Iranian Journal of Weed Science: 2025; 20(2): 165-176

Iranian Journal of Weed Science

https://ijws.areeo.ac.ir/

Original Article

Identification and Evaluation of Wild Mustard (*Sinapis arvensis* L.) Populations Resistant to Mesosulfuron-Methyl+ Iodosulfuron-Methyl-Sodium+ Diflufenican in Wheat Fields of Ramhormoz, Iran

Abdolhossein Soheilpour [1], Elham Elahifard *[2], Ahmad Zare [2]

1,2. M.Sc. Graduated, Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran.

Article Info

Received:
August 06, 2025

Accepted:
October 09, 2025

First published online:
November 12, 2025

Corresponding Author:
Elham Elahifard
Email:
e.elahifard@asnrukh.ac.ir

Key words: ALS-inhibiting herbicide, dose-response, resistance factor, screening.

Abstract

The overreliance on herbicides and their continuous use has led to the selection of resistant populations, which is considered a fundamental and serious problem in agricultural systems today. The continuous use of acetolactate synthase-inhibiting herbicides over the years in wheat fields of Khuzestan Province has also caused resistance in weeds in these fields and imposed costs on farmers in this province. For this purpose, based on the agricultural land map and farm history, after visiting wheat fields in Ramhormoz County, Khuzestan Province, seeds of 22 suspected ALS-resistant wild mustard populations were collected from wheat fields. In addition, a population from a location in the same region with no history of ALS herbicide application was collected as a susceptible population. The experiment was conducted in two parts: screening and dose-response, which involved, respectively, the application of the recommended dose of the herbicide mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-sodium + diflufenican (Othello, OD 6%, 96 g a.i. ha^{-1}) and a range of doses of 0, 24, 48, 96, 192, 384, and 768 g a.i. ha^{-1} in the autumn and winter of 2024 at the Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. Based on the two Adkins and Moss ranking indices, 4 and 15 wild mustard populations were classified into the suspected resistant (PR) and resistant (RR) groups to the Othello herbicide, respectively. The resistance index to the Othello herbicide for wild mustard populations was estimated to be between 1.45-4.80 based on the fresh weight index and between 3.95-7.52 based on the percentage of plant survival after herbicide application. Considering the increasing prevalence of Othello-resistant weed populations in this province, management programs for herbicide-resistant weeds, including crop rotation and judicious herbicide application, should be pursued more rigorously than before.

Cite this article: Soheilpour, A., Elahifard, E., & Zare, A. (2025). Identification and evaluation of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) populations resistant to mesosulfuron-methyl+ iodosulfuron-methyl-sodium+ diflufenican in wheat fields of Ramhormoz, Iran. Iran. J. of Weed Sci. 20(2): 165-176. DOI: 10.22034/ijws.2025.370320.1491

Copyright © 2025 The Authors. Published by Iranian Society of Weed Science & Iranian Research Institute of Plant Protection.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

مجله دانش علف‌های‌هرز ایران؛ ۱۴۰۳، دورهٔ ۲۰، شمارهٔ ۲: صفحات ۱۶۵-۱۷۶

مجله دانش علف‌های‌هرز ایران

https://ijws.areeo.ac.ir/

مقاله پژوهشی

شناسایی و بررسی مقاومت جمعیت‌های خردل‌وحشی (*Sinapis arvensis* L.) به علف‌کش مزوسولفورون-متیل+ یدوسولفورون-متیل-سدیم + دیفلوفنیکان در مزارع گندم شهرستان رامهرمز

عبدالحسین سهیل‌پور [۱]، الهام الهی‌فرد [*۲]، احمد زارع [۲]

۲،۱- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۷/۱۷

تاریخ انتشار برخط:
۱۴۰۴/۰۸/۲۱

نویسنده مسئول:
الهام الهی‌فرد

ایمیل:
e.elahifard@asnrukh.ac.ir

واژه‌های کلیدی: بازدارنده استولاکتات‌سینتاز، پاسخ به دُز، درجه‌مقاومت، غربالگری.

چکیده

اتکای بیش از حد به علف‌کش‌ها و مصرف متوالی آن‌ها باعث گزینش توده‌های مقاوم به آن‌ها شده است که این پدیده امروزه از مشکلات اساسی و جدی کشاورزی به‌شمار می‌آید. مصرف متوالی علف‌کش‌های بازدارنده استولاکتات‌سینتاز طی سال‌ها در مزارع گندم استان خوزستان نیز باعث بروز مقاومت در علف‌های‌هرز این مزارع و تحمیل هزینه به کشاورزان این استان شده است. بدین‌منظور بر اساس نقشه اراضی زراعی و تاریخچه مزارع پس از بازدید از مزارع گندم شهرستان رامهرمز، استان خوزستان، بذر ۲۲ جمعیت خردل‌وحشی مشکوک به مقاومت از سطح مزارع گندم جمع‌آوری شد. همچنین، یک جمعیت از محلی در همان منطقه که سابقه سمپاشی نداشت به عنوان جمعیت حساس جمع‌آوری شد. آزمایش در دو بخش غربالگری و پاسخ به دز به‌ترتیب با کاربرد دز توصیه‌شده علف‌کش مزوسولفورون-متیل+ یدوسولفورون-متیل-سدیم+ دیفلوفنیکان (اُتللو، OD6%، ۹۶ گرم ماده موثر در هکتار) و دامنه‌ای از دزهای صفر، ۲۴، ۴۸، ۹۶، ۱۹۲، ۳۸۴، و ۷۶۸ گرم ماده مؤثر در هکتار در پاییز و زمستان سال ۱۴۰۳ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. براساس دو شاخص رتبه‌بندی ادکینز و ماس به‌ترتیب چهار و ۱۵ جمعیت خردل‌وحشی در گروه مشکوک به مقاومت (PR) و مقاوم (RR) به علف‌کش اُتللو قرار گرفتند. شاخص مقاومت به علف‌کش اُتللو برای جمعیت‌های خردل‌وحشی براساس شاخص وزن تر بین ۱/۴۵ تا ۴/۸۰ و براساس درصد زنده‌مانی بوته‌ها پس از کاربرد علف‌کش بین ۷/۵۲-۳/۹۵ برآورد شد. باتوجه‌به روند رو به افزایش فراوانی جمعیت‌های مقاوم به علف‌کش اُتللو در این استان، برنامه‌های مدیریت علف‌های‌هرز مقاوم، از جمله تناوب کشت و کاربرد هوشمندانه علف‌کش‌ها، باید جدی‌تر از گذشته پیگیری شود.

استناد: سهیل‌پور، ع.، الهی‌فرد، ا.، و زارع، ا. (۱۴۰۳). شناسایی و بررسی مقاومت جمعیت‌های خردل‌وحشی (*Sinapis arvensis* L.) به علف‌کش مزوسولفورون-متیل+ یدوسولفورون-متیل-سدیم + دیفلوفنیکان در مزارع گندم شهرستان رامهرمز. دانش علف‌های‌هرز ایران، ۲۰(۲): ۱۷۶-۱۶۵. DOI: 10.22034/ijws.2025.370320.1491

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان است. ۱۴۰۳ ©. ناشر این مقاله، انجمن علوم علف‌های‌هرز ایران و موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور است. این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

استان خوزستان یکی از مناطق اصلی تولید گندم در کشور (رتبه اول از نظر سطح برداشت گندم) است (Anonymous, 2024). سطح زیر کشت گندم در این استان در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در حدود ۱،۰۸۱،۲۳۹ هکتار بود که از این میزان ۷۴۲،۱۰۱ هکتار به‌صورت آبی و ۳۳۹،۱۳۸ هکتار به‌صورت دیم کشت شده بود (Anonymous, 2024).

رایج‌ترین روش برای کنترل علف‌های‌هرز در زراعت گندم در این استان، استفاده از علف‌کش‌ها است. بااین‌حال، در بسیاری از اراضی، کشت مداوم گندم و عدم رعایت تناوب زراعی در کشت گیاهان پاییزه و همچنین عدم رعایت تناوب در استفاده از علف‌کش‌ها منجر به بروز مقاومت به علف‌کش در علف‌های‌هرز گندم شده است (Elahifard *et al.*, 2017). ازاین‌رو، کشاورزان برای مدیریت علف‌های‌هرز گندم با مشکل مواجه هستند مگر در اراضی که در آن گندم در تناوب با برنج کشت می‌شود، چراکه شرایط موجود در زراعت برنج به زوال بذر علف‌های‌هرز و تخلیه بانک بذر خاک منتج خواهد شد (Chauhan & Johnson, 2010). استفاده از علف‌کش‌های مهارکننده آنزیم استوهیدروکسی‌اسیدسینتاز (ALS)، از سال ۱۹۸۱ رواج یافته است و هنوز هم در مدیریت علف‌های‌هرز در محصولات مختلف ارزشمند است (Tranel & Wright, 2002). به دلیل فشار انتخاب ناشی از مصرف مکرر و اغلب بیشتر از دز توصیه‌شده علف‌کش‌های بازدارنده ALS توسط کشاورزان، گزارش‌های متعددی مبنی بر ایجاد مقاومت به این علف‌کش‌ها در ایران وجود دارد (Gherekhloo *et al.*, 2016).

علف‌کش مخلوط و دومنظوره مزوسولفورون-متیل+یدوسولفورون-متیل-سدیم+دیفلوفنیکان (اُتللو) به دلیل جلوگیری از سنتز اسیدهای‌آمینه ضروری از قبیل والین، لوسین و ایزولوسین در علف‌های‌هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ باعث اختلال در تقسیم‌سلولی می‌شود (Yu *et al.*, 2023). این علف‌کش در سال ۱۳۹۳ به منظور استفاده کشاورزان در مزارع گندم سراسر کشور با دز ۱/۶ لیتر در هکتار (معادل ۹۶ گرم ماده موثر در هکتار با فرمولاسیون OD 6%) ثبت شد (Zand *et al.*, 2013).

گزارش‌های متعددی درخصوص بروز مقاومت به بازدارنده‌های ALS در جهان (Sin & Kadioglu, 2021; Heap, 2025) و ایران در رابطه با خردل‌وحشی ارائه شده است که از جمله آن‌ها بروز مقاومت به علف‌کش‌های تریبنورون-متیل (Pourmorad *et al.*, 2021; Bahmani Fathabadi *et al.*, 2024; Khalil Tahmasebi *et al.*, 2024؛ Lotfifar *et al.*, 2014؛ Khaledi *et al.*, 2018)، متسولفورون-متیل+سولفوسولفورون-متیل (توتال) (Lotfifar *et al.*, 2014)، مزوسولفورون-متیل-سدیم+یدوسولفورون-متیل-سدیم (آتلانتیس) (Bahmani Fathabadi *et al.*, 2024؛ Lotfifar *et al.*, 2014)، را می‌توان ذکر کرد.

نکته قابل ذکر این است که در ایران بیشترین گزارش‌های بروز مقاومت در توده‌های خردل‌وحشی مربوط به استان‌های خوزستان، گلستان، کرمانشاه و

فارس می‌باشد (Bahmani Fathabadi *et al.*, 2024؛ Lotfifar *et al.*, 2014؛ Pourmorad *et al.*, 2021). این درحالی است که تاکنون از علف‌کش‌های بازدارنده ALS، بروز مقاومت به علف‌کش اتللو در خردل‌وحشی گزارش نشده است؛ بنابراین، می‌توان اظهار داشت علف‌کش مذکور همچنان کارایی بالایی در کنترل علف‌های‌هرز پهن‌برگ و حتی کشیده‌برگ (به‌استثنای یولاف‌وحشی زمستانی (Joumi *et al.*, 2023)) دارد. اگرچه برخی پژوهشگران اظهار داشتند که پاسخ‌های متغیر بیوتیپ‌های علف‌های‌هرز به علف‌کش‌های این گروه باتوجه‌به سابقه کم مصرف این علف‌کش‌ها، نشان می‌دهد که چگونه سطوح بالای مقاومت به بازدارنده‌های ALS می‌تواند به سرعت تکامل یابد (Rosario *et al.*, 2011). بنابراین، بایستی در برنامه‌های مدیریت علف‌های‌هرز مقاوم به ALSها علف‌کش‌هایی با نحوه عمل متفاوت مانند اکسین‌های مصنوعی به منظور اختلاط با علف‌کش‌های این خانواده درنظر گرفته شوند (Rosario *et al.*, 2011). باتوجه‌به گسترش سریع مقاومت در مزارع گندم استان خوزستان به علفکش‌های بازدارنده ALS، پژوهش پیش‌رو با هدف پی‌جویی جمعیت‌های خردل‌وحشی مقاوم به علف‌کش اُتللو ۶۰ اودی در مزارع گندم رامهرمز در استان خوزستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعات این پژوهش شامل آزمایش‌های غربالگری و پاسخ به دُز های علف‌کش اُتللو ۶۰ اودی، در زمستان سال ۱۴۰۳ در فضای باز سایت پژوهشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. این آزمایش ها روی ۲۳ جمعیت خردل‌وحشی (۲۲ جمعیت مشکوک به مقاومت و یک جمعیت حساس) که در بهار سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۶ از مزارع گندم شهرستان رامهرمز، استان خوزستان، جمع‌آوری شدند انجام شد. ملاک جمع‌آوری جمعیت‌های مشکوک به مقاومت انتخاب مزارع با حداقل پنج سال سابقه مصرف علف‌کش اُتللو ۶۰ اودی و همچنین عدم رضایت کشاورزان نسبت به علف‌کش مذکور در سال‌های گذشته بود. لازم به ذکر است که جمعیت حساس نیز از مزرعه‌ای که سابقه مصرف اُتللو را نداشت جمع‌آوری شد.

آزمایش‌های زیست‌سنجی در گلدان

آزمایش غربالگری اولیه

جهت غربال جمعیت‌های مشکوک به مقاومت به علف‌کش اُتللو آزمایشی به‌صورت کاملا تصادفی با پنج تکرار در سایت پژوهشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. جهت کشت از سینی‌های کشت پلاستیکی ۱۵تایی با ابعاد ۳۵ در ۲۲ سانتیمترمربع (۶/۵۰ سانتیمتر قطر × ۱۹/۵۰ سانتیمتر ارتفاع هر حفره) حاوی کوکوپیت، پیت ماس و پرلایت (با نسبت ۱:۱:۱) استفاده شد.

به دلیل سپری‌شدن دوره کمون بذرها (جوانه‌زنی ≥۹۰ درصد) هیچ‌گونه تیماری روی بذرها اعمال نشد و بذرها به‌صورت مستقیم و به تعداد ۱۰ عدد در هر تکرار کشت شد. سمپاشی جمعیت‌ها در مرحله سه الی چهاربرگی

علف‌های‌هرز، با دز توصیه‌شده علف‌کش اتللو ۶۰ اودی (۱/۶ لیتر در هکتار معادل ۹۰ گرم ماده موثر در هکتار) در شرایط سمپاشی با سمپاش پشتی ماتابی شارژی مجهز به نازل بادبزنی ۱۱۰۰۳ در فشار دو بار که برای پاشش حجمی معادل ۳۰۰ لیتر در هکتار کالیبره شده بود اعمال شد. در هفته چهارم پس از سمپاشی، تعداد گیاهان زنده‌مانده در هر سینی یادداشت و به‌صورت درصد گیاهان زنده‌مانده نسبت به پیش از سمپاشی محاسبه شد. پس از ثبت تعداد گیاهان زنده‌مانده، بوته‌های هر سینی کشت از سطح خاک بریده، جمع‌آوری و وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ توزین شد. سپس بوته‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در داخل آون ۷۵ درجه سانتیگراد خشک و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

جمعیت‌های مقاوم بر اساس روش Adkins *et al.* (1997) و Moss *et al.* (2007) تشخیص داده شد. Adkins *et al.* (1997) بیان کردند که چهار هفته بعد از اعمال علف‌کش، جمعیتی به عنوان جمعیت مقاوم شناخته می‌شود که حداقل ۸۰ درصد وزن خشک و ۵۰ درصد گیاهان زنده خود را نسبت به شاهد بدون علف‌کش حفظ کرده باشد. در این روش اگر جمعیتی ۵۰ الی ۸۰ درصد وزن خشک و گیاهان زنده خود را نسبت به شاهد بدون علف‌کش حفظ کرده باشد نشانه مقاومت احتمالی این جمعیت در نظر گرفته شده و در غیر این دو حالت، یعنی دارا بودن ≥۵۰ درصد وزن خشک و ≤۵۰ درصد زنده‌مانی، جمعیت به عنوان حساس (S) شناخته خواهد شد (Adkins *et al.*, 1997). براساس شاخص Moss *et al.* (2007) جمعیت‌هایی که درصد کاهش وزن تر آن‌ها نسبت به شاهد بین ۳۶-۰، ۷۲-۳۶، ۸۱-۷۲ و ۱۰۰-۸۱ درصد بود به‌ترتیب در گروه‌های RRR (قطعاً مقاوم)، RR (مقاوم)، R? (مشکوک به مقاومت) و S (حساس) قرار دارند.

آزمون پاسخ به دُز علف‌کش

به‌منظور بررسی درجه مقاومت جمعیت‌ها، آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی با پنج تکرار انجام شد. در این آزمایش جوانه‌دارکردن بذور و کلیه شرایط رشد تا رسیدن به مرحله سه الی چهاربرگی و شیوه‌های اندازه‌گیری تراکم و وزن تر، مشابه آزمایش غربالگری بود. سپس واکنش جمعیت‌های حساس و جمعیت‌هایی که در آزمایش غربالگری مشکوک به مقاومت شدند، در مقابل دزهای مختلف اُتللو شامل (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۴ و ۸ برابر دز توصیه شده) که معادل (صفر، ۲۴، ۴۸، ۹۶، ۱۹۲، ۳۸۴، و ۷۶۸ گرم ماده موثر در هکتار) بود، انجام شد و سپس همه تیمارها با شاهد بدون علف‌کش مقایسه شدند.

تجزیه آماری

برای تجزیه آماری منحنی واکنش به غلظت دُز علف‌کش از آنالیز رگرسیون و معادله لاگ-لجستیک ارائه‌شده توسط Ritz & Streibig (2005) استفاده شد (رابطه ۱).

رابطه (۱)

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

که پارامترهای ارائه‌شده در این مدل عبارت است از b، شیب منحنی در نقطه e؛ d، حد بالای

منحنی دز- پاسخ؛ c، حد پایین منحنی دز- پاسخ و e، غلظت بیان‌کننده ED_{50}.

در مواردی که C=0 است، این پارامتر از رابطه (۱) حذف و در حالت جدید، معادله سه‌پارامتری (رابطه ۲) به داده‌های مربوطه برازش داده شده تا برآورد دقیق‌تری از سایر پارامترها به‌دست آید (Ritz & Streibig, 2005).

رابطه (۲)

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

رابطه فوق بااستفاده‌از محیط نرم‌افزاری R و بسته نرم‌افزاری drc که به همین منظور طراحی شده است، به‌طور جداگانه به داده‌های حاصل از وزن تر جمعیت‌های مشکوک و حساس برازش داده شد. درجه و یا فاکتور مقاومت (RF [1]) یعنی نسبت ED_{50} جمعیت‌های مشکوک به مقاومت به ED_{50} جمعیت حساس، شاخصی برای بررسی و مقایسه میزان مقاومت جمعیت‌های مقاوم، بااستفاده‌از رابطه ۳ محاسبه شد.

رابطه (۳)

$$\text{درجه مقاومت} = \frac{ED_{50\ \text{مقاوم}}}{ED_{50\ \text{حساس}}}$$

نتایج و بحث

غربالگری اولیه

بررسی واکنش جمعیت‌های خردل‌وحشی به اعمال علف‌کش اُتللو براساس شاخص Moss *et al.* (2007) نشان داد که ۱۵ جمعیت (1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 9، 11، 14، 21، 3a، 42a، 59a و 59c) با کاهش وزن تر نسبت به شاهد بین ۳۶-۷۲ درصد نسبت به علف‌کش مذکور مقاوم (RR) بودند و چهار جمعیت (8، 19، 20 و 42c) که کاهش وزن تر آن‌ها نسبت به شاهد بین ۷۲-۸۱ درصد بود در گروه مشکوک به مقاومت (R?) و چهار جمعیت (7j، 35a، 35b و S) با ۸۱-۱۰۰ درصد کاهش وزن تر آن‌ها نسبت به شاهد در گروه حساس (S) قرار گرفتند (جدول ۱). همچنین، براساس شاخص Adkins *et al.* (1997)، ۱۹ جمعیت (۸۲/۶۱ درصد از جمعیت‌ها) در گروه حساس (S) و چهار جمعیت (۱۷/۳۹ درصد) در گروه مشکوک به مقاومت (PR) به علف‌کش اُتللو قرار گرفتند (جدول ۱). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که براساس شاخص ماس، اُتللو نتوانست کنترل مؤثری بر تمامی جمعیت‌های موردبرر سی خردل‌وحشی اعمال کند. هرچند، براساس شاخص ادکینز اکثر جمعیت‌ها نسبت به اُتللو حساس بودند؛ بنابراین، آزادی انتخاب وضعیت جمعیت و همچنین استاندارد انتخاب جمعیت به عنوان مقاوم، بیشتر و بالاتر از شاخص ادکینز می‌باشد. به‌عبارتی شاخص ماس تمایل بیشتری برای درنظرگرفتن تعداد بیشتری از جمعیت به عنوان مقاوم دارد.

آزمون پاسخ به دُز علف‌کش

به‌منظور انجام آزمایش پاسخ به افزایش دز، تعداد چهار جمعیت (3a، 42a، 59a و 59c) که در آزمایش غربالگری براساس دو شاخص ادکینز و ماس مقاومت نشان داده بودند انتخاب شدند. آزمایش پاسخ به دز اُتللو جمعیت‌های خردل‌وحشی نشان داد که با افزایش دز علف‌کش، زیست‌توده و تعداد بوته‌های زنده‌مانده جمعیت‌های مورد آزمایش

1. Resistance Factor

کاهش یافت (شکل ۱). نتایج نشان داد که جمعیت‌های 3a، 42a، 59a و 59c درجه پایینی از مقاومت به اُتللو بر اساس وزن تر و طبقه‌بندی ارائه‌شده توسط Beckie & Tardif (2012) را نشان دادند؛ براساس این طبقه‌بندی جمعیت‌های دارای درجه مقاومت ۲-۵ در گروه دارای مقاومت کم (L [1]) قرار می‌گیرند.

درجه مقاومت در این جمعیت ها (3a، 42a، 59a و 59c) نسبت به جمعیت حساس به‌ترتیب به میزان ۳/۳۱، ۴/۸۰، ۱/۴۵ و ۲/۵۱ بود. در حالی که میزان ۷۷/۷۰ گرم ماده موثر در هکتار باعث ۵۰ درصد کاهش وزن تر جمعیت حساس S شد؛ این مقدار برای کاهش ۵۰ درصد وزن تر جمعیت‌های مقاوم 3a، 42a، 59a و 59c به‌ترتیب ۲۵۷/۲۹، ۳۷۳/۲۲، ۱۱۳ و ۱۹۴/۸۹گرم ماده موثر در هکتار برآورد شد (جدول ۲ و شکل ۱). هرچند، جمعیت 59a با RI=1.45 تفاوت معنی‌داری با جمعیت حساس نداشت (جدول ۲). این تفاوت چشمگیر در دُز موردنیاز برای اثرگذاری بر جمعیت‌ها نشان‌دهنده بروز مقاومت در برخی از جمعیت ها است که می‌تواند به کاهش اثربخشی علف‌کش در مدیریت خردل‌وحشی منجر شود.

براساس نتایج دز-پاسخ علف‌کش تریبنورون-متیل گزارش‌شده توسط Lotfifar *et al.* (2014) جمعیت‌های خردل‌وحشی گلستان و یکی از جمعیت های خوزستان دارای مقاومت پایین، جمعیت کرمانشاه دارای مقاومت متوسط و دو جمعیت دیگر از خوزستان دارای مقاومت بالایی بودند. در ضمن، جمعیت‌های خوزستان و گلستان دارای دامنه‌ای از مقاومت کم تا زیاد به علف‌کش مزوسولوفورن-متیل+یدوسولفوورن-متیل-سدیم (آتلانتیس) بودند (Lotfifar *et al.*, 2014).

برمبنای تعداد بوته‌های زنده نسبت به شاهد جمعیت‌های 3a، 42a، 59a و 59c به‌ترتیب با شاخص‌های ۶، ۷/۵۲، ۳/۹۵ و ۴/۶۱ برابر نسبت به جمعیت های حساس، به علف‌کش اُتللو از خود مقاومت نشان دادند که در مقایسه با شاخص زیست‌توده، در گروه دارای مقاومت متوسط (M [2]) قرار گرفتند (Beckie & Tardif, 2012). در حالی که میزان ۵۸/۴۵ گرم ماده موثر در هکتار باعث ۵۰ درصد کاهش وزن تر جمعیت حساس S شد، این مقدار کاهش برای جمعیت‌های مقاوم 3a، 42a، 59a و 59c به‌ترتیب برابر با ۳۵۰/۹۴، ۴۳۹/۵۲، ۲۳۰/۷۵ و ۲۶۹/۳۶ گرم ماده موثر در هکتار بود (جدول ۲). بنابراین، با افزایش دز اُتللو درصد بوته‌های زنده‌مانده جمعیت‌های حساس و مشکوک به مقاومت طی روندی سیگموئیدی کاهش یافت. سرعت و شدت روند کاهش در جمعیت 42a با شاخص مقاومت بالا نسبت به جمعیت حساس در دزهای بالاتر اُتللو اتفاق می‌افتد (جدول ۲).

باتوجه‌به پایین و متوسط‌بودن درجه مقاومت‌های به‌دست‌آمده می‌توان اظهار داشت که به احتمال زیاد نوع مقاومت ایجادشده از نوع متابولیسمی باشد. هرچند، پژوهشگران داخلی در آزمایش هایی در زمینه اساس مولکولی مقاومت در خردل‌وحشی در رابطه با بازدارنده‌های ALS بروز جهش در جایگاه

1. Low Resistance

2. Medium Resistance

هـدف (Asp376-Gly، Pro197-Ala، Trp574-Leu، Thr-122-Ala و Asp-376-Glu) را گزارش کـــرده‌انـــد (Khaledi *et al.*, 2018؛ Bahmani Fathabadi *et al.*, 2016). بنـابراین، تنوع کافی در محل اثر علف‌کش ها بایســتی در تنـاوب‌هـای زراعی متنوع، حفظ شـــود. همچنین، بررســـی و پایش دقیق جمعیت های مشـــکوک به مقاومت به علف‌کش‌ها در مزرعه، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد.

جدول ۱- نتایج آزمایش غربالگری جمعیت‌های مشکوک به مقاومت خردل‌وحشی نسبت به دز توصیه‌شده علف‌کش مزوسولفورون- متیل + یدوسولفورون-متیل-سدیم+ دفلوفنیکان.

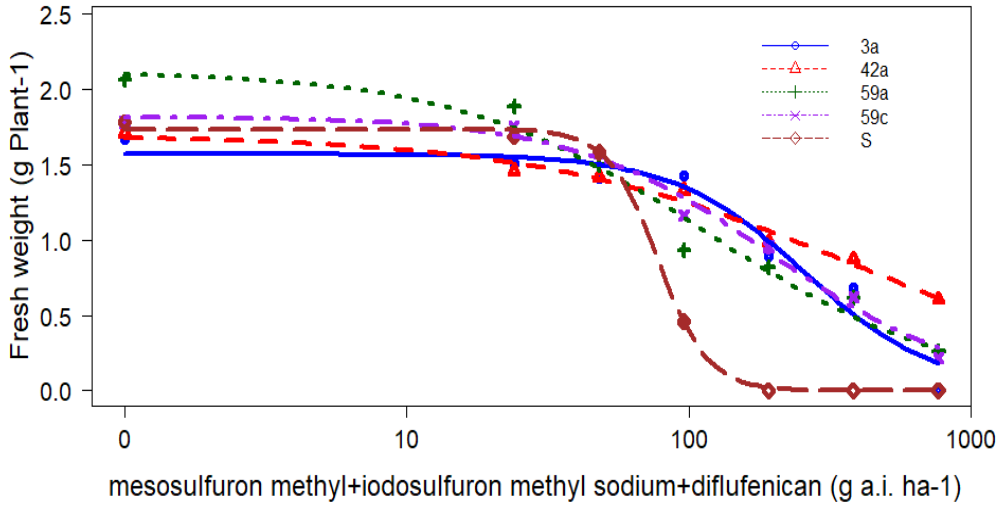
Table 1. Results of the screening test of suspected wild mustard populations for resistance to the recommended dose of the herbicide mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-sodium + diflufenican.

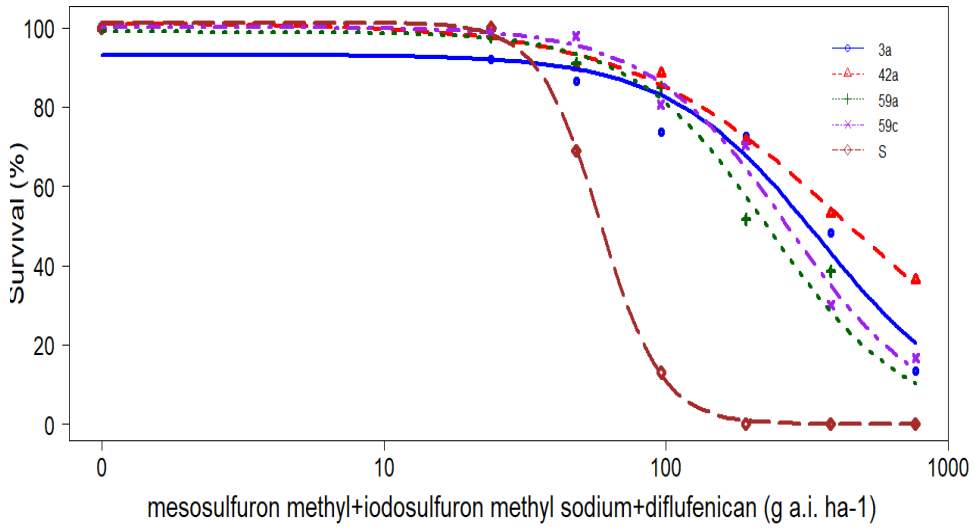
Population	Dry weight reduction	Fresh weight reduction	Survival (%)	Category index*	
	(% of control)			Adkins	Moss
1	63.73 (5.73)†	62.31 (6.39)	81.85 (2.63)	S	RR
2	70.85 (6.78)	68.91 (7.88)	83.33 (10.54)	S	RR
3	66.67 (8.42)	57.04 (10.65)	82.35 (12.50)	S	RR
4	76.17 (3.20)	68.21 (2.65)	82.00 (7.84)	S	RR
5	55.58 (8.80)	45.61 (9.32)	93.32 (2.86)	S	RR
6	59.54 (5.10)	45.47 (4.46)	88.96 (6.91)	S	RR
7	59.57 (5.05)	55.92 (8.04)	94.64 (3.29)	S	RR
8	73.99 (9.33)	76.36 (2.08)	73.67 (8.76)	S	R?
9	68.28 (13.32)	51.70 (12.53)	85.28 (4.72)	S	RR
11	64.79 (10.78)	59.17 (12.68)	85.48 (6.65)	S	RR
14	62.94 (8.92)	57.02 (6.59)	84.61 (4.24)	S	RR
19	68.66 (4.55)	74.61 (6.22)	25.71 (11.20)	S	R?
20	78.97 (3.61)	77.56 (4.01)	74.67 (3.09)	S	R?
21	57.28 (9.36)	58.61 (9.54)	83.14 (4.65)	S	RR
3a	45.79 (12.71)	49.66 (10.85)	90.95 (5.85)	PR	RR
7j	73.59 (7.54)	92.16 (2.89)	21.67 (9.72)	S	S
35a	84.29 (4.41)	85.81 (3.81)	58.00 (14.05)	S	S
35b	73.87 (8.95)	86.12 (5.06)	15.87 (4.79)	S	S
42a	45.11 (8.53)	36.11 (10.25)	100.00 (0.00)	PR	RR
42c	72.86 (3.77)	72.63 (7.24)	53.18 (12.62)	S	R?
59a	39.69 (6.76)	44.87 (7.16)	92.11 (3.78)	PR	RR
59c	45.44 (7.30)	43.48 (7.37)	80.75 (3.33)	PR	RR
S2	76.76 (5.71)	92.29 (3.19)	2.22 (1.24)	S	S

*براساس روش Adkins *et al.* (1997) جمعیت‌های مقاوم (R)، احتمالا مقاوم (PR) و حساس (S) به‌ترتیب با حفظ حداقل ۸۰ درصد وزن خشک و ۵۰ درصد زنده‌مانی نسبت به شاهد، حفظ حداقل ۵۰ الی ۸۰ درصد وزن خشک و زنده‌مانی نسبت به شاهد، و دارا بودن حدود ۵۰ درصد یا کمتر، وزن خشک و ≥۵۰ درصد زنده‌مانی نسبت به شاهد، شناخته خواهند شد؛ براساس روش Moss *et al.* (2007)، جمعیتی که در مقایسه با شاهد، درصدی از کاهش وزن تر (بین ۰ تا ۳۶ درصد) را نشان می‌دهد، قطعا مقاوم (RRR) و به احتمال زیاد کارایی علف‌کش را کاهش می‌دهد؛ جمعیتی که بین ۳۶ تا ۷۲ درصد کاهش وزن تر نسبت به شاهد دارد قطعا مقاوم (RR) و احتمالاً عملکرد علف‌کش را کاهش می‌دهد؛ جمعیت با کاهش وزن تر بین ۷۲ تا ۸۱ درصد نسبت به شاهد، نشانه‌های اولیه‌ای مبنی بر احتمال توسعه مقاومت دارد (R?)؛ و جمعیتی که کاهش وزن تری بین ۸۱ تا ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد دارد حساس به علف‌کش (S) می‌باشد.

†اعداد در پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

*According to the method of Adkins *et al.* (1997), resistant (R), probably resistant (PR), and susceptible (S) populations will be identified by maintaining at least 80% dry weight and 50% viability compared to the control, maintaining 50-80% dry weight and viability compared to the control, and maintaining about 50% dry weight and ≥50% viability compared to the control, respectively; according to the method of Moss *et al.* (2007), a population that shows a percentage of fresh weight loss (between 0 and 36%) compared to the control is definitely resistant (RRR) and most likely reduces the efficacy of the herbicide; a population that has between 36 and 72% fresh weight loss compared to the control is definitely resistant (RR) and probably reduces the efficacy of the herbicide; a population with a fresh weight loss between 72 and 81% compared to the control has early signs of the possibility of developing resistance (R?); and the population that has a weight loss between 81 and 100 percent compared to the control is susceptible to herbicide (S). †Values in parentheses represent the standard error (SE).





شکل ۱- برازش تابع سه‌پارامتری لاگ- لجستیک به داده‌های وزن تر (بالا) و درصد بوته‌های زنده‌مانده (پایین) جمعیت‌های مقاوم و حساس خردل‌وحشی به علف‌کش مزوسولفورون- متیل + یدوسولفورون -متیل -سدیم+ دفلوفنیکان.

Figure 1. Fitting of a three-parameter log-logistic function to fresh weight (upper) and survival (lower) data of resistant and susceptible wild mustard populations to mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl-sodium + diflufenican.

همان‌گونه که بارها توسط بسیاری از دانشمندان علم علف‌های‌هرز در سراسر جهان تأکید شده است، افزایش تنوع در شیوه‌های مدیریت علف‌های‌هرز در نظام‌های زراعی، به‌عبارت دیگر، اجرای واقعی مدیریت تلفیقی علف‌های‌هرز (IWM) مؤثرترین راهبرد بلندمدت برای پیشگیری از بروز مقاومت علف‌های‌هرز نسبت به علف‌کش‌ها است. دست‌یابی به مدیریت تلفیقی واقعی علف‌های‌هرز تنها از طریق کاهش مصرف علف‌کش‌ها امکان‌پذیر است. در این راستا، تعیین اهداف مشخص برای کاهش مصرف

علف‌کش در محصولات عمده زراعی، همراه با اجرای برنامه‌های آموزشی و ترویجی هم‌زمان برای کشاورزان، امری ضروری است تا کارایی مجموعه علف‌کش‌های موجود در مقابله با علف‌های‌هرز مقاوم حفظ شود.

جدول ۲- پارامترهای برآوردشده توسط برازش معادله سه‌پارامتری لاگ-لجستیک به داده‌های وزن تر و درصد زنده‌مانی جمعیت‌های خردل‌وحشی.

Table 2. Parameters estimated by fitting a three-parameter log-logistic equation to fresh weight and survival percentage data of wild mustard populations.

Population	b*	d	ED_{50} (g a.i. ha^{-1})	RI
	Fresh weight (g $plant^{-1}$)			
3a	1.85 (±0.40)	1.57 (±0.08)	257.29 (±37.24)	3.31 (0.56)***
42a	0.77 (±0.19)	1.69 (±0.11)	373.22 (±102.30)	4.80 (1.38)***
59a	0.98 (±0.13)	2.12 (±0.11)	113.00 (±19.39)	1.45 (0.28)ns
59c	1.22 (±0.20)	1.82 (±0.10)	194.89 (±33.49)	2.51 (0.48)***
S	4.85 (±1.52)	1.74 (±0.09)	77.70 (±6.82)	-
	Survival (%)			
3a	1.62 (±0.35)	93.15 (±3.84)	350.94 (±40.26)	6.00 (±0.76)**
42a	1.12 (±0.18)	101.11 (±3.68)	439.52 (±55.97)	7.52 (±1.04)**
59a	1.79 (±0.23)	99.02 (±3.27)	230.75 (±21.20)	3.95 (±0.42)**
59c	1.75 (±0.26)	100.18 (±3.24)	269.36 (±23.96)	4.61 (±0.48)**
S	3.96 (±0.66)	101.31 (±3.63)	58.45 (±3.23)	-

*علائم اختصاری: b، شیب منحنی دز-پاسخ در نقطه ED_{50}؛ d، حد بالای منحنی دز-پاسخ؛ ED_{50}، دز ایجادکننده ۵۰ درصد پاسخ بین حد بالا و پایین منحنی؛ RI، شاخص یا درجه مقاومت که از تقسیم ED_{50} جمعیت مقاوم به ED_{50} جمعیت حساس محاسبه شد. **علائم مثبت و منفی داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند. ns، ** و *** به‌ترتیب نشان‌دهنده بدون اختلاف معنی‌دار و دارای اختلاف معنی‌دار با جمعیت حساس در سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ می‌باشند.

*Abbreviation: b, Slope of the dose-response curve for populations at the ED_{50} point; d, Upper limit of the dose-response curve; ED_{50}, Dose required to produce 50% of the maximum response between the upper and lower limits of the curve; RI, the index or degree of resistance calculated by dividing the ED_{50} of the resistant population by the ED_{50} of the susceptible population. **The positive and negative signs in parentheses indicate the standard error.

ns, **, and *** indicate no significant difference and significant difference with the susceptible population at the probability levels of 0.01 and 0.001, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

لازم به ذکر است که این مطالعه نخستین گزارش از بروز مقاومت خردل‌وحشی به اُتللو در مزارع گندم شهرستان رامهرمز می‌باشد. باتوجه‌به این یافته‌ها، اتخاذ اقدامات مؤثر برای جلوگیری از گسترش بیشتر مقاومت مانند ارائه الگوهای تناوب کشت و علف‌کش و مدیریت آن در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. هرچند، اغلب جمعیت‌ها توسط اُتللو کنترل شدند و اُتللو همچنان یکی از علف‌کش‌های دومنظوره موثر در مزارع گندم می‌باشد. همچنین، باتوجه‌به نتایج پاسخ به دز می‌توان اظهار داشت که توده‌ها، براساس زیست‌توده حفظ‌شده پس از سمپاشی، دارای مقاومت پایینی (L) نسبت به اتللو بودند. از جمله راهکارهای پیشنهادی می‌توان به مصرف بهینه و اصولی علف‌کش‌ها با تمرکز بر آموزش و نظارت بر کالیبراسیون دستگاه‌های سمپاش، استفاده از مخلوط‌های دارای مکانیسم‌های مختلف اثر مانند اکسین‌های مصنوعی، و اعمال تناوب زراعی گندم-کلزا- گلرنگ اشاره کرد. این راهبردها بایستی در قالب برنامه‌های جامع مدیریت مقاومت به علف‌کش مورد توجه قرار گیرند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از آقایان مهندس علی کمایی و حسین اکبیا به جهت کمک در جمع‌آوری بذرهای جمعیت‌های خردل‌وحشی از مزارع گندم رامهرمز و همچنین، کشاورزان منطقه تقدیر و تشکر می‌شود. از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان نیز درخصوص حمایت مالی از پایان‌نامه، کمال تشکر را دارد.

منابع

Adkins, S. Wills, W.D. Boersma, M. Walker, S.R. Robinson, G. McLeod, R.J. and Einam, J.P. 1997. Weed resistance to chlorsulfuron and atrazine from the North East grain region of Australia. Weed Res. 37: 343-349.

Anonymous, 2024. Agricultural statistics- The first volume: Crops 2022-2023. Ministry of Agriculture Jihad. Deputy Director of Economic Planning, Center for Statistics, Information and Communication Technology. https://get.agrodl.ir/statistics/field-crops/401-402.pdf. Accessed August 31, 2025. (In Persian).

Bahmani Fathabadi, A. Zand, E. Lack, S. Naderi, A. and Masoumi, M. 2024. Investigating the resistance mechanisms of wild mustard (*Sinapis arvensis*) to the herbicide tribenuron-methyl. Iran. J. Weed Sci. 20(1): 133-146. (In Persian).

Bahmani Fathabdi, A. Zand, E. Masoumi, M. Naderi, A. and Lack, S. 2016. Evaluation of resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicide in wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). J. Exp. Biol. Agric. Sci. 4(V-Suppl): 1-8.

Beckie, H.J. and Tardif, F.J. 2012. Herbicide cross resistance in weeds. Crop Prot. 35: 15-28.

Chauhan, B. and Johnson, D.E. 2010. The role of seed ecology in improving weed management strategies in the tropics. Adv. Agron. 105: 221-262.

Elahifard, E. Derakhshan, A. and Zarrinjoob, H. 2017. Tracing resistance of weeds to aryloxyphenoxypropionate (ACCase), acetolactate synthase (ALS) and synthetic auxcin herbicides in Shushtar wheat fields. J. Plant Prot. 31(2): 284-295. (In Persian).

Gherekhloo, J. Oveisi, M. Zand, E. and De Prado, R. 2016. A review of herbicide resistance in Iran. Weed Sci. 64(4): 551-561.

Heap, I.M. 2025. International survey of herbicide resistant weeds. Available at: http://www.weedscience.org. [Accessed October 8, 2025].

Joumi, A. Keshtkar, E. Zand, E. and Sasanfar, H. 2022. Evaluation of resistance to mesosulfuron methyl+ idosulfuron methyl and mesosulfuron methyl+ idosulfuron methyl+ diflofenican herbicides in winter wild oat (*Avena sterilis* subsp. *ludoviciana*) populations collected from wheat fields of Khuzestan province and preparing distribution map of populations. Iran. J. Weed Sci. 18(1): 115-127. (In Persian).

Khaledi, R. Fayaz, F. Kahrizi, D. and Talebi, R. 2019. PCR-based identification of point mutation mediating acetolactate synthase-inhibiting herbicide resistance in weed wild mustard (*Sinapis arvensis*). Mol. Biol. Rep. 46(5): 5113-5121.

Khalil Tahmasebi, B. Zand, E. Yousefi, A. Babaei, S. and Sadeghpour, A. 2024. Surveillance and mapping of tribenuron-methyl-resistant weeds in wheat fields. Sci. Rep. 14: 28626.

Lotfifar, O. Alahdadi, I. Zand, E. and Akbari, G.A. 2014. Investigating resistance of wild mustard (*Sinapis arvensis*) populations to acetolactate synthase inhibiting herbicides in wheat fields of Khuzestan, Gorgan and Kermanshah provinces. Iran. J. Weed Sci. 9(2): 141-157.

Lotfifar, O. Alahdadi, I. Zand, E. Akbari, G.A. and Mottaghi, S. 2016. Study fitness of resistant and susceptible biotypes of wild mustard (*Sinapis arvensis*) biotypes to acetolactate

synthase (ALS) inhibitor in competition and non-competition with wheat. Iran. J. Weed Sci. 11(2): 61-76.

Moss, S.R. Perryman, S.A.M. and Tatnell, L.V. 2007. Managing herbicide resistant black grass (*Alopecurus myosuriodes*): Theory and practice. Weed Tech. 21(2): 300-309.

Ritz, C. and Streibig, J.C. 2005. Bioassay analysis using R. J. Stat. Softw. 12(5): 1-22.

Rosario, J.M. Cruz-Hipolito, H. Smeda, R.J. and De Prado, R. 2011. White mustard (*Sinapis alba* L.) resistance to ALS-inhibiting herbicides and alternative herbicides for control in Spain. Eur. J. Agron. 35(1): 57–62.

Sin, B. and Kadioglu, I. 2021. Trp-574-Leu mutation in wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) as a result of als inhibiting herbicide applications. Peer J. 9: e11385.

Tranel, P.J. and Wright, T.R. 2002. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicide: What have we learned? Weed Sci. 50(6): 700-712.

Yu, H. Guo, X. Peng, L. Li, X. Chen, J. and Cui, H. 2023. Target gene mutations endowed cross-resistance to acetolactate synthase-inhibiting herbicides in wild *Brassica juncea*. Pest. Biochem. Physiol. 197: 1-8.

Zand, E. Baghestani, M.A. Shimi, P. Nezamabadi, N. Mousavi, M.R. and Mousavi, S.K. 2013. Chemical weed control guideline for major crops of Iran. Jihad Daneshgahi of Mashhad Press. 176p. (In Persian).