



## Enhancing Seed Germination Traits of *Stevia rebaudiana* Bertoni under Dry Stress with Seed Priming

Ali Ghaderi<sup>1</sup>, Mohammad Moghaddam<sup>2\*</sup>, Shahram Rezvan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Horticultural, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

<sup>2</sup>Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

<sup>3</sup>Agriculture, Production and Technology of Herbal Medicines Research Center, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

### ARTICLE INFO

#### Article Type:

Original Research

**Received:** 10.14.2024

**Revised:** 11.20.2024

**Accepted:** 12.09.2024

#### Keyword:

Germination Percentage  
Polyethylene Glycol  
Stevia Rebaudiana  
Selenate  
Selenite

#### \*Corresponding Author:

Mohammad Moghaddam

**Email:** [M.moghadam@um.ac.ir](mailto:M.moghadam@um.ac.ir)

### ABSTRACT

Seed priming is an important modern technology that develops fast and uniform emergence, high vigor, and better plant yields. This study aimed to determine the effect of seed priming on seed germination traits of stevia (Indian genotype) under drought stress in 2023. In this study, stevia seeds (Indian genotype) were investigated under priming treatments (no priming (control), hydropriming, selenite, selenate, and furchlorphenorone) and drought stress levels (0, -2.5, -5, and -10 bar using polyethylene glycol 6000) as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications. The results showed that germination percentage and rate, the mean time required for germination, the average daily germination, germination uniformity, seedling length, and seedling vigor length index of control treatments were significantly different under drought stress. Under the influence of drought stress levels, germination parameters including germination percentage, rate, and value of germination, seedling length, and seedling vigor length index were reduced, and applying seed priming to some extent reduced the severity of drought stress on the studied characteristics of Stevia under drought stress conditions. In general, neutropriming and hydropriming can serve as effective methods to improve seed germination.



---

## EXTENDED ABSTRACT

---

### Introduction

Medicinal plants are considered a vital agricultural product used raw or processed in traditional and modern medicine. *Stevia* was first identified in Paraguay, and steviol glycosides, which have strong sweetening properties, were confirmed. It is a good source of carbohydrates, protein, fiber, and minerals such as potassium, calcium, sodium, magnesium, copper, manganese, iron, and zinc. Poor germination of *stevia* is a major obstacle in the cultivation of this plant on a large scale. For this reason, in countries that produce this plant, due to the high price of *stevia* seedlings, the required plants are usually produced from seeds. One method for improving seed quality is the use of priming. Priming is a technique that adapts seeds to the ecological conditions of the environment before sowing them in the environment and improves their germination readiness. Priming can also reduce the effects of environmental stresses such as drought or salinity. This technique protects the plant from the adverse effects of salinity stress and improves its growth by increasing the enzymes required for germination such as alpha-amylase, increasing the percentage and rate of germination, maintaining ionic balance, as well as establishing hormonal balance. The use of micronutrients in seed priming, known as nutri-priming, is also effective as an osmotic agent. In this regard, it is necessary to investigate the effect of priming and growth regulators under drought stress conditions on the seeds of the *stevia* medicinal plant.

### Methodology

This study aimed to determine the effect of seed priming on seed germination traits of *stevia* (Indian cultivar) under drought stress in 2023. In this study, *stevia* seeds (Indian) were investigated under priming treatments (no priming (control), hydropriming, selenite, selenate, and furchlorphenorone) and drought stress levels (0, -2.5, -5, and -10 bar using polyethylene glycol 6000) as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications. The seeds of Indian *stevia*, produced in the 2018 crop year and procured from a reputable company, were first disinfected with 70% ethanol for one minute and 20% sodium hypochlorite solution for 15 minutes, and then washed three times with sterile distilled water. After being disinfected for priming, it was transferred into the desired solutions (hydro-priming, selenite, selenate and flavoring) for 24 h in a growth chamber with a temperature of  $15\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Then, the seeds were washed with distilled water and dried at room temperature for 12 hours until their moisture content reached the original seed moisture content. After drying, 25 treated and controlled seeds (without prime) were placed on Whatman paper, and 7 ml of polyethylene glycol 6000 solutions with concentrations of 0, -2.5, -5 and, -10 bar were added. Standard germination tests were conducted in three replications at  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ , 75% relative humidity and a 16-hour lighting period for 11 days. To reduce the amount of evaporation, the lids of the Petri dishes were closed with Parafilm. Germinated seeds were counted from the second day on a daily basis at a specific time. The traits measured were germination percentage (at the end of the 11-day test period and root emergence as a criterion for seed germination), germination speed, average time required for germination, average daily germination, daily germination speed,

germination uniformity, and seedling length index. Data analysis was performed using SAS 9.1 software. To compare the means of the data, Duncan's method was performed at a 5% probability level.

## **Results and discussion**

Based on the results of germination percentage and rate, the mean time required for germination, and the average daily germination, germination uniformity, seedling length, and seedling vigor length index were significantly different under drought stress. Applying drought stress and seed priming on germination of psyllium seeds showed that seeds had the highest germination percentage, rate, and value of germination compared to other levels of priming and drought stress by applying selenate priming in non-drought stress followed by -2.5 bar stress. Under the influence of drought stress levels, germination parameters including germination percentage, rate, and value of germination, seedling length, and seedling vigor length index were reduced, and applying seed priming to some extent reduced the severity of drought stress on the studied characteristics of Stevia under drought stress conditions. Drought stress has a negative impact on seed germination of medicinal plants. A decrease in seed germination percentage and rate is clearly observed under drought stress conditions. This decrease is due to changes in water potential and environmental conditions that affect the physiological processes of plants. In various studies, it has been shown that with increasing drought stress intensity, germination percentage and rate decrease substantially. For example, in a study conducted on different medicinal plants, it was found that reducing water potential from -3 bar to -7 bar decreased germination percentage and rate, as well as seedling growth and seed vigor. Studies have shown that seed priming can significantly increase germination percentage and germination rate in medicinal plants under drought stress. For instance, in a study conducted on the seeds of the medicinal plant cumin, it was found that seed priming using different methods has a positive effect on germination under drought stress conditions.

## **Conclusion**

Finally, it was observed that there was a significant decrease in agronomic traits, which showed a clear difference between control and drought stress. However, all seed priming treatments did not show priming by increasing seed germination characteristics and seedling length and to some extent against drought stress induced by polyethylene glycol. In general, selenate, furchlorphenorone, and hydropriming can act as effective methods to improve seed germination under drought stress. These methods help improve tolerance to drought stress by increasing the content of osmolytes and soluble proteins and can be used as effective strategies in sustainable agriculture.

## **Acknowledgement**

The authors consider it necessary to thank all the officials of the laboratories of the Faculty of Agriculture of Ferdowsi University of Mashhad and also Damghan University for conducting this research.



## بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر استویا (*Stevia rebaudiana Bertoni*) تحت تنش خشکی با روش پرایمینگ بذر

علی قادری<sup>۱</sup>، محمد مقدم<sup>۲\*</sup>، شهرام رضوان<sup>۳</sup>

- ۱- گروه علوم باغبانی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.
- ۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- ۳- مرکز تحقیقات تولید و فن آوری داروهای گیاهی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۳

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹

### کلید واژگان:

استویا  
پلی اتیلن گلیکول  
درصد جوانه‌زنی  
سلنات  
سلنیت

\*نویسنده مسئول: محمد مقدم

پست الکترونیکی:

M.moghadam@um.ac.ir

پرایمینگ بذر یک فناوری مدرن مهم است که سبب شدن سریع و یکنواخت، بنیه بالا و عملکرد بهتر را به‌طور عمده در گیاهان بهبود می‌بخشد. مطالعه حاضر با هدف تعیین تأثیر پرایمینگ بذر بر صفات جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی استویا (ژنوتیپ هندی) تحت تنش خشکی در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. در این پژوهش بذور استویا (هندی) تحت تیمارهای پرایمینگ (عدم پرایمینگ (شاهد)، هیدروپرایمینگ، سلنیت، سلنات و فورکلرفورون) و سطوح تنش خشکی (صفر، ۲/۵-، ۵- و ۱۰- بار با استفاده از پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شدند. براساس نتایج، صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی و متوسط جوانه‌زنی روزانه، ارزش جوانه‌زنی، طول گیاهچه و شاخص طولی بنیه گیاهچه در تیمار شاهد تحت تأثیر تنش خشکی، تفاوت معنی‌داری را با سایر تیمارها نشان داد. تحت تأثیر سطوح تنش خشکی پارامترهای جوانه‌زنی، شامل درصد، سرعت و ارزش جوانه‌زنی، طول گیاهچه و شاخص طولی بنیه گیاهچه کاهش یافت، اعمال پرایمینگ بذر تا حدی از شدت تنش خشکی بر خصوصیات مورد مطالعه گیاه دارویی استویا در شرایط تنش خشکی کاست. بر اساس نتایج، پرایمینگ بذر استویا با عنصر سلنات در شرایط نبود تنش خشکی و به دنبال آن تنش ۲/۵- بار، بیشترین درصد، سرعت و ارزش جوانه‌زنی را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. در نتیجه، پیش تیمارهای پرایمینگ و هیدروپرایمینگ می‌توانند به‌عنوان روش‌های مؤثر برای بهبود جوانه‌زنی بذرها عمل کنند.



## مقدمه

گیاهان دارویی به‌عنوان یکی از محصولات کشاورزی حیاتی محسوب می‌شوند که در طب سنتی و مدرن به‌طور خام یا فراوری شده به کار می‌روند. استویا، با نام علمی *Stevia rebaudiana Bertonii*، یک گونه چندساله، کوتاه‌قد و بوته‌ای از خانواده کمپوزیته و تیره مرکبان علفی است. این گیاه به سرما حساس است و برگ‌های کوچکی دارد که به‌صورت متناوب روی ساقه ظاهر می‌شوند [۳]. استویا برای اولین بار در پاراگوئه شناسایی شد و گلیکوزیدهای استویویول که از خاصیت شیرین‌کنندگی قوی برخوردارند، مورد تأیید قرار گرفت. این گیاه منبع خوبی از کربوهیدرات، پروتئین، فیبر و عناصر معدنی مانند پتاسیم، کلسیم، سدیم، منیزیم، مس، منگنز، آهن و روی است [۱۹]. همچنین، اسیدهای آمینه ضروری در این گیاه به مقادیر بالاتر از حدودی که فائو<sup>۱</sup> و سازمان بهداشت جهانی<sup>۲</sup> برای تغذیه پیشنهاد می‌کنند، حضور دارند. تحقیقات جدید نشان داده است که استویا دارای خواص ضدباکتری، ضدقارچ و ضدسرطان نیز است که این خصوصیات آن را به یک گیاه دارویی مهم و موردتوجه در تحقیقات تبدیل کرده است [۱۴].

جوانه‌زنی ضعیف استویا یکی از موانع مهم در کشت این گیاه در مقیاس وسیع است؛ از این رو در کشورهایی که تولید این گیاه را دارند، به دلیل قیمت بالای نشای استویا، معمولاً گیاهان موردنیاز از بذر تولید می‌شوند. یکی از روش‌های بهبود کیفیت بذر، استفاده از پرایمینگ است. پرایمینگ یک تکنیک است که بذر را قبل از کاشت، با شرایط اکولوژیکی محیط هماهنگ می‌کند و آمادگی جوانه‌زنی آن‌ها را بهبود می‌بخشد [۲]. پرایمینگ همچنین می‌تواند تأثیرات تنش‌های محیطی مانند خشکی یا شوری را کاهش دهد. این تکنیک با افزایش آنزیم‌های موردنیاز برای جوانه‌زنی مانند آلفا آمیلاز، افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، حفظ تعادل یونی و همچنین ایجاد تعادل هورمونی، گیاه را در مقابل تأثیرات نامطلوب تنش‌های شوری محافظت می‌کند و رشد آن را بهبود می‌بخشد [۱۰]. استفاده از عناصر ریزمغذی در پرایمینگ بذر که به‌عنوان نوتری پرایمینگ<sup>۳</sup> شناخته می‌شود نیز به‌عنوان یک ماده اسمتیک مؤثر است. بذرهای پرایم‌شده معمولاً دارای جوانه‌زنی بهتر و یکنواخت‌تر هستند، این امر به دلیل کاهش زمان آبنوشی و تولید متابولیت‌های افزایش‌دهنده جوانه‌زنی است [۵]. استفاده بهینه از عناصر غذایی و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، علاوه بر افزایش عملکرد، منجر به افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری می‌شود. این عمل، باعث بهبود فعالیت‌های زیستی در خاک، زودرسی محصول و افزایش بهره‌وری در مصرف آب می‌شود [۴]. برای رشد و تولید متعادل گیاه، عناصر ریزمغذی به میزان کمی موردنیاز هستند اما کمبود این عناصر می‌تواند منجر به اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی و تغییر در متابولیت‌های ثانویه گیاه گردد [۱۵].

در شرایط تنش خشکی، به دلیل افزایش غلظت املاح محلول در محیط ریشه و افزایش پتانسیل اسمزی خاک، جذب عناصر غذایی تا حد زیادی کاهش می‌یابد [۱۲]. بنابراین، تغذیه مناسب در شرایط تنش می‌تواند به گیاه در تحمل تنش‌های مختلف کمک کند. عناصری به نام عناصر مفید وجود دارند که شامل سدیم، سیلیکون و سلنیوم می‌باشند [۴]. سلنیوم یکی از عناصر مفید و ضروری برای سلامت انسان و حیوانات است که دارای خاصیت اکسیدکنندگی و ضدسرطان است. این عنصر در محیط‌زیست در گونه‌های مختلف یونی، از جمله آلی، سلنات، سلنیت، سلنیوم عنصری و سلنید شناسایی می‌شود ولی توسط ریشه‌های گیاهان به‌صورت سلنات<sup>۴</sup> و سلنیت<sup>۵</sup> جذب می‌شود [۹]. به دلیل شباهت شیمیایی آن به گوگرد، سلنات همراه با سولفات جذب می‌شود، درحالی‌که سیستم انتقال فسفات در جذب سلنیت نقش دارد [۶]. گروه‌های مختلفی از مولکول‌های سیگنال‌دهنده به نام هورمون‌های گیاهی در سلول‌ها به میزان کم یافت

<sup>1</sup> FAO

<sup>2</sup> WHO

<sup>3</sup> Nutripriming

<sup>4</sup>  $\text{SeO}_4^{2-}$

<sup>5</sup>  $\text{SeO}_3^{2-}$

می‌شوند. این هورمون‌ها عوامل کلیدی در تنظیم شکل‌پذیری مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان در پاسخ به شرایط محیطی، نامطلوب هستند. نقش آن‌ها در ترویج سازگاری گیاهان با محیط‌های مختلف از طریق کنترل رشد، توسعه، انتقال منابع و تخصیص مواد مغذی مشخص می‌شود [۲۰]. باین‌حال، پاسخ گیاه به تنش‌های غیرزیستی به عوامل مختلفی بستگی دارد و فیتوهورمون‌ها به‌عنوان مهم‌ترین مواد درونی برای تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مولکولی و یک نیاز ضروری برای بقای گیاه به‌عنوان سازمان‌های زنده بررسی می‌شوند [۲۳]. فروکلروفنورون<sup>۱</sup> به‌عنوان یک سیتوکینین مصنوعی در همراهی با اکسین، به تحریک تقسیم سلولی و رشد بعدی گیاهان منجر می‌شود. اخیراً استفاده از فروکلروفنورون در ارزیابی محصولات زراعی و میوه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. فروکلروفنورون یک سیتوکینین فعال مصنوعی است که فعالیت‌های مختلفی از جمله ایجاد پینه، تحریک جوانه‌زنی بذر و تأخیر در پیری برگ را ایجاد می‌کند [۲۲]. در این راستا، بررسی تأثیر پرایمینگ و تنظیم‌کننده‌های رشدی تحت شرایط تنش خشکی بر بذر و گیاه دارویی استویا امری ضروری به نظر می‌رسد.

## روش انجام آزمایش

### مشخصات محل اجرای آزمایش

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در این پژوهش فاکتور اول شامل ۵ سطح پرایمینگ بذر (عدم پرایمینگ (شاهد)، هیدروپرایمینگ، سلنیت، سلنات و فروکلروفنورون) و فاکتور دوم شامل تنش پتانسیل اسمزی با چهار سطح صفر (شاهد)، ۲/۵-، ۵- و ۱۰- بار بود. برای ایجاد سطوح مختلف پتانسیل اسمزی از پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ استفاده شد. مقدار لازم از این ماده برای ایجاد هر یک از سطوح تنش با استفاده از فرمول ۱ برآورد شد.

$$S = \left(1.18 \times 10^{-2}\right) C - \left(1.18 \times 10^{-4}\right) C^2 + \left(2.67 \times 10^{-4}\right) CT + \left(8.39 \times 10^{-7}\right) C^2 T \quad (1)$$

در این معادله، C غلظت پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ بر حسب گرم در لیتر، T درجه حرارت بر حسب درجه سانتی‌گراد و S پتانسیل آب بر حسب بار است.

بذرهای ژنوتیپ استویا هندی سالم و بدون هرگونه علائم، که در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ تولید و از یک شرکت معتبر تهیه شد، ابتدا با اتانول ۷۰ درصد برای یک دقیقه و سپس با محلول هیپوکلریت سدیم ۲۰ درصد برای ۱۵ دقیقه ضدعفونی شدند، بذور ضدعفونی شده، سه بار با آب مقطر استریل، شست‌وشو داده شدند. همچنین، پتری‌دیش‌ها توسط هیپوکلریت سدیم کاملاً ضدعفونی شدند. به‌منظور پرایمینگ، بذور ضدعفونی شده در پتری‌دیش‌های محتوای محلول‌های موردنظر (هیدروپرایمینگ، سلنیت، سلنات و فروکلروفنورون) به مدت ۲۴ ساعت در اتاقک رشد با دمای ۱۵±۱ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس بذور با آب مقطر شست‌وشو شدند و به مدت ۱۲ ساعت برای خشک‌شدن در دمای اتاق قرار گرفتند تا رطوبتشان به رطوبت اولیه بذر برسد. پس از خشک‌شدن تعداد ۲۵ عدد از بذرهای تیمار شده و شاهد (بدون پرایم) بر روی کاغذ واتمن قرار داده شد و به هریک ۷ میلی‌لیتر از محلول‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ با غلظت‌های صفر، ۲/۵-، ۵- و ۱۰- بار اضافه و آزمودن جوانه‌زنی استاندارد در سه تکرار در دمای ۲۳±۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۵ درصد و دوره روشنایی ۱۶ ساعت، به مدت ۱۱ روز انجام شد. به‌منظور کاهش میزان تبخیر، درب پتری‌ها به‌وسیله پارافیلیم بسته شد [۵].

<sup>1</sup> CPPU (4-N-(2-Chloro-4-pyridyl)-N-phenylurea

شمارش بذرهای جوانه‌زده از روز دوم به‌صورت روزانه در ساعتی معین انجام شد. تعداد بذر جوانه‌زده روزانه شمارش و یادداشت گردید و صفات درصد جوانه‌زنی (در پایان دوره آزمایش ۱۱ روز و خروج ریشه چه به‌عنوان معیار جوانه‌زنی بذور)، سرعت جوانه‌زنی، متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، سرعت جوانه‌زنی روزانه (عکس و متوسط جوانه‌زنی روزانه)، یکنواختی جوانه‌زنی (عبارت است از مدت‌زمان لازم بین ۱۰ درصد تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی) و شاخص طولی گیاهچه، طبق فرمول‌های ارائه‌شده در جدول ۱ اندازه‌گیری شد (شکل ۱) [۵].

جدول ۱. روابط محاسباتی صفات مورد مطالعه در آزمایش.

فرمول	صفات
$GP \text{ (Germination Percentage)} = (N \times 100) / M$	درصد جوانه‌زنی
$GS \text{ (Speed of Germination)} = \sum Ni / ti$	سرعت جوانه‌زنی
$MGT \text{ (Mean Time of Germination)} = \sum Ni / \sum N$	متوسط زمان لازم برای جوانه‌زنی
$MDG \text{ (Mean of Daily Germination)} = N / T$	متوسط جوانه‌زنی روزانه
$GV \text{ (Germination Value)} = MCGP/t_i$	ارزش جوانه‌زنی
$SVI(1) = \text{میانگین طول ساقه اولیه} + \text{میانگین طول ریشه اولیه} \times \text{درصد جوانه‌زنی}$	شاخص طولی گیاهچه

$N =$  مجموع کل بذرهای جوانه‌زده در پایان آزمایش،  $M =$  کل بذرهای کاشته شده،  $T =$  طول کل دوره جوانه‌زنی،  $Ni =$  تعداد روزهای پس از

جوانه‌زنی،  $t_i =$  تعداد روزهای پس از شروع جوانه‌زنی،  $MCGP =$  حداکثر درصد جوانه‌زنی جمععی.



شکل ۱. جوانه‌زنی بذور استویا.

## تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ۹.۰.۱ انجام گرفت. برای مقایسات، میانگین داده‌ها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### درصد جوانه‌زنی

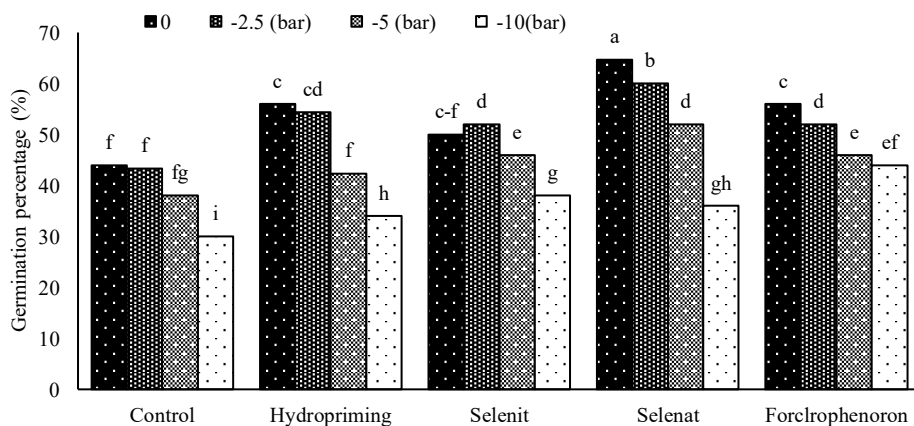
بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، پرایمینگ بذر و تأثیرات متقابل آن‌ها بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین درصد جوانه‌زنی در اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ

بذر در سطوح نبود تنش خشکی و پرایمینگ بذر با عنصر سلنات (۶۴/۶۶ درصد) مشاهده شد و کمترین درصد جوانه‌زنی نیز مربوط به تنش خشکی ۱۰- بار و عدم پرایمینگ (۳۲/۶۶ درصد) بود (شکل ۲). تنش خشکی یکی از عوامل مهمی است که می‌تواند تأثیرات منفی بر جوانه‌زنی بذور گیاهان دارویی داشته باشد. کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور در شرایط تنش خشکی به‌وضوح مشاهده می‌شود. این کاهش به دلیل تغییرات در پتانسیل آب و شرایط محیطی است که بر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان تأثیر می‌گذارد [۲۰]. برای مثال، در تحقیقی که بر گیاهان دارویی مختلف انجام شد، مشخص گردید که کاهش پتانسیل آب از ۳- بار به ۷- بار، موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و بنیه بذر شد [۱۰]. مطالعات نشان داده‌اند که پرایمینگ بذر می‌تواند به‌طور معناداری درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی را در گیاهان دارویی تحت تنش خشکی افزایش دهد. برای مثال، در تحقیقی که روی بذورهای گیاه دارویی زیره سبز انجام شد، مشخص گردید که پرایمینگ بذر با روش‌های مختلف، تأثیر مثبتی بر جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی دارد [۱۶].

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تنش خشکی و پرایمینگ بر خصوصیات جوانه‌زنی گیاه دارویی استویا.

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	متوسط جوانه‌زنی	میانگین جوانه‌زنی روزانه	ارزش جوانه‌زنی	طول گیاهچه	شاخص بنیه بذر
تنش خشکی	۳	۷۴۵.۶۲**	۱۲.۸۵**	۱.۱۴**	۱.۶۰**	۱.۲۷**	۳.۸۶**	۲۴۳۸۵.۸۵**
پرایمینگ	۴	۳۵۳.۱۶**	۴.۸۴**	۰.۳۱**	۰.۶۱**	۰.۸۰**	۱.۱۰ <sup>ns</sup>	۴۷۱۵.۹۲**
پرایمینگ × خشکی	۱۲	۱۷۳.۲۳**	۲.۸۱**	۰.۲۶**	۰.۳۱**	۰.۴۰**	۱.۳۰**	۴۴۳۲.۳۴**
خطای آزمایش	۴۰	۱.۹۶	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۰۳	۰.۰۱	۱۳۳.۶۵
ضریب تغییرات (%)	-	۲.۹۵	۷.۰۸	۴.۳۲	۷.۰۲	۵.۸۳	۵.۰۸	۸.۹۸

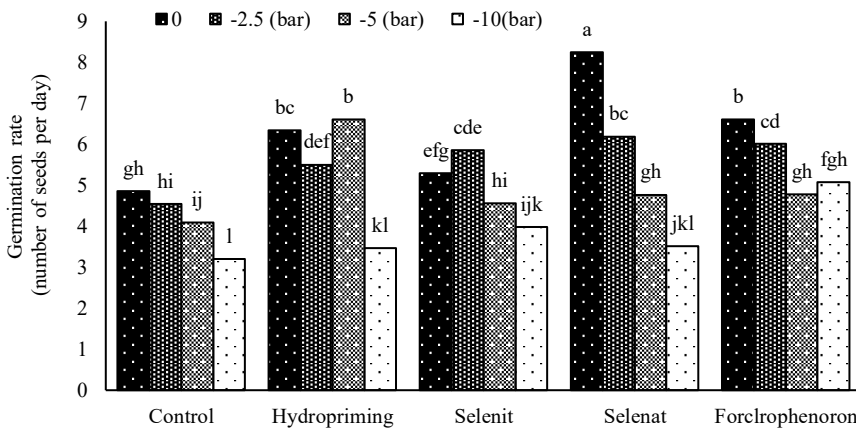
<sup>ns</sup> و <sup>\*\*</sup> به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد



شکل ۲. اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی.

### سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، پرایمینگ و تأثیرات متقابل آن‌ها بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به تیمار پرایمینگ بذر با عنصر سلنات و نبود تنش خشکی (شاهد) بود. همچنین کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی نیز مربوط به نبود پرایمینگ و تنش ۱۰- بار بود (شکل ۳). تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش فعالیت آنزیم‌های کلیدی مانند آلفا آمیلاز شود که نقش مهمی در فرایند جوانه‌زنی دارند. در یک مطالعه، تأثیر تنش خشکی بر جوانه‌زنی بذر گیاه قدومه (*Alyssum*) بررسی شد و نتایج نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد [۱۱]. افزایش سرعت ترمیم DNA، ساخت RNA، سنتز پروتئین، فعال‌سازی آنزیم‌ها، حذف رادیکال‌های فعال اکسیژن، افزایش انبساط سلولی و نیز پیشرفت بیشتر مراحل جوانه‌زنی بذور پیش‌تیمار شده در مقایسه با بذور پیش‌تیمار نشده از مهم‌ترین دلایل بروز چنین واکنشی ذکر شده است [۱۳]. سلنات، به عنوان یک عنصر غذایی ضروری می‌تواند به بهبود جوانه‌زنی بذرها کمک کند. تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از سلنات در فرایند پرایمینگ بذر، باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه می‌شود. در یک مطالعه، بذره‌های گندم که با سلنات پرایم شده بودند، نسبت به بذره‌های هیدروپرایم‌شده، رشد بهتری داشتند [۱۷].

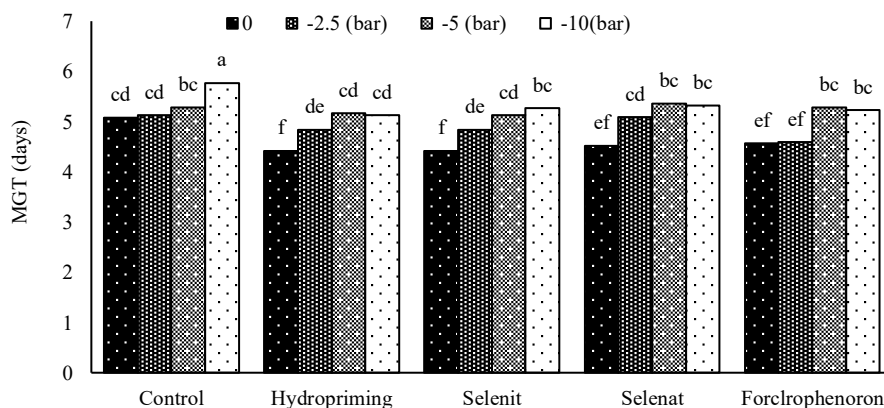


شکل ۳. اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ بر سرعت جوانه‌زنی.

### میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی

تجزیه واریانس میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی نشان داد که تأثیرات تنش خشکی، پرایمینگ و تأثیرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشته‌اند (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین مقدار مدت‌زمان جوانه‌زنی در تیمار نبود پرایمینگ (شاهد) و تنش شدید ۱۰- بار بود (۵/۷۷ روز) به دست آمد. مقدار مدت‌زمان جوانه‌زنی در پرایمینگ بذر عنصر سلنات و نبود تنش خشکی (۴/۵ روز) کم‌تر از تیمارهای دیگر پرایمینگ و به کار رفتن پرایمینگ (شاهد) در سطوح مختلف تنش خشکی بود (شکل ۴). بسیاری از منابع علمی از میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی به عنوان شاخص مناسبی برای کیفیت بذر نام می‌برند و چون با نرخ جوانه‌زنی رابطه عکس دارد هرچه کم‌تر باشد، نرخ جوانه‌زنی بیشتر و کیفیت بذر بالاتر است [۱۷]. نتایج به دست آمده، این مطلب را تأیید می‌کند که میانگین مدت‌زمان جوانه‌زنی در صورتی قابل استناد است که تعداد بذور جوانه‌زده در بازه زمانی یکسانی باشد. در غیر این صورت با

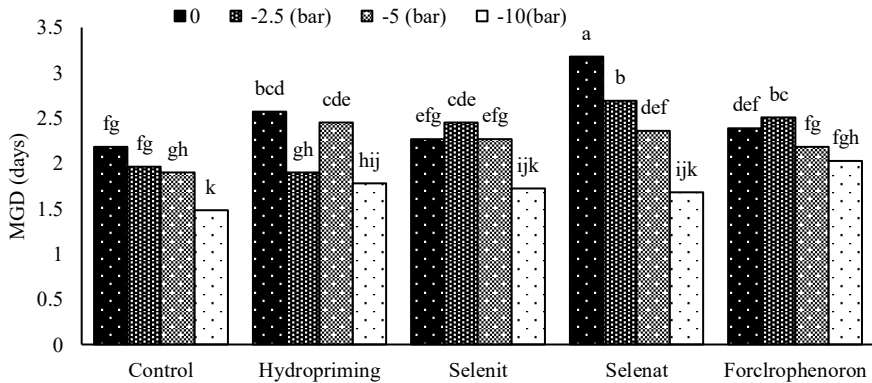
کاهش تعداد بذور جوانه زده در یک دوره زمانی، میانگین مدت زمان جوانه زنی کاهش خواهد یافت که این پارامتر، نشان دهنده کیفیت بذور نخواهد بود؛ بنابراین در صورتی که میزان جوانه زنی بذر بالا باشد می توان میانگین مدت زمان جوانه زنی را پارامتر مناسبی برای بیان کیفیت بذر بیان کرد. به دنبال این اختلالات، مدت زمان لازم برای جوانه زنی که به معنای شروع ریشه چه از پوسته بذر است، افزایش می یابد. در واقع، این افزایش زمان به معنای کاهش سرعت جوانه زنی است؛ به عبارت دیگر، بذرها در شرایط تنش خشکی نه تنها دیرتر جوانه می زنند، بلکه فرایند جوانه زنی نیز تحت تأثیر منفی قرار می گیرد که می تواند تأثیرات قابل توجهی بر روی رشد و توسعه گیاهان داشته باشد [۷].



شکل ۴. اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ بر میانگین مدت زمان جوانه زنی.

### میانگین جوانه زنی روزانه

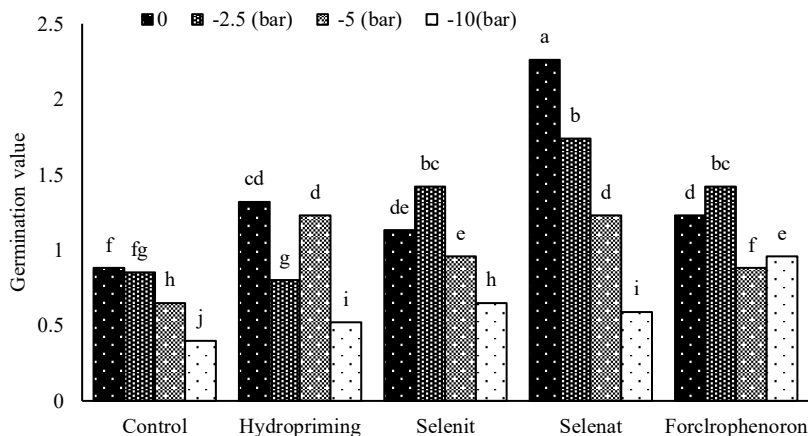
بر اساس یافته های آزمایش اثر تنش خشکی، پرایمینگ بذر و اثر متقابل تنش خشکی در پرایمینگ بذر بر میانگین جوانه زنی روزانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). نتایج میانگین جوانه زنی روزانه نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی از سطح صفر به ۱۰- بار این صفت کاهش یافت و سطوح بالاتر تنش خشکی، کاهش معنی دار میانگین این صفت را در پی داشت. در مقایسه میانگین اثر متقابل، بیشترین میانگین جوانه زنی روزانه مربوط به استفاده از عنصر سلنات در نبود تنش خشکی (شاهد) بود. پرایمینگ بذر با عنصر سلنات در تنش ۲/۵- بار نیز بالاترین میانگین جوانه زنی روزانه را نشان داد. کمترین میانگین این صفت در عدم پرایمینگ بذر در سطح خشکی ۱۰- بار مشاهده شد (شکل ۵). پرایمینگ بذر به بهبود فعالیت های متابولیکی و فیزیولوژیکی بذرها کمک می کند. این فرایند می تواند شامل افزایش فعالیت آنزیم های مرتبط با جوانه زنی، بهبود جذب آب و افزایش توانایی بذرها در مقابله با تنش های محیطی باشد [۲].



شکل ۵. اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ بر میانگین جوانه‌زنی روزانه.

### ارزش جوانه‌زنی

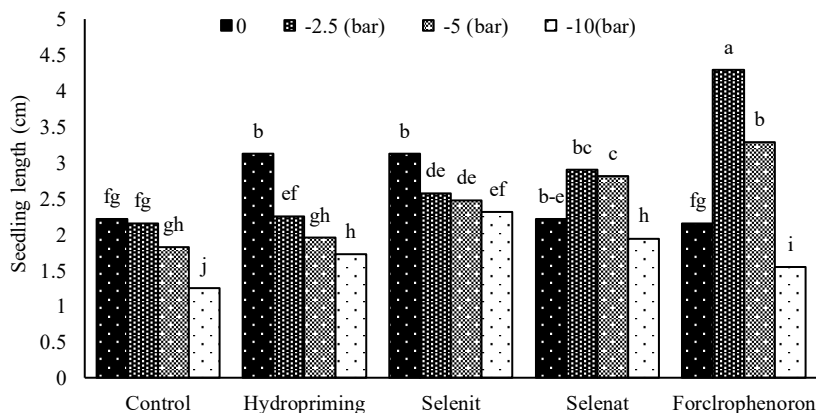
یافته‌ها آزمایش نشان داد که اثر تیمارهای مورد آزمایش همچون تنش خشکی، پرایمینگ بذر و تأثیرات متقابل تنش خشکی در پرایمینگ بذر در سطح احتمال یک درصد بر صفت ارزش جوانه‌زنی معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که خشکی منجر به کاهش و پرایمینگ بذر منجر به افزایش ارزش جوانه‌زنی بذر شد. در مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه تنش خشکی و پرایمینگ بالاترین ارزش جوانه‌زنی مربوط به پرایمینگ بذر با عنصر سلنات در نبود تنش خشکی (شاهد) با میانگین ۲/۲۶ مشاهده شد. کمترین ارزش جوانه‌زنی بذر نیز مربوط به نبود پرایمینگ (شاهد) و تنش خشکی ۱۰- بار با میانگین ۰/۴۹ بود (شکل ۶). تحقیقات نشان داده‌اند که پرایمینگ بذر با سلنات می‌تواند به افزایش قدرت اولیه بذر، درصد و سرعت جوانه‌زنی و در نهایت افزایش عملکرد گیاهان کمک کند. سلنات به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند و می‌تواند به کاهش استرس اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی کمک کند. این عنصر می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد. در مطالعه‌ای بر روی بذرهای گیاه گندم، مشخص شد که پرایمینگ بذر با سلنات باعث بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در شرایط تنش خشکی می‌شود [۱۷]. پرایمینگ بذر یک روش مؤثر برای بهبود ارزش جوانه‌زنی بذر زیره است و می‌تواند به افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، بهبود کیفیت جوانه‌ها و افزایش تحمل به تنش خشکی کمک کند [۱۶]. علاوه بر این، پرایمینگ بذر می‌تواند تأثیرات منفی تنش خشکی را کاهش دهد و به گیاهان کمک کند تا در برابر شرایط سخت محیطی مقاوم‌تر شوند. این امر به‌ویژه در گیاهان دارویی که به دلیل خواص درمانی خود اهمیت دارند، بسیار حائز اهمیت است [۸].



شکل ۶. اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ بر ارزش جوانه‌زنی.

### طول گیاهچه

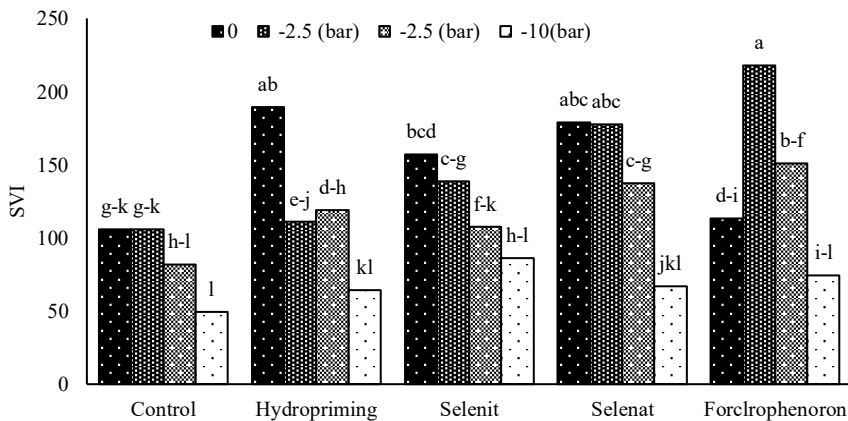
صفت طول گیاهچه تحت اثر تنش خشکی و اثر متقابل پرایمینگ در تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثر اصلی پرایمینگ بذریه بر این صفت غیر معنی‌دار شد (جدول ۲). طول گیاهچه در پرایمینگ بذریه فورکلروفنورون و تنش خشکی ۲/۵- بار دارای بیش‌ترین میزان با میانگین ۳/۹۳ سانتی‌متر مشاهده شد و در به‌کارنرفتن پرایمینگ بذریه و افزایش سطوح تنش خشکی (۱۰- بار) با میانگین طول گیاهچه ۱/۱۵ سانتی‌متر به کم‌ترین میزان رسید. همچنین با افزایش سطوح مختلف تنش شوری از طول گیاهچه‌های استویا در همه تیمارهای پرایمینگ بذریه کاسته شد (شکل ۷). پرایمینگ بذریه ابزاری مؤثر برای افزایش جوانه‌زنی بذریه و رشد گیاه است که در نهایت باعث افزایش بهره‌وری در شرایط و تنش‌های مختلف محیطی می‌شود. نتایج یک مطالعه نشان داد نوتروپرایمینگ باعث افزایش جوانه‌زنی بذریه، رشد و نمو گیاهچه، بنیه، سرعت سبز شدن گیاهچه و عملکرد بعدی در بیشتر گیاهان دارویی و علوفه‌ای می‌شود [۱].



شکل ۷. اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ بر طول گیاهچه.

## شاخص طولی بنیه گیاهچه

با توجه به اهمیت استقرار مطلوب گیاهچه‌ها در شرایط مزرعه، انتخاب گیاهچه‌هایی که علاوه بر دارابودن درصد جوانه‌زنی مطلوب، از طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بالاتری برخوردارند حائز اهمیت است. شاخص طولی بنیه بذر در اثر تنش خشکی، پرایمینگ بذر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس نتایج این بررسی، بالاترین شاخص بنیه بذر در پرایمینگ بذر با فورکلورفنورون و تنش ۲/۵- بار و پایین‌ترین بنیه نیز در به‌کارنرفتن پرایمینگ (شاهد) و تنش ۱۰- بار به‌دست آمد. همچنین افزایش در سطوح تنش خشکی نشان داد که شاخص طولی بنیه گیاهچه به‌شدت کاهش یافته است و کاربرد تیمارهای پرایمینگ بذر سلنیت، سلنات، فورکلورفنورون و هیدروپرایمینگ موجب افزایش شاخص طولی بنیه گیاهچه گیاه دارویی استویا در شرایط نبود تنش (شاهد) و حتی سایر سطوح تنش شد (شکل ۸). براساس نتایج حاصل از یک پژوهش، تنش خشکی تأثیرات بسیاری بر کاهش خصوصیات مورفولوژیکی بالنگوی شهری داشت. از آنجا که در شرایط تنش خشکی میزان جذب آب به داخل گیاه کاهش می‌یابد بنابراین گیاه نمی‌تواند این شرایط را تحمل کند و بر خصوصیات مورفولوژیکی تأثیر می‌گذارد و موجب کاهش رشد می‌گردد [۱۸].



شکل ۸. اثر متقابل تنش خشکی و پرایمینگ بر شاخص طولی بنیه گیاهچه.

## نتیجه‌گیری

طبق نتایج حاصل از آزمایش حاضر مشاهده شد که کاهش معنی‌داری در صفات زراعی رخ داده است که نشان‌دهنده تفاوت آشکار بین تیمارهای شاهد و تنش خشکی است. با این حال، تیمارهای پرایمینگ بذر، موجب بهبود خصوصیات جوانه‌زنی بذر در برابر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلایکول شدند. عناصر سلنات سلنیت، فورکلورفنورون و هیدروپرایمینگ می‌توانند به عنوان روش‌های مؤثر برای بهبود جوانه‌زنی بذرها تحت تنش خشکی عمل کنند. این روش‌ها با افزایش محتوای اوسمولیت‌ها و پروتئین‌های محلول، به بهبود تحمل به استرس خشکی کمک می‌کنند و می‌توانند به عنوان استراتژی‌های مؤثر در کشاورزی پایدار مورد استفاده قرار گیرند.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی مسئولین آزمایشگاه‌های دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و همچنین دانشگاه دامغان برای اجرای این پژوهش سپاسگزارند.

## References

- [1] Abbasi Khalaki, M., Ghorbani, A., Esmali Ouri, A., Shokouhian, A., & Ashraf Jafari, A. (2021). Some Facilitators effects on Alfalfa and Sainfoin growth in restoration of dry-farming lands (Study Area: Balekhlichay Watershed, Ardabil, Iran). *Ecopersia*, 9 (1), 43-51.
- [2] Afshari, F., Nakhaei, F., Mosavi, S., & Seghatoleslami, M. (2020). Evaluating the role of nutri-priming in improving PEG-induced drought stress tolerance of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Iranian Journal of Plant Physiology*. 11, 3509-3522.
- [3] Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H., & Damalas, C.A. (2020). Foliar fertilization with micronutrients improves *Stevia rebaudiana* tolerance to salinity stress by improving root characteristics. *Brazilian Journal of Botany*. 43, 55-65.
- [4] Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H., Mosanaiey, H., Pessarakli, M., Mousavi, S., & Ghasemzadeh, M. (2019). Effects of light and temperature treatments on germination and physiological traits of stevia seedling (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Journal of Plant Nutrition*. 42, 1125-1132.
- [5] Omidi, H, Naghdi Badi, H.A., & Jafarzadeh, L. (2015). Seeds of medicinal plants and crops. Shahed University Press. pp: 454.
- [6] Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H., & Tabatabaei, S.J. (2018). Plant growth and steviol glycosides as affected by foliar application of selenium, boron, and iron under NaCl stress in *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Industrial Crops and Products*. 125, 408-415.
- [7] Ahmadpour, R., Salimi, A., Armand, N., & Hosseinzadeh, SR. (2019). The effects of *Ascophyllum nodosum* extract on the stimulation of germination indices in chickpea (*Cicer arietinum*) under drought stress. *Nova Biologica Reperta*. 6, 206-216.
- [8] Ali, L.G., Nulit, R., & Ibrahim, M.H. (2021). Efficacy of KNO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> and SA priming for improving emergence, seedling growth and antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa*), under drought. *Scientific Reports*. 11, 3864.
- [9] Babajani, A., Iranbakhsh, A., Oraghi Ardebili, Z., & Eslami, B. (2019). Seed priming with non-thermal plasma modified plant reactions to selenium or zinc oxide nanoparticles: cold plasma as a novel emerging tool for plant science. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 39, 21-34.
- [10] Fakheri, B. A., Mousavi Nick, S. M., & Mohammadpour Vashvaei, R. (2017). Effect of drought stress induced by polyethylene glycol on germination and morphological properties of fennel and ajowan. *Crop Science Research in Arid Regions*. 1(1), 35-50.
- [11] Ganjali, A., Ajurlou, M., & Khaksafidi, A. (2017). The Effect of Drought and Salinity Stress on Seed Germination of (*Alyssum Homalocarpum*) . *Journal Crop Breed*, 9(21), 139-146.
- [12] Mahdavi Khorami, A., Masoud Sinaki, J., Amini Dehaghi, M., Rezvan, S., & Damavandi, A. (2020). Sesame (*Sesame indicum* L.) biochemical and physiological responses as affected by applying chemical, biological, and nano-fertilizers in field water stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 43, 456-475
- [13] Maleki Nargmousa, M., Blouchi, H., & Attarzadeh, M. (2015). Effect of seed priming on some germination traits and seedling growth of safflower under drought stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 2(1), 1-9.
- [14] Marcinek, K., & Krejpcio, Z. (2016). *Stevia rebaudiana* Bertoni: health promoting properties and therapeutic applications. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 11, 3-8.

- [15] Nasiri, Y., Mousavizadeh, S.A., & Asadi, M. (2020). Effect of farmyard, biological and chemical fertilizers on yield, yield components and some morphological characteristics of wheat. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30, 313-328.
- [16] Piri, R., Moradi, A., Salehi, A., & Balouchi, H.R. (2021). Effect of seed biological pretreatments on germination and seedling growth of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(4), 11-26.
- [17] Rocha, L., Silva, E., Pavia, I., Ferreira, H., Matos, C., Osca, J.M., Moutinho-Pereira, J., & Lima-Brito, J. (2022). Seed soaking with sodium selenate as a biofortification approach in bread wheat: effects on germination, seedling emergence, biomass and responses to water deficit. *Agronomy*, 12, 1975.
- [18] Saljoghi, A., Fattahi, M., & Mortazavi, S.R. (2024). Investigation of the effect of drought stress on the morpho-physiological characteristics of the lallemantia plant (*Lallemantia iberica* L.) in different levels of humic acid. *Karafan Journal*, 20(4), 407-422. doi: 10.48301/kssa.2024.416267.2707
- [19] Schiatti-Sisó, I.P., Quintana, S.E., & García-Zapateiro, L.A. (2023). Stevia (*Stevia rebaudiana*) as a common sugar substitute and its application in food matrices: an updated review. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 1483-1492.
- [20] Sedaghat, M., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Emam, Y., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). Physiological and antioxidant responses of winter wheat cultivars to strigolactone and salicylic acid in drought. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 59-69.
- [21] Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H., & Battaglia, M.L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants (Basel)*, 10(2), 259.
- [22] Singh, V., Agrawal, K.K., Jha, A.K., & Sahu, M.P. (2019). Effect of forchlorfenuron on yield and economics of transplanted rice. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences*, 7, 411-414.
- [23] Wani, S.H., Kumar, V., Shriram, V., & Sah, S.K. (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The Crop Journal*, 4, 162-176.