

The Effect of Seaweed Extract and Sucrose Foliar Application on Some Growth, Physiological, and Phytochemical Indices of Basil (*Ocimum basilicum*)

A. Khoshnoudi Abroudi¹, V. Akbarpour^{2*}, M. A. Bahmanyar³, M. Ashnavar⁴

1- Department of Medicinal Plants, Sana Institute of Higher Education, Sari, Iran

2- Horticultural Sciences and Engineering Department, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3- Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4- Department of Horticulture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

(* - Corresponding author's Email: v.akbarpour@sanru.ac.ir or v_akbarpour60@yahoo.com)

How to cite this article:

Received: 04 March 2025

Revised: 22 April 2025

Accepted: 29 July 2025

Available Online: 29 July 2025

Khoshnoudi Abroudi, A., Akbarpour, V., Bahmanyar, M. A., & Ashnavar, M. (2026). The effect of seaweed extract and sucrose foliar application on some growth, physiological, and phytochemical indices of basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Horticultural Science*, 40(1), 77-91. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92476.1418>

Introduction

Basil (*Ocimum basilicum* L.) is an annual plant from the mint family that grows in tropical and subtropical regions. Due to its distinctive aroma and flavor, it is used both fresh and as a spice and medicinal herb. Basil contains essential oils with antifungal, antibacterial, and insect-repellent properties, which are utilized in the food, cosmetic, and pharmaceutical industries. Phenylpropanoids are among the main compounds in its essential oil. Seaweeds have emerged as a novel source for producing organic fertilizers. These aquatic organisms contain valuable compounds such as plant hormones, trace elements, vitamins, and amino acids, which are beneficial for plant growth. Carbohydrates play a vital role in plant physiology. Sucrose, the primary form of carbohydrates produced during photosynthesis, is crucial for energy transport and regulating plant growth. At high concentrations, these compounds act as protective agents, while at lower concentrations, they serve as signaling molecules in response to environmental stresses. Sucrose plays a regulatory role in various stages of plant growth, from germination to senescence. Therefore, this research aimed to investigate the effects of different levels of seaweed and sucrose on the morphophysiological and phytochemical characteristics of basil.

Materials and Methods

This study aimed to investigate the effects of seaweed extract fertilizer and sucrose on the morphophysiological and phytochemical characteristics of basil. The experiment was conducted as a factorial arrangement in a randomized complete block design with three replications in a greenhouse in Neyshabur during the 2022 growing season. The first factor included different levels of seaweed fertilizer (0, 1, 2, and 3 mL.L⁻¹ (A₀, A₁, A₂ & A₃)), and the second factor consisted of sucrose levels (0, 2.5, 5, and 7.5 g.L⁻¹ (S₀, S_{2.5}, S₅ & S_{7.5})), applied as foliar sprays every 10 days. Plant moisture was maintained through drip irrigation. At the end of the vegetative growth stage, morphophysiological traits (plant height, stem diameter, fresh and dry weight, leaf area) and phytochemical properties (photosynthetic pigments, anthocyanin, antioxidant activity, total phenols, and flavonoids) were measured. Data were analyzed using SAS version 9, and means were compared using Duncan's test.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92476.1418>

Results and Discussion

The interaction effect of seaweed and sucrose foliar application on plant height, fresh and dry leaf weight, fresh stem weight, leaf area, chlorophyll a, b, and total, carotenoid, anthocyanin, antioxidant activity percentage, total phenol, and flavonoids was significant at the 1% probability level. The application of A₁S_{7.5} as a foliar spray on the medicinal plant basil resulted in the highest plant height (43.83 cm), fresh weight (5.34 g), dry weight of aerial parts (0.65 g), and antioxidant activity percentage (64.46%). Using A₂S_{7.5}, the highest levels of chlorophyll a (0.865 mg.g⁻¹ fresh weight), chlorophyll b (0.636 mg.g⁻¹ fresh weight), and total chlorophyll (1.052 mg.g⁻¹ fresh weight) were obtained. Additionally, the highest leaf area (9.65 cm²) was observed with the A₂S_{2.5} treatment, carotenoid (0.636 mg.g⁻¹ fresh weight) with A₃S₀, anthocyanin (10.28 mg.g⁻¹ dry weight) with A₃S_{2.5}, and total phenol (1.60 mg gallic acid.g⁻¹ dry weight) and flavonoids (1.32 mg quercetin.g⁻¹ dry weight) were achieved with the A₂S_{7.5} treatment. These findings demonstrate that seaweed-sucrose foliar sprays can effectively enhance basil's agronomic and phytochemical traits, offering a sustainable alternative to synthetic fertilizers in medicinal plant production. The significant improvement in both yield and bioactive compounds underscores the dual benefit of this approach for commercial cultivation. Furthermore, this eco-friendly technique could be particularly valuable for organic farming systems and in regions where synthetic fertilizers are either expensive or environmentally restricted. The optimized treatments provide actionable insights for farmers and researchers aiming to improve both yield and bioactive compound quality in basil cultivation.

Conclusion

Overall, the combined treatments A₁S_{7.5} and A₂S_{2.5} had the most significant impact on morphophysiological traits. Photosynthetic pigments were influenced by the combinations A₂S_{7.5} and A₃S₀. Additionally, the phytochemical characteristics of basil were affected by the treatments A₁S_{7.5}, A₂S_{7.5}, and A₃S_{2.5}. This study demonstrates that seaweed-sucrose combinations can simultaneously enhance plant growth (by improving morphophysiological traits) and medicinal quality of basil (by boosting phytochemical content). This sustainable agriculture approach serves as an effective alternative to chemical fertilizers, improving both crop yield and bioactive compound content.

Keywords: Anthocyanin, Antioxidant activity, Chlorophyll, Flavonoid

اثر محلول پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و

فیتوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.)عارفه خوشنودی آبرودی^۱ - وحید اکبرپور^{۲*} - محمدعلی بهمنیار^۳ - محبوبه آشاور^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۷

چکیده

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گیاهی دارویی و معطر متعلق به خانواده نعناعیان است. در این پژوهش، اثر جلبک دریایی به عنوان کود آلی نوین و ساکارز به عنوان کربوهیدرات مؤثر در رشد، بر ویژگی‌های کمی و کیفی ریحان مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف کود مایع جلبک دریایی (A: صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی لیتر در لیتر) و عصاره ساکارز (S: صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل این دو عامل بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته، سطح برگ، میزان کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، فعالیت آنتی اکسیدانی، فنل و فلاونوئید در سطح یک درصد معنی دار بود. بیشترین ارتفاع بوته (۴۳/۸۳ سانتی متر)، وزن تر بوته (۵/۳۴ گرم)، وزن خشک بوته (۰/۶۵ گرم) و فعالیت آنتی اکسیدانی (۶۴/۴۶ درصد) در تیمار A₁S_{7.5} مشاهده شد. تیمار A₂S_{7.5} بیشترین میزان کلروفیل a، b و کل را داشت. بیشترین سطح برگ (۹/۶۵ سانتی مترمربع) از تیمار A₂S_{2.5}، بیشترین کاروتنوئید (۰/۶۳۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار A₃S₀، بیشترین آنتوسیانین (۱۰/۲۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در تیمار A₃S_{2.5}، و بیشترین فنل و فلاونوئید از تیمار A₂S_{7.5} به دست آمد. به طور کلی، کاربرد همزمان جلبک دریایی و ساکارز، تأثیرات مثبت و معنی داری بر خصوصیات ریحان داشت.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، فعالیت آنتی اکسیدانی، فلاونوئید، کلروفیل

مقدمه

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) از خانواده نعناعیان، یکی از گیاهان دارویی پرکاربرد در طب سنتی و پزشکی نوین محسوب می‌شود. این گیاه به واسطه داشتن طیف وسیعی از ترکیبات فعال زیستی از جمله ترپنوئیدها، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، تانن‌ها، ترکیبات فنلی، گلیکوزیدهای قلبی، ساپونین‌ها و استروئیدها، دارای خواص درمانی قابل توجهی است (Zhakipbekov et al., 2024). اثرات

آنتی اکسیدانی، ضدالتهابی، ضدباکتریایی و ضدقارچی این گیاه به خوبی مستند شده و شواهد متعددی از نقش آن در بهبود عملکرد شناختی، کاهش اضطراب، تقویت حافظه و درمان بیماری‌های التهابی پوست نظیر آکنه گزارش شده است (Naseri et al., 2022).

جلبک‌های دریایی به عنوان منابعی تجدیدپذیر و زیست‌سازگار می‌باشند. و به عنوان جایگزینی پایدار و ایمن برای کودهای شیمیایی در نظام‌های کشاورزی نوین معرفی می‌شوند (Ali et al., 2021). جلبک‌های دریایی به عنوان محرک‌های زیستی، از طریق مسیرهای مولکولی مختلف بر رشد و مقاومت گیاهان تأثیر می‌گذارند. این ترکیبات با فعال‌سازی مسیرهای هورمونی مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین، تنظیم بیان ژن‌های مرتبط با رشد و تنش، و تعدیل متابولیسم گیاهی، موجب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی از جمله خشکی و شوری می‌شوند. چنین سازوکارهایی نقش مؤثری در بهبود عملکرد گیاهان در شرایط کشاورزی پایدار دارند (Sujeeth et al., 2022).

- ۱- گروه گیاهان دارویی، مؤسسه غیرانتفاعی سنا، ساری، ایران
- ۲- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۳- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۴- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(*) - نویسنده مسئول:
(Email: v.akbarpour@sanru.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.92476.1418>

هماهنگی بین وضعیت انرژی گیاه و فرآیندهای رشدی را ممکن می‌سازد (Yoon et al., 2021).

افزودن ساکارز می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مؤثر برای بهبود رشد گیاه و کیفیت تغذیه‌ای ریحان در سیستم‌های کشت بدون خاک مورد استفاده قرار گیرد (Karatas & Vachouscova, 2023). همچنین ساکارز می‌تواند بهبود فتوسنتز و تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی را در گیاه ریحان افزایش دهد (Mashayekhi & Atashi, 2012). افزایش غلظت ساکارز از ۳۰ به ۶۰ گرم در لیتر، تأثیر منفی بر رشد کشت درون شیشه‌ای ریحان گنوس (Ocimum basilicum var. genovese) داشت که احتمالاً به دلیل پتانسیل‌های اسمزی و اکسیداتیو بالا و تولید ترکیبات سمی بوده است (Trettel et al., 2018). پژوهش فدایی و همکاران (Fadaei et al., 2023) نیز نشان داد که کاربرد توأم ساکارز و اسیدآسکوربیک می‌تواند رشد رویشی و محتوای کلروفیل کدوی سبز کاغذی (Cucurbita pepo L.) را بهبود ببخشد. مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که استفاده از قندها می‌تواند بهبود فرآیندهای فتوسنتزی در گیاهان (Abdel, 2010) و افزایش ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی در گیاهان دارویی (Ali et al., 2016) را به دنبال داشته باشد.

این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف جلبک دریایی و ساکارز بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه ریحان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی اثر کاربرد کود عصاره جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی ریحان به‌صورت فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای با دمای $25-18^{\circ}\text{C}$ ، طول روز ۱۰ ساعت، شدت نور ۵۰۰-۳۰۰ میکرومول در مترمربع بر ثانیه و رطوبت نسبی ۷۰-۵۰ درصد واقع در شهرستان نیشابور در سال زراعی ۱۴۰۱ اجرا گردید. عامل اول کود جلبک دریایی مورال کپ (عصاره جلبک دریایی *Ascophyllum nodosum*) در چهار سطح (صفر، ۱، ۲ و ۳ میلی‌لیتر در لیتر A_0 ، A_1 ، A_2 و A_3) و فاکتور دوم در چهار سطح (صفر، ۲/۵، ۵ و ۷/۵ گرم در لیتر ساکارز S_0 ، $S_{2.5}$ ، S_5 و $S_{7.5}$) با سه تکرار به‌صورت محلول‌پاشی برگی انجام شد.

به‌منظور آماده‌سازی زمین برای کشت ریحان، ابتدا قطعه‌بندی زمین انجام شد. سپس بذور گیاه ریحان تهیه و کرت‌هایی با ابعاد 1×1 متر به‌صورت ردیفی کشت گردید. تیمارها به‌صورت محلول‌پاشی برگی در مرحله ۶-۵ برگی و در سه مرحله هر ۱۰ روز یک بار تا قبل از گل‌دهی اعمال شدند. طول دوره آزمایش به مدت ۴۰ روز بود.

پژوهش‌ها نشان داده است که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی همراه با مخمر خشک فعال بر ریحان موجب بهبود رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی اسانس آن، به‌ویژه ترکیباتی مانند لینالول و استراگول شد (El-Naggar et al., 2020). در مطالعه‌ای (Esmailpour et al., 2020)، عصاره جلبک دریایی باعث بهبود تحمل ریحان به تنش خشکی از طریق افزایش پرولین، کاهش نشت الکترولیت و حفظ کلروفیل شد و نقش مؤثری به‌عنوان محرک زیستی در کاهش اثرات تنش غیرزیستی ایفا کرد. در سایر سبزی‌های علفی مانند کاهو (*Lactuca sativa* L.)، محلول‌پاشی عصاره جلبک *Ascophyllum nodosum* تحت شرایط کمبود پتاسیم منجر به افزایش رشد گیاه، بهبود فعالیت آنزیم‌های آن‌تی‌اکسیدان و کاهش آسیب‌های ناشی از تنش شد (Chrysargyris et al., 2018). امان جانی و همکاران (Amanjani et al., 2024) نشان دادند که کاربرد توأم جلبک دریایی و اسیدهیومیک باعث بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی به‌لیمو (*Lippia citriodora*) در مقایسه با گیاه شاهد گردید. حیدری و همکاران (Heidari et al., 2016) نیز در پژوهش خود مشاهده کردند که کاربرد کود جلبک دریایی در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis*) باعث افزایش شاخص سطح برگ و میزان اسانس این گیاه شد. در پژوهش اسماعیل‌پور و همکاران (Esmailpour et al., In press)، اثر عصاره جلبک دریایی بر ریحان تحت تنش خشکی بررسی گردید. نتایج نشان داد که این عصاره با کاهش نشت الکترولیت و افزایش محتوای پرولین، به بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک و مقاومت گیاه در برابر خشکی کمک می‌کند.

کربوهیدرات‌ها نقش‌های حیاتی و چندگانه‌ای در فیزیولوژی گیاهان ایفا می‌کنند. آن‌ها نه‌تنها به‌عنوان منابع انرژی و کربن عمل می‌کنند، بلکه در تنظیم رشد و توسعه گیاهان نیز نقش دارند. مطالعات نشان داده‌اند که قندها در تمامی مراحل چرخه زندگی گیاه تأثیرگذارند و با مولکول‌های سیگنال‌دهنده دیگر از جمله فیتوهورمون‌ها تعامل دارند. علاوه بر این، قندها در تنظیم بیان ژن‌ها، متابولیسم، و پاسخ به تنش‌های محیطی نقش دارند (Jeandet et al., 2022).

ساکارز ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) به‌عنوان شکل اصلی کربوهیدرات‌های تولیدشده در جریان فتوسنتز، نقش کلیدی در انتقال این ترکیبات در گیاه ایفا می‌کند (Yonekura et al., 2013). ساکارز علاوه بر نقش تغذیه‌ای، به‌عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده در تنظیم رشد، نمو و پاسخ به تنش‌های محیطی عمل می‌کند. این تنظیم از طریق تأثیر بر بیان ژن‌ها، فاکتورهای رونویسی، ترجمه mRNA و فعالیت آنزیم‌ها صورت می‌گیرد. همچنین در برخی از مسیرهای بیوسنتزی مانند سیگنال‌دهی وابسته به ساکارز نقش کلیدی دارند. به‌طورکلی، ساکارز

میکرولیتر سدیم کربنات یک مولار اضافه گردید و محلول به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس و در تاریکی قرار گرفت. برای شاهد نیز به جای عصاره، از متانول ۸۰ درصد استفاده شد. برای رسم منحنی کالیبراسیون از محلول های استاندارد اسیدگالیک با غلظت های مختلف استفاده شد و سپس جذب نمونه ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت گردید (Singleton et al., 1999).

برای محاسبه محتوای فلاونوئیدی، ۰/۵ میلی لیتر از عصاره متانولی گیاه با ۱/۵ میلی لیتر متانول، ۰/۱ میلی لیتر آلومینیوم کلراید ۱۰ درصد در اتانول، ۰/۱ میلی لیتر پتاسیم استات یک مولار و ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر مخلوط گردید. نمونه شاهد با استفاده از متانول خالص تهیه شد. مخلوط به مدت ۰/۵ ساعت در تاریکی قرار گرفت و سپس جذب نمونه در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت شد. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت های مختلف کوئرستین رسم گردید (Singleton et al., 1999).

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹ و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از روش چنددامنه ای دانکن و رسم نمودارها از طریق نرم افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

صفات مورفوفیزیولوژی

ارتفاع بوته

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، اثر متقابل تیمارهای کودی بر ارتفاع بوته گیاه ریحان در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید. بالاترین ارتفاع بوته از کاربرد $A_1S_{7.5}$ به دست آمد ($43/83$ سانتی متر) که نسبت به شاهد ۲۸ درصد افزایش داشت. این ترکیب باعث بهتر شدن تقسیم و طولی شدن سلول ها، جذب بهتر مواد غذایی توسط گیاه و در نهایت افزایش ارتفاع گیاه می شود. همچنین کمترین ارتفاع به میزان $27/5$ سانتی متر از محلول پاشی کود $A_1S_{2.5}$ لیتر حاصل شد (جدول ۲).

ساکارز، به عنوان شکل اصلی و قابل انتقال کربوهیدرات های حاصل از فتوسنتز، نقش مهمی در تغذیه گیاه ایفا می کند. محلول پاشی یا تغذیه برگی عناصر معدنی و قندها به ویژه ساکارز، باعث تأمین سریع عناصر مورد نیاز گیاهان می شود. این روش نسبت به جذب از طریق خاک و ریشه، سرعت بیشتری در دسترسی گیاه به مواد مغذی دارد (Jaswant et al., 1994; Mashayekhi & Atashi, 2012). مطالعات نشان داده اند که افزایش غلظت جلبک دریایی به طور معنی داری ارتفاع گیاه را در گونه های مختلف از جمله مرزه (*Satureja hortensis* L.) (Rezaei et al., 2019) و همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) (Heidari et al., 2016) افزایش

اعمال تیمارهای متقابل با فاصله یک روزه صورت می گرفته است. رطوبت گیاهان از طریق آبیاری قطره ای تأمین گردید. در انتهای مرحله رشد رویشی، به منظور بررسی تأثیر تیمارهای اعمال شده بر صفات ذکر شده، پنج بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب و برای ثبت داده ها به آزمایشگاه منتقل شدند. در پایان مرحله رشد رویشی، صفات مورفوفیزیولوژیکی شامل ارتفاع گیاه به وسیله خط کش (سانتی متر)، قطر ساقه توسط کولیس (میلی متر)، وزن تر و خشک به وسیله ترازو دیجیتال (گرم) و سطح برگ توسط دستگاه Leaf area meter (سانتی مترمربع) اندازه گیری شد. همچنین رنگدانه های فنوسنتزی به روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه گیری شد، در ابتدا ۰/۵ گرم برگ گیاه در ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد خرد شده و به مدت ۱۰ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. پس از جدا کردن محلول روئی، ۱۰ میلی لیتر استون به مواد ته نشین شده افزوده و مجدد سانتریفیوژ شد. محلول روئی مجدداً جمع آوری و با استون ۸۰ درصد به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. جذب نمونه ها در طول موج های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر اندازه گیری و مقادیر آن ها محاسبه گردید. برای نمونه شاهد از استون ۸۰ درصد استفاده شد.

برای تعیین میزان آنتوسیانین، یک گرم از بافت برگ و ساقه گیاه در ۱۰ میلی لیتر متانول اسیدی (۹۹ میلی لیتر متانول خالص و یک میلی لیتر اسید هیدروکلریک) کوبیده شد و عصاره به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری گردید. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و جذب محلول روئی در طول موج ۵۲۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد (Wagner, 1979).

برای تعیین فعالیت آنتی اکسیدانی، یک میلی لیتر از DPPH¹ با غلظت ۰/۱ میلی مولار و یک میلی لیتر عصاره متانولی گیاه به لوله آزمایش اضافه شد. پس از ۱۵ دقیقه در تاریکی، جذب محلول ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. برای نمونه شاهد، از DPPH با غلظت ۰/۱ میلی مولار استفاده گردید. درصد مهار رادیکال های آزاد از طریق معادله ۱ مشخص محاسبه گردید (Lee et al., 2003).

(۱)

$100 \times (\text{عدد جذب شاهد}) / [(\text{عدد جذب نمونه}) - \text{عدد جذب}$

شاهد]] = درصد مهار رادیکال های آزاد

برای اندازه گیری فنل کل، ۲۰ میکرولیتر عصاره متانولی گیاه به همراه ۱۰۰ میکرولیتر محلول فولین سیوکالتیو و ۱/۱۶ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شد. پس از پنج تا هشت دقیقه استراحت، ۳۰۰

می‌دهد. این اثرات احتمالاً ناشی از وجود هورمون‌های رشد و سایر ترکیبات فعال زیستی در عصاره جلبک دریایی است که می‌توانند رشد رویشی گیاه را تحریک کنند.

وزن تر و خشک اندام هوایی

اثر متقابل تیمارهای کودی بر وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه ریحان در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی از ترکیب کودی ($A_{1S_{7.5}}$) به‌ترتیب با مقادیر ۵/۳۴ و ۰/۶۳ گرم حاصل شد. وزن تر بوته ریحان نسبت به شاهد حدود ۸۴ درصد و وزن خشک نیز ۶۲ درصد افزایش داشتند (جدول ۲). کمترین مقدار آن‌ها نیز از کاربرد A_2S_0 و $A_{1S_{2.5}}$ به دست آمدند (جدول ۲). ساکارز به‌تنهایی اثر محدودی دارد، چون فقط منبع انرژی می‌باشد، اما مواد غذایی و هورمون ندارد و ترکیب $A_{1S_{2.5}}$ احتمالاً از نظر مقدار ساکارز برای فعال‌سازی فرآیندهای متابولیکی کافی نبوده و اثر جلبک نیز به‌تنهایی نتوانسته است تأثیر مطلوبی ایجاد کند.

تأثیرات مثبت جلبک دریایی بر رشد و عملکرد گیاهان احتمالاً به‌دلیل وجود هورمون‌های محرک رشد، مواد معدنی و مغذی موجود در آن است. این ترکیبات علاوه بر افزایش تقسیم و اندازه سلول‌ها سبب افزایش میزان کلروفیل برگ و فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شوند. در نتیجه، با افزایش سنتز و ساخت کربوهیدرات‌ها منجر به تولید میوه‌های بزرگ‌تر در مقایسه با شاهد می‌گردند. بررسی‌های انجام‌شده در مورد کاربرد جلبک دریایی و آمینواسید بر روی گیاه پسته (*Pistacia vera* L.) نشان داد که وزن خوشه‌ها تا ۳/۵ برابر نسبت به شاهد افزایش داشت (Torab Ahmadi et al., 2019). در پژوهشی دیگر، استفاده از عصاره جلبک دریایی در گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum graecum* L.) تحت شرایط تنش منجر به افزایش وزن تر بوته در مقایسه با شرایط عدم استفاده از کود در این شرایط شد (Rezazadeh et al., 2019). مطالعه‌ای روی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از جلبک دریایی نشان داد که این ماده موجب افزایش ۲۹/۷۷ درصدی وزن ریشه گردید (Sunarpi et al., 2011). کاربرد توأم جلبک دریایی و بسترهای کشت آلی نیز تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه مرزه (*Satureja sp* L.) داشت (Esmailpour et al., In press). بررسی صالحی ملک آبادی و همکاران (Salehi Malekabadi et al., 2021) روی گیاه تربچه (*Raphanus sativus* L.) نشان داد که تیمارهای حاوی ساکارز نسبت به شاهد از نظر وزن تر و خشک اندام هوایی برتری معنی‌داری داشتند.

سطح برگ

باتوجه به جدول ۱، اثر متقابل جلبک دریایی و ساکارز بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان

داد که تیمار $A_2S_{2.5}$ بیشترین مقدار سطح برگ به‌میزان ۹/۶۵ سانتی‌مترمربع را داشت و مقدار آن در مقایسه با شاهد سه برابر بیشتر بود. ترکیب جلبک دریایی و ساکارز با این مقادیر باعث بهبود فرآیندهای فتوسنتزی و جذب بهتر مواد مغذی شده است که به رشد سریع‌تر و توسعه بیشتر برگ‌ها منجر گردید. کمترین سطح برگ نیز از تیمار A_0S_0 (۳/۲۵ سانتی‌مترمربع) به دست آمد (جدول ۲).

یافته‌های حیدری و همکاران (Heidari et al., 2016) نشان داد که کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و جلبک دریایی در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) منجر به افزایش سطح برگ و تأثیر معنی‌دار آن گردید. این اثرات مثبت به‌دلیل بهبود شرایط تغذیه‌ای و تأمین عناصر ریزمغذی و هورمون‌های رشد توسط این دو ماده است. مطالعه‌ای دیگر نشان داد که افزایش غلظت منیزیم تا سطح پنج میلی‌لیتر در لیتر و جلبک دریایی تا سطح سه گرم در لیتر در خیار (*Cucumis sativus* L.) گلخانه‌ای، سطح برگ این گیاه را افزایش می‌دهد (Karami et al., 2023). این یافته‌ها حاکی از نقش این دو ماده در افزایش سطح فتوسنتزکننده گیاه است. استفاده از تیمار ساکارز به‌صورت محلول‌پاشی موجب افزایش قند و انرژی در دسترس گیاه می‌شود. این افزایش انرژی می‌تواند به بهبود فرآیندهای متابولیکی و رشد گیاه کمک کند. علاوه بر این، جذب بیشتر نور خورشید ناشی از محلول‌پاشی ساکارز منجر به افزایش سطح برگ در گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) گردید (Ghorbani Dehkordi et al., 2015).

رنگی‌های فتوسنتزی

کلروفیل a، b و کل

اثر متقابل تیمارهای کودی بر رنگی‌های فتوسنتزی گیاه ریحان معنی‌دار است (جدول ۲)؛ بیشترین میزان برای کلروفیل a، b و کل از ترکیب کودی ($A_2S_{7.5}$) دو میلی‌لیتر بر لیتر جلبک دریایی و ۷/۵ گرم بر لیتر ساکارز حاصل شد که نسبت به شاهد به‌ترتیب ۴۲، ۵۵ و ۳۴ درصد افزایش داشتند (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). غلظت متوسط عصاره جلبک دریایی با بهینه‌سازی شرایط فیزیولوژیکی سلول‌ها و فراهم کردن فیتوهورمون‌ها، در کنار ساکارز با نقش تأمین انرژی و تحریک مسیرهای بیوسنتزی، یک اثر هم‌افزا ایجاد کردند. کمترین کلروفیل a در اثر کاربرد A_0S_0 و $A_{0S_{7.5}}$ (۰/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به دست آمد. همچنین پایین‌ترین مقدار کلروفیل b (۰/۶۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار $A_2S_{7.5}$ بود (شکل ۱ و ۲). براساس شکل ۳، کمترین میزان کلروفیل کل (۰/۷۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با استفاده از A_2S_5 حاصل شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ریحان
Table 1- Analysis of variance for the effect of seaweed and sucrose foliar spraying on some morphophysiological characteristics of basil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares				
		ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	وزن تر اندام هوایی Fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Dry weight	سطح برگ Leaf area
بلوک Block	2	0.674 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.541 ^{ns}	0.003 ^{ns}	1.49 ^{ns}
جلبک دریایی Seaweed (A)	3	19.986*	0.031 ^{ns}	0.375 ^{ns}	0.004 ^{ns}	14.99**
ساکارز Sucrose (S)	3	26.142**	0.039 ^{ns}	0.433 ^{ns}	0.002 ^{ns}	6.26**
جلبک دریایی × ساکارز A × S	9	61.312**	0.127 ^{ns}	1.555**	0.022**	8.03**
خطای آزمایش Error	30	5.29	0.112	0.450	0.004	1.16
ضریب تغییرات C.V (%)	-	12.6	11.68	22.4	18.1	17.38

^{ns}, ** و *: به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.
^{ns}, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$; respectively

جدول ۲- اثر متقابل محلول پاشی جلبک دریایی × ساکارز بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی ریحان
Table 2- CThe interaction effect of seaweed × sucrose foliar spraying on some morphophysiological characteristics of basil

جلبک دریایی Seaweed (ml.l ⁻¹)	ساکارز Sucrose (g.l ⁻¹)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن تر اندام هوایی Fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک اندام هوایی Dry weight (g.plant ⁻¹)	سطح برگ Leaf area (cm ²)
0	0	34.03 ^{c-e} ± 1.47	2.89 ^d ± 0.32	0.40 ^e ± 0.02	3.25 ^g ± 0.85
	2.5	35.26 ^{ce} ± 0.63	4.43 ^{c-c} ± 0.13	0.63 ^{ab} ± 0.02	6.18 ^{c-e} ± 0.56
	5	33.96 ^{c-e} ± 1.89	3.85 ^{b-d} ± 0.16	0.53 ^{b-d} ± 0.01	5.31 ^{d-f} ± 0.27
	7.5	33.26 ^{c-f} ± 0.63	3.85 ^{b-d} ± 0.20	0.54 ^{b-d} ± 0.01	5.28 ^{d-f} ± 0.44
1	0	33.2 ^{c-f} ± 0.87	4.30 ^{a-c} ± 0.23	0.60 ^{a-c} ± 0.03	5.39 ^{ce} ± 1.21
	2.5	27.5 ^g ± 0.51	2.95 ^d ± 0.004	0.40 ^e ± 0.02	4.59 ^{e-g} ± 1.46
	5	30.16 ^{e-g} ± 1.51	3.21 ^{cd} ± 0.02	0.47 ^{de} ± 0.02	6.95 ^{b-d} ± 0.89
	7.5	43.83 ^a ± 0.86	5.34 ^a ± 1.36	0.65 ^a ± 0.07	7.17 ^{bc} ± 0.85
2	0	31.2 ^{d-g} ± 0.75	3.68 ^{b-d} ± 0.03	0.56 ^{a-d} ± 0.02	6.67 ^{b-d} ± 0.80
	2.5	31.83 ^{c-f} ± 1.61	4.02 ^{b-d} ± 0.10	0.59 ^{a-c} ± 0.05	9.65 ^a ± 1.37
	5	36.23 ^{bc} ± 0.43	4.85 ^{ab} ± 0.03	0.65 ^a ± 0.004	8.16 ^{ab} ± 1.41
	7.5	29.3 ^{fg} ± 1.21	1.81 ^{b-e} ± 0.22	0.45 ^{de} ± 0.01	6.29 ^{c-e} ± 0.88
3	0	39.73 ^b ± 0.69	4.73 ^{ab} ± 0.49	0.65 ^a ± 0.01	5.81 ^{c-e} ± 1.2
	2.5	32.7 ^{c-f} ± 1.07	3.26 ^{cd} ± 0.05	0.51 ^{c-e} ± 0.04	3.95 ^{fg} ± 0.20
	5	34.13 ^{c-e} ± 0.53	3.66 ^{b-d} ± 0.18	0.51 ^{c-e} ± 0.04	8.23 ^{ab} ± 0.42
	7.5	34.43 ^{c-e} ± 0.49	3.85 ^{b-d} ± 0.19	0.47 ^{de} ± 0.008	5.66 ^{c-f} ± 0.25

* در هر ستون اعدادی با حرف مشابه یا حروف مشابه، تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.
* In each column, numbers with the same letter or similar letters are not significantly different from each other at the 5% of probability level of Duncan's multiple range test.

فرآیند سنتز کلروفیل است (Thambiraj et al., 2012; Shahbazi et al., 2015). همچنین در شرایط تنش آبیاری، کاربرد جلبک دریایی و اسید هیومیک موجب افزایش میزان کلروفیل و کاروتنوئید در گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa* L.) شده است (Mohammadpour et al., In press). در پژوهشی دیگر، مقایسه میانگین اثر کاربرد

مطالعات نشان داده است که استفاده از کود جلبک دریایی می‌تواند محتوای کلروفیل برگ را در گیاه گوآر (*Cyamopsis tetragonoloba* L. و گندم (*Triticum aestivum* L.) افزایش دهد (Sridhar & Rengasamy, 2011). این افزایش به دلیل وجود هورمون سیتوکینین در کود جلبک دریایی و تأثیر مستقیم آن بر

ساکارز و اسیدآسکوربیک در گیاه کدوی پوست سبز کاغذی نشان داد که میزان کلروفیل کل در تیمار کاربرد ۵ گرم بر لیتر ساکارز همراه با کاربرد ۱۵ میلی مولار اسیدآسکوربیک نسبت به شاهد ۱/۸۱ درصد افزایش داشته است (Fadaei et al., 2023). استفاده از ساکارز روی گیاه توت فرنگی (*Fragaria × ananassa*) نیز سبب افزایش میزان کلروفیل a شده است (Mashayekhi & Atashi, 2012). علاوه بر این، استفاده از قند روی کاهو سبب بهبود فرآوردهای فتوسنتزی در گیاه گردید (Oda et al., 1989).

کاروتنوئید

نتایج آنالیز واریانس میزان کاروتنوئید (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل تیمارهای مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی دار شد. بالاترین تأثیر بر میزان کاروتنوئید (۰/۶۳۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) را ترکیب کودی A_3S_0 داشت که ۲۶ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. این افزایش کم می تواند به عوامل مختلفی نسبت داده شود، از جمله اینکه ترکیب کودی ممکن است به طور خاص بر میزان تولید کاروتنوئید اثرگذار نباشد یا ممکن است که سایر عوامل محیطی یا فنی مانند شرایط خاک، دما، نور، و یا رطوبت به اندازه کافی مناسب نباشند تا اثرات قابل توجهی بر افزایش کاروتنوئید داشته باشند. غلظت بالای عصاره جلبک دریایی، با فراهم سازی ترکیبات محرک رشد و آنتی اکسیدان ها، تولید رنگیزه های فتوسنتزی را افزایش داده است. از سوی دیگر، نبود ساکارز موجب ایجاد نوعی تنش متابولیکی خفیف شده که گیاه را به سنتز ترکیبات محافظتی مانند کاروتنوئید واداشته است. ترکیب این دو عامل احتمالاً به اثرگذاری حداکثری این تیمار منجر شده است. کمترین کاروتنوئید مربوط به کاربرد $A_2S_{2.5}$ ، ۰/۳۸۲ میلی گرم بر گرم وزن تر بود (شکل ۴).

تغذیه با ساکارز می تواند به افزایش غلظت رنگیزه ها در گیاهان کمک کند، اما به دلیل محدودیت های غیرروشنه ای، نمی تواند میزان فتوسنتز را افزایش دهد. در واقع، کاهش غلظت ساکارز می تواند به بهبود غلظت رنگیزه ها بدون ایجاد بازدارندگی در فرآیند فتوسنتز کمک کند. این اثر مثبت تغذیه با ساکارز به ویژه زمانی مشاهده می شود که عناصر کمکی مؤثر در انتقال کربوهیدرات ها نیز همراه با ساکارز مصرف شوند. این امر از تجمع ساکارز در برگ ها جلوگیری می کند و به بهبود عملکرد گیاه کمک می کند (Salehi Malekabadi et al., 2021). در پژوهشی دیگر تراب احمدی و همکاران (Torab Ahmadi et al., 2019)، تأثیر عصاره جلبک دریایی بر کاروتنوئید گیاه پسته بررسی شد و نتایج نشان داد که این عصاره تأثیر معنی داری بر افزایش میزان کاروتنوئید در گیاه دارد.

صفات فیتوشیمیایی

آنتوسیانین

محاسبه و آنالیز اطلاعات به دست آمده از مقدار آنتوسیانین نشان داد که اثر متقابل محلول پاشی جلبک دریایی و ساکارز در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). مقدار آنتوسیانین در ازای مصرف $A_3S_{2.5}$ به بیشترین مقدار خود (۱۰/۲۸ میلی گرم بر گرم وزن خشک) رسید که نسبت به شاهد حدود دو برابر بود. کمترین مقدار آنتوسیانین (۴/۶۹ میلی گرم بر گرم وزن خشک) از شاهد به دست آمد (جدول ۵). افزایش معنی دار آنتوسیانین در تیمار $A_3S_{2.5}$ نیز ممکن است که ناشی از تعادل بهینه بین تأمین قند و تحریک هورمونی باشد که باعث افزایش متابولیسم ثانویه بدون ایجاد رقابت برای سنتز نشاسته یا رشد سلولی شده است. بنابراین، این تیمار احتمالاً شرایط متابولیکی مناسبی را برای تجمع بیشتر آنتوسیانین در برگ های ریحان فراهم کرده است.

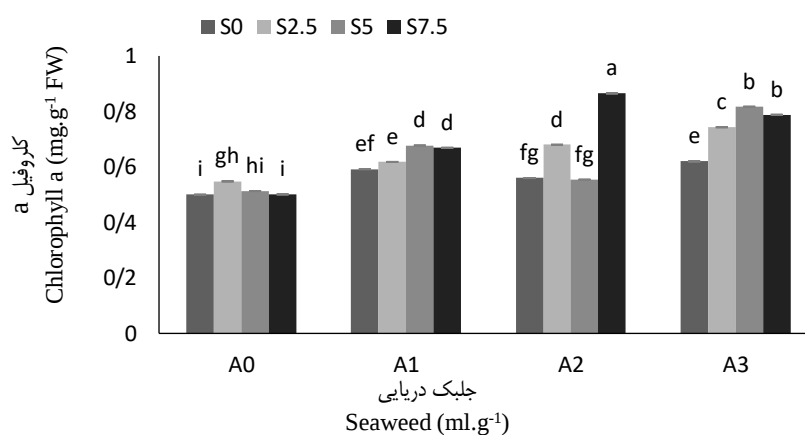
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از رنگیزه های فتوسنتزی ریحان

Table 3- Analysis of variance for the effect of seaweed and sucrose foliar spraying on some photosynthesis pigments of basil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll total	کاروتنوئید Carotenoids
جلبک دریایی Seaweed (A)	3	0.106**	0.066**	0.093**	0.015**
ساکارز Sucrose (S)	3	0.038**	0.049**	0.054**	0.015**
جلبک دریایی × ساکارز $A \times S$	9	0.018**	0.027**	0.016**	0.006**
خطای آزمایش Error	30	0.000	0.002	0.003	0.001
ضریب تغییرات C.V (%)	-	17.8	25.5	13.8	11.7

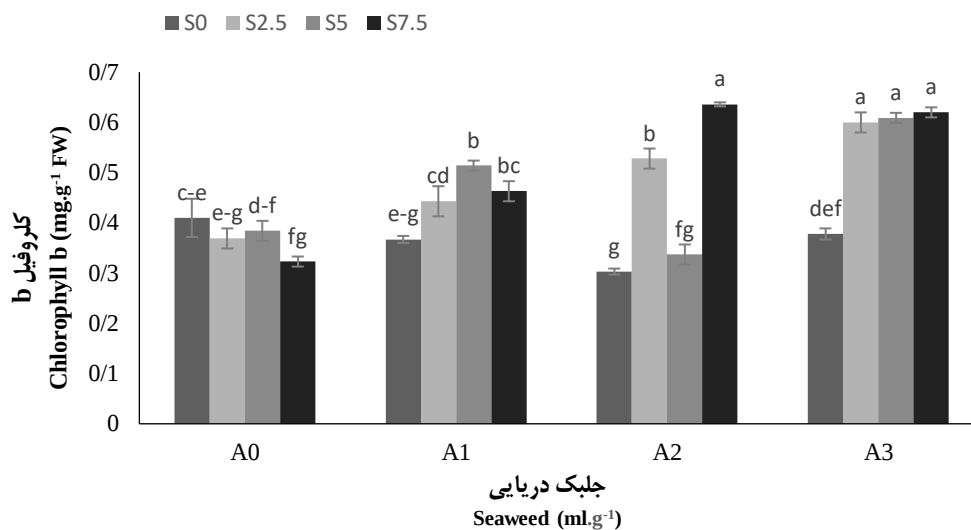
ns، ** و * : به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.



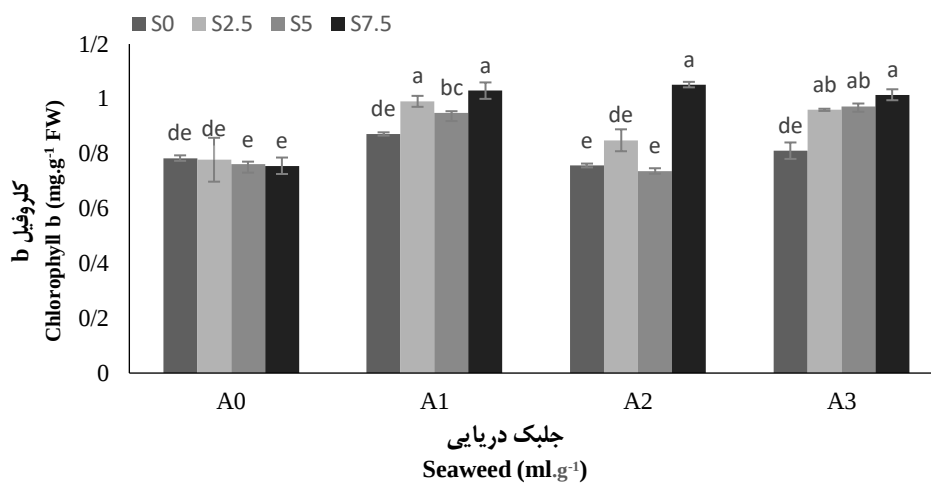
شکل ۱- اثر متقابل جلبک دریایی × ساکارز بر محتوی کلروفیل a ریحان

Figure 1- The interaction effect of seaweed × sucrose on basil chlorophyll content (DMRT, $p \leq 0.05$)



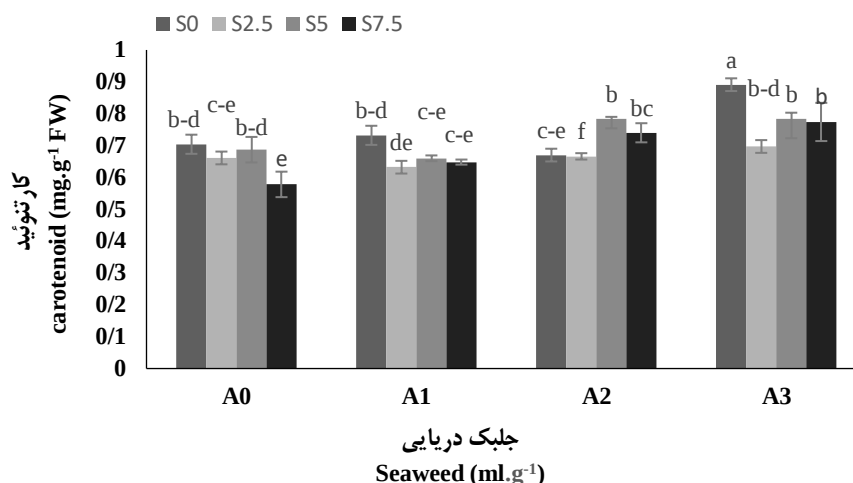
شکل ۲- اثر متقابل جلبک دریایی × ساکارز بر محتوی کلروفیل b ریحان

Figure 2- The interaction effect of seaweed × sucrose on basil chlorophyll b content (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۳- اثر متقابل جلبک دریایی × ساکارز بر کلروفیل کل ریحان

Figure 3- The interaction effect of seaweed × sucrose on total chlorophyll of basil (DMRT, $p \leq 0.05$)



شکل ۴- اثر متقابل جلبک دریایی × ساکارز بر کاروتنوئید ریحان
Figure 4- The interaction effect of seaweed × sucrose on carotenoid of basil (DMRT, $p \leq 0.05$)

توت فرنگی تحت تأثیر ساکارز افزایش یافته است (Luo et al., 2019).

درصد فعالیت آنتی اکسیدانی

اثر متقابل فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه ریحان تحت تأثیر جلبک دریایی و ساکارز در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی ساکارز و جلبک دریایی بر درصد فعالیت آنتی اکسیدانی ریحان را نشان می دهد که بالاترین فعالیت آنتی اکسیدانی (۶۲/۴۶ درصد) با کاربرد توأم $A_1S_{7.5}$ به دست آمد که افزایش ۲۵۴ درصد نسبت به شاهد را به همراه داشت. کمترین درصد فعالیت آنتی اکسیدانی مربوط به A_0S_0 به میزان ۱۷/۶ درصد می باشد (جدول ۵). به طور کلی، ترکیب ساکارز با جلبک دریایی می تواند به عنوان یک راهبرد مؤثر برای افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی در گیاهان به کار رود. این ترکیب علاوه بر تقویت ظرفیت دفاعی گیاه در برابر تنش ها، می تواند موجب بهبود کیفیت و عملکرد گیاهان شود. استفاده از غلظت های مختلف جلبک دریایی در گیاه کدوی تلخ (*Momordica charantia*) بر میزان آنتی اکسیدان اثر مثبت داشته است (Aminifard et al., 2023). افزایش ساکارز به میزان پنج تا هفت درصد توانست سبب افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی در کشت درون شیشه ای گیاه *Artemisia absinthium* L. گردد (Ali et al., 2016).

فنل

نتایج به دست آمده نشان داد که اثر متقابل کودهای مورد استفاده بر میزان فنل در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید (جدول ۴).

ساکارز با محافظت از آنتوسیانین ها در برابر تخریب در طول ذخیره سازی، از قهوه ای شدن و تشکیل رنگدانه های پلیمری جلوگیری می کند. این امر به دلیل ممانعت از واکنش های آنزیمی توسط ساکارز است. اثر قند بر پایداری آنتوسیانین به ساختار، غلظت و نوع قند بستگی دارد (De Ancos et al., 1999; Wrolstad et al., 1990). ساکارز به عنوان منبع انرژی و پیش ساز گلوکز و فروکتوز، مواد اولیه لازم برای تولید آنتوسیانین ها را فراهم می کند. این قندها مسیرهای بیوستتزی را فعال می کنند و تولید آنتوسیانین ها را افزایش می دهند (Pontis & Martínez-Noel, 2013; Solfanelli et al., 2005). همچنین با تأثیر بر فتوسنتز و تنفس، به طور غیرمستقیم تولید آنتوسیانین ها را افزایش می دهد. این اثرات در شرایط محیطی مناسب بیشتر مشهود است (Liu et al., 2024; Loreti et al., 2008). مطالعات نشان داده است که کاربرد پتاسیم سولفات و عصاره جلبک دریایی می تواند محتوای آنتوسیانین زعفران (*Crocus sativus*) را افزایش دهد (Aminifard et al., 2023). در برخی موارد، ساکارز می تواند به جای القای مسیر بیوستتز آنتوسیانین باعث کاهش آن شود. این اتفاق معمولاً زمانی رخ می دهد که ساکارز به عنوان یک سیگنال قندی، مسیرهای متابولیکی را به سمت تولید ترکیبات دیگر (مانند قندها یا نشاسته) هدایت کند. ساکارز با مهار بیان ژن های $bHLH^1$ و $MYB3^2$ که در مسیر بیوستتز آنتوسیانین ضروری هستند، می تواند موجب کاهش تولید آنتوسیانین شود (Solfanelli et al., 2005). در مقابل، میزان آنتوسیانین ها (رنگدانه های مسئول رنگ قرمز) در گیاه

- 1.basic Helix-Loop-Helix
2. Myeloblastosis

بیشترین مقدار فنل از محلول پاشی $A_{2S7.5}$ به دست آمد (جدول ۵). این میزان نسبت به شاهد ۶۶ درصد افزایش داشت. همچنین کمترین مقدار فنل در $A_{0S2.5}$ (0.908 میلی گرم گالیک اسید بر وزن خشک) مشاهده شد. $A_{2S7.5}$ احتمالاً شرایط ایده آل برای سنتز فنل‌ها را فراهم کرده، چون سطح بالای ساکارز، انرژی لازم برای مسیر فنیل پروپانویید را تأمین کرده و جلبک با غلظت متوسط هم بدون ایجاد تنش، مسیر را تحریک کرده است.

غلظت بالاتر ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی می‌تواند با تأثیر کودهای ارگانیک بر فرآیند بیوسنتز این ترکیبات مرتبط باشد. این کودها با فعال سازی مسیر شیکیمات و مسیر استات، تولید فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی را افزایش می‌دهند (Oliveira et al., 2008). مطالعات وجودی مهربانی و همکاران (Vojoudi Mehrabani et al., 2018) نشان داده است که کودهای آلی و عصاره جلبک دریایی تأثیر مثبتی بر میزان فنل در گیاه همیشه بهار داشتند. همچنین لئو و همکاران (Luo et al., 2019) نشان دادند که ساکارز تأثیر قابل توجهی بر افزایش سطح ترکیبات فنلی در میوه توت‌فرنگی داشت. ساکارز با تحریک مسیرهای بیوسنتزی مرتبط با فنل‌ها، مانند مسیر فنیل پروپانویید، باعث افزایش تولید ترکیبات فنلی از جمله اسیدهای فنولیک و فلاونوئیدها می‌شود.

فلاونوئید

نتایج پژوهش حاکی از این است که اثر متقابل محلول پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر فلاونوئید کل در سطح احتمال یک درصد معنی دار

شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی ساکارز و جلبک دریایی بر میزان فلاونوئید کل در گیاه ریحان نشان داد که کاربرد توأم تیمارهای $A_{1S7.5}$ و $A_{2S7.5}$ منجر به بیشترین مقدار فلاونوئید (معادل $1/32$ میلی گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک) گردید. این میزان نسبت به شاهد تقریباً دو برابر افزایش نشان داد. وزن کمترین مقدار آن $0/641$ میلی گرم کوئرستین بر گرم وزن خشک برای نمونه شاهد مربوط به عدم کاربرد منابع کودی به دست آمد. ترکیب جلبک دریایی و ساکارز، از طریق تحریک هم‌زمان مسیرهای تغذیه‌ای و دفاعی موجب افزایش سنتز فلاونوئیدها شده است. این افزایش، به‌ویژه زمانی مشهود است که غلظت ساکارز بالا بوده و جلبک در حدی باشد که به‌جای ایجاد تنش، مسیرهای متابولیکی را فعال نگه دارد.

میزان فلاونوئید در گیاه همیشه بهار تحت تأثیر کودهای آلی و عصاره جلبک دریایی قرار گرفت (Vojoudi Mehrabani et al., 2018). تحقیقات انجام‌شده در کلم بروکلی (*Brassica oleracea*) نشان داد که استفاده از عصاره جلبک دریایی موجب افزایش محتوای فلاونوئیدی در گیاهان مورد بررسی شده است (Lola-Luz et al., 2014). لئو و همکاران (Luo et al., 2019) بیان کردند که ساکارز با فعال کردن مسیر فنیل پروپانویید منجر به افزایش فلاونوئیدها در گیاه توت فرنگی شده است.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر برخی از ویژگی‌های فیتوشیمیایی ریحان
Table 4- Analysis of variance for the effect of seaweed and sucrose foliar spraying on some Phytochemical characteristics of basil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		آنتوسیانین Anthocyanin	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	فنل Phenol	فلاونوئید Flavonoid
بلوک Block	2	0.151 ^{ns}	0.582 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.002 ^{ns}
جلبک دریایی Seaweed (A)	3	25.108 ^{**}	389.525 ^{**}	0.433 ^{**}	0.501 ^{**}
ساکارز Sucrose (S)	3	1.343 ^{ns}	365.596 ^{**}	0.101 ^{**}	0.113 ^{**}
جلبک دریایی × ساکارز A × S	9	3.381 ^{**}	338.754 ^{**}	0.061 ^{**}	0.042 ^{**}
خطای آزمایش Error	30	0.577	3.769	0.007	0.001
ضریب تغییرات C.V (%)	-	23.8	29.4	29.4	20.6

^{ns}، ^{**} و ^{*}: به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد.
^{ns}, ^{**} and ^{*}: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

جدول ۵- اثر متقابل محلول پاشی جلبک دریایی × ساکارز بر برخی از ویژگی‌های فیتوشیمیایی ریحان

Table 5- The interaction effect of seaweed × sucrose foliar spraying on some phytochemical characteristics of basil

جلبک دریایی Seaweed (ml.l ⁻¹)	ساکارز Sucrose (g.l ⁻¹)	آنتوسیانین Anthocyanin (mg.g ⁻¹ dry weight)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity (%)	فنل Phenol (mg gallic acid.dry weight ⁻¹)	فلاونوئید Flavonoid (mg quercetin.dry weight ⁻¹)
0	0	4.69 ^{i*} ± 0.49	17.6 ^k ± 0.49	0.963 ^{hi} ± 0.02	0.641 ^h ± 0.007
	2.5	5.66 ^{g-i} ± 0.35	37.9 ^{de} ± 0.52	0.908 ⁱ ± 0.03	0.704 ^g ± 0.01
	5	4.81 ⁱ ± 0.56	29.3 ⁱ ± 1.1	1.09 ^{f-h} ± 0.10	0.781 ^f ± 0.006
	7.5	6.85 ^{d-g} ± 0.16	31.3 ^{hi} ± 0.35	1.28 ^{de} ± 0.08	0.947 ^e ± 0.03
1	0	7.15 ^{c-f} ± 0.13	52.06 ^b ± 1.0	1.24 ^{d-f} ± 0.01	1.05 ^d ± 0.01
	2.5	5.61 ^{g-i} ± 0.55	25.7 ^g ± 1.5	1.18 ^{e-g} ± 0.10	1.07 ^d ± 0.004
	5	6.30 ^{f-h} ± 0.23	30.03 ^{hi} ± 1.4	1.06 ^{gh} ± 0.01	1.26 ^{ab} ± 0.01
	7.5	5.24 ^{hi} ± 0.37	62.4 ^a ± 1.4	1.19 ^{d-g} ± 0.008	1.31 ^a ± 0.01
2	0	6.58 ^{e-h} ± 0.21	29.4 ⁱ ± 0.42	1.03 ^{g-l} ± 0.02	1.04 ^d ± 0.02
	2.5	6.46 ^{e-h} ± 0.59	33.5 ^{gh} ± 2.02	1.35 ^{cd} ± 0.01	1.18 ^c ± 0.02
	5	7.78 ^{b-e} ± 0.6	43.3 ^d ± 0.88	1.24 ^{d-f} ± 0.06	0.828 ^f ± 0.03
	7.5	8.44 ^{bc} ± 0.47	38.2 ^{ef} ± 0.56	1.608 ^a ± 0.06	1.32 ^a ± 0.01
3	0	8.05 ^{b-d} ± 0.48	41.1 ^{de} ± 0.44	1/44 ^{bc} ± 0.01	1.20 ^{bc} ± 0.01
	2.5	10.28 ^a ± 0.52	31.4 ^{hi} ± 0.66	1/55 ^{ab} ± 0.01	1.20 ^{bc} ± 0.01
	5	7.86 ^{b-e} ± 0.24	35.6 ^{fg} ± 1.3	1/56 ^{ab} ± 0.04	1.22 ^{bc} ± 0.02
	7.5	8.86 ^b ± 0.23	46.7 ^c ± 1.5	1.47 ^{a-c} ± 0.03	1.23 ^{bc} ± 0.03

* در هر ستون اعدادی با حرف مشابه یا حروف مشابه تفاوت معنی‌داری با هم در سطح احتمال پنج درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

* In each column, numbers with the same letter or similar letters are not significantly different from each other at the 5% of probability level of Duncan's multiple range test.

نتیجه‌گیری

اثر متقابل محلول پاشی جلبک دریایی و ساکارز بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک برگ، وزن تر ساقه، سطح برگ، میزان کلروفیل a، b و کل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و فلاونوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. کاربرد A₁S_{7.5} به‌صورت محلول پاشی در گیاه دارویی ریحان منجر به بالاترین میزان ارتفاع بوته (۴۳/۸۳ سانتی‌متر)، وزن تر (۵/۳۴) و وزن خشک اندام هوایی (۰/۶۵ گرم)، درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۶۴/۴۶ درصد) شد. با استفاده از A₂S_{7.5} بیشترین میزان کلروفیل a (۰/۸۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، b (۰/۶۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۱/۰۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به دست آمد.

همچنین بیشترین سطح برگ (۹/۶۵ سانتی‌مترمربع) با کاربرد تیمار A₂S_{2.5}، کاروتنوئید (۰/۶۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با کاربرد A₃S₀، آنتوسیانین (۱۰/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) A₃S_{2.5}، فنل (۱/۶۰ میلی‌گرم گالیک اسید بر وزن خشک) و فلاونوئید (۱/۳۲ میلی‌گرم کوئرستین بر وزن خشک) نیز در اثر کاربرد A₂S_{7.5} به دست آمد.

به‌طور کلی، ترکیب کودی A₁S_{7.5} و A₂S_{2.5} بیشترین تأثیر را بر مقادیر صفات مورفوفیزیولوژیک داشتند. رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز تحت تأثیر ترکیبات A₂S_{7.5} و A₃S₀ بودند. همچنین صفات

فیتوشیمیایی گیاه ریحان متأثر از ترکیبات A₁S_{7.5}، A₂S_{7.5} و A₃S_{2.5} بود.

کاربرد این ترکیبات می‌تواند به‌عنوان یک راهکار زیست‌سازگار در بهبود رشد، عملکرد و کیفیت ترکیبات دارویی گیاه ریحان مورد استفاده قرار گیرد و جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی در سیستم‌های کشاورزی پایدار باشد. از دیدگاه صنعتی، افزایش محتوای ترکیبات فیتوشیمیایی از جمله آنتوسیانین، فنل‌ها و فلاونوئیدها می‌تواند موجب ارتقاء ارزش افزوده محصولات گیاهان دارویی شود. باین‌حال، برای بهره‌گیری هرچه بهتر از این ترکیبات زیستی، انجام مطالعات بیشتر به‌منظور بررسی سازوکارهای فیزیولوژیکی و مولکولی اثر آن‌ها ضروری است. همچنین پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده در زمینه بررسی پایداری این اثرات در شرایط اقلیمی مختلف، ارزیابی اقتصادی استفاده از این ترکیبات و تعمیم آن به سایر گونه‌های گیاهان دارویی صورت گیرد. این یافته‌ها می‌توانند افق‌های تازه‌ای برای کاربرد عملی ترکیبات زیستی در کشاورزی هوشمند و صنایع دارویی و غذایی باز کنند.

با وجود نتایج قابل توجه این پژوهش در شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای، بررسی تأثیرات بلندمدت و میدانی کاربرد کودهای زیستی نظیر جلبک دریایی و ساکارز در شرایط اقلیمی متنوع، پیشنهاد می‌شود. همچنین گسترش تعداد تکرارها و استفاده از گونه‌های

مختلف گیاهان دارویی می‌تواند به تعمیم‌پذیری نتایج کمک کند. این کاربرد این ترکیبات را در تولید پایدار محصولات دارویی ممکن سازند. موارد می‌توانند مسیر تحقیقات آتی را روشن‌تر کرده و بهینه‌سازی

References

1. Abdel-Mawgoud, A. M. R., Tantaway, A., Hafez, M. M., & Habib, H. A. M. (2010). Seaweed extract improves growth, yield and quality of different watermelon hybrids. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 6, 161-168.
2. Ali, M., Abbasi, B. H., Ahmad, N., Ali, S. S., Ali, S., & Ali, G. S. (2016). Sucrose-enhanced biosynthesis of medicinally important antioxidant secondary metabolites in cell suspension cultures of *Artemisia absinthium* L. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 39, 1945-1954. <https://doi.org/10.1007/s00449-016-1656-z>.
3. Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(3), 531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
4. Amanjani, N., Akbarpour, V., & Bahmanyar, M. A. (2024). The effect of seaweed and humic acid on some phytochemical properties of the medicinal plant lemon verbena (*Lippia citriodora*). The 5th National Conference on Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Science in Society, Tehran Tehran, Iran. (In Persian). URL: <https://civilica.com/doc/1987826>
5. Aminifard, M., Khaksar Moghaddam, A., Bayat, H., & Fallahi, H. (2023). The effect of potassium sulfate and seaweed extract application on the content of photosynthetic pigments and some active compounds in saffron stigma (*Crocus sativus* L.). *Saffron Research Journal*, 11(2), 297-313. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/jsr.2024.7024.1229>
6. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
7. Chrysargyris, A., Xylia, P., Anastasiou, M., Pantelides, I., & Tzortzakis, N. (2018). Effects of *Ascophyllum nodosum* seaweed extracts on lettuce growth, physiology and fresh-cut salad storage under potassium deficiency. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5861-5871. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9139>
8. De Ancos, B., Gonzalez, E., & Cano, M. P. (1999). Differentiation of raspberry varieties according to anthocyanin composition. *Food Research and Technology*, 208, 33-38.
9. El-Naggar, A., Hassan, M. R. A., & Saeid, A. M. (2020). Growth and essential oil analysis of *Ocimum basilicum* L. plants as affected by seaweed extract and active dry yeast. *Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants*, 7(1), 27-43. <https://doi.org/10.21608/sjfop.2020.91394>
10. Esmailpour, B., Fatemi, H., & Moradi, M. (2020). The effect of seaweed extract on physiological and biochemical indices of basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Journal of Greenhouse Science and Technology*, 11(1), 59-69. (In Persian with English abstract). <http://dx.doi.org/10.47176/jspi.11.1.10288>.
11. Esmailpour, B., Shojaei, A., Azarmi, R., & Aslani, Z. (In press). The effect of seaweed extract and organic growing media on growth indices, yield, and essential oil of savory (*Satureja hortensis* L.). *Agricultural Science and Sustainable Production*. (In Persian). <https://doi.org/10.22146/agritech.28324>.
12. Fadaei, M., Akbarpour, V., Mousavizadeh, S. J., & Ghasemi, K. (2023). Evaluation of the effect of ascorbic acid and sucrose foliar application on some quantitative and qualitative characteristics of *Cucurbita pepo* var. Styriaca. *Journal of Horticultural Science*, 37(1), 89-104. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/10.22067/jhs.2021.72192.1087>
13. Ghorbani Dehkordi, A., Mashayekhi, K., & Kamkar, B. (2015). The effect of foliar application of sucrose, boron, potassium nitrate, and salicylic acid on yield and yield components of tomato (Super A cultivar). *Research in Crop Ecosystems*, 2(1), 43-52. (In Persian with English abstract).
14. Heidari, M., Daneshian Moghaddam, A. M., & Nourafkan, H. (2016). The effect of vermicompost and seaweed liquid fertilizer on morphophysiological characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(4), 891-906. (In Persian with English abstract).
15. Jaswant Singh, J. S., Sharma, K. K., Mann, S. S., Raghbir Singh, R. S., & Grewal, G. P. S. (1994). Effect of different chemicals on yield and fruit quality of 'Le Conte' pear. In: *VI International Symposium on Pear Growing* 367. 1993. p. 210-213.
16. Jeandet, P., Formela-Luboińska, M., Labudda, M., & Morkunas, I. (2022). The role of sugars in plant responses to stress and their regulatory function during development. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 5161. <https://doi.org/10.3390/ijms23095161>
17. Karami, A., Shabani, A., & Alamzadeh Ansari, N. (2023). The effect of magnesium aminochelate and seaweed (*Sargassum angustifolium*) on improving growth and quality characteristics of greenhouse cucumber in a magnesium-reduced nutrient solution. *Journal of Plant Production Research*, 31(1), 149-170. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/jopp.2023.21396.3044>

18. Karataş, İ., & Vachouscova, P. (2023). Optimization of sucrose concentration to promote root proliferation and secondary metabolite accumulation in adventitious root cultures of *Ocimum basilicum*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 59(1), 365-377. <https://doi.org/10.1007/s11627-023-10341-9>
19. Lee, S. E., Hwang, H. J., Ha, J. S., Jeong, H. S., & Kim, J. H. (2003). Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Sciences*, 73(2), 167-179. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(03\)00259-5](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(03)00259-5).
20. Liu, C., Yu, H., Liu, Y., Zhang, L., Li, D., Zhao, X., Zhang, J., & Sui, Y. (2024). Promoting anthocyanin biosynthesis in purple lettuce through sucrose supplementation under nitrogen limitation. *Horticulturae*, 10(8), 838. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080838>
21. Lola-Luz, T., Hennequart, F., & Gaffney, M. (2014). Effect on yield, total phenolic, total flavonoid and total isothiocyanate content of two broccoli cultivars (*Brassica oleraceae* var *italica*) following the application of a commercial brown seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*). *Agricultural and Food Science*, 23(1), 28-37. <https://doi.org/10.23986/afsci.8285>.
22. Loreti, E., Povero, G., Novi, G., Solfanelli, C., Alpi, A., & Perata, P. (2008). Gibberellins, jasmonate and abscisic acid modulate the sucrose-induced expression of anthocyanin biosynthetic genes in *Arabidopsis*. *The New Phytologist*, 180(2), 313-323. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02511>.
23. Luo, Y., Lin, Y., Mo, F., Ge, C., Jiang, L., Zhang, Y., & Tang, H. (2019). Sucrose promotes strawberry fruit ripening and affects ripening-related processes. *International Journal of Genomics*, 2019(1), 9203057. <https://doi.org/10.1155/2019/9203057>.
24. Mashayekhi, K., & Atashi, S. (2012). The effect of boron and sucrose foliar application on some biochemical characteristics of strawberry (Camarosa cultivar). *Journal of Plant Production Research*, 19(4), 157-172. (In Persian with English abstract). <https://sid.ir/paper/155967/fa>.
25. Mohammadpour, Gh., Farzaneh, S., Raeisi Sadati, Y., & Sharifi, R. (In Press). The effect of humic acid and seaweed extract on some biochemical traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under drought stress in two locations of Kermanshah province. *Plant Productions*. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2024.46890.2168>.
26. Naseri, Z., Derakhshan, A. R., & Norouzi, S. (2022). Therapeutic effects of basil (*Ocimum basilicum*) in traditional Persian medicine and modern medicine: A narrative review. *Journal of Herbal Medicine*, 14(47), e32. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2022.100465>
27. Oda, M., Aoki, S., Nagaoka, M., & Tsuji, K. (1989). Nutrient solution culture of leaf lettuce under artificial light II. Growth promotion induced by continuous illumination with low light intensity. *Environment Control in Biology*, 27(3), 75-82.
28. Oliveira, I., Sousa, A., Ferreira, I.C., Bento, A., Estevinho, L., & Pereira, J. A. (2008). Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of walnut (*Juglans regia* L.) green husks. *Food and Chemical Toxicology*, 46(7), 2326-2331. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.03.017>
29. Pontis, H., & Martínez-Noel, G. (2013). Sucrose signaling in plants: A world yet to be explored. *Plant Signaling & Behavior*, 8(10), e23316. <https://doi.org/10.4161/psb.23316>
30. Rezaei, A., Ebadi, M. T., & Pirani, H. (2019). The effect of different levels of organic seaweed fertilizer on growth indices, yield, and essential oil content of savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Horticultural Science*, 33(49), 685-696. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i4.78699>.
31. Rezazadeh, Sh., Aminian, R., Mafakheri, S., & Asghari, B. (2019). Investigating the effect of biofertilizers on Morphophysiological traits of fenugreek under different moisture conditions. *Journal of Horticultural Plant Nutrition*, 2(1), 145-163. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22070/hpn.2019.4547.1029>.
32. Salehi Malekabadi, R., Nezamdoost Darestani, D., & Ghasemi, K. (2021). The effect of sucrose and some nutrient elements foliar application on carbohydrate partitioning in radish (*Rhaphanus sativus* var. *sativus*). *Journal of Horticultural Plant Nutrition*, 4(1), 79-96. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22070/hpn.2020.5714.1109>
33. Shahbazi, F., Seyyed Nejad, F., Salimi, M., & Gilani, A. (2015). Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of wheat. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(3), 283-287.
34. Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
35. Solfanelli, C., Poggi, A., Loreti, E., Alpi, A., & Perata, P. (2005). Sucrose-specific induction of the anthocyanin biosynthetic pathway in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 140(2), 637-646. <https://doi.org/10.1104/pp.105.072579>.
36. Sridhar, S., & Rengasamy, R. (2011). Effect of seaweed liquid fertilizer on growth, pigment concentration and yield of *Amaranthus roxburghinus* and *Amaranthus tricolor* under field trial. *Journal of Current Research*, 3(7), 131-134.

37. Sujeeth, N., Petrov, V., Guinan, K. J., Rasul, F., O'Sullivan, J. T., & Gechev, T. S. (2022). Current insights into the molecular mode of action of seaweed-based biostimulants and the sustainability of seaweeds as raw material resources. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(14), 7654. <https://doi.org/10.3390/ijms23147654>
38. Sunarpi, S., Jupri, A., Kurnianingsih, R., Julisaniah, N. I., & Nikmatullah, A. (2011). Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. *Asian Journal of Tropical Biotechnology*, 8(1), 220
39. Thambiraj, J., Lingakumar, K., & Paulsamy, S. (2012). Effect of seaweed liquid fertilizer (SLF) prepared from *Sargassum wightii* and *Hypnea musciformis* on the growth and biochemical constituents of the pulse, *Cyamopsis tetragonoloba* (L.). *Journal of Research in Agriculture*, 1, 65-70.
40. Torab Ahmadi, S., Abedi, B., & Saber Ali, S. F. (2019). Evaluation of some quantitative and qualitative traits of pistachio in response to amino acid compounds and seaweed extract. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(4), 189-204. (In Persian with English abstract).
41. Trettel, J. R., Nascimento, A. B., Barbosa, L. N., & Magalhães, H. M. (2018). *In vitro* growth of Genovese basil in response to different concentrations of salts and interaction of sucrose and activated carbon. *Journal of Agricultural Science*, 10(9), 142-150. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p142>
42. Vojoudi Mehrabani, L., Hassanpour Aghdam, M., Ebrahimzadeh, A., & Valizadeh, R. (2018). The effect of organic fertilizers and mulch on yield and some physiological characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under seaweed extract foliar application. *Journal of Plant Ecophysiology*, 35(10), 212-220. (In Persian with English abstract). <https://sid.ir/paper/188417/fa>.
43. Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*, 64, 88-93. <https://doi.org/10.1104/pp.64.1.88>.
44. Wrolstad, R. E., Skrede, G., Lea, P., & Enersen, G. (1990). Influence of sugar on anthocyanin pigment stability in frozen strawberries. *Journal of Food Science*, 55(4), 1064-1066. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01595.x>.
45. Yonekura, M., Aoki, N., Hirose, T., Onai, K., Ishiura, M., Okamura, M., & Ohto, C. (2013). The promoter activities of sucrose phosphate synthase genes in rice, *OsSPS1* and *OsSPS11*, are controlled by light and circadian clock, but not by sucrose. *Frontiers in Plant Science*, 4, 31. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00031>.
46. Yoon, J., Cho, L. H., Tun, W., Jeon, J. S., & An, G. (2021). Sucrose signaling in higher plants. *Plant Science*, 302, 110706. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110706>
47. Zhakipbekov, K., Turgumbayeva, A., Akhelova, S., Bekmuratova, K., Blinova, O., Utegenova, G., Shertaeva, K., Sadykov, N., Tastambek, K., Saginbazarova, A., & Urazgaliyev, K. (2024). Antimicrobial and other pharmacological properties of *Ocimum basilicum*, Lamiaceae. *Molecules*, 29(2), 388. <https://doi.org/10.3390/molecules29020388>