



<https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en>
Journal of Plant Biological Sciences
E-ISSN: 3041-9603
Vol. 17, Issue 3, No. 65, 2025
Document Type: Research Paper
Received: 21/06/2025 Accepted: 07/12/2025

Improvement of seed germination and biochemical characteristics of Pinto bean seedlings under polyethylene glycol-induced drought stress via the application of nutrient elements containing polyamines

Fatemeh Mahmoudi, Parisa Sheikhzadeh Mossadegh^{ID*}, Meysam Eini
Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources,
University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Abstract

To investigate the effects of seed-applied nutrient compounds on germination and biochemical characteristics of bean seedlings under polyethylene glycol-induced drought stress, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The treatments included drought stress (0, -4, -8, and -12 times) and the application of nutrient compounds containing polyamines (0, 25, 50, 75, and 100 mM). The results showed that drought stress significantly reduced germination rate and percentage to 3.1-6.97%, and reduced seedling dry weight and length to 4.70-28.19%, while increasing the average germination time by about 22.31% compared to the control treatment. However, enriching seeds with nutrient compounds increased seed germination and seedling growth and reduced the average germination time. In the presence and absence of drought stress, the antioxidant enzyme activity and proline content of seedlings obtained from treated seeds were about 3.25 to 4.10 percent higher than those obtained from control seeds. At all levels of drought stress, enriching seeds with different concentrations of nutrient compounds increased germination and improved bean seedling growth by increasing antioxidant enzyme activity. Among the treatments studied, the application of 100 mM nutrient compounds under non-stressed and 12-fold drought stress conditions increased dry weight by 20.69 and 59.26 percent, seedling vigor index by 15.59 and 28.96 percent, and peroxidase enzyme activity by 7.46 and 11.73 percent, respectively, compared to the control treatment, indicating a greater effect of nutrient compounds under drought stress conditions. In general, the application of 100 mM nutrient concentrations had the greatest positive effect on germination, growth, and biochemical traits of seedlings under both favourable and unfavourable conditions.

Keywords: Antioxidant enzyme activity, Seed germination, Seedling growth, Vigor index.

*Corresponding Author: sheikhzadehmp@gmail.com



Introduction

Drought is one of the most critical environmental stresses limiting crop production worldwide and has adverse effects on germination, emergence, and plant growth and development. In agriculture, drought is defined as the lack of moisture required for normal plant growth and development, and water stress occurs when water loss exceeds water uptake, when water uptake by the plant decreases, or both. The germination and seedling growth stage is one of the most important and decisive stages of plant growth affecting crop production; however, it is strongly influenced by environmental stresses and has therefore been suggested as a suitable criterion for determining plant drought tolerance. Pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important grain legumes, playing a major role in the human diet and providing a significant source of protein. Among legumes, the common bean ranks first in terms of cultivated area. This plant is rich in protein, phosphorus, vitamins, and nutrients such as calcium, zinc, copper, iron, manganese, and magnesium, as well as fibre. In addition, due to the symbiosis between atmospheric nitrogen-fixing bacteria and the roots of this plant, it effectively contributes to soil fertility, with large amounts of nitrogen added to cultivated soils each year after harvesting. Several factors can reduce chickpea seed germination and seedling emergence, among which drought stress is one of the most critical. Given that drought stress is one of the most important environmental factors in modern agricultural ecosystems and can significantly reduce plant growth and productivity, preventing or minimizing its harmful effects has long been of interest to researchers. Accordingly, considering the sensitivity of the germination and early growth stages of chickpea seedlings to drought stress, the present study was conducted to investigate the effect of seed application of nutrient compounds containing polyamines on the germination and biochemical characteristics of seedlings of this plant under drought stress.

Materials and Methods

To investigate the effects of applying nutrient elements containing polyamines on seed germination and the biochemical characteristics of Pinto bean seedlings under polyethylene glycol-induced drought stress, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. Treatments included drought stress at four levels (0, -4, -8, and -12 bar) and the application of nutrient elements containing polyamines at five levels (0, 25, 50, 75, and 100 %). In this study, the measured traits include germination percentage, germination rate, allometric coefficient, seedling length, seedling dry weight, seedling length vigour index, seedling weight vigour index, and mean germination time (MGT). Also, the activities of the catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase enzymes, and the proline content of Pinto bean seedlings were investigated. Statistical analysis was performed using SAS 9.4. Data distribution normality was evaluated using the Kolmogorov-Smirnov test. The comparison of means was performed using Duncan's multiple-range test at the 5% significance level. Excel software was used to draw graphs.

Results and Discussion

The results showed that drought stress significantly reduced germination rate and percentage, and the dry weight and length of Pinto bean seedlings, and increased the mean time required for germination. However, enriching seeds with nutrient elements containing polyamines increased seed germination and seedling growth, and reduced the mean germination time. Under normal conditions and under drought stress, the activity of antioxidant enzymes and the proline content in seedlings obtained from seeds treated with nutrient elements containing polyamines were higher than in the control. At all levels of drought stress, enrichment of pinto bean seeds with different concentrations (25 to 100 %) of nutrient elements containing polyamines increased the percentage and rate of germination and better growth of pinto bean seedlings by increasing the activity of antioxidant enzymes. Among the treatments studied, the application of 100 mM concentration of nutrient elements containing polyamines under the normal condition and -12 bar drought stress condition caused an increase of 20.69% and 59.26% in seedling dry weight, 15.59% and 28.96% in seedling length vigor index, and 7.46% and 11.73% in the activity of peroxidase enzyme compared to the control, respectively.

Conclusion

In general, the application of a 100% concentration of nutrient elements containing polyamines had the greatest positive and significant effect on improving seed germination characteristics and biochemical traits of Pinto bean seedlings under drought stress.

بهبود جوانه‌زنی بذر و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهچه‌های لوبیاجیتی در شرایط تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول با کاربرد ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین

فاطمه محمودی، پریسا شیخ‌زاده^{ID*}، میثم عینی

گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

جهت بررسی تأثیر کاربرد بذری ترکیبات مغذی بر جوانه‌زنی و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهچه‌های لوبیاجیتی تحت تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل تنش خشکی (صفر، ۴، ۸، ۱۲-بار) و کاربرد ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی، سرعت و درصد جوانه‌زنی را بین ۳/۱ تا ۶/۹۷ درصد، وزن خشک و طول گیاهچه‌ها را بین ۴/۷۰ تا ۲۸/۱۹ درصد بطور معنی‌داری کاهش و میانگین مدت جوانه‌زنی را حدود ۲۲/۳۱ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. از سوی دیگر، غنی‌سازی بذور با ترکیبات مغذی موجب شد تا جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه‌ها افزایش و میانگین مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی بذرها (۲۷/۶۹-۱۴/۶۱ درصد) کاهش یابد. در شرایط وجود و عدم وجود تنش خشکی، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و میزان پرولین گیاهچه‌های حاصل از بذرها تیمار شده در حدود ۳/۲۵ تا ۴/۱۰ درصد بیشتر از گیاهچه‌های حاصل از بذرها شاهد بود. در تمام سطوح تنش خشکی، غنی‌سازی بذرها با غلظت‌های مختلف ترکیبات مغذی سبب شده تا توسط افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، سبب افزایش جوانه‌زنی و رشد بهتر گیاهچه‌های لوبیاجیتی شود. در بین تیمارهای مورد بررسی، کاربرد ۱۰۰ میلی‌مولار ترکیبات مغذی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی ۱۲-بار به ترتیب موجب افزایش ۲۰/۶۹ و ۵۹/۲۶ درصدی وزن خشک، شاخص طولی بنیه گیاهچه ۱۵/۵۹ و ۲۸/۹۶ درصدی، فعالیت آنزیم پراکسیداز ۷/۴۶ و ۱۱/۷۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد که نشان از تأثیر بیشتر ترکیبات مغذی در شرایط تنش خشکی است. به‌طور کلی، کاربرد غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار از ترکیبات مغذی بیشترین تأثیر مثبت را در بهبود جوانه‌زنی، رشد و صفات بیوشیمیایی گیاهچه‌ها تحت شرایط مساعد و نامساعد داشت.

کلمات کلیدی: جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، شاخص بنیه، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

مقدمه

خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی محدودکننده تولید محصولات گیاهی در سراسر جهان محسوب شده و اثرات نامطلوبی بر جوانه‌زنی، سبز شدن و رشد و نمو گیاه دارد. در کشاورزی خشکی، نبود رطوبت مورد نیاز برای رشد و توسعه طبیعی گیاه تعریف شده و تنش کم‌آبی زمانی رخ می‌دهد که تلفات آب بیش از میزان جذب آن باشد (Amooaghaie et al., 2024). مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها یکی از مراحل مهم در طول دوره رشدی گیاه است که اغلب تحت تأثیر تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی قرار می‌گیرد، زیرا جوانه‌زنی تعیین‌کننده تعداد بوته در واحد سطح در مزرعه بوده که در نهایت روی عملکرد محصول نیز تأثیر می‌گذارد (Moshtaghi et al., 2023). تنش خشکی سرعت و درصد جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار داده و ناکافی بودن رطوبت لازم برای جوانه‌زنی و به‌دنبال آن تنش خشکی در مرحله رشد گیاهچه یکی از عوامل مهم در عدم استقرار مطلوب گیاهچه در مناطق خشک است (Bazi Zlan et al., 2022). یک روش برای بررسی تأثیر تنش خشکی بر روی جوانه‌زنی در شرایط کنترل شده، شبیه‌سازی شرایط تنش توسط محلول‌هایی مانند پلی اتیلن گلیکول برای تهیه پتانسیل‌های اسمزی متغیر است (Channaoui et al., 2019). با کاهش پتانسیل اسمزی، جذب آب به وسیله بذر کاهش یافته و قابلیت جوانه‌زنی پائین می‌آید. کاهش درصد جوانه‌زنی بذر در اثر تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول (PEG) ممکن است به علت عدم قابلیت نفوذ آب به بذر در اثر جذب کمتر آب توسط بذر و وجود اختلالات متابولیکی مانند هیدرولیز کندتر ترکیبات ذخیره شده در آندوسپرم یا لپه باشد (Channaoui et al., 2019; Bahrami et al., 2012).

مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه یکی از مهمترین و تعیین‌کننده‌ترین مرحله از مراحل رشدی گیاه است که بر میزان تولید محصول اثر می‌گذارد، اما این مراحل به شدت

تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد، از این رو به‌عنوان یک معیار مناسب برای تعیین میزان تحمل گیاهان به خشکی پیشنهاد شده است (Kaydan & Yagmur, 2008). کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در اثر تنش خشکی در لویاچیتی (*Phaseolus vulgaris*) (Heidari et al., 2018)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) (Motakefi et al., 2022)، انگور (*Vitis vinifera*) (Zokaei Khosroshahi et al., 2023)، آفتابگردان (*Helianthus annuus*) (Heidari et al., 2020)، گشنیز (*Coriandrum sativum*) (Panahyan et al., 2020)، و ذرت (*Zea mays*) (kivi, 2019) (Ebrahim Sedaghati et al., 2021) نیز گزارش شده است.

لویاچیتی با نام علمی *Phaseolus vulgaris* L. یکی از مهمترین حبوبات به شمار می‌رود که سهم عمده‌ای در رژیم غذایی انسان دارد و تأمین‌کننده بخش مهمی از پروتئین مورد نیاز انسان است و در بین حبوبات، لویاچیتی از لحاظ سطح زیر کشت، مقام اول را دارد که در سال ۲۰۲۴ حدود ۵۴ میلیون هکتار گزارش شده است (Ramadhani et al., 2024). این گیاه دارای پروتئین بالا، فسفر، ویتامین‌ها، عناصر غذایی مانند (کلسیم، روی، مس، آهن، منگنز و منیزیم) و فیبر است. علاوه بر این، به علت همزیستی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن اتمسفری با ریشه این گیاه، در حاصلخیزی خاک موثر هستند و هر ساله مقادیر زیادی نیتروژن بعد از برداشت این محصول به خاک زراعی افزوده می‌شود. عوامل متعددی می‌تواند میزان جوانه‌زنی بذر، سبز شدن و ظهور گیاهچه لویاچیتی را کاهش دهند که تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده است (Terzi et al., 2010). به‌طور کلی عناصر از نظر میزان استفاده گیاهان، به دو دسته عناصر پر مصرف (درشت مغذی) و عناصر کم‌مصرف (ریزمغذی) تقسیم می‌شوند. عناصر پر مصرف شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد، منیزیم و کلسیم و از عناصر کم‌مصرف (ریزمغذی) می‌توان به آهن، منگنز، روی، مولیبدن، بر و مس اشاره کرد که نبود هر کدام

پلی آمین‌ها، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش یافته و در نتیجه موجب افزایش رشد رویشی شده است.

کودهای حاوی عناصر غذایی با روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند که روش‌های مصرف شامل محلول‌پاشی، مصرف خاکی و آغشته نمودن بذر است که آغشته نمودن بذر به عناصر غذایی نوعی پیش‌تیمار محسوب می‌شود (Sohrabi et al., 2019). بذر مال کردن به آغشته نمودن بذر قبل از کاشت با ترکیب یا ترکیباتی می‌باشد که سبب افزایش قدرت جوانه‌زنی بذر، افزایش حجم ریشه، استقرار بهتر و مناسب گیاهچه در شرایط تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی می‌شود (Amiryousefi et al., 2021). آغشته نمودن بذرها توسط عناصر مغذی از تکنیک‌های سودمندی است که در بسیاری از بذرها از جمله چغندر قند (*Beta vulgaris*) (Ghotbi & Farajzadeh Memarian) (Tabrizi, 2018) مورد استفاده قرار گرفته است.

با توجه به اینکه تنش خشکی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی در بوم نظام (اکوسیستم)‌های زراعی امروزی به شمار می‌رود، می‌تواند منجر به کاهش رشد و تولید گیاهان شود. بنابراین یافتن روش‌های جلوگیری یا کاهش تأثیر زیانبار ناشی از تنش خشکی همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. بر این اساس با توجه به حساسیت مراحل جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های لوبیاچیتی به تنش خشکی، پژوهش حاضر جهت بررسی تأثیر کاربرد بذری ترکیبات مغذی حاوی پلی آمین بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های این گیاه تحت تنش خشکی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تأثیر کاربرد ترکیبات مغذی حاوی پلی آمین بر جوانه‌زنی، رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهچه‌های لوبیاچیتی تحت تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار در دانشگاه محقق

از این عناصر رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کمبود عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی از جمله عواملی هستند که شرایط تنش را در گیاه تشدید می‌کنند. گوگرد در سنتز پروتئین نقش داشته و بخشی از آمینواسیدهای متیونین و سیستئین است و در شرایط تنش موجب افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود (Sohrabi et al., 2019). نقش روی در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاهان به‌عنوان یک پل ارتباطی برای اتصال آنزیم به سوبسترا شناخته شده است (Per et al., 2018). نقش اساسی کلسیم در بسیاری از سازوکارهای دفاعی در شرایط تنش خشکی و پیام‌رسانی آن برای تحمل یا مقاومت به خشکی مورد نیاز است (Motakefi et al., 2022). استفاده از عناصر کم‌مصرف نیز، اثرات سوء تنش را کاهش داده و سبب تولید بذرهایی با قابلیت جوانه‌زنی بهتر می‌شود. همچنین، عناصر ریزمغذی مانند آهن، منگنز و روی نقش مهمی در رشد و بازده گیاهان در شرایط تنش خشکی دارند (El-Wahab, 2008). پلی آمین‌ها، پلی کاتیون‌های آلی هستند که در فرآیندهای فیزیولوژیک مانند رشد، نمو و افزایش تحمل به تنش‌ها نقش مهمی دارند. در گیاهان عالی پلی آمین‌ها به فرم پوتریسین، اسپرمیدین و اسپرمین یافت می‌شوند. همچنین پلی آمین‌ها در پاسخ به خشکی به مقدار زیادی تولید و انباشته می‌شوند (Chen et al., 2019). پلی آمین‌ها در شرایط تنش ملایم موجب از بین رفتن رادیکال‌های آزاد سوپر اکسید می‌شوند، اما تحت شرایط تنش شدید به‌عنوان تنظیم‌کننده‌ی مثبت ژن‌های آنتی‌اکسیدانی عمل می‌کنند (Ebeed et al., 2017). کاربرد این ماده سبب حفاظت غشاء توسط مهار پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش صدمه تنش اکسیداتیو می‌شود. حفظ ویژگی‌های غشاء و افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه در افزایش تحمل به تنش کم‌آبی می‌تواند بسیار مهم باشد (Mustafavi et al., 2018). در گیاهان متعددی مانند پیاز (Amin et al., 2011)، گندم (Ebeed et al., 2017) و فلفل (Khan et al., 2012) مشاهده شدند با کاربرد

درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی تعیین شد. برای محاسبه متوسط زمان جوانه‌زنی از رابطه (Ellis & Rabertz 1981) استفاده شد.

در پایان آزمون جوانه‌زنی، طول گیاهچه‌های نرمال توسط خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد و ضریب آلومتری (نسبت طول ساقچه به طول ریشه‌چه) محاسبه شد. جهت تعیین وزن خشک، گیاهچه‌های نرمال از هر تیمار و تکرار به صورت جداگانه در پاکت‌های کاغذی ریخته شده و در آونی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشکانده شدند. پس از پایان مدت مذکور، نمونه‌های هر پاکت توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین شدند. علاوه بر این، شاخص طولی بنیه و وزنی بنیه گیاهچه‌ها نیز اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی گیاهچه‌ها، نمونه‌هایی از گیاهچه‌های نرمال ۱۰ روزه به صورت تصادفی انتخاب و این نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری ویژگی‌های بیوشیمیایی و آنزیمی در فریزر با دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای تهیه عصاره آنزیمی از روش (Chang & Koa 1998) استفاده شد. همچنین جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از روش (Aebi 1984) و آنزیم پراکسیداز از روش (Chanec & Maehly 1955) بر پایه تشکیل تترآگایاکول از گایاکول در حضور پراکسید هیدروژن و آنزیم گایاکول استفاده شد. همچنین استخراج پرولین توسط روش (Bates et al. 1973) صورت گرفت. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم افزار آماری SAS 9.4 انجام شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف ارزیابی شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

اردبیلی انجام شد. تیمارها شامل تنش خشکی در چهار سطح (صفر، -۴، -۸ و -۱۲ بار) و کاربرد ترکیبات مغذی در پنج سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) بود. ترکیبات مغذی حاوی پلی آمین (پلی آمین سنتتیک Diethylenetriamine (۷۰٪)، آمونیوم (۲٪)، مس (۰/۰۵٪)، روی (۲٪)، منگنز (۲٪)، آهن (۲٪)، کلسیم (۱٪)، گوگرد (۵٪)، منیزیم (۱٪) و کربن آلی (۱۵٪) مطابق برچسب موجود روی ظرف بود که از شرکت بسپار دانش سبز بنیان تهیه شده بود. پلی آمین مورد استفاده در ترکیب این مکمل غذایی، دارای ساختاری شبیه به پلی آمین‌های طبیعی است. ابتدا جهت ضدعفونی بذور، بذره‌های لوبیاچیتی در هیپوکلرید سدیم پنج درصد به مدت یک دقیقه قرار داده شدند و سپس سه بار با آب مقطر شستشو داده شدند. برای آغشته کردن بذر با ترکیبات مغذی (بذرمال کردن)، بذور در غلظت‌های تهیه شده از ترکیبات مغذی قرار داده شدند، پس از آن بذور روی کاغذ صافی قرار داد شد تا خشک شوند. بذره‌های شاهد تا زمان کاشت در یخچال نگهداری شدند.

جهت انجام آزمون جوانه‌زنی، ابتدا سه تکرار ۲۵ بذری به طور تصادفی از بذره‌های تیمار شده و بذره‌های تیمار نشده به پتری‌دیش‌های حاوی دو لایه کاغذ صافی انتقال یافتند و کشت به روش روی کاغذ انجام شد. جهت تهیه سطوح مختلف تنش خشکی (-۴، -۸ و -۱۲ بار)، از پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ استفاده شد (Michel & Kaufmann, 1973)، سپس به صورت مجزا، مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از محلول‌های مورد نظر به هر پتری‌دیش اضافه شد. برای تیمار شاهد (غلظت صفر پلی اتیلن گلیکول) از آب مقطر استفاده شد، سپس نمونه‌ها به ژرمیناتوری با دمای 1 ± 20 درجه سانتی‌گراد (ISTA, 2017) منتقل شدند. تعداد بذور جوانه‌زده به صورت روزانه تا ۱۰ روز شمارش شد. ظهور ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر به عنوان معیاری برای جوانه‌زنی بذرها در نظر گرفته شد. در پایان آزمایش، تعداد جوانه‌های نرمال و غیرنرمال (فاقد ریشه‌چه و ساقچه) آن‌ها شمارش و

درصد جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و کاربرد ترکیبات مغذی قرار گرفت، اما اثر متقابل تنش خشکی × کاربرد ترکیبات مغذی روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۱). در پژوهش حاضر، اعمال تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی توسط کاهش پتانسیل آب، سبب کاهش ظرفیت جوانه‌زنی شد. همچنین با افزایش شدت تنش خشکی درصد جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به عبارت دیگر، کمترین میانگین درصد جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی در شرایط تنش خشکی ۱۲- بار مشاهده شد (شکل ۱). در شرایط تنش خشکی ۱۲- بار، درصد جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی در حدود ۶/۹۷ درصد نسبت به درصد جوانه‌زنی بذور شاهد کاهش یافت.

اگرچه تنش خشکی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی بین ۳/۱ تا ۶/۹۷ درصد شد، اما کاربرد غلظت‌های مختلف ترکیبات مغذی سبب شد تا درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری نسبت به درصد جوانه‌زنی بذرهای بدون تیمار (شاهد) افزایش یابد (شکل ۲). با افزایش غلظت ترکیبات مغذی نیز، افزایش معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی مشاهده شد. بیشترین میانگین درصد جوانه‌زنی در بذور تیمار شده با غلظت ۱۰۰ درصد ترکیبات مغذی بدست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارهای بذری و تیمار شاهد بود. با تیمار کردن بذرهای لوبیاچیتی با غلظت ۱۰۰ درصد از ترکیبات مغذی درصد جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی در حدود ۱۱/۲۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (شکل ۲).

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای تنش خشکی و کاربرد ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های لوبیاچیتی

Table 1- Analysis of variance of the effect of drought stress and application of nutrient elements containing polyamines treatments on germination and growth of pinto bean seedlings

S.O.V	df	Germination percentage	Germination rate	Mean germination time	Seedling dry weight	Seedling length	Allometric coefficient	Seedling length vigor index	Seedling weight vigor index
Drought stress (S)	3	58.2**	205.3**	0.32**	1×10^{-4} **	64.96**	0.008**	496252.8**	0.7**
Nutrient elements (N)	4	123.6**	101.5**	0.16**	4×10^{-5} **	4.83**	0.005**	112197.83**	0.05**
S×N	12	1.2 ^{ns}	1.46**	0.002**	8×10^{-6} **	0.17**	3×10^{-5} **	1504.17*	0.0007**
Error	40	1.4	1.4	0.003	5×10^{-6}	0.01	1×10^{-6}	700.25	0.0002
CV %		1.57	0.08	0.32	1.74	0.73	0.11	2.24	3.28

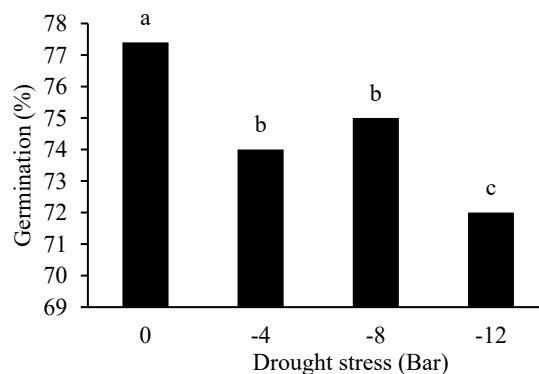
ns و **، به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

ns, ** are non-significant and significant at 1% probability level, respectively

سرعت جوانه‌زنی

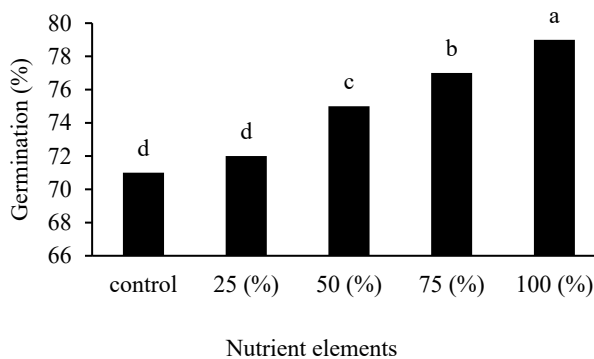
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان دادند سرعت جوانه‌زنی تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی، کاربرد ترکیبات مغذی در بذر و اثر متقابل تنش خشکی × کاربرد ترکیبات مغذی در بذر قرار گرفت (جدول ۱). علاوه بر این، با افزایش شدت تنش خشکی میانگین سرعت جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی به‌طور معنی‌داری کاهش داشت و کمترین میانگین سرعت جوانه‌زنی در تیمار تنش خشکی ۱۲- بار مشاهده شد. همچنین با قرار گرفتن بذرهای لوبیاچیتی در این شدت تنش، سرعت جوانه‌زنی آن‌ها در حدود ۱۰/۵۸ درصد نسبت به بذرهای شاهد کاهش یافت (شکل ۳).

در تمام سطوح تنش خشکی، تیمار کردن بذور لوبیاچیتی با غلظت‌های مختلف ترکیبات مغذی سبب شد تا سرعت جوانه‌زنی بذور لوبیاچیتی به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار بدون کاربرد ترکیبات مغذی افزایش یابد (شکل ۳). در تمام سطوح تنش خشکی با افزایش غلظت ترکیبات مغذی از ۲۵ به ۱۰۰ درصد، سرعت جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی روند افزایشی و معنی‌دار داشت. بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تمام سطوح تنش خشکی در تیمار کاربرد غلظت ۱۰۰ درصد از ترکیبات مغذی مشاهده شد به‌طوری که این تیمار سبب شد تا میانگین سرعت جوانه‌زنی بذور لوبیاچیتی بین ۱۰/۸۶ و ۱۱/۴۴ درصد افزایش داشته باشد (شکل ۳).



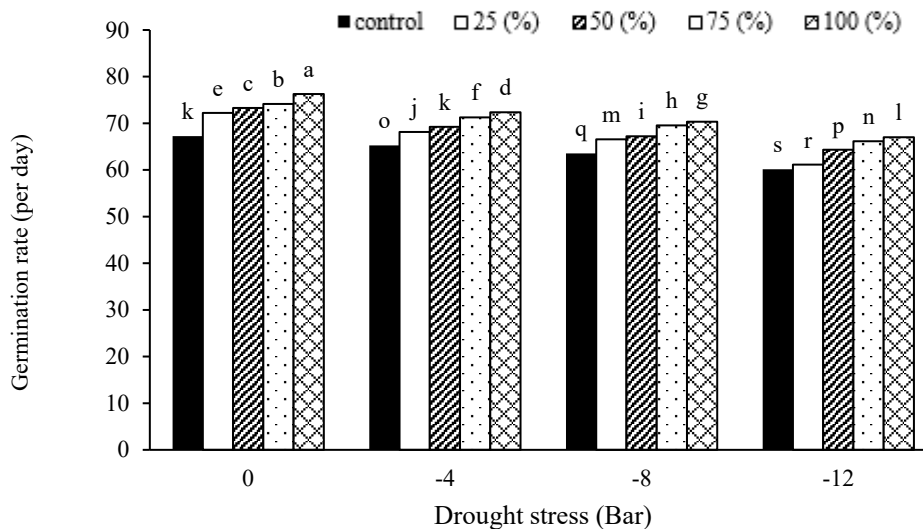
شکل ۱- تأثیر تنش خشکی بر درصد جوانه‌زنی بذور لوبیاچیتی. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 1- Effect of drought stress on germination percentage of Pinto bean seeds. The values are the mean values of Three repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.



شکل ۲- تأثیر کاربرد ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین بر درصد جوانه‌زنی بذور لوبیاچیتی. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 2- The effect of nutrient elements containing polyamines on germination percentage of Pinto bean seeds. The values are the mean values of Three repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.



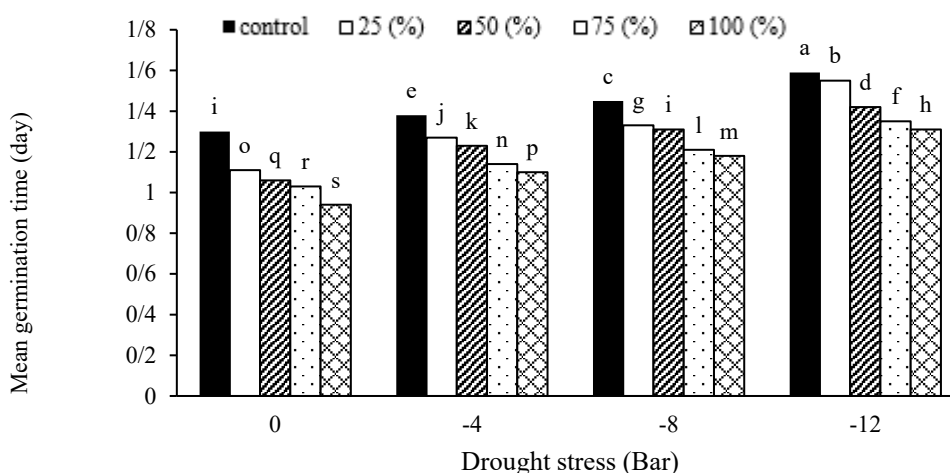
شکل ۳- تأثیر تیمارهای تنش خشکی و ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین بر سرعت جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی. مقادیر میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 3- The effects of drought stress and nutrient elements containing polyamines treatments on germination rate of Pinto bean seeds. The values are the mean values of Three repetitions \pm standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

میانگین مدت زمان جوانه‌زنی

صفت درصد جوانه‌زنی به تنهایی نمی‌تواند تمامی جنبه‌های جوانه‌زنی را روشن کند. از این رو بررسی صفت‌هایی مانند میانگین مدت زمان جوانه‌زنی ضروری به نظر می‌رسد. اثرات ساده تنش خشکی، تیمار بذر با ترکیبات مغذی و اثر متقابل تنش خشکی \times کاربرد ترکیبات مغذی بر میانگین مدت زمان جوانه‌زنی معنی‌دار شد (جدول ۱). با قرار گرفتن بذرهای لوبیاچیتی در معرض تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول، میانگین مدت جوانه‌زنی بذر با افزایش شدت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به عبارت دیگر، بیشترین میانگین مدت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی ۱۲- بار مشاهده شد. تنش خشکی ۱۲- بار سبب شد تا میانگین مدت جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی در حدود ۲۲/۳۱ درصد نسبت به بذرهای شاهد افزایش یابد (شکل ۴).

اگرچه در تمام سطوح تنش خشکی، تیمار کردن بذر با ترکیبات مغذی سبب کاهش معنی‌دار میانگین مدت جوانه‌زنی بذرهای لوبیاچیتی شد، اما با افزایش غلظت ترکیبات مغذی، میانگین مدت جوانه‌زنی بذر روند کاهشی داشتند که این کاهش نیز معنی‌دار بود (شکل ۴). در تمام سطوح تنش خشکی کمترین میانگین مدت جوانه‌زنی، در تیمار کاربرد غلظت ۱۰۰ درصد ترکیبات مغذی مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد و سایر تیمارها داشت. در بین تیمارهای مورد بررسی، بیشترین و کمترین میانگین مدت جوانه‌زنی به ترتیب در تیمار عدم کاربرد ترکیبات مغذی در شرایط تنش خشکی ۱۲- بار و تیمار کاربرد غلظت ۱۰۰ درصد ترکیبات مغذی در شرایط عدم تنش خشکی بدست آمد (شکل ۴).



شکل ۴- تأثیر تیمارهای تنش خشکی و ترکیبات مغذی حاوی پلی آمین بر میانگین مدت جوانه زنی بذرهای لوبیاجیتی. مقادیر میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی دار توسط آزمون دانکن را نشان می دهند.

Figure 4- The effects of drought stress and nutrient elements containing polyamines on mean germination time of Pinto bean seeds. The values are the mean values of Three repetitions \pm standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

طول گیاهچه

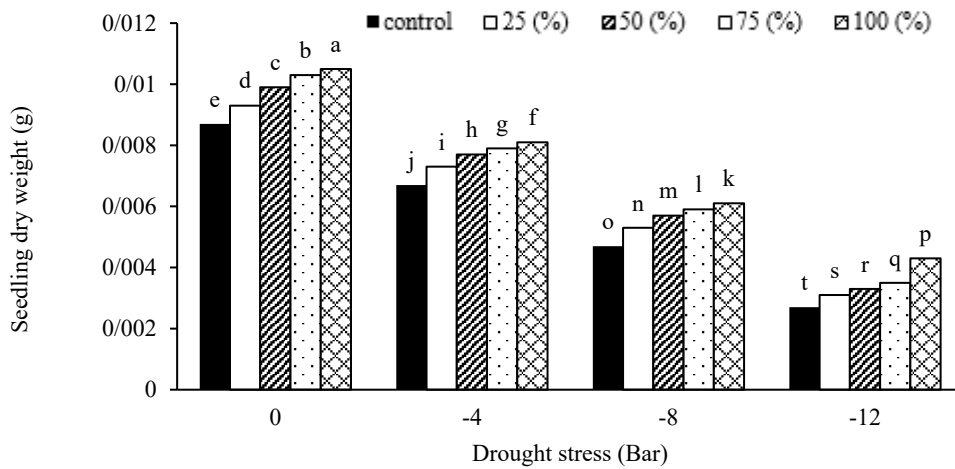
صفت طول گیاهچه به طور معنی داری تحت تأثیر تنش خشکی، کاربرد ترکیبات مغذی و اثر متقابل تنش خشکی \times کاربرد ترکیبات مغذی قرار گرفت (جدول ۱). اعمال تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول به طور معنی داری طول گیاهچه‌های لوبیاجیتی را کاهش داد، به طوری که قرار گرفتن بذرهای لوبیاجیتی در حین جوانه زنی در معرض تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول (۴- تا ۱۲- بار)، سبب شد تا طول گیاهچه‌های لوبیاجیتی بین ۴/۷۰ تا ۲۸/۱۹ درصد کوتاهتر از گیاهچه‌های شاهد شوند (شکل ۶). به عبارت دیگر، در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، طول گیاهچه‌های حاصل از بذرهای تیمار شده با ترکیبات مغذی به طور معنی داری بیشتر از طول گیاهچه‌های حاصل از بذرهای شاهد بود (شکل ۶). اگر چه کاربرد ترکیبات مغذی در شرایط بدون تنش خشکی موجب افزایش طول گیاهچه‌های لوبیاجیتی در حدود ۲/۳۴ تا ۱۰/۵۶ درصد نسبت به طول گیاهچه‌ها در تیمار شاهد (بدون ترکیبات مغذی) شد، اما با کاربرد غلظت‌های مختلف ترکیبات مغذی در بذرهای لوبیاجیتی در شرایط تنش خشکی ۴- تا ۱۲- بار،

وزن خشک گیاهچه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) وزن خشک گیاهچه‌های لوبیاجیتی تحت اثرات ساده تنش خشکی، کاربرد ترکیبات مغذی و اثر متقابل تنش خشکی \times کاربرد ترکیبات مغذی قرار گرفت. مطابق شکل ۵، با بیشترین کمترین میانگین وزن خشک گیاهچه‌های لوبیاجیتی به ترتیب در شرایط تنش خشکی ۱۲- بار و عدم تنش خشکی مشاهده شد. در تمام سطوح تنش خشکی، بیشترین میانگین وزن خشک گیاهچه‌های لوبیاجیتی در تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد ترکیبات مغذی مشاهده شد که بطور معنی داری بیشتر از تیمار شاهد و سایر غلظت‌های مورد استفاده از ترکیبات مغذی بود. کاربرد ۱۰۰ درصد ترکیبات مغذی در شرایط بدون تنش خشکی و تنش خشکی ۱۲- بار به ترتیب موجب افزایش ۲۰/۶۹ و ۵۹/۲۶ درصدی وزن خشک گیاهچه‌های لوبیاجیتی نسبت به وزن خشک گیاهچه‌ها در تیمار شاهد (بدون ترکیبات مغذی) شد که نشان دهنده تأثیر بیشتر ترکیبات مغذی در شرایط وجود تنش خشکی است (شکل ۵).

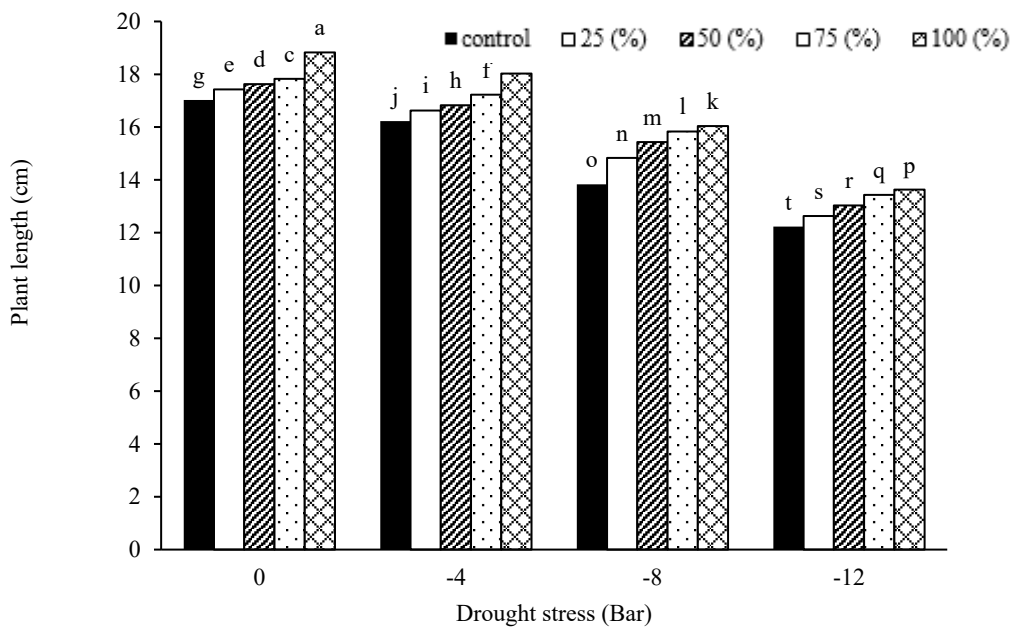
نشان‌دهنده تأثیر بیشتر ترکیبات مغذی در شرایط تنش خشکی است (شکل ۶).

سبب شد تا طول گیاهچه‌ها در حدود ۲/۴۶ تا ۱۵/۹۸ افزایش یابد که



شکل ۵- تأثیر تیمارهای تنش خشکی و ترکیبات مغذی بر وزن خشک گیاهچه‌های لویاچیتی. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 5- The effects of drought stress and nutrient elements containing polyamines treatments on dry weight of Pinto bean seedlings. The values are the mean values of Three repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.



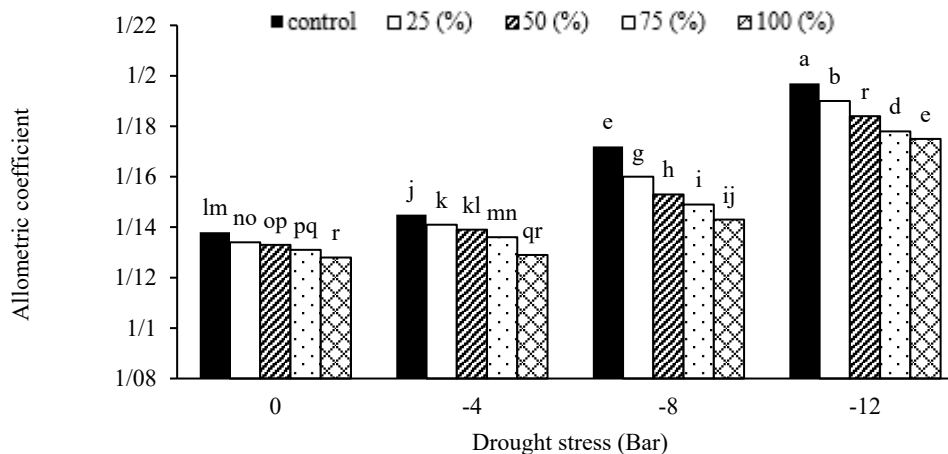
شکل ۶- تأثیر تیمارهای تنش خشکی و ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین بر میانگین طول گیاهچه‌های لویاچیتی. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 6- The effects of drought stress and nutrient elements containing polyamines treatments on length of Pinto bean seedlings. The values are the mean values of Three repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

ضریب آلومتری

میانگین ضریب آلومتری به طور معنی داری تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی، کاربرد ترکیبات مغذی و اثر متقابل تنش خشکی × کاربرد ترکیبات مغذی قرار گرفت (جدول ۱). با اعمال سطوح مختلف تنش خشکی (۴- تا ۱۲- بار) ضریب آلومتری گیاهچه‌های لوبیاجیتی به طور معنی داری نسبت به شرایط بدون تنش خشکی افزایش یافت که نشان‌دهنده افزایش نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه است. به عبارت دیگر، بیشترین مقدار این ضریب زمانی به دست آمد که بذرها در معرض تنش خشکی ۱۲- بار قرار گرفتند. تنش خشکی ۱۲- بار سبب شد تا ضریب آلومتری گیاهچه‌های

لوبیاجیتی در حدود ۵/۱۸ درصد نسبت به ضریب آلومتری گیاهچه‌های شاهد افزایش یابد (شکل ۷). غنی‌سازی بذرها لوبیاجیتی با ترکیبات مغذی در شرایط وجود و عدم وجود تنش خشکی، موجب شد تا میانگین ضریب آلومتری به طور معنی داری کاهش یابد. همچنین افزایش غلظت ترکیبات مغذی از ۲۵ درصد تا ۱۰۰ درصد، تأثیر مثبت و معنی داری بر کاهش میانگین ضریب آلومتری داشت. در تمام سطوح تنش خشکی، بیشترین میانگین ضریب آلومتری گیاهچه‌های لوبیاجیتی در تیمار شاهد (بدون ترکیبات مغذی) به دست آمد (شکل ۷).



شکل ۷- تأثیر تیمارهای تنش خشکی و ترکیبات مغذی حاوی پلی آمین بر ضریب آلومتری گیاهچه‌های لوبیاجیتی. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 7- The effects of drought stress and nutrient elements containing polyamines treatments on allometric coefficient of Pinto bean seedlings. The values are the mean values of Three repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

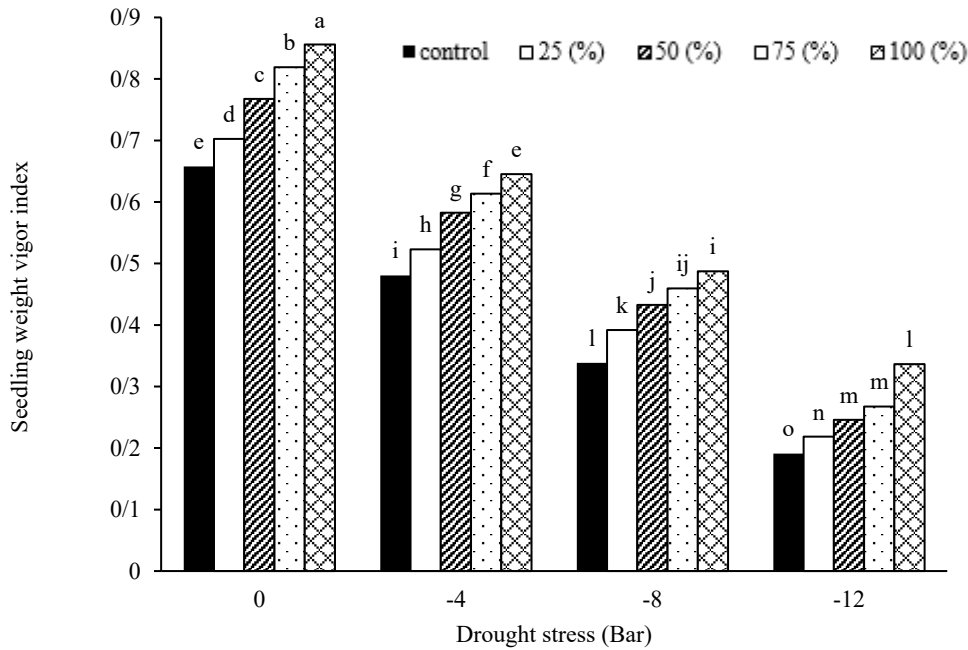
شاخص طولی بنیه گیاهچه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) شاخص طولی بنیه گیاهچه‌های لوبیاجیتی تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی، کاربرد ترکیبات مغذی و اثر متقابل تنش خشکی × کاربرد ترکیبات مغذی قرار گرفت. بر اساس شکل ۸، کمترین و بیشترین میانگین شاخص طولی بنیه گیاهچه‌های لوبیاجیتی به ترتیب در شرایط تنش خشکی ۱۲-

بار و عدم تنش خشکی مشاهده شد. در تمام سطوح تنش خشکی، بیشترین میانگین شاخص طولی بنیه گیاهچه‌های لوبیاجیتی در تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد ترکیبات مغذی مشاهده شد که به طور معنی داری بیشتر از تیمار بدون پیش تیمار و سایر غلظت‌های مورد استفاده از ترکیبات مغذی بود. همچنین در شرایط بدون تنش خشکی کاربرد ۱۰۰ درصد ترکیبات مغذی موجب افزایش ۱۵/۵۹ درصدی

قرار گرفتند در حدود ۲۳/۶۰ تا ۲۸/۹۶ درصد نسبت به شاخص طولی بینه گیاهچه‌های لوبیاجیتی در تیمار شاهد (بدون ترکیبات مغذی) شد (شکل ۸).

شاخص طولی بینه گیاهچه‌های لوبیاجیتی نسبت به شاخص طولی بینه گیاهچه‌های لوبیاجیتی در تیمار شاهد (بدون ترکیبات مغذی) شد. از سوی دیگر، مقدار افزایش این شاخص در شرایطی که بذرها در معرض تنش ۴- تا ۱۲- بار



شکل ۸- تأثیر تیمارهای تنش خشکی و ترکیبات مغذی حاوی پلی آمین بر شاخص طولی بینه گیاهچه‌های لوبیاجیتی. مقادیر میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 8- Effect of drought stress treatments and nutrient elements containing polyamines on the seedling length vigor index of Pinto bean seedlings. The values are the mean values of Three repetitions \pm standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

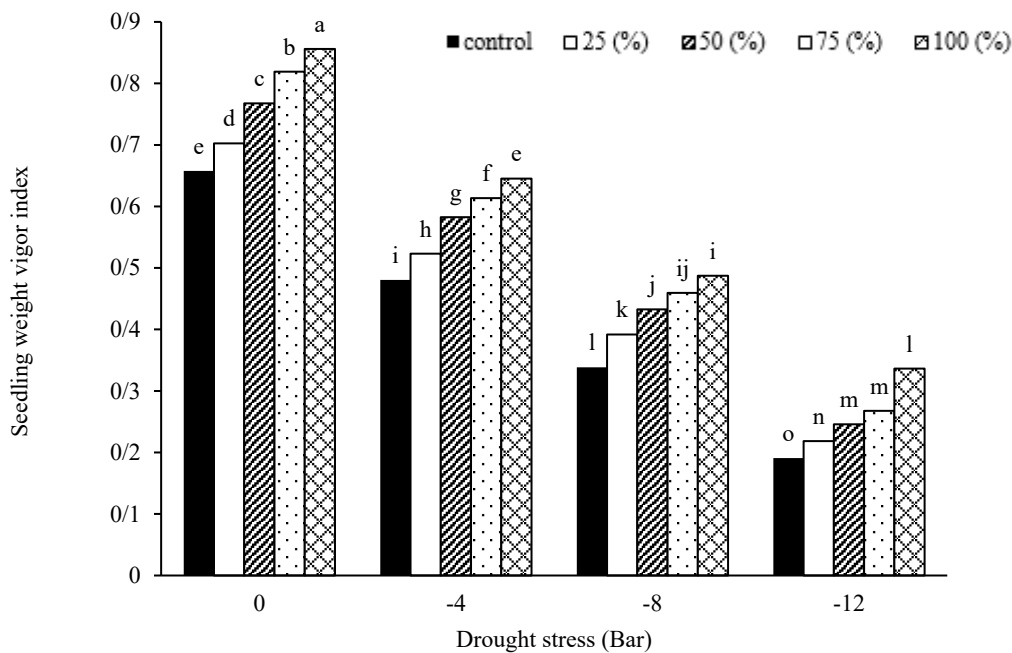
لوبیاجیتی بین ۲۶/۹۴ تا ۷۰/۹۷ درصد نسبت به گیاهچه‌های حاصل از بذرهای شاهد کاهش یابد (شکل ۹). در هر دو شرایط (بدون تنش و تنش خشکی)، با تیمار کردن بذرهای لوبیاجیتی با ترکیبات مغذی حاوی پلی آمین سبب شد تا شاخص وزنی بینه گیاهچه‌ها به طور معنی‌داری بیشتر از شاخص وزنی بینه گیاهچه‌ها حاصل از بذرهای شاهد شود (شکل ۹). بیشترین میزان افزایش در شاخص وزنی بینه گیاهچه‌های لوبیاجیتی با تیمار کردن بذرها با غلظت ۱۰۰ درصد ترکیبات مغذی حاصل شد. در تمام سطوح تنش خشکی (۰ تا ۱۲- بار)، کاربرد غلظت ۱۰۰ درصد از

شاخص وزنی بینه گیاهچه

صفت شاخص وزنی بینه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی، کاربرد ترکیبات مغذی و اثر متقابل تنش خشکی \times کاربرد ترکیبات مغذی قرار گرفت (جدول ۱). با اعمال تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول سبب شد تا شاخص وزنی بینه گیاهچه‌های لوبیاجیتی به طور معنی‌داری کاهش داد. به عبارت دیگر، در تیمار شاهد (عدم پیش تیمار ترکیبات مغذی) قرار گرفتن بذرهای لوبیاجیتی در حین جوانه‌زنی در معرض سطوح ۴- تا ۱۲- بار تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول، سبب شد تا شاخص وزنی بینه گیاهچه‌های

درصد نسبت به شاخص وزنی بنیه گیاهچه‌ها در تیمار شاهد (بدون ترکیبات مغذی) شد (شکل ۹).

ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین موجب افزایش شاخص وزنی بنیه گیاهچه‌های لوبیاجیتی در حدود ۳۰/۱۳ تا ۷۶/۱۶



شکل ۹- تأثیر تیمارهای تنش خشکی و ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین بر میانگین شاخص وزنی بنیه گیاهچه‌های لوبیاجیتی. مقادیر میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 9 - Effect of drought stress treatments and nutrient elements containing polyamines on the seedling weight vigor index of Pinto bean seedlings. The values are the mean values of Three repetitions \pm standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

(شکل ۱۰ و شکل ۱۱). در شرایط عدم کاربرد ترکیبات مغذی تحت شرایط تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول، میانگین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز با افزایش شدت تنش خشکی از ۴- تا ۱۲- بار به ترتیب ۲۰/۴۵ درصد و ۴۳/۵۷ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، بطوری که بیشترین میانگین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (شکل ۱۰) و پراکسیداز (شکل ۱۱) در شرایط تنش خشکی ۱۲- بار به دست آمد. در شرایط تنش خشکی ۱۲- بار، افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گیاهچه‌های لوبیاجیتی به ترتیب در حدود ۲۰/۴۵ و ۴۳/۵۷ درصد نسبت به میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گیاهچه‌های شاهد بود (شکل ۱۰ و شکل ۱۱). غنی‌سازی بذرهای

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی، کاربرد ترکیبات مغذی در بذر و اثر متقابل تنش خشکی \times کاربرد ترکیبات مغذی در بذر در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. کاربرد غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار از ترکیبات مغذی در بذر لوبیاجیتی در شرایط تنش خشکی (۴- تا ۱۲- بار) سبب شد تا میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گیاهچه‌ها در حدود ۵/۰۷ تا ۵/۱۶ درصد و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه‌ها بین ۷/۴۶ تا ۱۱/۷۳ درصد نسبت به فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گیاهچه‌های حاصل از بذرهای شاهد افزایش یابد

گیاهچه‌های لوبیاجیتی با کاربرد غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار از ترکیبات مغذی در بذر به دست آمد. افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز با کاربرد غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار از ترکیبات مغذی در بذر لوبیاجیتی در شرایط بدون تنش خشکی به ترتیب در حدود ۵/۰۷ و ۱۳/۹۲ درصد بود.

لوبیاجیتی با ترکیبات مغذی در شرایط وجود و عدم وجود تنش خشکی، موجب شد تا میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به طور معنی‌داری افزایش یابد. همچنین افزایش غلظت ترکیبات مغذی از ۲۵ میلی‌مولار به ۱۰۰ میلی‌مولار، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر میزان فعالیت این آنزیم‌ها داشت (شکل ۱۰ و شکل ۱۱). در تمام سطوح تنش خشکی، بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

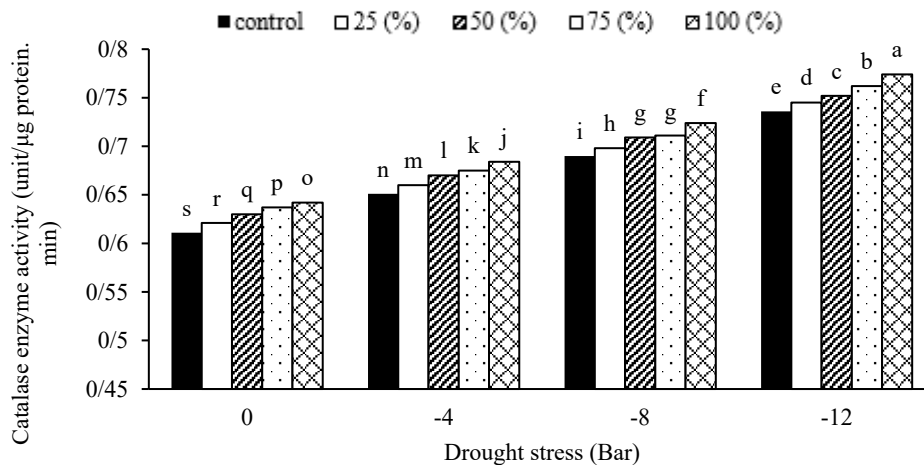
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای تنش خشکی و کاربرد ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین بر صفات بیوشیمیایی گیاهچه‌های لوبیاجیتی

Table 2- Analysis of variance of the effect of drought stress and application of nutrient elements containing polyamines treatments on biochemical traits of pinto bean seedlings

S.O.V	df	Catalase enzyme activity	Peroxidase enzyme activity	Proline
Drought stress (S)	3	0.43**	0.03**	0.03**
Nutrient elements (N)	4	0.002**	0.001**	0.002**
S×N	12	$1 \times 10^{-5**}$	$3 \times 10^{-5**}$	$3 \times 10^{-5**}$
Error	40	37.7	2×10^{-7}	2×10^{-6}
CV %		0.22	0.42	0.17

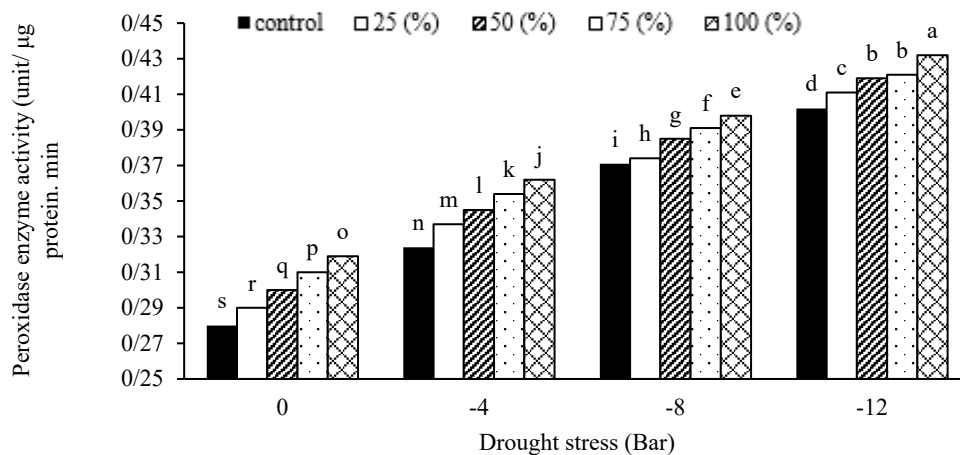
ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۰.۵ و ۰.۱.

ns, * and ** are non-significant and significant at the five percent, one percent probability level, respectively



شکل ۱۰- تأثیر تیمارهای تنش خشکی و ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین بر فعالیت آنزیم کاتالاز گیاهچه‌های لوبیاجیتی. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 10- The effects of drought stress and nutrient elements containing polyamines treatments on catalase enzyme activity of Pinto bean seedlings. The values are the mean values of Three repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.



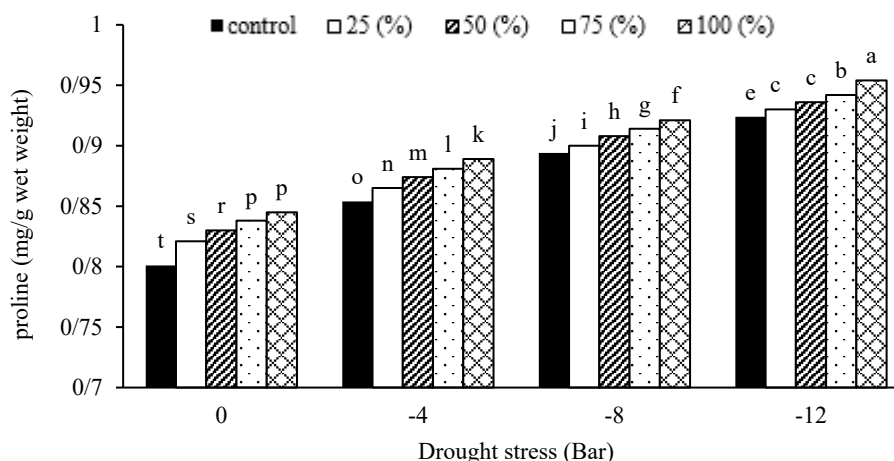
شکل ۱۱- تأثیر تیمارهای تنش خشکی و ترکیبات مغذی حاوی پلی آمین بر فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاهچه‌های لوبیاجیتی. مقادیر میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 11- The effects of drought stress and nutrient elements containing polyamines treatments on peroxidase enzyme activity of Pinto bean seedlings. The values are the mean values of Three repetitions \pm standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

اسیدآمینه پرولین

غنی‌سازی بذرهای لوبیاجیتی با ترکیبات مغذی در شرایط وجود و عدم وجود تنش خشکی، موجب شد تا میزان اسیدآمینه پرولین به طور معنی‌داری افزایش یابد. افزایش غلظت ترکیبات مغذی نیز (از ۲۵ درصد تا ۱۰۰ درصد) تأثیر مثبت و معنی‌داری بر میزان اسیدآمینه پرولین داشت. در تمام سطوح تنش خشکی، بیشترین محتوای اسیدآمینه پرولین در گیاهچه‌های حاصل از غنی‌سازی بذر با کاربرد غلظت ۱۰۰ درصد از ترکیبات مغذی به دست آمد. در شرایط تنش خشکی ۴- تا ۱۲- بار، غنی‌سازی بذرهای لوبیاجیتی با غلظت ۱۰۰ درصد از ترکیبات مغذی سبب شد تا میزان اسیدآمینه پرولین در حدود ۳/۲۵ تا ۴/۱۰ درصد نسبت به میزان اسیدآمینه پرولین گیاهچه‌های حاصل از بذرهای شاهد (بدون ترکیبات مغذی) افزایش یابد (شکل ۱۲).

اسیدآمینه پرولین به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده تنش خشکی، کاربرد ترکیبات مغذی در بذر و اثر متقابل تنش خشکی \times کاربرد ترکیبات مغذی قرار گرفت (جدول ۲). در شرایط عدم کاربرد ترکیبات مغذی اعمال تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول (۴- تا ۱۲- بار) سبب شد تا میزان اسیدآمینه پرولین بین ۶/۶۲ تا ۱۵/۳۵ درصد افزایش یابد. بیشترین افزایش در میزان اسیدآمینه پرولین گیاهچه‌های لوبیاجیتی در شرایط تنش خشکی ۱۲- بار مشاهده شده که به طور معنی‌دای بیشتر از میزان اسیدآمینه پرولین گیاهچه‌های شاهد بود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- اثرات تیمارهای تنش خشکی و ترکیبات مغذی حاوی پلی آمین بر محتوای پرولین گیاهچه‌های لوبیاجیتی. مقادیر میانگین سه تکرار ± انحراف معیار هستند و حروف یکسان وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهند.

Figure 12- The effects of drought stress and nutrient elements containing polyamines treatments on proline content of Pinto bean seedlings. The values are the mean values of Three repetitions ± standard deviation and the same letters indicate the absence of significant difference using Duncan's test.

بحث

سیستم آنتی‌اکسیدانی، حفاظت از غشاءها و پروتئین‌ها، تسهیل فرآیندهای متابولیکی مرتبط با جوانه‌زنی و در نهایت افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها می‌شوند. تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول سبب کاهش درصد جوانه‌زنی در گندم (*Triticum aestivum* L.) (Dashtaki et al., 2020)، چاودار (*Secale cereale* L.) (Hatami et al., 2024)، در فلفل (*Capsicum*) (Khan et al., 2012) و کنجد (*Sesamum indicum*) (El Harfi et al., 2016) شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. وجود تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول فقط توسط کاهش جذب آب توسط بذر می‌تواند جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار دهد و از آنجایی که مولکول‌های پلی‌اتیلن گلیکول نمی‌توانند وارد بذر شوند، این مولکول‌ها فاقد اثر سمی بر جوانه‌زنی بذر هستند (Hatami et al., 2024). کاهش سرعت جوانه‌زنی در اثر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول در گندم (*Triticum aestivum* L.) (Dashtaki et al., 2020) و چاودار (*Secale cereale* L.) (Hatami et al., 2024) مشاهده شدند. کاربرد عناصر غذایی سبب ایجاد بذرهایی با قوه‌ی نامیه و قدرت بالا می‌شود. این موضوع زمانی اهمیت

تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش دهنده درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها است که عمدتاً توسط کاهش جذب آب به داخل بذر اثر می‌کند و اختلال در فرآیندهای متابولیکی اولیه مانند هیدرولیز ترکیبات ذخیره‌شده در لپه‌ها و انتقال آهسته متابولیت‌ها به محور رشدی جنین ایجاد می‌کند (Channaoui et al., 2019; Bahrami et al., 2012). کاهش جذب آب همچنین سبب افزایش تولید رادیکال‌های آزاد و استرس اکسیداتیو در بافت گیاهچه می‌شود. نتایج نشان داد که تیمارهای مغذی می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی را کاهش دهند. سازوکارهای این اثر شامل فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز توسط تأمین کوفاکتورهای Fe، Mn، Cu و Zn، تقویت بیان ژنی آنزیم‌های دفاعی توسط مسیرهای سیگنال‌دهی وابسته به ROS و هورمون‌های استرس مانند ABA، بهبود وضعیت متابولیکی و سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، حفظ تعادل آب، تنظیم اسمزی سلول و کاهش اثرات مستقیم رادیکال‌های آزاد است. در نتیجه، این سازوکارها منجر به افزایش فعالیت

و وزن خشک گیاهچه در شرایط تنش خشکی می‌توان به کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از بافت‌های ذخیره‌های بذر به جنین اشاره کرد (Marashi & Albaji, 2023). از سوی دیگر، کاهش طول و وزن خشک گیاهچه‌ها در اثر تنش خشکی، می‌تواند به علت اختلال در فعالیت‌های مؤثر در حین مرحله جوانه‌زنی بذر باشد که این امر موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌شود. به‌طور کلی بذور جوانه‌زده در محیط‌هایی که تحت تأثیر شرایط تنش هستند دارای ساقه‌چه‌ها و ریشه‌چه‌های کوتاه‌تر و گیاهچه‌هایی با وزن کمتر و کوچک‌تر هستند (Marashi & Albaji, 2023). با وجود تأثیر منفی تنش خشکی بر رشد گیاهچه‌های لوبیاچیتی، تیمار کردن بذرها با ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین سبب شده تا در تمام سطوح تنش خشکی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی ۱۲- بار موجب بهبود رشد گیاهچه‌ها و تولید گیاهچه‌هایی با وزن و طول بیشتری در مقایسه با تیمار شاهد شود. یکی از عوامل مؤثر رشد سریع‌تر و بیشتر گیاهچه، احتمالاً تأثیر مثبت کاربرد ترکیبات مغذی بر سرعت جوانه‌زنی بذر است و این موضوع سبب افزایش توسعه طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش شد (Afzal, 2009). در بین غلظت‌های مختلف ترکیبات مغذی، کاربرد غلظت ۱۰۰ درصد از ترکیبات مغذی بیشترین تأثیر را در افزایش طول و وزن خشک گیاهچه‌های لوبیاچیتی در شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی داشت. غنی‌سازی بذرها با کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo*) (Sheikhnava et al., 2022) و در بامیه (*Abelmoschus esculentus*) (Esmailpour et al., 2020) با ترکیبات مغذی موجب شد تا وزن خشک گیاهچه‌های افزایش یابد. کاربرد عنصر روی در بذر کنجد نیز، منجر به افزایش سرعت جوانه‌زنی بذرها شده، بنابراین بالا بودن میزان این ذخایر موجب جوانه‌زنی سریع و یکنواخت بذر و تولید گیاهچه‌های قوی‌تر و در نتیجه وزن خشک بیشتر شد (Parsaie et al., 2020). در هنگام جوانه‌زنی مواد غذایی ذخیره‌شده در بذر به دو قسمت

بیشتر پیدا می‌کند که این بذرها در محیط‌های دارای تنش کاشته شوند. غنی‌سازی بذور کنجد با ترکیبات مغذی حاوی روی (۱۳۹/۵ ppm) و بر (۱۴ppm) موجب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی کنجد در شرایط تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول شد (Parsaie et al., 2020). در پژوهش‌های انجام شده بر روی بامیه گزارش شده که بالاترین سرعت و درصد جوانه‌زنی از بذر بامیه در شرایط تیمار بذری با ترکیبات مغذی با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسپرمین و اسپرمیدین در شرایط تنش دمایی حاصل شد (Esmailpour et al., 2020). از سوی دیگر، تنش خشکی میانگین مدت جوانه‌زنی بذرها لوبیاچیتی را افزایش داد. همچنین با افزایش سطوح خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول، میانگین مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی بذرها افزایش یافت و زمان بیشتری برای جوانه‌زنی صرف شد. کاهش سرعت جوانه‌زنی و افزایش مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی در شرایط تنش را می‌توان به کاهش فعالیت‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی حین جوانه‌زنی نسبت داد (Dashtaki et al., 2020). به‌نظر می‌رسد تأمین عناصر غذایی به‌ویژه در شرایط تنش خشکی نقش ویژه‌ای در حفاظت جنین و گیاهچه در زمان جوانه‌زنی در برابر تنش ایجاد می‌کند. غنی‌سازی بذور سویا نیز با ترکیبات مغذی آهن و روی با غلظت سه در هزار توسط افزایش سرعت جوانه‌زنی، موجب کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی می‌شود (Jalil Shesh Bahre & Movahhedi, 2012). از سوی دیگر، طول و وزن خشک گیاهچه‌ها با اعمال تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول کاهش یافت. همچنین با افزایش شدت تنش خشکی در نتیجه افزایش غلظت پلی‌اتیلن گلیکول، طول و وزن خشک گیاهچه‌ها کاهش معنی‌داری یافت. به عبارت دیگر، علت این امر را می‌توان نتیجه افزایش غلظت محلول پلی‌اتیلن گلیکول و همچنین افزایش پتانسیل اسمزی بستر کاشت دانست که منجر به کاهش جذب آب توسط بذور شده و نیز مانع از ادامه فعالیت‌های طبیعی گیاهچه می‌شود (Akhavan et al., 2013). همچنین از علل دیگر کاهش طول

شده و همچنین مانع از ادامه فعالیت‌های طبیعی گیاهچه می‌شود (Akhavan Armaki et al., 2013).

آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش خشکی با حذف پراکسید هیدروژن و حذف مالون‌دی‌آلدئید که سبب پراکسیداسیون غشاء می‌شود، نقش مهم و کلیدی تحت شرایط تنش خشکی ایفا می‌کند. آنزیم کاتالاز تجزیه پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن را کاتالیز می‌کند. این آنزیم در محافظت از سلول در برابر آسیب اکسیداتیو توسط گونه‌های اکسیژن فعال بسیار مهم است (Radfar et al., 2023). به نظر می‌رسد گیاهچه‌هایی که دارای سطوح بالاتری از فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها هستند، تحمل بیشتری نسبت به آسیب‌های اکسیداتیو نشان دادند، زیرا کاربرد عناصر غذایی موجب بهبود سطح فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز می‌شود، به طوری که سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهچه‌ها را تقویت نموده و گیاهچه را نسبت به بروز شرایط تنش، مانند تنش کمبود آب متحمل‌تر می‌سازد. از سوی دیگر، کمبود این عناصر در گیاهچه‌ها می‌تواند موجب تولید رادیکال‌های آزاد شوند و از سنتز پروتئین و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز جلوگیری کنند. به طور کلی، عناصر غذایی توسط تأمین کوفاکتورهای ضروری، پایداری ساختار آنزیم‌ها، القای بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی، و کاهش تشکیل ROS، موجب تقویت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه و افزایش مقاومت آن در برابر تنش‌های محیطی می‌شوند (Parsaie et al., 2020). همچنین به نظر می‌رسد افزایش فعالیت‌های متابولیکی انجام شده طی فرآیند غنی‌سازی بذر، موجب افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدان‌ها شده که نقش مهمی در کاهش اثرات تنش و رشد بهتر گیاهچه‌ها را در پی دارد (Afzal, 2009). افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش سبب محافظت غشای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سیتوپلاسمی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد می‌شود (Liang et al., 2013). بنابراین از جمله پاسخ‌های گیاهان در برابر این تنش، افزایش سطح

ریشه‌چه و ساقه‌چه انتقال می‌یابد که میزان این انتقال بسته به شرایط محیطی و عوامل ژنتیکی متغیر است که می‌تواند پتانسیل تولید محصول گیاه زراعی را تحت تأثیر خود قرار دهد. نسبت طول ساقه‌چه به طول ریشه‌چه (ضریب آلومتری) بیانگر نوعی سازوکار تحمل نسبت به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی است (Ghanbari et al., 2016). ضریب آلومتری که برآیند تقسیم طول ساقه‌چه بر ریشه‌چه است، با افزایش سطوح خشکی افزایش یافت که نشان دادند با افزایش سطوح خشکی نسبت کاهش طول ساقه‌چه به ریشه‌چه کمتر بود و به عبارت دیگر، تیمار شاهد بالاترین ضریب آلومتری را دارا بود. تأثیر منفی ۱۵۰ میلی‌مولار تنش شوری بر ضریب آلومتری در کدوی پوست کاغذی (Sheikhnavaaz Jahed et al., 2022) نیز مشاهده شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. اگرچه تنش خشکی این ضریب را کاهش داد، اما تیمار کردن بذرهای لوبیاجیتی با ترکیبات مغذی حاوی پلی‌آمین سبب شد تا رشد طولی ریشه‌چه‌ها بیشتر شود و در نتیجه موجب کاهش ضریب آلومتری شود. شاخص‌های طولی و وزنی قدرت گیاهچه‌ها، روش‌های برای ارزیابی میزان قدرت بذرها برای جوانه‌زنی هستند. این شاخص‌ها توسط حاصلضرب وزن خشک یا طول گیاهچه با درصد جوانه زنی، قدرت گیاهچه را نشان می‌دهند. کاهش شاخص‌های طولی و وزنی قدرت گیاهچه‌ها با اعمال تنش خشکی به‌علاوه کاهش درصد جوانه‌زنی و همچنین کاهش طول گیاهچه‌ها و یا وزن خشک گیاهچه‌ها در شرایط تنش خشکی باشد که این کاهش هم به‌علاوه اختلال در فعالیت‌های مؤثر در رشد بذر و نیز کاهش سرعت جوانه‌زنی در اثر تنش خشکی باشد، بنابراین کاهش جذب آب توسط بذر در اثر تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش فرآیند فیزیولوژیکی و متابولیکی بذر شده و در نتیجه مواد مورد نیاز برای رشد را با مشکل مواجه سازد. افزایش غلظت محلول پلی‌اتیلن گلیکول و همچنین افزایش پتانسیل اسمزی بستر کاشت منجر به کاهش جذب آب توسط بذور

و میزان اسیدآمینه پرولین گیاهچه‌های حاصل از بذره‌های تیمار شده با ترکیبات مغذی بیشتر بود. به نظر می‌رسد کاربرد ترکیبات مغذی در شرایط وجود تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول، سبب شده تا گیاهچه‌ها بتوانند شرایط تنش خشکی را بهتر و بیشتر از گیاهچه‌های حاصل از بذره‌های تیمار نشده تحمل کنند و از طرف دیگر عناصر غذایی موجود در ترکیبات مغذی، به دلیل فراهم کردن شرایط تغذیه‌ای مناسب‌تر برای گیاهچه‌ها سبب شده تا حتی تحت این شرایط نامساعد گیاهچه‌های بزرگتر و طویل‌تری تولید نمایند. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان بیان کرد که، غنی‌سازی بذره‌های لوبیاچیتی با غلظت‌های مختلف (۲۵ تا ۱۰۰ درصد) از ترکیبات مغذی سبب شده تا از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تنش اکسیداتیو ناشی از اعمال تنش خشکی کاهش داده و در نتیجه سبب افزایش درصد، سرعت جوانه‌زنی و رشد بهتر و بیشتر گیاهچه‌های لوبیاچیتی در شرایط وجود و عدم وجود تنش خشکی شود. در این بین بیشترین تأثیر مثبت و معنی‌داری در شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و صفات بیوشیمیایی گیاهچه‌های لوبیاچیتی تحت شرایط مساعد و نامساعد محیطی در تیمار کاربرد غلظت ۱۰۰ درصد از ترکیبات مغذی به دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان چشم‌انداز روشنی برای بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه لوبیا چیتی در شرایط تنش‌های محیطی متصور شد. به نظر می‌رسد کاربرد ترکیبات مغذی در غلظت‌های بهینه، به‌ویژه در محدوده‌ی ۱۰۰ درصد ترکیبات مغذی، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای افزایش تحمل بذر و گیاهچه در برابر تنش‌های غیرزیستی نظیر شوری یا خشکی مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه، انجام پژوهش‌های تکمیلی به‌منظور شناسایی سازوکارهای فیزیولوژیکی و مولکولی دخیل در روند بهبود و نیز بررسی کارایی این ترکیبات در شرایط مزرعه‌ای واقعی می‌تواند منجر به باز شدن افق‌های جدیدی در مدیریت تغذیه و افزایش پایداری عملکرد لوبیا چیتی شود.

پرولین و القای فعالیت آنزیم‌های ضد اکسیداسیون است. تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش به واسطه سنتز پرولین و غیرفعال شدن تخریب آن است. همچنین پژوهش (2013) Allahmoradi et al. در عدس نشان دادند تنش خشکی سبب افزایش معنی‌داری در محتوای پرولین می‌شود. همچنین پرولین به عنوان منبع نیتروژن و کربن برای گیاهان تحت تنش شدید عمل می‌کند و تحمل گیاه در برابر تنش را افزایش می‌دهد. تنش خشکی با کاهش پتانسیل آب سلولی، سبب فعال شدن مسیرهای متابولیکی مرتبط با سنتز پرولین می‌شود. به عبارت دیگر، پرولین نقش‌های متعددی در افزایش تحمل گیاه با شرایط تنش دارد که می‌توان به تنظیم اسمزی و حفظ تعادل آب در سلول، حفاظت از ساختار پروتئین‌ها و غشاهای سلولی در برابر آسیب‌های ناشی از خشکی، و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد به‌عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد. علاوه بر این، پرولین به‌عنوان منبعی از نیتروژن و کربن در زمان رفع تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد و به بازسازی بافت‌های گیاهی کمک می‌کند. بنابراین، افزایش میزان پرولین تحت شرایط تنش خشکی، یکی از سازوکارهای مؤثر در گیاهان برای افزایش تحمل در برابر کمبود آب محسوب می‌شود (Amini et al., 2015).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان دادند وجود تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار صفات درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن خشک گیاهچه و افزایش میانگین مدت زمان جوانه‌زنی شد. اگرچه اعمال تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشدی در گیاهچه‌های لوبیاچیتی شد، اما غنی‌سازی بذور با ترکیبات مغذی موجب شد تا درصد و سرعت جوانه‌زنی و صفات مربوط به رشد گیاهچه‌ها افزایش و میانگین مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی بذرها کاهش یابد. در شرایط وجود و عدم وجود تنش خشکی، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از تمامی افرادی که در اجرای پژوهش همکاری داشتند کمال تشکر و قدردانی را نمایند.

References

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods Enzymology*, 105, 121-126.
[https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(84\)05016-3](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3)
- Afzal, I., Ashraf, S., Qasim, M., Basra, S. M. A., & Shahid, M. (2009). Does halopriming improve germination and seedling vigour in marigold (*Tagetes spp.*). *Seed Science and Technology*, 37(2), 436-445.
<https://doi.org/10.15258/sst.2009.37.2.16>
- Akhavan Armaki, H., Azarnivand, H., Asareh, M. H., Jafari, A., & Tavili, A. (2013). Effects of water stress on germination indices in four genotypes of rangeland species *Bromus tomentellus*. *Journal of Rangeland and Watershed*, 66(2), 167-177.
<https://doi.org/10.22059/jrwm.2013.35570> [In Persian]
- Allahmoradi, P., Mansourifar, C., Saidi, M., & Jalali Honarmand, S. (2013). Water deficiency and its effects on grain yield and some physiological traits during different growth stages in lentil (*Lens culinaris* L.) cultivars. *Annals of Biological Research*, 4(5), 139-145.
<https://B2n.ir/tw5754>
- Amin, A. A., Gharib, F. A. E., El-Awadi, M., & Rashad, E. M. (2011). Physiological response of onion plants to foliar application of putrescine and glutamine. *Scientia Horticulturae*, 129, 353-360.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.052>
- Amini, S., Ghobadi, C., & Yamchi, A. (2015). Proline accumulation and osmotic stress: an overview of P₅CS gene in plants. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 3(2), 44-55.
https://jpmb-gabit.sanru.ac.ir/article_17022.html
- Amiryousefi, M., Tadayon, M. R., & Ebrahimi, R. (2021). Effect of nitrogenous and phosphorus biofertilizers on seed germination and some biochemical characteristics of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd) under drought stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 13(1), 107-126.
<https://doi.org/10.22108/ijpb.2021.125105.1227> [In Persian]
- Amooaghaie, R., Naderi, A., & Farhadian, S. (2024). Dose-dependent effect of CuO nanoparticles on water deficit-induced osmotic and oxidative stresses in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Plant Biological Sciences*, 15(3), 77-96.
<https://doi.org/10.22108/ijpb.2024.138378.1326> [In Persian]
- Bahrami, H., Razmjoo, J., & Ostadi Jafari A. (2012). Effect of drought stress on germination and seedling growth of sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of AgriScience*, 2(5), 423-428.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20123239850>
- Bates, L., Waldren, R., & Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39(1), 205-207.
<https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bazi Zlan, R., Fazeli, A., Zarei, B., & Erfani Moghadam, J. (2022). The effect of salicylic acid on the activity of catalase and peroxidase enzymes and the content of phenol and flavonoid of (*Scrophularia striata* L.) under water deficit stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 13(4), 57-68.
<https://doi.org/10.22108/ijpb.2022.133824.1288> [In Persian].
- Chance, B., & Maely, A. C. (1955). Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2, 764-775.
[http://doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](http://doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8)
- Chang, C. J., & Kao, C. H. (1998). H₂O₂ metabolism during senescence of rice leaves: changes in enzyme activities in

- light and darkness. *Plant Growth Regulation*, 25(1), 11-15.
<https://doi.org/10.1023/A:1005903403926>
- Channaoui, S., El Idrissi, I. S., Mazouz, H., & Nabloussi, A. (2019). Reaction of some rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to different drought stress levels during germination and seedling growth stages. *Research Article*, 26, 23.
<https://doi.org/10.1051/ocl/2019020>
- Chen, D., Shao, Q., Yin, L., Younis, A., & Zheng, B. (2019). Polyamine function in plants: metabolism, regulation on development, and roles in abiotic stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1-13.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01945>
- Dashtaki, M., Bihamta, M. R., Majidi, E., & Azizinezhad, R. (2020). Study of seed germination indices in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under drought stress simulated with polyethylene glycol. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(1), 197-210.
<https://doi.org/10.22077/escs.2019.1828.1430> [In Persian]
- Ebeed, H. T., Hassan, N. M., & Aljarani, A. M. (2017). Exogenous applications of polyamines modulate drought responses in wheat through osmolytes accumulation, increasing free polyamine levels and regulation of polyamine biosynthetic genes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 438-448.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.07.014>
- Ebrahim Sedaghati, E., Ahmadzadeh, M., Sabri-Rise, R., Rahimi, A., Hatami, N., & Mohammadi Mirik, A. (2021). The effect of application of arbuscular mycorrhizal fungi with some microorganisms and chemical compounds on the antioxidant enzymes activity and phenolic compounds of corn under drought stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 13(2), 53-76.
<https://doi.org/10.22108/ijpb.2022.129942.1258> [In Persian]
- El Harfi, M., Hanine, H., Rizki, H., Latrache, H., & Nabloussi, A. (2016). Effect of drought and salt stresses on germination and early seedling growth of different color-seeds of Sesame (*Sesamum indicum*). *International Journal of Agriculture Biology*, 18(06), 1088-1094.
<https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0145>
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9(2), 373-409.
<https://agris.fao.org/search/en/providers/122514/records/6471244d3c73b155c849720b>
- El-Wahab, A. (2008). Effect of some trace elements on growth, yield and chemical constituents of *Trachyspermum ammi* L. (AJOWAN) Plants under Sinai conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4(6), 717-724.
<http://www.insinet.net/rjabs/2008/717-724.pdf>
- Esmailpour, B., Bahadori, S., & Khoramdel, S. (2020). Effects of polyamines on seed germination characteristics of okra (*Abelmoschus esculentus* L. Basenti) under different time and temperatures. *Journal of Vegetables Sciences*, 3(2), 135-146.
<https://doi.org/10.22034/iuvs.2020.72727.1019>
- Ghanbari, M., Mansour Ghanaei Pashaki, K., Safaei Abdolmanaf, S., & Aziz Ali-abadi, Kh. (2016). Effect of salt stress and hydropriming on germination characteristics of Mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(1), 65-80.
<http://dx.doi.org/10.22067/ijpr.v7i1.37908> [In Persian]
- Ghotbi, A., & Farajzadeh Memarian Tabrizi, E. (2018). Evaluation of seed priming with various dietary solutions at different levels of water stress on physiological characteristics and sugar beet yield of single genetic seed varieties. *Environmental Stress in Crop Sciences*, 11(1), 117-126.
<https://doi.org/10.22077/escs.2017.160.1040> [In Persian]
- Hatami, S., Salehi Lisar, S. Y., Rahmani, F., Poorakbar, L., & Samadani, B. (2024). Study of the effect of drought stress induced by polyethylene glycol on antioxidant activity of winter Rye (*Sereale cereal* L.) treated with 24

- epibrasinivosteroids. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 37(2), 231-244.
<https://doi.org/10.22034/jpr.2022.2195> [In Persian]
- Heidari, M., Paydar, A., Baradarn Firozabad, M., & Abedinin Esfalati, M. (2020). The effect of drought stress and application of humic on quantitative yield, photosynthetic pigments, and mineral nutrients content in sunflower seeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(4), 51-62.
<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.253008.654448>
- Heidari, M., Taleei, A., & Abbasi, A. (2018). Study of the effects of drought stress on seed germination factors and activity of antioxidant enzymes in Bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(1), 11-27.
<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.209308.654148>
- International Seed Testing Association (ISTA). (2017). *International rules for seed testing*. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
<https://www.seedtest.org>
- Jalil Shesh Bahre, M., & Movahhedi Dehnavi, M. (2012). Effect of zinc and iron foliar application on soybean seed vigor grown under drought stress. *Electronic Journal of Crop Production*, 5(1), 19-35.
<https://sid.ir/paper/135154/en> [In Persian]
- Kaydan, D., & Yagmur, M. (2008). Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. *African Journal of Biotechnology*, 7, 2862-2868.
<https://doi.org/10.5897/AJB08.512>
- Khan, H. A., Ziaf, K., Amjad, M., & Iqbal, Q. (2012). Exogenous application of polyamines improves germination and early seedling growth of hot pepper. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72, 429-433.
<https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000300018>
- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., & Becker, D. F. (2013). Proline mechanisms of stress survival. *Antioxid Redox Signal*, 19(9), 998-1011.
<https://doi.org/10.1089/ars.2012.5074>
- Marashi, S. K., & Albaji, Z. (2023). Effect of seed priming with hydrogen peroxide on germination indices and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 12(4), 57-67.
<https://doi.org/10.22092/ijsst.2023.361399.1476>
- Michel, B. E., & Kaufman, M. R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51, 914-916.
<https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914>
- Moshtaghi, S., Moshtaghi, N., Marashi, H., & Sharifi, A. (2023). Studying the expression of some candidate microRNAs in *Petunia* under drought stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 15(2), 85-96.
<https://doi.org/10.22108/ijpb.2024.139917.1348> [In Persian]
- Motakefi, M., Sirousmehr, A., & Mousavi Nik, M. (2022). Effect of selenium and calcium foliar application on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits of safflower under drought stress conditions. *Journal of Plant Biological Sciences*, 13(4), 69-88.
<https://doi.org/10.22108/ijpb.2022.131019.1265> [In Persian]
- Mustafavi, S. H., Naghdi Badi, H., Sekara, A., Mehrafarin, A., Janda, T., Ghorbanpour, M., & Rafiee, H. (2018). Polyamines and their possible mechanisms involved in plant physiological processes and elicitation of secondary metabolites. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 1-19.
<https://doi.org/10.1007/s11738-018-2671-2>
- Panahyan kivi, M. (2019). Effect of water deficit stress and foliar application of zinc sulfate on physiological and morphological traits and oil yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(2), 99-116.
<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.259655.654484> [In Persian]
- Parsaie, S., Movahhedi Dehnavi, M., Balouchi, H., & Attarzadeh, M. (2020). Improving sesame (*Sesamum indicum* L.) seed

- characteristics and vigor under drought stress by seed zinc and boron enrichment. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 8(2), 113-126.
<https://doi.org/10.22034/ijssst.2018.110510.1088>
- Per, T. S., Iqbal, M., Khan, R., Anjum, N. A., Masood, A., Hussaina, S. J., & Khan, N. (2018). Jasmonates in plants under abiotic stresses: Crosstalk with other phytohormones matters. *Environmental and Experimental Botany*, 145, 104-120.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.11.004>
- Radfar, M., Ramezanpour, S. S., Soltanloo, H., & Kianmehr, L. (2023). The effect of drought stress on enzymatic and molecular changes of some antioxidants in parental and mutant bread wheat genotype using RNAseq. data. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(3), 765-785.
<https://doi.org/10.22077/escs.2023.4970.2094> [In Persian]
- Ramadhani, A. M, Nassary E. K, Rwehumbiza F. B, Massawe B. H. J and Nchimbi-Msolla S. (2024). Impact of mulching treatments on growth, yields, and economics of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in eastern Tanzania. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1-16.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1455206>
- Sheikhnavaž Jahed, P., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Sofalian, O. (2022). Effect of priming on germination indices of deteriorated seeds of pumpkin (*Cucurbita pepo*) in salinity conditions. *Plant Process and Function*, 11(50), 19.
<http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1802-fa.html> [In Persian]
- Sohrabi, U., Ahmadi, A., Heidari, G., & Siosemarde, A. (2019). Effect of sulfur and zinc fertilizers on physiological characteristics and grain yield of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(3), 763-779.
<https://doi.org/10.22077/ESCS.2019.1398.1302> [In Persian]
- Terzi, R., Saglam, A., Kutlu, N., Nar, H., & Kadioglu, A. (2010). Impact of soil drought stress on photochemical efficiency of photosystem II and antioxidant enzyme activities of *Phaseolus vulgaris* cultivars. *Turkish Journal of Botany*, 34, 1-10.
<https://doi.org/10.3906/bot-0905-20>
- Zokaei Khosroshahi, M., Karimi, R., & Toranjian, A. (2023). Influence of soil application of natural zeolite and farmyard manure on physiological indices of grapevine under drought stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 15(1), 65-84.
<https://doi.org/10.22108/ijpb.2024.139739.1340> [In Persian]