نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 31، شماره 3، پاییز 1396، ص. 465-456

Journal of Plant Protection
Vol. 31, No. 3, Fall 2017, P. 456-465

مقاومت عرضی منفی در توده‌های علف‌هرز دُرنه (*Echinochloa colona* (L.) Link) مقاوم به آترازین در مزارع نیشکر (*Saccharum officinarum* L.)

الهام الهی فرد[1*]- نرگس شمشیرگرزاده[2]- علیرضا ابدالی مشهدی[3]- محمدرضا مرادی تلاوت[4]

تاریخ دریافت: 1395/07/10
تاریخ پذیرش: 1396/03/22

چکیده

مقاومت عرضی منفی بر اثر بروز مقاومت به تریازین‌ها در چندین مورد از بایوتایپ‌های مقاوم گزارش شده است؛ به طوری‌که این پدیده منجر به بروز حساسیت زیاد در این بایوتایپ‌ها نسبت به علف‌کش‌های فنیل اوره و سایر بازدارنده‌های فتوسنتز در فتوسیستم 2 می‌شود. بدین منظور، مقاومت عرضی منفی در توده‌های مقاوم به علف‌کش‌های خانواده تریازین علف‌هرز دُرنه در مزارع نیشکر کشت و صنعت کارون شوشتر پژوهشی در طی سال‌های 94-1393 با استفاده از آزمایش‌های گلدانی در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش غربال اولیه براساس شاخص‌های اندازه‌گیری شده نشان داد سه توده به علف‌کش آترازین مقاوم بودند. همچنین، نتایج بدست آمده از آزمایش دز- پاسخ بر مبنای شاخص مقاومت توده‌ها نشان داد که توده‌های R1، R2 و R3 به ترتیب با درجاتی بین تا 12/26، 6/59 و 3/75 بر مبنای وزن تر و 5/37، 4/22 و 4/71 تعداد گیاهان زنده مانده به علف‌کش آترازین مقاوم بودند. نتایج حاصل از این پژوهش مقاومت عرضی منفی توده‌های دُرنه مقاوم به علف‌کش آترازین را نسبت به علف‌کش‌های تبوتیورون، لینورون، دایورون و دایورون+ هگزازینون را در محدوده بین 0/56 تا 1/62بر مبنای وزن تر و بین 0/52 تا 3/26 بر مبنای تعداد گیاهان زنده مانده نشان داد. همچنین، توده‌های مقاوم بیشترین مقاومت عرضی منفی (حساسیت) را نسبت به علف‌کش دایورون + هگزازینون نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: دز- پاسخ، علف‌کش‌های فنیل اوره، علف‌کش‌های مخلوط

مقدمه

نیشکر، یکی از رایج‌ترین محصولات موجود در جنوب غربی ایران و به ویژه استان خوزستان است (21). علف‌های هرز مهمترین عوامل محدود کننده کشت نیشکر بوده و قادر به کاهش عملکرد این محصول از طریق رقابت برای آب، مواد غذایی و نور در طول فصل رشد هستند (23). از مهمترین علف‌های هرز نیشکر می‌توان به دُرنه (*Echinochloa colona* (L.) Link.)، حلفه (*Imperata cylindrica* P. Beauv)، قیاق (*Sorghum halepense* (L.) Pers.)، پنیرک (*Malva* spp.) و اویارسلام (*Cyperus* spp.) اشاره کرد (14).

به طورکلی دوگونه ازجنس *Echinochloa*، یکی به نام سوروف (*E. crus-galli* (L.) P. Beauv.) و دیگری دُرنه (*E. colona*) وجود دارد که جز علف‌های هرز مشکل‌ساز هستند (11). دُرنه گیاهی یکساله، چهار کربنه و گرما زیست ازخانواده گندمیان (Poaceae) است که امروزه در سراسر مناطق حاره‌ای به یکی از مشکل‌سازترین علف‌های هرز کشیده برگ تبدیل شده و علف‌هرز مهم بسیاری از محصولات زراعی از جمله برنج (*Oryza sativa* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) است (2).

از آغاز کشت نیشکر در ایران (سال 1344 در هفت تپه و سال 1356 در کشت و صنعت کارون شوشتر) تاکنون به طور متوسط در هر سال 5 مرحله (دور) عملیات کنترل شیمیایی علف‌های هرز در هر مزرعه متداول است؛ وجود علف‌کش‌های کاملاً انتخابی برای نیشکر مانند آترازین، آمترین، ای‌پی‌تی‌سی، تبوتیورون، تری‌فلوکسی سولفورون+آمترین، دایورون، دایورون+هگزازینون، متری‌بوزین و تو، فور-دی (22)، موجب شده تا مجریان بخش مدیریت علف‌های هرز

1، 2، 3 و 4- به ترتیب استادیار، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
(*- نویسنده مسئول: (Email: e.elahifard@ramin.ac.ir
DOI: 10.22067/jpp.v0i0.58329

به دفعات و بدون دغدغه از این علف‌کش‌ها در مبارزه شیمیایی با علف‌های هرز استفاده کنند (21). به دلیل مصرف مداوم و بی رویه از چند علف‌کش خاص (عمدتاً تریازین‌ها) از اوایل سال زراعی 81-80 نشانه‌های بروز مقاومت در برخی علف‌های هرز از جمله دُرنه در مزارع کشت و صنعت کارون مشاهده شد و دیری نپایید که تقریباً در تمامی واحدهای این شرکت بروز مقاومت محرز شد (21). البته لازم به ذکر است که در سال‌های اخیر مصرف دو علف‌کش آترازین و آمترین به دلیل بروز مقاومت و آلودگی‌های زیست محیطی به میزان زیادی کاهش یافته است.

بازدارنده‌های فتوسنتز در فتوسیستم 2 (PSII)، از جمله قدیمی‌ترین علف‌کش‌ها هستند که در دهه 1950 رواج یافتند (3). مهمترین بازدارنده‌های PSII، گروه‌های شیمیایی اوره‌ها، آمیدها، تریازین وتریازینون‌ها، پیریدازینون‌ها، کاربامات‌ها و نیتروفنول‌ها می‌باشند که ویژگی مشترک تمام این ترکیبات آن است که کارکرد فتوسیستم 2 در رابطه با واکنش هیل را مختل می‌کنند (16). این بازدارنده‌ها از انتقال الکترون از دهنده الکترون، Q_A، به حامل الکترون Q_B جلوگیری می‌کنند. آن‌ها از طریق اتصال به جایگاه پیوند پلاستوکینون (PQ) بر روی پروتئین D1 در کمپلکس PSII از انتقال الکترون جلوگیری می‌کنند (4). علف‌کش‌های گروه تریازین‌ها، جز اولین علف‌کش‌هایی بودند که مقاومت به آن‌ها گزارش شده است (3). زلف پیر (*Senecio vulgaris* L.) به عنوان اولین بایوتایپ مقاوم به علف‌کش‌های تریازین در سال 1968 از ایالات متحده آمریکا گزارش شد (19). در طی40 سال گذشته، 73 گونه مختلف علف‌هرز مقاوم به تریازین‌ها تکامل یافته‌اند (10) که ممکن است سطحی معادل شش میلیون هکتار را پوشش دهند. بایوتایپ‌های مقاوم به تریازین‌ها اولین بار در سیستم‌های تک کشتی همراه با استفاده مداوم از آترازین در مدت 6 الی 10 سال تکامل یافتند (9).

متریبوزین، آترازین و آمترین از پر مصرف‌ترین علف‌کش‌های این گروه در مزارع نیشکر به شمار می‌روند؛ بنابراین، احتمال بروز مقاومت نسبت به این گروه در نیشکر بیشتر از سایر محصولات است (15). در بحث مقاومت پدیده‌ای به نام مقاومت عرضی منفی وجود دارد که در بسیاری از گونه‌های علف‌هرز مقاوم به تریازین‌ها مشاهده شده است (17)؛ بطوری‌که این پدیده منجر به بروز حساسیت زیاد در این بایوتایپ‌ها نسبت به علف‌کش‌های فنیل اوره (دایورون)، سایر بازدارنده‌های فتوسنتز در فتوسیستم 2 (گروه‌های C2 (لینورون و تبوتیورون) و C3) و سایرکلاس‌های علف‌کشی می‌شود (4 و 12). بروز این پدیده به این شکل شرح داده شده است که برخی علف‌کش‌های بازدارنده فتوسنتز در فتوسیستم 2، بطور مؤثرتری به ناحیه جهش یافته در ژن علف‌هرز مقاوم، نسبت به گونه وحشی، پیوند برقرار می‌کنند. این میل ترکیبی افزایش یافته منجر به بروز پدیده‌ای بنام مقاومت عرضی منفی (حساسیت ناخواسته) می‌شود. بطوری‌که تک بوته‌های مقاوم به یک یا همه علف‌کش‌های یک خانواده، حساسیت زیادی به سایر علف‌کش‌ها نشان می‌دهند (7). بایوتایپ‌های مقاوم به تریازین تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)، تاج خروس صورتی (*A. cruentus* L.) و تاج خروس نازک (*A. hybridus* L.) در نتیجه بروز مقاومت عرضی منفی حساسیت بیشتری به بنتازون و پیریدیت داشتند (4 و 7).

علاقه‌مندی ما از تمرکز بر مقاومت عرضی منفی در گیاهان مقاوم به تریازین‌ها بعنوان یک مدل استراتژیک مدیریت علف‌های هرز و ابزار مدیریت مقاومت می‌باشد. از این رو، هدف از این پژوهش بررسی مقاومت عرضی منفی به علف‌کش‌های گروه C2 در توده‌های مشکوک به مقاومت به علف‌کش‌های خانواده تریازین علف‌هرز دُرنه در مزارع نیشکر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در بردارنده مطالعات مزرعه‌ای و گلخانه‌ای بود که در طی سال‌های 94-1393 درگلخانه تحقیقاتی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان انجام شد.

مواد گیاهی

در این پژوهش، هفت توده بذر دُرنه مشکوک به مقاومت به بازدارنده‌های خانواده تریازین و یک توده حساس از قطعات مختلف مزارع پلانت نیشکر شرکت کشت و صنعت کارون شوشتر جمع‌آوری شد و تا شروع آزمایش (حدود 6 ماه بعد) در شرایط آزمایشگاه نگهداری شد. بذرهای مشکوک به مقاومت از گیاهان زنده باقی مانده در مزارعی جمع‌آوری شدند که حداقل 10-5 سال سابقه مصرف علف‌کش‌های تریازین (آترازین، آمترین و متریبوزین) را داشتند و محققان منطقه‌ای به وجود توده‌های علف‌هرز دُرنه مقاوم به علف-کش‌های ذکر شده مشکوک بودند. همچنین، توده حساس از محوطه دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان که سابقه سمپاشی نداشت جمع‌آوری شد. سپس، توده‌های جمع‌آوری شده براساس نام مزرعه محل جمع‌آوری و حساسیت یا مقاومت پیش‌بینی شده به منظور انجام آزمایش غربالگری نامگذاری شدند.

علف‌کش‌های مورد آزمایش

در این آزمایش از علف‌کش‌های بازدارنده PSII که شامل: آترازین (گزاپریم، 80 درصد دبلیو پی)، لینورون (آفالن، 45 درصد اس ال)، تبوتیورون (با نام تجاری تبوسان، 50 درصد اس سی)، دایورون (دایورون دی اف، 90 درصد دی اف) و دایورون+ هگزازینون (باراک دی اف، 60 درصد دی اف) استفاده شد.

جدول 1- توده‌های علف هرز دُرنه حساس و مشکوک به مقاومت جمع‌آوری شده از مزارع نیشکر
Table 1-Resistant and susceptible junglerice populations that were sampled from sugar cane fields

توده Population	محل جمع‌آوری (مزرعه/قطعه) Location (field/plot)	وضعیت توده Population situation
207.3	207/3	suspected to resistance
238.5	238/5	suspected to resistance
326.2	326/2	suspected to resistance
512.4	512/ 4	suspected to resistance
521.1	521/1	suspected to resistance
521.3	521/3	suspected to resistance
521.4	521/4	suspected to resistance
S	Residential area	susceptible

آماده‌سازی و جوانه‌دار کردن بذور

به منظور شکستن خواب بذور دُرنه ابتدا بذور به مدت 10 دقیقه در اسید سولفوریک غوطه‌ور شده، سپس با آب مقطر شسته شده و به مدت 72 ساعت در دستگاه ژرمیناتور با شرایط دمایی 2±28 درجه سانتی‌گراد و شرایط فتوپریود 16/ 8 ساعت روشنایی/ تاریکی با شدت نور 18000 لوکس قرار داده شد (6).

در این تحقیق از روش زیست‌سنجی گیاه کامل در گلدان، شامل دو آزمون غربالگری اولیه و دز-پاسخ، استفاده شد.

آزمایش غربال اولیه

به منظور غربال توده‌های مشکوک به مقاومت بر اساس دز توصیه شده آترازین، آزمایش گلدانی به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. برای‌کشت از گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه 12 سانتی‌متر و ظرفیت 500 میلی‌لیتر استفاده شد و خاک گلدان‌ها شامل مخلوطی از خاک رس و شن به نسبت دو به یک بود. سپس از هر توده تعداد 20 عدد بذر به صورت سطحی در هر گلدان کشت شد. برای هر تکرار یک گلدان شاهد (بدون تیمار علف کش) نیز در نظر گرفته شد و آبیاری گلدان‌ها ابتدا به صورت پر کردن زیر گلدانی‌ها و پس از رشد گیاهان به صورت آبپاشی گلدان‌ها براساس نیاز روزانه انجام شد. همچنین در طول دوره رشد جهت جبران کمبود مواد غذایی از کود 20-20-20 هر دو هفته یکبار به میزان 10 سی‌سی برای هر گلدان استفاده گردید. دز توصیه شده آترازین (3200 گرم ماده مؤثره در هکتار) به وسیله سمپاش کتابی پشتی تلمبه‌ای با نازل شره‌ای که به منظور پاشش 350 لیتر محلول سمپاشی کالیبره شده بود به صورت پیش‌رویشی اعمال شد. پس از سبز شدن گیاهچه‌ها به منظور جلوگیری از رقابت میان بوته‌ها، تعداد آن‌ها به چهار بوته در هر گلدان کاهش داده شد. پس از گذشت چهار هفته تعداد گیاهان زنده مانده، ثبت و بوته‌های هر گلدان ازسطح خاک قطع، جمع‌آوری و وزن تر آن‌ها توزین شد. سپس بوته‌ها به مدت 48 ساعت در داخل آون 75 درجه سانتی‌گراد خشک شده و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. میانگین وزن تر اندام هوایی برای هر تک بوته محاسبه و درصد وزن تر تک بوته هر توده تیمار شده با علف‌کش نسبت به شاهد خودش (تیمار نشده با علف‌کش از همان توده) محاسبه شد (1). پس از اعمال غلظت تفکیک کننده به منظور انجام آزمایش غربالگری اولیه بر روی تمامی توده‌ها، از آنجا که وزن تر می تواند به عنوان یک شاخص مناسب برای غربال اولیه توده‌های مشکوک به مقاومت مورد استفاده قرار گیرد (13)، بنابراین، توده‌ها بر این اساس مورد قضاوت قرار گرفتند. بر این اساس توده‌هایی که درصد کاهش وزن تر آن‌ها نسبت به شاهد بین صفر تا 36، 36-72، 72-81 و 81-100 درصد باشد به ترتیب در گروه‌های RRR (قطعا مقاوم)، RR (احتمالا مقاوم)، ?R (مشکوک به مقاومت) و S (حساس) قرار گرفتند (13).

آزمون دز- پاسخ

در این آزمایش، واکنش توده‌هایی که در آزمایش غربالگری مقاومت نشان دادند و همچنین توده حساس، در مقابل دزهای مختلف علف‌کش‌های مورد آزمایش (جدول 2) به صورت زیست‌سنجی در گلدان با چهار تکرار ارزیابی شدند. سپس همه تیمارها با شاهد بدون علف‌کش مقایسه شدند. عملیات کشت، کلیه شرایط رشد و شیوه اعمال تیمارهای علف‌کش مشابه آزمایش غربالگری بود. پس از چهار هفته بوته‌های زنده مانده از سطح خاک قطع و وزن تر آن‌ها ثبت شد.

تجزیه آماری

برای تجزیه آماری منحنی واکنش به دز علف‌کش (درصد نسبت به شاهد) از آنالیز رگرسیون و معادله ارائه شده توسط ریتز و استریبیگ (18) استفاده شد (معادله 1).

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

جدول 2- علف‌کش‌ها و مقادیر مورد استفاده در آزمون‌های دز- پاسخ توده‌های مقاوم و حساس علف هرز دُرنه

Table 2- Herbicides and rates used in dose-response studies with resistant (R) and susceptible (S) junglerice biotypes

علف‌کش Herbicide	مقدار علف‌کش Rates herbicide
آترازین Atrazin	0, 10, 30, 100, 320, 1000, 3200, 10000
تبوتیوران Tebuthiuron	0, 10, 20, 100, 200, 1000, 2000, 10000
لینوران Linuron	0, 10, 100, 160, 1000, 1600, 10000
دایوران Diuron	0, 10, 30, 100, 360, 1000, 3600, 10000
دایوران+هگزازینون Diuron + hexazinone	0, 10, 24, 100, 240, 1000, 2400, 10000

که پارامترهای ارائه شده در این مدل عبارتست از: b، شیب منحنی در نقطه e؛ d، حد بالای منحنی دز- پاسخ؛ c، حد پایین منحنی دز- پاسخ و e، بیان‌کننده ED_{50} یا غلظتی از علف‌کش که باعث کاهش 50 درصدی واکنش می‌شود.

در مواردی که c برابر با صفر باشد، این پارامتر از معادله 1 حذف و در حالت جدید، تابع سه پارامتره (معادله 2) به داده‌های مربوط برازش داده شد تا برآورد دقیق‌تری از سایر پارامترها بدست آید (18).

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

معادله فوق با استفاده از محیط نرم‌افزاری R و بسته نرم‌افزاری drc که به همین منظور طراحی شده است (18)، به‌طور جداگانه به داده‌های حاصل از وزن تر توده‌های مشکوک و حساس برازش داد شد. درجه و یا فاکتور مقاومت (RF) یعنی نسبت ED_{50} توده مشکوک به مقاومت به ED_{50} توده حساس، شاخصی است که برای بررسی و مقایسه میزان مقاومت توده‌ها مورد استفاده قرار گرفت (18).

نتایج و بحث

آزمایش غربال اولیه

نتایج آزمایش غربالگری توده‌ها چهار هفته پس از سمپاشی با علف‌کش آترازین نشان داد که توده‌های 207/3، 238/5 و 326/2 نسبت به علفکش آترازین مقاومت نشان داده و همچنین نسبت به اعمال دز توصیه شده کمترین میزان کاهش درصد وزن تر و تعداد بوته را نسبت به سایر توده‌ها داشتند (داده‌ها نشان داده نشد)؛ بنابراین به منظور تعیین درجه مقاومت به علف‌کش‌های مورد آزمایش وارد آزمایش دز- پاسخ شده و سایر توده‌ها به دلیل داشتن بیشترین میزان کاهش درصد وزن تر و تعداد بوته زنده مانده به عنوان توده حساس شناخته شده و از آزمایش حذف گردیدند.

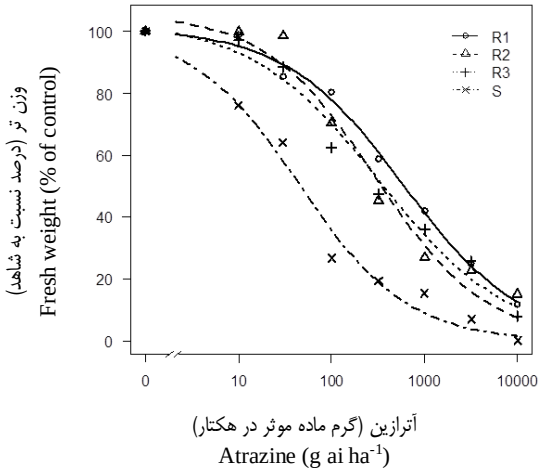
پس از انجام این آزمایش‌ها اسامی توده‌ها به منظور سهولت گزارش نتایج بدین ترتیب تغییر داده شد: 207/3 (R1) ، 238/5 (R2) و 326/2 (R3) نشان دهنده توده‌های مقاوم به آترازین و حرف S نشان‌دهنده توده حساس می‌باشد.

آزمایش دز- پاسخ

مقایسه وزن تر توده‌ها نسبت به شاهد

همانگونه که در جدول 3 و منحنی دز-پاسخ وزن تر توده‌ها (شکل 1) مشاهده می‌شود، مقایسه درجه مقاومت توده‌ها با توده حساس اختلاف معنی‌داری از نظر سطوح آماری بین سه توده مقاوم با حساس نشان داد. بطوری‌که درجه مقاومت در این توده‌ها (R1، R2 و R3) نسبت به توده حساس به ترتیب به میزان 12/26، 6/59 و 3/75 بود؛ در حالی‌که میزان 45/43 گرم ماده مؤثره در هکتار باعث 50 درصد کاهش وزن تر توده حساس شد. این مقدار کاهش برای توده‌های R1، R2 و R3 به ترتیب 556/89، 170/31 و 299/85 گرم ماده مؤثر در هکتار برآورد شد. الهی فرد و همکاران (5) با بررسی شش توده دُرنه براساس زیست‌سنجی گیاه کامل شاخص‌های مقاومت برای علف‌کش‌های بازدارنده فتوسنتز در فتوسیستم 2، مانند آمترین و متری‌بوزین را به ترتیب بین 4/62 تا 88/64 و 2/57 تا 88/54 برآورد کردند.

بررسی روند واکنش وزن تر توده‌های مقاوم به آترازین درنه به دزهای مختلف علف‌کش تبوتیورون، لینورون، دایورون و دایورون+ هگزازینون با استفاده از برازش معادله لجستیک نشان داد که توده‌های R1، R2 و R3 نسبت به این علف‌کش دارای حساسیت هستند. بطوری‌که این توده‌ها در دز توصیه شده کنترل شدند و وزن تر آن‌ها نسبت به شاهدهای خود به شدت کاهش یافت (شکل 2). هر سه توده مقاومت عرضی منفی را به چهار علف‌کش مذکور با درجه مقاومت 1/62- 0/56 نشان دادند. حساسیت این توده‌ها نشان از کارائی مؤثر این علف‌کش‌ها در کنترل علف‌های هرز مقاوم به تریازین‌ها می‌باشد.



شکل 1- پاسخ توده‌های مقاوم و حساس دُرنه بر مبنای وزن تر (درصد نسبت به شاهد) به دزهای مختلف علف‌کش آترازین

Figure 1- Response of resistant (R) and susceptible (S) junglerice populations based on (% of control) to atrazine at the different doses

جدول 3- پارامترهای برآورد شده از معادله لوگ-لجستیک برازش داده شده به داده‌های وزن تر توده‌های مقاوم و حساس دُرنه، چهار هفته پس از سمپاشی با علف‌کش آترازین

Table 3- Estimated parameters from fitted log-logistic equation to wet weight of susceptible and resistant populations 4 weeks after spraying with atrazin

توده	حد پایین	حد بالا	شیب	ED_{50}	آزمون عدم برازش (5 درصد)	درجه مقاومت
Population	Lower limit	Upper limit	Slope		Lack of fit test (5%)	Rf_{50}
R1	-	100.45±3.33	0.72±0.08	556.89±99.69	0.71	12.26**
R2	18.03±3.64	102.33±3.23	1.25±0.23	170.31±30.14	0.54	3.75**
R3	-	103.54±3.40	0.63±0.06	299.85±57.17	0.05	6.59**
S	10.14±3.56	100.71±4.97	0.74±0.11	45.43±10.08	0.25	-

±: Standard error in parenthesis, *: significant at 0.05, **: significant at 0.01, ns: non significant

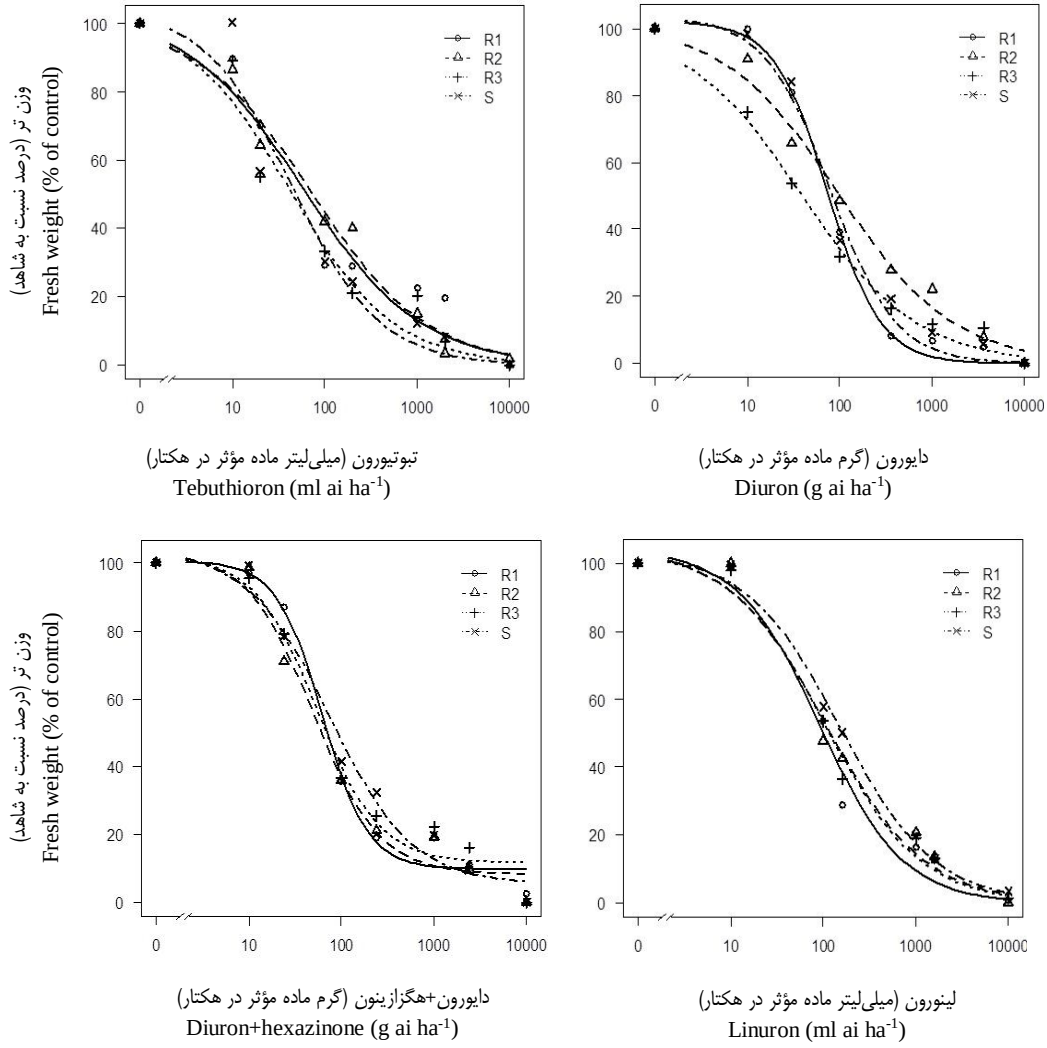
بیشترین حساسیت نسبت به کاربرد علف‌کش‌های مورد آزمایش در توده R2 و نسبت به دایورون+ هگزازینون با درجه مقاومت 0/56 مشاهده شد؛ بطوری‌که برای کنترل 50 درصدی این توده مقاوم 49/48 گرم ماده مؤثر در هکتار لازم است (جدول 4). گادامسکی و همکاران (7) در آزمایشی بیشترین و مؤثرترین مقاومت عرضی منفی برای کنترل علف‌هرز سوروف مقاوم به تریازین‌ها را با درجه مقاومت 0/03 توسط علف‌کش فلوآزیفپ- بوتیل بدست آورد. مقاومت عرضی منفی بر اثر بروز مقاومت به تریازین‌ها در چندین مورد از بایوتایپ‌های مقاوم گزارش شده است (7 و 17)؛ بطوری‌که این پدیده منجر به بروز حساسیت زیاد در این بایوتایپ‌ها نسبت به علفکش‌های فنیل اوره و سایر بازدارنده‌های PSII می‌باشد؛ به عنوان مثال، بایوتایپ‌های مقاوم به تریازین تاج خروس ریشه قرمز، تاج خروس صورتی و نازک، در نتیجه بروز مقاومت عرضی منفی، حساسیت بیشتری به بنتازون و پیریدیت داشتند (4 و 7). همچنین علف‌های هرز مقاوم به تریازین‌ها نسبت به علف‌کش‌هایی که بر PSII اثری ندارد نیز می‌توانند مقاومت عرضی منفی نشان دهند (8 و 9). به عنوان مثال بایوتایپ‌های سوروف مقاوم به تریازین‌ها نسبت به فلوآزیفپ-بوتیل و ستوکسیدیم، بازدارنده‌های ACCase، در مقایسه با جمعیت حساس، حساسیت نشان دادند (7). همچنین بایوتایپ‌های علف هرز جارو (*Kochia scoparia* (L.)) مقاوم به تریازین‌ها نسبت به توفوردی که از اکسین‌های مصنوعی می‌باشد حساسیت نشان دادند (20). تعداد اندکی گزارش نیز در مورد بروز مقاومت عرضی منفی در بایوتایپ‌های تاج خروس نازک مقاوم به ایمیدازولینون‌ها نشان داد که ده برابر بیشتر نسبت به کلرآنسولام که از بازدارنده‌های ALS هستند در مقایسه با جمعیت حساس، حساسیت داشتند (17).

مقایسه درصد تعداد بوته‌های زنده مانده نسبت به شاهد

بر مبنای تعداد بوته‌های زنده نسبت به شاهد هر سه توده R1، R2 و R3 به ترتیب با شاخص‌های 5/37، 4/22 و 4/71 برابر نسبت

به توده حساس، به علف‌کش آترازین از خود مقاومت نشان دادند. در حالی‌که میزان 1472/62 گرم ماده مؤثره در هکتار از علف‌کش آترازین باعث کاهش تعداد بوته‌های زنده توده حساس به میزان 50 در صد نسبت به شاهد شد، این مقدار کاهش برای توده‌های مقاوم R1، R2 و R3 به ترتیب در دزهای 7927/50، 6212/41 و 6954/29 گرم ماده مؤثره در هکتار اتفاق افتاد (جدول 5).

همانند نتایج وزن تر، بر مبنای تعداد بوته زنده مانده نیز توده‌های دُرنه مقاوم به تریازین‌ها نسبت به هر چهار علف‌کش تبوتیورون، دایورون، دایورون+ هگزازینون و لینورون در مقایسه با توده حساس در محدوده بین 3/26- 0/68 از خود حساسیت نشان دادند (جدول 6 و شکل 4). همچنین بر مبنای تعداد بوته زنده مانده، توده R3 نسبت به علف‌کش دایورون+ هگزازینون بیشترین و مؤثرین مقاومت عرضی منفی برای کنترل علف هرز مقاوم به آترازین را با درجه مقاومت 0/52 نشان داد (جدول 6)؛ بطوری‌که برای کنترل 50 درصدی این توده مقاوم 1927/88 گرم ماده مؤثره در هکتار لازم است (جدول 6).



شکل 2- پاسخ توده‌های مقاوم و حساس دُرنه بر مبنای وزن تر (درصد نسبت به شاهد) به دزهای مختلف علف‌کش‌های تبوتیورون، لینورون، دایورون و دایورون + هگزازینون

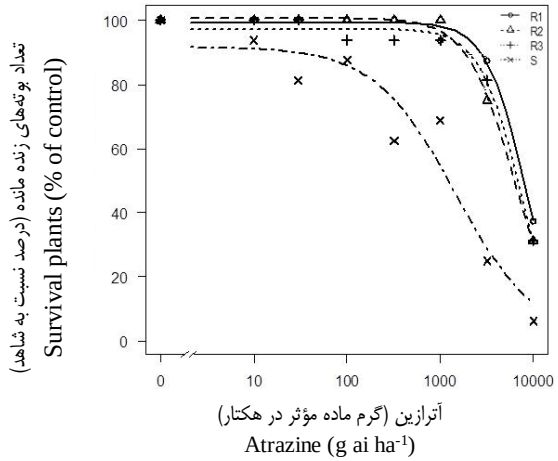
Figure 2- Response of resistant (R) and susceptible (S) junglerice populations based on wet weight (% of control) to tebuthiuron, linuron, diuron and Diuron + hexazinone herbicides at the different doses

جدول 4- پارامترهای برآورد شده از معادله برازش داده شده به داده‌های وزن تر توده‌های مقاوم و حساس دُرنه، چهار هفته پس از سمپاشی با علف‌کش‌های تبوتیورون، لینورون، دایورون و دایورون + هگزازینون

Table 4- Estimated parameters from fitted log-logistic equation to wet weight of susceptible and resistant populations 4 weeks after spraying with tebuthiuron, linuron, diuron and diuron + hexazinone

علف‌کش	توده	حد پایین	حد بالا	شیب	ED_{50}	آزمون فقدان برازش (5 درصد)	درجه مقاومت
Herbicide	Population	Lower limit	Upper limit	Slope		Lack of fit test (5%)	Rf_{50}
تبوتیورون Tebuthiuron	R1	13.02±4.56	101.75±5.89	1.15±0.31	36.85±10.24	0.05	0.83^{ns}
	R2	-	100.41±4.16	0.69±0.07	73.01±14.94	0.07	1.62^{ns}
	R3	-	102.48±6.06	0.77±0.12	41.71±11.05	0.07	0.94^{ns}
	S	-	104.36±9.71	0.91±0.24	44.42±16.71	0.38	-
لینورون Linuron	R1	-	104.09±7.46	0.97±0.29	92.76±26.95	0.51	0.61^{ns}
	R2	-	104.67±5.26	0.81±0.13	107.73±24.67	0.27	0.71^{ns}
	R3	-	103.53±3.38	0.84±0.08	106.84±15.61	0.05	0.69^{ns}
	S	-	103.29±5.92	0.85±0.14	152.51±39.43	0.89	-
دایورون Diuron	R1	-	102.03±2.77	1.50±0.17	74.21±6.49	0.46	0.94^{ns}
	R2	-	101.90±4.05	0.70±0.07	95.25±19.47	0.28	1.21^{ns}
	R3	-	101.42±2.13	0.81±0.03	69.80±6.58	0.05	0.87^{ns}
	S	-	103.53±3.71	1.23±0.16	79.03±10.17	0.11	-
دایورون+هگزازینون Diuron + hexazinone	R1	9.89±2.65	100.48±3.64	1.75±0.34	62.11±8.91	0.18	0.69^{ns}
	R2	8.40±3.58	103.25±4.68	1.20±0.22	49.48±9.83	0.06	0.56^{ns}
	R3	11.63±5.64	102.08±7.36	1.28±0.43	54.30±16.61	0.45	0.60^{ns}
	S	-	104.68±4.38	0.84±0.09	88.72±16.47	0.07	-

±: Standard error, *: significant at 0.05, **: significant at 0.01, ns: non significant



شکل 3- پاسخ توده‌های مقاوم و حساس دُرنه بر مبنای تعداد بوته زنده مانده به دزهای مختلف علف‌کش آترازین

Figure 3- Response of resistant (R) and susceptible (S) junglerice populations based on number of survival plants (% of control) to atrazine at the different doses

به نظر می‌رسد که ترکیب دو علف‌کش مؤثرتر از هر کدام از این علف‌کش‌ها به تنهایی و قابل توصیه برای توده‌های مقاوم بـه علـف کش‌های بازدارنده PSII می‌باشد. البته باید توجه داشـت در صـورتی که استفاده از این علف‌کش همراه با اعمال مدیریتی مناسـب شـامل تناوب کاربرد علف‌کش‌های نسبتاً قدیمی با علف‌کش‌هـای جدیـدی مانند ایندازیفلم و کشت گیاهان پوششی نظیر یونجه و شـبدر نباشـد احتمال بروز مقاومت به این علف‌کـش نیـز در آینـده وجـود خواهـد داشت.

در کل مقایسه توده‌های آزمایش در علف‌کش‌های مختلف از نظر درجه مقاومت تعیین شده بر مبنای وزن تر و تعداد بوتـه‌هـای زنـده

مانده نسبت به شاهد نشان می‌دهد که درجات مقاومت بدست آمده براساس تعداد بوته‌های زنده در مقایسه با وزن تر، در بیشتر علف‌کش ها به مراتب بالاتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش، مقاومت به آترازین را تائید می‌کند که به دلیل استفاده متوالی و بیش از 10 سال از آترازین مقاومت به این علف‌کش در علف‌های هرز درنه موجود در مزارع نیشکر کشت و صنعت کارون محرز شده است.

علف‌کش‌ها اولین و شاید متداول‌ترین ابزار جهت مدیریت جوامع علف‌هرز مقاوم به حساب می‌آیند. از این رو، استفاده مؤثر علف‌کش‌ها در سیستم‌های مدیریتی مبارزه با علف‌های هرز مقاوم بکارگیری ترکیبات جدید علف‌کش‌ها، شناخت نحوه عمل علف‌کش‌ها و تناوب آن‌ها با یکدیگر امری ضروری می‌باشد. بنابراین از پدیده مقاومت عرضی منفی در علف‌های هرز مقاوم به تریازین‌ها می‌توان به عنوان یک نقطه ضعف در اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی به منظور مهار این‌گونه علف‌های هرز استفاده نمود.

در این پژوهش، بیشترین حساسیت نسبت به کاربرد علف‌کش‌های مورد آزمایش در توده R2 و نسبت به دایورون+ هگزازینون با درجه مقاومت 0/56 مشاهده شد؛ به طوری‌که برای کنترل 50 درصدی این توده مقاوم 49/48 گرم ماده مؤثر در هکتار دایورون+ هگزازینون لازم بود. همچنین توده R3 با درجه مقاومت 0/52 بر اساس تعداد بوته زنده مانده نسبت به کاربرد دایورون+ هگزازینون از سایر توده‌ها حساس‌تر بود. البته سایر توده‌های تیمار شده توسط این علف‌کش نیز از درجه مقاومت پایینی نسبت به سایر علف‌کش‌ها برخوردار بودند.

جدول 5- پارامترهای برآورد شده از معادله لوگ-لجستیک برازش داده شده به داده‌های درصد تعداد بوته‌های زنده مانده توده‌های مقاوم و حساس دُرنه، چهار هفته پس از سمپاشی با علف‌کش آترازین

Table 5- Estimated parameters from fitted log-logistic equation to number of survival plants of susceptible and resistant populations 4 weeks after spraying with atrazin

توده Population	حد بالا Upper limit	شیب Slope	ED_{50}	آزمون فقدان برازش (5 درصد) Lack of fit test (5%)	درجه مقاومت Rf_{50}
R1	99.32±1.69	2.10±0.37	7927.50±604.39	0.94	5.37*
R2	100.60±2.23	1.74±0.28	6212.41±688.48	1.00	4.22*
R3	97.30±2.44	2.02±0.45	6985.29±814.90	0.93	4.71*
S	91.70±8.71	1.00±0.48	1472.62±724.53	0.58	-

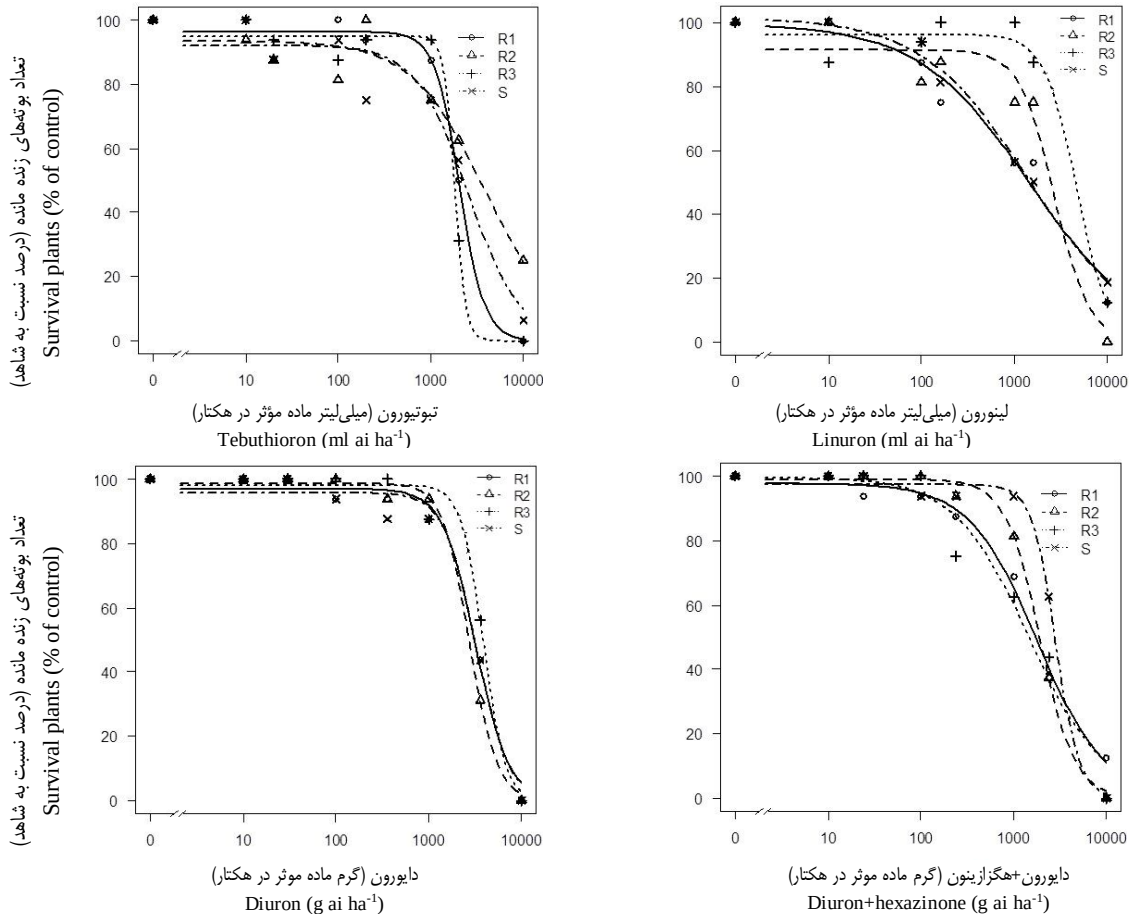
±: Standard error in parenthesis, *: significant at 0.05, **: significant at 0.01, ns: non significant

جدول 6- پارامترهای برآورد شده از معادله برازش داده شده به داده‌های وزن تر توده‌های مقاوم و حساس دُرنه، چهار هفته پس از سمپاشی با علف‌کش‌های تبوتیورون، لینورون، دایورون و دایورون + هگزازینون

Table 6- Estimated parameters from fitted log-logistic equation to number of survival plants of susceptible and resistant populations 4 weeks after spraying with tebuthiuron, linuron, diuron and diuron + hexazinone

علف‌کش Herbicide	توده Population	حد بالا Upper limit	شیب Slope	ED_{50}	آزمون فقدان برازش Lack of fit test (5%)	درجه مقاومت Rf_{50}
تبوتیورون Tebuthiuron	R1	96.26±3.22	3.21±1.40	2047.97±199.46	0.82	0.80ns
	R2	93.42±6.58	1.09±0.48	3888±1699.12	0.91	1.53ns
	R3	95.01±2.67	7.11±5.61	1809.12±183.90	0.73	0.72ns
	S	92.10±5.12	1.54±0.70	2520.00±656.31	0.62	-
لینورون Linuron	R1	99.44±7.92	0.72±0.23	1444.36±624.44	0.74	1.00ns
	R2	91.32±3.63	2.30±0.77	2690.00±559.80	0.10	1.89ns
	R3	96.16±3.08	2.50±0.67	4643.62±1137.89	0.48	3.26ns
	S	101.37±8.69	0.76±0.25	1426.33±663.30	0.98	-
دایورون Diuron	R1	96.90±2.64	2.47±0.86	3207.69±400.14	0.70	0.97ns
	R2	98.73±2.23	2.95±0.94	2761.68±314.20	0.94	0.85ns
	R3	98.11±1.55	3.60±1.46	3876.63±172.14	0.09	1.18ns
	S	95.75±2.35	2.53±0.88	3255.46±365.78	0.23	-
دایورون+هگزارینون Diuron + hexazinone	R1	97.69±4.36	1.19±0.35	1794.61±388.53	0.97	0.62ns
	R2	98.95±2.75	2.30±0.55	1927.88±193.24	0.97	0.68ns
	R3	99.59±7.55	1.07±0.40	1475.41±585.49	0.81	0.52ns
	S	97.33±1.90	3.41±1.48	2839.80±253.94	0.80	-

(): Standard error in parenthesis, *: significant at 0.05, **: significant at 0.01, ns: non significant



شکل 4- پاسخ توده‌های مقاوم و حساس ذرنه بر مبنای تعداد گیاهان زنده مانده (درصد نسبت به شاهد) به دزهای مختلف علف‌کش‌های تبوتیورون، لینورون، دایورون و دایورون + هگزازینون

Figure 4- Response of resistant (R) and susceptible (S) junglerice populations based on number of survival plants (% of control) to tebuthiuron, linuron, diuron and diuron + hexazinone herbicides at the different doses

پس نتایج نشان می‌دهد که مخلوطی از دایورون و هگزازینون درجه مقاومت کمتری از مقاومت عرضی منفی (حساسیت بیشتر) را نسبت به زمانی که هر کدام از این علف‌کش‌ها به تنهایی اعمال می‌شوند ارائه می‌دهد. بنابراین این مخلوط می‌تواند به تنهایی طیف گسترده‌ای از علف‌های هرز را کنترل کند و نسبت به علف‌کش‌هایی که به تنهایی بکار برده می‌شوند قابل اعتمادتر باشد. اختلاط علفکش‌ها از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست محیطی، هزینه کمتری نسبت به زمانی که هر کدام به صورت جداگانه اعمال شوند خواهند داشت. بنابراین این ترکیب برای کنترل علف‌های هرز مقاوم به تریازین‌ها در مزارع کشت نیشکر توصیه می‌شود. از آنجا که یکی از دلایل وجود مقاومت عرضی منفی در بایوتیپ‌های مقاوم به آترارین، شایستگی به مراتب کمتر این بایوتایپ‌ها نسبت بایوتایپ‌های حساس می‌باشد؛ بنابراین ممکن است آنها به تنش‌های ثانوی از قبیل تیمار با سایر علف‌کش‌ها حساستر باشند. بنابراین، ارزش مقاومت عرضی منفی در ارتباط با فقدان شایستگی در تقریباً تمامی علف‌های هرز مقاوم به تریازین‌ها شاید بیش از آنچه ما ارزیابی کرده‌ایم باشد. همچنین رقابت اعمال شده توسط گیاه در مزرعه ممکن است منجر به تشدید فقدان شایستگی و کاهش بیشتر درجه مقاومت توده‌ها شود.

منابع

1- Beckie H.J., Heap I.M., Smeda R.J., and Hall L.M. 2000. Screening for herbicide resistance in weeds. Weed

Technology, 14:428-445.
2- Chauhan B.S., and Johnson D.E. 2009. Seed germination ecology of junglerice (*Echinochloa colona*): a major weed of rice. Weed Science, 57:235-240.
3- De Prado R. A., and Franco A. R. 2004. Cross-resistance and herbicide metabolism in grass weeds in Europe: biochemical and physiological aspects. Weed Science, 52:441-447.
4- Devine M.D., and Shukla A. 2000. Altered target sites as a mechanism of herbicide resistance. Crop Protection, 19:881-889.
5- Elahifard E., Ghanbari A., Rashed Mohassel M.H., Zand E., Mirshmasi Kakhki A., and Mohkami A. 2013a. Characterization of triazine resistant biotypes of junglerice [*Echinochloa colona* (L.) Link.] found in Iran. Australian Journal of Crop Science, 7:1302-1308.
6- Elahifard E., Mijani S., Kheyr Andish S., Kazerooni Monfared E., and Tokasi S. 2013b. Study on dormancy and effect of some environmental factors on germination of junglerice (*Echinochloa colona*) seeds. Journal of Plant Protection, 27:342-350. (in Persian with English abstract)
7- Gadamski G., Gressel J., and Gawronski S.W. 2000. Negative cross-resistance in triazine-resistant biotypes of *Echinochloa cruss-galli* and *Conyza canadensis*. Weed Science, 48:176-180.
8- Gressel J. 2002. Molecular biology of weed control (Vol. 1).CRC Press.
9- Gressel J., and Segel L.A. 1990. Negative cross resistance; a possible key to atrazine resistance management: a call for whole plant data. Zeitschrift für Naturforschung C. 45:470-473.
10- Heap I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. 2016. Chronological Increase in Resistant Weeds Globally. Available at http://weedscience.org/graphs/soagraph.aspx. (visited 10 Jan. 2016)
11- Hoagland R.E., Norsworthy J.K., Carey F., and Talbert R.E. 2004. Metabolically based resistance to the herbicide propanil in *Echinochloa* species. Weed Science, 52:475-486.
12- Jordan N., Kelrick M., Brooks J., and Kinerk W. 1999. Biorational management tactics to select against triazine resistant *Amaranthus hybridus*: a field trial. Journal of Applied Ecology. 36:123-132.
13- Moss S.R., Perryman S.A.M., and Tatnell L.V. 2007. Managing herbicide resistant black grass (*Alopecurus myosuroides*): Theory and practice. Weed Technology, 21:300-309.
14- Mousavi M.R. 2001. Integrated weed management: principles and methods. Miaad Press. (in Persian)
15- Mousavi M. 2011. Weed control: principles and methods. Marze Danesh Press. (in Persian)
16- Pfister K., and Arntzen C.J. 1979. The mode of action of photosystem II-specific inhibitors in herbicide-resistant weed biotypes. Zeitschrift für Naturforschung C. 34:996-1009.
17- Poston D.H., Wilson H.P., and Hines T.E. 2000.Imidazolinone resistance in several *Amaranthus hybridus* populations. Weed Science, 48:508-513.
18- Ritz C., and Streibig J.C. 2005.Bioassay analysis using R. Journal of Statistical Software, 12:1-22.
19- Ryan G.F. 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. Weed Science, 18:614-616.
20- Salhoff C.R., and Martin A.R. 1986. *Kochia scoparia* growth response to triazine herbicides. Weed Science, 34:40-42.
21- Sayyad Mansour A. 2007. Investigating weed resistance to conventional herbicides in sugarcane fields. p. 78-87. Proceedings of the 2th Conference Sugar Cane Technologists, 17-18 Jan. 2007. Imam Khomeyni Plant and Industry company, Ahvaz, Iran.
22- Senseman S.A. 2007. Herbicide Handbook. Weed Science Society of America. Lawrence, USA.
23- Yirefu F., Tana T., Tafesse A., and Zekarias Y. 2013. Weed interference in the sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantations of Ethiopia. Agriculture, Forestry and Fisheries. 2:239-247.