

The Effect of Different Pretreatments on Seed Germination of the Medicinal Plant *Artemisia herba-alba*: A Strategy for the Revival of an Endangered Species

A. Azizi¹, M. Mahmoodi Sourestani^{1*}, H. Motamedi², M. Bagnazari³

1- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

3- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

(*- Corresponding author's Email: m.mahmoodi@scu.ac.ir)

Received: 10 February 2025
Revised: 29 August 2025
Accepted: 09 September 2025
Available Online: 09 September 2025

How to cite this article:

Azizi, A., Mahmoodi Sourestani, M., Motamedi, H., & Bagnazari, M. (2026). The effect of different pretreatments on seed germination of the medicinal plant *Artemisia herba-alba*: A strategy for the revival of an endangered species. *Journal of Horticultural Science*, 40(1), 61-76. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92128.1414>

Introduction

Artemisia herba-alba is a silvery perennial shrub whose essential oil contains 1, 8-cineole, chrysanthenone, chrysanthenol, thujone, and camphor. The therapeutic properties of the plant include antioxidant, antibacterial, antispasmodic, treatment of respiratory and digestive disorders, diabetes, disinfectant, vasodilator, insecticidal, anthelmintic, and nematocide. Nowadays, the wild population of this species has been severely reduced, and it is now considered as a rare and endangered plant. The cultivation or domestication of this medicinal species could be a promising alternative for its conservation and sustainable use. Physiological studies have proven that the seeds of *A. herba-alba* contain phytotoxic chemicals that prevent germination under adverse conditions.

Materials and Methods

To investigate the elimination of seed dormancy and enhance the germination of *A. herba-alba* seeds, different concentrations of potassium nitrate and gibberellic acid for two periods of time were studied. Moreover, the superior treatment was combined with light treatment at four levels. The first experiment was implemented as a factorial based on a completely randomized design with three replications in the laboratory of the Horticulture Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz. The first factor included the gibberellic acid at three concentrations (250, 500, and 1000 mg.L⁻¹) and potassium nitrate at three concentrations (50, 100, and 200 mM) which were applied separately. The second factor included the duration of priming at two periods (12 and 24 hours). Based on the results of the first experiment, the second experiment was conducted with the superior treatment in the first experiment (500 ppm gibberellic acid for 12 hours) along with dry and wet chilling treatments as the first factor in combination with light treatment at four levels (0, 8, 16, and 24 h) as the second factor. At the end of the experiments, the length of the root, shoot, seedling height, fresh and dry weight, seed longitudinal and weight vigor index, germination percentage and rate, and alpha-amylase enzyme activity were measured. Statistical analysis of the measured traits was performed using SAS version 9.4 statistical software (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). The LSD test (P=0.05) was used to compare the means. Also, principal component analysis (PCA) and heat map correlation (HMC) were performed to identify the relationships between traits and the dispersion of treatments using the R studio v1.3.959 package.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92128.1414>

Results and Discussion

The results showed that the gibberellic acid and potassium nitrate treatments had a significant effect on the studied traits at all levels, while the impact of priming duration treatment was not significant. Based on the findings of the first experiment, the highest shoot length (13 mm), root length (12 mm), seedling length (25 mm), fresh weight (0.0110 g), seedling dry weight (0.0022 g), longitudinal vigor index (1806.3), weight vigor index (0.1604), germination percentage (71 %), germination rate (8.1 seed.day⁻¹), and alpha-amylase enzyme activity (0.0676 mg.g⁻¹ FW.min⁻¹) were recorded in the 500 mg/L gibberellic acid treatment. The results of the second experiment showed that the combined treatment of 16 hours of light with the gibberellic acid was able to increase the longitudinal and weight vigor index of the seedling, percentage, speed, and activity of the alpha-amylase enzyme by 240.13 %, 221.2 %, 358.82 %, 356.8 %, and 60.78 % compared to the control, respectively. The combined treatment of 16 hours of light with the gibberellic acid had the greatest effect on the dormancy breaking of *A. herba-alba* seeds (78 % germination). The results of the heat map correlation (HMC) showed that there was a positive correlation between the traits of seedling height, root and shoot length, seedling fresh and dry weight, longitudinal and weight vigor index, speed, and percentage germination. Also, the alpha-amylase enzyme was positively correlated with the longitudinal and weight vigor index, speed, and germination percentage and negatively correlated with seedling height, root and shoot length, and seedling fresh and dry weight. In the first experiment, principal component analysis showed that the combination of the first two components explained 86.35 % of the variations, which accordingly included 78.53 % of the first component and 7.82 % of the second component. Based on this analysis, seedling height, root, and shoot length, longitudinal and weight vigor index, speed, germination percentage, and alpha-amylase enzyme, which were the highest of these traits recorded in the treatments of gibberellic acid hormone and potassium nitrate, played a role in the loading of the first component. Also, in the second experiment, it was determined that the combination of the first three components explained 92.73 % of the variations, which included 56.17 % of the first component, 28.85 % of the second component, and 7.71 % of the third component. Based on this analysis, seedling height, root and shoot length, longitudinal and weight vigor index, and germination rate, which were the highest in the light treatment, played a role in the loading of the first component. Germination percentage and alpha-amylase enzyme, which were the highest in the combined light treatment with gibberellic acid, played a crucial role in the loading of the second component.

Conclusion

In this study, the results showed that *A. herba-alba* seeds are photoblastic positive, and since gibberellic acid is generally effective in breaking dormancy caused by metabolic barriers, it can be said that metabolic barriers mainly cause dormancy in the seeds. Therefore, in the light treatment (16 hours) and combination with gibberellic acid (500 mg.L⁻¹), the highest values of the longitudinal and weight vigor index traits of the seedling, the percentage and speed of germination, and the activity of the alpha-amylase enzyme were recorded. In the same treatment, germination increased nine days after the treatment, and the germination percentage increased from 20 % in untreated seeds to 78 % in primed seeds. Also, in the treatment of the gibberellic acid (500 mg.L⁻¹) alone, the highest shoot length, root length, seedling height, and fresh and dry weight were recorded. Therefore, light treatment (16 hours) combined with gibberellic acid (500 mg.L⁻¹) was introduced as the most effective strategy to increase seed germination of *A. herba-alba* and thus help save this species from extinction. The present study showed that the use of combined light treatment with gibberellic acid is a very effective and low-cost strategy to break seed dormancy and germinate *A. herba-alba* medicinal plant.

Keywords: Alpha-amylase, Chilling, Gibberellic acid, Light, Potassium nitrate

تأثیر پیش تیمارهای مختلف بر جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی درمنه سفید (*Artemisia herba-alba*): راهکاری برای احیای یک گونه در معرض خطر

افسانه عزیزی^۱ - محمد محمودی سورستانی^۱ - حسین معتمدی^۲ - مجید بگ‌نظری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۸

چکیده

درمنه سفید (*Artemisia herba-alba*) گیاهی ارزشمند با کاربردهای دارویی و معطر می‌باشد که امروزه در لیست گیاهان در معرض خطر انقراض قرار گرفته است. این مطالعه با هدف بررسی اثربخشی تیمارهای مختلف در دو آزمایش به‌صورت جداگانه در آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ طراحی و انجام شد. آزمایش اول به‌صورت فاکتوریل برپایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اول آزمایش شامل تیمارهای هورمون اسیدجبرلیک در سه غلظت، پتاسیم نیترات در سه غلظت به همراه شاهد بودند که به‌صورت جداگانه اعمال شدند. عامل دوم شامل مدت زمان اعمال پرایمینگ در دو زمان ۱۲ و ۲۴ ساعت بود. براساس نتایج آزمایش اول، آزمایش دوم با تیمار برتر در آزمایش اول به همراه تیمارهای سرمادهی خشک و مرطوب به‌عنوان عامل اول در تلفیق با تیمار نوری در چهار سطح به‌عنوان عامل دوم انجام شد. براساس یافته‌های آزمایش اول، بیشترین طول ساقه‌چه (۱۳ میلی‌متر)، ریشه‌چه (۱۲ میلی‌متر) و گیاهچه (۲۵ میلی‌متر)، وزن تر (۰/۰۱۱ گرم) و خشک گیاهچه (۰/۰۰۲۲ گرم)، شاخص بنیه طولی (۱۸۰۶/۳) و بنیه وزنی (۰/۱۶۰۴)، درصد جوانه‌زنی (۷۱ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۸/۱ بذر در روز) و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز (۰/۰۶۷۶ میلی گرم بر گرم وزن تر در دقیقه) در تیمار اسیدجبرلیک ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر ثبت گردید. نتایج آزمایش دوم نشان داد که تحت تیمار ۱۶ ساعت نور در تلفیق با هورمون اسیدجبرلیک بیشترین شاخص بنیه طولی (۲۴۲۷) و وزنی (۰/۱۶۹)، درصد جوانه‌زنی (۷۸ درصد)، سرعت جوانه‌زنی (۹/۷۳ بذر در روز) و میزان فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز (۰/۰۸۲ میلی گرم بر گرم وزن تر در دقیقه) ثبت گردید. تیمار تلفیقی ۱۶ ساعت نور به همراه هورمون اسیدجبرلیک، بیشترین تأثیر را بر شکست خواب بذر گیاه درمنه سفید داشت. تحقیق حاضر نشان داد که استفاده از تیمار تلفیقی نور به همراه هورمون اسیدجبرلیک، یک راهبرد بسیار مؤثر و کم‌هزینه جهت رفع خواب بذر و جوانه‌زنی گیاه دارویی درمنه سفید می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسیدجبرلیک، آلفا-آمیلاز، سرمادهی، نور، پتاسیم نیترات

مقدمه

درمنه سفید یا افسنتین صحرایی (*Artemisia herba-alba*)، یک گیاه بوته‌ای و چندساله مایل به نقره‌ای است که ارتفاع آن به ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌رسد (Aljaiyash et al., 2018). این گیاه حاوی ترکیبات فنلی، لاکتون‌های سزکوئی‌ترپن و آلکالوئیدهای فلاونوئیدی است (Younsi et al., 2017). در آنالیز فیتوشیمیایی اسانس این گیاه، مونوترپن‌های عمدتاً اکسیژنه مانند ۱ و ۸- سینئول،

کریسانتنون، کریسانتنول (و استات آن)، توژنون و کامفور به‌عنوان ترکیبات اصلی شناسایی شده است (Bellili et al., 2016; Younsi et al., 2017). از خواص این گیاه می‌توان به اثرات آنتی‌اکسیدانی، درمان اختلالات تنفسی و گوارشی، دیابت، ضدعفونی‌کننده، ضدباکتریایی، شل‌کننده عروق، ضدحشرات، ضدکرم، نماتدکش و ضداسپاسم اشاره نمود (Avato et al., 2017; Younsi et al., 2017; Aljaiyash et al., 2018). به‌دلیل کاربردهای متعدد A. *herba-alba* در طب گیاهی از جمله گیاهان دارویی محبوب می‌باشد که متأسفانه در اکثر مواد تجاری، این گیاه از طبیعت برداشت می‌شود، در نتیجه جمعیت وحشی این‌گونه به‌شدت کاهش یافته و اکنون کمیاب و در معرض خطر انقراض تلقی می‌شود. کشت یا اهلی کردن

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: m.mahmoodi@scu.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92128.1414>

این گونه دارویی می‌تواند جایگزینی امیدوارکننده برای حفاظت و استفاده پایدار از آن باشد (Aljaiyash et al., 2018).

بذور، نقش کلیدی در تکثیر گیاهان و نگهداری گونه‌ها در بوم‌نظام دارند؛ از این رو جوانه‌زنی بذر به‌عنوان گام اساسی در تکثیر گیاه عمل می‌کند (Chandel et al., 2023). مطالعات فیزیولوژیکی ثابت کرده است که بذر درمنه سفید حاوی مواد شیمیایی فیتوهورمونیک است که از جوانه‌زنی در شرایط نامساعد جلوگیری می‌کند. این مواد شیمیایی یا ترکیبات فنلی برای جوانه‌زنی گونه‌های دیگر سمی (آلوپاتیک) هستند و ممکن است بر مهار جوانه‌زنی بذر درمنه سفید نیز نقش داشته باشند (Modallal & Al-Charchafchi, 2006). خواب بذر به‌عنوان یک محافظ در برابر جوانه‌زنی تحت شرایط نامطلوب عمل می‌کند و تحت تأثیر عوامل محیطی مختلف مانند محتوای آب، دما، قرار گرفتن در معرض نور، در دسترس بودن اکسیژن و ویژگی‌های ژنتیکی قرار می‌گیرد (Sedighi Dehkordi et al., 2013; Pourmomeini & Moallemi, 2016; Bhatla & Lal, 2023).

پرایمینگ هورمونی، روشی است که شامل تیمار بذر با هورمون برای افزایش رشد گیاهچه و غلبه بر خواب بذر است (Chandel et al., 2023). هورمون‌های مختلفی مانند اسیدجبرلیک، اسیدسالیسیلیک، اسیدآبسیزیک، کینتین و اسیدجاسمونیک در پرایمینگ هورمونی استفاده می‌شوند (Marthandan et al., 2020). جبریلین‌ها برای کنترل فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشدی در گیاهان از جمله جوانه‌زنی شناخته شده‌اند و از این هورمون به‌طور گسترده‌ای برای بهبود سرعت جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و در نتیجه عملکرد استفاده شده است (Khan et al., 2020). گزارش شده است که پرایمینگ بذر با جبریلین بر خواب بذر از طریق ضعیف شدن لایه‌های آندوسپرم و فعال شدن رشد جنین غلبه می‌کند (Pallaoro et al., 2016). هالو پرایمینگ، روش سنتی دیگر، شامل خیساندن بذور در محلول نمک معدنی مانند کلسیم سولفات، سدیم کلرید یا پتاسیم نترات است. پتاسیم نترات یکی از ترکیبات اسمزی مورد استفاده در پیش‌تیمار بذر است که باعث رفع خواب بذر، بهبود جوانه‌زنی، رشد گیاهچه، شاخص‌های ساختار گیاهچه و افزایش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز می‌شود (Ahmadi et al., 2023). نور تنها منبع انرژی برای گیاهان نیست؛ بلکه اطلاعات مهمی در مورد محیط اطراف بذر در اختیار آن‌ها قرار می‌دهد. همه بذرها به نور پاسخ نمی‌دهند، اما بیشتر گیاهان با دانه‌های کوچک برای فرار از خواب و جوانه زدن موفقیت‌آمیز به مقدار مشخصی نور نیاز دارند (Savaedi et al., 2019). نیاز به نور، یک ویژگی ژنتیکی با واسطه فیتوکروم است که سنتز مواد محرک رشد را برای شروع جوانه‌زنی تحریک می‌کند (Jiang et al., 2016). سرما از جمله عواملی است که می‌تواند احتیاج

به نور برای جوانه‌زنی را از طریق تغییر در میزان اسیدآبسیزیک/اسیدجبرلیک و بیوسنتز جبریلین رفع کند. بذر بسیاری از گیاهان که نیاز به سرما دارند باید زمستان را در بین مواد آلی مرطوب سطح خاک بگذرانند تا آماده رویش در بهار سال بعد شوند. بر این اساس، بذر در طول فصل سرد زمستان، قدرت جوانه‌زنی پیدا می‌کند (Reed et al., 2022).

نتایج پژوهشی که گیاه *Artemisia tridentata* Nutt. تحت مجموعه‌ای از تیمارهای نور و سرمای آزمایشگاهی قرار گرفتند، نشان داد که بذرهاي اخیراً برداشت‌شده عمدتاً در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد غیرفعال بودند، اما برای جوانه‌زنی کامل به نور نیاز داشتند (Meyer et al., 1990). در پژوهشی دیگر که روی گیاه *Artemisia sphaerocephala* انجام شد، نتایج نشان داد که در حضور نور، درصد جوانه‌زنی نهایی به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (Zheng et al., 2005). نتایج پژوهش بررسی اثرات نوسان دما، نور و تاریکی بر دو گونه *A. ordosica* و *A. sphaerocephala* نشان داد که در دمای پایین، درصد جوانه‌زنی نهایی در شرایط تاریکی به‌طور قابل توجهی بیشتر از درصد جوانه زنی در نور بود (Lai et al., 2010). در پژوهشی که به‌منظور بررسی ۱۰ پیش‌تیمار شامل پیش‌خیساندن در آب خنک در دو مدت زمان ۲۴ و ۴۸ ساعت، پیش‌خیساندن در آب جوش (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) برای دو مدت ۵ و ۱۰ دقیقه، پیش‌خیساندن در اسیدسولفوریک (۱/۱ مول بر لیتر) به مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه، پیش‌خیساندن در اسیدجبرلیک به مدت چهار ساعت در سه غلظت (۱۰^{-۵}، ۱۰^{-۴} و ۱۰^{-۳} مول بر لیتر) و خراش مکانیکی با کاغذ سنباده نرم بر روی جوانه‌زنی *A. herba-alba* طراحی شد. نتایج نشان داد که تنها خیساندن در آب خنک به مدت ۴۸ ساعت، بهترین عملکرد را داشت و توانست جوانه‌زنی را در مقایسه با شاهد بهبود دهد (Homrani-Bakali, 2015). از آنجایی که تلفیق روش‌های مختلف پرایمینگ، مانند پرایمینگ هیدرو + هورمونی یا پرایمینگ نور + هورمونی می‌تواند جوانه‌زنی را بیشتر بهبود بخشد، پس از بررسی‌های اولیه و پایش بودن درصد جوانه‌زنی بذور گیاه درمنه سفید قبل از عمل پرایم؛ این تحقیق با هدف بررسی اثر تیمارهای مختلف پرایمینگ نظیر اسیدجبرلیک، پتاسیم نترات، نور و سرمادهی خشک و مرطوب جهت بهبود صفات مختلف جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در بذر گیاه درمنه سفید (*A. herba-alba*) انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی رفع خواب بذر و تقویت جوانه‌زنی بذر درمنه سفید تحت سطوح مختلف غلظت پتاسیم نترات، هورمون اسیدجبرلیک به مدت دو دوره زمانی و انتخاب تیمار برتر جهت تلفیق با تیمار نوری در چهار سطح، آزمایشی دو مرحله‌ای انجام شد.

تهیه و ذخیره‌سازی بذور درمنه سفید

بذور تازه‌بالغ گیاه درمنه سفید از منطقه سرابله- استان ایلام (رویشگاه طبیعی) با مختصات طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۳۳/۷۶۶۷ شمالی و ۴۶/۵۶۶۴ شرقی با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا و میانگین بارش سالانه ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌لیتر از منطقه محدودی در حدود یک کیلومترمربع (برای جلوگیری از ناهمگنی) در اواخر مهرماه ۱۴۰۲ جهت اجرای این پژوهش جمع‌آوری گردید. بذور جمع‌آوری شده در سایه خشک شده و تا زمان استفاده در کیسه‌های کاغذی قهوه‌ای‌رنگ نگهداری شدند.

آزمایش اول

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در آزمایشگاه گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز طراحی و اجرا شد. عامل اول آزمایش شامل تیمارهای هورمون اسیدجیبرلیک (Gibberellic acid, CAS 77-06-5 Merck 814464 $\geq 95.0\%$) با سه غلظت (۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، پتاسیم نیترات با سه غلظت (۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) به همراه شاهد بودند که به‌صورت جداگانه اعمال شدند. عامل دوم شامل مدت زمان اعمال پرایمینگ در دو زمان ۱۲ و ۲۴ ساعت بود. به‌منظور اجرای این پژوهش، بذورهای گیاه درمنه سفید با سدیم هیپوکلریت یک درصد به مدت ۳۰ ثانیه و پس از آن با اتانول ۷۰ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی و سپس چهار بار با آب مقطر شست‌وشو داده شدند. پس از شست‌وشو و ضدعفونی، تیمارها (نسبت وزن دانه به حجم محلول ۵:۱ (وزنی/حجمی) بود) اعمال گردید. سپس از هر تیمار ۱۰۰ عدد بذر با سه تکرار در داخل پتری‌دیش‌های یک‌بارمصرف با قطر دهانه هشت سانتی‌متر روی دو لایه کاغذ صافی استریل قرار داده شد و به ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ تا ۷۰ درصد منتقل گردید. ظهور ریشه‌چه به طول دو میلی‌متر به‌عنوان معیار جوانه‌زنی بذر تلقی شد. شمارش بذورهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه در ساعات معین و تا زمانی که تعداد بذور جوانه‌زده ثابت گردید، ادامه یافت (ISTA, 2006).

آزمایش دوم

براساس نتایج آزمایش اول، آزمایش دوم با تیمار برتر در آزمایش اول (اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به مدت ۱۲ ساعت) به همراه تیمارهای سرمادهی خشک و مرطوب به‌عنوان عامل اول در تلفیق با تیمار نوری در چهار سطح (۰ (تاریکی)، ۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت) به‌عنوان عامل دوم انجام شد. تیمار هورمون اسیدجیبرلیک همانند آزمایش اول اعمال گردید. جهت اعمال تیمارهای سرمادهی خشک و مرطوب، بذور پس از ضدعفونی طبق دستورالعمل آزمایش اول در محیط

بررسی خصوصیات جوانه‌زنی بذر

در پایان آزمایش‌ها، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و ارتفاع گیاهچه با استفاده از خط‌کش مدرج برحسب میلی‌متر با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. وزن تر و خشک گیاهچه نیز با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. برای تعیین وزن خشک گیاهچه‌ها، گیاهچه‌ها در پاکت‌های کاغذی جداگانه قرار گرفتند و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. درصد جوانه‌زنی از طریق شمارش تعداد بذورهای جوانه‌زده در روز آخر به تعداد کل بذور محاسبه گردید. شاخص بنیه طولی بذر (SVI-I) از حاصل‌ضرب درصد جوانه‌زنی نهایی در ارتفاع گیاهچه و شاخص بنیه وزنی بذر (SVI-II) از حاصل‌ضرب درصد جوانه‌زنی نهایی در وزن خشک گیاهچه (معادله ۱ و ۲) به دست آمد (Abdul-Baki & Anderson, 1973).

$$SVI - I = \text{Seedling length (cm)} \times \text{seed germination \%} \quad (1)$$

$$SVI - II = \text{Seedling dry weight (mg)} \times \text{seed germination \%} \quad (2)$$

سرعت جوانه‌زنی بذرها با استفاده از روش ماگوئر (Maguire, 1962) محاسبه شد که در این معادله برابر با مجموع نسبت $\frac{N_i}{T_i}$ است، که N_i : تعداد بذورهای جوانه‌زده در هر روز و T_i : تعداد روزهای پس از کاشت می‌باشد.

$$\text{Germination Rate} = \frac{N_i}{T_i} \quad (3)$$

جهت سنجش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز، پس از جوانه‌زنی بذور و رویش ریشه‌چه، یک گرم از بافت بذر برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز طبق روش شیانو و همکاران (Xiao et al., 2006) استفاده شد. ابتدا عصاره بذر با پنج میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۶۰ میلی‌مولار (pH = ۶/۸) استخراج و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره بذر به لوله فالکون حاوی ۰/۵ میلی‌لیتر محلول نشاسته یک درصد اضافه شد. پس از انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰

دقیقه، واکنش تجزیه نشاسته با یک میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال متوقف و به آن یک میلی‌لیتر معرف ید اضافه گردید. سپس حجم محلول با آب مقطر به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد و جذب نمونه در طول موج ۶۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Shimadzu-UV 1201 قرائت گردید. در نهایت، فعالیت آنزیمی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بر دقیقه گزارش شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبات آماری

تجزیه آماری داده‌های صفات اندازه‌گیری‌شده، با استفاده از نرم‌افزار آماری (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. برای مقایسه میانگین از آزمون LSD ($p=0.05$) استفاده گردید. شناسایی ارتباط میان صفات مورد بررسی و پراکندگی تیمارها، تحلیل‌هایی شامل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و ترسیم نقشه حرارتی همبستگی (HMC) با بهره‌گیری از نرم‌افزار R Studio v1.3.959 انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

آزمایش اول

نتایج نشان داد که تیمار هورمون اسیدجیبرلیک و پتاسیم نیترات در تمامی سطوح بر صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری داشتند، درحالی‌که اثر تیمار مدت زمان پرایمینگ معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین

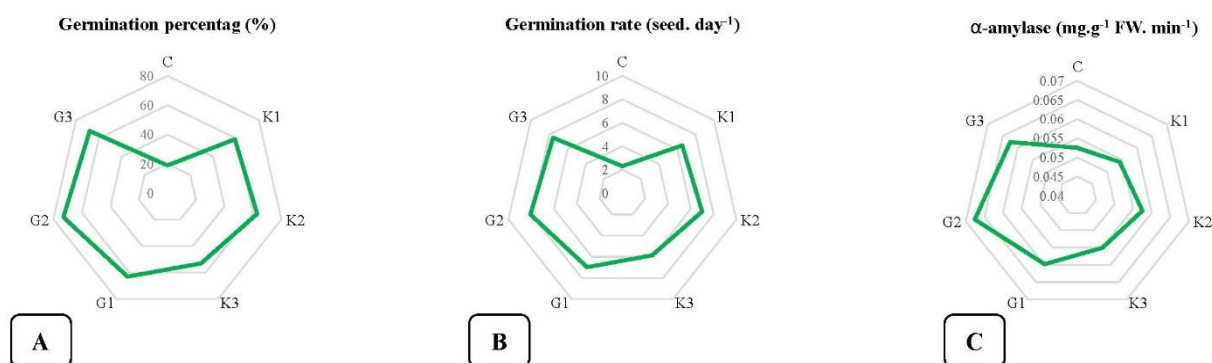
نشان داد که بالاترین طول ساقه‌چه (۱۳ میلی‌متر)، طول ریشه‌چه (۱۲ میلی‌متر)، طول گیاهچه (۲۵ میلی‌متر)، وزن تر گیاهچه (۰/۱۱۰ گرم)، وزن خشک گیاهچه (۰/۰۲۲ گرم)، شاخص بنیه طولی گیاهچه (۱۸۰۶/۳) و شاخص بنیه وزنی گیاهچه (۰/۱۶۰۴) در تیمار اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ثبت گردید (جدول ۱).

در این پژوهش، کمترین درصد جوانه‌زنی در شاهد (۱۹ درصد) و بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۱ درصد) در تیمار اسیدجیبرلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ثبت گردید. در این صفت، تیمار اسیدجیبرلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) توانست درصد جوانه‌زنی را به‌میزان ۲۷۳/۶۸ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد. در همین راستا، کمترین سرعت جوانه‌زنی در شاهد (۲/۳ بذر در روز) ثبت گردید. درحالی‌که بالاترین سرعت جوانه‌زنی (۸/۱ بذر در روز) در تیمار اسیدجیبرلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ثبت شد. به‌تبع تحت تیمار اسیدجیبرلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز به‌میزان ۹/۵۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت، به‌طوری‌که فعالیت این آنزیم در شاهد از ۰/۵۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بر دقیقه به ۰/۶۷۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بر دقیقه تحت تیمار اسیدجیبرلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) افزایش یافت (شکل ۱). طبق نتایج این مرحله، اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تیمار برتر بود. از این‌رو این تیمار جهت فاز دوم آزمایش (تلفیق با تیمار نوری) انتخاب گردید.

جدول ۱- اثر کاربرد اسیدجیبرلیک و پتاسیم نیترات بر صفات جوانه‌زنی گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

Table 1- The effect of the gibberellic acid and potassium nitrate application on the germination traits of the medicinal plant

Treatment	تیمار	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول گیاهچه	وزن تر دانه‌ها	وزن خشک دانه‌ها	شاخص بنیه طولی	شاخص بنیه وزنی
		Stem length (mm)	Root length (mm)	Seedling height (mm)	Seedling fresh weight (g)	Seedling dry weight (g)	Longitudinal vigor	Weight vigor
شاهد	Control	8	7	15	0.0017	0.0004	294.5	0.0068
پتاسیم نیترات ۵۰ میلی‌مولار	KNO ₃ (50 mM)	9	8	17	0.0051	0.0010	1011.3	0.0609
پتاسیم نیترات ۱۰۰ میلی‌مولار	KNO ₃ (100 mM)	10	10	20	0.0066	0.0013	1271b	0.0840
پتاسیم نیترات ۱۵۰ میلی‌مولار	KNO ₃ (150 mM)	10	9	19	0.0060	0.0012	1013.3	0.06272
اسیدجیبرلیک ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر	GA (250 mg.L ⁻¹)	11	10	21	0.0078	0.0016	1351.7	0.0985
اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر	GA (500 mg.L ⁻¹)	13	12	25	0.0110	0.0022	1806.3	0.1604
اسیدجیبرلیک ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر	GA (1000 mg.L ⁻¹)	11	11	22	0.0091	0.0018	1511.7	0.1241
LSD (0.05)		0.58	0.52	0.82	0.0009	0.0002	7395.00	0.00098



شکل ۱- اثر کاربرد اسیدجیبرلیک و پتاسیم نیترات بر درصد جوانه‌زنی (A)، سرعت جوانه‌زنی (B) و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز (C) گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

Figure 1- The effect of gibberellic acid and potassium nitrate on the germination percentage (A), germination rate (B), and alpha-amylase enzyme activity (C) of the medicinal plant *A. herba-alba*

C: شاهد، K1: پتاسیم نیترات ۵۰ میلی مولار، K2: پتاسیم نیترات ۱۰۰ میلی مولار، K3: پتاسیم نیترات ۱۵۰ میلی مولار، G1: اسیدجیبرلیک ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر، G2:

اسیدجیبرلیک ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر و G3: اسیدجیبرلیک ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر

In this figure, C: control, K1: 50 mM potassium nitrate, K2: 100 mM potassium nitrate, K3: 150 mM potassium nitrate, G1: 250 mg.L⁻¹ gibberellic acid, G2: 500 mg.L⁻¹ gibberellic acid and G3: 1000 mg.L⁻¹ gibberellic acid

فرآیند فتوسنتز و تولید کربوهیدرات در گیاهچه گردیده و در نهایت وزن خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه بذر را افزایش می‌دهد (Abdel-Baki et al., 2018; Hernández et al., 2021). میزان شاخص بنیه طولی و وزنی بذر به ترتیب از حاصل ضرب طول و وزن خشک گیاهچه در درصد جوانه‌زنی بذر به دست می‌آیند. افزایش طول گیاهچه نیازمند افزایش تقسیم و طولی شدن سلولی اندام‌های ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌باشد. از سوی دیگر، هورمون اسیدجیبرلیک از یک سو با تأمین انرژی لازم جهت جوانه‌زنی از طریق افزایش سطح فعالیت آنزیم آمیلاز (جهت تجزیه نشاسته موجود در بذر به قندهای ساده‌تر) و از سوی دیگر با تنظیم نسبت اکسین به سیتوکینین بذر، شرایط لازم را برای افزایش هرچه بیشتر تقسیم و توسعه سلولی گیاهچه فراهم می‌آورد که این امر سبب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌گردد (Hernández et al., 2021; Choudhury & Bordolui, 2022; Mebratu, 2022).

استفاده از جیبرلین برون‌زا با افزایش توانایی جیبرلین درون‌زا در گیاه، نقش مطلوبی در شکستن خواب بذر و بهبود جوانه‌زنی دارد. محل اثر این هورمون در فرآیند جوانه‌زنی بذر آندوسپرم یا لپه است. جیبرلین اثر محرک خود را با فعال کردن واکنش‌های آنزیمی، حذف مهارکننده‌های متابولیک، سنتز پروتئین، افزایش تقسیم سلولی، افزایش طول سلول و افزایش جذب اکسیژن در جنین اعمال می‌کند (Mohammadi et al., 2013; Khan et al., 2020; Saffari et al., 2021). علاوه بر این، هورمون اسیدجیبرلیک با شکستن دیواره بذر، امکان خروج از ریشه را فراهم می‌کند، همچنین با تأثیر بر تعادل

اگرچه خواب بذر یک مزیت بوم‌شناختی جهت حفظ حیات گیاهان است که در شرایط مناسب جوانه زده تا نسل گیاه حفظ شود (Sasani et al., 2010)؛ ولی در برخی موارد، ضرورت رویاندن بذر قبل از اتمام دوره خواب وجود داشته و باید روش رویاندن این‌گونه بذرهای مشخص شود (Hadi et al., 2012). نتایج این پژوهش نشان داد که در بین سه غلظت اسیدجیبرلیک، ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر مؤثرترین بود (جدول ۱ و شکل ۱). در بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه مشخص گردید که کاربرد هورمون اسیدجیبرلیک در غلظت ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر سبب افزایش معنی‌دار این صفات نسبت به سایر تیمارهای پرایمینگ بذر گردید (جدول ۱). افزایش تقسیم و توسعه سلولی سبب رشد طولی اندام‌های گیاهی از جمله ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌گردد. این فرآیند نیازمند تعادل مناسب میان هورمون‌های اکسین و سیتوکینین و صرف انرژی است. هورمون اسیدجیبرلیک علاوه بر اثر بر تعادل اکسین و سیتوکینین موجود در بذر سبب افزایش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز درون بذر و در نتیجه تجزیه نشاسته به قند جهت تولید مولکول‌های حامل انرژی می‌گردد که این فعل‌وانفعالات سبب افزایش طول سلول‌ها گردیده، که این امر در نهایت موجب افزایش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه می‌شود (da Silva et al., 2005; Miransari & Smith, 2014; Shu et al., 2016). افزایش وزن خشک اندام‌های گیاهی از جمله بذر نیازمند تولید ماده خشک است و این امر نیز مستلزم تأمین عناصر غذایی و افزایش فتوسنتز در برگ گیاهچه است. بر این اساس، افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در پاسخ به این هورمون سبب بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش

نیترا در افزایش میزان تولید هورمون‌های GA_1 و GA_4 و کاهش محتوای ABA، افزایش پتاسیم، آماس سلولی بذر و سنتز آنزیم‌های هیدرولیزکننده مانند آلفا-آمیلاز گزارش شده است (Homrani-Bakali, 2015; Vidal et al., 2018; Hernández et al., 2021). در این مطالعه، رابطه واضحی بین افزایش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز و افزایش جوانه‌زنی بذرهای تحت تیمار مشاهده شد (شکل ۱).

افزایش غلظت پتاسیم نیترا و اسیدجیبرلیک باعث کاهش تمامی صفات مورد بررسی علی‌الخصوص سرعت جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز شد که نشان می‌دهد افزایش شوری و فشار اسمزی زیاد باعث کاهش جذب آب و مرگ سلولی در بذر می‌شود. افزایش غلظت پتاسیم نیترا می‌تواند منجر به پتانسیل اسمزی بیشتر، تجمع یون در جنین، از دست دادن زنده‌مانی بذر، مرگ سلولی و کاهش درصد جوانه‌زنی شود. افزایش شدید غلظت محلول پتاسیم می‌تواند باعث مهار سنتز سیتوکینین و افزایش اسیدآبسیزیک شود که باعث کاهش جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه می‌شود (Prasad et al., 2018). باین‌حال، با توجه به نتایج تحقیق حاضر به نظر می‌رسد که به‌رغم افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در پیش‌تیمار پتاسیم نیترا نسبت به بذور پرایم‌نشده، اعمال خارجی هورمون اسیدجیبرلیک به‌دلیل تأثیر مستقیم و بالاتر بر افزایش میزان این هورمون در گیاه و تحریک بیشتر فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز سبب بهبود بیشتر شاخص‌های مذکور در بذر نسبت به تیمار پتاسیم نیترا گردد.

آزمایش دوم

نتایج بررسی صفات تحت تیمار نوری نشان داد که افزایش مدت زمان اعمال نور سبب کاهش در صفات طول ساقه‌چه ۴۲/۸۵ درصد، طول ریشه‌چه ۴۶/۱۵ درصد، طول گیاهچه ۴۴/۴ درصد، وزن تر گیاهچه ۸۷/۷۵ درصد، وزن خشک گیاهچه ۹۰ درصد، شاخص بنیه طولی گیاهچه ۳۷/۱۸ درصد و شاخص بنیه وزنی گیاهچه ۷۸/۸ درصد گردید (جدول ۲). در صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و میزان فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز تحت تیمار ۱۶ ساعت نور به‌ترتیب ۶۴/۷ درصد، ۶۴/۳ درصد و ۹/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان دادند (شکل ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که طول ساقه‌چه ۴/۶۷ درصد، طول ریشه‌چه ۷/۶۹ درصد، طول گیاهچه ۶/۱۱ درصد، وزن تر گیاهچه ۴/۰۸ درصد، شاخص بنیه طولی گیاهچه ۲۶/۹۹ درصد، شاخص بنیه وزنی گیاهچه ۲۴/۲۴ درصد، درصد جوانه‌زنی ۱۷/۶۴ درصد، سرعت جوانه‌زنی ۲۰/۶۵ درصد و میزان فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز ۱/۷ درصد در تیمار سرمادهی خشک نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول و شکل ۲).

اکسین و سیتوکینین و کاهش میزان اسیدآبسیزیک در بذر، درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر را افزایش می‌دهد (Miransari & Smith, 2016; Shu et al., 2014). براساس نتایج به‌دست‌آمده، بذور پرایم‌شده توسط غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر هورمون اسیدجیبرلیک دارای بالاترین میزان فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز بودند (شکل ۱). میزان تولید و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز به تعادل هورمون‌های اسیدجیبرلیک و اسیدآبسیزیک وابسته است. هورمون اسیدجیبرلیک نسخه‌برداری و ترجمه ژن‌های کدکننده آنزیم‌های هیدرولیزکننده مانند آلفا-آمیلاز را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، سنتز آنزیم آلفا-آمیلاز نیازمند اسیدآمین است و هورمون اسیدجیبرلیک، میزان تولید و فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین را بالا می‌برد (Bewley et al., 2013; Taiz & Zieger, 2010; Nie et al., 2022). براساس نتایج تحقیق حاضر نیز به نظر می‌رسد که اعمال خارجی هورمون اسیدجیبرلیک در پرایمینگ بذر گیاه درمنه سفید با افزایش نسبت اسیدجیبرلیک به اسیدآبسیزیک، میزان تولید و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز بذر را بالا برده و سبب افزایش میزان شاخص‌های جوانه‌زنی آن گردید. این در حالی است که در پژوهشی که در سال ۲۰۱۵ روی گیاه درمنه توسط همرانی-بابکی (Homrani-Bakali, 2015) انجام شد، اعمال تیمار اسیدجیبرلیک بر صفات اندازه‌گیری معنی‌دار نشد که علت آن را می‌توان به غلظت کم یا مدت زمان کوتاه اعمال تیمار نسبت داد. از بین غلظت‌های پتاسیم نیترا، غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار بیشترین تأثیر را بر تمامی صفات در این گیاه داشت (جدول و شکل ۱). در رابطه با تأثیر مثبت پتاسیم نیترا بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه نیز به نظر می‌رسد که احتمالاً این ترکیب با افزایش غلظت پتاسیم سلول، با بالا بردن قدرت جذب آب سلول و اثر مثبت بر میزان هورمون اسیدجیبرلیک درون‌زاد و هورمون‌های اکسین و سیتوکینین موجب افزایش صفات مذکور گردید. افزایش طول ریشه‌چه نیز موجب افزایش جذب آب و عناصر غذایی و در نتیجه آن افزایش وزن خشک گیاهچه می‌گردد (Abdel-Baki et al., 2018; Hernández et al., 2021). محققان با مطالعه اثر پتاسیم نیترا دریافتند که یون پتاسیم موجود در پتاسیم نیترا، نفوذپذیری دیواره سلولی را افزایش می‌دهد و در نهایت منجر به افزایش سطح فعالیت آنزیم و متابولیسم سلول می‌شود. همچنین اثر تحریکی این ماده بر جوانه‌زنی بذر گیاهان را می‌توان به تغییر نسبت هورمونی در بذر و احتمالاً تعدیل در مهارکننده‌هایی مانند اسیدآبسیزیک نسبت داد، بنابراین خواب شیمیایی را برطرف می‌کند (Saffari et al., 2021). پتاسیم نیترا با افزایش درصد جوانه‌زنی، طول و وزن گیاهچه دارای اثر مثبت بر شاخص بنیه بذر بود (Hernández et al., 2021; Choudhury & Bordolui, 2022; Mebratu, 2022). نقش پیش‌تیمار پتاسیم

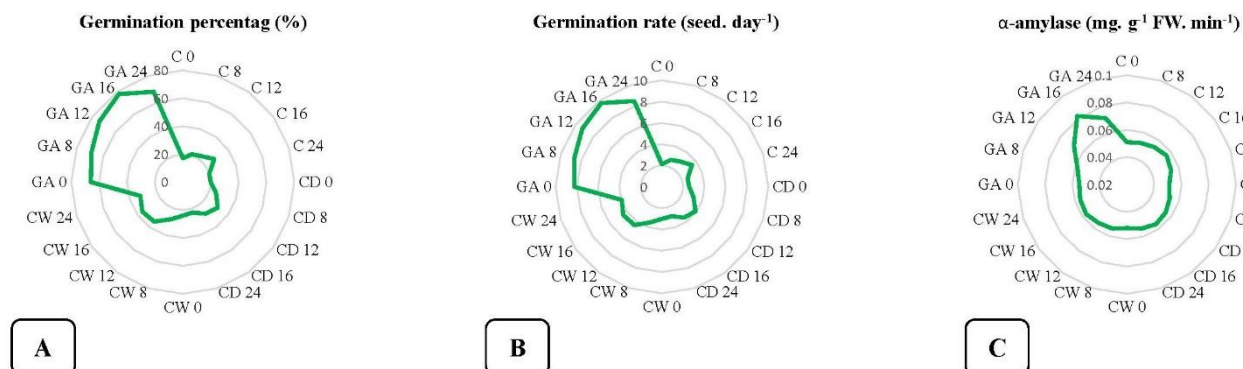
معنی داری داشتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش مدت زمان اعمال نور، سبب کاهش در صفات طول ساقچه ۲۸/۵۷ درصد، طول ریشه چه ۲۳/۰۷ درصد، طول گیاهچه ۲۵/۹۲ درصد، وزن تر گیاهچه ۳۰/۶ درصد، و وزن خشک گیاهچه ۵۰ درصد نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). تحت تیمار ۱۶ ساعت نور در تلفیق با هورمون اسیدجیبرلیک، بیشترین شاخص بنیه طولی (۲۴۲۷) و وزنی گیاهچه (۰/۱۶۹)، درصد جوانه زنی (۷۸ درصد)، سرعت جوانه زنی (۹/۷۳) بذر در روز) و میزان فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز (۰/۰۸۲ میلی گرم بر گرم وزن تر بر دقیقه) ثبت گردید (جدول و شکل ۲).

در این پژوهش، بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که طول ساقچه ۱۱/۶۵ درصد، طول ریشه چه ۱۵/۳۸ درصد، ارتفاع گیاهچه ۱۳/۴۲ درصد، وزن تر گیاهچه ۱۲/۲۴ درصد، وزن خشک گیاهچه ۱۰ درصد، شاخص بنیه طولی گیاهچه ۶۰/۲۳ درصد، شاخص بنیه وزنی گیاهچه ۶۰/۶ درصد، درصد جوانه زنی ۴۱/۱۷ درصد، سرعت جوانه زنی ۴۰/۸۴ درصد و میزان فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز ۱/۹۶ درصد در تیمار سرمادهی مرطوب نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول و شکل ۲).

همچنین نتایج نشان داد که تیمار هورمون اسیدجیبرلیک در تلفیق با تیمار نوری در تمامی سطوح بر صفات مورد بررسی اثر

جدول ۲- اثر نور در تلفیق با اسیدجیبرلیک، سرمادهی خشک و مرطوب بر صفات جوانه زنی گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)
Table 2- The effect of light in combination with using gibberellic acid, dry and wet chilling on the germination traits of the medicinal plant *A. herba-alba*

تیمار Treatment	نور Light (hrs.)	طول ساقچه Stem length (mm)	طول ریشه چه Root length (mm)	طول گیاهچه Seedling height (mm)	وزن تر دانپال Seedling fresh weight (g)	وزن خشک دانپال Seedling dry weight (g)	شاخص بنیه طولی Longitudinal vigor	شاخص بنیه وزنی Weight vigor
شاهد Control	0	14d	13	27	0.0098	0.0020	464.33	0.033
	8	12	12	24	0.0090	0.0018	512.00	0.039
	12	11	10	21	0.0072	0.0014	490.00	0.033
	16	10	9	19	0.0055	0.0011	532.00	0.022
	24	8	7	15	0.0012	0.0002	291.67	0.007
سرمادهی خشک Cold -(dry treatment)	0	15	14	29	0.0102	0.0020	589.67	0.041
	8	14	12	26	0.0094	0.0019	641.33	0.048
	12	11	11	22	0.0077	0.0015	682.00	0.048
	16	10	9	19	0.0061	0.0012	538.33	0.028
	24	8	8	16	0.0016	0.0003	368.33	0.009
سرمادهی مرطوب Moist-cold treatment	0	16	15	31	0.0110	0.0022	744.00	0.053
	8	14	13	27	0.0096 ^f	0.0019	746.33	0.053
	12	11	11	22	0.0082	0.0016	777.33	0.058
	16	10	10	20	0.0064	0.0013	713.33	0.041
	24	9	8	17	0.0028	0.0006	538.33	0.020
اسیدجیبرلیک Gibberellic acids	0	21	17	38	0.0151	0.0030	2495.67	0.197
	8	19	16	35	0.0121	0.0024	2427.00	0.169
	12	11	11	22	0.0085	0.0017	1652.33	0.126
	16	10	10	20	0.0068	0.0010	1579.33	0.106
	24	9	8	17	0.0050	0.0014	1173.00	0.068
LSD (0.05)	-	0.18	0.10	0.41	0.0002	0.00001	6572.42	0.0036



شکل ۲- اثر نور در تلفیق با هورمون اسیدجیبرلیک، سرمادهی خشک و مرطوب بر درصد جوانه‌زنی (A)، سرعت جوانه‌زنی (B) و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز (C) گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

Figure 2- The effect of light in combination with using gibberellic acid, dry and wet chilling on germination percentage (A), germination rate (B), and alpha-amylase enzyme activity (C) of the medicinal plant *A. herba-alba*

C0: شاهد + صفر ساعت نور، C8: شاهد + ۸ ساعت نور، C16: شاهد + ۱۶ ساعت نور، C24: شاهد + ۲۴ ساعت نور، CD0: سرمادهی خشک + صفر ساعت نور، CD8: سرمادهی خشک + ۸ ساعت نور، CD16: سرمادهی خشک + ۱۶ ساعت نور، CD24: سرمادهی خشک + ۲۴ ساعت نور، CW0: سرمادهی مرطوب + صفر ساعت نور، CW8: سرمادهی مرطوب + ۸ ساعت نور، CW16: سرمادهی مرطوب + ۱۶ ساعت نور، CW24: سرمادهی مرطوب + ۲۴ ساعت نور، GA0: اسیدجیبرلیک + صفر ساعت نور، GA8: اسیدجیبرلیک + ۸ ساعت نور، GA16: اسیدجیبرلیک + ۱۶ ساعت نور و GA24: اسیدجیبرلیک + ۲۴ ساعت نور

In this figure, C0: control + zero hours of light, C8: control + 8 hours of light, C16: control + 16 hours of light, C24: control + 24 hours of light, CD0: dry chilling + zero hours of light, CD8: dry chilling + 8 hours of light, CD16: dry chilling + 16 hours of light, CD24: dry chilling + 24 hours of light, CW0: wet chilling + zero hours of light, CW8: wet chilling + 8 hours of light, CW16: wet chilling + 16 hours of light, CW24: wet chilling + 24 hours of light, GA0: gibberellic acid + zero hours of light, GA8: gibberellic acid + 8 hours of light, GA16: gibberellic acid + 16 hours of light and GA24: gibberellic acid + 24 hours of light

قوی‌ترین تعامل سینرژیک در این مطالعه بین هورمون اسیدجیبرلیک (جیبرلین) و تیمار نوری مشاهده شد. هرچند کاربرد جیبرلین در تاریکی (۰ ساعت نور) به‌تنهایی منجر به افزایش چشمگیر همه صفات نسبت به شاهد شد که نشان‌دهنده توانمندی مستقل این هورمون در القای مسیرهای متابولیکی مورد نیاز برای رفع خواب بذری است. اما ترکیب آن با دوره نوری بهینه، هم‌افزایی قوی‌تری ایجاد کرد و بالاترین مقادیر رشد و توسعه را در اکثر شاخص‌ها به دست آورد. به‌ویژه، تلفیق جیبرلین با ۱۶ ساعت نور بیشترین درصد جوانه‌زنی (۷۸ درصد) را در کل آزمایش ثبت کرد. این تعامل قوی را می‌توان ناشی از تأثیر هم‌زمان این دو عامل بر سازوکارهای مکمل رفع خواب دانست، به‌گونه‌ای که جیبرلین با افزایش سنتز و فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز، انرژی لازم را فراهم می‌کند و نور از طریق فیتوکروم با سرکوب هورمون‌های بازدارنده مانند اسیدآبسیزیک و تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با مسیر جیبرلین، موانع متابولیکی و فیزیکی خواب بذری را از میان برمی‌دارد. بدین ترتیب، مواجهه هم‌زمان با جیبرلین و نور، بهینه‌ترین شرایط را برای جوانه‌زنی و رشد اولیه بذور فراهم می‌آورد.

با توجه به نتایج این تحقیق، بذور درمنه سفید به نور حساسیت مثبتی را نشان دادند. این مشاهدات نشان می‌دهد که درمنه سفید متعلق به گونه‌های فتوبلاستیک مثبت است (Dudareva, 2024).

براساس نتایج به‌دست‌آمده، تعامل بین دوره‌های نوردی (۰ تا ۲۴ ساعت) و تیمارهای سرمادهی (خشک و مرطوب) الگوی منظم و قابل تکراری از پاسخ‌های ریخت‌شناختی و جوانه‌زنی را نشان داد. به‌طور کلی، افزایش مدت زمان اعمال نور از صفر به ۲۴ ساعت منجر به کاهش قابل توجه صفات ریخت‌شناختی مانند طول ساقچه‌چه، ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه در تمامی تیمارها شامل شاهد، سرمادهی خشک و سرمادهی مرطوب شد. بااین‌حال، در مقابل این کاهش صفات رشدی، درصد و سرعت جوانه‌زنی تا یک نقطه بهینه (۱۶ ساعت نور) افزایش یافت و پس از آن رو به کاهش گذاشت. در این میان، تیمار سرمادهی مرطوب به‌وضوح برترین روش برای شکست خواب بذور بود و در ترکیب با نور، بهترین نتایج را ایجاد کرد. به‌عنوان مثال، سرمادهی مرطوب به‌تنهایی و در تاریکی توانست درصد جوانه‌زنی را نسبت به شاهد ۱۷٪/۴۱٪ افزایش دهد. نکته قابل توجه در اثر متقابل این دو عامل، تعدیل نیاز نوری بذور توسط سرمادهی مرطوب است؛ به‌طوری‌که در شرایط شاهد، دوره نوری ۱۶ ساعت بهینه بود، اما در تیمار سرمادهی مرطوب، دوره‌های نوری کوتاه‌تر (۸ تا ۱۲ ساعت) نیز به درصد و سرعت جوانه‌زنی مطلوبی منجر شدند. این یافته حاکی از یک اثر هم‌افزایی (سینرژسم) بین سرمادهی مرطوب و اعمال دوره‌های نوری متعادل است که با یکدیگر توانایی بذور برای غلبه بر موانع خواب را به حداکثر می‌رسانند.

(Nandula et al., 2006). گزارش شده است که معمولاً دمای پنج درجه سانتی‌گراد یا اندکی کمتر برای گیاهانی که در اقلیم‌های سرد می‌رویند، بیشترین تأثیر را در رفع خواب بذر دارد. بررسی اثرات محتوای رطوبت بذر در طول سرما نشان داده است که مقداری رطوبت برای تأثیر سرمادهی برای جوانه‌زنی بذر لازم است. سرما در جوانه‌زنی بذرهای با رطوبت ۲۰ درصد به میزان کم مؤثر است و در بذرهایی که رطوبت آن‌ها کمتر از ۱۵ درصد است، تأثیر ندارد (O Reilly & De Atrip, 2007). در بذور، سرمادهی مرطوب منجر به تغییر نسبت فیتوهورمون‌های مؤثر بر جوانه‌زنی خواهد شد که پس از فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده ذخیره غذایی بذر موجب تغذیه جنین و افزایش جوانه‌زنی می‌گردد (Angelini et al., 2021). همچنین النبوی و همکاران (El-Nabawy et al., 1980) گزارش نمودند در بذوری که تحت تیمار سرمادهی مرطوب قرار گرفته‌اند، سرمادهی مرطوب موجب افزایش سنتز اسیدهای نوکلئیک شد و این امر موجب افزایش تقسیم سلولی در محور جنینی گردید. از این رو تیمار سرمای مرطوب با افزایش سطح فعالیت آنزیم و تولید اسیدهای آمینه لازم برای استفاده جنین در طول رشد، در کوتاه‌کردن دوره خواب بذر مؤثر بود.

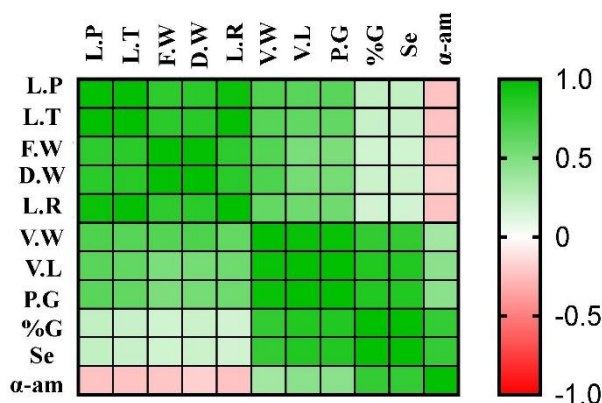
همبستگی و تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) جوانه‌زنی بذر درمنه سفید (*A. herba-alba*)

نتایج همبستگی نقشه حرارتی (HMC) نشان داد که بین صفات ارتفاع گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه، شاخص بنیه طولی و وزنی، سرعت و درصد جوانه‌زنی همبستگی مثبت وجود دارد. همچنین آنزیم آلفا-آمیلاز با شاخص بنیه طولی و وزنی، سرعت و درصد جوانه‌زنی همبستگی مثبت داشت و با ارتفاع گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین وزن تر و خشک گیاهچه همبستگی منفی نشان داد. در این پژوهش، شاخص بنیه طولی و وزنی و همچنین سرعت و درصد جوانه‌زنی با تمامی صفات مورد بررسی همبستگی مثبت نشان دادند (شکل ۳).

شکل ۴-A تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد که تجمع دو مؤلفه اصلی ۸۶/۳۵ درصد از تغییرات را توضیح دادند که بر این اساس، ۷۸/۵۳ درصد از مؤلفه اول و ۷/۸۲ درصد از مؤلفه دوم را شامل می‌شود. براساس این تجزیه و تحلیل، طول گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص بنیه طولی و وزنی، سرعت، درصد جوانه‌زنی و آنزیم آلفا-آمیلاز که بالاترین این صفات در تیمارهای هورمون اسیدجبرلیک و پتاسیم نترات ثبت گردید در بارگذاری مؤلفه اول نقش داشتند. تیمار زمان در بارگذاری مؤلفه اصلی دوم نقش داشت.

حساسیت به نور ناشی از محیط‌زیست بذر معمولاً به‌عنوان سازگاری تفسیر می‌شود که تضمین می‌کند بذر در مکان‌هایی که احتمال استقرار گیاهچه زیاد است، جوانه بزند (Motsa et al., 2015). بذر این گونه احتمالاً ترجیح می‌دهد که در سطح خاک یا نزدیک به آن جوانه بزند. حساسیت به نور یک ویژگی ژنتیکی است و با واسطه فیتوکروم می‌باشد که سنتز مواد محرک رشد را تحریک می‌کند و سبب جوانه‌زنی می‌گردد (Savaedi et al., 2019). نور به دانه‌ها سیگنال می‌دهد که بفهمند آیا به سطح خاک نزدیک هستند یا خیر. بذرهایی کوچک، ذخیره غذای بسیار کمی دارند و اگر خیلی عمیق در خاک جوانه بزنند، مخازن غذا نمی‌توانند از رشد گیاهچه برای سبز شدن موفق پشتیبانی کنند (Fenner, 2012). در این پژوهش، ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاهچه‌های درمنه سفید تحت تأثیر نور قرار گرفتند. گیاهچه‌های درمنه سفید که تحت نور رشد کردند، ساقه‌چه و ریشه‌چه کوتاه‌تری داشتند که مطابق با نتایج به‌دست‌آمده برای گونه‌های دیگر بود (da Silva & Debergh, 1997; Schuerger et al., 1997; Nguyen et al., 2013). طول ریشه‌چه و ساقه‌چه از شاخص‌های مهم و مؤثر در مرحله جوانه‌زنی است، زیرا ریشه در تماس مستقیم با خاک است و آب را از خاک جذب و ساقه نیز آب و مواد محلول را از ریشه به سایر نقاط منتقل می‌کند (Gregory, 2007). طولی شدن طولی ساقه‌چه در گیاهچه‌های که در تاریکی رشد کردند، می‌تواند به دلیل مصرف ذخایر بذر جهت رشد سریع گیاهچه و اکتساب سریع نور و آغاز فتوسنتز باشد (Wang et al., 2021). بیشترین درصد جوانه‌زنی در دوره نوری ۱۶ ساعت مشاهده گردید. مشخص شده است که نور، سطح بیان ژن‌های آنابولیکی اسیدجبرلیک را افزایش و بیان ژن کاتابولیسم را متوقف می‌کند (Goggin et al., 2008). در این پژوهش ممکن است که نور با فعال کردن هورمون اسیدجبرلیک سبب افزایش فعالیت آنزیم آلفا-آمیلاز شده باشد.

سازوکار سرما در شکستن خواب بذرها به‌طور کامل مشخص نشده است، زیرا سرما تمامی فرآیندهای متابولیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی از محققان بر این باورند که سرما با تأثیر بر تمام فرآیندهایی که سازوکار جوانه‌زنی بذر را متوقف می‌کند، موانع جوانه‌زنی را از بین می‌برد و در نتیجه، بذر می‌تواند جوانه بزند (Fenner & Thompson, 2005). در دمای پایین، سرما سبب کاهش مقاومت مکانیکی پوشش بذر شده و بر همین اساس، اکسیژن جنینی بهتر تأمین می‌شود. همچنین سرما به‌واسطه اثری که در کاهش میزان اسیدآسیزیک و افزایش اسیدجبرلیک دارد سبب برطرف نمودن عوامل بازدارنده جوانه‌زنی شده و از این رو باعث افزایش تعداد بذرهایی جوانه‌زده در واحد زمان و افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌گردد.



شکل ۳- همبستگی نقشه حرارتی (HMC) اثر نور (۲۴، ۱۶، ۱۲، ۸ و صفر ساعت) در تلفیق با هورمون اسیدجیبرلیک، سرمادهی خشک و مرطوب بر صفات جوانه‌زنی گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

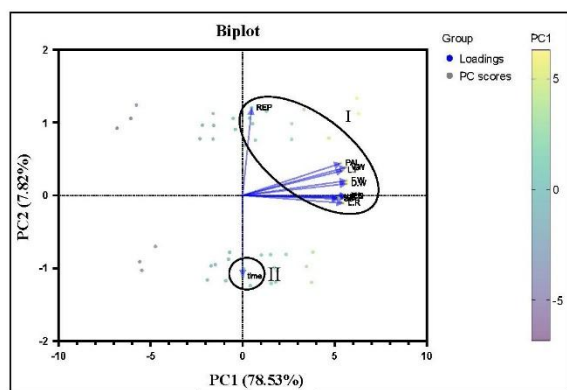
Figure 3- Heat map correlation (HMC) of the effect of light (24, 16, 12, 8, and 0 hours) in combination with using gibberellic acid, dry and wet chilling on germination traits of the medicinal plant *A. herba-alba*

L.P: طول ساقچه، L.T: طول گیاهچه، F.W: وزن تر گیاهچه، D.W: وزن خشک گیاهچه، L.R: طول ریشه‌چه، V.W: شاخص بنیه وزنی، V.L: شاخص بنیه طولی، %G: درصد جوانه‌زنی، Se: سرعت جوانه‌زنی و آنزیم آلفا-آمیلاز

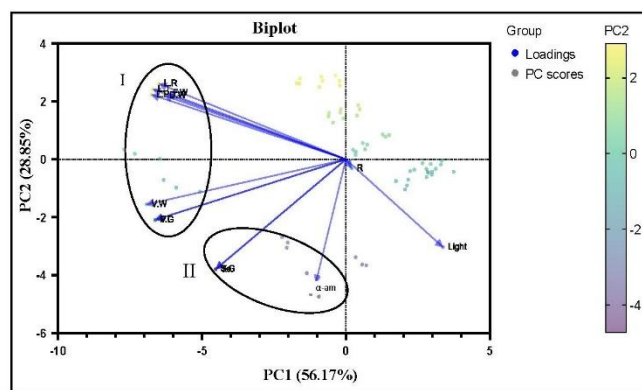
L.P: stem length, L.T: seedling height, F.W: seedling fresh weight, D.W: seedling dry weight, L.R: root length, V.W: weight vigor index, V.L: longitudinal vigor index, G%: germination percentage, Se: germination rate, and α -am: alpha-amylase enzyme

سرعت جوانه‌زنی که بالاترین این صفات در تیمار نوری ثبت گردید در بارگذاری مؤلفه اول نقش داشت. درصد جوانه‌زنی و آنزیم آلفا-آمیلاز که بالاترین آن در تیمار تلفیقی نور به همراه اسیدجیبرلیک ثبت گردید در بارگذاری مؤلفه دوم نقش داشتند.

شکل ۴-B تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی نشان داد که تجمیع سه مؤلفه اصلی ۹۲/۷۳ درصد از تغییرات را توضیح دادند که بر این اساس، ۵۶/۱۷ درصد از مؤلفه اول، ۲۸/۸۵ درصد از مؤلفه دوم و ۷/۷۱ درصد از مؤلفه سوم را شامل می‌شود. براساس این تجزیه و تحلیل، طول گیاهچه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص بنیه طولی و وزنی و



A



B

شکل ۴- تجزیه مؤلفه اصلی اثر هورمون اسیدجیبرلیک و پتاسیم نیترات (A) و تلفیق با اسیدجیبرلیک، سرمادهی خشک و مرطوب (B) بر صفات جوانه‌زنی گیاه دارویی درمنه سفید (*A. herba-alba*)

Figure 4- Principal component analysis of the effect of gibberellic acid and potassium nitrate (A), light (24, 16, 12, 8, and 0 hours) in combination with gibberellic acid, dry and wet chilling (B) on germination traits of the medicinal plant *A. herba-alba*

نتیجه‌گیری

جوانه‌زنی بذر یک فرآیند فیزیولوژیکی پیچیده است که به سیگنال‌های محیطی مانند نور، آب و عوامل دیگر پاسخ می‌دهد. نتایج این تحقیق به وضوح نشان داد که برای دستیابی به حداکثر بازدهی در جوانه‌زنی بذرهای درمنه سفید، استفاده از یک راهبرد تلفیقی که برهم‌کنش مثبت عوامل مختلف را هدف قرار می‌دهد، بسیار برتر از به‌کارگیری تک تیمارها است. در میان این تعاملات، اثر متقابل هورمون اسیدجیبرلیک و نور، قوی‌ترین و مؤثرترین ترکیب شناخته شد که توانست درصد جوانه‌زنی را از ۲۰ درصد در بذرهای تیمارنشده به ۷۸ درصد افزایش دهد. همچنین تیمار سرمادهی مرطوب نیز نشان داد که می‌تواند نیاز نوری بذر را کاهش داده و در ترکیب با دوره‌های نوری کوتاه‌تر، نتایج ممتازی ایجاد کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت

که خواب بذر درمنه سفید ناشی از موانع متابولیک و فیزیکی است که با به‌کارگیری هم‌زمان محرک‌های هورمونی مانند جیبرلین و سیگنال‌های محیطی مانند نور و سرمادهی مرطوب به بهترین شکل قابل غلبه هستند. این یافته‌ها راهکاری عملی و کم‌هزینه را برای احیاء و کشت پایدار این گونه دارویی در معرض خطر انقراض ارائه می‌دهد.

سیاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره «۴۰۳۹۷۰۰» انجام شده است.

References

1. Abdel-Baki, G. K., Shaddad, M. A. K., Mostafa, D., & Rafat, A. S. (2018). The effect of seed presoaking with KNO₃ on seed germination, proline, protein pattern, β -amylase and mineral composition of two faba bean cultivars treated with NaCl. *Egyptian Journal of Botany*, 58(3), 445-461. <https://doi.org/10.21608/ejbo.2018.3423.1166>.
2. Abdul Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13, 630-633. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>.
3. Ahmadi, K., Omid, H., & Soltani, E. (2023). Efficacy of KNO₃ and priming duration for improving germination, seedling growth, and antioxidant enzymes of keluss (*Kelussia odoratissima* Mozaff). *Acta Ecologica Sinica*, 43(6), 1120-1128. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.04.003>.
4. Aljaiyash, A., Kasrati, A., Jamali, C. A., & Chaouch, A. (2018). Effect of cultivation on chemical composition and bioactivities of essential oils from *Artemisia herba-alba* Asso grown in Morocco. *Biochemical Systematics and Ecology*, 81, 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2018.10.001>.
5. Angelini, L. G., Clemente, C., & Tavarini, S. (2021). Pre-germination treatments, temperature, and light conditions improved seed germination of *Passiflora incarnata* L. *Agriculture*, 11(10), 937. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100937>.
6. Avato, P., Laquale, S., Argentieri, M. P., Lamiri, A., Radicci, V., & D'Addabbo, T. (2017). Nematicidal activity of essential oils from aromatic plants of Morocco. *Journal of Pest Science*, 90, 711-722. <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0805-0>.
7. Bellili, S., Dhifi, W., Khsif Al Garni, A. B., Flamini, G., & Mnif, W. (2016). Essential oil composition and variability of *Artemisia herba-alba* Asso. growing in Tunisia: Comparison and chemometric investigation of different plant organs. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 6(7), 38-42. <https://dx.doi.org/10.7324/JAPS.2016.60705>.
8. Bewley, J. D., Bradford, K., Hilhorst, H., & Nonogaki, H. (2013). Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. Springer-Verlag, New York, 392 pp. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4_8.
9. Bhatla, S. C., & Lal, M. A. (2023). Seed dormancy and germination. In *Plant Physiology, Development and Metabolism*. Singapore: Springer Nature Singapore. pp. 625-640. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5736-1_28.
10. Chandel, N. S., Tripathi, V., Singh, H. B., & Vaishnav, A. (2023). Breaking seed dormancy for sustainable food production: Revisiting seed priming techniques and prospects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 55, 102976. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102976>.

11. Choudhury, A., & Bordolui, S. K. (2022). Inducement of seed priming with potassium nitrate on quality performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.). In *Biological Forum-An International Journal*, 4, 779-783.
12. da Silva, E. A., Toorop, P. E., Nijse, J., Bewley, J. D., & Hilhorst, H. W. (2005). Exogenous gibberellins inhibit coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seed germination and cause cell death in the embryo. *Journal of Experimental Botany*, 56(413), 1029-1038. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri096>.
13. da Silva, M. M., & Debergh, P. C. (1997). The effect of light quality on the morphogenesis of *in vitro* cultures of *Azorina vidalii* (Wats.) Feer. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 51, 187-193. <https://doi.org/10.1023/A:1005988621036>.
14. Dudareva, L. (2024). Phytochrome (S): The main agent of action of low-intensity he–ne laser radiation on seeds of cultivated plants: A review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43(2), 382-401. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11118-5>.
15. El-Nabawy, S., Rawash, M. A., Desouky, I., El-Hamady, A., & Khalil, F. (1980). Effect of stratification and GA₃ on the germination of pecan seeds and subsequent seedling growth. *Ann Agric Sci Fac Agric Ain-Shams Univ Egypt*, 25, 323-338.
16. Fenner, M., & Thompson, K. (2005). *The Ecology of Seeds*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 264 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511614101>.
17. Fenner, M. W. (2012). *Seed Ecology*. Springer Science & Business Media. Springer Dordrecht. 151 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-4844-0>.
18. Goggin, D. E., Steadman, K. J., & Powles, S. B. (2008). Green and blue light photoreceptors are involved in maintenance of dormancy in imbibed annual ryegrass (*Lolium rigidum*) seeds. *New Phytologist*, 180(1), 81-89. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02570.x>.
19. Gregory, P. (2007). *Plant Roots: their Growth, Activity, and Interaction with Soils*. Wiley Online Library. 328 p. <https://doi.org/10.1002/9780470995563>.
20. Hadi, N., Souri, M. K., & Omidbeigi, R. (2012). The effect of cold stratification and acid gibberellic pre-treatments on seed germination of *Angelica archangelica*, *Tanacetum cinerariaefolium* and *Chelidonium majus*. *Journal of Horticultural Science*, 25(4). (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.11604>.
21. Hernández, J. A., Díaz-Vivancos, P., Acosta-Motos, J. R., & Barba-Espín, G. (2021). Potassium nitrate treatment is associated with modulation of seed water uptake, antioxidative metabolism and phytohormone levels of pea seedlings. *Seeds*, 1(1), 5-15. <https://doi.org/10.3390/seeds1010002>.
22. Homrani-Bakali, A. (2015). Effect of various pre-treatments and alternating temperature on seed germination of *Artemisia herba-alba* Asso. *Journal of Plant Studies*, 4(1), 12.
23. International Seed Testing Association (ISTA). (2006). *International Rules for Seed Testing: Edition 2006: Annexe to Chapter 7 Seed Health Testing Seed Health Testing Methods: Adopted at the Ordinary Meeting 2005, Bangkok, Thailand, to Become Effective on 1st January 2006*. International Seed Testing Association.
24. Jiang, Z., Xu, G., Jing, Y., Tang, W., & Lin, R. (2016). Phytochrome B and REVEILLE1/2-mediated signaling controls seed dormancy and germination in *Arabidopsis*. *Nature communications*, 7(1), 12377. <https://doi.org/10.1038/ncomms12377> (2016).
25. Khan, M. N., Khan, Z., Luo, T., Liu, J., Rizwan, M., Zhang, J., & Hu, L. (2020). Seed priming with gibberellic acid and melatonin in rapeseed: Consequences for improving yield and seed quality under drought and non-stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 156, 112850. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112850>.
26. Lai, L., Zheng, Y., Bai, H., Yu, Y., An, P., Li, X., Rimmington, G. M., & Shimizu, H. (2010). Strong light inhibits germination of *Artemisia sphaerocephala* and *A. ordosica* at low temperature and its relevance to revegetation in sandy lands of Inner Mongolia, China. *Ecological research*, 25(4), 771-780. <https://doi.org/10.1007/s11284-010-0706-2>.
27. Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.
28. Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., & Ramalingam, J. (2020). Seed priming: A feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 8258. <https://doi.org/10.3390/ijms21218258>.

29. Mebratu, A. (2022). Potassium nitrate priming effect on the germination of tomato (*Lycopersicum esculentum*. Mill) cvs. "Mersa" and "Tekeze-1". *International Journal of Agronomy*, 1, 4970107. <https://doi.org/10.1155/2022/4970107>.
30. Meyer, S. E., Monsen, S. B., & McArthur, E. D. (1990). Germination response of *Artemisia tridentata* (Asteraceae) to light and chill: Patterns of between-population variation. *Botanical Gazette*, 151(2), 176-183.
31. Miransari, M., & Smith, D. L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 99, 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>.
32. Modallal, N. M., & Al-Charchafchi, F. M. (2006). Allelopathic effect of *Artemisia harba alba* on germination and seedling growth of *Anabasis setifera*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9, 1795-1798. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.1795.1798>.
33. Mohammadi, O., Mortazavi, S. N., Mohammadi, J., & Angourani, H. R. (2013). The effect of gibberellic acid and bed substrate on seed germination and seedling characteristics of Persian Cyclamen (*C. persicum*). *Plant Productions*, 36(3), 25-33. (In Persian with English abstract).
34. Motsa, M. M., Slabbert, M. M., Van Averbek, W., & Morey, L. (2015). Effect of light and temperature on seed germination of selected African leafy vegetables. *South African Journal of Botany*, 99, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.03.185>.
35. Nandula, V. K., Eubank, T. W., Poston, D. H., Koger, C. H., & Reddy, K. N. (2006). Factors affecting germination of horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed Science*, 54(5), 898-902. <https://doi.org/10.1614/WS-06-006R2.1>.
36. Nguyen, K. T., Towler, M. J., & Weathers, P. J. (2013). The effect of roots and media constituents on trichomes and artemisinin production in *Artemisia annua* L. *Plant Cell Reports*, 32, 207-218. <https://doi.org/10.1007/s00299-012-1355-4>.
37. Nie, L., Song, S., Yin, Q., Zhao, T., Liu, H., He, A., & Wang, W. (2022). Enhancement in seed priming-induced starch degradation of rice seed under chilling stress via GA-mediated α -amylase expression. *Rice*, 15(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s12284-022-00567-3>.
- Reilly, C., & De Atrip, N. (2007). Seed moisture content during chilling and heat stress effects after chilling on the germination of common alder and downy birch seeds. *Silva Fennica*, 41(2), 235.
38. Pallaoro, D. S., Avelino, A. C. D., Camili, E. C., Guimarães, S. C., & Albuquerque, M. C. D. F. E. (2016). Priming corn seeds with plant growth regulator. *Journal of Seed Science*, 38(03), 227-232.
39. Pourmomeini, S., & Moallemi, N. (2016). Effect of hydro and osmo-priming in combination with GA₃ and KNO₃ on seed germination of *Dodonaea viscosa* under salinity conditions. *Journal Of Horticultural Science*, 30(1), 102-111. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v30i1.37975>.
40. Prasad, P., Mehdi, J., Mohan, R., Goyal, N., Luqman, S., Khare, P., & Kumar, B. (2018). Effect of potassium chloride-induced stress on germination potential of *Artemisia annua* L. varieties. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 9, 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.03.005>.
41. Reed, R. C., Bradford, K. J., & Khanday, I. (2022). Seed germination and vigor: Ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, 128(6), 450-459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>.
42. Saffari, P., Majd, A., Jonoubi, P., & Najafi, F. (2021). Effect of treatments on seed dormancy breaking, seedling growth, and seedling antioxidant potential of *Agrimonia eupatoria* L. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 20, 100282. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2020.100282>.
43. Sasani, R., Khazaei, H. R., & Nezami, A. (2010). Effects of gibberellin, benzyl adenine, zeatine hormones and temperature on dormancy breaking of potato minituber (*Solanum tuberosum*). *Journal of Horticultural Science*, 23(2), 61-67. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1388i2.2587>.
44. Savaedi, Z., Parmoon, G., Moosavi, S. A., & Bakhshande, A. (2019). The role of light and gibberellic acid on cardinal temperatures and thermal time required for germination of charnushka (*Nigella sativa*) seed. *Industrial Crops and Products*, 132, 140-149. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.025>.
45. Schuerger, A. C., Brown, C. S., & Stryjewski, E. C. (1997). Anatomical features of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. *Annals of Botany*, 79(3), 273-282. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0341>.

46. Sedighi Dehkordi, F., Nabipour, M., & Mesgarbashi, M. (2013). Effect of different seed priming methods on germination of chicory's ecotypes (*Cichorium intybus* L.). *Plant Productions*, 36(4), 96-107. (In Persian with English abstract).
47. Shu, K., Liu, X. D., Xie, Q., & He, Z. H. (2016). Two faces of one seed: Hormonal regulation of dormancy and germination. *Molecular Plant*, 9(1), 34-45.
48. Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology*. 5th Ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Massachusetts. Sinauer Associates is an Imprint of Oxford University Press. pp. 782.
49. Vidal, A., Cantabella, D., Bernal-Vicente, A., Díaz-Vivancos, P., & Hernández, J. A. (2018). Nitrate-and nitric oxide-induced plant growth in pea seedlings is linked to antioxidative metabolism and the ABA/GA balance. *Journal of Plant Physiology*, 230, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.08.003>.
50. Wang, H., Wu, F., Li, M., Zhu, X., Shi, C., & Ding, G. (2021). Morphological and physiological responses of *Pinus massoniana* seedlings to different light gradients. *Forests*, 12(5), 523. <https://doi.org/10.3390/f12050523>.
51. Xiao, Z., Storms, R., & Tsang, A. (2006). A quantitative starch? Iodine method for measuring alpha-amylase and glucoamylase activities. *Analytical Biochemistry*, 351(1), 146-148.
52. Younsi, F., Mehdi, S., Aissi, O., Rahali, N., Jaouadi, R., Boussaid, M., & Messaoud, C. (2017). Essential oil variability in natural populations of *Artemisia campestris* (L.) and *Artemisia herba-alba* (Asso) and incidence on antiacetylcholinesterase and antioxidant activities. *Chemistry and Biodiversity*, 14(7), e1700017. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201700017>.
53. Zheng, Y., Xie, Z., Gao, Y., Jiang, L., Xing, X., Shimizu, H., & Rimmington, G. M. (2005). Effects of light, temperature and water stress on germination of *Artemisia sphaerocephala*. *Annals of Applied Biology*, 146(3), 327-335. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.040039.x>.