



Evaluation of Different Temperatures on Germination and Determination of Cardinal Temperatures of the Rangeland Plant *Physorhynchus chamaerapistrum* (Boiss.) Boiss as the First Report in Iran

Ahmad Zare*  | Seyed Amir Moosavi

Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

E-mail: ahmadzare@asnrukh.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 18 Feb. 2025

Revised: 30 Apr. 2025

Accepted: 17 May. 2025

Published online: 23 Sept. 2025

Keywords:

Base temperature,

Ceiling Temperature,

Dent-like model,

Grazing Management,

Rangeland Restoration,

Seedling Establishment.

Abstract

An experiment with nine constant temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, and 45°C) was conducted in 2019 at the Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan based on a completely randomized design (CRD) with 8 replications to investigate germination and determine the cardinal temperature of *Physorhynchus chamaerapistrum* (Boiss.) Boiss. The highest seed germination was 86% at 25°C. Germination percentages at temperatures of 10, 15, 20, 30, 35, and 40°C were 77%, 83%, 85%, 85%, 34%, and 13%, respectively. No germination was observed at 5 and 45°C. The relationship between imbibition time and cumulative germination percentage was described by a three-parameter sigmoid equation. According to this equation, the results indicated that the shortest time required to reach 50% germination (T_{50}) was observed at 25 and 30°C (33 and 34 hours), and the longest at 10 and 40°C (106 and 141 hours). T_{50} for temperatures of 15, 20, and 35°C was predicted to be 76, 37, and 51 hours, respectively. According to the dent-like model, the base temperature, lower optimal temperature, upper optimal temperature, and ceiling temperature were predicted to be 16.5, 22.91, 29.52, and 43.45°C, respectively. The results of this study showed that this plant could have the highest germination percentage from November to January, considering the growth conditions. Therefore, during these months, plans for managing this rangeland plant (seed dispersal and rangeland restoration) and issues related to grazing management should be considered.

Cite this article: Zare, A., Moosavi, S.A. (2025). Evaluation of Different Temperatures on Germination and Determination of Cardinal Temperatures of the Rangeland Plant *Physorhynchus chamaerapistrum* (Boiss.) Boiss as the First Report in Iran. *Journal of Range & Watershed Management*, 78 (3), 399-414. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2025.390691.1805>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Rangelands are vibrant, life-sustaining landscapes where hardy grasses, shrubs, and wildflowers have learned to thrive against the odds in deserts, dry plains, and semi-arid regions. These ecosystems aren't just scenic backdrops; they're quiet champions of our planet. Their plants act like nature's engineers: deep-rooted grasses anchor the soil, preventing erosion; shrubs like sagebrush create shelter for wildlife; and entire plant communities work together to trap carbon and purify water. But their superpowers do not stop there, as rangelands also feed livestock, sustain traditional herding cultures, and quietly fight climate change by locking away carbon. Seed germination is a critical stage in the plant life cycle, influenced by various environmental factors, particularly temperature. Understanding the cardinal temperatures (base, optimum, and ceiling) for germination is essential for ecological restoration, rangeland management, and predicting plant establishment under changing climatic conditions. *Physorhynchus chamaerapistrum* (Boiss.) Boiss., a member of the Brassicaceae family, is a valuable medicinal and rangeland species native to regions of Iran, including Behbahan, Gachsaran, and Bandar Hormozgan. Despite its ecological and economic significance, limited research exists on its germination ecology. This study aimed to investigate the effects of different temperatures on seed germination and determine the cardinal temperatures for *P. chamaerapistrum*, providing foundational data for its rangeland rehabilitation and grazing management.

Materials and Methods: The experiment was conducted in 2019 at the Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran (Mollasani), using a completely randomized design (CRD) with nine replications. Seeds were collected from Gachsaran (50°43'51.88"E, 30°21'56.07"N) and subjected to nine constant temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, and 45°C). For each treatment, 25 seeds were placed on filter paper in Petri dishes, and germination was monitored daily. Germination percentage and the time to 50% germination (T50) were recorded using standardized protocols. A three-parameter logistic sigmoidal model was fitted to cumulative germination (%) data over imbibition time (hours) using nonlinear regression to estimate T₅₀. Cardinal temperatures (base, lower optimum, upper optimum, and ceiling) were estimated using four models, including segmented, dent-like, beta four-parameter, and beta five-parameter models. Two statistical measures, Root Mean Square Error (RMSE) and Akaike Information Criterion (AIC), were used to assess and select the best-performing model.

Results and Discussion: The highest germination percentage (86%) was observed at 25°C, followed by 85% at 20 and 30°C, 83% at 15°C, 77% at 10°C, and 34% at 35°C. Germination was significantly reduced to 13% at 40°C, while no germination occurred at 5°C or 45°C. The T50 values were shortest at 25 and 30°C (33 and 34 hours, respectively) and longest at 10 and 40°C (106 and 141 hours, respectively). Intermediate T50 values were recorded at 15°C (76 hours), 20°C (37 hours), and 35°C (51 hours). Based on the dent-like model, the estimated cardinal temperatures were: base temperature (T_b): 5.16°C, lower optimum temperature (To1): 22.91°C, upper optimum temperature (To2): 29.52°C, and ceiling temperature (T_c): 45.43°C. These findings suggest that *P. chamaerapistrum* exhibits optimal germination under moderate temperatures (20–30°C), with reduced germination at extreme temperatures. The absence of germination at 5°C and 45°C indicates thermal limits for this species, consistent with adaptations to its native semi-arid habitats. The rapid germination at 25–30°C suggests that autumn and winter (November–January) are the most suitable periods for seed dispersal and rangeland rehabilitation in Gachsaran, where temperatures align with the optimal range. The study highlights the importance of temperature in seed germination ecology, particularly for rangeland species subjected to climatic stress. The estimated cardinal temperatures provide a basis for predicting germination timing under rangeland conditions, aiding restoration planning and grazing management. Furthermore, the variability in germination responses underscores the need for species-specific studies to optimize management strategies. Results advocate prioritizing seed dispersal and restoration

efforts between November and January, coinciding with natural temperature suitability in the region. Integrating these insights into rangeland management, particularly grazing schedules and reseeding protocols, can enhance ecosystem recovery and sustainable land use.

Conclusion: This study is the first comprehensive report on the germination ecology of *P. chamaerapistrum* in Iran. The findings demonstrate that germination is highly temperature-dependent, with optimal performance between 20 and 30°C and inhibition at extreme temperatures. The estimated cardinal temperatures can guide rangeland management, particularly in timing seed sowing for maximum establishment success. Future research should investigate the interactions between temperature and other environmental factors (e.g., moisture, light) to enhance restoration efforts for this ecologically significant species.

Article Type: Research Article

Acknowledgement: The findings of this study are based on Research Project No. 991/20. We extend our sincere gratitude to the Research Deputy of the University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Khuzestan for funding and supporting this project.

Conflicts of interest: Conflict of interest the authors declare no conflict of interest.



دوره ۷۸ (۳)

شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۵-۲۴۲۳

نشریه مرتع و آبخیزداری



ارزیابی دماهای مختلف بر جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال گیاه مرتعی کلمو (*Physorhynchus chamaerapistrum* (Boiss.) Boiss) به عنوان اولین گزارش در ایران

احمد زارع*^{ID} | سید امیر موسوی

گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

رایانامه: ahmadzare@asnruckh.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

آزمایش، با نه دمای ثابت (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) جهت بررسی جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال گیاه کلمو در سال ۱۳۹۹ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۸ تکرار انجام گرفت. بیشترین درصد جوانه‌زنی معادل ۸۶ درصد در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. درصد جوانه‌زنی در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۷۷، ۸۳، ۸۵، ۸۵ و ۱۳ درصد بود. در دو دمای ۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی مشاهده نگردید. رابطه بین زمان آنبوشتی و درصد جوانه‌زنی تجمعی از معادله سه پارامتره سیگموئیدی پیروی نمود. بر اساس این معادله، کمترین زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (T_{50}) در دمای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد (۳۳ و ۳۴ ساعت) و بیشترین در دو دمای ۱۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد (۱۰۶ و ۱۴۱ ساعت) مشاهده گردید. T_{50} برای دماهای ۱۵، ۲۰ و ۳۵ نیز به ترتیب ۷۶، ۵۱ و ۵۱ ساعت پیش‌بینی گردید. بر اساس مدل دندانمانند دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی و دمای سقف به ترتیب ۵/۱۶، ۲۲/۹۱، ۲۹/۵۲ و ۴۵/۴۳ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی گردید. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که این گیاه با توجه به شرایط محل رویش در ماه‌های آبان تا دی‌ماه می‌تواند بیشترین درصد جوانه‌زنی را داشته باشد و از این رو در این ماه‌ها برنامه برای مدیریت این گیاه مرتعی (پراکنش بذر و احیای مراتع) و همچنین مسایل مربوط به مدیریت چرای دام بایستی مدنظر قرار گیرد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

احیای مراتع،
استقرار گیاهچه،
دمای پایه،
دمای سقف،
مدل دندانمانند،
مدیریت چرا.

استناد: زارع؛ احمد، موسوی؛ سید امیر (۱۴۰۴). ارزیابی دماهای مختلف بر جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال گیاه مرتعی کلمو (*Physorhynchus chamaerapistrum* (Boiss.) Boiss) به عنوان اولین گزارش در ایران. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۸ (۳)، ۳۹۹-۴۱۴.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2025.390691.1805>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

اکوسیستم‌های مرتعی پس از مناطق جنگلی که تقریباً ۲۴ درصد از زمین‌های روی زمین را پوشش می‌دهند در رتبه دوم قرار دارند. مراتع بخش مهمی از علوفه مورد نیاز حیوانات و مهمترین منبع غذای بیولوژیکی هستند (Beyrampour et al., 2022; Jafarian, 2024; Mut and Ayan, 2011). بیشتر مراتع در مناطق اقلیمی خشک و نیمه خشک قرار دارند، رعایت نکردن اصول مدیریتی همراه با کم بارشی یکی از مهم‌ترین دلایل زوال پوشش گیاهی مراتع است (Holechek et al., 2020). در واقع مراتع منابع طبیعی هستند که می‌توانند برای مدت طولانی مورد استفاده قرار گیرند و در صورت رعایت قوانین مرتعداری، قابل تجدیدپذیری هستند (Ertuğ, 2023). کیفیت مراتع در نتیجه کاهش گونه‌های مفید تحت فشار چرای سنگین و اسکان گونه‌هایی که توسط حیوانات چرا نمی‌شوند کاهش می‌یابد (Darvishi et al., 2021). با ادامه استفاده بیش از حد و نامنظم از مراتع، گونه‌های گیاهی بی‌کیفیت، مضر و گونه‌های مهاجم به مرور زمان جایگزین گونه‌های گیاهی غالب و خوش‌خوراک می‌شوند (Samadi et al., 2020; Sürmen et al., 2015). همچنین برخی از گونه‌های مهاجم که به عنوان علف‌های هرز شناخته شده‌اند، با دارا بودن مواد سمی، بر کیفیت و کمیت فرآورده‌های حیوانی تأثیر منفی می‌گذارند و گاهی باعث مرگ حیوانات می‌شوند (Tracy and Sanderson, 2004). تعادل طبیعی در مراتع از اهمیت بالایی برخوردار است، به دلیل چرای شدید تا حد زیادی بهره‌وری خود را از دست داده است (Drewry et al., 2008). شناخت ترکیب گیاه‌شناسی و شناخت بیولوژی گونه‌ها برای برنامه‌ریزی و موفقیت در مطالعات اصلاح و مدیریت مرتع ضروری است (Alper and Kamil, 2015; Molaei et al., 2024; Zhang et al., 2007).

احیای گیاهان ابزار حیاتی برای مراتع تخریب شده است. این فرآیند شامل انتخاب و کاشت یا بذرپاشی گونه‌های گیاهی مناسب برای افزایش پوشش گیاهی و بهبود عملکردهای اکوسیستم است و نقش مهمی در احیا مراتع ایفا می‌کنند. یکی از چالش‌های اصلی برای استقرار گیاهان در طول احیای مراتع، شرایط محیطی سخت مناطق تخریب شده است. به همین دلیل، احیای مراتع نیازمند شناسایی گونه‌های گیاهی مناسب است که بتوانند با موفقیت در شرایط محیطی سخت استقرار یابند (Álvarez-Holguín et al., 2024). ویژگی‌های جوانه‌زنی می‌تواند شرایط محیطی را که در آن یک گونه می‌تواند به طور موفقیت آمیز مستقر شود، مرتبط باشد. در شرایط مزرعه، دما و رطوبت می‌توانند جوانه‌زنی گونه‌ها را محدود کنند و تحمل به این متغیرها به گونه بستگی دارد. بنابراین، دانستن آستانه‌ها و تحمل گونه‌های مختلف برای مدیریت بهتر احیای مراتع مفید است (Lewandrowski et al., 2021).

جوانه‌زنی بذر یک فرآیند بیولوژیکی پیچیده است که تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی (دما، رطوبت و شدت نور) و ژنتیکی قرار می‌گیرد (Alvarado and Bradford, 2002; Shafii and Price, 2001). همچنین یکی از بحرانی‌ترین دوره‌ها در چرخه زندگی گیاهان محسوب می‌شود. شرایط محیطی که مستقیماً یک بذر را احاطه می‌کند، موفقیت جوانه‌زنی و ظهور و استقرار بعدی گیاهچه را تعیین می‌کند (Kamkar et al., 2008). قرار گرفتن طولانی مدت در دمای بالا می‌تواند باعث القای خواب ثانویه در دانه‌های گیاهان شود (Nascimento et al., 2004).

دما مهمترین نیروی محرکه تأثیرگذار بر سرعت توسعه محصول است (Kamkar et al., 2012). همچنین الگوی توزیع و آشیانه اکولوژیک یک گونه گیاهی می‌تواند تحت تأثیر ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، بارندگی و دما قرار گیرد (Zare et al., 2023). اثرات دما بر رشد گیاه مبنای مدل‌هایی است که برای پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی استفاده می‌شوند. سه درجه حرارت کاردینال (حداقل، پایه، بهینه و حداکثر (سقف) محدوده دمایی را که بذرهای یک گونه خاص می‌توانند در آن جوانه بزنند توصیف می‌کند (Galindez et al., 2017; Kamkar et al., 2012; Ortega-Baes et al., 2011; Taghvaei and Ghaedi, 2010; Taghvaei et al., 2015). بر اساس تحقیقات موجود و ارزیابی کشاورزان، جوانه‌زنی ضعیف بذر و استقرار گیاهچه از دلایل نسبتاً رایج کاهش عملکرد به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Calha et al., 2022; Harris et al., 2001). جوانه‌زدن سریع بذر و استقرار مطلوب گیاه از عوامل تعیین کننده در پویایی جمعیت هر گیاهی می‌باشد (Bybordi and Tabatabaei, 2009). واکنش جوانه‌زنی به دما به عوامل مختلفی مانند گونه‌های گیاهی، واریته‌ها،

محیط رشد گیاه مادری، کیفیت بذر و مدت زمان سپری شده پس از ریزش از گیاه مادری بستگی دارد (Andreucci et al., 2016). دمای کاردینال جوانه‌زنی به دامنه سازگاری گونه‌ها نیز بستگی دارد و انطباق زمان جوانه‌زنی با شرایط مطلوب برای مراحل بعدی، ضمانت استقرار گیاهچه را به دنبال دارد (Kalai et al., 2017). در اکثر محصولات، دمای کاردینال جوانه‌زنی تقریباً با دمای کاردینال مورد نیاز برای مراحل رشد رویشی آنها یکسان است. با این حال، برخی از محققان بر این باورند که در برخی از گونه‌ها، دمای کاردینال جوانه‌زنی با دمای کاردینال رشد ریشه یا ساقه متفاوت است (Adam et al., 2007).

تیره شب‌بو (Brassicaceae) دارای ۳۳۸ جنس و ۳۷۰۰ گونه می‌باشد (Shankar et al., 2019). به دلیل تولید و باروری بذر زیاد، دارا بودن بذرهای ریز که احتیاجات جوانه‌زنی خاصی دارند و خصوصیات ویژه خفتگی (خواب بذر) که برای بقاء و پایداری به مدت طولانی مورد توجه می‌باشد می‌تواند علف‌هرز بودن بسیاری از گونه‌های خانواده براسیکاسه را تسهیل نماید (Lutman et al., 2002). در زمان انتشار بذر، بسیاری از گونه‌های خانواده شب‌بو (کلم سانان) خفتگی فیزیولوژیک دارند که منجر به محدودیت جوانه‌زنی حتی زمانی که شرایط محیطی برای رشد مناسب باشد، می‌گردد (Baskin and Baskin, 2006) و حتی بذرهای این خانواده در بانک بذر خاک به صورت خفته، بسیار متغیر بوده و در زمان‌های مختلف سبز می‌شوند (Chauhan et al., 2006). شناخت اکولوژی بذر می‌تواند در جوانه‌زنی و سبز شدن یک گونه گیاهی اطلاعات مفیدی در مورد آینده جمعیت گونه بیان نماید.

در مناطق مختلف ایران، گونه‌های مختلف گیاهی رویش داشته و در شرایط آب و هوایی مناطق مختلف رشد و بقای خود را تضمین می‌کنند. کم نیستند گیاهانی که در ایران در مناطق مختلف به عنوان یک گیاه مفید کمتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. گیاه کلمو با نام علمی (Physorhynchus chamaerapistrum (Boiss.) Boiss) به عنوان یک گیاه خاص از خانواده شب‌بو که در مناطقی از بهبهان، گچساران و بندر هرمزگان به عنوان یک گونه گیاهی قابل مشاهده بوده و در مناطقی با درجه حرارت بالا و تنش‌های محیطی زیاد همچنان به رشد و انتشار خود ادامه می‌دهد. این گیاه در ایران در برخی مقالات تحت بررسی فلور به عنوان یکی از گیاهان دارویی و مرتعی گزارش شده است (Fani and Hajhashemi, 2020; Ghaffari et al., 2021; Dehdari et al., 2021; Razmjoue and Zarei, 2017). حفاظت اکوسیستم‌های با ارزش، نیازمند حفاظت پوشش گیاهی و شناخت جوامع گیاهی و عوامل محیطی موثر بر آن در جهت مدیریت مناسب‌تر می‌باشد (Mohammadi-Rad et al., 2023). تحقیقات در مورد این گیاه می‌تواند نقش موثری در بهبود و همچنین توسعه این گیاه در مراتع داشته باشد. از این رو در گام اول جهت موفقیت یک گونه گیاهی شناخت خصوصیات اکولوژیکی مانند پاسخ به دماهای مختلف ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی اثر دماهای مختلف بر جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال این گیاه مرتعی به عنوان اولین گزارش در کشور عنوان نمود.

این تحقیق اولین مطالعه جامع در مورد دمای کاردینال جوانه‌زنی بذرهای گیاه کلمو است و با استفاده از مدل‌های مختلف، دماهای پایه، مطلوب و سقف برای جولنه‌زنی این گیاه تعیین و به عنوان اولین گزارش در ایران می‌باشد و به عنوان نوآوری این تحقیق تلقی می‌گردد.

۲. مواد و روش‌ها

جهت پاسخ به دماهای مختلف، آزمایشی با نه دمای ثابت (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد) در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۸ تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۳۹۹ انجام شد. در ابتدا بذرهای دو کاغذ صافی به تعداد ۲۵ عدد در نظر گرفته شد. بذرهای گیاه مورد مطالعه از منطقه گچساران با مشخصات طول جغرافیایی 50°43'51.88"E و عرض جغرافیایی 30°21'56.07"N جمع‌آوری گردید.

با توجه به نوع میوه گیاه کلمو (خورجینک) و وجود بذر در یک پوسته بسیار سخت، بذرهای در ابتدا از پوسته خارج و سپس درون پتری‌دیش‌ها قرار داده شدند. شکل ظاهری گیاه و همچنین میوه و بذر در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. شکل ظاهری بوته، گل، میوه و بذر گیاه کلمو (منطقه گچساران)

برای شروع جوانه‌زنی برای هر پتری‌دیش ۵ میلی‌لیتر آب مقطر در نظر گرفته شد و در صورت نیاز در طول دوره شمارش بذرها رطوبت تامین گردید. شمارش بذرها به صورت روزانه انجام شد. معیار جوانه‌زنی مشاهده ریشه‌چه به طول ۲ تا ۳ میلی‌متر بود. طول دوره آزمایش ۱۵ روز در نظر گرفته شد.

برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی، در ابتدا درصد جوانه‌زنی تجمعی^۱ از معادله سیگموئیدی سه پارامتره (معادله یک) استفاده شد (Zare et al., 2021).

$$CG = \frac{a}{1 + \exp\left(\frac{-(t - T_{50})}{b}\right)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

¹ Cumulative Germination

a = حداکثر جوانه‌زنی

b = شیب خط

T₅₀ = زمان مورد نیاز (روز) برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی

همچنین سرعت جوانه‌زنی^۲ از معادله زیر (معادله ۲) به دست آمد.

$$GR = \frac{1}{T_{50}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

برای تعیین دمای کاردینال معادلات دوتکه‌ای، دندانه‌ای، بتاپنج و چهارپارامتره مورد استفاده قرار گرفت که در جدول ۱ ذیل پارامترهای هر معادله بیان شده است (Zare et al., 2021).

جدول ۱. معادلات مورد استفاده دو تکه‌ای، دندانه‌ای، بتا پنج و چهارپارامتره برای تعیین دمای کاردینال

$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \quad \text{if } T_b < T < T_o$ $f(T) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} \quad \text{if } T_o < T < T_c$ $f(T) = 0 \quad \text{if } T < T_b \text{ or } T > T_c$	دوتکه‌ای
$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_{o1} - T_b)} \quad \text{if } T_b < T \leq T_{o1}$ $f(T) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} \quad \text{if } T_{o2} < T \leq T_c$ $f(T) = 1 \quad \text{if } T_{o1} < T \leq T_{o2}$ $f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$	دندانه‌ای
$*a f(T) = \left[\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} * \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_b)} \right]^{\frac{(T_c - T_o)}{(T_o - T_b)}}$	بتا پنج پارامتره
$f(T) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} * \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}^{\frac{(T_o - T_b)}{(T_c - T_o)}}$	بتا چهار پارامتره

در معادلات استفاده شده T_b (دمای پایه)، T_o (دمای مطلوب یا بهینه)، T_c (دمای حداکثر یا دمای سقف)، T_{o1} (دمای مطلوب تحتانی)، T_{o2} (دمای مطلوب فوقانی)، f_o (حداقل زمان برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب)، a پارامتر شکل در تابع بتا و T دمای آزمایش می‌باشند. دو شاخص مهم ریشه میانگین مربعات خطا و شاخص آکائیک برای انتخاب بهترین مدل دماهای کاردینال استفاده می‌گردد. هر چه شاخص‌های مورد ارزیابی کمتر باشند نشان‌دهنده اعتبار بیشتر مدل می‌باشد (Zare et al., 2020; Zare et al., 2023).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_{obs} - Y_{pred})^2} \quad \text{ریشه میانگین مربعات خطا} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$AICc = n \ln \frac{RSS}{N} + 2K + \left(\frac{2K(K+1)}{N-K-1} \right) \quad \text{شاخص آکائیک} \quad \text{رابطه (۴)}$$

n = تعداد نمونه

RSS = جمع مربعات باقیمانده

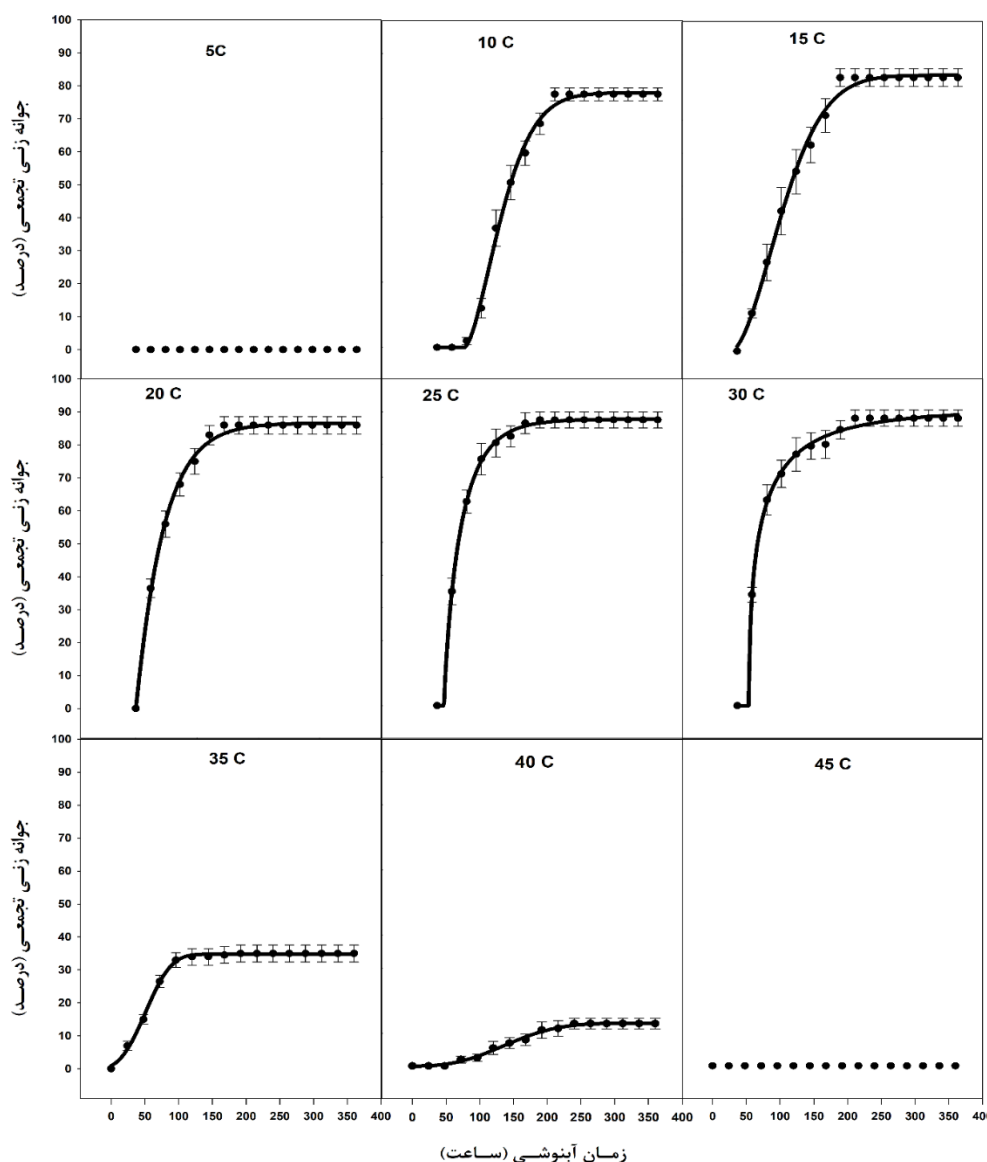
K = تعداد پارامترهای مدل

تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس تجزیه رگرسیون و رسم شکل‌ها با نرم افزار سیگماپلات (SigmaPlot 14) انجام گردید.

² Germination Rate

۳. یافته‌های پژوهش

روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی گیاه کلمو از تابع سیگموئیدی پیروی نمود و نتایج نشان داد که با گذشت زمان آبنوشی درصد جوانه‌زنی افزایش یافت. نکته بارز در مورد درصد جوانه‌زنی تجمعی مشهود بود، در دماهای پایین به مانند ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد و دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مانند ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد، زمان رسیدن به حداکثر درصد جوانه‌زنی نسبت به سایر دماها به مانند ۲۰ و ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد در کمتر از ۱۰۰ ساعت، حداکثر جوانه‌زنی تجمعی مشاهده گردید و در دماهای ۳۵، ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد برای رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی زمان‌های بیشتر از ۱۰۰ ساعت مورد نیاز بود (شکل ۲). همچنین در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد زمان لازم برای رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی نسبت به سایر دماها بیشتر بود. همچنین نتایج نشان داد که این گیاه در دماهای ۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد قادر به جوانه‌زنی نبود (شکل ۲).



شکل ۲. رابطه بین زمان آبنوشی و درصد جوانه‌زنی تجمعی گیاه کلمو در دماهای مختلف

برآورد پارامترهای برازش داده شده به داده‌های جوانه‌زنی بر اساس معادله سه پارامتره سیگموئیدی نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی معادل ۸۶ درصد در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد (پارامتر a). در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد، حداکثر درصد جوانه‌زنی به ترتیب ۷۷، ۸۳، ۸۵ و ۸۵ درصد پیش‌بینی گردید. همچنین نتایج نشان داد که حداکثر درصد جوانه‌زنی در دو دمای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۳۴ و ۱۳ درصد پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که این گیاه می‌تواند در دامنه دمایی ۱۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی داشته باشد، با این تفاوت که در دماهای پایین‌تر، دارای جوانه‌زنی بیشتری نسبت به دماهای بالاتر دارد. همچنین بر اساس پارامتر T_{50} زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی بین دماهای مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی مربوط به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد با ۱۴۱ ساعت بود. بعد از این دما بیشترین زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی مربوط به دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۱۰۶ ساعت بود. بعد از دو دمای ۴۰ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در دماهای ۱۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد به میزان ۷۶ و ۵۱ ساعت بود. نتایج نشان داد که کمترین زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی مربوط به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به میزان ۳۳ ساعت بود و در دو دمای ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد نیز مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی به ترتیب معادل ۳۷ و ۳۴ ساعت بود (جدول ۲).

جدول ۲. پارامترهای برازش داده شده بر اساس معادله سه پارامتره سیگموئیدی به دماهای مختلف

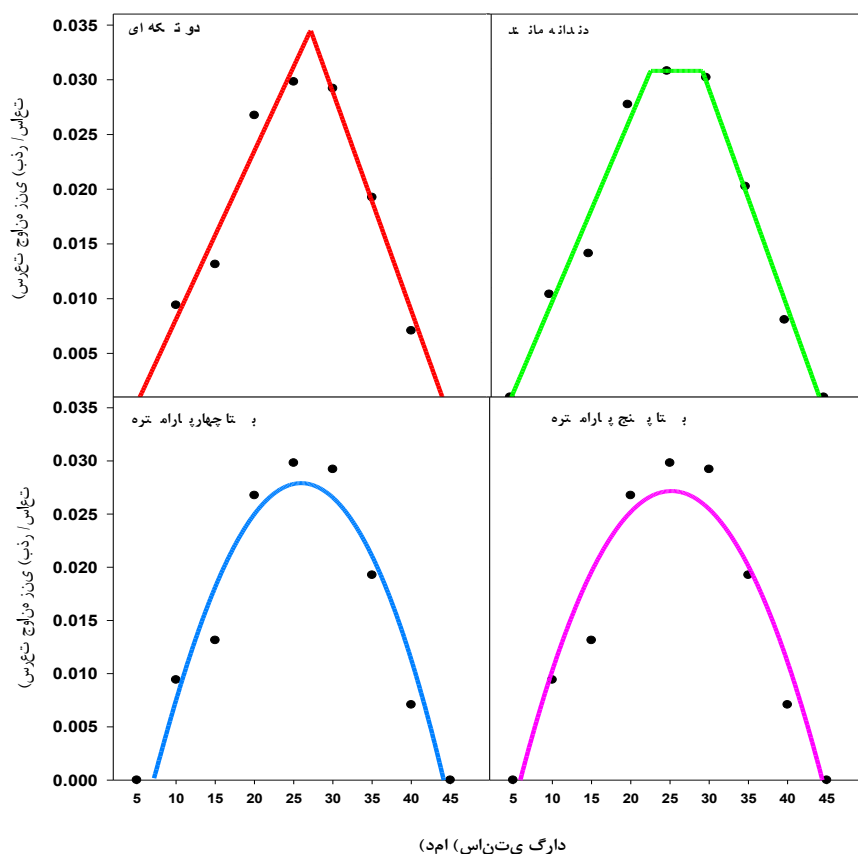
دما	حداکثر جوانه‌زنی (درصد)	شیب خط	زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (ساعت)	ضریب تبیین
۵	-	-	-	-
۱۰	۷۷/۳۱ (۱/۰۶)	۲۴/۰۴ (۲/۰۹)	۱۰۶/۲۲ (۲/۴۱)	۰/۹۹
۱۵	۸۳/۳۱ (۱/۱۰)	۳۱/۲۲ (۲/۴۴)	۷۶/۱۱ (۲/۷۲)	۰/۹۹
۲۰	۸۵/۴۸ (۱/۶۲)	۲۰/۳۷ (۲/۷۷)	۳۷/۳۸ (۰/۲/۹۸)	۰/۹۸
۲۵	۸۶/۳۳ (۱/۰۳)	۱۵/۳۴ (۱/۷۹)	۳۳/۵۴ (۲/۰۰)	۰/۹۹
۳۰	۸۵/۳۸ (۱/۴۵)	۱۶/۵۰ (۲/۶۵)	۳۴/۲۳ (۲/۹۴)	۰/۹۸
۳۵	۳۴/۸۸ (۰/۲۰)	۱۷/۱۷ (۰/۸۶)	۵۱/۹۲ (۰/۹۸)	۰/۹۹
۴۰	۱۳/۱۷ (۰/۲۵)	۳۴/۷۶ (۲/۹۱)	۱۴۱/۳۱ (۳/۴۴)	۰/۹۹
۴۵	-	-	-	-

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می‌باشد.

۳-۱. تعیین دمای کاردینال

چهار مدل دو تکه‌ای، دندانمانند، بتا چهار و بتا پنج پارامتره به داده‌های سرعت جوانه‌زنی گیاه کلمو برازش داده شده است. بر اساس چهار مدل با افزایش دما سرعت جوانه‌زنی افزایش و بعد از آن در دماهای بالا سرعت جوانه‌زنی سیر نزولی را نشان داد (شکل ۳). مقایسه چهار مدل برای تعیین دمای کاردینال گیاه کلمو (دو تکه‌ای، دندانمانند، مدل پنج پارامتره بتا و چهار پارامتره بتا) نشان داد که دمای پایه به ترتیب ۴/۷۲، ۵/۱۶، ۵/۹۱ و ۷/۱۱ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی گردید. همچنین دمای سقف گیاه کلمو در چهار مدل مورد ارزیابی دو تکه‌ای، دندانمانند، بتا پنج پارامتره و بتا چهار پارامتره به ترتیب ۴۴/۴۵، ۴۵/۴۳، ۴۴/۴۳ و ۴۴/۱۳ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. در سه مدل دو تکه‌ای، بتا پنج پارامتره و چهار پارامتره دمای مطلوب جوانه‌زنی (T_0) به ترتیب ۲۷/۱۵، ۲۴/۷۸ و ۲۵/۹۴ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید. همچنین بر اساس مدل دندانمانند با دارا بودن دو دمای مطلوب تحتانی و فوقانی این میزان به ترتیب ۲۲/۹۱ و ۲۹/۵۲ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی گردید. پارامتر F_0 که نشان دهنده حداقل مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی مطلوب می‌باشد در چهار مدل دو تکه‌ای، دندانمانند، بتا پنج پارامتره و چهار پارامتره به ترتیب ۲۸/۹۵، ۱۴/۵۴، ۳۹/۳۳ و ۳۵/۸۲ ساعت پیش‌بینی گردید. برای ارزیابی مناسبترین مدل، سه شاخص ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و شاخص آکائیک می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در شرایط ارزیابی ضریب تبیین، هر مدل که دارای ضریب تبیین بالاتری بود می‌تواند جهت ارزیابی مدل‌ها به عنوان شاخص اول در نظر

گرفته شود. در چهار مدل مورد بررسی دو مدل دو تکه‌ای و دندان‌های نسبت به مدل‌های بتا دارای ضریب تبیین بالاتر بودند (جدول ۳). بیشترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا مربوط به مدل پنج پارامتره بتا و کمترین در دو مدل دو تکه‌ای و دندان‌های به ثبت رسید. مقادیر شاخص آکائیک نشان داد که بیشترین مقدار به مدل دو تکه‌ای و کمترین به مدل دندان‌مانند اختصاص یافت (جدول ۲).



شکل ۳. تعیین دمای کاردینال بر اساس چهار مدل تکه‌ای، دندان‌مانند، بتا چهار و پنج پارامتره

جدول ۳. پارامترهای مدل‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی گیاه کلمو

ساختی‌گراد										
شاخص	ریشه میانگین	ضریب تبیین	ضریب ثابت	ضریب	دمای	دمای مطلوب	دمای مطلوب	دمای	دمای پایه	عادات
آکائیک	مربعات خطا			رگرسیون	سقف	فوقانی	تحتانی	مطلوب	Tb	
A _{AIC}	RMSE	R ²	A	F _o	T _c	T _{O2}	T _{O1}	T _O		
۸۴/۷۱	۰/۰۰۲۳	۰/۹۸	-	۲۸/۹۵ (۱/۳۰)	۴۴/۴۵ (۰/۹۱)	-	-	۲۷/۱۵ (۰/۸۹)	۴/۷۲ (۱/۱۷)	دو تکه‌ای
۶۲/۵۸	۰/۰۰۲۳	۰/۹۹	-	۳۳/۵۴ (۲/۵۹)	۴۵/۴۳ (۰/۹۲)	۳۹/۵۲ (۱/۵۳)	۲۲/۹۱ (۱/۹۳)	-	۵/۱۶ (۱/۱۳)	دندان‌های
۶۹/۴۱	۰/۰۰۴۸	۰/۹۵	۱/۰۲ (۰/۷)	۳۹/۱۴ (۲/۵۵)	۴۴/۴۳ (۱/۰۷)	-	-	۲۴/۷۸ (۰/۹۳)	۵/۹۱ (۱/۹۲)	بتا پنج پارامتره
۷۵/۶۹	۰/۰۰۳۸	۰/۹۵	-	۳۵/۸۲ (۲/۵۹)	۴۴/۱۳ (۰/۹۸)	-	-	۲۵/۹۴ (۱/۸۱)	۷/۱۱ (۳/۴۳)	بتا چهارپارامتره

اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می‌باشند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

پاسخ بذره‌های گیاه کلمو به دما نشان داد، که این گیاه در دامنه دمایی ۱۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد قادر به جوانه‌زنی می‌باشد. در دماهای ۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی مشاهده نگردید. در دو دمای ۳۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد کمترین درصد جوانه‌زنی به میزان ۳۴ و ۱۳ درصد ثبت گردید. نتایج نشان داد که در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل دمای بالا و احتمال تغییرات در فعالیت‌های شیمیایی، مراحل آنبوشتی با تاخیر شروع و در نتیجه مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. در واقع در دماهای پایین، نیز احتمالاً سرعت واکنش‌های شیمیایی کمتر خواهد بود و می‌تواند بر فرایندهای جذب آب تأثیرگذار باشد. بنابراین سرعت فعالیت‌های شیمیایی می‌تواند در یک محدوده خاصی از دما به حداکثر برسد که برای گیاه کلمو و با توجه به شرایط رشدی بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نسبت به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیش از ۴ برابر بود. همچنین زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در دمای ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۳/۱۲ و ۲/۳ برابر پیش‌بینی گردید.

جوانه‌زنی مرحله‌ای حیاتی در چرخه زندگی گیاهان است که در شرایط دشوار مناطق خشک قرار می‌گیرند. این مرحله تأثیر جدی بر پوشش گیاهی بعدی نیز دارد، به‌ویژه، گونه‌های یک‌ساله که به بانک بذر خود برای جبران تغییرات سالانه شرایط رشد متکی به تولید بذر هستند (Mnif Fakhfakh et al., 2025).

دما یکی از پارامترهای حاکم بر جوانه‌زنی بذر است. دما سرعت جذب آب توسط بذر و واکنش‌های بیوشیمیایی که فرآیند جوانه‌زنی و رشد را تنظیم می‌کنند، تحت تأثیر قرار می‌دهد (Felix et al., 2020). در طول فرایند جوانه‌زنی، یک سری تغییرات فیزیولوژیکی به‌مانند تجزیه آمیلاز در لندوسپرم برای تولید گلوکز، که به عنوان منبع انرژی ضروری است، رخ می‌دهد (Hajhashemi et al., 2020). همچنین، پاسخ‌های هورمونی که توسط برخی فیتوهورمون‌ها مانند براسیناستروئیدها (Wang et al., 2023)، جیبرلین‌ها (Song et al., 2019) و سایر ترکیبات که نقش‌های حیاتی در متابولیک ایفا می‌کنند، فعال می‌شوند. تغییرات دما همچنین بر درصد، یکنواختی و سرعت جوانه‌زنی تأثیر می‌گذارد (Toscano et al., 2025).

نتایج عظیمی و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر اثر دماهای ثابت بر گونه *Poterium sanguisorba* نشان داد که این گیاه در دماهای ۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد قادر به جوانه‌زنی نبود و در دماهای ۱۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد جوانه‌زنی بین ۸۷ تا ۹۱ درصد گزارش گردید (Azimi et al., 2016). همچنین زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد ۸/۳۰ روز و در دماهای ۳۰ و ۳۵ روز به ترتیب ۳/۱۰ و ۲/۷۷ روز بود (Azimi et al., 2016). همچنین نتایج اثر دماهای ثابت بر شاخص سرعت جوانه‌زنی گیاه *Eragrostis plana* نشان داد که با افزایش دما شاخص سرعت جوانه‌زنی افزایش و بیشترین در دمای ۳۵ درجه مشاهده گردید و با افزایش دما به ۴۰ درجه سانتی‌گراد شاخص سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (Bittencourt et al., 2017). نتایج اثر دما بر گونه‌های گیاه مرتعی نشان داد که مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد دارای کمترین مقدار بود و در دماهای زیر ۱۵ درجه و دماهای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی مجدداً افزایش یافت (Gresta et al., 2010).

اسپیگارس و پیکو (۱۹۹۳) معتقدند که دما در زمان رسیدن باران‌های پاییزی بر پیکربندی مرتع تأثیر می‌گذارد، زیرا گونه‌های موجود در این جوامع رفتار جوانه‌زنی متفاوتی در رابطه با شرایط آب و هوایی مختلف پاییز دارند. تنوع گسترده رفتار جوانه‌زنی، ممکن است یکی از عواملی باشد که امکان همزیستی تعداد زیادی از گونه‌های مرتعی مدیترانه‌ای را در شرایط نوسان محیطی در زمان زادآوری فراهم نماید (Espigares and Peco, 1993).

با توجه به معیار بهترین مدل مبنی بر بالا بودن ضریب تبیین و پایین بودن ریشه میانگین مربعات خطا و شاخص آکائیک، می‌توان مدل دندلنه‌ای را به عنوان بهترین مدل برای تعیین دمای کاردینال گیاه مرتعی کلمو انتخاب نمود. نتایج انصاری و همکاران (۲۰۱۶)

بروی گیاه پنیرک نشان داد که در ارزیابی مدل‌ها برای دمای کاردینال مدل دندان مانند نسبت به بقیه مدل‌ها برآورد بهتری از دمای‌های کاردینال ارائه نمود (Ansari et al., 2016).

با توجه به رویش و جمع‌آوری این گیاه مرتعی در منطقه گچساران، زمان رسیدن کامل این گیاه و ریزش میوه در اواخر بهار، یک استراتژی برای جلوگیری جوانه‌زنی از بذرها در تابستان وجود دارد، چرا که در این شرایط دما برای جوانه‌زنی و همچنین بارندگی برای جوانه‌زنی فراهم نیست. با توجه به نتایج، این گیاه مکانیسم جوانه‌زنی خود را طوری طراحی می‌نماید که در تابستان و قرارگیری بذرها که از گیاه مادری ریزش پیدا کرده‌اند منجر به پوسیده شدن پوسته سخت بذر شده و در اواخر پاییز با مهیا شدن شرایط مطلوب دمایی (۱۰-۲۵) درجه سانتی‌گراد و همچنین نزولات جوی به بقای خود کمک می‌نماید. نتایج میلتن (۱۹۹۵) نشان داد که در محیط‌های خشک، بسیاری از دانه‌ها پس از باران پاییزی و آغاز زمستان هنگام کاهش دما جوانه می‌زنند (Milton, 1995). گاترمن (۲۰۱۲) معتقد است که در مناطقی که تابستان‌های طولانی، خشک و گرم دارند، جوانه‌زنی بذر باید عمدتاً به دلیل برهمکنش دما و بارندگی ایجاد شود تا از جوانه‌زنی زود هنگام پس از بلوغ بذر که پس از بارندگی‌های دیر هنگام در فصل بارانی قبل از تابستان رخ می‌دهد، جلوگیری شود (Guterman, 2012) و این استراتژی برای اکثر گیاهان بیابانی و مرتعی به خصوص برای گونه بهمن یا استیپا (*Stipa capensis*) مرسوم است (Gresta et al., 2010).

به طور کلی، شناخت و نتایج این تحقیق می‌تواند در مدیریت این گیاه مرتعی کمک نماید. در مکان‌های که این گونه حضور دارد، در ماه‌های آذر تا بهمن ماه بایستی از چرای مفرط که همزمان با بیشترین جوانه‌زنی و سبز شدن این گونه می‌باشد خودداری نمود و از طرف دیگر اگر در مناطقی نیاز به بذرباشی برای احیاء و گسترش این گونه در مراتع می‌باشد می‌توان بر اساس این نتایج در ماه‌های آذر تا بهمن که دما مطلوب و همچنین نزولات جوی به خصوص بارندگی وجود دارد، انجام گیرد. پیشنهاد می‌گردد با توجه به نتایج این تحقیق، سایر مطالعات به خصوص تأثیرات تغییرات اقلیمی بر پویایی جمعیت و همچنین میزان زنده‌مانی بذر در شرایط پوسته سخت بذر و در شرایط عدم پوسته بذر مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین خصوصیات رشدی و مراحل رشدی این گونه بر اساس درجه روز-رشد و شناسایی ترکیبات آن نیز می‌تواند به عنوان تحقیقات آینده در نظر گرفته شود.

سپاس‌گزاری

نتایج تحقیق حاضر مستخرج از طرح پژوهشی به شماره ۹۹۱/۲۰ می‌باشد. بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جهت تأمین اعتبار طرح تشکر می‌گردد.

References

- 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.
- Alper, B. A., & Kamil, K. (2015). A comprehensive approach of Botanical Compositions and Forage Yields in a Rangeland. *Research Journal of Biotechnology*, 10(10), 14-20.
- Alvarado, V., & Bradford, K. (2002). A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell & Environment*, 25(8), 1061-1069.
- Álvarez-Holguín, A., Morales-Nieto, C. R., Corrales-Lerma, R., Ochoa-Rivero, J. M., Ponce-García, O. C., Prieto-Amparán, J. A., Vega-Mares, J. H., & Villarreal-Guerrero, F. (2024). Grass species with potential for rangelands restoration in northern Mexico: an assessment with environmental niche modeling. *Scientific reports*, 14(1), 6318.
- Andreucci, M., Moot, D., Black, A., & Sedcole, R. (2016). A comparison of cardinal temperatures estimated by linear and nonlinear models for germination and bulb growth of forage brassicas. *European Journal of Agronomy*, 81, 52-63.

- Ansari, O., Gharekhloo, J., Kamkar, B., & Ghaderi-Far, F. (2016). Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for *Malva sylvestris* using nonlinear regression. *Seed Science and Technology*, 44(3), 447-460.
- Azimi, R., Heshmati, G. A., Kianian, M. K., & Hossein, J. S. (2016). Investigating the germination characteristics of *Poterium sanguisorba* seeds under the influence of thermal treatments for pasture establishment. *Journal of Rangeland Science*, 6(1), 53-62 (InPersian).
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2006). The natural history of soil seed banks of arable land. *Weed Science*, 54(3), 549-557.
- Beyrampour, F., Moameri, M., Ghorbani, A., Sharari, M., & Khalaki, M. A. (2022). Effect of some facilitators on growth characteristics of *Trifolium repens* L. *Journal of Rangeland*, 16(1): 191-205 (InPersian).
- Bittencourt, H., Bonome, L., Trezzi, M., Vidal, R., & Lana, M. (2017). Seed germination ecology of *Eragrostis plana*, an invasive weed of South American pasture lands. *South African Journal of Botany*, 109, 246-252.
- Bybordi, A., & Tabatabaei, J. (2009). Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2), 71-76.
- Calha, I., Oliveira, M. d. F., & Reis, P. (2022). Weed Management Challenges in Rice Cultivation in the Context of Pesticide Use Reduction: A Survey Approach. *Sustainability*, 15(1), 244.
- Chauhan, B. S., Gill, G., & Preston, C. (2006). African mustard (*Brassica tournefortii*) germination in southern Australia. *Weed Science*, 54(5), 891-897.
- Darvishi, L., Barani, H., Akbarloo, M., & Ghelichnia, H. (2021). Preferential value of Allium species grazed by Shal using timing method in the summer rangeland of Noor rud. *Journal of Rangeland*, 15(1), 98-109 (InPersian).
- Drewry, J., Cameron, K., & Buchan, G. (2008). Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing—a review. *Soil Research*, 46(3), 237-256.
- Ertuş, M. M. (2023). Determination of the botanical composition of the otluca village pasture in hakkari province. topics in, 3.
- Espigares, T., & Peco, B. (1993). Mediterranean pasture dynamics: the role of germination. *Journal of Vegetation Science*, 4(2), 189-194.
- Fani, E., & Hajhashemi, S. (2020). Effect of foliar application of silica on some physiological traits of (*Physorrhynchus chamaerapistrum* L.) medicinal plant. *Journal of Plant production Sciences*, 10(1), 92-10 (InPersian).
- Felix, F. C., Medeiros, J. A. D. d., Ferrari, C. d. S., Pacheco, M. V., & Torres, S. B. (2020). Molecular aspects during seed germination of *Erythrina velutina* Willd. under different temperatures (Part 1): reserve mobilization. *Journal of Seed Science*, 4, 2e202042029.
- Galindez, G., Seal, C., Daws, M., Lindow, L., Ortega-Baes, P., & Pritchard, H. (2017). Alternating temperature combined with darkness resets base temperature for germination (Tb) in photoblastic seeds of *Lippia* and *Aloysia* (Verbenaceae). *Plant Biology*, 19(1), 41-45.
- Ghaffari, M., Ghamari Zare, A., Asadi Corom, F., & Sedaghati, M. (2021). Chromosome studies on some species of Angiosperms from Iran. *Rostaniha*, 22(2), 223-229 (InPersian).
- Gresta, F., Cristaudo, A., Onofri, A., Restuccia, A., & Avola, G. 2010). Germination response of four pasture species to temperature, light, and post-harvest period. *Plant Biosystems*, 144(4), 849-856.
- Guterman, Y. (2002). *Survival strategies of annual desert plants*. Springer Science & Business Media.
- Hajhashemi, S., Skalicky, M., Brestic, M., & Pavla, V. (2020). Cross-talk between nitric oxide, hydrogen peroxide and calcium in salt-stressed *Chenopodium quinoa* Willd. At seed germination stage. *Plant Physiology and Biochemistry*, 154, 657-664.
- Harris, D., Pathan, A. K., Gothkar, P., Joshi, A., Chivasa, W., & Nyamudeza, P. (2001). On-farm seed priming: using participatory methods to revive and refine a key technology. *Agricultural Systems*, 69(1), 151-164.
- Holechek, J. L., Geli, H. M., Cibils, A. F., & Sawalhah, M. N. (2020). Climate change, rangelands, and sustainability of ranching in the Western United States. *Sustainability*, 12(12), 4942.
- Jafarian, Z. (2024). Investigating the Potential Habitat of *Bromus stenostachyus* Boiss. in Mazandaran Rangelands Using an Ensemble Modeling Approach. *Journal of Rangeland*, 17(4), 513-52 (InPersian).
- Kalai, S., Anzala, L., Bensoussan, M., & Dantigny, P. (2017). Modelling the effect of temperature, pH, water activity, and organic acids on the germination time of *Penicillium camemberti* and *Penicillium roqueforti* conidia. *International Journal of Food Microbiology*, 240, 124-130.
- Kamkar, B., Ahmadi, M., Soltani, A., & Zeinali, E. (2008). Evaluating non-linear regression models to describe response of wheat emergence rate to temperature. *Seed Science and Biotechnology*, 2(2), 53-57.

- Kamkar, B., Al-Alahmadi, M. J., 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 non-linear regression models. *Industrial Crops and Products*, 35(1), 192-198.
- Lewandrowski, W., Stevens, J. C., Webber, B. L., L Dalziel, E., Trudgen, M. S., Bateman, A. M., & Erickson, T. E. (2021). Global change impacts on arid zone ecosystems: Seedling establishment processes are threatened by temperature and water stress. *Ecology and Evolution*, 11(12), 8071-8084.
- Lutman, P., Cussans, G., Wright, K., Wilson, B., Wright, G. M., & Lawson, H. (2002). The persistence of seeds of 16 weed species over six years in two arable fields. *Weed Research*, 42(3), 231-241.
- Milton, S. J. (1995). Spatial and temporal patterns in the emergence and survival of seedlings in arid Karoo shrubland. *Journal of Applied Ecology*, 145-156.
- Mnif Fakhfakh, L., Abassi, S., & Chaieb, M. (2025). Effect of temperature, salinity and water potential on seed germination of annual grass *Stipa capensis*. *Arid Land Research and Management*, 39(1), 87-103.
- Mohammadi-Rad, Z., Sheidai-Karkaj, E., Mofidi-Chelan, M., & Younessi-Hamzekhanlu, M. (2023). The relationship between the morphological traits of the medicinal plant *Stachys inflata* Benth and environmental factors. *Journal of Rangeland*, 17(1), 145-164 (InPersian).
- Molaei, M., Ghorbani, A., Moameri, M., Motamedi, J., & Hazbavi, Z. (2024). Modeling of *Artemisia austriaca* habitat in rangelands of Ardabil province [Research]. *Journal of Rangeland*, 18(1), 42-56 (InPersian).
- Mut, H., & Ayan, I. (2011). Effects of different improvement methods on some soil properties in a secondary succession rangeland. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 5(13), 11-16.
- Nascimento, W. M., Cantliffe, D. J., & Huber, D. J. (2004). Ethylene evolution and endo-beta-mannanase activity during lettuce seed germination at high temperature. *Scientia Agricola*, 61, 156-163.
- Dehdari, S., Noedoost, F., Kazemi, S. R., Farahinia, M., & Shojaei, F. (2021). Flora, Life Form and Chorology of plants in the Dareh Anar watershed basin in Bagmalek-Khuzestan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 34(2), 411-427 (InPersian).
- Ortega-Baes, P., Galíndez, G., Sühring, S., Rojas-Aréchiga, M., Daws, M., & Pritchard, H. (2011). Seed germination of *Echinopsis schickendantzii* (Cactaceae): the effects of constant and alternating temperatures. *Seed Science and Technology*, 39(1), 219-224.
- Razmjoue, D., & Zarei, Z. (2017). Ethnobotanical study identification, medical properties and how to use of some medicinal plants of Behbahan city of Khuzestan province, Iran. *Journal of Medicinal Plants*, 16(64), 33-49 (InPersian).
- Samadi, S., Ghorbani, A., Moameri, M., Abbaغasi, M., & Bidar, M. (2020). The impact of invasive species *Leucanthemum vulgare* Lam. on vegetation characteristics of Fandoghlu rangelands in Namin county, Ardabil, Iran. *Journal of Rangeland*, 14(3), 379-392 (InPersian).
- Shafii, B., & Price, W. J. (2001). Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of agricultural, biological, and environmental statistics*, 6, 356-366.
- Shankar, S., Segaran, G., Sundar, R. D. V., Settu, S., & Sathivelu, M. (2019). Brassicaceae-A classical review on its pharmacological activities. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 55(1), 107-113.
- Song, Q., Cheng, S., Chen, Z., Nie, G., Xu, F., Zhang, J., Zhou, M., Zhang, W., Liao, Y., & Ye, J. (2019). Comparative transcriptome analysis revealing the potential mechanism of seed germination stimulated by exogenous gibberellin in *Fraxinus hupehensis*. *BMC plant biology*, 19, 1-17.
- Sürmen, M., Yavuz, T., Sürmen, B., & Kutbay, H. G. (2015). Determination of the population densities of invasive species in meadows and pastures of Samsun. *Turkish Journal of Weed Science*, 18(3), 9-10.
- Taghvaei, M., & Ghaedi, M. (2010). The impact of cardinal temperature variation on the germination of *Haloxylon aphyllum* L. seeds. *Journal of Ecology and Environment*, 33(3), 187-193.
- Taghvaei, M., Sadeghi, H., & Khaef, N. (2015). Cardinal Temperatures for Germination of the Medicinal Anddesert Plant, *Calotropis procera*. *Planta Daninha*, 33, 671-678.
- Toscano, S., Romano, D., Cafaro, V., & Patanè, C. (2025). Annual Garden Rocket and Radish as Microgreens: Seed Germination Response to Thermal and Salt Stress. *Agronomy*, 15(2), 361.
- Tracy, B. F., & Sanderson, M. A. (2004). Forage productivity, species evenness and weed invasion in pasture communities. *Agriculture, ecosystems & environment*, 102(2), 175-183.

- Wang, X., Chai, J., Liu, W., Zhu, X., Liu, H., & Wei, X. (2023). Promotion of Ca^{2+} Accumulation in Roots by Exogenous Brassinosteroids as a Key Mechanism for Their Enhancement of Plant Salt Tolerance: A Meta-Analysis and Systematic Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(22), 16123.
- Zare, A., Elahifard, E., Adnani, Z. T., & Roustaci, A. (2020). Quantifying field weeds emergence pattern of weeds in rapeseed (*Brassica napus* L.) under weather conditions of Khuzestan, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 20(2), 198-211 (InPersian).
- Zare, A., Malekpoor, M., & Arabizadeh, M. (2021). Determining Cardinal Temperature for Seed Germination of Four Weeds Brassicaceae Family. *Journal of Crops Improvement*, 23(2), 417-428 (InPersian).
- Zare, M., Ghorbani, A., Moameri, M., Sahragard, H. P., Mostafazadeh, R., Hosseini, Z., & Dadjou, F. (2023). Effect of Environmental Factors on Habitat Prediction of Species *Dorema ammoniacum* D. DON. in Nadoushan Rangelands, Yazd Province. *Journal of Rangeland*, 17(1), 66-81 (InPersian).
- Zhang, B., Valentine, I., & Kemp, P. D. (2007). Spatially explicit modelling of the impact of climate changes on pasture production in the North Island, New Zealand. *Climatic Change*, 84(2), 203-216.