Iranian Journal of Seed Research

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Yasouj University

Evaluation of Relative Fitness and Seed Germination Responses to Temperature and Gibberellin in Tribenuron-Methyl Resistant and Sensitive Wild Mustard (*Sinapis arvensis*) Biotypes

Rafat Hassani Nassab Farzaneh[1], **Ahmad Tobeh**[2], **Sodabeh Jahnbakhsh**[2], **Rasoul Fakhari**[3]✉, and **Mohammad Ahmadi**[1]

1. Ph.D. Graduate and Student of Weed Science, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: r.hassani@uma.ac.ir; ahmadi.agro@uma.ac.ir
2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: a.tobeh@uma.ac.ir; jahanbakhsh@uma.ac.ir
3. Corresponding author, Assistant Professor, Plant Protection Research Department, Agricultural Research and Education Center and Natural Resources of Ardabil Province (Moghan), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Moghan, Iran. Email: r.fakhari68@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 15 April 2025
Received in revised form 6 August 2025
Accepted 26 August 2025
Available online 22 September 2025

Keywords:
Epicotyl
Gibberellic acid
Herbicide resistance
Relative fitness
Temperature

ABSTRACT

Objective: This experiment aims to evaluate relative fitness and seed germination indices of tribenuron-methyl sensitive and resistant wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) biotypes under different temperature conditions and gibberellic acid concentrations.

Method: This experiment was conducted in 2023 at the laboratory of the University of Mohaghegh Ardabili. It was performed as a three-factorial arrangement in a completely randomized design (CRD) with three replications. The first factor consisted of two levels (seeds of tribenuron-methyl sensitive and resistant biotypes), the second factor included four levels of gibberellic acid concentration (500, 1000, 1500, and 2000 mg L^{-1}), and the third factor comprised two temperature regimes: 20/15 °C and 15/10 °C (day/night). The measured parameters included germination percentage, germination rate and uniformity, seed water uptake, and seedling vigor index.

Results: The sensitive biotype of wild mustard exhibited a higher final germination percentage, and germination uniformity. The interactions of temperature × biotype and temperature × gibberellic acid concentration were significant on seed water uptake. Furthermore, the rate of water absorption by seeds was higher under the 10/15 °C temperature regime compared to the 20/15 °C (day/night) regime. The sensitive biotype showed a 1.8-fold higher germination rate and a 38% increase in seedling vigor compared to the resistant biotype.

Conclusions: These findings not only contribute to a deeper understanding of the mechanisms underlying herbicide resistance but also demonstrate that while resistance provides a selective advantage, it may entail a physiological cost in the long term. This fitness cost can be leveraged for sustainable weed management. Specifically, farmers could potentially delay wheat sowing—provided it does not compromise wheat yield—to create suboptimal temperature conditions that suppress the germination of resistant wild mustard biotypes. Furthermore, the slower water uptake observed in the resistant biotype suggests that strategic irrigation management could be employed to further inhibit its germination. Additionally, since the germination of resistant wild mustard is slower at lower temperatures, soil temperature monitoring can be utilized to predict the optimal timing for implementing mechanical control measures or post-emergence herbicide applications.

Cite this article: Rafat Hassani Nassab, F., Tobeh, A., Jahnbakhsh, S., Fakhari, R., & Ahmadi, M. (2025). Evaluation of relative fitness and seed germination responses to temperature and gibberellin in tribenuron-methyl resistant and sensitive wild mustard (*Sinapis arvensis*) Biotypes. *Iranian Journal of Seed Research*, *12*(1), 97-116. http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.97

© The Author(s).

Publisher: Yasouj University.

DOI: http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.97

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

Highlights

- A simultaneous study of the effects of temperature and gibberellic acid on the germination and growth of herbicide-sensitive and herbicide-resistant wild mustard biotypes.
- Evaluation of the fitness cost in herbicide-resistant biotypes.
- Differential effects of growth-affecting factors on the phenotype of two wild mustard biotypes.

Introduction

The widespread use of acetolactate synthase (ALS) inhibitors for weed control in wheat has led to the evolution of resistance in weeds like wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) (Hajati et al., 2017). Resistance often carries a fitness cost, reducing ecological vigor. Understanding seed ecophysiology is key to managing resistant populations (Heap, 2024). This study evaluated the relative fitness of tribenuron-methyl–susceptible and –resistant wild mustard biotypes by assessing their germination responses under varying temperatures and gibberellic acid concentrations. The findings aim to inform prediction models for germination and seedling establishment, thereby supporting the development of targeted management strategies.

Method

This laboratory study was conducted at Mohaghegh Ardabili University in 2023. The experiment was arranged as a three-factorial design in a completely randomized framework with three replications. The investigated factors included: (i) seed biotype at two levels (tribenuron-methyl-sensitive and tribenuron-methyl-resistant), (ii) gibberellic acid (GA_3) concentration at four levels (500, 1000, 1500, and 2000 mg L^{-1}), and (iii) growth temperature regime at two levels (15/20 °C and 10/15 °C, representing day/night temperatures, respectively).

The measured response variables encompassed germination percentage, germination rate and uniformity, seed water uptake, and the seedling vigor index. All procedures and assessments followed standardized protocols to ensure the reliability and reproducibility of the collected data.

Results

Data confirmed a substantial fitness cost associated with herbicide resistance. The resistant biotype underperformed across all measured germination parameters: final percentage, uniformity, and rate (1.8-fold lower). Consequently, its seedlings developed 38% less vigor. Seed water uptake, governed by significant temperature × biotype and temperature × gibberellic acid interactions, was less effective in resistant seeds. Interestingly, the 10/15°C temperature treatment enhanced the water absorption rate overall compared to the warmer regime, but this did not compensate for the inherent limitations of the resistant biotype.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

Conclusions

In conclusion, the research revealed a significant fitness cost in herbicide-resistant wild mustard biotypes, including impaired germination and growth, particularly under lower temperatures. This vulnerability allows for practical management strategies such as delayed crop planting, optimized irrigation, and crop rotation to suppress resistant populations. Consequently, while herbicide resistance provides a selective advantage, it compromises long-term weed fitness. Exploiting these weaknesses through integrated approaches is key to developing sustainable resistance management programs.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge all contributors to this project. Particular acknowledgment is extended to the colleagues within the laboratories of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Funding

This article was prepared with the financial support of the Vice Chancellor for Scientific and Research of the University of Mohaghegh Ardabili.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

پژوهش‌های بذر ایران

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

ارزیابی شایستگی نسبی و پاسخ‌های جوانه‌زنی بذر به دما و جیبرلین در بیوتیپ‌های مقاوم و حساس خردل وحشی (*Sinapis arvensi*) به علف‌کش تری‌بنورون‌متیل

رفعت حسنی‌نسب فرزانه[۱]، احمد توبه[۲]، سدابه جهانبخش[۲]، رسول فخاری[۳]✉، و محمد احمدی[۱]

۱. دانشجو و فارغ التحصیل دکتری علوم علف‌های‌هرز، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: r.hassani@uma.ac.ir; ahmadi.agro@uma.ac.ir

۲. استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: a.tobeh@uma.ac.ir ; jahanbakhsh@uma.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران. رایانامه: r.fakhari68@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:
اسید جیبرلیک
دما
ساقه‌چه
شایستگی نسبی
مقاومت به علف‌کش

چکیده

هدف: این آزمایش با هدف، ارزیابی شایستگی نسبی و شاخص‌های جوانه‌زنی بذر بیوتیپ‌های حساس و مقاوم خردل وحشی به علف‌کش تری‌بنورون‌متیل در شرایط مختلف دمایی و غلظت‌های اسید جیبرلیک می‌باشد.

روش پژوهش: این آزمایش در آزمایشگاه دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ به صورت فاکتوریل سه عاملی، در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. عامل اول در ۲ سطح (بذر بیوتیپ حساس و مقاوم به تری‌بنورون‌متیل، عامل دوم چهار سطح غلظت اسیدجیبرلیک (۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و عامل سوم در ۲ سطح دمایی ۲۰/۱۵ و ۱۵/۱۰ (روز و شب) درجه سلسیوس بود. در این آزمایش درصد جوانه‌زنی، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، مقدار جذب آب بذر و شاخص بنیه گیاهچه بررسی شد.

یافته‌ها: درصد جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی خردل وحشی حساس بالاتر بود. برهمکنش دما × بیوتیپ و دما × غلظت اسیدجیبرلیک بر مقدار جذب آب معنی‌دار بود. سرعت جذب آب بوسیله بذر نیز در شرایط دمایی ۱۵–۱۰ درجه سلسیوس، بیشتر از شرایط دمای ۲۰–۱۵ درجه سلسیوس (روز و شب) بود. در خردل وحشی حساس سرعت جوانه‌زنی ۱/۸ برابر و بنیه گیاهچه ۳۸ درصد بیشتر از خردل وحشی مقاوم بود.

نتیجه‌گیری: این یافته‌ها نه‌تنها به درک بهتر سازوکارهای مقاومت کمک می‌کند و نشان می‌دهد که مقاومت به علف‌کش، اگرچه یک مزیت است، اما در بلندمدت می‌تواند به یک نقطه ضعف تبدیل شود. کشاورزان می‌توانند با تأخیر در کاشت گندم (به شرط عدم کاهش عملکرد گندم)، شرایط دمایی نامطلوب برای جوانه‌زنی علف‌هرز مقاوم را ایجاد کنند. خردل وحشی مقاوم جذب آب کندتری دارد و با مدیریت آبیاری می‌توان جوانه‌زنی علف‌هرز را کاهش داد. همچنین از آنجا که جوانه‌زنی خردل وحشی مقاوم در دمای پایین‌تر کندتر است، می‌توان با پایش دما، زمان مناسب برای مبارزه مکانیکی یا استفاده از علف‌کش را پیش‌بینی کرد.

جنبه‌های نوآوری:

- اثر دما و اسیدجیبرلیک در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های بیوتیپ خردل وحشی حساس و مقاوم به علفکش بطور همزمان بررسی شد.
- هزینه شایستگی در بیوتیپ‌های مقاوم به علفکش ارزیابی شد.
- تاثیر متفاوت عوامل موثر بر رشد و جوانه‌زنی گیاه در دو بیوتیپ خردل وحشی بررسی شد.

استناد: حسنی‌نسب فرزانه، رفعت؛ توبه، احمد؛ جهانبخش، سدابه؛ و احمدی، محمد (۱۴۰۴). ارزیابی شایستگی نسبی و پاسخ‌های جوانه‌زنی بذر به دما و جیبرلین در بیوتیپ‌های مقاوم و حساس خردل وحشی (*Sinapis arvensi*) به علف‌کش تری‌بنورون‌متیل. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۲(۱)، ۱۱۶–۹۷. http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.97

ناشر: دانشگاه یاسوج.

© نویسندگان.

CC BY

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

مقدمه

علف‌های هرز گیاهانی هستند که به‌صورت ناخواسته در مزارع رشد می‌کنند و با گیاهان زراعی برای منابع (نور، آب، مواد مغذی) رقابت می‌کنند، باعث کاهش عملکرد و افزایش هزینه‌های تولید می‌شوند (زیمدال[1]، ۲۰۱۸). رقابت علف‌های هرز با گیاه زراعی در بوم نظام‌های کشاورزی یکی از تنش‌های زیستی مهم است که ممکن است به شکل‌های مختلفی صورت گیرد و موجب کاهش شدید کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد محصول شود (رودریگز[2] و همکاران، ۲۰۱۶). بدون مهار علف‌های هرز، بسته به توان رقابتی علف‌هرز و گیاه زراعی، تراکم آن‌ها و مدت زمان رقابت، تلفات عملکرد از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد متغیر خواهد بود؛ بنابراین مدیریت علف‌های هرز یکی از عملیات کلیدی در بیشتر نظام‌های کشاورزی محسوب می‌شود (حمزی[3] و همکاران، ۲۰۱۶). خردل وحشی (*Sinspis arvensis*) از تیره Brassicaceae، یکی از متداول‌ترین و شایع‌ترین علف‌های هرز غالب در کشتزارهای گندم است که سبب کاهش عملکرد و افزایش هزینه‌های تولید می‌گردد (پاوار[4]، ۲۰۰۹) و در بسیاری از نقاط معتدل تا نیمه گرمسیر و حتی گرمسیر دنیا به‌عنوان علف‌هرز مهم در کشت‌های پاییزه و در بعضی مواقع بهاره مطرح است. متداول‌ترین روش مبارزه با علف‌های هرز در گندمزارهای ایران، استفاده از علف‌کش‌های بازدارنده استولاکتات سینتاز[5] (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 آن و به‌علاوه قیمت مناسب سبب استفاده گسترده علف‌کش‌های بازدارنده ALS شده است (آقاجانی[6] و همکاران، ۲۰۰۹). جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه از مراحل اصلی در چرخه‌ی زندگی گیاه است و برای موفقیت علف‌های هرز در بوم نظام‌های زراعی امری ضروری است. جوانه‌زنی سریع خردل وحشی در پاییز با وجود هوای سرد و رشد سریع آن در اواخر زمستان، باعث افزایش توان رقابتی این گیاه با محصولات زراعی شده است (پاول و یو[7]، ۲۰۱۰). تاکنون ۵۳۳ بیوتیپ علف‌هرز به علف‌کش، مقاوم گزارش شده‌اند. بازدارنده‌ی آنزیم استولاکتات سنتاز (ALS)، جزء گروه‌های علف‌کشی است که مقاومت بالا به آن زیاد گزارش شده است، به طوری که تاکنون ۱۷۲ گونه مقاوم به این خانواده علف‌کشی گزارش شده است (هیپ[8]، ۲۰۲۴). تری‌بنورون‌متیل (گرانستار) از گروه علف‌کش‌های بازدارنده استولاکتات است که در مهار خردل وحشی کاربرد دارد که در چند استان ازجمله استان گلستان خردل وحشی مقاوم به این علف‌کش گزارش شده است (حاجتی[9] و همکاران، ۲۰۱۷).

در گیاهان به‌ازای کسب توانایی مقاومت به علف‌کش‌ها، برخی از توانایی‌ها مانند تولید بذر فراوان، زیست‌توده زیاد و مقاومت به خشکی کاهش می‌یابد که این پدیده را شایستگی می‌نامند (کشتکار[10] و همکاران، ۲۰۱۹). عوامل محیطی زنده و غیرزنده و همچنین ژنتیک، در بیان و مقدار هزینه‌های شایستگی مؤثر هستند (ویلا[11] و همکاران، ۲۰۰۹). در اکثر موارد جهش‌های اتفاق افتاده در ژن این گیاهان، سبب می‌گردد که در شرایط عدم کاربرد علف‌کش، بیوتیپ مقاوم نسبت به بیوتیپ حساس شایستگی پایین‌تری نشان دهد. اگر هزینه شایستگی ژن یا ژن‌های مقاومت زیاد باشد در شرایط عدم کاربرد علف‌کش، انتخاب برگشتی صورت می‌گیرد و بیوتیپ حساس به علف‌کش در مزرعه غالب خواهند شد. اما گاهی ژن‌های عامل مقاومت به علف‌کش‌ها، اثرات بارز بر شایستگی گیاه مقاوم ندارند، که این امر موجب گسترش توده‌های مقاوم علف‌هرز در مزرعه می‌شود (کشتکار و همکاران، ۲۰۱۹). در برخی علف‌های هرز مقاوم، شایستگی برابر (خنثی) و مثبت نیز گزارش کرده‌اند. به همین دلیل است که هزینه شایستگی مقاومت به علف‌کش، در شرایط مختلف، یکسان نیست و به نوع

[1] Zimdahl
[2] Rodrigues
[3] Hamzei
[4] Pawar
[5] Acetolactate synthase
[6] Aghajani
[7] Powles and Yu
[8] Heap
[9] Hajati
[10] Keshtkar
[11] Vila

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

جهش صورت‌گرفته و شرایط محیطی بستگی دارد (لنهاف[1] و همکاران، ۲۰۱۳). دما تأثیر معنی‌داری بر پتانسیل و سرعت جوانه‌زنی دارد و به همین دلیل، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده موفقیت در استقرار گیاهچه است، همچنین هورمون‌ها نیز در ایجاد و مهار خواب فیزیولوژیکی بذر نقش کلیدی دارند که از بین آن‌ها هورمون اسید جیبرلین (GA_3) از طریق القای جوانه‌زنی، خواب بذر را مهار می‌نماید (نجفی[2] و همکاران، ۲۰۰۶). تری‌بنورون‌متیل به دلیل کاربرد گسترده در گندم، وجود جمعیت‌های مقاوم در ایران و قابلیت بررسی هزینه‌های شایستگی انتخاب شد. بدون شک شناخت زیست‌شناسی علف‌هرز، نقش مهمی در مدیریت علف‌های هرز داشته و قدم اول در شناخت هر گیاهی آگاهی از خصوصیات اکوفیزیولوژیکی بذر است که هدف این آزمایش آگاهی از تفاوت اکوفیزیولوژیکی بیوتیپ حساس و مقاوم خردل وحشی در حضور اسیدجیبرلیک و دماهای مختلف جهت مهار و پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی بذرهای خردل وحشی و استقرار گیاهچه‌های آن است.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و تیمارهای آزمایشی

این مطالعه در آزمایشگاه دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ جهت ارزیابی شایستگی نسبی در شرایط دمایی و غلظت‌های مختلف اسیدجیبرلیک در مرحله جوانه‌زنی خردل وحشی مقاوم و حساس به علف‌کش تری‌بنورن‌متیل با نام تجاری گرانستار انجام شد. بذرها از مرکز تحقیقات استان گلستان تهیه گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول در ۲ سطح (بذر بیوتیپ حساس و بیوتیپ مقاوم به تری‌بنورون‌متیل، فاکتور دوم چهار سطح غلظت اسیدجیبرلیک (۵۰۰،۱۰۰۰،۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و فاکتور سوم در ۲ سطح دمایی ۲۰/۱۵ و ۱۵/۱۰ (روز و شب) درجه سلسیوس بود. در این آزمایش درصد جوانه‌زنی، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، جذب آب بذر[3]، طول ساقه‌چه، ریشه‌چه و شاخص بنیه گیاهچه بررسی شد.

توزین، کاشت و داده‌برداری

بذرهای خردل وحشی قبل از انجام آزمایش به‌وسیله ترازوی دیجیتال با دقت توزین شدند؛ در خردل وحشی حساس، رنگ بذرها سیاه و وزن ۱۰۰۰ دانه برابر ۱/۳ گرم و در خردل وحشی مقاوم رنگ بذرها قهوه‌ای و وزن ۱۰۰۰ دانه برابر ۱/۱ گرم بود. بذرها به مدت ۲۴ ساعت در غلظت‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک خیسانده شدند. سپس ۲۵ عدد بذر در پتری‌هایی به قطر ۱۰ سانتی‌متر و حاوی کاغذ صافی کشت شد. آزمایش در ۳ تکرار انجام شد. مقدار آب در حدی بود که تمام بذرها در تماس مستقیم با آب بودند و برای حفظ رطوبت، پتری‌ها درون کیسه‌های نایلونی شفاف نگهداری شدند و در ژرمیناتور در دماهای مذکور تا زمان ثابت شدن جوانه‌زنی به مدت ۷ روز قرار گرفتند. شمارش بذرهای جوانه‌زده هر روز در ساعت معینی انجام می‌شد. معیار برای بذرهای جوانه‌زده، داشتن ریشه‌چه به اندازه حداقل ۲ میلی‌متر بود (ویلنبرگ[4] و همکاران، ۲۰۰۵). برای تعیین سرعت جذب آب بذر، قبل از اعمال تیمارها ابتدا وزن خشک بذرها محاسبه شد و بعد از اعمال تیمارها برای رفع کمون، بذرها با غلظت اسیدجیبرلیک مورد نظر تیمار و هر ۱، ۲ و ۲۴ ساعت از آب خارج شده و پس از خشک شدن، توزین شدند.

پردازش اعداد

یکنواختی جوانه‌زنی (GU)، درصد جوانه‌زنی (Gmax) و سرعت جوانه‌زنی (R_{50})، با استفاده از برنامه Germine در محیط Excel محاسبه گردید (سلطانی[5] و همکاران، ۲۰۰۱). این برنامه پارامترهای مور نظر را برای هر مشاهده از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌نماید. سرعت جذب آب، سرعت و درصد، مدت زمان لازم بین ۱۰ تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی بذر (فاضلی کخاکی[6] و همکاران، ۲۰۱۵) و

[1] Lehnhoff
[2] Najafi
[3] Seed water absorption
[4] Willenborg
[5] Soltani
[6] Fazeli kakhaki

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

شاخص بنیه گیاهچه (عبدالباکی و اندرسون[1]، ۱۹۷۳) طبق روابط ۱-۵ محاسبه شدند:

رابطه ۱:

$$V = \frac{W2-W1}{T}$$

در رابطه ۱، V سرعت جذب آب در بذر، W1 وزن بذر خشک، W2 وزن بذر بعد از آبگیری و T مدت زمان است.

رابطه ۲:

$$R50 = \frac{1}{D50}$$

در رابطه ۲، R50 سرعت ۵۰ درصد جوانه‌زنی و D50 مدت زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی است.

رابطه ۳:

$$GP = 100 \times \frac{n}{N}$$

در رابطه ۳، N کل بذرکشت شده، n تعداد بذرهای جوانه زده و GP درصد جوانه‌زنی است.

رابطه ۴:

$$SVIL = LP \times NOR$$

در رابطه ۴، SVIL شاخص بنیه گیاهچه، LP طول گیاهچه و NOR درصد جوانه نرمال است.

رابطه ۵:

$$GU = D90 - D10$$

در رابطه ۵، GU یکنواختی جوانه‌زنی ، D90 زمان لازم ۹۰ درصد و D10 زمان لازم ۱۰ درصد درصد جوانه‌زنی است.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در این آزمایش ثبت داده‌ها و رسم نمودارها در نرم‌افزار Excel، تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.3 و مقایسه میانگین آن‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد آماری استفاده گردید.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

این مطالعه نشان داد که بین دو بیوتیپ خردل‌وحشی (حساس و مقاوم) از نظر درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱) و جوانه‌زنی خردل-وحشی حساس ۷ درصد بیشتر از خردل‌وحشی مقاوم است (جدول ۲). پژوهشگران گزارش کردند که از نظر جوانه‌زنی بین بیوتیپ‌های حساس و مقاوم به بازدارنده‌های استولاکتات سنتاز روی بروموس کرک‌دار (*Bromus tectorum*) تفاوتی وجود نداشت (پارک[2] و همکاران، ۲۰۰۴). در مطالعه‌ای دیگر بیان شد که بیوتیپ‌های مرغ (*Eleusine indica*) مقاوم به گلایفوسیت، در درجه حرارت‌های ثابت، از نظر جوانه‌زنی، برتر از بیوتیپ‌های حساس بودند (اسماعیل[3] و همکاران، ۲۰۰۲). با توجه به نتایج آزمایش (جدول ۲)، جوانه‌زنی خردل‌وحشی حساس ۱۰۰ درصد مشاهده شد و در خردل‌وحشی مقاوم این مقدار به ۹۲/۶۶ درصد تقلیل یافت. مطالعات نشان داده است که رنگ پوسته دانه بذر، برخی از صفات، مانند جوانه‌زنی و سبزشدن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (ماوی[4]، ۲۰۱۶). در پژوهشی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن بذر و درصد جوانه‌زنی را نشان داد (خان[5]، ۲۰۰۴). در یک پژوهشی که انجام شده، شده، خردل وحشی در مقایسه با خردل سفید، وزن بذر بیشتری داشت و احتمال دادند که این افزایش در درصد جوانه‌زنی خردل وحشی، ناشی از وزن دانه باشد (باسکین و باسکین[6]، ۱۹۹۸). طبق نتایج این آزمایش هم خردل وحشی مقاوم در مقایسه با خردل وحشی حساس وزن بذر کم‌تری داشت و احتمال آن می‌رود که این کاهش در درصد جوانه‌زنی خردل وحشی مقاوم از وزن دانه باشد. کاهش جوانه‌زنی خردل وحشی مقاوم احتمالاً به دلیل هزینه مقاومت به علف‌کش ایجاد شده است؛ چون با کاهش درصد جوانه‌زنی تراکم آن در مزرعه نیز کاهش می‌یابد و بخشی از نقصان عملکرد گیاه زراعی در رابطه با علف‌هرز، تحت تأثیر تراکم علف‌هرز می‌باشد (عباس‌دخت[7]، ۲۰۰۳).

[1] Abdul-baki and Aderson

[2] Park
[3] Ismail
[4] Mavi
[5] Khan
[6] Baskin and Baskin
[7] Abbas-Dokht

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دما، بیوتیپ و غلظت اسیدجیبرلیک روی شاخص‌های جوانه‌زنی، بنیه و وزن کل گیاهچه و نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه خردل وحشی.

Table 1- Analysis of variance (mean squares) for the effects of temperature, biotype, and gibberellic acid concentration on germination indices, seedling vigor, total seedling weight, and root-to-shoot ratio of wild mustard.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی Df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	بنیه گیاهچه Seedling vigor index	وزن کل گیاهچه Total seedling weight	نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه The ratio of radicle to epicotyl length
دما (A) Temperature	1	12.00	3.59**	1755.95**	0.00016*	2.24**
بیوتیپ (B) Biotype	1	645.30**	26.50**	9000.35**	0.00025*	0.018
غلظت جیبرلیک (C) Gibberllic concentration	3	8.00	0.008	1840.56**	0.00009ns	1.04**
A×B	1	12.00	0.006	770.56*	0.000018	0.006
A×C	3	105.30	0.156	261.78	0.00004	0.047
B×C	3	8.00	0.105	237.47	0.000035	0.31**
A×B×C	3	105.30	0.048	60.13	0.0001*	0.20*
خطا Error	32	82.66	0.106	174.49	0.000035	0.055
درصد ضریب تغییرات CV%	-	0.94	1.66	1.62	2.40	2.13

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and ** are significant at the five and one percent probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی دما، بیوتیپ خردل وحشی و غلظت اسیدجیبرلیک روی درصد جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه.

Table 2- Mean comparison of the main effects of temperature, wild mustard biotype, and gibberellic acid concentration on seed germination percentage, uniformity, and seedling vigor.

تیمارها Treatments		درصد جوانه‌زنی Percentage of germination	یکنواختی جوانه‌زنی (روز) Uniformity of germination	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
دمای (روز/شب) سلسیوس Temperature (day/night) °C	15/10 °C	-	1.68b	-
	20/15 °C	-	2.23a	-
بیوتیپ خردل وحشی Wild mustard biotype	Sensitive	100.00a	1.21b	-
	Resistant	92.67b	1.26a	-
غلظت جیبرلیک (میلی‌گرم در لیتر) Gibberellic acid concentration (ppm)	500	-	-	84.85a
	1000	-	-	92.10a
	1500	-	-	63.43b
	2000	-	-	84.68b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با هم در سطح ۵ درصد ندارند

Means followed by the same letter within a column are not significantly different at $p < 0.05$.

یکنواختی جوانه‌زنی

بیوتیپ‌های خردل وحشی از لحاظ یکنواختی جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری نشان دادند (جدول ۱). در بیوتیپ مقاوم خردل وحشی، یکنواختی جوانه‌زنی کم‌تر از بیوتیپ حساس خردل وحشی مشاهده شد (جدول ۲). شاید بتوان یکنواختی جوانه‌زنی را از لحاظ زنده مانی و بقاء گونه، با توجه به تغییرات ناگهانی محیط و شرایط نامساعد محیطی ویژگی منفی بیان کرد. در آزمایش حاضر، یکنواختی جوانه‌زنی در دماهای مختلف، تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۱) و افزایش دما، باعث کاهش یکنواختی جوانه‌زنی در بذرهای خردل وحشی شد (جدول ۲). در این آزمایش، میزان یکنواختی جوانه‌زنی

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

کم‌تر بیوتیپ مقاوم خردل وحشی نسبت به بیوتیپ حساس ممکن است هزینه شایستگی منفی در این بیوتیپ از خردل وحشی باشد. نتایج پژوهشی نشان داد که در دماهای کمتر و بیشتر از ۱۵ درجه سلسیوس برای شاهدانه و کنجد، یکنواختی جوانه‌زنی افزایش یافت (علیپور و محمودی[1] ، ۲۰۱۵).

شاخص بنیه گیاهچه

شاخص بنیه گیاهچه تابعی از دو متغیر درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) می‌باشد. برهمکنش بیوتیپ خردل وحشی با دما بر شاخص بنیه گیاهچه معنی‌دار است (جدول ۱). بیشترین بنیه گیاهچه در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک (۹۲/۱) و کمترین آن در غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۶۳/۴۳) بدست آمد (جدول ۲). طبق مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) بیشترین بنیه گیاهچه در بیوتیپ حساس و دمای ۲۰/۱۵ (۹۷) و کمترین آن در بیوتیپ مقاوم و دمای ۱۵/۱۰ (۵۷/۵۲) مشاهده شد. شاخص بنیه گیاهچه در خردل وحشی حساس در دمای ۱۵/۱۰ درجه سلسیوس ۳۸ درصد بیشتر از خردل وحشی مقاوم در همان شرایط بود. همچنین در دمای ۱۵/۲۰ درجه سلسیوس کاهش بنیه گیاهچه ۲۰ درصد مشاهده شد. همچنین در خردل وحشی مقاوم شاخص بنیه گیاهچه در دمای ۲۰/۱۵ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۱۵/۱۰ درجه سلسیوس، ۱/۳۵ برابر بیشتر بود.

کیفیت بذر یکی از عواملی است که بسیاری از آنها به دست آمده‌اند، اما معیارهای توانایی جوانه‌زنی، قدرت بذر، دوام و سلامت بذر از مهم‌ترین جنبه‌های کیفیت بذر است (ورما و دوبی[2]، ۲۰۰۳). با توجه به نتایج می‌توان گفت در بیوتیپ مقام بنیه گیاهچه کاهش یافته و می‌تواند نوعی نقطه ضعف یا شایستگی منفی برای بذرهای جوانه‌زده محسوب شود؛ اما زمانی که بذرها در اثر مقاومت و کاهش بنیه گیاهچه با تاخیر جوانه بزنند امکان مدیریت بهینه این علف هرز کاهش می‌یابد و می‌تواند نوعی شایستگی مثبت محسوب شود؛ پس می‌توان گفت بسته به شرایط مختلف و نوع مدیریت مزرعه ایجاد شایستگی در بیوتیپ مقاوم می‌تواند به نفع یا ضرر مدیر مزرعه تمام شود.

وزن کل گیاهچه

برهمکنش سه‌جانبه سطوح مختلف دما، غلظت اسیدجیبرلیک و بیوتیپ خردل وحشی روی وزن کل گیاهچه اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). بیش‌ترین وزن کل گیاهچه در بیوتیپ حساس خردل-وحشی در دمای ۲۰/۱۵ درجه سلسیوس در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک مشاهده شد و برای خردل وحشی مقاوم بیش‌ترین وزن گیاهچه در دمای ۲۰/۱۵ درجه سلسیوس در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک مشاهده شد و در غلظت‌های بالاتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر مقدار وزن گیاهچه کاهش یافته است (جدول ۴). طبق نتایج در دمای بهینه، وزن گیاهچه بیش‌تر می‌شود و این عمل می‌تواند ناشی از رشد بهینه در این شرایط باشد. در بیوتیپ مقاوم در غلظت‌های بالای اسیدجیبرلیک واکنش منفی مشاهده شد؛ بنابراین در زمان آلودگی مزرعه به خردل وحشی مقاوم می‌توان با کاربرد غلظت‌های بالاتر این هورمون سبب بهبود رشد و استقرار سریع گیاه زراعی و کند شدن استقرار این علف هرز شد و در نتیجه گیاه زراعی در رقابت بهتر عمل خواهد کرد.

[1] Alipoor, and Mahmodi
[2] Verma and Dubey

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش دوجانبه دما و بیوتیپ خردل وحشی روی بنیه گیاهچه

Table 3- Mean comparison of the two-way interaction effect of temperature on seedling vigor in *Sinapis arvensis* (wild mustard) biotypes.

دمای (روز/شب) سلسیوس Temperature (day/night) °C	بیوتیپ خردل وحشی Sinapis arvensis biotype		شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
15/10 °C	حساس	Sensitive	92.92[a]
	مقاوم	Resistant	57.52[c]
20/15 °C	حساس	Sensitive	97.00[a]
	مقاوم	Resistant	77.63[b]

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با هم در سطح ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$.

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش سه‌جانبه دما (روز/شب)، بیوتیپ خردل وحشی و غلظت اسیدجیبرلیک روی وزن کل گیاهچه و نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه.

Table 4- Mean comparison of the three-way interaction of temperature (day/night), *Sinapis arvensis* biotype, and gibberellic acid concentration on total seedling weight and radicle-to-epicotyl length ratio.

دمای (روز/شب) Temperature (day/night) °C	بیوتیپ خردل وحشی *Sinapis arvensis* biotype		غلظت اسیدجیبرلیک (میلی‌گرم در لیتر) Gibberellic acid concentration (ppm)	وزن کل گیاهچه (میلی‌گرم) Total seedling weight (mg)	نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه The ratio of radicle to epicotyl length
m15/10 °C	حساس	Sensitive	500	0.030[ab]	1.72[ab]
			1000	0.026[ac]	1.56[abc]
			1500	0.020[cd]	0.74[ghi]
			2000	0.026[ac]	1.28[c-f]
	مقاوم	Resistance	500	0.020[cd]	1.83[a]
			1000	0.033[a]	0.92[f-i]
			1500	0.030[ab]	1.10[d-g]
			2000	0.030[ab]	1.38[b-e]
20/15 °C	حساس	Sensitive	500	0.020[cd]	1.45[a-d]
			1000	0.023[bc]	0.99[e-h]
			1500	0.013[d]	0.57[i]
			2000	0.023[bc]	0.65[hi]
	مقاوم	Resistance	500	0030[ab]	0.92[f-i]
			1000	0.026[ac]	0.81[ghi]
			1500	0.020[cd]	0.63[hi]
			2000	0.023[bc]	1.06[e-h]

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با هم در سطح ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letter within a column are not significantly different at $p < 0.05$.

نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه

نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه در برهمکنش سه‌جانبه دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ۱). بیش‌ترین نسبت (۱/۸۳) در دمای ۱۵/۱۰ درجه سلسیوس در خردل وحشی مقاوم و غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک و کمترین آن (۰/۶۳) در دمای ۲۰/۱۵ درجه سلسیوس در خردل وحشی مقاوم و غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک مشاهده شد (جدول ۴). اندازه‌ی ریشه، همچنین نسبت طول ریشه به ساقه بطور عمده به غلظت عناصر شیمیایی و زیستی بستر بستگی دارد؛ به عنوان مثال در یک گونه گیاهی، نسبت ریشه به ساقه در مناطق خشک، به طور قابل توجهی بیشتر از آب و هوای معتدل است (گرگوری[1] و همکاران، ۱۹۸۴). از سوی دیگر، زمانی که مقدار زیادی آب و مواد

[1] Gregory

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

مغذی وجود دارد یک سامانه ریشه کوچک ممکن است کافی باشد (گرینوود[1]، ۱۹۸۳). سازوکارهای مختلفی وجود دارد که نسبت ریشه به ساقه را تنظیم می‌کند که برخی از آنها تحت مهار هورمون‌ها هستند که به تاخیر رشد ساقه، زمانی که ریشه‌ها در معرض تنش خشکی، فشردگی خاک یا هوادهی ضعیف خاک قرار می‌گیرند، می‌توان اشاره کرد (آتکین[2]، ۱۹۷۳). در آزمایش حاضر مشخص شد که در بیوتیپ مقاوم و در دماهای پایین نسبت طول ریشه‌چه به طول ساقه‌چه افزایش می‌یابد که احتمالاً ناشی از اختصاص بیش‌تر منابع به ریشه‌چه در دمای پایین است. در بیوتیپ مقاوم نیز احتمالاً سازوکارهایی ایجاد شده است که در شرایط مختلف طول ریشه‌چه سریع‌تر گسترش یابد و این عامل می‌تواند در شرایط خشکی نوعی شایستگی مثبت بوده و استقرار گیاهچه را تضمین کند.

زمان لازم برای ۵، ۱۰، ۹۰ و ۹۵ درصد جوانه‌زنی

اثر اصلی دما و نوع بیوتیپ خردل وحشی بر زمان لازم برای ۵، ۱۰، ۹۰ و ۹۵ درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری نشان داد و همچنین غلظت‌های اسیدجیبرلیک، تأثیر معنی‌داری بر زمان لازم برای ۱۰ درصد جوانه‌زنی را داشته‌اند. همچنین برهمکنش بیوتیپ خردل وحشی با غلظت اسیدجیبرلیک، بر زمان لازم برای ۹۵ درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۵). زمان لازم برای ۵ درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۰/۱۵ درجه سلسیوس ۲/۱۵ برابر کمتر از دمای ۱۵/۱۰ درجه سلسیوس بود و همچنین زمان لازم برای ۵ درصد جوانه‌زنی در خردل وحشی حساس ۲/۵۷ برابر کمتر از خردل وحشی مقاوم مشاهده شد. در دمای ۱۵/۱۰ درجه سلسیوس زمان لازم برای ۱۰ درصد جوانه‌زنی بیش‌تر از دمای ۲۰/۱۵ درجه سلسیوس بود؛ همچنین ۱۰ درصد جوانه‌زنی خردل وحشی حساس در زمان کم‌تری نسبت به خردل وحشی مقاوم انجام گرفت، همچنین در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک، زمان لازم برای ۱۰ درصد جوانه‌زنی بیشتر از سایر غلظت‌ها مشاهده شد (جدول ۶). زمان لازم برای ۹۰ درصد جوانه‌زنی در خردل وحشی حساس ۱/۹۶ (کم‌ترین زمان) روز بود و این در حالی است که در خردل وحشی مقاوم ۴/۳۴ روز (بیش‌ترین زمان) مشاهده شد و همچنین زمان لازم برای ۹۰ درصد جوانه‌زنی در در دمای ۱۵/۱۰ درجه سلسیوس بیشتر از دمای ۲۰/۱۵ درجه سلسیوس مشاهده شد (جدول ۶). بیش‌ترین زمان (۴/۷۱ روز) لازم برای ۹۵ درصد جوانه‌زنی بذرهای خردل وحشی در تیمار بیوتیپ مقاوم و غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کم‌ترین آن (۱/۸۸ روز) در تیمار بیوتیپ حساس و غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک به‌دست آمد (جدول ۷).

[1] Greenwood
[2] Atkin

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) زمان لازم برای ۵، ۱۰، ۹۰ و ۹۵ درصد جوانه‌زنی بذر خردل وحشی.

Table 5- Analysis of variance (mean squares) for the time required for 5, 10, 90, and 95% germination of wild mustard seeds.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	زمان لازم برای ۵ درصد جوانه‌زنی Time required for 5% germination	زمان لازم برای ۱۰ درصد جوانه‌زنی Time required for 10% germination	زمان لازم برای ۹۰ درصد جوانه‌زنی Time required for 90% germination	زمان لازم برای ۹۵ درصد جوانه‌زنی Time required for 95% germination
دما (A) Temperature	1	7.107**	6.62**	0.488*	0.76**
بیوتیپ (B) Biotype	1	10.48**	9.60**	67.83**	71.54**
غلظت جیبرلیک (C) Gibberllic concentration	3	0.031	0.12*	0.097	0.161
A×B	1	0.0006	0.011	0.0008	0.170
A×C	3	0.055	0.045	0.078	0.104
B×C	3	0.041	0.01	0.093	0.245*
A×B×C	3	0.07	0.013	0.079	0.077
خطا Error	32	0.049	0.028	0.078	0.073
درصد ضریب تغییرات CV%	-	2.11	1.42	0.88	0.80

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and ** are significant at the five and one percent probability levels, respectively.

جدول ۶- اثرات اصلی دما، بیوتیپ خردل وحشی و غلظت اسید جیبرلیک روی زمان لازم برای جوانه‌زنی

Table 6- Main effects of temperature, biotype, and gibberellic acid concentration on time to germination in Sinapis arvensis (wild mustard)

تیمارها Treatments			زمان تا ۵ درصد جوانه‌زنی (روز) Time to 5% germination (day)	زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی (روز) Time to 10% germination (day)	زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی (روز) Time to 90% germination (day)	زمان تا ۹۵ درصد جوانه‌زنی (روز) Time to 95% germination (day)
دمای (روز/شب) سلسیوس Temperature (day/night) °C	15/10 °C		1.44a	1.57a	3.25a	3.52a
	20/15 °C		0.67b	0.82b	3.05b	3.26b
بیوتیپ خردل وحشی Wild mustard biotype	حساس	Sensitive	0.59b	0.75b	1.96b	-
	مقاوم	Resistant	1.52a	1.64a	4.34a	-
غلظت اسید جیبرلیک Gibberellic acid concentration (ppm)	500		-	1.32a	-	-
	1000		-	1.14bc	-	-
	1500		-	1.24ab	-	-
	2000		-	1.09c	-	-

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با هم در سطح ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letter within a column are not significantly different at $p < 0.05$.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

جدول ۷- برهمکنش دوجانبه بیوتیپ خردل وحشی در غلظت اسیدجیبرلیک روی زمان لازم برای ۹۵ درصد جوانه‌زنی.

Table 7- Effect of the interaction between biotype and gibberellic acid concentration on the time to 95% germination of Sinapis arvensis.

بیوتیپ خردل وحشی Sinapis arvensis biotype	غلظت اسیدجیبرلیک (میلی‌گرم در لیتر) Gibberellic acid concentration (ppm)	زمان تا ۹۵ درصد جوانه‌زنی (روز) Time to 95% germination (day)
حساس Sensitive	500	2.49[b]
	1000	2.13[c]
	1500	2.18[bc]
	2000	1.88[c]
مقاوم Resistance	500	4.55[a]
	1000	4.58[a]
	1500	4.71[a]
	2000	4.62[a]

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با هم در سطح ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$.

وزن بذر بعد از ۱ ساعت، ۲ ساعت و ۲۴ ساعت جذب آب

اثر بیوتیپ خردل وحشی بر وزن بذر بعد از یک ساعت جذب آب اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۸). وزن بذر (یک ساعت بعد جذب آب) در خردل وحشی حساس بیشتر از خردل وحشی مقاوم مشاهده شد (جدول ۹)، همچنین تجزیه واریانس وزن بذر بعد از دو ساعت جذب آب نشان داد که برهمکنش نوع بیوتیپ خردل وحشی با غلظت اسیدجیبرلیک تأثیر معنی‌داری را بر وزن بذر بعد از دو ساعت جذب آب دارد (جدول ۸) و وزن بذر در خردل وحشی حساس با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک بیش‌ترین وزن را نشان داد (جدول ۹). وزن بذر بعد از ۲۴ ساعت جذب آب اختلاف معنی‌داری در برهمکنش دما و غلظت اسیدجیبرلیک نشان داد (جدول ۸). بیش‌ترین مقدار وزن بذر بعد از ۲۴ ساعت جذب آب در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک، در دمای ۲۰/۱۵ درجه سلسیوس مشاهده شد (جدول ۱۰). بذرهای خشک معمولاً دارای پتانسیل آب بین ۳۵۰- تا ۵۰- مگاپاسکال هستند. این تفاوت عظیم بین پتانسیل آب بافت دانه خشک و پتانسیل محیط منجر به هجوم سریع آب در طول جذب آب می‌شود که آن را فاز ۱ جذب آب می‌نامند. آب همیشه از پتانسیل بالاتر به پایین‌تر جریان دارد و در صورت صفر شدن اختلاف پتانسیل، جریان آب متوقف می‌شود که فاز ۲ جذب آب اتفاق می‌افتد که منجر به گسترش اولیه ریشه‌چه می‌شود. رشد بیشتر جنین نیاز به شل شدن دیواره سلولی دارد تا امکان جذب آب در فاز ۳ فراهم شود. جذب آب فاز سوم باعث رشد هیدرولیکی جنین می‌شود که باعث بیرون آمدن گیاهچه از بذر می‌شود.

سرعت جوانه‌زنی

نتایج بیانگر معنی‌دار بودن برهمکنش بین بیوتیپ‌های خردل وحشی با غلظت‌های اسیدجیبرلیک روی سرعت جوانه‌زنی است (جدول ۸) و در خردل وحشی حساس سرعت جوانه‌زنی ۱/۸ برابر بیشتر از خردل وحشی مقاوم مشاهده شد (جدول ۱۰). سرعت جوانه‌زنی به عنوان یکی از آزمون‌های قدرت بذر در مطالعات قدرت بذر معرفی شده است و از این آزمون برای تعیین محموله‌های بذری با قدرت بالا استفاده می‌شود (ماوی و همکاران، ۲۰۱۶). مطابق گزارش پژوهشگران افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی و افزایش فعالیت آنزیم احتمالاً وابستگی زیادی به فعالیت هورمون اسیدجیبرلیک دارد (روحی[1] و همکاران، ۲۰۱۲). بیشترین سرعت جوانه‌زنی در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و دمای ۲۰/۱۵ (۰/۷۱ در روز) و کمترین آن در غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و دمای ۱۵/۱۰ (۰/۴۸ در روز) مشاهده شد (جدول ۱۰). بالاتر بودن سرعت جوانه‌زنی بیوتیپ‌های خردل وحشی حساس نسبت به بیوتیپ مقاوم خردل وحشی در بسته شدن کانوپی بسیار موثر می‌باشد که این مساله اجازه رشد

[1] Rouhi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

جدول ۸- میانگین مربعات حاصل تجزیه واریانس اثر دما، بیوتیپ خردل وحشی و غلظت‌های مختلف اسیدجیبرلیک روی وزن بذر بعد از ۱، ۲ و ۲۴ ساعت جذب آب، سرعت جوانه‌زنی و زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی.

Table 8- Mean squares from the ANOVA for the effects of temperature, biotype, and gibberellic acid (GA) concentration on seed water uptake (after 1, 2, and 24 h), germination rate, and time to 50% germination in wild mustard (*Sinapis arvensis*).

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	وزن بذر (۱ ساعت جذب آب) Seed weight (1 h of uptake water)	وزن بذر (۲ ساعت جذب آب) Seed weight (2 h of uptake water)	وزن بذر (۲۴ ساعت جذب آب) Seed weight (24 h of uptake water	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی Time to 50% germination
دما (A) Temperature	1	0.000008	0.00003*	0.00007**	0.162**	2.82**
بیوتیپ (B) Biotype	1	0.000044**	0.00004**	0.000012**	0.053**	16.089**
غلظت جیبرلیک (C) Gibberllic concentration	3	0.000002ns	0.00002*	0.00005**	0.013*	0.34**
A×B	1	0.000004ns	0.000007ns	0.00001ns	0.0003ns	0.198*
A×C	3	0.00001ns	0.000006ns	0.000014*	0.01*	0.25**
B×C	3	0.000018ns	0.000015*	0.000011*	0.009*	0.124ns
A×B×C	3	0.000002ns	0.000002ns	0.000006ns	0.004ns	0.043ns
خطا Error	32	0.000005	0.000005	0.000005	0.003	0039
درصد ضریب تغییرات CV%	-	1.02	1.27	1.03	1.07	1.01

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and ** are significant at the five and one percent probability levels, respectively.

جدول ۹- اثرات اصلی دما و بیوتیپ خردل وحشی بر وزن بذر بعد از ۱ ساعت و ۲ ساعت.

Table 9- Main effects of temperature, and biotype on seed hydration weight after 1 h and 2 h in wild mustard (*Sinapis arvensis*).

تیمارها Treatments			وزن بذر ۱ ساعت پس ازجذب آب (میلی‌گرم) Seed weight 1 hour of uptake water (mg)	وزن بذر ۲ ساعت پس از جذب آب (میلی‌گرم) Seed weight 2 hours uptake water (mg)
دمای (روز/شب) سلسیوس Temperature (day/night) °C		15/10 °C	-	0.018b
		20/15 °C	-	0.020b
بیوتیپ خردل وحشی Wild mustard biotype	حساس	Sensitive	0.018a	-
	مقاوم	Resistant	0.0167b	-

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با هم در سطح ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letter within a column are not significantly different at $p < 0.05$.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

جدول ۱۰- مقایسه میانگین برهمکنش دوجانبه دما و غلظت اسیدجیبرلیک روی وزن بذر بعد از ۲۴ ساعت جذب آب، سرعت جوانه‌زنی و زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی.

Table 10- Interaction effect of temperature and GA concentration on 24-h seed hydration weight, germination rate, and T_{50}.

دمای (روز/شب) Temperature (day/night) °C	غلظت اسیدجیبرلیک (میلی‌گرم در لیتر) Gibberellic acid concentration (ppm)	وزن بذر ۲۴ ساعت پس از جذب آب (میلی‌گرم) Seed weight 24 hours of uptake water (mg)	سرعت جوانه‌زنی (تعداد جوانه در روز) Germination rate (NO/day)	زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی (روز) Time required for 50% germination (day)
15/10 °C	500	0.024^{abc}	0.50^{ab}	2.11^{ab}
	1000	0.019^{d}	0.503^{ab}	2.105^{ab}
	1500	0.020^{cd}	0.48^{b}	2.34^{a}
	2000	0.019^{d}	0.503^{ab}	2.18^{a}
20/15 °C	500	0.026^{a}	0.55^{ab}	1.98^{ab}
	1000	0.021^{bcd}	0.61^{ab}	1.57^{ab}
	1500	0.021^{bcd}	0.59^{ab}	1.91^{ab}
	2000	0.024^{ab}	0.71^{a}	1.34^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با هم در سطح ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letter within a column are not significantly different at $p < 0.05$.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین برهمکنش دوجانبه بیوتیپ خردل وحشی در غلظت اسیدجیبرلیک روی سرعت جوانه‌زنی

Table 11- Mean comparison of the interaction effect between *Sinapis arvensis* biotype and gibberellic acid concentration on germination rate.

بیوتیپ خردل وحشی Sinapis arvensis biotype	غلظت اسیدجیبرلیک (میلی‌گرم در لیتر) Gibberellic acid concentration (ppm)	سرعت جوانه‌زنی (تعداد جوانه در روز) Germination rate (NO/day)
حساس Sensitive	500	0.67^{a}
	1000	0.66^{a}
	1500	0.72^{a}
	2000	0.75^{a}
مقاوم Resistance	500	0.38^{b}
	1000	0.44^{b}
	1500	0.35^{b}
	2000	0.45^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با هم در سطح ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$.

کم‌تری به بیوتیپ‌های مقاوم را می‌دهد. چنانچه جذب آب دچار اختلال یا به کندی صورت گیرد، سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (کافی[1] و همکاران، ۲۰۰۵)، همچنین برهمکنش سطوح مختلف غلظت اسیدجیبرلیک با دما، اختلاف معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی بذر خردل وحشی داشت، به طوری که سرعت جوانه‌زنی در بیش‌ترین غلظت اسیدجیبرلیک (۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، نسبت به کم‌ترین غلظت (۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در دمای ۲۰/۱۵ درجه سلسیوس به میزان ۷۷/۴۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۱۰) و این در حالی است که اثر غلظت اسیدجیبرلیک ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در دمای ۱۵/۱۰ درجه سلسیوس، با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در آن دما، تفاوتی نداشت. افزایش سرعت جوانه‌زنی را می‌توان با افزایش سطح بذر نسبت به حجم آن نسبت داد که باعث افزایش جذب آب شده که در نتیجه باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی شده است. سرعت جوانه‌زنی بین خردل وحشی مقاوم و حساس از صفاتی بود که ژنوتیپ بیشتر از شرایط محیط بر آن تأثیرگذار بود. در این آزمایش سرعت جوانه‌زنی خردل وحشی حساس بیشتر از خردل وحشی مقاوم مشاهده شد و افزایش دما نیز تاثیر مثبتی بر سرعت

[1] Kafi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

جوانه‌زنی داشت. در تحقیقی، آنالیز همبستگی بین ارزش رنگ بذر با درصد و میانگین زمان جوانه‌زنی زیاد و معنی‌دار بود (ماوی و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین گزارش شده است که کاهش یا افزایش دمای فراتر از سطح مطلوب موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌شود (خان و گلزار[1]، ۲۰۰۳). در مطالعه‌ای روی خردل وحشی، زمان تا رسیدن به ۵۰ درصدجوانه‌زنی بین ۵۰ تا ۳۵۰ ساعت در دماهای مختلف متغیر بود (سلطانی[2] و همکاران، ۲۰۰۲).

محققان برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از معکوس زمان تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (1/D50) استفاده می‌کنند (گالیندز[3] و همکاران، ۲۰۱۶). در واقع این شاخص نشان‌دهنده مدت زمانی است که طول می‌کشد تا ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی رخ دهد؛ بنابراین، هرچه این زمان کوتاه‌تر باشد سرعت جوانه‌زنی نیز بیشتر خواهد بود. سرعت جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های جوانه‌زنی می‌باشد که در اکثر تحقیقات برای تشخیص تیمار تاثیرگذار بر جوانه‌زنی بذر گیاه موردنظر، استفاده می‌شود. به طور کلی، بذرهایی که دارای سرعت جوانه‌زنی بیشتری هستند، در مزرعه سریع‌تر استقرار پیدا می‌کنند و بوته‌های حاصل از آن‌ها نیز رشد اولیه سریع‌تری خواهند داشت. این رشد اولیه و استقرار سریع‌تر باعث دریافت تشعشع خورشیدی بیشتر و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود (سلطانی و گالشی[4]، ۲۰۰۲). در آزمایش حاضر برهمکنش بین دما و بیوتیپ خردل وحشی، همچنین برهمکنش دما و غلظت اسیدجیبرلیک بر زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۸) که در برهمکنش بین بیوتیپ خردل‌وحشی و دما زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی در خردل وحشی حساس کمتر از خردل وحشی مقاوم بود و در برهمکنش بین دما و غلظت اسیدجیبرلیک، افزایش دما منجر به کاهش زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی شد (جدول ۱۲). بیشترین زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی در بیوتیپ مقاوم و دمای ۱۰/۱۵ سلسیوس (۱/۱۸ روز) و کمترین آن در بیوتیپ حساس و دمای ۱۵/۲۰ درجه سلسیوس (۲/۸۳ روز) بدست آمد (جدول ۱۲).

[1] Khan and Gulzar
[2] Soltani
[3] Galindez
[4] Soltani and Galeshi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

جدول ۱۲- مقایسه میانگین برهمکنش دوجانبه دما در بیوتیپ خردل وحشی روی زمان لازم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی

Table 12- Mean comparison of the two-way temperature interaction effect on the time to 50% germination in *Sinapis arvensis* biotypes.

دمای (روز/شب) سلسیوس Temperature (day/night) °C	بیوتیپ خردل وحشی *Sinapis arvensis* biotype		زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (روز) Time to 50% germination (day)
15/10 °C	حساس	Sensitive	1.54[c]
	مقاوم	Resistant	2.83[a]
20/15 °C	حساس	Sensitive	1.18[d]
	مقاوم	Resistant	2.21[b]

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با هم در سطح ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$.

نتیجه‌گیری

بیوتیپ‌های مقاوم در مقایسه با بیوتیپ‌های حساس، جوانه‌زنی کندتر، جذب آب کمتر و شاخص بنیه گیاهچه پایین‌تری از خود نشان دادند. این یافته‌ها حاکی از آن است که مقاومت به علف‌کش، می‌تواند توانایی رقابتی و بقای گیاه را در شرایط طبیعی کاهش دهد. از سوی دیگر، این تحقیق نشان داد که عوامل محیطی مانند دما و غلظت‌های مختلف اسیدجیبرلیک، تأثیر قابل توجهی بر جوانه‌زنی و رشد بیوتیپ‌های مقاوم و حساس دارند. به عنوان مثال، افزایش دما و غلظت اسیدجیبرلیک، جوانه‌زنی و رشد بیوتیپ‌های حساس را به طور معنی‌داری بهبود بخشید، در حالی که بیوتیپ‌های مقاوم پاسخ کمتری به این عوامل نشان دادند. این موضوع می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی برای مهار علف‌های هرز مقاوم مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت، این تحقیق بر اهمیت درک هزینه‌های شایستگی در مدیریت علف‌های هرز مقاوم تأکید می‌کند. با کاهش استفاده از علف‌کش‌ها در برخی مناطق و بهره‌گیری از روش‌های جایگزین مانند مدیریت دمایی با تنظیم تاریخ کاشت گیاه زراعی یا استفاده از هورمون‌های گیاهی، می‌توان جمعیت علف‌های هرز مقاوم را کاهش داد. این یافته‌ها نه تنها به درک بهتر سازوکارهای مقاومت کمک می‌کند، بلکه راه‌های جدیدی برای توسعه راهبردهای پایدارتر در مدیریت علف‌های هرز ارائه می‌دهد. به طور خلاصه، این تحقیق نشان می‌دهد که مقاومت به علف‌کش، اگرچه یک مزیت است، اما در بلندمدت می‌تواند به یک نقطه ضعف تبدیل شود. با استفاده از این دانش، می‌توان روش‌های مدیریتی هوشمندانه‌تری برای مهار علف‌های هرز مقاوم طراحی کرد و از گسترش مقاومت جلوگیری نمود. این تحقیق گامی مهم در جهت درک تعاملات پیچیده بین گیاهان، علف‌کش‌ها و محیط است و راه را برای تحقیقات آینده در این زمینه هموار می‌کند. نتایج نشان داد که جوانه‌زنی و رشد خردل وحشی مقاوم در دمای پایین‌تر (۱۰-۱۵ درجه سلسیوس) نسبت به دمای بالاتر (۱۵-۲۰ درجه) ضعیف‌تر است، کشاورزان می‌توانند با تأخیر در کاشت گندم (به شرط عدم کاهش عملکرد گندم)، شرایط دمایی نامطلوب برای جوانه‌زنی علف‌هرز مقاوم را ایجاد کنند. خردل وحشی مقاوم جذب آب کندتری دارد و کشاورزان می‌توانند با مدیریت آبیاری (مثلاً کاهش رطوبت خاک در روزهای اول پس از کاشت)، جوانه‌زنی علف‌هرز را کاهش دهند؛ روش‌هایی مانند آبیاری موضعی یا آبیاری پس از سبز شدن گندم می‌تواند مؤثر باشد. مقاومت به تری‌بنورون‌متیل دارای هزینه شایستگی برای علف‌هرز است (جوانه‌زنی و رشد ضعیف‌تر) و کشاورزان می‌توانند با تناوب زراعی (کشت گیاهان پاییزه غیرمیزبان مانند جو یا کلزا) و استفاده از علف‌کش‌هایی با سازوکار متفاوت، جمعیت علف‌هرز مقاوم را کاهش دهند. همچنین از آنجا که جوانه‌زنی خردل وحشی مقاوم در دمای پایین‌تر کندتر است، می‌توان با پایش دما، زمان مناسب برای مبارزه مکانیکی (وجین) یا استفاده از علف‌کش را پیش‌بینی کرد.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور مساوی در مفهوم‌سازی مقاله و نگارش پیش‌نویس‌های اولیه و بعدی آن مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت علمی و پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است.

سپاسگزاری

نویسندگان از همه مشارکت‌کنندگان در این پروژه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنند. به ویژه از همکاران آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع References

Abbas-Dokht, H. (2003). Ecophysiological study of competition between *Amaranthus retroflexus* L. and soybean (*Glycine max* L.) [Unpublished doctoral dissertation]. University of Tehran. (In Persian)

Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science, 13*(6), 630–633. https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x

Aghajani, Z., Zand, E., Baghestani, M., & Mirhadi, M. (2009). Resistance of wild oat (*Avena ludoviciana* Durieu) populations to iodosulfuron+ mezosulfuron herbicide. *Iranian Journal of Weed Science, 6*, 79–93. (In Persian)

Alipoor, Z., & Mahmodi, S. (2015). Effect of different temperature on germination properties of fennel (*Foeniculum vulgare*), cannabis (*Cannabis sativa*) and sesame (*Sesamus indicum*). *Iranian Journal of Seed Research, 2*(1), 37–51. (In Persian) http://dx.doi.org/10.29252/yujs.2.1.37

Atkin, R. K. (1973). Mechanisms regulating the root/shoot ratio. *Biological Journal of the Linnean Society*, *5*(2), 171-175.

Baskin, C. C. & Baskin, J. M. (1998). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-080260-9.X5000-3

Fazeli Kakhaki, F., Nezami, A., Parsa, M., & Kafi, M. (2015). Evaluation of germination indices and seedling growth in sesame ecotypes (*Sesamum indicum* L.) under salinity conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 7*(2), 217–232. (In Persian) https://doi.org/10.22077/escs.2015.180

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

Galindez, G., Seal, C. E., Daws, M. I., Lindow, L., Ortega-Baes, P., & Pritchard, H. W. (2016). Alternative temperature combined with darkness resets base temperature for germination (Tb) in photoblastic seeds of *Lippia* and *Aloysia* (Verbenaceae). *Plant Biology, 19*, 41–45. https://doi.org/10.1111/plb.12449

Greenwood, D. J. (1983). Quantitative theory and the control of soil fertility. *New Phytologist, 94*(1), 1–18. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1983.tb02715.x

Gregory, P. J., Shepherd, K. D., & Cooper, P. J. (1984). Effects of fertilizer on root growth and water use of barley in Northern Syria. *The Journal of Agricultural Science, 103*(2), 429–438. https://doi.org/10.1017/S0021859600047407

Hajati, M., Ayenehband, A., & Mahdavi Damghani, M. (2017). Evaluation of the response of wild mustard (*Sinapis arvensis*) populations in Golestan province to tribenuron-methyl herbicide. Paper presented at the 7th Iranian Weed Science Congress, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)

Hamzei, J., Seyedi, M., & Babaei, M. (2016). Competitive ability of lentil (*Lens culinaris* L.) cultivars to weed interference under rain-fed conditions. *Journal of Agroecology, 8*(1), 82–94. (In Persian) https://doi.org/10.22067/jag.v8i1.34606

Heap, I. (2024). *The international survey of herbicide-resistant weeds*. http://www.weedscience.com

Ismail, B. S., Chuah, T. S., Salmijah, S., Teng, Y. T., & Schumacher, R. W. (2002). Germination and seedling emergence of glyphosate-resistant and susceptible biotypes of goosegrass (*Eleusine indica* [L.] Gaertn.). *Weed Biology and Management, 2*(4), 177–185. https://doi.org/10.1046/j.1445-6664.2002.00066.x

Kafi, M., Nezami, A., Hosseini, H., & Masoumi, A. (2005). Physiological effects of drought stress induced by polyethylene glycol on lentil cultivars. *Journal of Iranian Agricultural Research, 3*(1), 69–79. (In Persian)

Keshtkar, E., Abdolshahi, R., Sasanfar, H., Zand, E., Beffa, R., Dayan, F. E., & Kudsk, P. (2019). Assessing fitness costs from a herbicide-resistance management perspective: A review and insight. *Weed Science, 67*(2), 137–148. https://doi.org/10.1017/wsc.2018.63

Khan, M. A., & Gulzar, S. (2003). Germination responses of *Sporobolus ioclados*: A saline desert grass. *Journal of Arid Environments, 53*(3), 387–394. https://doi.org/10.1006/jare.2002.1045

Khan, M. L. (2004). Effects of seed mass on seedling success in *Artocarpus heterophyllus* L., a tropical tree species of north-east India. *Acta Oecologica, 25*(1–2), 103–110. https://doi.org/10.1016/j.actao.2003.11.007

Lehnhoff, E. A., Keith, B. K., Dyer, W. E., & Menalled, F. D. (2013). Impact of biotic and abiotic stresses on the competitive ability of multiple herbicide-resistant wild oats (*Avena fatua*). *PLOS ONE, 8*(5), e64478. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064478

Mavi, K., Powell, A. A., & Matthews, S. (2016). The rate of radicle emergence and leakage of electrolytes provide quick predictions of the percentage of normal seedlings in standard

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

germination tests of radish (*Raphanus sativus*). *Seed Science and Technology, 44*(2), 393–409. https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.2.12

Najafi, F., Bannayan, M., Tabrizi, L., & Rastgoo, M. (2006). Seed germination and dormancy breaking techniques for *Ferula gummosa* and *Teucrium polium*. *Journal of Arid Environments, 64*(3), 542–547. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.009

Park, K. W., Mallory-Smith, C. A., Ball, D. A., & Mueller-Warrant, G. W. (2004). Ecological fitness of acetolactate synthase inhibitor-resistant and–susceptible downy brome (*Bromus tectorum*) biotypes. *Weed Science, 52*(5), 768–773. https://doi.org/10.1614/WS-04-081R

Pawar, R. K. (2009). *Weed management*. Oxford Book Company.

Powles, S. B., & Yu, Q. (2010). Evolution in action: Plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology, 61*, 317–347. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112119

Rodrigues, P. M. S., Schaefer, C. E. G. R., Silva, J. D. O., Junior, W. G. F., Santos, R. M. D., & Neri, A. V. (2016). The influence of soil on vegetation structure and plant diversity in different tropical savannic and forest habitats. *Journal of Plant Ecology, 11*(2), 226–236. https://doi.org/10.1093/jpe/rtw135

Rouhi, H. R., Aboutalebian, M. A., Moosavi, S. A., Karimi, F. A., Karimi, F., Saman, M., & Samadi, M. (2012). Change in several antioxidant enzymes activity of Berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) by priming. *International Journal of AgriScience, 2*(3), 237–243.

Soltani, A., & Galeshi, S. (2002). Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: Experimentation and simulation. *Field Crops Research, 77*(1), 17–30. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00045-X

Soltani, A., Galeshi, S., Zenali, E., & Latifi, N. (2001). Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coast of Iran. *Seed Science and Technology, 29*, 653–662.

Soltani, A., Galeshi, S., Zenali, E., & Latifi, N. (2002). Germination seed reserve utilization and growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Science and Technology, 30*, 51–60.

Verma, S., & Dubey, R. S. (2003). Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science, 164*(4), 645–655. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00022-0

Vila-Aiub, M. M., Neve, P., & Powles, S. B. (2009). Fitness costs associated with evolved herbicide resistance alleles in plants. *New Phytologist, 184*(4), 751–767. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03055.x

Willenborg, C. J., Wildeman, J. C., Miller, A. K., Rossnagel, B. G., & Shirtliffe, S. J. (2005). Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. *Crop Science, 45*(5), 2023–2029. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0722

Zimdahl, R. L. (2018). *Fundamentals of weed science* (5th ed.). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811143-7.00023-8

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]