



## Physiological and antioxidant response of *Satureja hortensis* L. inoculation with growth promoting bacteria and vermicompost under drought stress conditions

Omid Heidarpour<sup>1</sup>, Behrooz Esmailpour<sup>2\*</sup>, Ali-Ashraf Soltani<sup>3</sup> and Zahra Aslani<sup>4</sup>

1- Ph.D Graduate, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

2- Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

3- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture Science, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

4- Ph.D. Graduate, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

\*Corresponding author: [behsmail@yahoo.com](mailto:behsmail@yahoo.com)

(Received: 02 January 2024

Revise: 21 January 2024

Accepted: 22 January 2024)

### Extended Abstract

- 1. Introduction:** Drought stress, as one of the main abiotic stresses, affects plant growth and performance by affecting various physiological and biochemical processes, such as membrane integrity, photosynthetic pigments, osmotic adjustments, water relations, and secondary metabolism. Drought stress in plants causes oxidative stress due to the production of reactive oxygen species (ROS) during photosynthesis and respiration. ROS directly damage proteins, fats, nucleic acids and cell membrane, and due to the increase in membrane permeability, the rate of electrolyte leakage and malondialdehyde increases. Plants mainly reduce the damage of these oxides by controlling the antioxidant system and regulating the content of osmosis compounds. Enzymatic antioxidant system: It includes antioxidant enzymes such as catalase, superoxidase dismutase, peroxidase and non-enzymatic antioxidant system including compounds such as ascorbate, glutathione, as well as phenol and flavonoids. Savory (*Satureja hortensis* L.) is one of the most important medicinal plants that grows in different parts of the world, including Iran. Biofertilizers play a prominent role in the growth and development of plants by improving the absorption of nutrients and sufficient water through changes in the physicochemical properties of the soil. The purpose of this study is to investigate the effect of drought stress, plant growth-promoting bacteria (PGPRs) and vermicompost on the physiological and biochemical traits of savory plant. In drought stress conditions, the application of organic fertilizers prevents the soil from drying out by maintaining moisture.
- 2. Materials and Methods:** In order to investigate the effect of inoculation with *Pseudomonas* P15 bacteria, *Streptomyces* and vermicompost on some physiological and phytochemical traits of savory plant (*S. hortensis* L.) under drought stress conditions, a factorial experimental based on a randomized complete block design with three replications was conducted at the Research Farm at the Mohaghegh Ardabili University, Iran, during 2016-2017. The experimental factors include inoculation with microorganisms at three levels (control (without inoculation), inoculation with *Pseudomonas* P15 and *Streptomyces* bacteria), vermicompost at four levels (0, 1, 1.5 and 2 tons). per hectare) and drought stress in three levels (S1: full irrigation, S2: water cut at 50% of flowering and S3: water cut at the beginning of flowering).
- 3. Results and Discussion:** The results showed that drought stress, inoculation with microorganisms and vermicompost had a significant effect on the measured traits (chlorophyll, carotenoid, RWC, protein, electrolyte leakage, proline, and antioxidant enzymes). Under drought stress conditions, the amount of chlorophyll, carotenoid, RWC and protein decreased. While the amount of electrolyte leakage, proline, and antioxidant enzymes increased. Also, the values of all the measured traits, except the amount of electrolyte leakage and proline, in plants inoculated with bacteria and vermicompost application were more than non-inoculated plants. The highest and lowest values of the RWC (94.44 and 62.33 percent) were observed in plants inoculated with *Streptomyces* bacteria under non-stress conditions and in non-inoculated plants under drought stress at the beginning of flowering respectively. Also, the highest amount of chlorophyll a, b and total (25.36, 20.25 and 45.61 mg/g FW) was obtained in non-stress conditions, application of two tons per hectare of vermicompost and inoculation with *Streptomyces* bacteria. While the lowest amount of chlorophyll a, b and total (16.73, 9.63 and 23.69 mg/g FW) was obtained in non-inoculation plants and without application of vermicompost under drought stress at the beginning of flowering. It seems under drought stress conditions, the application of organic fertilizers prevents soil drying by maintaining moisture, thereby improving the relative water content of the leaves.

Also, the use of organic fertilizers such as vermicompost improves the absorption of nitrogen that leading to greater synthesis of photosynthetic pigments such as chlorophyll and carotenoids.

- 4. Conclusion:** The findings of this research showed that inoculation with growth-stimulating microorganisms and the use of vermicompost can moderate the adverse effects of water stress on the growth and performance of savory plants by maintaining chlorophyll levels and increasing antioxidant activity. According to the results of this study, it can be stated that the application of *Streptomyces* bacteria and 2 tons per hectare of vermicompost in the field leads to sustainable production and yield of *S. hortensis* under drought stress conditions by improving physiological traits.

**Keywords:** Catalase, Chlorophyll, Electrolyte leakage, Medicinal Plant, Proline

**Citation:** Heidarpour, O., Esmailpour, B., Soltani, A.A. & Aslani, Z. (2025). Physiological and antioxidant response of *Satureja hortensis* L. to inoculation with growth promoting bacteria and vermicompost under drought stress conditions. *Journal of Vegetables Sciences*, 16(2), 183-206. doi: 10.22034/iuvs.2024.2019400.1345

**Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





## پاسخ فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی گیاه مرزه تابستانی (*Satureja hortensis L.*) به مایه کوبی با باکتری‌های محرک رشد و ورمی کمپوست تحت شرایط تنش خشکی

امید حیدرپور<sup>۱</sup>، بهروز اسماعیل پور<sup>۲\*</sup>، علی اشرف سلطانی<sup>۳</sup> و زهرا اصلانی<sup>۴</sup>

۱- دانش آموخته دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۲- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۳- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۴- دانش آموخته دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

\*نویسنده مسئول: [behsmail@yahoo.com](mailto:behsmail@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر مایه کوبی با باکتری *Streptomyces Pseudomonas P15* و ورمی کمپوست بر برخی صفات فیزیولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه مرزه تابستانی (*Satureja hortensis L.*) تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل مایه کوبی با باکتری‌های محرک رشد در سه سطح (شاهد (بدون مایه کوبی)، مایه کوبی با باکتری *Pseudomonas P15* و باکتری *Streptomyces*)، ورمی کمپوست در چهار سطح (صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن در هکتار) و تنش خشکی در سه سطح (S<sub>1</sub>: آبیاری کامل، S<sub>2</sub>: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S<sub>3</sub>: قطع آبیاری در اوایل گلدهی) بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی، مایه کوبی با باکتری و ورمی کمپوست تأثیر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری شده (میزان کلروفیل، کارتنوئید، محتوای نسبی آب برگ، پروتئین، نشت یونی، پرولین، و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی) داشت. طوری که در شرایط تنش خشکی، میزان صفاتی مانند کلروفیل، کارتنوئید، محتوای نسبی آب برگ و پروتئین کاهش یافتند. در حالی که میزان نشت یونی، پرولین، و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش پیدا کردند. همچنین مقادیر کلیه صفات اندازه‌گیری شده به غیر از میزان نشت یونی و پرولین در گیاهان مایه کوبی شده با باکتری و کاربرد ورمی کمپوست بیشتر از گیاهان بدون مایه کوبی بود. بیشترین و کمترین مقادیر محتوای نسبی آب برگ (۹۴/۴۴ و ۶۲/۳۳ درصد) به ترتیب در شرایط بدون تنش و در گیاهان مایه کوبی شده با باکتری *Streptomyces* و در شرایط اعمال تنش خشکی در ابتدای گلدهی و در گیاهان بدون مایه کوبی مشاهده گردید. بطور کلی یافته‌های این تحقیق نشان داد که مایه کوبی با باکتری‌های محرک رشد و کاربرد ورمی کمپوست می‌تواند با حفظ مقادیر کلروفیل و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی اثرات سوء تنش آبی بر رشد و عملکرد گیاه مرزه را تعدیل نماید. واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین، نشت یونی، گیاهان دارویی، کلروفیل.

استناد: حیدرپور، ا.، اسماعیل پور، ب.، سلطانی، ع. و اصلانی، ز. (۱۴۰۳). پاسخ فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی گیاه مرزه تابستانی (*Satureja hortensis L.*) به مایه کوبی با باکتری‌های محرک رشد و ورمی کمپوست تحت شرایط تنش خشکی. علوم سبزی‌ها، ۱۶(۲)، ۱۸۳-۲۰۶.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

مرزه (*Satureja spp.*) یکی از پرطرفدارترین گیاه خانواده Lamiaceae است که در بین ۲۳۰ جنس و بیش از ۷۰۰۰ گونه از این خانواده در نواحی مدیترانه، آسیا و برخی از مناطق ایالات متحده می‌روید (Jamzad, 2010). در ایران ۱۴ گونه *Satureja* گزارش شده است که ۸ گونه آن بومی هستند. آنها عمدتاً در مناطق کوهستانی شمال و غرب یافت می‌شوند (Rechinger, 1982). مرزه تابستانی (*S. hortensis L.*) گیاهی علفی و یکساله است که یکی از گونه‌های اصلی جنس *Satureja* است که در جنوب اروپا، مرکز و جنوب غرب آسیا رشد می‌کند (Gontaru et al., 2008). برگ‌های آن منحصراً یک رگبرگ دارد و در سطح آنها نقاط ریز فراوانی دیده می‌شود که شامل غده‌های اسانس‌دار می‌باشند. برگ‌ها و سرشاخه‌های گلدار این گیاه حاوی بیشترین میزان اسانس می‌باشد. مقدار اسانس بین یک تا دو درصد است (Omid beigi, 2001). از مهمترین ترکیبات تشکیل دهنده اسانس می‌توان کارواکرول (۵۰ تا ۵۹ درصد)، گاما ترپینن (۲۱ تا ۲۵/۵ درصد)، آلفا ترپینن (۲/۶ تا ۵/۷ درصد) (Heiharpour et al., 2019) و ترکیبات فنلی مانند رزمارینیک اسید، کافئیک اسید، و کلروژنیک اسید را نام برد (Shanaida et al., 2021). تنش خشکی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین تنش‌های غیرزیستی، رشد و عملکرد گیاه را با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف، مانند یکپارچگی غشاء، رنگدانه‌های فتوسنتزی، تنظیمات اسمزی، روابط آبی، متابولیسم ثانویه (Marchese et al., 2010; Chiappero et al., 2019)، بسته شدن روزنه و فعالیت فتوسنتزی کاهش می‌دهد (Ma et al., 2016).

تنش کم آبی در گیاهان موجب ایجاد تنش اکسیداتیو در اثر تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در طی فرآیند فتوسنتز و تنفس می‌گردد. ROS ها بطور مستقیم به پروتئین‌ها، چربی‌ها، اسیدهای نوکلئیک و از همه مهمتر به غشاء سلولی آسیب وارد

می‌کنند و بدنبال افزایش نفوذپذیری غشاء میزان نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید افزایش پیدا می‌کند (Shahrivar et al., 2020). گیاهان عمدتاً با کنترل سیستم آنتی‌اکسیدانی و تنظیم محتوای ترکیبات تنظیم کننده اسمز آسیب این اکسیدها را کاهش می‌دهند (Blokhina et al., 2003). سیستم آنتی-اکسیدانی آنزیمی: شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از قبیل کاتالاز، سوپراکسیداز دیسموتاز، پراکسیداز و سیستم آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی شامل ترکیباتی مانند آسکوربات، گلوتاتیون، فنل و فلاونوئید کل می‌باشد (Bozin et al., 2008).

یکی دیگر از وظایف مهم گیاهان در طی تنش خشکی حفظ آماس سلولی از طریق تنظیم اسمزی است. مهمترین ترکیبات تنظیم کننده اسمز در گیاهان شامل اسید آمینه پرولین، قندهای محلول و پروتئین محلول می‌باشد (Liu et al., 2011). کاهش رشد، عملکرد و در مقابل افزایش میزان پرولین، قندهای محلول، مالون‌دی‌آلدئید، نشت یونی و پراکسید هیدروژن در گیاهان دارویی مختلف مانند آویشن دنیایی (*Thymus daenensis Celak*) (Emami et al., 2019) نیز گزارش شده است. کشاورزی پایدار از طریق جایگزینی مواد شیمیایی با کودهای آلی و زیستی، در صدد افزایش حاصلخیزی و سلامت خاک، حفظ محیط‌زیست و افزایش کیفیت محصولات می‌باشد (Masto et al., 2006). با توجه به زمان بر و پرهزینه بودن روش‌های اصلاح نباتات و مهندسی ژنتیک یکی از رویکردهای با پتانسیل زیاد در بهبود تحمل به تنش خشکی گیاهان، استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاهان است (Nautiyal et al., 2013). میکروارگانیسم‌های محرک رشد، هر یک برای اهداف خاصی مانند تثبیت ازت، رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم، آهن و غیره به کار برده می‌شوند. این میکروارگانیسم‌ها معمولاً در محیط ریشه مستقر شده و موجب بهبود جذب عناصر غذایی می‌شوند (Wu et al., 2005). امروزه اثبات شده است که این میکروارگانیسم‌ها علاوه بر کمک به

نظام‌های زراعی پایدار می‌باشد (Khosropour *et al.*, 2021). مطالعات متعددی نشان داده است که کاربرد کودهای زیستی و آلی با تحت تأثیر قرار دادن پاسخ‌های فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی موجب القای مقاومت به تنش‌های محیطی در گیاهان می‌شود. بنابراین ترویج کشت گیاهان دارویی همراه با بکار بردن میکروارگانیسم‌های محرک رشد و کودهای آلی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب ارائه شود. لذا این تحقیق با هدف استفاده از توان باکتری *Streptomyces*، باکتری *Pseudomonas* و ورمی-کمپوست در بهبود پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرزه تابستانی در شرایط تنش خشکی اجرا گردید.

#### مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل مایه کوبی با میکروارگانیسم در سه سطح (شاهد بدون مایه کوبی)، مایه کوبی با باکتری *Pseudomonas P15* و باکتری *Streptomyces*، ورمی‌کمپوست در چهار سطح (صفر، ۱، ۱/۵، ۲ تن در هکتار) و تنش خشکی در سه سطح (S<sub>1</sub>: آبیاری کامل، S<sub>2</sub>: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S<sub>3</sub>: قطع آبیاری در اوایل گلدهی) اعمال گردید.

#### تهیه بستر، مایه کوبی و کشت بذر

در این تحقیق بذر مرزه مورد استفاده از پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهیه گردید و باکتری‌های محرک رشد از مرکز تحقیقات آب و خاک ایران تهیه و در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. کود ورمی‌کمپوست از شرکت زرین کود گرگان خریداری شد. عملیات آماده‌سازی بستر کاشت در مزرعه شامل شخم و دیسک قبل از کاشت انجام شد. بعد از شخم زدن زمین، کرت‌های مورد نظر آماده گردید و سطح کرت‌ها صاف شدند و ورمی

جذب عناصر غذایی، موجب کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک، تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شوند (Nagananda *et al.*, 2010). سودوموناس‌ها یکی از ریزوباکتری‌های تقویت کننده رشد گیاه (Plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) قادر به انحلال ترکیبات معدنی کم محلول مختلف از جمله فسفر و روی می‌باشند. نتایج مایه کوبی با باکتری *P. fluorescens* بر روی گیاه بامیه (*Abelmoschus esculentus* L. تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که مایه کوبی با باکتری موجب بهبود پارامترهای رشدی، افزایش محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گایاکول پراکسیداز گردید (Pravisa *et al.*, 2018). همچنین نقش مثبت باکتری‌های محرک رشد در بهبود پارامترهای رشدی در گیاه برنج تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Saakre *et al.*, 2017).

در پژوهشی دیگری مایه کوبی با باکتری *P. fluorescens* موجب افزایش پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی مانند محتوای نسبی آب برگ، میزان کلروفیل، پرولین و کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید در گیاه مرزه تابستانی (*S. hortensis*) تحت شرایط تنش خشکی گردیده است (Mohammadi *et al.*, 2018). *Streptomyces* یکی از باکتری‌های گرم مثبت هست که ظرفیت بسیار خوبی برای زنده ماندن در محیط‌های نامطلوب دارند (Lightfield *et al.*, 2011). گزارش شده است که باکتری *Streptomyces* با تولید ایندول-۳-اسید استیک و سیدروفورها رشد گیاه را تقویت می‌کند (Goudjal *et al.*, 2016). توانایی تولید سیدروفور و ایندول استیک بوسیله باکتری *Streptomyces* در شرایط تنش قبلاً گزارش شده است (Sadeghi *et al.*, 2012). مصرف کودهای ورمی‌کمپوست از طریق جایگزین نمودن با نهاده‌های شیمیایی، جایگاه قابل توجهی در کشاورزی پایدار دارا می‌باشد و از جمله منابع اساسی تغذیه گیاهان در

کمپوست براساس مقادیر موردنظر به کرت‌ها اضافه گردید و با استفاده از شن‌کش به آرامی با خاک مخلوط گردید. برخی ویژگی‌های خاک و ورمی‌کمپوست مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است. جهت اجرای آزمایش کرت‌هایی به ابعاد ۱ در ۱ متر در نظر گرفته شد و فواصل بین کرت‌ها نیز ۵۰ سانتی‌متر بود. قبل از کاشت بذور با استفاده از محرک‌های زیستی مورد نظر مایه‌کوبی شدند. بذر مرزه به صورت ردیفی با فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و در عمق ۰/۵ سانتی‌متری کشت گردید. بوته‌ها در مرحله ۴-۶ برگی برای دستیابی به تراکم مطلوب تنک شدند.

### اعمال تیمار آبیاری

آبیاری در اوایل کشت گیاه تا هشت هفته بعد از کاشت با توجه به شرایط آب و هوایی چهار نوبت در هفته و به صورت یکسان برای تمام کرت‌های آزمایشی صورت گرفت. و برای گیاهان در تیمارهای بدون تنش این روند تا آخر فصل رشد ادامه یافت. اعمال تنش آبی به صورت قطع آبیاری انجام شد. بدین ترتیب که تا مرحله شروع رشد زایشی گیاهان مرزه به صورت کامل آبیاری شدند،

سپس در دو مرحله ابتدای رشد زایشی و ۵۰ درصد گلدهی آبیاری گیاهان قطع شد و برای تیمار شاهد آبیاری تا آخرین مراحل رشد ادامه یافت. برای اعمال تیمار آبیاری، خاک مزرعه در افق ریشه‌های گیاه تا عمق ۲۰ سانتی‌متر با حفر پروفیل، مورد بررسی قرارگرفت. برای کنترل آب از روش وزنی استفاده گردید. ظرفیت مزرعه‌ای (Field capacity, FC) و نقطه پژمردگی دائم (Permanent wilting point, PWP) با استفاده از نمونه‌های دست نخورده در حالت ۲۴ ساعت پس از اشباع خاک برای ظرفیت مزرعه‌ای و قرار دادن در دستگاه مکش با ۱۵ اتمسفر فشار منفی برای نقطه پژمردگی دائم، مقادیر مربوطه برای خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر با توجه به لایه‌بندی خاک و از تفاضل آن‌ها میزان آب قابل استفاده خاک (Available water, AW) تعیین گردید. در طول آزمایش آب قابل استفاده (بسته به مرحله رشدی گیاه) توسط سیلندر نمونه برداری خاک و انتقال به آون به صورت درصد وزنی رطوبت تعیین شد (De Ridder & Van Keulen, 1995). سپس تنش آبی به صورت قطع آبیاری در اوایل مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی اعمال گردید.

جدول ۱- برخی از خواص شیمیایی ورمی‌کمپوست و خاک مورد استفاده  
Table 1- Some chemical properties of studied soil and vermicompost

خواصیات propertise	مواد آلی Organic matter (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	آهن Fe (ppm)	روی Zn (ppm)	اسدیته pH	هدایت الکتریکی EC (ds.m <sup>-1</sup> )
خاک soil	0.068	0.014	0.08	0.01	11.48	3.5	7.1	1.2
ورمی‌کمپوست Vermicompost	35	3.51	1.15	1.25	550	250	7	1.1

دیش‌های درب‌دار حاوی آب مقطر منتقل کرده و به مدت ۴ ساعت در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) و در تاریکی قرار داده شدند. پس از خارج کردن دیسک‌ها از آب مقطر جهت حذف رطوبت اضافی سطح دیسک‌ها، آن‌ها را در بین دولایه کاغذ صافی خشک نموده و سپس

### محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) دیسک‌هایی به قطر هشت میلی‌متر از قسمت میانی پهنک برگ تهیه شد. پس از توزین دیسک‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) آن‌ها را به پتری

منظور نمونه‌های تازه برگ در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق در شیکر قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی آب همراه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه EC متر به عنوان EC<sub>1</sub> قرائت شد. سپس نمونه‌ها در دستگاه اتوکلاو در دمای ۱۲۰ سانتی-گراد به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند و پس از سرد شدن، EC<sub>2</sub> قرائت گردید. در نهایت درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

رابطه (۶)

$$EL (\%) = (EC_1/EC_2) \times 100$$

### پرولین

برای اندازه‌گیری پرولین، ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگ با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳ درصد سائیده شده، و محلول هموژنیزه شده توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف شد. برای تعیین غلظت پرولین، ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف شده با ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص در یک لوله آزمایش ریخته شده و به مدت یک ساعت در بن‌ماری با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از سرد شدن به محلول واکنش در لوله آزمایش ۴ میلی‌لیتر تولون اضافه گردید. هر کدام از لوله‌ها، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردید. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز رنگی بالایی با دقت جدا و مقدار جذب نمونه‌ها در دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد بدست آمد (Bates et al., 1973).

### پروتئین

برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین‌های محلول کل از روش Bradford شد. طبق این روش، ۰/۲ گرم نمونه برگ با نیتروژن مایع پودر گردید. در حین خرد کردن برگ، ۲۰ میلی‌گرم پلی وینیل پروپیلیدین (Polyvinylpyrrolidone) به آن اضافه گردید و همزمان با هم زدن ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم حاوی سدیم متابای سولفیت (Sodium metabisulfite) (۰/۱۹ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر بافر) به آن اضافه شد. ترکیب حاصل به مدت ۲۰ دقیقه با

وزن آماس آنها اندازه‌گیری شد. پس از تعیین وزن آماس، دیسک‌های برگ را به آون (۷۰ درجه سانتی-گراد) منتقل کرده و پس از گذشت ۴۸ ساعت وزن خشک آنها تعیین گردید و در نهایت RWC با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Turner, 1981).

رابطه (۱)

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

### رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری مقادیر کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید، ۰/۵ گرم بافت تازه برگ با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده شد. سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور بر دقیقه و به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. پس از سانتریفیوژ، عصاره فوقانی برداشته شده و مقدار جذب آن‌ها به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ برای کارتنوئید توسط اسپکتروفتومتر قرائت گردید. در نهایت با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه محاسبه گردید (Arnon, 1967).

رابطه (۲، ۳، ۴ و ۵)

$$Chl_a = (12.25) (A_{663.2}) - (2.0798) (A_{646.8})$$

$$Chl_b = (21.21) (A_{646.8}) - (5.1) (A_{663.02})$$

$$Chl_T = Chl_a + Chl_b$$

$$Carotenoids = (1000A_{4701.8} - Chl_a - 85.02Chl_b)/19$$

### کلروفیل فلورسانس

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل فلورسانس Fv/Fm (عملکرد کوانتومی فتوشیمیایی) از دستگاه کلروفیل فلورسانس مدل (PAM 2500-Walz, Germany) استفاده شد. برای این منظور در اواخر مرحله رشد از هر تیمار سه گیاه به صورت تصادفی انتخاب و برگ‌های موردنظر (برگ‌های کاملاً رشد کرده) به کمک گیره‌های مخصوص به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و سپس اعداد مربوطه از دستگاه قرائت و ثبت گردید.

### نشت یونی

درصد نشت یونی با استفاده از روش توصیف شده توسط Korkmaz و همکاران (۲۰۱۰) تعیین شد. برای این

### آنزیم پراکسیداز (POX)

به منظور تعیین فعالیت آنزیم پراکسیداز، ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی را به مخلوط واکنشی شامل ۲/۵ میلی-لیتر بافر استخراج که شامل بافر تریس ۱۰۰ میلی‌مولار و آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار و پیروگالل ۱۰ میلی‌مولار بود، افزوده و منحنی تغییرات در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت شد (Kar & Mishra, 1976).

**تجزیه آماری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده**  
برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های صفات اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار SAS ۹/۱ استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و رسم نمودار نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

### نتایج و بحث

#### محتوای نسبی آب برگ (RWC)

با کاهش محتوای رطوبت خاک، میزان نسبی آب برگ کاهش یافت. در حالی که مایه‌کوبی با باکتری‌های محرک رشد و کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش میزان نسبی آب برگ‌ها در شرایط تنش خشکی گردید. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی، ورمی-کمپوست و محرک‌های زیستی نشان داد که در شرایط تنش خشکی، محتوای نسبی آب گیاه مرزه به طور معنی‌داری کاهش یافت. مایه‌کوبی با باکتری‌های محرک رشد و کاربرد ورمی‌کمپوست توانست اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش دهد به طوری که بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۹۴/۴۴ درصد) در شرایط بدون تنش، کاربرد دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و مایه‌کوبی با باکتری *Streptomyces* و کمترین محتوای نسبی آب برگ (۶۲/۳۳ درصد) در گیاهان در بسترهای کاشت بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و بدون مایه‌کوبی با باکتری‌های محرک رشد در تیمار تنش قطع آبیاری در ابتدای گلدهی به دست آمد (شکل ۱). وضعیت آب گیاه معمولاً با دو پارامتر اساسی محتوای نسبی آب در گیاه و وضعیت انرژی آب گیاه که به صورت پتانسیل آب برگ (Leaf water potential, LWP) بیان می‌گردد،

سرعت ۱۵۰۰۰ دور و در دمای ۴ درجه سانتی-گراد سانتریفیوژ گردید. سپس، فاز رویی را که حاوی پروتئین‌های محلول نمونه بود، با نمونه‌بردار خارج نموده و ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۱۷۵ میکرولیتر گلیسرول ۵۰ درصد مخلوط شد. برای اندازه‌گیری پروتئین، ۳۰ میکرولیتر عصاره برگ را به همراه ۷۲۰ میکرولیتر محلول Bradford مخلوط نموده و پس از ۵ دقیقه، میزان جذب نوری محلول در طول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. با توجه به منحنی استاندارد و میزان جذب نوری در طول موج ۵۹۵ نانومتر، پروتئین نمونه‌ها برحسب میلی-گرم بر گرم وزن تر ارائه شد (Bradford, 1976).

#### آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

جهت سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، ۲۰۰ میلی‌گرم بافت تازه برگ با استفاده از ازت مایع بر روی یخ خرد شده و در ۱ میلی‌لیتر بافر استخراج (تریس-اسیدکلریدریک، ۰/۰۵ مولار با pH=۷/۵) به صورت کامل هموزن و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با دور ۱۳۰۰۰ و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. در ادامه فاز رویی آن برای ارزیابی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز جدا گردید (Sudhakar et al., 2001).

#### آنزیم کاتالاز (CAT)

برای سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش Kar و Mishra (۱۹۷۶) با اندکی تغییر استفاده گردید. ابتدا بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷ تهیه شد. سپس به میزان ۲/۵ میلی‌لیتر از بافر تهیه شده و ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار برای هر نمونه برداشته شد. این مواد را با هم مخلوط کرده و سپس ۶۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به آن افزوده و تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به مدت ۱ دقیقه بررسی شد. یک واحد فعالیت آنزیم به عنوان مقدار آنزیمی تعریف می‌شود که اکسیداسیون ۱ میکرومولار آب اکسیژنه را در دقیقه کاتالیز می‌کند و فعالیت CAT به ازای هر میکروگرم بر میلی‌گرم پروتئین بافت تازه گیاهی به دست آمد.

میزان کلروفیل a، b و کل بطور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی، مایه‌کوبی با میکروارگانیسم‌ها، ورمی-کمپوست و اثر متقابل آنها قرار گرفت. نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی، ورمی-کمپوست و محرک‌های زیستی نشان داد که در شرایط تنش خشکی، مقدار کلروفیل a، b و کل مرزه به طور معنی‌داری کاهش یافت. مایه‌کوبی با محرک‌های زیستی و کاربرد ورمی‌کمپوست توانست اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش دهد به طوری که بیشترین مقدار کلروفیل a، b و کل بترتیب (۲۵/۳۶، ۲۰/۲۵ و ۴۵/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط بدون تنش، کاربرد دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و مایه‌کوبی با باکتری *Streptomyces* حاصل شد و کمترین میزان صفات مذکور بترتیب (۱۶/۷۳، ۹/۶۳ و ۲۳/۶۹ میلی-گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان کشت شده در بسترهای بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و بدون مایه‌کوبی با باکتری‌های محرک رشد در تیمار تنش قطع آبیاری در ابتدای گلدهی به دست آمد (شکل ۲ (a) و (b) و شکل ۳).

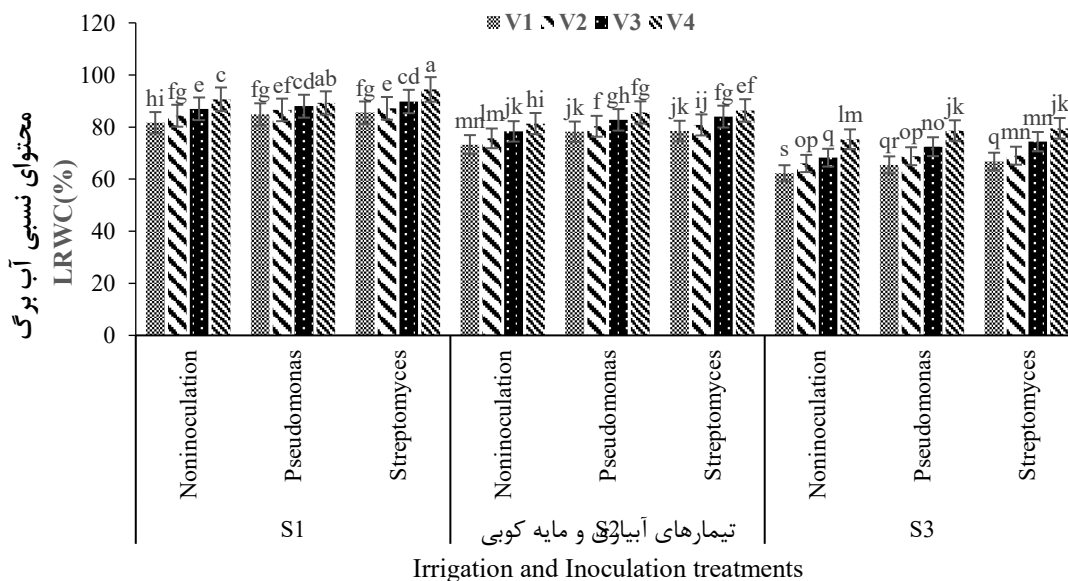
کاهش محتوی کلروفیل تحت شرایط تنش آبی که در این تحقیق مشاهده گردید توسط Abd Elbar و همکاران (۲۰۱۹) در آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)، Siddiqi و همکاران (۲۰۰۹) در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نیز گزارش شده است. مطالعات متعدد نشان داده اند که تنش خشکی می‌تواند به‌طور قابل توجهی محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل کل، کلروفیل a و کلروفیل b) و کارتنوئید را کاهش دهد (Dias et al., 2018). در شرایط تنش خشکی، کاهش محتوای کلروفیل را می‌توان به عنوان یک نشانه معمولی از تنش اکسیداتیو در نتیجه فتوکسید شدن رنگدانه و تخریب کلروفیل در نظر گرفت (Anjum et al., 2011; Ashraf & Harris, 2013). افزایش محتوای کلروفیل در مرزه مایه‌کوبی شده با باکتری‌های محرک رشد که در این بررسی مشاهده گردید در گیاه استویا (*Stevia rebaudian*) (Mandal et al., 2013)، نیز گزارش شده است.

توصیف می‌شود (Alameda & Villar 2012). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش کاهش پیدا کرد. و مایه‌کوبی با باکتری و کاربرد ورمی‌کمپوست تأثیر منفی تنش خشکی بر وضعیت آب برگ را بهبود بخشید. نقش میکروارگانیسم‌های محرک رشد در بهبود محتوای رطوبتی بافت‌های گیاه را می‌توان به توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و در نتیجه افزایش سطح جذبی ریشه‌ها، افزایش کارایی مصرف آب و بهبود روابط آبی گیاه (Kohler et al., 2009; Khalvandi et al., 2017a) افزایش میزان پرولین و کارایی بهتر تنظیم اسمزی (Hosseini et al., 2018) نسبت داد. کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر تنش خشکی در سایر گیاهان دارویی نظیر نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (Rahimi et al., 2017) و پونه (*Mentha pulegium*) (Hassanpour et al., 2015) نیز گزارش شده است که نتایج تحقیق حاضر را مورد تأیید قرار می‌دهند. به‌علاوه مشابه نتایج این تحقیق، نقش مثبت مایه‌کوبی با باکتری *P. fluorescens* (Ghorbanpour et al., 2013) در حفظ محتوای نسبی آب بافت‌های گیاه تحت شرایط تنش کم آبی مورد تأکید قرار گرفته است. در راستای نتایج این تحقیق بهبود محتوای نسبی آب برگ به میزان ۵۳ درصد در مقایسه با شاهد در تیمار گیاه به‌لیمو (*Lippia citriodora* L.) با تیمار تلفیقی کود دامی و ورمی‌کمپوست گزارش شده است (Shadkam, 2019). در شرایط تنش خشکی کاربرد کودهای آلی، با حفظ رطوبت از خشک شدن خاک جلوگیری می‌کند و بدین طریق موجب حفظ محتوای نسبی آب برگ می‌شوند (Shadkam, 2019). در تحقیق دیگری بیان کردند که کاربرد کودهای آلی باعث بهبود ساختمان خاک و حفظ آب ثقلی موجب ایجاد محیطی مناسب برای رشد گیاه گشته و آب قابل دسترس بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌دهند و در نتیجه سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌شوند (Rajaie et al., 2015).

میزان کلروفیل

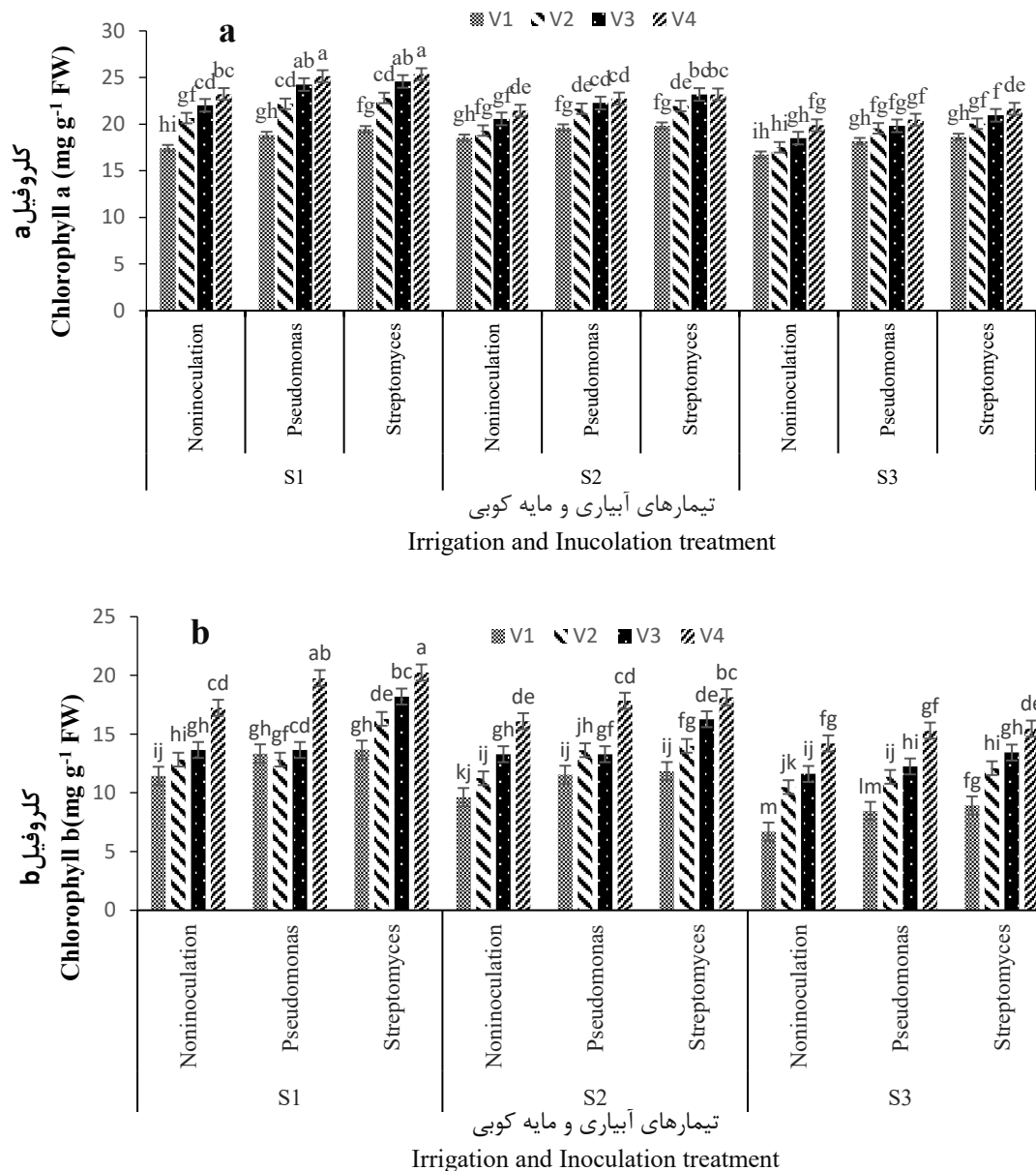
فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو و غلظت نیتروژن در برگ میزان کلروفیل افزایش پیدا می‌کند. بنابراین کاربرد کودهای آلی مانند ورمی کمپوست با بهبود میزان جذب عناصر از قبیل نیتروژن موجب سنتز بیشتر رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل و کارتنوئید می‌شود (Hosseinzadeh *et al.*, 2016). مطابق با نتایج این تحقیق کاهش کلروفیل فلورسنس در ذرت تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Chiango *et al.*, 2021). همچنین کاهش میزان کلروفیل فلورسنس در گندم در شرایط تنش خشکی گزارش شده است. در تحقیق مذکور مایه کوبی با باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم موجب شد میزان کلروفیل فلورسنس بیشتری در گیاهان مشاهده شود. آنها اظهار کردند حضور میکروارگانیسم‌ها موجب محافظت گیاه در برابر شرایط تخریب فتوسیستم‌ها در شرایط تنش می‌شود (Rahimi *et al.*, 2023).

تحقیق مشابهی، Heidary و Golpayegani (۲۰۱۲) نقش مثبت مایه کوبی با باکتری *P. fluorescens* را در حفظ مقادیر کلروفیل گیاهان ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و باکتری *Streptomyces* در گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor*) تحت شرایط تنش خشکی گزارش نمودند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. Vojodi Mehrabani و همکاران (۲۰۲۳) بیان کردند کاربرد کودهای آلی مانند ورمی کمپوست، کود مرغی و عصاره جلبک موجب افزایش میزان کلروفیل در گیاه شاهی (*Lepidium sativum*) شده است. آن‌ها اظهار کردند که وجود عناصر غذایی متعدد در کودهای آلی موجب افزایش میزان کلروفیل می‌شود. وجود حداکثر مقدار کلروفیل در گیاهان مایه کوبی شده ممکن است به دلیل تثبیت بیشتر کربن، انباشت کربوهیدرات و بهبود تغذیه گیاه باشد، که سرعت فتوسنتز را بهینه کرده و سلامت فیزیولوژیکی گیاهان را تثبیت می‌کند (Mandal *et al.*, 2013). با افزایش



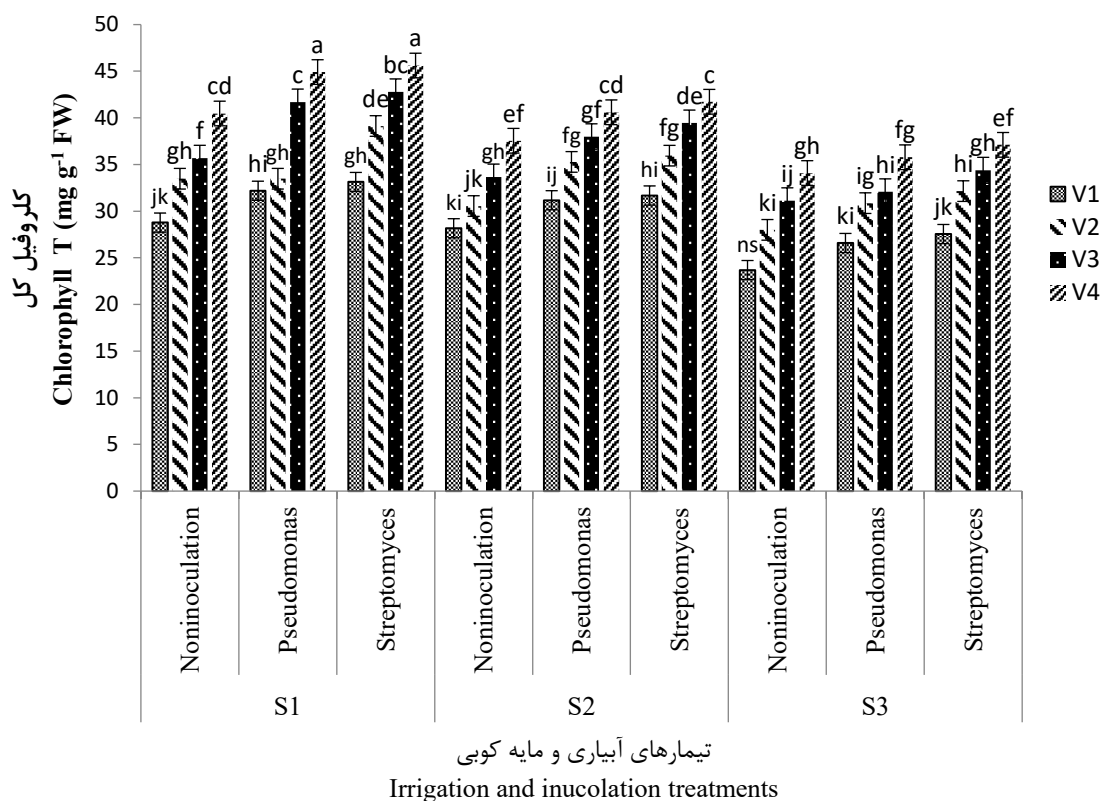
شکل ۱- اثر تنش خشکی، ورمی کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر محتوای نسبی آب برگ گیاه مرزه تابستانی. میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی داری را براساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) نشان نمی‌دهد. S<sub>1</sub>: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S<sub>2</sub>: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S<sub>3</sub>: قطع آبیاری در اوایل گلدهی. V<sub>1</sub>، V<sub>2</sub>، V<sub>3</sub> و V<sub>4</sub> به ترتیب نشان دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی کمپوست در هکتار است.

Figure 1- The effect of drought stress × vermicompost × growth promoting bacteria on the LRWC of *S. hortensis*. The means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different using Duncan's test ( $p < 0.05$ ). S<sub>1</sub>; Full irrigation, S<sub>2</sub>; Water cut at 50 % of flowering and S<sub>3</sub>; Water cut during early stages of flowering. V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub> and V<sub>4</sub> represent 0, 1, 1.5 and 2 ton vermicompost per ha respectively.



شکل ۲- اثر تنش خشکی، ورمی کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر میزان کلروفیل a (a) و کلروفیل b (b) گیاه مرزه تابستانی. میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) نشان نمی‌دهد. S<sub>1</sub>: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S<sub>2</sub>: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S<sub>3</sub>: قطع آبیاری در اوایل گلدهی. V<sub>1</sub>، V<sub>2</sub>، V<sub>3</sub> و V<sub>4</sub> به ترتیب نشان دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی کمپوست در هکتار است.

Figure 2- The effect of drought stress × vermicompost × growth promoting bacteria on the chlorophyll a (a) and chlorophyll b (b) concentration of *S. hortensis*. The means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different using Duncan's test ( $p < 0.05$ ). S<sub>1</sub>; Full irrigation, S<sub>2</sub>; Water cut at 50 % of flowering and S<sub>3</sub>; Water cut during early stages of flowering. V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub> and V<sub>4</sub> represent 0, 1, 1.5 and 2 ton vermicompost per ha respectively.



شکل ۳- اثر تنش خشکی، ورمی کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر میزان کلروفیل کل گیاه مرزه تابستانی. میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) نشان نمی‌دهد. S<sub>1</sub>: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S<sub>2</sub>: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S<sub>3</sub>: قطع آبیاری در اوایل گلدهی. V<sub>1</sub>، V<sub>2</sub>، V<sub>3</sub> و V<sub>4</sub> به ترتیب نشان دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی کمپوست در هکتار است. Figure 3-The effect of drought stress × vermicompost × growth promoting bacteria on the total chlorophyll concentration of *S. hortensis*. The means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different using Duncan's test ( $p < 0.05$ ). S<sub>1</sub>; Full irrigation, S<sub>2</sub>; Water cut at 50 % of flowering and S<sub>3</sub>; Water cut during early stages of flowering. V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub> and V<sub>4</sub> represent 0, 1, 1.5 and 2 ton vermicompost per ha respectively.

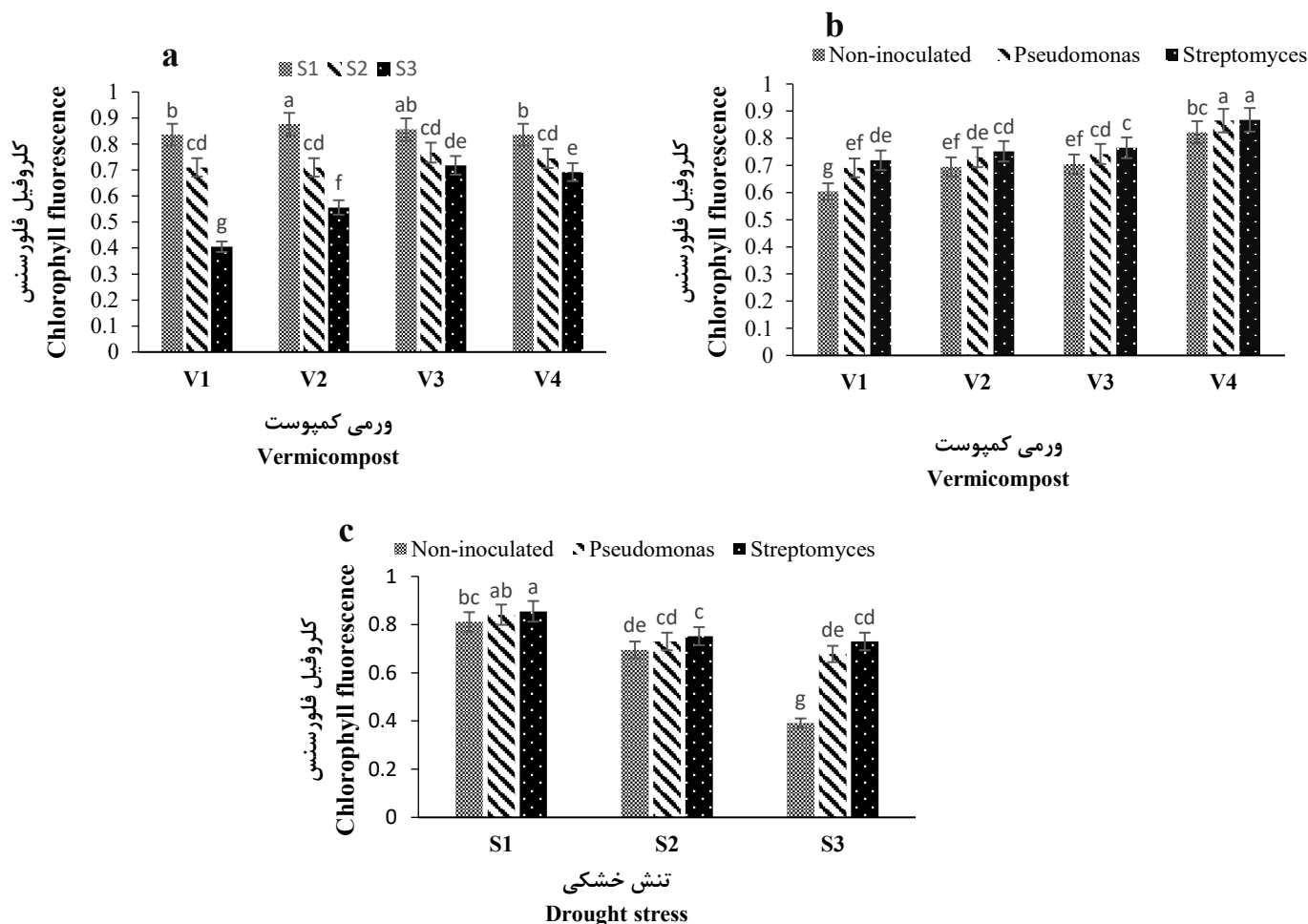
حاصل از مقایسه میانگین ورمی کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر میزان کلروفیل فلورسانس مرزه نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل فلورسانس در گیاهان رشد یافته در بسترهای حاوی دو تن در هکتار ورمی کمپوست و مایه کوبی با باکتری *Streptomyces* (۰/۸۶۷) حاصل شد و کمترین میزان کلروفیل فلورسانس (۰/۶۰۴) در گیاهان بدون کاربرد ورمی کمپوست و بدون مایه کوبی به دست آمد (شکل ۴، b). بر اساس مقایسه میانگین تنش خشکی و باکتری‌های محرک رشد بر میزان کلروفیل فلورسانس مرزه (شکل ۴، c) نشان داد که کاربرد کودهای زیستی باعث تعدیل اثرات تنش خشکی در گیاه

#### کلروفیل فلورسانس

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تنش خشکی و ورمی کمپوست بر میزان کلروفیل فلورسانس مرزه (شکل ۴، a) نشان داد که در شرایط تنش خشکی از میزان کلروفیل فلورسانس کاسته شده و بیشترین میزان کلروفیل فلورسانس (۰/۸۷۶) در شرایط بدون تنش و کاربرد یک تن در هکتار ورمی کمپوست مشاهده گردید و کمترین میزان کلروفیل فلورسانس (۰/۴۰۵) در گیاهان کشت شده در بسترهای بدون ورمی کمپوست و تیمار قطع آبیاری در ابتدای گلدهی به دست آمد. همچنین نتایج

کمترین میزان آن (۰/۳۹۱) در گیاهان (بدون مایه‌کوبی) و در تیمار قطع آبیاری در ابتدای گلدهی به دست آمد.

مرزه شد. به طوری که بیشترین میزان کلروفیل فلورسانس (۰/۸۵۵) در گیاهان در شرایط بدون تنش و مایه‌کوبی با باکتری *Streptomyces* حاصل شده است و



شکل ۴- اثر تنش خشکی و ورمی کمپوست (a)، ورمی کمپوست و باکتری محرک رشد (b)، تنش خشکی و باکتری محرک رشد (c) بر کلروفیل فلورسانس مرزه تابستانی. میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) نشان نمی‌دهد. S1: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S2: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S3: قطع آبیاری در اوایل گلدهی. V1، V2، V3 و V4 به ترتیب نشان دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی کمپوست در هکتار است.

Figure 4- The effect of drought stress × vermicompost (a), growth promoting bacteria × vermicompost (b), drought stress × growth promoting bacteria (c) on chlorophyll fluorescence of *S. hortensis*. The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test ( $p < 0.05$ ). S1; Full irrigation, S2; Water cut at 50 % of flowering and S3; Water cut during early stages of flowering. V1, V2, V3 and V4 represent 0, 1, 1.5 and 2 ton vermicompost per ha respectively.

### میزان کارتنوئید

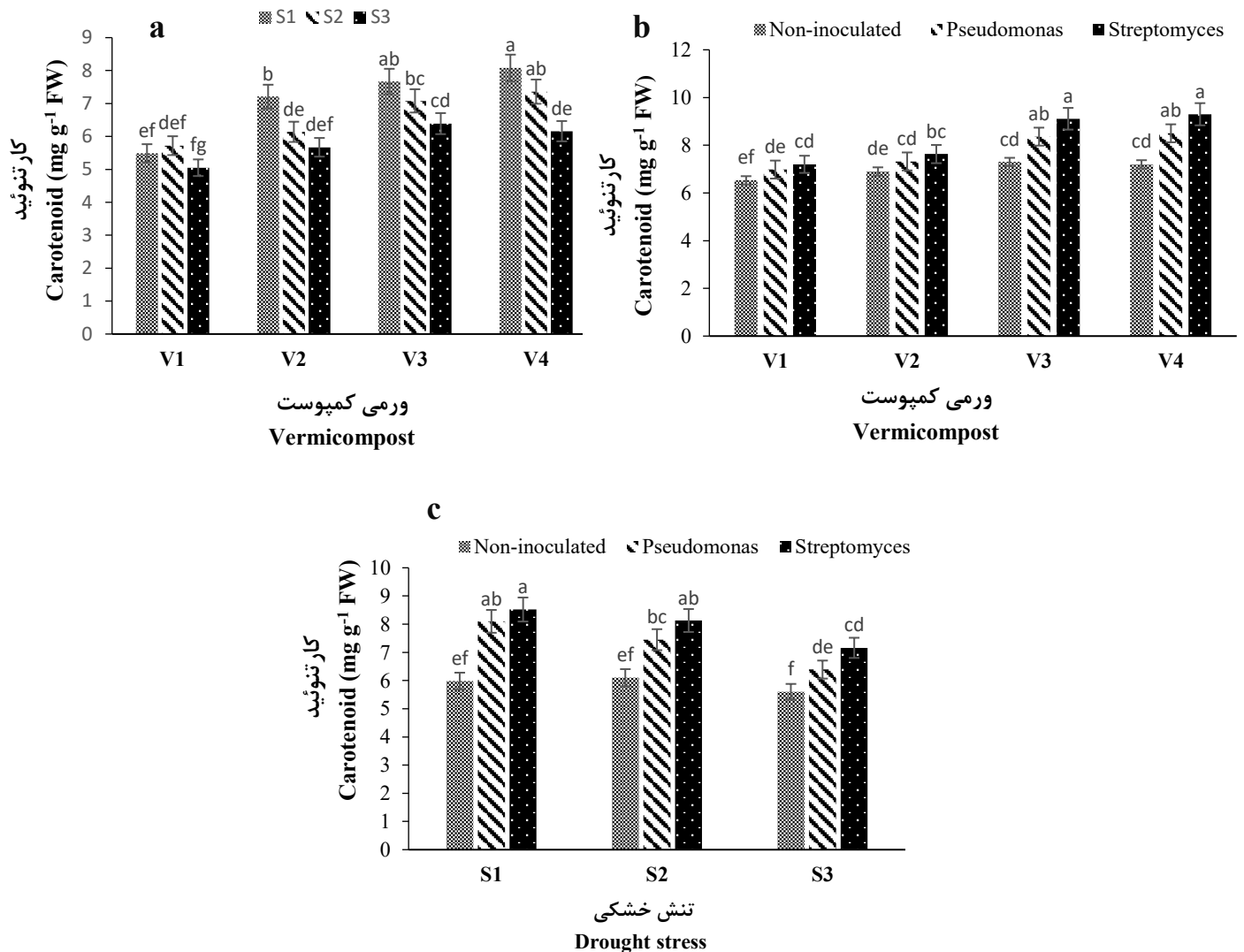
بر اساس نتایج بدست آمده، در شرایط تنش خشکی از میزان کارتنوئید کاسته شد و بیشترین میزان کارتنوئید (۸/۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط بدون تنش و کاربرد دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده گردید و کمترین میزان کارتنوئید (۵/۰۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان در بسترهای کاشت بدون کاربرد ورمی-کمپوست در تیمار قطع آبیاری در ابتدای گلدهی حاصل شد (شکل ۵، a). نتایج حاصل از مقایسه میانگین ورمی-کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر میزان کارتنوئید (شکل ۵، b) نشان داد که با افزایش میزان ورمی-کمپوست بر میزان کارتنوئید اضافه شده و بیشترین میزان این صفت در گیاهان رشد یافته در بسترهای حاوی دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و مایه‌کوبی با باکتری *Streptomyces* (۹/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) حاصل شده است و کمترین میزان کارتنوئید (۶/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نیز در گیاهان بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و بدون مایه‌کوبی به دست آمد.

همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین تنش خشکی و محرک زیستی بر میزان کارتنوئید نشان داد که کاربرد کودهای زیستی باعث تعدیل اثرات تنش خشکی در گیاه مرزه شد، به طوری که بیشترین میزان کارتنوئید (۸/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط بدون تنش و مایه-کوبی با باکتری *Streptomyces* حاصل شد. و کمترین میزان کارتنوئید (۵/۶ میلی‌گرم بر گرم) در گیاهان بدون مایه‌کوبی و تیمار قطع آبیاری در ابتدای گلدهی به دست آمد (شکل ۵، c).

### نشت یونی

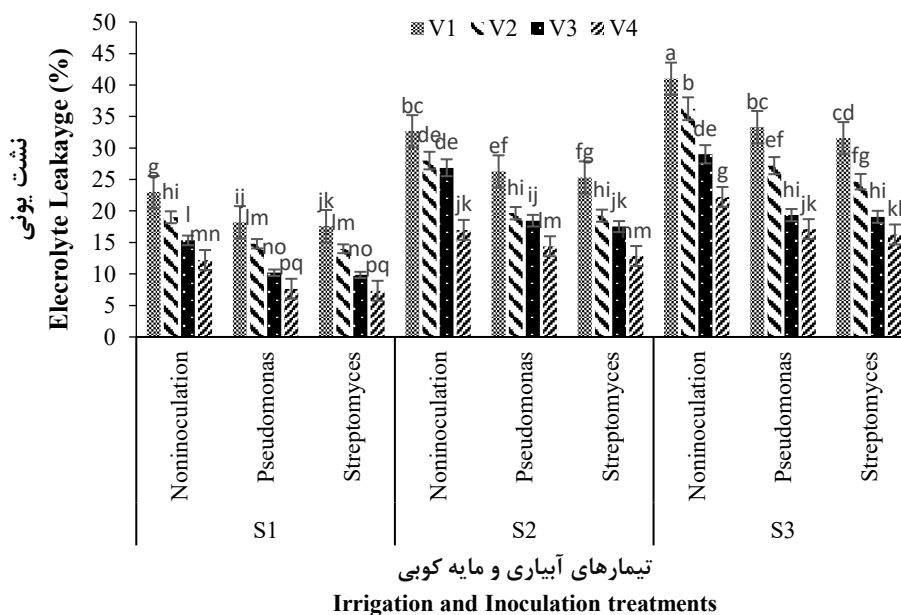
بر اساس نتایج در شرایط تنش خشکی، میزان نشت یونی در گیاه مرزه به طور معنی‌داری افزایش یافت.

مایه‌کوبی با باکتری‌های محرک رشد و کاربرد ورمی-کمپوست توانست اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش دهد به طوری که بیشترین میزان نشت یونی (۴۱ درصد) در بسترهای کاشت بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و بدون مایه‌کوبی با باکتری‌های محرک رشد در تیمار قطع آبیاری در ابتدای گلدهی حاصل شد و کمترین میزان آن (۷/۳۳ درصد) در شرایط بدون تنش، کاربرد دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و مایه‌کوبی با باکتری *Streptomyces* حاصل شد (شکل ۶). نشت یونی یکی دیگر از شاخص‌های تحمل به تنش در گیاه است که در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. تنش خشکی با القای تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن مستقیماً به پروتئین‌ها، چربی‌ها، اسیدهای نوکلئیک و از همه مهمتر به غشا سلولی آسیب وارد می‌کند. و از طریق پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی نفوذپذیری غشاء و نشت یونی را افزایش می‌دهد (Shahrivar et al., 2020). در تحقیق حاضر میزان نشت یونی در گیاهان مایه‌کوبی شده و کاربرد ورمی-کمپوست کمتر بود که نشان دهنده کاهش میزان آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو به غشای سلولی می‌باشد. مطابق با نتایج این تحقیق نقش مثبت سویه‌های باکتری *Pseudomonas* در کاهش میزان نشت یونی در شرایط تنش خشکی در گیاه ذرت گزارش شده است (Sandhya et al., 2010). تیمارهای مایه‌کوبی میکروبی قادر به حفظ ظرفیت تبادل گازی در شرایط تنش خشکی و کاهش آسیب‌های غشایی در این گیاهان هستند نشت کم الکترولیت، شاخص ثبات غشای سلولی و تحمل به تنش خشکی است (Durán et al., 2016). ترکیبات آلی با بهبود شرایط خاک سبب بهبود جذب آب و عناصر غذایی شده و سبب حفاظت از غشا در شرایط تنش می‌گردد (Attarzadeh et al., 2019).



شکل ۵- اثر تنش خشکی و ورمی کمپوست (a)، ورمی کمپوست و باکتری (b)، تنش خشکی و باکتری (c) بر کارتنوئید گیاه مرزه تابستانی. میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) نشان نمی‌دهد. S1: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S2: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدی و S3: قطع آبیاری در اوایل گلدی. V1، V2، V3 و V4 به ترتیب نشان دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی-کمپوست در هکتار است.

Figure 5- The effect of drought stress × vermicompost (a) × growth promoting bacteria × vermicompost (b), drought stress × growth promoting bacteria (c) on carotenoid of *S. hortensis*. The means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different using Duncan's test ( $p < 0.05$ ). S1; Full irrigation, S2; Water cut at 50 % of flowering and S3; Water cut during early stages of flowering. V1, V2, V3 and V4 represent 0, 1, 1.5 and 2 ton vermicompost per ha respectively.



شکل ۶- اثر تنش خشکی، ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر میزان نشت یونی گیاه مرزه تابستانی. میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) نشان نمی‌دهد. S<sub>1</sub>: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S<sub>2</sub>: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S<sub>3</sub>: قطع آبیاری در اوایل گلدهی. V<sub>1</sub>، V<sub>2</sub>، V<sub>3</sub> و V<sub>4</sub> به ترتیب نشان دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار است. Figure 6-The effect of drought stress × vermicompost × growth promoting bacteria on the electrolyte leakage of *S. hortensis*. The means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different using Duncan's test ( $p < 0.05$ ). S<sub>1</sub>; Full irrigation, S<sub>2</sub>; Water cut at 50 % of flowering and S<sub>3</sub>; Water cut during early stages of flowering. V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub> and V<sub>4</sub> represent 0, 1, 1.5 and 2 ton vermicompost per ha respectively.

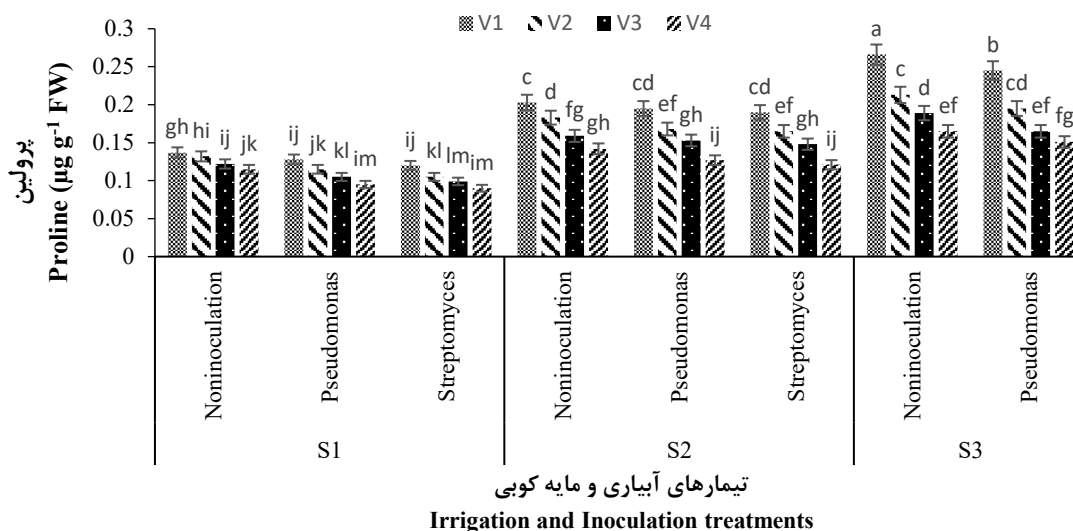
از اسیدهای آمینه نقش اساسی در تنظیم اسمزی، محافظت از پروتئین‌ها، تثبیت ساختار سلولی و جاروب رادیکال‌های آزاد در شرایط تنش شوری یا خشکی دارد (Verbruggen & Hermans 2008). با تنظیم محتوای مواد تنظیم کننده اسمز در سلول‌ها، گیاهان می‌توانند فشار تورژسانس سلولی و فرآیندهای فیزیولوژیکی طبیعی را حفظ کنند (Fu et al., 2011). در این مطالعه، تنش خشکی به طور قابل توجهی غلظت پرولین را در گیاه مرزه افزایش داد. این یافته، نتایج Hosseini و همکاران (۲۰۱۸) که افزایش غلظت پرولین را تحت تنش خشکی گزارش کردند، تایید می‌کند. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که گیاهان مایه‌کوبی شده با باکتری‌های محرک رشد و کاربرد ورمی‌کمپوست دارای میزان پرولین کمتری در مقایسه با گیاهان مایه‌کوبی نشده هستند. در راستای نتایج

## پرولین

در شرایط خشکی، میزان پرولین مرزه به طور معنی‌داری افزایش یافت. مایه‌کوبی با باکتری‌های محرک رشد و کاربرد ورمی‌کمپوست توانست اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش دهد. به طوری که بیشترین میزان پرولین (۰/۲۲۶ میکروگرم بر گرم وزن تر) در بسترهای کاشت بدون کاربرد ورمی‌کمپوست و بدون مایه‌کوبی با باکتری‌های محرک رشد در تیمار تنش قطع آبیاری در ابتدای گلدهی حاصل شد و کمترین میزان پرولین (۰/۰۹ میکروگرم بر گرم وزن تر) در شرایط بدون تنش، کاربرد دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و مایه‌کوبی با باکتری *Streptomyces* به دست آمد (شکل ۷). یکی از تغییرات متابولیکی معمول در پاسخ به شرایط تنش‌زا سنتز ترکیبات آلی، اسیدهای آمینه و قندهای محلول می‌باشد (Borgo et al., 2015)، پرولین به عنوان یکی

شده است (Selvarathi Vurukonda *et al.*, 2016) باکتری‌های *P. fluorescens* و *P. putida* از طریق افزایش مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی و پرولین موجب افزایش پارامترهای رشدی و رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه نعناع سنبله‌ای (*Mentha spicata*) شده است (L Haghmadad Milani *et al.*, 2023).

بدست آمده از تحقیق حاضر، Chiappero و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که در گیاه نعناع فلفلی مایه-کوبی شده با باکتری *P. fluorescens* با افزایش شدت تنش خشکی میزان پرولین در سطوح مختلف تنش اختلاف معنی‌داری نداشته است. همچنین میزان پرولین در گیاهان مایه‌کوبی نشده بیشتر بود. در مقابل نتایج بدست آمده از این تحقیق افزایش میزان پرولین در گیاهان مایه‌کوبی شده توسط محققان زیادی گزارش



شکل ۷- اثر تنش خشکی، ورمی کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر میزان پرولین گیاه مرزه تابستانی. میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) نشان نمی‌دهد. S1: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S2: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گلدهی و S3: قطع آبیاری در اوایل گلدهی. V1، V2، V3 و V4 به ترتیب نشان دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی کمپوست در هکتار است.

Figure 7- The effect of of drought stress × vermicompost × growth promoting bacteria on proline of *S. hortensis*. The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test ( $p < 0.05$ ). S1; Full irrigation, S2; Water cut at 50 % of flowering and S3; Water cut during early stages of flowering. V1, V2, V3 and V4 represent 0, 1, 1.5 and 2 ton vermicompost per ha respectively.

#### پراکسیداز و کاتالاز

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تنش خشکی و باکتری-های محرک رشد بر میزان آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز نشان داد که کاربرد کودهای زیستی باعث تعدیل اثرات تنش خشکی در گیاه مرزه شد. به طوری که بیشترین میزان آنزیم‌های پراکسیداز (۰/۲۵) تغییرات جذب در دقیقه در میلی گرم پروتئین) و کاتالاز (۰/۲۲۹) تغییرات جذب در دقیقه در میلی گرم پروتئین) در شرایط تنش قطع آبیاری در ابتدای گلدهی و مایه‌کوبی با باکتری

#### پروتئین

نتایج پژوهش حاصل نشان داد که کاربرد کودهای زیستی باعث تعدیل اثرات تنش خشکی در گیاه مرزه شد. به طوری که بیشترین میزان پروتئین (۳۶/۴۷ میلی-گرم بر گرم وزن تر) در شرایط بدون تنش و مایه‌کوبی با باکتری *Streptomyces* حاصل شد. و کمترین میزان این صفت (۲۹/۲۳ میلی گرم بر گرم وزن تر) در گیاهان بدون مایه‌کوبی شده و در تیمار قطع آبیاری در ابتدای گلدهی به دست آمد (جدول ۲).

باکتری‌های محرک رشد در تیمار تنش خشکی در ابتدای گلدهی مشاهده گردید که می‌توان این گونه بیان کرد در گیاهان مایه‌کوبی شده احتمالاً با حضور میکروارگانیسم‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش از شدت تنش اکسیداتیو کاسته شده است. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در سایر گیاهان مایه‌کوبی با شده باکتری‌های محرک رشد نظیر ریحان (Heidari & Golpayegani, 2011) و کاهو (*Lactuca sativa*) (Durán et al., 2016) نیز گزارش شده است که نتایج این تحقیق را مورد تایید قرار می‌دهد. افزایش میزان کاتالاز و سوپراکسیداز دیسموتاز با کاربرد ورمی-کمپوست در گیاه کاهو در شرایط تنش خشکی گزارش شده است. بیشترین میزان سوپراکسیداز با کاربرد ۵ درصد ورمی‌کمپوست در تیمار تنش خشکی ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و بیشترین میزان کاتالاز در کاربرد ۲/۵ و ۵ درصد ورمی‌کمپوست و تیمار خشکی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد (Kiran, 2019).

*Streptomyces* حاصل شده است و کمترین میزان آنزیم‌های پراکسیداز (۰/۱۷۷) تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) و کاتالاز (۰/۱۹۷) تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) در گیاهان بدون مایه-کوبی و در شرایط بدون تنش به دست آمد (جدول ۲). تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند سوپراکسید ( $O_2^-$ ) و پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) یکی از پیامدهای اولیه تنش‌های محیطی در گیاهان است. برای مقابله با تأثیرات مضر ROSها گیاهان آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی از جمله سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، آسکوربات پراکسیداز (APX) و کاتالاز (CAT) را فعال می‌کنند (Caverzan et al., 2016). آنزیم‌های آنتی-اکسیدان خط اصلی و سریع مکانیسم دفاعی در برابر ROS در سلول‌های گیاهی هستند. CAT معمولاً مسئول تجزیه  $H_2O_2$  به اکسیژن و آب است (Lisar et al., 2012). همچنین APX تمایل زیادی به تجزیه  $H_2O_2$  دارد و ممکن است نقش مهم‌تری در کنترل ROS در شرایط تنش داشته باشد (Gill and Tuteja, 2010). در این تحقیق بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاهان مایه‌کوبی شده با

#### جدول ۲- اثر تنش خشکی و باکتری‌های محرک رشد بر صفات بیوشیمیایی مرزه تابستانی

Table 2- The effect of drought stress and growth promoting bacteria on biochemical traits of *S. hortensis* L.

تنش خشکی Drought stress	باکتری‌های محرک رشد growth promoting bacteria	پروتئین Protein (mg.g <sup>-1</sup> FW)	پراکسیداز Peroxidase (Unit.mg pro <sup>-1</sup> )	کاتالاز Catalase (Unit.mg pro <sup>-1</sup> )
S1	شاهد Control	34.62 <sup>b</sup>	0.177 <sup>c</sup>	0.195 <sup>f</sup>
	<i>Pseudomonas</i> سودموناس	35.36 <sup>a</sup>	0.178 <sup>d</sup>	0.205 <sup>e</sup>
	<i>Streptomyces</i> استرپتومایسس	36.74 <sup>a</sup>	0.198 <sup>e</sup>	0.208 <sup>e</sup>
S2	شاهد Control	32.53 <sup>cd</sup>	0.193 <sup>e</sup>	0.214 <sup>cd</sup>
	<i>Pseudomonas</i> سودموناس	33.45 <sup>bc</sup>	0.21 <sup>c</sup>	0.216 <sup>bc</sup>
	<i>Streptomyces</i> با استرپتومایسس	34.85 <sup>a</sup>	0.215 <sup>c</sup>	0.219 <sup>b</sup>
S3	شاهد Control	29.23 <sup>f</sup>	0.21 <sup>c</sup>	0.221 <sup>b</sup>
	<i>Pseudomonas</i> سودموناس	30.47 <sup>ef</sup>	0.243 <sup>ab</sup>	0.229 <sup>a</sup>
	<i>Streptomyces</i> استرپتومایسس	31.32 <sup>de</sup>	0.25 <sup>a</sup>	0.229 <sup>a</sup>

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را براساس آزمون دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) نشان نمی‌دهد.

The means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different using Duncan's test ( $p < 0.05$ ).

## نتیجه‌گیری

نسبی آب برگ، و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاه مرزه تابستانی گردید. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌توان اظهار کرد، که کاربرد همزمان باکتری *Streptomyces* و ۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در مزرعه باعث تولید پایدار و عملکرد گیاه مرزه تابستانی در شرایط تنش خشکی از طریق بهبود صفات فیزیولوژیکی می‌شود.

نتایج مطالعه باکتری‌های محرک رشد و ورمی‌کمپوست نشان داد، کاربرد همزمان ورمی‌کمپوست و ریزجانداران محرک رشد شامل باکتری‌های *Streptomyces* و *Pseudomonas* در اکثر صفات فیزیولوژیکی اثر هم-افزایی داشته و سبب تعدیل اثرات تنش کم‌آبی از طریق بهبود صفات فیزیولوژیکی مانند کلروفیل، محتوای

## References

- Abd Elbar, O. H., Reham, E., & Farag Said, A. (2019). Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64 (2), 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.aoad.2019.10.00>
- Alameda, D., & Villar, R. (2012). Linking root traits to plant physiology and growth in *Fraxinus angustifolia* Vahl seedlings under soil compaction conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 79, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.01.004>
- Anjum, S. A., Farooq, M., Wang, L. C., Xue, L. L., Wang, S. G., Wang, L., Zhang, S., & Chen, M. (2011). Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously-applied glycine betaine under drought conditions. *Plant Soil and Environment*, 57 (7), 326-331.
- Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
- Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166, 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>
- Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Movahhedi Dehnavi, M., & Salehi, A. (2019). Growth and nutrient content of *Echinacea purpurea* as affected by the combination of phosphorus with arbuscular mycorrhizal fungus and *Pseudomonas* fluorescent bacterium under different irrigation regimes. *Journal of Environmental Management*, 231, 182-88. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.040>
- Bates, L. S., Waldern, R. P., & Teave, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-107.
- Blokhina, O., Virolainen, E., & Fagerstedt, K. V. (2003). Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress: a Review. *Annals of Botany*, 91, 179-194. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf118>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Biochemistry*, 72, 248-254.
- Borgo, L., Marur, C. J., & Vieira, L. G. E. (2015). Effects of high proline accumulation on chloroplast and mitochondrial ultrastructure and on osmotic adjustment in tobacco plants. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 37, 191-199. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i2.19097>
- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., Goran, A., & Igetic, R. (2008). Phenolics as antioxidants in garlic

- (*Allium sativum* L.). *Food chemistry*, 111(4), 925-929. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.071>
- Caverzan, A., Casassola, A., & Patussi Brammer, S. P. (2016). Reactive oxygen species and antioxidant enzymes involved in plant tolerance to stress. In: Shanker A (ed) Abiotic and biotic stress in plants-recent advances and future perspectives. InTech, Rijeka, pp, 463–480. <https://doi.org/10.5772/61368>
- Chiango, H., Figueiredo, A., Sousa, L., Sinclair, T., & Silva, J. M. (2021). Assessing drought tolerance of traditional maize genotypes of Mozambique using chlorophyll fluorescence parameters. *South African journal of botany*, 138, 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.01.005>
- Chiappero, J., Cappellari, L. D. R., Alderete, L. G. S., Palermo, T. B., & Banchio, E. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. *Industrial Crops and Products*, 139, 111-123. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.111553>
- Dias, M.C., Correia, S., Serôdio, J., Silva, A.M.S., Freitas, H., & Santos, C. (2018). Chlorophyll fluorescence and oxidative stress endpoints to discriminate olive cultivars tolerance to drought and heat episodes. *Scientia Horticultur*, 231, 31–35. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.007>
- De Ridder, N., & Van Keulen, H. (1995). Estimating biomass through transfer functions based on simulation model results: a case study for the Sahel. *Agricultural water management*, 28(1), 57-71.
- Durán, P., Acuña, J. J., Armada, E., López-Castillo, O. M., Cornejo, P., Moraand, M.L., & Azcón, R. (2016). Inoculation with selenobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi to enhance selenium content in lettuce plants and improve tolerance against drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16 (1), 201-225. <https://doi.org/10.4067/S071895162016005000017>
- Emami Bistgani, Z., Hashemi, M., DaCosta, M., Craker, L., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2019). Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 135, 311–320. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.055>
- Fu, G. F., Song, J., Xiong, Ji., Li, Y.R., Chen, H. Z., Le, M. K., & Tao L. X. (2011). Changes of Oxidative Stress and Soluble Sugar in Anthers Involve in Rice Pollen Abortion Under Drought Stress. *Agricultural Sciences in China*, 10 (7), 1016–1025. [https://doi.org/10.1016/S16712927\(11\)60089-8](https://doi.org/10.1016/S16712927(11)60089-8)
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable agriculture*, 153-188.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Ghorbanpour, M., Hatami, M., & Khavazi, K. (2013). Role of plant growth promoting rhizobacteria on antioxidant enzyme activities and tropane alkaloid production of

- (*Hyoscyamus niger*) under water deficit stress. *Turkish Journal of Biology*, 37, 350–360.  
<https://doi.org/10.3906/biy-1209-12>
- Gontaru, L., Plander, S., & Simandi, B. (2008). Investigation of *Satureja hortensis* L. as a possible source of natural antioxidants. *Hung, Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 36, 39–42.
- Goudjal, Y., Zamoum, M., Sabaou, N., Mathieu, F., & Zitouni, A. (2016). Potential of endophytic *Streptomyces* spp. for biocontrol of *Fusarium* root rot disease and growth promotion of tomato seedlings. *Biocontrol Science and Technology*, 26, 1691–170.  
<https://doi.org/10.1080/09583157.2016.1234584>
- Haghighadad Milani, M., Sefidi, N., Bahrami, M., Farhadi, H., Gohari, G., & Tahami, S. K. (2023). The Influence of *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas fluorescens* Bacteria on Alleviation of Negative Effects of Copper Chloride Toxicity on *Mentha spicata* L. *Journal of Vegetables Sciences*, 7(1), 148-166.  
<http://doi.org/10.22034/IUVS.2023.1989570.1271>
- Hassanpour, M. S., Eggebrecht, A. T., Culver, J. P., & Peelle, J. E. (2015). Mapping cortical responses to speech using high-density diffuse optical tomography. *NeuroImage*, 117, 319-326.
- Heidari, M., & Golpayegani, A. (2012). Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11, 57–61.  
<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2011.09.001>
- Heidarpour, O., Esmailpour, B., Soltani, A. A., & Khorramdel, S. (2019). Effect of vermicompost on essential oil composition of (*Satureja hortensis* L.) under water stress condition. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(2), 484-492.  
<https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1618204>
- Hosseini, F., Mosaddeghi, M. R., & Dexter, A. R. (2018). Effect of the fungus *Piriformospora indica* on physiological characteristics and root morphology of wheat under combined drought and mechanical stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 107-120.  
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.06.005>
- Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54(1), 87-92.
- Jamzad, Z. (2010). A new species of *Satureja* (Lamiaceae) from Iran. *Iranian Journal of Botany*, 16 (2), 213–217.
- Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57(2), 315-9.
- Khalvandi, M., Amerian, M., Pirdashti, H., Baradaran, M., & Golami, A. (2017b). Effects of *Piriformospora indica* fungi symbiotic on the quantity of essential oil and some physiological parameters of peppermint in saline conditions. *Iranian Journal of Plant Biology*, 32, 1-19.  
<https://doi.org/10.22108/ijpb.2017.94775>
- Khosropour, E., Weisany, W., Tahir, N. A. R., & Hakimi, L. (2021). Vermicompost and biochar can alleviate cadmium stress through minimizing its uptake and optimizing biochemical properties in *Berberis integerrima bunge*. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-11.

- <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17073-6>
- Kiran, S. (2019). Effects of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical parameters of lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) under drought stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(2), 352-358.  
<https://doi.org/10.15835/nbha47111260>
- Korkmaz, A., Korkmaz, Y., & Demirkiran, A.R. (2010). Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedling by exogenous application of 5-aminolevulinic acid. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 495-501.  
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.07.009>
- Kohler, J., Hernández, J. A., Fuensanta Caravaca, F., & Roldan, A. (2009). Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 65, 245-252.  
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.09.008>
- Lightfield, J., Fram, N.R., & Ely, B. (2011). Across bacterial phyla, distantly-related genomes with similar genomic GC content have similar patterns of amino acid usage. *PLoS One*, 6(3), e17677.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017677>
- Lisar, S.Y., Motafakkerzad, R., Hossain, M. M., & Rahman, I. M. M. (2012). Water stress in plants: causes, effects and responses. In: Ismail MD, Moizur R, Hiroshi H (eds) *Water stress*. InTech Publ, Rijeka, pp 1-15.  
<https://doi.org/10.5772/39363>
- Liu, H.Y., Wang, X. D., Wang, D. H., Zou, Z. R., & Liang, Z. S. (2011). Effect of drought stress on growth and accumulation of active constituents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. *Industrial Crops and Products*, 33 (1), 84-88.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.006>
- Mandal, S., Evelin, H, Giri, B., Singh, V.P., & Kapoor, R. (2013). Arbuscular mycorrhizal enhances the production of stevioside and rebaudioside-A in *Stevia rebaudiana* via nutritional and non nutritional mechanisms. *Applied Soil Ecology*, 72, 187-194.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.07.003>
- Ma, D.Y., Sun, D.X., Wang, C.Y., Qin, H. X., Ding, H. N., Li, Y. G., & Guo, T.C. (2016). Silicon application alleviates drought stress in wheat through transcriptional regulation of multiple antioxidant defense pathways. *Plant Growth Regulation*, 35, 1-10.  
<https://doi.org/10.1007/s00344-015-9500-2>
- Marchese, J. A., Ferreira, J. F. S, Rehder, V. L. G., & Rodrigues, O. (2010). Water deficit effect on the accumulation of biomass and artemisin in annual wormwood (*Artemisia annua* L. Asteraceae). *Braz. Plant Physiology*, 22(1),1-9.  
<https://doi.org/10.1590/S167704202010000100001>
- Masto, R. E., Chhonkar, P. K., Singh, D., & Patra, A. K. (2006). Changes in soil biological and biochemical characteristics in a long-term field trial on a sub-tropical inceptisol. *Soil biology and Biochemistry*, 38(7), 1577-1582.  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.11.012>
- Mohammadi, H., Dashi, R., Farzaneh, M., Parviz, L., & Hashempour, H. (2018). Effects of beneficial root pseudomonas on morphological, physiological, and phytochemical characteristics of *Satureja hortensis* (Lamiaceae) under water stress. *Brazilian Journal of Botany*, 40(1), 41-48.  
<https://doi.org/10.1007/s40415-016-0319-2>
- Nagananda, G. S., Das, A., Bhattacharya, S., & Kalpana, T. (2010). *In vitro*

- studies on the effects of biofertilizers (Azotobacter and Rhizobium) on seed germination and development of *Trigonella foenum-graecum* L. using a novel glass marble containing liquid medium. *International Journal of Botany*, 6, 394-403. <https://scialert.net/abstract/?doi=ijb.2010.394.403>
- Nautiyal, C. S., Srivastava, S., Chauhan, P. S., Seem, K., Mishra, A., & Sopory, S. K. (2013). Plant growth promoting bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* NBRISN13 modulates gene expression profile of leaf and rhizosphere community in rice during salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 66, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.01.020>
- Omid Beigi, R. (2001). production and processing of medicinal plants, fifth edition, Tehran, Astan Quds Razavi Publishing House, Tehran, third volume. <https://doi.org/10.pec.gonbad.ac.ir/article-143-en.html>
- Pravisy, P., Jayaram, K. M., & Yusuf, A. (2019). Biotic priming with *Pseudomonas fluorescens* induce drought stress tolerance in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (Okra). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(1), 101-112. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0621-5>
- Rahimi, Y., Taleei, A., & Ranjbar, M. (2017). Changes in the expression of key genes involved in the biosynthesis of menthol and menthofuran in (*Mentha piperita* L). under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(9), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2502-x>
- Rahimi, R., Paknejad, F., Sadeghi Shoaee, M., Ilkaee, M. N., & Rezaee, M. (2023). Changes in chlorophyll content and fluorescence indices and some physiological traits of wheat under the influence of paclobutrazol and growth-promoting bacteria at different levels of irrigation. *Journal of Plant Process and Function*, 11(47), 1-19.
- Rajaie, M., Attarzadeh, M., Mosavi, S. H., & Attarzadeh, M. (2015). Using licorice compost (*Glycyrrhiza glabra*) to reduce the water stress effect in greenhouse Cucumber. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(3), 79-90.
- Rechinger, K. H. (1982). *Flora Iranica*, Akademische Druck Und Verlagsanstalt, Wien, p. 495.
- Saakre, M., Baburao, T. M., Salim, A. P., Ffancies, R. M., Achuthan, V. P., Thomas, G., & Sivarajan, S. R. (2017). Identification and characterization of genes responsible for drought tolerance in rice mediated by *Pseudomonas fluorescens*. *Rice Science*, 24(5), 291-298. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.04.005>
- Sadeghi, A., Karimi, E., Dahaji, P.A., Javid, M.G., Dalvand, Y., & Askari, H. (2012). Plant growth-promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil conditions. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1503-1509. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0952-7>
- Sandhya, V. S. K. Z., Ali, S. Z., Grover, M., Reddy, G., & Venkateswarlu, B. (2010). Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 62(1), 21-30. <https://doi.org/10.1007/s10725-010-9479-4>
- Selvarathi, P., Ramasubramanian, V., & Jeyaprakash, R. (2010). Bioremediation effect of *Azotobacter* and *Phosphobacterium* on the growth and biochemical characteristics of paper mill effluent treated with *Lycopersicon esculentum* Mill.

- Journal of Biosciences and agriculture research*, 1, 58–64.
- Siddiqi, E. H., Ashraf, M., Hussain, M., & Jamil, A. (2009). Assessment of intercultural variation for salt tolerance in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) using gas exchange characteristics as selection criteria. *Pakistan Journal of Botany*, 41(5), 2251-2259.
- Shadkam, Z. (2019). The interaction between irrigation interval with manure and vermicompost on vegetative characteristics and yield of Lemon Verbena (*Lippia citriodora* L.). *Journal of Plant production Sciences*, 9(1), 67-82.
- Shahrivar, Z., Abtahi, F., & Hatami, M. (2020). Effect of growth regulator salicylate on some physiological and biochemical parameters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(4), 815-830.
- Shanaida, M., Jasicka-Misiak, I., & Wiczorek, P. P. (2021). Chromatographic analysis of polyphenols in the *Satureja hortensis* L. (Lamiaceae Martinov) herb. *Pharmacol. OnLine* 2, 1337–1345.
- Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridarakumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 161(3), 613-619. [https://doi.org/10.1016/S01689452\(01\)00450-2](https://doi.org/10.1016/S01689452(01)00450-2)
- Turner, N.C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58, 339-366.
- Verbruggen, N., & Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 35, 753–759. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0061-6>
- Vojodi Mehrabani, L., Kheirollahi, N., & Haghverdi, H. A. (2023). The Influence of Soil Application of Organic Fertilizers and Foliar Application of Growth Stimulants on the Growth and Physiological Indices of *Lepidium sativum* L. *Journal of Vegetables Sciences*, 7(2), 122-135. <https://doi.org/10.22034/IUVS.2022.556494.1214>
- Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & SkZ, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*, 184, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>
- Wu, Q. Sh., Zou, Y. N., & Xia, R. X. (2005). Effects of water stress and arbuscular mycorrhizal fungi on reactive oxygen metabolism and antioxidant production by citrus (*Citrus tangerine*) roots. *Soil biology*, 42, 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2005.12.006>