Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 41, No. 1, Page 145-163 (2025)

DOI: 10.22092/ijmapr.2024.364983.3425

Effects of seaweed extract on the growth and biochemical characteristics of Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) under drought stress

Ahmad Bakhshi[1], Vahid Abdossi[2*], Marziyeh Ghanbari Jahromi[3]

1- M.Sc. student, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2*-Corresponding author, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, E-mail: abdossi@yahoo.com
3- Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: February 2024 Revised: July 2024 Accepted: September 2024

Abstract

Background and objectives: Water availability is one of the most critical climatic factors influencing plant distribution worldwide. Drought stress, resulting from insufficient water availability, can induce plant morphophysiological, biochemical, and functional changes. Seaweed contains a high percentage of polymer compounds capable of absorbing water molecules and forming a gel-like structure. Additionally, its rich composition of salts and essential minerals fulfills plant nutrient requirements, promotes growth and yield, enhances resistance to environmental stress, improves nutrient uptake from the soil, and boosts antioxidant properties.

Tarragon (*Artemisia dracunculus L.*) is an herb widely used as a flavoring agent in the food industry, with its essential oil playing a key role in canning and perfumery. Because seaweed extract serves as a natural biofertilizer, providing essential nutrients and plant growth hormones while being environmentally friendly, it represents a viable alternative to chemical fertilizers. Moreover, it enhances plant resilience to various environmental stresses and contributes to sustainable food production. This study aims to investigate the effects of seaweed extract on the growth and biochemical characteristics of tarragon under drought stress conditions.

Methodology: This study was conducted to investigate the growth, physiological, and biochemical characteristics of the medicinal plant tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) under drought stress at four levels (100%, 80%, 60%, and 40% field capacity) and foliar application of aqueous *Sargassum* seaweed extract at three concentrations (0 g/L [control], 1 g/L, and 2 g/L). The experiment was carried out in the spring of 2023 in a greenhouse located in Damavand, using a factorial arrangement based on a completely randomized design with three replications. Four-leaf tarragon seedlings were obtained from the training farm of Damavand Technical and Vocational School and transplanted into three-liter pots. After a 10-day establishment period, drought stress was applied for 45 days, with foliar spraying of seaweed extract performed every two weeks, starting simultaneously with the onset of drought stress. Soil moisture levels in the pots were monitored daily by weighing them, and water was added as needed to maintain the target field capacity for each treatment. Plant sampling was conducted one week to 10 days after the completion of treatments, coinciding with the transition from vegetative to reproductive growth. Morphophysiological traits, including fresh and dry biomass, plant height, and the

Copyright: © 2025 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.

number of secondary branches, were measured. Additionally, biochemical parameters such as proline content, soluble carbohydrates, total phenol and flavonoid content, antioxidant activity, and essential oil yield and percentage were analyzed.

Results: The results indicated that under severe drought stress (40% field capacity) and in the absence of seaweed extract application, there was a significant reduction in morphophysiological traits, including plant height, main stem diameter, number of secondary branches, fresh and dry weight of aerial parts, and photosynthetic pigments (chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll). However, the application of seaweed extract mitigated the adverse effects of drought stress on tarragon. Under mild drought stress (60% field capacity) without seaweed extract application, the highest levels of total phenol (82 mg/g gallic acid), total flavonoid (64.33 mg/g quercetin), antioxidant activity (76%), and essential oil yield and percentage were observed. Drought stress also enhanced the activity of antioxidant enzymes, leading to increased synthesis of soluble carbohydrates and proline compared to the control. Among the tested seaweed extract concentrations, the application of 2 g/L had the most significant positive impact on the evaluated traits, further improving plant resilience and biochemical responses under drought-stress conditions.

Conclusion: The overall findings of this study indicate that tarragon exhibits limited resistance to drought stress, with a noticeable decline in yield as stress intensity increases. Under drought conditions, the application of seaweed extract, particularly at a concentration of 2 g/L, effectively mitigated the adverse effects of stress by enhancing morphophysiological and phytochemical traits, including total phenol, flavonoid content, and essential oil yield. In most cases, the difference between 2 g/L and 1 g/L of seaweed extract was statistically significant, with 2 g/L demonstrating superior effectiveness. Therefore, the application of 2 g/L seaweed extract is recommended to improve drought tolerance and maintain yield in tarragon under water-limited conditions.

Keywords: proline, environmental stress, total phenol, catalase, growth promoter.

تأثیر عصاره آبی جلبک دریایی سارگاسوم (*Sargassum polycystum*) بر رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) در شرایط تنش خشکی

احمد بخشی[۱]، وحید عبدوسی[۲*]، مرضیه قنبری جهرمی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گیاهان داروئی، گروه علوم باغی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

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

پست الکترونیک: abdossi@yahoo.com

۳- استادیار علوم باغبانی، گروه علوم باغی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: یکی از مهمترین عوامل اقلیمی که بر توزیع و پراکنش گیاهان سراسر جهان تاثیرگذار بوده و می‌تواند تغییرات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و عملکردی در گیاه ایجاد کند، کمبود آب در دسترس گیاه در اثر تنش خشکی است. جلبک‌ها به واسطه داشتن درصد بالای ترکیبات پلیمری است که قادرند مولکول‌های آب را جذب نموده و به حالت ژله‌ای درآیند. درصد بالای املاح و ترکیبات معدنی موجود در جلبک‌ها که نیاز گیاهان به املاح را تأمین می‌کنند و سبب تحریک رشد و محصول گیاه، ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های محیطی، افزایش جذب مواد مغذی از خاک و نیز افزایش صفات آنتی‌اکسیدانی می‌شوند. ترخون گیاهی است علفی که امروزه به عنوان طعم‌دهنده در صنایع غذایی و اسانس آن در کنسروسازی و عطرسازی کاربرد دارد. از آنجایی که عصاره جلبک دریایی می‌تواند با داشتن عناصر مورد نیاز گیاه و هورمون‌های رشد بدون آسیب به طبیعت به عنوان کود زیستی جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی و مقاومت گیاهان به انواع تنش‌های محیطی شده و نقش مهمی در مدیریت تامین مواد غذایی سالم داشته باشد، تحقیق حاضر با هدف بررسی رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه ترخون در شرایط تنش خشکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها: تحقیق حاضر جهت بررسی رشد، خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه دارویی ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) تحت تنش خشکی در چهار سطح (۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و عصاره آبی جلبک دریایی سارگاسوم (عدم محلول‌پاشی (شاهد)، ۱ و ۲ گرم در لیتر)؛ در بهار سال ۱۴۰۲ در گلخانه‌ای واقع در دماوند به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. نشاهای چهار برگی گیاه ترخون از مزرعه آموزشی آموزشکده فنی و حرفه‌ای دماوند تهیه و به گلدان‌های سه لیتری منتقل شدند. پس از استقرار گیاهچه‌ها (حدود ۱۰ روز بعد) تنش خشکی به مدت ۴۵ روز و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی همزمان با شروع تنش خشکی هر دو هفته یکبار انجام شد. وضعیت رطوبتی گلدان‌ها به وسیله وزن کردن روزانه تمامی آن‌ها مشخص گردید و بدین ترتیب نقصان رطوبتی گلدان‌ها با اضافه نمودن مقدار آب لازم به صورت روزانه و رساندن آن‌ها به حد ظرفیت زراعی تیمار مربوطه جبران شد. نمونه‌برداری از گیاهان یک هفته تا ۱۰ روز پس از اتمام تیماردهی زمانی که رشد رویشی گیاه کامل شد (ابتدای ورود به فاز زایشی) جهت اندازه‌گیری صفات مورفوفیزیولوژیکی شامل وزن تر و خشک بوته، ارتفاع و تعداد شاخه فرعی و فیتوشیمیایی شامل پرولین و کربوهیدرات محلول، فنول و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و درصد و عملکرد اسانس صورت گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد در شرایط تنش خشکی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی شدید) و عدم کاربرد عصاره جلبک کاهش معنی‌دار صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه (ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل) گیاه) مشاهده شد، استفاده از عصاره جلبک سبب کاهش اثر منفی تنش خشکی در ترخون شد. در تیمار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی ملایم) و عدم استفاده از عصاره جلبک بیشترین مقدار فنول کل (۸۲

میلی‌گرم بر گرم اسید گالیک)، فلاونوئید کل (۶۴/۳۳ میلی‌گرم بر گرم کوئرستین) فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۶ درصد) و درصد و عملکرد اسانس ترخون مشاهده گردید. تنش خشکی همچنین میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه ترخون را افزایش داد و به موجب آن سنتز کربوهیدرات محلول و پرولین نیز نسبت به شاهد افزایش یافت. از میان غلظت‌های جلبک دریایی، عصاره جلبک ۲ گرم در لیتر اثر مثبت بیشتری بر صفات مورد مطالعه داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج کلی تحقیق نشان داد که گیاه ترخون نسبت به تنش خشکی خیلی مقاوم نبوده و کاهش عملکرد با افزایش شدت تنش کاملا مشهود بود. در شرایط تنش خشکی استفاده از عصاره جلبک به ویژه عصاره ۲ گرم در لیتر داری اثر بهتری در تعدیل شدت تنش خشکی با بهبود شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی مانند مقدار فنول و فلاونوئید کل و میزان اسانس بوته ترخون شد. در بیشتر موارد اختلاف معنی‌داری بین ۲ و ۱ گرم در لیتر عصاره جلبک وجود داشت، بنابراین مقدار ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک در شرایط تنش خشکی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش محیطی، فنول کل، کاتالاز، محرک رشد.

مقدمه

ترخون با نام علمی *Artemisia dracunculus* L. از خانواده Asteraceae گیاهی علفی و چندساله با ارتفاع ۱۵۰-۴۰ سانتی‌متر و دارای برگ‌های متناوب و ساقه کرکی است. ترکیبات مهم ترخون شامل اسانس، کومارین، فلاونوئید و اسیدهای فنولیک، آلکالوئید و مواد تاننی (Behbahani *et al*., 2017) است که برای درد مفاصل مفید بوده و موجب تسکین دل درد، دندان‌درد و لثه و دردهای معده در اثر پرخوری و تقویت دستگاه گوارش می‌شود (Ekiert *et al*., 2021).

مهمترین تنش محیطی که به رشد و نمو گیاهان آسیب می‌رساند، خشکی است که حدود ۷۰ درصد از زیان‌های بالقوه تولید گیاه را در سطح جهان تشکیل می‌دهد. تحمل گیاه به تنش خشکی در بین گونه‌ها، مراحل رشد، دوره‌های خشکی و شدت متفاوت است (Bulgari *et al*., 2019). کمبود آب با ایجاد تغییراتی در صفات و فرآیندهای مولکولی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و اکولوژیکی از رشد گیاه جلوگیری می‌کند، بنابراین بر کمیت و کیفیت گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Amiripour *et al*., 2021). علاوه بر این، تنش خشکی باعث افزایش تنش اکسیداتیو، تغییر در متابولیسم و اختلال در فعالیت آنزیمی می‌شود که به سلول‌ها آسیب می‌رساند (Shahmohammadi *et al*., 2023).

جلبک‌های دریایی محتوای مغذی ماکرو و میکرو، آمینواسیدها، ویتامین، سیتوکنین‌ها، اکسین و آبسزیک اسید هستند و به واسطه این مواد سبب تحریک رشد و محصول گیاه، ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های محیطی، افزایش جذب مواد مغذی از خاک و نیز افزایش صفات آنتی‌اکسیدانی می‌شوند (Erulan *et al*., 2009). مهمترین علت استفاده از جلبک‌ها به عنوان کود، توانایی بالای آن‌ها در جذب و نگهداری آب به واسطه داشتن درصد بالای ترکیبات پلیمری است که قادرند مولکول‌های آب را جذب نمایند. همچنین درصد بالای املاح و ترکیبات معدنی موجود در جلبک‌ها که نیاز گیاهان به املاح را تأمین می‌کنند ویژگی مهم دیگری است که در حاصلخیزی خاک نقش بسزایی دارد (Rathore *et al*., 2009).

در خصوص اثر کود زیستی جلبک دریایی، یک مطالعه تحقیقاتی تحت عنوان استفاده از عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) در بهبود اثرات منفی ناشی از تنش کم‌آبی در گیاه نخود انجام شد که تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی (صفر، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی) و سه سطح تنش (کم آبی شامل بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید) به ترتیب آبیاری در سطح (۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) بود. نتایج نشان داد که در شرایط بدون تنش و سطوح ۲/۵ و ۳/۵ درصد حجمی عصاره به صورت معنی‌داری شاخه

جانبی، تعداد غلاف در بوته، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه، محتوای آب نسبی، محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل را در مقایسه با شاهد افزایش داد. در شرایط تنش ملایم، کاربرد سطح ۲/۵ درصد عصاره جلبک موجب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف، وزن خشک اندام هوایی، طول ریشه، محتوای آب نسبی، محتوای کلروفیل و کلروفیل کل در مقایسه با شاهد شد (Ahmadpour *et al*., 2021). در مطالعه‌ای دیگر با عنوان تأثیر عصاره جلبک دریایی بر شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum*) با فاکتورهای تنش خشکی (شاهد (آبیاری کامل) و قطع کامل آبیاری در مرحله شروع رشد زایشی و در ۵۰ درصد گلدهی) و محلول‌پاشی عصاره جلبک (۱ و ۲ گرم در لیتر) نشان داده شد با افزایش شدت تنش خشکی، صفات مورفولوژیک شامل تعداد انشعابات جانبی، وزن تازه و خشک تک بوته، تعداد برگ، سطح کلروفیل کل، کاروتنویید و محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت، وزن خشک ریشه و صفات بیوشیمیایی شامل کلروفیل a و b برگ، میزان نشت الکترولیت و محتوای پرولین برگ افزایش یافت. محلول‌پاشی با غلظت ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی به طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد باعث کاهش آثار تنش خشکی بر ریحان شد. کاربرد عصاره جلبک دریایی، با افزایش میزان پرولین، ایجاد تنظیم اسمزی، کاهش تجزیه کلروفیل و کاهش نشت غشاء، سبب بهبود رشد ریحان در شرایط تنش خشکی شد (Esmaielpour *et al*., 2019).

در یک مطالعه با عنوان اثر عصاره جلبک دریایی (*Pterocladia capillacea*) روی پارامترهای رشد و ترکیبات بیوشیمیایی گل خطمی اثر عصاره جلبک در سه غلظت (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) در مقایسه با گروه شاهد که از کود NPK استفاده شد، بر روی رشد، میزان ماده معدنی، میزان آنتی‌اکسیدان و عملکرد گیاه ختمی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر بیشترین ارتفاع بوته، بیشترین وزن تر و تعداد برگ‌ها در تیمار مربوط به کاربرد ۱۰ درصد عصاره جلبک دریایی در مقایسه با سایر تیمارها بود. بالاترین سطوح ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل، میزان کل فنول‌ها و فلاونوئیدهای کل نیز مربوط به تیمار کاربرد ۱۰ درصد عصاره جلبک دریایی بود (Ashour *et al*., 2020).

در یک مطالعه مروری اثر عصاره جلبک دریایی بر گیاهان خانواده سولاناسه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد عصاره موجب تغییرات فیزیولوژیکی می‌شود که ممکن است یک رویکرد قدرتمند و سازگار با محیط زیست ایجاد کند. افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان تیمار شده و ایجاد تعادل در رشد، گلدهی زودتر و افزایش باردهی در این گیاهان از جمله نتایج کاربرد جلبک دریایی است. همچنین تسریع رشد، جذب مواد مغذی و افزایش عملکرد فتوسنتز، که می‌تواند در اثر القای تحمل گیاه به شرایط نامطلوب محیط باشد از دیگر اثرات کاربرد عصاره جلبک دریایی بر گیاهان این خانواده است (Pohl *et al*., 2019).

بنابرآنچه گفته شد پژوهش حاضر درصدد پاسخ دادن به این سوال اصلی است که تنش خشکی و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی چه تأثیری بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی ترخون می‌گذارد؟ و هدف از آن بهبود شاخص‌های رشد و صفات بیوشیمیایی گیاه ترخون با استفاده از عصاره جلبک دریایی تحت تنش خشکی است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به منظور بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی تحت تنش خشکی بر خصوصیات کمی و کیفی ترخون به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با دو مشاهده در گلخانه آموزشی دانشکده فنی و حرفه‌ای دماوند انجام شد. عامل اول شامل تنش خشکی در چهار سطح شامل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عامل دوم شامل شاهد (بدون محلول‌پاشی) ۱ و ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک بود. برای این منظور، نشاء چهار برگی ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) از مزرعه آموزشی دانشکده کشاورزی فنی و حرفه‌ای دماوند تهیه و ۲ عدد

نشاء درون گلدان‌هایی به قطر ۱۷ سانتی‌متر کاشته شد. عصاره جلبک دریایی سارگاسوم (*Sargassum polycystum*) مورد استفاده به صورت خشک و پودر شده از شرکت افراگستر یگانه خریداری شد.

پودر عصاره جلبک دریایی سارگاسوم ۴۵ درصد ماده مؤثره، به رنگ قهوه‌ای سیاه و حلالیت ۹۹ درصد در آب، دارای ۲۰ گرم در لیتر اسید آلژینیک، ۱۰۰ گرم ماده آلی، چگالی ۱/۱۰–۱، ۵ گرم در لیتر نیتروژن، ۰/۵ گرم در لیتر فسفر و ۲۰ گرم در لیتر پتاسیم بود. برای تیمار جلبک دریایی سارگاسوم و به دست آوردن محلول؛ ۱ و ۲ گرم پودر آسیاب شده خشک جلبک مذکور در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب حل و به صورت محلول‌پاشی استفاده شد.

تیمارهای تنش خشکی بر اساس ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف عصاره جلبک دریایی با فاصله هر ۱۵ روز یکبار به مدت ۴۵ روز بر روی گیاهان اعمال شد (Minaei *et al*., 2019).

وضعیت رطوبتی گلدان‌ها به وسیله وزن کردن روزانه تمامی آن‌ها مشخص گردید و بدین ترتیب نقصان رطوبتی گلدان‌ها با اضافه نمودن مقدار آب لازم به صورت روزانه و رساندن آن‌ها به حد ظرفیت زراعی تیمار مربوطه جبران شد.

یک هفته پس از اتمام دوره تیماردهی، نمونه‌برداری از گیاهان انجام و صفات رشدی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی آن‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

ارتفاع بوته با استفاده از خطکش میلی‌متری، قطر ساقه اصلی به وسیله کولیس مورد سنجش قرار گرفت. در هر تیمار تعداد شاخه فرعی هر بوته شمارش گردید. جهت اندازه‌گیری وزن تر، یک گیاه از هر گلدان را از سطح خاک (محل طوقه) قطع نموده و پس از انتقال به آزمایشگاه وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. بوته‌هایی که از محل طوقه جدا شدند، پس از شستشوی مختصر و جدا کردن خاک در آون با دمای ۴۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفته و سپس وزن خشک بوته (اندام هوایی) با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ درصد ارزیابی شد (Inbar *et al.*, 1994).

سنجش میزان رنگیزه‌های گیاهی: برای مقایسه میزان رنگیزه‌های گیاهی؛ پس از تهیه عصاره گیاهی، مقداری از نمونه داخل بالن، در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ برای کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda مقدار جذب قرائت شد. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد (Arnon, 1967).

Chlorophyll a = (19.3×A663 - 0.86×A645) V/100W

Chlorophyll b = (19.3×A645 - 3.6×A663) V/100W

Carotenoides = 100(A470) - 3.27(mg chl. a) - 104(mg chl. b)/227

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

A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W= وزن تر نمونه بر حسب گرم

اندازه‌گیری میزان پرولین: میزان پرولین با روش واکنش نین‌هیدرین (Bates *et al*., 1973) در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda تعیین شد.

اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول: پس از تهیه عصاره گیاهی جذب نور در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda خوانش و غلظت قندهای احیاکننده با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (Somogyi, 1952).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

میزان آنزیم کاتالاز (CAT): پس از تهیه عصاره

آنزیمی، جذب آن‌ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda به صورت تغییرات جذب بر زمان (OD/ min) ثبت شد. فعالیت آنزیمی با استفاده از قانون بیرلامبرت و با ضریب خاموشی کاتالاز $۳۹/۴\ mM^{-1}\ cm^{-1}$ محاسبه و در نهایت بر حسب میکرومول بر گرم بافت تازه در دقیقه بیان گردید.

اندازه‌گیری آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD): فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز از طریق اندازه‌گیری توانایی آن در جلوگیری از احیای نوری نیتروبلو تترازولیوم کلراید (NBT) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda در ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. یک واحد فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، مقدار آنزیمی است که در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند تا ۵۰ درصد مانع از احیای نوری نیترو بلو تترازولیوم کلراید گردد. فعالیت ویژه آنزیم بصورت تعداد واحدهای آنزیم در میلی‌گرم پروتئین گزارش شد (Amini, 2014).

صفات فیتوشیمیایی

اندازه‌گیری میزان فنول کل: پس از عصاره‌گیری متانولی، مقدار جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد (Oroojalian *et al*., 2010). منحنی استاندارد در برابر جذب اسید تانیک رسم گردید (Y=0.00114X+0.01062، Y عدد جذب و X غلظت بر حسب ppm). برای تعیین غلظت فنل نمونه‌ها اعداد جذب به دست آمده از اسپکتروفتومتر را در معادله بالا (Y) قرار داده و میزان غلظت ترکیب‌های فنلی موجود در نمونه‌ها بر حسب ppm (X) محاسبه گردید. در نهایت مقادیر فنول تام عصاره با استفاده از منحنی استاندارد بر اساس میلی‌گرم گالیک اسید در گرم عصاره اندازه‌گیری شد.

تعیین میزان فلاونوئید کل: از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم برای تعیین مقدار فلاونوئیدها استفاده شد. جذب ترکیب واکنشی در ۴۱۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Visible/UV-45 Lambda اندازه‌گیری شد. 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 گردید. 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).

سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی: برای این منظور از رادیکال آزاد DPPH (2,2-Diphenyl- Picryl-Hydrazyl) استفاده گردید. جذب نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه در ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. درصد مهار رادیکال آزاد DPPH نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر به دست آمد.

$$R\%=AD–AS/AD\times100$$

R٪= درصد مهار AD= جذب DPPH در ۵۱۷ نانومتر AS= جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر

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

درصد و عملکرد اسانس: تقطیر با آب و به کمک دستگاه اسانس‌گیری کلونجر صورت گرفت. مدت زمان اسانس‌گیری ۳ ساعت بود. بازده اسانس به صورت درصد تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

پس از انجام توزیع داده‌ها و یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی، تجزیه واریانس در قالب طرح کاملا تصادفی بصورت فاکتوریل انجام شد. در مرحله نخست تجزیه واریانس ساده و پس از آن میانگین صفات مورد مطالعه به روش LSD حفاظت شده در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ مورد مقایسه قرار گرفت. رسم نمودارها و جداول توسط نرم‌افزارهای Excel و Word 2007 صورت پذیرفت.

نتایج

صفات مورفولوژیکی: اثر اصلی تیمار تنش خشکی و عصاره جلبک بر صفات مورفولوژیکی (ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد شاخه فرعی و وزن تر و خشک اندام هوایی) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارها بر ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی و وزن تر اندام هوایی در سطح یک درصد و بر وزن خشک اندام هوایی در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار تنش خشکی و عصاره جلبک بر صفات مورفولوژیکی ترخون

Table 1. The results of variance analysis of the effect of drought stress treatment and algae extract on morphological traits of tarragon

Source of variation	Degree of freedom	Mean square				
		Plant Height	diameter of the main stem	Number of sub-branches	fresh weight of shoots	dry weight of shoots
Drought stress (D)	3	865.78**	9.39**	28.82**	746.89**	94.03**
Algae extract (A)	2	42.40**	0.33**	4.06**	87.89**	13.69**
D × A	6	5.64**	0.02**	0.53^{ns}	13.23**	4.02*
Error	24	1.37	0.005	0.54	206	1.004
Coefficient of variation (%)	-	5.03	2.05	23.17	6.10	12.27

**, * and ns respectively indicate significance at the probability level of one and five percent and absence of significant difference.

در شرایط نبود تنش خشکی بیشترین میزان ارتفاع بوته ترخون (۴۲/۳۳ سانتی‌متر) و قطر ساقه اصلی (۴/۹۰ میلی‌متر) مربوط به کاربرد جلبک ۲ گرم در لیتر بود، در حالی که در تنش خشکی شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم محلول‌پاشی کمترین میزان ارتفاع بوته (۷/۰۰ سانتی‌متر) و قطر ساقه اصلی مشاهده شد (جدول ۲).

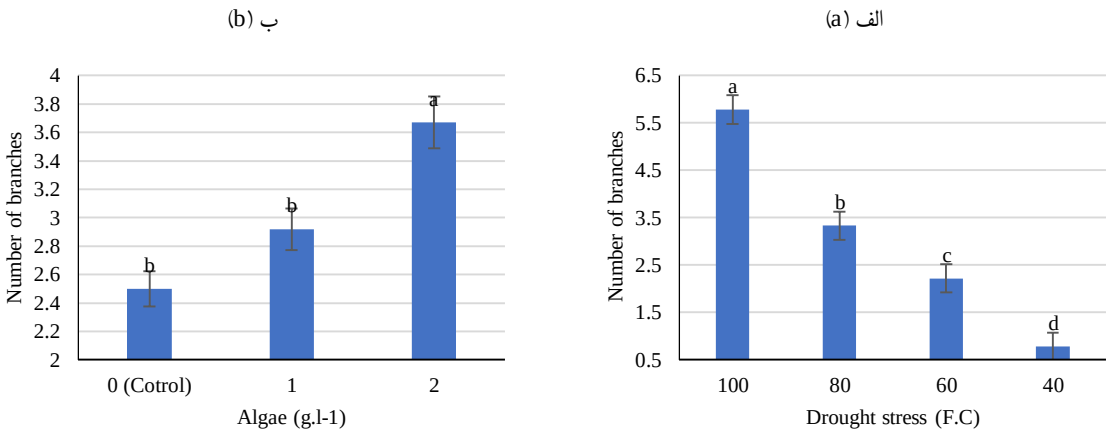
جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی×جلبک بر صفات مورفولوژیک ترخون

Table 2. The results of comparing the average effects of drought stress × algae extract treatments on the morphological traits of tarragon

Drought stress (F.C)	Algae extract (g.l)	Plant height (cm)	diameter of the main stem (mm)	Fresh weight of aerial parts (g)	Dry weight of aerial parts (g)
100	0	34.67b	4.69b	33.67b	11.83b
	1	36.00b	4.79ab	34.00b	12.00b
	2	42.33a	4.90a	43.33a	17.00a
80	0	22.33e	3.90e	23.00de	7.50de
	1	25.67d	4.07d	24.67d	8.33cd
	2	28.33c	4.23c	27.67c	9.33c
60	0	18.33f	2.95h	17.33gh	6.17ef
	1	19.33f	3.18g	19.67fg	6.30ef
	2	20.33ef	3.60f	20.67ef	7.17de
40	0	7.00h	1.78j	9.00i	3.58g
	1	10.33g	1.85j	11.67i	4.50g
	2	11.33fg	2.17h	15.00i	5.17g

In each column, the averages that have at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level.

بیشترین تعداد شاخه فرعی ترخون (۵/۷۸ عدد) در شرایط شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و کمترین آن (۰/۷۸ عدد) در تنش خشکی شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) حاصل شد (شکل ۱- الف). در اثرات اصلی تیمار جلبک بیشترین تعداد شاخه فرعی (۳/۶۷ عدد) با کاربرد جلبک ۲ گرم در لیتر ارزیابی شد (شکل ۱- ب).



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی (الف) و عصاره جلبک (ب) بر تعداد شاخه فرعی ترخون

Figure 1. Comparison results of the average main effect of drought stress (a) and algae extract (b) on the number of sub-branches of tarragon

بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی (۴۳/۳۳ گرم) و وزن خشک اندام هوایی (۱۷/۰۰ گرم) مربوط به عدم تنش خشکی (شاهد) با کاربرد جلبک ۲ گرم در لیتر بود و کمترین میزان وزن تر (۹/۰۰ گرم) و وزن خشک (۳/۵۸ گرم) مربوط به تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و عدم محلول‌پاشی بود (جدول ۲).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: اثر اصلی تیمار تنش خشکی و عصاره جلبک بر رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل و کاروتنوئید) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارها بر کلروفیل a و کل و کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار تنش خشکی و عصاره جلبک بر رنگیزه‌های فتوسنتزی ترخون

Table 3. The results of variance analysis of the effect of drought stress treatment and algae extract on Photosynthetic pigments of tarragon

Source of variation	Degree of freedom	Mean square			
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Caroteniod
Drought stress (D)	3	1.47**	0.50**	3.66**	0.17**
Algae extract (A)	2	0.13**	0.07**	0.39**	0.02**
D × A	6	0.01**	0.002^{ns}	0.02**	0.002**
Error	24	0.002	0.003	0.004	0.0006
Coefficient of variation (%)	-	2.47	5.09	2.32	3.01

** and ns respectively indicate significance at the probability level of one percent and absence of significant difference.

بیشترین میزان کلروفیل a (۲/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۳/۸۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مربوط به عدم تنش خشکی (شاهد) با کاربرد جلبک ۲ گرم در لیتر و کمترین رنگیزه‌های فتوسنتزی مذکور مربوط به تنش خشکی شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و عدم محلول‌پاشی بود (جدول ۴).

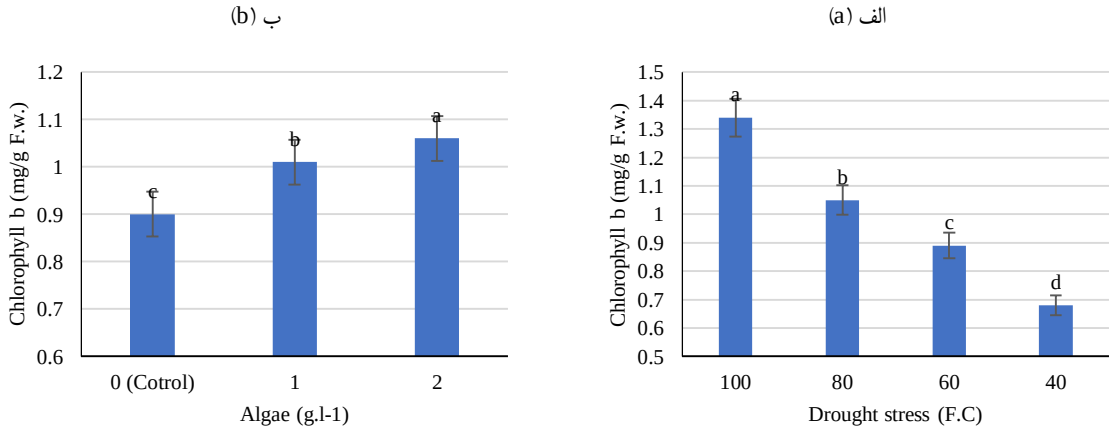
جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی×جلبک بر رنگیزه‌های فتوسنتزی ترخون

Table 4. The results of comparing the average effects of drought stress × algae extract treatments on the Photosynthetic pigments of tarragon

Drought stress (F.C)	Algae extract (g.l)	chlorophyll a (g/mg)	total chlorophyll (g/mg)	Carotenoid (g/mg)
100	0	2.07c	3.28c	0.66de
	1	2.17b	3.52b	0.64e
	2	2.40a	3.84a	0.52f
80	0	1.69f	2.67f	0.76cd
	1	1.83e	2.90e	0.73de
	2	1.94d	3.04d	0.71de
60	0	1.40h	2.23h	0.90b
	1	1.44h	2.33h	0.87b
	2	1.53g	2.47g	0.85bc
40	0	1.01j	1.57j	1.18a
	1	1.15i	1.87i	0.95b
	2	1.20i	1.96i	0.93b

In each column, the averages that have at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level.

بیشترین میزان کلروفیل b مربوط به عدم تنش خشکی (شاهد) (۱/۳۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل b را در برگ ترخون کاهش داد (شکل ۲- الف). در اثر اصلی عصاره جلبک بیشترین کلروفیل b برگ ترخون (۱/۰۶ گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار کاربرد جلبک ۲ گرم در لیتر و کمترین آن (۰/۹۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به عدم محلول‌پاشی بود (شکل ۲- ب).



شکل ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی (الف) و عصاره جلبک (ب) بر کلروفیل b ترخون

Figure 2. Comparison results of the average main effect of drought stress (a) and algae extract (b) on tarragon chlorophyll b

بیشترین میزان کاروتنوئید (۱/۱۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مربوط به تنش خشکی شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) با عدم کاربرد جلبک (شاهد) بود و کمترین میزان آن مربوط به عدم تنش خشکی (شاهد) با کاربرد جلبک ۲ گرم در لیتر بود (جدول ۴).

صفات بیوشیمیایی: اثر اصلی تیمار تنش خشکی و عصاره جلبک و نیز اثر متقابل آن‌ها بر صفات بیوشیمیایی (پرولین، کربوهیدرات محلول، آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار تنش خشکی و عصاره جلبک بر صفات بیوشیمیایی ترخون

Table 5. The results of variance analysis of the effect of drought stress treatment and algae extract on biochemical traits of tarragon

Source of variation	Degree of freedom	Mean square			
		Proline	Soluble carbohydrate	Catalase	Superoxide dismutase
Drought stress (D)	3	0.53**	4.32**	0.19**	6.83**
Algae extract (A)	2	0.03**	0.25**	0.01**	0.02**
D × A	6	0.005**	0.03**	0.001**	0.003**
Error	24	0.0005	0.004	0.0003	0.0004
Coefficient of variation (%)	-	0.70	1.08	4.46	0.90

** indicates significance at the probability level of one percent.

بیشترین میزان پرولین (۳/۷۲ میکرومول در گرم وزن تر) و قندهای محلول (۷/۲۳ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر) مربوط به تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) با عدم محلول‌پاشی و کمترین میزان پرولین (۲/۹۲ میکرومول در گرم وزن تر) و کربوهیدرات محلول آن (۴/۷۸ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر) مربوط به عدم تنش خشکی (شاهد) و با کاربرد تیمار جلبک ۲ گرم در لیتر بود (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی×جلبک بر صفات بیوشیمیایی ترخون

Table 6. The results of comparing the average effects of drought stress × algae extract treatments on the biochemical traits of tarragon

Drought stress (F.C)	Algae extract (g.l)	Proline (γM/gr F.W)	Soluble carbohydrate (γgr/gr F.W)	Catalase (units/mg enzyme protein)	Super oxide dismutase (units/mg enzyme protein)
100	0	2.95i	5.27g	0.22h	1.04i
	1	2.94i	5.21g	0.21h	1.03i
	2	2.92i	4.78h	0.20h	1.02i
80	0	3.11g	5.97e	0.34f	1.78g
	1	3.08gh	5.85f	0.29g	1.76g
	2	3.05h	5.77f	0.26g	1.72h
60	0	3.32d	6.45c	0.44d	2.93d
	1	3.27e	6.34cd	0.39e	2.86e
	2	3.22f	6.24d	0.37ef	2.81f
40	0	0.66a	0.66a	7.23a	3.72a
	1	3.27b	0.61b	6.91b	3.63b
	2	3.20c	0.56c	6.84b	3.49c

In each column, the averages that have at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level.

در تنش شدید (۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و عدم محلول‌پاشی بیشترین فعالیت کاتالاز (۰/۶۶ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین) و سوپراکسید دیسموتاز (۳/۳۶ واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین) و در شرایط عدم تنش خشکی (شاهد) با کاربرد جلبک ۲ گرم در لیتر کمترین فعالیت این دو آنزیم مشاهده شد (جدول ۶).

صفات فیتوشیمیایی: اثر اصلی تیمار تنش خشکی بر صفات فیتوشیمیایی (فنول کل، فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، درصد و عملکرد اسانس) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اثر اصلی عصاره جلبک بر فنول کل در سطح پنج درصد و بر فلاونوئید کل و عملکرد اسانس در سطح یک درصد معنی‌دار شد؛ اثر متقابل تنش خشکی در عصاره جلبک بر فنول کل و درصد اسانس در سطح یک

درصد و بر فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار نشان داد (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار تنش خشکی و عصاره جلبک بر صفات فیتوشیمیایی ترخون

Table 7. The results of variance analysis of the effect of drought stress treatment and algae extract on phytochemical traits of tarragon

Source of variation	Degree of freedom	Mean square				
		Total phenol	Total flavonoids	Antioxidant activity	Percentage of essential oil	Essential oil yield
Drought stress (D)	3	2279.60**	1740.31**	2038.37**	0.12**	3.09**
Algae extract (A)	2	74.89**	100.45**	5.12ns	0.0009ns	0.60**
D × A	6	21.80**	25.68*	19.26*	0.003**	0.15ns
Error	24	4.70	8.99	6.97	0.0006	0.08
Coefficient of variation (%)	-	3.86	7.67	4.64	10.42	17.37

**, * and ns respectively indicate significance at the probability level of one and five percent and absence of significant difference.

بیشترین میزان فنول کل (۸۲/۰۰ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) و فلاونوئید کل (۶۴/۳۳ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) مربوط به تنش خشکی ملایم (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و عدم محلول‌پاشی بود (جدول ۸).

جدول ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش خشکی×جلبک بر صفات فیتوشیمیایی ترخون

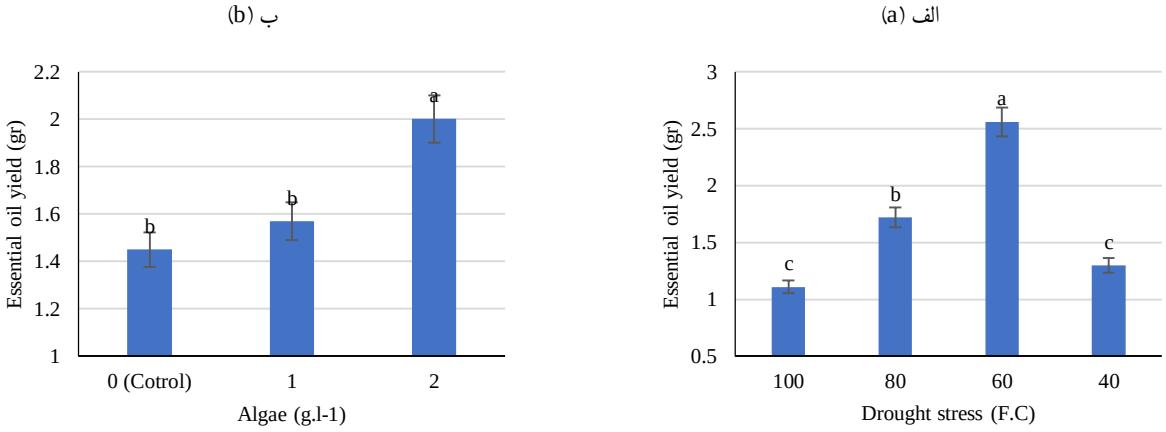
Table 8. The results of comparing the average effects of drought stress × algae extract treatments on the phytochemical traits of tarragon

Drought stress (F.C)	Algae extract (g.l)	Total phenol (mg GA/g D.W.)	Total flavonoids (mg Qu/g D.W.)	Antioxidant activity (%)	Essential oil (%)
100	0	34.00f	25.00e	40.00d	0.06h
	1	32.33f	20.00ef	32.33e	0.08h
	2	30.67f	16.33f	32.00e	0.09h
80	0	54.00d	34.67d	52.00c	0.19g
	1	51.33de	33.00d	53.33c	0.21g
	2	46.67e	31.67d	54.00c	0.22fg
60	0	82.00a	64.33a	76.00a	0.44a
	1	71.67b	52.33b	74.33a	0.35bc
	2	72.67b	55.67b	76.00a	0.39b
40	0	65.67c	43.67c	61.67b	0.26ef
	1	65.00c	44.67c	63.33b	0.29de
	2	65.00c	46.00c	64.33b	0.32cd

In each column, the averages that have at least one letter in common do not have a significant difference at the 5% probability level.

بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تمامی کاربردهای جلبک موجود در تنش خشکی ملایم (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و بیشترین درصد اسانس مربوط به تنش خشکی ملایم (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و عدم محلول‌پاشی بود و کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در اثرات متقابل تیمارها مربوط به عدم تنش خشکی (شاهد) با کاربرد جلبک ۱ و ۲ گرم در لیتر و کمترین درصد اسانس نیز مربوط به عدم تنش خشکی (شاهد) و همه تیمارهای کاربرد جلبک بود (جدول ۸).

بیشترین عملکرد اسانس ترخون (۲/۵۶ گرم در بوته) مربوط به تنش خشکی ملایم (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) و کمترین آن (۱/۱۱ گرم در بوته) مربوط به عدم تنش خشکی (شاهد) بود (شکل ۳- الف). نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی تیمار جلبک نشان داد کاربرد جلبک ۲ گرم بر لیتر موجب افزایش عملکرد اسانس شد (شکل ۳- ب).



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی (الف) و جلبک (ب) بر عملکرد اسانس ترخون

Figure 3. Comparison results of the average main effect of drought stress (a) and algae (b) on the yield of tarragon essential oil

بحث

ارتفاع بوته: نتایج نشان داد ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک اندام هوایی با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافت. در حالی که افزایش غلظت عصاره جلبک دریایی موجب بهبود اثر منفی تنش خشکی و افزایش صفات فوق گردید. در آزمایشی بر روی اثرات تنش خشکی بر گیاه تاج خروس، نشان داده شد که با افزایش تنش تعداد و سطح برگ کاهش یافت. دلیل کاهش ویژگی‌های مورفولوژیک مذکور، محدودیت دسترسی به آب و کاهش سرعت رشد گزارش شد (Oraee *et al*., 2022). علت عدم افزایش ارتفاع گیاه در شرایط تنش خشکی، کاهش میزان کلروفیل و در نتیجه اختلال در فرایند فتوسنتز به واسطه کم‌آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای ارائه به بخش‌های در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه است، این امر در نهایت باعث توقف طویل شدن سلول‌ها و کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Ardeshiri & Jahan Bin, 2018).

محققان نشان دادند استفاده از عصاره جلبک دریایی تاثیر مثبتی بر رشد گیاهان داشت (Hernández-Herrera *et al*., 2022) که با تحقیق حاضر همسو است. تاثیر مثبت جلبک بر شاخص‌های رشد ممکن است به حضور اکسین (Mansori *et al*., 2015؛ Vinoth *et al*., 2019)، سیتوکنین (Shukla *et al*., 2018) و سایر عوامل تقویت کننده رشد (Zhang *et al*., 2010) و همچنین عناصر ریزمغذی (Khan *et al*., 2009) مربوط باشد.

گیاهان هنگام مواجه با تنش کمبود آب دچار تغییرات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و نموی می‌شوند که در بقاء آن‌ها اهمیت زیادی دارد (Gomes *et al*., 2010) و از طریق ایجاد این تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک به تنش خشکی پاسخ می‌دهند. قابلیت دسترسی به آب نقش مهمی در ساختار و تعداد برگ و ساقه دارد. کاهش رشد گیاه در شرایط تنش خشکی سبب کاهش ناحیه سطحی تعرق، افزایش جذب آب از خاک و در نهایت مقاومت گیاه در برابر تنش می‌شود. کاهش تعداد و سطح برگ، ارتفاع بوته و خصوصیات رشدی می‌تواند ناشی از کاهش تقسیم سلولی و همچنین ریزش و پیری برگ در نتیجه کاهش ماده‌سازی باشد (Oguz *et al*., 2022).

کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی در اثر تنش‌های محیطی به این دلیل است که گیاه برای مقابله با شرایط نامساعد، میزان جذب توسط ریشه و رشد اندام هوایی خود

را کاهش می‌دهد، همچنین تلفیق اثر تنش اسمزی با اثر سمیت یونی و تغییر یون، روندهای طبیعی متابولیسمی را مختل نموده و گیاه بخشی از انرژی مواد آلی را به جای تخصیص به رشد، به تولید محلول‌های سازگار، تعدیل اسمزی و حفظ سلول اختصاص می‌دهد (Oguz *et al*., 2022).

در یک مطالعه مشاهده شد که تلقیح جلبک‌ها در محیط‌های غذایی کشت گیاهان منجر به افزایش معنی‌دار خصوصیات رشدی گیاه و افزایش وزن تر و خشک بوته می‌شود (Caffagni *et al*., 2015). اثرات 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 است که موجب افزایش در جذب آب و بیوماس گیاه می‌شود (Hamouda *et al*., 2022).

رنگیزه‌های فتوسنتزی: محتوای کلروفیل برگ یکی از مهمترین بخش‌های سیستم فتوسنتزی است که تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. کلروفیل گیاه در اثر تنش خشکی تحت تأثیر فتواکسیداسیون و تجزیه قرار می‌گیرد (Kapoor *et al*., 2020). به عنوان مثال سنتز کلروفیل برگ و نسبت کلروفیل a/b در سویا در اثر تنش خشکی تغییر یافت (Chowdhury *et al*., 2017). تنش خشکی سبب افزایش محتوای پرولین، میزان کاروتنوئید و کاهش میزان کلروفیل a، b و کل در گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.) شد (Jezizadeh & Mortezainejad, 2017). مهمترین پیامد تنش خشکی در گیاهان کاهش فتوسنتز و آسیب به دستگاه فتوسنتزی است. تحت تأثیر تنش خشکی سطح برگ گیاهان کاهش یافته و انسداد روزنه‌ها افزایش می‌یابد و به دنبال آن با کاهش خنک شدن برگ تبخیر و تعرق و نیز تنش اسمزی افزایش یافته که منجر به خسارت به دستگاه‌های فتوسنتزی می‌شود (Bhargava & Sawant, 2013). تخریب مولکولی کلروفیل به علت جدا شدن زنجیره فیتولی از حلقه پورفیرین در اثر رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) و یا آنزیم کلروفیلاز صورت می‌گیرد (Afshar Mohamadian *et al*., 2018).

جلبک دریایی منجر به افزایش محتوی نسبی آب برگ، میزان کلروفیل، فتوسنتز خالص، پایداری غشاء سلول و محتوای کاروتنوئید در شرایط خشکی می‌گردد (Ahmadpour *et al*., 2021). در این پژوهش در تیمارهای کودی میزان کلروفیل‌ها در گیاه افزایش پیدا کرد که با نتایج حاصل از پژوهش‌های محققین مطابقت دارد (Aggarwal *et al*., 2011).

نتیجه‌های به دست آمده از این پژوهش اثر مثبت جلبک دریایی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی را نشان می‌دهد. بهبود عملکرد دستگاه فتوسنتز ممکن است افزایش وزن خشک و رشد گیاه در اثر کاربرد جلبک را توجیه کند. نتایج نشان می‌دهد که اثر مثبت کاربرد مایع جلبک بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، ناشی از کاهش تخریب کلروفیل در هنگام کمبود آب است (Martynenko *et al*., 2016).

صفات بیوشیمیایی: با افزایش شدت تنش خشکی تجمع پرولین و کربوهیدرات محلول در گیاه ترخون افزایش یافت. بسیاری از عملکردهای اصلی گیاهان مانند رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، تنفس و تولید انرژی تحت تاثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند. اختلال در جذب مواد معدنی، مهار ریشه و به دنبال آن کاهش جذب آب همچنین تغییر در نفوذپذیری غشا از دیگر اثرات مخرب تنش خشکی گیاهان است. پرولین در تنظیم اسمزی، یک واکنش تطابقی به تنش خشکی بوده که مستلزم افزایش مواد محلول در سلول است که به حفظ آماس سلول و باز بودن روزنه‌ها، عمل فتوسنتز و ادامه فرآیندهای رشدی گیاه در طی تنش کمک می‌کند (Dichala *et al*., 2022). تحت تنش خشکی، میزان پرولین بخش هوایی و ریشه گیاه زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) افزایش یافت (Baghizadeh *et al*., 2017). علت افزایش پرولین تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل تحریک فعالیت آنزیم بیوسنتز کننده پرولین و کاهش فعالیت آنزیم کاتابولیکی پرولین باشد (Mahmud *et al*., 2023). در سطح بیوشیمیایی، متابولیت‌های ثانویه و دیگر مولکول‌های کلیدی مانند کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آمینه و پلی‌آمین‌ها

نقش کلیدی را در سازوکارهای تحمل به تنش خشکی و بهبود ظرفیت سازگاری گیاه از طریق تغییر در ثبات غشاء سلولی و تنظیم اسمزی ایفا می‌کنند (El Sabagh *et al*., 2019). تجمع پرولین به حفظ غشاء سلولی با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها با دفاع کردن در برابر پتانسیل اکسیداسیون و احیا سلول و کاهش گونه‌های اکسیژن فعال کمک می‌کند (Gomes *et al*., 2010). البته 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 خشکی می‌گردد (Esmaielpour *et al*., 2019).

محتوای کربوهیدرات‌های قابل سوخت و ساز، یعنی ساکارز، گلوکز و فروکتوز با افزایش تنش به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. کربوهیدرات‌های محلول نه تنها تنظیم اسمزی را فراهم می‌کنند و از ماکرومولکول‌ها (مانند پروتئین‌ها) و غشاها محافظت می‌کنند، بلکه می‌توانند سوخت کربن را برای متابولیسم انرژی در هنگام کاهش فتوسنتز انجام دهند و نقش‌های محوری را به‌عنوان مولکول‌های سیگنال، تنظیم بیوسنتز و هورمون‌های گیاهی ایفا کنند (Prathyusha & Chaitanya, 2019). در شرایط تنش‌های محیطی، کودها با تعدیل تنش شرایط رشد گیاه را به سمت نرمال می‌برد (Zahedi *et al*., 2019).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: آسیب اکسیداتیو در سطح سلولی در بسیاری از گیاهان به محض قرار گرفتن در معرض تنش‌های محیطی، رخ می‌دهد. اکسیژن در جَو نسبتاً غیرواکنش‌پذیر است اما هنگامی که در تماس با سیستم‌های متابولیکی قرار گیرد به اشکال مختلف مانند سوپر اکسید، پراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسیل و اکسیژن واحد تبدیل می‌شوند. موجودات هوازی فتوسنتز کننده در طی حیات خود دائماً در معرض گونه‌های فعال اکسیژن تحت شرایط تنش مانند شوری و خشکی جدی‌تر می‌شود و باعث کاهش تثبیت کربن و انتقال الکترون به اکسیژن و تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن را می‌دهد. در سلول گیاهی آنزیم کاتالاز پاکسازی کننده پراکسید هیدروژن است. در نتیجه فعالیت آنزیم کاتالاز، کاهش پر اکسید هیدروژن (H_2O_2) در گیاه صورت می‌گیرد. برای دفاع علیه تنش خشکی در سلول‌های گیاه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش می‌یابد و تعدیل و تنظیم اجزای سطوح آنتی‌اکسیدان یک پاسخ سازشی مهم برای مقاوم کردن به شرایط تنش‌زا می‌باشد (Pamungkas *et al*., 2022). تنش‌های محیطی با افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن به لیپیدها و پروتئین‌ها آسیب وارد می‌کنند و سلول‌های گیاهی جهت کاهش اثرات منفی اکسیژن فعال تولید شده در سلول از سازوکار تولید آنتی‌اکسیدان مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز استفاده می‌کنند (Zangooei *et al*., 2018). فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در گیاه *Coleus plectranthus* L. (Prathyusha & Chaitanya, 2019) و گیاه ماش‌سیاه (*Vigna mungo* L.) تحت شرایط تنش خشکی افزایش یافت (Gurumurthy *et al*., 2019) که نشان‌دهنده این موضوع است که بهبود فعالیت این آنزیم‌ها به کاهش سطح رادیکال‌های آزاد اکسیژن کمک می‌کند. تخریب غشاهای سلول یکی از پیامدهای مستقیم کمبود آب است (Sofo *et al*., 2004).

در تحقیق حاضر در اثر تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز) افزایش یافت. جلبک‌ها نیز در افزایش فعالیت این ترکیبات در گیاه ترخون نقش مثبت داشتند به طوری که کاربرد جلبک ۲ گرم بر لیتر موجب افزایش بیشتر آن شد. با کاربرد جلبک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بهبود یافت که جهت مقاومت گیاه نسبت به شرایط نامساعد تنشی موثر بود. مهم‌ترین علت استفاده از جلبک‌ها به عنوان کود توانایی بالای آن‌ها در جذب آب و نگهداری آن است. این ویژگی به واسطه داشتن درصد بالای ترکیبات پلیمری است که قادرند مولکول‌های آب را جذب نموده و به حالت ژله‌ای درآیند. همچنین درصد بالای املاح و ترکیبات معدنی موجود در جلبک‌ها که نیاز گیاهان به املاح را تأمین می‌کنند (Hernández-Herrera *et al*., 2022).

صفات فیتوشیمیایی (فنول کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی): در تحقیقی مشابه افزایش فنول کل در شرایط تنش در گیاهان بومادران (Gharibi *et al*., 2016) و زیتون (Denaxa *et al*., 2020) گزارش شد. انباشتگی انواع ترکیبات فنولی در شرایط تنش می‌تواند به عنوان یک علامت عمل کند و برای راه‌اندازی زنجیره‌ای از واکنش‌های دیگر که در نهایت به افزایش تحمل تنش منجر می‌شوند، عمل نماید. کاهش رشد در طی تنش‌ها عمدتا به افزایش انباشتگی فنول‌ها و تسریع در پلیمریزه شدن آن‌ها مربوط است که موجب توقف رشد می‌شود (Amiripour *et al*., 2021).

کودهای زیستی و آلی نقش مهمی در تحریک متابولیت‌های ثانویه‌ای دارد که نقش حفاظتی از گیاه را دارند. در این میان، افزایش ترکیبات فنلی یکی از هدف‌های اصلی این محرک‌های رشد گیاه برای مقابله با تنش خشکی است. تاثیر کودهای زیستی و آلی بسته به نوع تنش، غلظت ماده، و نوع گونه گیاهی متفاوت است. اما در تحقیقی افزایش محتوای فنول و فلاونوئیدی تحت تاثیر کودهای زیستی بیان شد (Radziff *et al*., 2021) که همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

گیاهان می‌توانند با روش‌های مختلف موفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و یا مولکولی به تنش خشکی پاسخ دهند. این پاسخ‌ها موجب ایجاد تغییراتی در آن‌ها می‌شود که یا در برابر تنش مقاومت بیشتری می‌کنند و یا از مواجهه با تنش اجتناب می‌کنند (Billah *et al*., 2021). در برخی از این پاسخ‌ها افزایش قابل توجهی در میزان گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مشاهده می‌شود که بدنبال آن فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیبات آنتی‌اکسیدان افزایش می‌یابد (Aghaei *et al*., 2009).

عصاره جلبک، قدرت بالایی در حذف رادیکال آزاد اکسیژن دارند (Shukla *et al*., 2018). نتایج تحقیق حاضر با یافته سایر محققان در پی افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فیتوشیمیایی گیاه همخوانی دارد (Mansori *et al*., 2015؛ Erulan *et al*., 2009).

درصد و عملکرد اسانس: در پژوهشی به بررسی ترکیبات فیتوشیمیایی مرزنجوش بخارایی (*Origanum vulgare* L. ssp. gracile) به رژیم‌های مختلف رطوبتی خاک پرداخته شد. بیشترین درصد اسانس (در شرایط گلخانه و مزرعه) در تیمار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش ملایم)، بیشترین عملکرد اسانس (در شرایط گلخانه و مزرعه) در تیمار شاهد، بیشترین میزان فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (در شرایط گلخانه) در تیمار ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد (Minaei *et al*., 2019). با افزایش تنش خشکی محتوای اسانس گشنیز به طور معنی‌داری افزایش یافت، بیشترین محتوای اسانس در شرایط تنش ملایم مشاهده شد (Gholizadeh *et al*., 2020).

با توجه به نتایج برهم‌کنش معنی‌دار تنش خشکی و کاربرد عصاره جلبک بر اغلب صفات مورفوفیزیولوژیک گیاه ترخون، استفاده از عصاره جلبک به ویژه عصاره ۲ گرم در لیتر داری اثر بهتری در تعدیل شدت تنش خشکی با بهبود شاخص‌های رشدی گیاه مانند ارتفاع بوته و وزن تر و خشک بوته ترخون شد. در بیشتر موارد اختلاف معنی‌داری بین ۲ و ۱ گرم در لیتر عصاره جلبک وجود داشت، بنابراین مقادیر بیش از ۱ گرم در لیتر عصاره جلبک در شرایط کمبود آب پیشنهاد می‌گردد. اثر متقابل تنش خشکی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی ملایم) و عدم کاربرد عصاره جلبک دارای بیشترین مقدار متابولیت‌های ثانویه مانند فنول و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و درصد اسانس بود که فاکتوری مناسب جهت مقاومت به شرایط نامساعد و نیز خواص دارویی می‌باشد. در صفاتی مانند محتوای کلروفیل برگ، بهترین نتایج در تیمار عصاره جلبک ۲ گرم در لیتر و عدم تنش خشکی بدست آمد، اگر چه با افزایش شدت تنش خشکی نیز این اثربخشی مشهود بود و عصاره جلبک موجب افزایش رنگیزه فتوسنتزی گیاه گردید. در صفات میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و در نتیجه مکانیزم مقاومت و سنتز کربوهیدرات محلول و پرولین، سنتز متابولیت‌هایی چون فنول و فلاونوئید

کل، اثر تنش بیش از عصاره جلبک بود. غلظت‌های عصاره جلبک به دلیل نقش حفاظتی و تعدیل کنندگی آن‌ها موجب کاهش اثرهای منفی تنش خشکی بر صفات مورفوفیزیولوژیک و صفات فیتوشیمیایی گیاه ترخون گردید و از گیاهان در برابر تنش خشکی محافظت نمود.

References

- Afshar Mohamadian, M., omidipour, M. and Jamal Omidi, F., 2018. Effect of different drought stress levels on chlorophyll fluorescence indices of two bean cultivars. Journal of Plant Research, 31(3): 511-525.
- Aggarwal, M., Sharma, S., Kaur, N., Pathania, D., Bhandhari, K., Kaushal, N., Kaur, R., Singh, K., Srivastava, A. and Nayyar, H., 2011. Exogenous proline application reduces phytotoxic effects of selenium by minimizing oxidative stress and improves growth in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seedlings. Biological Trace Element Research, 140: 354-367.
- Aghaei, K., Ehsanpour, A.A. and Komatsu, S., 2009. Potato responds to salt stress by increased activity of antioxidant enzymes. Journal of Integrative Plant Biologygy, 51: 1095–1103.
- Ahmadpour, R., Salimi, A., Zeydi, H. and Armand, N., 2021. Use of seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract in mitigating the negative effects of water deficit stress in chickpea by evaluating morphophysiological indicators. Iranian Journal of Pulses Research, 12(2): 199-213.
- Amini, Z., 2014. Effects of water deficit on proline content and activity of antioxidant enzymes among three olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Journal of Plant Research, 27(2): 156-167.
- Amiripour A., Jahromi M.G., Soori M.K. and mohammadi Torkashvand A., 2021. Changes in essential oil composition and fatty acid profile of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under salinity and foliar-applied silicon. Industrial Crops and Products, 168: 113599.
- Ardeshiri, T. and Jahan Bin, S., 2018. Effect of foliar application of nano-iron and zinc chelated on yield, yield components and harvest index of canola under drought stress conditions. Journal of Crops Improvement, 20(1): 31-43.
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Journal of Agronomy, 23: 112-121.
- 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.
- Baghizadeh, A., Afroushte, M. and Fakheri, B., 2017. The effects of drought stress on seed germination and some of morphological and physiological traits in *Trachyspermum ammi*. New Finding in Agriculture, 11(2): 19-36.
- Bates, L.S., 1973. Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. Plant Soil, 39: 205-207.
- Behbahani, B.A., Shahidi, F., Yazdi, F.T., Mortazavi, S.A. and Mohebbi, M., 2017. Antioxidant activity and antimicrobial effect of tarragon (*Artemisia dracunculus*) extract and chemical composition of its essential oil. Journal of Food Measurement and Characterization, 11: 847-863.
- Bhargava, S. and Sawant, K., 2013. Drought stress adaptation: Metabolic adjustment and regulation of gene expression. Plant Breeding, 132: 21-32.
- Billah, M., Aktar, S., Brestic, M., Zivcak, M., Khaldun, A.B.M., Uddin, M.S., Bagum, S.A., Yang, X., Skalicky, M., Mehari, T.G., Maitra, S. and Hossain, A., 2021. Progressive genomic approaches to explore drought- and salt-induced oxidative stress responses in plants under changing climate. Plants, 10(9): 1910.
- Bulgari, R., Franzoni, G. and Ferrante, A., 2019. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. Agronomy, 9: 306.
- Caffagni, D.E., Camargo, E., Casali, C.A., Lombardi, A.T. and Lima, M.I.S., 2015. Coupling microalgal cultures with hydroponics: Prospection for clean biotechnology processes. Journal of Algal Biomass Utilization, 6: 88-94.
- 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): 3.
- Chowdhury, J., Karim, M., Khaliq, Q. and Ahmed, A., 2017. Effect of drought stress on bio-chemical change and cell membrane stability of soybean genotypes. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 42: 475-485.
- Denaxa, N.K., Damvakaris, T. and Roussos, P.A., 2020. Antioxidant defense system in young olive plants against drought stress and mitigation of adverse effects through external application of alleviating products. Scientia Horticulturae, 259: 108812.

- Dichala, O., Giannakoula, A.E. and Therios, I., 2022. Effect of Salinity on Physiological and Biochemical Parameters of Leaves in Three Pomegranate (*Punica Granatum* L.). Cultivars. Applied Sciences, 12: 8675.
- Ekiert, H., Świątkowska, J., Knut, E., Klin, P., Rzepiela, A., Tomczyk, M. and Szopa, A., 2021. *Artemisia dracunculus* (Tarragon): A Review of Its Traditional Uses, Phytochemistry and Pharmacology. Frontiers in Pharmacology, 12: 653993.
- El Sabagh, A., Hossain, A., Barutcular, C., Gormus, O., Ahmad, Z., Hussain, S., Islam, M., Alharby, H., Bamagoos, A., Kumar, N., Akdeniz, H., Fahad, S., Meena, R. S, Abdelhamid, M., Wasaya, A., Hasanuzzaman, M., Sorour, S. and Saneoka, H., 2019. Effects of drought stress on the quality of major oilseed crops: Implications and possible mitigation strategies- A review. Appllied Ecology Environmental Research, 17: 4019-4043.
- Erulan, V., Soundarapandian, P., Thirumaran, G. and Ananthan, G., 2009. Studies on the effect of *Sargassum polycystum* (C, Agardh 1824) extract on the growth and biochemical composition of *Cajanus cajan* (L.) Mill sp. Amer-Eurasi. Journal of Agriculture and Environmental Sciences, 6(4): 392–399.
- Esmaielpour, A., Fatemi, H. and Moradi, M., 2019. The effect of seaweed extract on the physiological and biochemical parameters of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water stress conditions. Science and Technology of Greenhouse Crops, 11(1): 59-69.
- Gharibi, S., Tabatabaei, B.E.S., Saeidi, G. and Goli, S.A.H., 2016. Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. Applied biochemistry and biotechnology, 178: 796-809.
- Gholizadeh, A., Dehghani, H. and Khodadadi, M., 2020. Analysis of compatibility for essential oil yield in coriander under different irrigation regimes using GGE biplot method. Iranian Journal of Field Crop Science, 50(4): 189-199.
- Gomes, P., Oliva, M.A., Mieike, M.S., Almeida, A.A.F. and Aquino, L.A., 2010. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress. Scientia Horticulture, 126: 379-384.
- Gurumurthy, S., Sarkar, B., Vanaja, M., Lakshmi, J., Yadav, S. and Maheswari, M., 2019. Morpho-physiological and biochemical changes in black gram (*Vigna mungo* L. Hepper) genotypes under drought stress at flowering stage. Acta Physiologia Plantarium, 41: 42.
- Hamouda, R.A., Shehawy, M.A., El Din, S.M.M., Albalwe, F.M., Albalawi, H.M.R. and Hussein, M.H., 2022. Protective role of Spirulina platensis liquid extract against salinity stress effects on *Triticum aestivum* L. Green Processing and Synthesis, 11(1): 648-658.
- Hernández-Herrera, R.M., Sánchez-Hernández, C.V., Palmeros-Suárez, P.A., Ocampo-Alvarez, H., Santacruz-Ruvalcaba, F., Meza-Canales, I.D. and Becerril-Espinosa, A., 2022. Seaweed Extract Improves Growth and Productivity of Tomato Plants under Salinity Stress. Agronomy, 12(10), 2495.
- 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.
- Jezizadeh, A. and Mortezainejad, F., 2017. Effects of Water stress on Morphological and Physiological Indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. Plant Process and Function, 6 (21): 279-290.
- Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M. and Sharma, A., 2020. The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. Applied Sciences, 10: 56-92.
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jithesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M. and Prithiviraj, B., 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. Journal of Plant Growth Regulation, 28(4): 386-399.
- Mahmud, S., Kamruzzaman, M., Bhattacharyya, S., Alharbi, K., Abd El Moneim, D. and Mostofa, M.G., 2023. Acetic acid positively modulates proline metabolism for mitigating PEG-mediated drought stress in Maize and Arabidopsis. Frontiers in Plant Science, 14: 1167238.
- Mansori, M., Chernane, H., Latique, S., Benaliat, A., Hsissou, D. and El Kaoua, M., 2015. Seaweed extract effect on water deficit and antioxidative mechanisms in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Applied Phycology, 27(4): 1689-1698.
- 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.
- Minaei, A., Hassani, A., Nazemiyeh, H. and Besharat, S., 2019. Effect of drought stress on some morphophysiological and phytochemical characteristics of oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. gracile). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 35(2(94)): 252-265.
- Oguz, M.C., Aycan, M., Oguz, E., Poyraz, I. and

Yildiz, M., 2022. Drought Stress Tolerance in Plants: Interplay of Molecular, Biochemical and Physiological Responses in Important Development Stages. Physiologia, 2: 180-197.
- Oraee, A., Tehranifar, A. and Ghorbani, Z., 2022. Effect of sodium hydrosulfide on physiological and morphological traits of *Amaranthus tricolor* under deficit irrigation. Plant Process and Function, 11(51): 19-34.
- Oroojalian, F., Kasra-Kermanshahi, R., Azizi, M. and Bassami, M.R., 2010. Phytochemical composition of the essential oils from three apiaceae species and their antibacterial effects on food-borne pathogens. Food Chemistry, 120: 765-770.
- Pamungkas, S.S.T., Suwarto, S. and Farid, N., 2022. Drought Stress: Responses and Mechanism in Plants. Reviews in Agricultural Science, 10: 168-185.
- Pohl, A., Kalisz, A. and Sekara, A., 2019. Seaweed extracts' multifactorial action: influence on physiological and biochemical status of Solanaceae plants. Acta agrobotanica, 72(1): 1758.
- Prathyusha, I.V.S.N. and Chaitanya, K.V., 2019. Effect of water stress on the physiological and biochemical responses of two different *Coleus* (Plectranthus) species. Biology Future, 70: 312-322.
- Radziff, S.B.M., Ahmad, S.A., Shaharuddin, N.A., Merican, F., Kok, Y.Y., Zulkharnain, A., Gomez-Fuentes, C. and Wong, C.-Y., 2021. Potential Application of Algae in Biodegradation of Phenol: A Review and Bibliometric Study. Plants, 10: 2677.
- Rathore, S., Chaudhary, D., Boricha, G., Ghosh, A., Bhatt, B., Zodape, S. and Patolia, J., 2009. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. South African Journal of Botany 75: 351-355.
- Shahmohammadi, F., Ganbari Jahromi, M., Farhadpour, M., Kalateh Jari, S. and Mohammadi Torkashvand, A., 2023. Foliar-applied melatonin modulated drought stress through modifying some important physiological and phytochemical characteristics in *Taxus baccata* L. Plant and Soil, 1-16.
- Shukla, P.S., Borza, T., Critchley, A.T., Hiltz, D., Norrie, J. and Prithiviraj, B., 2018. *Ascophyllum nodosum* extract mitigates salinity stress in *Arabidopsis thaliana* by modulating the expression of miRNA involved in stress tolerance and nutrient acquisition. PLOS One, 13(10): e0206221.
- Sofo, A., Dichio, B., Xiloyannis, C. and Masia, A., 2004. Lipoxygenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive trees in response to drought stress. Physiologia Plantarum, 121: 58-65.
- Somogyi, M., 1952. Notes on sugar determination. Journal of biological chemistry, 195: 19-23.
- Sun, T., Powers, J.R. and Tang, J., 2007. Evaluation of the antioxidant activity of Asparagus, broccoli and their juices. Food Chemistry, 105: 101-106.
- Vinoth, S., Gurusaravanan, P., Sivakumar, S. and Jayabalan, N., 2019. Influence of seaweed extracts and plant growth regulators on in vitro regeneration of *Lycopersicon esculentum* from leaf explant. Journal of Applied Phycology, 31(3): 2039-2052.
- Zahedi, S.M., Hosseini, M.S., Meybodi, N.D.H. and Teixeira da Silva, J.A., 2019. Foliar application of selenium and nano-selenium affects pomegranate (*Punica granatum* cv. Malase Saveh) fruit yield and quality. South African Journal of Botany, 124: 350-358.
- Zangooei, E., Bazgir, E., Gholamnejad, J. and Darvishnia, M., 2018. Investigation of the peroxidase and catalase enzymes activity and expression level of its encoding genes in pathogen stress (*Penicillium expansum*) and Walnut green skin extract condition in apple fruits. Journal of Cell and Tissue, 9(2): 159-175.
- Zhang, X., Wang, K. and Ervin, E.H., 2010. Optimizing dosages of seaweed extract-based cytokinins and zeatin riboside for improving creeping bentgrass heat tolerance. Crop Science, 50(1): 316-320.