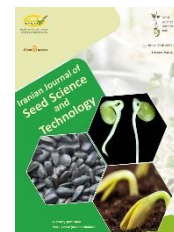






Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Studying the relationship between buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) seeds with different morphometric characteristics in response to germination temperatures

Bahman Ahmadvand¹, Seyed Amir Moosavi^{2*} , Seyed Ata Siadat³, Reza Tavakkol Afshari⁴ , Ali Ghatei⁵

1. Ph.D. Graduate in Agrotechnology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
4. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.

Article Information

Received: 22 Oct. 2023
Revised: 02 Dec. 2023
Accepted: 06 Dec. 2023

Keywords:

Buckwheat,
Seed morphometric,
Cardinal temperature,
Segmented model

Corresponding Author:

amirmoosavi@asnrkh.ac.ir



Abstract

This study aimed to investigate the relationship between the morphometric characteristics of the seeds of different buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) lots obtained from different planting dates (29th Aug: 1, 13th Sep: 2, 28th Sep: 3, and 12th Oct: 4) with its seed germination quality under different temperature treatments. For each seed lot, four separate experiments with 11 temperature levels including 4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 37, 40, and 45 °C were carried out in a completely randomized design with 3 replications in seed science and technology laboratory of Agricultural Sciences and Natural Resources of Khuzestan University in 2022. The results of the analysis of variance demonstrated that temperature has a significant effect at the level of 1% on the germination rate index. According to the model parameters and of course the standard error, the segmented model was chosen as the best model. Based on this, according to the superior (segmented) model, the base, optimal, and ceiling temperatures for lot 1 are 4.82, 34.24, and 44.82 degrees Celsius, in lot 2 they are 4.18, 33.82, and 46 respectively. 44.0 degrees Celsius, in lot 3 it was estimated at 5, 34.64, and 43.87 degrees Celsius respectively and in lot 4 it was estimated at 5, 31.69, and 44.27 degrees Celsius respectively. Identifying the cardinal temperatures can be of great help in managing the optimal sowing date of crops.

How to cite this paper: Ahmadvand, B., Moosavi, S.A., Siadat, S.A., Tavakkol Afshari, R., Ghatei, A. (2024). Studying the relationship between buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) seeds with different morphometric characteristics in response to germination temperatures. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 13 (2), 51-62. <https://doi.org/10.22092/ijst.2022.360310.1458>



© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Seed size is a critical physical indicator of seed quality that can directly impact germination processes and plant performance under various environmental conditions. Changes in seed size can later be observed in the transfer of nutrient reserves for seedling growth. Larger seeds have been found to improve germination, seedling growth, and survival, resulting in the production of strong and superior seedlings. Temperature is an indicator of timing in seasonal climates, and therefore plays a role in determining physiological and phenological processes, such as the timing of germination.

Material and Methods

This study aims to investigate the relationship between the morphometric characteristics of seeds from different populations of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Mönch), resulting from different planting dates (Aug: 29th, August: 1, 13th September: 13th and 28th and October 13) with their germination quality under various temperature levels. For each population studied, separate experiments were conducted at 11 temperature levels (4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 37, 40, and 45 degrees Celsius) in a completely randomized design with three replications in the Laboratory of Seed Science and Technology at the University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Khuzestan in 2022.

Results and Discussion

The analysis of variance results showed that temperature had a significant effect on germination speed at the 1% error probability level. Based on the model statistics and the standard error, the two-piece model was selected as the superior model. All seed populations showed 100% germination at temperatures between 7 and 35 degrees Celsius, whereas no germination was observed at temperatures of 4 and 45 degrees Celsius. As the temperature increased to 40 degrees Celsius, the cumulative germination percentage of buckwheat seed populations 1, 2, 3, and 4 decreased to 56%, 45.33%, 61.33%, and 64%, respectively.

In seed population 1, 100% germination was observed within the initial 32 hours at 30 and 35 degrees Celsius. In seed population 2, 100% germination was achieved within the initial 32 hours at 30 degrees Celsius. For seed population 3, 100% germination was obtained within the temperature range of 30-37 degrees Celsius.

Additionally, for population 4, the maximum cumulative germination percentage was observed at 35 degrees Celsius.

Although the longest time required for the onset of germination in all populations occurred at 7 degrees Celsius and between 90-98 hours, compared to 40 degrees Celsius (maximum 64% for population 4), they had 100% germination. The cumulative germination percentage of buckwheat showed that in all populations, germination occurred faster at temperatures between 25 and 37 degrees Celsius, starting 18 hours after imbibition. The importance of the time required to reach a certain percentage of germination in response to environmental conditions is crucial; therefore, under unfavourable environmental conditions, more time is needed to start germination. The highest germination speed observed in all populations was at 30-35 degrees Celsius, with no significant statistical difference. In fact, it can be stated that the germination speed index, compared to the germination percentage, is highly sensitive to temperature treatment, and the optimal range for achieving the maximum germination speed index was from 30 to 35 degrees Celsius. However, the germination percentage was less sensitive to different temperatures, with a suitable temperature window for germination percentage from 7 to 35 degrees Celsius. Exiting this temperature range or, in other words, at temperatures lower and higher than the 30-35 degrees Celsius range, the germination speed decreased.

Conclusion

This study's results indicated that among the mathematical models of germination, the two-pieces model showed the best fit for buckwheat seed germination. According to this model, the base, optimum, and ceiling temperatures for germination of different buckwheat seed populations were estimated to be 4.5 ± 0.5 degrees Celsius, 33 ± 2 degrees Celsius, and 44 ± 1 degrees Celsius, respectively. Additionally, it was found that the larger the seeds, the shorter the time required to complete seed germination at the optimum temperature. Large seeds in populations 3 and 4 showed faster germination compared to smaller seeds (populations 1 and 2), likely due to the higher energy and nutrient reserves provided by larger seeds. However, the models predicted that smaller seeds had a lower base temperature compared to larger seeds.



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

بررسی ارتباط میان بذرهای گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum* Möench) با ویژگی‌های مختلف مورفومتریکی در پاسخ به دماهای ویژه جوانه‌زنی

بهمن احمدوند^۱، سید امیر موسوی^{۲*}، سید عطااله سیادت^۳، رضا توکل افشاری^۴، علی قاطعی^۵

۱. دانش آموخته دکتری اگر و تکنولوژی-بذر، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.
۲. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.
۳. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.
۴. استاد، گروه اگر و تکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۵. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

واژه‌های کلیدی:

گندم سیاه،
مورفومتری بذر،
دمای کاردینال،
مدل دوتکه‌ای

نویسنده مسئول:

amirmoosavi@asnrkh.ac.ir

چکیده

هدف از اجرای این مطالعه بررسی ارتباط میان ویژگی‌های مورفومتریک بذر توده‌های مختلف گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum* Möench) حاصل از تاریخ‌های کاشت متفاوت (۷ شهریور: ۱، ۲۲ شهریور: ۲، ۶ مهرماه: ۳ و ۲۱ مهرماه: ۴) با کیفیت جوانه‌زنی بذر آن تحت سطوح دمایی مختلف بوده است. برای هر کدام از توده‌های مورد بررسی آزمایش جداگانه‌ای با ۱۱ سطح دمایی (۴، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۳۷، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس) به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۴۰۱ انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در سطح احتمال خطای ۱ درصد، دما اثر معنی‌داری بر سرعت جوانه‌زنی دارد. با توجه به آماره‌های مدل و البته خطای استاندارد، مدل دوتکه‌ای به عنوان مدل برتر انتخاب شد. بر این اساس دمای پایه، مطلوب و سقف با توجه به مدل برتر (دوتکه‌ای) برای توده ۱ به ترتیب ۴، ۸۲، ۳۴، ۲۴ و ۴۴، ۸۲ درجه سلسیوس، در توده ۲ به ترتیب ۴، ۱۸، ۳۳، ۸۲ و ۴۴، ۴۶ درجه سلسیوس، در توده ۳ به ترتیب ۵، ۶۴، ۳۴ و ۴۳، ۸۷ درجه سلسیوس و در توده ۴ به ترتیب ۵، ۶۹، ۳۱ و ۴۴، ۲۷ درجه سلسیوس برآورد گردید. تعیین دماهای کاردینال می‌تواند به مدیریت کشت و کار در گیاهان زراعی کمک شایانی کند.

نحوه استناد به این مقاله:

Ahmadvand, B., Moosavi, S.A., Siadat, S.A., Tavakkol Afshari, R., Ghatei, A. (2024). Studying the relationship between buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) seeds with different morphometric characteristics in response to germination temperatures. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 13 (2), 51-62. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2022.360310.1458>

مقدمه

در کشاورزی مدرن امروزی شناخت عوامل مختلف موثر بر رشد و عملکرد گیاهان از جمله عوامل محیطی و همچنین نحوه تاثیر آن‌ها بر خصوصیات کمی و کیفی محصول از مهم‌ترین جنبه‌های موفقیت در تولید گیاهان به شمار می‌روند (Jameson & Song, 2016). تولید موفق محصول در هر محیطی در ابتدا به کیفیت بذرهای کاشته شده بستگی دارد. اندازه بذر یک شاخص فیزیکی مهم از کیفیت بذر می‌باشد که می‌تواند به طور مستقیم بر فرایندهای جوانه‌زنی و عملکرد گیاه تحت شرایط محیطی مختلف تأثیر بگذارد. بذر با اندازه‌های مشخص دارای سطوح مختلفی از نشاسته و سایر ذخایر انرژی هستند که ممکن است عامل مهمی برای بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه باشد (Shahi et al. 2015). علت تغییر اندازه بذر در بین ارقام می‌تواند به دلیل انتقال مواد غذایی به بذر در حال رشد بر روی گیاه مادری باشد. تغییر در اندازه بذر می‌تواند بعداً در انتقال ذخایر غذایی برای رشد گیاهچه نیز دیده شود (Ambika et al., 2014). مشاهده شده است که بذرهای درشت جوانه‌زنی، رشد گیاهچه، و بقاء خود را افزایش داد و در نتیجه می‌تواند گیاهچه‌های قوی و برتری را تولید کنند (Chacon et al., 1998). (Moosavi et al. 2022). نشان دادند که مورفولوژی بذرهای کرچک بر جوانه‌زنی بذر کرچک نقش داشته و اندازه بذر در مقایسه با رنگ پوسته بذر تأثیر بیشتری بر نیازهای جوانه‌زنی آن دارد. گزارش شده است که بذرهای با رنگ تیره‌تر هدایت الکتریکی پایین‌تری در مقایسه با بذرهای با رنگ روشن داشتند که با پتانسیل جوانه‌زنی بالاتر در آن‌ها همبستگی داشت (Mavi, 2010). اندازه بذر می‌تواند با بسیاری از عوامل محیطی که بر جوانه‌زنی و استقرار موفق گیاهچه در مزرعه تأثیر می‌گذارند، تعامل داشته باشد (Steiner et al., 2019).

دما شاخصی از زمان‌بندی در اقلیم‌های فصلی بوده و به همین دلیل در تعیین فرایندهای فیزیولوژیک و فنولوژیک، مانند زمان جوانه‌زنی دخیل است. در مزرعه، بذر در دماهایی جوانه می‌زند که برای رشد و استقرار بعدی گیاهچه مساعد است. دماهایی که در آن جوانه‌زنی اتفاق می‌افتد، میزان جوانه‌زنی و زمان لازم برای تکمیل فرایند جوانه‌زنی درون یک جمعیت بذر را تعیین می‌کند (Ordoñez-Salanueva et al., 2015). پاسخ جوانه‌زنی به دما را

می‌توان از طریق نرخ جوانه‌زنی مشخص کرد و با سه دمای ویژه یا آستانه تعریف می‌شود: درجه حرارت پایه (Tb) که در پایین‌تر از آن جوانه‌زنی اتفاق نمی‌افتد، دمای مطلوب (To) که در آن میزان جوانه‌زنی حداکثر است و دمای سقف (Tc) که بالاتر از آن جوانه‌زنی متوقف می‌شود (Sampayo-Maldonado et al., 2019). بنابراین پر واضح است که جوانه‌زنی و زنده‌مانی بذرها ممکن است از سالی به سال دیگر و از یک مکان تولید تا مکانی دیگر بسیار متفاوت باشد (Li et al., 2017). دماهای کاردینال و زمان حرارتی ابزارهای مفیدی برای کمی‌سازی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر فرایندهای تکاملی گیاه مانند جوانه‌زنی بذر هستند. درک واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال یک راهبرد مناسب برای مدیریت کاشت در تولید گیاهان زراعی می‌باشد به همین دلیل برای شرح رابطه بین جوانه‌زنی و دما از توابع بیولوژیکی نظیر دو تکه‌ای، دندان مانند، بتا و بتای اصلاح شده، استفاده می‌گردد (Siadat et al., 2021).

گندم سیاه (*Fagopyrum esculentum* Mönch) گیاهی است یک‌ساله متعلق به خانواده هفت‌بندیان، بومی آسیا، گرمادوست، پهن‌برگ (قلبی شکل)، دارای ریشه‌های سطحی و ساقه‌های قائم به رنگ مایل به قرمز است که به منظور استفاده از دانه و بذر آن کشت می‌شود. گندم سیاه به طور عمده در آسیا و اروپای شرقی کشت می‌شود و تولیدکنندگان اصلی آن چین، روسیه، اوکراین و قزاقستان هستند. تولید جهانی آن طی دهه گذشته افزایش یافته و میزان آن به ۳/۸ مگاتن در سال ۲۰۱۷ رسیده است (FAOSTAT, 2019; Small, 2017). این گیاه جزء غلات نیست، اما بذر (فندقه) به دلیل کاربرد مشابه جزء شبه غلات طبقه‌بندی می‌شوند. برخلاف غلات شناخته شده که کمبود لیسین دارند، گندم سیاه از نظر ترکیب اسید آمینه ضروری، دارای کیفیت پروتئین عالی است. افزایش علاقه‌مندی به گیاه گندم سیاه بر اساس ویژگی‌های تغذیه‌ای آن از جمله میزان بالای پروتئین، وجود فلاونوئیدها، توانایی رشد در مناطق حاشیه‌ای و مناسب بودن برای کشت به عنوان یک محصول سنتی ارگانیک (بیولوژیکی یا اکولوژیکی) است (Tang et al., 2016).

اگرچه راجع به مزایای تغذیه‌ای، دارویی و اهمیت گندم سیاه مستندات زیادی وجود دارد اما راجع به ویژگی‌های رویشی آن

متعلق به ژنوتیپ آمریکایی گندم سیاه تولید شرکت Genesis seed بودند که توسط شرکت بذرام و در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ وارد ایران شده بودند و مرتبطاً تا سال تهیه بذره‌های پژوهش جاری در دانشکده‌گان دانشگاه تهران و مزرعه تحقیقاتی آن تجدید کاشت می‌شدند. جهت انجام تحقیق حاضر بذره‌های مورد مطالعه از دانشگاه تهران تهیه و سپس در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال زارعی ۱۴۰۰ تولید و تا زمان آزمایش در دمای مناسب انباری (۵ درجه سلسیوس) نگهداری شدند. مشخصات توده‌های مختلف بذری گندم سیاه نیز در جدول ۱ ارائه شده است. این توده‌ها حاصل کشت در تاریخ‌های متفاوت (۷ شهریور: ۱، ۲۲ شهریور: ۲، ۶ مهرماه: ۳ و ۲۱ مهرماه: ۴) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بودند.

اطلاعات چندانی در دسترس نیست (Small, 2017; Zhu, 2016). از این رو، نیاز مبرم به توسعه سیاست‌های مناسب و علمی برای بهره‌برداری از این محصول با ارزش غذایی و مقاوم به تغییر اقلیم در راستای امنیت غذایی پایدار احساس می‌شود (Babu et al., 2018). به همین سبب شناخت نیازهای رشدی گیاه از جمله شناسایی دماهای مناسب کاشت و نیز استفاده از توده‌های مختلف بذری با کیفیت متفاوت می‌تواند یکی از راه‌های مدیریت و توسعه کشت و کار این گیاه در شرایط آب و هوایی مختلف باشد.

مواد و روش‌ها

بذره‌های گندم سیاه استفاده شده در این پژوهش از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۹ تهیه شدند. این بذرها

جدول ۱- ویژگی‌های توده‌های مختلف بذری مورد استفاده در این آزمایش

Table 1- Characters of different seed lots of buckwheat used in this experiment

	توده بذری ۱ Seed lot 1	توده بذری ۲ Seed lot 2	توده بذری ۳ Seed lot 3	توده بذری ۴ Seed lot 4
رنگ بذر Seed color	قهوه‌ای روشن Light brown	قهوه‌ای تیره Dark brown	سیاه Dark	قهوه‌ای Brown
وزن ۱۰۰۰ دانه (گرم) 1000 seeds weight (g)	30.16	30.99	33.80	33.5
مساحت بذر (میلی‌متر مربع) Seed area (mm ²)	18.54	20.30	22.73	21.62
طول بذر (میلی‌متر) Seed length (mm)	6.59	6.87	7.27	6.96
قطر بذر (میلی‌متر) Diameter (mm)	6.13	6.20	6.26	5.98
محل تولید Production place	Ahwaz	Ahwaz	Ahwaz	Ahwaz
زمان تولید Production date	29 th Aug, 2021	13 th Sep, 2021	28 th Sep, 2021	12 th Oct, t2021



شکل ۱- اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفومتریک بذر گیاه گندم سیاه با استفاده از نرم‌افزار دیجی مایزر

Figure 1- Measuring the morphometric characteristics of buckwheat seeds using Digimizer software

لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک به عنوان بستر جوانه‌زنی (انتقال یافت و به هر پتری به اندازه ۱۰ میلی‌لیتر آب (به طوری که ۵۰ درصد سطح بذرها خارج از آب بودند) اضافه شد. شمارش بذرهاى جوانه‌زده روزانه در زمان‌های مشخص انجام شد و معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد (Hashemi et al., 2020). تعیین دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی بین سرعت جوانه‌زنی لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد (معکوس متوسط زمان جوانه‌زنی) محاسبه شد. جهت برازش سرعت جوانه‌زنی طبق جدول ۲ از چهار مدل بتا ۴ پارامتره، بتا ۵ پارامتره، دندان مانند و دو تکه‌ای استفاده گردید (Siadat et al., 2021).

برای اندازه‌گیری صفات مورفومتریک بذر (مساحت، طول و قطر) با استفاده از نرم‌افزار دیجی‌مايزر، تعداد ۲۰۰ بذر به طور تصادفی انتخاب شد. وزن هزار دانه با شمارش ۸ تکرار ۱۰۰ بذری اندازه‌گیری شد (Childiyal et al., 2009) به منظور کمی‌سازی دماهای کاردینال جوانه‌زنی توده‌های مختلف بذر گندم سیاه، آزمایشی با سه تکرار ۲۵ بذری در ۱۱ سطح دمایی شامل ۴، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۳۷، ۴۰ و ۴۵ درجه سلسیوس انجام شد. آزمون‌ها در شرایط ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی ژرمیناتور با دوره زمانی ثابت ۸ روز (بر اساس نتایج پیش‌آزمایشی، جوانه‌زنی بیش از این مدت افزایش نیافت) اجراء شدند. برای هر ماده آزمایشی تعداد ۲۵ عدد بذر به داخل ظروف پتری (بر روی ۲

جدول ۲- مدل‌های مورد استفاده برای تعیین دماهای کاردینال

Table 2- Models used to determine cardinal temperatures

مدل Models	معادله Equation	منبع Reference
دو تکه‌ای Segmented	$f(T) = (T - T_b)/(T_o - T_b) \text{ if } T_b < TMP < T_o$ $\text{if } T_o \leq TMP < T_c f(T) = 1 - \left(\frac{T - T_o}{T_c - T_o}\right)$ $\text{if } TMP \leq T_b \text{ or } TMP \geq T_c f(T) = 0$	(Mwale et al., 1994)
بتای ۴ پارامتره Beta 4 parameter	$f(T) = \left(\frac{TMP - T_b}{T_o - T_b}\right) \left(\frac{T_c - TMP}{T_c - T_o}\right)^{\left(\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b}\right)^c}$ $\text{if } TMP > T_b \text{ and } TMP < T_c$ $f(T) = 0 \text{ if } TMP \leq T_b \text{ or } TMP \geq T_c$	(Yin et al., 1995)
بتای ۵ پارامتره Beta 5 parameter	$f(T) = \left(\frac{T_c - TMP}{T_c - T_o}\right) \left(\frac{TMP - T_b}{T_o - T_b}\right)^{\left(\frac{T_o - T_b}{T_c - T_o}\right)}$ $f(T) = 0 \text{ if } TMP \leq T_b \text{ or } TMP \geq T_c$	(Yan & Hunt, 1999)
دندان مانند Dent-like	$f(T) = (TMP - T_b)/(T_{o1} - T_b) \text{ if } T_b < TMP \leq T_{o1}$ $\text{if } T_{o2} < TMP < T_c f(T) = (T_c - TMP)/(T_c - T_{o2})$ $\text{if } T_{o1} \leq TMP \leq T_{o2} f(T) = 1$ $\text{if } TMP \leq T_b \text{ or } TMP \geq T_c f(T) = 0$	(Piper et al., 1996)

دمای پایه: T_b

دمای محیط: TMP

دمای سقف: T_c

پاسخ به سایر دماها دارای روندهای مختلفی بود. با افزایش دما به ۴۰ درجه سلسیوس، درصد جوانه‌زنی تجمعی در توده‌های بذری گندم سیاه ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب به ۵۶، ۴۵، ۳۳، ۶۱، ۳۳ و ۶۴ درصد کاهش یافت. در توده بذری ۱ در ۳۲ ساعت اولیه ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی در دماهای ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس مشاهده شد. در توده بذری ۲ در دمای ۳۰ درجه سلسیوس ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی در ۳۲ ساعت اولیه حاصل شد. برای توده بذری ۳ در محدوده دمایی ۳۰-۳۷ درجه سلسیوس ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی بدست آمد. همچنین برای توده ۴ در دمای ۳۵ درجه سلسیوس حداکثر درصد جوانه‌زنی تجمعی مشاهده گردید. این در حالی

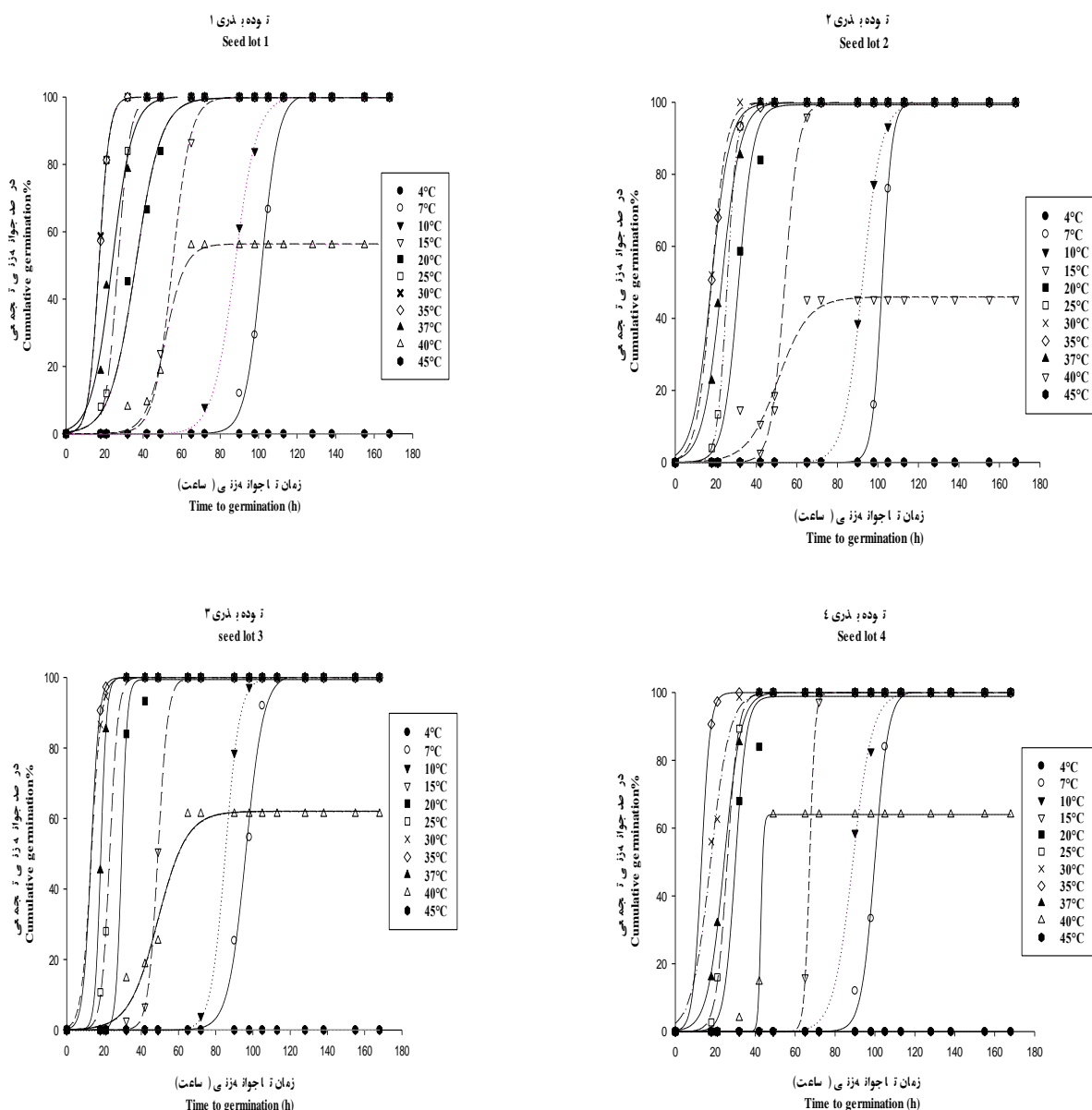
برای برازش این مدل‌ها از نرم‌افزار سیگماپلات ۱۴ و برای تعیین مدل از ضریب تبیین (R^2)، شاخص آکائیک تصحیح شده (AICc) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) استفاده شد.

نتایج و بحث

تمامی توده‌های بذری در دماهای ۷ تا ۳۵ درجه سلسیوس دارای ۱۰۰ درصد جوانه‌زنی بودند و این در حالی بود که در دماهای ۴ و ۴۵ درجه سلسیوس هیچ گونه جوانه‌زنی مشاهده نگردید (شکل ۲). با وجود عدم جوانه‌زنی تمامی توده‌های بذری در دماهای ۴ و ۴۵ درجه سلسیوس اما درصد جوانه‌زنی تجمعی در

درصد جوانه‌زنی بودند. درصد جوانه‌زنی تجمعی گندم سیاه نشان داد که در تمامی توده‌ها جوانه‌زنی در دماهای ۲۵ تا ۳۷ درجه سلسیوس با سرعت بیشتری انجام می‌شود به طوری که با گذشت ۱۸ ساعت پس از آبنوشی شروع به جوانه‌زنی کردند. اهمیت زمان رسیدن به درصد مشخصی از جوانه‌زنی در واکنش به شرایط محیطی می‌باشد، به همین دلیل در شرایط نامساعد محیطی زمان بیشتری برای شروع جوانه‌زنی لازم است.

بود که در همین بازه زمانی ۳۲ ساعته بذرها همه توده‌های بذری در دمای ۴۰ درجه سلسیوس شروع به جوانه‌زنی کردند به طوری که ۸ درصد جوانه‌زنی تجمعی برای توده ۱ و برای سایر توده‌ها ۱۴/۶۶ درصد جوانه‌زنی حاصل شد. اگرچه در تمامی توده‌ها بیشترین زمان لازم برای شروع جوانه‌زنی در دمای ۷ درجه سلسیوس و بین ساعات ۹۰-۹۸ اتفاق افتاد اما در مقایسه با دمای ۴۰ درجه سلسیوس (حداکثر ۶۴ درصد برای توده ۴) دارای ۱۰۰



شکل ۲- درصد جوانه‌زنی تجمعی توده‌های مختلف گندم سیاه در برابر زمان در تیمارهای مختلف دمایی

Figure 2- Continued Figure 2- Cumulative germination of buckwheat seed lots against time at different temperatures

دارد. سایر محققین با مطالعه روی گیاهانی مانند اسفرزه (Hashemi et al., 2022) و کینوا (Mamedi et al., 2021) به نتایجی مشابه با این مطالعه دست یافته بودند.

برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند، بتای چهار پارامتره و بتای پنج پارامتره استفاده گردید. معیارهای مورد نظر به منظور انتخاب مدل برتر برای توصیف سرعت جوانه‌زنی توده‌های مختلف گیاه گندم سیاه نسبت به دما در جدول ۵ گزارش شده‌اند. بهترین مدل دارای ضریب تبیین (R^2) بالا، ریشه میانگین مربعات خطاء (RMSE) و شاخص آکائیک تصحیح شده کوچکتری دارد. با توجه به جدول ۴، مدل دو تکه‌ای نسبت به سایر مدل‌ها در توده‌های بذری ۱، ۲، ۳ و ۴ دارای ضریب تبیین بالا، ریشه میانگین مربعات خطاء و شاخص آکائیک تصحیح شده پایین تری بود که نشان‌دهنده برتری این مدل در تخمین جوانه‌زنی بذره‌های این توده‌هاست. لازم به ذکر است با توجه به معیارهای ذکر شده مدل بتای پنج پارامتره بهترین تخمین سرعت جوانه‌زنی برای را توده بذری ۴ داشت اما ایراد اساسی این مدل در دمای پایه مطرح می‌باشد که خطای استاندارد آن بیش از دمای پایه است. بنابراین در نکویی مدل‌ها خطای استاندارد پارامترهای مدل نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد (Zare et al., 2021). اهمیت انتخاب مدل مناسب در کمی سازی واکنش جوانه‌زنی بذور نسبت به شرایط دمایی در تعیین دماهای کاردینال می‌باشد (Habibzadeh Zarandi et al., 2017).

آدام و همکاران (Adam et al., 2007) بیان کردند که واکنش جوانه‌زنی به درجه حرارت، در میان گونه‌ها و حتی توده‌های درون یک گونه می‌تواند متفاوت باشد. به طور کلی می‌توان این گونه بیان کرد که کاهش درصد جوانه‌زنی در دماهای بالا و پایین تر از حد مطلوب به دلیل کاهش کارآیی متابولیسمی در بذور باشد. به نظر می‌رسد گیاه گندم سیاه در طیف نسبتاً وسیعی از شرایط دمایی قابلیت جوانه‌زنی را داشته و می‌توان آن را در مناطقی که دارای محدودیت دمایی می‌باشند، کشت نمود.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که شاخص سرعت جوانه‌زنی بذور گندم سیاه در تمامی توده‌های بذری در سطح یک درصد تحت تاثیر درجه حرارت قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین سرعت جوانه‌زنی مشاهده شده در تمامی توده‌ها در دمای ۳۰-۳۵ درجه سلسیوس بود و از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. در واقع می‌توان این طور بیان کرد که شاخص سرعت جوانه‌زنی در مقایسه با درصد جوانه‌زنی حساسیت بالایی به تیمار دمایی داشته و محدوده مناسب برای حصول حداکثر شاخص سرعت جوانه‌زنی از دمای ۳۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس بود. اما درصد جوانه‌زنی حساسیت کمتری به دماهای مختلف داشته به طوری که از دمای ۷ تا ۳۵ درجه سلسیوس پنجره دمایی مناسب برای صفت درصد جوانه‌زنی بود. با خارج شدن از این محدوده دمایی یا به عبارتی دیگر در دماهای پایین و بالاتر از محدوده ۳۰-۳۵ درجه سلسیوس سرعت جوانه‌زنی کاهش پیدا کرد. به دلیل اهمیتی که سرعت جوانه‌زنی در استقرار گیاهچه دارد برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرها کاربرد

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص سرعت جوانه‌زنی چهار توده بذری گندم سیاه تحت تاثیر دما

Table 3- Analysis of variance buckwheat germination rate index of four seed lots influenced by temperature

		میانگین مربعات Mean square			
		شاخص سرعت جوانه‌زنی Germination rate index			
منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	توده بذری ۱ Seed lot 1	توده بذری ۲ Seed lot 2	توده بذری ۳ Seed lot 3	توده بذری ۴ Seed lot 4
تیمار Treatment	10	0.614**	0.582**	0.805**	0.552**
خطای آزمایشی Error	22	0.0004	0.0006	0.0002	0.0007
ضریب تغییرات (درصد) %CV		3.91	4.74	2.62	5.12

**Significantly at 1% probability level.

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص سرعت جوانه‌زنی چهار توده بذری گندم سیاه تحت تاثیر دما

Table 4- Mean comparison of buckwheat germination rate index of four seed lot influenced by temperature

شاخص سرعت جوانه‌زنی				
Germination rate index (h ⁻¹)				
دما (درجه سلسیوس)	توده بذری ۱	توده بذری ۲	توده بذری ۳	توده بذری ۴
Temperature °C	Seed lot 1	Seed lot 2	Seed lot 3	Seed lot 4
4	0 ^j	0 ^j	0 ^j	0 ^j
7	0.24 ^f	0.23 ^f	0.23 ^h	0.25 ^f
10	0.27 ^f	0.25 ^f	0.27 ^j	0.26 ^f
15	0.40 ^e	0.40 ^e	0.45 ^e	0.35 ^e
20	0.63 ^d	0.69 ^d	0.74 ^d	0.70 ^d
25	0.81 ^c	0.83 ^c	0.91 ^c	0.83 ^c
30	1.23 ^a	1.16 ^a	1.34 ^a	1.14 ^a
35	1.22 ^a	1.14 ^a	1.35 ^a	1.14 ^a
37	0.95 ^b	0.97 ^b	1.22 ^b	0.91 ^b
40	0.26 ^f	0.21 ^f	0.31 ^f	0.28 ^f
45	0 ^j	0 ^j	0 ^j	0 ^j

حروف مشابه بدون اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد با استفاده از آزمون دانکن

Similar letters are not significantly different ($\alpha \leq 0.01$) based on Duncan test.

جدول ۵- شاخص‌های برازش مدل‌های مختلف جوانه‌زنی بذری گندم سیاه

Table 5- Models fit indices derived from seed germination of buckwheat

نوع توده بذری	تابع	ضریب تبیین	ریشه میانگین مربعات خطا	شاخص آکائیک تصحیح شده
Seed lot type	Function	R ²	RMSE	AAI _C
توده بذری ۱ Seed lot 1	دوتکه‌ای	0.95	0.014	-95.85
	Segmented			
	دندان مانند	0.95	0.014	-84.85
	Dent-like			
	مدل بتا چهار پارامتره	0.89	0.022	-88.53
Beta 4 parameters				
مدل بتا پنج پارامتره	0.83	0.02	-79.51	
Beta 5 parameters				
توده بذری ۲ Seed lot 2	دوتکه‌ای	0.96	0.01	-102.0947
	Segmented			
	دندان مانند	0.96	0.01	-91.09
	Dent-like			
	مدل بتا چهار پارامتره	0.89	0.02	-90.54
Beta 4 parameters				
مدل بتا پنج پارامتره	0.89	0.01	-81.88	
Beta 5 parameters				
توده بذری ۳ Seed lot 3	دوتکه‌ای	0.85	0.04	-73.8374
	Segmented			
	دندان مانند	0.85	0.04	-62.83
	Dent-like			
	مدل بتا چهار پارامتره	0.74	0.052	-68.89
Beta 4 parameters				
مدل بتا پنج پارامتره	0.85	0.037	-65.57	
Beta 5 parameters				
توده بذری ۴ Seed lot 4	دوتکه‌ای	0.83	0.037	-76.6631
	Segmented			
	دندان مانند	0.83	0.037	-65.66
	Dent-like			
	مدل بتا چهار پارامتره	0.72	0.045	-72.18
Beta 4 parameters				
مدل بتا پنج پارامتره	0.84	0.033	-68.78	
Beta 5 parameters				

دمای پایه، مطلوب و سقف با توجه به مدل برتر (دوتکه‌ای) برای توده ۱ به ترتیب ۴،۸۲، ۳۴،۲۴ و ۴۴،۸۲ درجه سلسیوس، در توده ۲ به ترتیب ۴،۱۸، ۳۳،۸۲ و ۴۴،۴۶ درجه سلسیوس، در توده ۳ به ترتیب ۳۴،۶۴ و ۴۳،۸۷ درجه سلسیوس و در توده ۴ به ترتیب ۳۱،۶۹ و ۴۴،۲۷ درجه سلسیوس (جدول ۶) برآورد گردید.

در جدول ۶ مقادیر برآورد شده دماهای کاردینال جوانه‌زنی توده‌های مختلف گندم سیاه برای تمامی مدل‌ها جهت مقایسه قابلیت تخمین هر یک از مدل‌ها ارائه شده است، البته همانطور که بیان گردید بهترین مدل برای تمامی توده‌ها مدل دوتکه‌ای بدست آمد. در شکل ۱ رابطه سرعت جوانه‌زنی در توده‌های مختلف بذور گندم سیاه با استفاده از مدل‌های مختلف نشان داده شده است.

جدول ۶- پارامترهای مدل‌های مختلف سرعت جوانه‌زنی بذر گندم سیاه

Table 6- Parameters derived from application of different models on seed germination of buckwheat

تابع Function	نوع توده بذری Seed lot type	دمای پایه (درجه سلسیوس) T _b (°C)	دمای مطلوب (درجه سلسیوس) T _o (°C)	دمای مطلوب تختانی (درجه سلسیوس) T _{o1} (°C)	دمای مطلوب فوقانی (درجه سلسیوس) T _{o2} (°C)	دمای سقف (درجه سلسیوس) T _c (°C)	ضریب رگرسیون F _o	ضریب ثابت a
Segmented دوتکه‌ای	توده بذری ۱ Seed lot 1	4.82 (1.61)	34.24 (0.85)	-	-	44.82 (0.86)	15.44 (0.95)	-
	توده بذری ۲ Seed lot 2	4.18 (1.35)	33.82 (0.69)	-	-	44.46 (0.66)	16.43 (0.80)	-
	توده بذری ۳ Seed lot 3	5 (3.25)	34.64 (1.53)	-	-	43.87 (1.34)	11.47 (1.47)	-
	توده بذری ۴ Seed lot 4	5 (2.97)	31.69 (2.17)	-	-	44.27 (1.59)	13.20 (1.56)	-
Dent-like دندان مانند	توده بذری ۱ Seed lot 1	4.82 (1.74)	-	32.45 (5.55)	34.88 (8.96)	44.82 (0.93)	16.44 (4.91)	-
	توده بذری ۲ Seed lot 2	4.18 (6)	-	32.39 (5.5)	34.34 (4.1)	44.46 (5.6)	17.26 (6.7)	-
	توده بذری ۳ Seed lot 3	5 (3.52)	-	33.71 (4.89)	34.93 (2.14)	43.87 (1.49)	11.84 (6.52)	-
	توده بذری ۴ Seed lot 4	5 (6.5)	-	30.02 (7.3)	32.48 (8)	44.27 (3.5)	14.08 (9.1)	-
Beta 4 parameters مدل بتا چهار پارامتره	توده بذری ۱ Seed lot 1	4 (8.13)	31.95 (1.40)	-	-	44.72 (0.74)	17.65 (1.34)	-
	توده بذری ۲ Seed lot 2	4 (6.63)	30.84 (1.42)	-	-	44.59 (0.77)	19.21 (1.43)	-
	توده بذری ۳ Seed lot 3	4 (15.74)	32.10 (2.45)	-	-	44.29 (1.16)	13.12 (1.82)	-
	توده بذری ۴ Seed lot 4	5 (12.45)	30.95 (2.61)	-	-	44.17 (1.32)	16 (2.31)	-
Beta 5 parameters مدل بتا پنج پارامتره	توده بذری ۱ Seed lot 1	4 (21.69)	31.73 (1.77)	-	-	44 (9.59)	16.47 (1.67)	2.85 (5.30)
	توده بذری ۲ Seed lot 2	4 (5.76)	30.74 (1.72)	-	-	44 (8.64)	17.99 (1.75)	2.50 (3.74)
	توده بذری ۳ Seed lot 3	4 (17.16)	31.95 (1.18)	-	-	44 (12.77)	9.89 (1.50)	6.59 (29.61)
	توده بذری ۴ Seed lot 4	4 (15.17)	30.78 (1.32)	-	-	44 (12.35)	11.97 (1.79)	5.86 (22.16)

Numbers in parentheses are standard errors.

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشند.

سیاسگزاری

بدینوسیله از همکاری دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جهت اجرای این پژوهش قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

Reference

- Adam, N. R., Dierig, D. A., Coffelt, T. A., Wintermeyer, M. J., Mackey, B. E., & Wall, G. W. (2007). Cardinal temperatures for germination and early growth of two *Lesquerella* species. *Industrial Crops and Products*, 25(1), 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.06.001>
- Ahmadvand, B., & Moosavi, S. A. (2022). Quantification of temperature effect on seed germination of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Mönch). In *Proceedings of the 3rd International and 17th National Iranian Crop Science Congress* (n.p.). Shahid-Bahonar University of Kerman, Iran. [In Persian]
- Ambika, S., Manonmani, V., & Somasundaram, G. (2014). Review on effect of seed size on seedling vigor and seed yield. *Research Journal of Seed Science*, 7(2), 31-38. <https://doi.org/10.3923/rjss.2014.31.38>
- Babu, S., Yadav, G. S., Singh, R., Avasthe, R. K., Das, A., Mohapatra, K. P., & Prakash, N. (2018). Production technology and multifarious uses of buckwheat (*Fagopyrum* spp.): A review. *Indian Journal of Agronomy*, 63(4), 415-427.
- Chacón, P. A. U. L. I. N. A., Bustamante, R. A. M. I. R. O., & Henríquez, C. A. R. O. L. I. N. A. (1998). The effect of seed size on germination and seedling growth of *Cryptocarya alba* (Lauraceae) in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 71(2), 189-197.
- Childiyal, S. K., Sharma, C. M., & Gairola, S. (2009). Environmental variation in seed and seedling characteristics of *Pinus roxburghii* Sarg. from Uttaranchal, India. *Applied Ecology and Environmental Research*, 7(2), 121-129. https://doi.org/10.15666/aeer/0702_121129
- FAOSTAT. (2016). Crop production statistics. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx> (accessed September 1, 2016).

(Ahmadvand & Moosavi 2022) گزارش کردند که سرعت جوانه‌زنی گندم سیاه با افزایش دما از ۴ درجه سلسیوس به طور خطی روندی صعودی داشته و پس از عبور از دمای ۳۵ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد. بنابراین به نظر می‌رسد بیشترین سرعت جوانه‌زنی این گیاه در محدوده دمایی ۳۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس باشد. با توجه به درصد جوانه‌زنی کامل (۱۰۰ درصد) در محدوده دمایی ۷ تا ۳۷ درجه سلسیوس به نظر می‌رسد اثر محسوس دما بر سرعت جوانه‌زنی بذور گندم سیاه باشد زیرا با افزایش دما شرایط مناسبی برای استقرار زود هنگام این گیاه فراهم می‌گردد. با افزایش احتمال موفقیت استقرار و رشد زودتر، گیاهچه گندم سیاه می‌تواند در مواجهه با مشکل علف‌های هرز بهتر عمل کرده و به عنوان یک گیاه خفه‌کننده علف‌های هرز ظاهر شود. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردید که توده‌های مختلف بذری گندم سیاه قادر به جوانه‌زنی در محدوده نسبتاً وسیعی از دما هستند، به طوری که در دمای ۴۰ درجه سلسیوس بین ۴۵ تا ۶۴ درصد جوانه‌زنی مشاهده گردید که حاکی از تحمل بالای جوانه‌زنی آن به دماهای مختلف می‌باشد.

نتایج این بررسی بیانگر آن است که در بین مدل‌های ریاضی جوانه‌زنی، مدل دوتکه‌ای بهترین برازش جوانه‌زنی بذور گندم سیاه را نشان داد. طبق این مدل و به طور کلی دمای پایه، بهینه و سقف جوانه‌زنی توده‌های مختلف گندم سیاه به ترتیب 0.5 ± 4.5 درجه سلسیوس، دمای مطلوب 2 ± 33 و دمای سقف 1 ± 44 محاسبه شد. همچنین مشخص شد که هر چه بذرها درشت‌تر باشند، زمان لازم برای تکمیل جوانه‌زنی بذر در دمای بهینه کمتر است. در واقع بذرها درشت در توده ۳ و ۴ نسبت به بذرها ریزتر (توده ۱ و ۲)، به دلیل F_0 پایین‌تر، جوانه‌زنی سریع‌تری از خود نشان دادند. جوانه‌زنی سریع بذرها درشت‌تر در مقایسه با بذرها ریزتر احتمالاً به دلیل توانایی بذرها درشت در تأمین انرژی و مواد غذایی بالاتر در جهت ظرفیت جوانه‌زنی بیشتر باشد. با این حال پیش‌بینی مدل حاکی از این بود که بذرها ریز در مقایسه با بذرها درشت دمای پایه کمتری داشتند. توجه به قابلیت بالای جوانه‌زنی بذر گندم سیاه می‌توان انتظار موفقیت کشت آن در اقلیم‌های متفاوت را انتظار داشت اگرچه برای تایید این موضوع، باید سایر خصوصیات رشدی آن در مراحل رویشی و زایشی نیز در شرایط مختلف دمایی مورد بررسی قرار گیرد.

- Hashemi, A., Sharifzadeh, F., Maali Amiri, R., & Tavakkol Afshari, R. (2020). Evaluation of germination of safflower seed (*Carthamus tinctorius* L.) Faraman cultivar under water deficit stress and determination of cardinal germination temperatures. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(3), 73-83. <https://doi.org/10.22034/ijst.2020.128718.1315> [In Persian]
- Hashemi, A., Tavakkol Afshari, R., Tabrizi, L., & Barooti, S. (2022). Quantifying seed germination response of *Plantago ovata* under temperature and drought stress regimes. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 11(2), 33-42. <https://doi.org/10.22092/ijst.2020.107995.1006>. [In Persian]
- Jameson, P. E., & Song, J. (2016). Cytokinin: A key driver of seed yield. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), 593-606. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv461>
- Li, R., Chen, L., Wu, Y., Zhang, R., Baskin, C. C., Baskin, J. M., & Hu, X. (2017). Effects of cultivar and maternal environment on seed quality in *Vicia sativa*. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 1411. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01411>
- Mamedi, A., Sharifzadeh, F., & Maali Amiri, R. (2021). Evaluation of quinoa seed germination variability in response to temperature, drought, and salinity stresses. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 10(4), 57-67. <https://doi.org/10.22092/ijst.2021.353918.1388> [In Persian]
- Mavi, K. (2010). The relationship between seed coat color and seed quality in watermelon *Crimson Sweet*. *Horticultural Science*, 37, 62-69. <https://doi.org/10.17221/53/2009-HORTSCI>
- Moosavi, S. A., Siadat, S. A., Koochekzadeh, A., Parmoon, G., & Kiani, S. (2022). Effect of seed color and size on cardinal temperatures of castor bean (*Ricinus communis* L.) seed germination. *Agrotechnique in Industrial Crops*, 2(1), 1-10. <https://doi.org/10.22126/atic.2022.7417.1041>
- Mwale, S. S., Azam-Ali, S. N., Clark, J. A., Bradley, R. G., & Chatha, M. R. (1994). Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Science and Technology*, 22, 565-571.
- Habibzadeh Zarandi, M., Allahdadi, I., Khalaj, H., & Labbafi, M. (2017). Application of nonlinear regression models for prediction of cardinal temperatures in seed germination of various cumin (*Cuminum cyminum*) ecotypes. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 6(1), 79-88. <https://doi.org/10.22034/ijst.2017.113217> [In Persian]
- Ordoñez-Salanueva, C. A., Seal, C. E., Pritchard, H. W., Orozco-Segovia, A., Canales-Martínez, M., & Flores-Ortiz, C. M. (2015). Cardinal temperatures and thermal time in *Polaskia* (Cactaceae) species: Effect of projected soil temperature increase and nurse interaction on germination timing. *Journal of Arid Environments*, 115, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.01.006>
- Piper, E. L., Boote, K. J., Jones, J. W., & Grimm, S. S. (1996). Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity dates of soybean. *Crop Science*, 36, 1606-1614. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600060033x>
- Sampayo-Maldonado, S., Ordoñez-Salanueva, C. A., Mattana, E., Ulian, T., Way, M., Castillo-Lorenzo, E., & Flores-Ortiz, C. M. (2019). Thermal time and cardinal temperatures for germination of *Cedrela odorata* L. *Forests*, 10(10), 841. <https://doi.org/10.3390/f10100841>
- Shahi, C., Vibhuti, K. B., & Bargali, S. S. (2015). How seed size and water stress affect seed germination and seedling growth in wheat varieties. *Current Agriculture Research Journal*, 3(1), 60-68. <https://doi.org/10.12944/CARJ.3.1.08>
- Siadat, S. A., Moosavi, S. A., Parmoon, G., & Kiani, S. (2021). Study on the relationship between seed size and aging on cardinal temperatures of canola. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 10(4), 119-135. <https://doi.org/10.22092/ijst.2020.351193.1352> [In Persian]
- Small, E. (2017). Buckwheat—the world's most biodiversity-friendly crop? *Biodiversity*, 18(2-3), 108-123. <https://doi.org/10.1080/14888386.2017.1332529>
- Steiner, F., Zuffo, A. M., Busch, A., de Oliveira Sousa, T., & Zoz, T. (2019). Does seed size affect the germination rate and seedling growth of peanuts under salinity and water stress? *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 49, 1-9. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4954353>
- Tang, Y., Ding, M. Q., Tang, Y. X., Wu, Y. M., Shao, J. R., & Zhou, M. L. (2016). Germplasm resources of buckwheat in China. In M. Zhou, S.-H. Woo, & G. Wieslander (Eds.), *Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat* (pp. 13-20). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803692-1.00002-X>

Yan, W., & Hunt, L. A. (1999). An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany*, 84(5), 607–614. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.0955>

Yin, X., Kropff, M. J., McLaren, G., & Visperas, R. M. (1995). A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77(1-2), 1–16. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(95\)02236-Q](https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02236-Q)

Zare, A., Malekpoor, M., & Arabizadeh, M. (2021). Determining cardinal temperature for seed germination of four weeds in the Brassicaceae family. *Journal of Crop Improvement*, 23(2), 417–428. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.301607.2387> [In Persian]

Zhu, F. (2016). Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat. *Food Chemistry*, 203, 231–245. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.050>