Iranian Journal of Weed Science
Vol 18, No 2, 2022 (15-33)
DOI: 10.22092/IJWS.2022.359236.1415

مجله دانش علف‌های‌هرز
دورهٔ ۱۸، شمارهٔ ۲، ۱۴۰۱ (ص ۳۳-۱۵)

Tracing resistance of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) to Tribenuron methyl and evaluation of relative fitness of its susceptible and resistant ecotypes in Eslamabad-Gharb, Kermanshah

Marzieh Axhgar[1], Alireza Bagheri[2*], Iraj Nosratti[3], Pardis Broomandan[2]
Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.
(Received: September 11, 2021 - Accepted: December 9, 2021)

ABSTRACT

This study was conducted to determine the resistance, as well as the effect of temperature, drought and acidity on the relative fitness of wild mustard ecotypes. Sampling was performed from 313 rain-fed wheat farms in Eslamabad-Gharb located in Kermanshah. After sowing the seeds in the greenhouse, the seedlings were treated by the recommended dose (15 g.a.i. ha^{-1}) of Tribenuron methyl (granstrar) 75% WP in the 2-4 leaf stage and sensitive and resistant ecotypes of wild mustard were identified. The results of dose-response test (Tribenuron methyl concentrations: zero, 3.75, 7.5, 15, 30, 60, 120, 240, 480 g.a.i. ha^{-1}) showed that the amount of LD50 in the susceptible and the resistant ecotype were 22.2 7 and 39.85 g.a.i. ha^{-1}, respectively and the resistance index was 5.52 resistant ecotype. Susceptible ecotype at 20 and 25 ° C had higher germination percentage and vigor than resistant ecotype. In general, wild mustard was sensitive to reduction of soil osmotic potential, but the sensitivity of the resistant mass was higher than the susceptible ecotype. The highest germination percentage in both susceptible and resistant ecotypes was observed in slightly acidic to neutral pH (6 to 7) that the germination percentage of resistant ecotypes in this range was significantly higher than the susceptible ecotype. Considering the temperature conditions, drought stress of rain-fed fields and also the alkalinity of the soil in the study area, it seems that if the pressure caused by herbicide application is relieved, the susceptible ecotype will have more fitness to environment condition of studied region.

Keywords: ALS, germination, herbicide resistance.

پی‌جویی مقاومت خردل‌وحشی (*Sinapis arvensis* L.) به تری‌بنورون‌متیل و بررسی شایستگی نسبی توده‌های حساس و مقاوم آن در شهرستان اسلام‌آبادغرب، کرمانشاه

مرضیه اخگر[۱]، علیرضا باقری[۲*]، ایرج نصرت[۳]، پردیس برومندان[۲]
۱، ۲، ۳- به‌ترتیب دانش آموخته کترشناسی اگرواکولوژی، استادیار و دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۸)

چکیده

این مطالعه به‌منظور تعیین میزان مقاومت، تأثیر دما، خشکی و اسیدیته بر شایستگی نسبی توده‌های خردل‌وحشی اجرا گردید. نمونه¬برداری از ۳۱۳ مزرعه گندم دیم شهرستان اسلام‌آبادغرب در استان کرمانشاه انجام شد. پس از کشت بذور در گلخانه، گیاهچه¬ها توسط دز توصیه‌شده (۱۵ گرم ماده‌موثره در هکتار) تری‌بنورون‌متیل (گرانستار) ۷۵٪ WP در مرحله دو تا چهار برگی تیمار و توده‌های حساس و مقاوم شناسایی شدند. نتایج ارزیابی پاسخ توده‌های حساس و مقاوم به مقادیر مختلف علف‌کش (صفر، ۳/۷۵، ۷/۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۴۸۰ گرم ماده‌موثره در هکتار) نشان داد که مقدار LD50 در توده حساس ۷/۲۲ و در توده مقاوم ۳۹/۸۵ گرم ماده‌موثره تری‌بنورون‌متیل در هکتار بود و شاخص مقاومت توده مقاوم ۵/۵۲ به‌دست آمد. توده حساس در دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی و قوه‌نامیه بیشتری را نسبت به توده مقاوم داشت. به‌طورکلی خردل‌وحشی نسبت به کاهش پتانسیل اسمزی خاک حساس بوده، اما حساسیت توده مقاوم بیشتر از توده حساس بود. بیشترین درصد جوانه‌زنی در هر دو توده حساس و مقاوم در اسیدیته اندکی اسیدی تا خنثی (شش تا هفت) مشاهده شد که درصد جوانه‌زنی توده‌های مقاوم در این بازه به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده حساس بود. با توجه به شرایط دمایی، تنش خشکی مزارع دیم و همچنین قلیایی بودن خاک منطقه مورد مطالعه به‌نظر می‌رسد در صورت رفع فشار ناشی از مصرف علف‌کش، توده حساس از شایستگی بیشتری برخوردار خواهد بود.

کلمات کلیدی: استولاکتات‌سنتاز، جوانه‌زنی ، مقاومت به علکفش.

* Corresponding author E-mail: a.bagheri@razi.ac.ir

مقدمه

خردل‌وحشی (*Sinapis arvensis* L.) از تیره‌ی Brassicaceae، یکی از متداول‌ترین و شایع‌ترین علف‌های‌هرز غالب در کشتزارهای گندم است که سبب کاهش عملکرد و افزایش هزینه‌های تولید می‌گردد (Pawar, 2009) و در بسیاری از نقاط معتدل تا نیمه گرم‌سیر و حتی گرم سیر دنیا به‌عنوان علف‌هرز مهم درکشت‌های پاییزه و در بعضی مواقع بهاره مطرح است. متداول‌ترین روش مبارزه با علف‌های‌هرز در مزارع گندم کشور استفاده از علف‌کش‌های بازدارنده استولاکتات‌سینتاز (ALS) است. کم بودن میزان مصرف علف‌کش، ویژگی‌های محیط زیستی مناسب، پایین بودن سمیت برای پستانداران، خاصیت انتخاب گسترده در گیاهان زراعی و کارایی بالای آن‌ها و همچنین قیمت متناسب سبب محبوب شدن وسیع علف‌کش‌های بازدارنده ALS شده است (Aghajani *et al.*, 2009) تعداد پنج علف‌کش متعلق به بازدارنده‌های استولاکتات‌سینتاز برای مبارزه با علف‌های‌هرز پهن‌برگ مزارع گندم به ثبت رسیده است که از بین آن‌ها طی بیش از دو دهه گذشته علف‌کش تری‌بنورون‌متیل ($C_{15}H_{17}N_5O_6S$) بانام تجاری گرانستار از گروه سولفونیل اوره، متداول‌ترین علف‌کش مورداستفاده از این خانواده برای کنترل علف‌های‌هرز خردل‌وحشی بوده است (Gherekhloo and Zand, 2010). هم‌اکنون ۱۶۰ گونه علف‌هرز در سرتاسر دنیا و چهار گونه در ایران نسبت به این علف‌کش‌ها از خود مقاومت نشان داده‌اند (Heap, 2022). روند افزایش تعداد مزارع آلوده به علف‌های‌هرز مقاوم مانند یولاف وحشی (*Avena fatua* L.)، علف‌قناری (*Phalaris minor* Retz.)، چچم (*Lolioum temulentum* L.)، خردل‌وحشی (*Sinapis arvensis*) و شلمی (*Rapistrum rugosum* L.) مقاوم به علف‌کش‌ها در طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳، حاکی از افزایش مزارع آلوده به توده‌های مقاوم است (Sohrabi *et al.*, 2014). در ایران اولین گزارش از بروز مقاومت علف‌هرز خردل‌وحشی نسبت به علف‌کش‌های بازدارنده ALS مربوط به سال ۲۰۰۹ میلادی درکشت گندم زمستانه از استان گلستان بوده است (Heap, 2022). بروز مقاومت خردل‌وحشی به علف‌کش‌های بازدارنده ALS در استان‌های کرمانشاه، خوزستان نیز گزارش‌شده است (Lotfifar *et al.*, 2013). این امر بیانگر لزوم تحقیقات بیشتر جهت دستیابی به راهکارهای مناسب کنترلی براساس مدیریت تلفیقی است (Chauhan *et al.*, 2006).

یکی از راه‌کارهای مدیریت علف‌های‌هرز مقاوم به علف‌کش‌ها شناخت و مقایسه زیست‌شناسی و اکولوژی جمعیت‌های حساس و مقاوم به علف‌کش (Keshtkar *et al.*, 2019) و استفاده از آن در مدیریت جمعیت‌های مقاوم است (Ghorbani *et al.*, 1999). درنتیجه تکامل صفات مختلف زیست‌شناسی و بوم‌شناختی علف‌های‌هرز، شایستگی گونه‌ها در شرایط مختلف محیطی تکامل می‌یابد. تحت شرایط انتخاب طبیعی، توده‌های علف‌های‌هرزی که بیشترین شایستگی را داشته باشند افراد بیشتری را تولید می‌کنند و به خزانه ژنی تسلط پیدا می‌کنند (Khalil Tahmasbi *et al.*, 2017). مقاومت به علف‌کش روی صفات مربوط به شایستگی نسبی در گونه‌های علف‌هرز تحت شرایط محیطی مختلف دارای اثرات متنوعی است (Goss and Dyer, 2003; Sibony and Rubin, 2003; Gassmann and Futuyma, 2005; Lehnhoff *et al.*, 2013). درواقع، بروز مقاومت ممکن است برای گونه‌های مقاوم هزینه‌بر باشد. هزینه شایستگی مقاومت به علف‌کش در غیاب فشار انتخابی ناشی از مصرف علف‌کش نقش مهمی در فراوانی گونه‌های مقاوم به

علف‌کش دارد (Yanniccari *et al.*, 2016). تفاوت شایستگی موجود در میان جمعیت‌های مقاوم و حساس می‌تواند به علت تفاوت در توان زایایی، رشدی و رقابتی در واکنش به عوامل محیطی ازجمله سرما و خشکی باشد، ازاین‌رو مطالعه مراحل مربوط به استقرار گیاه ازجمله جوانه‌زنی یکی از روش‌های اندازه‌گیری شایستگی نسبی است (Maxwell *et al.*, 1990; Vangessel and Renner, 1990; Vila-Aiub, et *al.*, 2005).

شناسایی رفتار جوانه‌زنی بذور در طبیعت سبب دست‌یافتن به روش‌های کاربردی جهت کاهش بانک بذر علف‌های‌هرز در خاک می‌شود (Salimi and ghorbanali, 2001; Chauhan *et al.*, 2020). تعیین تفاوت‌هایی که در رفتار جوانه‌زنی توده‌های گوناگون علف‌هرز به‌چشم می‌آید، می‌تواند علت نیاز به روش‌های متفاوت مدیریت یک‌گونه علف‌هرز در نقاط گوناگون را توجیه کند (Pawar, 2009). اندازه‌گیری تفاوت شایستگی علف‌های‌هرز مقاوم و حساس به علف‌کش امکان طراحی راهکارهای مدیریت علف‌های‌هرز مقاوم به علف‌کش به‌منظور بهره‌برداری از صفاتی که سبب کاهش نمود اکولوژیکی می‌شود را فراهم می‌آورد (Khalil Tahmasbi *et al.*, 2017). ازاین‌رو مطالعه خصوصیات زیست‌شناختی توده‌های حساس و مقاوم در یک منطقه و تفاوت شایستگی نسبی بین این توده‌ها می‌تواند منجر به افزایش آگاهی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب گردد.

بنابراین هدف از این تحقیق بررسی شایستگی نسبی توده‌های علف‌های‌هرز مقاوم و حساس به علف‌کش تری‌بنورون‌متیل تحت تنش‌های محیطی در شرایط آزمایشگاهی برای پیش‌بینی جوانه‌زنی و رشد اولیه این گیاه در مزارع بود.

مواد و روش

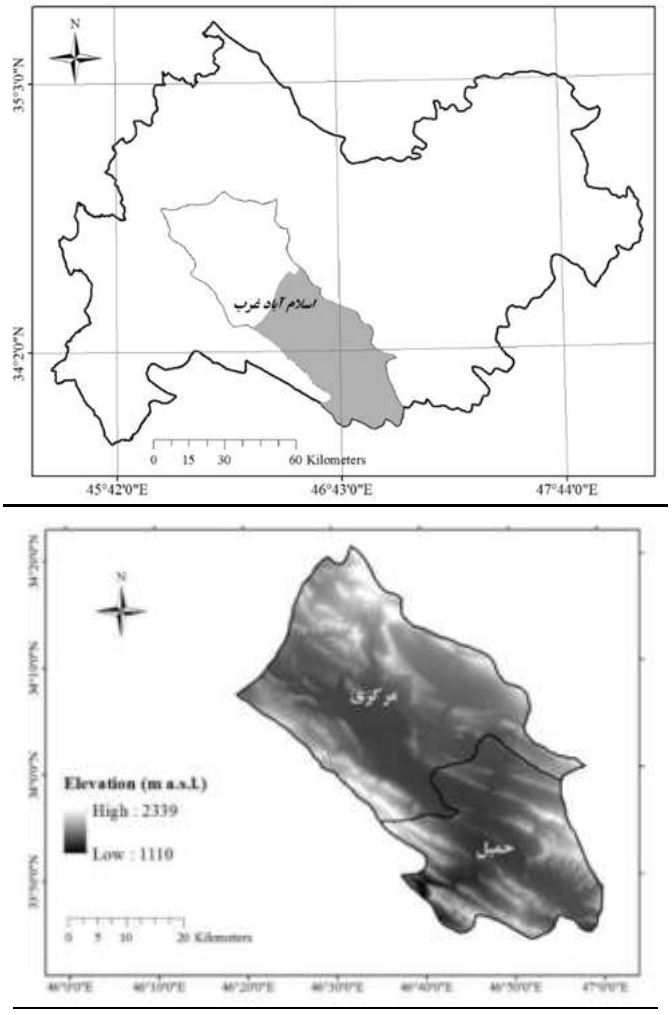
موقعیت جغرافیایی محل آزمایش

این آزمایش طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در دو بخش حمیل و مرکزی شهرستان اسلام‌آباد غرب در استان کرمانشاه با وسعت تقریبی دو هزار کیلومترمربع از طول جغرافیایی ٤٦ درجه و ۳۱ دقیقه تا ٤٦ درجه و ۹۷ دقیقه شرقی و از عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۷۳ دقیقه تا ۳٤ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی به اجرا درآمد. منطقه موردمطالعه محدوده ارتفاعی از ۱۱۱۰ تا ۲۳۳۹ متر از سطح دریا، دارای اقلیم معتدل مدیترانه‌ای و میانگین بارندگی سالانه ٤۵۳ میلی‌متر (داده‌های هواشناسی) بود (شکل ۱). نظر به عدم رضایت کشاورزان نسبت به کارآیی کنترل خردل‌وحشی، همچنین میزان مصرف بالای تری‌بنورون‌متیل، این منطقه جهت انجام آزمایش انتخاب شد.

نمونه‌برداری

بذور مربوط به توده‌های خردل‌وحشی از ۳۱۳ مزرعه در سطح شهرستان اسلام‌آباد غرب جمع‌آوری شد. قبل از نمونه‌برداری با استفاده از نرم‌افزار ArcMap براساس ارتفاع نواحی مختلف شهرستان از سطح دریا سه طبقه ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۱٤۰۰ متر، ۱٤۰۰ تا ۱٦۰۰ متر و ۱٦۰۰ تا ۱۹۰۰ متر مشخص و با توجه به اثر ارتفاع از سطح دریا بر پارامترهای اقلیمی، به‌منظور انجام نمونه‌برداری یکنواخت از مزارع، نمونه‌برداری در ارتفاعات مختلف از سطح دریا انجام گرفت. به‌این‌ترتیب ۹۲ مزرعه در ارتفاع ۱۲۰۰ تا ۱٤۰۰ متر، ۱۲۳ مزرعه در ارتفاع ۱٤۰۰ تا ۱٦۰۰ متر و ۹۸ مزرعه در ارتفاع ۱٦۰۰ تا ۱۹۰۰ متر از سطح دریا واقع بودند. جهت انجام نمونه‌برداری، با قدم زدن در مزارع بوته‌های خردل وحشی شناسایی و در پاکت‌های کاغذی جمع‌آوری شدند. نمونه‌برداری از هر مزرعه در یک تا سه هکتار مرکز آن مزرعه (بسته به مساحت

مزرعه) انجام گرفت تا اثر حاشیه‌ای به حداقل میزان خود برسد. به‌این‌ترتیب لکه‌های مربوط به این علف‌هرز در هر مزرعه شناسایی و سپس عملیات نمونه‌برداری طی مرحله رسیدگی دانه خردل‌وحشی از مرکز ۱۵ لکه انجام گرفت. با توجه به دامنه تأثیر علف‌هرز خردل‌وحشی و جهت جلوگیری از ایجاد همبستگی مکانی، فاصله بین مرکز لکه‌ها حداقل ۲۵ متر در نظر گرفته شد (Jurado-Expósito *et al.*, 2009). موقعیت جغرافیایی هر مزرعه نیز با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد.



شکل ۱. ناحیه موردمطالعه (به همراه ارتفاع از سطح دریا)

Figure 1. Study area (with altitude)

بررسی وجود مقاومت در نمونه‌ها

بذور جمع‌آوری شده جهت بررسی وجود یا عدم وجود مقاومت مورد آزمایش قرار گرفتند. ابتدا به‌منظور شکست خواب، بذرهای توده‌های جمع‌آوری‌شده به‌مدت دو هفته در یخچال با دمای پنج درجه سانتی‌گراد قرارگرفت و پیش از آزمایش جوانه‌زنی از شکست خواب بذور اطمینان حاصل شد (Sharifi and Goldani, 2016). قبل از انجام آزمایش غربالگری تعیین مقاومت به‌منظور جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی، بذور خردل‌وحشی توسط محلول هیپوکلریت سدیم پنج درصد به‌مدت دو تا سه دقیقه ضدعفونی شده و با آب مقطر شستشو داده شدند (Bagheri *et*

al., 2022). سپس تعداد ۱۵ بذر از نمونه‌ی بذری جمع‌آوری‌شده از هر مزرعه در گلدان‌هایی به قطر دهانه ۱۲ سانتی‌متر در گلخانه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کشت شدند. پس از سبز شدن گیاهچه‌ها تعداد ۱۰ بوته در هر گلدان نگه‌داشته شد و بقیه بوته‌ها حذف شدند. سم‌پاشی گلدان‌ها در مرحله دو تا چهار برگی خردل‌وحشی پس از محاسبه‌مقدار دز توصیه‌شده علف‌کش‌تری‌بنورون‌متیل به‌مقدار ۱۵ گرم در هکتار (۰/۰۵ گرم در مقدار دو لیتر آب)، کالیبراسیون با استفاده از سم‌پاش تلمبه‌ای دستی فشاری مارک رونیکس، دارای نازل مخروط پاش برای حجم پاشش ۲۵۰ لیتر در هکتار انجام شد. در هفته دوم و چهارم پس از سم‌پاشی، میزان خسارت به خردل‌وحشی به‌صورت چشمی و براساس سیستم درجه بندی استاندارد EWRC موردبررسی قرارگرفته و علف‌های‌هرزی که پس‌ازاین مدت همچنان زنده مانده و به رشد خود ادامه دادند به‌عنوان علف‌های‌هرز مقاوم در نظر گرفته شدند (Neve and Powles, 2005). به‌این‌ترتیب درصد مقاومت خردل‌وحشی به علف‌کش تری‌بنورون‌متیل در هر یک از مزارع موردبررسی مشخص شد. به‌منظور اطمینان از صحت نتایج، آزمایش گلخانه‌ای دو بار تکرار شد.

پس از شناسایی توده‌های حساس و مقاوم، به‌منظور ارزیابی درجه مقاومت این توده‌ها دامنه‌ای از چندین دز شامل صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ٤، ۸، ١٦، ۳۲ برابر دز توصیه‌شده از علف‌کش‌تری‌بنورون‌متیل ۷۵٪ WP با مقدار ماده مؤثر به‌ترتیب صفر، ۳/۷۵، ۷/۵، ۱۵، ۳۰، ٦۰، ۱۲۰، ۲٤۰، ٤۸۰ گرم در هکتار بر روی توده‌های حساس و مقاوم اعمال شد (Cirujeda *et al.*, 2001) و درصد جوانه‌زنی توده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. به‌این‌منظور در ابتدا بذور خردل‌وحشی پس از ضدعفونی با استفاده از هیپوکلریت سدیم پنج درصد در پتریدیش با قطر نه سانتی‌متر، حاوی یک‌لایه کاغذ صافی مرطوب در درون ژرمیناتور قرار گرفتند. پتری-دیش‌ها به‌مدت ۱۰ روز در ژرمیناتور با دمای ثابت (۲۵ درجه سانتی‌گراد) طول دوره‌ی روشنایی به تاریکی ۱۲:۱۲ نگه‌داری شدند (Zand *et al.*, 2007). در پایان آزمایش درصد جوانه زنی با درنظر گرفتن تعداد بذرهای جوانه‌زده نسبت کل بذر موجود در پتری‌دیش، ضرب در عدد ۱۰۰ محاسبه شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار به‌انجام رسید.

برای تجزیه آماری پاسخ توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی به دزهای مختلف علف‌کش با بهره گیری از نرم‌افزار Sigmaplot v.14 از مدل ارائه‌شده توسط ریتز و استرایبیگ (Ritz and Streibig, 2005) استفاده و منحنی‌های دز-پاسخ برازش داده شد (رابطه ۱).

رابطه ۱

$$y = \frac{d}{1+\exp\{b[\log(x)-\log(e)]\}}$$

در این معادله y، درصد جوانه‌زنی، x؛ دز علف‌کش، d؛ بالاترین حد واکنش توده (Max)، b؛ شیب‌خط منحنی در نقطه e (Slope) و e؛ دزی از علف‌کش که سبب ۵۰٪ مرگ جوانه‌زنی گیاهچه‌های توده‌ها می‌شود. این شاخص به‌طورمعمول در مورد وزن خشک به‌اصطلاح GR50 و در مورد تعداد به‌اصطلاح LD_{50} بیان می‌شود (ساسان فر و همکاران، ۱۳۸۸). پس از محاسبه LD_{50} شاخص مقاومت توده مقاوم به‌صورت نسبت LD_{50} توده مقاوم به LD_{50} حساس (RLD_{50}/SLD_{50}) به‌دست آمد (Beckie *et al.*, 2000).

ارزیابی خصوصیات جوانه‌زنی توده‌های حساس و مقاوم به علف‌کش در دماهای مختلف

پروتکل عمومی جوانه‌زنی در این آزمایش به این ترتیب بود که در هر تکرار ۲۰ عدد بذر از توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی ضدعفونی شده (با استفاده از هیپوکلریت سدیم ۵ درصد) در پتری دیش با قطر نه

سانتی‌متر، حاوی یک‌لایه کاغذ صافی مرطوب در ژرمیناتور قرار داده شده و در طول مدت آزمایش بذور جوانه‌زده هرروز شمارش و ثبت شدند.

آزمایش اثر تیمار دمایی بر جوانه‌زنی توده های حساس و مقاوم خردل‌وحشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. دماهای صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، و ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان تیمارهای آزمایش در نظر گرفته شدند. پس از آماده سازی بذور براساس پروتکل عمومی جوانه‌زنی (ذکر شده در بالا)، پتری دیش ها در ژرمیناتور با دماهای ذکرشده قرار گرفتند و خصوصیات جوانه‌زنی آن‌ها موردبررسی قرار گرفت. این آزمایش دو بار تکرار شد.

ارزیابی خصوصیات جوانه‌زنی توده‌های حساس و مقاوم به علف‌کش در خشکی‌های مختلف

برای ایجاد پتانسیل‌های اسمزی مختلف و در نتیجه تنش خشکی از پلی‌اتیلن گلیکول (PEG۶۰۰۰، تولید شرکت مرک آلمان) (Michel, 1983) در آب مقطر استفاده شد. پتانسیل‌های خشکی به ترتیب صفر، ۰/۱- ، ۰/۲-، ۰/٤-، ۰/٦-، ۰/۸-، ۱-، ۱/۲- مگا پاسکال، بود. انجام این آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و با چهار تکرار بود. پروتکل عمومی جوانه‌زنی در این آزمایش همانند آزمایش اثر تیمارهای دمایی انجام شد. این آزمایش دو بار تکرار شد.

ارزیابی خصوصیات جوانه‌زنی توده‌های حساس و مقاوم به علف‌کش در pH مختلف

به‌منظور مطالعه اثرات pH، محلول‌های با مقادیر pH معادل چهار، پنج، شش، هفت، هشت، نه و ده با استفاده از ترکیب هیدروکسید سدیم یک مولار و اسیدکلریک یک مولار تهیه و بر توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی اعمال شدند. از دستگاه pH متر به‌منظور اندازه‌گیری دقیق اسیدیته استفاده شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با چهار تکرار انجام شد. این آزمایش دو بار تکرار شد. آماده سازی بذور براساس پروتکل عمومی جوانه‌زنی صورت گرفت.

در آزمایش‌های مربوط به اثر دما، تنش خشکی و pH بر خصوصیات جوانه‌زنی خردل‌وحشی در طول مدت آزمایش بذور جوانه‌زده هرروز شمارش و ثبت‌شده و بر این اساس درصد جوانه‌زنی (رابطه ۲) و سرعت جوانه‌زنی (رابطه ۳) محاسبه شد. در انتهای آزمایش نیز طول ریشه‌چه و ساقه چه اندازه‌گیری شد که برای محاسبه شاخص بنیه بذر مورداستفاده قرار گرفت (رابطه ٤).

$$GP = \left(\frac{N_i}{N}\right) \times 100$$ رابطه ۲

که در آن GP؛ درصد جوانه‌زنی، Ni؛ تعداد بذور جوانه‌زده تا روز i و N؛ تعداد کل بذور مورد آزمایش است (Datta and Dayal, 1991).

$$GR = \sum \left({N_i}/{D_i}\right)$$ رابطه ۳

که در آن GR؛ سرعت جوانه‌زنی، Ni؛ تعداد بذور جوانه‌زده تا روز i و Di؛ تعداد روز پس از شروع آزمایش است (Agrawal, 2004).

$$Vi = GP \times (rl + sl)$$ رابطه ٤

که در آن Vi؛ شاخص بنیه بذر، rl؛ طول ریشه‌چه برحسب میلی‌متر و sl؛ طول ساقه چه برحسب میلی‌متر است (Vashisth and Nagarajan, 2010).

محاسبات آماری

به‌منظور تجزیه‌های آماری، ابتدا از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف –اسمیرنوف نرم‌افزار SPSSV.23 اطمینان حاصل شد. سپس با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار SAS v.9.1.3 تجزیه واریانس (ANOVA) انجام شد. با توجه به معنی‌دار بودن دفعات آزمایش در برخی صفات، اثر دفعات آزمایش و همچنین اثر متقابل آن با فاکتورهای آزمایشی مورد تجزیه قرار گرفت. مقایسه میانگین اثرات ساده با

استفاده از روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و اثرات متقابل با محاسبه خطای استاندارد (Standard Error) صورت انجام گرفت. در آزمایش بررسی اثر تنش خشکی بر خصوصیات جوانه‌زنی، برای انجام تجزیه های پس از ANOVA، با توجه به پیوستگی و همچنین روند دار بودن داده، به منظور بررسی دقیق تر اثرات متقابل از روش تجزیه رگرسیون استفاده شد. به این ترتیب انتخاب مدل براساس بالاترین ضریب تبیین (R^2) انجام شد.

نتایج و بحث

آمار توصیفی مقاومت مشاهده شده در مزارع مورد بررسی

نتایج نشان داد که در ٤٨/٩ درصد از مزارع مورد بررسی، بیش از ۲۰ درصد جمعیت خردل‌وحشی به علف‌کش تری‌بنورون‌متیل مقاومت نشان دادند. براساس این نتایج، در صورت ادامه استفاده پی در پی از علف‌کش‌های بازدارنده ALS به ویژه تری‌بنورون‌متیل افزایش سریع درصد جمعیت توده مقاوم خردل‌وحشی مورد انتظار است. در این آزمایش، بذور جمع‌آوری شده از مزارع با بیش از ۸۰ درصد مقاومت مشاهده شده به عنوان توده مقاوم و بذور جمع‌آوری شده از مزارع بدون مقاومت، به عنوان توده حساس در نظر گرفته شدند.

جدول ۱- درصد مقاومت مشاهده شده در مزارع مورد بررسی

Table 1- The percentage of observed resistance in the studied fields

Recorded resistance	Number of fields	Proportion of fields (%)	Cumulative Proportion (%)
100	12	3.8	3.8
90 to 99	2	0.6	4.5
80 to 89	2	0.6	5.1
70 to 79	11	3.5	8.6
60 to 69	14	4.5	13.1
50 to 59	20	6.4	19.5
40 to 49	30	9.6	29.1
30 to 39	30	9.6	38.7
20 to 29	44	14.1	52.7
10 to 19	24	7.7	60.4
0 to 9	124	39.6	100.0

پاسخ جوانه‌زنی توده‌های حساس و مقاومت خردل‌وحشی به مقادیر مختلف تری‌بنورون‌متیل

بررسی پارامترهای مدل نشان داد که مقدار LD_{50} در توده حساس ٦/٧٣ و در توده مقاوم ۳۷/۲۵ گرم ماده مؤثرتری‌بنورون‌متیل در هکتار بود. شاخص مقاومت یا نسبت LD_{50} توده‌های مقاوم به توده‌های حساس معادل ۵/۵۰ بود (جدول ۲). به‌بیان‌دیگر ۵/۵۲ برابر غلظت بیشتر برای بازداری از جوانه‌زنی ۵۰ درصد بذور خردل‌وحشی مقاوم به تری‌بنورون‌متیل نسبت به توده حساس لازم است. نتایج آزمایش حاتمی مقدم و همکاران (Hatami Moghaddam *et al.*, 2016) در بررسی درجه مقاومت توده حساس و مقاوم خردل‌وحشی و شلمی به دو روش سنجش پاسخ گیاه کامل به دزهای مختلف علف‌کش تری‌بنورون‌متیل و زیست سنجی گیاهچه در پتری دیش، دریافتند که درجه مقاومت به‌دست آمده از آزمایش‌های گلخانه‌ای

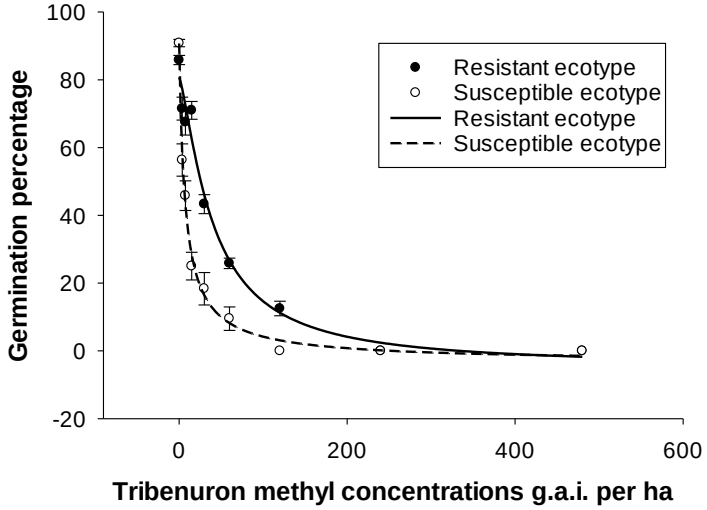
برای توده‌های مقاوم خردل‌وحشی بین ۲/۲۲ تا ۱٦/۷۷ و برای شلمی حدود ۲/۵ تا ٦/۵۹ بود. در روش زیست سنجی گیاهچه در پتری دیش درجه مقاومت کمی بالاتر و به ترتیب برای خردل‌وحشی و شلمی بین ۲/۳۰ تا ۱۷/٤۷ و ۲/۸٦ تا ۹/۵٦ بود، با این حال همبستگی بالایی بین درجات مقاومت به‌دست آمده از روش گلخانه ای و آزمایشگاهی مشاهده شد.

نتایج نشان دادند که با افزایش غلظت علف‌کش از میزان جوانه‌زنی هر دو توده حساس و مقاوم به تری‌بنورون‌متیل کاسته شد. در یک مطالعه نشان داده شد کـه طـول هیپوکوتیل و ریشه‌چه گیاهچه‌های سلمه (*Chenopodium album* L.) با افزایش غلظت علف‌کش دیکامبا کاهش یافت (Ghanizadeh *et al.*, 2015). عکس‌العمل توده‌های مقاوم در مقایسه با توده حساس کمتر بود، به‌طوری‌که بیشترین درصد جوانه‌زنی در توده مقاوم مربوط به غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲ و درصد جوانه‌زنی در غلظت‌های ۱٦ و ۳۲ به صفر رسید. در توده حساس نیز بیشترین جوانه‌زنی در تیمار شاهد و غلظت ۰/۲۵ اتفاق افتاد و از غلظت ۰/۵ برابر دز توصیه‌شده به بعد جوانه‌زنی به‌شدت کاهش یافت و در غلظت‌های ۸، ۱٦ و ۳۲ به صفر رسید (شکل ۲).

جدول ۲. پارامترهای برآورد شده از برازش تابع لجستیک سه پارامترِ درصد جوانه‌زنی توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی تحت تأثیر دزهای مختلف علف‌کش تری‌بنورون‌متیل

Table 2. Estimated parameters of the standard logistic function of germination percentage for susceptible and resistant wild mustard ecotypes influenced by different doses of the Tribenuron methyl

Ecotype		Coefficient	Std. Error	P-value	R^2
Susceptible	Max	90.44	2.95	<0.0001	0.996
	LD_{50}	6.73	0.70	<0.0001	
	Slope	2.40	0.22	<0.0001	
Resistant	Max	79.25	4.14	<0.0001	0.989
	LD_{50}	37.04	5.57	0.001	
	Slope	3.63	0.70	0.002	



شکل ۲- پاسخ درصد جوانه‌زنی توده‌های خردل‌وحشی در مقابل غلظت‌های مختلف علف‌کش‌تری‌بنورون‌متیل

Figure 2 - The germination response of wild mustard ecotypes affected by various doses of Tribenuron methyl

تأثیر دما

تیمار دمایی اثر معنی‌داری را روی درصد، سرعت جوانه‌زنی و بنبه بذر داشت. علاوه بر این اثر متقابل حساسیت توده به علف‌کش و دما نیز روی صفات ذکر شده معنی‌دار بود. (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف دما (میانگین مربعات) بر خصوصیات جوانه‌زنی خردل‌وحشی

Table 3- Analysis of variance of the effect of different temperature treatments (mean squares) on germination characteristics of wild mustard

SOV	df	Germination percent	Germination rate	Seed vigor
Test run (R)	1	3.75 ns	0.030 ns	164850 ns
Susceptibility to herbicide (A)	1	0.42 ns	0.075 ns	70232620**
Temprature (B)	4	2105.63**	4.468**	90233384**
R*A	**1**	33.75 ns	0.022 ns	44010 ns
R*B	**4**	6.88 ns	0.012 ns	262130 ns
A*B	4	141.04**	0.136**	8564939**
R*A*B	4	9.79 ns	0.039 ns	851879 ns
Error	40	20	0.030	1912084
CV	--	6.23	5.76	24.82

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns Non significant, * and ** Significance at probability levels of 0.05 and 0.01

تغییرات درصد جوانه‌زنی در توده حساس بیشتر از توده مقاوم بود. به‌این‌ترتیب که در دماهای ۵ و ۱۰ درجه درصد جوانه‌زنی توده حساس کمتر از توده مقاوم بود، در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد برابر و در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی توده حساس به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده مقاوم ثبت شد (شکل ۳). حداقل درصد جوانه‌زنی در هر دو توده موردمطالعه در دمای پنج درجه سانتی‌گراد و بیشترین درصد جوانه‌زنی در دامنه دماهای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد رخ داد. موتی و همکاران (Mutti *et al.*, 2019) گزارش کردند در هر دو توده حساس و مقاوم علف‌هرز *Echinochloa colona* L. جوانه‌زنی در دمای بالا بیشتر از دمای پایین بود. ییلماز و آکسوی (Yilmaz and Aksoy, 2007) دمای ۲۵ درجه سانتیگراد را مناسب‌ترین دما برای جوانه‌زنی ترشک (*Rumex scutatus* L.) گزارش کردند. نصرتی و همکاران (Nosratti *et al.*, 2017) نشان دادند که جوانه‌زنی گل گندم (*Centaurea balsamita* Lam.) در طیف وسیعی از دماها رخ می‌دهد (از پنج تا ۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد) ولی بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد دیده شد. با توجه به نتایج بدست آمده، درصورتی‌که فشار ناشی از کاربرد علف‌کش‌های بازدارنده ALS برداشته شود، احتمالاً حضور بیوتیپ حساس به دلیل بالاتر بودن درصد جوانه‌زنی در شرایط دمایی فصل رشد نسبت به بیوتیپ مقاوم، افزایش خواهد یافت که این منجر به استقرار بیشتر و سریع‌تر

آن در اکوسیستم شده که می‌تواند یکی از عوامل موفقیت رقابت این توده با توده مقاوم باشد.

بررسی سرعت جوانه‌زنی توده‌های حساس و مقاوم در هریک از سطوح تیمار دمایی نشان داد که تأثیرپذیری توده حساس در مقابل تغییرات دما بیشتر از توده مقاوم بود، به‌طوری‌که در دماهای پایین سرعت جوانه‌زنی توده حساس کمتر اما در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرعت جوانه‌زنی توده حساس به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده مقاوم بود. سرعت جوانه‌زنی توده‌های مقاوم در دمای ۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده حساس بود. در هر دو توده با افزایش دما سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت (شکل ۳). در آزمایش اولیویرا و نورثورثی (Oliveira and Norsworthy, 2006) دمای بهینه در توده‌های حساس کاسیا (*Cassia occidentals* L.) ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شد. آستانه‌ی دمای پایین و بالای جوانه‌زنی کاسیا در توده‌های مقاوم به ترتیب ۱۰ و ٤۵ ثبت شد. آنها نتیجه گرفتند که با بالا رفتن درجه حرارت و رسیدن به دمای مطلوب، سرعت جوانه‌زنی بیوتیپ حساس افزایش‌یافته و این مسئله دربسته شدن سریع کانونی توسط این بیوتیپ بسیار مؤثر است. با توجه به نتایج حاصله به‌نظر می‌رسد که توده‌های حساس و مقاوم در شرایط دمایی فصل رشد (سرعت جوانه‌زنی بیشتر توده مقاوم در دمای ۲۰ و توده حساس در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) در مناطق مختلف می‌توانند پاسخ متفاوت داشته باشند. به‌طوری‌که در صورت برداشته شدن فشار انتخاب ناشی از کاربرد علف‌کش؛ در مناطق گرم گونه حساس و در مناطق خنک‌تر گونه‌های مقاوم می‌توانند با سرعت جوانه‌زنی بیشتر در مراحل ابتدای رقابت دست برتر را داشته باشند.

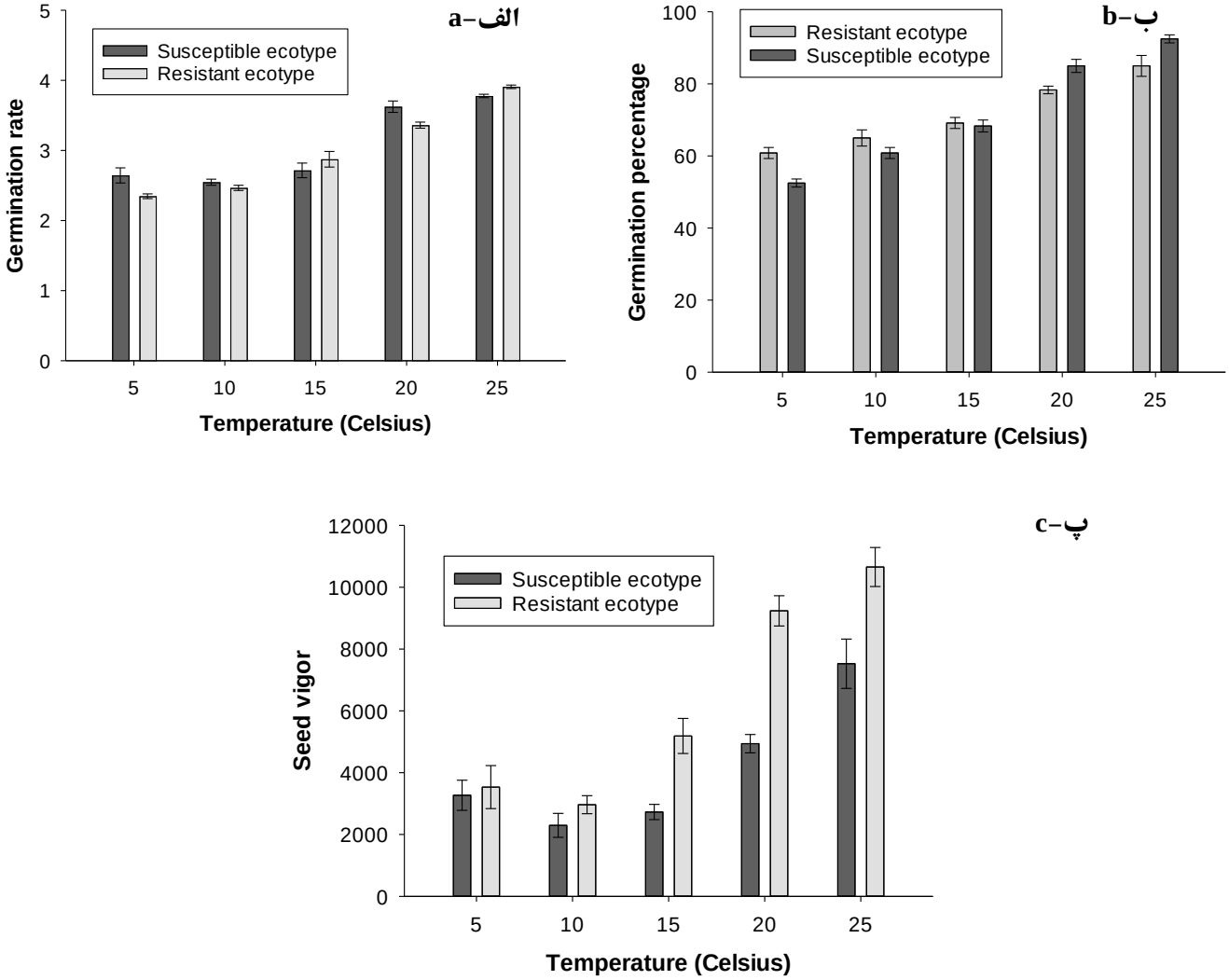
بنیه بذر توده‌های حساس نسبت به توده‌های مقاوم در در تمامی تیمارهای دمایی بیشتر بود (شکل ۳). این در حالی است که درصد جوانه‌زنی توده مقاوم در برخی تیمارهای دمایی بیشتر از توده حساس است. با توجه به استفاده از داده‌های مربوط به طول ریشه چه و ساقه چه در کنار درصد جوانه‌زنی در محاسبه بنیه بذر، نتایج حاصل نشان می دهد که طول ریشه چه و ساقه چه در توده حساس در دماهای مختلف بیشتر از توده مقاوم بوده است. این امر نشان‌دهنده آن است که در دمای فصل رشد منطقه موردمطالعه در صورت حذف فشار انتخاب ناشی از علف‌کش‌های ممانعت کننده از ALS، توده حساس از نظر بنیه بذر برتر از توده مقاوم بوده و می‌تواند براساس جوانه‌زنی و استقرار بهتر و غالبیت داشته باشد. به‌طورکلی نتایج حاصل از بررسی اثر دما بر جوانه‌زنی توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی نشان داد که ازنظر دمایی، توده حساس سازگاری بیشتری براساس خصوصیات جوانه‌زنی داشته و می‌تواند در شرایط عدم فشار انتخاب علف‌کش ازنظر جوانه‌زنی و استقرار، بهتر عمل کرده و شروع رقابت بهتری را نسبت به توده مقاوم داشته باشد.

اثر تنش خشکی

تغییر سطوح پتانسیل اسمزی به‌صورت معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه زنی و بنیه بذر تاثیرگذار بود. علاوه بر این صفات ذکر شده در توده‌های حساس و مقاوم با یکدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. اثر متقابل توده در پتانسیل اسمزی بر صفات درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر معنی‌دار بودند. علاوه بر این اثر دفعات آزمایش نیز معنی‌دار بود (جدول ٤) که این امر نشان‌دهنده تنوع بذور توده‌های مورد مطالعه در پاسخ به تنش خشکی بود.

با افزایش تنش خشکی ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی، درصد جوانه‌زنی به‌صورت لجستیک کاهش یافت (شکل ٤ و جدول ۵). توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی حداکثر جوانه‌زنی را در پتانسیل صفر مگا پاسکال داشتند و درصد جوانه‌زنی در توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی در پتانسیل‌های ۰/۸-، ۱-، ۱/۲-

مگا پاسکال معادل صفر بود. در پتانسیل ۰/٤- تا ۱/۲- مگا پاسکال روند جوانه‌زنی در کلیه‌ی توده‌ها به‌شدت کاهش پیدا کرد؛ اما این کاهش در توده‌های مقاوم بیشتر بود که این نشان‌دهنده حساسیت بیشتر توده‌های مقاوم به کاهش پتانسیل اسمزی و خشکی خاک است.



شکل ۳- درصد جوانه‌زنی (الف)، سرعت جوانه‌زنی (ب) و بنیه بذر (پ) توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی در دماهای مختلف

Figure 3- Percentage of germination (a), germination rate (b) and seed vigor (c) of susceptible and resistant ecotypes of wild mustard at different temperatures

تنش خشکی ممکن است جوانه‌زنی را به تأخیر بیندازد، کم کند و یا کاملاً از آن ممانعت کند (Oliveira and Norsworthy, 2006). کاهش درصد جوانه‌زنی ناشی از تنش خشکی توسط محققان مختلف گزارش‌شده است (Alvarado and Bradford, 2002) نتایج به‌دست‌آمده توسط افراد دیگر، بیانگر کاهش خطی درصد جوانه‌زنی بذور گالیوم (*Galium tricornutum* Dandy) با کاهش پتانسیل اسمزی بود (Ghorbani *et al.*, 1999; Chauhan *et al.*, 2006) اختلاف در درصد جوانه‌زنی بیوتیپ‌های حساس و مقاوم به علف‌کش ممکن است کاربرد عمده‌ای در مدیریت مزارع آلوده به جمعیت‌های مقاوم

و بقای آن‌ها در مزرعه داشته باشد (Kremer and Lotz, 1998). اگر بذر به دلیل کاهش پتانسیل آب خاک توانایی جذب آب از محیط اطراف خود را نداشته باشد، حتی در شرایط دمایی مناسب نیز قادر به جوانه‌زنی نخواهد بود (Bradford, 2002).

سرعت جوانه‌زنی با افزایش پتانسیل اسمزی کاهش یافت. بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد و پس‌ازآن در تیمارهای با پتانسیل اسمزی ۰/۱- و ۰/۲- مگا پاسکال مشاهده شد. از پتانسیل اسمزی ۰/٤- مگا پاسکال شدت کاهش سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و در تیمار ۱- و ۱/۲- مگا پاسکال به صفر رسید.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف تنش خشکی (میانگین مربعات) بر خصوصیات جوانه‌زنی خردل‌وحشی

Table 4 - Analysis of variance of the effect of different drought stress treatments (square mean) on germination characteristics of wild mustard

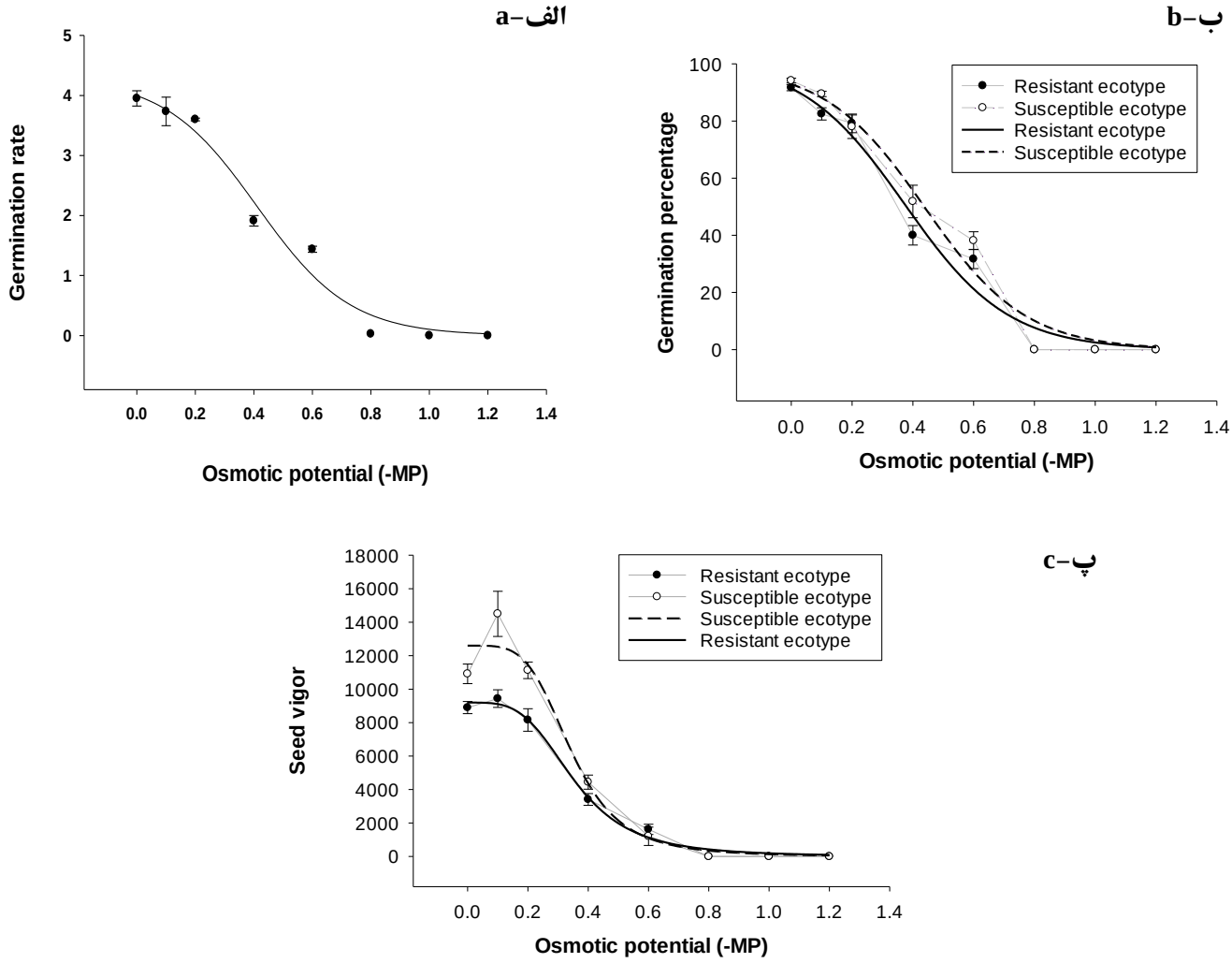
SOV	df	Germination percent	Germination rate	Seed vigor
Test run	1	726.00**	0.479**	957002 ns
Susceptibility to herbicide (A)	1	266.67**	0.302**	42646669**
Osmotic potential (B)	7	19240.60**	36.639**	312001288**
R*A	1	6.00 ns	0.030 ns	1710669 ns
R*B	7	159.14**	0.076 ns	1320609 ns
A*B	7	64.29*	0.041 ns	10930603*
R*A*B	7	15.57 ns	0.062 ns	637014 ns
Error	64	16.15	0.038	1302753
CV	--	9.50	10.63	24.47

ns ، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns Non significant, * and ** Significance at probability levels of 0.05 and 0.01

نتایج بررسی‌های سهرابی و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که سرعت و درصد جوانه‌زنی بذور علف‌هرز مهاجم خربزه وحشی (*Cucumis melo* L.) با کاهش پتانسیل آب کاهش یافت.

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون نشان داد که تأثیرپذیری بنیه بذر تحت تاثیر تنش خشکی به‌صورت یک تابع لجستیک بود (شکل -٤ و جدول ٦). نتایج نشان داد که تغییر پذیری توده حساس در برابر تغییرات تنش خشکی بیشتر بود . میزان بنیه بذور توده حساس در پتانسیل‌های اسمزی صفر، ۰/۱- و ۰/۲- مگا پاسکال چندان تحت تأثیر قرار نگرفت. این در حالی بود که بنیه بذور توده مقاوم به‌طور معنی‌داری در پتانسیل‌های اسمزی ذکرشده کمتر بود. از پتانسیل اسمزی ۰/۲- تا ۰/۸- مگا پاسکال در هر دو توده، کاهش شدید در قوه‌نامیه بذر دیده شد و در پتانسیل‌های ۱- و ۱/۲- به صفر رسید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به‌طورکلی خردل‌وحشی نسبت به کاهش پتانسیل اسمزی خاک حساس بوده اما حساسیت توده مقاوم بیشتر از توده حساس به علف‌کش بود. این امر می‌تواند در شرایط اقلیمی منطقه موردمطالعه و با توجه به دیم بودن مزارع موردبررسی و وجود تنش خشکی در جهت کاهش توده‌های مقاوم خردل‌وحشی به علف‌کش‌تری‌بنورون‌متیل امیدبخش باشد. به‌طوری‌که در صورت رفع فشار انتخاب ناشی از کاربرد علف‌کش شرایط اقلیمی و رطوبت خاک می تواند محدودیت بیشتری را برای توده‌های مقاوم به علف‌کش ایجاد کرده و کاهش شایستگی نسبی این توده‌ها را به دنبال داشته باشد.



شکل ٤- درصد جوانه‌زنی (الف)، سرعت جوانه‌زنی (ب) و بنیه بذر (پ) توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی تحت تأثیر تنش خشکی

Figure 4. Percentage of germination (a), germination rate (b) and seed vigor (c) of susceptible and resistant ecotypes of wild mustard under drought stress

جدول ٥. پارامترهای برآورد شده از برازش تابع لجستیک سه پارامتر درصد جوانه‌زنی توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی تحت تأثیر تنش خشکی

Table 5. Estimated parameters of the logistic function of germination percentage for susceptible and resistant wild mustard ecotypes influenced by drought stress

Ecotype		Coefficient	Std. Error	P-value	R^2
حساس	**a**	101.69	15.35	0.001	0.988
	b	-0.17	0.05	0.018	
	x0	0.37	0.08	0.005	
مقاوم	**a**	99.41	11.41	0.000	0.989
	b	-0.17	0.05	0.015	
	x0	0.44	0.06	0.001	

جدول ٦. پارامترهای برآورد شده از برازش تابع لجستیک سه پارامترِ بنیه بذر توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی تحت تأثیر تنش خشکی

Table 6. Estimated parameters of the logistic function of seed vigor for susceptible and resistant wild mustard ecotypes influenced by drought stress

Ecotype		Coefficient	Std. Error	P-value	R^2
Susceptible	a	12601.47	843.12	<0.0001	0.986
	b	4.24	1.53	0.040	
	x0	0.34	0.04	0.000	
Resistant	a	9198.49	268.60	<0.0001	0.997
	b	3.68	0.50	0.001	
	x0	0.35	0.02	<0.0001	

تأثیر اسیدیته

نتایج نشان داد که اسیدیته اثر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر داشت. علاوه بر این سرعت و درصد جوانه‌زنی در بین توده‌های حساس و مقاوم تفاوت معنی درای را نشان داد. همچنین اثر متقابل توده در سطوح اسیدیته نیز بر صفات درصد جوانه‌زنی و بنیه بذر معنی‌دار بود (جدول ۷).

با افزایش اسیدیته از پنج، درصد جوانه‌زنی بذر توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی افزایش یافت و در اسیدیته شش تا هشت بیشترین جوانه‌زنی ثبت شد. در اسیدیته ۱۰ نیز حداقل درصد جوانه‌زنی در هر دو توده مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد اگرچه علف‌هرز خردل‌وحشی در دامنه‌ی وسیعی از pH خاک قادر به جوانه‌زنی است اما اسیدیته خنثی تا اندکی اسیدی و قلیایی را ترجیح می‌دهد. البته واکنش مثبت هر دو توده در pH اسیدی بیشتر از قلیایی بود. نتایج تحقیقات گذشته نیز نشان دادند که بذور تلخ‌بیان در طیف وسیعی از مقادیر اسیدیته جوانه می‌زنند که این امر نشان‌دهنده‌ی توانایی این گیاه برای جوانه‌زنی در طیف گسترده‌ای از شرایط اسیدیته خاک و نفوذ به زیستگاه‌های مختلف است (Nosratti *et al.*, 2018; Pierce *et al.*, 1999; Susko *et al.*, 1999). به‌طورکلی نتایج این آزمایش نشان از تغییرات بیشتر توده مقاوم نسبت به تغییرات اسیدیته داشت (شکل ۵) علاوه بر این درصد جوانه‌زنی توده مقاوم در اسیدیته چهار تا هشت بیشتر از توده حساس بود. سرعت جوانه‌زنی توده‌های مقاوم در مقادیر مختلف اسیدیته معادل ۲/۲۵ و به‌طور معنی‌داری بیشتر از سرعت جوانه‌زنی توده حساس (با مقدار ۲/۰٤) بود. به‌طورکلی بیشترین سرعت جوانه‌زنی توده‌ها در اسیدیته ٦ و پس‌ازآن در اسیدیته ۷ مشاهده شد. در دامنه‌های کمتر و بیشتر از اسیدیته ٦ و ۷ از سرعت جوانه‌زنی کاسته و در اسیدیته ۱۰ به کمترین مقدار خود رسید (شکل ۵). به‌طورکلی سرعت جوانه‌زنی در اسیدیته اسیدی عکس‌العمل بهتری را در مقایسه با اسیدیته بازی نشان داد. سوسکو و حسین (Susko and Hussein, 2008) گزارش کردند درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر نوعی شب بو (*Hesperis matronalis*) در اسیدیته بیشتر از نه و کمتر از چهار کاهش یافت.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف اسیدیته (میانگین مربعات) بر خصوصیات جوانه‌زنی توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی

Table 7 - Analysis of variance of the effect of different acidity treatments (mean square) on germination characteristics of susceptible and resistant wild mustard ecotypes

SOV	df	Germination percent	Germination rate	Seed vigor
Test run	1	58.33**	0.019 ns	29232 ns
Susceptibility to herbicide (A)	1	385.71**	0.901**	1111590 ns
Osmotic potential (B)	6	4870.14**	5.840**	37916385**
R*A	1	0.00 ns	0.022 ns	65576 ns
R*B	6	4.86 ns	0.012 ns	284380 ns
A*B	6	46.13**	0.093 ns	5471199**
R*A*B	6	3.47 ns	0.017 ns	382905 ns
Error	56	6.25	0.052	818237
CV	--	4.91	10.65	23.34

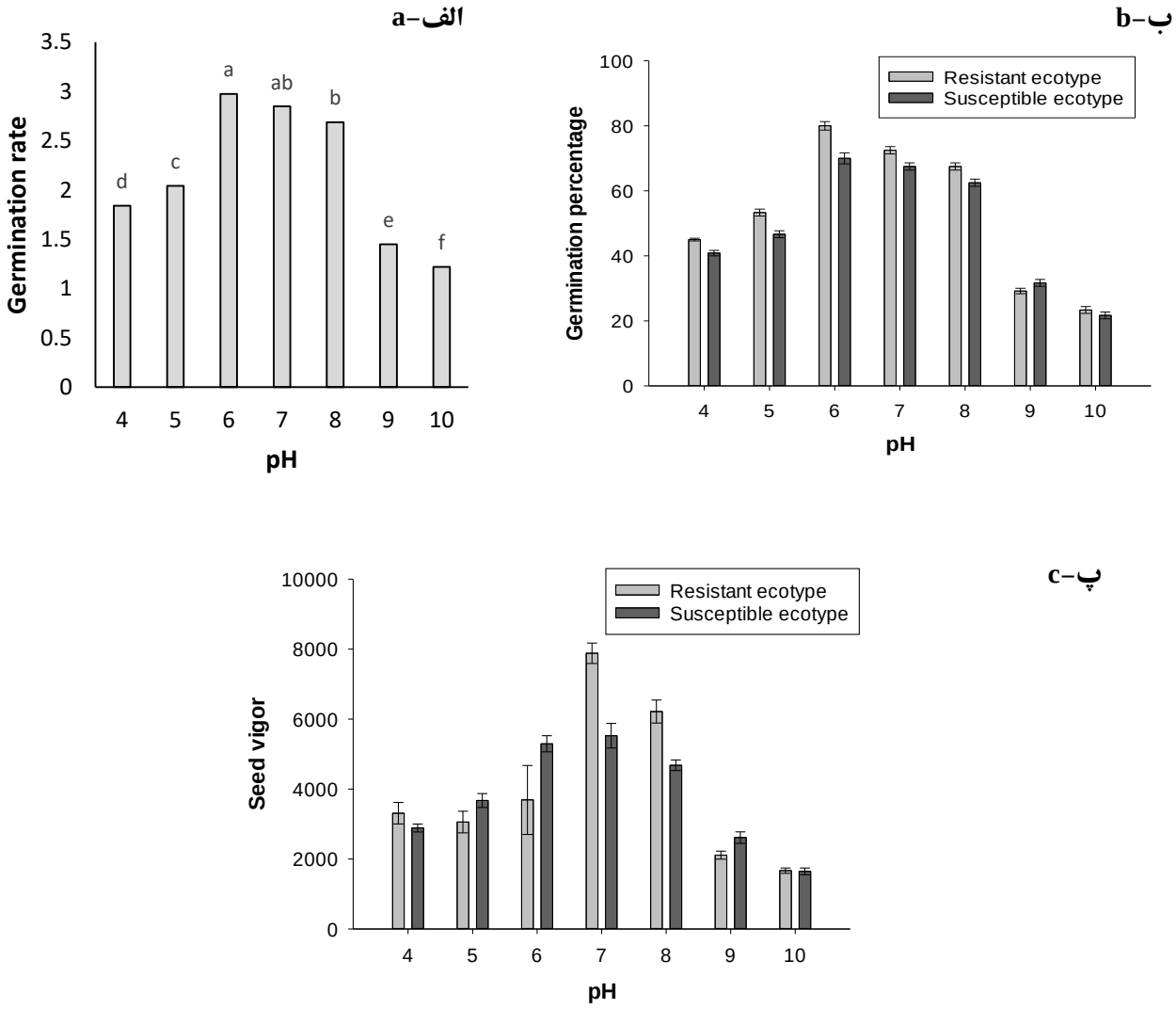
ns ، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns Non significant, * and ** Significance at probability levels of 0.05 and 0.01

بنیه بذور توده مقاوم تغییرات بیشتری را در سطوح مختلف اسیدیته نشان داد و این نشان از تاثیر پذیری بیشتر بنیه بذر این توده در مقابل تغییرات اسیدیته است (شکل ۵). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین بنیه بذور توده حساس در اسیدیته شش و هفت و بیشترین بنیه بذر توده مقاوم در اسیدیته هفت و هشت مشاهده شد. در اسیدیته شش قوه‌نامیه توده‌های حساس به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده مقاوم و در اسیدیته هفت و هشت قوه‌نامیه توده مقاوم به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده حساس بود (شکل ۵). این نتایج نشان می‌دهد که در خاک‌های با pH نسبتاً اسیدی توده‌های حساس و در خاک‌های با اسیدیته خنثی و نسبتاً بازی توده‌های مقاوم قوه‌نامیه بالاتر را خواهند داشت.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان اظهار داشت با توجه به اینکه گندم از محصولات عمده این مناطق بوده و این مزارع به‌طور مداوم مورد کشت گندم واقع‌شده و کاربرد علف‌کش‌ها به‌ویژه علف‌کش‌های بازدارنده آنزیم ALS برای مبارزه با علف‌های‌هرز شایع‌ترین روش برای کنترل علف‌های‌هرز ازجمله خردل‌وحشی است، می‌توان انتظار داشت که مقاومت به علف‌کش‌های این خانواده رو به گسترش باشد. علف‌کش‌های بازدارنده ALS جزء علف‌کش‌های پرخطر دسته‌بندی می‌شوند و استفاده پی در پی از آنها پس از چهار تا پنج سال سبب بروز پدیده مقاومت می‌گردد. بنابراین، شناسایی دقیق مزارع آلوده به این علف‌های‌هرز و اتخاذ استراتژی مناسب می‌توان راهبردهای مناسبی برای مدیریت مقاومت به به این علف‌کش‌ها باشد. یکی دیگر از راه‌کارهای مدیریت علف‌های‌هرز مقاوم به علف‌کش‌ها شناخت و آگاهی از زیست‌شناسی و اکولوژی (شایستگی) جمعیت‌های مقاوم نسبت به توده‌های حساس به علف‌کش‌ها و استفاده از آن در مدیریت توده‌های مقاوم است. به‌طورکلی نتایج نشان داد که درصد جوانه‌زنی و قوه‌نامیه توده حساس در دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده مقاوم بود. این امر سازگاری بیشتر توده حساس را با شرایط دمایی منطقه نشان می‌دهد. علاوه بر این خردل‌وحشی نسبت به کاهش پتانسیل اسمزی خاک حساس بوده اما حساسیت توده مقاوم بیشتر از توده حساس به تری‌بنورون‌متیل بود. این امر می‌تواند در شرایط اقلیمی



شکل ۵- درصد جوانه‌زنی (الف)، سرعت جوانه‌زنی (ب) و بنیه بذر (پ) توده‌های حساس و مقاوم خردل‌وحشی تحت تأثیر اسیدیته

Figure 5. Percentage of germination (a), germination rate (b) and seed vigor (c) of susceptible and resistant ecotypes of wild mustard under various pH

منطقه موردمطالعه و با توجه به دیم بودن مزارع موردبررسی و وجود تنش خشکی عاملی محدودیت زا در برابر گسترش توده مقاوم باشد. ازاین‌رو به‌نظر می‌رسد که در صورت رفع فشار انتخاب ناشی از کاربرد علف‌کش‌های بازدارنده ALS شرایط دمایی و تنش رطوبتی خاک در شرایط دیم می‌توانند محدودیت بیشتری را برای توده‌های مقاوم ایجاد کرده و کاهش شایستگی نسبی توده مقاوم را در شرایط ذکرشده به همراه داشته باشد. از مهم‌ترین فواید شناخت و بررسی شایستگی نسبی علف‌های‌هرز مقاوم به علف‌کش این است که هشداری خواهد بود که علف‌کش‌های مورداستفاده دیگر کارایی خود را جهت کنترل علف‌های‌هرز ازدست‌داده‌اند. ازاین‌رو استفاده از علف‌کش‌های با محل عمل متفاوت می‌تواند در راستای

کاهش فشار انتخابی عمل کند. در صورت رفع فشار گزینشی علف‌کش، اگر شایستگی گیاهان مقاوم کمتر از گیاهان حساس باشد، باگذشت زمان گیاهان حساس جایگزین گیاهان مقاوم می‌شوند؛ اما اگر این تفاوت‌ها قابل‌توجه یا قابل‌استفاده نباشند، فراوانی بوته‌های مقاوم در جمعیت احتمالاً کاهش نخواهد یافت، در این صورت مدیریت بلندمدت گیاهان مقاوم نیازمند به‌کارگیری راهکارهایی است که سبب کاهش شدت گزینش و همچنین تلفیق راهکارهای مدیریتی دیگر است.

منابع:

Aghajani, Z., Zand, E., Baghestani, M., and Mirhadi, M. 2009. Resistance of wild oat (*Avena ludoviciana* Durieu) populations to iodosulfuron+ mezosulfuron herbicide. Iran. J. Weed Sci. 6: 79-93. (In Persian with English abstract)

Agrawal, R.L.2004. Seed technology. Oxford and IBH publishing Co. LTD, New Dehli.

Alvarado, V., and Bradford, K. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. Plant Cell Environ. 25: 1061-1069.

A. Bagheri, F. Mondani, A. Geravandi, and S. Amiri, 2022. Evaluation of the effect of osmo and hydro priming on germination traits of polymorph seeds of Marigold compact petal variety (*Calendula officinalis* L.). Iran. J. Seed Sci. Technol. 11: 1-14. (In Persian with English abstract)

Beckie, H.J., Heap, I.M., Smeda ,R.J., and Hall, L.M. 2000. Screening for herbicide resistance in weeds. Weed technol. 14: 428-445.

Bradford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Sci. 50: 248-260.

Chauhan, B.S., Gill, and G., Preston, C. 2006. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of Oriental mustard (*Sisymbrium orientale*). Weed Sci. 54: 1025-1031.

Cirujeda, A., Recasens, and J., Taberner, A. 2001. A qualitative quick-test for detection of herbicide resistance to tribenuron-methyl in Papaver rhoeas. Weed Res. 41: 523-534.

Datta, K., Dayal, J. 1991. Studies on germination and early seedling growth of gram (*Cicer arietinum* L.) as affected by salinity. New Trend Plant Physiol. 1: 273-276.

Gassmann, A., and Futuyma, D. 2005. Consequence of herbivory for the fitness cost of herbicide resistance: photosynthetic variation in the context of plant–herbivore interactions. J. Evol. Biol. 18: 447-454.

Ghanizadeh, H., Harrington, K.C., James, T.K., and Woolley, D.J. 2015. A quick test using seeds for detecting dicamba resistance in fathen (*Chenopodium album*). Aust. J. Crop Sci. 9: 337-343.

Gherekhloo, J., and Zand, E. 2010. A short review on conducted herbicide-resistance researches in Iran. Proceeding Of Congress Of Agronomy And Breeding Sciences: 110-125.

Ghorbani, R., Seel, and W., Leifert, C. 1999. Effects of environmental factors on germination and emergence of *Amaranthus retroflexus*. Weed Sci. 47: 505-510.

Chauhan, B.S., Manalil, S., Florentine, S., and Jha, P., 2018. Germination ecology of *Chloris truncata* and its implication for weed management. PLoS One. 13: e0199949.

Goss, G.A., and Dyer, W.E. 2003. Physiological characterization of auxinic herbicide-resistant biotypes of kochia (*Kochia scoparia*). Weed Sci. 51: 839-844.

Hatami Moghaddam, Z., Gherekhloo, J., De Prado, R., and Sadeghipour, H.R. 2016. Tracing Resistance to Tribenuron-Methyl in Populations of Wild Mustard (*Sinapis arvensis* L.) and Turnipweed (*Rapistrum rugosum* L.) collected from Wheat Fields of Golestan Province and Introduction a New Method in order to Detect their Resistant Population. J. Plant Prot. 30: 347-358. (In Persian with English abstract)

Heap, I. 2022 The International Herbicide-Resistant Weed Database. Available www.weedscience.org Copyright © 1993- 2022 WeedScience.org All rights reserved. Fair use of this material is encouraged. Proper citation is requested.

Jurado-Expósito, M ,.López-Granados, F., Peña-Barragán, J., and García-Torres, L. 2009. A digital elevation model to aid geostatistical mapping of weeds in sunflower crops. Agron. Sustain. Dev. 29: 391-400.

Keshtkar, E., Abdolshahi, R., Sasanfar, H., Zand, E ,.Beffa, R., Dayan, F.E., and Kudsk, P. 2019. Assessing fitness costs from a herbicide-resistance management perspective: a review and insight. Weed Sci. 67: 137-148.

Khalil Tahmasbi, B., Alebrahim, M.T., Fakhari, and R., Zand, E. 2017. A look at the phenomenon of weed resistance to herbicides; from theory to exploitation. Weed Res. J. 9: 83-101.

Kremer, E., and Lotz, L. 1998. Germination and emergence characteristics of triazine-susceptible and triazine-resistant biotypes of *Solanum nigrum*. J. Appl .Ecol. 35: 302-310.

Lehnhoff, E.A., Keith, B.K., Dyer, W.E., Peterson, R.K., and Menalled, F. 2013. Multiple herbicide resistance in wild oat and impacts on physiology, germinability, and seed production. Agron. J. 105: 854-862.

Lotfifar, O., Alahdadi, I., Zand, E., and Akbari, G.A. 2013. Investigating Resistance of Wild Mustard (*Sinapis arvensis*) Populations to Acetolactate Synthase Inhibiting Herbicides in Wheat Fields of Khoozestan, Gorgan and Kermanshah Provinces. Iran. J. Weed Sci. 9: 141-157. (In Persian with English abstract)

Maxwell, B.D ,.Roush, M.L., and Radosevich, S.R. 1990. Predicting the evolution and dynamics of herbicide resistance in weed populations. Weed technol. 4: 2-13.

Michel, B.E. 1983. Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. Plant physiol. 72: 66-70.

Mutti, N.K., Mahajan, G., and Chauhan, B.S. 2019. Seed-germination ecology of glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible biotypes of *Echinochloa colona* in Australia. Crop Pasture Sci. 70: 367-372.

Neve, P., and Powles, S., 2005. High survival frequencies at low herbicide use rates in populations of *Lolium rigidum* result in rapid evolution of herbicide resistance. Heredity. 95: 485-492.

Nosratti, I., Amiri, S., Bagheri, and A., Chauhan, B.S. 2018. Environmental factors affecting seed germination and seedling emergence of foxtail sophora (*Sophora alopecuroides*). Weed Sci. 66: 71-77.

Nosratti, I., Soltanabadi, S., Honarmand, and S.J., Chauhan, B.S. 2017. Environmental factors affect seed germination and seedling emergence of invasive *Centaurea balsamita*. Crop Pasture Sci. 68: 583-589.

Oliveira, M.J., and Norsworthy, J.K. 2006. Pitted morningglory (*Ipomoea lacunosa* (germination and emergence as affected by environmental factors and seeding depth. Weed Sci. 54: 910-916.

Pawar, R.K. 2009. Weed management. Oxford Book Company, Jaipur India.

Pierce, G.L., Warren, S.L., Mikkelsen, R.L., and Linker, H.M. 1999. Effects of soil calcium and pH on seed germination and subsequent growth of large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*). Weed Technol. 13: 421-424.

Ritz, C., Streibig, J., 2005. Bioassay Analysis using R. J. Stat. Softw.. 12: 1-22.

Salimi, H., and ghorbanali, M. 2001. Study of germination of wild oat seeds under different conditions and the effect of some effective factors in seed dormancy failure. Rostaniha 2: 41-55. (In Persian with English abstract)

Sharifi, H., and Goldani, M., 2016. Effect of seed coat color and different treatments on seeds dormancy and germination characteristics of Mustard (*Sinapis arvensis* L.). Iran. J. Seed Res. 2: 47-57. (In Persian with English abstract)

Sibony, M., and Rubin, B. 2003. The ecological fitness of ALS-resistant *Amaranthus retroflexus* and multiple-resistant *Amaranthus blitoides*. Weed Res. 43: 40-47.

Sohrabi, S., Ghanbari, A., Rashed Mohassel, M.H., Nasiri Mahallati, M., and Qarkhloo, J. 2014. Effect of salinity and temperature on germination characteristics, seedling growth, sodium and water content of invasive weeds of wild melon. J. Plant Prot. 27: 452-458.

Susko, D.J., and Hussein, Y. 2008. Factors affecting germination and emergence of dame's rocket (*Hesperis matronalis*). Weed Sci. 56: 389-393.

Susko, D.J., Mueller, J.P., and Spears, J.F. 1999. Influence of environmental factors on germination and emergence of *Pueraria lobata*. Weed Sci. 47: 585-588**.**

Vangessel, M.J., and Renner, K.A. 1990. Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-ga*lli) interference in potatoes (*Solanum tuberosum*). Weed Sci. 38: 338-343**.**

Vashisth, A, and. Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. J. Plant Physiol. 167: 149-156**.**

Vila-Aiub, M.M., Neve, P., Steadman, K.J., and Powles, S.B., 2005. Ecological fitness of a multiple herbicide-resistant *Lolium rigidum* population: dynamics of seed germination and seedling emergence of resistant and susceptible phenotypes. J. Appl. Ecol. 42: 288-298.

Yanniccari, M., Vila-Aiub, M., Istilart, C., Acciaresi, H., and Castro, A.M. 2016. Glyphosate resistance in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) is associated with a fitness penalty. Weed Sci. 64: 71-79**.**

Yilmaz, D.D., and Aksoy, A. 2007. Physiological effects of different environmental conditions on the seed germination of *Rumex scutatus* L. (Polygonaceae). Erciyes Universitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 23: 24-29**.**

Zand, E., Baghestani, M.A., Soufizadeh, S., PourAzar, R., Veysi, M., Bagherani, N., Barjasteh, A., Khayami, M.M., and Nezamabadi, N. 2007. Broadleaved weed control in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) with post-emergence herbicides in Iran. Crop Prot.26: 746-752**.**