Research Article

Iranian Journal of Forest and Poplar Research Vol. 42 No. 1, 2026

DOI: 10.22092/ijmapr.2026.368819.3529

Vol. 42, No. 1, Page 92-115(2026)

The effect of seaweed (*Sargassum johnstonii*) extract on the physiological and phytochemical characteristics of *Echinacea angustifolia* L. under salt stress conditions

Sahar Sarafraz[1], Marzieh Ghanbari Jahromi[2*] and Marjan Diyanat[3]

1- Department of Horticultural Science, Science and Research Branch (SR.C.), Islamic Azad University, Tehran, Iran
2*- Corresponding author, Department of Horticultural Science, Science and Research Branch (SR.C.), Islamic Azad University, Tehran, Iran, E-mail: ghanbari@srbiau.ac.ir
3- Department of Agronomy Science, Science and Research Branch (SR.C.), Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 16/03/2025 Revised: 07/02/2026 Accepted: 08/02/2026

Abstract

Background and Objective: Salinity stress is one of the most significant environmental factors limiting plant distribution worldwide, as it induces a wide range of morphophysiological and biochemical changes. Seaweed extract, widely recognized as a natural biostimulant in modern agriculture, can enhance plant defense mechanisms and improve tolerance to various stresses. Its application has been shown to increase chlorophyll content and enhance photosynthetic efficiency, ultimately contributing to greater biomass accumulation and improved crop yield.

Materials and Methods: This study aimed to evaluate the growth, physiological, and biochemical responses of the medicinal plant *Echinacea angustifolia* L. under salinity stress and seaweed extract application. Salinity stress was applied at four levels (0, 50, 75, and 100 mM NaCl), and *Sargassum johnstonii* extract was used at three levels (no foliar application as control, 1 g/L, and 2 g/L). The experiment was conducted as a factorial arrangement in a completely randomized design (CRD) with three replications. Seeds were obtained from Pakan Seed Company and germinated in seedling trays under greenhouse conditions. After reaching the four-leaf stage, seedlings were transplanted into pots. Salinity treatments were applied via irrigation using sodium chloride solution (50 mL) every four days. To prevent salt accumulation, pots were leached with non-saline water after every three saline irrigations. Salinity stress was maintained for 40 days. Foliar application of the seaweed extract was performed at 10-day intervals, resulting in a total of five applications over the treatment period. At the end of the experiment, during the flowering stage, morphological traits were measured in the greenhouse, and plant samples were harvested for laboratory analyses at the Food Science Laboratory of Islamic Azad University, Nour Branch. Measured parameters included morphophysiological traits (plant height, leaf number, number of lateral branches, and fresh and dry weight of aerial parts), photosynthetic pigments (chlorophyll a and b), biochemical traits (proline and soluble sugars), and phytochemical characteristics (total phenols, total flavonoids, and antioxidant activity).

Results: The results indicated that the main effect of salinity stress was significant for all measured traits. The main effect of seaweed extract was significant for most traits, except proline content and antioxidant activity. In addition, the interaction between salinity stress and seaweed extract had a significant effect on all traits. Salinity at 100 mM NaCl markedly reduced plant growth, including plant height and the fresh and dry weight of aerial parts. Furthermore, the concentrations of photosynthetic pigments (chlorophyll a and b) declined with increasing salinity levels. However, the application of seaweed extract alleviated the detrimental effects of salinity stress on Echinacea angustifolia and moderated its impact. The highest values for most growth-related traits were observed under non-saline

Copyright: © 2026 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

conditions with the application of 2 g/L seaweed extract. Overall, increasing the concentration of seaweed extract up to 2 g/L improved plant growth and performance across different salinity levels. At 75 mM NaCl, the highest accumulation of bioactive compounds, including total phenols, total flavonoids, and antioxidant activity, was recorded. Increasing seaweed extract concentration further stimulated the production of these compounds. Additionally, salinity stress led to increased accumulation of osmoprotectants such as soluble carbohydrates and proline compared to the control, which likely contributed to enhanced stress tolerance. Among the tested treatments, 2 g/L seaweed extract consistently showed the most positive effects on the evaluated traits, even under non-saline conditions.

Conclusion: Overall, the findings indicate that *Echinacea angustifolia* is relatively sensitive to salinity stress, with a pronounced decline in growth and yield observed under increasing salinity levels. Although the application of seaweed extract mitigated the adverse effects of salinity, the 2 g/L concentration was the most effective, playing a key role in reducing stress intensity by enhancing plant growth and promoting the accumulation of important metabolites.

Keywords: Proline, salinity stress, Algae extract, total phenols, chlorophyll content.

تأثیر عصاره جلبک دریایی سارگاسوم (*Sargassum johnstonii*) بر رشد و ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea angustifolia* L.) در شرایط تنش شوری

سحر سرافراز[۱]، مرضیه قنبری‌جهرمی[۲*] و مرجان دیانت[۳]

۱- کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

پست‌الکترونیک: ghanbari@iau.ac.ir

۳- دانشیار، گروه علوم زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مهمترین عوامل اقلیمی که بر توزیع و پراکنش گیاهان سراسر جهان تأثیرگذار بوده و می‌تواند تغییرات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاه ایجاد کند، تنش شوری است. عصاره جلبک دریایی به عنوان یک محرک زیستی طبیعی در کشاورزی مدرن با تقویت سیستم ایمنی گیاهان، مقاومت آنها را در برابر انواع تنش‌ها افزایش می‌دهد. استفاده از این عصاره می‌تواند باعث افزایش کلروفیل و بهبود فرایند فتوسنتز شود، که در نهایت منجر به افزایش تولید زیست توده و عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود.

مواد و روش‌ها: این تحقیق برای بررسی رشد، خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea angustifolia* L.) تحت تنش شوری در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و عصاره جلبک دریایی (*Sargassum johnstonii*) در سه سطح (عدم محلول‌پاشی (شاهد)، عصاره ۱ گرم و ۲ گرم در لیتر)؛ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. بذرهای گیاه سرخارگل از شرکت پاکان بذر تهیه و در گلخانه در سینی نشا کاشته شدند. نشاها پس از رسیدن به مرحله چهار برگی، به گلدان منتقل شدند. تنش شوری با کلریدسدیم (NaCl) از طریق آب آبیاری با حجم ۵۰ میلی‌لیتر به فاصله چهار روز اعمال گردید. پس از سه مرتبه آبیاری با آب شور، آبشویی با آب معمولی برای جلوگیری از تجمع نمک در گلدان انجام شد. تنش شوری به مدت ۴۰ روز ادامه یافت. محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی سارگاسوم به مدت ۴۰ روز با فاصله ۱۰ روز یکبار در پنج مرتبه انجام شد. در مرحله گلدهی، پس از اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک در گلخانه، برداشت گیاهان انجام شد. صفات مطالعه شده شامل ویژگی‌های مورفولوژیک و ماده خشک (ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی)، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a و b برگ) و صفات فیتوشیمیایی (پرولین، کربوهیدرات محلول، فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی) گیاه بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد اثر اصلی تنش شوری بر همه صفات معنی‌دار بود؛ به‌نحوی‌که اثر اصلی تیمار عصاره جلبک دریایی بر اغلب صفات (به‌جز پرولین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی) تفاوت معنی‌دار نشان داد. اثر متقابل تیمارها نیز بر تمام صفات، تفاوت معنی‌دار داشت. تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl سبب کاهش شدید رشد گیاه و صفاتی مانند ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی شد. محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه با افزایش مقدار نمک NaCl کاهش یافت. استفاده از عصاره جلبک دریایی سبب کاهش اثر منفی تنش شوری در سرخارگل شد و به نوعی شدت آن را تعدیل کرد؛ اگرچه بیشترین مقادیر عددی این صفات در شرایط عدم تنش شوری و کاربرد عصاره جلبک ۲ گرم در لیتر مشاهده گردید؛ بنابراین می‌توان این گونه بیان کرد که در سطوح مختلف تنش شوری، افزایش غلظت عصاره جلبک تا ۲ گرم در لیتر موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه سرخارگل شد. در تیمار ۷۵ میلی‌مولار NaCl،

بیشترین مقدار ترکیب‌های فنلی سرخارگل (فنل کل، فلاونوئید کل) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه مشاهده گردید؛ اگرچه افزایش غلظت عصاره جلبک در این صفات نیز به عنوان محرک تولید ترکیب‌های مؤثره عمل نمود. همچنین به موجب آن سنتز کربوهیدرات محلول و پرولین نسبت به شاهد افزایش یافت که موجب مقاومت بهتر گیاه به شرایط نامساعد محیطی شد. از میان غلظت‌های جلبک دریایی، عصاره جلبک ۲ گرم در لیتر اثر مثبت بیشتری بر صفات مورد مطالعه حتی در شرایط عدم تنش شوری داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج کلی تحقیق نشان داد که گیاه سرخارگل نسبت به تنش شوری خیلی مقاوم نبوده و کاهش عملکرد کاملاً مشهود بود. عصاره جلبک دریایی اگرچه منجر به تعدیل اثرهای تنش شوری در گیاه سرخارگل شد اما غلظت ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک نقش بیشتری در تعدیل شدت تنش شوری با افزایش رشد و تولید ترکیبات متابولیک گیاه داشت.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش شوری، عصاره جلبک، فنل کل، محتوای کلروفیل.

مقدمه

سرخارگل با نام علمی *Echinacea angustifolia* L.، گیاهی دارویی از خانواده کاسنی (Asteraceae) و بومی مناطق شمال آمریکا است که به‌دلیل خواص تقویت‌کننده سیستم ایمنی بدن شهرت فراوانی دارد (Ahmadi, 2024). این گیاه به‌طور سنتی توسط بومیان آمریکا برای درمان انواع بیماری‌ها ازجمله عفونت‌ها، زخم‌ها و حتی مارگزیدگی استفاده می‌شد (Ghutke *et al.*, 2023). امروزه سرخارگل به شکل مکمل‌های غذایی، چای، عصاره و کپسول در دسترس است و به عنوان یک درمان طبیعی برای پیشگیری و بهبود سرماخوردگی، آنفولانزا و سایر عفونت‌های تنفسی استفاده می‌شود (Aarland *et al.*, 2017). مطالعات علمی نشان داده‌اند که ترکیبات فعال موجود در سرخارگل، مانند فلاونوئیدها و آلکامیدها، می‌توانند فعالیت سیستم ایمنی را تحریک کرده و به بدن در مبارزه با عوامل بیماری‌زا کمک کنند. علاوه‌بر این، این گیاه دارای خواص ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی است که می‌تواند به کاهش التهاب و محافظت از سلول‌ها در برابر آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد کمک کند (Ahmadi, 2024).

تنش شوری یکی از مهمترین چالش‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که تأثیرات منفی قابل توجهی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد (Ahmadi *et al.*, 2022). شوری خاک یا آب آبیاری باعث افزایش غلظت نمک‌های محلول، به‌ویژه یون‌های سدیم (Na^+) و کلر (Cl^-)، در محیط ریشه می‌شود. این افزایش غلظت نمک‌ها منجر به کاهش ظرفیت آب خاک شده و جذب آب توسط ریشه‌ها را با مشکل مواجه می‌کند، که به آن تنش اسمزی می‌گویند. در نتیجه، گیاهان برای جذب آب به انرژی بیشتری نیاز دارند و رشد آنها کاهش می‌یابد (Choirunnisa *et al.*, 2021). علاوه‌بر این، تجمع یون‌های سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی می‌تواند باعث سمیت یونی شود که بر عملکرد آنزیم‌ها، فتوسنتز و تقسیم سلولی تأثیر منفی می‌گذارد. تنش شوری همچنین باعث اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری مانند پتاسیم (K^+)، کلسیم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) می‌شود، زیرا یون‌های سدیم با این عناصر رقابت می‌کنند. این عدم تعادل غذایی می‌تواند منجر به کاهش کلروفیل، کاهش سرعت فتوسنتز و در نهایت کاهش تولید زیست‌توده و عملکرد محصول شود (Patwa *et al.*, 2024). علاوه‌بر اثرهای فیزیولوژیکی، تنش شوری می‌تواند ساختار خاک را نیز تخریب کند و نفوذپذیری آب و هوا را کاهش دهد که این موضوع، مشکلات بیشتری برای رشد گیاهان ایجاد می‌کند. برای مقابله با تنش شوری، روش‌هایی مانند استفاده از ارقام مقاوم به شوری، بهبود مدیریت آبیاری، شستشوی خاک و کاربرد مواد اصلاح‌کننده خاک مورد توجه قرار گرفته‌اند (Hussain *et al.*, 2019). با این حال، درک کامل سازوکارهای تحمل شوری در

گیاهان و توسعه راهکارهای مؤثر برای کاهش اثرهای منفی آن، همچنان به‌عنوان یک موضوع تحقیقاتی مهم در علوم کشاورزی مطرح است.

عصاره جلبک دریایی به‌عنوان یک محرک زیستی طبیعی در کشاورزی مدرن مورد توجه فراوان قرار گرفته است. این عصاره سرشار از ترکیب‌های مفید مانند هورمون‌های رشد گیاهی (مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین)، آمینواسیدها، ویتامین‌ها، مواد معدنی و پلی‌ساکاریدها است که به بهبود رشد و عملکرد گیاهان کمک می‌کنند (Kumar *et al*., 2024). این ترکیب‌ها همچنین باعث افزایش جذب عناصر غذایی از خاک شده و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک را تحریک می‌کنند. علاوه‌بر این، عصاره جلبک دریایی با تقویت سیستم ایمنی گیاه، مقاومت آنها را در برابر بیماری‌ها و آفات افزایش می‌دهد (Bonomelli *et al*., 2018). تحقیقات نشان داد که استفاده از این عصاره می‌تواند باعث افزایش کلروفیل و بهبود فرایند فتوسنتز شود، که در نهایت منجر به افزایش تولید زیست‌توده و عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود (Carvalho *et al*., 2018؛ Mukherjee & Patel, 2020). به‌دلیل خواص ضدتنش و تغذیه‌ای عصاره جلبک دریایی، از آن به‌طور گسترده در کشاورزی ارگانیک و پایدار استفاده می‌شود. این ماده به شکل‌های مختلف مانند محلول‌پاشی، آبیاری و خاک کاربرد دارد و تأثیرات مثبت آن بر رشد گیاهان در مراحل مختلف رشد، ازجمله جوانه‌زنی، رشد رویشی و زایشی و نیز در برابر تنش‌های غیرزیستی ازجمله خشکی، شوری و گرما، به اثبات رسیده است (Elansary *et al*., 2017). با توجه به مزایای فراوان عصاره جلبک دریایی، استفاده از آن به‌عنوان یک جایگزین طبیعی برای کودهای شیمیایی و محرک‌های رشد مصنوعی در حال افزایش است.

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که تنش شوری تأثیرات قابل توجهی بر گیاهان دارویی دارد. در پژوهش‌های انجام شده بر روی گشنیز (*Coriandrum sativum*) مشخص شد که تنش شوری موجب کاهش رشد رویشی و عملکرد اسانس شده، در حالی که محتوای پرولین و غلظت یون‌های Na^+ و Cl^- در برگ‌ها را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (El-Kinany *et al*., 2019). به‌طور مشابه، در بررسی‌های انجام شده بر گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla*) تحت سطوح مختلف شوری مشاهده شد که تنش ملایم شوری منجر به افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود، در حالی که سطوح بالاتر شوری باعث تجمع پرولین به‌عنوان نشانگر تنش در گیاه می‌گردد (Rasekh *et al*., 2019).

در مطالعه‌ای با عنوان اثر عصاره جلبک دریایی (*Pterocladia capillacea*) روی پارامترهای رشد و ترکیب‌های بیوشیمیایی *Corchorus olitorius* L.، اثر عصاره جلبک در سه غلظت ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد در مقایسه با گروه شاهد (استفاده از کود NPK)، روی رشد، میزان ماده معدنی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و عملکرد گیاه بررسی شد. نتایج پژوهش بیانگر بیشترین ارتفاع بوته، وزن تر و تعداد برگ‌ها در تیمار کاربرد ۱۰ درصد عصاره جلبک دریایی در مقایسه با سایر تیمارها بود؛ همچنین گیاهان این تیمار نسبت به گیاهان شاهد افزایش بهره‌وری در آب را تا ۴۱/۲ درصد نشان دادند. بالاترین سطوح ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل، میزان کل فنل‌ها و فلاونوئیدها نیز مربوط به تیمار کاربرد ۱۰ درصد عصاره جلبک دریایی بوده و نتایج نشان داد این تیمار، رشد، عملکرد، مواد معدنی و آنتی‌اکسیدان‌های گل ختمی یهودی را افزایش داده است (Ashour *et al*., 2020). مطالعه‌ای به‌منظور بررسی نقش عصاره اسپیرولینا (*Spirulina platensis*) در بهبود رشد، ظرفیت فتوسنتزی و عملکرد گیاه زینتی لوپن (*Lupinus luteu*) با استفاده از غلظت‌های مختلف ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد عصاره متانولی *S. platensis* برای پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی انجام شد. رشد، محتوای رنگدانه فتوسنتزی و فعالیت فتوسنتزی (سرعت فتوسنتز) در ۳۵ روز کشت ثبت و اندازه‌گیری عملکرد و مشخصات پروتئینی بذر در روز

۶۰ انجام شد. برای هر دو تیمار، غلظت کم عصاره (۰/۲۵ درصد)، بیشترین موفقیت را در بهبود تمامی معیارهای رشد و سطح فیتوهورمونی گیاه داشت. رنگدانه و ظرفیت فتوسنتزی، محتوای مواد مغذی و اجزای عملکرد گیاه هم در غلظت ۰/۲۵ درصد عصاره بهبود یافت. با این حال، رشد به‌طور قابل توجهی در بیشترین غلظت عصاره (۱ درصد) مهار شد و مقادیر کمتری از شاخص‌های اندازه‌گیری شده را نسبت به شاهد ثبت کرد. همبستگی مثبتی بین کلروفیل کل، مقدار فتوسنتز، پارامترهای عملکرد و تجمع کربوهیدرات با استفاده از این عصاره مشاهده شد (Shedeed *et al*., 2022).

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که کاربرد جلبک‌های دریایی می‌تواند اثرهای منفی تنش‌های محیطی بر گیاهان را کاهش دهد. در پژوهشی بر روی کلم زینتی (*Brassica oleracea* L.)، کاربرد عصاره جلبک اسپیرولینا (۲ درصد) توانست اثرهای منفی شوری (تا ۸ دسی‌زیمنس بر متر) را تعدیل کند و موجب افزایش شاخص سطح برگ (۴۲/۵۲ سانتی‌متر) و وزن تر بوته (۱۵۳/۳۳ گرم) شود، در حالی که تجمع سدیم در اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Rashidi Kurdkandi *et al*., 2024). به‌طور مشابه، در بررسی اثر عصاره جلبک سارگاسوم بر ترخون تحت تنش اسمزی، مشخص شد که غلظت ۲ گرم در لیتر این عصاره توانست در شرایط تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) اثرهای منفی بر رشد رویشی را کاهش دهد و در تنش ملایم (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) منجر به افزایش معنی‌دار ترکیب‌های فنولی (۸۲ میلی‌گرم بر گرم)، فلاونوئیدها (۳/۶۴ میلی‌گرم بر گرم) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۶ درصد) شود (Bakhshi *et al*., 2025).

با وجود این، این تحقیق با هدف مطالعه رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه سرخارگل (*Echinacea angustifolia* L.) تحت تأثیر عصاره جلبک دریایی سارگاسوم و تنش شوری انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با دو مشاهده به منظور مقایسه اثر غلظت‌های مختلف شوری در چهار سطح (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم در سه سطح (۰، ۱ و ۲ گرم در لیتر) بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه سرخارگل در بهار و تابستان ۱۴۰۳ به‌صورت گلخانه‌ای (واقع در شهر تهران) با دمای روزانه گلخانه ۲±۲۷ درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه ۲±۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰-۶۰ درصد انجام شد. منبع نور، نور خورشید بود که با دوره ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی (نور طبیعی روزانه) با شدت ۸۰۰۰ لوکس (برای گیاهان از منبع نور مصنوعی استفاده نشد) تأمین شد. نوع پوشش گلخانه پلاستیکی بود؛ برای سایه‌اندازی از سایبان پارچه‌ای روی سقف و پوشش گلخانه استفاده شد. بذرهای گیاه سرخارگل از شرکت پاکان بذر اصفهان خریداری و در بهمن ۱۴۰۲ در گلخانه در سینی نشا کاشته شدند. بعد از جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه و رسیدن به مرحله چهار برگی (فروردین ۱۴۰۳)، گیاهچه‌ها به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر حاوی بستر کشت ترکیب کوکوپیت و پرلیت با نسبت ۲ به ۱ منتقل شدند و در گلخانه با کنترل شرایط محیطی رشد کردند. تنش شوری با NaCl در چهار سطح برای هر گلدان از طریق آب آبیاری ۵۰ میلی‌لیتر به فاصله چهار روز اعمال شد. برای آبشویی بستر کاشت، پس از سه مرتبه آبیاری با آب شور (در راستای تنش شوری)، آبشویی با آب معمولی برای جلوگیری از تجمع نمک در گلدان انجام شد و اعمال تنش به مدت ۴۰ روز ادامه یافت. محلول‌پاشی با عصاره جلبک دریایی سارگاسوم (جدول ۱) به مدت ۴۰ روز با فاصله هر ۱۰ روز یکبار در پنج نوبت انجام شد. در مرداد ۱۴۰۳، از بافت‌های گیاهی در مرحله گلدهی نمونه‌برداری شد و ویژگی‌های فیتوشیمیایی و بیوشیمیایی آنها در آزمایشگاه صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور اندازه‌گیری گردید.

جدول ۱- مشخصات جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) استفاده شده در تحقیق

Table 1. Characteristics of *Sargassum johnstonii* algae used in the research

Parameter	Value (%)	Parameter	Value (%)
Carbohydrates	35.02	Potassium (K)	4.47
Total amino acids	6.11	Magnesium (Mg)	0.65
Alginic acid	8.50	Sulfur (S)	3.00
Mannitol	4.23	Calcium (Ca)	0.28
Betaine	0.037	Iron (Fe)	0.0162
Auxins	0.024	Manganese (Mn)	0.0012
Cytokinins	0.018	Zinc (Zn)	0.0057
Nitrogen (N)	2.83	Boron (B)	0.0046
Phosphorus (P)	2.60		

صفات مورد بررسی

صفات مورفوفیزیولوژیک

ارتفاع بوته با خطکش اندازه‌گیری و تعداد برگ، و تعداد شاخه فرعی در بوته در هر تیمار شمارش شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی، ۳ گیاه از هر گلدان را از سطح خاک (محل طوقه) قطع نموده و پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا وزن تر آنها اندازه‌گیری و میانگین سه بوته به عنوان وزن تر درج گردید. سپس نمونه‌های گیاهی در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شده و وزن خشک آنها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری و میانگین سه بوته به عنوان وزن خشک درج شد (Inbar *et al*., 1994).

سنجش میزان رنگیزه‌های گیاهی

برای مقایسه میزان رنگیزه‌های گیاهی؛ مقدار نیم گرم از ماده گیاهی در هاون چینی ریخته، سپس با استفاده از نیتروژن مایع خرد و به خوبی له شد. ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد به نمونه اضافه، سپس در دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. عصاره جدا شده فوقانی حاصل از سانتریفوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد. مقداری از نمونه داخل بالن، در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و بعد به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b توسط اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda مقدار جذب قرائت شد. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a و b برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به‌دست آمد (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3\times A663 - 0.86\times A645)\ V/100W \qquad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3\times A645 - 3.6\times A663)\ V/100W \qquad (۲)$$

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفوژ)

A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر

W= وزن تر نمونه برحسب گرم

صفات فیتوشیمیایی

اندازه‌گیری میزان پرولین

ابتدا ۳۰۰ میلی‌گرم از بافت ساقه و برگ با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد هموژن شد (روش هموژنیزاسیون: خرد کردن مکانیکی با هاون چینی یا هموژنایزر در شرایط سرد). سپس محلول حاصل با کاغذ

صافی واتمن شماره ۲ فیلتر گردید. پس از آن، ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف‌شده با ۲ میلی‌لیتر محلول نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط و به‌مدت یک ساعت در بن‌ماری ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. واکنش با قرار دادن نمونه روی یخ متوقف گردید. در مرحله بعد، ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و پس از همزدن شدید، فاز صورتی فوقانی برای قرائت جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda استفاده شد. نهایتاً غلظت پرولین با استفاده از منحنی استاندارد پرولین خالص محاسبه گردید (Bates *et al*., 1973).

اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول

اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول در یک عصاره الکلی حاصل از نمونه‌های ساقه ـ برگ و براساس روش اصلاح شده (Irigoyen *et al*., 1992) انجام گردید. نمونه‌های گیاهی در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد عصاره‌گیری شده و بعد با سرعت ۳۵۰۰g برای مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ شد. از محلول رویی برای تعیین میزان کربوهیدرات محلول استفاده گردید. ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره با ۳ میلی‌لیتر از محلول تازه تهیه شده آنترون مخلوط شده و به‌مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و واکنش در آب یخ خاتمه یافت و بعد جذب محلول در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda اندازه‌گیری شده و با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز میزان کربوهیدرات محلول محاسبه شد.

تعیین میزان فنل کل

عصاره‌گیری از نمونه‌های خشک گیاهی با استفاده از متانول ۸۰ درصد انجام شد. برای سنجش فنل کل، مطابق روش McDonald و همکاران (۲۰۰۱)، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره استخراجی با ۵ میلی‌لیتر معرف فولین–سیوکالتو (رقیق‌شده ۱۰ برابری با آب مقطر) و ۴ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۱ مولار مخلوط شد. مخلوط واکنش به مدت ۹۰ دقیقه در دمای اتاق و در شرایط تاریکی انکوبه گردید. سپس جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda اندازه‌گیری شد (Singleton & Rossi, 1965). به موازات آن، منحنی استاندارد با استفاده از محلول‌های اسید گالیک در غلظت‌های مختلف تهیه گردید (Y=0.00114X+0.01062، که در آن Y جذب و X غلظت برحسب ppm است). در نهایت غلظت ترکیب‌های فنلی نمونه‌ها براساس معادله منحنی استاندارد محاسبه گردید.

تعیین میزان فلاونوئید کل

از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم برای تعیین مقدار فلاونوئیدها استفاده شد. هریک از عصاره‌های متانولی گیاهی (نیم میلی‌لیتر از ۱:۱۰ گرم بر میلی‌لیتر) به صورت جداگانه ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر کلرید آلومینیوم (۱۰٪ متانولی)، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم (۱M) و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر ترکیب شد. سپس محلول‌ها در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شد. جذب هر ترکیب واکنشی در ۴۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda اندازه‌گیری گردید. منحنی استاندارد با محلول‌های کوئرستین (Quercetin, Sigma Chemical Co.) متانولی در غلظت‌های ۱۰۰۰–۲۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر تهیه شده و منحنی با نرم‌افزار Excel رسم شد، سپس معادله خط y=bx+a بدست آمد. جذب‌های خوانده شده از نمونه‌ها به جای y قرار داده شده و x یا همان غلظت بدست آمد (Chang *et al*., 2002).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، از رادیکال آزاد DPPH (2,2-Diphenyl- Picryl- Hydrazyl) استفاده شد. ابتدا عصاره‌های متانولی نمونه گیاهی در غلظت‌های متفاوت 5×10^{-2}mg/100 تا 5×10^{-6} در متانول خالص تهیه

گردید. سپس مخلوطی به نسبت ۱:۱ از محلول DPPH (8 mg/100) و عصاره‌های گیاهی با غلظت‌های متفاوت تهیه شد. جذب نمونه‌ها بعد از ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه در ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda اندازه‌گیری شد. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر به دست آمد.

$$R\%=AD–AS/AD\times100 \qquad (۳)$$

R%: درصد مهار

AD: جذب DPPH در ۵۱۷ نانومتر

AS: جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر

برای مقایسه فعالیت عصاره‌ها از پارامتر IC50 (غلظتی از عصاره که ۵۰ درصد رادیکال‌های آزاد را مهار می‌کند) استفاده شد (Sun *et al*., 2007).

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای تحلیل آماری داده‌ها، پس از ارزیابی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. رسم نمودارها و جدول‌های آماری نیز بوسیله نرم‌افزارهای Excel و Word office 2007 انجام گردید.

نتایج

صفات مورفولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی و وزن تر بوته سرخارگل تحت تأثیر اصلی و متقابل تنش شوری و عصاره جلبک سارگاسوم در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشت. اثر اصلی تنش شوری و عصاره سارگاسوم بر وزن خشک اندام هوایی در سطح یک درصد و اثر متقابل این دو در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر شوری و عصاره جلبک سارگاسوم (*Sargassum johnstonii*) بر صفات مورفولوژیک سرخارگل (*Echinaceae angustifolia*)

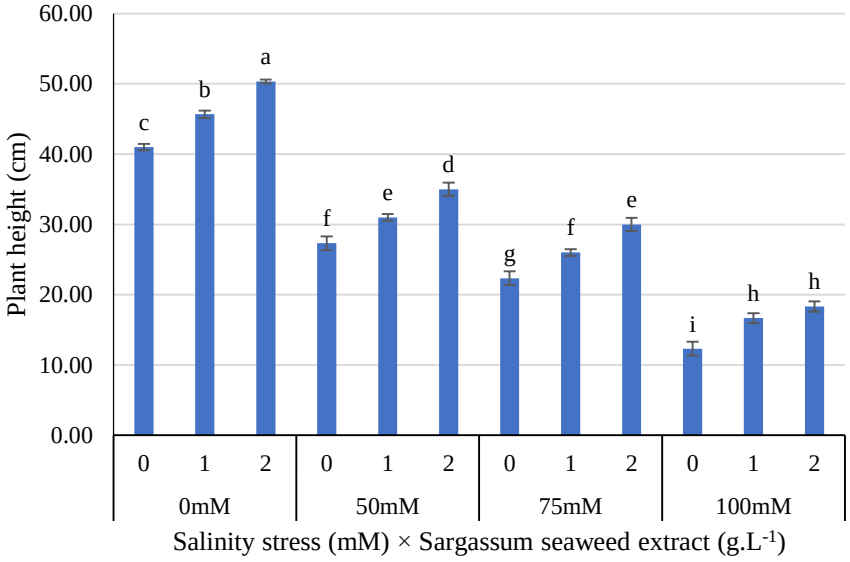
Table 2. ANOVA of salinity and *Sargassum* seaweed extract effects on *Echinacea angustifolia* morphological traits

S.O.V.	d.f.	M.S.				
		Plant height	Number of leaves	Number of sub-branches	Shoots fresh weight	Shoots dry weight
Salinity stress (S)	3	1390.6**	1272.2**	26.6**	2064.9**	320.2**
Sargassum seaweed extract (E)	2	176.7**	275.5*	3.6**	711.6**	108.4**
S × E	6	1.9**	7.0**	0.5**	22.4**	3.2*
Experimental error	24	2.5	7.1	0.2	5.4	0.9
C.V. (%)	-	5.4	8.1	13.4	5.3	5.5

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

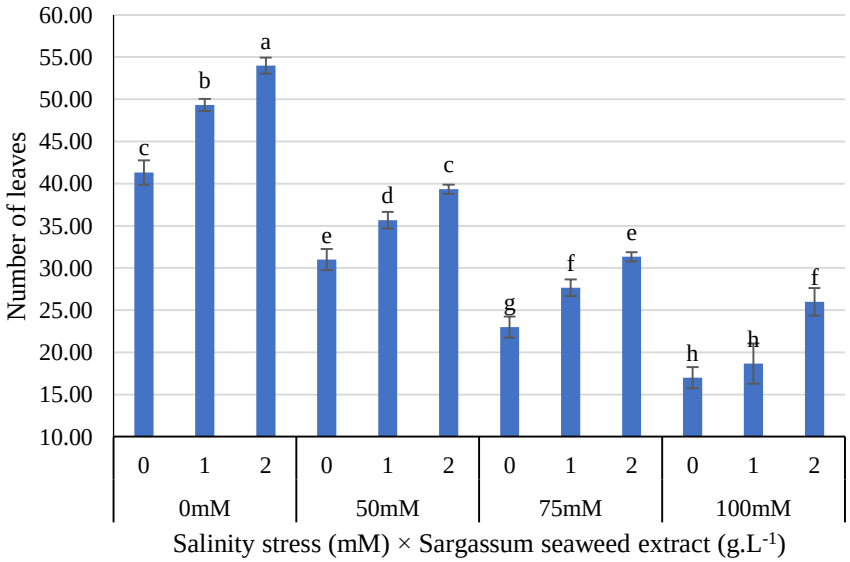
ارتفاع بوته

براساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم، بیشترین ارتفاع بوته سرخارگل (۵۰/۳ سانتی‌متر) در تیمار شاهد با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم و کمترین آن (۱۲/۳ سانتی‌متر) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) بدون کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر ارتفاع بوته سرخارگل (***Echinaceae angustifolia***)

Figure 1. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* plant height
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر تعداد برگ سرخارگل

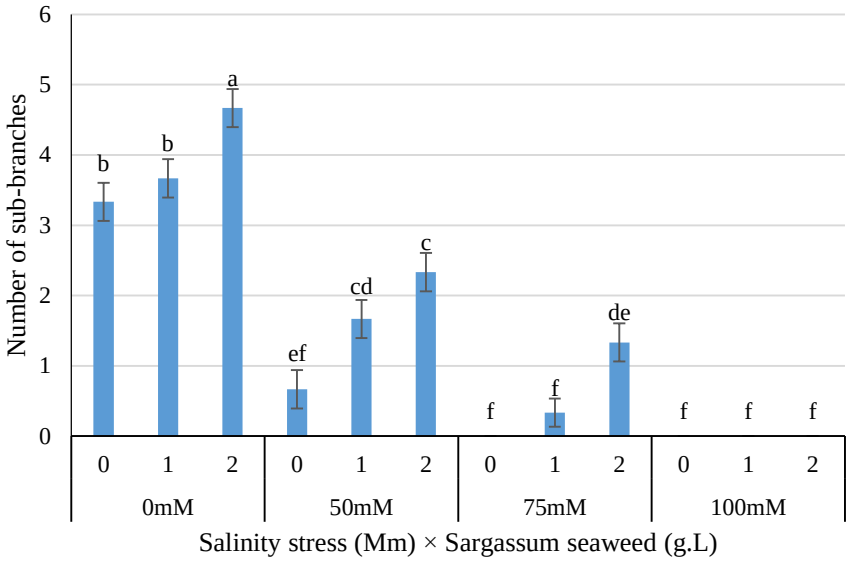
Figure 2. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* leaves number
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

تعداد برگ

بیشترین تعداد برگ بوته سرخارگل (۵۴ عدد) در تیمار شاهد با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم و کمترین آن (۱۷ عدد)، مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) بدون کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۲).

تعداد شاخه فرعی

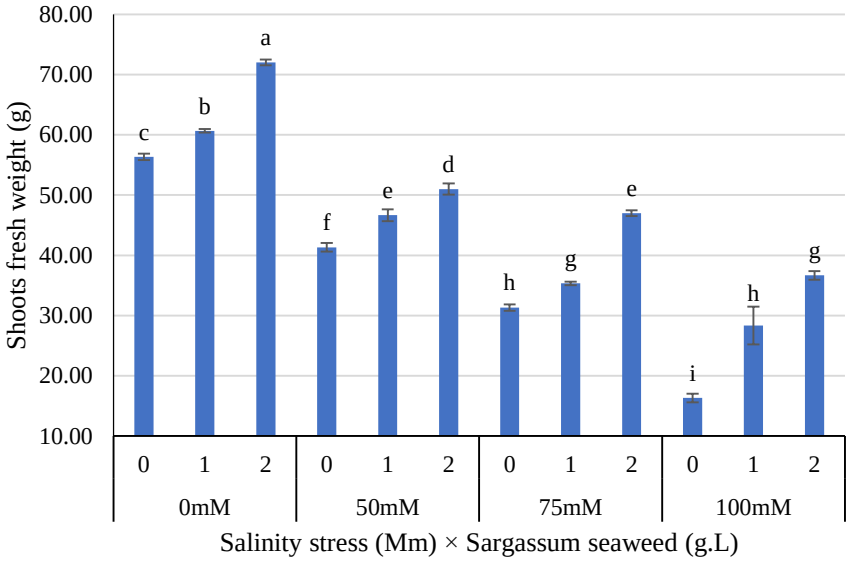
بیشترین تعداد شاخه فرعی سرخارگل (۴/۷ عدد) در تیمار شاهد با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم حاصل شد. در تنش شوری شدید هیچ‌کدام از بوته‌ها تولید شاخه فرعی نکردند (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر تعداد شاخه فرعی سرخارگل

Figure 3. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* sub-branches number

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر وزن تر اندام هوایی سرخارگل

Figure 4. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* fresh weight of aerial parts

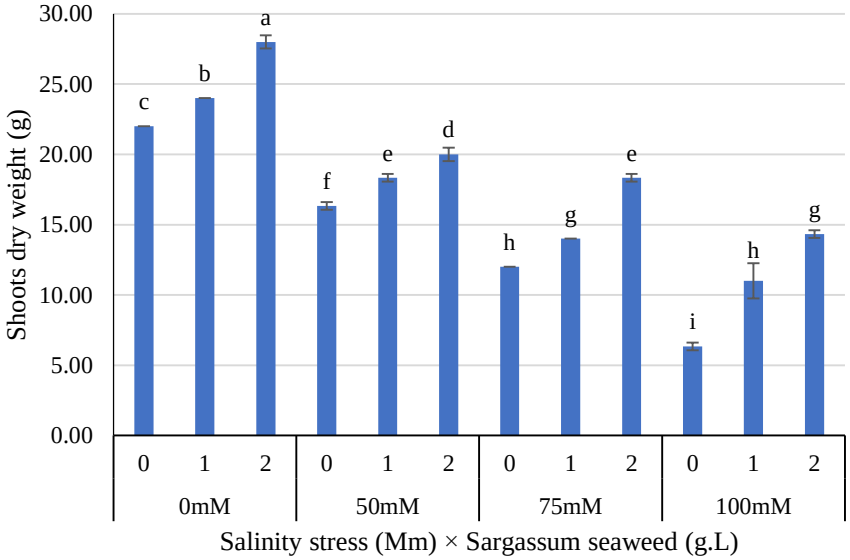
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

وزن تر اندام هوایی

بیشترین وزن تر اندام هوایی بوته سرخارگل (۷۲ گرم) در تیمار شاهد با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم و کمترین آن (۱۶/۳ گرم) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) بدون کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۴).

وزن خشک اندام هوایی

بیشترین وزن خشک اندام هوایی بوته سرخارگل (۲۸ گرم) در تیمار شاهد با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم و کمترین آن (۶/۳ گرم) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) بدون کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر وزن خشک اندام هوایی سرخارگل

Figure 5. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* dry weight of aerial parts

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ و صفات بیوشیمیایی

نتایج تجزیه واریانس حکایت از این داشت که کلروفیل a و b و کربوهیدرات محلول تحت تأثیر اصلی تنش شوری و عصاره جلبک سارگاسوم در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد. این در حالی است عصاره جلبک دریایی بر میزان پرولین معنی‌دار نبود. اثرهای متقابل تیمارها بر کلروفیل a در سطح پنج درصد و بر کلروفیل b، پرولین و کربوهیدرات محلول در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر شوری و عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ و صفات بیوشیمیایی سرخارگل (***Echinaceae angustifolia***)

Table 3. ANOVA of salinity and *Sargassum* seaweed extract effects on *Echinacea angustifolia* Photosynthetic pigments of leaves and biochemical traits

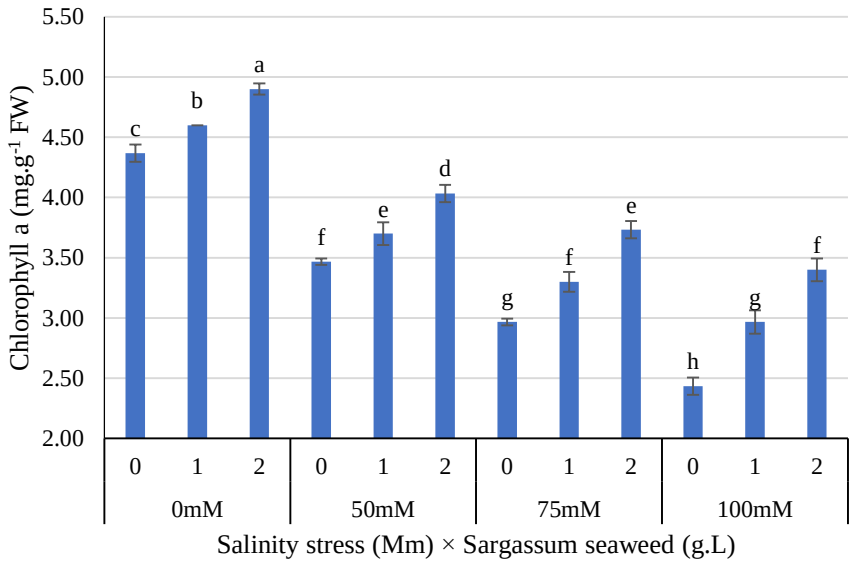
S.O.V.	D.f.	M.S.			
		Chlorophyll *a*	Chlorophyll *b*	Proline	Soluble sugars
Salinity stress (S)	3	4.7**	2.2**	15.9**	0.2**
Sargassum seaweed extract (E)	2	1.5**	1.0**	0.1^{ns}	0.1**
S × E	6	0.03*	0.1**	0.1**	0.003**
Experimental error	24	0.02	0.02	0.1	0.0004
C.V. (%)	-	4.0	5.3	3.5	3.1

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively. ^{ns}: non-significant.

رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ

کلروفیل a

بیشترین کلروفیل a (۴/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شاهد با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم و کمترین آن (۲/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) بدون کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۶).



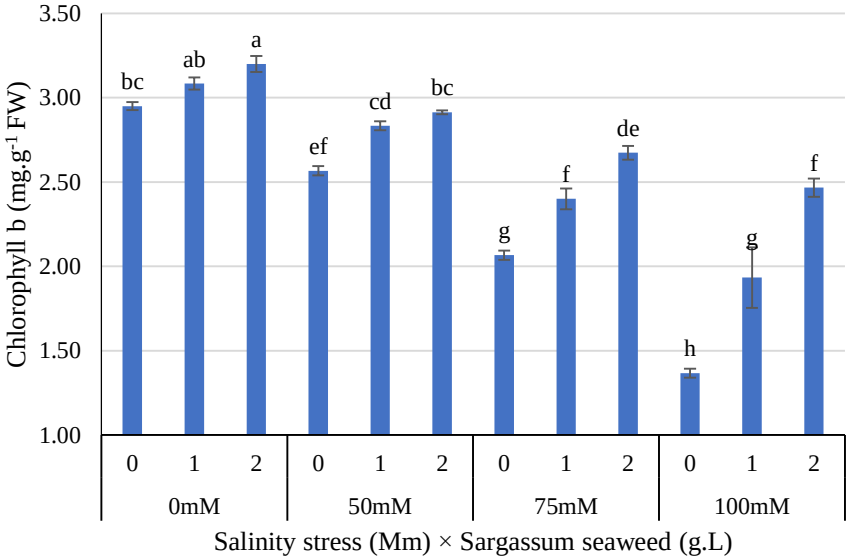
شکل ۶- مقایسه میانگین اثرهای متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر کلروفیل **a** برگ سرخارگل

Figure 6. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* chlorophyll a content

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

کلروفیل b

بیشترین کلروفیل b بوته سرخارگل (۳/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار شاهد با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم حاصل شد. کمترین کلروفیل b (۱/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) بدون کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۷).



شکل ۷– مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (*Sargassum johnstonii*) بر کلروفیل b برگ سرخارگل

Figure 7. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* chlorophyll b content

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

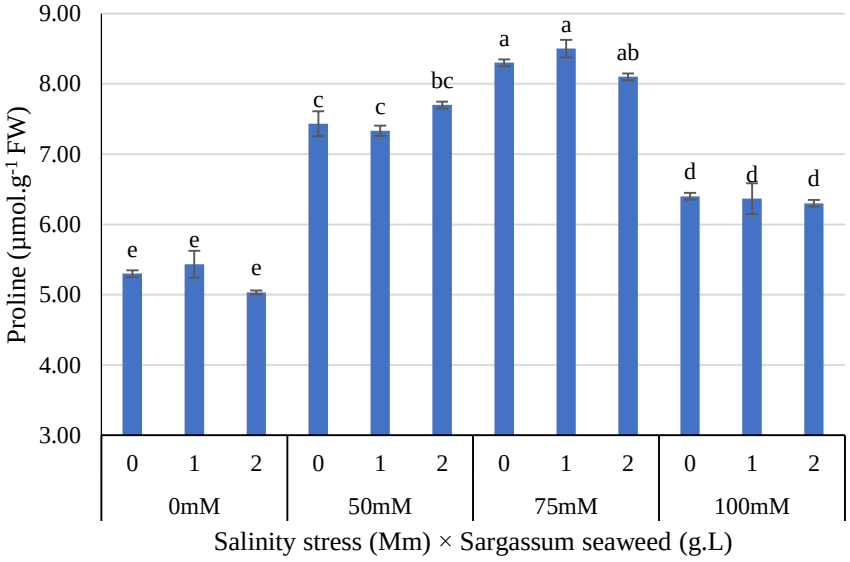
صفات بیوشیمیایی

پرولین

براساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم، بیشترین پرولین بوته سرخارگل (۸/۵ میکرومول در گرم وزن تر) در تیمار تنش شوری ملایم (۷۵ میلی‌مولار NaCl) با کاربرد ۱ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم مشاهده شد که با تیمار تنش شوری ملایم (۷۵ میلی‌مولار NaCl) بدون استفاده از عصاره جلبک سارگاسوم در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین میزان پرولین (۵ میکرومول در گرم وزن تر) مربوط به شرایط شاهد (عدم وجود تنش شوری) با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۸).

کربوهیدرات محلول

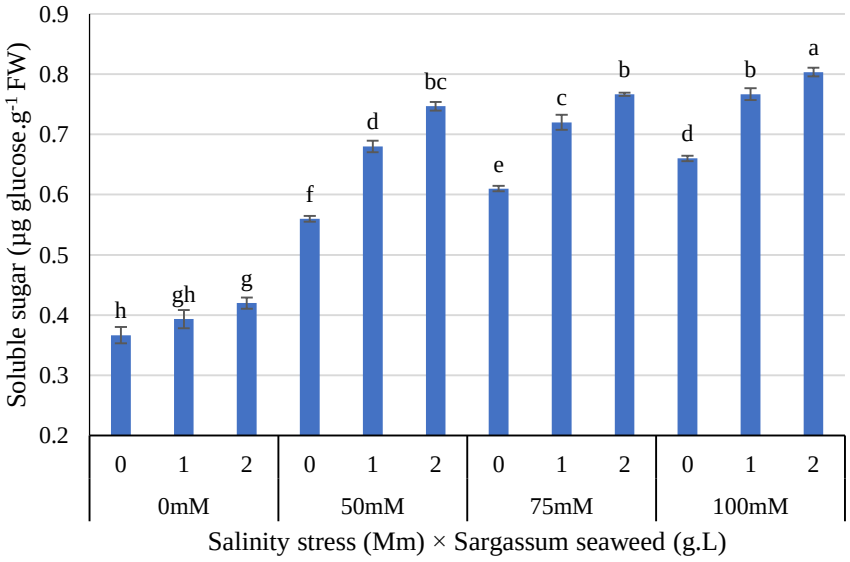
بیشترین کربوهیدرات محلول بوته سرخارگل (۰/۸ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر) در تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم و کمترین آن (۰/۴ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر) مربوط به شرایط شاهد (عدم کاربرد تنش شوری) و عدم کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۹).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر پرولین بوته سرخارگل

Figure 8. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* proline content

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر کربوهیدرات محلول بوته سرخارگل

Figure 9. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* soluble sugar content

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

صفات فیتوشیمیایی

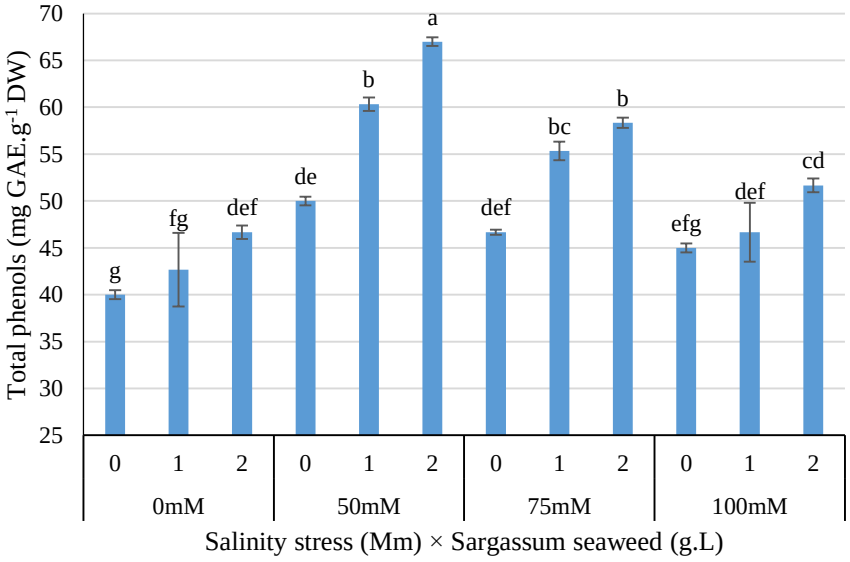
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که فنل و فلاونوئید کل بوته سرخارگل تحت تأثیر اصلی تنش شوری و عصاره جلبک سارگاسوم در سطح احتمال یک درصد و تحت تأثیر متقابل تیمارها در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار داشت. اثر اصلی تنش شوری و اثر متقابل تیمارها بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر شوری و عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر صفات فیتوشیمیایی سرخارگل (***Echinaceae angustifolia***)

Table 4. ANOVA of salinity and *Sargassum* seaweed extract effects on *Echinacea angustifolia* phytochemical traits

S.O.V.	D.f.	M.S.		
		Total phenols	Total flavonoids	Antioxidant activity
Salinity stress (S)	3	432.9**	349.8**	1062.8**
Sargassum seaweed extract (E)	2	232.1**	251.2**	6.0^{ns}
S × E	6	22.7*	51.1*	81.9**
Experimental error	24	10.9	17.9	12.4
C.V. (%)	-	6.5	10.9	4.7

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively. ns: non-significant.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر فنل کل بوته سرخارگل

Figure 10. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* total phenol content

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

فنل کل

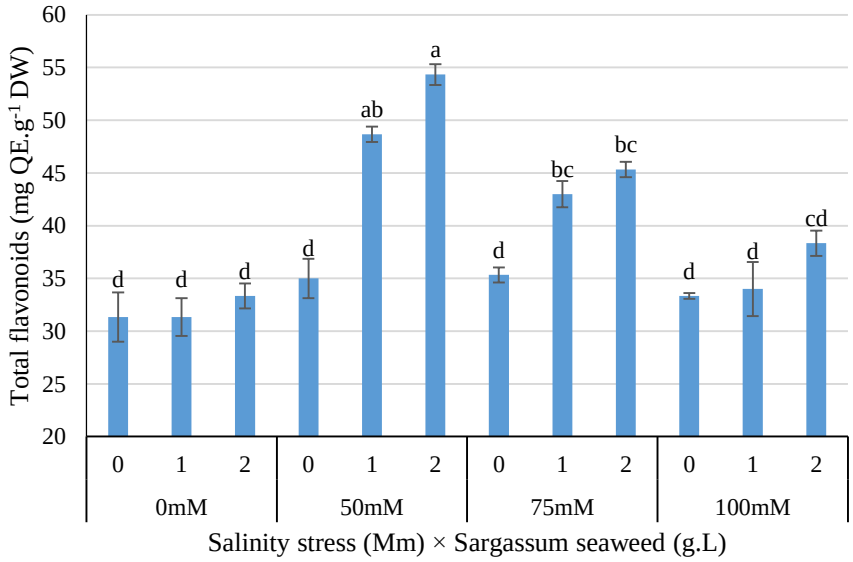
براساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم، بیشترین فنل کل بوته سرخارگل (۶۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) در تیمار تنش شوری کم (۵۰ میلی‌مولار NaCl) با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم و کمترین آن (۴۰ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) مربوط به شرایط شاهد (عدم کاربرد تنش شوری) و عدم کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۱۰).

فلاونوئید کل

بیشترین فلاونوئید کل سرخارگل (۵۴/۳ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) در تیمار تنش شوری کم (۵۰ میلی‌مولار NaCl) با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم و کمترین آن از لحاظ مقدار عددی (۳۱/۳ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) مربوط به شرایط شاهد (عدم کاربرد تنش شوری) و عدم کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۱۱).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

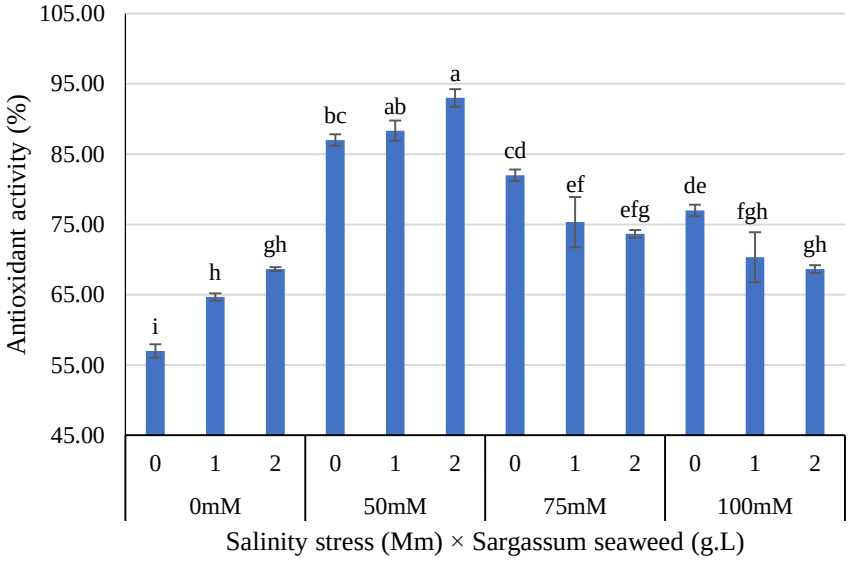
بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی سرخارگل (۹۳ درصد) در تیمار تنش شوری کم (۵۰ میلی‌مولار NaCl) با کاربرد ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک سارگاسوم مشاهده شد. کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۵۷ درصد) مربوط به شرایط شاهد (عدم کاربرد تنش شوری) و عدم کاربرد عصاره جلبک سارگاسوم بود (شکل ۱۲).



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر فلاونوئید کل بوته سرخارگل

Figure 11. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* total flavonoid content

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش شوری × عصاره جلبک سارگاسوم (***Sargassum johnstonii***) بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی بوته سرخارگل

Figure 12. Means comparison of salinity × *Sargassum* seaweed extract interaction on *Echinacea angustifolia* antioxidant activity

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

بحث

تنش شوری رشد گیاهان را از راه‌های گوناگون تحت تأثیر قرار می‌دهد. ابتدا، حضور نمک در خاک ظرفیت جذب آب را در گیاه از طریق کاهش ظرفیت آب تحت تأثیر قرار داده و از این راه موجب کاهش سرعت رشد می‌شود. از نظر متابولیکی، شوری موجب آسیب به غشاء، عدم توازن مواد غذایی، تغییر سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد و مهار آنزیمی می‌شود. غلظت‌های زیاد نمک می‌تواند اثر مخربی بر متابولیسم گیاه، از بین رفتن هومئوستازی سلولی و عدم جفت شدن فرایندهای عمده فیزیولوژیک و بیوشیمیایی داشته باشد (Hasanuzzaman & Fujita, 2022).

کاهش ارتفاع گیاه یکی از نخستین و بارزترین پاسخ‌ها به تنش شوری محسوب می‌شود که در این پژوهش نیز به‌وضوح مشاهده گردید. این پدیده عمدتاً ناشی از اختلال در فرایندهای فیزیولوژیک متعددی است که رشد طولی سلول‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. براساس مطالعات و یافته‌های این تحقیق، تنش شوری با کاهش ظرفیت آب خاک، جذب آب توسط ریشه را محدود نموده و فشار تورژسانس مورد نیاز برای رشد طولی سلول‌ها را کاهش می‌دهد. تجمع یون‌های سمی در بافت‌های گیاهی موجب اختلال در فرایند فتوسنتز شده و تولید مواد فتوسنتزی ضروری برای رشد را کاهش می‌دهد. علاوه‌بر این، تنش شوری از طریق تغییر در تعادل هورمونی و ایجاد استرس اکسیداتیو، فرایندهای رشد و تقسیم سلولی را به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ranjbar & Anaqoli, 2018؛ Chun *et al*., 2021). بنابراین، کاهش ارتفاع گیاه در شرایط شوری را می‌توان نتیجه‌ای پیچیده از تعامل این عوامل فیزیولوژیک دانست که در نهایت به مهار رشد طولی سلول‌ها و کاهش ارتفاع کلی گیاه منجر می‌شود.

به هم خوردن تنظیم اسمزی موجب کاهش آب قابل

دسترس، عدم تعادل عناصر معدنی، سمیّت یون‌های کلر و سدیم سبب کاهش تعداد و سطح برگ گیاهان می‌شود (Chun *et al*., 2021). کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی از برهم‌کنش اثرهای تنش اسمزی ناشی از برهم خوردن تعادل عناصر در گیاه و تغییر غلظت عناصر معدنی در محلول خاک و سمیت یون‌هاست (Ma *et al*., 2020). استفاده از کودهای جلبکی باعث بهبود وضعیت میکروارگانیزم‌هایی می‌شود که فعالیت آنها موجب تسهیل جذب برخی عناصر معدنی و در نهایت افزایش رشد، گسترش اندام‌ها و بهبود عملکرد گیاهان می‌شود (Ferchichi *et al*., 2018). جلبک دریایی منجر به افزایش ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، تعداد و سطح برگ و اغلب صفات مورفولوژیک میکروگرین‌های شاهی (*Lipidium sativum*) در شرایط تنش شده است (Zare-Bavani & Ardashiri, 2025). افزایش رشد گیاه، تحریک رشد ریشه، تأخیر در پیری و بهبود مقاومت به تنش‌های غیر زیستی مانند خشکی، شوری و دما تحت تأثیر کاربرد عصاره جلبک مشاهده شد (El Boukhari *et al*., 2020). اثرهای مفید کاربرد عصاره جلبک روی گیاهان به دلیل وجود هورمون‌های رشد سیتوکنین، اکسین و عناصری مانند آهن، مس، روی، کبالت، مولیبدن، منگنز، نیکل، ویتامین‌ها و آمینواسیدها گزارش شده است (Witzel *et al*., 2021).

تنش شوری با ایجاد استرس اکسیداتیو و تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) منجر به تخریب کلروفیل از طریق فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده مانند کلروفیلاز و فئوفوربید اکسیژناز می‌شود (El Haddad *et al*., 2022). همچنین این تنش با اختلال در جذب عناصر غذایی حیاتی مانند منیزیم و نیتروژن، سنتز کلروفیل جدید را محدود می‌کند (Luo *et al*., 2021). مطالعات نشان می‌دهد که عصاره‌های جلبکی با سازوکارهای مختلفی مانند تأمین عناصر غذایی ضروری و ریزمغذی‌ها (Ashour *et al*., 2020)، تحریک سنتز کلروفیل از طریق هورمون‌های رشد گیاهی (Mukherjee & Patel, 2020)، افزایش پایداری غشای سلولی و محتوای نسبی آب برگ (Zare-Bavani & Ardashiri, 2025) و کاهش استرس اکسیداتیو (Al-Saidi, 2017؛ Lu *et al*., 2023) می‌توانند محتوای کلروفیل را تا ۳۰ درصد افزایش دهند. این بهبود در رنگیزه‌های فتوسنتزی نه تنها کارایی فتوسنتز را ارتقا می‌دهد، بلکه از طریق تنظیم متابولیت‌های ثانویه مانند پرولین، مقاومت گیاه به تنش‌ها را نیز تقویت می‌کند (Abbas *et al*., 2023). یافته‌های این پژوهش نیز مؤید تأثیر مثبت عصاره جلبک بر افزایش محتوای کلروفیل در شرایط تنش شوری است که با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (Shi *et al*., 2022؛ Shedeed *et al*., 2022).

پرولین کمترین اثر بازدارندگی را بر رشد سلول‌ها دارد و پایدارترین اسید آمینه‌ای است که در برابر هیدرولیز اکسیداتیو مقاومت کرده و نقش مهمی در حفاظت گیاه از طریق پایداری غشای سلولی و حذف رادیکال‌های آزاد دارد (Ghafari zadeh *et al*., 2018). تنش شوری باعث می‌شود که گلوتامین که پیش‌ماده مشترک ساخت کلروفیل و پرولین است، کمتر در مسیر بیوسنتز کلروفیل شرکت کرده و بیشتر در سنتز پرولین مصرف شود، به همین دلیل مقدار کلروفیل کاهش و مقدار پرولین افزایش می‌یابد (Bybordi, 2012). کاربرد عصاره جلبک دریایی، با افزایش میزان پرولین، ایجاد تنظیم اسمزی، کاهش تجزیه کلروفیل و کاهش نشت غشاء، سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان در شرایط تنش می‌گردد (Esmaielpour *et al*., 2020).

محتوای کربوهیدرات‌های قابل سوخت‌وساز، یعنی ساکارز، گلوکز و فروکتوز با افزایش تنش به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. کربوهیدرات‌های محلول نه تنها تنظیم اسمزی را فراهم می‌کنند و از درشت مولکول‌ها (مانند پروتئین‌ها) و غشاها محافظت می‌نمایند، بلکه می‌توانند سوخت کربن را برای متابولیسم انرژی در هنگام کاهش فتوسنتز انجام داده و نقش‌های محوری را به‌عنوان مولکول‌های سیگنال، تنظیم بیوسنتز و هورمون‌های گیاهی

ایفا کنند (Magouz *et al*., 2021). در شرایط تنش، عصاره جلبک با تعدیل تنش، شرایط رشد گیاه را به سمت نرمال می‌برد و مقدار کربوهیدرات محلول در شرایط تنش با کاربرد این ترکیب‌ها، افزایش می‌یابد (Ashour *et al*., 2024). مهمترین علت استفاده از جلبک‌ها به عنوان کود، توانایی بالای آنها در جذب آب و نگهداری آن است. این ویژگی به دلیل داشتن درصد بالای ترکیب‌های پلیمری است که قادرند مولکول‌های آب را جذب نموده و به حالت ژله‌ای دربیایند. همچنین درصد بالای املاح و ترکیب‌های معدنی موجود در جلبک‌ها که نیاز گیاهان به املاح را تأمین می‌کنند ویژگی مهم دیگری است که در حاصلخیزی خاک نقش بسزایی دارد (Martynenko *et al*., 2016). جلبک‌های دریایی محتوای مغذی ماکرو و میکرو، آمینواسیدها، ویتامین‌ها، سیتوکنین‌ها، اکسین و آبسزیک اسید هستند و به‌دلیل این مواد سبب تحریک رشد و محصول گیاه، ایجاد مقاومت در برابر تنش‌ها، افزایش جذب مواد مغذی از خاک و نیز افزایش صفات آنتی‌اکسیدانی می‌شوند (Erulan, 2009).

گروه‌های هیدروکسیل آزاد متصل به حلقه آروماتیک فنل‌ها به وسیله حذف رادیکال‌ها و دیگر سازوکارهای دفاعی مانند فروکش کردن اکسیژن آزاد، کلاته کردن فلزات و باندشدن یون‌های سمی از آسیب‌های اکسیداتیو می‌کاهند و بدین ترتیب ساختارهای سلولی را از اثرهای منفی تنش محافظت می‌کنند (Nourzad *et al*., 2015). ترکیب‌های فنلی در واکنش به تنش به سرعت افزایش و به مقدار زیاد در لایه اپیدرمی بافت گیاه تجمع می‌یابند. تجمع ترکیب‌های فنلی در کرک‌ها، واکوئل و دیواره سلول‌های اپیدرمی از آسیب سلول‌های مزوفیلی زیرین جلوگیری می‌کند، این ترکیب‌ها با قابلیت آنتی‌اکسیدانی و سمیت‌زدایی رادیکال‌های اکسیژن باعث افزایش مقاومت گیاهان می‌شوند (Liang *et al*., 2013). تنش شوری با ایجاد اختلال در تعادل یونی و کاهش ظرفیت آب خاک، باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود. این شرایط منجر به تولید بیش از حد ROS مانند سوپراکسید ($O_2^{\bullet-}$)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال‌های هیدروکسیل ($OH^{\bullet}$) می‌شود که به لیپیدهای غشایی، پروتئین‌ها و DNA آسیب می‌رسانند (Patwa *et al*., 2024). گیاهان برای مقابله با این آسیب‌ها، سیستم دفاعی خود را فعال می‌کنند که شامل افزایش تولید ترکیب‌های فنلی و فلاونوئیدی است. این ترکیب‌ها به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی عمل کرده و ROSها را خنثی می‌کنند (Hussain *et al*., 2019). علاوه‌بر این، تنش شوری با تحریک مسیرهای بیوسنتزی مانند مسیر شیکیمات و فنیل‌پروپانوئید، تولید ترکیب‌های فنلی و فلاونوئیدی را افزایش می‌دهد. این تغییرات به گیاه کمک می‌کند تا با شرایط نامساعد محیطی سازگار شده و بقای خود را تضمین کند. عصاره جلبک به‌دلیل دارا بودن ترکیب‌های فعال زیستی مانند پلی‌ساکاریدها، آمینواسیدها، ویتامین‌ها، مواد معدنی و هورمون‌های رشد گیاهی، نقش مهمی در افزایش میزان فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارد (Mukherjee & Patel, 2020). این عصاره‌ها با تأمین عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم، سنتز این ترکیب‌ها را آسان می‌کند. همچنین، ترکیب‌های موجود در عصاره جلبک مانند آلژینات و فیکوکلوئیدها، با بهبود جذب آب و مواد معدنی، شرایط بهینه‌ای برای تولید متابولیت‌های ثانویه فراهم می‌کنند (Bonomelli *et al*., 2018). این ترکیب‌ها همچنین با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به خنثی‌سازی ROS کمک می‌کنند (Elansary *et al*., 2017). در نتیجه، عصاره جلبک با افزایش تولید ترکیب‌های فنلی و فلاونوئیدی و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی، مقاومت گیاهان را در برابر تنش‌های غیر زیستی افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

امروزه از عصاره جلبک علاوه بر یک محرک زیستی برای کنترل تنش‌های زیستی و غیرزیستی، به‌عنوان یک الیسیتور برای تولید متابولیت‌های ثانویه نیز استفاده می‌شود. در این تحقیق، اگرچه اثر تنش شوری بر صفات

مورفولوژیک گیاه سرخارگل منفی بود، اما عصاره جلبک سارگاسوم موجب افزایش رشد گیاه شد. با افزایش شدت تنش شوری، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه سرخارگل کاهش یافت؛ با این حال، افزایش غلظت عصاره جلبک سارگاسوم منجر به افزایش کلروفیل برگ و سطح فتوسنتزی سرخارگل شد. نتایج نشان داد که در شرایط تنش شوری ملایم، مقدار فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه افزایش پیدا کرد، در حالی که با افزایش شدت تنش، مقدار آن کاهش نشان داد. در کل، استفاده از عصاره جلبک سارگاسوم موجب کاهش اثرهای منفی تنش شوری و افزایش تولید مواد مؤثره در گیاه دارویی سرخارگل شد.

پیشنهاد می‌شود اثرهای ترکیبی عصاره جلبک سارگاسوم با سایر محرک‌های زیستی مانند اسیدهای آمینه، هورمون‌های گیاهی یا نانوذرات بر بهبود مقاومت به تنش‌های غیرزیستی و افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاه سرخارگل بررسی شود. همچنین، مطالعه سازوکارهای مولکولی و ژنتیکی مرتبط با پاسخ گیاه به عصاره جلبک و تنش شوری می‌تواند به درک بهتر فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مؤثر در افزایش مقاومت گیاه کمک کند. این پژوهش‌ها می‌تواند راه‌حل‌های نوینی برای بهبود عملکرد گیاهان دارویی در شرایط تنش‌ها ارائه دهد.

References

- Aarland, R.C., Bañuelos-Hernández, A.E., Fragoso-Serrano, M., Sierra-Palacios, E.D.C., Díaz de León-Sánchez, F., Pérez-Flores, L.J. and Mendoza-Espinoza, J.A., 2017. Studies on phytochemical, antioxidant, anti-inflammatory, hypoglycemic and antiproliferative activities of *Echinacea purpurea* and *Echinacea angustifolia* extracts. Pharmaceutical Biology, 55(1): 649-656. https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1265989
- Abbas, E.M., Al-Souti, A.S., Sharawy, Z.Z., El-Haroun, E. and Ashour, M., 2023. Impact of dietary administration of seaweed polysaccharide on growth, microbial abundance, and growth and immune-related genes expression of the Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Life, 13(2): 344. https://doi.org/10.3390/life13020344
- Ahmadi, F., 2024. Phytochemistry, mechanisms, and preclinical studies of *Echinacea* extracts in modulating immune responses to bacterial and viral infections: A comprehensive review. Antibiotics, 13(10): 947. https://doi.org/10.3390/antibiotics13100947
- Ahmadi, F., Samadi, A., Sepehr, E., Rahimi, A. and Shabala, S., 2022. Morphological, phytochemical, and essential oil changes induced by different nitrogen supply forms and salinity stress in *Echinacea purpurea* L. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 43: 102394. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102396
- Al-Saidi, H., 2017. The effect of plant spacing and spraying with seaweed extract in growth and yield characteristics of fenugreek plant (*Trigonella foenumgraecum*). Euphrates Journal of Agricultural Science, 9(1): 11-14. https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2379592
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Journal of Agronomy, 23(1): 112-121. https://doi.org/10.69980/redvet.v25i1.1650
- Ashour, M., El-Shafei, A.A., Khairy, H.M., Abd-Elkader, D.Y., Mattar, M.A., Alataway, A. and Hassan, S.M., 2020. Effect of *Pterocladia capillacea* seaweed extracts on growth parameters and biochemical constituents of Jew's mallow. Agronomy, 10(3): 420. https://doi.org/10.3390/agronomy10030420
- Bakhshi, A., Abdossi, V. and Ghanbari Jahromi, M., 2025. Effects of seaweed extract on the growth and biochemical characteristics of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) under drought stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 41(1): 145-163. (In Persian) https://doi.org/10.61882/flowerjournal.9.2.299
- Bates, L.S., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39(1): 205-207. https://doi.org/10.1007/bf00018060
- Bonomelli, C., Celis, V., Lombardi, G. and Mártiz, J., 2018. Salt stress effects on avocado (*Persea americana* Mill.) plants with and without seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) application. Agronomy, 8(5): 64. https://doi.org/10.3390/agronomy8050064
- Bybordi, A., 2012. Study effect of salinity on some

physiologic and morphologic properties of two grape cultivars. Life Science Journal, 9(4): 1092-1101. https://doi.org/10.15835/nbha3723299
- Carvalho, M.E.A., De Camargo, P.R., Gaziola, S.A. and Azevedo, R.A., 2018. Is seaweed extract an elicitor compound? Changing proline content in drought-stressed bean plants. Comunicata Scientiae, 9(2): 292-297. https://doi.org/10.14295/cs.v9i2.2134
- Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M. and Chern, J.C., 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food and Drug Analysis, 10(3): 178-182. https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748
- Choirunnisa, J.P., Widiyastuti, Y., Sakya, A.T. and Yunus, A., 2021. Morphological characteristics and flavonoid accumulation of *Echinacea purpurea* cultivated at various salinity. Biodiversitas: Journal of Biological Diversity, 22(1): 156-163. https://doi.org/10.13057/biodiv/d220121
- Chun, H.J., Baek, D., Jin, B.J., Cho, H.M., Park, M.S., Lee, S.H., Lim, L.H., Cha, Y.J., Bae, D.W., Kim, S.T., Kim, W.Y. and Lee, S.Y., 2021. Microtubule dynamics plays a vital role in plant adaptation and tolerance to salt stress. International Journal of Molecular Sciences, 22(11): 5957. https://doi.org/10.3390/ijms22115957
- El Boukhari, M.E.M., Barakate, M., Bouhia, Y. and Lyamlouli, K., 2020. Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. Plants, 9(3): 359. https://doi.org/10.3390/plants9030359
- El Haddad, N., Choukri, H., Ghanem, M.E., Smouni, A., Mentag, R., Rajendran, K., Hejjaoui, K., Maalouf, F. and Kumar, S., 2022. High-temperature and drought stress effects on growth, yield, and nutritional quality with transpiration response to vapor pressure deficit in lentil. Plants, 11(1): 95. https://doi.org/10.3390/plants11010095
- Elansary, H.O., Yessoufou, K., Abdel-Hamid, A.M., El-Esawi, M.A., Ali, H.M. and Elshikh, M.S., 2017. Seaweed extracts enhance salam turfgrass performance during prolonged irrigation intervals and saline shock. Frontiers in Plant Science, 8: 830. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00830
- El-Kinany, R.G., Brengi, S.H., Nassar, A.K. and El-Batal, A., 2019. Enhancement of plant growth, chemical composition and secondary metabolites of essential oil of salt-stressed coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants using selenium, nano-selenium, and glycine betaine. Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants, 6(3): 151-173. https://doi.org/10.21608/sjfop.2019.84973
- Erulan, V., 2009. Studies on the effect of *Sargassum polysystem* extract on the growth and biochemical composition of *Cajanus cajan* (L) Mill sp. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 6(4): 392-399. https://doi.org/10.58837/chula.the.2001.895
- Esmaielpour, B., Fatemi, H. and Moradi, M., 2020. Effects of seaweed extract on physiological and biochemical characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water-deficit stress conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 11(1): 59-69. https://doi.org/10.47176/jspi.11.1.10288
- Ferchichi, S., Hessini, K., Dell'Aversana, E., D'Amelia, L., Woodrow, P., Ciarmiello, L., Fuggi, A. and Carillo, P., 2018. *Hordeum vulgare* and *Hordeum maritimum* respond to extended salinity stress displaying different temporal accumulation pattern of metabolites. Functional Plant Biology, 45(11): 1096-1109. https://doi.org/10.1071/fp18046
- Ghafari-Zadeh, A., Sadeghzadeh, S.M. and Gilani, A., 2018. Investigation of the effect of liquid seaweed fertilizer on some growth indices and antioxidant activity of Chamran 2 wheat seedlings. Journal of Applied Biology, 31: 207-227. https://doi.org/10.22051/jab.2017.6648.1002
- Ghani, A., Azizi, M. and Tehranifar, A., 2009. Response of *Achillea* species to drought stress induced by polyethylene glycol in germination stage. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 25(2): 271-281. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2009.7259
- Ghutke, T.D., Parvin, K., Rashida Banu, A.M., Bansal, S., Srivastava, A., Rout, S. and Ramzan, U., 2023. A comprehensive review on the therapeutic properties of medicinal plants. Acta Traditional Medicine, 13-18. https://doi.org/10.5281/zenodo.8227509
- Hasanuzzaman, M. and Fujita, M., 2022. Plant responses and tolerance to salt stress: Physiological and molecular interventions. International Journal of Molecular Sciences, 23(9): 4810. https://doi.org/10.3390/ijms23094810
- Hussain, S., Shaukat, M., Ashraf, M., Zhu, C., Jin, Q. and Zhang, J., 2019. Salinity stress in arid and semiarid climates: Effects and management in field crops. Climate Change and Agriculture, 13: 201-226. https://doi.org/10.5772/intechopen.87982
- Inbar, J., Abramsky, M., Cohen, D. and Chet, I., 1994. Plant growth enhancement and disease control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings grown under commercial conditions. European Journal of Plant Pathology, 100(5): 337-346. https://doi.org/10.1007/bf01876444
- Irigoyen, J.J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M.,

1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum, 84(1): 55-60. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1992.840109.x
- Kumar, G., Nanda, S., Singh, S.K., Kumar, S., Singh, D., Singh, B.N. and Mukherjee, A., 2024. Seaweed extracts: Enhancing plant resilience to biotic and abiotic stresses. Frontiers in Marine Science, 11: 1457500. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1457500
- Liang, Z., Ma, Y., Xu, T., Cui, B., Liu, Y., Guo, Z. and Yang, D., 2013. Effects of abscisic acid, gibberellin, ethylene and their interactions on production of phenolic acids in *Salvia miltiorrhiza* Bunge hairy roots. PLoS One, 8(9): e72806. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072806
- Lu, K., Guo, Z., Di, S., Lu, Y., Rehmani, M.I.A., Rong, C., Ding, Y., Li, W. and Ding, C., 2023. OsMFT1 inhibits seed germination by modulating abscisic acid signaling and gibberellin biosynthesis under salt stress in rice. Plant Cell Physiology, 64(6): 674-685. https://doi.org/10.1093/pcp/pcad013
- Luo, Q., Zheng, Q., Hu, P., Liu, L., Yang, G., Li, H., Li, B. and Li, Z., 2021. Mapping QTL for agronomic traits under two levels of salt stress in a new constructed RIL wheat population. Theoretical and Applied Genetics, 134(1): 171-189. https://doi.org/10.1007/s00122-020-03689-8
- Ma, Y., Dias, M.C. and Freitas, H., 2020. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. Frontiers in Plant Science, 11: 591911. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.591911
- Magouz, F.I., Essa, M.A., Matter, M., Mansour, A.T.A. and Ashour, M., 2021. Effect of different salinity levels on population dynamics and growth of the cyclopoid copepod *Oithona nana*. Diversity, 13(5): 190. https://doi.org/10.3390/d13050190
- Martynenko, A., Shotton, K., Astatkie, T., Petrash, G., Fowler, C., Neily, W. and Critchley, A.T., 2016. Thermal imaging of soybean response to drought stress: The effect of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract. SpringerPlus, 5(1): 1393. https://doi.org/10.1186/s40064-016-3019-2
- McDonald, S., Prenzler, P.D., Antolovich, M. and Robards, K., 2001. Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. Food Chemistry, 73(1): 73-84. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00288-0
- Mukherjee, A. and Patel, J.S., 2020. Seaweed extract: Biostimulator of plant defense and plant productivity. International Journal of Environmental Science and Technology, 17(1): 553-558. https://doi.org/10.1007/s13762-019-02442-z
- Nourzad, S., Ahmadian, A. and Moghaddam, M., 2015. Proline, total chlorophyll, carbohydrate amount and nutrients uptake in coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress and fertilizers application. Iranian Journal of Field Crops Research, 13(1): 131-139. https://doi.org/10.22067/gsc.v13i1.26013
- Patwa, N., Pandey, V., Gupta, O.P., Yadav, A., Meena, M.R., Ram S. and Singh, G., 2024. Unravelling wheat genotypic responses: Insights into salinity stress tolerance in relation to oxidative stress, antioxidant mechanisms, osmolyte accumulation and grain quality parameters. BMC Plant Biology, 24(1): 875. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05508-4
- Ranjbar, G.H. and Anaqoli, A., 2018. Concepts of Salt Stress and Plant Response. AREEO Press, 158p. https://www.avayezohoor.ir/book/1629
- Rasekh, F., Rowshan, V., Vaziri, A. and Kholdebarin, B., 2019. Effects of salinity on biochemical and physiological characteristics of *Matricaria chamomilla*. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32(3): 583-595. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832592.1398.32.3.12.9
- Rashidi Kurdkandi, S., Aelaei, M., Ghahremani, Z. and Salehi, F., 2024. Effect of spirulina and brown algae on salinity tolerance of ornamental cabbage (*Brassica oleraceae* L. cv. Kamome). FOP, 9(2): 377-398. (In Persian) http://dx.doi.org/10.61882/flowerjournal.9.2.377
- Shedeed, Z.A., Gheda, S., Elsanadily, S., Alharbi, K. and Osman, M.E., 2022. Spirulina platensis biofertilization for enhancing growth, photosynthetic capacity and yield of *Lupinus luteus*. Agriculture, 12(6): 781. https://doi.org/10.3390/agriculture12060781
- Shi, M.Q., Liao, X.L., Ye, Q., Zhang, W., Li., Y.K., Bhat, J.A., Kan, G.Z. and Yu, D.Y., 2022. Linkage and association mapping of wild soybean (*Glycine soja*) seeds germinating under salt stress. Journal of Integrative Agriculture, 21(10): 2833-2847. https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.07.031
- Singleton, V.L. and Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16(3): 144-158. https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144
- Sun, T., Powers, J.R. and Tang, J., 2007. Evaluation of the antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices. Food Chemistry, 105(1): 101-106. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.048
- Witzel, K., Matros, A., Bertsch, U., Aftab, T., Rutten,

morphological, physiological characteristics and essential oil compounds of garden cress microgreen. International Journal of Horticultural Science and Technology, 12(1): 267-280. https://doi.org/10.22059/ijhst.2024.373859.800

T., Ramireddy, E., Melzer, M., Kunze, G. and Mock, H.P., 2021. The jacalin-related lectin HvHorcH is involved in the physiological response of barley roots to salt stress. International Journal of Molecular Sciences, 22(19): 10248. https://doi.org/10.3390/ijms221910248

- Zare-Bavani, M.R. and Ardashiri, M., 2025. The effects of two types of seaweed extracts on the