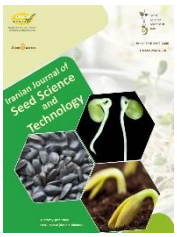
2024, 13 (1), 1-14 https://doi.org/10.22092/ijsst.2023.361781.1480

Seed Science Society of Iran

Seed and Plant Certification and Registration Institute

Iranian Journal of
Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Optimal condition determination for Ajwain (*Carum capticum*) standard germination test

Ali Shayanfar[1*], Bita Oskouei[1], Abbas Dehshiri[2], Hadis Afshar[3], Elahe Gheisari[3]

1. Research Assistant Professor, Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2. Research Associate Professor, Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
3. Master of Seed Laboratory of Agricultural Research, Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Article Information

Received: 03 Apr. 2023
Revised: 11 May. 2023
Accepted: 21 May. 2023

Keywords:
Ajwain,
Environmental condition,
Seed germination,
Seedling vigor

Corresponding Author:
ali.shayanfar13@gmail.com

Abstract

Randomized factorial design was implemented in four replications to determine optimal methods of Ajwain (*Carum capticum*) standard seeds germination in SPCRI. Ajwain seeds were placed top and between paper and sand exposed to two potassium nitrate (two grams per 1000 ml distilled water) and pre-chilling (seven days under 7-10ºC) pre-treatments which were under six temperatures (10, 15, 20, 25, 20-30, and 35ºC) in germinator for 25 days so as to germination indices were assessed. Ajwain seeds viability was estimated 75% after tetrazolium test. The highest final and normal seedling percentages were found under 15 and 20ºC in pre-chilling treatment and also 20ºC in potassium nitrate and control. No germination was observed under 35ºC in potassium nitrate and control, however, pre-chilling led to >26% germination. The higher germination potential was shown in top and between papers compared with sand. The lowest germination rate was recorded in control and potassium nitrate and the highest one in pre-chilling. The maximum of seedling weight vigor was suggested in top and between paper when seeds were put under 10, 15, and 20ºC. In order to evaluate optimal standard germination of Ajwain seeds, it was resulted that applying of two potassium nitrate and pre-chilling treatments placed top and between papers under 15 and 20ºC caused maximum of germination potential and seedling weight vigor.

How to cite this paper: Shayanfar, A., Oskouei, B., Dehshiri, A., Afshar, H., & Gheisari, E. (2024). Optimal condition determination for Ajwain (*Carum capticum*) standard germination test. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *13* (1), 1-14. https://doi.org/10.22092/ijsst.2023.361781.1480

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

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The use of medicinal plants has been expanding from the past to the present, attracting significant global attention. The excessive harvesting of these plants in their natural habitats has led many important species to the brink of extinction. Therefore, the restoration of these areas and the sustainable use of these plants, along with efforts to domesticate and cultivate them, are of paramount importance. One such important plant is Ajwain (*Carum capticum*), which has various applications in the medical and pharmaceutical industries. This plant, belonging to the Apiaceae family, is recognized as a significant medicinal herb and grows in arid and semi-arid regions of Central Europe, Asia, India, and Iran, as well as in Iraq, Afghanistan, and Pakistan. To date, no standard germination test guidelines for Ajwain seeds have been reported by the International Seed Testing Association (ISTA). This study evaluated the germination of Ajwain seeds in a temperature range of 10 to 35 ºC across different germination substrates, as well as various pre-treatments, given that most species in the Apiaceae family respond positively to cold stratification and potassium nitrate treatments to enhance germination and alleviate dormancy. The aim was to provide a comprehensive guideline for ISTA, enabling other researchers to assess Ajwain seed germination based on these recommendations.

Materials and Methods

This factorial study was conducted as a completely randomized design with four replications at the Seed and Plant Registration and Certification Research Institute in Karaj. Ajwain seeds were subjected to two treatments of potassium nitrate (at a concentration of 2 grams per liter of distilled water) and cold stratification (for 7 days at 7 to 10 ºC). Additionally, seeds were placed in three types of substrates: top paper, between paper, and sand, at various temperatures (10, 15, 20, 25, 20-30, and 35 ºC) for 25 days. This study examined the effects of these factors on seed germination and related indices, such as final germination percentage, number of normal seedlings, non-viable seeds, seedling vigor index, and germination rate.

Results and Discussion

The results showed that seed viability after the tetrazolium test was 75%. The highest final germination percentage and number of normal seedlings were recorded at temperatures of 20 and 15 ºC under cold stratification and at 20 ºC with potassium nitrate treatment. Some studies have indicated that potassium nitrate treatment can reduce or eliminate seed dormancy and enhance germination; in seeds of the Apiaceae family, which often exhibit dormancy due to the embryo, this treatment can accelerate the differentiation of essential tissues. At 35 ºC, no germination was observed after either the control or potassium nitrate treatments; however, over 26% germination was recorded following cold stratification. Furthermore, germination potential was higher at top paper and between-paper substrates compared to sand. A comparison of non-viable seeds across different treatments revealed the highest rates at 35 ºC in both control and potassium nitrate treatments, with the highest percentage of non-viable seeds in sand substrate across all temperatures. This finding aligns with results from other researchers. The highest non-viable seed percentages were observed sequentially at temperatures of 10, 25, 15, 20, and 20-30 ºC in the sand substrate, with the lowest percentages recorded at 10, 15, and 20 ºC in the between-paper substrate. Germination rate was higher in the control, potassium nitrate, and cold stratification treatments in the top paper and between-paper substrates compared to sand. The highest germination rate for both the control and potassium nitrate treatments was observed in the top paper and between-paper substrates at 20 and 20-30 ºC. It has been demonstrated that potassium nitrate can significantly reduce germination time and improve seedling vigor and uniformity in germination. Various studies on the Apiaceae family have indicated that seeds require a cold stratification period of several weeks to months for maximum germination. The lowest germination rate (after 35 ºC) was observed at 10 and 25 ºC in the sand substrate under both control and potassium nitrate treatments. Under cold stratification, the highest germination rate was recorded in the three treatments at 15, 20, and 25 ºC in top paper and between-paper substrates. In all cold stratification treatments, germination rate exceeded that of potassium nitrate and control treatments. The seedling vigor index was similar across all control and potassium nitrate treatments, following an almost identical pattern. In the control and potassium nitrate treatments, the highest seedling vigor index for Ajwain was observed in top paper and between-paper substrates at temperatures of 10, 15, and 20 ºC, although it was zero in both treatments at 10 ºC. The highest seedling vigor index was consistently observed in both control and potassium nitrate treatments across all temperatures in top paper and between-paper substrates, with the lowest at 35 ºC. A different pattern was observed for the pre-cold stratification treatment compared to potassium nitrate and control treatments. In the cold stratification treatment at 15 and 25 ºC in the paper substrate, the highest seedling vigor index for Ajwain was recorded. After comparing all temperature treatments, substrates, and the three treatments (control, potassium nitrate, and cold stratification), the highest seedling vigor index was noted at 10 and 20 ºC in the paper substrate with potassium nitrate.

Conclusion

The findings of this study can serve as a foundation for future research aimed at optimizing cultivation methods for Ajwain. Additionally, this study underscores the importance of environmental management and pre-treatments in improving seed germination. Based on the results obtained, it is recommended that the use of potassium nitrate and cold stratification at temperatures of 15 and 20 ºC in top paper and between-paper substrates can maximize germination potential and seed vigor of Ajwain seeds, providing the best guidelines for evaluating the standard germination tests for Ajwain seeds in Iran under laboratory condition.

دوره ۱۳، شماره ۱، صفحات ۱-۱۴ https://doi.org/10.22092/ijsst.2023.361781.1480

نشریه علوم و فناوری بذر ایران

ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

تعیین بهترین شرایط آزمون جوانه‌زنی استاندارد توده‌های بذری زنیان (*Carum capticum*)

علی شایان‌فر[۱*]، بیتا اسکویی[۱]، عباس ده‌شیری[۲]، حدیث افشار[۳]، الهه قیصری[۳]

۱. استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲. دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳. کارشناس ارشد آزمایشگاه تجزیه کیفی بذر موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

چکیده

به منظور تعیین بهترین روش برای آزمون جوانه‌زنی استاندارد بذر زنیان (*Carum capticum*)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار طراحی و در موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج اجرا گردید. بذرها در دو تیمار نیترات پتاسیم (۲ گرم در هزار میلی‌لیتر آب مقطر) و سرمادهی (۷ روز در دمای ۷ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد) و سه حالت بستر روی کاغذ، بین کاغذی و ماسه و در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۰-۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس در ژرمیناتور به مدت ۲۵ روز قرار گرفتند. زنده‌مانی پس از آزمون تترازولیوم ۷۵٪ بود. بالاترین درصد جوانه‌زنی نهایی و گیاهچه عادی در دمای ۲۰ و ۱۵ درجه سلسیوس در سرمادهی و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در نیترات پتاسیم و شاهد ثبت گردید. در دمای ۳۵ درجه سلسیوس هیچ گونه جوانه‌زنی پس از اعمال تیمارهای شاهد و نیترات پتاسیم مشاهده نشد اما پس از سرمادهی بیش از ۲۶٪ جوانه‌زنی ثبت گردید. پتانسیل جوانه‌زنی در بستر روی کاغذ و بین کاغذی نسبت به ماسه بالاتر بود. کمترین سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای شاهد و نیترات پتاسیم، و بیشترین در سرمادهی ثبت گردید. شاخص وزنی بنیه در بسترهای روی کاغذ و بین کاغذی در سه دمای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس بالاترین مقدار بود. در راستای ارزیابی بهینه جوانه‌زنی استاندارد زنیان استفاده از نیترات پتاسیم و سرمادهی در دو دمای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس در دو بستر روی کاغذ و بین کاغذی پیشنهاد می‌گردد، زیرا می‌تواند حداکثر پتانسیل جوانه‌زنی و شاخص وزنی بنیه را حاصل نماید.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱

واژه‌های کلیدی:
بنیه گیاهچه،
جوانه‌زنی بذر،
زنیان،
شرایط محیطی

نویسنده مسئول:
ali.shayanfar13@gmail.com

نحوه استناد به این مقاله:
Shayanfar, A., Oskouei, B., Dehshiri, A., Afshar, H., & Gheisari, E. (2024). Optimal condition determination for Ajwain (*Carum capticum*) standard germination test. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *13* (1), 1-14. https://doi.org/10.22092/ijsst.2023.361781.1480

مقدمه

از گذشته تا به امروز استفاده به اشکال مختلف از گیاهان داروئی در حال گسترش بوده است و در ابعاد جهانی توجه ویژه‌ای به آنها شده است. برداشت بی رویه این گیاهان در عرصه طبیعت سبب شده است که بسیاری از این گونه‌های مهم در معرض انقراض قرار بگیرند. بنابراین احیای مناطق کشور و استفاده اصولی و بجا از این گیاهان و تلاش برای اهلی و زراعی سازی آنها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. یکی از این گیاهان مهم زنیان است که بسیاری از بخش‌های آن در صنعت پزشکی و داروئی استفاده می‌شود. زنیان با نام علمی *Carum capticum* از تیره چتریان (*Apiaceae*) است که به عنوان یک گیاه داروئی مهم شناخته می‌شود. این گیاه در مناطق خشک و نیمه خشک از نواحی مرکزی اروپا، آسیا، هند و ایران (به ویژه در نواحی شرقی بلوچستان)، عراق، افغانستان و پاکستان رشد می‌کند (Zahin et al., 2010). گیاهی چندساله که ارتفاع آن کمی بیشتر از زیره سیاه و در حدود یک متر است، اما شکل برگ و رنگ گل‌ها مشابه با زیره سیاه است. میوه‌های گیاه کوچک، تخم مرغی شکل، زرد تیره و سطح میوه پنج خط با رنگ زرد روشن دارد. میوه‌ها و ریشه‌های آن به میزان زیادی در پزشکی سنتی کاربرد دارند. ترکیبات بذر شامل هیدرات‌های کربن (۳۸٪/۶)، روغن (۱۸٪/۱)، پروتئین (۱۵٪/۴)، فیبر (۱۱٪/۹)، تانن، گلوکوزید، رطوبت (۸٪/۹)، ساپونن، فلاوون، و مواد معدنی (۷٪/۱) است (Boskabady et al., 2014).

گیاه زنیان در طبیعت بیشتر از طریق بذر تکثیر می‌گردد. تاکنون اطلاعات دقیقی از الگوی جوانه‌زنی بذرهای این گیاه منتشر نشده است. محققان مطالعات متعددی در خصوص پاسخ جوانه‌زنی بذرها و حذف خواب اولیه و ثانویه بذرهای خانواده چتریان به عنوان یکی از مهم‌ترین خانواده‌های گیاهان داروئی، انجام داده‌اند که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

گونه‌های خانواده چتریان اغلب بذرهایی با انواع و سطوح مختلفی از خواب بذر دارند (Nurulla et al., 2014). جنین‌های بذر در اعضای این خانواده بیشتر توسعه نیافته است و نیاز دارند تا قبل از خروج ریشه‌چه (جوانه‌زنی) درون بذر رشد کنند و اغلب خواب مورفوفیزیولوژیک داشتند که از جمله می‌توان به گیاهان *Trepocarpus aethusae*، *Conium maculatum*، *Chaerophyllum procumbens*، *Bupleurum aureum* اشاره نمود (Baskin & Baskin, 2014). بذرهای مشگک (*Ducrosia anethifolia*) تحت تیمارهای مختلف قرار گرفتند و مشخص گردید بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی بذرها در صورت تیمار با محلول نیترات پتاسیم حاصل گردید (Ghavam et al., 2018). شیوه های خراش دهی، پس‌رسی و سرمادهی سبب رفع خواب در بذر برخی از جمعیت‌های گیاه داروئی مرزه (*Satureja* spp) شد (Alizadeh et al., 2017).

بذرهای انجدان رومی (*Levisticum officinale*) بهترین جوانه‌زنی و رفع خواب بذر را پس از تیمارهای خیساندن بذرها به مدت ۱۲ ساعت و سرمادهی در دمای ۵ درجه سلسیوس به مدت شش هفته داشتند (Afzali Group et al., 2018). تیمار سرمادهی مرطوب و جیبرلین بیشترین تأثیر را بر افزایش جوانه‌زنی بذر زیره سیاه ایرانی داشتند (Kamali & Sadeghipour, 2016). در مطالعه دیگر بر روی بذر زیره سیاه ایرانی گزارش گردید تیمار ده هفته سرمادهی همراه با دوره سه‌ساله پس‌رسی در شرایط بهینه، سبب رفع خواب و القای جوانه‌زنی می‌گردد (Sasani et al., 2006). جوانه‌زنی بذرهای آنغوزه پس از قرارگیری در معرض سرمادهی، آبشویی و جیبرلیک اسید، افزایش معنی‌داری را حاصل نمود (Nowruzian et al., 2017). در مطالعه دیگر نیز نشان داده است بهترین تیمار برای افزایش جوانه‌زنی بذرهای آنغوزه تیمار سرمادهی مرطوب است (Raisi et al., 2013). بذرهای باریجه (*Ferula gummosa*) خواب مورفوفیزیولوژیکی داشتند و به سرمادهی مرطوب در دمای ۵ درجه سلسیوس برای رفع خواب نیاز داشتند و استفاده از جیبرلین نتوانست خواب آنها را رفع کند (Zardari et al., 2019). بذرهای سنبل ختایی (*Angelica keiskei*) خواب فیزیولوژیک داشتند و مشخص شده است که استفاده از سرمادهی مرطوب سبب رفع خواب آنها به میزان زیادی می‌شود و در طبیعت بذرهای این گیاه درنتیجه قرارگیری در معرض سرمای طبیعی، خواب فیزیولوژیکی آنها رفع شده و در ابتدای فصل رشد بذرها جوانه زده و تولید گیاهچه می‌کنند (Zhang et al., 2019).

تا کنون دستورالعملی توسط انجمن بین‌المللی آزمون‌های بذر (ISTA) در مورد آزمون جوانه‌زنی استاندارد بذر زنیان گزارش

نشده است. در این مطالعه با توجه به اینکه بیشتر گونه‌های موجود در خانواده چتریان در جهت حصول حداکثر جوانه‌زنی و رفع خواب احتمالی، به پیش تیمارهای سرمادهی و نیترات پتاسیم پاسخ مثبتی را نشان دادند، جوانه‌زنی بذرهای زنیان در یک پنجره دمایی ۱۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس و بسترهای مختلف جوانه‌زنی و همچنین پیش تیمارهای مذکور ارزیابی گردید تا برای اولین بار یک دستورالعمل جامع و قابل ارائه برای ISTA ارائه گردد تا سایر محققین نیز برای اساس دستورالعمل ارائه شده، جوانه‌زنی بذرهای زنیان را مورد ارزیابی قرار دهند.

مواد و روش‌ها

در راستای ارزیابی جوانه‌زنی توده بذرهای زنیان ایرانی، مطالعه‌ای در سال ۱۴۰۱ در آزمایشگاه تجزیه کیفی بذر مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج طراحی و اجرا شد تا شرایط بهینه آزمون جوانه‌زنی استاندارد بذر زنیان حاصل گردد. آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. بذرهای مورد استفاده در این تحقیق از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. در ابتدای آزمایش، رطوبت بذرها ارزیابی و در حدود ۸٪ ثبت گردید. بذرها در دمای ۱۰ درجه سلسیوس در پاکت‌های کاغذی تا شروع آزمایش به مدت دو ماه قرار گرفتند. بذرها با هیپوکلریت سدیم ۱٪ به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی سطحی شده و سپس سه مرتبه با آب معمولی شستشو شدند.

در راستای ارزیابی زنده‌مانی بذرها، آزمون تترازولیوم انجام گردید. جهت انجام این آزمون چهار تکرار ۵۰ بذری زنیان به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در آب مقطر غوطه‌ور شدند. سپس بیش از نصف (یک دوم) بذرها بصورت طولی برش داده شدند، و به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس در محلول تترازولیوم یک درصد قرار داده شدند. بذرهایی زنده محسوب شدند که تمامی بخش‌های داخلی بذر از جمله جنین و آندوسپرم بخوبی رنگ گرفته بودند (ISTA, 2022).

تیمارهای اعمال شده و مورد ارزیابی در این مطالعه شامل شش سطح دما، سه سطح بستر کشت و دو پیش تیمار سرمادهی و نیترات پتاسیم بودند که تمامی پیش تیمارهای استفاده شده در این مطالعه براساس دستورالعمل انجمن بین‌المللی آزمون‌های بذر بود (ISTA, 2022).

در پیش تیمار سرمادهی، بذرهای زنیان ابتدا در سه بستر کشت جوانه‌زنی روی کاغذ[1] (TP)، بین کاغذ[2] (BP) و ماسه[3] (S) قرار گرفتند و در دمای ۷ تا ۱۰ درجه سلسیوس به مدت هفت روز استقرار یافتند و سپس به دماهای جوانه‌زنی منتقل شدند. در تیمار نیترات پتاسیم، از محلول نیترات پتاسیم با غلظت دو گرم در هزار میلی‌لیتر آب مقطر استفاده شد و بذرها پس از قرارگیری در بسترهای کشت بجای آب مقطر، محلول نیترات پتاسیم به آنها اضافه شد و در دماهای مربوطه قرار گرفتند (ISTA, 2022).

ظرف‌های کشت سپس به دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۰-۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۵ روز انتقال یافتند. تیمارهای بذری شامل چهار تکرار ۱۰۰ بذری برای هر نمونه از هر تیمار بودند. بذرهای شاهد یا بدون تیمار شامل بذرهایی بودند که تمامی تیمارهای دمایی و بستر کشت را دریافت نموده بودند و هیچ گونه پیش تیماری سرمادهی یا نیترات پتاسیم بر آنها اعمال نگردید.

ارزیابی بذرها به‌صورت روزانه تا روز پایانی آزمایش (۲۵ روز)، انجام گرفت و خروج ریشه‌چه به میزان دو میلی‌متر به عنوان معیار جوانه‌زنی ثبت گردید (Ghaderi-Far & ISTA, 2022; Soltani, 2014). ارزیابی بذرها در ظرف‌های کشت پس از انتقال به دماهای مختلف (بجز دمای متناوب) در شرایط نور کامل در تمامی دوره جوانه‌زنی انجام گردید تا چنانچه بذرها نیاز نوری داشته باشند، تاریکی سبب کاهش جوانه‌زنی نگردد. در خصوص دمای متناوب ۲۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد، ترکیب تاریکی ۱۶ ساعت – روشنایی ۸ ساعت اعمال گردید (ISTA, 2022). منبع نور موجود در ژرمیناتورها، از نوع فلورسنت یا سفید مهتابی (۳۰۰۰ کلوین) بود (ISTA, 2022). جوانه‌زنی بذرهای زنیان در شرایط شاهد تحت دمای ۱۰ درجه سلسیوس، چندین روز مانده به انتهای آزمایش (روز ۲۵ ام)، پایان یافت. در انتهای آزمایش درصد گیاهچه عادی و بذرهای غیر زنده براساس مشاهدات انجام شده ثبت گردید. تعداد ۱۰ گیاهچه از هر تیمار شمارش و پس از

[1] Top of paper
[2] Between paper
[3] Sand substrate

خشک کردن در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و برحسب میلی‌گرم ثبت گردید. شاخص وزنی بنیه زنیان نیز براساس رابطه (۱) محاسبه گردید (Orchard, 1977).

رابطه (۱) = شاخص وزنی بنیه

(میلی‌گرم) وزن خشک گیاهچه × (درصد) گیاهچه عادی

سرعت جوانه‌زنی نیز در این مطالعه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (AOSA, 1983).

رابطه (۲) $$RI = \sum_{i=1}^{c} Ni / \sum_{i=1}^{c} Ti$$

$\sum Ni$ = مجموع کل بذرهای جوانه‌زده تا پایان آزمایش

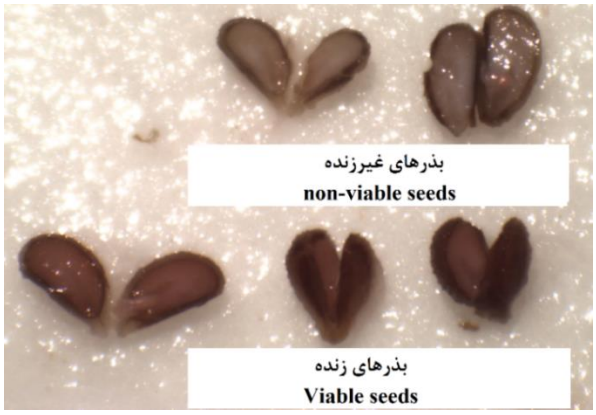
$\sum Ti$ = مجموع زمان بر حسب روز از شروع آزمایش جوانه‌زنی

تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارها SAS V. 9 و Excel 2013 انجام شد (SAS Institute, 1994). مقایسه میانگین داده‌های مختلف مورد ارزیابی در این مطالعه با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج

نتایج آزمون تترازولیوم نشان داد میزان بذرهای زنده زنیان ۷۵٪ بود. تمامی بخش‌های داخلی بذر از جمله جنین و آندوسپرم در بذرهای زنده به خوبی رنگ پذیری نشان دادند (شکل ۱).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی تحت تیمارهای دما، بستر کشت و پیش تیمارهای مختلف (شاهد، نیترات پتاسیم و سرمادهی) نشان داد اثرمتقابل سه تیمار مورد مطالعه بر تمامی شاخص‌های جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۱). با توجه به اینکه اعمال تیمار سرمادهی قبل از انتقال به دمای ۱۰ درجه سلسیوس مفید نبود لذا نتایج تیمار شاهد در دمای ۱۰ درجه سلسیوس با تیمار سرمادهی (۷ روز به مدت ۱۰ درجه سلسیوس) و سپس انتقال به دمای ۱۰ درجه سلسیوس، نتایج یکسانی را حاصل می‌کرد، از ارائه نتایج سرمادهی در دمای ۱۰ درجه سلسیوس در تمامی شاخص‌های ارزیابی شده خودداری گردید.



شکل ۱- آزمون تترازولیوم بذرهای زنیان. در بالا تمامی یا بخشی از بذرها به‌خوبی رنگ نگرفته است (بذرهای غیرزنده)، در پایین تمامی بخش‌های داخلی بذر از جمله جنین و آندوسپرم به‌خوبی رنگ گرفته است (بذرهای زنده).

Figure 1- Ajwain seeds tetrazolium test. Above, all or part of the seeds are not well colored (non-viable seeds), at the bottom, all the internal parts of the seeds, including the embryo and endosperm, are well colored (viable seeds).

درصد جوانه‌زنی نهایی

پس از مقایسه میانگین بین درصد جوانه‌زنی نهایی در تیمارهای مختلف، تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۲). در تیمار شاهد و تیمار نیترات پتاسیم میزان جوانه‌زنی بذرها در بسترهای کشت رو و بین کاغذ در تمامی دماها بیشتر از بستر ماسه بود. بالاترین درصد جوانه‌زنی در شرایط شاهد به ترتیب در دمای ۱۰ و ۱۵ در بستر بین کاغذ و دمای ۱۵ و ۲۰ سلسیوس در بستر روی کاغذی ثبت گردید. بالاترین درصد جوانه‌زنی تحت تیمار نیترات پتاسیم به ترتیب در دمای ۱۵ و ۱۰ درجه سلسیوس در دو بستر بین و روی کاغذی مشاهده شد. در تیمار پیش سرمادهی، دمای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس در هر بستر در مقایسه با دماهای دیگر، درصد جوانه‌زنی بالاتری داشتند (جدول ۲). در دمای ۳۵ درجه سلسیوس درصد جوانه‌زنی ۴۳/۵۰، ۵۸/۲۵ و ۲۶/۲۵٪ به ترتیب در سه بستر روی کاغذ، بین کاغذی و ماسه در تیمار پیش سرمادهی بود اما در تیمارهای نیترات پتاسیم و شاهد در این دما جوانه‌زنی مشاهده نشد. پس از مقایسه داده‌ها در بین تمامی تیمارها مشخص گردید که بالاترین درصد جوانه‌زنی به ترتیب در بستر کشت بین کاغذی و تیمار سرمادهی در دمای ۲۰ و ۱۵ درجه سلسیوس (۷۳/۲۵ و ۷۲/۰۰٪) و تیمار نیترات پتاسیم در دمای ۱۵

درجه سلسیوس (۷۱/۷۵٪) ثبت گردید (جدول ۲).

درصد گیاهچه عادی

در شرایط شاهد و نیترات پتاسیم همواره درصد گیاهچه عادی در دماهای مختلف در دو بستر روی کاغذ و بین کاغذی بالاتر از ماسه بود و جوانه‌زنی در دمای ۳۵ درجه سلسیوس صفر گزارش شد. در تیمار سرمادهی درصد گیاهچه عادی در دمای ۳۵ درجه سلسیوس، بالاتر از دو تیمار نیترات پتاسیم و شاهد بود و تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد. در تیمار شاهد، به ترتیب بالاترین درصد گیاهچه عادی در تیمارهای ۱۰ و ۱۵ در بستر بین کاغذی، ۱۵، ۲۰، ۱۰ و ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس در بستر روی کاغذی مشاهده شد. در تیمار نیترات پتاسیم به ترتیب بالاترین درصد گیاهچه عادی در دمای ۱۵، ۱۰، ۲۰-۳۰ و ۲۰ درجه سلسیوس در هر دو بستر روی کاغذ و بین کاغذی مشاهده شد. در تیمار سرمادهی، بالاترین مقدار این شاخص در دمای ۲۰ و ۱۵ درجه سلسیوس در بستر بین کاغذی ثبت شد. (جدول ۳).

درصد بذرهای غیرزنده

پس از مقایسه میانگین درصد بذرهای غیرزنده زنیان در تیمارهای مختلف مشاهده شد که بالاترین مقدار این شاخص در دمای ۳۵ درجه سلسیوس در دو تیمار شاهد و نیترات پتاسیم مشاهده شد. در شرایط شاهد و نیترات پتاسیم پس از دمای ۳۵ درجه سلسیوس، بالاترین درصد بذرهای غیرزنده در بستر کشت ماسه در در تمامی دماها مشاهده شد. بالاترین درصد بذرهای غیرزنده به ترتیب در دمای ۱۰، ۲۵، ۱۵، ۲۰ و ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس در بستر ماسه مشاهده گردید و کمترین درصد بذرهای غیرزنده در سه دمای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس در بستر بین کاغذی ثبت گردید. بالاترین درصد بذرهای غیرزنده در تیمار نیترات پتاسیم در تیمار ۱۰ و ۲۵ درجه سلسیوس در بستر ماسه ثبت گردید (جدول ۴). در تیمار سرمادهی درصد بذرهای غیرزنده در دمای ۳۵ درجه سلسیوس پایین‌تر از دو تیمار شاهد و نیترات پتاسیم بود. در دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس همواره درصد بذرهای غیرزنده کمترین مقدار بود (جدول ۴).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های جوانه‌زنی بذر زنیان در دما، بستر کشت و تیمارهای متفاوت.

Table 1- Analysis of variance (mean squared) of Ajwain seed germination indices under different temperatures, substrates and treatments.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی D.F.	جوانه‌زنی نهایی Final germination	گیاهچه عادی Normal seedling	بذرهای غیرزنده Dead seeds	سرعت جوانه‌زنی Germination rate index	شاخص وزنی بنیه Weight vigor index
تیمار Treatment (T)	2	5677.54 **	5785.01 **	5474.67 **	1725.29 **	47171.84 **
بستر Substrate (S)	2	9832.29 **	9673.29 **	9676.03 **	1376.79 **	296746.20 **
دما Temperature (Temp)	5	12072.30 **	12009.88 **	12341.16 **	1330.69 **	321639.88 **
تیمار × بستر (T × Temp)	4	197.58 **	184.9 **	204.16 **	111.10 **	7401.08 **
تیمار × دما (T × Temp)	10	1233.04 **	1239.79 **	1162.06 **	186.52 **	21962.17 **
دما × بستر (Temp × S)	10	1428.85 **	1438.52 **	1442.15 **	45.48 **	78765.92 **
تیمار × دما × بستر (T × Temp × S)	20	197.18 **	192.60 **	177.31 **	12.75 **	7225.06 **
خطا Error	162	45.3	44.99	46.47	2.07	3799.9
ضریب تغییرات C.V.	-	14.14	14.13	12.98	13.73	26.46

**، *، ns به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح یک، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

**, * significant at 1 and 5 percent levels of probability and non-significant, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل دما، بستر کشت و تیمار بر درصد جوانه‌زنی نهایی بذر زنیان.

بستر کشت (Sub): روی کاغذی (TP)، بین کاغذی (BP)، ماسه (S).

Table 2- Mean comparison of interaction effects (Temperature × Substrate × Treatment) on Ajwain seeds final germination percentage. Substrate (Sub): Top paper (TP), Between paper (BP), Sand (S).

دما (Temp)	بستر (S)	درصد جوانه‌زنی نهایی (Final germination percentage)		
		بدون تیمار (No treatment)	نیترات پتاسیم (KNO_3)	پیش سرمادهی (Pre-chilling)
10	TP	62.75 a-g	67.00 a-e	
	BP	68.25 a-d	65.50 a-e	
	S	11.75 op	0.00 p	
15	TP	65.50 a-e	70.50 abc	66.75 a-e
	BP	68.25 a-d	71.75 ab	72.00 ab
	S	44.75 i-l	56.00 d-i	61.00 a-h
20	TP	65.75 a-e	62.25 a-g	65.50 a-e
	BP	60.75 b-h	63.75 a-f	73.25 a
	S	45.25 i-l	45.75 i-l	67.75 a-d
25	TP	34.75 lm	35.75 lm	63.25 a-g
	BP	42.75 kl	49.75 h-k	60.75 b-h
	S	17.25 no	15.75 no	66.00 a-e
20-30	TP	61.25 a-h	64.75 a-f	61.00 a-h
	BP	55.25 e-j	63.25 a-g	60.00 b-h
	S	51.00 g-k	42.25 kl	53.00 f-k
35	TP	0.00 p	0.00 p	43.50 jkl
	BP	0.00 p	0.00 p	58.25 c-h
	S	0.00 p	0.00 p	26.25 mn
LSD 0.01			12.40	

میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD در سطح یک درصد می‌باشند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability levels using LSD test.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل دما، بستر کشت و تیمار بر درصد گیاهچه عادی بذر زنیان.

بستر کشت (Sub): روی کاغذی (TP)، بین کاغذی (BP)، ماسه (S).

Table 3- Mean comparison of interaction effects (Temperature × Substrate × Treatment) on Ajwain normal seedling percentage. Substrate (Sub): Top paper (TP), Between paper (BP), Sand (S).

دما (Temp)	بستر (S)	درصد گیاهچه عادی (Normal seedling percentage)		
		بدون تیمار (No treatment)	نیترات پتاسیم (KNO_3)	پیش سرمادهی (Pre-chilling)
10	TP	62.75 a-g	67.00 a-e	
	BP	68.25 a-d	65.50 a-e	
	S	11.75 op	0.00 p	
15	TP	65.50 a-e	70.50 abc	66.75 a-e
	BP	68.25 a-d	71.75 ab	72.00 ab
	S	44.75 i-l	56.00 d-i	61.00 a-h
20	TP	64.50 a-f	61.75 a-g	65.50 a-e
	BP	60.50 b-h	63.75 a-f	73.25 a
	S	45.25 i-l	45.75 i-l	67.75 a-d
25	TP	34.00 lm	34.75 lm	63.25 a-f
	BP	42.75 kl	48.75 h-k	60.75 b-h
	S	17.25 no	15.75 no	66.00 a-e
20-30	TP	60.50 b-h	64.00 a-f	60.50 b-h
	BP	55.25 e-j	63.00 a-g	59.75 b-h
	S	50.75 g-k	42.25 kl	53.00 f-k
35	TP	0.00 p	0.00 p	43.50 jkl
	BP	0.00 p	0.00 p	58.25 c-h
	S	0.00 p	0.00 p	26.25 mn
LSD 0.01			12.36	

میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD در سطح یک درصد می‌باشند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability levels using LSD test.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل دما، بستر کشت و تیمار بر درصد بذرهای غیرزنده زنیان.
بستر کشت (Sub): روی کاغذی (TP)، بین کاغذی (BP)، ماسه (S).

Table 4- Mean comparison of interaction effects (Temperature × Substrate × Treatment) on Ajwain dead seeds percentage. Substrate (Sub): Top paper (TP), Between paper (BP), Sand (S).

دما (Temp)	بستر (S)	درصد بذرهای غیرزنده (Dead seeds percentage)		
		بدون تیمار (No treatment)	نیترات پتاسیم (KNO_3)	پیش سرمادهی (Pre-chilling)
10	TP	37.25 j-p	33.00 m-p	
	BP	31.75 nop	34.50 k-p	
	S	88.25 ab	100.00 a	
15	TP	34.50 k-p	29.50 op	33.25 m-p
	BP	31.75 nop	28.25 op	28.00 op
	S	55.25 e-h	44.00 h-n	39.00 i-p
20	TP	34.25 l-p	37.75 i-p	34.50 k-p
	BP	34.25 i-p	36.25 k-p	26.75 p
	S	54.75 e-h	54.25 e-h	32.25 m-p
25	TP	65.25 de	64.25 de	36.75 j-p
	BP	57.25 efg	50.25 f-i	39.25 i-p
	S	82.75 bc	84.25 bc	34.00 m-p
20-30	TP	38.75 i-p	35.25 k-p	39.00 i-p
	BP	44.75 g-m	36.75 j-p	40.00 i-o
	S	49.00 f-j	57.75 ef	47.00 f-k
35	TP	100.00 a	100.00 a	56.50 e-h
	BP	100.00 a	100.00 a	46.75 f-l
	S	100.00 a	100.00 a	73.75 cd
LSD 0.01			12.56	

میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD در سطح یک درصد می‌باشند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability levels using LSD test.

سرعت جوانه‌زنی

پس از مقایسه میانگین سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بین آنها وجود داشت (جدول ۵). سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد، نیترات پتاسیم و سرمادهی در بسترهای روی کاغذی و بین کاغذی بالاتر از ماسه بود. بالاترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد و نیترات پتاسیم در دو بستر روی کاغذ و بین کاغذی در دو دمای ۲۰ و ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس مشاهده گردید. کمترین سرعت جوانه‌زنی (پس از دمای ۳۵ درجه سلسیوس) در دمای ۱۰ و ۲۵ درجه سلسیوس در بستر ماسه در دو تیمار شاهد و نیترات پتاسیم مشاهده شد. در شرایط سرمادهی بالاترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار سه دمای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس در دو بستر روی کاغذ و بین کاغذی نشان داده شده است (جدول ۵). سرعت جوانه‌زنی در تمامی تیمارهای سرمادهی بالاتر از نیترات پتاسیم و شاهد بود.

شاخص وزنی بنیه

شاخص وزنی بنیه در تمامی تیمارهای شاهد و نیترات پتاسیم مشابه بود و از یک الگوی تقریباً مشابه پیروی نمود. در شرایط تیمار شاهد و نیترات پتاسیم، بالاترین شاخص وزنی بنیه زنیان در دو بستر روی کاغذ و بین کاغذی در سه دمای ۱۰، ۱۵، ۲۰ درجه سلسیوس مشاهده شد، اگرچه در شرایط دو تیمار شاهد و نیترات پتاسیم در تیمار ۱۰ درجه سلسیوس شاخص وزنی بنیه صفر بود. همواره بالاترین شاخص وزنی بنیه در شرایط شاهد و نیترات پتاسیم در دو بستر کشت روی کاغذ و بین کاغذی در تمامی دماها و کمترین در دمای ۳۵ درجه سلسیوس مشاهده شد. در شرایط تیمار پیش سرمادهی الگوی متفاوتی با دو تیمار نیترات پتاسیم و شاهد مشاهده شد. در شرایط تیمار سرمادهی در دو دمای ۱۵ و ۲۵ درجه سلسیوس در بستر روی کاغذی بالاترین شاخص وزنی بنیه زنیان مشاهده گردید. پس از مقایسه تمامی تیمارهای دمایی، بستر کشت و سه تیمار شاهد، نیترات پتاسیم و سرمادهی، بالاترین شاخص وزنی بنیه در دمای ۱۰ و ۲۰ درجه سلسیوس در بستر روی کاغذی در نیترات پتاسیم ثبت گردید (جدول ۶).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل دما، بستر کشت و تیمار بر سرعت جوانه‌زنی بذر زنیان.

بستر کشت (Sub): روی کاغذی (TP)، بین کاغذی (BP)، ماسه (S).

Table 6- Mean comparison of interaction effects (Temperature × Substrate × Treatment) on Ajwain seeds germination rate. Substrate (Sub): Top paper (TP), Between paper (BP), Sand (S).

دما (Temp)	بستر (S)	سرعت جوانه‌زنی (Germination rate، 1/d)		
		بدون تیمار (No treatment)	نیترات پتاسیم (KNO_3)	پیش سرمادهی (Pre-chilling)
10	TP	4.048 rs	4.081 rs	
	BP	4.169 rs	4.106 rs	
	S	0.532 tu	0.000 u	
15	TP	8.969 m-p	9.600 mn	15.399 f-i
	BP	9.359 mno	10.004 lmn	16.161 e-h
	S	4.123 rs	5.206 qrs	6.46 pqr
20	TP	18.290 e	15.021 g-j	28.611 c
	BP	16.034 e-h	15.526 f-i	30.875 bc
	S	8.292 m-p	7.978 nop	14.411 hij
25	TP	9.379 mno	9.211 mno	33.829 a
	BP	10.700 klm	12.499 ijk	32.050 ab
	S	3.349 s	2.846 st	15.454 f-i
20-30	TP	16.793 e-h	17.079 efg	22.275 d
	BP	15.385 f-i	16.768 e-h	22.340 d
	S	8.932 m-p	6.917 opq	9.022 m-p
35	TP	0.000 u	0.000 u	12.922 ijk
	BP	0.000 u	0.000 u	17.990 ef
	S	0.000 u	0.000 u	3.661 s
LSD 0.01			2.65	

میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD در سطح یک درصد می‌باشند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability levels using LSD test.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل دما، بستر کشت و تیمار بر شاخص وزنی بنیه زنیان.

بستر کشت (Sub): روی کاغذی (TP)، بین کاغذی (BP)، ماسه (S).

Table 6- Mean comparison of interaction effects (Temperature × Substrate × Treatment) on Ajwain seedling weight vigor. Substrate (Sub): Top paper (TP), Between paper (BP), Sand (S).

دما (Temp)	بستر (S)	شاخص وزنی بنیه (Weight vigor index)		
		بدون تیمار (No treatment)	نیترات پتاسیم (KNO_3)	پیش سرمادهی (Pre-chilling)
10	TP	360.00 a-f	419.25 a	
	BP	374.50 abc	395.00 ab	
	S	0.00 o	0.00 o	
15	TP	343.75 a-g	319.50 a-i	318.00 a-i
	BP	341.25 a-g	358.75 a-f	268.75 c-k
	S	236.75 g-l	224.25 h-l	275.25 c-k
20	TP	370.50 a-d	419.75 a	363.00 a-e
	BP	260.00 d-l	322.00 a-h	293.00 b-j
	S	222.50 h-l	287.75 b-k	372.75 a-d
25	TP	240.50 g-l	249.75 e-l	332.25 a-h
	BP	244.75 g-l	241.75 g-l	243.00 g-l
	S	185.00 j-m	83.75 mno	263.50 c-k
20-30	TP	242.50 g-l	288.25 b-k	287.25 b-k
	BP	207.50 i-l	189.00 j-m	239.00 g-l
	S	279.25 c-k	146.75 lmn	241.25 g-l
35	TP	0.00 o	0.00 o	176.00 k-n
	BP	0.00 o	0.00 o	246.75 f-l
	S	0.00 o	0.00 o	70.25 no
LSD 0.01			113.61	

میانگین‌های که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD در سطح یک درصد می‌باشند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 1% probability levels using LSD test.

بحث

نتایج این مطالعه نشـــان داد جوانه زنی بذر زنیان در تیمارهای مختلف دمایی، بســتر کشـــت و پیش تیمارهای نیترات پتاســیم و سرمادهی در بستر کشت رو و بین کاغذ نسبت به ماسه مطلوبتر و درصـــد جوانه‌زنی نهایی، گیاهچه عادی، ســـرعت جوانه‌زنی و شـــاخص وزنی بنیه بالاتر و درصـــد بذرهای غیرزنده پایین‌تری داشتند. در مجموع پاسخ جوانه‌زنی بذر زنیان در شرایط شاهد و اعمال تیمار نیترات پتاسیم یک روند تقریباً مشابه داشت، با اعمال تیمار ســـرمادهی نیز پاســـخ‌ها متفاوت بود. در برخی از منابع ذکر شده است که تیمار نیترات پتاسیم می‌تواند سبب کاهش و یا رفع خواب اولیه بذرها و افزایش جوانه‌زنی گردد و در بذرهای خانواده چتریان که همواره خواب نـاشـــی از جنین مشـــاهده می‌گردد می‌تواند ســبب تســریع در فرایند تمایز بافت‌های ضـــروری موثر گردد (Rahimi et al., 2017).

پاســـخ جوانه‌زنی بذرهای زنیان در دماهای مختلف متغییر بود به نحوی که پاسخ‌های مشابهی در الگوی جوانه‌زنی بذرهای زنیان بویژه در دماهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه ســلســیوس فارغ از هر پیش تیمار و بستر کشت، مشاهده شد(با رسم نمودار نشان دهید که پاسـخ ها مشـابهند). نتایج نشـان داد بذرهای زنیان در سـه دمای مذکور، از درصـــد جوانه‌زنی نهایی، گیاهچه عادی و درصـــد بذرهای غیرزنده تقریباً مشـابهی برخوردار بودند. نتایج این مطالعه با تحقیق Rezazadeh & Koocheki (2006) همخوانی داشـت و مشـخص شـد که بذرها در دمای ۵ درجه سـلسـیوس جوانه‌زنی زیر ٪۲۵ را داشـتند و بهترین جوانه‌زنی را بین دمای ۱۰ تا ۲۰ درجه سـلسـیوس (۶۵ تا ۷۰٪) نشـان دادند. بسـیاری از بذرهای گیاهان خانواده چتریان در پنجره دمایی ۱۰ تا ۲۰ درجه سلسیوس جوانه‌زنی بهتری داشـتند که از جمله می‌توان به بذرهای سـنبل ختایی (*Angelica keiskei*) در دمای ۱۰-۲۰ درجه سـلسـیوس (Zhang et al., 2019) و راج دریـایی (*Eryngium maritimum* L) در دمای ۱۵-۲۰ درجه سلسیوس (Cortés-Fernández et al., 2021) اشاره کرد. در دو دمای ۱۵ و ۲۰ سلسیوس در هر دو تیمار نیترات پتاسیم و سـرمادهی سـبب بهبود شـاخص‌های جوانه‌زنی گردیده است به نحوی که در این دماها و اغلب در تمامی بسترهای کشت، بالاترین جوانه‌زنی نهایی، گیاهچه عادی، و شـــاخص وزنی بنیه و کمترین درصـد بذرهای غیرزنده مشـاهده شـد. همواره سـرعت جوانه‌زنی در تمامی تیمارها نسبت به تیمار سرمادهی پایین‌تر بود. بالاترین شاخص وزنی بنیه در تیمار نیترات پتاسیم تحت دمای ۱۰ و ۲۰ درجه سـلسـیوس و در بسـتر روی کاغذی مشـاهده گردید. گزارش شـده اسـت که پیش آبنوشـی بذرها با نیترات پتاسـیم، در اسـتقرار و بنیه گیاهچه نقش بسـزایی دارد (Ali et al., 2020). همچنین مشخص شده است که نیترات پتاسیم می‌تواند با کاهش مدت زمان جوانه‌زنی، نقش زیادی را در بنیه گیاهچه و یکنواختی در زمان جوانه‌زنی ایفا نمـایـد (Abdel-Baki et al., 2018 & Moaaz et al., 2020). در مطالعات مختلف انجام شـــده بر روی بذرهای خانواده چتریان مشخص شده است که بذرها برای حصول حداکثر جوانه‌زنی به دوره‌ای چند هفته تا چند ماه ســرمادهی نیاز دارند (Afzali Group et al., 2018; Baskin & Baskin, 2014; Nowruzian et al., (2017; Zhang et al., 2019). ســرمادهی مرطوب می‌تواند با تغییر توازن هورمون های تنظیم کننده جوانه‌زنی و رشـــد، تغییر در ســاختار و میزان ذخایر بذر ازجمله پروتئین‌ها، لیپیدها، قندها و همچنین تغییر زیرساخت‌های سلول همراه تاثیرگذار باشد (Chen et al., 2015). سرمادهی مرطوب سبب افزایش مقدار جیبرلین‌های درونی و کاهش درونی آبسـیزیک اسـید، کاهش پروتئین‌ها و لیپیدها و همچنین افزایش قندهای محلول و اسـیدهای آمـینـه مـی‌گـردد (Bewley et al., 2013). تـغـیـیـر در تـوازن هورمون‌های دخیل در جوانه‌زنی طی سرمادهی مرطوب در بذرها به تغییر الگوی بیان ژن‌های دخیل در بیوسـنتز جیبرلیک اسـید و آبسـیزیک اسـید ربط داده شـده اسـت (Aihua et al., 2018). ســرمادهی ســبب افزایش حلالیت اکســیژن در آب پیرامونی بذر شـــده و ســبب تامین نیاز اکســیژن جنین شـــده و موازنه بین مواد تحریک کننده و بازدارنده درون بذر را تغییر داده و موازنه را به ســـمـت افزایش مقـادیر مواد تحریـک کننـده تغییر می‌دهـد (Keshtkar et al., 2008).

بذرهای زنیان در شـــرایطی که تحت تیمار شـــاهد و نیترات پتاسیم بودند جوانه‌زنی در دمای ۳۵ درجه سـلسـیوس نداشـتند اما پس از اعمال تیمار ســرمادهی، جوانه‌زنی آنها در این دما به میزان معنی‌داری افزایش یـافـت. کمترین درصـــد جوانـه‌زنی نهـایی، گیاهچه عادی و شـاخص وزنی بنیه در دمای ۳۵ درجه سـلسـیوس

در هر سه تیمار و در هر سه بستر کشت ثبت گردید، اگرچه تیمار سرمادهی سبب حصول جوانه‌زنی نهایی و گیاهچه عادی بالاتری نسبت به دو تیمار نیترات پتاسیم و شاهد گردید و بالطبع بالاترین درصد بذرهای غیرزنده در این دما مشاهده شد. در مطالعه دیگر بر روی بذرهای *Corchorus olitorius* L. مشاهده شد که بذرهای شاهد در دمای ۳۵ درجه سلسیوس هیچ جوانه‌زنی نداشتند اما در صورتی که قبل از قرارگیری در این دما، به مدت ۷ روز سرمادهی شده بودند، جوانه‌زنی تا ۷۵٪ افزایش یافت (Nkomo & Kambizi, 2009).

بالاترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار سرمادهی در دو دمای ۲۰ و ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس و در تیمارهای نیترات پتاسیم و شاهد در دو دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس در هر دو بستر روی کاغذ و بین کاغذی مشاهده گردید. دمای کاردینال بذرهای زنیان در مطالعه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت و گزارش گردید که سرعت جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین مقدار بود (Rezazadeh & Koocheki, 2006). سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد، نیترات پتاسیم و سرمادهی در بسترهای روی کاغذی و بین کاغذی بالاتر از ماسه بود. سرعت جوانه‌زنی بذر آوندول (*Smyrnium cordifolium*) پس از قرارگیری به مدت چند ماه در تیمار سرمادهی و انتقال به دمای ۲۰ درجه سلسیوس جهت جوانه‌زنی، بالاتر از سایر تیمارهای هورمونی بود (Gholami et al., 2019). بالاترین سرعت جوانه‌زنی و کمترین مدت زمان مورد نیاز برای حصول حداکثر جوانه‌زنی بذرهای زیره ایرانی (*Carum carvi* L.) تیمارشده با سرمادهی به مدت ۶۰ روز مشاهده شد (Hammami et al., 2018).

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه در ارزیابی بهتر جوانه‌زنی استاندارد زنیان به میزان زیادی می‌تواند مفید باشد. جوانه‌زنی بذرهای زنیان در دو بستر رو و بین کاغذ، به نحو بهتری پتانسیل بذرهای زنیان را نشان می‌دهد. استفاده از پیش تیمار نیترات پتاسیم در دو دمای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس سبب حداکثر جوانه‌زنی نهایی، گیاهچه عادی و شاخص وزنی بنیه و کمترین درصد بذرهای غیرزنده گردد. از این رو پیشنهاد می‌گردد استفاده از دو پیش تیمار نیترات پتاسیم و سرمادهی در دو دمای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس در دو بستر روی کاغذ و بین کاغذ، می‌تواند حداکثر پتانسیل جوانه‌زنی و بنیه بذرهای زنیان را مشاهده و بهترین دستورالعمل برای ارزیابی بهینه آزمون جوانه‌زنی استاندارد بذر زنیان موجود در ایران در شرایط آزمایشگاهی باشد و این روش بعد از آزمون در شرایط خاک با شرایط مطلوب درجه حرارت، رطوبت نسبی و نور می‌تواند به عنوان آزمون استاندارد در تمامی شرایط محسوب گردد.

سپاسگزاری

نگارندگان از معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال برای حمایت مالی از این پژوهش با شماره پروژه ۱۲۴-۰۸-۰۸-۰۰۹-۹۸۰۲۴-۰۰۰۷۳۲ تشکر و قدردانی می‌نماید.

تعارض منافع

نویسنده این مقاله اعلام می دارد که هیچ گونه تعارض منافعی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارد.

References

Abdel-Baki, G. K., Shaddad, M., Mostafa, D., & Rafat, A. S. (2018). The effect of seed presoaking with KNO3 on seed germination, proline, protein pattern, ß-amylase, and mineral composition of two faba bean cultivars treated with NaCl. *Egyptian Journal of Botany*, *58*, 445–461. https://doi.org/10.21608/ejbo.2018.3423.1166

Afzali Group, S., Mehdinejad, N., Azad Ghojeh Biglou, H., & Salarnia, N. (2018). The effect of chilling and leaching on removing dormancy from the seeds of Lovage (Levisticum officinale KOCH). *Journal of Seed Research*, *8*, 60-68. [In Persian]

Aihua, L., Shunyuan, J., Guang, Y., Ying, L., Na, G., Tong, C., Liping, K., & Luqi, H. (2018). Molecular mechanism of seed dormancy release induced by fluridone compared with cold stratification in Notopterygium incisum. *BMC Plant Biology*, *18*, 1-16. https://doi.org/10.1186/s12870-018-1333-2

Ali, M. M., Javed, T., Mauro, R. P., Shabbir, R., Afzal, I., & Yousef, A. F. (2020). Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. *Agriculture*, *10*(11), 1–10. https://doi.org/10.3390/agriculture10110498

Alizadeh, M. A., Hosienpoor Ghazvini, A. A., Jafari, A., & Daneshian, J. (2017). Effect of different treatments on removing seed dormancy to induce seed emergence and vigor in some populations of four species of savory (Satureja spp.). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *5*, 223-233. https://doi.org/10.22034/ijsst.2017.108295 [In Persian]

Anonymous. (2022). *ISTA: International Rules for Seed Testing*. International Seed Testing Association.

Anonymous. (1983). *Seed vigor testing handbook*. Contribution No. 32 to the handbook on Seed Testing. Association of Official Seed Analysis (AOSA).

Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination* (2nd ed.). Elsevier/Academic Press.

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonagaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer.

Boskabady, M. H., Alitaneh, S., & Alavinezhad, A. (2014). Carum copticum L.: A herbal medicine with various pharmacological effects. *BioMed Research International*, *2014*, 569087. https://doi.org/10.1155/2014/569087

Chen, S. Y., Chou, S. H., Tsai, C. C., Hsu, W. Y., Baskin, C. C., Baskin, J. M., & Kuo-Huang, L. L. (2015). Effects of moist cold stratification on germination, plant growth regulators, metabolites, and embryo ultrastructure in seeds of Acer morrisonense (Sapindaceae). *Plant Physiology and Biochemistry*, *94*, 165-173. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.06.004

Cortés-Fernández, I., Cerrato, M. D., & Ribas-Serra, A. (2021). Evidence of interpopulation variation in the germination of Eryngium maritimum L. (Apiaceae). *Plant Ecology*, *222*, 1101–1112. https://doi.org/10.1007/s11258-021-01164-y

Ghaderi-Far, F., & Soltani, A. (2014). *Seed testing and control*. Publications of University of Mashhad, Mashhad, Iran. [In Persian]

Ghavam, M., Soleimani Nejad, Z., & Tavili, A. (2018). Dormancy breaking of Ducrosia anethifolia Boiss seed under the influence of different treatments. *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, *8*, 35-44. https://doi.org/20.1001.1.22285458.1397.8.30.4.9 [In Persian]

Gholami, M., Danesh Shahraki, A., Asadi, E., Tahmasbi, P., & Shirmardi, H. (2019). The effects of pre-chilling and gibberellic acid on seed dormancy break, germination, and plant growth indices of Smyrnium cordifolium BOISS. *Journal of Rangeland*, *13*(4), 571-583. https://doi.org/20.1001.1.20080891.1398.13.4.4.1 [In Persian]

Hammami, H., Saadatian, B., & Aliverdi, A. (2018). Geographical variation in breaking the seed dormancy of Persian cumin (Carum carvi L.) ecotypes and their physiological responses to salinity and drought stresses. *Industrial Crops and Products*, *124*, 600-606. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.040

Kamali, N., & Sadeghipour, A. (2016). Investigation of some dormancy breaking treatments on germination percentage and rate of seeds of Bunium persicum. *Watershed Management Research*, *29*, 24-32. https://doi.org/10.22092/WMEJ.2016.112318

Keshtkar, H. R., Azarnivand, H., Etemad, V., & Moosavi, S. S. (2008). Seed dormancy-breaking and germination requirements of *Ferula ovina* and *Ferula gummosa*. *Desert*, *13*(1), 45-51. https://doi.org/10.22059/JDESERT.2008.27174

Moaaz Ali, M., Javed, T., Mauro, R. P., Shabbir, R., Afzal, I., & Yousef, A. F. (2020). Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. *Agriculture*, *10*(11), 498. https://doi.org/10.3390/agriculture10110498

Nkomo, M., & Kambizi, L. (2009). Effects of pre-chilling and temperature on seed germination of *Corchorus olitorius* L. (Tiliaceae) (Jew's Mallow), a wild leafy vegetable. *African Journal of Biotechnology*, *8*(6), 1078-1081.

Nowruzian, A., Masoumian, M., Ebrahimi, M. A., & Bakhshi Khaniki, G. A. (2017). Effect of breaking dormancy treatments on germination of *Ferula assa foetida* L. seed. *Iranian Journal of Seed Research*, *2*, 155-169. https://doi.org/10.29252/yujs.3.2.155 [In Persian]

Nurulla, M., Baskin, C. C., Lu, J. J., Tan, D. Y., & Baskin, J. M. (2014). Intermediate morpho-physiological dormancy allows for life-cycle diversity in the annual weed, *Turgenia latifolia* (Apiaceae). *Australian Journal of Botany*, *62*, 630-637. https://doi.org/10.1071/BT14281

Orchard, T. (1977). Estimating the parameters of plant seedling emergence. *Seed Science and Technology*, *5*, 61-69.

Rahimi, H., Torabi, B., Soltani, E., & Ghaderi-Far, F. (2017). Investigation of the process of seed germination of wild mustard (*Sinapis arvensis*) during dormancy elimination. *Weed Research Journal*, *2*, 15-30. [In Persian]

Raisi, A., Kalat, S. N., & Darban, A. S. (2013). The effects of stratification, temperature, and potassium nitrate on seed dormancy breaking in *Ferula assa foetida*. *World Applied Sciences Journal*, *23*, 379-383. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.21.3.2785

Rezazadeh, Z. B., & Koocheki, A. (2006). Evaluation of cardinal temperatures for three species of medicinal plants, Ajowan (*Trachyspermum ammi*), fennel (*Foeniculum vulgare*), and dill (*Anethum graveolens*). *Desert Journal*, *11*(2), 11-16. https://doi.org/10.22059/JDESERT.2006.31870

Sasani, S., Tavakol-Afshari, R., Postini, K., & Sharifzadeh, F. (2006). Evaluation of the effect of moist-chilling, hormonal treatments, and storage period on dormancy breaking and induction of Bunium persicum (Boiss.) B. Fedtsch seed germination [Abstract]. In *Proceedings of the 9th Iranian Congress of Plant Science and Plant Breeding*. 27 August 2006, Tehran, Iran. [In Persian]

Zahin, M., Ahmad, I., & Aqil, F. (2010). Antioxidant and antimutagenic activity of *Carum copticum* fruit extracts. *Toxicology in Vitro*, *24*(4), 1243-1249. https://doi.org/10.1016/j.tiv.2010.02.004

Zardari, S., Ghaderi-Far, F., Sadeghipour, H. R., Zeinali, E., Soltani, E., & Baskin, C. C. (2019). Deep and intermediate complex morpho-physiological dormancy in seeds of *Ferula gummosa* (Apiaceae). *Plant Species Biology*, *34*, 85-94. https://doi.org/10.1111/1442-1984.12238

Zhang, K., Zhang, Y., Walck, J. L., & Tao, J. (2019). Non-deep simple morpho-physiological dormancy in seeds of *Angelica keiskei* (Apiaceae). *Scientia Horticulturae*, *255*, 202-208. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.039