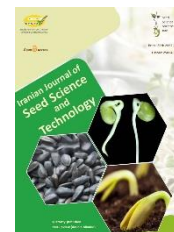




Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Evaluation of Nonlinear Regression Models to Describe Seed Germination Response of Three Species of *Nepeta haussknechtii*, *N. pogonosperma* and *N. glomerulosa* subsp. *staffina* to Temperature

Parvin Salehi Shanjani^{1*} , Hamideh Javadi² , Leila Rasoulzadeh³ ,
Leila Falah Hoseini³ , Arash Mamedi⁴

1. Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
3. Researcher, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Article Information

Received: 17 Aug. 2024
Revised: 28 Sept. 2024
Accepted: 08 Oct. 2024

Keywords:

Base temperature,
Ceiling temperature,
Cardinal temperatures,
Germination peak,
Nepeta,
Optimal temperature

Corresponding Author:
psalehi1@gmail.com



Abstract

To investigate the cardinal temperature of three medicinal species of *Nepeta haussknechtii*, *N. pogonosperma* and *N. glomerulosa* subsp. *staffina* to determine the appropriate temperature and time conditions for their planting, a factorial experiment was carried out in a completely randomized design with three replications in 2023 in the Seed Technology Research Laboratory of the Gene Bank of Natural Resources of Iran. Three non-linear regression models, including dent-like, segmented and beta, were evaluated at eight temperature levels (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40°C) to describe the response of the seed germination rate of three *Nepeta* species to temperature. Statistical indices such as root mean square error (RMSE) and coefficient of explanation (R^2) were used to compare the models. The results showed that the parameters estimated using the dent-like model for *N. haussknechtii* including base temperature, optimal lower temperature, optimal upper temperature, ceiling temperature, R^2 and RMSE values were 9.01°C, 20°C, 25°C, 36.21°C, 0.94 and 0.11, respectively. For the segmented model in the *N. pogonosperma* include base temperature, optimal temperature, ceiling temperature, R^2 and RMSE values were 9°C, 23°C, 36.14°C, 0.95 and 0.31, respectively; and beta model in the *N. glomerulosa* subsp. *staffina* include base temperature, optimal temperature, ceiling temperature, R^2 and RMSE values were 9.84°C, 24.95°C, 37°C, 0.99 and 0.03, respectively had more confidence. The results of this experiment showed that in the different studied species of *Nepeta*, due to the similar initial growth rate, they have the same germination peak.

How to cite this paper: Salehi Shanjani, P., Javadi, H., Rasoulzadeh, L., Falah Hoseini, L., & Mamedi, A. (2025). Evaluation of nonlinear regression models to describe seed germination response of three species of *Nepeta haussknechtii*, *N. pogonosperma* and *N. glomerulosa* subsp. *staffina* to Temperature. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14(3), 73-88. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2024.366488.1538>



© 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

Various species of the genus *Nepeta* are medicinal plants widely used in the food and pharmaceutical industries, and their domestication and cultivation have led to a reduction in the natural harvest of these species. The most important factor in cultivating medicinal plants is high seed germination and seedling establishment, especially in the arid and semi-arid climate of Iran. Temperature is one of the most important environmental factors that affects the percentage and speed of germination. The response of seed germination and emergence to temperature and the identification of cardinal temperatures (base, optimum, and ceiling) are studied to develop predictive models for germination and emergence, select appropriate planting dates, screen species and genotypes for tolerance to low or high temperatures, and determine geographic areas where species or genotypes can successfully germinate and establish. The response of seed germination to environmental factors can be estimated by nonlinear regression. This study was conducted to estimate the cardinal temperatures and other parameters in relation to temperature using three non-linear regression models (segmented, dent-like and beta) to project the germination rate and temperature relation of *Nepeta haussknechtii*, *N. pogonosperma* and *N. glomerulosa* subsp. *staffina*.

Materials and Methods

To investigate the cardinal temperature of three medicinal species of *Nepeta haussknechtii*, *N. pogonosperma* and *N. glomerulosa* subsp. *staffina* to determine the appropriate temperature and time conditions for their planting, a factorial experiment was carried out in a completely randomized design with three replications in 2023 in the Seed Technology Research Laboratory of the Gene Bank of Natural Resources of Iran. Three non-linear regression models, including dent-like, segmented and beta, were evaluated at eight temperature levels (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40°C) to describe the response of the seed germination rate of three *Nepeta* species to temperature. Statistical indices such as root mean square error (RMSE) and coefficient of explanation (R^2) were used to compare the models.

Results and Discussion

The results showed that the parameters estimated using the dent-like model for *N. haussknechtii*, including base

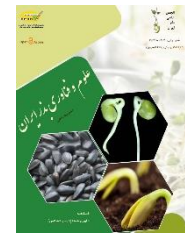
temperature, optimal lower temperature, optimal upper temperature, ceiling temperature, R^2 and RMSE values were 9.01°C, 20°C, 25°C, 36.21°C, 0.94 and 0.11, respectively. For the segmented model in the *N. pogonosperma* the base temperature, optimal temperature, ceiling temperature, R^2 and RMSE values were 9°C, 23°C, 36.14°C, 0.95 and 0.31, respectively; and the beta model in the *N. glomerulosa* subsp. *staffina* included base temperature, optimal temperature, ceiling temperature, R^2 and RMSE values, which were 9.84°C, 24.95°C, 37°C, 0.99 and 0.03, respectively, had more confidence. These results indicated that the best germination conditions were achieved at 20 to 25°C for *N. haussknechtii*, *N. pogonosperma*, and 25°C for *N. glomerulosa* subsp. *staffina*, which are the optimal germination temperatures. Temperatures higher than the optimum temperature during seed germination can prevent seeds due to stimulation of the biosynthesis of the inhibitory hormone called abscisic acid and inhibit the synthesis of the growth hormone called gibberellin. On the other hand, it seems that the decrease in germination at temperatures above 30°C in the seeds of the studied species is due to destructive changes in essential proteins. The decrease in germination at low temperatures is due to a reduction of the amount of gas exchange and oxygen, resulting in reduced cellular respiration, and also a reduction in the production of the hormone auxin in the root or seed embryo, which in turn inhibits the growth of the seed embryo.

Conclusion

The results of the present study confirmed that in the absence of other limiting factors (such as light and water), seed germination of *Nepeta* species is highly influenced by temperature. The different *Nepeta* species studied have similar germination peaks due to similar initial growth rates. In addition, the results showed that the dent-like model in *N. haussknechtii*, the segmented model in *N. pogonosperma*, and the beta model in *N. glomerulosa* were the best models for predicting cardinal temperature, which suggests that a fixed model cannot be proposed for species of the same genus. According to the findings, it can be concluded that all three species have high adaptability for cultivation in more temperate regions or months. Thus, it can be stated that the effect of cardinal temperatures on seed germination is useful for evaluating germination characteristics or establishment potential of plant species and is of particular importance in the process of plant domestication.



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی جهت توصیف پاسخ جوانه‌زنی بذر سه گونه *Nepeta haussknechtii*، *N. pogonosperma* و *N. glomerulosa* subsp. *staffina* به دما

پروین صالحی شانجانی^{۱*}، حمیده جوادی^۲، لیلا رسول‌زاده^۳، لیلا فلاح حسینی^۴، آرش مامدی^۴

۱. دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۲. استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۳. پژوهشگر، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۷

واژه‌های کلیدی:

اوج جوانه‌زنی،

پونه‌سا،

دمای پایه،

دمای مطلوب،

دمای سقف،

دمای کاردینال

نویسنده مسئول:

psalehi1@gmail.com

برای بررسی دمای کاردینال جوانه‌زنی سه گونه دارویی پونه سا *Nepeta haussknechtii*، *N. pogonosperma* و *N. glomerulosa* subsp. *staffina* و تعیین شرایط دمایی و زمانی مناسب کاشت آنها، آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه تحقیقات تکنولوژی بذر بانک ژن منابع طبیعی ایران اجرا شد. سه مدل رگرسیونی غیرخطی شامل دندان‌مانند، دو تکه‌ای و بتا، در هشت سطح دمایی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) برای توصیف پاسخ سرعت جوانه‌زنی بذر سه گونه پونه‌سا به دما مورد ارزیابی قرار گرفتند. از شاخص‌های آماری مانند ریشه نتایج تجزیه واریانس (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) برای مقایسه مدل‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد در گونه *N. haussknechtii* مدل دندان-مانند با دمای پایه ۹/۰۱، دمای مطلوب تحتانی ۲۰، دمای مطلوب فوقانی ۲۵ و دمای سقف ۳۶/۲۱ درجه سانتی‌گراد و مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۱۱؛ در گونه *N. pogonosperma* مدل دو تکه‌ای با دمای پایه ۹، دمای مطلوب ۲۳ و دمای سقف ۳۶/۱۴ درجه سانتی‌گراد و میزان R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۳۱؛ و در گونه *N. glomerulosa* subsp. *staffina* مدل بتا با دمای پایه ۹/۸۴، دمای مطلوب ۲۴/۹۵ دمای سقف ۳۷ درجه سانتی‌گراد و R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۰۳ از اطمینان بیشتری برخوردار بودند. نتایج این آزمایش نشان داد در گونه‌های مختلف پونه‌سا مورد مطالعه به علت سرعت رشد اولیه مشابه، دارای اوج جوانه‌زنی مشابهی هستند.

نحوه استناد به این مقاله:

Salehi Shanjani, P., Javadi, H., Rasoulzadeh, L., Falah Hoseini, L., & Mamedi, A. (2025). Evaluation of nonlinear regression models to describe seed germination response of three species of *Nepeta haussknechtii*, *N. pogonosperma* and *N. glomerulosa* subsp. *staffina* to Temperature. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14(3), 73-88. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2024.366488.1538>

مقدمه

طب سنتی یک روش جایگزین برای روش‌های مرسوم پزشکی مدرن بوده و کاربرد گیاهان دارویی ممکن است اثرات جانبی کمتری نسبت به داروهای شیمیایی داشته باشند. گونه‌های مختلف جنس پونه‌سا از گیاهان دارویی پرکاربرد در صنعت غذا و دارو هستند (Ali et al., 2011) که اهلی سازی و کاشت آنها منجر به کاهش برداشت از طبیعت این گونه‌ها می‌گردد. تولید موفق گیاهان دارویی مستلزم دانش فنی در اکوفیزیولوژی گیاهی است. مهمترین عامل در کشت گیاهان دارویی جوانه‌زنی بالای بذر و استقرار گیاهچه به ویژه در آب و هوای خشک و نیمه خشک است. مطالعه شرایط اولیه جوانه زنی بذر، شانس استقرار موفق گیاه را در شرایط آب و هوایی مختلف افزایش می‌دهد (Parmoon et al., 2015).

جوانه‌زنی بذر به عنوان یکی از حیاتی‌ترین دوره‌ها در چرخه زندگی گیاهان می‌باشد. عوامل محیطی به طور مستقیم جوانه‌زنی بذر و متعاقب آن سبز شدن گیاهچه و استقرار بعد از آن را تعیین می‌کنند (Alvarado & Bradford, 2002). دمای یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی در جوانه‌زنی بذر محسوب شده و می‌تواند بر درصد و سرعت جوانه‌زنی تأثیر بگذارد (Brodford, 2002; Jami Al-Ahmadi and Kafi, 2007). با افزایش دما تا حد معینی سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد و سپس در دماهای بالاتر با شدت بیشتری از سرعت جوانه‌زنی کاسته می‌شود (Mwale et al., 1994). واکنش متفاوت مرحله جوانه‌زنی به دماهای مختلف به این دلیل است که با افزایش دما تا حد مطلوب، فعالیت آنزیم‌ها و به تبع آن کارایی واکنش‌های آنزیمی افزایش می‌یابد که این امر بهبود درصد و سرعت جوانه‌زنی را به دنبال دارد. از طرف دیگر، دماهای خیلی زیاد و خیلی کم نیز موجب غیر فعال شدن برخی آنزیم‌ها و کاهش سرعت این واکنش‌ها و در نتیجه کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Jalilian et al., 2004). تخریب پروتئین‌ها و اختلال در کارایی غشاها از جمله عواملی است که موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی بذر در دماهای بیشتر از دمای مطلوب می‌شود (Bradford, 2002). کاهش کارایی

متابولیکی بذر را نیز از دیگر عوامل کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بیشتر از دمای مطلوب مشاهده شده است (Ueno, 2003). برای تعیین بهترین تاریخ کاشت گیاهان، باید دماهای پایه (Tb)، مطلوب (To) و سقف (Tc) جوانه زنی بذر را پیدا کرد. دماهای فوق به عنوان دماهای کاردینال شناخته می‌شوند. دمای حداقل^۱ (پایه) و سقف^۲ به ترتیب کمترین و بیشترین دمایی می‌باشند که به ترتیب کمتر و بیشتر از آن جوانه‌زنی صورت نمی‌گیرد و دمای مطلوب^۳ دمایی است که جوانه‌زنی در آن بیشترین سرعت را دارد. دماهای کاردینال جوانه‌زنی، به دامنه سازگاری محیطی گونه گیاهی بستگی دارد و تطابق زمان جوانه‌زنی با شرایط مطلوب برای مراحل بعدی رشد و نمو گیاهچه را تضمین می‌نماید (Alvarado & Bradford, 2002). دامنه دمایی که مقدار جوانه‌زنی در آن حداکثر است با توجه به نوع گونه‌ها و کیفیت بذر تغییر می‌کند (Ellis et al., 1986). دمای حداقل، مطلوب و حداکثر جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های مختلف متفاوت است (Jami Al-Ahmadi & Kafi, 2007). گزارش‌های متعددی در مورد خصوصیات جوانه‌زنی گونه‌های مختلف گیاهی اعم از گیاهان زراعی، مرتعی و دارویی وجود دارد (Adam et al., 2007; Bannayan et al., 2006; Golmohammadzadeh et al., 2022; Iannucci et al., 2000; Jami Al-Ahmadi & Kafi, 2007; Mamedei et al., 2022; Najafi, 2001; Rabiei et al., 2017; Taher Abadi et al., 2015). دماهای کاردینال جوانه‌زنی گیاه *Kochia scoparia* که در دامنه وسیع دمایی پراکنش دارد شامل ۳/۵، ۲۴ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد (به ترتیب برای دمای پایه، مطلوب و سقف) است (Jami Al-Ahmadi & Kafi, 2007). نتایج تحقیق بنایان و همکاران (Bannayan et al., 2006) در بررسی خصوصیات جوانه‌زنی تعدادی از گیاهان دارویی ایران حاکی از آن است که بیش‌ترین در صد جوانه‌زنی در دامنه ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد برای پونه‌سای بینالودی (*Nepeta binaludensis*) و پونه‌سای البرزی (*Nepeta crassifolia*)، ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد برای آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)، ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد

¹ Basic² Ceiling³ Optimum

دندانمانند (Dent-like) برای تخمین دماهای کاردینال سه گونه دارویی پونه‌سا *N. pogonosperma*, *N. haussknechtii* و *N. glomerulosa subsp. staffina* است تا بتوان شرایط دمایی و زمانی مناسب را برای کاشت این گیاهان دارویی تعیین کرد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی واکنش جوانه‌زنی بذور سه گونه دارویی پونه‌سا *N. pogonosperma*, *Nepata haussknechtii* و *N. glomerulosa subsp. staffina* به تیمارهای دمایی (سرما و گرما) و تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی، آزمایشی در شرایط آزمایشگاهی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه تحقیقات تکنولوژی بذر بانک ژن منابع طبیعی ایران انجام گرفت. فاکتور مورد بررسی شامل دما در هشت سطح (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد) بوده که در هر انکوباتور یکی از دمای ثابت مذکور با خطای ± 0.5 اعمال گردید. شمارش در صد جوانه‌زنی (خروج ریشه‌چه دو میلی‌متری) به صورت روزانه و به مدت ۲۱ روز انجام گرفت. درصد جوانه‌زنی از فرمول " $n_g/n_t \times 100$ " محاسبه شد که n_g تعداد بذرهای جوانه‌زده و n_t تعداد بذر کاشته شده است (Ellis & Roberts, 1981). سرعت جوانه‌زنی از رابطه " $\sum n_i/d_i$ " به دست آمد که n_i تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز i و d_i تعداد روز پس از شروع آزمایش است (Agrawal, 2004). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی به روش دانکن با نرم‌افزار sass انجام شد.

برای تعیین دماهای کاردینال از سه مدل رگرسیونی زیر استفاده گردید (Kamkar et al., 2012). در این روابط T دمای متوسط روزانه (دمای آزمایش)، T_{O1} دمای پایه، T_{O2} تحتانی، T_c دمای مطلوب فوقانی و T_b دمای سقف بر حسب درجه سانتی گراد می‌باشد.

برای آویشن البرزی (*Thymus kotschymanus*)، روناس (*Rubia tinctorum*) و بومادران (*Achillea millefolium*) به دست آمد. در آزمایشی بر اساس رگرسیون خطی بین سرعت جوانه‌زنی و دما، دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و حداکثر) به ترتیب ۴/۴، ۱۹ و ۲۵/۵ درجه سانتی گراد برای اسفرزه (*Plantago ovate*) و ۹/۴، ۲۸/۸ و ۳۵ درجه سانتی گراد برای گونه بارهنگ (*Plantago psyllium*) حاصل شد (Tabrizi et al., 2013). دمای پایه جوانه‌زنی، برای گونه‌های دارویی شوید (*Anethum graveolens*)، رازیانه (*Foeniculum vulgare*) و زنیان (*Trachyspermum ammi*) به ترتیب ۵، ۱ و ۳ درجه سانتی گراد گزارش شده است (Boroumand Rezazadeh & Koocheki, 2006).

تعیین دماهای بهینه برای ارائه مدل پیش‌بینی جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های گیاهی مورد نیاز می‌باشند (Soltani et al., 2013). انواع مختلفی از مدل‌های ریاضی برای شرح رابطه بین جوانه‌زنی بذر گیاه و دما استفاده شده است. از جمله آنها می‌توان به توابع بتا (β)، دو تکه‌ای (Segmented)، دندانمانند (Dent-like) و بتای تغییر یافته (β modified) اشاره نمود که امتیاز این توابع این است که دارای مفاهیم بیولوژیکی مانند دماهای کاردینال و سرعت جوانه‌زنی و تعداد ساعات بیولوژیک مورد نیاز برای رسیدن به درصد خاصی از جوانه‌زنی بذر است (Jame et al., 2004). از مدل دندانمانند برای تعیین دماهای بهینه دو اکوتیپ آویشن در پاسخ جوانه‌زنی بذر به سطوح مختلف دمایی استفاده گردیده است (Tolyat et al., 2014). (Ganjeali et al., 2011) مدل‌های بتا، دو تکه‌ای و دندانمانند برای مدل‌سازی سبز شدن گیاه نخود در دماها و عمق‌های مختلف بکار بردند و مدل دندانمانند را به عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سبز شدن این گیاه معرفی کردند. هدف از انجام این تحقیق بررسی اثربخشی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی بتا (β)، دو تکه‌ای (Segmented) و

$$f(T) = (T - T_b) / (T_{O1} - T_b) \text{ if } T_b < T < T_{O1}$$

$$f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_{O2}) \text{ if } T_{O2} < T < T_c$$

$$f(T) = 1 \text{ if } T_{O1} \leq T < T_{O2}$$

$$f(T) = 0 \text{ if } T \leq T_b \text{ or } T_c \leq T$$

Dent-like
(دندانمانند)

Segmented (دو تکه‌ای)	$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b)$ if $T_b < T < T_o$
	$f(T) = 1 - \left(\frac{T - T_o}{T_c - T_o} \right)$ if $T_o \leq T < T_c$
	$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T_c \leq T$
Beta (بتا)	$f(T) = \left(\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \right) \left(\frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} \right)^{\left(\frac{(T_c - T_o)}{(T_o - T_b)} \right)^c}$
	if $T > T_b$ and $T < T_c$
	$f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$

نتایج

پاسخ دمایی *N. haussknechtii* و کمی‌سازی آن

۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر *N. haussknechtii* در سطح یک درصد را نشان داد (جدول ۱).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر معنی‌دار دما (۵، ۱۰، ۱۵،

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر *N. haussknechtii* در دماهای مختلف

Table 1- Results of variance analysis of germination percentage and rate of *N. haussknechtii* seeds under different temperatures

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی
S.O.V	df	Germination %	Germination rate
تیمار	7	5369.09**	36.75**
Treatment			
خطا	16	13.2	0.149
Error			
درصد ضریب تغییرات		6.82	13.5
CV %			

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد.

**: Significant at 1 percent.

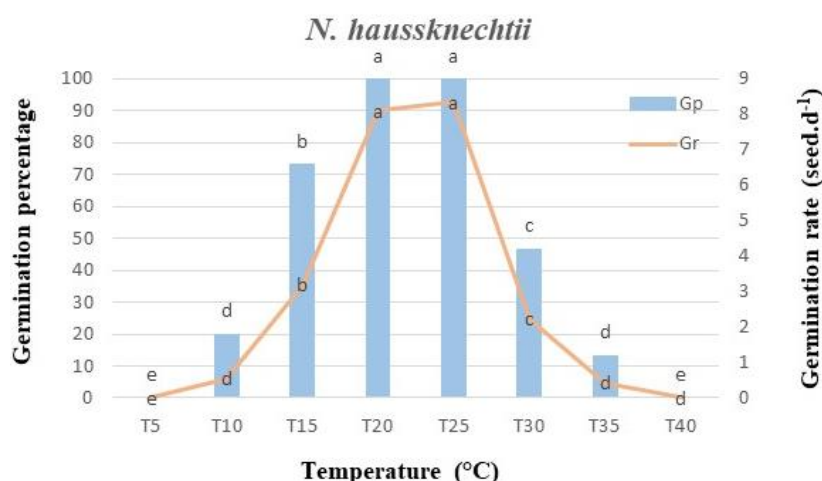
افزایش دما به ۳۰ درجه سانتی‌گراد خصوصیات جوانه‌زنی نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با تفاوت معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش دما به ۳۵ درجه سانتی‌گراد خصوصیات جوانه‌زنی بذر *N. haussknechtii* به طور معنی‌داری کاهش یافت، به طوری که با افزایش دما به ۳۵ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی به ۱۳ درصد و سرعت جوانه‌زنی به ۰/۴ جوانه در روز کاهش یافت. با افزایش دما از ۳۵ درجه به ۴۰ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی به صفر کاهش یافت. بنابراین بذر *N. haussknechtii* در محدوده وسیع دمایی از ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد توانایی جوانه‌زنی را دارد و می‌توان گفت که *N. haussknechtii* برای عرصه منابع طبیعی با آب و هوای معتدل قابلیت کشت و سازگاری بالایی دارد.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفات (شکل ۱) می‌توان بیان کرد که در دمای پنج درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی بذر *N. haussknechtii* صفر بود و با افزایش دما از پنج درجه به ۱۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی بهبود یافت به طوریکه در دمای ۱۰ درجه، ۲۰ درصد جوانه‌زنی مشاهده شد و سرعت جوانه‌زنی بهبود یافت. حال با افزایش دما به ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت. با افزایش دما به ۲۵ درجه سانتی‌گراد درصد و سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری با درصد و سرعت جوانه‌زنی در ۲۰ درجه نداشت. بطوریکه با افزایش دما به ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی به بیشترین حد (۱۰۰ درصد) و سرعت جوانه‌زنی هم به هشت افزایش یافت. با

N. haussknechtii می‌باشد (شکل ۲).

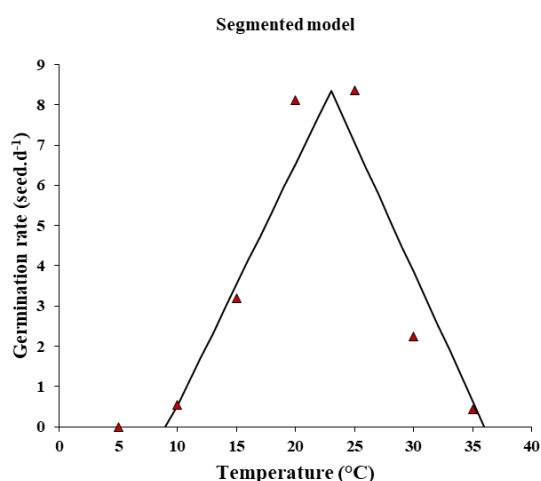
در مدل دو تکه‌ای دمای پایه ۹/۱۲، دمای مطلوب ۲۳/۰۱ و دمای سقف ۳۶/۰۱ درجه سانتی‌گراد و میزان R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۱۳ پیش‌بینی شد. با توجه به کاهش جزئی میزان R^2 و افزایش مقدار جزئی RMSE می‌توان گفت که این مدل نسبت به مدل دو تکه‌ای، دقت برازش کمتری از برآورد دماهای کاردینال بذر *N. haussknechtii* دارد (شکل ۳).

کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذرهای *N. haussknechtii* در دماهای مختلف با کمک مدل‌های دوتکه‌ای، دندان‌مانند و بتا برازش داده شد. در مدل دندان-مانند دمای پایه ۹/۰۱، دمای مطلوب تحتانی ۲۰، دمای مطلوب فوقانی ۲۵ و دمای سقف ۳۶/۲۱ درجه سانتی‌گراد و مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۱۱ پیش‌بینی گردید که نشان‌دهنده دقت بالای این مدل در برازش داده‌ها و پیش‌بینی دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر



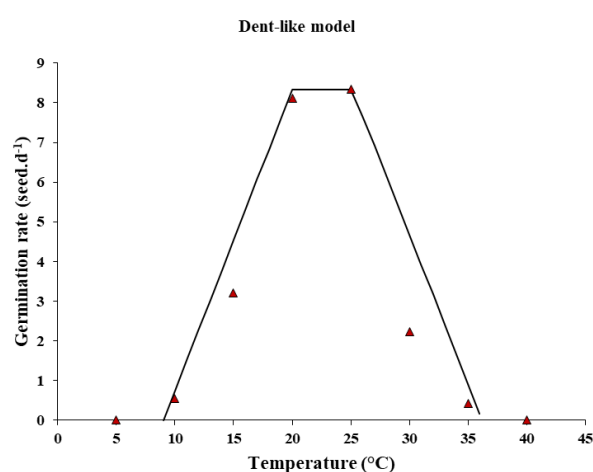
شکل ۱- مقایسه میانگین درصد (Gp) و سرعت (Gr) جوانه‌زنی بذر *N. haussknechtii* در دماهای مختلف (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشد).

Figure 1- Mean comparison germination percentage (Gp) and rate (Gr) of *N. haussknechtii* seeds under different temperatures (different letters indicate statistically significant differences).



شکل ۳- رابطه بین دما (درجه سانتی‌گراد) و سرعت جوانه‌زنی *N. haussknechtii* بر اساس مدل دو تکه‌ای

Figure 3- The relationship between temperature (°C) and germination rate of *N. haussknechtii* based on the segmented model

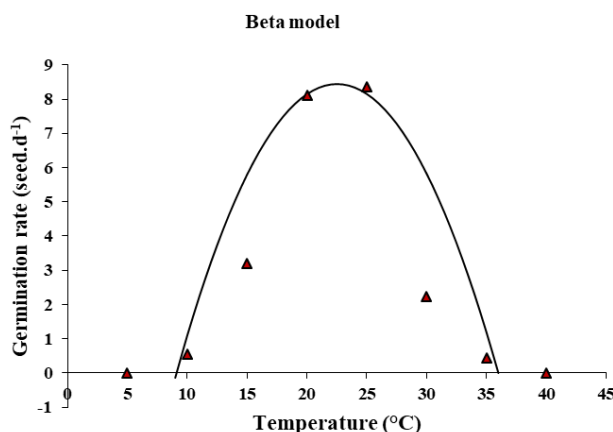


شکل ۲- رابطه بین دما (درجه سانتی‌گراد) و سرعت جوانه‌زنی *N. haussknechtii* بر اساس مدل دندان‌مانند

Figure 2- The relationship between temperature (°C) and germination rate of *N. haussknechtii* based on the dent-like model

در مدل بتا دمای پایه ۹/۱۱، دمای مطلوب ۲۱/۰۲ دمای سقف ۳۶/۰۰ درجه سانتی‌گراد و R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۵۷ پیش‌بینی شد که نشان می‌دهد این مدل نسبت به مدل‌های قبلی در

پیش‌بینی دماهای کاردینال بذر *N. haussknechtii* چندان مناسب نیست (شکل ۴).



شکل ۴- رابطه بین دما (درجه سانتی‌گراد) و سرعت جوانه‌زنی *N. haussknechtii* بر اساس مدل بتا

Figure 4- The relationship between temperature (°C) and germination rate of *N. haussknechtii* based on the beta model

پاسخ دمایی *N. pogonosperma* و کمی‌سازی آن
نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر معنی‌دار دما (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد) بر خصوصیات جوانه‌زنی

بذر *N. pogonosperma* در سطح یک درصد را نشان داد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر *N. pogonosperma* در دماهای مختلف

Table 2- Results of variance analysis of germination percentage and rate of *N. pogonosperma* seeds under different temperatures

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی
S.O.V	df	Germination %	Germination rate
تیمار	7	5808.67**	37.06**
Treatment			
خطا	16	4.67	0.18
Error			
درصد ضریب تغییرات		4.68	10.29
CV %			

°: معنی‌داری در سطح ۱ درصد.

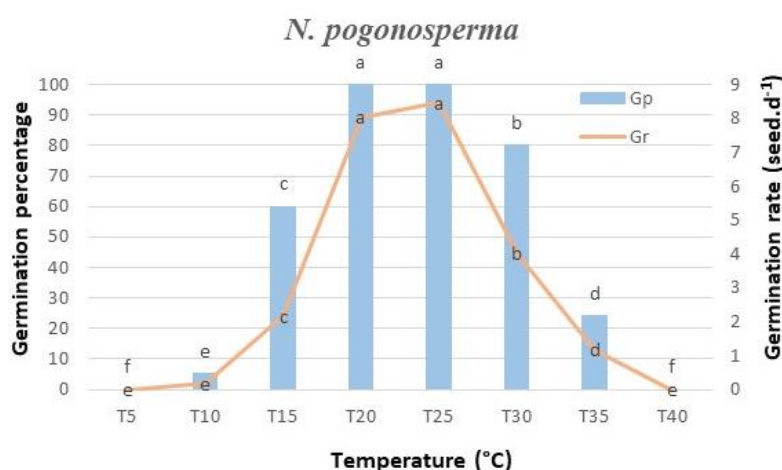
** : Significant at 1 percent.

سرعت جوانه‌زنی بهبود یافت. حال با افزایش دما به ۱۵ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت. با افزایش دما به ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی به بیشترین حد (۱۰۰ درصد) و سرعت جوانه‌زنی هم به ۹ جوانه در روز افزایش یافت. با افزایش دما به ۳۰ درجه سانتی‌گراد

بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفات (شکل ۵) می‌توان بیان کرد که در دمای پنج درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی بذر *N. pogonosperma* صفر بود و با افزایش دما از پنج درجه به ۱۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی به صورت جزئی بهبود یافت به طوریکه در دمای ۱۰ درجه، ۸ درصد جوانه‌زنی مشاهده شد و

درجه سانتی گراد در صد جوانه زنی به صفر کاهش یافت. بنابراین بذر *N. pogonosperma* در محدوده دمایی از ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی گراد توانایی جوانه زنی را دارد و می توان گفت که *N. pogonosperma* برای عرصه منابع طبیعی با آب و هوای معتدل قابلیت کشت و سازگاری بالایی دارد.

خصوصیات جوانه زنی نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی گراد با تفاوت معنی داری کاهش یافت. با افزایش دما به ۳۵ درجه سانتی گراد خصوصیات جوانه زنی بذر *N. pogonosperma* به طور معنی داری کاهش یافت، به طوری که با افزایش دما به ۳۵ درجه سانتی گراد در صد جوانه زنی به ۲۵ درصد و سرعت جوانه زنی به ۱/۰۶ کاهش یافت. با افزایش دما از ۳۵ درجه به ۴۰

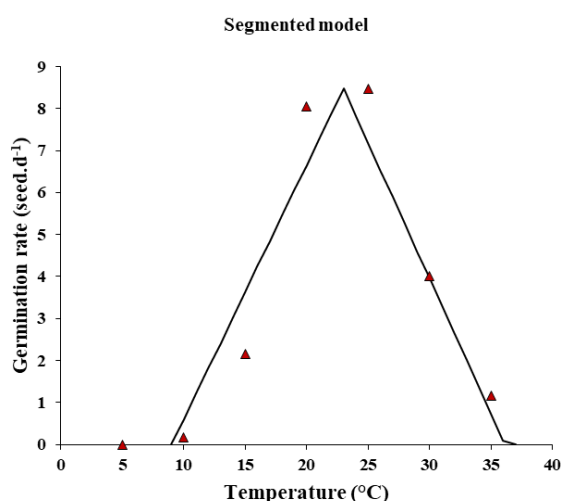


شکل ۵- مقایسه میانگین درصد (Gp) و سرعت (Gr) جوانه زنی بذر *N. pogonosperma* در دماهای مختلف (حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت آماری معنی دار می باشد)

Figure 5- Mean comparison germination percentage (Gp) and rate (Gr) of *N. pogonosperma* seeds under different temperatures (different letters indicate statistically significant differences)

به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۳۱ پیش بینی شد که نشان دهنده دقت بالای این مدل در برازش داده ها و پیش بینی دماهای کاردینال جوانه زنی بذر *N. pogonosperma* می باشد (شکل ۶).

کمی سازی واکنش جوانه زنی بذرهای *N. pogonosperma* در دماهای مختلف با کمک مدل های دو تکه ای، دندان مانند و بتا برازش داده شد. در مدل دو تکه ای دمای پایه ۹، دمای مطلوب ۲۳ و دمای سقف ۳۶/۱۴ درجه سانتی گراد و میزان R^2 و RMSE

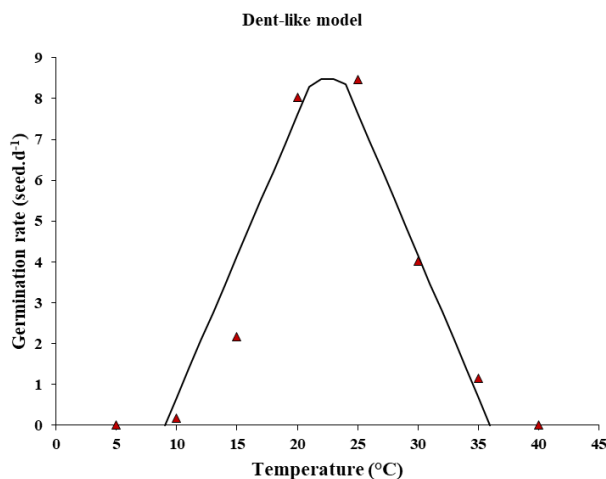


شکل ۶- رابطه بین دما (درجه سانتی گراد) و سرعت جوانه زنی *N. pogonosperma* بر اساس مدل دو تکه ای

Figure 6- The relationship between temperature (°C) and germination rate of *N. pogonosperma* based on the segmented model

می‌توان گفت که این مدل نسبت به مدل دو تکه‌ای، دقت برازش بیشتری از برآورد دماهای کاردینال بذر *N. pogonosperma* دارد (شکل ۷).

در مدل دندان-مانند دمای پایه ۹، دمای مطلوب تحتانی ۲۲/۲۷، دمای مطلوب فوقانی ۲۳/۸۳ و دمای سقف ۳۶ درجه سانتی‌گراد و مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۲۸ پیش‌بینی گردید. با توجه به افزایش مقدار جزئی از RMSE

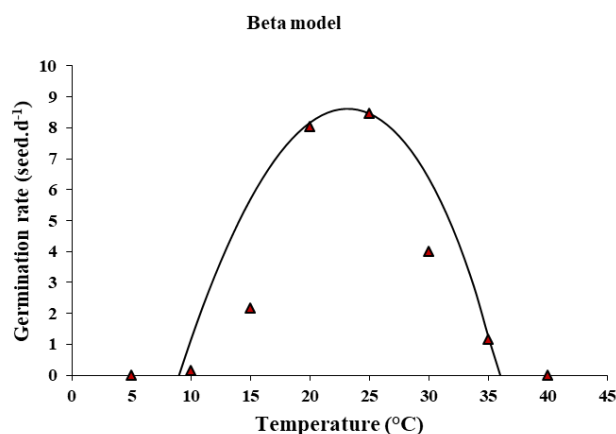


شکل ۷- رابطه بین دما (درجه سانتی‌گراد) و سرعت جوانه‌زنی *N. pogonosperma* بر اساس مدل دندان‌مانند

Figure 7- The relationship between temperature (°C) and germination rate of *N. pogonosperma* based on the dent-like model

پیش‌بینی دماهای کاردینال بذر *N. pogonosperma* چندان مناسب نیست (شکل ۸).

در مدل بتا دمای پایه ۹، دمای مطلوب ۲۴/۹۵ دمای سقف ۳۵/۷۱ درجه سانتی‌گراد و R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۵۴ و ۰/۸۷ پیش‌بینی شد که نشان می‌دهد این مدل نسبت به مدل‌های قبلی در



شکل ۸- رابطه بین دما (درجه سانتی‌گراد) و سرعت جوانه‌زنی *N. pogonosperma* بر اساس مدل بتا

Figure 8- The relationship between temperature (°C) and germination rate of *N. pogonosperma* based on the beta model

محرز می‌نماید، برخورداری از کمترین RMSE (مجذور نتایج تجزیه واریانس خطا) و بالاترین ضریب همبستگی می‌باشد.

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که مدل دو تکه‌ای به عنوان دقیق‌ترین تابع رگرسیونی جهت تعیین دماهای کاردینال بوده و آنچه برتری تابع رگرسیونی دو تکه‌ای بر دو تابع دیگر را

نداشت. با افزایش دما به ۲۵ درجه سانتی گراد درصد جوانه‌زنی به بیشترین حد (۹۷ درصد) و سرعت جوانه‌زنی هم به ۲/۳ افزایش یافت. با افزایش دما به ۳۰ درجه سانتی گراد خصوصیات جوانه‌زنی نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی گراد با تفاوت معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش دما به ۳۵ درجه سانتی گراد خصوصیات جوانه‌زنی بذر *N. glomerulosa* به طور معنی‌داری کاهش یافت، به طوری که با افزایش دما به ۳۵ درجه سانتی گراد درصد جوانه‌زنی به ۲۵ درصد و سرعت جوانه‌زنی به ۰/۷۵ کاهش یافت. با افزایش دما از ۳۵ درجه به ۴۰ درجه سانتی گراد درصد جوانه‌زنی به صفر کاهش یافت. بنابراین بذر *N. glomerulosa* در محدوده محدودتر دمایی از ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی گراد توانایی جوانه‌زنی را دارد و می‌توان گفت که *N. glomerulosa* برای عرصه منابع طبیعی با آب و هوای معتدل قابلیت کشت و سازگاری بالایی دارد.

پاسخ دمایی *N. glomerulosa* subsp. *staffina* و کمی‌سازی آن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر معنی‌دار دما (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی گراد) بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر *N. glomerulosa* در سطح یک درصد را نشان داد (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفات (شکل ۹) می‌توان بیان کرد که در دمای پنج درجه سانتی گراد درصد جوانه‌زنی بذر *N. glomerulosa* صفر بود و با افزایش دما از پنج درجه به ۱۰ درجه سانتی گراد جوانه‌زنی به صورت معنی‌داری افزایش نیافت به طوریکه در دمای ۱۰ درجه، سه درصد جوانه‌زنی مشاهده شد. با افزایش دما به ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی گراد درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت. با افزایش دما به ۲۵ درجه سانتی گراد درصد جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری با درصد جوانه‌زنی در ۲۰ درجه داشت ولی سرعت جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری

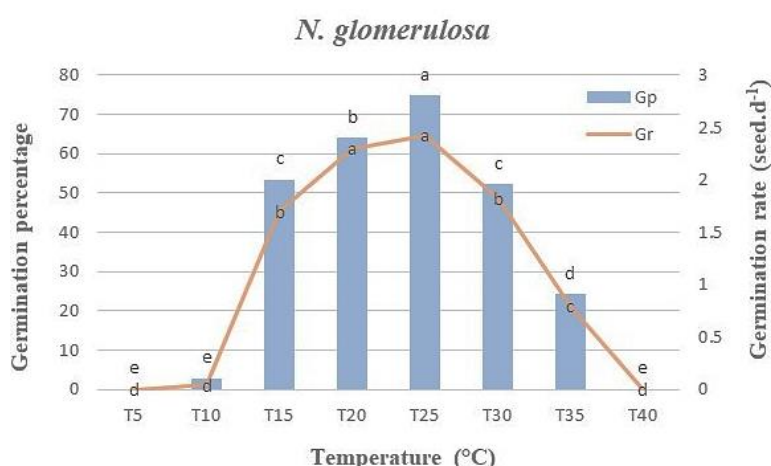
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر *N. glomerulosa* در دماهای مختلف

Table 3- Results of variance analysis of germination percentage and rate of *N. glomerulosa* seeds under different temperatures

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination %	سرعت جوانه‌زنی Germination rate
تیمار Treatment	7	2847.91**	3.30**
خطا Error	16	26	0.016
درصد ضریب تغییرات CV %		5.07	9.15

** : Significant at 1 percent.

* : معنی‌داری در سطح ۱ درصد.

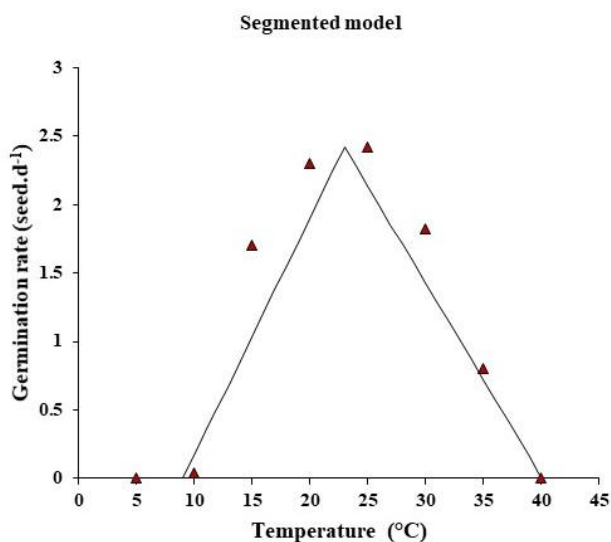


شکل ۹- مقایسه میانگین درصد (Gp) و سرعت (Gr) جوانه‌زنی بذر *N. glomerulosa* در دماهای مختلف (حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشد و ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند).

Figure 9- Mean comparison germination percentage (Gp) and rate (Gr) of *N. glomerulosa* seeds under different temperatures (different letters indicate statistically significant differences)

RMSE به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۱۲ پیش‌بینی شد که نشان‌دهنده دقت بالای این مدل در برازش داده‌ها و پیش‌بینی دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر *N. glomerulosa* می‌باشد (شکل ۱۰).

کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذرهای *N. glomerulosa* در دماهای مختلف با کمک مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا برازش داده شد. در مدل دو تکه‌ای دمای پایه ۹/۰۴، دمای مطلوب ۲۳ و دمای سقف ۴۰/۱۰ درجه سانتی‌گراد و میزان R^2 و

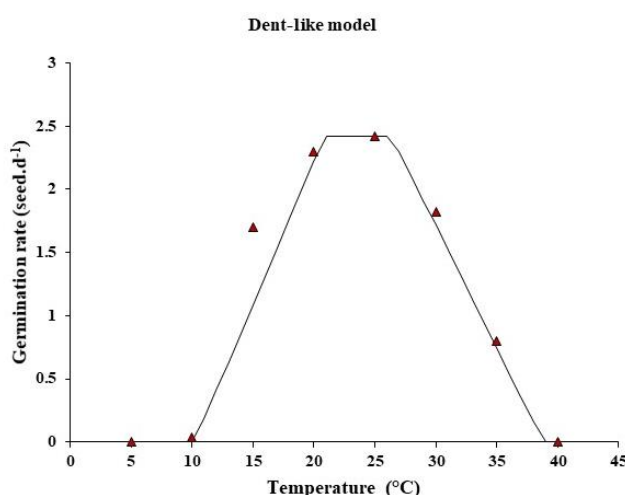


شکل ۱۰- رابطه بین دما (درجه سانتی‌گراد) و سرعت جوانه‌زنی *N. glomerulosa* بر اساس مدل دو تکه‌ای

Figure 10- The relationship between temperature (°C) and germination rate of *N. glomerulosa* based on the segmented model

گردید. با توجه به افزایش مقدار جزئی از RMSE می‌توان گفت که این مدل نسبت به مدل دو تکه‌ای، دقت برازش بیشتری در برآورد دماهای کاردینال بذر *N. glomerulosa* دارد (شکل ۱۱).

در مدل دندان-مانند دمای پایه ۱۰/۱۹، دمای مطلوب تحتانی ۲۰/۸۹، دمای مطلوب فوقانی ۲۶/۳۷ و دمای سقف ۳۸/۸۲ درجه سانتی‌گراد و مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۸ پیش‌بینی

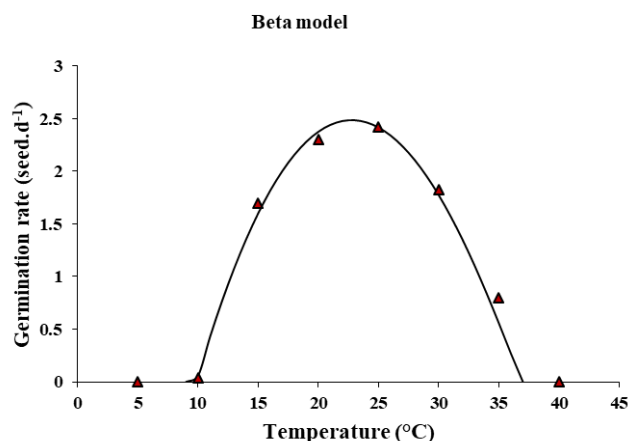


شکل ۱۱- رابطه بین دما (درجه سانتی‌گراد) و سرعت جوانه‌زنی *N. glomerulosa* بر اساس مدل دندان مانند

Figure 11- The relationship between temperature (°C) and germination rate of *N. glomerulosa* based on the dent-like model

RMSE می توان گفت که این مدل نسبت به مدل دو تکه ای و دندان مانند، دقت برازش بیشتری از برآورد دماهای کاردینال بذر *N. glomerulosa* دارد (شکل ۱۲).

در مدل بتا دمای پایه ۹/۸۴، دمای مطلوب ۲۴/۹۵ دمای سقف ۳۷ درجه سانتی گراد و R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۰۳ پیش بینی شد که نشان می دهد با توجه به افزایش مقدار جزئی از



شکل ۱۲- رابطه بین دما (درجه سانتی گراد) و سرعت جوانه زنی *N. glomerulosa* بر اساس مدل بتا

Figure 12- The relationship between temperature (°C) and germination rate of *N. glomerulosa* based on the beta model

N. glomerulosa subsp. *staffina* می باشد. بهترین شرایط جوانه زنی در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد در گونه های *N. pogonosperma* و *N. haussknechtii* ۲۵ درجه سانتی گراد در گونه *N. glomerulosa* subsp. *staffina* حاصل گردید که دماهای مطلوب جوانه زنی است. نتایج این آزمایش نشان داد در گونه های مختلف پونه سا مورد مطالعه به علت سرعت رشد اولیه مشابه، دارای اوج جوانه زنی مشابهی هستند. نتایج حاضر تا حدی با گزارش های موجود در گونه های پونه سا مطابقت دارد. بطوریکه بیش ترین درصد جوانه زنی در دامنه ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد برای پونه سای بینالودی (*Nepeta binaludensis*) و پونه سای البرزی (*Nepeta crassifolia*)، و ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد برای پونه سای انبوه (*Nepeta glomerulosa*) گزارش شده است (Bannayan et al., 2006). دمای بهینه جوانه زنی بذر، به ژنتیک گیاه و شرایط اقلیمی که گیاه در آن رشد و نمو می کند بستگی دارد. برای بذر اکثر گونه های گیاهی، دمای بهینه جوانه زنی بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد گزارش شده است (Copeland et al., 1995). با تعیین دماهای کاردینال، امکان ارزیابی محدودیت های جغرافیایی گونه ها و تعیین مناسب ترین زمان کشت آنها میسر می گردد (Hashemi et al., 2016, 2017).

واکنش جوانه زنی و سبز شدن بذور به دما و شناخت دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) برای تهیه مدل های پیش بینی کننده ی جوانه زنی و سبز شدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، غربال کردن گونه ها و ژنوتیپ ها برای تحمل به دماهای پایین یا بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه ها یا ژنوتیپ ها بتوانند با موفقیت جوانه بزنند و استقرار یابند، بررسی می شود (Mwale et al., 1994). با برازش کمی سازی واکنش جوانه زنی بذر گونه در دماهای مختلف با کمک مدل های دو تکه ای، دندان مانند می توان در گونه *N. haussknechtii* مدل دو تکه ای در گونه *N. pogonosperma* و مدل بتا در گونه *N. glomerulosa* را به عنوان مدل برتر در پیش بینی سبز شدن گیاهان فوق توصیه نمود. این نتایج نشان می دهند که مدل ثابتی را نمی توان برای گونه های یک جنس پیشنهاد داد. بدین ترتیب می توان اظهار نمود. واکنش جوانه زنی نسبت به دما به عوامل متعددی از جمله گونه های گیاهی، واریته، منطقه رویش، کیفیت بذر و مدت زمان پس از برداشت بستگی دارد (Copeland & McDonald 1995; Fakhrad et al., 2019).

دما عامل اساسی و تعیین کننده در جوانه زنی بذر سه گونه دارویی پونه سا *N. haussknechtii*، *N. pogonosperma* و

(2020; Ramin, 1997).

جوانه‌زنی می‌گردد. از میان گونه‌های مورد مطالعه درصد جوانه‌زنی *N. haussknechtii* در دمای کم‌تر (۱۵ درجه سانتی‌گراد) بیشتر بوده و لذا این گیاه سازگاری بالایی برای کشت و کار در مناطق و یا ماه‌های معتدل‌تر دارد. در پژوهشی که بر روی بذر خشخاش (Amiri Monfared et al., 2018) و آفتاب‌گردان (Mwale et al., 1994) انجام شد مشخص گردید که سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی با افزایش دما تا حد معینی افزایش می‌یابد و سپس در دماهای بالاتر با شدت بیشتری کاسته می‌شود که با مطالعه حاضر توافق دارد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج مطالعه حاضر تایید کرد که در نبود سایر عوامل محدود کننده (مانند نور و آب)، جوانه‌زنی بذر گونه‌های پونه‌سا بسیار تحت تاثیر دما قرار دارد. گونه‌های مختلف پونه‌سا مورد مطالعه به علت سرعت رشد اولیه مشابه، دارای اوج جوانه‌زنی مشابهی هستند. علاوه بر این، نتایج نشان داد مدل دندان مانند در گونه *N. haussknechtii*، مدل دو تکه‌ای در گونه *N. pogonosperma* و مدل بتا در گونه *N. glomerulosa* را به عنوان مدل برتر برای پیش‌بینی دمای کاردینال کاربرد دارد که نتیجه گرفته می‌شود مدل ثابتی را نمی‌توان برای گونه‌های یک جنس پیشنهاد داد. طبق یافته‌ها می‌توان نتیجه‌گیری نمود هر سه گونه سازگاری بالایی برای کشت و کار در مناطق و یا ماه‌های معتدل‌تر دارد. به این ترتیب می‌توان اظهار نمود تأثیری که دماهای کاردینال روی جوانه‌زنی بذر می‌گذارند، برای ارزیابی ویژگیهای جوانه‌زنی یا پتانسیل استقرار گونه‌های گیاهی مفید بوده و در فرآیند اهلی‌سازی گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

تعارض منافع

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

References

Adam, N. R., Dierig, D. A., Coffelt, T. A., & Wintermeyer, M. J. (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>

دماهای بالاتر از دمای بهینه در زمان آبنوشتی بذر می‌تواند از ورود بذر به مرحله سووم جوانه‌زنی جلوگیری کند (Brodford, 2002). زیرا احتمال دارد این افزایش دما باعث تحریک بیو سنتز هورمون بازدارنده به نام آبسزیک اسید شده و از طرفی مانع سنتز هورمون رشد به نام جیبرلین شود (Brodford, 2002). از طرف دیگر به نظر می‌رسد که کاهش جوانه‌زنی در دمای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در بذر گونه‌های مورد مطالعه به دلیل وقوع تغییرپذیری پروتئین‌های ضروری باشد. گزارش شده است که افزایش دما ظرفیت جوانه‌زنی چندین گراس چندساله مانند لولیوم و فستوکا را با القای خواب ثانویه محدود می‌کند تا اینکه جوانه‌زنی تحت شرایط مناسب محیطی صورت گیرد (Trudgill et al., 2000). افزایش دما علاوه بر اثرات یاد شده می‌تواند زوال بذر را به دنبال داشته باشد (Thygersson et al., 2002). اگر چه با افزایش دما، از درصد جوانه‌زنی در هر سه گیاه مورد مطالعه کاسته شد، ولی در گیاه *N. pogonosperma* در دمای بیشتر از بهینه (۳۰ درجه سانتی‌گراد)، درصد جوانه‌زنی بیشتر از دو گیاه دیگر بود. بالا بودن درصد جوانه‌زنی *N. pogonosperma* در دماهای بالا، نشان دهنده این است که این گیاه سازگاری بالایی برای کشت و کار در مناطق گرم‌تر و یا ماه‌های گرم‌تر دارد. کاهش درصد جوانه‌زنی در دماهای بالا در بسیاری از گیاهان دیگر از جمله اسفرزه (Hanson et al., 1992)، خشخاش (Amiri Monfared et al., 2018)، تاج‌الملوک و شاه‌دانه (Taher Abadi et al., 2015) گزارش شده است.

کاهش جوانه‌زنی در دماهای پایین به دلیل کاهش تنفس سلولی جنین بذر در طی آبنوشتی می‌باشد. در بیشتر تحقیقات، محققان ابراز داشتند که دمای پایین مقدار تبادل گازی و اکسیژن را کاهش داده و در نتیجه تنفس سلولی کاهش یافته که پیامد آن مانع رشد جنین بذر می‌باشد (Bewley & Black, 1994). از طرف دیگر بعضی از محققین احتمال می‌دهند که کاهش فرایند رشد در دماهای پایین شاید به دلیل کاهش تولید هورمون اکسین در ریشه چه جنین بذر باشد. بنابراین مقدار اکسین تولید شده در دمای پایین شاید تکافوی رشد جنین پونه‌سا را نمی‌دهد. از طرف دیگر کاهش متابولیسم سلولی در دمای کم نیز موجب کاهش

- Agrawal, R. L. (2004).** *Seed technology*. Oxford IBH Pub.
- Alvarado, V., & Bradford, K. J. (2002).** A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell & Environment*, 25(9), 1061–1069. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00894.x>
- Amiri Monfared, V., Hashemi, A., Mamedi, A., & Tavakkol Afshari, R. (2018).** Evaluation of germination characteristics and determination of cardinal temperatures of poppy (*Papaver somniferum*) seed. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 6(2), 229–239. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2018.116771> [In Persian]
- Bannayan, M., Nadjafi, F., Rastgoo, M., & Tabrizi, L. (2006).** Germination properties of some wild medicinal plants from Iran. *Journal of Seed Technology*, 28(1), 80–86. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(91\)90046-Q](https://doi.org/10.1016/0098-8472(91)90046-Q)
- Bewley, J. D., & Black, M. (1994).** *Seeds: Physiology of development and germination* (2nd ed.). Plenum Press.
- Boroumand Rezazadeh, Z., & Koocheki, A. (2006).** Evaluation of cardinal temperature for three species of medicinal plants, ajowan (*Trachyspermum ammi*), fennel (*Foeniculum vulgare*), and dill (*Anethum graveolens*). *Biaban (Desert Journal)*, 11(2), 11–16. <https://doi.org/10.22059/JDESERT.2006.31870> [In Persian]
- Bradford, K. J. (2002).** Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50(2), 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)
- Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (1995).** *Principles of seed science and technology*. Chapman and Hall.
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981).** The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9(2), 373–409.
- Ellis, R. H., Hong, T. D., Astley, D., Pinnegar, A. E., & Kraak, H. L. (1996).** Survival of dry and ultra-dry seeds of carrot, groundnut, lettuce, oilseed rape, and onion during five years; hermetic storage at two temperatures. *Seed Science and Technology*, 24(2), 347–358.
- Fakhrad, S. F., Ghanbari, A., & Rastgoo, M. (2019).** Estimation of cardinal temperatures of *Carthamus oxyantha* germination using different regression models. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 32(3), 569–578. <https://doi.org/10.22067/jpp.v32i4.66879>
- Ganjeali, A., Parsa, M., & Amiri-Deh-Ahmadi, S. R. (2011).** Determination of cardinal temperatures and thermal time requirement during germination and emergence of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research*, 2(2), 97–108. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v2i2.19070> [In Persian]
- Golmohammadzadeh, S., Zaefarian, F., Rezvani, M., & Chauhan, B. S. (2022).** Quantifying cardinal temperatures and thermal time for seed germination of *Papaver dubium* and *P. rhoeas*. *Plant Ecology and Diversity*, 15(1), 67–76. <https://doi.org/10.1080/17550874.2022.2088423>
- Hakansson, I., Myrbeck, A., & Ararso, E. (2002).** A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil and Tillage Research*, 64(1), 23–40. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00255-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00255-0)
- Hanson, C. V., Oelke, E. A., Putnam, D. H., & Oplinger, E. S. (1992).** *Psyllium*. In *Alternative field crops manual*. University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension.
- Hashemi, A., Baruti, S. H., & Tavakol Afshari, R. (2017).** Determine the cardinal temperatures of Marguerite seed (*Chrysanthemum maximum* Ramond). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(2), 77–84. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2017.108163> [In Persian]
- Hashemi, A., Tavakkol Afshari, R., & Tabrizi, L. (2016).** Quantifying seed germination response of *Plantago ovata* under temperature and drought stress regimes. *Journal of Iranian Agricultural Plants Science*, 47(1), 1–7. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2020.107995.1006> [In Persian]
- Hashemi, A., Sharif Zadeh, 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(1), 73–83. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2020.128718.1315> [In Persian]
- Iannucci, A., Fonzo, N. D., & Martiniello, P. (2000).** Temperature requirements for seed germination in four annual clovers grown under two irrigation treatments. *Seed Science and Technology*, 28(1), 59–66.
- Jalilian, A., Mazaheri, D., Tavakkol Afshari, R., Rahimian, R., Abdollahian, H., & Gohari, J. (2004).** Estimation of base temperature and the investigation of germination and field emergence trend of monogerm sugar beet under various temperatures. *Journal of Sugar Beet*, 20(2), 97–112. <https://doi.org/10.22092/jsb.2005.6866>

- Jame, Y. W., & Cutforth, H. W. (2004).** Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(3), 207–218. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.01.012>
- Jami Al-Ahmadi, M., & Kafi, M. (2007).** Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* L. *Journal of Arid Environments*, 68, 308–314. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.05.006>
- Kamkar, B., Koocheki, A. R., Nassiri Mahallati, M., & Rezvani Moghaddam, P. (2006).** Cardinal temperatures for germination in three millet species (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum*, and *Setaria italica*). *Asian Journal of Plant Science*, 5, 316–319. <https://doi.org/10.3923/ajps.2006.316.319>
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., Mahdavi-Damghani, A., & Villalobos, F. J. (2012).** Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using nonlinear regression models. *Industrial Crops and Products*, 35, 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.033>
- Mamedi, A., Salehi Shanjani, P., & Divargar, F. (2022).** Response of *Festuca arundinacea* seed germination to temperatures, water potentials, and priming treatments using hydro- and thermal-time models. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 28, 1545–1558. <https://doi.org/10.1007/s12298-022-01229-w>
- Mwale, S. S., Azam-Ali, S. N., Clark, J. A., Bradley, R. G., & Chataha, M. R. (1994).** Effect of temperature on germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Science and Technology*, 22, 565–571.
- Najafi, F. (2001).** The effect of different irrigation regimes and density on the quality and quantity of the medicinal plant *Esforza* (*Plantago ovata* Forsk.). Master's thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]
- Parmoon, G. H., Moosavi, S. A., Akbari, H., & Ebadi, A. (2015).** Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum* seed. *The Crop Journal*, 3, 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.11.003>
- Ramin, A. A. (1997).** The influence of temperature on germination of *Taree* (*Allium ampeloprasum* L. spp. *iranicum* W.). *Seed Science and Technology*, 25, 419–426.
- Shafii, B., & Price, W. J. (2001).** Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 6, 356–366. <https://doi.org/10.1198/108571101317096569>
- Soltani, A., & Maddah, V. (2010).** *Simple, applied programs for education and research in agronomy*. Shahid Beheshti University Press. [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. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2017.113288> [In Persian]
- Taher Abadi, Sh., Goldani, M., Taher Abadi, Sh., & Fazeli Kakhki, F. (2014).** Determination of cardinal temperatures in the seeds of henbane, aconite, and hemp. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 29(1), 16–22. <https://doi.org/10.22067/jpp.v29i1.22196>
- Ali, T., Javan, M., Sonboli, A., & Semnanian, S. (2011).** Antinociceptive and anti-inflammatory activities of the essential oil of *Nepeta* in experimental rat models. *Natural Product Research*, 26(16), 1529–1534. <https://doi.org/10.1080/14786419.2011.565284>
- Thygersson, T., Harris, J. M., Smith, B. N., Hansen, L. D., Pendleton, R. L., & Booth, D. T. (2002).** Metabolic response to temperature for six populations of winter fat (*Eurotia lanata*). *Thermochimica Acta*, 394(1–2), 211–217. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(02\)00253-8](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(02)00253-8)
- Tolyat, M. A., Afshari, R. T., 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(1), 28–35. <https://doi.org/10.15258/sst.2014.42.1.03>
- Trudgill, D. L., Squire, G. R., & Thompson, K. (2000).** A thermal time basis for comparing the germination requirements of some British herbaceous plants. *New Phytologist*, 145(1), 107–114. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00554.x>
- Ueno, K. (2003).** Effect of temperature during immature seed germination. *Seed Science and Technology*, 31, 587–595. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.08>