

Research Article

Vol. 39, No. 2, Summer 2025, p. 283-297

Physico-Chemical Response and Seedling Growth of Three Aromatic Plants, *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* to Salinity Stress

M. Ayaseh¹, M. Kafi^{1*}, M. Khansefid¹, M. Shokrpour¹, R. Naderi¹

1- Department of Horticultural Science and Landscape Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

(*- Corresponding author's Email: mkafi@ut.ac.ir)

Received: 24 August 2024

Revised: 01 November 2024

Accepted: 04 November 2024

Available Online: 04 November 2024

How to cite this article:

Ayaseh, M., Kafi, M., Khansefid, M., Shokrpour, M., & Naderi, R. (2025). Physico-chemical response and seedling growth of three aromatic plants, *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* to salinity stress. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 283-297. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89514.1372>

Introduction

Today, a significant factor limiting plant growth is the rising salinity of soil and water, which poses challenges to food security, ecological stability, and agricultural systems. Numerous studies indicate that salinity hampers seed germination and early plant development by inducing osmotic stress, ion toxicity, and oxidative stress. Utilizing salinity-tolerant aromatic plants in saline areas can effectively enhance landscapes. Therefore, cultivating valuable plant species that meet high ecological demands may be the best strategy to mitigate salinity stress in agriculture and natural resources. These species can serve as alternative crops for oil seed production, food products, fodder, and both medicinal and ornamental uses. *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* are examples of medicinal and aromatic herbaceous perennials with low input requirements. They can be grown for various purposes, including ornamental use in dry and saline climates, as well as in the food, perfumery, cosmetics, and medicinal industries. Successful cultivation of these valuable plants in stressful ecosystems necessitates investigating their early growth responses to salinity stress. This research aims to identify suitable conditions for the successful establishment of these plants, ultimately leading to increased production.

Materials and Methods

In order to investigate the physicochemical responses and the early growth of seedlings in the shoot and root of three plants, *T. parthenium*, *A. millefolium* and *Z. eurypterum* to different levels of zero salinity stress (control), 1.5, 3 and 6 dS.m⁻¹, an experiment was conducted as factorial based on completely random design with three replications using a completely randomized design in a greenhouse under pot conditions in Department of Horticultural Science and Green Space Engineering at the University of Tehran. Seeds from three plant species—*T. parthenium*, *A. millefolium*, and *Z. eurypterum*—were obtained from the Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR) in Karaj province, Iran. Prior to planting, the seeds were sterilized for one minute in a 2% sodium hypochlorite solution and then washed three times with sanitized water. The seeds were then planted in plastic pots (45, 66, and 23 cm) filled with a mixture of clay, sand, and perlite, at a depth of three centimeters, under greenhouse conditions. Sodium chloride was used to create salinity stress, exposing all studied plants to four salinity levels for a duration of six weeks. The greenhouse maintained a temperature of 20°C at night and 25°C during the day, with a relative humidity of 60-80%. All physiological and biochemical measurements were conducted after six weeks, once the plants were fully established. It is important to note that all samples were washed with distilled water post-sampling, the surface water was removed using filter paper, and samples were immediately stored at -80°C until measurements were taken.



©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.2024.89514.1372>

Results and Discussion

The results of this study indicated that the concentration of photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, and total chlorophyll) decreased with increasing salinity levels, which correlated with a reduction in the growth length of both shoots and roots. The results indicated that under severe salinity stress, oxidative damage increased, leading to higher levels of fat peroxidation (MDA) and reduced cell membrane stability. This decrease in stability was linked to a reduction in photosynthetic pigments, ultimately disrupting optimal plant early growth. At all salinity levels, the total antioxidant capacity of *A. millefolium* leaves was greater than that of its roots. Among all three plants and salinity levels, the highest total antioxidant capacity of 78.57% was observed in the roots of *Z. eurypterum* under a salinity condition of 3 dS.m⁻¹. Conversely, the lowest total antioxidant capacity, at 25.38%, was found in the leaves of *T. parthenium* under non-saline conditions. The results indicated that the potassium to sodium ratio at equilibrium varied significantly depending on the plant species, plant organ, and salinity concentration and the highest ratio was found in the aerial parts of *T. parthenium*.

Conclusions

Overall, based on the biochemical and physiological responses to salinity stress, all three plants exhibited a relatively high tolerance. However, the *T. parthenium* plant demonstrated the greatest tolerance to salinity stress among them. Therefore, the cultivation of these three species, which possess ornamental, aromatic, and medicinal value, can serve as a viable solution for the ecological sustainability of saline ecosystems and their integration into urban landscaping.

Acknowledgement

The authors are grateful for the scientific assistance of Dr. Behrouz Malekpour

Keywords: Antioxidant capacity, Aromatic plants, Ion homeostasis, Osmotic potential

پاسخ فیزیولوژیکی و رشد اولیه گیاهچه سه گیاه معطر بابونه کبیر (*Tanacetum parthenium*)،
بومادران (*Achillea millefolium*) و قیچ (*Zygophyllum eurypterum*) به تنش شوری

مریم ایاسه^۱ - محسن کافی^{۱*} - مهدی خان سفید^۱ - مجید شکرپور^۱ - روح انگیز نادری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۴

چکیده

ایران در منطقه خشکی از جهان قرار دارد که شوری خاک اغلب با شرایط خشکسالی همزمان است. تنش شوری از طریق القاء تنش اسمزی، تنش اکسیداتیو و ایجاد سمیت یونی باعث ایجاد اختلال در رشد طبیعی گیاهان می‌شود. هدف از این مطالعه، بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و رشد اولیه گیاهچه سه گیاه بابونه کبیر (*Tanacetum parthenium*)، بومادران (*Achillea millefolium*) و قیچ (*Zygophyllum eurypterum*) به سطوح مختلف تنش شوری صفر (شاهد)، ۱/۵، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای در کشت گلدانی اجرا شد. برای اعمال تنش شوری از ماده سدیم کلرید استفاده شد و تنش شوری در مرحله رشدی استقرار گیاهچه‌ای صورت گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش غلظت شوری، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و کلروفیل کل) کاهش یافت که با کاهش میزان رشد طولی اندام هوایی و ریشه همراه بود. در سطوح تنش شوری شدید، میزان خسارت اکسیداتیو افزایش یافت که منجر به افزایش پراکسیداسیون چربی^۲ (MDA) کاهش پایداری غشاء سلولی شد و با کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و در نهایت اختلال در رشد بهینه اولیه گیاه همراه بود. در پاسخ به تنش اکسیداتیو حاصل از تنش شوری، ظرفیت آنتی اکسیدانی هر سه گونه مورد مطالعه افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که میزان تعادلی نسبت پتاسیم به سدیم رابطه معنی‌داری با گونه گیاهی، اندام گیاه و سطح غلظت شوری داشت که بیشترین آن در اندام هوایی بابونه کبیر مشاهده شد. به‌طور کلی، با توجه به پاسخ‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل تنش شوری، هر سه گیاه مورد مطالعه به تنش شوری تحمل نسبتاً بالایی داشتند، اما بیشترین تحمل تنش شوری در گیاه بابونه کبیر مشاهده گردید. بنابراین، کشت این سه گونه با ارزش زینتی معطر و دارویی می‌تواند یک راهکار مناسب برای پایداری اکولوژی بوم‌نظام‌های شور و همچنین کاربری در ترکیب کاشت در مناظر شهری باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری یون‌ها، پتانسیل اسمزی، ظرفیت آنتی اکسیدانی، گیاهان معطر

مقدمه

می‌کند (Yadav et al., 2022). تنش شوری با کاهش پتانسیل اسمزی، مانع جذب آب توسط ریشه‌ها می‌شود که در نتیجه مانع رشد فرآیند سلولی می‌شود (Parihar et al., 2015). در تنش اکسیداتیو، گونه‌های فعال اکسیژن با اکسیداسیون پروتئین‌ها، لیپیدها، DNA و قندها موجب تخریب بخش‌های حیاتی سلول می‌شود (Cheng et al., 2019; Amin et al., 2022). بنابراین، شوری از طریق عوامل مختلفی از جمله کاهش در دسترس بودن آب، تغییر در مواد غذایی ذخیره‌ای گیاه، اختلال در نسبت عناصر حیاتی رشد سلول و تغییر در ساختار پروتئین به رشد گیاه به‌خصوص در مرحله حساس رشد که شامل رشد اولیه گیاه است، آسیب وارد می‌کند (Boughalleb et al., 2020).

امروزه عمده‌ترین عامل محدودیت رشد گیاهان در دنیا، افزایش فاجعه‌بار شور شدن خاک و آب می‌باشد که چالش‌های زیادی را در امنیت غذایی، ثبات اکولوژیک در عرصه منابع طبیعی و سیستم کشاورزی ایجاد کرده است (Alfadil et al., 2021). در بسیاری از مطالعات، گزارش شده است که تنش شوری از طریق القاء تنش اسمزی، سمیت یونی و تنش اکسیداتیو، رشد اولیه گیاه را محدود

۱- گروه علوم و مهندسی باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(*)- نویسنده مسئول
(Email: mkafi@ut.ac.ir)

به‌طور عمده، سازوکارهای دفاعی و بیولوژیکی گیاه در پاسخ به تنش شوری با توجه به نوع گونه گیاه و اندام گیاه متغیر هست. در این راستا، سازوکارهای سلولی ممکن است که فعال‌سازی یا تجمع ترکیبات آنزیمی و غیرآنزیمی را تحریک کند تا در طول جوانه‌زنی، اثرات نامطلوب و اکسیداتیو تنش شوری را کاهش دهد (Ashraf & Banerjee & Roychoudhury, 2017; Harris, 2004). در بسیاری از مطالعات، فعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (مانند کاتالاز، سوپر اکسید دسموتاز، گایاکول پراکسیداز، اسکوربیک پراکسیداز، پلی‌فنول اکسیداز و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل)، تجمع ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (فنول، فلاونوئید و اسید آسکوربیک)، سنتز آسمیلات‌ها (پرولین، گلايسین-بتائین، قندهای محلول و پروتئین محلول) برای بهینه‌سازی پاسخ تحمل به تنش شوری در طی رشد اولیه گیاه به‌خوبی توصیف شده است (Abdelaal et al., 2020; Goharrizi et al., 2020; Osman et al., 2021). یون‌های معدنی نیز در بهبود روند تنظیمات اسمزی بافت بذر بسیار مهم می‌باشند، اما حذف یون‌های سمی (سدیم و کلر) و پایداری مطلوب، نسبت پتاسیم به سدیم و تجمع مناسب کلسیم و پتاسیم نیز از راهکارهای مؤثر بر کاهش اثرات نامطلوب شوری در طی رشد گیاه است (Saddiq et al., 2021).

همچنین گزارش شده است که ثبات عملکرد سیستم فتوسنتزی تحت شرایط نامساعد محیطی بر میزان تحمل شدن گیاه به تنش‌ها، رشد و نمو گیاه، استقرار موفقیت‌آمیز گیاه و میزان تولیدات گیاهی تأثیر بالایی دارد (Faizan et al., 2021). چندین مطالعه در گیاهان ارزشمند دارویی کینوا (*Chenopodium quinoa*) (Mamedi et al., 2023)، رازیانه (*Foeniculum vulgare*) (Mohammadi et al., 2023)، مرزه (*Satureja hortensis*) (Estaji et al., 2018) نشان داده است که تنش شوری با کاهش میزان ترکیبات ثانویه فنولی، فلاونوئید، اسید آسکوربیک، کربوهیدرات محلول، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب اختلال در رشد بهینه گیاه می‌شود. فرآیند فیزیولوژیکی فتوسنتز در گیاه موجب تجمع گونه‌های فعال اکسیژن مانند هیدروژن پر اکسید (H_2O_2)، آنیون سوپر اکسید (O_2^{2-}) و رادیکال هیدروکسید ($HO^{\cdot}$) در سلول می‌شود که موجب خسارت‌های اکسیداتیو و در نتیجه کاهش انرژی سلول برای رشد می‌شود (Hnilickova et al., 2021). در این رابطه، در بسیاری از تحقیقات میدانی و نظری نشان داده شده است که تغییرات فتوسنتزی می‌تواند اثرات زیادی در بهره‌وری و تولیدات کشاورزی تحت هر دو شرایط بهینه و تنش‌زا (خشکی و شوری) محیطی داشته باشد و میزان تغییرات آن به زمان وقوع تنش، طول دوره تنش، مرحله رشد گیاه و نوع گونه گیاه بستگی دارد (Najar et al., 2019; Ors et al., 2019).

2021). همچنین گونه‌های فعال اکسیژن از طریق افزایش پراکسیداسیون چربی غشاء موجب افزایش سنتز ترکیب پراکسیداسیون چربی یا مالون دی آلدئید می‌شود که نشان‌دهنده میزان خسارت وارده به غشاء سلول تحت تنش‌های محیطی است و اندازه‌گیری آن یک شاخص فیزیولوژیکی مناسب در تعیین و تشخیص گونه‌های متحمل و حساس به تنش شوری کاربردهای زیادی داشته است (Zeeshan et al., 2020). در شرایط تنش شوری، نسبت بالای سدیم به پتاسیم، باعث کاهش عناصر ضروری از جمله پتاسیم در گیاه می‌شود و با عدم تعادل تغذیه‌ای، رشد گیاهان را محدود می‌کند (Moradi et al., 2018).

گونه‌های گیاهی بابونه کبیر (*T. parthenium*)، بومادران (*A. millefolium*) و قیچ (*Z. eurypterum*) از گونه‌های گیاهی بسیار با ارزش دارویی و معطر علفی چندساله با نیازهای بوم‌شناختی پایین می‌باشند که در صنایع غذایی و آرایشی بهداشتی و به‌خصوص بهره‌برداری از خواص دارویی آن‌ها مورد کشت و کار قرار می‌گیرند (Ahmadi et al., 2020; Radzhabov et al., 2022; Rehman et al., 2022). اما موفقیت در کشت این گیاهان با ارزش در بوم‌نظام‌های سخت نیاز به بررسی مراحل حساس اولیه رشد گیاه به تنش شوری جهت انتخاب اقلیم مناسب برای استقرار موفقیت‌آمیز گیاه و در نتیجه افزایش تولیدات دارد (Sanjerehei & Rundel, 2019). بنابراین اهداف این بخش از مطالعه عبارت‌اند از: ۱- پاسخ رشدی اولیه گیاهچه به تنش شوری، ۲- بررسی میزان تحمل بودن به تنش شوری بین سه گیاه مورد مطالعه در مرحله گیاهچه و ۳- بررسی تغییر سازوکارهای دفاعی سلول مرتبط با تحمل شدن به تنش شوری (کلروفیل، کاروتنوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، نسب عناصر معدنی پتاسیم به سدیم در دو اندام ریشه و ساقه این سه گونه متفاوت) تحت سطوح مختلف تنش شوری جهت بررسی کاربرد این گیاهان به‌عنوان گیاه زینتی منظرساز در فضای سبز شهری است.

مواد و روش‌ها

تهیه بذر

بذر سه گونه مورد مطالعه که شامل بابونه کبیر (*T. parthenium*)، بومادران (*A. millefolium*) و قیچ (*Z. eurypterum*) بودند، از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی استان تهران تهیه شدند. قبل از اجرای آزمایش، بذرها با سدیم هیپوکلریت دو درصد استریل شدند و سپس چندین بار با آب استریل شست‌وشو شدند.

شرایط رشد گیاهان

$$Car: \frac{[1000 \times A_{470} - 2.27 \times Chl a - 81.4 \times Chl b]/2271}{LW} \quad (۴)$$

که در آن، LW = leaf weight (mg) است.

سنجش مقدار پر اکسیداسیون چربی‌های غشاء

برای سنجش پر اکسیداسیون لیپیدهای غشاء، غلظت مالون‌دی-آلدهید به‌عنوان محصول پراکسیده‌شده اسیدهای چرب غشاها از نمونه‌های برگ و ریشه گیاهان اندازه‌گیری شد (Mamedi et al., 2023).

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل از نمونه‌های برگ و ریشه گیاهان استفاده شد و از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد تعیین گردید (Mamedi et al., 2023).

اندازه‌گیری عناصر معدنی سدیم و پتاسیم

ابتدا، همه نمونه‌های ریشه و برگ گیاهان مورد آزمایش خشک و خرد گردید و سپس با استفاده از با دستگاه فلیم فوتومتر (FPF7 Flame photometer-JENWAY, England) اندازه‌گیری شد (Kamiab et al., 2014).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD از سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج

میزان سدیم

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها برای میزان سدیم در برگ و ریشه هر سه گیاه حاکی از آن بود که هر دو اندام برگ و ریشه تحت تأثیر سطوح شوری قرار گرفتند. همچنین هر سه گیاه از نظر میزان سدیم برگ و ریشه واکنش متفاوتی به تنش شوری داشتند. در گیاهان *Z. eurypterum* و *A. millefolium* میزان سدیم در برگ بیشتر از ریشه بود. با افزایش تنش شوری، افزایش میزان سدیم در برگ‌های هر سه گیاه مشاهده گردید. در بین هر سه گیاه نیز بیشترین میزان سدیم (۲۲ میلی‌گرم بر گرم) به گیاه *Z. eurypterum* و در شرایط شوری شش دسی زیمنس بر متر اختصاص داشت (شکل ۱).

بذرها در شرایط گلخانه‌ای در عمق سه سانتی‌متری گلدان‌های پلاستیکی (۶۶، ۴۵ و ۲۳ سانتی‌متر) که حاوی رس/شن/پرلیت به نسبت مساوی بود، در گلخانه گروه باغبانی دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در ۱۵ آبان سال ۱۴۰۱ کشت شدند. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تمامی گیاهان مورد مطالعه با استفاده از محلول سدیم کلراید در چهار سطح شوری صفر (شاهد)، ۱/۵، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر به‌مدت شش هفته تحت تنش شوری قرار گرفتند. دمای گلخانه برای روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی ۶۰ الی ۸۰ درصد بود. شدت نور مورد نیاز برای فعال شدن فرآیند فتوسنتز ۵۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه به‌مدت ۱۲ ساعت در روز بود. پاسخ رشدی هر کدام از گونه‌های گیاهی در هر سطح عامل تنش شوری در سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفت و کلیه اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بعد از دوره زمانی شش هفته، زمانی که استقرار کامل گیاهان صورت گرفته بود، انجام شد. لازم به ذکر است که تمامی نمونه‌ها بعد از نمونه‌گیری با آب مقطر شست‌وشو شده و سپس از سطحی با کاغذ صافی گرفته شد و بلافاصله در دمای ۸۰- درجه سلسیوس تا زمان اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی نگهداری شدند.

اندازه‌گیری طول ریشه و ساقه

بعد از دوره زمانی شش هفته، زمانی که استقرار کامل گیاهان صورت گرفته بود، در هر تکرار، ۱۰ نمونه گیاهی به‌طور تصادفی انتخاب شده و سپس گیاه سالم و کامل با دقت از خاک جدا شدند. بعد از تفکیک قسمت ریشه و ساقه هر نمونه گیاهی، طول نمونه‌ها به‌وسیله خط‌کش مدرج مورد ارزیابی قرار گرفتند.

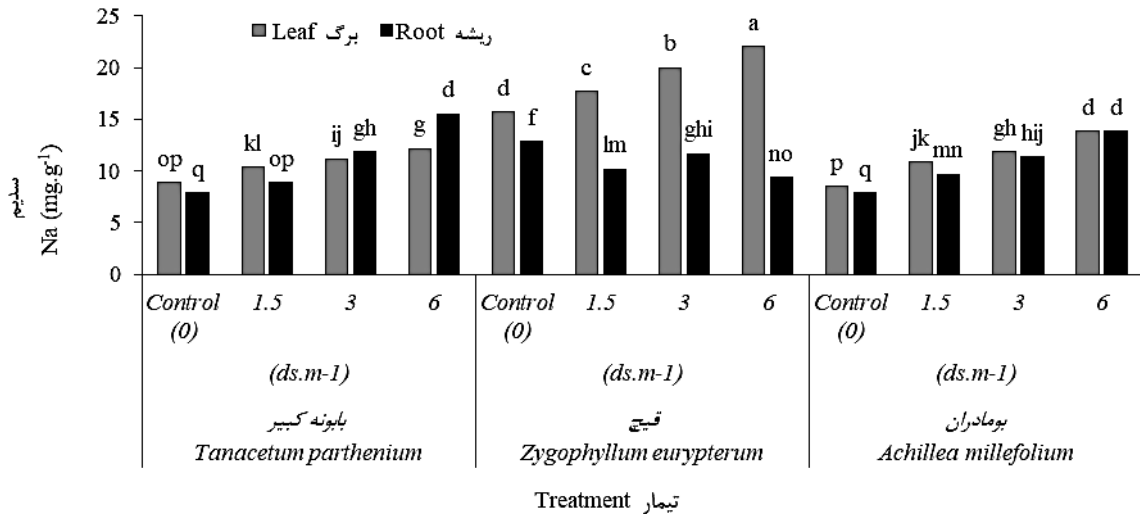
اندازه‌گیری کلروفیل و کاروتنوئید

به این منظور، ۰/۱ گرم از بافت (برگ) تازه گیاه با یک میلی‌لیتر استون ۱۰۰ درصد عصاره‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید، جذب رنگیزه‌های اختصاصی در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۵۲، ۶۶۲ و ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Akcin & Yalcin, 2016):

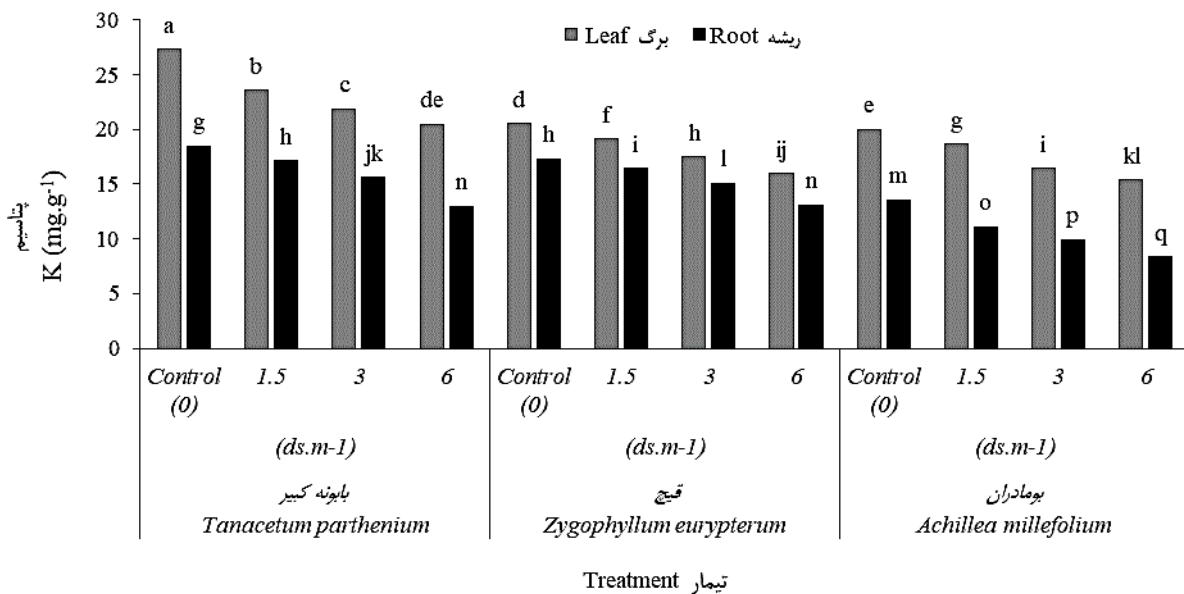
$$Total\ Chl: (A_{652} \times 27.8)/LW \quad (۱)$$

$$Chl\ a: (11.75 \times A_{662} - 2.35 \times A_{645})/LW \quad (۲)$$

$$Chl\ b: (18.61 \times A_{645} - 3.96 \times A_{662})/LW \quad (۳)$$



شکل ۱- محتوای سدیم در ریشه و برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری
Figure 1-The sodium content of the root and leaf of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity. (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۲- محتوای پتاسیم در ریشه و برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری
Figure 2- The potassium content of the root and leaf of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)

میزان پتاسیم

پتاسیم در برگ نسبت به ریشه بالاتر بود. در هر سه گیاه، بیشترین میزان پتاسیم برگ (۲۷/۳ میلی گرم در گرم) و ریشه (۱۸/۴۸ میلی گرم در گرم) در شرایط بدون شوری (شاهد) از گیاه *T. parthenium* به دست آمد و کمترین میزان پتاسیم برگ (۲۰/۰۱ میلی گرم در گرم) و ریشه (۸/۳۸ میلی گرم در گرم) به گیاه *A. millefolium* در شوری شش دسی زیمنس اختصاص داشت (شکل ۲).

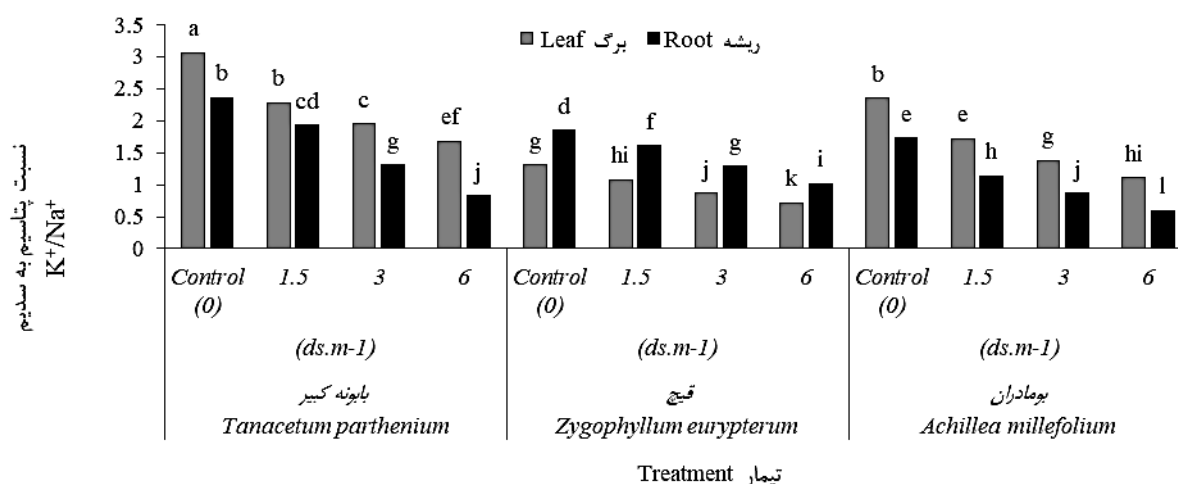
با افزایش تنش شوری، میزان پتاسیم ریشه و برگ در هر سه گیاه روند کاهشی در پی داشت، به طوری که در شش دسی زیمنس بر متر این کاهش چشمگیرتر بود. در بین سه گیاه، *T. parthenium* نسبت به دو گیاه دیگر در تمام سطوح شوری، میزان پتاسیم بالاتری در هر دو اندام ریشه و برگ داشت. همچنین در هر سه گیاه، میزان

غلظت مالون دی آلدئید

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها برای غلظت مالون دی آلدئید در سه گیاه مورد مطالعه نشان داد که افزایش غلظت مالون دی آلدئید در هر دو قسمت ریشه و برگ در اثر افزایش پتانسیل شوری مشهود بود، ولی در برگ گیاه *T. parthenium* این افزایش چشمگیر و قابل توجه بود. در گیاهان *A. millefolium* و *T. parthenium* غلظت مالون دی آلدئید در برگ بیشتر از ریشه بود، اما در گیاه *Z. eurypterum* برعکس بود (شکل ۴)

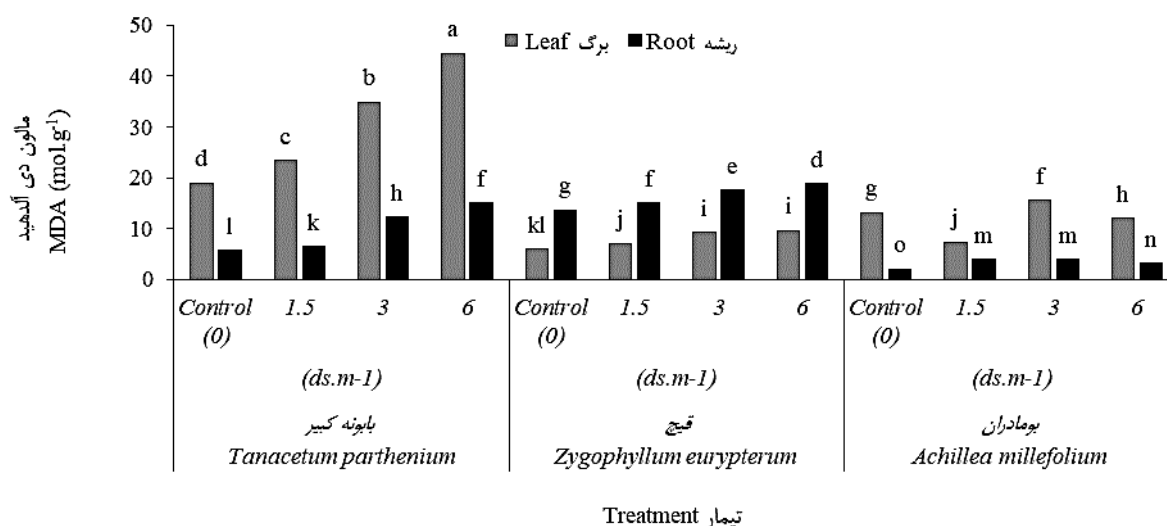
نسبت پتاسیم به سدیم

نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه و برگ هر سه گیاه نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت. با افزایش سطوح شوری، نسبت پتاسیم به سدیم در هر سه گیاه روند کاهشی به دنبال داشت. گیاه *T. parthenium* در تمام سطوح شوری نسبت به دو گیاه دیگر هم در ریشه و هم برگ نسبت پتاسیم به سدیم بیشتری را داشت (شکل ۳).



شکل ۳- نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه و برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 3- The K^+/Na^+ ratio of the root and leaf of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity. (LSD, $p \leq 0.05$)



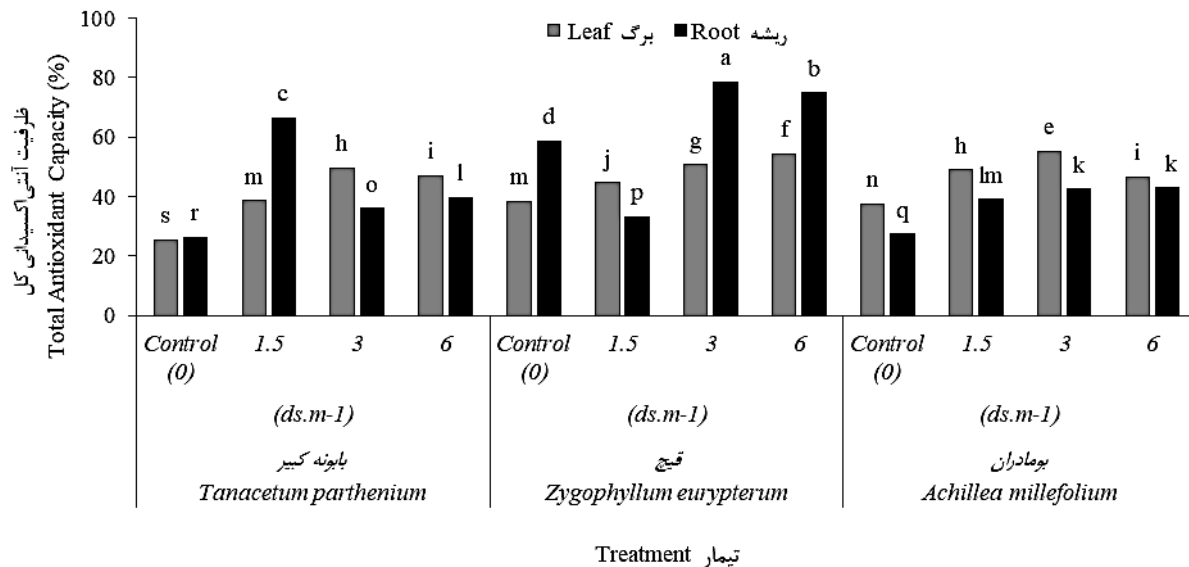
شکل ۴- میزان مالون دی آلدئید در ریشه و برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 4- The MDA amount of the root and leaf of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل

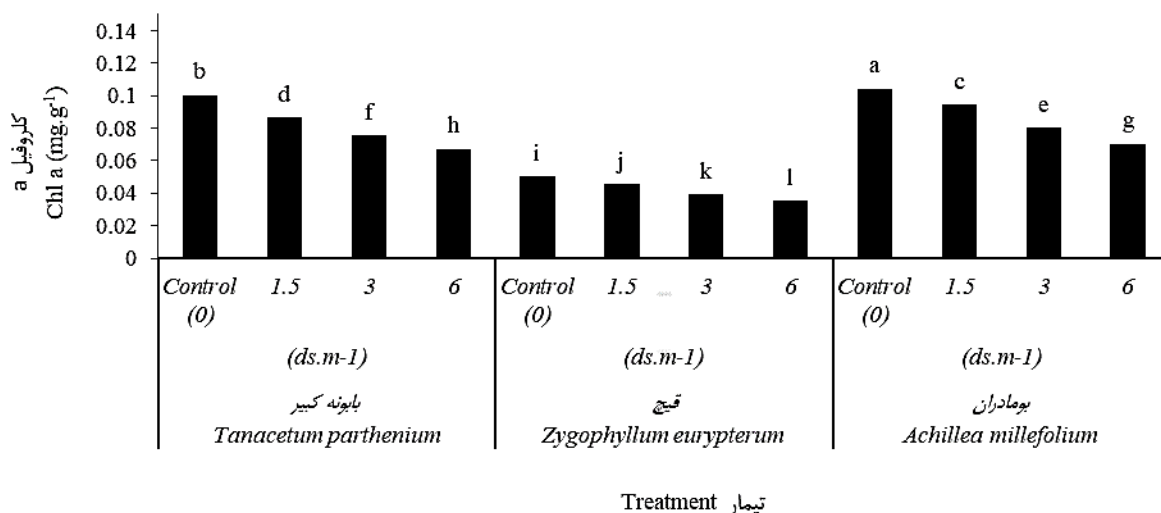
نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که هر سه گیاه از نظر ظرفیت آنتی اکسیدانی کل، واکنش متفاوت و معنی‌داری به تنش شوری داشتند. در برگ گیاهان *A. millefolium* و *T. parthenium* با افزایش سطح شوری سه دسی زیمنس بر متر روند افزایشی و سپس کاهشی مشاهده شد. همچنین در تمام سطوح شوری، ظرفیت

آنتی اکسیدانی کل در برگ گیاه *A. millefolium* بیشتر از ریشه آن بود. در تمام سطوح شوری و در هر سه گیاه، بیشترین ظرفیت آنتی اکسیدانی کل (۷۸/۵۷ درصد) به ریشه گیاه *Z. eurypterum* و شرایط شوری سه دسی زیمنس بر متر اختصاص داشت و کمترین شوری مربوط بود (شکل ۵).



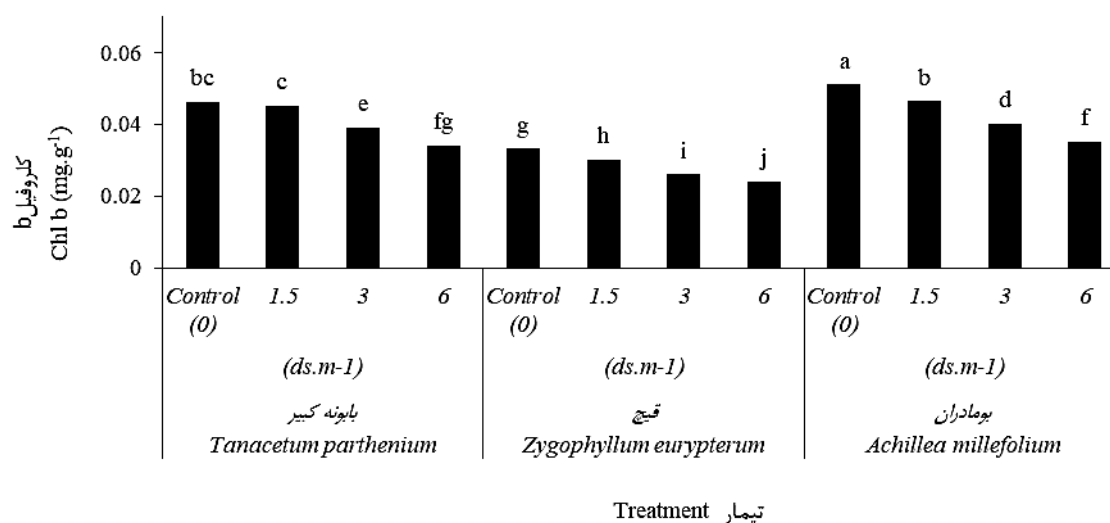
شکل ۵- ظرفیت آنتی اکسیدانی کل در ریشه و برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 5- The total antioxidant capacity of the root and leaf of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)

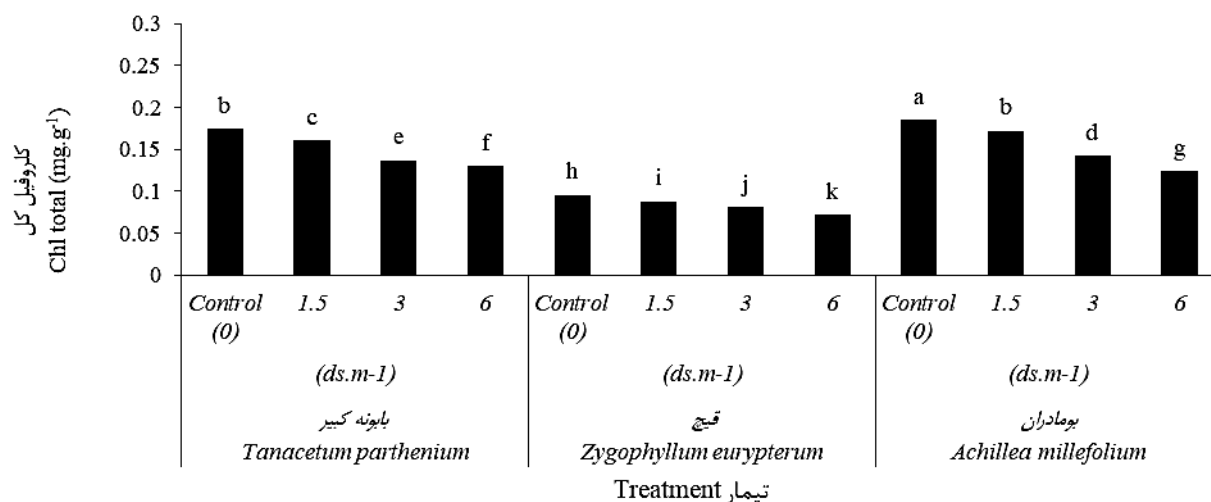


شکل ۶- محتوای کلروفیل a در برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 6- The leaf chlorophyll a content of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۷- محتوای کلروفیل b در برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بوماداران در سطوح مختلف شوری
 Figure 7- The leaf chlorophyll b content of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۸- محتوای کلروفیل کل در برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بوماداران در سطوح مختلف شوری
 Figure 8- The total chlorophyll content of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* under different levels of salinity (LSD, $p \leq 0.05$)

(۰/۰۳۵ میلی گرم در گرم) و کل (۰/۱۲۳ میلی گرم در گرم) نیز در شرایط شوری شش دسی زیمنس بر متر و در گیاه *Z. eurypterum* مشاهده شد (شکل ۶، شکل ۷ و شکل ۸).

محتوای کاروتنوئید

محتوای کاروتنوئید نیز مشابه محتوای کلروفیل کل تحت تأثیر تیمارهای شوری قرار گرفت. در گیاه *T. parthenium* از سطح بدون تنش تا سطح شوری سه دسی زیمنس بر متر روند کاهشی و در سطح شش دسی زیمنس بر متر افزایش محتوای کاروتنوئید مشاهده شد، اما

محتوای کلروفیل a و b و کل

در تمام سطوح شوری، محتوای کلروفیل برگ a، b و کل در گیاه *A. millefolium* نسبت به دو گیاه دیگر بیشتر بود. همچنین در هر سه گیاه مورد آزمایش، روند کاهشی در محتوای آن با افزایش سطوح شوری وجود داشت، به طوری که بیشترین محتوای کلروفیل برگ a (۰/۱۰۴ میلی گرم در گرم)، محتوای کلروفیل برگ b (۰/۰۵۱ میلی گرم در گرم) و کل (۰/۱۸۴ میلی گرم در گرم) در شرایط بدون تنش و از گیاه *A. millefolium* به دست آمد و کمترین محتوای کلروفیل برگ a (۰/۰۷ میلی گرم در گرم)، محتوای کلروفیل برگ b

شوری از سطح ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری را از نظر آماری نشان نداد (شکل ۹).

بحث

شوری آب و خاک یکی از مسائل مهم جهانی برای کشاورزی پایدار و ثبات بوم‌شناختی است، زیرا با ایجاد اختلال در فرآیندهای سلولی و فیزیولوژیکی بر رشد و نمو گیاهان در تمام مراحل رشد تأثیر می‌گذارد (Bakhoum et al., 2020). مراحل اولیه رشدی گیاهان حساسیت بالایی به تنش‌های محیطی دارد که به‌طور مستقیم بر میزان استقرار موفقیت‌آمیز گیاهان به‌خصوص در بوم‌نظام‌های سخت محیطی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کند (Alam et al., 2020)، بنابراین مطالعه و شناخت پاسخ‌های بوم‌شناختی و فیزیولوژیکی مراحل اولیه رشد سه گونه گیاه زینتی معطر بابونه کبیر، بومادران و قیچ می‌تواند در کشت موفقیت‌آمیز آن‌ها تحت شرایط نامساعد محیطی و پراکنش جغرافیایی به بوم‌نظام‌های جدید مفید واقع شود.

نتایج این آزمایش نشان داد که در هر سه گونه گیاهی مورد مطالعه میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید تحت تنش شوری ناشی از سدیم کلرید کاهش یافت. در این راستا، گزارش شده است که کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تنش شوری به‌دلیل تخریب رنگدانه‌های فتوسنتزی و در نهایت ناپایداری دستگاه فتوسنتزی است (Hatam et al., 2020).

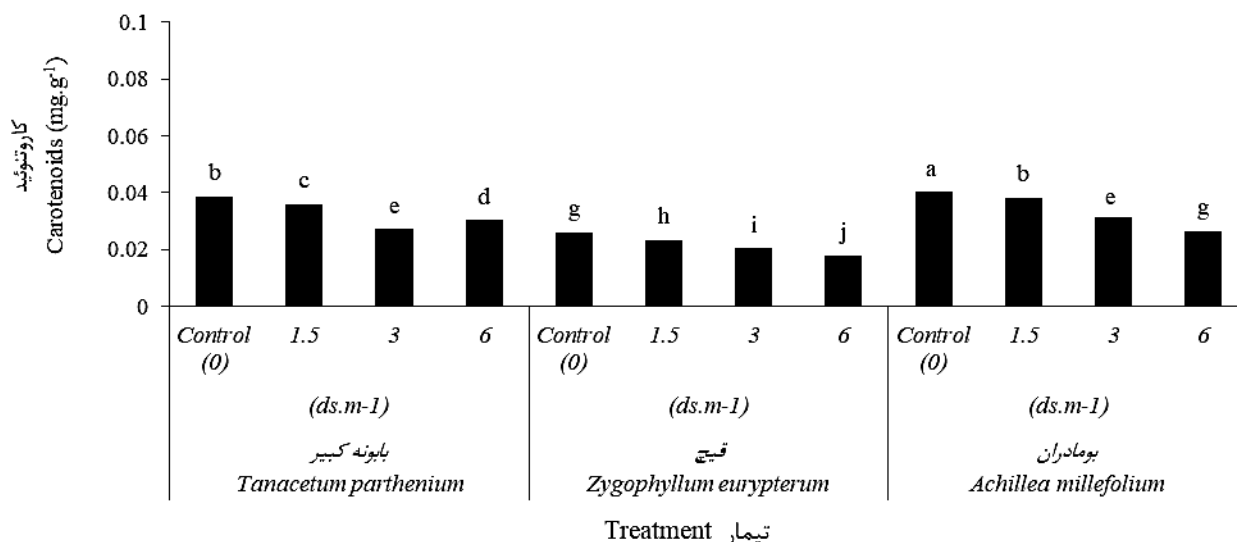
در هر دو گیاه *Z. eurypterum* و *A. millefolium* روند کاهشی محتوای کاروتنوئید با افزایش سطوح شوری وجود داشت. گیاه *A. millefolium* نسبت به دو گیاه دیگر در تمام سطوح شوری، محتوای کاروتنوئید بیشتری را داشت (شکل ۹).

طول اندام هوایی

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها برای طول اندام هوایی سه گونه گیاهی مورد مطالعه حاکی از آن بود که در هر سه گیاه، سطح بدون تنش بیشترین طول اندام هوایی را داشت. در گیاه بابونه کبیر سطح ۱/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما این دو سطح با سطح شش دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. در هر دو گیاه قیچ و بومادران با افزایش شوری از سطح ۱/۵ به ۶ دسی‌زیمنس بر متر کاهش جزئی در طول اندام هوایی مشاهده شد که از نظر آماری نیز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱۰).

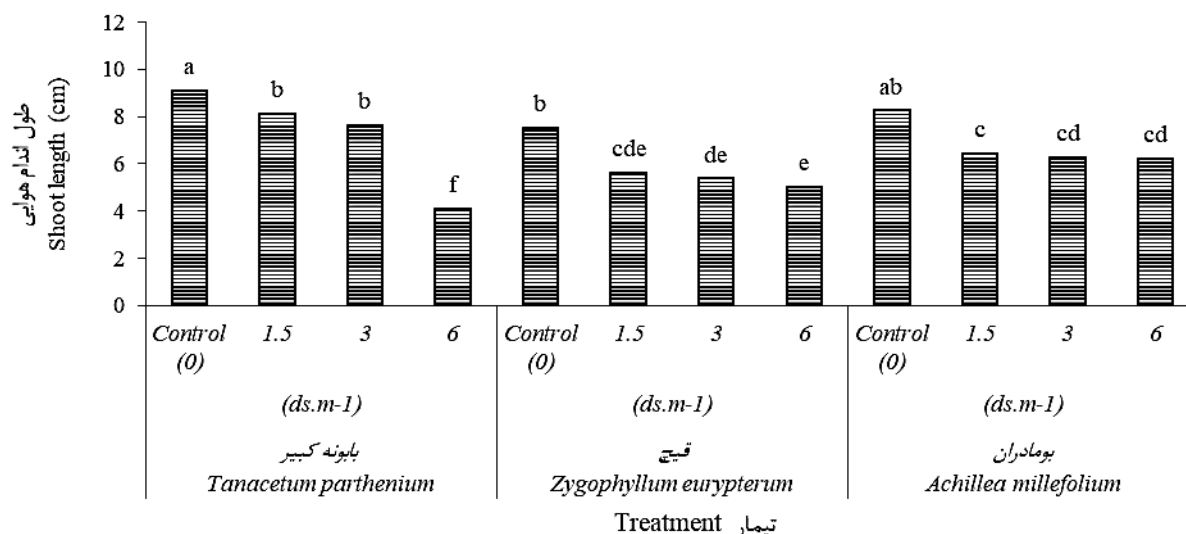
طول ریشه

برای طول ریشه سه گیاه مورد مطالعه نیز با افزایش از سطح بدون تنش تا سطح ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری وجود داشت. در گیاه بابونه کبیر، سطوح ۱/۵ و ۳ دسی‌زیمنس اختلاف معنی‌داری نداشتند و کمترین طول ریشه در این گیاه در سطح شش دسی‌زیمنس مشاهده شد. در دو گیاه قیچ و بومادران نیز افزایش

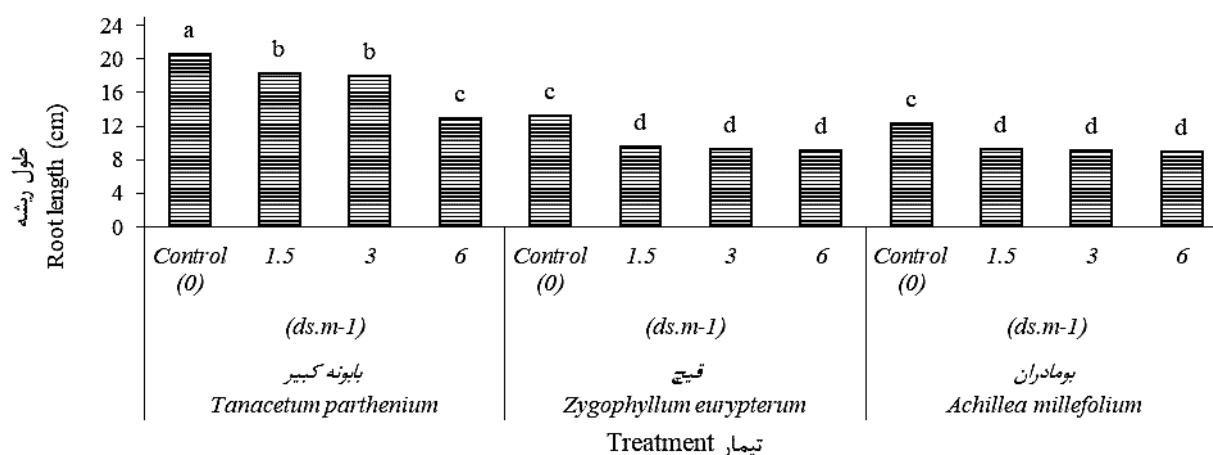


شکل ۹- محتوای کاروتنوئید در برگ گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری

Figure 9- The leaf carotenoid content of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* at different salinity levels (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۱۰- طول اندام هوایی گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری
Figure 10- The shoot length of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* at different salinity levels (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۱۱- طول ریشه گونه‌های بابونه کبیر، قیچ و بومادران در سطوح مختلف شوری
Figure 11- The root length of *Tanacetum parthenium*, *Achillea millefolium*, and *Zygophyllum eurypterum* at different salinity levels. (LSD, $p \leq 0.05$)

سازوکارهای فیزیولوژیکی، استقرار، میزان رشد، زیست‌توده و عملکرد گیاه تأثیر گذاشت که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. در همه سطوح تنش شوری مورد آزمایش، رنگیزه‌های فتوسنتزی (a, b, کل و کاروتنوئید) و در نهایت ظرفیت فتوسنتزی در گونه قیچ (*Z. eurypterum*) نسبت به دو گونه گیاهی دیگر کمتر تحت تأثیر قرار گرفت، زیرا با افزایش غلظت شوری از صفر به شش دسی زیمنس بر متر، میزان کلروفیل کل ۲۲ درصد کاهش یافت، اما در دو گونه *T. parthenium* و *A. millefolium* به ترتیب به ۳۰ و ۳۴ درصد کاهش یافت. علت کاهش کمتر میزان کلروفیل کل در غلظت بالای

این اتفاق همچنین می‌تواند به تأثیر منفی یون‌های سمی نمک (سدیم و کلر) در اجزاء ساختاری کلروفیل II، کاهش سنتز و فعالیت پروتئین‌های اختصاصی دستگاه فتوسنتزی باشد (Faizan et al., 2021). در این رابطه، در بسیاری از تحقیقات مرتبط روی گونه‌های سیاه شور *Suaeda prostrata* (Akcin & Yalcin, 2016)، کنان *Linum usitatissimum* (Dubey et al., 2020)، میخک قرنفل *Dianthus caryophyllus* (Kwon et al., 2019) و شیرین‌بیان *Glycyrrhiza glabra* (Hamidian et al., 2023) گزارش شده است که تنش شوری با کاهش ظرفیت فرایند فتوسنتزی بر

شوری، ظرفیت آنتی اکسیدانی کل در ریشه و ساقه هر سه گونه مورد مطالعه افزایش یافت و مقدار افزایش آن با توجه به اندام و نوع گونه گیاهی متفاوت بود.

شوری علاوه بر ایجاد خسارت اکسیداتیو به بافت‌های حیاتی گیاه، از طریق کاهش پتانسیل اسمزی مانع جذب آب توسط ریشه گیاه شده و به دنبال آن رشد و بسط سلول مختل می‌شود (Sarker & Oba, 2020). همچنین قابل ذکر است که سه گونه مورد مطالعه *T. eurypterum* و *A. millefolium parthenium* از طریق حفظ پتانسیل اسمزی در دو اندام ریشه و ساقه موجب متحمل شدن به تنش شوری و در نتیجه حفظ پتانسیل رشدی شدند. در این راستا، به‌خوبی گزارش شده است که پتانسیل اسمزی سلولی در گیاهان از طریق تجمع آسمیلات‌ها مانند ترکیبات آلی و معدنی در پاسخ به تنش شوری تنظیم می‌شود (Mahouachi, 2018).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرتبط با رشد گونه‌های مورد مطالعه به سطوح مختلف شوری متفاوت بود. رشد هر سه گونه در شدیدترین سطح تنش شوری به‌طور کامل مختل نشد، اما در همه غلظت‌های شوری اعمال‌شده، پاسخ فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل تنش شوری و در نتیجه میزان رشد اندام‌های هوایی و ریشه گیاه بایسته تغییرات و بیشتر از دو گونه معطر دارویی دیگر بود. از این‌رو، می‌توان انتظار داشت که به‌کارگیری این گیاهان معطر *T. parthenium* و *A. millefolium* و *Z. eurypterum* یک راهکار مناسب و مقرون‌به‌صرفه جهت حفظ پایداری بوم‌شناسی فضای سبز، به‌خصوص در اقلیم‌های شور باشد. همچنین، اطلاعات به‌دست‌آمده از این مطالعه به درک بیشتر زیست‌شناس‌ها در برنامه‌های اصلاح مولکولی و در نتیجه برای بهبود رشد این گونه‌های گیاهی در مناطق شور کمک خواهد نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از کمک‌های علمی جناب آقای دکتر بهروز ملک پور کمال تشکر را دارند.

شوری نسبت به شاهد در گیاه قیچ، ممکن است به‌دلیل حفاظت آنتی اکسیدان‌ها از اجزاء ساختاری و پروتئین‌های ضروری دستگاه فتوسنتزی باشد. در این رابطه گزارش شده است که در صورت ظرفیت آنتی اکسیدانی بالا (از جمله ترکیبات آنتی اکسیدانی مانند فنول و فلاونوئید) و عملکرد مناسب آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، دستگاه فتوسنتزی در تنش شوری کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Salimi et al., 2017).

تنش شوری از طریق افزایش مقدار گونه‌های فعال اکسیژن (مانند H_2O_2) باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در اندام گیاه می‌شود (Osman et al., 2021). در هر سه گونه مورد مطالعه، میزان خسارت تنش اکسیداتیو تحت سطوح مختلف تنش شوری با اندازه‌گیری میزان مالون دی آلدئید که نشانگر میزان ثبات غشاء سلولی است، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش تنش شوری، میزان خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو به بخش حیاتی غشاء سلولی به‌طور چشمگیری در دو اندام ساقه و ریشه افزایش یافت. در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که تنش شوری از طریق القاء تنش اکسیداتیو موجب افزایش فرآیند پراکسیداسیون لیپید و در نتیجه افزایش ناپایداری غشاء سلولی در پنبه (*Gossypium hirsutum*)، بادرنشی (*Dracocephalum moldavica*) و اسفرزه (*Plantago ovata*) (Mohammadi et al., 2021) شد و میزان خسارت تنش اکسیدپتانسیل ساتیو به گونه‌های مختلف گیاهی، با توجه به ظرفیت و ازوکارهای دفاعی سلول متفاوت بود. در این رابطه، گزارش شده است که سازوکارهای دفاعی سلول با کاهش اثرات مضر تنش اکسیداتیو بر اندام‌های حیاتی سلول موجب پایداری ظرفیت فتوسنتز، حفظ سازوکارهای فیزیولوژیکی و در نتیجه رشد بهینه و عملکرد مطلوب گیاهان تحت تنش شوری شد (Altaf et al., 2021; Khalvandi et al., 2021).

پاسخ رشدی و متابولیکی گیاهان به تنش شوری به ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاهان بستگی دارد و از آنجایی که تنش شوری باعث ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود، آنتی اکسیدان‌ها نقش مهمی در حفاظت از فعالیت پروتئین‌ها و پایداری بخش‌های حیاتی سلول ایفا می‌کند (Abdel-Farid et al., 2020). در این مطالعه، با افزایش تنش

References

1. Abdelaal, K.A., Mazrou, Y.S., & Hafez, Y.M. (2020). Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. *Plants*, 9(6), 733. <https://doi.org/10.3390/plants9060733>
2. Abdel-Farid, I.B., Marghany, M.R., Rowezek, M.M., & Sheded, M.G. (2020). Effect of Salinity stress on growth and metabolomic profiling of *Cucumis sativus* and *Solanum lycopersicum*. *Plants*, 9(11), 1626. <https://doi.org/10.3390/plants9111626>

3. Ahmadi, S.Z., Ghorbanpour, M., Aghaee, A., & Hadian, J. (2020). Deciphering morpho-physiological and phytochemical attributes of *Tanacetum parthenium* L. plants exposed to C60 fullerene and salicylic acid. *Chemosphere*, 259, 127406. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127406>
4. Akcin, A., & Yalcin, E. (2016). Effect of salinity stress on chlorophyll, carotenoid content, and proline in *Salicornia prostrata* Pall. and *Suaeda prostrata* Pall. subsp. *prostrata* (Amaranthaceae). *Brazilian Journal of Botany*, 39, 101-106. <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0218-y>
5. Alam, A., Ullah, H., Attia, A., & Datta, A. (2020). Effects of salinity stress on growth, mineral nutrient accumulation and biochemical parameters of seedlings of three citrus rootstocks. *International Journal of Fruit Science*, 20(4), 786-804. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1674762>
6. Alfadil, A.A., Xia, J., Shaghaleh, H., Alhaj Hamoud, Y., Ibrahim, J.N., Hamad, A.A.A., Rahim, Sh.F., Sheteiwy, M., & Wu, T. (2021). Wheat straw biochar application improves the morphological, physiological, and yield attributes of maize and the physicochemical properties of soil under deficit irrigation and salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 44(16), 2399-2420. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1918156>
7. Altaf, M.A., Shahid, R., Ren, M.X., Altaf, M.M., Khan, L.U., Shahid, S., & Jahan, M. S. (2021). Melatonin alleviates salt damage in tomato seedling: A root architecture system, photosynthetic capacity, ion homeostasis, and antioxidant enzymes analysis. *Scientia Horticulturae*, 285, 110145. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110145>
8. Amin, A., Yasin, R., & Sarwar, M.I. (2019). A review: Impact of salinity on plant growth view project geochemistry view project. *Nature and Science*, 17, 34-40. <https://doi.org/10.7537/marsnsj170119.06>
9. Ashraf, M.P.J.C., & Harris, P.J. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166(1), 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>
10. Bakhoun, G.S., Sadak, M.S., & Badr, E.A.E.M. (2020). Mitigation of adverse effects of salinity stress on sunflower plant (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of chitosan. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00343-7>
11. Banerjee, A., & Roychoudhury, A. (2017). Effect of salinity stress on growth and physiology of medicinal plants. *Medicinal Plants and Environmental Challenges*, 177-188. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2022.4.3.496>
12. Boughalleb, F., Abdellaoui, R., Mahmoudi, M., & Bakhshandeh, E. (2020). Changes in phenolic profile, soluble sugar, proline, and antioxidant enzyme activities of *Polygonum equisetiforme* in response to salinity. *Turkish Journal of Botany*, 44(1), 25-35. <https://doi.org/10.3906/bot-1908-2>
13. Cheng, Y., Zhao, J., Ayisi, C.L., & Cao, X. (2022). Effects of salinity and alkalinity on fatty acids, free amino acids and related substance anabolic metabolism of Nile tilapia. *Aquaculture and Fisheries*, 7(4), 389-395. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.06.005>
14. Dubey, S., Bhargava, A., Fuentes, F., Shukla, S., & Srivastava, S. (2020). Effect of salinity stress on yield and quality parameters in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(2), 954-966. <https://doi.org/10.15835/nbha48211861>
15. Estaji, A., Roosta, H.R., Rezaei, S.A., Hosseini, S.S., & Niknam, F. (2018). Morphological, physiological and phytochemical response of different *Satureja hortensis* L. accessions to salinity in a greenhouse experiment. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 10, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.04.005>
16. Faizan, M., Bhat, J.A., Chen, C., Alyemeni, M.N., Wijaya, L., Ahmad, P., & Yu, F. (2021). Zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) induce salt tolerance by improving the antioxidant system and photosynthetic machinery in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 161, 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.002>
17. Goharrizi, K.J., Baghizadeh, A., Kalantar, M., & Fatehi, F. (2020). Combined effects of salinity and drought on physiological and biochemical characteristics of pistachio rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 261, 108970. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108970>
18. Hamidian, H., Sodaiezhadeh, H., Yazdani-Bioui, R., Hakimzadeh Ardakani, M.A., Soltani, M., & Khajeh Hosseini, S. (2023). Effect of salinity stress and planting method on morphological and physiological characteristics of Licorice in greenhouse. *Journal of Water Research in Agriculture*, 37(1), 35-48. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/jwra.2023.360235.948>
19. Hatam, Z., Sabet, M.S., Malakouti, M.J., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Homaei, M. (2020). Zinc and potassium fertilizer recommendation for cotton seedlings under salinity stress based on gas exchange and chlorophyll fluorescence responses. *South African Journal of Botany*, 130, 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.032>
20. Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P., & Hnilicka, F. (2021). Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. *Plants*, 10(5), 845. <https://doi.org/10.3390/plants10050845>

21. Kamiab, F., Talaie, A., Khezri, M., & Javanshah, A. (2014). Exogenous application of free polyamines enhance salt tolerance of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings. *Plant Growth Regulation*, 72, 257-268. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9857-9>
22. Khalvandi, M., Siosemardeh, A., Roohi, E., & Keramati, S. (2021). Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. *Heliyon*, 7(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05908>
23. Kwon, O.K., Mekapogu, M., & Kim, K.S. (2019). Effect of salinity stress on photosynthesis and related physiological responses in carnation (*Dianthus caryophyllus*). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 60, 831-839. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00189-7>
24. Mahouachi, J. (2018). Long-term salt stress influence on vegetative growth and foliar nutrient changes in mango (*Mangifera indica* L.) seedlings. *Scientia Horticulturae*, 234, 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.028>
25. Mamed, A., Sharifzadeh, F., Maali-Amiri, R., Divargar, F., & Rasoulnia, A. (2023). Ca²⁺-priming improves tolerance to osmotic stress in early growth stage of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by ameliorating the capacity of seed protective mechanism. *Russian Journal of Plant Physiology*, 70(3), 54. <https://doi.org/10.1134/s1021443722603214>
26. Mohammadi, M.H.Z., Panahirad, S., Navai, A., Bahrami, M.K., Kulak, M., & Gohari, G. (2021). Cerium oxide nanoparticles (CeO₂-NPs) improve growth parameters and antioxidant defense system in Moldavian Balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under salinity stress. *Plant Stress*, 1, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100006>
27. Moradi, S., Fazlali, A., & Hamed, H. (2018). Microwave-assisted hydro-distillation of essential oil from rosemary: Comparison with traditional distillation. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 10(1), 22.
28. Najar, R., Aydi, S., Sassi-Aydi, S., Zarai, A., & Abdelly, C. (2019). Effect of salt stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Medicago truncatula*. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 153(1), 88-97.
29. Ors, S., Ekin, M., Yildirim, E., Sahin, U., Turan, M., & Dursun, A. (2021). Interactive effects of salinity and drought stress on photosynthetic characteristics and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings. *South African Journal of Botany*, 137, 335-339. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.031>
30. Osman, M.S., Badawy, A.A., Osman, A.I., & Abdel Latef, A.A.H. (2021). Ameliorative impact of an extract of the halophyte *Arthrocnemum macrostachyum* on growth and biochemical parameters of soybean under salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 1245-1256. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10185-2>
31. Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., & Prasad, S.M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 4056-4075. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1>
32. Radzhabov, G.K., Aliev, A.M., Musaev, A.M., & Islamova, F.I. (2022). Variability of the constituent composition of *Achillea millefolium* essential oils in the wild flora of Dagestan. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 56(5), 661-666. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.046>
33. Rehman, N.U., Alsabahi, J.N., Alam, T., Khan, A., Ullah, S., & Al-Harrasi, A. (2022). Carbonic anhydrase-II, α -glucosidase, and chemical composition of essential oils from stem and leaves of *zygophyllum qatarense*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 25(4), 835-843.
34. Reza, D.T.A., Sohrab, M., Hossein Ali, A., & Masoom, S. (2021). Role of rhizospheric microorganisms in mitigating the adverse effect of salinity stress in *Plantago ovata* growth, biochemical and photosynthetic traits. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(8), 1060-1074. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2922-8_9
35. Saddiq, M.S., Iqbal, S., Hafeez, M.B., Ibrahim, A.M., Raza, A., Fatima, E. M., Baloch, H., Jahanzaib, Woodrow, P., & Ciarmiello, L.F. (2021). Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. *Agronomy*, 11(6), 1193. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061193>
36. Salimi, A., Rowshan, V., & Khanpoor, E. (2017). Effect of salinity on quality and quantity of essential oil components and antioxidant activity in yarrow (*Achillea millefolium* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32(6), 948-957. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109309>
37. Sanjerehei, M.M., & Rundel, P.W. (2019). Distribution of drought-tolerant plant species under future climate change in Iran. *Environmental & Experimental Biology*, 17(4). <https://doi.org/10.22364/eeb.17.16>
38. Sarker, U., & Oba, S. (2020). The response of salinity stress-induced *A. tricolor* to growth, anatomy, physiology, non-enzymatic and enzymatic antioxidants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 559876. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.559876>

39. Yadav, V.K., Gacem, A., Choudhary, N., Rai, A., Kumar, P., Yadav, K.K., Abbas, M., Barik, D., & Islam, S. (2022). Status of coal-based thermal power plants, coal fly ash production, utilization in India and their emerging applications. *Minerals*, 12(12), 1503. <https://doi.org/10.3390/min12121503>
40. Zeeshan, M., Lu, M., Sehar, S., Holford, P., & Wu, F. (2020). Comparison of biochemical, anatomical, morphological, and physiological responses to salinity stress in wheat and barley genotypes deferring in salinity tolerance. *Agronomy*, 10(1), 127. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010127>