاف میان توده‌های B، D و C معنی‌دار نبود. این در حالی است که اختلاف میان هر سه توده مذکور با توده حساس، معنی‌دار بود (جدول ۶). برازش داده‌های حاصل از



شکل ۳- پاسخ وزن تر توده‌های حساس و مقاوم *Malva parviflora* L. به کاربرد غلظت‌های مختلف تو، فور-دی+ام‌سی‌پی‌آ
 Figure 3. Fresh weight response of susceptible and resistant *Malva parviflora* L. populations to different 2,4-D+MCPA concentrations

جدول ۵- پارامترهای برآورد شده رگرسیون غیر خطی وزن تر در زیست‌سنجی‌های گیاه کامل توده‌های حساس و مقاوم *Malva parviflora* L. در پاسخ به تو، فور-دی+ام‌سی‌پی‌آ

Table 5. Estimated non-linear regression parameters of fresh weight in whole-plant assays of susceptible and resistant populations of *Malva parviflora* L. in response to 2,4-D+MCPA

Population	Lower limit	Upper limit	Hormesis effect	Slope	e	ED ₅₀	RF
B	0	81.23 (4.09)	0.61 (0.22)	1.68 (0.07)	153.91 (35.67)	611.73 (66.35)	3.09 (0.30)**
C	0	60.55 (3.22)	1.96 (0.34)	1.78 (0.06)	69.42 (9.08)	496.37 (52.98)	2.51 (0.28)**
D	0	58.39 (1.48)	2.29 (0.21)	1.71 (0.03)	59.95 (4.28)	541.35 (29.28)	2.73 (0.33)**
S	8.85 (0.59)	62.38 (1.08)	1.02 (0.05)	3.42 (0.09)	105.65 (1.96)	197.95 (4.17)	-

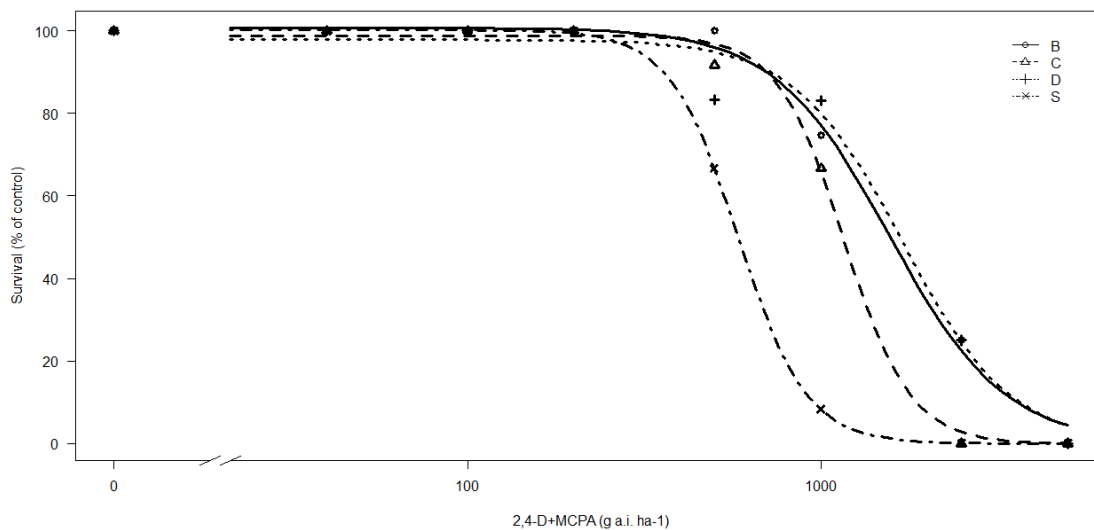
مقادیر نشان داده شده در پرانتزها، خطای استاندارد می‌باشند. ED₅₀ = میزان علف کش مورد نیاز جهت کاهش ۵۰٪ وزن تر گیاه. RF = درجه مقاومت (ED₅₀ R/ED₅₀ S). سطح معنی داری احتمال مدل رگرسیون غیر خطی. **P=۰/۰۱.
 Values in parentheses are standard errors. ED₅₀ = effective rate required to reduce the response of plants to 50%. RF = Resistance factor (ED₅₀ R/ED₅₀ S). ^aLevel of significance probability non-linear regression model. **P = 0.01.

جدول ۶- پارامترهای برآورد شده رگرسیون غیر خطی بوته‌های زنده مانده در زیست‌سنجی‌های گیاه کامل توده‌های حساس و مقاوم *Malva parviflora* L. در پاسخ به تو، فور-دی+ام‌سی‌پی‌آ

Table 6. Estimated non-linear regression parameters of survived plants in whole-plant assays of susceptible and resistant populations of *Malva parviflora* L. in response to 2,4-D+MCPA

Population	Upper limit	Slope	ED ₅₀	RF
B	100.69 (2.23)	2.66 (0.33)	1561.66 (115.64)	2.68 (0.22)**
C	98.84 (1.85)	4.62 (1.37)	1161.53 (58.16)	1.99 (0.14)**
D	97.84 (2.29)	2.84 (0.47)	1700.25 (132.46)	2.91 (0.24)**
S	100.21 (1.85)	4.47 (0.73)	583.25 (22.46)	-

مقادیر نشان داده شده در پرانتزها، خطای استاندارد می‌باشند. ED₅₀ = میزان علف کش مورد نیاز جهت کاهش ۵۰٪ وزن تر گیاه. RF = درجه مقاومت (ED₅₀ R/ED₅₀ S). سطح معنی داری احتمال مدل رگرسیون غیر خطی. **P=۰/۰۱.
 Values in parentheses are standard errors. ED₅₀ = effective rate required to reduce the response of plants to 50%. RF = Resistance factor (ED₅₀ R/ED₅₀ S). ^aLevel of significance probability non-linear regression model. **P = 0.01.



شکل ۴- پاسخ بوته‌های زنده مانده توده‌های حساس و مقاوم *Malva parviflora* L. نسبت به کاربرد غلظت‌های مختلف تو، فور-دی+ام‌سی‌پی‌آ

Figure 4. Response of survived plants of susceptible and resistant populations of *Malva parviflora* L. to different concentrations of the 2,4-D+MCPA

هرز پهن‌برگ مزارع گندم به‌ویژه پنیرک، کارایی لازم را ندارد. در مورد تو، فور-دی+ام‌سی‌پی‌آ وضعیت بسیار بهتر از تری‌بنورون متیل می‌باشد؛ هرچند، نتایج پژوهش پیشرو نشان داد که از هفت توده پنیرک گل‌ریز غربال شده با تو، فور-دی+ام‌سی‌پی‌آ، سه توده نسبت به آن مقاومت نشان دادند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که سایر پهن‌برگ‌کش‌هایی که کارایی بسیار خوبی در مهار پهن‌برگ‌های مزارع گندم را دارند، به کشاورزان معرفی شوند و به منظور پیشگیری از گسترش مقاومت به تری‌بنورون-متیل و تو، فور-دی+ام‌سی‌پی‌آ به عنوان علف‌کش‌های مورد استفاده در تناوب علف‌کشی در مزارع گندم، توصیه شوند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بررسی واکنش توده‌های پنیرک گل‌ریز به کاربرد دُزهای مختلف تری‌بنورون-متیل نشان داد که همه توده‌های انتخاب شده بر اساس آزمون غربال‌گری، با درجات متفاوتی به این علف‌کش مقاوم بودند. همچنین، برآزش داده‌های حاصل از درصد وزن‌تر و درصد تعداد بوته‌های زنده مانده توده‌های پنیرک گل‌ریز به توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ نشان داد که هر سه توده نسبت به این علف‌کش مقاوم می‌باشند. در خصوص علف‌کش تری‌بنورون-متیل و با توجه به نتایج پژوهش حاضر و همچنین نتایج گزارش شده توسط سایر محققان می‌توان اظهار داشت که این علف‌کش در مهار علف‌های

REFERENCES

1. Afshari, M., Ghanbari A., Gherekhloo J., Rastgoo, M. & Ahmadvand, G. (2017). Investigating resistance of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) populations to tribenuron-methyl herbicide. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(1), 127-142. (In Persian).
2. Aghajani, Z., Zand, E., Baghestani, M. A. & Mirhadi, M. J. 2009. Resistance of wild oat (*Avena ludoviciana* Durieu) populations to iodosulfuron+mesosulfuron herbicide. *Iranian Journal of Weed Science*, 6(1), 79-93. (In Persian).
3. Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B. & Ghaderi-Far, F. (2016). Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for *Malva sylvestris* using nonlinear regression. *Seed Science and Technology*, 44(3), 1-14.

4. Belz, R. G. & Duke, S. O. (2014). Herbicides and plant hormesis. *Pest Management Science*, 70(50):698-707.
5. BenaKashani, F., Zand, E., Alizadeh, H., & Fereidoonpoor, M. 2006. Investigation on herbicide resistance of wild oat (*Avena ludoviciana*) biotypes in Fars. In: Proceedings of 1th Iranain Weed Science Congress, 25-26 Jan., Plant Pest and Disease Research, Tehran, Iran, P: 490-494.
6. BenaKashani, F., Zand, E. & Alizadeh, H. (2007). Resistance of wild oat (*Avena ludoviciana*) biotypes to clodinafop-propargyl herbicide. *Journal of Applied Entomology and Phytopathology*, 74(2), 127-150. (In Persian).
7. Brain, P. & Cousens, R. (1989). An equation to describe dose response where there is stimulation of growth at low doses. *Weed Research*, 29(1), 93-96.
8. Chauhan, B. S., Gill, G. & Preston, C. (2006). Factors affecting seed germination of little mallow (*Malva parviflora*) in southern Australia. *Weed Science*, 54(6), 1045-1050.
9. Christoffers, M. J. (1999). Genetic aspects of herbicide resistant weed management. *Weed Technology*, 13(3), 647-652.
10. Dastoori, M., Rahimian Mashhadi, H., Zand, E., Alizadeh, H., Maasoumi, M. & Bahrami, S. (2010). Molecular basis for resistance of *Lolium rigidum* populations to aryloxyphenoxy propionate herbicide through dCAPs. *Iranian Journal of Crop Science*, 41(4), 677-684.
11. Derakhshan, A. & Gherekhloo, J. (2012). Tribenuron-methyl resistant turnipweed (*Rapistrum rugosum*) from Iran. p.72. In: Proceedings of the 6th International Weed Science Congress, 17-22 Jun., Hangzhou, China, Pp: 72.
12. Elahifard, E., Rashed Mohassel, M. H., Zand, E. & Nassiri Mahallati, M. (2006). Littleseedcanarygrass (*Phalaris minor*) resistance to fenoxaprop-P ethyl.p. In: Proceedings of the 1thIranain Weed Science Congress, 25-26 Jan., Plant Pest and Disease Research, Tehran, Iran, Pp: 443-446.
13. Forouzesh, A., Zand, E., Soufizadeh, S. & Samadi Foroushani, S. (2015). Classification of herbicides according to chemical family for weed resistance management strategies: An update. *Weed Research*, 55(4), 334-358.
14. Gherekhloo, J., Osuna, M. D. & De Prado, R. (2012). Biochemical and molecular basis of resistance to ACCase-inhibiting herbicides in Iranian *Phalaris minor* populations. *Weed Research*, 52(4), 367-372.
15. Gherekhloo, J., Rashed Mohassel, M. H., Nasirri Mahallati, M., Zand, E., Ghanbari, A., Osuna, M. D. & De Prado, R. (2011). Confirmed resistance to aryloxyphenoxypropionate herbicides in *Phalaris minor* populations in Iran. *Weed Biology Management*, 11(1), 29-37.
16. Gherekhloo, J., Rashed Mohassel, M. H., Nassiri Mahallati, M., Zand, E., Ghanbari, A., Osuna, M. D. & De Prado, R. (2008). Seed bioassay and ACCase enzyme assay to study the resistance of *Phalaris minor* to aryloxyphenoxy propionate (APP) inhibitors. *Environmental Sciences*, 6(1), 43-52. (In Persian).
17. Gherekhloo, J., Oveisi, M., Zand, E. & De Prado, R. (2016). A review of herbicide resistance in Iran. *Weed Science*, 64(4), 551-561.
18. Gherekhloo, J. & Zand, E. (2010). A short review on conducted herbicide resistance researches in Iran. In: Proceeding of the 11thIranain Crop Science Congress, 2-4 Jun., Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Pp: 110-125.
19. Hatami Moghadam, Z., Gherekhloo, J., Rojano-Delgado, A. M., Osuna, M. D., Alcantara, R., Fernandez, P., Sadeghipour, H. R. & De Prado, R. (2016). Multiple mechanisms increase levels of resistance in *Rapistrum rugosum* to ALS herbicides. *Frontiers in Plant Science*, 7(1), 1-13.
20. Jasieniuk, M., Brule-Babel, A. L. & Morrison, I. N. (1996). The evolution and genetic of herbicide resistance in weeds. *Weed Science*, 44(1), 176-193.
21. Moss, S. R., Perryman, S. A. M. & Tatnell, L. V. 2007. Managing herbicide resistant black grass (*Alopecurus myosuroides*): Theory and practice. *Weed Technology*, 21(2), 300-309.
22. Partovi, M., Zand, E., Alizadeh, H. & Atri, A. (2008). Investigation of herbicide resistance in pigweed (*Amaranthus* sp.) to chloridazon, desmedipham and mixture of these herbicides in some sugar beet fields of Iran. *Journal of Applied Entomology and Phytopathology*, 75(2), 73-88. (In Persian).

23. Rastgoo, M., Rashed Mohassel, M.H., Zand, E. & Nassiri Mahallati, M. (2006). Resistance of winter wild oat (*Avenaludoviciana*Durieu.) to aryloxyphenoxy propionate herbicides in wheat fields of Khuzestan province: First screening test. *Iranian Journal of Weed Science*, 2(1), 96-104. (In Persian).
24. Rastgoo, M., Rashed Mohassel, M. H., Zand, E. & Nassiri Mahallati, M. (2010). Seed bioassay to detect wild oat (*Avena ludoviciana* Dur.) resistant to clodinafop-propargyl in Khuzestan wheat field. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(3), 421-430. (In Persian).
25. Ritz, C. & Streibig, J. C. (2005). Bioassay analysis using R. *Journal of Statistical Software*, 12(1), 1-22.
26. Sasanfar, H. M., Zand, E., Baghestani, M. A. & Mirhadi, M. J. (2009). Resistance of winter wild oat (*Avena ludoviciana*) biotypes to pinoxaden in Fars province. *Iranian Journal of Weed Science*, 5(1), 1-11. (In Persian).
27. Schabenberger, O., Tharp, B.E., Kells, J.J. & Penner, D. (1999). Statistical tests for hormesis and dosages in herbicide dose response. *Agronomy Journal Abstract-Statistics*, 91(4), 713-721.
28. Zand, E., Baghestani, M. A., Dastaran, F., Atri, A. R., Labbafi, M. R., Khayami, M. M. & Porbaig, M. (2009). Investigation efficacy of some graminicides in control of resistant and susceptible ryegrass biotypes (*Lolium rigidum* L.) to acetyl-coA carboxylase inhibiting herbicides. *Journal of Plant Protection*, 22(1), 129-145. (In Persian).
29. Zand, E., Baghestani, M. A., Labbafi Hosseinabadi, M. R., Atri, A. R. & Minbashi Moeini, M. (2010a). Monitoring of the herbicide resistant weeds in Iran. *Environmental Sciences*, 7(4), 119-128. (In Persian).
30. Zand, E., Baghestani, M. A., Pourbaige, M., Soufizadeh, S., Bena Kashani, F., Dastaran, F., Khayami, M. M. & Labbafi Hosseinabadi, M. R. (2010b). Study on the efficacy of some current herbicides for control of resistant and susceptible canarygrass (*Phalaris* spp.) biotypes to acetyl CoA carboxylase (ACCCase) inhibitors. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(4), 594-605. (In Persian).
31. Zand, E., Baghestani, M. A., Nezam Abadi, N., Shimi, P. & Mousavi, S. K. (2017). *A Guide to Chemical Control of Weeds in Iran* (1th ed.). Jahade-e-Daneshghahi Mashhad Press. (In Persian).
32. Zand, E., Bena Kashani, F., Alizadeh, H., Soufizadeh, S., Ramazani, K., Maknali, A. & Freydounpoor, M. (2006). Resistance to aryloxyphenoxypropionate herbicides in wild oat (*Avena ludoviciana*). *Iranian Journal of Weed Science*, 2(1), 17-31. (In Persian).
33. Zand, E., Bena Kashani, F., Baghestani, M. A., Maknali, A., Minbashi, M., Soufizadeh, S. & Deihimfard, R. (2007). Investigating the distribution of clodinafop-propargyl resistant wild oat (*Avena ludoviciana*) populations in south western Iran. *Environmental Sciences*, 4(1), 85-92. (In Persian).