



Effects of *Thymbra spicata* L. extract, seaweed, and bacterial biofertilizers on *Thymus vulgaris* L. under salinity stress

Mohammed Kareem Shebli¹, Majid Bagnazari^{2*}, Meisam Mohammadi¹, Afsaneh Azizi³

1. Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2*. Corresponding author, Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran,
E-mail: m.bagnazari@ilam.ac.ir

3. Ph.D. Research Scholar, Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

Received: August 2024

Revised: June 2025

Accepted: April 2025

Abstract

Background and objectives: Garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) is prominent among medicinal plants due to its applications across various industries. Salinity is the second most significant environmental factor limiting agricultural productivity in many regions worldwide, including Iran. Biofertilizers, which supply macro- and micronutrients, amino acids, and plant hormones, can enhance plant growth and improve stress resistance. This study examined the effects of thyme extract (*Thymbra spicata*), seaweed, and a comprehensive bacterial biofertilizer on garden thyme's morphophysiological traits, biochemical characteristics, essential oil yield, and secondary metabolite production under salt stress conditions.

Methodology: This research was designed and implemented as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications, conducted in the medicinal plant research greenhouse of Ilam University. The first factor included treatments of 10% *T. spicata* extract (TS), 1% seaweed (SB), 10% complete bacterial biofertilizer (BB), and their combination (TS+SB+BB). The second factor involved three salinity levels: 0, 100, and 200 mM sodium chloride (S0, S100, and S200). In this study, in addition to morphological traits, the following parameters were measured: relative water content, electrolyte leakage, total chlorophyll, carotenoid and anthocyanin contents of shoots, total phenol, flavonoid, total protein, soluble sugar, proline, malondialdehyde, the enzyme activities of catalase and phenylalanine ammonia-lyase, antioxidant activity, and essential oil content. Essential oil components were also identified using GC and GC/MS. After data collection, the results were analyzed statistically using SAS 9.3 software, and Duncan's multiple range test was used to compare means at a 5% probability level. The findings were presented in tables and graphs using Excel.

Results: Based on the results, increasing salinity stress led to a decline in the average values of morphological, physiological, and biochemical indices of *T. vulgaris*. However, the application of biofertilizer treatments mitigated the adverse effects of salinity. According to the mean comparisons, under both non-stress and salinity stress conditions, the highest morphological indices were observed in the combined treatment of TS+SB+BB. This combined treatment also enhanced relative water content, chlorophyll, carotenoid, anthocyanin, total phenol, flavonoid,



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.

total protein, soluble sugar, and proline at all stress levels. In terms of carotenoid, anthocyanin, total phenol, flavonoid, proline, soluble sugar, catalase, and phenylalanine ammonia-lyase enzyme activities, and antioxidant properties, values generally increased with higher stress levels. The highest phenylalanine ammonia-lyase activity and antioxidant activity were recorded under both non-stress and moderate stress conditions with the TS treatment, while under high-stress conditions, the TS+SB+BB combination showed the greatest activity. Salinity stress also increased electrolyte leakage and malondialdehyde (MDA) content. However, at all three salinity levels, the application of the TS+SB+BB treatment significantly reduced electrolyte leakage and MDA content. In this study, the highest essential oil content was observed under moderate salinity stress (S100) in plants treated with the TS+SB+BB combination, which also increased thymol content by 45% compared to the control.

Conclusion: The results of the morphophysiological and biochemical assessments, along with essential oil analysis of garden thyme, revealed a significant decline in photosynthetic activity under salt stress conditions. This reduction was accompanied by decreased leaf water status and a decline in various growth and biochemical parameters. The interaction between salinity stress and the TS+SB+BB biofertilizer treatment demonstrated that plants receiving the combined treatment experienced less reduction in growth, physiological, biochemical, and essential oil parameters under high salinity stress compared to untreated controls. Overall, it can be concluded that the combined biofertilizer treatment effectively mitigates the negative effects of salinity stress, supporting improved quantitative and qualitative performance of garden thyme under adverse conditions.

Keywords: *Thymus vulgaris* L., essential oil, thymol, antioxidant activity, salinity stress, carvacrol.

اثر عصاره *Thymbra spicata* L.، جلبک دریایی و ویوکودهای باکتریایی بر *Thymus vulgaris* L. تحت تنش شوری

محمد کریم شبلی^۱، مجید بگنظری^{۲*}، میثم محمدی^۳ و افسانه عزیزی^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، پست الکترونیک: m.bagnazari@ilam.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۴- دانشجوی دکترای تخصصی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۳

تاریخ اصلاح نهایی: اسفند ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: فروردین ۱۴۰۴

چکیده

سابقه و هدف: آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) در بین گیاهان دارویی به دلیل استفاده در صنایع مختلف از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. شوری دومین عامل محیطی است که تولید محصولات کشاورزی را در بخش قابل توجهی از مناطق کشاورزی جهان و ایران محدود می‌کند. کودهای زیستی با تأمین عناصر ماکرو و میکرو، اسیدهای آمینه و هورمون‌های گیاهی باعث افزایش رشد و محافظت از گیاهان در برابر تنش می‌شوند. در این مطالعه، اثرهای عصاره آویشن زوفایی (*Thymbra spicata* L.) به همراه کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، عملکرد اسانس و متابولیت‌های ثانویه گیاه دارویی آویشن باغی در شرایط تنش شوری بررسی شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی گیاهان دارویی دانشگاه ایلام طراحی و اجرا شد. فاکتور اول این آزمایش شامل تیمارهای عصاره آویشن زوفایی ۱۰٪ (TS)، کود زیستی جلبک دریایی ۱٪ (SB)، کود کامل باکتریایی ۱۰٪ (BB) و تلفیق آنها و فاکتور دوم شامل سطوح مختلف شوری [صفر (S0)، ۱۰۰ (S100) و ۲۰۰ (S200)] میلی‌مولار کلرید سدیم بودند. در این پژوهش علاوه بر صفات مورفولوژیکی، محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت، کلروفیل کل، کاروتنوئید و آنتوسیانین شاخساره، فنول کل، فلاونوئید، پروتئین کل، قند محلول، پرولین، مالون دی‌آلدید، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و فنیل آلانین آمونیالیز، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای اسانس مورد بررسی قرار گرفت. همچنین شناسایی اجزای تشکیل‌دهنده اسانس توسط GC/MS و GC/MS انجام شد. داده‌های آزمایش پس از جمع‌آوری توسط نرم‌افزار آماری SAS 9.3 تجزیه آماری شد و برای مقایسه اختلاف بین میانگین‌ها از آزمون Duncan در سطح احتمال ۵٪ استفاده و نتایج به صورت جدول و نمودار توسط Excel گزارش شد.

نتایج: براساس نتایج به دست آمده، با افزایش تنش شوری از میانگین شاخص‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی کاسته شد؛ اما کاربرد تیمارهای کودی اثر منفی تنش شوری را کاهش داد، به طوری که براساس مقایسه میانگین داده‌ها، در شرایط بدون تنش و اعمال تنش شوری بالاترین شاخص‌های مورفولوژیکی در تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB ثبت گردید. همچنین این تیمار سبب افزایش محتوای نسبی آب، کلروفیل، کاروتنوئید، آنتوسیانین، فنول کل، فلاونوئید، پروتئین کل، قند محلول و پرولین در تمامی سطوح تنش شد. صفات کاروتنوئید، آنتوسیانین، فنول کل، فلاونوئید، پرولین، قند محلول، فعالیت آنزیم CAT، آنزیم PAL و آنتی‌اکسیدانی با افزایش سطح تنش افزایش یافتند. بالاترین فعالیت آنزیم PAL و آنتی‌اکسیدانی در دو سطح تنش S0 و S100 تحت تیمار TS ثبت و در تنش S200 تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB بالاترین فعالیت را نشان داد. با افزایش تنش شوری، میزان نشت الکترولیت و محتوای مالون دی‌آلدید افزایش یافت. در سه سطح تنش شوری، کاربرد تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB میزان نشت الکترولیت و محتوای مالون دی‌آلدید را کاهش داد. در این مطالعه در شرایط تنش S100 بالاترین محتوای اسانس ثبت گردید و کاربرد تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB با افزایش محتوای اسانس، میزان تیمول را ۴۵٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش داد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از بررسی پارامترهای مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و تجزیه اسانس گیاه آویشن باغی نشان داد که تحت شرایط تنش شوری در میزان فعالیت فتوسنتزی و به دنبال آن کاهش وضعیت آب برگ و دیگر فاکتورهای رشدی و بیوشیمیایی گیاه کاهش معنی‌داری رخ داد. اثر متقابل تنش شوری و عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی نشان داد که پارامترهای رشدی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، میزان و اجزای اسانس گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد در شرایط تنش شوری بالا به میزان کمتری تحت تأثیر قرار گرفتند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تیمار تلفیقی در شرایط تنش شوری، ضمن تعدیل اثر تنش می‌تواند گیاه را در شرایط تولید کمی و کیفی مطلوب‌تری نگه دارد.

واژه‌های کلیدی: *Thymus vulgaris* L.، اسانس، تیمول، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، تنش شوری، کارواکرول

مقدمه

آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) از خانواده نعناعیان (Lamiaceae)، گیاهی بوته‌ای و چندساله با ساقه‌های چوبی و ارتفاع ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. این گیاه دارای برگ‌های کوچک نیزه‌ای سبزرنگ به طول شش تا ۱۲ میلی‌متر می‌باشد (Hosseini et al., 2017). منشأ گیاه منطقه مدیترانه بوده و خواص ضد عفونی‌کننده، ضد اسپاسم، ضد نفخ، معرق، خلط‌آور و آرام‌بخش این گونه سبب شده است که در زمره گیاهان ارزشمند دارویی قرار گیرد. اثرهای دارویی این گیاه مربوط به ترکیبات مختلف آن از جمله تیمول و کارواکرول می‌باشد (Noroozisharaf & Kaviani, 2018). اسانس آویشن از جمله ده اسانس برتر است که دارای خواص ضدباکتریایی و قارچی، آنتی‌اکسیدان، بادشکن، ضد کرم و نگهدارنده طبیعی غذا بوده و جایگاه خاصی در تجارت جهانی دارد. از آویشن در صنایع غذایی، دارویی، بهداشتی و آرایشی استفاده‌های متنوعی می‌شود (Zounemat Kermani & Asadi, 2018).

از مهمترین زمینه‌های تحقیقی در مورد گیاهان دارویی، بررسی شرایط مختلف محیطی تأثیرگذار بر میزان عملکرد کمی و کیفی این گیاهان است. هدف نهایی از کشت گیاهان دارویی، استفاده از مواد مؤثره موجود در آنها است و هر چه مقدار این متابولیت‌های ثانویه در واحد وزن گیاه بیشتر باشد، تولید و تکثیر این گیاهان توجیه اقتصادی بهتری دارد (Ashraf et al., 2004). شوری بعد از خشکی دومین عامل محیطی فراگیر و محدودکننده تولیدات کشاورزی است که

سطح قابل توجهی از زمین‌های کشاورزی جهان و ایران را فراگرفته است. اثرهای منفی شوری در اثر ازدیاد کلرید سدیم به صورت سمیت و تنش اسمزی ایجاد می‌شود. به‌طور کلی افزایش شوری در خاک باعث کاهش رشد و میزان عملکرد محصول می‌گردد. شوری بر تمام فرایندهای اصلی مانند رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپید و انرژی مؤثر بوده و تمام مراحل زندگی گیاه از جوانه‌زنی تا تولید زیست‌توده و دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hosseini et al., 2017). در طول شرایط تنش‌زا گیاهان به حفظ ظرفیت پایین آب داخلی خاک، حفظ تورژسانس و جذب آب برای رشد نیاز دارند. این موضوع مستلزم افزایش در فعالیت اسمزی است که به وسیله جذب از محلول خاک و یا سنتز محلول‌های متابولیکی انجام می‌شود. با وجود این، اثرهای تنش شوری در گیاهان به غلظت، مدت قرارگیری در معرض تنش شوری، ژنوتیپ گیاه و سایر فاکتورهای محیطی بستگی دارد (Roy et al., 2014).

گیاهان سازوکارهای مختلفی برای کاهش اثر مخرب گونه‌های فعال اکسیژن دارند، از جمله این سازوکارها می‌توان سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی را برشمرد. این سیستم شامل انواع آنزیمی و غیرآنزیمی است (Agarwal & Pandey, 2004). با توجه به اینکه گیاهان یکی از منابع مهم آنتی‌اکسیدان‌ها هستند، گونه‌های غنی از ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی می‌توانند سلول‌ها را از آسیب اکسیداتیو محافظت کنند (Kumaran, 2006). این آنتی‌اکسیدان‌ها

ترکیب‌های پلی‌فنولی هستند که در قسمت‌های مختلف گیاهان وجود دارند (Stoilova et al., 2007). آویشن زوفایی از خانواده نعناعیان (Lamiaceae) با نام علمی *Thymbra spicata* L. و نام محلی ازبونه (هزه) از گیاهان بومی خودرو غرب ایران و نواحی جنوب شرقی آنتالیا و مدیترانه‌ای است (Akin et al., 2010). این گیاه منبعی غنی از فلاونوئیدها، تریپنوئیدها و ایزوپرنوئیدها مانند تیمول و کارواکرول است (Akkol et al., 2009).

در سال‌های اخیر استفاده از جلبک دریایی به عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی رواج یافته است. عصاره جلبک به صورت کودهای مایع و محرک‌های زیستی به بازار عرضه می‌شود. این محصولات حاوی عناصر ماکرو و میکرو، اسیدهای آمینه، اسیدفولیک، اسید هیومیک، اسید آلژینیک، مانیتول و دارای هورمون‌های گیاهی مانند سیتوکینین، اسید جیبرلیک، پلی‌آمین‌ها، اسید آبسزیک و اسید سالیسیلیک هستند که باعث افزایش رشد گیاهان می‌شوند. علاوه بر این، سایر پیش‌سازهای ترکیب‌های هورمونی نیز در این عصاره‌ها وجود دارند که با تأثیرگذاری بر مسیرهای متابولیکی مختلف، سطح درون‌زای هورمون‌های گیاهی را تغییر داده و یا تولید آنها را القا می‌کنند (Patel, 2018; Ashour et al., 2020). این محصولات همچنین دارای لاند-کاراگینان (λ -carrageenan) می‌باشند که با استفاده از القای بیان ژن‌های رمزگذاری‌کننده کیتیناز و پروتئیناز و تنظیم مسیر اسید جاسمونیک، اتیلن و اسید سالیسیلیک، سیستم دفاعی را در گیاه تحریک می‌کنند. بتائین (Betaine) نیز به عنوان یک اسید آمینه محافظت‌کننده در تنش شوری و خشکی عمل و تحمل تنش را برای گیاهان مختلف فراهم می‌کند (Begum et al., 2018).

میکروارگانیزم‌های محرک رشد گیاه (PGPM) با کاهش هزینه تولید و آلودگی محیط، کارایی زراعت را افزایش داده و میزان استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهند (De Souza et al., 2015). این جوامع میکروبی عمدتاً از طریق تثبیت نیتروژن، حل‌شدن فسفات و پتاسیم، ترشح اکزوپلی‌ساکارید، کنترل فعالیت زیستی، تجزیه مواد

آلی و تولید سیدروفور باعث رشد گیاه می‌شوند. مطالعات پیشین نشان داده است تلقیح همزمان دو یا چند میکروارگانیزم ممکن است عملکرد و رشد را در مقایسه با تلقیح تک‌عاملی بهبود ببخشد و مزایای متنوعی را برای گیاهان فراهم نماید (De Souza et al., 2015; Naik et al., 2019). تأثیر قابل توجه افزودن کودهای زیستی حاوی باکتری‌های خاکزی بر مسیر متابولیت‌های ثانویه و به‌ویژه عملکرد رشدی، عملکرد اسانس و ترکیب‌های آن، قندهای محلول و مواد مغذی گیاهان دارویی در مقایسه با کودهای شیمیایی اثبات شده است (Sabzi-Mehrabad et al., 2018)؛ بنابراین در این پژوهش اثرهای عصاره آویشن زوفایی (*T. spicata* L.) به همراه کودهای زیستی جلبک دریایی و کود کامل باکتریایی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، بازدهی اسانس و متابولیت‌های ثانویه گیاه دارویی آویشن باغی (*T. vulgaris* L.) در شرایط تنش شوری بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی محل اجرای طرح

این پژوهش در سال ۱۴۰۱ خورشیدی در گلخانه تحقیقاتی گیاهان دارویی گروه علوم باغبانی (رطوبت نسبی در محدوده ۶۰ تا ۷۰٪ و دمای هوای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شب) دانشگاه ایلام با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۴۶ متر از سطح دریا روی گیاه آویشن باغی طراحی و اجرا شد.

فاکتور و تیمارهای آزمایشی

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار (هر تکرار شامل پنج گلدان) اجرا گردید. فاکتور اول این آزمایش شامل تیمارهای عصاره آویشن زوفایی ۱۰٪ (TS)، کود زیستی جلبک دریایی ۱٪ (SB)، کود کامل باکتریایی ۱۰٪ (BB) و تلفیق آنها و فاکتور دوم شامل سطوح مختلف شوری [صفر (S0)، ۱۰۰

(S100) و ۲۰۰ (S200) میلی مولار کلرید سدیم] بودند.

۱۰۰ میلی لیتر رسانیده شد.

تهیه عصاره آویشن زوفایی (TS)

برای تهیه تیمار TS، شاخساره گیاه *T. spicata* پس از خشک کردن در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، آسیاب و برای تهیه تیمارها استفاده شد. مقدار ۲۰۰ گرم از هر نمونه در یک لیتر اتانول ۵۰٪ (۵۲۱ سی سی از اتانول ۹۶٪ به حجم یک لیتر) خیس شد. محلول حاصل به مدت ۴۸ ساعت روی شیکر قرار گرفت، سپس توسط کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف و پس از جداسازی اتانول (به مدت دو روز در معرض هوای محیط قرار گرفتند) در یخچال تا زمان محلول پاشی نگهداری شد.

کود جلبک دریایی (SB)

برای تهیه تیمار SB، کود جلبک دریایی Algaren Twin از برند گرین هاوس تولید کشور ایتالیا که در فرمولاسیون خود حاوی ۹۰٪ عصاره جلبک دریایی به همراه مقداری از نیتروژن ارگانیک (۲٪)، کربن ارگانیک (۱۴٪)، مواد ارگانیک (۲۸٪)، سرشار از مقادیر بالا و متناسب از هورمون های ضروری اکسین و سیتوکنین، ویتامین B و عناصر ریز مغذی می باشد، در بسته بندی یک لیتری تهیه شد. به منظور تهیه محلول ۱٪ حجمی-حجمی، یک میلی لیتر از کود زیستی جلبک دریایی در یک استوانه مدرج توسط آب مقطر به حجم

کود کامل باکتریایی (BB)

به منظور تهیه تیمار BB، ابتدا کودهای زیستی از توبارور-۱، فسفات بارور-۲، پتایورور-۲، سولفوبارور-۱ و فروزینک بارور از شرکت زیست فناوری سبز (تهران، ایران) تهیه و بعد از هریک ۱۰ میلی لیتر به صورت رقیق شده (۱۰٪) برای تلقیح ریشه هر بوته استفاده گردید. بدین منظور، ابتدا از هریک از کودهای تهیه شده ۲۰ میلی لیتر جدا و در یک بشر با یکدیگر ترکیب شدند (حجم نهایی ۱۰۰ میلی لیتر). سپس ۱۰۰ میلی لیتر سوسپانسیون باکتری در یک استوانه مدرج توسط آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانیده شد.

آماده سازی خاک و عملیات زراعی

به منظور تهیه خاک مورد نیاز نسبت ۱:۱:۲ خاک زراعی، خاک برگ و ماسه بادی ترکیب شد و گلدان های شماره ۱۷ با میزان مساوی مخلوط خاک پر شدند. سپس نشاهای آویشن باغی به ارتفاع ۱۰ سانتی متر در عمق مناسب درون گلدان ها کاشته شدند. سه نمونه تصادفی از خاک مورد نظر تهیه و برای تجزیه و تحلیل به منظور تعیین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک شناسی دانشگاه ایلام ارسال شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1. Physicochemical characteristics of the experimental soil

Moisture (%)	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	Soil texture	pH	EC (dS.m ⁻¹)	Organic carbon (%)	Total nitrogen (%)	Phosphorus (ppm)	Potassium (ppm)
35	71	19	10	Sandy loam	6.7	0.82	2.44	0.09	54.27	430.47

اعمال تیمارها

همزمان با کاشت نهال ها، تلقیح ریشه با کود زیستی BB به میزان ۵۰ میلی لیتر برای هر گلدان انجام شد. پس از استقرار گیاهان (۳۰ روز پس از کاشت) مرحله دوم تلقیح کود زیستی BB به روش تزریق از طریق چاله در فاصله پنج سانتی متری

طوقه و اولین مرحله محلول پاشی برگ گیاهان SB و TS انجام و بعد (هفت روز بعد) تنش شوری بر گیاهان اعمال شد. تیمارهای TS و SB به صورت محلول پاشی (سه بار) و BB (دو بار) به صورت آبکود در دوره رویشی بر گیاهان آویشن باغی اعمال شدند و بوته ها نیز سه نوبت در هر هفته تحت

تنش شوری قرار گرفتند.

صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت و پایداری غشا

نمونه برداری با استفاده از قیچی از سرشاخه تمامی تیمارهای آزمایشی انجام و نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار گرفتند. وزن تر (FW) نمونه‌ها در آزمایشگاه با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. پس از آن، نمونه‌های سرشاخه بلافاصله به مدت چهار ساعت در آب مقطر درون فالكون ۵۰ میلی‌لیتری غوطه‌ور گردیدند. پس از گذشت چهار ساعت نمونه‌ها از آب خارج شده و هر گونه رطوبت سطحی به سرعت و با دقت با کاغذ صافی خشک شد و فوراً وزن گردید تا وزن تورژسانس (TW) به دست آمد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و (پس از خنک شدن در خشک‌کن) برای تعیین وزن خشک (DW) وزن گردیدند. تمام توزین‌ها با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم انجام شد. سپس از طریق رابطه زیر محتوای نسبی آب محاسبه گردید (Holaday et al., 1992). برای بررسی پایداری غشا از روش نشت الکترولیت به روش Hniličková و همکاران (۲۰۱۹) استفاده گردید.

$$RWC (\%) = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

FW - وزن تازه نمونه، TW - وزن تورژسانس نمونه،

DW - وزن خشک نمونه

محتوای کلروفیل، کاروتنوئید و آنتوسیانین شاخصاره

برای تعیین مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی از روش آرنون (Arnon, 1967) با اندکی تغییر استفاده شد. ۰/۵ گرم از نمونه برگ توزین و در هاون قرار داده شد. سپس پنج میلی‌لیتر محلول استون ۸۰٪ به هاون اضافه و نمونه گیاهی به خوبی له گردید. در مرحله بعد، مخلوط برگ له‌شده و استون به یک لوله فالكون منتقل گردید. لوله حاوی نمونه برگ به مدت پنج دقیقه در ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ (Prismr, Labnet, USA) گردید. سپس محلول با استفاده از قیف و کاغذ صافی به یک بالون ژوزه ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و به حجم رسانیده شد. با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Specord 50،

اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و نمونه برداری

در اسفند ۱۴۰۱ (۱۲۰ روز پس از کاشت) اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و نمونه برداری (فریز و خشک شده) برای انجام آزمایش‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، محتوای اسانس، نوع و میزان متابولیت‌های ثانویه انجام گردید. برای اندازه‌گیری از هر واحد آزمایشی، سه گلدان به صورت تصادفی اتیکت‌گذاری شدند و صفات آنها به نمایندگی از هر واحد آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت.

صفات رویشی

ارتفاع گیاه در زمان به حداکثر رسیدن رشد و هنگام شروع گلدهی با خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. بوته‌ها از بالای طوقه برداشت و با قیچی باغبانی به قطعات کوچک‌تر تقسیم و بلافاصله وزن تر آنها با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. وزن خشک بوته‌ها نیز پس از خشک‌شدن در سایه به مدت دو هفته اندازه‌گیری شدند. پس از آن که ریشه‌ها با دقت از گلدان خارج و با آب مقطر کاملاً شست‌وشو داده شدند، بعد از حذف رطوبت اضافی توسط یک لایه دستمال توال، وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. وزن تر ریشه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری و ثبت شد. پس از خشک‌شدن ریشه‌ها در هوای آزاد و در سایه به مدت هفت روز، وزن خشک آنها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید (Newman, 1966). طول ریشه با استفاده از خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. حجم ریشه توسط استوانه مدرج (قانون ارشمیدس) برحسب سانتیمتر مکعب اندازه‌گیری شد. سطح ریشه با استفاده از روش اتکینسون و از طریق فرمول زیر محاسبه گردید (Atkinson, 1980):

$$TRA = 2 \times (RV \times \pi \times TRL) \times 0.5$$

در این رابطه، TRA سطح کل ریشه برحسب cm^2 ، RV

حجم ریشه برحسب cm^3 ، π عدد ۳/۱۴ و TRL برابر با طول ریشه برحسب cm است.

وزن تر نمونه محاسبه گردید. همچنین برای اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین از روش Tassoni و همکاران (۲۰۱۲) استفاده گردید و برحسب میکروگرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه شد.

Analytic Jena AG, Germany)، قابلیت جذب نور محلول در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل و ۴۷۰ برای کارتنوئیدها قرائت و در پایان با استفاده از فرمول‌های زیر، مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی برحسب میلی‌گرم بر گرم

$$\text{Total chlorophyl} = [(19.3 * A663 - 0.86 * A645)V/100W] + [(19.3 * A645 - 3.6 * A663)V/100W]$$

$$\text{Carotenoides} = 100(A470) - 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/227$$

V = حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفوژ)، A = جذب نور در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر،

W = وزن تر نمونه برحسب گرم

سه میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH 7.8) مخلوط شدند. سپس نمونه‌ها در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شدند. از بخش رویی عصاره برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین کل استفاده شد. سپس مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره را برداشته و درون لوله آزمایش ریخته و ۲/۹ میلی‌لیتر از معرف برادفورد به آن افزوده و به‌سرعت ورتکس شد. پس از ۵ دقیقه، میزان جذب نوری محلول حاصل با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت و ثبت شد و میزان پروتئین برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید (Bradford, 1976). به منظور سنجش قند محلول در اندام‌های هوایی، از روش Kochert (۱۹۷۸) محتوای پرولین با استفاده از روش Bates (۱۹۷۳) و محتوای مالون دی‌آلدئید از روش Heath و Packer (۱۹۶۸) استفاده گردید.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)، آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز (PAL) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش

DPPH

پس از آماده‌سازی عصاره پروتئینی، فعالیت آنزیم CAT با استفاده از روش Chance و Maehly (۱۹۵۵) همراه با تغییراتی اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۲/۵ میلی‌لیتر بافرتریس ۵۰ میلی‌مول pH=7 به همراه ۳۰ میکرولیتر پراکسیداز هیدروژن (H_2O_2) و ۶۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی در حمام یخ مخلوط شدند. منحنی تغییرات جذب در طول

محتوای فنول کل و فلاونوئید

در ابتدا ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره متانولی با پنج میلی‌لیتر فولین سیوکالتو محصول شرکت مرک مخلوط گردید. سپس یک میلی‌لیتر کربنات سدیم یک مولار اضافه گردید. بعد از اضافه‌کردن محلول‌ها، رنگ عصاره فنولی کم کم آبی شد، چون ترکیب‌های فنولی موجود در عصاره تحت واکنش‌های اکسیداسیون و احیا با اسید فسفومولیبدیک موجود در معرف فولین سیوکالتو قرار گرفته و به علت قلیایی بودن محیط معرف، واکنش به‌طور خودبه‌خودی پیش رفت. برای بلانک نیز بجای عصاره، از آب مقطر استفاده و بعد فولین سیوکالتو و کربنات سدیم اضافه گردید. از این محلول برای صفر کردن اسپکتروفتومتر استفاده شد. محلول ذکرشده ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار گرفت و جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر قرائت گردید (Pandjaitan et al., 2005). اندازه‌گیری فلاونوئیدها با اسپکتروفتومتر و با استفاده از روش Krizek و همکاران (۱۹۹۸) انجام شد. محتوای فنول کل برحسب میلی‌گرم برابر گالیک اسید بر گرم وزن تر و فلاونوئید برحسب میلی‌گرم کوئرستین بر گرم وزن تر نمونه محاسبه گردید.

اندازه‌گیری مقدار پروتئین کل، قند محلول در اندام‌های هوایی، پرولین و محتوای مالون دی‌آلدئید برای اندازه‌گیری پروتئین از روش برادفورد استفاده شد. به این منظور، نمونه‌ها پس از وزن شدن (۲۰۰ میلی‌گرم)، با

موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به مدت یک دقیقه قرائت شد. میزان فعالیت آنزیم برحسب میزان آب اکسیژنه غیرفعال شده در یک دقیقه در هر گرم بافت تازه برگ محاسبه شد. فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلیاز با استفاده از سینامیک اسید تولیدشده با روش ang و همکاران (۲۰۰۶) و براساس غلظت و میزان سینامیک اسید تولیدشده اندازه گیری شد و میزان مهار رادیکال های DPPH با روش Ebrahimzadeh و همکاران (۲۰۰۸) مورد ارزیابی قرار گرفت.

اندازه گیری محتوای اسانس و شناسایی ترکیب های آن برای استخراج اسانس از روش تقطیر با آب استفاده شد. بخش هوایی بوته های آویشن باغی پس از برداشت و حذف آلودگی ها آسیاب شدند. ۵۰ گرم از نمونه گیاهی آسیاب شده و به مدت سه ساعت تقطیر انجام شد. محتوای اسانس هر نمونه برحسب میکرولیتر بر گرم وزن خشک از لوله مدرج دستگاه کلونجر قرائت شد. اسانس با افزودن سولفات سدیم برای حذف رطوبت تا زمان تزریق به دستگاه، در شیشه تیره در یخچال نگهداری شد. شناسایی ترکیب ها با استفاده از GC و GC/MS انجام شد (Burt, 2004). شناسایی و ارزیابی ترکیب های فرار موجود در اسانس آویشن باغی با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC, GMI, SCION SQ, W.436 مدل SSL-T21 انگلستان) که به یک طیف سنج جرمی SCION-MS، تک طیف سنج چهارگانه MS-DB-5ms به طول ۱۵ متر × ۰/۲۵ میلی متر، ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرونی) و منبع یونش الکترونی متصل شده است، انجام شد. گاز هلیوم با خلوص ۹۹/۹۹٪ و شدت جریان یک دقیقه/ میلی لیتر به عنوان گاز حامل با ولتاژ یونیزاسیون ۷۰eV استفاده شد. دمای انژکتور و رابط به ترتیب ۲۸۰ درجه سانتی گراد و ۲۰۰ درجه سانتی گراد بود. جرم بین ۴۰ تا ۶۰۰ amu بود. برنامه دمای آون همان چیزی بود که در بالا برای GC ذکر شد. شناسایی ترکیب ها با استفاده از مقایسه طیف جرمی آنها با طیف جرمی کتابخانه مرجع داخلی

(NIST11) انجام شد. برای تزریق به دستگاه، ابتدا اسانس توسط دی کلرومتان (محلول ۰/۵ درصد) رقیق و بعد یک میکرولیتر آن به دستگاه تزریق شد. در نهایت بیشتر ترکیب ها با استفاده از شاخص بازداری (RI)، زمان بازداری (RT) و طیف جرمی شناسایی شدند.

تجزیه و تحلیل داده ها و محاسبات آماری

داده های آزمایش پس از جمع آوری توسط نرم افزار آماری SAS 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) تجزیه آماری شد و برای مقایسه اختلاف بین میانگین ها از آزمون Duncan در سطح احتمال ۵٪ استفاده و نتایج به صورت جدول و نمودار توسط Excel (Microsoft Office Professional Plus Excel 2013) گزارش گردید.

نتایج

شاخص های رویشی گیاه

نتایج نشان داد که شاخص های ارتفاع بوته، وزن تر و خشک شاخساره، طول، حجم و سطح ریشه، وزن تر و خشک ریشه تحت تأثیر اثرهای ساده تیمار و شوری و اثر متقابل تنش شوری × تیمار قرار گرفتند (جدول ۲). با افزایش تنش شوری از میانگین شاخص ها کاسته شد؛ اما کاربرد تیمارهای کودی اثر منفی تنش شوری را کاهش داد، به طوری که براساس مقایسه میانگین داده ها، در شرایط تنش S0 تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB توانست ارتفاع بوته را ۱۵٪/۶۶، وزن تر ۵۳٪/۸۷ و خشک شاخساره را ۹۴٪/۷۳، وزن تر ریشه را ۹٪/۱۵ و وزن خشک را ۱۱٪/۷۲، طول ۳۷٪/۳۲، حجم ۹۸٪/۰۳ و سطح ریشه را ۶۶٪/۵۵ نسبت به تیمار شاهد (C) افزایش دهد. همین تیمار در شرایط تنش S200 توانست ارتفاع بوته را ۳۵٪/۶۵، وزن تر ۹۱٪/۱ و خشک شاخساره را ۹۰٪/۵۸، وزن تر ریشه را ۲۶٪/۵۸ و خشک را ۲۶٪/۴۲، طول ۶۴٪/۱۶، حجم ۱۸۷٪/۹۲ و سطح ریشه را ۱۱۸٪/۲۸ نسبت به تیمار C در همین سطح تنش افزایش دهد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی بر صفات رویشی گیاه آویشن باغی تحت تنش شوری

Table 2. ANOVA of *Thymbra spicata* extract and seaweed and completed bacteria biofertilizers effects on *Thymus vulgaris* vegetative traits under salinity stress

S.O.V.	d.f.	Plant height	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root length	Root volume	Root surface	Root fresh weight	Root dry weight
Block	2	0.03 ^{ns}	1.59 ^{ns}	0.01 ^{ns}	2.19 ^{ns}	13.62 ^{ns}	25.57 ^{ns}	0.5 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Treatment (T)	4	34.16 ^{**}	63.80 ^{**}	1.25 ^{**}	64.69 ^{**}	1302.9 ^{**}	1998.31 ^{**}	17.83 ^{**}	0.35 ^{**}
Salinity stress (S)	2	300.98 ^{**}	509.46 ^{**}	10.02 ^{**}	749.44 ^{**}	6779.35 ^{**}	14218.8 ^{**}	107.02 ^{**}	2.10 ^{**}
T×S	8	1.52 ^{**}	4.16 ^{**}	0.81 ^{**}	3.28 ^{**}	223.52 ^{**}	209.29 ^{**}	2.99 ^{**}	0.05 ^{**}
Experimental error	28	0.02	0.33	0.007	0.61	19.78	24.13	0.1	0.002
C.V. (%)		1.88	4.15	4.40	4.32	9.47	6.73	1.26	1.22

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی بر صفات رویشی گیاه آویشن باغی تحت تنش شوری

Table 3. Means comparison of *Thymus spicata* extract and seaweed and completed bacteria biofertilizers effects on *Thymus vulgaris* vegetative traits under salinity stress

Salinity stress (mM)	Treatment	Plant height (cm)	Shoot fresh weight (g)	Shoot dry weight (g)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)	Root length (cm)	Root volume (cm ³)	Root surface (cm ²)
S0	Control (no extract or biofertilizer) (C)	26.37 ^d	16.26 ^e	2.28 ^e	28.61 ^d	4.01 ^d	22.4 ^{de}	51 ^d	83.86 ^{de}
	<i>Thymus spicata</i> extract 10% (TS)	28 ^c	17.4 ^d	3.15 ^d	29.22 ^c	4.09 ^c	23.5 ^{cd}	55 ^d	90.09 ^d
	Seaweed biofertilizer 1% (SB)	29.13 ^b	19.54 ^c	2.74 ^c	30.16 ^b	4.23 ^b	24.8 ^c	62.66 ^c	98.77 ^c
	Completed bacteria biofertilizer 10% (BB)	29.66 ^b	23.64 ^b	3.31 ^b	30.5 ^b	4.27 ^b	27.33 ^b	77.66 ^b	115.36 ^b
	TS+ SB+ BB	30.5 ^a	25.02 ^a	4.44 ^a	31.23 ^a	4.48 ^a	30.76 ^a	101 ^a	139.67 ^a
S100	C	20.5 ⁱ	9.78 ^{kl}	1.37 ^{kl}	26.16 ^g	3.66 ^g	12.8 ⁱ	34.33 ^f	51.23 ⁱ
	TS	24.06 ^f	12.73 ^h	1.78 ^h	27.83 ^e	3.9 ^e	17.46 ^{fg}	48 ^{de}	73.22 ^f
	SB	23.26 ^g	12.14 ^{hi}	1.7 ^{hi}	27.23 ^f	3.81 ^f	16.26 ^g	41.33 ^{ef}	64.97 ^g
	BB	25.23 ^e	13.86 ^g	1.94 ^g	28 ^e	3.92 ^e	18.53 ^f	49.66 ^d	76.02 ^{ef}
	TS+ SB+ BB	25.7 ^e	15.18 ^f	2.12 ^f	28.4 ^{de}	3.98 ^{de}	19.86 ^e	50 ^d	78.96 ^{ef}
S200	C	16.66 ^l	6.07 ⁿ	0.85 ⁿ	21.33 ^j	2.99 ^j	8.93 ^j	13.66 ^h	27.57 ^k
	TS	18.5 ^k	7.32 ^m	1.02 ^m	22.83 ⁱ	3.2 ⁱ	10.13 ^j	20 ^{gh}	35.67 ^k
	SB	19.63 ^{jk}	8.94 ^l	1.25 ^l	25.14 ^h	3.35 ^h	11.93 ⁱ	26 ^g	44.1 ^j
	BB	21.96 ^h	10.72 ^{jk}	1.5 ^{jk}	26.74 ^{fg}	3.75 ^f	13.2 ⁱ	35.66 ^f	54.37 ^{hi}
	TS+ SB+ BB	22.6 ^{gh}	11.6 ^{ij}	1.62 ^{ij}	27 ^f	3.78 ^f	14.66 ^h	39.33 ^f	60.18 ^{gh}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

BB: an equal combination of Azotobarvar-1, Phosphate Barvar-2, Petabarvar-2, Sulfo-barvar-1, and Ferozinc Barvar biofertilizers.

صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت و پایداری غشا

شاخص‌های محتوای نسبی آب و نشت الکترولیت تحت

تأثیر اثر ساده تنش شوری و تیمار و اثر متقابل تیمار × تنش

شوری قرار گرفت (جدول ۴). افزایش تنش شوری اثر

کاهشی بر صفت محتوای نسبی آب داشت، اما کاربرد تیمارها

اثر منفی تنش شوری را کاهش داد. نتایج مقایسه میانگین

داده‌ها نشان داد در شرایط تنش S0 تیمار تلفیقی TS+ SB+

BB باعث افزایش محتوای نسبی آب به میزان ۱۳/۴۳٪ نسبت

به تیمار C در همین سطح تنش گردید. این تیمار نیز در

کلروفیل کل افزایش یافت. این تیمار همچنین در سطوح تنش S100 و S200 به ترتیب باعث افزایش ۱۶۰/۴۲٪ و ۱۷۶/۸۹٪ محتوای کلروفیل کل گردید (جدول ۵).

محتوای کارتنوئید تحت تیمار تنش شوری روند افزایشی داشت و این روند تحت تأثیر تیمارهای بکار برده شده در این پژوهش افزایش چشمگیری نشان داد. در این صفت نیز تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB در شرایط تنش S0، ۵۳٪/۶۵ محتوای کارتنوئید را افزایش داد. این تیمار همچنین در سطوح تنش S100 و S200 به ترتیب باعث افزایش ۴/۶۵٪ و ۱۷/۹۱٪ در محتوای کارتنوئید گردید (جدول ۵).

نتایج این پژوهش روند افزایشی محتوای آنتوسیانین را تحت تیمار تنش شوری نشان داد و این روند تحت تأثیر تیمارهای بکار برده شده در این پژوهش نیز روند افزایشی داشت. محتوای آنتوسیانین تحت تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB در شرایط تنش S0، ۲۳۳٪/۳۳ افزایش یافت. همچنین در سطوح تنش S100 و S200 این تیمار به ترتیب باعث افزایش ۱۰۰٪ و ۸۶/۳۶٪ در محتوای آنتوسیانین گردید (جدول ۵).

سطوح تنش S100 و S200 به ترتیب ۲۰/۳۸٪ و ۱۸/۷۸٪ باعث افزایش محتوای نسبی آب نسبت به تیمار C در سطوح تنشی اعلام شده گردید (جدول ۵).

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود با افزایش تنش شوری، میزان نشت الکترولیت افزایش یافت، به‌طوری که بیشترین نشت الکترولیت (۴۹٪) در شرایط تنش شوری S200 در تیمار C مشاهده شد. کاربرد تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB میزان نشت الکترولیت را به ترتیب ۱۵٪/۴۳، ۱۸/۳۷٪ و ۱۴/۹۷٪ در سه سطح تنش شوری کاهش داد.

محتوای کلروفیل، کارتنوئید و آنتوسیانین

مطابق نتایج حاصل از این پژوهش محتوای کلروفیل کل، کارتنوئید و آنتوسیانین تحت تأثیر اثر ساده تیمار، تنش شوری و اثر متقابل تیمار× تنش شوری قرار گرفتند (جدول ۴). در این مطالعه محتوای کلروفیل کل تحت تیمار تنش شوری روند کاهشی نشان داد، در حالی که تحت تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB در شرایط تنش S0، ۱۰۰٪/۸۳ محتوای

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی بر صفات فیزیولوژیکی گیاه

آویشن باغی تحت تنش شوری

Table 4. ANOVA of *Thymbra spicata* extract and seaweed and completed bacteria biofertilizers effects on *Thymus vulgaris* physiological traits under salinity stress

S.O.V.	d.f.	Relatvie Water Content	Electrolyte Leakage	Total Chlorophyll	Carotenoids	Anthocyanin
Block	2	1.40 ^{ns}	1.75 ^{ns}	1.02 ^{ns}	0.93 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Treatment (T)	4	198.72 ^{**}	67.64 ^{**}	100.84 ^{**}	1.23 ^{**}	0.002 ^{**}
Salinity stress (S)	2	2250.6 ^{**}	583.08 ^{**}	9.09 ^{**}	2.79 ^{**}	0.002 ^{**}
T×S	8	5.4 ^{**}	4.89 ^{**}	0.01 ^{**}	10.45 ^{**}	0.003 ^{**}
Experimental error	28	1.47	0.49	0.08	0.01	0.000002
C.V. (%)		1.57	1.79	2.81	4.29	3.94

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

نیز افزایش یافت. این صفت همچنین تحت تیمارهای بکار برده شده در این آزمایش قرار گرفت. محتوای فنول کل تحت تیمار SB در شرایط تنش S0، ۳۲۹٪/۹۳ افزایش یافت. همچنین در سطوح تنش S100 و S200 این تیمار به ترتیب باعث افزایش ۷۳/۱۱٪ و ۲۳۷/۰۳٪ در محتوای فنول کل گردید. همچنین محتوای فنول کل تحت تیمار تلفیقی TS+

محتوای فنول کل و فلاونوئید

طبق نتایج، فنول کل و فلاونوئید تحت تأثیر اثر ساده تیمارهای کودی، تنش شوری و اثر متقابل تیمار× تنش شوری قرار گرفتند (جدول ۶). نتایج پژوهش نشان داد محتوای فنول کل تحت تیمار تنش شوری قرار گرفت، به‌طوری که با افزایش سطح تنش شوری، محتوای فنول کل

داد (شکل ۱-۸). SB+ BB در شرایط تنش S200 ۲۸۴٪/۷۲ افزایش نشان

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی بر صفات فیزیولوژیکی گیاه آویشن باغی تحت تنش شوری

Table 5. Means comparison of *Thymus spicata* extract and seaweed and completed bacteria biofertilizers effects on *Thymus vulgaris* physiological traits under salinity stress

Salinity stress (mM)	Treatment	Relative water content (%)	Electrolyte leakage (%)	Total chlorophyll (mg.g ⁻¹ FW)	Carotenoids (mg.g ⁻¹ FW)	Anthocyanin (μM.g ⁻¹ FW)
S0	Control (no extract or biofertilizer) (C)	83.43 ^d	36.66 ^e	8.35 ^g	3.15 ^f	0.021 ^j
	<i>Thymus spicata</i> extract 10% (TS)	86.76 ^c	36.46 ^e	10.41 ^f	3.9 ^{cd}	0.036 ^e
	Seaweed biofertilizer 1% (SB)	93.03 ^b	36.26 ^e	10.54 ^{ef}	3.15 ^f	0.027 ^f
	Completed bacteria biofertilizer 10% (BB)	93 ^b	34 ^f	12.47 ^d	3.39 ^e	0.032 ^{ef}
	TS+ SB+ BB	96.56 ^a	31 ^g	16.77 ^a	4.84 ^b	0.07 ^b
	C	67 ^k	43.53 ^c	5.66 ⁱ	4.94 ^b	0.04 ^d
S100	TS	73.53 ^g	39 ^{ef}	8.47 ^g	4.37 ^c	0.04 ^d
	SB	76.36 ^e	40 ^d	7.32 ^h	4.83 ^b	0.032 ^{ef}
	BB	73.73 ^f	38 ^e	12.37 ^d	3.62 ^d	0.06 ^c
	TS+ SB+ BB	86.06 ^c	37 ^e	14.74 ^b	5.17 ^a	0.08 ^a
	C	63.03 ^h	49 ^a	4.76 ^j	1.73 ⁱ	0.022 ^j
	TS	63 ^h	46.86 ^b	7.96 ^g	2.15 ^g	0.035 ^e
S200	SB	63.43 ^h	47.63 ^{ab}	7.22 ^h	1.79 ⁱ	0.031 ^{ef}
	BB	76.06 ^e	46.36 ^b	11.02 ^e	1.33 ^h	0.032 ^{ef}
	TS+ SB+ BB	76.16 ^e	46.16 ^b	13.18 ^c	2.04 ^g	0.041 ^d

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

BB: an equal combination of Azotobarvar-1, Phosphate Barvar-2, Petabarvar-2, Sulfo-barvar-1, and Ferozinc Barvar biofertilizers.

محتوای پرولین و محتوای مالون دی آلدئید

طبق نتایج، پروتئین کل، قند محلول در اندام‌های هوایی، محتوای پرولین و محتوای مالون دی آلدئید تحت تأثیر اثر ساده تیمارهای کودی، تنش شوری و اثر متقابل تیمار × تنش شوری قرار گرفتند (جدول ۶). در این پژوهش محتوای پروتئین کل تحت تیمار تنش شوری روند کاهشی نشان داد، در حالی که تحت تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB در شرایط

در این مطالعه محتوای فلاونوئید تحت تیمار تنش شوری

روند کاهشی نشان داد، در حالی که محتوای فلاونوئید تحت تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB در شرایط تنش S0، ۱۵۳٪/۹۶ افزایش نشان داد. این تیمار همچنین در سطوح تنش S100 و S200 به ترتیب باعث افزایش ۲۱۷/۳۰٪ و ۲۷۷/۸۸٪ محتوای فلاونوئید گردید (شکل ۱-۸). محتوای پروتئین کل، قند محلول در اندام‌های هوایی،

تنش S0، ۶۰٪/۲۳ افزایش یافت. این تیمار همچنین در سطوح تنش S100 و S200 به ترتیب باعث افزایش ۱۳۱/۹۶٪ و ۱۰۶/۳۳٪ محتوای پروتئین کل گردید. همچنین دو تیمار SB و BB به صورت جداگانه هریک به ترتیب باعث افزایش ۱۵۲/۸٪ و ۱۵۶/۰۵٪ محتوای پروتئین کل شدند (شکل ۱- C).

نتایج نشان داد که محتوای قند محلول در اندام‌های هوایی تحت تیمار تنش شوری قرار گرفت، به طوری که با افزایش سطح تنش شوری، محتوای قند محلول در اندام‌های هوایی افزایش یافت. این صفت همچنین تحت تیمارهای بکار برده شده در این آزمایش قرار گرفت. محتوای قند محلول در اندام‌های هوایی تحت تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB در شرایط تنش S0، ۱۳۷٪/۸۱ نسبت به تیمار شاهد در همین سطح تنش افزایش یافت. همچنین در سطوح تنش S100 و S200 تیمار SB به ترتیب باعث افزایش ۲۷٪/۶۹ و ۳۵٪/۳۵ در محتوای قند محلول در

اندام‌های هوایی گردید (شکل ۱- D).

براساس مقایسه میانگین مشخص گردید که محتوای پرولین با افزایش سطح تنش شوری افزایش یافت. همچنین این صفت تحت تأثیر تیمارهای این آزمایش قرار گرفت. محتوای پرولین تحت تیمار SB در شرایط تنش S0، ۲۰۲٪/۹۱ افزایش یافت. همچنین در سطوح تنش S100 و S200 تیمار TS به ترتیب باعث افزایش ۲۰۹٪/۵۲ و ۵۷٪/۸۲ در محتوای پرولین گردید (شکل ۱- E).

محتوای مالون دی‌آلدهید با افزایش سطح تنش شوری روند افزایشی نشان داد. در حالی که تیمارهای بکار برده شده در این آزمایش شیب این روند را کند کردند. تحت تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB در شرایط تنش S0، ۴۷٪/۷۱ محتوای مالون دی‌آلدهید کاهش یافت. همچنین در سطوح تنش S100 و S200 این تیمار به ترتیب باعث کاهش ۳۴٪/۸۵ و ۳۹٪/۰۳ در محتوای مالون دی‌آلدهید گردید (شکل ۱- F).

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی بر صفات بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی تحت تنش شوری

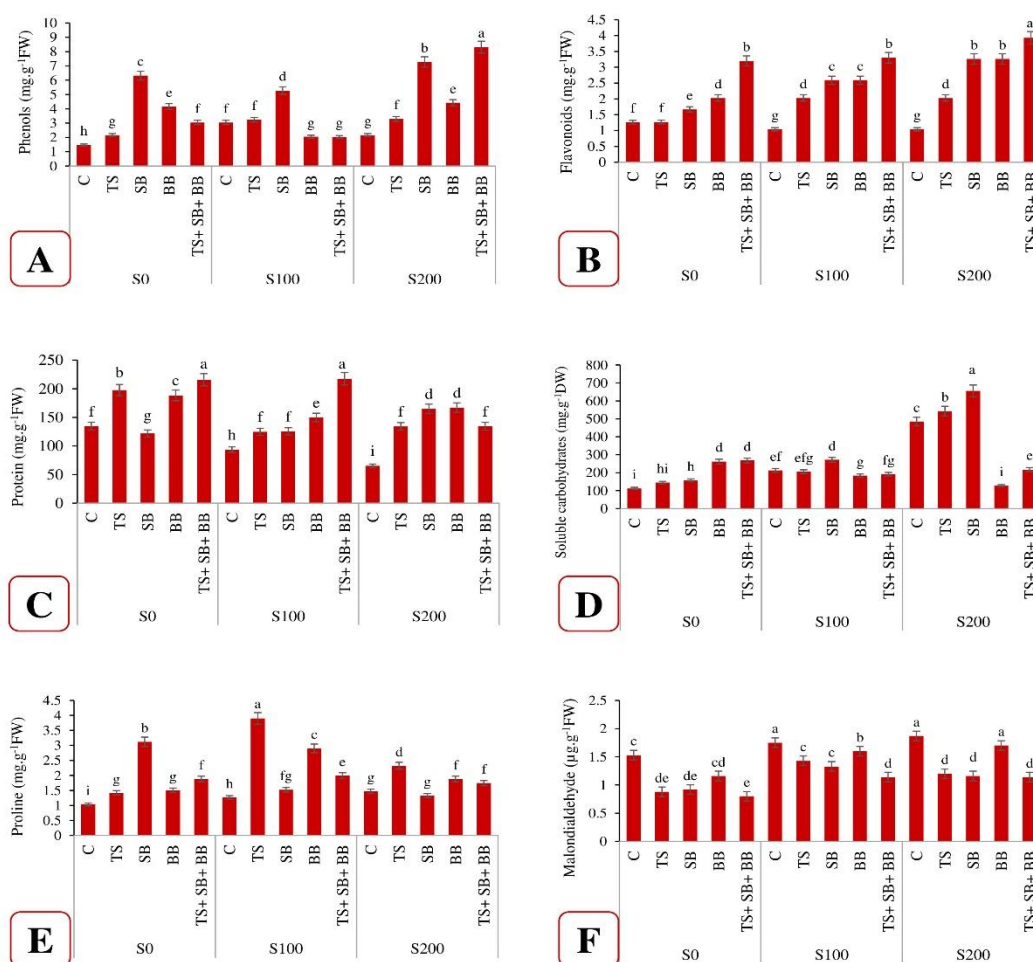
Table 6. ANOVA of *Thymbra spicata* extract and seaweed and completed bacteria biofertilizers effects on *Thymus vulgaris* biochemical traits under salinity stress

S.O.V.	d.f.	Phenols	Flavonoids	Protein	Soluble carbohydrates	Proline	Malondialdehyde
Block	2	1.73 ^{ns}	0.041 ^{ns}	238.73 ^{ns}	806.6 ^{ns}	0.045 ^{ns}	0.023 ^{ns}
Treatment (T)	4	23.28 ^{**}	2.19 ^{**}	2773.97 ^{**}	4037.6 ^{**}	0.09 ^{**}	0.31 ^{**}
Salinity stress (S)	2	24.80 ^{**}	6.40 ^{**}	1479.74 ^{**}	19458.5 ^{**}	1.43 ^{**}	1.11 ^{**}
T×S	8	6.89 ^{**}	1.83 ^{**}	8067.74 ^{**}	6197.6 ^{**}	1.95 ^{**}	0.69 ^{**}
Experimental error	28	0.033	0.006	13.39	18.30	0.003	0.001
C.V. (%)		4.56	4.01	2.45	4.87	2.99	2.67

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

شوری قرار گرفت و با افزایش سطح تنش شوری، فعالیت آنزیم CAT افزایش یافت. همچنین فعالیت آنزیم CAT تحت تأثیر تیمارهای بکار برده شده در این آزمایش قرار گرفت. فعالیت آنزیم CAT تحت تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB در شرایط تنش S0، ۲۱۴٪/۸۹ افزایش یافت (شکل ۲- A).

فعالیت آنزیم CAT، آنزیم PAL و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نتایج نشان داد فعالیت آنزیم‌های CAT و PAL و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر اثر ساده تیمارهای کودی، تنش شوری و اثر متقابل تیمار× تنش شوری قرار گرفت (جدول ۷). نتایج نشان داد فعالیت آنزیم CAT تحت تیمار تنش



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی بر صفات بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی تحت تنش شوری

Figure 1. Means comparison of *Thymus spicata* extract and seaweed and completed bacteria biofertilizers effects on *Thymus vulgaris* biochemical traits under salinity stress

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

C: Control (no extract or biofertilizer), TS: *Thymus spicata* extract 10%, SB: Seaweed biofertilizer 1%, BB: Completed bacteria biofertilizer 10%; BB: an equal combination of Azotobarvar-1, Phosphate Barvar-2, Petabarvar-2, Sulfo-barvar-1, and Ferozinc Barvar biofertilizers.

سطح تنش گردید (شکل ۲-ب).

فعالیت آنتی اکسیدانی تحت تأثیر تیمارهای بکار برده شده در این آزمایش قرار گرفت. تحت تیمار تلفیقی TS+ BB در شرایط تنش S0، ۶۷٪/۲۳ فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش یافت. در تنش S100 تحت تیمار SB، ۸۸٪/۵۷ فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش یافت و در تنش S200 تحت تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB، ۴۵٪/۸۹ فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش نشان داد (شکل ۲-ج).

براساس مقایسه میانگین نتایج، مشخص گردید که

فعالیت آنزیم PAL تحت تیمار شوری و تیمارهای کودهای زیستی و عصاره آویشن زوفایی قرار گرفت. فعالیت PAL با افزایش سطح تنش شوری افزایش یافت که با افزایش ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدی در این پژوهش مطابقت دارد. فعالیت PAL تحت تیمار TS در دو سطح تنش S0 و S100 به ترتیب ۳۴۲٪/۸۵ و ۳۲۳٪/۸۰ افزایش نشان داد و در تنش S200 تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB باعث افزایش ۱۱۹/۴۴٪ نسبت به تیمار شاهد (C) در همین

محتوای اسانس

در این مطالعه محتوای اسانس تحت تأثیر اثر ساده تیمارهای کودی، تنش شوری و اثر متقابل تیمار× تنش شوری قرار گرفت (جدول ۷). در شرایط تنش S100 بالاترین محتوای اسانس ثبت گردید، اما کاربرد تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB تحت تیمار تنش S0 و S100 به ترتیب باعث افزایش ۴۴۰٪/۷۴ و ۱۳۹/۳۹٪ محتوای اسانس شد (شکل ۲-D). در نتایج تجزیه اسانس گیاه آویشن باغی، تعداد ۱۹ ترکیب به شرح جدول ۸ شناسایی گردید. تیمول، گاما-ترپین و کارواکرول به عنوان اجزای اصلی اسانس آویشن شناسایی شدند. نتایج این تجزیه

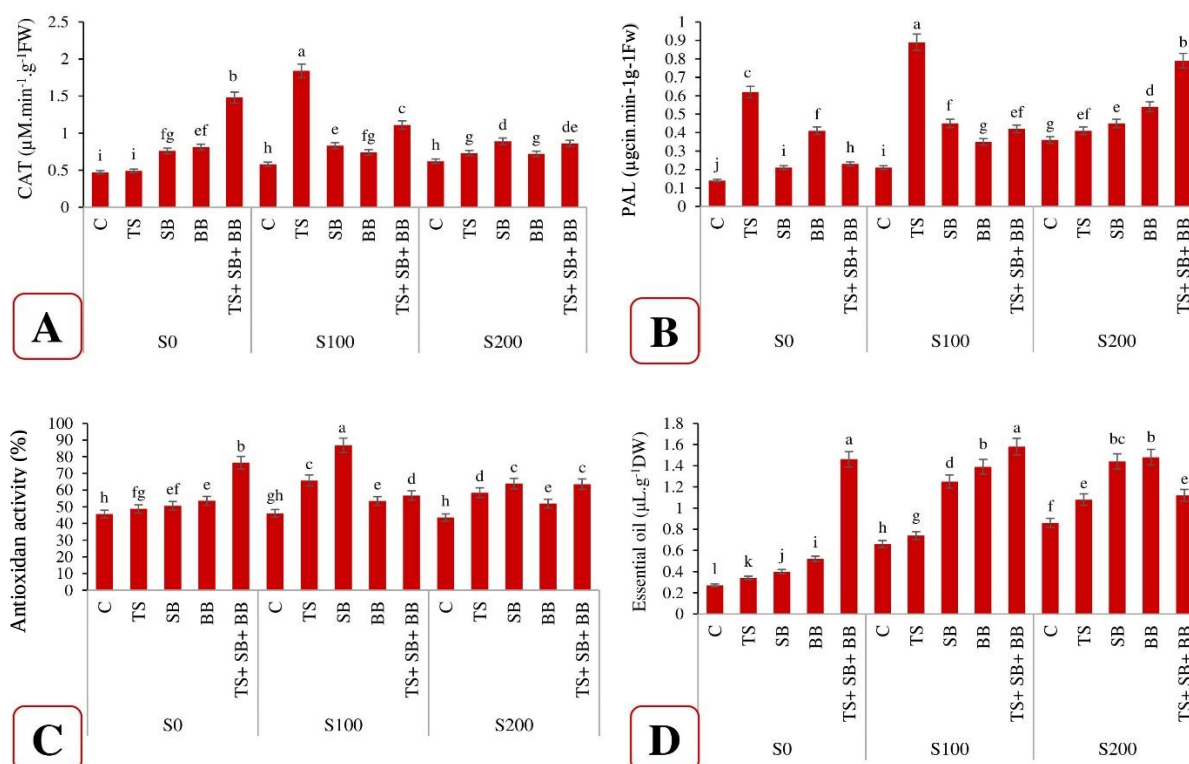
نشان داد که میزان اجزای اسانس تحت تأثیر تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB در شرایط تنش S0 قرار گرفتند. این تیمار سبب افزایش ۴۵٪ تیمول نسبت به تیمار شاهد در شرایط تنش S0 گردید. سایر اجزا به شرح زیر تحت تأثیر تیمار ذکر شده قرار گرفتند. تحت تأثیر تیمار تلفیقی TS+ SB+ BB در شرایط تنش S0 ترکیب‌های کامفن، تیمول متیل اتر، آلفا-ترپین، پارا-سیمن و برخی ترکیبات سسکوئی ترپنی افزایش یافتند. در حالی که ترکیب‌های آلفا-توژن، آلفا-پین، میرسن، گاما-ترپین، لینالول، بورنئول و کارواکرول روند کاهشی داشتند.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی بر صفات بیوشیمیایی و اسانس گیاه آویشن باغی تحت تنش شوری

Table 7. ANOVA of *Thymus spicata* extract and seaweed and completed bacteria biofertilizers effects on biochemical traits and *Thymus vulgaris* essential oil under salinity stress

S.O.V.	d.f.	Catalase (CAT)	Phenylalanine		
			ammonia-lyase (PAL)	Antioxidants	Essential Oil
Block	2	0.073 ^{ns}	0.022 ^{ns}	36.8 ^{ns}	0.06 ^{ns}
Treatment (T)	4	0.64 ^{**}	0.12 ^{**}	683.94 ^{**}	0.95 ^{**}
Salinity stress (S)	2	0.73 ^{**}	0.95 ^{**}	195.52 ^{**}	0.62 ^{**}
T×S	8	0.55 ^{**}	1.15 ^{**}	365.46 ^{**}	0.50 ^{**}
Experimental error	28	0.001	0.0003	2.68	0.0009
C.V. (%)		4.21	3.96	2.83	3.07

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



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی بر صفات بیوشیمیایی و اسانس گیاه آویشن باغی تحت تنش شوری

Figure 2. Means comparison of *Thymus spicata* extract and seaweed and completed bacteria biofertilizers effects on biochemical traits and *Thymus vulgaris* essential oil under salinity stress

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

C: Control (no extract or biofertilizer), TS: *Thymus spicata* extract 10%, SB: Seaweed biofertilizer 1%, BB: Completed bacteria biofertilizer 10%; BB: an equal combination of Azotobarvar-1, Phosphate Barvar-2, Petabarvar-2, Sulfo-barvar-1, and Ferozinc Barvar biofertilizers.

CAT: Catalase enzyme, PAL: Phenylalanine ammonia-lyase enzyme.

بحث

شاخص‌های رویشی گیاه

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شاخص‌های رشدی بوته‌های آویشن باغی وقتی در معرض تنش شوری قرار گرفتند، کاهش پیدا کرد. کاهش رشد در گیاه در اثر تنش شوری می‌تواند به دلیل افزایش نمک در محیط ریشه، کاهش دسترسی به آب، کاهش جذب دی‌اکسیدکربن (منبع اصلی انرژی در فتوسنتز و تولید ماده خشک)، از بین رفتن توازن مواد غذایی در محیط، رقابت برای جذب مواد غذایی

و به هم خوردن متابولیسم گیاه باشد (Dubey, 2018). محرک‌های زیستی برای افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های متعدد از جمله شوری استفاده می‌شوند (Abou-Sreya et al., 2021). این محرک‌ها منجر به افزایش سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه (برای نمونه، آنزیم‌ها، آنتی‌اکسیدان‌های با وزن مولکولی کم و اسمولیت‌ها) می‌شوند و همه اجزای مربوط به مورفولوژی و بیوشیمی گیاه از جمله تعادل یونی و هورمونی را ارتقا می‌دهند (Rady & Rehman, 2016; Semida et al., 2019).

جدول ۸- ترکیب اسانس گیاه آویشن باغی در تیمار شاهد و تیمار تلفیقی عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی در شرایط عدم تنش

Table 8. *Thymus vulgaris* essential oil compounds affected by control and *Thymbra spicata* extract + seaweed biofertilizer + completed bacteria biofertilizer combined treatment under non-stress conditions

Compound	C	TS+SB+BB
	%	%
α -thujene	1.4	0.5
α -pinene	1.8	0.6
camphene	0.4	0.6
myrcene	5.5	2.3
α -terpinene	2.7	1.5
p-cymene	17.4	7.7
γ -terpinene	11.0	6.1
linalool	6.0	3.1
borneol	3.8	2.3
thymol methyl ether	0.9	1.5
thymol	35.3	51.1
carvacrol	7.7	6.6
E-caryophyllene	1.7	2.1
humulene	0.1	0.1
γ -cadinene	0.2	0.5
δ -cadinene	0.3	0.9
caryophyllene oxide	0.5	1.1
γ -eudesmol	0.1	0.4
tau.-cadinol	0.4	1.3
	98.2	92.5

C: Control (no extract or biofertilizer), TS: *Thymus spicata* extract 10%, SB: Seaweed biofertilizer 1%, BB: Completed bacteria biofertilizer 10%; BB: an equal combination of Aztoabarvar-1, Phosphate Barvar-2, Petabarvar-2, Sulfoabarvar-1, and Ferozinc Barvar biofertilizers.

دآمیناز و تسهیل جذب عناصر غذایی از محیط توسط گیاه باعث افزایش رشد شاخص‌های رویشی می‌شوند (Abdelaal et al., 2021; Wang et al., 2021).

مطابق نتایج این پژوهش، محتوای نسبی آب تحت تنش شوری کاهش یافت. این موضوع ممکن است به دلیل کاهش جذب آب (Parvin et al., 2019) و یا اثر مضر تنش اسمزی ناشی از تنش شوری بر ساختار دیواره سلولی باشد (Abdelaziz et al., 2019). عصاره آویشن زوفایی حاوی ترکیب‌های فنولی می‌باشد که این ترکیب‌ها در غشای سلولی تجمع یافته و در تعامل با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پروتئین‌های غشایی موجب حفظ آب در داخل سلول و در نهایت افزایش محتوای نسبی آب می‌شوند (Behdad et al., 2013). در این پژوهش، استفاده از تیمارها توانست محتوای نسبی آب را افزایش دهد که می‌تواند به دلیل تأثیرات مثبت این تیمارها بر حجم ریشه و تقویت توانایی آن در جذب آب بیشتر باشد (Rady & Rehman, 2016). عصاره جلبک

وجود متابولیت‌های ثانویه و اثرهای آنتی‌اکسیدانی آنها در عصاره آویشن زوفایی باعث افزایش مقاومت از طریق بهبود سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه، تعادل یونی و هورمونی می‌شود که این موضوع نیز همه اجزای مربوط به مورفولوژی گیاه از جمله پارامترهای رشدی را ارتقا می‌دهد (Abou-Sreea et al., 2021). افزایش عملکرد گیاه با استفاده از کود جلبک دریایی به اجزای هورمونی به‌ویژه سیتوکینین‌هایی که در جلبک دریایی وجود دارد، مرتبط است (Featonby-Smith & Van Staden, 1984). افزایش رشد گیاه آویشن باغی ممکن است به عناصر غذایی ماکرو و میکرو، اکسین‌ها و بتائین‌های موجود در عصاره جلبک دریایی مرتبط باشد که سرعت فتوسنتز را تسریع کرده و به رشد رویشی کمک می‌کنند (Devi & Mani, 2015). باکتری‌های محرک رشد با سنتز مجموعه‌ای از مواد مانند فیتوهورمون‌ها (اکسین، جیبرلیک اسید، سیتوکینین)، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه، تثبیت غیرهمزیستی نیتروژن مولکولی، فعالیت آنزیم ACC-

سرشار از فیتوهورن‌ها و پیش‌سازهای آنها، عناصر غذایی ماکرو و میکرو از طریق بهبود رشد و توسعه ریشه سبب جذب آب و ایجاد تعادل بین میزان جذب و تعرق و متعاقباً افزایش محتوای آب سلول‌ها می‌شود (Repke et al., 2022). استفاده از کودهای زیستی اثرهای مثبتی مانند افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه و اندام‌های گیاه دارد که همراه با حفظ آماس سلولی (تورژسانس) و تجمع اسمولیت‌های سازگارکننده، محتوای نسبی آب و مقاومت در برابر تنش را حفظ می‌کند و با ترشح هورمون اکسین و گسترش ریشه‌ها باعث جذب بیشتر آب می‌شوند (Ambreetha et al., 2018). کودهای زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد همچنین با تولید پلیمرهای خارج سلولی باعث بهبود ظرفیت نگهداری آب شده و گیاه را از تنش کمبود آب ناشی از تنش شوری محافظت می‌کنند (Rashid et al., 2021).

پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های آزاد در شرایط تنش شوری در سلول افزایش می‌یابند، به‌طوری‌که چربی‌های غشا پراکسیده شده، در نتیجه پایداری غشای سلول کاهش یافته و باعث افزایش نشت الکترولیت‌ها به بیرون از سلول می‌شود (Dharamvir et al., 2018). در مقابل، عصاره آویشن زوفایی و کودهای زیستی جلبک دریایی و کامل باکتریایی میزان نشت الکترولیت‌ها را کاهش دادند. تیمول و کارواکرول از ترکیب‌های فنلی موجود در عصاره آویشن زوفایی به عنوان یک منبع آنتی‌اکسیدان قوی به علت قابلیت فیزیولوژیکی بالا به‌شمار می‌روند. نقش این آنتی‌اکسیدان‌ها حفاظت سلول‌ها از تخریب در شرایط تنش شوری است (Taskova et al., 2002). کودهای زیستی از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی از ساختار غشای سلولی محافظت کرده و با حفظ محتوای نسبی آب از تغییرات آب سلول‌های گیاهی جلوگیری می‌کنند. افزایش میزان پلی‌آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین در گیاه به حفظ یکپارچگی غشا کمک و با القا تجمع اسید سالیسیلیک و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و جذب کلسیم، گیاه را از صدمات حاصل از واکنش‌های اکسیداتیو حفظ می‌نمایند (Álvarez-González et al., 2023). رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله مولکول‌های زیستی هستند

که در فرایند فتوسنتز نقش دارند و میزان آنها در گیاهان از عوامل مهم در حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (Jiang & Huang, 2001). در مقابل، تنش شوری از جمله تنش‌هایی است که باعث تغییر در میزان این مولکول‌ها در سلول‌های گیاهی می‌شود؛ به‌این ترتیب که در طی تنش شوری، افزایش گونه‌های فعال اکسیژن باعث کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌گردد. همچنین رادیکال‌های سوپراکسید (مانند پراکسید هیدروژن) می‌توانند باعث تخریب کلروفیل‌ها در طی شرایط تنش شوری شوند (Navari-Izzo et al., 1994). در نتیجه کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان فتوسنتز و تولید ترکیب‌های کربنی کاهش می‌یابد (Chaudhry & Sidhu, 2022). گیاهان ترکیب‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان قوی مانند آنتوسیانین، فلاونوئیدها و ترکیب‌های فنولی مختلفی را به‌کار می‌گیرند که مسئول حذف و یا غیرفعال کردن گونه‌های فعال اکسیژنی که در شرایط تنش شوری در گیاه تجمع یافته‌اند، هستند و همین موضوع باعث افزایش مقاومت آنها در مقابل تنش شوری می‌شود (Chai et al., 2005). در این پژوهش میزان آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی تحت شرایط تنش افزایش یافت. از دلایل افزایش کلروفیل، کارتنوئید و آنتوسیانین، وجود ترکیب‌هایی مانند گلاسیسین بتائین، آمینوبوتیرات، بتائین و هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکینین موجود در کود جلبک دریایی می‌باشد. سیتوکینین باعث نمو کلروپلاست از طریق افزایش تعداد و اندازه کلروپلاست و گسترش بهتر گرانا می‌شود. ترکیب‌های گلاسیسین بتائین نیز از تجزیه کلروفیل جلوگیری می‌کنند (Thirumaran et al., 2009). کودهای زیستی از طریق جذب عناصر غذایی مورد نیاز برای ساخت کلروپلاست، موجب افزایش میزان کلروفیل و آنتوسیانین می‌شوند؛ به عبارت دیگر، کودهای زیستی فیتوهورمون‌هایی مانند جیبرلین و ایندول استیک اسید را در خاک رها می‌کنند که موجب تحریک رشد گیاه و جذب عناصر غذایی و بهبود فتوسنتز می‌شوند (Najafi & Esmailzadeh Bahabadi, 2019). علت افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، افزایش میزان آهن توسط باکتری‌های محرک می‌باشد که توانایی این باکتری‌ها در تولید مواد

سطح پروتئین گیاه می‌شود که علت آن را می‌توان در تأثیر این میکروارگانیسم‌ها در بیان ژن‌های سنتزکننده گونه‌های مختلف پروتئین در گیاه دانست (Naseem & Bano, 2014). افزایش محتوای قندهای محلول به عنوان یک شاخص برای تنظیم اسمزی در شرایط تنش مطرح است (Ahmadi & Ardekani, 2006). افزایش غلظت این قندها می‌تواند یک پاسخ نسبت به تغییرات میزان محتوای نسبی آب باشد. ترکیب‌های محرک رشدی که در کود جلبک دریایی وجود دارد، موجب افزایش غلظت کلروفیل و سطح آنزیم آمیلاز شده و قندهای غیر قابل استفاده را شکسته و موجب افزایش قند محلول در اندام‌های هوایی می‌شود (Shokouhi Far, 2016). ترکیب‌های محرک رشد موجود در کودهای زیستی سبب تبدیل مولکول‌های پلیمری به مولکول‌های کوچک‌تر می‌شوند. به عنوان نمونه، ابتدا نشاسته را به ساکارز و بعد به مولکول‌های کوچک‌تری مانند گلوکز و فروکتوز تبدیل کرده و باعث افزایش میزان قند محلول در اندام‌های هوایی می‌شوند (Najafi & Esmaeilzadeh Bahabadi, 2019).

در این تحقیق، پرولین با افزایش سطح تنش شوری افزایش یافت. سازوکار عمده اجتناب در تنش شوری، تنظیم اسمزی در گیاهان است. با توجه به اینکه عصاره آویشن زوفایی و کود جلبک دریایی دارای ترکیب‌های فنولی هستند، گروه‌های هیدروکسیل آزاد متصل به حلقه آروماتیک از طریق حذف رادیکال‌ها و کلاته کردن فلزات و آزادکردن پرولین از اثرهای منفی تنش کاسته و باعث افزایش میزان پرولین می‌گردند (Liang et al., 2013). همچنین گزارش شده است که کاربرد باکتری‌های محرک رشد با پاکسازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن، سبب کاهش خسارت به اسیدهای چرب و پروتئین‌ها شده و اثر مخرب تنش را کاهش می‌دهند (Singh & Kapoor, 1999). بعضی از باکتری‌های محرک رشد مانند باکتری *Pseudomonas putida* باعث بیان ژن‌های دخیل در سنتز پرولین و افزایش آن در گیاه می‌شود (Ghosh et al., 2017).

از مهمترین تغییرات بیوشیمیایی که در شرایط تنش شوری در گیاه اتفاق می‌افتد، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن است که

کلاته‌کننده مانند سیدروفورها بوده که سبب بهبود جذب آهن در گیاه می‌شوند (Bhattacharyya & Jha, 2012).

ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدها از آنتی‌اکسیدان‌های قوی هستند و جزء متابولیت‌های ثانویه گیاه محسوب می‌شوند. در حالت کلی یکی از مهمترین عواملی که تولید متابولیت‌های ثانویه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تنش‌های محیطی است (Bernstein et al., 2010). عصاره‌های آویشن زوفایی دارای ترکیب‌های فنولی هستند و به همین دلیل تیمار گیاه آویشن باغی با این عصاره سبب افزایش میزان فنول کل در آنها گردید. از اثرهای استفاده از کود جلبک دریایی، کاهش اختلالات فیزیولوژیکی گیاه ناشی از کمبود مواد غذایی است (Najafi Vafa et al., 2022). کودهای جلبک دریایی به دلیل وجود ترکیب‌هایی پلی‌فنولی مانند فلوروتانین‌ها، بروموفنول‌ها، فلاونوئیدها و ترپنوئیدهای فنولی دارای فنول و فلاونوئید بالایی هستند و از همین‌رو تیمار گیاهان با این کودها موجب افزایش محتوای فنول و فلاونوئید می‌گردد (Caradonia et al., 2022). دو آنزیم کلیدی در مسیر بیوسنتز ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدی، آنزیم‌های فنیل‌آلانین آمونیالایز (PAL) و چالکون سنتاز (CHS) می‌باشند که باکتری‌های محرک رشد با اثر بر بیان ژن‌های این دو آنزیم موجب افزایش ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدی می‌شوند (Wu et al., 2005).

کاهش میزان پروتئین و تجمع پرولین در شرایط تنش شوری می‌تواند نشان از تجزیه گسترده پروتئین‌ها و کاهش استفاده از پرولین در ساخت پروتئین‌ها باشد (Johari & Pireivatlou, 2010). علت افزایش میزان پروتئین در اثر مصرف کودهای جلبک دریایی و کود کامل باکتریایی می‌تواند به دلیل وجود عناصر مغذی کم‌مصرف و پرمصرف، هورمون‌های رشد، آمینواسیدها و ویتامین‌ها باشد. این افزایش همچنین می‌تواند به دلیل وجود محرک‌های رشد و فنیل استیک اسید در کود جلبک دریایی باشد که از طریق افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش تثبیت نیتروژن در گیاه و افزایش میزان پروتئین می‌شوند (Ramya et al., 2015). تلقیح با باکتری‌های محرک رشد باعث افزایش

اولیه و ثانویه در گیاهان است. این مسیر اصلی بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در سلول است که سبب تولید متابولیت‌هایی مانند کومارین‌ها، اسانس‌ها، فلاونوئیدها، لیگنین، تانن و سایر ترکیب‌های فنولی می‌شود. بنابراین، می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش میزان فنول باعث افزایش فعالیت آنزیم PAL می‌شود، زیرا فعالیت این آنزیم به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی و هورمونی قرار دارد (Taiz & Zeiger, 2006). از آنجا که ترکیب‌های گیاهی، توانایی تغییر بیان و تنظیم ژن‌ها را دارند (Mihailović *et al.*, 2021)، ممکن است عصاره گیاهی، بیان و تنظیم ژن و یا ژن‌های مؤثر بر فعالیت آنزیم PAL را تغییر داده باشد؛ از این رو این افزایش در میزان آنزیم PAL قابل تفسیر است و با توجه به این موضوع که عصاره آویشن زوفایی سرشار از فنول است و آنزیم PAL تحت تأثیر میزان فنول است، این افزایش می‌تواند در نتیجه میزان بالای فنول عصاره استفاده شده باشد (Firoozeh *et al.*, 2019; Khalil *et al.*, 2019). با توجه به نقش‌های مختلف آنزیم PAL در فعل و انفعالات بیوشیمیایی گیاهان و نیاز این آنزیم به عناصر غذایی برای فعالیت، می‌توان استنباط کرد که کودهای زیستی با فعال کردن مسیرهای مختلف بیوشیمیایی و جذب بیشتر عناصر غذایی از جمله آهن، سبب افزایش میزان فعالیت این آنزیم در گیاه می‌شوند (2007 Briat *et al.*). همچنین این آنزیم تحت تأثیر آلترنات‌های موجود در عصاره جلبک دریایی از طریق تحریک سازوکارهای دفاعی گیاه افزایش می‌یابد (Mamede *et al.*, 2023).

تنش شوری باعث افزایش فنول و موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود. دلیل عمده بالابودن فعالیت آنتی‌اکسیدانی، بالابودن ترکیب‌های فنولی بعضی از عصاره‌ها می‌باشد (Alara *et al.*, 2021). آویشن زوفایی به عنوان منبع غنی از آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند ترپنوئیدها، فلاونوئیدها و ایزوپرنوئیدها شناسایی شده است (Hancı *et al.*, 2003). گزارش شده است که عصاره این گیاه حاوی ۷۰٪ کارواکرول، ۷-ترپنین و پاراسیمین می‌باشد. کارواکرول که فنول مونوترپنیک غالب می‌باشد، دارای ویژگی آنتی‌اکسیدانی

تعادل سلولی را بر هم زده و باعث ایجاد تنش اکسیداتیو در سلول می‌شود که این اتفاق منجر به غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها، تخریب ساختار غشا سلولی، پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش تولید مالون دی‌آلدید می‌شود (Müller *et al.*, 2004). کودهای زیستی و عصاره جلبک دریایی با افزایش فعالیت آنزیم‌های CAT و PAL باعث کاهش میزان مالون دی‌آلدید می‌شوند (Raja & Vidya, 2023) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد؛ با توجه به اینکه کودهای زیستی دارای ترکیب‌هایی مانند فیتوهورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد هستند، این تنظیم‌کننده‌ها مانند جاسمونیک اسید و براسینواستروئیدها با حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث کاهش میزان مالون دی‌آلدید در شرایط تنش می‌گردند (Stirk & van Staden, 2020).

برای بهبود مقاومت در شرایط تنش، به‌طور طبیعی واکنش‌هایی انجام می‌شود که در گونه‌های مختلف گیاهی مقادیر متفاوتی از ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی تولید می‌گردد تا گیاه را در برابر تنش اکسیداتیو یا گونه‌های فعال اکسیژن محافظت نمایند (Firoozeh *et al.*, 2019). افزایش فعالیت آنزیم CAT به گیاهان کمک می‌کند تا در برابر تنش اسمزی خاک‌های شور مقاومت کنند (Kibria *et al.*, 2017). عصاره آویشن زوفایی سرشار از ترکیب‌های فنولی است (Khalil *et al.*, 2019). مطالعات پیشین نشان دادند که استفاده از مواد حاوی آنتی‌اکسیدان‌های پلی‌فنولی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله CAT می‌شوند (Toyokuni *et al.*, 2004; George *et al.*, 2003) و یا ممکن است این افزایش در نتیجه تغییر در بیان ژن CAT باشد (Baranzehi *et al.*, 2019). کودهای جلبک دریایی در عصاره خود دارای ترکیب‌های محافظ هستند و نقش مهمی در مهار رادیکال‌های آزاد اکسیدانی مانند سوپر اکسید، اکسیژن تکی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند CAT دارند (Wang *et al.*, 2009). باکتری‌های محرک رشد قادر به تولید اجزای آنزیمی و غیرآنزیمی هستند که تنش اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد را خنثی می‌کند (Mohanty *et al.*, 2021). PAL یکی از مهمترین آنزیم‌های حد وسط بین متابولیسم

باعث بهبود میزان اسانس در گیاه می‌شوند. کودهای زیستی دارای عناصری مانند فسفر و ازت می‌باشند و این عناصر برای تولید اسانس ضروری هستند (Vojodi Mehrabani & Valizadeh Kamran, 2019). گزارش‌ها حکایت از آن دارد که در دسترس بودن مواد مغذی و شرایط خاک می‌تواند میزان اجزای اسانس را با تأثیر بر مسیرهای بیوسنتزی آنها تعیین کند (Muetasam Jafr et al., 2022).

تیمول (۲-ایزوپروپیل-۵-متیل فنل) و کارواکرول (۵-ایزوپروپیل-۲-متیل فنل) دو فنول مونوترپنوئید ایزومر هستند که از طریق آروماتیزاسیون ۷-ترینن به p-cymene و بعد هیدروکسیلاسیون p-cymene بیوسنتز می‌شوند (Preedy, 2015). در یک پژوهش ترکیب‌های اسانس آویشن به کاربرد کودهای آلی و شیمیایی واکنش متفاوتی نشان داد. در تحقیق مذکور، کود نیتروژن میزان تیمول را به صورت خطی افزایش و ۷-ترینن را کاهش داد، در حالی که پاسخ کارواکرول به نیتروژن در درجه دوم بود و زمانی که بالاترین میزان نیتروژن اعمال شد، مقدار آن کاهش یافت (Muetasam Jafr et al., 2022). پاسخ مخالف تیمول و ۷-ترینن را می‌توان به مقدار نیتروژن در دسترس آویشن باغی تحت تیمارهای کودهای زیستی و مسیر بیوسنتزی تیمول نسبت داد. نیتروژن ممکن است در تسریع فعالیت آنزیمی در تبدیل ۷-ترینن به تیمول و افزایش تجمع تیمول مؤثر باشد (Omer, 1999)؛ بنابراین، به نظر می‌رسد نیتروژن، بیوسنتز تیمول و کارواکرول را با استفاده از ۷-ترینن و p-cymene تحریک می‌کند، زیرا دو ماده اخیر پیش‌سازهای تیمول و کارواکرول هستند. در پژوهش Muetasam Jafr و همکاران (۲۰۱۹)، افزایش اولیه کارواکرول با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به حدود ۳۰۰ کیلوگرم به دلیل تسریع مسیر بیوسنتزی ذکر شده اعلام شد. علاوه بر این، استفاده از مقادیر زیاد نیتروژن توانست مسیر بیوسنتز را تغییر دهد تا تیمول بیشتری نسبت به کارواکرول تولید شود. این موضوع شاید به این دلیل است که مسیر بیوسنتزی در نهایت به دو مسیر موازی برای تولید تیمول و کارواکرول می‌رسد؛ بنابراین، افزایش یک متابولیت ممکن است منجر به کاهش متابولیت دیگر شود. البته اثر

برجسته‌ای است (Dou et al., 2021). کودهای زیستی و باکتری‌های محرک رشد با سنتز موادی مانند تولید فیتوهورمون‌ها (اکسین، جیبرلیک اسید، سیتوکینین)، تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه، تثبیت غیرهمزیستی نیتروژن مولکولی، فعالیت آنزیم ACC-دآمیناز و تسهیل جذب عناصر غذایی از محیط توسط گیاه باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شوند (Elnahal et al., 2022). حفظ بهتر تعادل یونی واکنش‌های فیتوشیمیایی (بهبود جذب عناصر ماکرو و میکرو)، افزایش تولید پرولین، اسیدهای آمینه، افزایش فعالیت آنزیم CAT و تحریک ژن‌های بیان‌کننده این آنزیم، قندهای محلول و بهبود فرایند جذب آب سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر ریزوباکترها می‌شود (Asrar & Elhindi, 2011). مهمترین نقش پلی‌فنول‌های موجود در کود جلبک‌های دریایی، جذب رادیکال‌های آزاد است (Mahmoud et al., 2019). ترکیب دیگری به نام فیتوالکسین باعث افزایش مهارکنندگی می‌شود و این ماده دارای ویژگی آنتی‌اکسیدانی است و باعث خنثی‌شدن رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Ashour et al., 2020). لامینارین و پلی‌ساکاریدهای سولفاته موجود در جلبک‌های دریایی با قابلیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجه، باعث القا پاسخ‌های دفاعی در گیاهان می‌شوند (Mukherjee & Patel, 2020).

تولید متابولیت‌های ثانویه گیاه تحت تأثیر شرایط محیطی به‌ویژه تنش‌های زیستی و غیرزیستی است که در بین آنها افزایش شوری تأثیر زیادی در بیوسنتز اسانس گیاهی دارد و ترکیب‌های آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Karray- & Bouraoui et al., 2009)؛ بنابراین در توضیح افزایش محتوای اسانس در شرایط تنش می‌توان گفت که چون میزان متابولیت‌های اولیه گیاه در شرایط نامساعد محیطی کاهش می‌یابد، تولید متابولیت‌های ثانویه به عنوان نوعی سازوکار دفاعی برای جلوگیری از اکسیداسیون درون‌سلولی در گیاه افزایش را نشان می‌دهد (Bernstein et al., 2010). کودهای زیستی و ازجمله کود جلبک دریایی به دلیل ایجاد بستر مناسب از طریق بهبود خواص فیزیکی خاک، رشد ریشه را بهبود می‌بخشند و دسترسی ریشه به مواد معدنی را افزایش و

Pseudomonas و *Bradyrhizobium* تعاملات مثبتی با گونه‌های گیاهی نشان دادند، به‌طوری‌که چندین مطالعه قبلی ظرفیت ریزوباکترهای محرک رشد مختلف در تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، افزایش دسترسی به آهن، پتاسیم، فسفر و روی را نشان داده‌اند (Rosa et al., 2022). اثر تقویتی عصاره جلبک دریایی در این آزمایش می‌تواند به غنای عصاره این جلبک در عناصر غذایی ماکرو و میکرو و اسیدهای آمینه، پلی‌ساکاریدها و مواد هورمونی مربوط باشد که ممکن است فتوسنتز را بهبود ببخشد و جذب نور را افزایش دهد (Muettasam Jafr et al., 2022).

سیاسگذاری

بخشی از هزینه‌های این پژوهش از اعتبارات پژوهشی دانشگاه ایلام برای پایان‌نامه دانشجویان کارشناسی‌ارشد تأمین شده است، بنابراین نویسندگان بدین‌وسیله قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

تحریکی پتاسیم بر افزایش محتوای اسانس آویشن و ترکیب‌های اصلی آن ازجمله تیمول و p-cymene گزارش شده است (Kılıç et al., 2012). همچنین نشان داده شده که استفاده از پتاسیم باعث تغییرات معکوس در مقدار تیمول و کارواکرول شد (Muettasam Jafr et al., 2022). همچنین Kılıç و همکاران (۲۰۱۲)، گزارش کردند که محتوای تیمول در برگ آویشن با مقادیر متوسط پتاسیم به حداکثر میزان خود رسیده است. پاسخ‌های مختلف تیمول و کارواکرول به پتاسیم در این مطالعه ممکن است به مسیرهای موازی و رقابتی بیوسنتز آنها مرتبط باشد. واکنش آویشن لیمویی (*Thymus pulegioides*) به کاربرد عناصر غذایی نشان داد که افزایش گوگرد در خاک با افزایش درصد کارواکرول و لینالول و کاهش p-cymene همراه است. علاوه بر این، افزایش سطح منگنز خاک باعث کاهش محتوای کارواکرول شد (Vaičiulytė et al., 2017). در سال‌های اخیر اثبات شده است که چندین جنس از ریزوباکترهای محرک رشد گیاه ازجمله *Rhizobium*, *Bacillus*, *Azospillum*

References

- Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Király, L. and Künstler, A., 2021. The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. *Biology*, 10(6): 520. <https://doi.org/10.3390/biology10060520>
- Abdelaziz, M.E., Abdelsattar, M., Abdeldaym, E.A., Atia, M.A., Mahmoud, A.W.M., Saad, M.M. and Hirt, H., 2019. *Piriformospora indica* alters Na⁺/K⁺ homeostasis, antioxidant enzymes and LeNHX1 expression of greenhouse tomato grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 256:108532. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.059>
- Abou-Sreea, A.I., Azzam, C.R., Al-Taweel, S.K., Abdel-Aziz, R.M., Belal, H.E., Rady, M.M., Abdel-Kader, A.A.S., Majrashi, A. and Khaled, K.A.M., 2021. Natural biostimulant attenuates salinity stress effects in chili pepper by remodeling antioxidant, ion, and phytohormone balances, and augments gene expression. *Plants*, 10(11): 2316. <https://doi.org/10.3390/plants10112316>
- Agarwal, S. and Pandey, V., 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. *Biologia Plantarum*, 48(4): 555-560. <https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000047152.07878.e7>
- Ahmadi, S. H. and Ardekani, J.N., 2006. The effect of water salinity on growth and physiological stages of eight canola (*Brassica napus*) cultivars. *Irrigation Science*, 25: 11-20. <https://doi.org/10.1007/s00271-006-0030-3>
- Akin, M., Oguz, D. and Saracoglu, H., 2010. Antibacterial activity of essential oil from *Thymbra spicata* var. *spicata* L. and *Teucrium polium* (Stapf Brig.). *Interventions*, 8(9): 53-58.
- Akkol, E.K., Avci, G., Küçük Kurt, I., Keleş, H., Tamer, U., Ince, S. and Yesilada, E., 2009. Cholesterol-reducer, antioxidant and liver protective effects of *Thymbra spicata* L. var. *spicata*. *Journal of Ethnopharmacology*, 126(2): 314-319.
- Alara, O.R., Abdurahman, N.H. and Ukaegbu, C.I., 2021. Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4: 200-214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- Álvarez-González, A., Uggetti, E., Serrano, L., Gorchs, G., Casas, M.E., Matamoros, V., Gonzalez-Flo, E.

- and Díez-Montero, R., 2023. The potential of wastewater-grown microalgae for agricultural purposes: Contaminants of emerging concern, heavy metals and pathogens assessment. *Environmental Pollution*, 324: 121399. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121399>
- Ambreetha, S., Chinnadurai, C., Marimuthu, P. and Balachandar, D., 2018. Plant-associated *Bacillus* modulates the expression of auxin-responsive genes of rice and modifies the root architecture. *Rhizosphere*, 5: 57-66. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.12.001>
 - Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1): 112-121.
 - Ashour, M., Mabrouk, M.M., Ayoub, H.F., El-Feky, M.M., Zaki, S.Z., Hoseinifar, S. H., Rossi Jr, W., Van Doan, H., El-Haroun, E. and Goda, A. M. S., 2020. Effect of dietary seaweed extract supplementation on growth, feed utilization, hematological indices, and non-specific immunity of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* challenged with *Aeromonas hydrophila*. *Journal of Applied Phycology*, 32: 3467-3479. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02178-1>
 - Ashraf, M., Mukhtar, N., Rehman, S. and Rha, E.S., 2004. Salt-induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant bishop's weed (*Ammi majus* L.). *Photosynthetica*, 2(24): 543-550. <https://doi.org/10.1007/S11099-005-0011-4>
 - Asrar, A.W.A. and Elhindi, K.M., 2011. Alleviation of drought stress of marigold (*Tagetes erecta*) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 18(1): 93-98. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2010.06.007>
 - Atkinson, D., 1980. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. *Horticultural Reviews*, 2: 424-490.
 - Baranzehi, T., Gholamnezhad, J., Dehestani, M., Jafari, A. and Naserinasab, F., 2019. The evolution of activity and gene expression of some antioxidant enzymes and qualitative characters of orange fruits under cover treatments. *Cell and Tissue Journal*, 10(4): 226-242. <https://doi.org/10.52547/JCT.10.4.226>
 - Bates, L.S., Waldren, R.A. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
 - Begum, M., Bordoloi, B.C., Singha, D.D. and Ojha, N.J., 2018. Role of seaweed extract on growth, yield, and quality of some agricultural crops: A review. *Agricultural Reviews*, 39(4): 321-326. <https://doi.org/10.18805/AG.R-1838>
 - Behdad, M., Etemadi, N., Behdad, E. and Zeinali, H., 2013. Antifungal effects of three plant essential oils against *Rhizopus stolonifer*, the cause of soft rot on strawberry fruit. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29(2): 399-411. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2864>
 - Bernstein, N., Kravchik, M. and Dudai, N., 2010. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. *Annals of Applied Biology*, 156(2): 167-177. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00376.x>
 - Bhattacharyya, P.N. and Jha, D.K., 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28: 1327-1350. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0979-9>
 - Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2): 248-254.
 - Briat, J.F., Curie, C. and Gaymard, F., 2007. Iron utilization and metabolism in plants. *Current opinion in plant biology*, 10(3): 276-282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.04.003>
 - Caradonia, F., Ronga, D., Tava, A. and Francia, E., 2022. Plant biostimulants in sustainable potato production: an overview. *Potato Research*, 65(1): 83-104. <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09510-3>
 - Chai, T.T., Fadzillah, N.M., Kusnan, M. and Mahmood, M., 2005. Water stress-induced oxidative damage and antioxidant responses in micropropagated banana plantlets. *Biologia Plantarum*, 49: 153-156. <https://doi.org/10.1007/s00000-005-3156-9>
 - Chance, B. and Maehly, A.C., 1955. Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology*, 2: 764-775.
 - Chaudhry, S. and Sidhu, G.P.S., 2022. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. *Plant Cell Reports*, 41(1): 1-31. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5>
 - De Souza, R., Meyer, J., Schoenfeld, R., da Costa, P.B. and Passaglia, L.M., 2015. Characterization of plant growth-promoting bacteria associated with rice cropped in iron-stressed soils. *Annals of Microbiology*, 65: 951-964. <https://doi.org/10.1007/s13213-014-0939-3>
 - Devi, N.L. and Mani, S., 2015. Effect of seaweed saps *Kappaphycus alvarezii* and *Gracilaria* on growth, yield and quality of rice. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(19): 1-6. <https://doi.org/0.17485/ijst/2015/v8i19/47610>
 - Dharamvir, A., Kumar, N. and Kumar, M., 2018.

- Physiological responses of chickpea (*Cicer Arietinum*) genotypes to salinity stress. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7: 2380-2388.
- Dou, Y., Tu, F., Wu, Y., Wang, X., Lu, G. and Zhao, L., 2021. Facile preparation of kaolin supported silver nanoparticles mediated by *Thymbra Spicata* extract and investigation of the anti-human lung cancer properties. Journal of Saudi Chemical Society, 25(9): 101303. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2021.101303>
 - Dubey, R.S., 2018. Photosynthesis in plants under stressful conditions. In Handbook of photosynthesis. CRC Press, 629-649.
 - Ebrahimzadeh, M.A., Pourmorad, F. and Hafezi, S., 2008. Antioxidant activities of Iranian corn silk. Turkish Journal of Biology, 32(1): 43-49.
 - Elnahal, A.S., El-Saadony, M.T., Saad, A.M., Desoky, E.S.M., El-Tahan, A.M., Rady, M.M., AbuQamar, S.F. and El-Tarabily, K.A., 2022. The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. European Journal of Plant Pathology, 162(4): 759-792. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02393-7>
 - Featonby-Smith, B.C. and Van Staden, J., 1984. The effect of seaweed concentrate and fertilizer on growth and the endogenous cytokinin content of *Phaseolus vulgaris*. South African Journal of Botany, 3(6): 375-379.
 - Firoozeh, R., Khavarinejad, R., Najafi, F. and Saadatmand, S., 2019. Effects of gibberellin on contents of photosynthetic pigments, proline, phenol and flavonoid in savory plants (*Satureja hortensis* L.) under salt stress. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 31(4): 894-908. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1397.31.4.12.4>
 - George, B., Kaur, C., Khurdiya, D.S. and Kapoor, H.C., 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. Food Chemistry, 84(1): 45-51. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00165-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00165-1)
 - Ghosh, D., Sen, S. and Mohapatra, S., 2017. Modulation of proline metabolic gene expression in Arabidopsis thaliana under water-stressed conditions by a drought-mitigating Pseudomonas putida strain. Annals of Microbiology, 67: 655-668.
 - Hancı, S., Sahin, S. and Yılmaz, L., 2003. Isolation of volatile oil from thyme (*Thymbra spicata*) by steam distillation. Food/Nahrung, 47(4): 252-255. <https://doi.org/10.1002/food.200390059>
 - Heath, R.L. and Packer, L., 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125(1): 189-198. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
 - Hniličková, H., Hnilička, F., Orsák, M. and Hejnák, V., 2019. Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na⁺ and K⁺ content in selected plant species. Plant, Soil and Environment, 65(2): 90-96. <https://doi.org/10.17221/620/2018-PSE>
 - Holaday, A.S., Ritchie, S.W. and Nguyen, H.T., 1992. Effects of water deficit on gas-exchange parameters and ribulose 1, 5-bisphosphate carboxylase activation in wheat. Environmental and Experimental Botany, 32(4): 403-410. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(92\)90053-5](https://doi.org/10.1016/0098-8472(92)90053-5)
 - Hosseini, H., Mousavi Fard, S., Fatehi, F. and Qaderi, A., 2017. Changes in phytochemical and morphophysiological traits of thyme (*Thymus Vulgaris* Cv Varico 3) under different salinity levels. Journal of Medicinal Plants, 16(10): 22-33. <https://doi.org/20.1001.1.2717204.2017.16.61.18.9>
 - Jiang, Y. and Huang, B., 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science, 41(2): 436-442. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412436x>
 - Johari-Pireivatlou, M., 2010. Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. African Journal of Biotechnology, 9(1): 36-40.
 - Karray-Bouraoui, N., Rabhi, M., Neffati, M., Baldan, B., Ranieri, A., Marzouk, B., Lachaâl, M. and Smaoui, A., 2009. Salt effect on yield and composition of shoot essential oil and trichome morphology and density on leaves of *Mentha pulegium*. Industrial Crops and Products, 30(3): 338-343. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.06.003>
 - Khalil, M., Khalifeh, H., Baldini, F., Salis, A., Damonte, G., Daher, A., Voci, A. and Vergani, L., 2019. Antisteatotic and antioxidant activities of *Thymbra spicata* L. extracts in hepatic and endothelial cells as in vitro models of non-alcoholic fatty liver disease. Journal of Ethnopharmacology, 239: 111919. <https://doi.org/10.3390/antiox11091778>
 - Kibria, M.G., Hossain, M., Murata, Y. and Hoque, M.A., 2017. Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes. Rice Science, 24(3): 155-162. <https://doi.org/10.4236/OJSS.2019.911013>
 - Kılıç, C.C., Anaç, D., Eryüce, N. and Kılıç, Ö.G., 2012. Effect of potassium and phosphorus fertilization on green herb yield and some quality traits of *Thymus vulgaris* L. African Journal of Agricultural Research, 7: 6427-6431. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.795>
 - Kochert, G., 1978. Carbohydrate determination by the

- phenol-sulfuric acid method. In: Hellebust JA, Craigie JS (eds) Handbook of physiological methods. Cambridge University Press, Cambridge, pp 95-97.
- Krizek, D.T., Britz, S.J. and Mirecki, R.M., 1998. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce. *Physiologia Plantarum*, 103(1): 1-7. <https://doi.org/10.1034/j.1399-054.1998.1030101.x>
 - Kumaran, A., 2006. Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus*. *Food Chemistry*, 97(1): 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.032>
 - Liang, Z., Ma, Y., Xu, T., Cui, B., Liu, Y., Guo, Z. and Yang, D., 2013. Effects of abscisic acid, gibberellin, ethylene and their interactions on production of phenolic acids in *Salvia miltiorrhiza* Bunge hairy roots. *Plos one*, 8(9): e72806. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072806>
 - Mahmoud, S.H., Salama, D.M., El-Tanahy, A.M. and Abd El-Samad, E.H., 2019. Utilization of seaweed (*Sargassum vulgare*) extract to enhance growth, yield and nutritional quality of red radish plants. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2): 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2019.11.002>
 - Mamede, M., Cotas, J., Bahcevandziev, K. and Pereira, L., 2023. Seaweed polysaccharides in agriculture: a next step towards sustainability. *Applied Sciences*, 13(11): 6594. <https://doi.org/10.3390/app13116594>
 - Mihailović, M., Dinić, S., Arambašić Jovanović, J., Uskoković, A., Grdović, N. and Vidaković, M., 2021. The influence of plant extracts and phytoconstituents on antioxidant enzymes activity and gene expression in the prevention and treatment of impaired glucose homeostasis and diabetes complications. *Antioxidants*, 10(3), 480. <https://doi.org/10.3390/antiox10030480>
 - Mohanty, P., Singh, P.K., Chakraborty, D., Mishra, S. and Pattnaik, R., 2021. Insight into the role of PGPR in sustainable agriculture and environment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 667150. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.667150>
 - Muetasam Jafr, S., Rahimi, A.R., Hashemi, M. and Rokhzadi, A., 2022. Influence of N, K, and Seaweed extract fertilization on biomass, photosynthetic pigments, and essential oil of *Thymus vulgaris*: optimization study by response surface methodology. *Agronomy*, 12(12): 3222. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123222>
 - Mukherjee, A. and Patel, J.S., 2020. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17: 553-558. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02442-z>
 - Müller, C., Eisenbrand, G., Gradinger, M., Rath, T., Albert, F.W., Vienken, J., Singh, R., Farmer, P.B., Stockis, J. and Janzowski, C., 2004. Effects of hemodialysis, dialyser type and iron infusion on oxidative stress in uremic patients. *Free Radical Research*, 38(10): 1093-1100. <https://doi.org/10.1080/10715760400011452>
 - Naik, K., Mishra, S., Srichandan, H., Singh, P.K. and Sarangi, P.K., 2019. Plant growth promoting microbes: Potential link to sustainable agriculture and environment. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21: 101326. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101326>
 - Najafi Vafa, Z., Sohrabi, Y., Mirzaghaderi, G. and Heidari, G., 2022. Soil microorganisms and seaweed application with supplementary irrigation improved physiological traits and yield of two dryland wheat cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 13: 855090. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.855090>
 - Najafi, S. and Esmaeilzadeh Bahabadi, S., 2019. The effect of green algae (*Ulva fasciata* L.) extract on growth and physiological parameters of *Sesamum indicum*. *Journal of Plant Process and Function*, 8(33): 1-14.
 - Naseem, H. and Bano, A., 2014. Role of plant growth-promoting rhizobacteria and their exopolysaccharide in drought tolerance of maize. *Journal of Plant Interactions*, 9: 689-701. <https://doi.org/10.1080/17429145.2014.902125>
 - Navari-Izzo, F., Pinzino, C., Quartacci, M.F., Sgherri, C.L.M. and Izzo, R., 1994. Intracellular membranes: kinetics of superoxide production and changes in thylakoids of resurrection plants upon dehydration and rehydration. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Section B: Biological Sciences*, 102: 187-191.
 - Newman, E.I., 1966. A method of estimating the total length of the root in a sample. *Journal of Applied Ecology*, 139-145. <https://doi.org/10.2307/2401670>
 - Noroozisharaf, A. and Kaviani, M., 2018. Effect of soil application of humic acid on nutrients uptake, essential oil and chemical compositions of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) under greenhouse conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(3): 423-431. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0510-y>
 - Omer, E.A., 1999. Response of wild Egyptian oregano to nitrogen fertilization in a sandy soil. *Plant Nutrition*, 22:103-114. <https://doi.org/10.1080/01904169909365610>
 - Pandjaitan, N., Howard, L.R., Morelock, T. and Gil, M.I., 2005. Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and

- maturation. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(22): 8618-8623. <https://doi.org/10.1021/jf052077i>
- Parvin, K., Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.B., Nahar, K., Mohsin, S.M., and Fujita, M., 2019. Comparative physiological and biochemical changes in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under salt stress and recovery: role of antioxidant defense and glyoxalase systems. Antioxidants, 8(9): 350. <https://doi.org/10.3390/antiox8090350>
 - Patel, K., 2018. Study of Physiological and molecular responses in wheat towards stress tolerance by the application of liquid seaweed fertilizer. Ph.D. thesis. Maharaja Krishnakumarsinhji Bhavnagar University, Gujarat.
 - Preedy, V.R. (Ed.), 2015. Essential oils in food preservation, flavor and safety. Academic Press, 625-631.
 - Rady, M.M. and ur Rehman, H., 2016. Supplementing organic biostimulants into growing media enhances growth and nutrient uptake of tomato transplants. Scientia Horticulturae, 203: 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.037>
 - Raja, B. and Vidya, R., 2023. Application of seaweed extracts to mitigate biotic and abiotic stress in plants. Physiology and Molecular Biology of Plants, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s12298-023-01313-9>
 - Ramya, S.S., Vijayanand, N. and Rathinavel, S., 2015. Foliar application of liquid biofertilizer of brown alga *Stoechospermum marginatum* on growth, biochemical and yield of *Solanum melongena*. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 4: 167-173. <https://doi.org/10.1007/s40093-015-0096-0>
 - Rashid, U., Yasmin, H., Hassan, M.N., Naz, R., Nosheen, A., Sajjad, M., Ilyas, N., Keyani, R., Jabeen, Z., Mumtaz S., Alyemeni, M.N. and Ahmad, P., 2021. Drought-tolerant *Bacillus megaterium* isolated from semi-arid conditions induces systemic tolerance of wheat under drought conditions. Plant Cell Reports, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02640-x>
 - Repke, R.A., Silva, D.M.R., dos Santos, J.C.C., and de Almeida Silva, M., 2022. Increased soybean tolerance to high-temperature through biostimulant based on *Ascophyllum nodosum* seaweed extract. Journal of Applied Phycology, 34(6): 3205-3218. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02821-z>
 - Rosa, P.A.L., Galindo, F.S., Oliveira, C.E.D.S., Jalal, A., Mortinho, E.S., Fernandes, G.C., Rocha Marega, E.M., Buzetti, S. and Teixeira Filho, M.C.M., 2022. Inoculation with plant growth-promoting bacteria to reduce phosphate fertilization requirement and enhance technological quality and yield of sugarcane. Microorganisms, 10(1): 192. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010192>
 - Roy, S.J., Negrão, S. and Tester, M., 2014. Salt resistant crop plants. Current Opinion in Biotechnology, 26: 115-124.
 - Sabzi-Mehrabad, Z., Lotfi, R., Pessarakli, M. and Yarnia, M., 2018. Changes in essential oil accumulation of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in response to phosphate biological and chemical fertilizers. Journal of Plant Nutrition, 41(3): 348-357. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1385802>
 - Semida, W.M., Abd El-Mageed, T.A., Hemida, K. and Rady, M.M., 2019. Natural bee-honey based biostimulants confer salt tolerance in onion via modulation of the antioxidant defence system. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 94(5): 632-642. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1592711>
 - Shokouhi Far, Y., 2016. Application of algae in agriculture. In Second International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Iran, 23-25 February: 3-4.
 - Singh, S. and Kapoor, K.K., 1999. Inoculation with phosphate-solubilizing microorganisms and a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. Biology and Fertility of Soils, 28: 139-144. <https://doi.org/10.1007/s003740050475>
 - Stirk, W.A. and van Staden, J., 2020. Potential of phytohormones as a strategy to improve microalgae productivity for biotechnological applications. Biotechnology Advances, 44: 107612. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107612>
 - Stoilova, I., Krastanov, A., Stoyanova, A., Denev, P. and Gargova, S., 2007. Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). Food Chemistry, 102(3): 764-770. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.023>
 - Taiz, L. and Zeiger, E., 2006. Plant Physiology. Sinauer Associates Publisher, Sunderland, Massachusetts, USA, 690.
 - Taskova, R., Mitova, M., Najdenski, H., Tzvetkova, I. and Duddeck, H., 2002. Antimicrobial activity and cytotoxicity of *Carthamus lanatus*. Fitoterapia, 73(6): 540-543. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(02\)00184-3](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(02)00184-3)
 - Tassoni, A., Durante, L. and Ferri, M., 2012. Combined elicitation of methyl-jasmonate and red light on stilbene and anthocyanin biosynthesis. Journal of Plant Physiology, 169(8): 775-781.

- <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.01.017>
- Thirumaran, G., Arumugam, M., Arumugam, R. and Anantharaman, P., 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and pigment concentration of *Cyamopsis tetragonoloba* (L) Taub. American-Eurasian Journal of Agronomy, 2(2): 50-56.
 - Toyokuni, S., Tanaka, T., Kawaguchi, W., Lai Fang, N. R., Ozeki, M., Akatsuka, S., Hiai, H., Aruoma, O.I. and Bahorun, T., 2003. Effects of the phenolic contents of Mauritian endemic plant extracts on promoter activities of antioxidant enzymes. Free Radical Research, 37(11): 1215-1224. <https://doi.org/10.1080/10715760310001598150>
 - Vaičiulytė, V., Ložienė, K., Taraškevičius, R. and Butkienė, R., 2017. Variation of essential oil composition of *Thymus pulegioides* in relation to soil chemistry. Industrial Crops and Products, 95: 422-433. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.052>
 - Vojodi Mehrabani, L. and Valizadeh Kamran, R., 2019. The effects of soil cover and Stimplex (*Ascophyllum nodosum* extract) foliar application on antioxidant activity and some physiological characteristics of *Coriandrum sativum* L. Journal of Plant Physiology and Breeding, 9(1): 33-45. <https://doi.org/10.22034/jppb.2019.10100>
 - Wang, H., Liu, R., You, M.P., Barbetti, M.J. and Chen, Y., 2021. Pathogen biocontrol using plant growth-promoting bacteria (PGPR): Role of bacterial diversity. Microorganisms, 9(9): 1988. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091988>
 - Wang, T., Jonsdottir, R., and Ólafsdóttir, G., 2009. Total phenolic compounds, radical scavenging and metal chelation of extracts from Icelandic seaweeds. Food Chemistry, 116(1): 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.041>
 - Wu, D., Fu, R., Sun, Z. and Yu, Z., 2005. Low-density organic and carbon aerogels from the sol-gel polymerization of phenol with formaldehyde. Journal of Non-Crystalline Solids, 351(10-11): 915-921. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2004.04.003>
 - Zounemat Kermani, M. and Asadi, R. 2018. Effect of partial root zone drying on the quantitative traits of (*Thymus vulgaris* L.). Journal of Water Research in Agriculture, 32(1): 147-160. <https://doi.org/10.22092/jwra.2018.116607>