

Research Article

Vol. 40, No. 1, 2026, p. 493-508



Quantifying the Emergence Response of Various Ecotypes of littleseed Canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) to Temperature

Gh. Arezoogar¹, A. Soltani^{1*}, A. Siahmarguee¹, F. Ghaderi-Far¹

1- Department of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

(*- Corresponding author's Email: afshin.soltani@gmail.com)

Received: 04-10-2025

Revised: 07-01-2026

Accepted: 26-01-2026

Available Online: 21-03-2026

How to cite this article:

Arezoogar, Gh., Soltani, A., Siahmarguee, A., & Ghaderi-Far, F. (2026). Quantifying the emergence response of various ecotypes of littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) to temperature. *Iranian Plant Protection Research*, 40(1), 493-508. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jpp.2026.95779.1255>

Introduction

Phalaris minor Retz., commonly known as little seed canary grass, is one of the most troublesome and competitive weeds in wheat fields. Due to morphological similarities and growth requirements with wheat, the yield reduction of this crop is reported to be between 28 and 95 percent. Furthermore, the resistance of *P. minor* to herbicides that inhibit PSII, ACCase, and ALS has been documented in Iran as well as in other nations, with research results suggesting that this issue is proliferating swiftly. Therefore, understanding the biology and emergence patterns of *P. minor* is crucial for designing effective integrated weed management strategies. The use of predictive models of seedling emergence is essential for successful management and for reducing the population of resistant biotypes. These models allow farmers and agronomists to anticipate periods of high weed emergence and optimize the timing of cultural, mechanical, and chemical control practices. A precise understanding of plant developmental responses to temperature is a prerequisite for developing accurate models to estimate emergence timing under variable environmental conditions. Despite its significance, data concerning the cardinal temperatures for seedling emergence of various *Phalaris* ecotypes (*Phalaris* spp.) remains insufficient, thereby restricting the effective application of predictive models under field conditions.

Materials and Methods

This study was conducted to investigate and quantify the response of four *Phalaris* ecotypes (Gorgan, Kordkuy, Ziarat, and Kalaleh) to temperature, and to estimate their cardinal temperatures using appropriate mathematical functions. The experiment was carried out across 12 sowing dates (from December 2023 to November 2024, one sowing date per month) in a randomized complete block design (RCBD) with three replications under non-limiting water and nutrient conditions at the Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan. Prior to the experiment, all weeds from the experimental site and its surroundings were completely removed to minimize competition. The soil was then manually tilled with a shovel (surface tillage) and mixed with farmyard manure to provide a soft and suitable seedbed that facilitates uniform seed-soil contact. Before each sowing date, seeds were subjected to appropriate dormancy-breaking treatments to ensure maximum germination potential and were immediately transferred to the field for sowing. Different sowing dates were



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

<https://doi.org/10.22067/jpp.2026.95779.1255>

selected to expose the plants to varying temperature conditions and to examine the effect of temperature on seedling emergence. Emergence was recorded according to the Zadoks scale when the coleoptile or any part of the seedling was visible on the soil surface in 50% of the viable seeds sown. Observations were conducted every other day and daily during the warmer months to accurately capture emergence dynamics under fluctuating environmental conditions. Data analysis was performed using SAS statistical software, while the plotting and analysis of data-related graphs were performed using Microsoft Excel to visualize trends and model fits.

Results and Discussion

Among the models used, the two-segmented and three-segmented models showed similar performance based on statistical indices, with RMSE values of 1.60 and RRMSE values of 14.2%, respectively. The beta model, with an RMSE of 1.94 and an RRMSE of 16.8%, exhibited weaker performance compared with the other two models. However, model fitting results showed that the beta model failed to estimate the base temperature, yielding an unrealistic value of approximately -20 °C. Consequently, in the next step, a constraint was imposed on the base temperature (a range between 0 and 5 °C was selected for the base temperature; however, this constraint also had no effect on model performance and failed to estimate the base temperature and its standard error). Additionally, the three-segmented model was also unable to provide a valid standard error (SE) estimate for the ceiling temperature. As a result, both models were unsuccessful and unsuitable for integrated estimation of cardinal temperatures, and only the two-segmented model proved effective in this regard. Therefore, the two-segmented model was selected as the superior model, and the cardinal temperatures derived from this model should be adopted. The two-segmented model indicated that the base, optimum, and ceiling temperatures were 3.8, 21.8, and 30.2 °C, respectively. The duration required for seedling emergence (expressed as biological days: the number of days to emergence at the optimum temperature) was estimated to be 5.34 days. Statistical analysis showed that, within the framework of the superior model, no significant differences existed among the ecotypes regarding the cardinal temperatures or the biological days required for emergence. Our result showed that high temperature (above 30 °C) could be associated with the absence of emergence on certain sowing dates (from May to August 2024).

Conclusion

The findings showed that different ecotypes of *Phalaris* in Golestan province exhibited a similar response to temperature, indicating ecological stability and high adaptability of *Phalaris* under diverse environmental conditions. Therefore, their management can be carried out using common strategies. Also, further studies are needed to quantify the temperatures that may induce dormancy.

Keywords: Biological day, Cardinal temperatures, Modeling

کمّی سازی واکنش سبز شدن اکوتیپ‌های مختلف فالاریس (*Phalaris minor* Retz.) به دماقدسیه آرزوگر^۱ - افشین سلطانی^{۱*} - آسیه سیاهمرگویی^۱ - فرشید قادری فر^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۶

چکیده

فالاریس (*Phalaris minor* Retz.) یکی از علف‌های هرز مهم و دردرساز مزارع گندم است. بهره‌گیری از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده سبز شدن جهت مدیریت موفق و کاهش جمعیت بیوتیپ‌های مقاوم آن حائز اهمیت است. درک دقیق از نحوه واکنش نمو گیاهان به دما، پیش‌شرط توسعه مدل‌های دقیق برآورد زمان سبز شدن در شرایط متغیر محیطی است. این مطالعه، با هدف بررسی و کمّی‌سازی واکنش سبز شدن چهار اکوتیپ فالاریس (گرگان، کردکوی، زیارت و کلاله) به دما و به دست آوردن دماهای کاردینال با تابع مناسب در ۱۲ تاریخ کاشت (از آذر ۱۴۰۲ تا آبان ۱۴۰۳؛ هر ماه یک تاریخ کاشت) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در محوطه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. برای تحلیل سرعت نمو از کاشت تا سبز شدن، سه مدل دمایی (توابع بتا، سه‌تکه‌ای و دوتکه‌ای) مورد ارزیابی قرار گرفت که مدل دوتکه‌ای با برآورد دمای پایه ۳/۸، بهینه ۲۱/۸ و سقف ۳۰/۲ درجه سانتی‌گراد، بهترین برازش را نشان داد. همچنین میانگین روزهای بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن در عمق دو سانتی‌متری خاک، ۵/۳۴ روز بود. نتایج نشان داد که در دماهای بالا (بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد)، خواب به بذرها القاء شد. یافته‌ها بیانگر آن بود که اکوتیپ‌های مختلف فالاریس در استان گلستان، واکنش سبز شدن مشابهی به دما دارند که نشان‌دهنده پایداری اکولوژیک و سازگاری بالای فالاریس در این استان است، بنابراین مدیریت آن‌ها می‌تواند با الگوهای مشترک انجام گیرد.

واژه‌های کلیدی: دماهای کاردینال، روز بیولوژیک، مدل‌سازی

مقدمه

فالاریس (*Phalaris minor* Retz.) از علف‌های هرز مهم و خسارت‌زای یک‌ساله مزارع گندم (*Triticum aestivum*) در استان‌های گلستان، مازندران، خوزستان و فارس به شمار می‌رود. (Gherekhloo et al., 2008) این علف‌هرز به دلیل شباهت‌های ریخت‌شناختی و نیازهای رشدی مشابه با گندم، توان رقابتی بالایی داشته (Singh et al., 1999; Abbas et al., 2017) و میزان کاهش عملکرد گندم در اثر تداخل با آن بین ۲۸ تا ۹۵ درصد گزارش شده است (Chhokar & Sharma, 2013; Hussain et al., 2017; Singh et al., 2013). مقاومت فالاریس به علف‌کش‌های بازدارنده PSII، ACCase و ALS در ایران و سایر کشورها به ثبت رسیده و نتایج تحقیقات حاکی از

آن است که این پدیده به سرعت در حال گسترش است (Heap, 2024; Gherekhloo et al., 2021). از این رو، ضرورت اتخاذ راهکارهای مؤثر در قالب مدیریت تلفیقی علف‌های هرز^۲ که بر ترکیبی از روش‌های زراعی، شیمیایی، بیولوژیکی و فناوریانه استوار است و به درک عمیق از ویژگی‌های بیولوژیکی و بوم‌شناختی علف‌های هرز و گیاهان زراعی تأکید دارد (Garcia-Baudin et al., 1990).

علف‌های هرزی که حتی یک روز زودتر از گیاه زراعی سبز می‌شوند، توان رقابتی بیشتری نسبت به آن‌هایی دارند که هم‌زمان با گیاه زراعی سبز می‌شوند (Sardana et al., 2017; Horvath et al., 2023). این رویش زودتر باعث می‌شود که علف‌هرز فرصت بیشتری برای تثبیت خود و جذب منابع داشته باشد و در نتیجه رقیب قوی‌تری در برابر گیاه زراعی باشد (Garcia-Baudin et al., 1990). در مرحله سبز شدن، فرآیندهای فیزیولوژیکی متعددی دخیل هستند که خود شامل سه بخش است: ۱- ایجاد خواب در بذر روی بوته مادری

۱- گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

گرگان، گرگان، ایران

(*) - نویسنده مسئول (Email: afshin.soltani@gmail.com)

<https://doi.org/10.22067/jpp.2026.95779.1255>

al., 2002)

اگرچه خواب بذرهای *P. minor* به‌طور عمده در طبقه خواب‌های فیزیولوژیکی جای می‌گیرد (Om et al., 2005)، با این حال استفاده از تیمارهایی مانند خراش‌دهی با اسیدسولفوریک ۹۸ درصد، به‌عنوان روشی مؤثر برای تسریع و یکنواخت‌سازی جوانه‌زنی بذرها در مطالعات علمی رایج است. این روش به دلایل متعددی قابل توجه است: ۱- تخریب جزئی پوسته بذر در اثر خراش‌دهی شیمیایی، نفوذپذیری آن را نسبت به آب و اکسیژن افزایش می‌دهد و آنزیم‌های درون بذر را فعال می‌کند (Nowrouzieh et al., 2024). ۲- شرایط به‌دست‌آمده از این فرآیند می‌تواند موجب افزایش پتانسیل و متابولیسم جنین و تسریع در واکنش‌های متابولیکی پس‌رسی شده و منجر به خروج سریع‌تر بذر از حالت خواب فیزیولوژیکی شود (Baskin & Baskin, 2014). ۳- استفاده از این تیمار به‌ویژه در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی، یکنواختی در جوانه‌زنی را افزایش داده و امکان مقایسه دقیق‌تر داده‌ها را بین تیمارهای مختلف فراهم می‌آورد (Contreras & Ruter, 2009). طبق مطالعه انجام‌شده در اسپانیا با مدل‌های پارامتریک و غیرپارامتریک، دمای کاردینال سبز شدن *P. minor* شامل دمای پایه بین ۱- تا ۱ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه بین ۹/۸ تا ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف بین ۲۱/۲ تا ۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شد (Sousa-Ortega et al., 2021). همچنین شایان ذکر است که درخشان و همکاران (Derakhshan et al., 2014)، مدل دندان‌مانند را به‌عنوان بهترین مدل برای توصیف روند جوانه‌زنی *P. minor* معرفی کردند و دماهای پایه، بهینه و سقف جوانه‌زنی را به‌ترتیب ۴/۶۹، ۲۲/۶ تا ۲۹/۶۲ و ۳۸/۱۳ درجه سانتی‌گراد اعلام نمودند. مطالعات متعددی به بررسی دماهای کاردینال جوانه‌زنی علف‌های هرز مختلف پرداخته‌اند و برای این منظور از مدل‌های رگرسیونی گوناگون استفاده شده است. به‌عنوان مثال، شمعدانی وحشی (*Geranium robertianum*)، توق معمولی و توق خاردار (*Xanthium strumarium*) و (*X. spinosum*)، نیلوفر وحشی (*Ipomoea purpurea*)، آمبروزیا (*Ambrosia psilostachya*) و ارشته خطایی (*Lapyrodectis holosteroides*) مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Jalili et al., 2024; Ahmadi-Vashvaei et al., 2024; Sadehnejad et al., 2023; Siahmarguee et al., 2022; Deihimfard et al., 2017).

با اینکه مدل‌سازی زمان سبز شدن در علف‌های هرز اهمیت زیادی دارد، اما بیشتر تحقیقات انجام‌شده تاکنون بر گیاهان زراعی متمرکز بوده و در آن‌ها مدل برتر تعیین شده است؛ از جمله در گندم مدل بتا (Wang et al., 2009; Panahi et al., 2014)، نخود (*Cicer arietinum* L.) مدل دندان‌مانند (Soltani et al., 2006; Torabi & Soltani, 2012)، باقلا (*Vicia faba* L.) مدل دوتکه‌ای (Ajam Norouzi et al., 2007)، کلزا (*Brassica napus* L.) مدل

(خواب ذاتی)، ۲- رفع خواب پس از ورود بذر به خاک، ۳- جوانه‌زنی در شرایط مساعد پس از رفع خواب و خروج ریشه‌چه از پوسته بذر، و سپس طولی شدن ریشه‌چه و ساقه‌چه و خروج از سطح خاک. هر یک از این مراحل به شرایط محیطی ویژه‌ای نیازمند هستند. رشد پس از جوانه‌زنی تنها در دامنه مشخصی از دما امکان‌پذیر است و این دامنه براساس ویژگی‌های گونه و وضعیت فیزیولوژیک بذر تغییر می‌کند (Benech-Arnold et al., 2000). دمای محیط به‌عنوان عامل کلیدی رشدونمو گیاه، در محدوده دمای کاردینال می‌تواند رشدونمو را تسهیل یا محدود کند (Soltani, 2009; Baskin & Baskin, 2014). دماهای کاردینال شامل دماهای پایه (T_b)، بهینه (T_o) و سقف (T_c)

، پارامترهای اصلی برای مدل‌سازی فنولوژیک هستند (Bradford, 2002). در دمای پایه یا کمتر از آن، سرعت نسبی نمو برابر با صفر است. با افزایش دما به بالاتر از دمای پایه، سرعت نمو افزایش یافته و در شروع دمای بهینه به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در بازه بین شروع دمای بهینه و پایان دامنه دمای بهینه، این سرعت تقریباً ثابت باقی می‌ماند، اما افزایش بیشتر دما منجر به کاهش تدریجی آن شده و در نهایت در دمای سقف، دوباره به صفر می‌رسد. به‌طور کلی، سرعت سبز شدن با افزایش دما تا رسیدن به محدوده بهینه بیشتر شده و پس از آن کاهش می‌یابد (Soltani, 2009).

درک بهتر فرآیند جوانه‌زنی بذر و سبز شدن گیاه در ارتباط با دما و برآورد دماهای کاردینال، می‌تواند در طراحی مدل‌های پیش‌بینی کننده رویش گیاهان و گسترش مدل‌های نمو فنولوژیک، بسیار سودمند باشد (Jame & Cutforth, 2004). همچنین بهره‌گیری از مدل‌های پیش‌بینی کننده جوانه‌زنی و سبز شدن به کشاورزان این امکان را می‌دهد که اوج سبز شدن علف‌های هرز را با دقت بالا پیش‌بینی کنند و با بهینه‌سازی زمان‌بندی مدیریتی به‌ویژه انتخاب بهترین تاریخ کاشت و زمان مناسب کاربرد علف‌کش‌ها در جهت کاهش جمعیت بیوتیپ‌های مقاوم علف‌های هرز و مدیریت موفق آن گام بردارند (Mwale et al., 1994; Soltani, 2009). علاوه بر آن می‌توان اندازه نهایی گیاه و میزان کاهش عملکرد ناشی از رقابت با علف‌های هرز را تخمین زد (Forcella, 1993). بنابراین، انتخاب مدلی مناسب برای کمی‌سازی واکنش سرعت سبز شدن گیاهچه به دما، در تعیین دقیق دماهای کاردینال نقشی کلیدی دارد. همچنین براساس مطالعات انجام شده، دماهای کاردینال بین ارقام و اکوتیپ‌های مختلف یک گونه نیز می‌توانند متفاوت باشند (Jalilian et al., 2004; Saeidnejad et al., 2012; Adam et al., 2007). مطالعه اکوتیپ‌های مختلف یک گونه می‌تواند شناخت دقیقی از سازگاری‌های اکولوژیک و نیازهای رشدی فراهم آورد و مبنای تدوین روش‌های مدیریتی ویژه‌سازی شده برای هر اکوتیپ و تصمیم‌گیری علمی در حوزه کشاورزی پایدار و حفاظت از تنوع زیستی قرار گیرد (Lavorel & Garnier, 2002; Tilman et al., 2002).

بذرهای اکوتیپ های مختلف استان گلستان شامل گرگان، زیارت، کلاله و کردکوی در سال ۱۴۰۲ با موقعیت جغرافیایی مشخص شده در جدول ۱ جمع آوری شدند و تا زمان کاشت در کیسه های کاغذی در دمای اتاق نگهداری گردید. وزن ۱۰۰ دانه هر اکوتیپ نیز با ترازوی دیجیتالی با دقت دو رقم اعشار تعیین گردید.

پیش از کاشت، بذرها به وسیله خراش دهی با اسیدسولفوریک ۹۸ درصد از حالت خواب خارج شدند (Derakhshan & Gherekhloo, 2015). بدین منظور، بذرها به مدت دو دقیقه در اسیدسولفوریک، غوطه ور و سپس با آب فراوان شسته شدند. پس از آن، آزمایش جوانه زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد (در آزمایش های انجام شده روی این گونه، دمای بهینه جوانه زنی حدود ۲۰ درجه سانتی گراد گزارش شده است) انجام گردید (Ohadi et al., 2009). نتایج این آزمایش برای اکوتیپ گرگان ۹۰ درصد، کلاله ۹۵ درصد، کردکوی ۹۰ درصد و زیارت ۹۰ درصد بود و گیاهچه های ایجاد شده نیز کاملاً طبیعی و سالم بودند. قبل از هر تاریخ کاشت، بذرها به روش ذکر شده رفع خواب و بلافاصله جهت کشت به خزانه گلخانه منتقل شدند.

همچنین علف های هرز مکان اجرا و اطراف آن به طور کامل حذف و سپس، زمین محل اجرا به وسیله بیل، خاک ورزی سطحی شده و با کود دامی مخلوط گردید تا خاکی نرم و مناسب برای کشت فراهم شود. در هر یک از سه بلوک مجزا، چهار شیار سطحی به طول یک متر ایجاد شد. هر اکوتیپ در هر تاریخ کاشت، بر روی یک ردیف یک متری و در سه تکرار، با فاصله تقریبی دو سانتی متر روی ردیف کشت گردید. فاصله کرت ها از یکدیگر ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. پس از قرار دادن بذرها در شیارها، سطح آن ها با مخلوطی از خاک زراعی نرم و پرلیت پوشانده شد. بنابر تحقیقات انجام شده (Rezvani et al., 2021; Kaur et al., 2025)، بهترین جوانه زنی در سطح خاک بود و کشت سطحی انجام گردید. با توجه به شرایط، اقدام به آبیاری شد. انتخاب تاریخ های کاشت مختلف به منظور قرار دادن گیاه در شرایط متفاوت دما و بررسی تأثیر آن بر سبز شدن انجام گرفت. براساس مقیاس زادوکس (Zadoks et al., 1974)، زمانی که کلئوپتیل یا هر بخشی از گیاه در سطح خاک مشاهده شد (در ۵۰ درصد از بذرها زنده کشت شده)، مرحله سبز شدن ثبت گردید. بررسی و پایش به صورت یک روز در میان و در ماه های گرم سال هر روز انجام گرفت. سرعت سبز شدن از طریق معادله ۱ محاسبه شد (Soltani, 2009).

$$R = \frac{1}{e} \quad (1) \text{ معادله}$$

که در آن: R: سرعت سبز شدن و e: تعداد روز پس از کاشت تا رسیدن به ۵۰ درصد سبز شدن است.

دوتکه ای (Jafari et al., 2011; Lakzaei et al., 2017)، عدس (*Lens culinaris Medik.*) مدل دوتکه ای (Rahban et al., 2018) و همچنین در ارزن معمولی (*Panicum miliaceum L.*) مدل دندان مانند، ارزن دمر و باهی (*Setaria italica L.*) و ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum L.*) مدل بتا (Eshraghi-Nejad et al., 2010).

اگرچه اطلاعاتی در خصوص واکنش دمایی جوانه زنی فالاریس در مطالعات آزمایشگاهی موجود است (Sousa-Ortega et al., 2021; Derakhshan et al., 2014; Rezvani et al., 2021; Derakhshan & Gherekhloo, 2015)، اما داده های معتبر در محیط مزرعه همچنان محدود می باشند. از این رو، مطالعه حاضر با توجه به اهمیت مدیریت صحیح گیاه فالاریس به منظور بررسی و کمی سازی واکنش به دما در مرحله سبز شدن و به دست آوردن دماهای کاردینال با تابع مناسب طراحی و اجرا شد.

مواد و روش ها

این پژوهش طی سال های ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۴ در محوطه پردیس دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در شرایط عدم محدودیت آب و عناصر غذایی در ۱۲ تاریخ کاشت شامل: ۲۲ آذر ۱۴۰۲، ۱۹ دی ۱۴۰۲، ۱۸ بهمن ۱۴۰۲، ۱۹ اسفند ۱۴۰۲، ۱۸ فروردین ۱۴۰۳، ۲۲ اردیبهشت ۱۴۰۳، ۱۹ خرداد ۱۴۰۳، ۲۳ تیر ۱۴۰۳، ۲۲ مرداد ۱۴۰۳، ۱۹ شهریور ۱۴۰۳، ۱۸ مهر ۱۴۰۳ و ۱۹ آبان ۱۴۰۳ و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید؛ به طوری که هر تاریخ کاشت به عنوان یک محیط در نظر گرفته شد. این منطقه در ارتفاع ۱۳ متری از سطح دریا قرار داشته، موقعیت جغرافیایی محل آزمایش در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی ثبت شده است و مجموع بارندگی سالانه ۴۷۶ میلی متر، میانگین دمای حداقل و حداکثر ۱۳ و ۲۳/۸ درجه سانتی گراد و دامنه تغییرات دمایی سالانه ۱۰/۸ درجه سانتی گراد و میانگین دمای سالانه آن ۱۸/۴ درجه سانتی گراد برآورد شده است. پیش از اجرای آزمایش، نمونه ای از خاک محل کشت از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری تهیه شد و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد سنجش قرار گرفت که شامل درصد اشباع ۴۹/۱، هدایت الکتریکی ۰/۸ میلی موس بر سانتی متر، pH گل اشباع ۷/۷، کربن آلی ۱/۳۱ درصد، نیتروژن کل ۰/۱۳ درصد، فسفر قابل جذب ۴ پی پی ام، پتاسیم قابل جذب ۳۸۰ پی پی ام، رس ۲۸ درصد، سیلت ۶۲ درصد و شن ۱۰ درصد بود و بافت خاک مورد مطالعه در رده سیلتی-رسی لومی^۱ طبقه بندی گردید.

جدول ۱- موقعیت‌های جغرافیایی جمع‌آوری بذور فالاریس و وزن ۱۰۰ دانه آن‌ها

Table 1- Geographical locations of *Phalaris minor* seed collection and their 100-seed weight

Ecotype	Latitude (°N)	Longitude (°E)	100-seed weight (g)
Gorgan	36°49'35.37"	54°22'38.44"	0.15
Ziarat	36°42'23.34"	54°28'43.34"	0.13
Kalaleh	37°21'56.00"	55°29'45.00"	0.19
Kordkuy	36°47'19.00"	54°05'18.00"	0.16

جدول ۲- تابع‌های دوتکه‌ای، بتا و سه‌تکه‌ای به‌منظور برازش و تعیین دماهای کاردینال سبز شدن (Soltani et al., 2006)

Table 2- Two-segmented, beta, and three-segmented functions used to fit and determine the cardinal temperatures for emergence (Soltani et al., 2006)

Models	Mathematical equations
Two-segmented	$f(T) = \frac{T - T_b}{T_o - T_b}$ if $T_b < T \leq T_o$
	$f(T) = 1 - \frac{T_c - T}{T_c - T_o}$ if $T_o < T < T_c$
	$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$
Beta	$f(T) = \left\{ \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_o} \times \frac{T - T_b}{T_o - T_b} \right)^{\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b}} \right\}^\alpha$ if $T > T_b$ and $T < T_c$
	$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$
Three-segmented	$f(T) = \frac{T - T_b}{T_{o1} - T_b}$ if $T_b < T < T_{o1}$
	$f(T) = \frac{T_c - T}{T_c - T_{o2}}$ if $T_{o2} < T < T_c$
	$f(T) = 1$ if $T_{o1} \leq T \leq T_{o2}$
	$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$

جهت توصیف سرعت نمو از کاشت تا سبز شدن در مقابل دما از معادله ۲ استفاده شد (Soltani, 2009).

$$R = \frac{1}{\varepsilon} = \frac{f(t)}{\varepsilon_o} \quad \text{معادله (۲)}$$

تابع $f(t)$ که به‌عنوان ضریب ساده‌شده دمایی شناخته می‌شود، مقداری بین صفر (در دمای پایه و دمای سقف) و یک (در دمای بهینه یا دماهای بهینه) دارد. همچنین ε_o نمایانگر حداقل تعداد روز از لحظه کاشت تا سبز شدن کامل گیاه در دمای بهینه است که این پارامترها از طریق بهینه‌سازی تکراری^۲ با استفاده از روش PROCNLIN در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ (Soltani, 2009) برآورد می‌شوند. به این ترتیب، سرعت سبز شدن ($\frac{1}{\varepsilon}$) نیز با توجه به این تابع تعریف می‌گردد (Panahi et al., 2014). در این روش، مقادیر اولیه پارامترها وارد شده و مقادیر نهایی آن‌ها با استفاده

داده‌های هواشناسی مورد نیاز آزمایش از ایستگاهی در نزدیکی مکان آزمایش تهیه شد. با بهره‌گیری از داده‌های هواشناسی و ثبت دقیق زمان سبز شدن، میزان واحد دمایی^۱ به‌منظور ارزیابی نیازهای حرارتی مرحله سبز شدن محاسبه گردید. برای مدل‌سازی سبز شدن، لازم بود که نوع تابع واکنش به دما مشخص شود (آزمایش با فرض شکسته شدن خواب اولیه انجام شده است) و همچنین دماهای کاردینال (شامل دمای پایه، بهینه و سقف) تعیین گردد. برای توصیف رابطه میان سرعت سبز شدن و دما، از سه نوع تابع دمایی شامل تابع دوتکه‌ای، تابع بتا و تابع سه‌تکه‌ای بهره گرفته شد (Soltani et al., 2006) که معادلات ریاضی آن در جدول ۲ ارائه داده شده است. که در آن‌ها، T : نشان‌دهنده متوسط دمای هوا، T_b : دمای پایه، T_o : دمای بهینه، T_{o1} : دمای شروع دامنه دمای بهینه، T_{o2} : دمای پایان دامنه دمای بهینه و T_c : دمای سقف هستند.

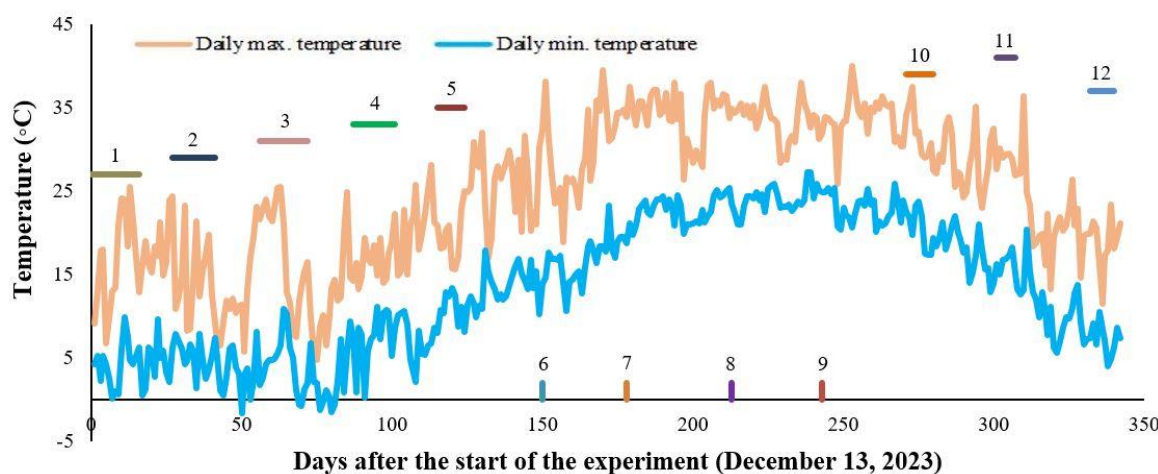
نتایج و بحث

تاریخ وقوع مرحله سبز شدن برای اکوتیپ های فالاریس در **جدول ۳** ثبت شده است. در بین تاریخ های مورد بررسی، در همه اکوتیپ ها، کمترین فاصله زمانی از کاشت تا سبز شدن (بیشترین سرعت سبز شدن)، به تعداد ۶ روز و در تاریخ کاشت مهر ۱۴۰۳ مربوط بود، در حالی که بیشترین مدت زمان تا سبز شدن (کمترین سرعت سبز شدن)، به تعداد ۱۶ روز و در دو تاریخ کاشت آذر و بهمن ۱۴۰۲ ثبت شد.

از روش حداقل مربعات تخمین زده می شود. این فرآیند تکرار می گردد تا زمانی که بهترین برآورد ممکن از پارامترها حاصل شود. انتخاب مدل برتر براساس معیارهایی نظیر خطای معیار (SE) کمتر برای ضرایب مدل، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به تنهایی و به صورت درصدی در میانگین مشاهدات (RRMSE: ریشه میانگین مربعات خطای نسبی) پایین تر صورت گرفت (Panahi et al., 2014). رسم و تحلیل نمودارهای مرتبط با داده ها در محیط نرم افزار Excel انجام شد.

جدول ۳- تاریخ وقوع مرحله سبز شدن برای اکوتیپ های فالاریس

Table 3- Date of emergence stage for <i>Phalaris minor</i> ecotypes				
Sowing date	Gorgan	Kalaleh	Kordkuy	Ziarat
1402.09.22	1402.10.08	1402.10.08	1402.10.08	1402.10.08
1402.10.19	1402.11.04	1402.11.04	1402.11.04	1402.11.04
1402.11.18	1402.12.05	1402.12.05	1402.12.05	1402.12.05
1402.12.19	1403.01.05	1403.01.05	1403.01.05	1403.01.05
1403.01.18	1403.01.28	1403.01.28	1403.01.28	1403.01.28
1403.06.19	1403.06.31	1403.06.29	1403.06.29	1403.06.31
1403.07.18	1403.07.24	1403.07.24	1403.07.24	1403.07.24
1403.08.19	1403.08.28	1403.08.28	1403.08.28	1403.08.28



شکل ۱- تغییرات دمایی در طول آزمایش در تاریخ های کاشت مختلف فالاریس در گرگان

Figure 1- Temperature variations during the experiment across different sowing dates of *Phalaris minor* in Gorgan

۱: تاریخ کاشت ۲۲ آذر ۱۴۰۲، ۲: تاریخ کاشت ۱۹ دی ۱۴۰۲، ۳: تاریخ کاشت ۱۸ بهمن ۱۴۰۲، ۴: تاریخ کاشت ۱۹ اسفند ۱۴۰۲، ۵: تاریخ کاشت ۱۸ فروردین ۱۴۰۳، ۶: تاریخ کاشت ۲۲ اردیبهشت ۱۴۰۳، ۷: تاریخ کاشت ۱۹ خرداد ۱۴۰۳، ۸: تاریخ کاشت ۲۳ تیر ۱۴۰۳، ۹: تاریخ کاشت ۲۲ مرداد ۱۴۰۳، ۱۰: تاریخ کاشت ۱۹ شهریور ۱۴۰۳، ۱۱: تاریخ کاشت ۱۸ مهر ۱۴۰۳، ۱۲: تاریخ کاشت ۱۹ آبان ۱۴۰۳.

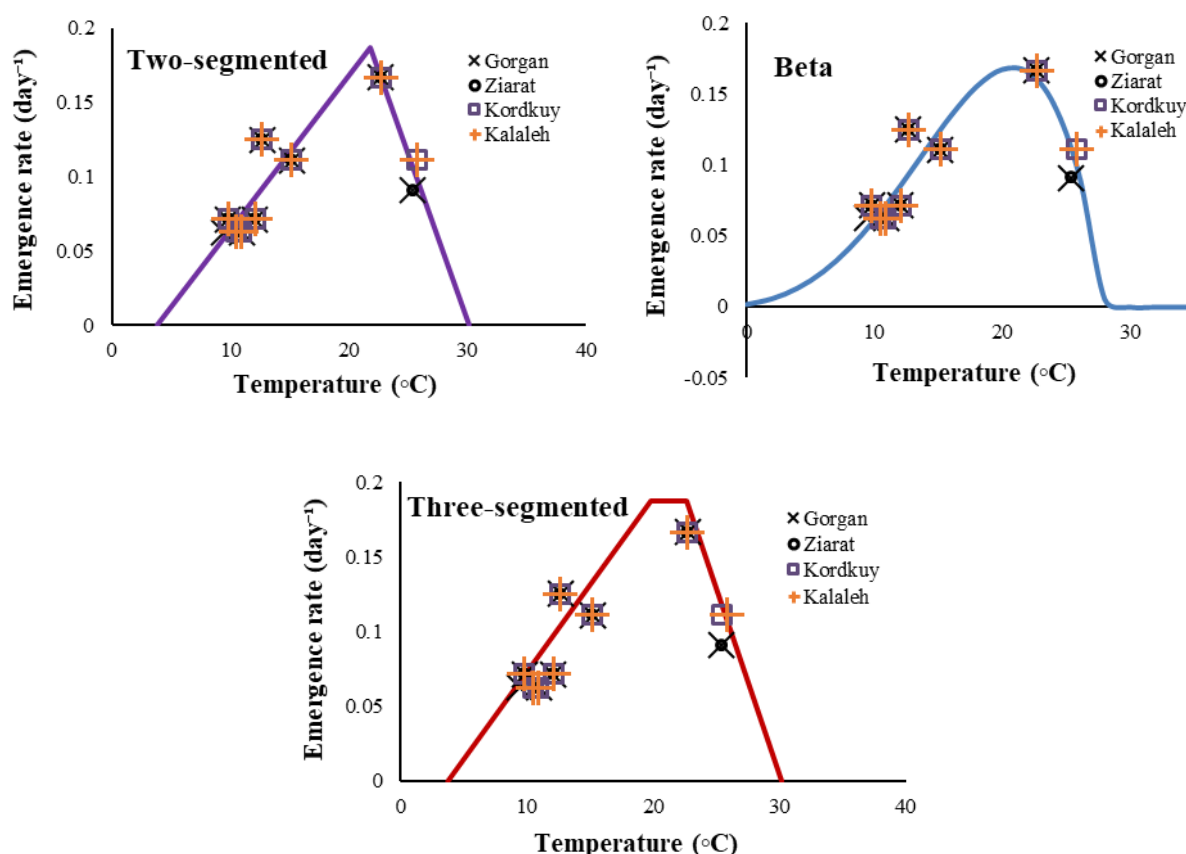
تاریخ های کاشت سبز نشده با خط عمودی مشخص شده اند.

1: December 13, 2023, 2: January 9, 2024, 3: February 7, 2024, 4: March 9, 2024, 5: April 6, 2024, 6: May 11, 2024, 7: June 8, 2024, 8: July 13, 2024, 9: August 12, 2024, 10: September 9, 2024, 11: October 9, 2024, 12: November 9, 2024.

Sowing dates without emergence are indicated with vertical lines.

مدل‌سازی واکنش سرعت نمو از کاشت تا سبز شدن به دما جهت تحلیل کمی واکنش سبز شدن به تغییرات دمایی، از سه نوع تابع دمایی شامل مدل دوتکه‌ای، مدل سه‌تکه‌ای و مدل بتا استفاده شد و مقادیر دماهای کاردینال برای مرحله سبز شدن بذرهای فالاریس از طریق سه مدل مختلف مورد محاسبه قرار گرفت و نتایج آن و اطلاعات مربوط به پارامترهای ارزیابی این مدل‌ها در جدول ۴ جهت مقایسه گزارش شده‌اند. شکل ۲ نیز واکنش سرعت سبز شدن اکوتیپ‌های فالاریس به دما را براساس این سه تابع نشان می‌دهد. از میان مدل‌های مورد استفاده، مدل دوتکه‌ای و مدل سه‌تکه‌ای از نظر شاخص‌های آماری با مقادیر RMSE برابر ۱/۶۰ و RRMSE معادل ۱۴/۲ درصد عملکرد مشابهی داشتند (جدول ۴).

تغییرات دما در طول دوره آزمایش، از زمان کاشت تا سبز شدن در تاریخ‌های مختلف کاشت، در شکل ۱ ارائه شده است. در این بازه زمانی، دمای حداکثر بین ۶/۷ تا ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد و دمای حداقل بین ۰/۸ تا ۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. میانگین دمای ثبت شده طی این دوره، بسته به شرایط زمانی کاشت، از ۹/۸۳ تا ۲۵/۸ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. کمینه دما معادل ۴/۲۹ درجه در تاریخ کاشت بهمن ۱۴۰۲ و در مقابل، بیشینه دما در تاریخ کاشت شهریور ۱۴۰۳ و برای اکوتیپ‌های کلاله و کردکوی ۳۱/۴۲ درجه سانتی‌گراد و همچنین اکوتیپ گرگان و زیارت ۳۰/۸۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شد. در تاریخ‌های کاشت اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد ۱۴۰۳، به دلیل دمای بالای هوا در دوره استقرار اولیه، بذرهای قادر به سبز شدن نبودند و احتمالاً خواب به آن‌ها القاء شد که در ادامه به آن نیز پرداخته می‌شود.



شکل ۲- رابطه عمومی بین دما و سرعت سبز شدن تمامی اکوتیپ‌های فالاریس براساس مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و سه‌تکه‌ای

Figure 2- Relationship between temperature and emergence rate of all *Phalaris minor* ecotypes based on two-segmented, beta, and three-segmented models.

جدول ۴- برآورد دماهای کاردینال و روز بیولوژیک برای سبز شدن ۵۰ درصد اکوتیپ های فالاریس براساس مدل های دوتکه ای، بتا و سه تکه ای، همراه با شاخص های ارزیابی مدل ها (RMSE, RRMSE)

Table 4- Estimation of cardinal temperatures and biological days for 50% germination of *Phalaris minor* ecotypes based on two-segmented, beta, and three-segmented models, along with model evaluation indices (RMSE, RRMSE)

Model	Ecotype	$T_b \pm se$	$T_o \pm se$		$T_c \pm se$	$e_o \pm se$	RMSE (day ⁻¹)	RRMSE (%)
			$T_{o1} \pm se$	$T_{o2} \pm se$				
Two-segmented	Gorgan	3.8±1.62	21.9±0.62		28.6±0.79	5.28±0.43	1.59	13.9
	Kalaleh	3.8±1.62	21.6±0.84		31.99±1.78	5.37±0.39	1.60	14.3
	Kordkuy	3.8±1.62	21.6±0.84		31.99±1.78	5.37±0.39	1.60	14.3
	Ziarat	3.8±1.62	21.9±0.62		28.6±0.78	5.28±0.43	1.59	13.9
	Total	3.8±0.80	21.8±0.36		30.2±0.61	5.34±0.20	1.60	14.2
Beta	Gorgan	0.0±ND*	20.3±0.21		27.5±0.47	5.77±0.33	2.08	17.7
	Kalaleh	0.0±ND*	20.8±0.26		29.1±0.71	5.97±0.32	1.89	16.5
	Kordkuy	0.0±ND*	20.8±0.26		29.1±0.71	5.97±0.32	1.89	16.5
	Ziarat	0.0±ND*	20.3±0.21		27.5±0.47	5.77±0.33	2.08	17.7
	Total	0.0±ND*	20.6±0.12		28.4±0.31	5.95±0.17	1.94	16.8
Three-segmented	Gorgan	3.8±1.62	19.8±1.81	23.1±0.56	28.1*	5.99±0.32	1.59	13.9
	Kalaleh	3.8±1.62	19.8±1.81	23.8±0.60	30*	5.99±0.32	1.60	14.3
	Kordkuy	3.8±1.62	19.8±1.81	23.8±0.60	30*	5.99±0.32	1.60	14.3
	Ziarat	3.8±1.62	19.8±1.81	23.1±0.56	28.1*	5.99±0.32	1.59	13.9
	Total	3.8±0.80	19.8±0.79	22.7±0.20	30.2±0.61	5.34±0.20	1.60	14.2

T_b : دمای پایه، T_o : دمای بهینه، T_{o1} : بهینه تحتانی، T_{o2} : بهینه فوقانی، T_c : دمای سقف، e_o : تعداد روز بیولوژیک برای سبز شدن ۵۰ درصد بذور، SE: خطای معیار،

RMSE: جذر میانگین مربعات خطا، RRMSE: ریشه میانگین مربعات خطای نسبی و ND: عدم برآورد

* در مدل بتا برآورد دمای پایه در محدوده ۲۰- درجه سانتی گراد بود بنابراین محدودیت صفر درجه سانتی گراد اعمال شد و خطای معیار (SE) در خروجی SAS برآورد نشد
*در مدل سه تکه ای برآورد اشتباه معیار دمای سقف مقدور نشد

T_b : base temperature, T_o : optimum temperature, T_{o1} : lower optimum, T_{o2} : upper optimum, T_c : ceiling temperature, e_o : number of biological days for 50% germination, SE: standard error, RMSE: root mean square error, RRMSE: relative root mean square Error and ND: not determined

*In Beta model, the estimated base temperature (T_b) was -20 °C; therefore, a lower limit of 0 °C was imposed, and the standard error (SE) could not be estimated by SAS

*Estimation of the standard error (SE) for the ceiling temperature (T_c) in the three-segmented model was not possible

مذکور در برآورد یکپارچه دماهای کاردینال موفق و مناسب نبودند و فقط مدل دوتکه ای در این امر موفق بود. بنابراین، مدل دوتکه ای به عنوان مدل برتر انتخاب شد و دماهای کاردینال حاصل از این مدل باید مد نظر قرار گیرد. باین حال، برای تکمیل نتایج، برآوردهای هر سه مدل به همراه آماره های برازش ارائه می گردد.

مدل دوتکه ای نشان داد که دمای پایه ۳/۸، دمای بهینه ۲۱/۸ و دمای سقف ۳۰/۲ درجه سانتی گراد می باشند. مدت زمان لازم برای سبز شدن (برحسب روز بیولوژیک: تعداد روز تا سبز شدن در دمای بهینه) توسط این مدل ۵/۳۴ روز برآورد شد. نتایج به دست آمده از آزمون آماری نشان داد که هیچ گونه تفاوت معنی داری بین اکوتیپ ها

مدل بتا نیز با مقادیر RMSE برابر ۱/۹۴ و RRMSE معادل ۱۶/۸ درصد، عملکرد ضعیف تری نسبت به دو مدل دیگر نشان داد. اما نتایج حاصل از برازش مدل ها نشان داد که مدل بتا در برآورد دمای پایه موفق نبود و مقدار غیرمنطقی حدود ۲۰- درجه سانتی گراد را تخمین زد؛ از این رو در مرحله بعدی، محدودیت برای دمای پایه اعمال شد (محدوده ای بین صفر تا پنج درجه سانتی گراد برای دمای پایه انتخاب شد، باین حال این محدودسازی نیز هیچ تأثیری بر عملکرد مدل نداشت و نتوانست دمای پایه و خطای معیار را برآورد کند)، علاوه بر این، مدل سه تکه ای نیز قادر به ارائه برآورد معتبر برای خطای استاندارد (SE) برای دمای سقف نبود (جدول ۴). در نتیجه، دو مدل

در خصوص دماهای کاردینال یا روزهای بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن، در چارچوب مدل برتر، وجود نداشت (جدول ۴).

عدم وجود تفاوت معنی‌دار در دماهای کاردینال بین اکوتیپ‌های مختلف یک گونه، نشان‌دهنده یکنواختی فیزیولوژیکی و سازگاری و تطابق کلی گونه نسبت به شرایط دمایی محیطی است. این موضوع بدین معنا است که گونه در کل ناحیه پراکنش خود، از نظر نیازهای دمایی برای جوانه‌زنی، دارای ثبات بوده و اکوتیپ‌ها تحت فشارهای انتخابی مشابهی قرار گرفته‌اند. این ثبات می‌تواند باعث شود که مدیریت علف‌هرز با توجه به دمای محیط به صورت مشابه در مناطق مختلف اعمال شود و نیازی به راهبردهای مدیریت منطقه‌ای ویژه براساس تفاوت دمایی بین اکوتیپ‌ها نباشد (Saeidnejad et al., 2022; Raeisi Monfared et al., 2022).

بالین حال، مطالعات متعددی وجود تفاوت در دماهای کاردینال (حداقل، بهینه و حداکثر) میان اکوتیپ‌های یک گونه را گزارش کرده‌اند که این تفاوت‌ها عمدتاً به عوامل ژنتیکی و شرایط محیطی محل رویش نسبت داده شده است. به عنوان مثال، اکوتیپ‌های مختلف بارهنگ کبیر (*Plantago major*) واکنش‌های متفاوتی به دما نشان دادند که ناشی از سازگاری ژنتیکی آن‌ها به شرایط اقلیمی مناطق رویش آن‌ها بود (Rabiei et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر، اکوتیپ‌های مختلف خارلته (*Cirsium arvense*) دماهای پایه متفاوتی را نشان دادند که این امر می‌تواند بر توانایی رقابتی و واکنش آن‌ها به روش‌های مدیریت شیمیایی و زراعی اثرگذار باشد (Diyana, 2021).

در مطالعه‌ای که توسط آدامز و کازنر (Adams & Cosner, 2025) به منظور مقایسه دماهای کاردینال شامل دمای پایه، دمای بهینه و دمای سقف، سه گروه ژرمپلاسزم نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) شامل نخود فرنگی خوراکی زمستانه، نخود فرنگی خوراکی بهاره و نخود فرنگی زمستانه اتریشی^۱ انجام شد، نتایج بیانگر آن بود که بین اکوتیپ‌های مختلف (زمستانه و بهاره) تفاوت معناداری در هیچ یک از سه دمای کاردینال وجود نداشت. برخلاف فرضیه اولیه مبنی بر اینکه نخود فرنگی‌های زمستانه باید آستانه‌های دمایی پایین‌تری نسبت به نخود فرنگی‌های بهاره داشته باشند، نتایج نشان داد که هیچ تفاوت معنی‌داری در هیچ یک از سه دمای کاردینال بین نخود فرنگی‌های خوراکی زمستانه و بهاره وجود نداشت. برآورد کلی این دماها برای نخود فرنگی‌های خوراکی شامل دمای پایه، بهینه و سقف به ترتیب حدود ۰/۹۸-، ۲۷/۵ و ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد بود. در مقایسه، نخود فرنگی زمستانه اتریشی دارای دمای بهینه پایین‌تر (۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد) و دمای حداکثر کمتر (۳۶/۱ درجه سانتی‌گراد) نسبت به نخود فرنگی‌های بهاره و زمستانه بود، اما از نظر

دمای پایه تفاوتی بین آن‌ها مشاهده نشد. نتایج برخی پژوهش‌ها نیز بیان می‌کند که تأثیر اکوتیپ‌ها بر دمای پایه کمتر از اثر آن‌ها بر دماهای بهینه و حداکثر است، به گونه‌ای که حتی در حضور تنوع اکوتیپی، برخی پارامترهای کاردینال مانند دمای پایه ممکن است که ثبات بیشتری نشان دهند (Sohrabi et al., 2024). دمای پایه و دمای بهینه برای جوانه‌زنی، از عوامل مهم در تعیین بازه زمانی مناسب برای رشد گیاه و پراکنش آن هستند. دمای پایه پایین باعث می‌شود که گیاه قادر باشد در اوایل فصل رشد و در دماهای کمتر نیز جوانه بزند که این ویژگی، مزیت تهاجمی در مناطق سردسیر و معتدل ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، دمای بهینه بالا باعث می‌شود که گیاه در دماهای معتدل تا گرم بهترین جوانه‌زنی و رشد را داشته باشد، که این امر می‌تواند منجر به رقابت شدید با محصولات زراعی در فصل رشد شود (Adam et al., 2007; Tolyat et al., 2014; Chaudhary et al., 2022). این مشخصات دمایی، به پراکنش گسترده‌تر و تهاجم موفق‌تر این گونه در شرایط متنوع اقلیمی کمک می‌کند.

پیش‌بینی زمان سبز شدن در مطالعات رقابت و تداخل بسیار مهم و تعیین‌کننده است. دمای پایه و دمای بهینه جوانه‌زنی گونه‌های *P. minor* تقریباً مشابه و نزدیک دماهای کاردینال گندم، جو (*Hordeum vulgare* L.)، کلزا و نخود است. در مطالعه پناهی و همکاران (Panahi et al., 2014)، واکنش سبز شدن ارقام گندم نسبت به دما با بهره‌گیری از مدل بتا مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده، دماهای کاردینال برای فرآیند سبز شدن گندم شامل دمای پایه معادل ۰/۲۲ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه برابر با ۲۷/۱۶ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف معادل ۴۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. همچنین تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین ارقام مختلف گندم، از نظر دماهای کاردینال تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین میزان روزهای بیولوژیک لازم برای دستیابی به مرحله سبز شدن در ارقام مورد بررسی ۶/۲ روز بود. در مورد جو (*Hordeum vulgare* L., Var. Sarasari) براساس مطالعه اشراقی نژاد و همکاران (Eshraghi-Nejad et al., 2015)، دماهای کاردینال برای سبز شدن جو با مدل برتر بتا به ترتیب شامل دمای پایه برابر با ۳/۵، دمای بهینه برابر با ۲۵/۷ و دمای سقف برابر با ۳۹/۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شدند. همچنین تعداد روزهای بیولوژیکی مورد نیاز از کاشت تا سبز شدن، با استفاده از همین مدل، ۳/۷ روز محاسبه شد. در خصوص کلزا براساس مطالعه لکزایی و همکاران (Lakzaei et al., 2017)، مدل دوتکه‌ای به عنوان بهترین مدل برای توصیف واکنش سرعت سبز شدن کلزا نسبت به دما انتخاب گردید. نتایج حاصل از مدل دوتکه‌ای نشان داد که دماهای کاردینال برای ارقام مختلف کلزا به ترتیب شامل دمای پایه برابر با ۲/۳ درجه سانتی‌گراد (برای مجموع ارقام ۰/۱ درجه سانتی‌گراد)، دمای بهینه برابر با ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد (برای مجموع ارقام ۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد) و دمای

تجزیه و تحلیل دلیل عدم سبز شدن بذرها در برخی از

تاریخ های کشت

در راستای تحلیل دقیق عوامل مؤثر بر عدم سبز شدن بذرها در برخی از تاریخ های کاشت (اردیبهشت تا مرداد ۱۴۰۳)، برای آن سه علت احتمالی در نظر گرفته شد: ۱) مشکل در کیفیت بذرها یا تأثیر نامطلوب اسید در فرآیند رفع خواب (احتمال اینکه بذرها دیگر دارای خواب نبودند و فرآیند پس رسی در آن ها رخ داده بود)، ۲) شرایط محیطی، به ویژه کمبود رطوبت مناسب، ۳) مواجهه بذرها با دمای بالای محیط پس از کاشت و القاء خواب ثانویه.

برای بررسی احتمال کیفیت بذر و تأثیر اسید، آزمایش جوانه زنی در دو شرایط مختلف انجام شد:

گروه اول: بذرها (۱۵ عدد) ابتدا به مدت دو دقیقه با اسیدسولفوریک غلیظ تیمار شدند تا خواب آن ها رفع شود، سپس در پتری دیش و درون انکوباتور با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. گروه دوم: بذرها (۱۵ عدد) بدون هیچ گونه تیمار برای رفع خواب، به طور مستقیم در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد آزمایش شدند. نتایج نشان داد که بذرهایی تیمار شده با اسید، زودتر و سریع تر جوانه زدند (به طوری که بعد از سه روز جوانه زنی آغاز شد، درحالی که در تیمار بدون اسید، این فرآیند از روز پنجم و به تدریج رخ داد) و درصد جوانه زنی در آن ها بالاتر و بهینه تر بود. نتایج نشان داد که درصد جوانه زنی بذرها در اکوتیپ گرگان در شرایط تیمار با اسید ۸۰ درصد و در حالت بدون تیمار ۶۵ درصد بود. در اکوتیپ کلاله، تیمار اسیدی موجب افزایش درصد جوانه زنی به ۸۶/۶ درصد شد، درحالی که در شرایط بدون تیمار ۵۰ درصد جوانه زنی مشاهده شد. همچنین درصد جوانه زنی در اکوتیپ کردکوی تحت تیمار اسیدی ۸۰ درصد و بدون تیمار ۶۵ درصد به دست آمد. در اکوتیپ زیارت نیز تیمار اسیدی، جوانه زنی را به ۸۰ درصد افزایش داد، درحالی که بدون تیمار ۶۰ درصد بود (اگرچه در شرایط عدم مصرف اسیدسولفوریک، درصد جوانه زنی بذرهایی فالاریس < ۵۰ بود، اما به دلیل اینکه مقدار بذر ما از هر اکوتیپ کم بود، جهت اطمینان از حصول گیاهچه سالم به مقدار مناسب و افزایش یکنواختی جوانه زنی، نسبت به رفع خواب اقدام شد). این نتایج حاکی از آن است که بذور از کیفیت مناسبی برخوردار بوده و فرآیند رفع خواب به درستی انجام شده است. بنابراین، فرضیه نقص کیفی بذر یا اثر منفی تیمار اسید رد می شود.

برای بررسی فرضیه تأثیر شرایط محیطی و رطوبت، بذرها در تیرماه در مکانی دیگر (در مجاورت بلوک های سیمانی) که به طور کامل از علف های هرز پاکسازی شده بود، کشت شدند. در این محل، خاک با ترکیبی از خاک زراعی نرم و شن (۴۰ درصد) سبک تر شده و رطوبت در حد ظرفیت زراعی حفظ شد. با این حال، بذرها سبز نشدند.

سقف برابر با ۴۰ درجه سانتی گراد است که در این مطالعه به صورت مقدار ثابت در نظر گرفته شد. علاوه بر این، تعداد روزهای بیولوژیک مورد نیاز برای سبز شدن ارقام کلزا در عمق کاشت دو سانتی متر، به طور متوسط ۵/۴ روز برآورد شد، درحالی که این مقدار برای مجموع ارقام ۵/۱ روز محاسبه گردید. همچنین ترابی (Torabi, 2004) با استفاده از تابع بتا، دماهای کاردینال سبز شدن نخود را به ترتیب شامل دمای پایه ۴/۸، دمای بهینه ۲۹/۶ و دمای سقف ۳۹ درجه سانتی گراد برآورد کرد و روز بیولوژیک مورد نیاز آن برای سبز شدن را ۵/۶ روز گزارش نمود.

این شباهت در دماهای کاردینال محصولات زراعی ذکر شده (گندم، جو، کلزا و نخود) که فالاریس از علف هرز رایج آن ها است (Gherekhloo et al., 2008)، باعث می شود که فالاریس به طور هم زمان با محصولات اصلی جوانه زده و رشد کند و در نتیجه رقابت شدیدی بر سر منابع آب، نور و عناصر غذایی ایجاد نماید. برای کاهش توان رقابتی این گونه با محصولات زراعی، تنظیم تاریخ کاشت گیاه زراعی یکی از راهکارهای مهم است. کاشت زود هنگام یا دیر هنگام می تواند باعث شود که محصول زراعی جلوتر از علف هرز رشد کند و از منابع بهتر استفاده نماید، بنابراین رقابت کاهش می یابد (Chaudhary et al., 2022). همچنین استفاده از روش های زراعی مانند تناوب زراعی، شخم زدن در زمان مناسب برای کاهش ذخیره بذر در خاک و استفاده ترکیبی از علف کش ها و مدیریت مکانیکی و تکنیک بستر بدون علف هرز^۱، آفتاب دهی خاک^۲ به مدت شش هفته به کنترل بهتر این گونه کمک می کند (Om et al., 2004).

بر اساس نتایج مطالعه انجام شده توسط احمدی و شوابی و همکاران (Ahmadi-Vashvaei et al., 2024)، دمای پایه، دمای بهینه و دمای سقف برای توق خاردار بر پایه مدل دوتکه ای، به ترتیب برابر با ۱/۴۴، ۲۳/۲ و ۵۴/۷ درجه سانتی گراد و برای توق معمولی به ترتیب ۴/۸۰، ۳۴/۶ و ۴۸/۴ درجه سانتی گراد برآورد شد. افزون بر این، جوانه زنی بذرهایی هر دو گونه در دامنه دمایی گسترده ای از ۵ تا ۴۵ درجه سانتی گراد رخ داد. بر این اساس، مؤثرترین زمان برای مدیریت و مهار این علف های هرز، پیش از آغاز گل دهی و در اواخر تابستان پیشنهاد شد.

لازم به ذکر است که اکوتیپ های مورد بررسی در این مطالعه همگی از استان گلستان جمع آوری شده اند. بنابراین، نتایج به دست آمده به ویژه برای برنامه های مدیریتی و پیش بینی الگوی سبز شدن این گونه در شرایط اقلیمی استان گلستان قابل استفاده است. بدیهی است که در صورت بررسی اکوتیپ های متنوع از سایر مناطق کشور، احتمال بروز تفاوت هایی در پاسخ به دما و رفتار سبز شدن وجود خواهد داشت.

- 1- Stale seedbed
- 2- Soil solarization

روزهای با دمای حداکثر بالاتر از ۳۰ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد به‌طور قابل توجهی بالا بود (بین ۱ تا ۱۴ روز). در مقابل، در تاریخ‌های کاشت با دمای پایین‌تر، جوانه‌زنی به‌صورت کامل یا نسبتاً کامل رخ داد. مطابق این الگو به نظر می‌رسد که دمای بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در روزهای ابتدایی پس از کاشت، به احتمال زیاد باعث القاء خواب ثانویه شده و از جوانه‌زنی و سبز شدن بذرهای فالاریس جلوگیری کرده است. با این حال تأیید این فرضیه به بررسی‌های بیشتر نیاز دارد.

این یافته با نتایج مطالعات پیشین هم‌راستا بوده و آن‌ها را تأیید می‌کند. بسیاری از بذرهای گیاهان مناطق معتدل پس از رفع خواب اولیه، در صورت قرار گرفتن در معرض تنش‌های گرمایی، مجدداً وارد حالت خواب ثانویه می‌شوند و فرآیند جوانه‌زنی آن‌ها به تعویق می‌افتد (Baskin and Baskin, 2014). رضوانی و همکاران (Rezvani et al., 2021) بیان نمودند که جوانه‌زنی *P. minor* در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور قابل توجهی کاهش و به ۹/۶ درصد رسید که نشان می‌دهد، دماهای بالا تأثیر منفی بر جوانه‌زنی دارند. نتایج تحقیقات دیگر روی تاج خسروس وحشی (*Amaranthus* spp) و آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) نشان داد که جوانه‌زنی بذرهای این دو گیاه در دمای بالا به‌صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد و دچار ترمو خواب می‌شوند (Steinmaus et al., 2000). (Toh et al., 2008) نتایج فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2015) نشان داد که بیشترین جوانه‌زنی ریحان بنفش و سبز (*Ocimum basilicum*) در دامنه ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد است و در دماهای کمتر از ۱۵ یا بیشتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد که ناشی از کاهش فعالیت متابولیکی در دماهای پایین و القاء خواب ثانویه در دماهای بالا است. در بذر آمبروزیا، جوانه‌زنی در ۴۰ درجه سانتی‌گراد صفر و در ۲۵ درجه سانتی‌گراد بهینه بود. این نشان می‌دهد که دماهای بالا به‌طور کامل مانع جوانه‌زنی می‌شوند، که می‌تواند نشانه‌ای از نوعی خواب یا بازدارندگی ناشی از دما باشد. این کاهش می‌تواند به دلیل تغییرات مخرب در پروتئین‌های ضروری در دماهای بالا باشد (Sadeghnezhad et al., 2023). برای *Eupatorium adenophorum* نیز دمای بهینه ۲۵ درجه و بالاتر از ۳۵ درجه محدودکننده گزارش شد (Lu et al., 2008). تحقیقات تأیید می‌کنند که بسیاری از گیاهان، دارای دامنه دمایی بهینه برای جوانه‌زنی در محدوده ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد هستند. خروج از این محدوده موجب کاهش معنی‌دار در کارایی و موفقیت جوانه‌زنی می‌شود (Butler et al., 2014; Fallahi et al., 2015).

رفع خواب ثانویه زمانی رخ می‌دهد که شرایط محیطی به حالت بهینه بازگردد و با تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در بذر همراه است. کاهش هورمون بازدارنده رشد اسیدآبسیزیک (ABA) افزایش

لازم به ذکر است که کاشت‌های بعدی، یعنی تکرار تاریخ کاشت تیرماه و مرداد تا آبان ۱۴۰۳، به دلیل ایجاد نقص در سیستم آبیاری گلخانه در تیرماه و از دست رفتن زمان کاشت، در همین محل (بلوک‌های سیمانی) ادامه یافت. این مکان به دلیل دسترسی بهتر به آب انتخاب شد، اما تمامی شرایط دیگر مانند مراحل قبل حفظ شد تا حداقل خطای آزمایشی رخ دهد. برای بررسی بیشتر، نمونه‌برداری از محل کاشت بذرهای سبز نشده انجام گردید. بخشی از خاک از ردیف‌های کشت با استفاده از بیلچه برداشته و در ظرفی با کف سوراخ‌دار ریخته شد. سپس، خاک با پاشش آب مرطوب شده و در انکوباتور با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سه روز، بذرهای اکوتیپ کلاله و گرگان جوانه زدند و سایر بذرهای اکوتیپ کردکوی و زیارت نیز به تدریج سبز شدند. این یافته‌ها نقش محدودکننده دمای بالا در محیط کاشت را برجسته کرد.

شواهد تجربی نشان داد که عدم سبز شدن بذرهای تاریخ‌های کاشت اردیبهشت تا مرداد ۱۴۰۳ عمدتاً به دلیل دمای بالای هوا در روزهای نخست پس از کاشت بوده است. به نظر می‌رسد که دماهای بالا باعث القاء خواب ثانویه در بذرهای شده و مانع از آغاز فرآیند جوانه‌زنی شده‌اند. به عنوان شاهدی بر این موضوع، در برخی از ردیف‌های کاشت مربوط به این تاریخ‌ها، در اواخر مهرماه (با کاهش دمای محیط)، به صورت تصادفی سبز شدن محدود بذرهای مشاهده گردید که وارد مراحل رشدنمون نیز شدند. البته لازم است که در خصوص تأیید این امر، مطالعات جداگانه‌ای انجام گردد. براساس منابع، خواب بذر *P. minor* در دسته خواب‌های فیزیولوژیکی^۱ طبقه‌بندی می‌شود. بذرهای این گونه پس از رسیدن، وارد دوره‌ای از خواب می‌شوند که شکستن آن مستلزم گذر زمان و تأمین شرایط محیطی مناسب از جمله دمای بهینه، رطوبت کافی و دسترسی به اکسیژن است. این فرآیند با پدیده‌ای به نام پس‌رسی^۲ همراه است که طی آن، بذر به تدریج توانایی جوانه‌زنی را بازیابی می‌کند (Adkins et al., 2002; Om et al., 2005). در شرایط نامساعد محیطی، بذرهایی که از خواب اولیه رها شده‌اند، ممکن است که مجدداً وارد مرحله‌ای از خواب شوند که به آن خواب ثانویه گفته می‌شود. این نوع خواب به عنوان یک سازوکار تطبیقی در برابر تنش‌های محیطی (نظیر دمای بالا، خشکی یا کمبود اکسیژن) عمل می‌کند و از جوانه‌زنی بذر در شرایط نامناسب جلوگیری می‌نماید (Bewley et al., 2013). برای بررسی دقیق‌تر این موضوع، جدول ۵ نشان‌دهنده تعداد روزهای با دمای حداکثر بیش از مقادیر معین (۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) در بازه ۱۴ روز پس از کاشت در هر تاریخ کاشت است. براساس داده‌های جدول، در تاریخ‌های کاشت اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد ۱۴۰۳ که جوانه‌زنی رخ نداد، تعداد

- 1- Physiological dormancy
- 2- after-ripening

فعال شده و فرآیندهای متابولیکی لازم برای رشد را تحریک می کند. این فرآیند پیچیده و وابسته به محیط، نقش مهمی در موفقیت استقرار گیاهان در بوم نظام ها دارد (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006; Bewley et al., 2013).

هورمون های محرک جوانه زنی مانند جیبرلین ها (GA) باعث افزایش پتانسیل رشد جنین و فعال سازی رشد محوری به ویژه ریشه چه می شود. همچنین فعالیت آنزیم هایی مانند آلفا-آمیلاز افزایش یافته و نفوذپذیری پوسته بذر به آب و اکسیژن تغییر می کند که شرایط لازم برای جوانه زنی را فراهم می سازد. بیان ژن های مرتبط با جوانه زنی نیز

جدول ۵- فراوانی روزهای با دمای بیشینه بالا (در دامنه ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد) در هر یک از تاریخ های کاشت آزمایش

Table 5- Frequency of days with high maximum temperature (in the range 30-40 °C) for each sowing date in the experiment

November 2024	October 2024	September 2024	August 2024	July 2024	June 2024	May 2024	January, February, March, April 2024	December 2023	Maximum temperature (°C)
0	1	5	13	14	14	2	0	0	30
0	0	4	13	14	14	2	0	0	31
0	0	3	13	14	14	1	0	0	32
0	0	2	12	13	12	1	0	0	33
0	0	2	5	9	11	1	0	0	34
0	0	2	4	6	7	1	0	0	35
0	0	1	3	1	5	1	0	0	36
0	0	1	2	1	3	1	0	0	37
0	0	0	1	0	0	1	0	0	38
0	0	0	1	0	0	0	0	0	39
0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
			*	*	*	*			

* نشان دهنده تاریخ های کاشت که سبز نشده اند می باشد. برای این تاریخ های کاشت، فراوانی دمای حداکثر برای ۱۴ روز پس از کاشت بررسی شده است.

* Indicates sowing dates with no emergence. For these sowing dates, the frequency of maximum temperatures was examined during the 14 days following sowing.

نتیجه گیری

بذرهای فالاریس برابر با ۵/۳۴ روز تعیین شد. براساس نتایج، تفاوت معناداری بین اکوتیپ ها در دماهای کاردینال و روزهای بیولوژیک لازم برای رسیدن از کاشت تا سبز شدن مشاهده نشد. بنابراین، می توان نسخه مدیریتی یکسانی برای اکوتیپ های مختلف فالاریس استان گلستان تدوین کرد. همچنین کمی سازی دماهایی که می توانند باعث القاء خواب شوند به مطالعات بیشتری نیاز دارد.

نتایج مدل سازی زمان سبز شدن در چهار اکوتیپ فالاریس در استان گلستان بیانگر آن بود که مدل دوتکه ای قادر است که به خوبی سرعت سبز شدن را در بازه دمایی مختلف توصیف نماید. طبق تابع دو تکه ای، دمای پایه اکوتیپ ها برابر با ۳/۸ درجه سانتی گراد، دمای بهینه ۲۱/۸ درجه سانتی گراد و دمای سقف ۳۰/۲ درجه سانتی گراد برآورد شد. همچنین روز بیولوژیک لازم برای سبز شدن ۵۰ درصد از

References

- Abbas, T., Nadeem, M. A., Tanveer, A., Matloob, A., Farooq, N., Burgos, N. R., & Chauhan, B. S. (2017). Confirmation of resistance in littleseed canarygrass (*Phalaris minor* Retz.) to accase inhibitors in central Punjab, Pakistan, and alternative herbicides for its management. *Canadian Journal of Plant Science*, 49(4), 1501-1507.
- 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>
- Adams, C. B., & Cosner, J. (2025). Field pea cardinal temperatures, growth and vigor traits of winter and spring-adapted germplasm at germination and seedling stages. *Scientific Reports*, 15, 21759. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06342-w>
- Adkins, S. W., Bellairs, S. M., & Loch, D. S. (2002). Seed dormancy mechanisms in warm-season grass species. *Euphytica*, 126, 13-20. <https://doi.org/10.1023/A:1019623706427>
- Ahmadi Vashvaei, A., Zaefarian, F., Rezvani, M., & Mansouri, I. (2024). Determination of cardinal temperatures and phenological stages of two species of spiny cocklebur (*Xanthium spinosum*) and common cocklebur (*X. strumarium*) based on growing degree-day. *Journal of Crop Production and Processing*, 13(4), 17-32. Isfahan

- University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian with English abstract) <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.13.4.34444>
- Ajam Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E., & Homaei, M. (2007). Modeling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(4), 100-111. (In Persian)
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*, Academic Press, San Diego, 680 p.
- Benech-Arnold, R. L., Sanchez, R. A., Forcella, F., Kruk, B. C., & Ghera, C. M. (2000). Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research*, 67, 105-122. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00087-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00087-3)
- Bewley, J. D., Bradford, K., Hilhorst, H., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy* (3rd ed.), Springer, New York, 392 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Bradford, K. J. (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50, 248-260. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0248:AOHTTQ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0248:AOHTTQ]2.0.CO;2)
- Butler, T. J., Celen, A. E., Webb, S. L., Krstic, D., & Interrante, S. M. (2014). Temperature affects the germination of forage legume seeds. *Crop Science*, 54(6), 2846-2853. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.01.0063>
- Chaudhary, A., Chhokar, R. S., & Singh, S. (2022). Integrated weed management in wheat and barley: Global perspective. In P. L. Kashyap, P. C. Sharma, R. P. Singh, & A. K. Singh (Eds.). *New Horizons in Wheat and Barley Research*. Springer. pp. 315-335. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4134-3_20
- Chhokar, R. S., & Sharma, R. K. (2008). Multiple herbicide resistance in littleseed canary grass (*Phalaris minor*): A threat to wheat production in India. *Weed Biology and Management*, 8(2), 112-123. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2008.00283.x>
- Contreras, R. N., & Ruter, J. M. (2009). Sulfuric acid scarification of *Callicarpa americana* L. (Lamiaceae) seeds improves germination. *Native Plants Journal*, 10(3), 283-286.
- Deihimfard, R., Nazari, Sh., & Qorani, Y. (2017). Estimation of cardinal temperatures of *Lepyradiclis holosteoides* using regression models. *Seed Science and Technology*, 6(2), 107-117. <https://doi.org/10.22034/ijss.2018.116531>
- Derakhshan, A., & Gharekhloo, J. (2015). Comparison of hydrothermal time models for predicting seed germination of *Phalaris minor* based on normal, Weibull, and Gumbel distributions. *Plant Production Research*, 22(1), 39-58. (In Persian)
- Derakhshan, A., Gharekhloo, J., Vidal, R. A., & De Prado, R. (2014). Quantitative description of the germination of littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) in response to temperature. *Weed Science*, 62(2), 250-257. <https://doi.org/10.1614/WS-D-13-00055.1>
- Diyanat, M. (2021). Intraspecific differences among ecotypes of the weed *Cirsium arvense* L. *Journal of Iranian Plant Protection Research (Agricultural Science and Industries)*, 35(4), 505-517. (In Persian with English abstract)
- Eshraghi Nejad, M., Kamkar, B., & Soltani, A. (2009). Cardinal temperatures and required biological days from sowing to emergence of three millet species (common, foxtail, pearl millet). *Journal of Agricultural Science & Technology*, 3(12), 36-43.
- Eshraghi-Nejad, M., Gharineh, M. H., Bakhshandeh, A., & Soltani, A. (2015). Quantification of barley emergence to temperature. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 3(4), 1473-1478.
- Fallahi, H. R., Mohammadi, M., Aghhavani-Shajari, M., & Ranjbar, F. (2015). Determination of germination cardinal temperatures in two basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars using non-linear regression models. *Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4), 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.09.004>
- Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501-523. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>
- Forcella, F. (1993). Seedling emergence model for velvetleaf. *Agronomy Journal*, 85, 929-933. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500040026x>
- Garcia-Baudin, J. M., Villarroja, M., Chueca, M. C., & Tadeo, J. L. (1990). Different tolerance of two cultivars of *Triticum turgidum* L. to metribuzin. *Chemosphere*, 21(1-2), 223-230. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(90\)90394-9](https://doi.org/10.1016/0045-6535(90)90394-9)
- Gharekhloo, J., Hassanpour-Bourkheili, S., Hejazirad, P., Golmohammadzadeh, S., Vazquez-Garcia, J. G., & De Prado, R. (2021). Herbicide resistance in *Phalaris* species: A review. *Plants*, 10(10), 2248. <https://doi.org/10.3390/plants10112248>
- Gharekhloo, J., Rashed Mohassel, M. H., Nassiri Mahallati, M., Zand, E., Ghanbari, A., & De Prado, R. (2008). Greenhouse assay to investigate resistance of littleseed canary grass (*Phalaris minor*) to aryloxyphenoxy propionate herbicides. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 6(2), 353-361. (In Persian with English abstract)
- Heap, I. (2024). The international survey of herbicide resistant weeds. <http://www.weedscience.org>
- Horvath, D. P., Clay, S. A., Swanton, C. J., Anderson, J. V., & Chao, W. S. (2023). Weed-induced crop yield loss: A new paradigm and new challenges. *Trends in Plant Science*, 28(5), 567-582. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.12.014>
- Hussain, S., Khaliq, A., Bajwa, A. A., Matloob, A., Areeb, A., Ashraf, U., Hafeez, A., & Imran, M. (2017). Crop

growth and yield losses in wheat due to littleseed canary grass infestation differ with weed densities and changes in environment. *Planta Daninha*, 35, e017162785. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582017350100073>

Jafari, N., Esphehiani, M., & Sabori, A. (2011). Evaluation of nonlinear regression models for description of seedling appearance rate of three canola cultivars to temperature. *Journal of Iranian Crop Sciences*, 42(4), 857-868. (In Persian)

Jalili, A., Izadi Darabandi, E., Rastgoo, M., & Ebrahimi, E. (2024). Effect of temperature and drought stress on germination characteristics and determination of cardinal temperatures of invasive weed Herb-Robert (*Geranium robertianum* L.). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 38(1), 63-77. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/IJWS.2022.359817.1419>

Jalilian, A., Mazaheri, D., Tavakkol Afshari, R., Rahimian, H., Abdollahian Nighabi, M., & Ghohari, J. (2004). Estimation of base temperature, germination and seedling emergence in different temperatures in monogerm sugar beet genotypes. *Journal of Sugar Beet*, 20(2), 97-112. (In Persian)

Jame, Y. W., & Cutforth, H. W. (2004). Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agriculture and Forest Meteorology*, 124, 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.01.012>

Kaur, G., Bhuker, A., Harish, M. S., & Mor, V. S. (2025). Influence of temperature, light and burial depth on germination and emergence of *Phalaris minor* seeds. *Seed Research*, 53(1), 42-47. <https://doi.org/10.56093/SR.v53i1.7>

Lakzaei, S., Soltani, A., Zeinali, E., Gaderifar, F., & Jafarnodeh, S. (2017). Quantifying response of seedling emergence to temperature in rapeseed (*Brassica napus* L.) under field conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(3), 195-207. (In Persian)

Lavorel, S., & Garnier, E. (2002). Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology*, 16(5), 545-556. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x>

Lu, H., Shen, J., Sang, W., Zhang, X., & Lin, J. (2008). Pollen viability, pollination, seed set, and seed germination of Crofton weed (*Eupatorium adenophorum*) in China. *Weed Science*, 56(1), 42-51. <https://doi.org/10.1614/WS-06-210.1>

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.

Nowrouzieh, S., Faghani, E., & Roshani, G. (2024). Investigating physical and physiological characteristics of cotton (*G. hirsutum*) seeds during the delinting process at factory. *Iranian Journal of Seed Research*, 10(2), 81-98. <https://doi.org/10.61186/yujs.10.2.81>

Ohadi, S., Mashhadi, H. R., & Tavakol-Afshari, R. (2009). Seasonal changes in germination responses of seeds of the winter annual weed littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) to light. *Weed Science*, 57(6), 613-619. <https://doi.org/10.1614/WS-09-084.1>

Om, H., Kumar, S., & Dhiman, S. (2005). Dormancy and viability of *Phalaris minor* seed in a rice-wheat cropping system. *Weed Research*, 45(2), 129-135. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00439.x>

Om, H., Kumar, S., & Dhiman, S. D. (2004). Biology and management of *Phalaris minor* in rice-wheat system. *Crop Protection*, 23, 1157-1168. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.03.009>

Panahi, M. H., Soltani, E., Kalateh, M., & Arabi, A. N. (2014). Modeling the germination response of wheat cultivars to temperature under field conditions. *Seed Research*, 4(2), 61-70. (In Persian)

Rabiei, A., Nezami, A., Goldani, M., Khajeh-Hosseini, M., & Nassiri Mahallati, M. (2017). Cardinal temperatures for seed germination of six ecotypes of *Plantago major*. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 6(1), 57-68. (In Persian with English abstract).

Raeisi Monfared, A., Yavari, A., & Moradi, N. (2022). Investigation of ecological characteristics and its effect on essential oil yield of some *Salvia santolinifolia* Boiss. ecotypes in Hormozgan province. *Journal of Advanced Researches in Medicinal Plants*, 1(1), 11-24. <https://doi.org/10.30479/ARMP.2022.17927.1004>

Rahban, S., Rasam, Gh. A., Torabi, B., & Khoshnoud Yazdi, A. (2018). Evaluation of linear and nonlinear regression models to describe the response of the emergence of lentil (*Lens culinaris* Medik) to temperature. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 5(2), 23-36. (In Persian). <https://doi.org/10.22124/jms.2018.2908>

Rezvani, M., Nadimi, S., Zaefarian, F., & Chauhan, B. S. (2021). Environmental factors affecting seed germination and seedling emergence of three *Phalaris* species. *Crop Protection*, 148, 105743. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105743>

Sadeghnezhad, N., Alizadeh, H., Rahimian Mashhadi, H., Oveisi, M., & Tokasi, S. (2023). Cardinal temperatures of ambrosia (*Ambrosia psilostachya*) using regression models. *Iranian Journal of Weed Science*, 19(1), 1-10. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/IJWS.2022.359817.1419>

Saeidnejad, A. H., Kati, M., & Pessarakli, M. (2012). Evaluation of cardinal temperatures and germination responses of four ecotypes of *Bunium persicum* under different thermal conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(17), 1266-1271.

Sardana, V., Mahajan, G., Jabran, K., & Chauhan, B. S. (2017). Role of competition in managing weeds: An

introduction to the special issue. *Crop Protection*, 95, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.011>

Siahmarguee, A., Taheri, M., Ghaderi-Far, F., & Torabi, B. (2022). Germination ecology of invasive common morning-glory (*Ipomoea purpurea* L.) in Golestan province. *Journal of Plant Production Research*, 29(2), 221-240. (In Persian with English abstract)

Singh, S., Kirkwood, R. C., & Marshall, G. (1999). A review of the biology and control of *Phalaris minor* Retz. (littleseed canarygrass) in wheat. *Crop Protection*, 18(1), 1-16. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(98\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(98)00090-8)

Singh, V., Singh, H., & Raghubanshi, A. S. (2013). Competitive interactions of wheat with *Phalaris minor* or *Rumex dentatus*: A replacement series study. *International Journal of Pest Management*, 59(4), 245-258. <https://doi.org/10.1080/09670874.2013.845320>

Sohrabi, S., Gherekhlou, J., Hassanpour-Bourkheili, S., Soltani, A., & Gonzalez-Andujar, J. L. (2024). Factors influencing the variation of plants' cardinal temperature: A case study in Iran. *Plants*, 13, 2848. <https://doi.org/10.3390/plants13202848>

Soltani, A. (2009). Mathematical Modelling in Field Crops. Jihad-e Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. 1st ed. 175 pp. (In Persian)

Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., & Sarparast, R. (2006). Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138, 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004>

Sousa-Ortega, C., Royo-Esnal, A., & Urbano, J. M. (2021). Predicting seedling emergence of three canarygrass (*Phalaris*) species under semi-arid conditions using parametric and non-parametric models. *Agronomy*, 11(5), 893. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050893>

Steinmaus, S. J., Prather, T. S., & Holt, J. S. (2000). Estimation of base temperatures for nine weed species. *Journal of Experimental Botany*, 51(343), 275-286. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.343.275>

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>

Toh, S., Imamura, A., Watanabe, A., Nakabayashi, K., Okamoto, M., Jikumaru, Y., & Kamiya, Y. (2008). High temperature-induced seed dormancy in *Arabidopsis* is mediated by abscisic acid and enhanced by the absence of gibberellins. *Plant Physiology*, 147(3), 1431-1442. <https://doi.org/10.1104/pp.107.113738>

Tolyat, M. A., Tavakkol Afshari, R., Jahansoz, M. R., Nadjafi, F., & Naghdibadi, H. A. (2014). Determination of cardinal germination temperatures of two ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. *daenensis*. *Seed Science and Technology*, 42, 28-35. <https://doi.org/10.15258/sst.2014.42.1.03>

Torabi, B. (2004). Prediction of development in chickpea. M.Sc. Thesis. Agricultural Science and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran. (In Persian)

Torabi, B., & Soltani, A. (2012). Quantifying response of chickpea emergence to air temperature. *Journal of Crop Production and Processing*, 2(6), 109-120. (In Persian with English abstract)

Wang, H., Cutforth, H., McCaig, T., McLeod, G., Brandt, K., Lemke, R., Goddard, T., & Sprout, C. (2009). Predicting the time to 50% seedling emergence in wheat using a Beta model. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 57, 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2009.07.003>

Zadoks, J. C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>