

Effect of Putrescine Foliar Application on Growth and Physiological Characteristics of *Echium amoenum* Seedlings Under Salinity Conditions

B. Rahimkhani¹, M. Naseri^{ID 1*}, A. Ahmadian¹, M. Alipanah^{ID 1}

1- Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran
(*- Corresponding author's Email: m.naseri@torbath.ac.ir)

Received: 09 February 2025
Revised: 10 June 2025
Accepted: 11 June 2025
Available Online: 17 June 2025

How to cite this article:

Rahimkhani, B., Naseri, M., Ahmadian, A., & Alipanah, M. (2026). Effect of putrescine foliar application on growth and physiological characteristics of *Echium amoenum* seedlings under salinity conditions. *Journal of Horticultural Science*, 40(1), 45-60. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91889.1413>

Introduction

Polyamines are a group of low molecular weight organic compounds with two or more amine groups that are present in almost all living organisms. Polyamines are organic compounds that play a crucial role in various physiological processes in plants, particularly in response to stress. Research has demonstrated that these compounds-primarily putrescine, spermidine, and spermine-are involved in cellular functions such as growth regulation, cell division, and differentiation. Their role in stress responses is complex and varies significantly depending on the plant species and the specific type of stress encountered. The level of polyamines in plants increases under stress conditions, and this increase of polyamines from the plant against salinity by removing free radicals, stabilizing membrane and cell structure, creating cation and anion balance, regulating it protects ion channels. The foliar application of putrescine can significantly improve various physiological traits in plants subjected to salinity stress. By enhancing growth, photosynthetic efficiency, osmotic adjustment and oxidative stress tolerance, putrescine acts as a valuable tool for improving plant resilience under challenging environmental conditions. *Echium amoenum* is an annual plant of Boraginaceae family and is considered as one of the important medicinal plants in traditional medicine. Blue-violet petals of *E. amoenum* are used in Iranian traditional medicine as a painkiller, relaxant, invigorator, anti-inflammatory and pain reliever. To investigate the impact of putrescine on the morpho-physiological characteristics of *Echium amoenum* seedlings under salinity stress, a greenhouse experiment was conducted.

Materials and Methods

The experimental design was factorial, incorporating two factors: the application of putrescine and salinity stress induced by sodium chloride. This was organized as a completely randomized design. The first factor involved two levels of putrescine (0 and 1.5 mM), while the second factor included three levels of salinity stress (1600, 4000, and 8000 dS.m⁻¹). Seeds were purchased from Pakaan Seed Company in Isfahan. Selecting high-quality seeds suitable for the growing conditions is crucial for successful plant growth. After soaking, the seeds were transferred to small pots containing a mixture of three parts peat moss and one part perlite. This mixture enhances aeration and moisture retention in the soil, creating an optimal environment for root development. One week after transplanting the seedlings to the main pots, a foliar application of putrescine was performed. Putrescine is a polyamine compound that can enhance plant growth and resilience against stress. This application was repeated every two weeks. One week after the first application of putrescine, salinity stress was introduced. To prevent shock to the plants, the salinity treatment was gradually applied in three stages. This gradual approach helps the plants acclimate to the new conditions. To prevent salt buildup in the soil, leaching with regular water was conducted every two weeks.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91889.1413>

Results and Discussion

The results indicated that both the individual effects of salinity and putrescine, as well as their interaction, significantly influenced shoot fresh weight, root fresh weight, root length, and the overall dry weight of the Iranian borage plants. The application of putrescine enhanced the levels of proline and potassium in the leaves, which mitigated the detrimental effects of salinity stress on the Iranian borage plants. Furthermore, foliar spraying of putrescine increased chlorophyll content, thereby promoting photosynthesis and improving plant growth under saline conditions. Comparative analysis of the average data revealed that the highest dry weight of Iranian borage seedlings (0.6 g), relative leaf water content (85%), chlorophyll a (4 mg.g^{-1}), and chlorophyll b (1.2 mg.g^{-1}) were achieved with the combination of putrescine and salinity at 1.6 mm.m^{-1} . The results underscore the potential of putrescine as a practical strategy for enhancing the growth and resilience of Iranian borage plants under salinity stress. By improving growth parameters such as shoot and root weights, root length, and overall dry weight, as well as enhancing physiological traits like proline and potassium levels, putrescine plays a crucial role in mitigating the adverse effects of salinity.

Conclusion

The foliar application of putrescine at 1.5 mM presents a valuable and practical strategy for managing salinity stress in Iranian borage seedling production. By enhancing photosynthetic pigments and antioxidant properties, putrescine helps the plant maintain its physiological functions and resilience under stress. This approach not only supports the growth and health of Iranian borage but also has implications for improving the quality and yield of its medicinal properties.

Keywords: Chlorophyll, Polyamine, Proline, Stress

مقاله پژوهشی

جلد ۴۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص. ۴۵-۶۰

اثر محلول پاشی پوتریسین بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی نشاء گل گاوزبان ایرانی

(Echium amoenum) در شرایط شوریبهروز رحیم خانی^۱ - محبوبه ناصری^{۱*} - احمد احمدیان^۱ - مسعود علی پناه^۱ 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

چکیده

پلی آمین‌ها، نقش مهمی در پاسخ به تنش در گیاهان ایفا می‌کنند، همچنین سطح پلی آمین‌ها در گیاهان در شرایط تنش افزایش پیدا می‌کند. به منظور بررسی اثر پوتریسین بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی نشاء گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) در شرایط تنش شوری، آزمایشی گلخانه‌ای در سال ۱۴۰۲ در گلخانه دانشگاه تربت حیدریه انجام شد. هدف اصلی این تحقیق، بررسی اثر پوتریسین (یک نوع پلی آمین) بر ویژگی‌های رشد و فیزیولوژیکی گل گاوزبان در شرایط تنش شوری ناشی از سدیم کلرید (NaCl) بود. تیمارهای آزمایشی به صورت فاکتوریل با دو عامل کاربرد پوتریسین و تنش شوری با نمک سدیم کلرید، در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه انجام شد. عامل اول: پوتریسین در دو سطح صفر و ۱/۵ میلی-مولار و عامل دوم: تنش شوری در سه سطح ۱/۶، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج نشان داد که شوری تمام شاخص‌های رویشی و رنگیزه‌ها را به طور معنی‌داری کاهش و میزان پرولین و درصد نشت یونی را افزایش داد. کاربرد پوتریسین باعث افزایش تمامی شاخص‌های رشدی و رنگیزه‌های نشاء گل گاوزبان ایرانی در تمام سطح شوری شد و از این طریق با افزایش میزان فتوسنتز در گیاه به رشد بهتر گیاه در شرایط تنش شوری کمک کرد. بیشترین وزن خشک نشاء گل گاوزبان (۰/۶ گرم)، محتوای نسبی آب برگ (۸۵ درصد)، کلروفیل a (۴ میلی گرم بر گرم) و کلروفیل b (۱/۲ میلی گرم بر گرم) در تیمار محلول پاشی پوتریسین و شوری ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. همچنین بیشترین میزان پرولین (۱۱/۶۱ میکرومول بر گرم) و قندهای محلول (۱/۰۲ میلی گرم بر گرم) در تیمار شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۱/۵ میلی مولار پوتریسین حاصل شد. به طور کلی محلول پاشی پوتریسین (۱/۵ میلی مولار) از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و صفات رشدی و افزایش پرولین و قندهای محلول می‌تواند به عنوان یک راهکار مفید و عملی برای مقابله به تنش شوری در گیاه دارویی گل گاوزبان مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، پلی آمین، تنش، کلروفیل

مقدمه

پلی آمین‌ها گروهی از ترکیبات آلی پلی کاتیونی با وزن مولکولی کم، دارای دو یا بیشتر گروه آمین می‌باشند که تقریباً در همه موجودات زنده یافت شده و شامل پوترسین (دی آمین)، اسپرمیدین (تری آمین) و اسپرمین (تترا آمین) می‌باشند. پلی آمین‌ها می‌توانند در نمو گیاهان، تحریک تقسیم سلولی، سنتز پروتئین‌ها و واکنش به تنش‌های محیطی (زنده و غیرزنده) نقش ایفا می‌کنند (Alizadeh Salteh et al., 2024). پلی آمین‌ها، مولکول DNA را از تجزیه آنزیمی و نیز تخریب در

اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولید شده در شرایط تنش محافظت می‌کنند. همچنین، این ترکیبات خاصیت بافری داشته و از تغییرات شدید pH جلوگیری می‌کنند (Tang & Newton, 2005).

تحقیقات نشان داده که ترکیبات پلی آمینی نقش مهمی در پاسخ به تنش در گیاهان بازی می‌کنند که به نوع گونه گیاهی و نوع تنش بستگی دارد (Abdel Rahman et al., 2013). سازوکار فیزیولوژی پلی آمین‌ها در تنش‌ها کاملاً شناخته نشده است، اما به دلیل خاصیت پلی کاتیونی می‌توانند با اتصال به ماکرومولکول‌های آنیونی شامل فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها باعث ثبات غشاء شوند (Alcazar et al., 2006). گزارش شده است که کلروفیل در واکنش به تنش‌های محیطی یا پیری برگ کاهش پیدا کرده و پلی آمین‌های آلفاتیک مانند پوترسین

۱- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: m.naseri@torbath.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.91889.1413>

ایرانی در شرایط نامناسب محیطی است. این مطالعه می‌تواند به کشف روش‌های مؤثر در مقابله با تنش‌های شوری و افزایش بهره‌وری این گیاه ارزشمند کمک کند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر پوترسین بر نشاهای گل‌گاوزبان در شرایط تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل با دو عامل شامل غلظت پوترسین و میزان تنش شوری با نمک سدیم کلرید انجام گرفت. عامل اول، پوترسین در دو سطح صفر و ۱/۵ میلی‌مولار و عامل دوم، تنش شوری در سه سطح ۱/۶، ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر بود (Makkizadh et al., 2008).

بذرهای شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری شده و به مدت ۲۴ ساعت در آب معمولی خیسانده شدند. سپس به درون گلدان‌های کوچک حاوی سه قسمت پیت ماس و یک قسمت پرلیت منتقل گردید. بعد از ظاهر شدن سومین برگ حقیقی، نشاها به گلدان‌های بزرگ‌تر حاوی ماسه، خاک باغچه، پرلیت و ورمی‌کمپوست (۲:۲:۲:۱) منتقل شدند. یک هفته بعد از انتقال نشاها به گلدان‌های اصلی، محلول‌پاشی با پوترسین انجام شد. محلول‌پاشی هر دو هفته یک بار تکرار گردید به‌طوری‌که در طول کل زمان آزمایش سه مرتبه محلول‌پاشی انجام شد. یک هفته بعد از اولین محلول‌پاشی با پوترسین، اعمال تنش شوری آغاز گردید. به‌منظور جلوگیری از ایجاد شوک در گیاهان، تیمار شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر به‌تدریج و در سه مرحله انجام شد و شش هفته بعد از انتقال نشاها، صفات مورد نظر اندازه‌گیری گردید. به‌منظور جلوگیری از تجمع نمک، هر دو هفته یک بار آبشویی با آب معمولی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه گل‌گاوزبان

برای اندازه‌گیری وزن‌تر، ابتدا اندام هوایی و ریشه‌ها کاملاً تمیز شدند، سپس به‌وسیله ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم، وزن اندام هوایی و ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، اندام هوایی و ریشه‌ها داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ تا ۳۰ ساعت قرار گرفتند و بعد از خشک شدن، وزن خشک تعیین شد. به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، از معادله ۱ و براساس درصد محاسبه گردید (Barrs & Weatherley, 1962).

(۱) $RWC = \frac{(وزن\ خشک - وزن\ اشباع)}{(وزن\ خشک - وزن\ تر)} \times 100$
میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ به‌روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئید، مقدار ۰/۵ گرم از برگ‌های تازه با استون ۸۰ درصد ساییده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور سانتیفریوژ گردید و

باعث کاهش تخریب کلروفیل شده و منجر به دریافت بیشتر نور برای بهبود سرعت فتوسنتز می‌شوند. مطالعات متعددی در مورد شرکت پلی‌آمین‌ها در کسب تحمل گیاهان به تنش‌ها از جمله دماهای بالا و پایین، شوری، کمبود اکسیژن و آلاینده‌های جوی انجام شده است (Farooq et al., 2009). سطح پلی‌آمین‌ها در گیاهان در شرایط تنش افزایش پیدا می‌کند که این افزایش پلی‌آمین‌ها از گیاه در برابر شوری به‌وسیله حذف رادیکال‌های آزاد، تثبیت غشایی و ساختار سلولی، ایجاد تعادل کاتیون و آنیون و همچنین تنظیم کانال‌های یونی محافظت می‌کند (Santiago et al., 2004). در گیاه تاتوره (*Datura stramonium* L.) اعمال تیمار تنش شوری منجر به کاهش وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی و مقدار کلروفیل برگ شد، اما کاربرد پوترسین، کربوهیدرات محلول و ترکیبات آلکالوئیدی را در شرایط تنش شوری افزایش داد (Niakan et al., 2015).

کاربرد پلی‌آمین‌ها به‌عنوان یک روش مناسب برای کاهش خسارات ناشی از تنش شوری در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) باعث بهبود ویژگی‌های این گیاه شد (Chattopadhyay et al., 2002). در تحقیقی روی گیاه برنج (*Oryza sativa*) در شرایط تنش شوری مشخص شد که کاربرد خارجی اسپریمین باعث افزایش قابل توجه در تجمع پرولین شد (Roychoudhury et al., 2011).

گل‌گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*) گیاهی یک‌ساله از خانواده Boraginaceae می‌باشد و به‌عنوان یکی از گیاهان مهم دارویی در طب سنتی ایرانیان مطرح است. از گلبرگ‌های بنفش متمایل به آبی گل‌گاوزبان در طب سنتی ایران به‌عنوان مسکن، آرامش‌بخش، نیروبخش، ضدالتهاب و برطرف‌کننده درد به‌ویژه در سرماخوردگی و ذات‌الریه استفاده می‌شود (Azizi et al., 2018). تنش شوری از جمله تنش‌های مهم غیرزیستی است که می‌تواند باعث برهم زدن اعمال حیاتی و فرآیندهای جوانه‌زنی و رشدونمو گیاهان شود. شوری بر غلظت یون بافت‌های گیاه اثر می‌گذارد و این ممکن است کیفیت گیاهان دارویی را تغییر دهد (Safavi et al., 2024). در آزمایشی، اثر شوری در چهار سطح بر گیاه گل‌گاوزبان بررسی شد. نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش معنی‌دار درصد سبز شدن بذرهای، ارتفاع و تعداد گل شده و باعث کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی شد (Makkizadeh Tafti et al., 2008). به همین دلیل، این پژوهش جهت بررسی تأثیر پوترسین بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی نشاء گل‌گاوزبان ایرانی در شرایط تنش شوری انجام شد. با توجه به اهمیت دارویی گیاه گل‌گاوزبان ایرانی و همچنین وجود آب و خاک‌های شور در کشور، هدف از انجام این تحقیق، شناسایی راهکارهایی برای بهبود رشد و توسعه گل‌گاوزبان

به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

برای سنجش درصد نشت یونی، بافت تازه اندام هوایی پس از شست‌وشو با آب مقطر درون لوله آزمایش قرار گرفت و ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و به مدت دو ساعت درون حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_1)، با دستگاه هدایت‌سنج (Jenway مدل ۴۵۱۰) اندازه‌گیری شد. سپس لوله آزمایش در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر به مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شد و پس از خنک شدن لوله‌ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) دوباره اندازه‌گیری و درصد نشت یونی با رابطه زیر محاسبه گردید (Murray et al., 1989):

$$(EC_1 / EC_2) \times 100 = \text{درصد نشت یونی} \quad (۶)$$

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (در هر گلدان سه گیاه قرار داشت و هر گلدان به عنوان یک تکرار بود) انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴)، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شدند و برای رسم نمودارها نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۶) مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده و متقابل شوری و پوتریسین بر صفات وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه و طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقدار جذب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Unico مدل UV2100) خوانده شد. غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئید با استفاده از معادله‌های ۲ تا ۵ و برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه گردید.

(۲)

$$\text{Chl a (mg.g}^{-1}\text{)} = [12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645})] \times (V/1000 \times W) \quad (۳)$$

$$\text{Chl b (mg.g}^{-1}\text{)} = [22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663})] \times (V/1000 \times W) \quad (۴)$$

$$\text{Total Chl (mg/g)} = \text{Chl a} + \text{Chl b} \quad (۵)$$

$$\text{Car (mg.g}^{-1}\text{ FW)} = (((1000A_{470} - (1.8\text{Chl a}) - (85.02\text{ Chl b}))/198) \times (V/W))$$

که در آن، W: وزن نمونه، V: حجم استون و A: میزان جذب است

میزان پرولین برگ با کاربرد روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت پرولین، نمونه‌های برگ تر در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوسالسیلیک سه درصد هموزن شد و عصاره حاصل صاف گردید. میزان دو میلی‌لیتر اسیداستیک و دو میلی‌لیتر ناین هیدرین به دو میلی‌لیتر از عصاره صاف‌شده اضافه شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس برای پایان یافتن واکنش، لوله‌های آزمایش در داخل یک بستر یخی قرار گرفت و چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر لوله اضافه گردید و تکان داده شد. پس از ۳۰ ثانیه هم‌زدن و جدا شدن دو فاز، فاز رنگی تولوئن در بالا قرار گرفت و فاز آبی جدا گردید. غلظت پرولین نمونه‌ها در تولوئن با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل UV2100) در طول موج ۵۲۰ نانومتر و با توجه

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات تنش شوری و محلول پاشی پوتریسین بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه نشاء گل‌گاوزبان
Table 1- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of salinity stress and putricine on the wet and dry weight of shoot and root of *E. amoenum* seedlings

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	طول ریشه Root length
شوری Salinity	2	16.74**	0.72**	0.81**	125.74**
پوتریسین Putricin	1	1.99**	0.06**	0.083**	25.72**
شوری × پوتریسین Salinity × putricin	2	0.082*	0.6*	0.004*	4.05*
خطا Error	30	0.017	0.001	0.001	1.01
ضریب تغییرات CV (%)		4.8	8.7	6.84	8.86

*, **, و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار

*, **, and ns denote, significance at the 5% and 1% levels, and not significant, respectively.

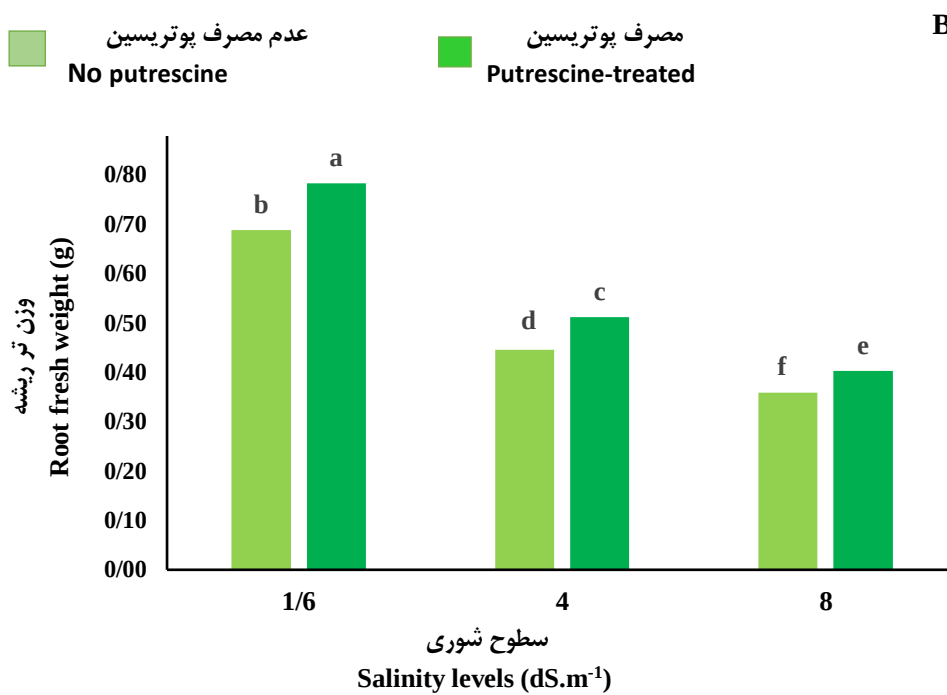
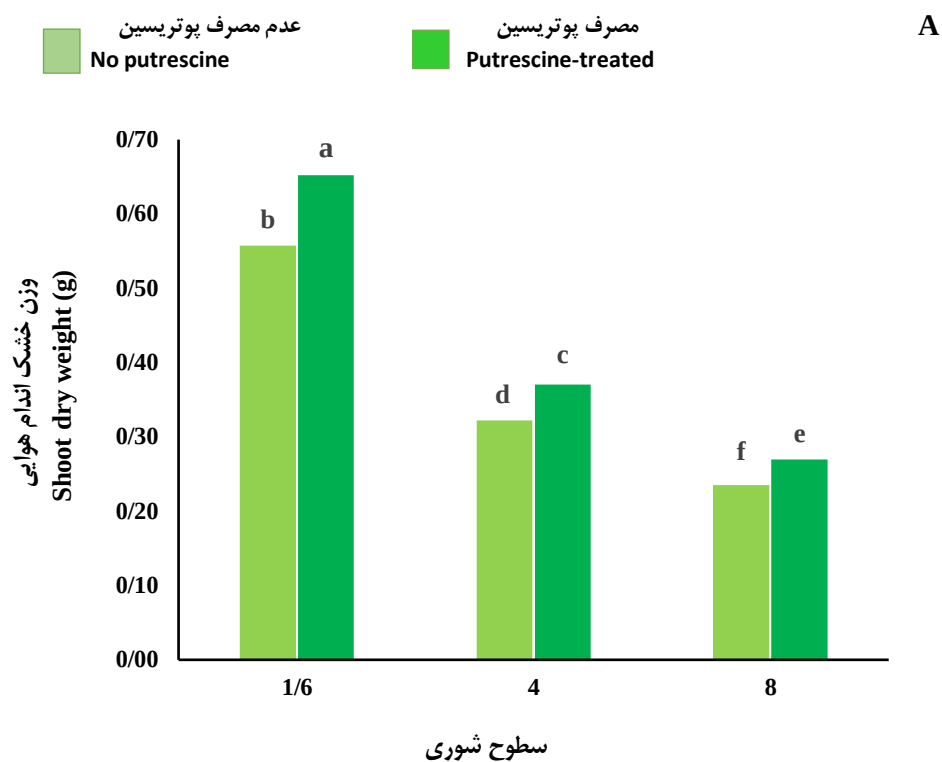
ترکیب تنظیم‌کننده رشد گیاه، می‌تواند به افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی از جمله شوری کمک کند. استفاده از پوترسین در شرایط شوری معمولاً منجر به افزایش سطح برگ می‌شود. این افزایش به دلیل بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی، افزایش تقسیم سلولی و بهبود رشد عمومی گیاه است. در تحقیقات نشان داده‌اند که پوترسین می‌تواند باعث افزایش تعداد و اندازه برگ‌ها شود و به این ترتیب، سطح برگ کلی گیاه را افزایش می‌دهد (Farsari, et al., 2020).

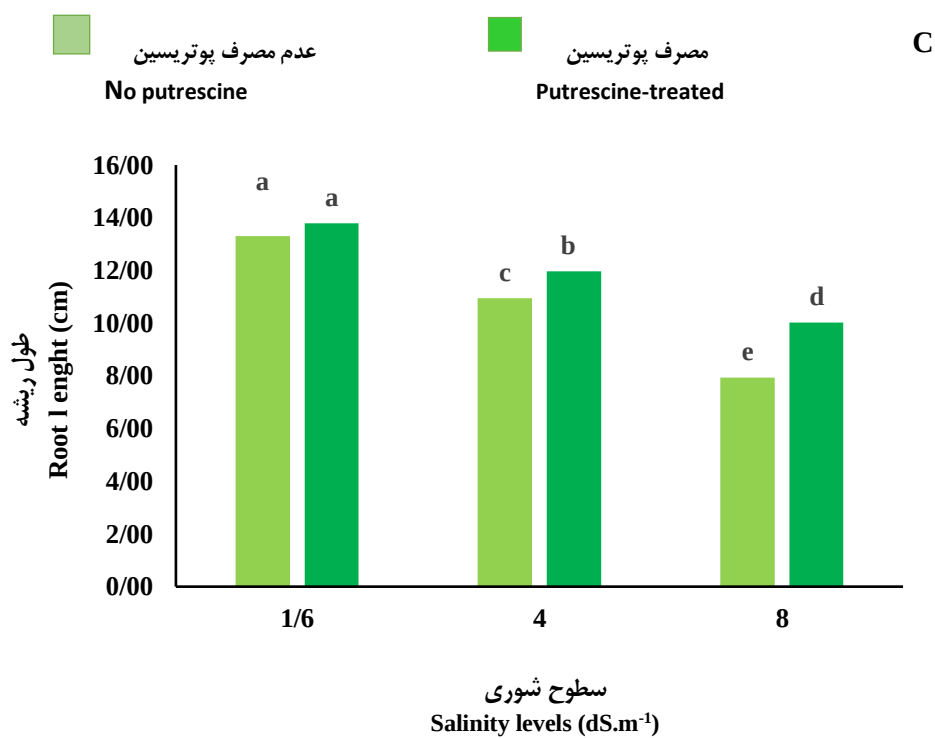
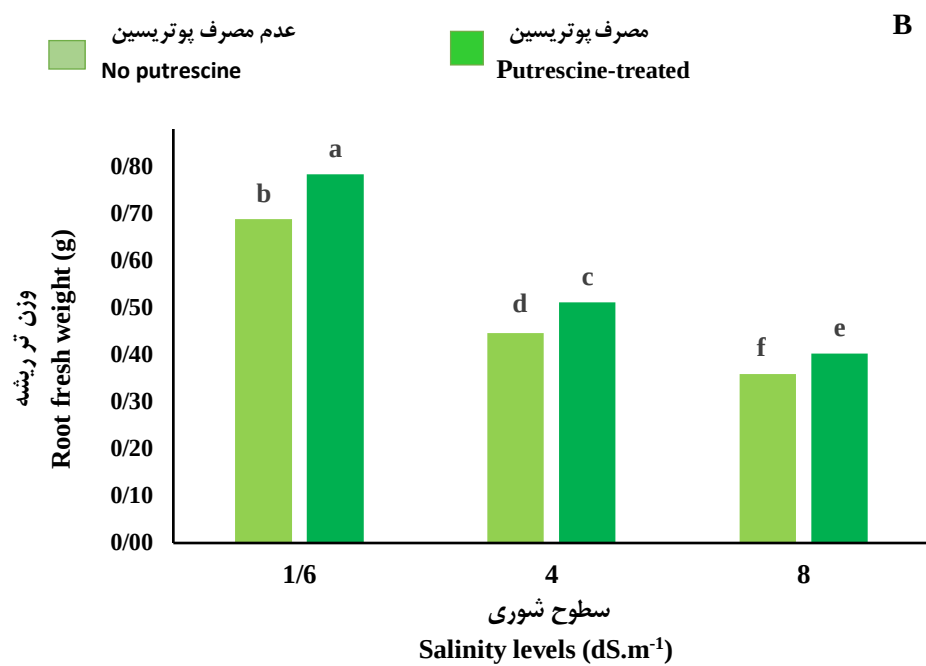
اثر شوری و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ

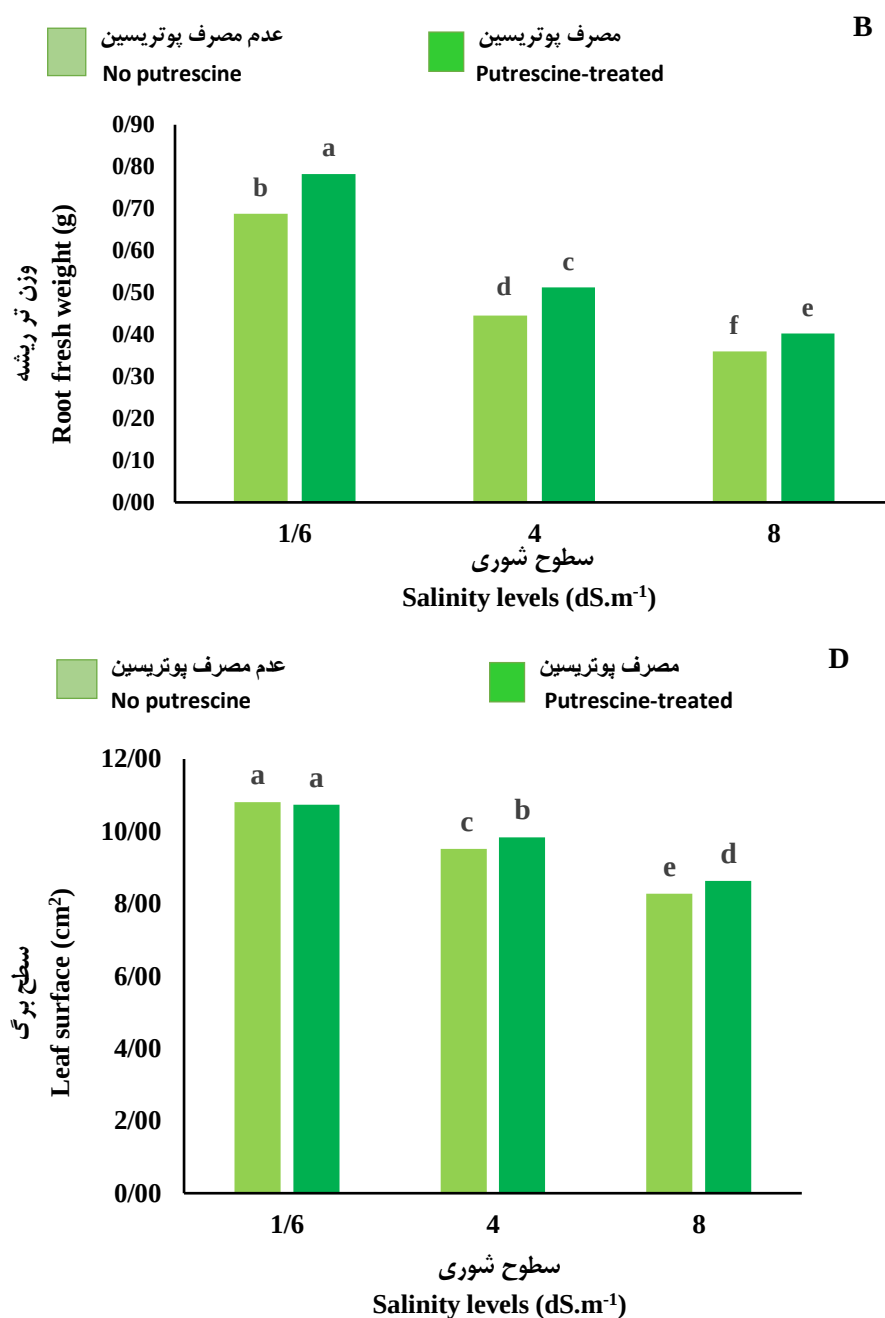
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شوری و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). این شاخص نشان‌دهنده توانایی گیاه در حفظ آب و مقاومت در برابر تنش‌های آبی و شوری است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با تیمار ۱/۵ میلی‌مولار پوترسین، میزان رطوبت نسبی برگ در تمام غلظت‌های شوری افزایش یافت (شکل ۲ D). نتایج تحقیقات نشان داد که تنش شوری در گیاهان ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*)، آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) و مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ شد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. با افزایش سطح شوری، جذب آب توسط برگ‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه گیاه نمی‌تواند محتوای آب برگ خود را حفظ کند و از این رو با گذشت زمان، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (Munns et al., 2006). همچنین کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌تواند به علت تجمع یون‌های سدیم و کلر باشد که این عوامل می‌تواند دلیل کاهش RWC گل‌گاوزبان در این تحقیق باشد. دلیل افزایش محتوای نسبی آب در این گیاه و همچنین گل‌گاوزبان مورد مطالعه در این تحقیق توسط پوترسین می‌تواند به این علت باشد که پلی‌آمین‌ها سبب افزایش نفوذپذیری غشاء به کلسیم شده و میزان آن را در گیاه افزایش می‌دهند و این افزایش کلسیم باعث غیرفعال کردن ورود پتاسیم از غشاء شده و همین امر سبب تحریک بسته شدن روزنه‌ها و در پی آن کاهش از دست رفتن آب گیاه شود و محتوای نسبی آب برگ افزایش یابد (Rubinowska et al., 2012).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد (جدول ۱) که تنش شوری باعث کاهش این صفات نسبت به شاهد گردید. درحالی‌که کاربرد پوترسین باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه و طول ریشه شد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار آبیاری با آب معمولی و کاربرد پوترسین (۰/۶۵ گرم) و کمترین مقدار این صفات در شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر و عدم مصرف پوترسین (۰/۲۴ گرم) مشاهده شد (شکل ۱). شوری باعث می‌شود تا گیاه، آب موجود در بافت‌های خود را از دست بدهد و دچار پلاسمولیز شود که این عامل سبب کاهش وزن‌تر اندام هوایی خواهد شد (Farsari, 2020). علت افزایش رشد گیاه با کاربرد پلی‌آمین تحت تنش شوری می‌تواند ناشی از این باشد که با کاربرد پوترسین، میزان پلی‌آمین‌ها در مریستم انتهایی گیاه افزایش می‌یابد و در نتیجه رشد گیاه را نسبت به گیاه تیمارنشده با پوترسین افزایش می‌دهد، همچنین پلی‌آمین‌ها گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده در گیاه را از بین برده و خسارات ناشی از تنش را کاهش می‌دهند (Mahros et al., 2011). علاوه بر این پوترسین می‌تواند به عنوان یک منبع نیتروژن عمل کرده (پوترسین در ساختار خود حاوی ۳۱/۷۶ درصد نیتروژن است) و به این طریق، رشد رویشی گیاه را افزایش دهد و افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی در این تحقیق می‌تواند به این علت باشد (Mahros et al., 2011).

نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر منفی شوری آب آبیاری بر سطح برگ نشاء گل‌گاوزبان ایرانی است (شکل ۱D). کاهش سطح برگ در غلظت هشت دسی‌زیمنس بر متر به‌وضوح نشان‌دهنده اثرات مضر شوری بر رشد این گیاه است. در این غلظت، کمترین میزان سطح برگ (۸/۲۸ سانتی‌مترمربع) مشاهده شد، که به‌طور مستقیم می‌تواند با تنش‌های ناشی از شوری و کاهش توانایی گیاه در جذب آب و مواد مغذی مرتبط باشد. شوری باعث ایجاد تنش‌های اسمزی در گیاهان می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش فتوسنتز، اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی، و در نتیجه کاهش رشد و سطح برگ شود. در غلظت ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر شوری، گیاه سطح برگ بیشتری (۱۰/۸ سانتی‌مترمربع) داشت، که این به معنای شرایط بهتری برای رشد و توسعه گیاه در این شرایط است. از سوی دیگر، نتایج نشان داد که پوترسین به‌طور قابل توجهی سطح برگ گیاه را افزایش داد (۸/۶۳ سانتی‌مترمربع). پوترسین به عنوان یک







شکل ۱- اثر متقابل شوری × پوتریسین بر وزن تر و خشک اندام و وزن خشک ریشه و طول ریشه و سطح برگ نشاء گل‌گاوزبان
Figure 1- The interaction effects of salinity × putrescine on the fresh and dry weight of shoots and root dry weight, root length, and leaf area of *E. amoenum* seedlings (DMRT, $p \leq 0.05$)

خشکی، شوری و تنش یون‌های فلزی ناشی از افزایش سنتر و کاهش تخریب پرولین است که این موضوع در بیشتر گیاهان به اثبات رسیده است. در اکثر موارد، سازوکار افزایش پرولین در گیاهان به‌هنگام تنش، نوعی سازوکار دفاعی است که پرولین با چندین سازوکار مانند تنظیم اسمزی، جلوگیری از تخریب آنزیم، حفظ و سنتر پروتئین، مقاومت گیاه را در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهند (Safavi et al., 2024).

اثر شوری و پوتریسین بر میزان پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سطوح مختلف تنش شوری و پوتریسین بر محتوای پرولین برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش غلظت شوری، میزان پرولین به‌طور معنی‌داری در نشاء گل‌گاوزبان افزایش یافت (شکل ۲A, ۲B). تجمع چشمگیر پرولین در بسیاری از انواع تنش‌ها مانند تنش

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات شوری و پوترسین بر صفات فیزیولوژیکی نشاء گل گاوزبان

Table 2- ANOVA (mean of squares) for the effects of salinity stress and putrescine on some physiological traits of *E. amoenum* seedlings

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	پروлін Prolin	قند محلول Sugar soluble	میزان رطوبت نسبی برگ Leaf relative water content	نشت الکترولیت Electrolyte leakage
شوری Salinity	2	167.21**	167.21**	1716.72**	13714.05**
پوترسین Putricine	1	13.86**	13.86**	213.55**	153.12**
شوری × پوترسین Salinity × putricin	2	0.62**	0.62**	4.05 ^{ns}	8.16*
خطا Error	30	0.15	0.15	22.6	26.3
ضریب تغییرات CV (%)		4.61	4.61	3.75	3.34

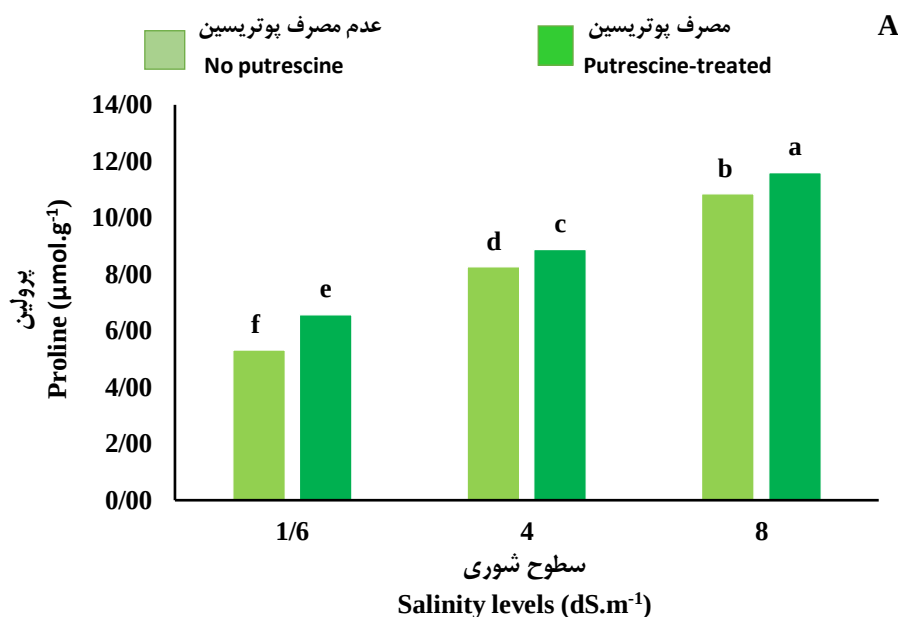
*, **, ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی دار

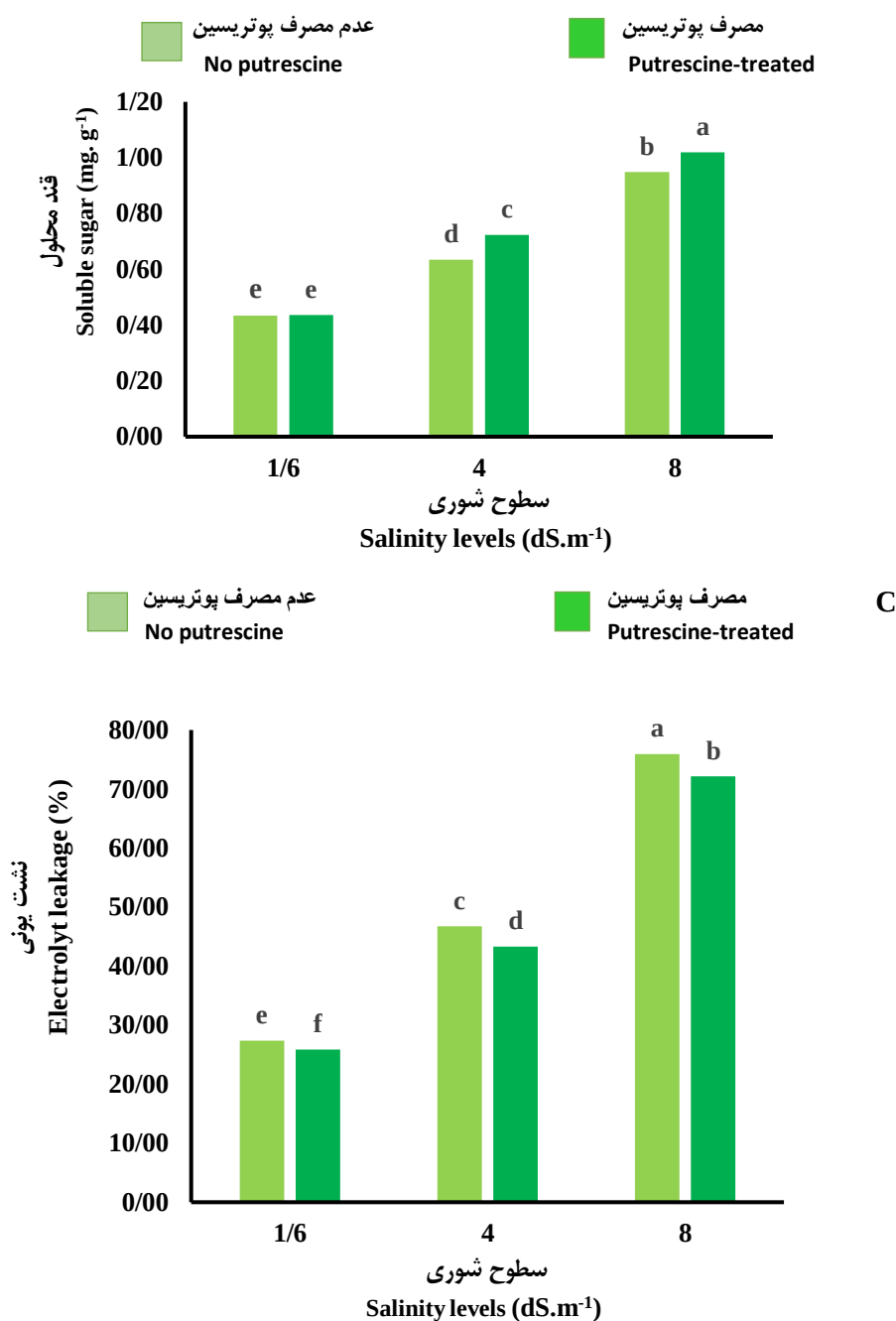
*, **, and ns denote, significance at the 5% and 1% levels, and not significant respectively

رو، در تیمار ۱/۵ میلی مولار پوترسین، بیشترین مقدار پروлін مشاهده شد که با نتایج صفری و همکاران (Saffari et al., 2015) روی گیاه آویشن مطابقت داشت.

در واقع، پوترسین به عنوان یک بافر و اسمولیت عمل می کند. این ترکیب می تواند به حفظ پتانسیل آب برگ در شرایط کمبود آب کمک کند و از سلول های گیاهی در برابر آسیب های ناشی از تنش اکسیداتیو محافظت نماید (Saffari et al., 2015).

نتایج حاصل از تحقیق دیگری نیز نشان داد که میزان پروлін در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش یافت (Shahraki et al., 2021). انباشت پروлін معمولاً به عنوان یک سازوکار تحمل به تنش در نظر گرفته می شود (به عنوان مثال، در تنش های شوری و خشکی). نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر نشان می دهد که با آغاز شرایط تنش شوری، جهت حفاظت از سلول ها، میزان پروлін افزایش یافت و استفاده از پوترسین باعث افزایش مقاومت دیواره سلولی شد و از فروپاشی آن جلوگیری کرد. از همین





شکل ۲- اثر متقابل شوری × پوترسین بر میزان پرولین، قند محلول، درصد نشت الکترولیت در نشاء گل‌گاوزبان
 Figure 2- The interaction effects of salinity × putrescine on the proline content, soluble sugar and electrolyte leakage percentage of *E. amoenum* seedling leaves (DMRT, $p \leq 0.05$)

میزان قند محلول افزایش یافت و کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار پوتریسین باعث افزایش میزان قند محلول در تمامی سطوح شوری شد (شکل ۲.B).

در سلول‌های گیاهی به‌منظور گریز از پلاسمولیز و برقراری تورژسانس، تحت تأثیر تنش‌هایی مانند خشکی و شوری، مولکول‌های

اثر شوری و پوتریسین بر میزان قند محلول

طبق نتایج تجزیه واریانس، شوری و پوتریسین در سطح احتمال یک درصد بر میزان قند محلول تأثیر معنی‌داری داشتند و همچنین اثر متقابل این دو تیمار بر میزان قند محلول در نشاء گل‌گاوزبان در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). همچنین با افزایش غلظت شوری،

اتیلن از اثرات مرتبط با اتیلن از جمله پیری، تجزیه کلروفیل، زوال غشاء و افزایش فعالیت پروتئاز جلوگیری می‌کند (Evans & Malmberg, 1989).

اثر شوری و پوتریسین بر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید
پوتریسین در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید اثر معنی دار داشت (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل a و b مربوط به تیمار شوری ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر شوری با کاربرد پوتریسین به دست آمد (شکل ۳). کمترین میزان کلروفیل a و b (به ترتیب ۲ و ۰/۵ میلی گرم بر گرم) در تیمارهای هشت دسی‌زیمنس بر متر تنش شوری بدون کاربرد پوتریسین مشاهده شد (شکل B۳، A). اثر متقابل شوری و پوتریسین بر این صفات معنی دار بود. گزارش شد که کاربرد پلی-آمین‌ها موجب حفظ پایداری غشاء کلروپلاست و مانع تجزیه کلروفیل می‌شود. پلی‌آمین‌ها با اتصال یونی به غشاء تیلاکوئید سبب حفظ غشاء شده و به‌صورت غیرمستقیم در حفظ فتوسنتز دخالت می‌کنند (Jalili Marandi, 2010). علت کاهش کلروفیل در شرایط تنش، تخریب آن‌ها به‌وسیله گونه‌های فعال اکسیژن است. تنش منجر به افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسیدآبسیزیک و اتیلن شده که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیل‌لاز هستند و به این ترتیب کلروفیل تجزیه می‌شود (Orabi et al., 2010).

در همین زمینه، طی آزمایشی مشاهده شد که میزان دو میلی-مولار اسپرمین و پوتریسین سبب افزایش میزان کلروفیل برگ گردید. در واقع، پلی‌آمین‌ها خاصیت ضداتیلنی دارند و مانع تولید آنزیم‌های مداخله‌کننده در ساخت اتیلن می‌شوند و در نتیجه از تولید رادیکال-های آزاد که سبب تجزیه کلروفیل می‌شوند، جلوگیری می‌کنند (Mortazavi et al., 2021). تیمار یک و دو میلی‌مولار اسپرمین، میزان کلروفیل را در گل میخک رقم Red Corsa نسبت به شاهد افزایش داد (Kamiab, 2016). اثر پلی‌آمین‌ها در مهار تخریب سبزینه ممکن است به مهار فعالیت آنزیم پروکسیداز مرتبط باشد، از آنجاکه اتیلن موجب تجزیه کلروفیل می‌شود، پلی‌آمین‌ها به‌علت نقش ضداتیلنی که دارند، مانع از تولید آنزیم‌های مداخله‌کننده در ساخت اتیلن می‌شوند و از تولید رادیکال‌های آزاد که سبب تجزیه کلروفیل می‌شوند، جلوگیری می‌کنند (Alcazar et al., 2006).

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش شوری، میزان کاروتنوئید افزایش یافت (شکل C۳) که با نتایج محققان دیگر (Fahmideh et al., 2025) در جو مطابقت داشت. این محققان بیان داشتند که با افزایش غلظت شوری، میزان رنگیزه کاروتنوئید افزایش یافت. کاروتنوئیدها، گروه بزرگی از مولکول‌های ایزوپروپنوییدی هستند و به‌عنوان حامی رنگیزه‌های فتوسنتزی شناخته شده‌اند و می‌توانند انرژی اضافی طول موج‌های کوتاه را بگیرند (Stahl & Site, 2005).

درشت‌تر مانند نشاسته به مولکول‌های کوچک‌تری مانند گلوکز شکسته می‌شوند. این امر موجب منفی‌تر شدن پتانسیل آب در سلول-ها و تنظیم اسمزی می‌شود (Golestani, 2020). افزایش میزان قندهای محلول در شرایط تنش در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) گزارش شده است (Amini & Ehsanpour, 2005). کاربرد برون‌زاد پلی‌آمین‌ها، به‌خصوص اسپرمیدین، در حفظ فتوسنتز بسیار مؤثر است و موجب تثبیت pH جهت فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و افزایش فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو می‌شود. برخی از مطالعات نشان دادند که پوترسین باعث افزایش کربوهیدرات کل در گیاهانی مانند داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) و کوکب (*Dahlia pinnata*) شد (Mahgoub et al., 2011). پلی‌آمین‌ها در سنتز قندها کربوهیدرات‌ها نقش مؤثری دارند. گزارش شده است که آنها در گیاه همچون تنظیم‌کننده رشد عمل می‌کنند و ممکن است در برخی از فرایندهای بیولوژیک دخالت داشته باشند که مرتبط با بیوسنتز کربوهیدرات‌ها است.

اثر شوری و پوتریسین بر میزان نشت الکترولیت

اثر ساده شوری و پوتریسین بر میزان نشت یونی به‌طور معنی‌داری مؤثر بود و همچنین اثر متقابل این تیمارها بر میزان نشت یونی معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت شوری، میزان نشت یونی افزایش یافت و همچنین با کاربرد پوتریسین در تمامی غلظت‌های شوری، میزان نشت یونی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل C۲). شوری، نشت یونی برگ را افزایش داد. در بین سطوح تنش شوری، بیشترین نشت یونی برگ در تنش شوری شدید مشاهده شد. مقدار آسیب به غشاء یاخته با ادامه تنش افزایش می‌یابد. یکی از علائم تحمل به شوری، پایداری و ثبات غشاء سلولی در شرایط تنش است. در اثر تنش شوری، فعالیت غشاء سیتوپلاسمی مختل شده و در نتیجه مواد درون سلول به بیرون نشت می‌کند. بنابراین با افزایش سطح شوری، مقدار نشت یونی از درون سلول افزایش می‌یابد (Jouyban, 2012). پلی‌آمین‌ها می‌توانند به‌عنوان غیرفعال‌کننده‌های رادیکال‌های آزاد عمل کرده و غشاهای سلولی را در برابر اکسید شدن حفظ کنند. بدین ترتیب، مقاومت غشاء را افزایش می‌دهند. در این پژوهش، با کاربرد پوتریسین در تمامی غلظت‌های تنش شوری، میزان نشت یونی کاهش یافت. پلی‌آمین‌ها با تأثیر خود بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کاهش گونه‌های اکسیژن واکنشگر و به‌تبع آن حفظ ثبات غشاء، باعث کاهش میزان نشت یونی می‌شوند. همچنین این ترکیبات با اتیلن بر سر یک پیش‌ماده مشترک به‌نام SAM (S-آدنوزین متیونین) رقابت می‌کنند و در واقع پلی‌آمین‌ها با کاهش تولید

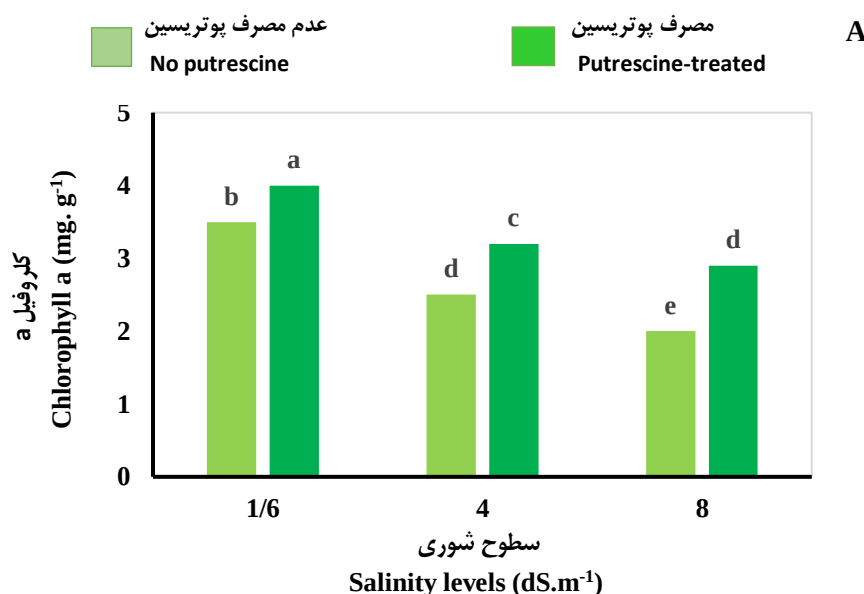
داده شده است که محلول پاشی تیمارهای پلی‌آمین باعث افزایش غلظت کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در گوجه‌فرنگی در شرایط تنش شوری شد (Ahanger et al., 2019). پلی‌آمین‌ها ممکن است عملکرد آنزیم‌های شرکت‌کننده در ساخت کلروفیل را افزایش داده و اختلال در سیستم فتوسنتزی را کاهش دهند (Ahanger et al., 2019).

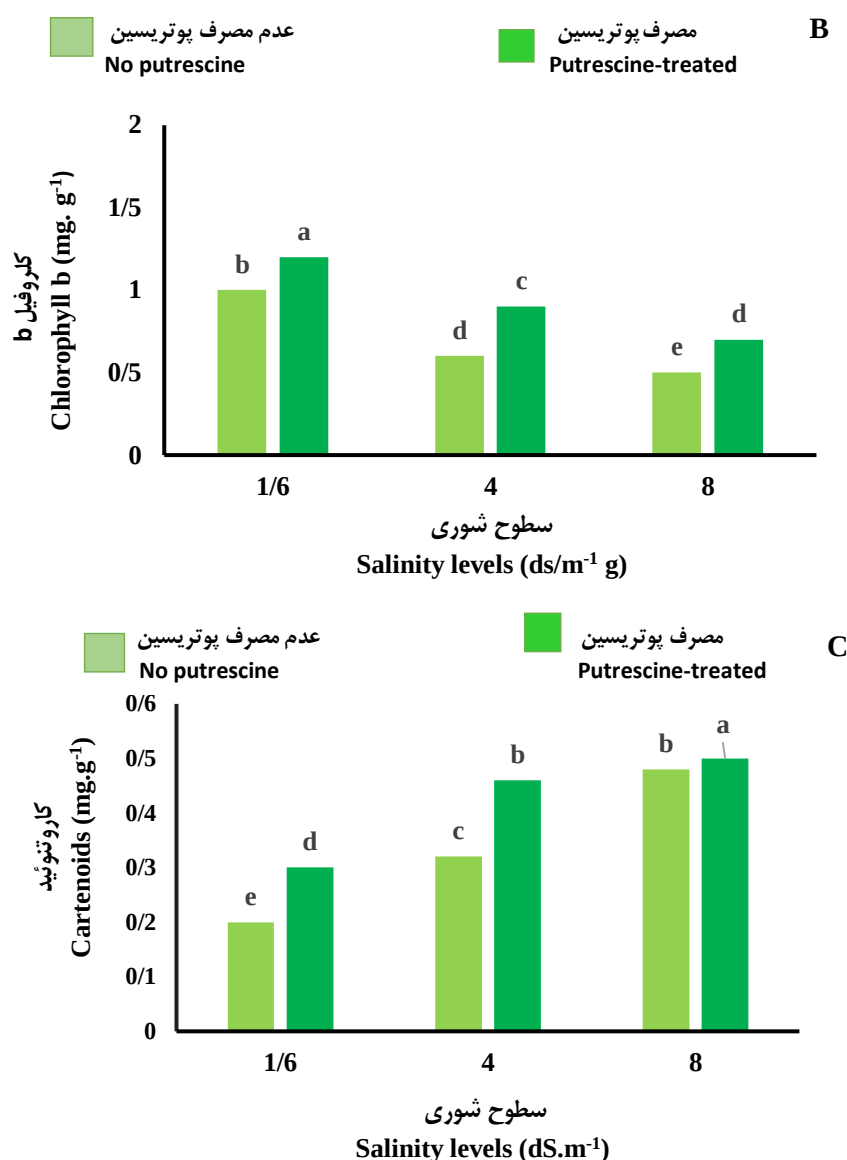
افزایش کاروتنوئیدها در شرایط تنش شوری ممکن است نشان‌دهنده نقش آنتی‌اکسیدانی بالای آن باشد (Ilektra & Michael, 2012). بیشترین میزان کاروتنوئید (۰/۵ میلی گرم بر گرم) نیز در تیمار هشت دسی‌زیمنس بر متر با کاربرد پوتریسین به دست آمد (شکل ۳C). محققان دریافتند که اسپرمیدین در حفاظت از غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاهچه‌های خیار (*Cucumis sativus* L.) در شرایط تنش شوری نقش دارد (Shu et al., 2012). در مطالعات دیگری نشان

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات شوری و پوتریسین بر میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگ گل‌گاوزبان
Table 3- ANOVA (mean of squares) for the effects of salinity stress and putrescine on leaf chlorophyll and carotenoids content of *E. amoenum*

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a	کاروتنوئید Carotenoid
شوری Salinity	2	0.228**	1.36**	0.046**
پوتریسین Putricine	1	0.228**	0.074**	0.069**
شوری × پوتریسین Salinity × putricine	2	0.0004 ^{ns}	0.076**	0.001 ^{ns}
خطا Error	30	0.003	0.012	0.001
ضریب تغییرات CV (%)		6.64	3.97	9.5

*, **, و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار
*, **, and ^{ns} denote, significance at the 5% and 1% levels, and not significant, respectively





شکل ۳- اثر متقابل شوری × پوتریسین بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ نشاء گل‌گاوزبان

Figure 3- The interaction effect of salinity × putrescine on the amount of photosynthetic pigments of *E. amoenum* seedlings (DMRT, $p \leq 0.05$)

نتیجه‌گیری

صفات رویشی و فیزیولوژیکی این گیاه ایجاد کند. پوتریسین به‌عنوان تأمین‌کننده نیتروژن عمل کرده و از کاهش بیش از حد رشد رویشی جلوگیری می‌کند. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد پوتریسین می‌تواند تأثیرات منفی ناشی از تنش شوری را بر ویژگی‌های کلیدی رشد و فیزیولوژی نشاء گل‌گاوزبان کاهش دهد.

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش سطح شوری منجر به کاهش زیست‌توده اندام هوایی، رشد ریشه، سطح برگ و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در نشاء گل‌گاوزبان ایرانی گردید. با این حال، استفاده از پوتریسین (با غلظت ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر) می‌تواند بهبودهایی در

References

1. Abdel Rahman, R., Gomaa, S. E., Abdelsalam, N., El-Din, H., El-Wakil, M. F., Khaled, A. S., & Hassan, H. M. (2013). Effect of sodium chloride on tropane alkaloids accumulation and proline content in *Datura metel* and *D. stramonium* callus cultures. *Journal of Advances in Medical and Biomedical Research*, 1(2), 197-210.

2. Ahanger, M. A., Qin, C., Maodong, Q., Dong, X. X., Ahmad, P., Abd Allah, E. F., & Zhang, L. (2019). Spermine application alleviates salinity induced growth and photosynthetic inhibition in *Solanum lycopersicum* by modulating osmolyte and secondary metabolite accumulation and differentially regulating antioxidant metabolism. *Plant Physiology Biochemistry*, 144, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.09.021>
3. Alcazar, R., Marco, F., Cuevas, J. C., Patron, M., Ferrando, A., Carrasco, P., Tiburcio, A. F., & Altabella, T. (2006). Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress. *Biotechnology Letters*, 28, 1867-1876. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818204-8.00021-7>.
4. Alizadeh-Salteh, S., Najjarzadeh, S., Panahandeh, J., & Eghlima, G. (2024). The effect of foliar application of salicylic acid and putrescine on essential oil yield and composition of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Plant Productions*, 47(1), 147-160. <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.45206.2129>
5. Amini, F., & Ehsanpour, A. A. (2005). Soluble proteins, proline, carbohydrates and Na/K changes in two tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars under *in vitro* salt stress. *African Journal of Biotechnology*, 2(5), 133-135.
6. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1), 112-121.
7. Azizi, H., Gafari, S., Ghods, R., Shojaei, A., Salmanian, M., & Ghafarzadeh, J. (2018). A review study on pharmacological activities, chemical constituents, and traditional uses of *Echium amoenum*. *Pharmacognosy Reviews*, 12(24), 208-217. https://doi.org/10.4103/phrev.phrev_13_18
8. Bates, L. S., Walderen, R. D., & Taere, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>.
9. Barrs, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15(3), 413-428.
10. Chattopadhyay, M. K., Tiwari, B. S., Chattopadhyay, G., Bose, A., Sengupta, D. N., & Ghosh, B. (2002). Protective role of exogenous polyamines on salinity stressed rice (*Oryza sativa*) plants. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae, Physiologia Plantarum*, 116, 192-9.
11. Evans, P. T., & Malmberg, R. L. (1989) Do polyamines have roles in plant development? *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, 40, 235-241.
13. Fahmideh, L., Mazarie, A., & Pahlavan, P. (2025). Investigation of relative expression of TaMYB73 gene in some native barley of Sistan region under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 37(4), 469-485.(in Persian with English abstract).
14. Farsari, S. (2020). Morphophysiological and biochemical response of basil cultivar Keshkeni Luveluo under salinity stress and super absorbent polymers application. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(4), 982-996. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.4.19.5>.
15. Farooq, M., Wahid, A., & Lee, D. J. (2009). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 937-945. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0307-2>
16. Golestani, M. (2020). Salt stress effect on some agronomical and physiological traits in *Thymus daenensis* subsp. *Daenensis* ecotypes. *Journal of Plant Process and Function*, 9(38), 459-477. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1361-fa.html>
17. Jouyban, Z. (2012). The effects of salt stress on plant growth. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(1), 7-10. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1361-fa.html>.
18. Kamiab, F. (2016). Effects of different polyamines on vase life, ethylene production and some physiological traits of carnation (*Dianthus caryophyllus* cv. Red Corsa). *Journal of Crops Improvement*, 18(2), 275-288. <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56619>.
19. Ilektra, S., & Michael, M. (2012). Interaction of proline, sugars and anthocyanins during photosynthetic acclimation of *Arabidopsis thaliana* to drought stress. *Plant Physiology*, 169, 577-585. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.12.015>. Epub 2012 Feb 2.
20. Jalili Marandi, R. (2010). Physiology of Environmental Stresses and Mechanisms of Resistance in Horticultural Plants. Urmia: Jahad Publications Urmia, Urmia, Iran p. 637.
21. Mahgoub, M. H., El-Aziz, N. G. A., & Mazhar, A. M. A. (2011). Response of *Dahlia pinnata* L. plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 10(5), 769-775. [https://www.idosi.org/aejaes/jaes10\(5\)/9](https://www.idosi.org/aejaes/jaes10(5)/9).
22. Mahros, K. M., Badawy, E. M., Mahgoub, M. H., Habib, A. M., & El-Sayed, I. M. (2011). Effect of putrescine and uniconazole treatments on flower characters and photosynthetic pigments of (*Chrysanthemum indicum* L.) plant. *Journal of South American Earth Sciences*, 7, 399-408.
23. Makkizadeh Tafti, M., Tavakol Afshari, R., Majnoon Hosseini, N., & Naghdi Badi, H. A. (2008). Evaluation of salinity tolerance and absorption of salt by borage (*Borago officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 24(3), 253-262.(in Persian with English abstract).

24. Mortazavi, S. H., Arghavani, M., Hassanpour Asil, M., & Kheiri, A. (2021). Effect of polyamines on morphophysiological characteristics of Dutch iris (*Iris hollandica* 'Blue Magic') cut flower. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 52(2), 269-280. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22059/ijhs.2020.287494.1701>.
25. Munns, R., James, R. A., & Lauchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal Experimental Botany*, 57, 1025-1043. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erj100>. Epub 2006 Mar 1.
26. Murray, M. B., Cape, J. N., & Fowler, D. (1989). Quantification of frost damage in plant tissues by rates of electrolyte leakage. *New phytologist*, 113(3), 307-311.
27. Niakan, M., Rezapour Mahjoob, S., & Ghorbanli, M. (2015). Effect of exogenous putrescine on growth, photosynthesis and alkaloid compounds of datura (*Datura stramonium* L.) in response to salinity stress under hydroponic conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, 6(1), 111-123. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.6.1.111>
28. Orabi, S. A., Salman, S. R., & Shalaby, M. A. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6(3), 252-259.
29. Rubinowska, K., Pogorzewska, E., & Michalek, W. (2012). The effect of polyamines on physiological parameters of post - harvest quality of cut stems of Rosa 'Red Berlin'. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 11, 81-93.
30. Roychoudhury, A., Basu, S., & Sengupta, D. N. (2011). Amelioration of salinity stress by exogenously applied spermidine or spermine in three varieties of Indica rice differing in their level of salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 168(4), 317-328. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.07.009>. Epub 2010 Aug 21.
31. Saffari, M., Oveisi, M., & Zarghami, R. (2015). Investigation of the effect of putrescine polyamine on some traits of *Thymus vulgaris* L. in conditions of water shortage. *Agriculture Research*, 12(4), 279-289.
32. Safavi, M., Mohammadzadeh, M., & Vojodimehrabani, L. (2024). The effects of biochar on the growth and some physiological characteristics of *Artemisia dracunculus* L. under salinity stress. *Plant Productions*, 47(2), 229-244. <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.47046.2173>.
33. Santiago, M., Diego, H., Sauchez, A. G., Alponso, V., & Oscar A. R. (2004). Effect of polyamines on growth and salinity resistance of two rice cultivars. *Biology Planta*, 54, 199-201.
34. Shahraki, H., Mahdi Nezhad, N., & Fakheri, B. A. (2021). The effect of synthesis nanosilver by plant extract on morphological and antioxidant properties of artichoke (*Cynara scolymus* L.) under salinity stress. *Plant Productions*, 44(1), 103-114. <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.29011.1746>.
35. Shu, S., Yuan, L., Guo, S. R., Sun, J., & Liu, C. J. (2012). Effects of exogenous spermidine on photosynthesis, xanthophyll cycle and endogenous polyamines in cucumber seedlings exposed to salinity. *African Journal of Biotechnology*, 11, 6064-6074. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1354>. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1354>
36. Stahl, W., & Sies, H. (2005). Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica Biophysica Acta*, 1740, 101-107. <https://doi.org/10.1016/j.bbdis.2004.12.006>
37. Tang, W., & Newton, J. R. (2005). Polyamines reduced salt induced oxidative damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine. *Plant Growth Regulation*, 46, 31-43. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-6395-0>