Iranian Journal of Seed Research

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

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

Yasouj University

Evaluation of Flixweed (*Descurainia sophia*) Seed Germination and Dormancy Responses Under Heat Shock

Ali Shayanfar[1✉], and **Bita Oskouei**[2]

1. Corresponding author, Asistant professor of Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Alborz, Iran. Email: ali.shayanfar13@gmail.com
2. Asistant professor of Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Alborz, Iran. Email: b_oskouei@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 28 July 2025
Received in revised form 31 July 2025
Accepted 1 August 2025
Available online 22 September 2025

Keywords:
Crop residue burning
Seed dormancy
Substrate temperature
Thermo-dormancy

ABSTRACT

Objective: This study aimed to simulate the effects of thermal shocks from crop residue burning and soil temperatures on the germination and dormancy of flixweed (*Descurainia sophia*) seeds under laboratory conditions.

Method: A factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with four replications. Heat shock treatments were applied to flixweed seeds at 80°C and 120°C for durations of 2.5 and 7.5 minutes. Subsequently, the treated seeds were incubated for 14 days under constant temperatures of 7, 15, 20, 25, 30, and 35°C, as well as under an alternating temperature regime of 20/30°C (16h/8h). Various seed germination and dormancy indices were then recorded and analyzed.

Results: The optimum temperature for flixweed seed germination was 7°C. Increasing the germination temperature to 35°C significantly reduced both the germination percentage and rate, while significantly increasing the percentages of dead and dormant seeds. Compared to constant temperatures above 7°C, alternating temperature treatments combined with light exposure enhanced the germination rate and percentage and decreased seed dormancy. Both elevated substrate temperatures and heat shock treatments increased the percentage of dead seeds, particularly at 30 and 35°C under the 120°C heat shock treatment. The highest percentage of normal seedlings was observed at 7°C and under the 20/30°C alternating temperature regime. Applying an 80°C heat shock for 2.5 minutes improved both the germination percentage and rate, and reduced secondary dormancy compared to the control at the same incubation temperature. In contrast, heat shocks at higher temperatures (120°C) led to increased seed mortality and reduced both germination and dormancy.

Conclusions: Heat shock treatments did not induce secondary dormancy (thermo-dormancy) in flixweed seeds; instead, they primarily influenced the germination percentage, germination rate, and seed mortality. The induction of secondary dormancy in flixweed seeds was observed only as a result of elevated substrate temperatures above 7°C. Thermo-dormancy caused by exposure to higher temperatures can be mitigated through alternating temperature treatments combined with light, thereby enhancing both the germination percentage and rate.

Cite this article: Shayanfar, A., & Oskouei, B. (2025). Evaluation of flixweed (*Descurainia sophia*) seed germination and dormancy responses under heat shock. *Iranian Journal of Seed Research*, *12*(1), 55-76. http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.55

© The Author(s).
Publisher: Yasouj University.
DOI: http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.55

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

Highlights

- The response of the flixweed soil seed bank to crop residue burning was simulated under laboratory conditions.
- Secondary dormancy induction in flixweed seeds was assessed in response to both heat shock and incubation temperature treatments.
- Thermo-dormancy in flixweed seeds was induced exclusively by elevated substrate temperature, not by heat shock treatments.

Introduction

One of the important medicinal plants is *Descurainia sophia* (commonly known as flixweed), which has long played a significant role in Iran's traditional medical practices (Khan et al., 2012). In many regions, in an effort to expedite sowing of the subsequent crop, farmers commonly burn the crop residues from the previous season (McCarty et al., 2017). The seeds of flixweed that are present in the soil seed bank are exposed to heat shock resulting from such residue burning. Under field conditions, the seeds of this plant fall into the soil seed bank are affected by thermal shocks resulting from burning residues and soil temperatures which were simulated in laboratory conditions in this study.

Method

This study was carried out as a factorial experiment arranged in a completely randomized design (CRD) with four replications. The experimental procedures were as follows:

• Initially, flixweed seeds were exposed to heat shock treatments at 80°C and 120°C for 2.5 and 7.5 minutes. The control treatment received no heat shock and was maintained at room temperature.

• Following the heat shock treatments, the seeds were placed in germinator for 14 days under various temperature regimes of 7, 15, 20, 25, 20/30, 30, and 35°C. Constant temperature treatments were conducted in complete darkness, whereas alternating temperature treatments followed a 16/8-hour dark/light cycle.

• Germinated seeds were counted at regular hourly intervals throughout the day to determine germination indices.

Results

The results showed that under non-heat shock treatment conditions at 7°C, the highest germination percentage was consistently recorded. As the constant temperature increased to 15, 20, and 25°C, the seed germination percentage gradually decreased, and at 30 and 35°C, it dropped below 5%. This reduction was attributed to the induction of secondary dormancy in the seeds as temperature increased, since the percentage of dead seeds did not show a significant rise. It appears that the secondary dormancy induced by increasing temperature was of the thermo-dormancy type. Seeds that were first exposed to 20–30°C and 7°C exhibited a higher germination rate and required a shorter mean germination time.

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

Interestingly, the optimum temperature range for seed germination was approximately 7–10°C. Moreover, seeds exposed to alternating temperatures (20–30°C) combined with light–dark cycles showed a higher germination percentage compared with constant temperatures. It is likely that the temperature alternation along with light exposure fulfilled the thermal and photoperiodic requirements for breaking dormancy, leading to a higher proportion of germinated seeds within the population. Exposure of seeds to heat shock at 80°C for both treatment durations improved germination percentage and rate compared with the control at the same temperature, whereas exposure to 120°C increased the proportion of dead seeds.

Conclusions

Heat shock treatments did not induce secondary dormancy (thermo-dormancy) in flixweed seeds, but they did have significant effects on the germination characteristics, including germination percentage, germination rate, and seed mortality. The response of flixweed seeds to heat shock was primarily characterized by changes in germination dynamics rather than the induction of secondary dormancy. Interestingly, secondary dormancy, also known as thermo-dormancy, was only observed when the substrate temperature exceeded a threshold of approximately 7°C, suggesting that this phenomenon may be temperature-dependent. Thermo-dormancy, which occurs as a result of exposure to high temperatures, could potentially be alleviated through the use of alternating temperature regimes combined with light exposure. Therefore, the manipulation of temperature and light conditions could serve as an effective strategy to optimize seed germination and establishment. It is strongly recommended that future research investigate the effects of heat shock treatments on flixweed seeds at varying soil depths.

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 would like to express their gratitude to the Vice Presidency for Science and Technology of the Islamic Republic of Iran and the Seed and Plant Certification and Registration Research Institute for their financial support of this research. They also extend their sincere thanks to Ms. Afshar, Senior Specialist at the Seed Quality Analysis Laboratory, for her tireless efforts.

Ethical Considerations

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

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

Funding

The present article was conducted with financial support from the Vice Presidency for Science and Technology of the Islamic Republic of Iran and the Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, under project number 124-08-08-009-98024-000732.

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 پاسخ‌های جوانه‌زنی و خواب بذر خاکشیر (*Descurainia Sophia*) به شوک حرارتی

علی شایان‌فر ✉[1]، و بیتا اسکوئی [2]

۱. نویسنده مسئول، استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران. رایانامه:
ali.shayanfar13@gmail.com

۲. استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران. رایانامه:
b_oskouei@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:
خواب ثانویه ناشی از دمای بالا
خواب بذر
دمای بستر کشت
سوزاندن بقایای گیاهی

چکیده

هدف: شبیه‌سازی تأثیر شوک‌های حرارتی ناشی از سوزاندن بقایای گیاهی و دمای خاک بر جوانه‌زنی و خواب بذر خاکشیر در شرایط آزمایشگاهی.

روش پژوهش: این تحقیق به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار اجرا گردید. تیمارهای شوک‌های حرارتی بر بذرهای خاکشیر به مدت ۲/۵ و ۷/۵ دقیقه در دماهای ۸۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس اعمال گردید. سپس بذرها به مدت ۱۴ روز در دماهای ثابت مختلف ۷، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ و دمای متناوب ۲۰–۳۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و خواب بذرهای خاکشیر مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: دمای بهینه جوانه‌زنی بذرهای خاکشیر ۷ درجه سلسیوس بود. افزایش دمای جوانه‌زنی تا ۳۵ درجه سلسیوس، درصد و سرعت جوانه‌زنی را کاهش و درصد بذرهای مرده و درصد خواب را بطور معنی‌داری افزایش داد. دمای متناوب به همراه نور سبب افزایش جوانه‌زنی و همچنین کاهش درصد خواب بذرهای خاکشیر نسبت به دماهای ثابت بالاتر از ۷ درجه سلسیوس گردید. افزایش دمای بستر کشت و همچنین شوک‌های حرارتی سبب افزایش درصد بذرهای مرده به ویژه در دو دمای ثابت ۳۰ و ۳۵ در تیمار شوک حرارتی ۱۲۰ درجه سلسیوس گردید. درصد گیاهچه‌های عادی در دو تیمار دمایی ۷ و ۲۰–۳۰ درجه سلسیوس از سایر دماهای بستر کشت بالاتر بود. شوک حرارتی با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲/۵ دقیقه سبب افزایش جوانه‌زنی، و کاهش خواب ثانویه نسبت به شاهد در همان دمای بستر کشت گردید. شوک‌های حرارتی در ۱۲۰ درجه سلسیوس سبب کاهش خواب ثانویه و جوانه‌زنی، و افزایش درصد بذرهای مرده گردید.

نتیجه‌گیری: شوک حرارتی سبب القای خواب ثانویه در بذرهای خاکشیر نشد، در عوض، تنها بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و درصد بذرهای مرده تأثیرگذار بود. القای خواب ثانویه در بذرهای خاکشیر تنها با افزایش دمای بستر کشت (فراتر از ۷ درجه سلسیوس) ثبت گردید. دمای متناوب به همراه نور سبب کاهش خواب ثانویه ناشی از قرارگیری بذرهای خاکشیر در دماهای بالاتر شد و سبب افزایش جوانه‌زنی گردید.

جنبه‌های نوآوری:

- شبیه‌سازی شرایط بانک بذر خاک خاکشیر در پاسخ به سوزاندن بقایای گیاهی در آزمایشگاه انجام شد.
- خواب ثانویه القا شده به بذرهای خاکشیر در نتیجه اعمال تیمارهای شوک حرارتی و دماهای بستر کشت مورد ارزیابی قرار گرفت.
- خواب ثانویه القا شده به بذرهای خاکشیر تنها توسط دماهای بستر کشت و نه شوک‌حرارتی حاصل گردیده است.

استناد: شایان‌فر، علی و اسکوئی، بیتا (۱۴۰۴). ارزیابی پاسخ‌های جوانه‌زنی و خواب بذر خاکشیر (*Descurainia Sophia*) به شوک حرارتی. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۲(۱)، ۷۶–۵۵. http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.55

ناشر: دانشگاه یاسوج.

© نویسندگان.

CC BY

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

مقدمه

گیاهان داروئی نقش زیادی را در صنایع مختلف از گذشته تا به امروز ایفا کرده‌اند (خسروی‌پور[1] و همکاران، ۲۰۱۵). گیاه خاکشیر (*Descurainia sophia* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان داروئی در ایران، گیاهی یکساله و زمستانه از خانواده شب‌بوئیان است (خان[2] و همکاران، ۲۰۱۲). این گیاه تنها گونه‌ای از جنس Descurainia است که در ایران وجود دارد و در تمامی بخش‌های ایران تا ارتفاع زیر ۳۰۰۰ متر از سطح دریا رشد و پراکنش یافته است (بهمنی[3] و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین این گیاه به عنوان یکی از گیاهان داروئی - سنتی در فرهنگ پزشکی ایران محسوب می‌شود (نیمروزی و زرشناس[4]، ۲۰۱۶). بذرهای این گیاه در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله تب، زخم و التهاب کلیه از قدیم استفاده شده است (قربانی[5]، ۲۰۰۵). بذرهای این گیاه تا ۴۴ درصد روغن و بیش از ۲۵ درصد پروتئین دارند (بکر[6] و همکاران، ۲۰۰۵).

گیاه خاکشیر در سرتاسر جهان گسترش یافته است. این گیاه به عنوان یک مشکل بزرگ در اراضی کشاورزی به دلیل تداخل با سایر گیاهان زراعی محسوب می‌شود که با آنها رقابت نموده، و اثرات دگرآسیبی بر آنها اعمال می‌کند (لنهوف[7] و همکاران، ۲۰۲۵). به علاوه در بسیاری از مناطق زراعی، شهری و فاضلاب‌های شهری قابلیت رشد و تکثیر دارند که افزایش مقاومت به بسیاری از علف‌کش‌ها در آنها مشاهده شده است (وانگ[8] و همکاران، ۲۰۲۱). گزارش شده است که خاکشیر در زیر پوشش گیاهی (کانوپی)، گیاه اصلی می‌توانند رشد کند که نشان از توانایی بالای آنها در رشد در محیط زیر کانوپی گیاه اصلی با فیلتراسیون شدید نوری است (لاندو[9] و همکاران، ۲۰۱۷).

[1] Khosravi-Pour
[2] Khan
[3] Bahmani
[4] Nimrouzi and Zarshenas
[5] Ghorbani
[6] Bekker
[7] Lehnhoff
[8] Wang
[9] Landau

خاکشیر به مانند سایر گیاهان تیره شب بو (کلزا)، در پاییز جوانه زده، در طی زمستان به صورت روزت رشد یافته و رشد مجدد خود را در بهار از سر می‌گیرد و در طی بهار به گل رفته و بذر را حاصل می‌کند (لاندو و همکاران، ۲۰۱۷). هر گیاه تا ۶۵۰ بذر در هر سال تولید می‌کند که می‌تواند محیط پیرامونی اطراف گیاه را به طور کامل پوشش دهد. بذر این گیاه پس از ریزش، می‌تواند با محصول اصلی از جمله کلزا در زمان برداشت مخلوط شده و سبب کاهش کیفیت بذر و همچنین ارزش تغذیه‌ای محصول گردد (دیویس[10] و همکاران، ۱۹۹۹). این گیاه همانند سایر گیاهان خانوده شب بوئیان، در انتهای دوره رشد زایشی خود، خورجین‌های خود را در راستای پراکنش بیشتر باز نموده و بذرها را در سطح و اعماق مختلف خاک پراکنش می‌دهند (علیجانی[11]و همکاران، ۲۰۲۳). درنتیجه این گیاهان در انتهای دوره رشد زایشی خود، می‌تواند سبب ایجاد بانک بذر بزرگی در خاک اطراف محیط رشد خود شوند. در مطالعات زیادی گزارش شده است که بذرهای گیاه می‌توانند تا بیش از چهار سال در خاک تحت شرایط نامساعد محیطی از جمله تنش خشکی در بانک بذر خاک زنده باقی بمانند (لی[12] و همکاران، ۲۰۰۵).

مطالعات زیادی در خصوص جوانه‌زنی و خواب این گیاه انجام شده است. گزارش شده است که خواب اولیه بذرهای خاکشیر پس از قرارگیری در دوره‌های طولانی مدت انبار تحت شرایط خشک در دمای اتاق (لی و همکاران، ۲۰۰۵) و یا قرارگیری در خاک مرطوب برای چند هفته در دماهای نسبتاً کم می‌تواند کاهش بیابد (بسکین[13] و همکاران، ۲۰۰۴). انبارمانی طولانی مدت در خاک مرطوب در دماهای کمتر از ۵ درجه سلسیوس می‌تواند سبب القای خواب ثانویه در بذرهای خاکشیر گردد (لی و همکاران، ۲۰۰۵). دماهای بهینه برای محدوده جوانه‌زنی در طبیعت از تقریباً ۱۵ تا ۱۸ درجه سلسیوس متغییر است (فلاحی[14] و همکاران، ۲۰۱۷). نور سبب افزایش جوانه‌زنی بذرهای خاکشیر می‌گردد، گزارش شده

[10] Davis
[11] Alijani
[12] Li
[13] Baskin
[14] Fallahi

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

است که نیاز نوری بذرهای خاکشیر می‌تواند طی دفن طولانی مدت یا محیط حاوی نیترات کاهش بیابد و نیترات می‌تواند اثر نور بر جوانه‌زنی را افزایش دهد و سبب بهبود جوانه‌زنی گردد (لی و همکاران، ۲۰۰۵).

در بسیاری از کشورها از جمله روسیه، امریکا و کلمبیا در راستای تسریع در کشت مجدد اقدام به سوزاندن بقایای گیاهی پس از برداشت می‌کنند (مک کارتی[1] و همکاران، ۲۰۱۷). سوزاندن بقایای گیاهی می‌تواند بر خرد اقلیم خاک تأثیر بگذارند (شایان‌فر[2] و همکاران، ۲۰۲۰). در عین حال، سوزاندن بقایای گیاهی می‌تواند به طور غیرمستقیم با تغییر خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک (مانند رطوبت خاک، دسترسی به نور و سطح ترکیبات دگرآسیب‌رسان) بر زیست‌پذیری بانک بذر تأثیر بگذارد (آلکانیز[3] و همکاران، ۲۰۱۸). سوزاندن همچنین می‌تواند پوشش گیاهی بالای سطح زمین را از بین ببرد، رقابت را کاهش دهد و در نتیجه به گیاهچه‌ها امکان دسترسی بیشتر به نور و آب و افزایش تولید بذر را بدهد (فرناندز –گارسیا[4] و همکاران، ۲۰۱۹). حرارت ناشی از سوختن بقایا، دود و همچنین خاکستر می‌توانند به طور مستقیم سبب تحریک جوانه‌زنی یا حتی مرگ بذرهای موجود در بانک بذر خاک شوند (پلو[5] و همکاران، ۲۰۲۰). مشخص شده است که قرارگیری بذرهای با پوسته ضخیم در معرض شوک‌های حرارتی در برخی دماها می‌تواند سبب رفع خواب فیزیکی شود که این موضوع ناشی از نفوذپذیر شدن پوسته خارجی و آبنوشی بذرها می‌باشد. این در حالی است که دماهای بسیار بالاتر می‌تواند منجر به مرگ درصد بسیار زیادی از بذرهای موجود در بانک بذر خاک گردد (کوئنا لمبرانا[6] و همکاران، ۲۰۲۴). در مطالعه روی بذرهای کلزا مشخص گردید در صورتی که در معرض شوک‌های حرارتی با دماهای بالا قرار بگیرند محتمل است سبب القای خواب ثانویه در بذرها گردد (شایان‌فر و همکاران، ۲۰۲۰).

فرضیه این مطالعه این است که بذرهای خاکشیر پس از باز شدن نیام می‌توانند بسته به شرایط خاک در سطوح مختلفی از خاک قرار بگیرند. در صورتی که مزرعه جهت تسریع در فرآیند کشت محصول بعدی آتش زده شود، بذرها با طیف متنوعی از شوک‌های حرارتی در بانک بذر خاک بسته به عمق قرارگیری بذر در بانک خاک مواجه خواهند شد. این بذرها پس از آبیاری یا بارندگی در فصل تابستان یا پاییز در معرض شرایط جوانه‌زنی و رشد مجدد قرار خواهند گرفت که بیانگر قرارگیری آنها در طیف متنوعی از دماهای محیطی بسته به شرایط اقلیمی و همچنین سطح خاک است. از این رو هدف از انجام این مطالعه، شبیه‌سازی شرایط بانک بذر خاک مزرعه و ارزیابی اثرات شوک حرارتی ناشی از آتش‌سوزی مزرعه در شرایط آزمایشگاه بر جوانه‌زنی و خواب بذرهای خاکشیر در طیف متنوعی از دماها بود.

مواد و روش‌ها

گیاهان خاکشیر مورد استفاده در این مطالعه در سال ۱۴۰۱ از اراضی کشاورزی منطقه البرز در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه و ۱۳ ثانیه و در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۸ دقیقه و ۱۱ ثانیه جمع آوری شدند. پس از انتقال به آزمایشگاه نسبت به جداسازی بذرها از گیاهان خاکشیر اقدام گردید. پیش از شروع آزمایش، بذرهای سالم برای انجام آزمون انتخاب شدند و بذرهای پوک یا صدمه دیده با هوادهی و همچنین زیر بینوکولار از بذرهای سالم جدا شدند. رطوبت بذرها پیش از شروع آزمایش در حدود ۱۴ درصد بود. بذرهای سالم با هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی سطحی شده و سپس سه مرتبه با آب معمولی شستشو شدند و در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت به طور کامل سطح بذرها خشک شد. پیش از اعمال تیمارها رطوبت بذرها در بستر کشت در حدود ۱۰ درصد بود.

این تحقیق به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در آزمایشگاه تجزیه کیفی بذر موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج طراحی و اجرا گردید. بذرهای خاکشیر به مدت ۲/۵ و ۷/۵ دقیقه در دو آون مجزا در دماهای ۸۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس قرار

[1] Mccarty
[2] Shayanfar
[3] Alcaniz
[4] Fernandez-Garcia
[5] Plue
[6] Cuena Lombrana

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

گرفتند (موریرا[1] و همکاران، ۲۰۱۰). تیمار شاهد، هیچ شوک حرارتی را دریافت نکرده و در دمای اتاق نگهداری شده بودند. لازم بذکر است که بذرهای خاکشیر پس از ثابت شدن دماهای آون به ۸۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس در طبقات دارای تهویه مناسب قرار گرفتند. پس از اعمال تیمارهای شوک حرارتی بذرها در بسترهای کشت روی کاغذی به مدت ۱۴ روز (اسکوئی[2] و همکاران، ۲۰۲۳) در دماهای مختلف ۷، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۰-۳۰، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. هر تیمار آزمایشی شامل چهار تکرار ۱۰۰ بذری در بستر روی کاغذی (با دو لایه کاغذ صافی) در ظرف پتری بود. دماهای ثابت در تاریکی و دمای متناوب به صورت ۱۶/ ۸ ساعت، تاریکی/ روشنایی انجام گردید (ایستا[3]، ۲۰۲۲). با توجه به اینکه تنها در دمای متناوب، بذرها در معرض نور بودند، نور به همراه دمای متناوب، به عنوان تیمار جداگانه و متفاوت از سایر دماهای ثابت در تاریکی در نظر گرفته شد. منبع نور ژرمیناتور از نوع فلورسنت یا سفید مهتابی (۳۰۰۰ کلوین) بود (ایستا، ۲۰۲۲). از ابتدای شروع آزمایش (اعمال تیمارهای شوک حرارتی) تا ارزیابی نهایی بذر در روز ۱۴ ام در دماهای مختلف بستر کشت، ظرف‌های پتری حاوی بذرهای خاکشیر در جعبه‌های پلاستیکی مشکی مهروموم شده قرار گرفته شدند تا هیچ گونه نور به آن اعمال نشود. اگرچه تنها در تیمار دمای متناوب بذرها فاقد این شرایط بودند و نور دریافت نمودند. ارزیابی جوانه‌زنی و خواب بذرها (طی شمارش ساعتی در هر روز) در اتاق تاریک با استفاده از نور سبز انجام گردید.

در راستای تعیین سرعت و زمان جوانه‌زنی، تعداد بذرهای جوانه‌زده به‌صورت ساعتی در طی روز مورد بازدید قرار گرفتند و یادداشت برداری انجام شد. معیار خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر و یا بیشتر بود. در روز انتهایی آزمایش، تعداد بذرهای جوانه‌زده به صورت درصد جوانه‌زنی نهایی ارائه شدند. درصد گیاهچه‌های عادی و غیر عادی نیز پس از ارزیابی بخش‌های مختلف گیاهچه مشخص گردید. پس از ۱۴ روز، بذرهای با لپه‌های نرم و آبکی به عنوان مرده و بذرهای با لپه‌های سالم و سفت به عنوان بذر زنده (خواب) در نظر گرفته شدند. بذرهای سالم و سفت با استفاده آزمون فشار مورد بررسی قرار گرفتند (شایان‌فر و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین در برخی موارد که ارزیابی زنده‌مانی دشوار بود با استفاده از آزمون تترازولیوم، بذرهای مرده یا زنده تشخیص داده شدند. بدین منظور بذرهای مشکوک با استفاده از آزمون تترازولیوم مورد ارزیابی قرار گرفتند. بذرها به‌صورت طولی برش و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۸ ساعت در محلول تترازولیوم یک درصد قرار داده شدند. تمامی بخش‌های داخلی بذر از جمله جنین و آندوسپرم در بذرهایی زنده به‌خوبی رنگ گرفته بودند (ایستا، ۲۰۲۲). در این مطالعه دو شاخص مهم سرعت جوانه‌زنی نیز ارزیابی گردید.

شاخص سرعت جوانه‌زنی نیز بر اساس رابطه ۱ اندازه‌گیری شد (انجمن تجزیه رسمی بذر[4]، ۱۹۸۳).

رابطه ۱:

$$GRI = \sum_{i=1}^{c} Ni / \sum_{i=1}^{c} Ti$$

$\sum Ni$ = مجموع کل بذرهای جوانه‌زده تا پایان آزمایش

$\sum Ti$ = مجموع زمان بر حسب ساعت از شروع آزمایش جوانه‌زنی

متوسط زمان جوانه‌زنی[5] که شاخصی از سرعت و شتاب جوانه‌زنی است برحسب واحد ساعت با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (رانال و دی سانتاتا[6]، ۲۰۰۶).

رابطه ۲:

$$MGT = \frac{\sum \mathrm{NiDi}}{N}$$

که در آن Ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در ساعت iام و Di تعداد ساعت‌ها از شروع آزمون (هنگام کشت) تا شمارش iام (پایان دوره آزمون) و N تعداد کل بذرهای جوانه‌زده است.

دو تیمار دمای شوک حرارتی در دو مدت زمان به همراه هفت دمای بستر کشت بدون لحاظ شاهد (بدون شوک حرارتی در دمای اتاق) مختلف تجزیه واریانس شدند. در نمودارهای ارائه شده، مقایسه میانگین تمامی تیمارهای اشاره شده در بالا ارائه شده است و تیمار شاهد

[1] Moreira
[2] Oskouei
[3] ISTA
[4] AOSA
[5] Mean germination time (MGT)
[6] Ranal and De Santana

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

(بدون شوک حرارتی در دمای اتاق) بدون مقایسه میانگین با سایر تیمارها برای درک بهتر پاسخ‌های فیزیولوژیک بذرهای خاکشیر در ستون کنار آنها قرار داده شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارها SAS V. 9 و Excel 2013 انجـام شد. با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد، مقایسه میانگین داده‌ها انجام شد.

نتایج

اثرمتقابل سه‌گانه دما و مدت زمان شوک حرارتی و دمای بستر کشت بر تمامی شاخص‌های جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی از جمله درصدهای جوانه‌زنی نهایی، بذرهای مرده، بذرهای خواب، گیاهچه‌های عادی و شاخص سرعت جوانه‌زنی و متوسط زمان جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار و درصد گیاهچه غیر عادی در سطح پنج درصد بود (جدول ۱).

درصد جوانه‌زنی نهایی

بالاترین درصد جوانه‌زنی نهایی در دمای ۷ درجه سلسیوس و سپس دمای متناوب ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس مشاهده شد. درصد جوانه‌زنی نهایی در دمای ۷ درجه سلسیوس در تیمار شاهد ۶۸ درصد و در دمای متناوب ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس، ۵۰ درصد ثبت گردید. همواره کمترین درصد جوانه‌زنی در دو تیمار دمایی ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس ثبت گردید. قرارگیری در دماهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس سبب حصول حداکثر ۱۶ درصد جوانه‌زنی شد (شکل ۱). بذرهای خاکشیر پس از اعمال شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲/۵ دقیقه و قرارگیری در تمامی بسترهای کشت با دماهای متنوع، سبب افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد شدند و افزایش دما و مدت زمان شوک حرارتی سبب کاهش

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های جوانه‌زنی و خواب بذر خاکشیر تحت تیمارهای شوک حرارتی در دماهای مختلف بستر کشت.

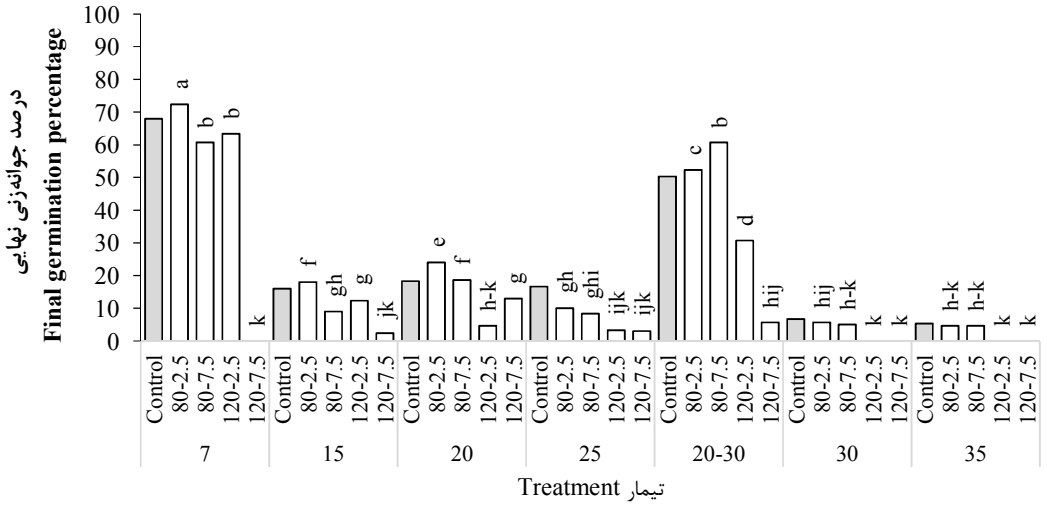
Table 1. Analysis of variance (mean squares) for the germination and dormancy indices of Flixweed seeds subjected to heat shock treatments at different substrate temperatures.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی D.F.	درصد جوانه‌زنی نهایی Final germination percentage	درصد بذرهای مرده Dead seed percentage	درصد بذرهای خواب Seed dormancy percentage	درصد گیاهچه غیر عادی Abnormal seedling percentage	درصد گیاهچه عادی Normal seedling percentage	شاخص سرعت جوانه‌زنی Germination rate index	متوسط زمان جوانه‌زنی Mean germination time
شوک حرارتی (HS)	1	4983.4 **	90423.0 **	52950.9 **	34.7 **	4186.3 **	0.27 **	2809.3 **
مدت زمان شوک حرارتی (T)	1	1304.3 **	10076.2 **	4130.0 **	1.7 ns	1211.4 **	93.1 **	5896.6 **
دمای بستر کشت (Temp)	6	4050.7 **	511.0 **	2553.5 **	2.54 **	3982.1 **	283.7 **	6484.6 **
HS × T	1	530.0 **	10563.8 **	6361.4 **	0.05 ns	520.0 **	13.5 **	1414.3 *
HS × Temp	6	651.1 **	287.4 **	1564.9 **	6.21 **	707.7 **	147.9 **	2751.1 **
T × Temp	6	567.3 **	167.2 **	184.6 **	0.99 ns	538.9 **	3.65 **	739.4 **
HS × T × Temp	6	408.0 **	148.4 **	222.4 **	1.65 *	368.4 **	19.6 **	2044.3 **
خطا Error	66	8.1	2.04	9.6	0.5	8.5	0.001	196.9
ضریب تغییرات (٪) C.V. (%)	.	16.2	4.03	6.6	20.4	18.5	17.01	10.7

**، *، ns به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح یک، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

, * significant at 1 and 5 percent levels probability and non-significant, respectively.

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



شکل ۱. مقایسه میانگین اثرمتقابل دما و مدت زمان شوک حرارتی در دماهای مختلف بستر کشت بر درصد جوانه‌زنی نهایی بذر خاکشیر. میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

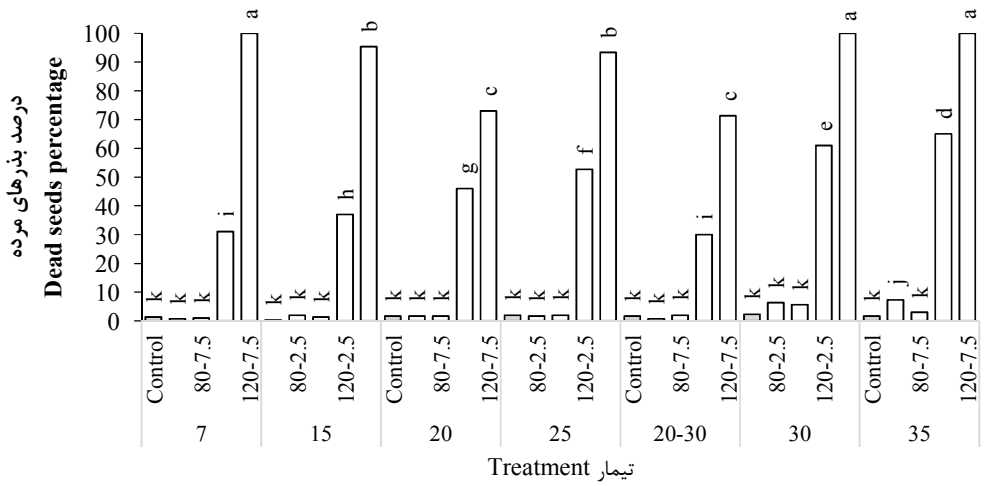
Figure 1. Mean comparison of the interaction effect between temperature and duration of heat shock on final seed germination percentage of flixweed (*Descurainia sophia*). Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

درصد جوانه‌زنی نهایی گردید. این در حالی است که تیمار شوک حرارتی ۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۷/۵ دقیقه منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی تا زیر ۵ درصد و حتی صفر گردید. نکته جالب این است ک تیمار شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۷/۵ دقیقه در دمای متناوب ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس سبب افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد خود و همچنین شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲/۵ دقیقه گردید که این افزایش درصد جوانه‌زنی یا کاهش خواب در نتیجه کاهش خواب بذر و نه خواب ثانویه بوده است (شکل ۱).

درصد بذرهای مرده

پس از اعمال تیمارهای شاهد (بدون شوک حرارتی) و ۸۰ درجه سلسیوس – ۲/۵ و ۷/۵ دقیقه و سپس قرارگیری در تمامی بسترهای کشت با دماهای مختلف به جز ۳۵ درجه سلسیوس، تفاوت معنی‌داری از نظر درصد بذرهای مرده مشاهده نشد. بیشترین درصد بذرهای مرده در تیمار شوک حرارتی ۱۲۰ درجه سلسیوس - ۷/۵ دقیقه و سپس ۱۲۰ درجه سلسیوس – ۲/۵ دقیقه در در تمامی دماهای مختلف بستر کشت مشاهده گردید. کمترین درصد بذرهای مرده در تیمار شاهد و ۸۰ درجه سلسیوس – ۲/۵ و ۷/۵ دقیقه ثبت گردید. نکته حائز اهمیت این بود که بذرها پس از اعمال شوک حرارتی ۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۷/۵ دقیقه و سپس قرارگیری در بستر کشت با دماهای ۷، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس منجر به مرگ تمامی بذرها و در دماهای ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس سبب مرگ بیش از ۹۰ درصد بذرها گردید، این در حالی است که درصد بذرهای مرده در تیمارهای دمایی ۲۰-۳۰ و ۲۰ درجه سلسیوس حداکثر ۷۳ درصد بود که این تیمارها سبب کاهش اثرات شوک حرارتی بالاتر شده بودند. بذرها پس از اعمال تیمار ۱۲۰ درجه سلسیوس - ۲/۵ دقیقه در بسترهای کشت با دمای ۲۰-۳۰ و ۷ درجه سلسیوس نسبت به سایر دماها، درصد بذرهای مرده کمتری را نشان دادند که نشان می‌دهد اعمال دمای بستر کشت تا حد زیادی می‌تواند اثرات شوک‌های حرارتی بالاتر را تقلیل دهد (شکل ۲).

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



شکل ۲. مقایسه میانگین اثرمتقابل دما و مدت زمان شوک حرارتی در دماهای مختلف بستر کشت بر درصد بذرهای مرده خاکشیر. میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

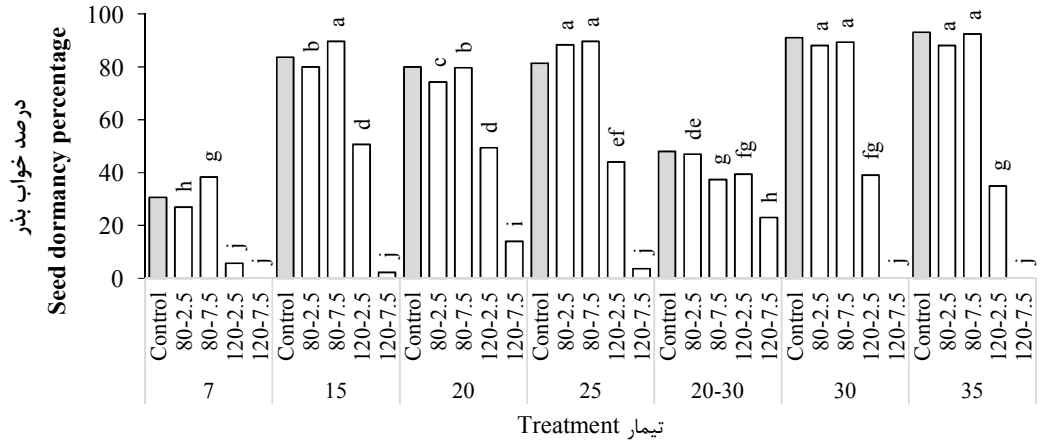
Figure 2. Mean comparison of heat shock temperature and duration interaction effect under different substrate temperatures on flixweed dead seed percentage. Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

درصد خواب بذر

دمای مناسب بستر کشت برای بذرهای خاکشیر در شرایط آزمایشگاهی برای حصول حداکثر جوانه‌زنی در حدود ۱۰ درجه سلسیوس گزارش شده است (اسکوئی و همکاران، ۲۰۲۳)، درصد خواب در حالت بهینه را می‌توان براساس تیمار دمای ۷ درجه سلسیوس بدون شوک حرارتی (شاهد) در حدود ۳۰ درصد در نظر گرفت اگرچه در این مطالعه نیز بالاترین درصد جوانه‌زنی در دمای ۷ درجه سلسیوس مشاهده شد (شکل ۱). با افزایش دمای بستر کشت از ۷ به ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس در شرایط بدون شوک حرارتی (شاهد) و همچنین شوک حرارتی ۸۰ – ۲/۵ و ۷/۵ دقیقه سبب القای خواب ثانویه در بذرهای خاکشیر گردید. که محتمل است این افزایش ناشی از شوک حرارتی نبوده است زیرا تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای شاهد و ۸۰ درجه سلسیوس - ۲/۵ و ۷/۵ دقیقه مشاهده نشد، اگرچه این افزایش در بستر کشت با دمای۲۰-۳۰ نسبت به ۷ درجه سلسیوس ثبت شد که القای خواب ثانویه در این تیمار دمایی کمتر از سایر دماها بوده است. با افزایش دمای شوک حرارتی به ۱۲۰ درجه سلسیوس سبب کاهش درصد خواب بذرها و یا حتی مرگ آنها گردید که این شرایط در تمامی تیمارهای دمایی بستر کشت به ویژه در مدت زمان ۲/۵ دقیقه مشاهده گردید و در دمای ۷/۵ دقیقه سبب مرگ بیشتر بذرها گردید (شکل ۳).

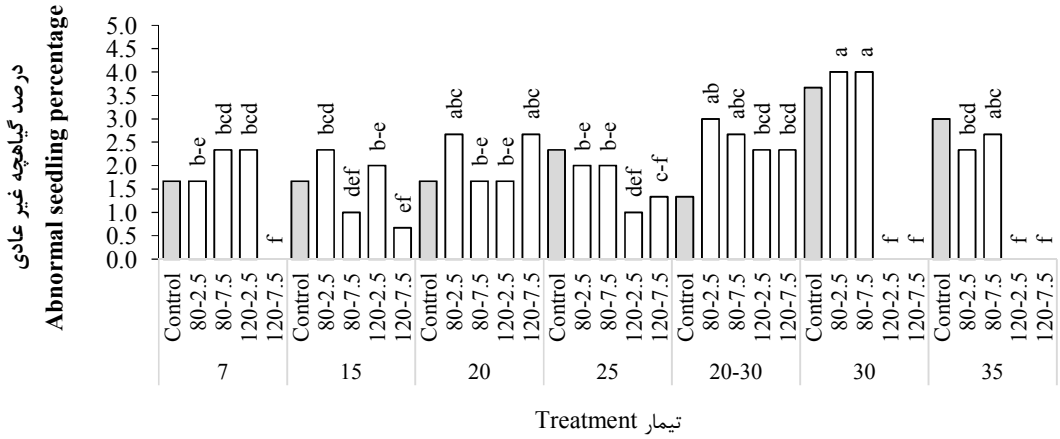
با توجه به اینکه در شوک حرارتی۱۲۰ درجه سلسیوس - ۲/۵ دقیقه، درصد خواب بذرها نسبت به تیمارهای شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس - ۲/۵ و ۷/۵ دقیقه و حتی فاقد شوک حرارتی (شاهد) آنها در تمامی دماهای جوانه‌زنی کمتر بود و همچنین نسبت به تیمارهای ۸۰ درجه سلسیوس – ۲/۵ و ۷/۵ دقیقه در بستر کشت با دمای ۷ درجه سلسیوس بالاتر بود، نشان می‌دهد که افزایش دمای بستر کشت بیش از ۷ درجه سلسیوس سبب القای خواب ثانویه کمتری پس از اعمال شوک حرارتی مذکور در بذرهای خاکشیر شده است. نتایج نشان داد که شوک حرارتی۱۲۰ درجه سلسیوس - ۷/۵ دقیقه در تمامی دماها سبب مرگ درصد بسیار بالایی از بذرها شد، اما در تیمار دمایی ۲۰-۳۰ و ۲۰ درجه سلسیوس درصد خواب بذرها به ترتیب ۲۳ و ۱۴ درصد بود که نشان می‌دهد دمای بستر کشت و همچنین نور محتمل است که کاهش نسبی خواب ثانویه و حفظ قابلیت زنده‌مانی بذرها در حفظ بقا در یک راستا باشد (شکل ۳).

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



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرمتقابل دما و مدت زمان شوک حرارتی در دماهای مختلف بستر کشت بر درصد خواب بذر خاکشیر. میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Figure 3. Mean comparison of heat shock temperature and duration interaction effect under different substrate temperatures on flixweed seed dormancy percentage. Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.



شکل ۴. مقایسه میانگین اثرمتقابل دما و مدت زمان شوک حرارتی در دماهای مختلف بستر کشت بر درصد گیاهچه‌های غیر عادی خاکشیر. میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

Figure 4. Mean comparison of heat shock temperature and duration interaction effect under different substrate temperatures on flixweed abnormal seedling percentage. Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

گیاهچه‌های غیر عادی و عادی

درصد گیاهچه‌های غیر عادی در تمامی تیمارهای شوک حرارتی و دماهای مختلف بستر کشت زیر ۵ درصد ثبت گردید. الگوی یکسانی در پاسخ به تیمارهای مختلف مشاهده نشد، اما در بستر کشت با دماهای ۷ و ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس با اعمال شوک حرارتی، درصد گیاهچه‌های غیر عادی نسبت به شاهد افزایش یافت و بالاترین درصد گیاهچه‌های غیر عادی در دمای بستر کشت ۳۰ درجه سلسیوس و شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس مشاهده گردید. درصد این شاخص در تیمار دمایی۱۲۰ درجه سلسیوس - ۷/۵ دقیقه در اکثر بسترهای کشت با دماهای مختلف بسیار اندک بود و حتی در حد صفر بود که براساس نتایج درصد جوانه‌زنی نهایی منطقی است (شکل ۴).

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

درصد گیاهچه‌های عادی بذرهای خاکشیر پس از اعمال تیمارهای شوک حرارتی و قرارگیری در بسترهای کشت با دماهای مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس نتایج درصد جوانه‌زنی نهایی (شکل ۱)، همواره درصد گیاهچه‌های عادی در دو بستر کشت با دماهای ۷ و ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس از سایر دماها بالاتر بود اگرچه در تمامی تیمارهای شوک حرارتی در دمای ۷ درجه سلسیوس نسبت به متناظر آن در دمای ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس بالاتر بود. حداقل درصد گیاهچه‌های عادی در بستر کشت با دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس ثبت گردید، اگرچه تفاوت آماری معنی‌داری بین درصد گیاهچه‌های عادی در تمامی تیمارهای شوک حرارتی دو دمای مذکور با تمامی تیمارهای شوک حرارتی به جز شاهد در دمای بستر کشت ۲۵ درجه سلسیوس و همچنین ۱۲۰ درجه سلسیوس - ۷/۵ دقیقه در سایر دماهای جوانه‌زنی (۷، ۱۵ و ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس) مشاهده نشد.

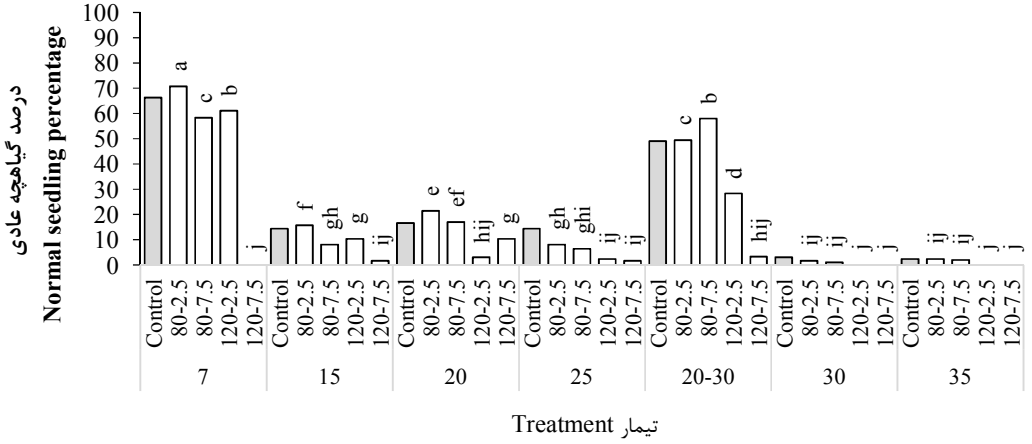
روند رو به کاهش درصد گیاهچه عادی با افزایش مدت و دمای شوک حرارتی در اکثر دماها ثبت گردید (شکل ۵).

شاخص سرعت جوانه‌زنی

بالاترین سرعت جوانه‌زنی پس از قرارگیری بذرهای خاکشیر در بستر کشت با دمای ۲۰-۳۰ و سپس ۷ درجه سلسیوس ثبت گردید. کمترین سرعت جوانه‌زنی در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس مشاهده شد. سرعت جوانه‌زنی بذرهای خاکشیر در تمامی تیمارهای دمایی به جز ۲۵ و ۳۵ درجه سلسیوس، در شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲/۵ دقیقه نسبت به شاهد (بدون شوک حرارتی) بالاتر بود (شکل ۶). بذرهای خاکشیر پس از اعمال شوک حرارتی ۸۰ و۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۲/۵ دقیقه در بستر کشت با دماهای ۷ و ۱۵درجه سلسیوس نسبت به شاهد خود و همچنین شوک حرارتی۸۰ درجه سلسیوس - ۷/۵ دقیقه از شاخص سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار بود. در دمای ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس، شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس، سرعت جوانه‌زنی را نسبت به شاهد افزایش داد، اما این تفاوت معنی‌دار نبود (شکل ۶).

متوسط زمان جوانه‌زنی

بذرهای خاکشیر در بستر کشت با دمای ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس نسبت به سایر دماها از متوسط زمان جوانه‌زنی کمتری برخوردار بودند. بذرهای خاکشیر پس از اعمال تیمار شوک حرارتی ۸۰ و ۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۲/۵ دقیقه، نسبت به شاهد متوسط زمان کمتری را نشان دادند اگرچه تفاوت معنی‌داری بین آنها ثبت نشد.

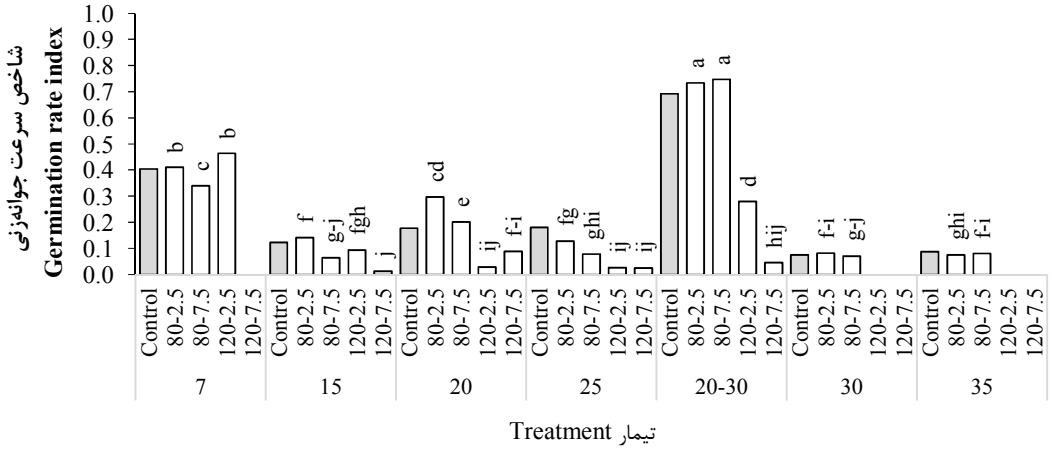


شکل ۵. مقایسه میانگین اثرمتقابل دما و مدت زمان شوک حرارتی در دماهای مختلف بستر کشت بر درصد گیاهچه‌های عادی خاکشیر. میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Figure 5. Mean comparison of heat shock temperature and duration interaction effect under different substrate temperatures on flixweed normal seedling percentage. Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

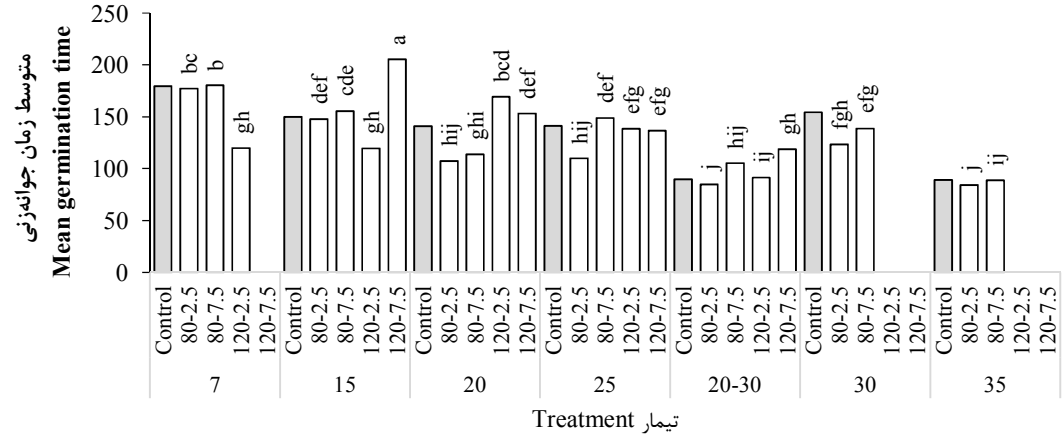
[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-02-16]

در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس این شاخص پایین بود که ناشی از درصد جوانه‌زنی اندک بذرها در پاسخ به این دماها در بستر کشت بود. بالاترین مقدار این شاخص در دمای ۱۵ و سپس ۷ درجه سلسیوس در بین تیمارهای دمایی بستر کشت مشاهده گردید، اما با افزایش دما به بالاتر از ۱۵ درجه سلسیوس این مدت زمان کاهش یافت که نشان از افزایش سرعت جوانه‌زنی است. نتایج حاصل از تیمارهای شوک حرارتی نیز نشان داد که در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس همواره با اعمال شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس – ۲/۵ و ۷/۵ دقیقه، بذرهای خاکشیر برای جوانه‌زنی به مدت زمان کمتری نسبت به شاهد نیاز داشتند، اما با افزایش دمای شوک حرارتی، به مدت زمان بیشتری برای جوانه‌زنی نیاز داشتند که نشان از کاهش سرعت جوانه‌زنی آنها است (شکل ۷).



شکل ۶. مقایسه میانگین اثرمتقابل دما و مدت زمان شوک حرارتی در دماهای مختلف بستر کشت بر شاخص سرعت جوانه‌زنی بذر (معکوس ساعت) خاکشیر. میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Figure 6. Mean comparison of heat shock temperature and duration interaction effect under different substrate temperatures on flixweed seed germination rate (1/hour). Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.



شکل ۷. مقایسه میانگین اثرمتقابل دما و مدت زمان شوک حرارتی در دماهای مختلف بستر کشت بر متوسط زمان جوانه‌زنی (ساعت) بذر خاکشیر. میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Figure 7. Mean comparison of heat shock temperature and duration interaction effect under different substrate temperatures on flixweed mean germination time (hour). Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

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

بحث

در این مطالعه شبیه‌سازی شرایط بانک بذر خاک خاکشیر در مواجه با شوک حرارتی ناشی از آتش زدن مزرعه و سپس قرارگیری در عمق‌های مختلف خاک با دمای مختلف در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. نتایج نشان داد که در شرایط بدون شوک حرارتی در دمای ۷ درجه سلسیوس، همواره بالاترین درصد جوانه‌زنی ثبت شد. این دما همانند دمای خرد اقلیم خاک در فصل پاییز است و به نظر می‌رسد دمای بهینه جوانه‌زنی بذرها درون خاک باشد. گزارش شده است که بیشتر گیاهان خانواده شب‌بوئیان در زمانی که دما در پاییز کاهش می‌یابد، حداکثر جوانه‌زنی بذرها را حاصل می‌نمایند (بسکین و بسکین[1]، ۲۰۱۴). براساس مطالعه دیگری مشخص گردید که بهترین دما برای جوانه‌زنی بذرهای خاکشیر در حدود ۱۰ درجه سلسیوس بود (اسکوئی و همکاران، ۲۰۲۳).

با افزایش دمای ثابت به ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس همواره از درصد جوانه‌زنی بذرها کاسته شد و در دمای ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس به زیر ۵ درصد رسید که این کاهش ناشی از افزایش القای خواب ثانویه در بذرها با افزایش دما بوده است، زیرا درصد بذرهای مرده افزایش معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. کاهش جوانه‌زنی بذرهای خانواده شب بوئیان در اواخر تابستان یا اواخر زمستان به دلیل افزایش دما می‌تواند در نتیجه القای خواب ثانویه باشد (بسکین و بسکین، ۲۰۱۴). مشخص شده است که با افزایش دما بیش از ۱۵/۵ درجه سلسیوس سبب کاهش جوانه‌زنی و القای خواب ثانویه بذرهای ترتیزک (*Cardamine impatiens*) از خانواده شب‌بوئیان می‌گردد (یانگ[2] و همکاران، ۲۰۲۵). بذرها روی گیاه مادری دارای خواب اولیه می‌باشند که پس از جدا شدن از گیاه مادری در صورتی که در معرض دماهای بالا یا پایین یا تنش آبی قرار بگیرند ممکن است خواب ثانویه در آنها القا گردد. در برخی از گیاهان متعلق به نواحی سرد یا با قابلیت رشد در پاییز، نوعی از خواب ثانویه در نتیجه قرارگیری در دمای بالا القا می‌گردد که تحت عنوان خواب ثانویه ناشی از دمای بالا[3] به آنها اطلاق می‌گردد (لیو[4] و همکاران، ۲۰۲۴). خواب ثانویه ناشی از دمای بالا، نوعی از خواب بذر است که از جوانه‌زنی در دماهای بالاتر برای مدت زمان‌های طولانی‌تر ممانعت می‌کند و در این شرایط بذر برای جوانه‌زنی، نیاز به تیمارهای شکست خواب دارد (هیلز و فن استیدن[5]، ۲۰۰۳). به نظر می‌رسد خواب ثانویه ثانویه القا شده در بذرهای خاکشیر با توجه به اینکه با افزایش دما، از درصد جوانه‌زنی کاسته و همچنین درصد بذرهای مرده تغییری نکرده است، از این نوع باشد. دلایل زیادی برای ممانعت از جوانه‌زنی یا القای خواب ثانویه ناشی از دمای بالا در بذرها وجود دارد که از جمله می‌توان به کاهش فعالیت آنزیم‌های سلولاز و همی‌سلولاز در آندوسپرم اشاره نمود (گشنیزجانی[6] و همکاران، ۲۰۱۸).

نتایج نشان داد که همواره بذرها پس از قرارگیری در بستر کشت دمایی۲۰-۳۰ و سپس ۷ درجه سلسیوس از سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار بودند و برای حصول جوانه‌زنی، به متوسط زمان کمتری نیاز داشتند. اما نکته جالب توجه این بود که محدوده بهینه جوانه‌زنی بذرها در حدود ۷ تا ۱۰ درجه سلسیوس بوده است و بذرها پس از قرارگرفتن در دمای متناوب (۲۰-۳۰ درجه سلسیوس) به همراه تناوب تاریکی و نور، جوانه‌زنی بالاتری نسبت به سایر دماهای ثابت داشتند، محتمل است نیاز دمایی بذرها با اعمال دمای متناوب و همچنین نور برطرف شده باشد که سبب جوانه‌زنی درصد بالاتری از بذرهای درون جمعیت شده است. قرارگیری بذرها در دمای متناوب و همچنین نور می‌تواند سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی گردد (کومار[7] و همکاران، ۲۰۱۳). دمای متناوب متناوب به همراه نور در زمان جوانه‌زنی بذرها سبب افزایش فعالیت هورمون جیبرلین، و آنزیم‌های کاتالاز و لیپاز، و کاهش بیوسنتز و حساسیت به هورمون اسید آبسزیک سبب افزایش جوانه‌زنی و کاهش خواب می‌گردد (هوآرته و بنچ-آرنولد[8]، ۲۰۱۰).

نیام‌های خاکشیر شکوفا هستند و در اثر برخورد دستگاه‌های برداشت با والد مادری، بخش زیادی از بذرها درون بانک بذر خاک در سطح و درون آن ریزش می‌کنند

[1] Baskin and Baskin
[2] Yang
[3] Thermo-dormancy
[4] Liu
[5] Hills and van Staden
[6] Geshnizjani
[7] Kumar
[8] Huarte and Benech-Arnold

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

(ابل و منالد[1]، ۲۰۲۵). کشاورزان نیز در راستای تسریع در کشت و کار محصول بعدی، بقایای گیاهی در مزرعه را آتش می‌زنند، بذرهای خاکشیر ریخته شده در مزرعه در اعماق مختلف بانک بذر خاک، شوک‌های حرارتی با مدت زمان‌های مختلف را تجربه خواهند کرد که منجر به پاسخ‌های فیزیولوژیک جوانه‌زنی و سطح خواب متفاوتی در آنها می‌شود. نتایج شبیه‌سازی شوک حرارتی در این مطالعه نشان داد که اعمال تیمارهای شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲/۵ دقیقه و سپس قرارگیری در تمامی دماهای بستر کشت می‌تواند سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد (بدون شوک حرارتی) همان دمای بستر کشت گردد و همچنین کاهش خواب در بذرهای خاکشیر را سبب شود. در مطالعه روی بذرهای دو گونه از گیاهان گون تحت تیمارهای بالاتر از ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه مشخص شد که درصد و سرعت جوانه‌زنی نسبت به شاهد افزایش یافت (کوئنا لمبرانا و همکاران، ۲۰۲۴). شوک‌های حرارتی می‌تواند با فعال‌سازی پروتئین‌های شوک حرارتی میتوکندریایی منجر به افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن شوند که افزایش تولید آنها، سیگنالی برای افزایش جوانه‌زنی است (ما[2] و همکاران، ۲۰۱۹).

اعمال تیمار شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس – ۲/۵ دقیقه در دماهای بالاتر از ۷ درجه سلسیوس (دمای مطلوب جوانه‌زنی بذر خاکشیر) سبب افزایش خواب ثانویه بذرها گردید به نظر می‌رسد که این افزایش ناشی از اثر متقابل شوک حرارتی و همچنین دمای بستر کشت در القای خواب ثانویه به بذرهای خاکشیر باشد. اگرچه براساس نتایج، اثر دمای بستر کشت در افزایش القای خواب ثانویه بسیار بیشتر از شوک حرارتی بوده است. گزارش شده است که قرارگیری در معرض دماهای بالا در بذرهای کلزا می‌تواند سبب افزایش القای خواب ثانویه در آنها از طریق تأثیر بر موازنه هورمونی گردد (ملک[3] و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعات زیادی تنظیم القای خواب ثانویه در بذرها با افزایش دما گزارش شده است (پوستما و آگرن[4]، ۲۰۲۲؛ زاچلو[5] و همکاران، ۲۰۲۲). افزایش خواب خواب ثانویه بذرهای آرابیدوپسیس به عنوان یک گیاه مدل از خانواده شب‌بوئیان در نتیجه قرارگیری در دماهای بالاتر، به نوعی بیانگر افزایش سازگاری برای بقا است، زیرا در سال‌های اخیر همواره تغییر اقلیم در بسیاری از مناطق به سمت افزایش دمای نسبی سوق یافته است (ترن[6] و همکاران، ۲۰۲۵).

با افزایش مدت زمان اعمال شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس از ۲/۵ به ۷/۵ دقیقه مشاهده گردید که درصد جوانه‌زنی بذرها پس از قرارگیری در بسترهای کشت با دمای پایین ۷ و ۱۵ درجه سلسیوس نسبت به شاهد همان دما و همچنین شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس - ۲/۵ دقیقه کاهش یافت که این کاهش ناشی از افزایش درصد بذرهای مرده نبود و در اثر افزایش القای خواب ثانویه نسبت به شاهد (بدون شوک حرارتی) بود. نتایج این تحقیق با سایر نتایج محققان همخوانی نداشت زیرا گزارش کردند که شوک حرارتی با دماهای بالا تنها در شکست خواب فیزیکی بذرها دخیل هستند و پس از رفع خواب فیزیکی، دمای محیط خاک می‌تواند بر پاسخ فیزیولوژیک آنها تأثیرگذار باشد (اویی[7] و همکاران، ۲۰۱۴).

با افزایش مدت زمان و دمای شوک حرارتی به ۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۲/۵ دقیقه، جوانه‌زنی بذرهای خاکشیر نسبت به شاهد همان دما و شاهد در دمای ۷ درجه سلسیوس و همچنین شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس کاهش یافت. این تیمار شوک حرارتی سبب افزایش درصد بذرهای مرده در دماهای ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس شد. درصد بذرهای مرده پس از اعمال شوک حرارتی ۱۲۰ درجه سلسیوس - ۲/۵ دقیقه در بسترهای کشت با دمای ۲۰-۳۰ و ۷ درجه سلسیوس نسبت به سایر دماها، کمتر بود که نشان می‌دهد قرارگیری بذرها در بستر کشت با دو دمای مذکور، تا حد زیادی می‌تواند اثرات شوک‌های حرارتی بالاتر را تقلیل دهد که با نتایج لونا[8] و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد که که نشان داد بسته به گونه گیاهی پاسخ به شوک‌های

[1] Ebel and Menalled
[2] Ma
[3] Malek
[4] Postma and Agren
[5] Zacchello
[6] Tran
[7] Ooi
[8] Luna

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

حرارتی می‌تواند متفاوت باشد و در دماهای متناوب سبب افزایش تاب‌آوری در دماهای بالاتر بعدی و کاهش اثرات شوک حرارتی می‌گردد.

درصد خواب بذرهای خاکشیر در شوک حرارتی ۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۲/۵ دقیقه در تمامی بسترهای کشت با دماهای مختلف نسبت به شاهد همان دما و همچنین شوک حرارتی ۸۰ درجه سلسیوس کاهش یافت. کاهش خواب ثانویه بذرها (خواب فیزیولوژیک جنین) پس از قرارگیری در معرض شوک‌های حرارتی از طریق کاهش مقاومت پوسته در برابر رشد جنین و همچنین تغییرات هورمونی دخیل گزارش شده است (موریرا و پائوسس[1]، ۲۰۱۲). شوک حرارتی ۱۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۲/۵ دقیقه در دماهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس نسبت به شوک حرارتی متناظر اعمال شده در دمای ۷ درجه سلسیوس، سبب افزایش خواب ثانویه در بذرها شد، اگرچه سرعت جوانه‌زنی در این شوک حرارتی نسبت به شوک حرارتی متناظر اعمال شده در دمای ۷ درجه سلسیوس پایین‌تر بود. افزایش تاب‌آوری بذرها از طریق افزایش خواب بذر درنتیجه قرارگیری در شوک‌های حرارتی کوتاه مدت (در تحمل به دماهای بالاتر بعدی) است (کوئنا لمبرانا و همکاران، ۲۰۲۴).

با افزایش مدت زمان شوک حرارتی در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس مشاهده شد که از جوانه‌زنی و خواب بذرها کاسته شد و درصد بذرهای مرده افزایش یافت. اعمال شوک‌های حرارتی با دمای بالا می‌تواند به طور کامل سبب تخلیه بانک بذر خاک شود (نیمن[2] و همکاران، همکاران، ۲۰۰۹). دماهای بسیار بالا می‌تواند در تخریب پروتئین‌های شوک حرارتی که در حفظ کارایی سلولی دخیل هستند، موثر باشند و سبب کاهش کارایی سلول‌های بذری شوند (الویبی[3]، ۲۰۱۱). افزایش درصد بذرهای مرده در دماهای ۷، ۳۰ و ۳۵ بالاتر بود و در دمای ۲۰-۳۰ و ۲۰ درجه سلسیوس حداکثر ۷۳ درصد بود که این تیمارها سبب کاهش اثرات شوک حرارتی بالاتر شده بودند. در تیمار دمایی ۲۰-۳۰ و ۲۰ درجه سلسیوس درصد خواب بذرها به ترتیب ۲۳ و ۱۴ درصد بود که نشان می‌دهد دمای بستر کشت و همچنین نور محتمل است که با کاهش نسبی خواب ثانویه و حفظ قابلیت زنده‌مانی بذرها در یک راستا باشد. افزایش القای خواب ثانویه در بذرها پس از درک دماهای بسیار بالا می‌تواند در نتیجه نوعی سازگاری برای حفظ بقا باشد (ژانگ[4] و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه روی بذرهای با پوسته سخت (خواب فیزیکی) مشخص شده است که شوک‌های حرارتی ۱۲۰ درجه سلسیوس برای کوتاه مدت می‌تواند سبب حذف پوسته و افزایش جوانه‌زنی گردد، اما افزایش حرارت به ۱۵۰ درجه سلسیوس سبب مرگ تمامی بذرها خواهد شد (آگایو-ویلابا[5] و همکاران، ۲۰۲۱) ۲۰۲۱) در این مطالعه نیز با توجه به اینکه شوک حرارتی ۱۲۰ درجه سلسیوس به بذرهای خاکشیر فاقد پوسته سخت اعمال شده است، طبیعی است که درصد بسیار زیادی از بذرهای درون جمعیت، حیات خود را از دست داده باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی شرایط بذرهای خاکشیر در اعماق مختلف خاک در پاسخ به شوک‌های حرارتی و دماهای بستر کشت پس از آن نشان داد که در شرایط فاقد شوک حرارتی، همواره دمای پایین (۷ درجه سلسیوس) دمای بهینه جوانه‌زنی بذرهای خاکشیر در شرایط ایده‌آل و بدون تنش گرمایی است. در شرایط فاقد شوک حرارتی همواره با افزایش دما فراتر از ۷ درجه سلسیوس (تا ۳۵ درجه سلسیوس)، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش و درصد بذرهای مرده افزایش یافت و درصد خواب بذرهای خاکشیر افزایش معنی‌داری را نشان داد. القای خواب ثانویه (خواب ثانویه ناشی از دمای بالا) بذرهای خاکشیر پس از اعمال تیمارهای شوک حرارتی مشاهده نگردید و تنها با افزایش دمای بستر کشت (فراتر از ۷ درجه سلسیوس) سبب القای خواب ثانویه در بذرها گردید. یکی از اثرات شوک‌های حرارتی با دمای کمتر (۸۰ درجه سلسیوس) شاید افزایش تاب‌آوری بذر گیاه در زمان مواجه با دماهای بالاتر در زمان جوانه‌زنی باشد. شوک‌های

[1] Moreira and Pausas
[2] Neeman
[3] Al-Whaibi
[4] Zhang
[5] Aguayo-Villalba

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

حرارتی در دماهای بالاتر (۱۲۰ درجه سلسیوس) سبب کاهش خواب ثانویه وجوانه‌زنی، و افزایش درصد بذرهای مرده گردید. در مجموع نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که شوک‌های حرارتی بر القای خواب ثانویه **تأثیر** ناچیزی داشتند و دماهای بستر کشت در بالاتر از دمای بهینه می‌تواند سبب القای خوب ثانویه در بذرها گردد که این خواب ثانویه ناشی از دمای بالا موجود می‌تواند از طریق تیمارهای دمای متناوب به همراه نور تا حد زیادی کاهش بیابد. برای حصول نتایج بهتر پیشنهاد می‌گردد تا ارزیابی بذرهای مدفون شده در اعماق مختلف خاک در مزرعه تحت **تأثیر** شوک‌های حرارتی مورد ارزیابی قرار بگیرد تا بتوان درک بهتری از پاسخ‌های فیزیولوژیک بذر گیاه خاکشیر حاصل نمود.

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 فناوری ریاست جمهوری و موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال با شماره پروژه ۱۲۴-۰۸-۰۸-۰۰۹-۹۸۰۲۴-۰۰۰۷۳۲ انجام شد.

سپاسگزاری

نگارندگان از معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال برای حمایت مالی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند. همچنین از تلاش‌های بی‌وقفه سرکار خانم افشار کارشناس ارشد آزمایشگاه تجزیه کیفی بذر کمال سپاس را دارند.

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

References منابع

Aguayo-Villalba, A. A., Alvarez-Gomez, C. M., Aisa-Ahmed, M., Barroso-Rodriguez, L. M., Camacho-Lopez, S., Cocero-Ramirez, A., & Sanchez-Romero, C. (2021). Effect of fire on viability and germination behaviour of *Cistus ladanifer* and *Cistus salvifolius* seeds. *Folia Geobotanica, 56*, 215–225. https://doi.org/10.1007/s12224-022-09405-2

Alcaniz, M., Outeiro, L., Francos, M., & Ubeda, X. (2018). Effects of prescribed fires on soil properties: A review. *Science of the Total Environment, 613–614*, 944–957. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.144

Alijani, K., Kazemeini, S. A., Bahrani, M. J., & Ghadiri, H. (2023). Weed seed bank as affected by tillage, residue, and fertilization management under sweet corn-wheat cropping sequence in Iran. *Weed Biology and Management, 23*(1), 3–13. https://doi.org/10.1111/wbm.12263

Al-Whaibi, M. H. (2011). Plant heat-shock proteins: A mini review. *Journal of King Saud University - Science*, *23*, 139–150. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.06.022

Association of Official Seed Analysts. (1983). *Seed vigor testing handbook* (Contribution No. 32). AOSA.

Bahmani, M., Tajeddini, P., Ezatpour, B., Rafieian-Kopaei, M., Naghdi, N., & Asadi-Samani, M. (2016). Ethnobotanical study of medicinal plants against parasites detected in Shiraz, southern part of Iran. *Der Pharmacia Lettre, 8*, 153–160.

Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination* (2nd ed.). Elsevier/Academic Press.

Baskin, C. C., Milberg, P., Andersson, L., & Baskin, J. M. (2004). Germination ecology of seeds of the annual weeds *Capsella bursa-pastoris* and *Descurainia sophia* originating from high northern latitudes. *Weed Research, 44*(1), 60–68. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00373.x

Bekker, N. P., Ulchenko, N. T., & Glushenkova, A. I. (2005). Lipids from *Descurainia sophia* seeds. *Chemistry of Natural Compounds, 41*, 346–347. https://doi.org/10.1007/s10600-005-0146-3

Cuena Lombrana, A., Dessi, L., Podda, L., Fois, M., Luna, B., Porceddu, M., & Bacchetta, G. (2024). The effect of heat shock on seed dormancy release and germination in two rare and endangered *Astragalus* L. species (Fabaceae). *Plants, 13*(4), 484. https://doi.org/10.3390/plants13040484

Davis, J. B., Brown, J., Brennan, J. S., & Thill, D. C. (1999). Predicting decreases in canola (*Brassica napus* and *B. rapa*) oil and meal quality caused by contamination by Brassicaceae weed seeds. *Weed Technology, 13*(2), 239–243. https://doi.org/10.1017/S0890037X00041671

Ebel, R., & Menalled, F. (2025). *Agroecology of edible weeds and noncrop plants: Ecology and socioeconomic potential of the associated plant biodiversity*. Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16076-9.00006-8

Fallahi, H. R., Aghhavani-Shajari, M., Mohammadi, M., Kadkhodaei-Barkook, R., & Zareei, E. (2017). Predicting of flixweed (*Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl) germination response to

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

temperature using regression models. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 6*, 131–134. [In Persian] https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.04.005

Fernandez-Garcia, V., Fule, P. Z., Marcos, E., & Calvo, L. (2019). The role of fire frequency and severity on the regeneration of Mediterranean serotinous pines under different environmental conditions. *Forest Ecology and Management, 444*, 59–68. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.040

Geshnizjani, N., Ghaderi-Far, F., Willems, L. A., Hilhorst, H. W., & Ligterink, W. (2018). Characterization of and genetic variation for tomato seed thermo-inhibition and thermo-dormancy. *BMC Plant Biology, 18*, 229. https://doi.org/10.1186/s12870-018-1449-4

Ghorbani, A. (2005). Studies on pharmaceutical ethnobotany in the region of Turkmen Sahra, north of Iran (part 1): General results. *Journal of Ethnopharmacology, 102*, 58–68. https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.05.035

Hills, P. N., & van Staden, J. (2003). Thermoinhibition of seed germination. *South African Journal of Botany, 69*(4), 455–461. https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30281-7

Huarte, H. R., & Benech-Arnold, R. L. (2010). Hormonal nature of seed responses to fluctuating temperatures in *Cynara cardunculus* (L.). *Seed Science Research, 20*(1), 39–45. https://doi.org/10.1017/S0960258509990249

International Seed Testing Association. (2022). *International Rules for Seed Testing*. ISTA.

Khan, M., Xiao, Y., Yu, B., Wang, N., Rasul, A., Yi, F., Yang, L., Yang, H., & Ma, T. (2012). Artabotryside A, a constituent from *Descurainia sophia* (L.) induces cell death in U87 glioma cells through apoptosis and cell cycle arrest at G2/M phase. *Journal of Medicinal Plant Research, 6*(20), 3754–3765. https://doi.org/10.5897/JMPR11.1749

Khosravi-Pour, B., Siahpoosh, A., & Mohammadi-Karbalaei, Z. (2015). *The importance of cultivating medicinal plants and producing their products in agriculture*. Paper presented at the 1st National Conference on Herbs and Herbal Medicine, May 2015, Tehran, Iran. [In Persian]

Kumar, B., Gupta, E., Mali, H. P., & Singh, M. (2013). Constant and alternating temperature effects on seed germination potential in *Artemisia annua* L. *Journal of Crop Improvement, 27*(6), 636–642. https://doi.org/10.1080/15427528.2013.832458

Landau, C. A., Schutte, B. J., Mesbah, A. O., & Angadi, S. V. (2017). Flixweed (*Descurainia sophia*) shade tolerance and possibilities for flixweed management using rapeseed seeding rate. *Weed Technology, 31*(3), 477–486. https://doi.org/10.1017/wet.2017.33

Lehnhoff, E. A., Schutte, B. J., Rashid, A., & Sanogo, S. (2025). *Descurainia sophia* (flixweed): A weed with many uses and ecological roles. In R. Ebel & F. Menalled (Eds.), *Agroecology of edible weeds and noncrop plants* (pp. 209–224). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16076-9.00013-5

Li, W., Liu, X., Khan, M. A., Kamiya, Y., & Yamaguchi, S. (2005). Hormonal and environmental regulation of seed germination in flixweed (*Descurainia sophia*). *Plant Growth Regulation, 45*(3), 199–207. https://doi.org/10.1007/s10725-005-4116-3

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

Liu, Z., Li, M., Zhu, M., Lopez, R., Salomón, R. L., & Zhang, P. (2024). Thermo-dormancy and germination response to temperature of *Pyrus ussuriensis* seeds. *Agronomy, 14*(3), 475. https://doi.org/10.3390/agronomy14030475

Luna, B., Moreno, J. M., Fernandez-González, F., & Cruz, A. (2007). Heat-shock and seed germination of a group of Mediterranean plant species growing in a burned area: An approach based on plant functional types. *Environmental and Experimental Botany, 60*(3), 324–333. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.12.014

Ma, W., Guan, X., Li, J., Pan, R., Wang, L., Liu, F., Ma, H., Zhu, S., Hu, J., Ruan, Y. L., Chen, X., & Zhang, T. (2019). Mitochondrial small heat shock protein mediates seed germination via thermal sensing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 116*(10), 4716–4721. https://doi.org/10.1073/pnas.1815790116

Malek, M., Ghaderi-Far, F., Torabi, B., & Sadeghipour, H. R. (2022). Dynamics of seed dormancy and germination at high temperature stress is affected by priming and phytohormones in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Physiology, 269*, 153614. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153614

McCarty, J. L., Krylov, A., Prishchepov, A. V., Banach, D. M., Tyukavina, A., Potapov, P., & Turubanova, S. (2017). Agricultural fires in European Russia, Belarus, and Lithuania and their impact on air quality, 2002–2012. In G. Gutman & V. Radeloff (Eds.), Land-cover and land-use changes in Eastern Europe after the collapse of the Soviet Union in 1991. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42638-9_9

Moreira, B., & Pausas, J. G. (2012). Tanned or burned: The role of fire in shaping physical seed dormancy. *PLoS ONE, 7*(12), e51523. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051523

Moreira B., Tormo J., Estrelles E., & Pausas J.G. (2010). Disentangling the role of heat and smoke as germination cues in Mediterranean Basin flora. *Annals of Botany*, *105*(4), 627–635. https://doi.org/10.1093/aob/mcq017

Neeman, G., Neeman, R., Keith, D. A., & Whelan, R. J. (2009). Does postfire plant regeneration mode affect the germination response to fire-related cues? *Oecologia, 159*(3), 483–492. https://doi.org/10.1007/s00442-008-1237-1

Nimrouzi, M., & Zarshenas, M. M. (2016). Phytochemical and pharmacological aspects of *Descurainia sophia* Webb ex Prantl: Modern and traditional applications. *Avicenna Journal of Phytomedicine, 6*(3), 266–272.

Ooi, M. K. J., Denham, A. J., Santana, V. M., & Auld, T. D. (2014). Temperature thresholds of physically dormant seeds and plant functional response to fire: Variation among species and relative impact of climate change. *Ecology and Evolution, 4*(5), 656–671. https://doi.org/10.1002/ece3.973

Oskouei, B., Dehshiri, A., Afshar, H., Gheisari, E., & Shayanfar, A. (2023). Optimal condition determination for Flixweed standard seed germination test (*Descurainia sophia*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology, 12*(2), 65–78. [In Persian]

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

Plue, J., Van Calster, H., Auestad, I., Basto, S., Renee, M., & Bekker, M. (2020). Buffering effects of soil seed banks on plant community composition in response to land use and climate. *Global Ecology and Biogeography, 30*(1), 1–12. https://doi.org/10.1111/geb.13201

Postma, F. M., & Agren, J. (2022). Effects of primary seed dormancy on lifetime fitness of *Arabidopsis thaliana* in the field. *Annals of Botany, 129*(7), 795–808. https://doi.org/10.1093/aob/mcac010

Ranal, M., & De Santana, D. G. (2006). How and why to measure the germination process? *Revista Brasileira de Botanica, 29*(1), 1–11. https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100002

Shayanfar, A., Ghaderi-Far, F., Behmaram, R., Soltani, A., & Sadeghipour, H. R. (2020). Impacts of fire cues on germination of *Brassica napus* L. seeds with high and low secondary dormancy. *Plant Biology, 22*(4), 647–654. [In Persian] https://doi.org/10.1111/plb.13115

Tran, N. T., Loc, N., Ali, T., Schmitz, G., & de Meaux, J. (2025). *Heat-induced secondary dormancy contributes to local adaptation in Arabidopsis thaliana*. bioRxiv. https://doi.org/10.1101/2025.02.20.638146

Wang, H., Sun, P., Guo, W., Dong, X., Liu, W., & Wang, J. (2021). Florasulam resistance status of flixweed (*Descurainia sophia* L.) and alternative herbicides for its chemical control in the North China plain. *Pesticide Biochemistry and Physiology, 172*, 104748. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104748

Yang, J., Luo, Y., Baskin, J. M., Baskin, C. C., Prinzing, A., Liu, L., Xu, C., & Zhang, K. (2025). Seed dormancy cycling: A driver of germination timing in a facultative winter annual. *Plant Diversity*. [Advance online publication]. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104748

Zacchello, G., Bomers, S., Bohme, C., Postma, F. M., & Agren, J. (2022). Seed dormancy varies widely among *Arabidopsis thaliana* populations both between and within Fennoscandia and Italy. *Ecology and Evolution, 12*(3), e8670. https://doi.org/10.1002/ece3.8670

Zhang, Y., Liu, Y., Sun, L., Baskin, C. C., Baskin, J. M., Cao, M., & Yang, J. (2022). Seed dormancy in space and time: Global distribution, paleoclimatic and present climatic drivers, and evolutionary adaptations. *New Phytologist, 234*(5), 1770–1781. https://doi.org/10.1111/nph.18099

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