

The effect of Inoculation with Biofertilizers on the Quantitative and Qualitative Characteristics of the Medicinal Plant *Hyssopus officinalis* at different levels of Water Deficit Stress

Masoumeh Shahi¹, Mahmoud Pouryousef Miandoab^{2*} , Mehrdad Yarnia³, Ebrahim Khalilvand Behrouzyar³, Abdullah Hasanzadeh Ghorttapeh⁴

Received: 14 July 2024

Accepted: 12 December 2024

1-Ph.D. Student, Dept of Agronomy, Ta.C., Islamic Azad University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- Assoc. Prof., Dept., of Agronomy and Agroecology, Ur.C., Islamic Azad University of Urmia, Urmia, Iran.

3-Prof., Dept. of Agronomy, Ta.C., Islamic Azad University of Tabriz, Tabriz, Iran.

4- Assoc. Prof., Dept. of Agronomy, Ta.C., Islamic Azad University of Tabriz, Tabriz, Iran.

5-Dept., of Horticulture Crop Science Research, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO). Urmia, Iran.

Corresponding Author Email: pooryousefm@yahoo.com

Abstract

Background and Objectives: In arid and semi-arid regions, employing innovative and sustainable solutions to enhance nutrient uptake is crucial. One such approach is the utilization of microorganisms. This research investigated the effect of mycorrhizae and growth-stimulating bacteria on hyssop's quantitative and qualitative characteristics under different irrigation levels.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a split plot based on a randomized complete block design with three replications at the West Azarbaijan province research centre (Saatlo station) over two crop years. The irrigation levels, including normal moisture conditions (7-day interval), mild stress (10-day interval), and severe stress (14-day interval), were assigned to the main plots, and inoculation with mycorrhiza (My), Azotobacter (Az), Pseudomonas (Pse), Az + Ps, My+Az+Pse and non-inoculation treatment (control) were assigned to sub-plots. In this experiment, the quantitative and qualitative characteristics of the plant were measured.

Results: The highest plant height, total fresh weight, and leaf nitrogen content were assigned to the treatment with Pseudomonas (Pse) under normal irrigation conditions. The maximum essential oil percentage and essential oil yield were related to Pse treatment under mild stress conditions. In all biofertiliser treatments, plant height, total fresh weight, chlorophyll a and b, carotenoid content, nitrogen, phosphorus, and potassium content of leaves decreased with increasing water stress. In contrast, proline content and ion leakage increased. Inoculation with My+Az+Pse under mild and severe stress conditions increased plant height, shoot weight, chlorophyll a content, carotenoid, proline, nitrogen, phosphorus, and essential oil yield. This treatment also reduced the amount of ion leakage compared to control.

Conclusion: The separate application of each of the Pse, My, and Az treatments under mild stress conditions resulted in obtaining the maximum essential oil yield, and the combined application of My+Az+Pse adjusted water stress on the essential oil yield under severe water deficit conditions.

Keywords: Essential Oil, Proline, Microorganism, Mycorrhiza, Water Deficit

اثر تلقیح با کودهای زیستی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis*) در سطوح مختلف تنش کمبود آب

معصومه شاهی^۱، محمود پوریوسف میانداوب^{۲*}، مهرداد یارنیا^۳، ابراهیم خلیل وند بهروزیار^۳،
عبدالله حسن زاده قورت تپه^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۲۴	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۲۲
-------------------------	------------------------

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
- ۲- دانشیار، گروه زراعت و آگرواکولوژی، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
- ۳- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
- ۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
- ۵- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: در مناطق خشک و نیمه خشک، استفاده از راه حل های نوآورانه و پایدار برای افزایش جذب مواد مغذی بسیار مهم است. از این راهکارها می توان به استفاده از میکروارگانیسم ها اشاره کرد. این تحقیق با هدف بررسی اثر مایکوریزا و باکتری های محرک رشد بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه زوفا تحت سطوح مختلف آبیاری انجام شد.

مواد و روش ها: آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات استان آذربایجان غربی (ایستگاه ساعتو) در دو سال اجرا شد، سطوح مختلف آبیاری شامل شرایط نرمال رطوبتی (دور آبیاری ۷ روز یک بار)، تنش ملایم (دور آبیاری ۱۰ روز یک بار) و تنش شدید (دور آبیاری ۱۴ روز یک بار) به کرت های اصلی به کرت های اصلی و تلقیح با میکوریزا (My)، ازتوباکتر (Az)، سودوموناس (Pse)، Az + Pse، My + Az + Pse و شاهد به کرت های فرعی اختصاص داده شدند. در این آزمایش خصوصیات کمی و کیفی گیاه اندازه گیری شد.

یافته ها: بالاترین ارتفاع بوته، وزن تر کل، محتوی نیتروژن برگ به تیمار با سودوموناس (Pse) تحت شرایط آبیاری نرمال اختصاص داشت، حداکثر درصد اسانس و عملکرد اسانس به تیمار Pse تحت شرایط تنش ملایم مربوط بود. با تشدید تنش کم آبی در کلیه تیمارهای کود زیستی از ارتفاع بوته، وزن تر کل، محتوی کلروفیل a و b، کارتنوئید، محتوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ کاسته و بر محتوی پرولین و نشست یونی افزوده شد، در این بررسی تلقیح با My + Az + Pse تحت شرایط تنش ملایم و تنش شدید توانست ارتفاع بوته، وزن تر کل، کلروفیل a، کارتنوئید، پرولین، نیتروژن، فسفر برگ و عملکرد اسانس را در مقایسه با شاهد افزایش و نشست یونی را کاهش دهد.

نتیجه گیری: کاربرد جداگانه هر یک از تیمارهای Pse، My و Az تحت شرایط تنش ملایم موجب کسب حداکثر عملکرد اسانس و کاربرد تلفیقی My + Az + Pse موجب تعدیل کم آبی بر عملکرد اسانس تحت شرایط تنش شدید کم آبی شد.

واژه های کلیدی: اسانس، پرولین، کم آبی، میکروارگانیسم، میکوریزا

مقدمه

زوفا (*Hyssopus officinalis*) گیاهی از خانواده Lamiaceae حاوی اسانس‌ها و ترکیبات فنلی در اندام‌های هوایی است و منبع ارزشمندی از فنولیک‌ها است (بنلی و همکاران ۲۰۱۷). زوفا گیاهی علفی بومی جنوب اروپا، خاورمیانه و نواحی اطراف دریای خزر است. درختچه‌ای همیشه سبز با گل‌های هرمافرودیت که توسط زنبورها گرده افشانی می‌شود. این گیاه معمولاً ۳۰ تا ۶۰ سانتی متر ارتفاع دارد و در طول تابستان دسته‌هایی از گل‌های معطر صورتی، آبی یا سفید تولید می‌کند. برگ‌ها به عنوان یک چاشنی معطر، با طعم کمی تلخ و عطر نعنای شدید استفاده می‌شود. این گیاه به عنوان طعم دهنده استفاده می‌شود و به دلیل داشتن مواد شیمیایی توجون^۱ و فنل^۲ دارای خواص ضد عفونی کننده است (چیچ ۱۹۸۴).

تغییرات آب و هوایی، مانند خشکسالی‌های طولانی و مکرر، به طور قابل توجهی امنیت غذایی جهانی را در قرن بیست و یکم تهدید می‌کند. تنش خشکی عملکرد محصول را کاهش داده، کیفیت محصولات و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (بابایی و همکاران ۲۰۲۱). تنش خشکی منجر به تجمع بیش از حد عناصر فعال اکسیژن^۳ می‌شود و به ساختار و عملکرد گیاه آسیب وارد می‌کند (حقانی نیا و همکاران ۲۰۲۴)، این فرآیند می‌تواند منجر به اکسیداسیون لیپید، تخریب پروتئین، کاهش فتوسنتز و مهار جذب مواد معدنی شود (بیگم و همکاران ۲۰۲۳).

تنش کمبود آب علاوه بر کاهش عملکرد محصولات زراعی سایر عوامل تنش‌زا مانند کمبود عناصر غذایی را تشدید می‌کند (اصلانی و همکاران ۲۰۲۳). مطالعات نشان داده‌اند که کم‌آبی می‌تواند مقدار دسترسی گیاه به مواد مغذی را از طریق تأثیر بر فرآیندهای خاک مانند انتشار خاک، جریان جرمی و حلالیت محدود کند (آهنگری و همکاران ۲۰۲۱). اثر منفی تنش کمبود آب بر

خصوصیات کمی و کیفی گیاهان دارویی نظیر آویشن (*Thymus daenensis*) (بیستگانی و همکاران، ۲۰۱۷)، خرفه (*Portulaca oleracea* L.) (ساحری و همکاران ۲۰۲۰)، رزماری (*Rosmarinus officinalis*) (عباس زاده و همکاران ۲۰۲۰)، ملیسا (*Lemon balm*) (عشقی گرجی و همکاران ۲۰۲۲) و زوفا (شریفی و همکاران ۲۰۱۷) در مطالعات قبلی به اثبات رسیده است.

در مناطق خشک و نیمه خشک، استفاده از راه حل‌های نوآورانه و پایدار برای افزایش جذب مواد مغذی بسیار مهم است. از این راهکارها می‌توان به استفاده از میکروارگانیسم‌ها اشاره کرد، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه^۴ کاربردهای بالقوه‌ای در کاهش تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارند (لنگرودی و همکاران ۲۰۲۱). قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار^۵ نقش مهمی به عنوان تقویت‌کننده‌های زیستی دارند و نیاز به کودهای معدنی را در گیاهان کاهش می‌دهند (الوتایی و همکاران ۲۰۲۳). این قارچ‌ها از طریق شبکه‌های هیف میکوریزا وارد منافذ خاک می‌شوند که برای ریشه‌های موین غیرقابل دسترس است و از این طریق دسترسی و جذب ریشه به آب و مواد مغذی گیاه را بهبود می‌بخشد. رابطه همزیستی بین گیاهان و میکوریزا شرایط فیزیولوژیکی را بهبود می‌بخشد. سطح برگ و محتوای فسفر را افزایش می‌دهد، باز شدن روزنه‌ها را تنظیم می‌کند و راندمان مصرف آب را افزایش می‌دهد (نتو و همکاران ۲۰۲۳). همچنین مشارکت بین گیاهان و میکوریزا باعث بهبود سلامت گیاه با افزایش سطح برگ و محتوای فسفر، تنظیم باز شدن روزنه‌ها و افزایش راندمان مصرف آب می‌شود (درکه و همکاران ۲۰۲۱). استفاده از ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه به عنوان یک تلقیح باکتریایی برای افزایش رشد گیاه و تحمل به خشکی ارزشمند است. چندین مطالعه اخیر نشان داده‌اند که میکروارگانیسم‌های مفید می‌توانند مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی، شوری،

^۱ Thujone^۲ Phenol^۳ ROS^۴ PGPR^۵ AMF

سطوح مختلف آبیاری شامل شرایط نرمال رطوبتی (دور آبیاری ۷ روز یک بار)، تنش ملایم (دور آبیاری ۱۰ روز یک بار) و تنش شدید (دور آبیاری ۱۴ روز یک بار) به کرت های اصلی و و تلقیح با میکوریزا (My)، ازتوباکتر (Az)، سودوموناس (Pse)، Az + Ps، My+Az+Pse و تیمار عدم تلقیح (شاهد) به کرت های فرعی اختصاص داده شدند.

مواد گیاهی و نحوه اعمال تیمارها

بذر گیاه دارویی زوفا از شرکت دانه پاکان اصفهان تهیه شد. بذرها در هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت دو دقیقه ضد عفونی شدند و سپس چندین بار با آب مقطر استریل شسته شدند. بذر زوفا در ۱۵ اسفند در سینی های پلاستیکی پر از مخلوط ۳۰:۷۰ پرلیت و کوکوپیت کاشته شدند. آبیاری هر روز تا زمان جوانه زدن بذرها انجام شد. از خاک محل آزمایش به طور تصادفی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متر نمونه برداری شد و برای تجزیه و تحلیل عناصر پرمصرف و کم مصرف و سطوح pH به آزمایشگاه فرستاده شد (جدول ۲). گیاهچه های هم اندازه که تقریباً دو ماه پس از جوانه زنی به ارتفاع ۱۰-۱۲ سانتی متر رسیده بودند در اواخر اردیبهشت ماه به مزرعه اصلی منتقل شدند. قبل از کاشت، عملیات آماده سازی زمین مانند شخم و تسطیح انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل ۴ ردیف به طول ۳ متر بود. فاصله بین ردیف ها و فاصله بین گیاهچه ها در هر ردیف به ترتیب ۴۰ و ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. قارچ میکوریزا (*Rhizoglossum fasciculatum*) از شرکت ارگانیک در استان همدان در شهرستان اسدآباد و باکتری زنده از پژوهشگاه آب و خاک کرج در ایران تهیه شد. مایه تلقیح ازتوباکتر به صورت پودری و هر گرم حاوی 1×10^8 باکتری زنده و فعال بود. پس از تیمار با محلول های مختلف باکتریایی و خیساندن به مدت ۲۰ دقیقه، نهال ها در اواخر اردیبهشت در چاله های آماده شده کاشته شدند. برای تیمار میکوریزا، ۲۰ گرم تلقیح میکوریز (۱۰-۱۲ اسپور در هر گرم بستر) به هر چاله اضافه شد و نهال ها

کمبود مواد مغذی و آلودگی فلزی افزایش دهند. این باکتری های مفید، سازگار با تنش اسمزی، رشد گیاه و تحمل تنش را از طریق راه های مختلف مستقیم و غیرمستقیم افزایش می دهند. بنابراین، یک تلقیح باکتریایی یک جایگزین مقرون به صرفه برای افزایش امنیت غذایی در زمان کمبود آب فراهم می کند (آزم و همکاران ۲۰۲۲). در مطالعات مختلفی بر روی بادرنجبویه (*Mellisa officinalis*) (عشقی کرجی و همکاران ۲۰۲۲)، مرزه سهندی (*Satureja sahendica*) (Bornm) (ذاکریان و همکاران ۲۰۲۰)، استوخودوس (*Lavandula angustifolia*) (حقانینا و همکاران ۲۰۲۴) و گندم (*Triticum aestivum*) استفاده از مایکوریزا و PGPR به صورت جداگانه و یا در تلفیق با یکدیگر اثر تنش کمبود آب را بر گیاهان مذکور تعدیل نمود.

در منطقه شمال غرب کشور که آب و هوای مناسب برای کاشت گیاهان دارویی است، یافتن راه حلی برای تنش کم آبی متوسط می تواند به افزایش کشت و بهبود عملکرد اقتصادی گیاهان دارویی کمک کند. تحقیقات نشان می دهد که تعدیل تنش آبی در گیاه دارویی زوفا از طریق میکروارگانیسم ها به ندرت مورد مطالعه قرار گرفته است. از این رو، پژوهش حاضر به منظور تعیین تأثیر تلقیح با میکروارگانیسم ها بر ویژگی های رویشی، درصد اسانس و عملکرد اسانس گیاهان زوفا تحت رژیم های مختلف آبیاری انجام شد.

مواد و روش ها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ارومیه، آذربایجان غربی، (۴۵ درجه و ۲ دقیقه شرقی، ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و ۱۳۲۹ متر بالاتر از سطح دریا) انجام شد. مشخصات آب و هوایی محل آزمایش در طول دو سال در جدول ۱ نشان داده شده است. آزمایش با استفاده از طرح کرت های خرد شده بر اساس بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد.

کشت شدند. تا زمان استقرار نهال‌ها، آبیاری در تمام تیمارها (هر پنج روز یکبار) یکسان بود. فواصل آبیاری بعد از ۷، ۱۰ و ۱۴ روز به ترتیب شرایط نرمال، تنش ملایم و تنش شدید در نظر گرفته شد (موسوی و همکاران، ۲۰۲۱). در این آزمایش از علف کش‌ها برای کنترل علف‌های هرز استفاده نشد و وجین دستی به طور مرتب انجام شد.

اندازه‌گیری صفات خصوصیات رویشی

پس از حذف اثر حاشیه (دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت)، در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، ۱۰ بوته به طور تصادفی از هر کرت آزمایشی انتخاب شد. بوته‌ها کف بر شده، داخل پاکت قرار داده و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال داده و برگ‌ها و ساقه‌ها را جدا کردند. از گیاهان منتخب ارتفاع بوته (سانتیمتر)، تعداد شاخه‌های گلدار و وزن تر کل اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری نشت الکترولیت (پایداری غشای سلولی)، به روش لاتس^۶ و همکاران (۱۹۹۶) انجام شد. بر این اساس ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ (در مرحله ۵۰ درصد گلدهی و ۵ روز بعد از آخرین آبیاری) به همراه ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر بر روی دستگاه شیکر در دور ۴۵۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفته و پس از حذف قطعات برگ هدایت الکتریکی نمونه‌ها قرائت گردید (EC1). سپس نمونه‌ها به داخل حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه منتقل و پس از هم دما شدن با محیط آزمایشگاه مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری (EC2) و براساس رابطه ذیل نشت الکترولیت نمونه‌ها محاسبه خواهدگردید:

$$\text{نشت الکترولیت} = (EC1/EC2) \times 100$$

اجزای کلروفیل شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها بوسیله روش لیچتن‌تالر (۱۹۸۷) اندازه‌گیری شد. حدود یک گرم از برگهای جوان و کاملاً توسعه یافته (در مرحله ۵۰ درصد گلدهی و ۵ روز بعد از اعمال آخرین آبیاری) وزن شده و در داخل هاون با اضافه کردن ۲ میلی‌لیتر استون به طور کامل هضم خواهد شد. پس از هضم و انتقال نمونه‌ها به لوله‌های آزمایش، حجم عصاره به ۱۰ میلی‌لیتر رسانیده شده و به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ (Rotofix 32A-Zentaifugen; Germany) شد. در پایان مقدار جذب محلول رویی در طول موج‌های ۴۷۰، ۴۶۳/۲ و ۶۴۶/۸ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (Lambda 25 UV/VIS Perkin Elmer) اندازه‌گیری شد. از فرمول زیر مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید محاسبه شد.

$$\text{Chla} = 12.5 \text{ A663.2} - 2.79 \text{ A646.8}$$

$$\text{Chlb} = 21.51 \text{ A646.8} - 5.1 \text{ A663.2}$$

$$\text{Chl a+b} = 7.15 \text{ A663.2} + 18.71 \text{ A646.8}$$

$$\text{Carotenoid} = ((1000 \times \text{A470}) - (1.8 \times \text{chl a}) - (85.02 \times \text{chl b}))/198$$

که در آن: EC1: بیانگر هدایت الکتریکی اولیه نمونه (۲۵°C) و EC2: بیانگر هدایت الکتریکی ثانویه نمونه (۹۵°C)

برای اندازه‌گیری پرولین از روش ایریگوین و همکاران (۱۹۹۲) استفاده شد. از هر تکرار ۰/۵ گرم از بافت گلبرگ تازه توزین و در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶° (Merck, Germany) هضم گردیده و به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ (Rotofix 32A-Zentaifugen; Germany) خواهد شد. در مرحله دوم ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره حاصل به ۲/۵ میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین و ۲/۵ میلی‌لیتر اسیداستیک (Merck; Germany) اضافه و به حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۰ دقیقه منتقل خواهد شد. پس از سرد نمودن سریع نمونه‌ها، به هر نمونه ۵ میلی-لیتر بنزن اضافه شده و در پایان، فاز بالایی محلول در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت خواهدگردید. برای

محاسبه میزان پرولین از نمودار استاندارد پرولین استفاده خواهد شد. محلول‌های استاندارد شامل غلظت های ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ میلی گرم در لیتر پرولین تهیه شده و از این ارقام در رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شد.

اسانس زوفا با روش‌های تقطیر و با استفاده از دستگاه کلونجر تهیه شده و درصد اسانس محاسبه شد. استخراج از طریق تقطیر با آب شامل تعلیق گل‌ها در آب و جوشاندن آن‌ها و سپس خنک کردن بخارات و جمع آوری شد. در این روش مقدار مشخصی از گل زوفا، براساس گنجایش مخازن، با مقداری آب که حدود ۳ تا ۴ برابر وزن گل می‌باشد تقطیر شد. با ضرب وزن خشک گل در درصد اسانس عملکرد اسانس محاسبه و به صورت کیلوگرم در هکتار ثبت شد (پولیش فارماکوپیا ۲۰۰۶).

برای اندازه‌گیری میزان NPK در برگ در مرحله ۵۰ درصد گلدهی ۵ بوته از هر کرت برداشت شد و در آزمایشگاه ابتدا با آب و سپس با آب مقطر شسته شده و خشک می‌گردند. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس آسیاب می‌گردد. برای تهیه عصاره جهت اندازه‌گیری عناصر NPK از روش هضم در بالن ژوژه با اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه،

استفاده می‌شود. در این روش ۰/۳ گرم نمونه گیاهی را به بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری منتقل و سپس ۲/۳ میلی‌لیتر از مخلوط اسیدها شامل ۵۰ cc اسید سولفوریک غلیظ + ۳ گرم اسید سالیسیلیک + ۹ cc آب اکسیژنه به آن اضافه کرده و به هم زده شد. روز بعد نمونه‌ها را در دستگاه هضم یک ساعت تا دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده و پس از سرد شدن، ۵ قطره آب اکسیژنه به آن اضافه کرده و به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده تا اینکه بخارات سفیدرنگی ظاهر شود. زمانی‌که نمونه‌ها بی‌رنگ و خنک شدند، ۱۰ cc آب مقطر به آن اضافه کرده و به حجم ۱۰۰ cc رسانده شد. بعد از تهیه عصاره، برای اندازه‌گیری فسفر و نیتروژن نیز با استفاده از دستگاه اتوآنالیزور و پتاسیم نیز با استفاده از دستگاه Flame Photometer اندازه‌گیری شد (امامی ۱۹۹۶).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: پس از بررسی و تأیید برقراری فرض‌های تجزیه واریانس، انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی نیز با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

جدول ۱. آمار هواشناسی محل اجرای آزمایش در طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

	دمای متوسط ماهانه (C°)		دمای حداقل ماهانه (C°)		دمای حداکثر ماهانه (C°)		مقدار بارندگی (mm)	
	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱		
مهر	۱۳/۷	۱۵/۳	۸/۹	۵/۶	۲۲/۹	۲۵/۸	۰/۲۸	۰/۰۳
آبان	۱۰/۷	۹/۸	۳/۸	۴/۱	۱۷/۳	۱۴/۹	۲/۱۸	۰/۶۳
آذر	۱/۵	۸/۵	۳/۵	-۴/۳	۹/۳	۱۴/۶	۱/۵۴	۰/۸۶
دی	۴/۶	-۱/۵	-۸/۹	-۲/۲	۹/۴	۷/۴	۰/۹۴	۰/۴۶
بهمن	۲/۴	-۲/۵	-۸/۱	-۲/۷	۷/۶	۳/۰	۱/۳۶	۲/۸۲
اسفند	۹/۲	۴/۱	-۲/۷	۲/۲	۱۴/۲	۱۰/۰	۰/۶۵	۰/۸۸
فروردین	۹/۳	۱۰/۹	۳	۲/۹	۱۶/۸	۱۷/۸	۰/۶۵	۱/۹
اردیبهشت	۱۶/۶	۱۳/۸	۷/۶	۸/۰	۲۳/۲	۲۱/۱	۱/۲۳	۰/۴
خرداد	۲۰/۰	۲۱/۷	۱۲/۲	۱۰/۹	۳۱/۲	۲۹/۳	۰/۲۶	۰/۰۴
تیر	۲۶/۸	۲۶/۲	۱۶/۹	۱۶/۴	۳۳/۳	۳۰/۵	۰/۰	۰/۰
مرداد	۲۵/۷	۲۵/۸	۱۵/۴	۱۶/۷	۳۵/۷	۳۵/۳	۰/۰	۰/۰۲
شهریور	۲۲/۸		۱۲/۸	۱۳/۳	۳۳/۴	۳۰/۵	۰/۳۳	۰/۰

جدول ۲. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک	رس %	سیلت %	شن %	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	نیتروژن %	ماده آلی %	T. N. V %	اسیدیته	شوری (dS/m)	درصد اشباع خاک %	پارامتر
سیلت کلی لوم	۲۸	۵۵	۱۵	۴۴۲	۱۴/۱۲	۰/۱۴	۱/۲	۴/۷۱	۸/۱۰	۱/۳۹	۴۴	میزان

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد بین دو سال مورد بررسی از نظر محتوی کلروفیل a، درصد اسانس در سطح احتمال پنج درصد و از نظر ارتفاع بوته، نشت یونی و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی دار وجود داشت. وجود اختلاف معنی دار بین صفات مورد نظر در دوسال آزمایش را می توان به شرایط آب و هوایی متفاوت به خصوص دمای هوا و میز ان بارندگی نسبت داد (جدول ۱). اختلاف بین سطوح آبیاری از نظر محتوی کارتنوئید،

درصد اسانس و عملکرد اسانس در سطح احتمال پنج درصد و از نظر ارتفاع بوته، محتوی کلروفیل a و b، پرولین، نشت یونی، وزن تر کل، نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی دار بود. اثر متقابل سال در کود زیستی تنها بر محتوی پرولین معنی دار بود. کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری در کود زیستی قرار گرفتند (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین مربعات خصوصیات کمی و کیفی گیاه زوفا تحت تأثیر تیمارهای مختلف تلقیح با کودهای زیستی و سطوح مختلف آبیاری

میانگین مربعات													منابع تغییر
درجه آزادی	ارتفاع بوته	کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	پرولین	نشت یونی	وزن تر کل	نیتروژن برگ	فسفر برگ	پتاسیم برگ	درصد اسانس	عملکرد اسانس	
۱	۲۴۵۵/۷۹ ^{ns}	۰/۲۳ [*]	۰/۰۵ ^{ns}	۵/۸۳ ^{ns}	۱۲۹۶/۵۳ ^{ns}	۱۶۸۸/۵۵ ^{ns}	۱۲۰۱۹۹۱ ^{ns}	۱۹/۰۷ ^{ns}	۰/۳۹ ^{ns}	۲/۷۸ ^{ns}	۰/۹۲ [*]	۲۷۲۲۷۴۵ ^{ns}	سال
۲	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۵۶	۱/۳۶	۳/۳۳	۴۴	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۷۳۰۲۰	تکرار/سال
۲	۱۷۸/۰۱ ^{ns}	۰/۴۹ ^{ns}	۱/۸۴ ^{ns}	۱۰/۳۶ [*]	۴۶۱۷/۸۲ ^{ns}	۲۳۹/۹۷ ^{ns}	۱۸۴۶۵۹ ^{ns}	۵/۵۷ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۸	۰/۰۷۵ [*]	۱۶۹۷۰۱ [*]	آبیاری
۲	۱۵/۵۶ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۱۶/۰۵ ^{ns}	۲/۱۲ ^{ns}	۶۷۴۵ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۱۱۱۲۱ ^{ns}	سال × آبیاری
۸	۳/۸۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۱/۳۳	۶/۱۸	۱/۸۹	۳۱۶	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۲۴۰۱۷	خطای ۱
۵	۴۰۵/۱۶ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۶/۹۱ ^{ns}	۴۵۵۶/۴۵ ^{ns}	۸۱/۵۹ ^{ns}	۴۷۱۷۵ ^{ns}	۰/۵۷ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۷ [*]	۲۸۱۸۴ ^{ns}	کود زیستی
۵	۲/۹۰ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۲۹/۳۴ ^{ns}	۱/۰۳ ^{ns}	۱۷۳/۵ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}	۳۲۵۲ ^{ns}	سال × کود زیستی
۱۰	۱۱۶/۵۹ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۴/۰۱ ^{ns}	۵۵۹۲/۵۹ ^{ns}	۵۲/۵۸ ^{ns}	۲۲۳۷ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۸۱۶۸ ^{ns}	آبیاری × کود زیستی
۱۰	۵/۱۴ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۵/۴۷ ^{ns}	۴/۳۳ ^{ns}	۲۰۲۵ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}	۱۱۹۴ ^{ns}	سال × آبیاری × کود زیستی
۶۰	۱۰/۳۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۹۳	۵/۶۶	۴/۶۹	۲۵۱	۰/۰۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱	۰/۰۲۱	۲۴۸۳	خطای ۲
ضریب تغییرات (%)													
	۵/۳۰	۸/۳۶	۸/۳۶	۲۰/۵۹	۶/۰۵	۵/۳۱	۵/۶۹	۶/۲۷	۱۰/۱۷	۶/۹۷	۱۱/۵۷	۱۳/۶۷	

ns، * و ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد آماری است.

ارتفاع بوته

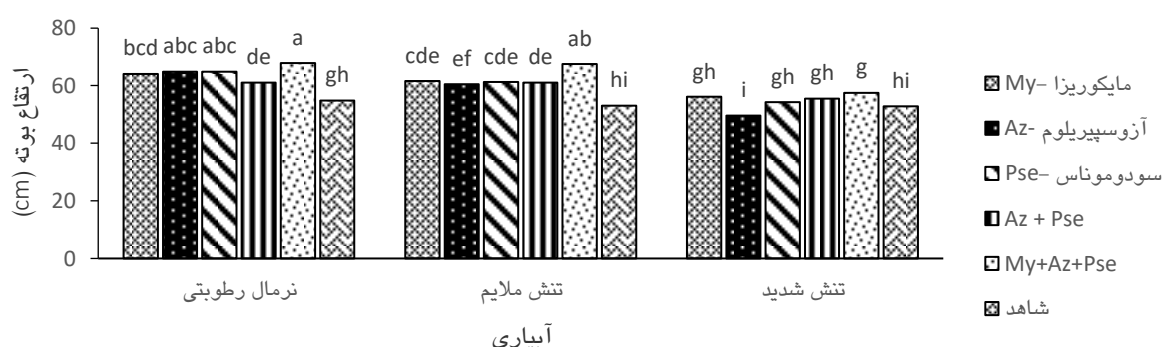
نتایج نشان داد تیمار گیاهان با My+Az+Pse تحت شرایط نرمال با متوسط ۶۷/۸۳ سانتی متر حداکثر ارتفاع بوته را تولید کرد، تفاوت بین تیمار مذکور با My+Az+Pse در شرایط تنش ملایم و تیمارهای Az و Pse در شرایط نرمال معنی دار نبود. با این حال، تیمار شاهد در شرایط تنش شدید و تنش ملایم و تیمار Az

در شرایط تنش شدید حداقل ارتفاع بوته را به ترتیب با میانگین ۵۳/۰۰، ۵۲/۸۳ و ۴۹/۶۶ سانتی متر به دست آوردند. در این مطالعه تنش کمبود آب از ارتفاع بوته زوفا کاست، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تیمار با My+Az+Pse، Az+Pse، Az، My و Pse در شرایط نرمال منجر به افزایش ارتفاع بوته به ترتیب به میزان

۱۷/۰۱، ۱۸/۲۳، ۱۱/۵۴ و ۲۳/۷۰ درصد در مقایسه با

شاهد مربوطه شدند. همچنین تیمارهای مذکور ارتفاع بوته را به میزان ۱۶/۲۲، ۱۴/۱۵، ۱۵/۲۸ و ۲۷/۳۵ درصد در شرایط تنش ملایم نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. همچنین تحت شرایط تنش کمبود آب تنها تیمار MY+AZ+PSE ارتفاع بوته را ۸/۹۰ درصد نسبت به تیمار شاهد مربوطه به صورت معنی‌دار افزایش داد (شکل ۱). کاهش ارتفاع بوته در این بررسی در تیمارهای کمبود آب به می‌تواند به دلیل کاهش شاخص سبزینه‌گی باشد که موجب اختلال در فرآیند فتوسنتز به واسطه کم‌آبی و کاهش تولید مواد فتوسنتزی برای انتقال به بخش‌های در حال رشد گیاه و کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه می‌شود. احتمالاً این امر باعث توقف طویل شدن سلولها و کاهش ارتفاع بوته می‌شود. یکی از مهمترین شاخص‌های رشد گیاه ارتفاع بوته است. این شاخص که نشان دهنده سرعت رشد و جذب نیتروژن است، در تشکیل عملکرد قابل توجه است (حقانی نیا و همکاران ۲۰۲۲؛ تشکرزاده و همکاران ۲۰۲۲) تنش خشکی می‌تواند با تأثیر بر تقسیم سلولی و ازدیاد طول سلول، کاهش هدایت روزنه ای، و ممانعت از جذب CO₂ به دلیل بسته شدن روزنه، ارتفاع گیاه را کاهش دهد (داس و همکاران ۲۰۲۳). کاهش

ارتفاع بوته در زوفا بر اثر تنش کم آبی در مطالعات قبلی گزارش شده است (آلوتایی و همکاران ۲۰۲۳). در مطالعه رضوانی مقدم و همکاران (۲۰۱۲) مصرف کودهای بیولوژیک (نیتراژین، نیتروکسین و ورمی-کمپوست) سبب افزایش ارتفاع بوته در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L) شد. عنصر نیتروژن با شرکت در ساختار کلروفیل به عنوان مهم‌ترین رنگیزه فتوسنتزی و عنصر فسفر با حضور فعال و گسترده در ترکیب مولکول‌های حامل انرژی دارای نقش مهم و اساسی در فرآیند فتوسنتز می‌باشند کمبود این دو عنصر در گیاه سبب آسیب‌هایی چون کاهش شدید فعالیت فتوسنتزی، کوتاه و نازک شدن ساقه، کاهش تعداد گل و برگ و ریزش آنها و در نهایت مرگ گیاه می‌گردد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان اظهار داشت باکتری‌ها با تثبیت بیولوژیک نیتروژن و میکوریزا با فراهم ساختن عنصر فسفر توانسته‌اند میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و نرخ فتوسنتز خالص گیاه را بالا برده و سبب بهبود رشد رویشی و افزایش ارتفاع آن گردند. در تحقیقی بر روی گیاه دارویی زوفا استفاده از باکتری‌های محرک رشد و مایکوریزا به صورت معنی داری بر اتفاع بوته در این گیاه افزود (شریفی و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۱- مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آب‌یاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر ارتفاع بوته در زوفا

رنگدانه های فتوسنتزی و کارتنوئید

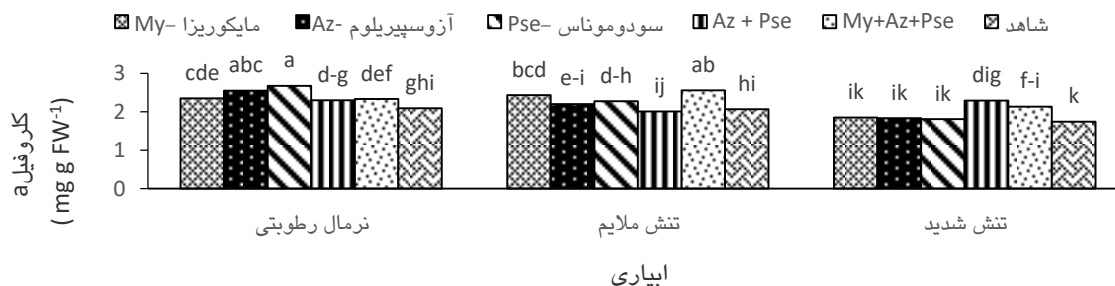
کلروفیل a

نتایج نشان داد که تیمار Pse تحت شرایط نرمال رطوبتی حداکثر محتوای کلروفیل a را با میانگین $mg\ g\ FW^{-1}$ ۲/۶۸ به دست آورد و به دنبال آن تیمارهای My+Az+Pse در شرایط تنش ملایم و Az در شرایط نرمال رطوبتی قرار گرفتند. تیمار شاهد تحت شرایط تنش شدید کمترین مقدار کلروفیل a را با متوسط $mg\ g\ FW^{-1}$ ۱/۷۴ کسب کرد. اختلاف بین این تیمار و تیمارهای Pse و Az در شرایط تنش شدید غیر معنی دار بود. محتوای کلروفیل a در شرایط تنش شدید به ترتیب ۲۲/۵۹ و ۱۶/۱۶ درصد نسبت به شرایط نرمال رطوبتی و تنش شدید کاهش نشان داد. در شرایط نرمال رطوبتی، گیاهان تیمار شده با MY، AZ، PSE، AZ + PSE و MY+AZ+PSE توانستند محتوای کلروفیل را به میزان ۱۲/۲۲، ۲۱/۹۷، ۲۸/۰۴، ۹/۷۹ و ۱۱/۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش دهند. تحت شرایط تنش ملایم، تیمار با MY و MY+AZ+PSE محتوای کلروفیل a را به ترتیب ۱۹/۶۵ و ۲۵/۸۸ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید. در نهایت، در شرایط تنش شدید، تیمارهای AZ + PSE و MY + AZ + PSE

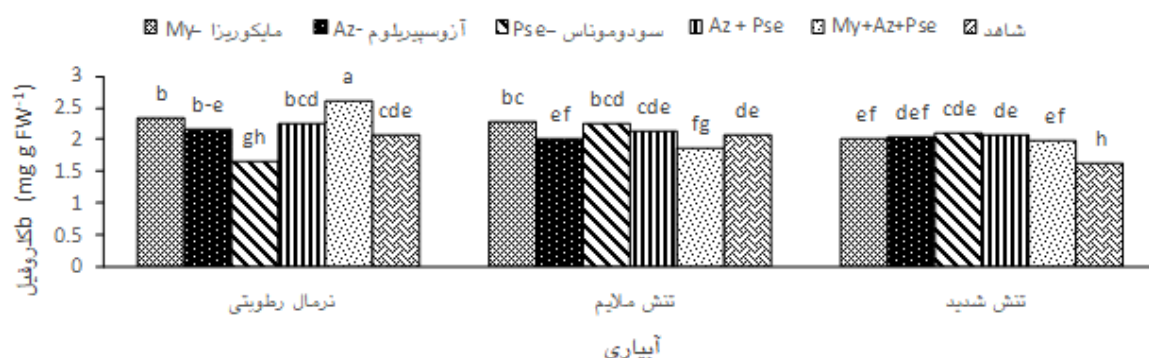
محتوای کلروفیل a را به ترتیب ۳۱/۲۷ و ۲۲/۱۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۲).

کلروفیل b

نتایج مقایسات میانگین ها (جدول ۲) نشان داد که گیاهان تیمار شده با My+Az+Pse تحت شرایط نرمال رطوبتی حداکثر محتوای کلروفیل را با متوسط $mg\ g\ FW^{-1}$ ۲/۶۱ تولید کردند. حداقل محتوای کلروفیل b با میانگین ۱/۶۲ و ۱/۶۶ $mg\ g$ مربوط به تیمارهای شاهد تحت شرایط تنش شدید و تیمار با Pse در شرایط تنش ملایم بود. در این بررسی شرایط تنش ملایم و تنش شدید محتوی کلروفیل b را در مقایسه با شرایط نرمال رطوبتی به ترتیب ۱۰/۸۴ و ۵/۰۸ درصد کاهش داد. نتایج نشان داد تحت شرایط نرمال رطوبتی، تیمار با My+Az+Pse محتوای کلروفیل b را در مقایسه با شاهد به مقدار ۲۶/۰۶ درصد افزایش داد. تحت شرایط تنش ملایم، گیاهان تیمار شده با My مزیت قابل توجهی نسبت به تیمار شاهد مربوطه نشان می دهند. اگرچه محتوای کلروفیل b در شرایط تنش شدید کمبود آب کاهش یافت، اما تیمار با Pse، AZ + Pse، My+Az+Pse و My+Az+Pse محتوای کلروفیل b را به ترتیب ۲۵/۹۲، ۲۹/۰۱، ۲۷/۷۷ و ۲۰/۹۸ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۳).



شکل ۲- مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر محتوای کلروفیل a در زوفا



شکل ۳ - مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر محتوای کلروفیل b در زوفا

در مطالعات قبلی ژو و همکاران (۲۰۱۷) و هاشم و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داده شده است. گزارش شده است تلقیح میکوریزا می‌تواند سطح کلروفیل را با افزایش محتوای فسفر، نیتروژن و منیزیم، که برای جذب CO₂ ضروری هستند، افزایش دهد (عزیزی و همکاران ۲۰۱۸).

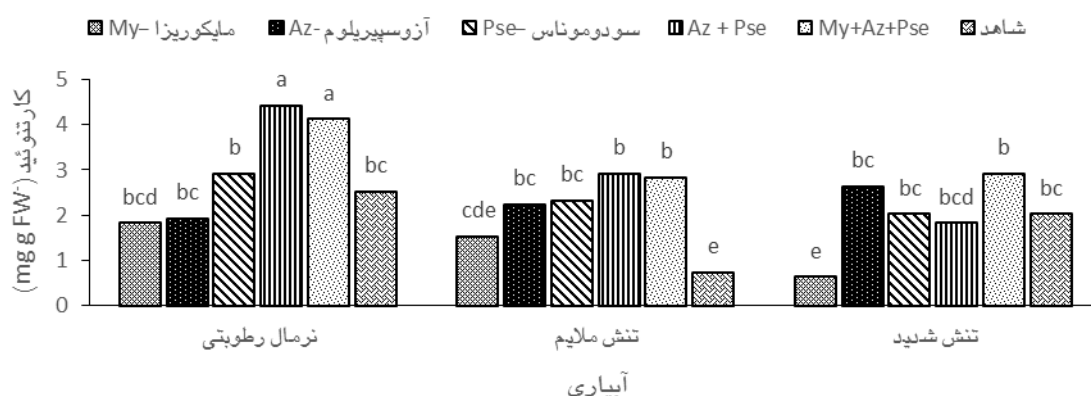
کارتونوئید

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تیمار با Az + Pse و My + Az + Pse به ترتیب با متوسط ۴/۴۶ و ۴/۱۵ mg g FW⁻¹ تحت شرایط نرمال رطوبتی بالاترین محتوای کارتونوئید را به خود اختصاص دادند، با این وجود گیاهان تیمار شده با My تحت شرایط تنش شدید با متوسط ۰/۶۳ mg g FW⁻¹ کمترین محتوای کارتونوئید را به خود اختصاص داد، اختلاف بین تیمار ذکر شده با شاهد و My تحت شرایط تنش متوسط قابل توجه نبود. نتایج نشان داد در شرایط تنش ملایم و تنش شدید، محتوای کارتونوئید به ترتیب ۴۹/۹۴ و ۴۱/۹۷ درصد در مقایسه با شرایط نرمال رطوبتی کاهش یافت (شکل ۴). در این مطالعه، تیمار با Az + Pse و My + Az + Pse میزان کارتونوئید را تحت شرایط نرمال رطوبتی به میزان ۷۶/۲۸ و ۶۴/۰۳ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. تحت شرایط تنش ملایم، تیمار با Az + Pse، Pse، Az + Pse و My + Az + Pse محتوای کارتونوئید را در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱۸۵/۸۹، ۱۹۶/۱۵، ۲۷۴/۳۵ و ۲۶۵/۳۸ درصد افزایش دادند. همچنین در شرایط تنش شدید، تیمارهای کود

فتوسنتز یک فرآیند گیاهی حیاتی است که می‌تواند تحت تأثیر شرایط استرس زا قرار گیرد و مستقیماً بر رشد گیاه و زیست توده تأثیر بگذارد (قربانی و همکاران ۲۰۱۹). یکی از دلایل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط محدود آب، کمبود عناصر ضروری مورد نیاز برای سنتز رنگدانه‌های است (عبدالبلر و همکاران ۲۰۱۹). مطالعه شریفی و همکاران (۲۰۱۷) نیز ثابت کرده است که رنگدانه‌های فتوسنتزی در زوفا به دلیل استرس کم‌آبی کاهش می‌یابد. تنش خشکی منجر به کاهش محتوای کلروفیل به دلیل تخریب غشاهای تیلاکوئید کلروپلاست و افزایش فوتواکسیداسیون کلروفیل به واسطه تنش اکسیداتیو می‌شود (تشکرزاده و همکاران ۲۰۲۲؛ آهنگری ۲۰۱۶). تحقیقات روی گیاه دارویی فرنجمشک (*Melissa officinalis* L) نشان داد که تنش کمبود آب اثر مخربی بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و کارتونوئیدها داشت با این حال، تیمار با باکتری‌های محرک رشد و میکوریزا محتوای این رنگدانه‌ها را در شرایط تنش خشکی بازیابی کرد (عشقی گرجی و همکاران ۲۰۲۲). گولر و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که تیمار با باکتری‌های محرک رشد رنگدانه‌های فتوسنتزی را با کاهش تنش اکسیداتیو بهبود بخشید، و سازگاری گیاه را با شرایط کمبود آب افزایش داد. گزارش شده است که تلقیح میکوریزا در شرایط تنش خشکی باعث افزایش جذب منیزیم، بهبود رشد گیاه و محتوای کلروفیل می‌شود (ال-ارجانی و همکاران ۲۰۲۰). افزایش سنتز کلروفیل در اثر تیمار با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار

گیاهان تحت تنش خشکی، از دستگاه فتوسنتزی محافظت کردند که می‌تواند رشد گیاه را تحت تنش خشکی بهبود بخشد (هاشم و همکاران ۲۰۱۸). گزارش شده است که تیمار با $AMF + BC$ باعث بهبود محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان اسطوخودوس در شرایط کمبود آب شد (حقانینا و همکاران ۲۰۲۴).

زیستی از نظر محتوای کاروتنوئید برتری معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. یکی از حیاتی‌ترین عملکردهای کاروتنوئیدها محافظت از ساختار فتوسنتزی گیاه است. در این آزمایش، محتوای کاروتنوئید واکنش مثبتی به تیمارهای تلقیح نشان داد. می‌توان اظهار داشت تیمار Pse ، $Az + Pse$ ، Az و $My + Az + Pse$ با بازیابی رنگدانه‌های فتوسنتزی در



شکل ۴ - مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر محتوای کاروتنوئید در زوفا

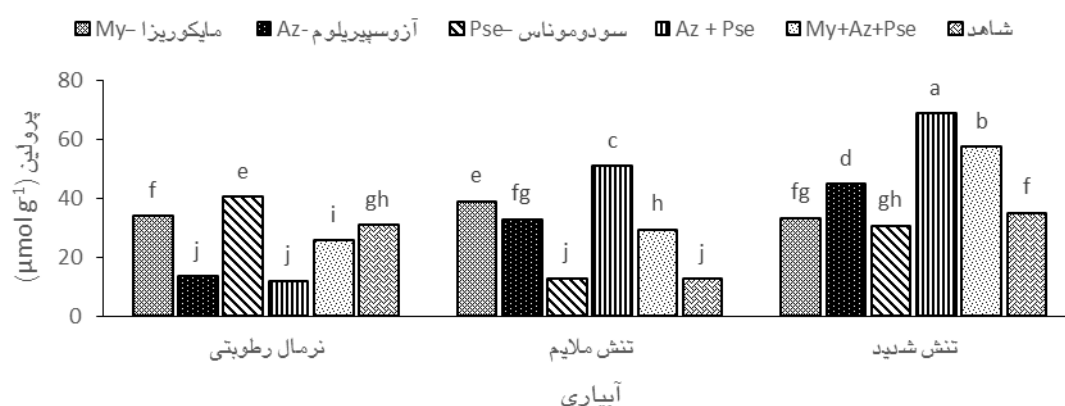
پرولین

در این مطالعه گیاهان تیمار شده با $Az + Pse$ تحت شرایط تنش شدید کمبود آب بالاترین محتوای پرولین را با متوسط $68/95 \mu\text{mol g}^{-1}\text{FW}$ کسب کردند. حداقل محتوای پرولین برای تیمارهای Az و $Az + Pse$ تحت شرایط نرمال رطوبتی و تیمارهای Pse و کنترل تحت شرایط تنش ملایم به ترتیب با متوسط $15/99$ و $12/76$ $\mu\text{mol g}^{-1}\text{FW}$ ثبت شد. نتایج نشان داد محتوای پرولین در گیاهان رشد یافته تحت شرایط تنش شدید در مقایسه با شرایط نرمال رطوبتی و تنش ملایم افزایش $72/36$ و $51/17$ درصدی نشان دادند. تحت شرایط نرمال رطوبتی، تیمار با MY و PSE محتوای پرولین را به ترتیب $9/90$ و $31/06$ درصد در مقایسه با شاهد مربوطه افزایش داد. تحت این شرایط، تیمار $Az + Pse$ ، Az و $My + Az + Pse$ محتوای پرولین را به ترتیب $55/83$ ، $60/87$ و $16/61$ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. کاربرد MY ، Az و $Az + Pse$ و $My + Az + Pse$ تحت شرایط تنش

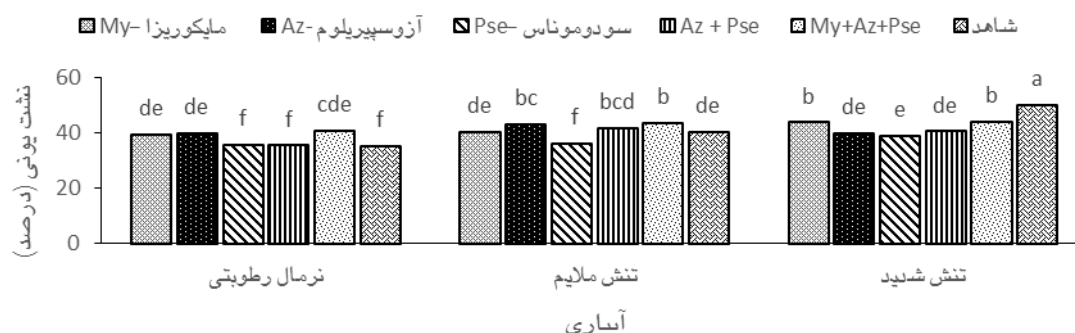
ملایم قادر به افزایش محتوای پرولین نسبت به تیمار شاهد به نسبت $25/16$ ، $158/32$ ، 300 و $131/82$ درصد شدند (شکل ۵). در این مطالعه کرت‌های تیمار شده با Az ، $Az + Pse$ و $My + Az + PSE$ تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی، محتوای پرولین را به ترتیب $27/45$ ، $95/38$ و $63/32$ درصد نسبت به شاهد مربوطه افزایش دادند. گیاهان ترکیبات اسمزی مانند پرولین را برای حفظ تعادل آب و انطباق با استرس، مانند خشکسالی، انباشته می‌کنند (قربانی و همکاران، ۲۰۱۸). علاوه بر تنظیم اسمزی، تجمع پرولین از غشاهای پروتئین‌ها در برابر استرس اکسیداتیو ناشی از تنش‌های غیرزیستی محافظت می‌کند. تجمع پرولین در سیتوپلاسم بسته به مرحله رشد گیاه و شدت خشکی نشان دهنده شرایط تنش در گیاه است (قربانی و همکاران، ۲۰۲۰). افزایش غلظت سیتوپلاسمی پرولین به سلول‌ها در جذب آب، حفظ تعادل اسمزی و کاهش سطح یون سمی کمک می‌کند. تلقیح با $PGPR$ می‌تواند با افزایش محتوای پرولین بر ظرفیت تنظیم اسمزی تأثیر بگذارد. این منجر به

تلقیح با PGPR محتوای پرولین سبب زمینی را به صورت معنی داری افزایش داد (باتول و همکاران، ۲۰۲۰). در تحقیقی بر روی گیاه افدرا (*Ephedra*) تلقیح گیاه با مایکوریزا موجب افزایش پرولین در گیاه شد (الارجانی و همکاران ۲۰۲۲).

افزایش شیب پتانسیل آب می‌شود که جذب آب و رشد گیاه را در شرایط استرس‌زا افزایش می‌دهد (رشید و همکاران، ۲۰۲۲؛ اصغری و همکاران، ۲۰۲۳). افزایش محتوای پرولین تحت تیمار PGPR در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (یاسمین و همکاران، ۲۰۲۲، احمد و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه‌ای بر روی سبب زمینی



شکل ۵. مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر محتوای پرولین در زوفا



شکل ۶. مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر درصد نشت یونی در زوفا

وزن تر کل

نتایج حاکی از آن بود که تیمار با Pse و تحت شرایط نرمال رطوبتی با متوسط ۴۳۶/۲۸ گرم در گیاه بیشترین وزن تر گیاه را تولید کرد، در مقابل گیاهان تیمار شده با My در شرایط تنش شدید کمترین وزن تر را با متوسط ۱۶۰/۶۷ گرم در گیاه تولید کردند. در این مطالعه، گیاهان رشد یافته در شرایط تنش ملایم و تنش شدید نسبت به شرایط نرمال رطوبتی به ترتیب کاهش معادل ۲۸/۳۸ و ۶۳/۶۹ درصد در وزن تر کل نشان دادند. نتایج همچنین نشان داد که در شرایط

نرمال رطوبتی و تنش ملایم کاربرد تیمارهای My (۸۱/۱۹ و ۶۸/۳۲ درصد)، AZ (۸۵/۰۷ و ۶۲/۰۰ درصد)، PSE (۹۴/۰۳ و ۷۸/۳۳ درصد)، AZ + Pse (۴۷/۶۵ و ۳۴/۵۷ درصد) و MY+AZ + PSE (۲۴/۶۸ و ۲۴/۲۲ درصد) به صورت معنی‌داری بر وزن تر کل در مقایسه با شاهد افزود. در شرایط تنش شدید تیمارهای Pse و My+Az+Pse وزن تر کل را در مقایسه با شاهد به ترتیب ۴۰/۴۵ و ۱۲/۰۱ درصد افزایش دادند (شکل ۷). کاهش ویژگی‌های رویشی و زیست توده در زوفا ممکن است به دلیل کمبود مواد

AMF اثر مخرب تنش خشکی بر رشد گیاه و زیست توده را تعدیل کرد (عشقی کرجی و همکاران ۲۰۲۲). در تحقیقات جداگانه، استفاده از قارچ میکوریز به طور مثبت ویژگی های رشد مرزه سهندی (*Satureja* (*sahendica* Bornm) را تحت شرایط تنش کمبود آب بهبود بخشید (ذاکریان و همکاران ۲۰۲۰). در مطالعه دیگری، تیمار بذر گندم با ریزوباکتری ها باعث افزایش مثبت زیست توده گیاهی در شرایط کمبود آب شد (قربانی و همکاران ۲۰۱۹). نتایج این آزمایش نشان داد استفاده ترکیبی از PGPR با MY برتری قابل توجهی نسبت به استفاده از هر تیمار جداگانه از نظر تأثیر آنها بر ویژگی های رشد گیاه زوفا نشان نداد.

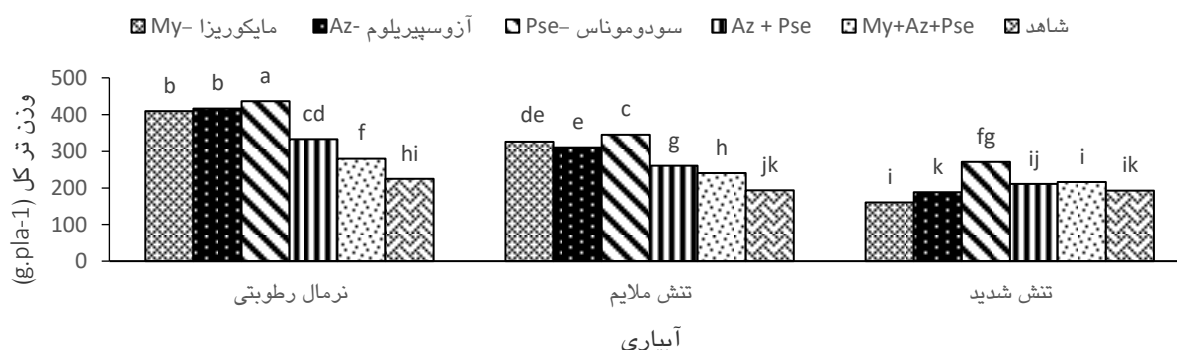
محتوی عناصر برگ

نیتروژن

مشخص شد که استفاده از My+Az+Pse در شرایط تنش ملایم و استفاده از Az + Pse، My و Pse تحت شرایط نرمال رطوبتی بیشترین میزان نیتروژن برگ به ترتیب با متوسط ۲/۸۷، ۲/۷۵، ۲/۷۳ و ۲/۷۲ درصد به خود اختصاص دادند. کمترین میزان نیتروژن برگ با میانگین ۱/۵۵، ۱/۵۷ و ۱/۶۷ درصد مربوط به تیمارهای Pse، My+Az+Pse و Az+Pse تحت شرایط تنش شدید کم آبی بود. در این مطالعه، محتوای نیتروژن برگ در گیاهان رشد یافته تحت شرایط نرمال رطوبتی و تنش ملایم ۳۷/۷۰ و ۳۷/۵۰ درصد نسبت به شرایط تنش شدید بالاتر بود. نتایج نشان داد که کاربرد My+Az+Pse، Az + Pse، Pse، Az، my و My+Az+Pse محتوی نیتروژن را در شرایط نرمال رطوبتی نسبت به شاهد به ترتیب ۳۴/۶۵، ۱۲/۳۷، ۳۴/۶۵، ۳۶/۱۳ و ۲۳/۷۶ درصد افزایش داد. در شرایط تنش ملایم، تنها تیمار با My+Az+Pse توانست به صورت معنی داری محتوای نیتروژن را به نسبت ۱۵/۷۲ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد. در نهایت، تحت شرایط تنش شدید تیمارهای My، Az، My+Az+Pse و محتوای نیتروژن را به ترتیب به مقدار ۳۵/۰۳، ۱۳/۳۷ و ۳۵/۶۷ درصد افزایش دادند (شکل ۸).

مغذی در دسترس ناشی از اثرات کمبود آب بر جریان جرمی نیتروژن، فسفر و آزادسازی پتاسیم باشد (سلطاننیک و همکاران ۲۰۲۱) کاهش عملکرد زیست توده در اثر تنش کمبود آب در گیاهان دارویی آویشن (بیستگانی و همکاران ۲۰۱۷)، خرفه (ساحری و همکاران ۲۰۲۰)، رزماری (عباس زاده و همکاران ۲۰۲۰) و ملیسا (عشقی کرجی و همکاران ۲۰۲۲) در مطالعات قبلی به اثبات رسیده است. در مطالعه ای بر روی زوفا، مشخص شد که تنش خشکی با تشدید تنش اکسیداتیو منجر به کاهش وزن تر و خشک شد (شریفی و همکاران ۲۰۱۷).

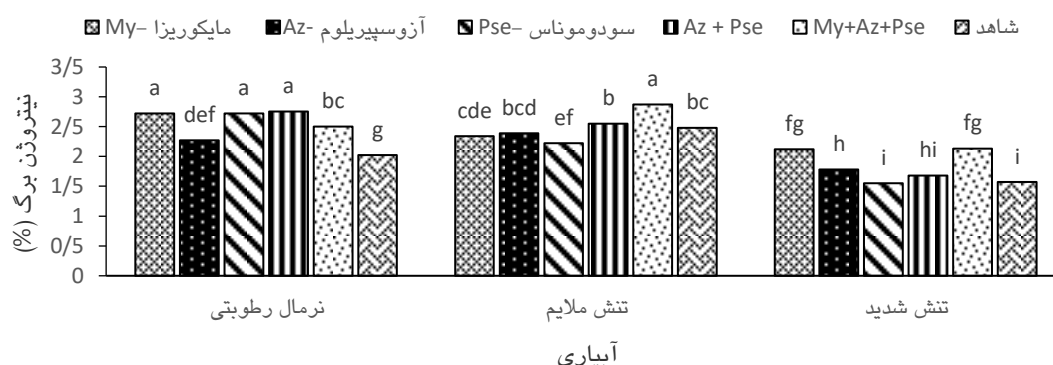
همانطور که ذکر شد، تیمارهای تلقیح، به ویژه Pse و My+Az+Pse، ویژگی های رویشی و زیست توده زوفا را در شرایط تنش ملایم و تنش شدید کم آبی بهبود بخشیدند. اثر مثبت باکتری های محرک رشد بر رشد گیاه ممکن است به افزایش فعالیت آنزیم ACC دی آمیناز (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) و کاهش سطح اتیلن در گیاه باشد، باکتری های محرک رشد با حفظ ساختار غشایی کلروپلاست، تیلاکوئید و بهبود کارایی مصرف آب به افزایش تحمل و رشد گیاه در طول تنش کمبود آب کمک می کند (زانگ و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر این، باکتری های محرک رشد از طریق مکانیسم های مختلف، از جمله تغییرات در مورفولوژی سیستم ریشه، تولید هورمون گیاهی، پلی ساکاریدهای خارج سلولی، مواد شیمیایی فرار و تجمع اسمولیت ها، تحمل به خشکی گیاه را افزایش می دهد (سینگ و همکاران ۲۰۲۱). گزارش شده است که تلقیح با قارچ های میکوریزا رشد گیاه خرنوب (*Ceratonia L. siliqua*) را در شرایط کم آبی با افزایش عملکرد دستگاه فتوسنتزی، افزایش ضریب هدایت روزنه ای، بهبود شرایط آب در داخل گیاه و افزایش جذب مواد مغذی افزایش داد (بوتاسکنیت و همکاران ۲۰۲۰). علاوه بر این، میکوریزا غلظت اسید آبسازیک را در ریشه ها افزایش می دهد، این فرآیند باعث کاهش اتلاف آب، بهبود تورگ سلولی و در نهایت افزایش رشد می شود (ذاکریان و همکاران، ۲۰۲۰). در تحقیقی بر روی بادرنجبویه، استفاده از تیمارهای PGPR + و PGPR



شکل ۷، مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر محتوی پروتئین در زوفا

دهند. کاهش جذب مواد مغذی منجر به انتقال موثر مواد مغذی در بافت‌های گیاهی می‌شود و باعث توقف رشد و کندتر شدن فرآیندهای بیوشیمیایی می‌شود (آهنگری و همکاران ۲۰۱۶). تنش آبی معدنی سازی نیتروژن خاک را کاهش می‌دهد و بر جذب نیترات و فعالیت نیترات ردوکتاز در گیاهان تأثیر می‌گذارد (لیو و همکاران ۲۰۲۲).

نیتروژن ساختار کلروفیل را تقویت می‌کند و منجر به بهبود تولید رنگدانه فتوسنتزی می‌شود (فاسکلا و همکاران ۲۰۲۰؛ برون و همکاران ۲۰۲۲). گیاهان تحت تنش خشکی ممکن است جذب مواد مغذی را به دلیل کاهش نرخ تعرق کاهش دهند. علاوه بر این، هنگامی که رطوبت خاک کم است، روزنه‌ها بسته می‌شوند و تعرق و در نتیجه جریان آب و مواد مغذی را کاهش می‌دهند.



شکل ۸، مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر محتوی نیتروژن برگ در زوفا

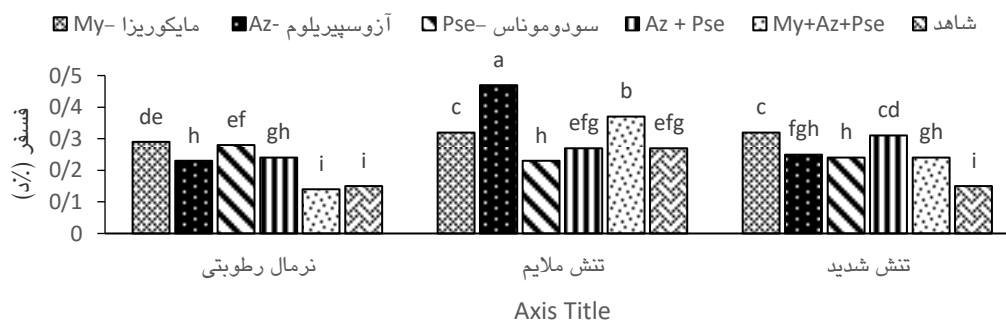
فسفر

استفاده از My (۹۳/۳۳ درصد)، Az (۵۳/۳۳ درصد)، Pse (۸۶/۶۶ درصد) و Az + Pse (۶۰/۰۰ درصد) به صورت قابل توجهی محتوی فسفر برگ را در مقایسه با شاهد بهبود بخشیدند. تحت شرایط تنش ملایم کاربرد My (۱۸/۵۱ درصد)، Az (۷۴/۰۷ درصد)، My+Az+Pse (۳۷/۳ درصد) نیز قادر به بهبودی قابل توجه محتوی فسفر در برگ گیاه زوفا شدند. در نهایت، در شرایط تنش شدید، My (۱۳۳/۳۳ درصد)، Az

در بین تیمارهای مورد بررسی، حداکثر میزان فسفر برگ با میانگین ۰/۴۷ درصد به تیمار Az تحت شرایط تنش ملایم اختصاص یافت. حداقل مقدار فسفر برگ به ترتیب با متوسط ۰/۱۴، ۰/۱۵ و ۰/۱۵ درصد برای تیمارهای My+Az+Pse و شاهد تحت شرایط نرمال رطوبتی و شاهد تحت شرایط تنش شدید ثبت شد. مقایسه مقایسه نشان داد که در شرایط نرمال رطوبتی،

برتری قابل توجهی نسبت شاهد مربوطه نشان دادند (شکل ۹).

Az + Pse (۶۶/۶۶ درصد)، Pse (۶۰/۰۰ درصد)، My + Az + Pse (۱۰۶/۶۶ درصد) و (۶۰/۰۰ درصد)



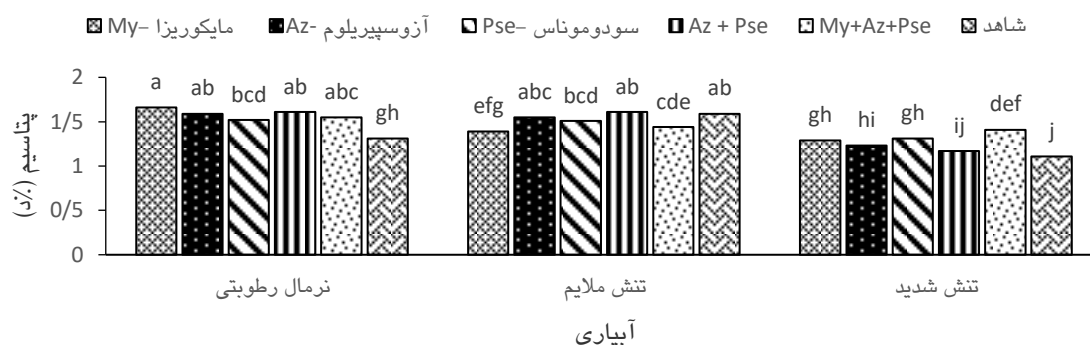
شکل ۹. مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر درصد فسفر برگ در زوفا

پتاسیم

هنگام کمبود آب به دلیل آسیب غشا و به هم خوردن تعادل یونی، سطح پتاسیم را کاهش می دهند. سطوح پایین پتاسیم باعث می شود گیاهان در برابر تنش آبی مقاومت کمتری داشته باشند (تدین و همکاران ۲۰۱۸). پتاسیم در تعادل آب، تنظیم اسمزی و حرکات روزنه نقش مهمی دارد و مقاومت گیاه در برابر خشکی را تقویت می کند (صالحی لیسار و بخشایشیان ۲۰۱۶).

در تحقیقی تنش خشکی باعث کاهش جذب عناصر غذایی در اسطوخودوس شد که می تواند به دلیل کاهش فعالیت میکروبی تجزیه مواد آلی باشد که در نهایت منجر به کاهش دسترسی گیاه به مواد مغذی می شود (حقانی نیا و همکاران ۲۰۲۴). در مطالعه اصلانی و همکاران (۲۰۲۳) تنش خشکی باعث کاهش محتوای عناصر غذایی در مریم گلی می شود. گزارش شده است که تیمار با میکوریزا با افزایش سطح ریشه و آزادسازی فسفات یا اسیدهای آلی، محتوای مواد مغذی را در تنش خشکی بهبود می بخشد (ما و همکاران ۲۰۲۲). به همین ترتیب، آرپناهی و همکاران (۲۰۲۰) بیان کرد که کاربرد میکوریزا با افزایش اسیدیته در اطراف ریزوسفر ریشه و با آزاد کردن یون های H⁺، دسترسی به مواد مغذی را بهبود می بخشد.

نتایج نشان داد که استفاده از تیمار My تحت شرایط نرمال رطوبتی دارای حداکثر میزان پتاسیم برگ با میانگین ۱/۶۶ درصد بود. بین تیمار مذکور با Az، Az + Pse و My + Az + Pse در شرایط نرمال رطوبتی و تیمارهای Az، Az + Pse و شاهد در شرایط تنش ملایم تفاوت معنی داری وجود نداشت. تحت شرایط تنش شدید، تیمار شاهد و Az + Pse به ترتیب با میانگین ۱/۱۷ و ۱/۱۱ درصد کمترین میزان پتاسیم برگ را داشتند. در این آزمون، شرایط کمبود آب محتوای پتاسیم برگ را ۲۲/۸۷ و ۲۰/۸۷ درصد در مقایسه با شرایط نرمال رطوبتی و تنش ملایم کاهش داد. در این آزمایش تحت شرایط نرمال رطوبتی تیمارهای My، Az، Pse، Az + Pse و My + Az + Pse محتوای پتاسیم را به ترتیب ۲۶/۷۱، ۲۱/۳۷، ۱۶/۰۳، ۲۲/۹۰ و ۱۸/۳۲ درصد افزایش دادند. تحت شرایط تنش شدید، استفاده از My، Az، Pse و My + Az + Pse محتوای پتاسیم را به ترتیب ۱۶/۲۱، ۱۰/۸۱ و ۱۸/۰۱ و ۲۷/۰۲ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دادند، تحت شرایط تنش ملایم اختلاف بین تیمارهای کود زیستی از نظر محتوای پتاسیم معنی دار نبود (شکل ۱۰). بسیاری از گیاهان در



شکل ۱۰، مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر محتوی پتاسیم برگ در زوفا

درصد اسانس

نتایج نشان داد که گیاهان رشد کرده تحت تیمار Ms و Pse تحت شرایط تنش ملایم با متوسط ۱/۴۵ درصد بالاترین درصد اسانس را به خود اختصاص داد. تفاوت بین تیمارهای مذکور با تیمارهای Az و Pse تحت شرایط نرمال رطوبتی، و کاربرد Pse، My و شاهد در شرایط تنش ملایم و تیمارهای Pse، My و Az + Pse تحت شرایط تنش شدید معنی‌دار نبود. کمترین درصد اسانس با متوسط ۱/۱۱ درصد مربوط به تیمار Az تحت شرایط تنش شدید بود که پس از آن تیمارهای My، Az + Pse، My + Az + Pse و شاهد تحت شرایط نرمال رطوبتی، تیمار Az + Pse و Pse تحت شرایط تنش ملایم و My + Az + Pse و شاهد تحت شرایط تنش شدید قرار گرفتند. بیشترین درصد اسانس در واکنش به شرایط تنش ملایم مشاهده شد. در این مطالعه تیمار با Az و Pse توانست درصد اسانس را در شرایط نرمال رطوبتی به میزان ۱۰/۳۴ و ۲۰/۶۸ درصد نسبت به شاهد مربوطه افزایش دهد. تحت شرایط تنش شدید، استفاده از My، Az + Pse و My + Az + Pse درصد اسانس را به ترتیب ۱۳/۰۴، ۱۵/۶۵ و ۱۳/۹۱ درصد در مقایسه با شاهد مربوطه افزایش دادند (شکل ۱۱).

تیمارهای کود زیستی از نظر درصد اسانس قابل توجه نبود. افزایش درصد اسانس در شرایط کمبود آب ممکن است به افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در پاسخ به کمبود آب نسبت داده شود. گیاهان متابولیت‌های ثانویه را برای سازگاری با محیط‌های نامساعد و حفظ عملکردهای ضروری تولید می‌کنند (آرپناهی و همکاران ۲۰۲۰). در راستای تحقیقات ما، حداکثر درصد اسانس و عملکرد روغن در اسطوخودوس تحت کمبود آب ملایم به دست آمد. گزارش شده است که درصد اسانس در شرایط کم آبی شدید به دلیل تخصیص منابع فتوسنتزی برای تولید تنظیم اسمزی و قند کاهش می‌یابد (حقانی نیا و همکاران ۲۰۲۳).

مطالعات قبلی تأثیر مثبت کمبود آب را بر افزایش درصد اسانس‌هایی مانند *Cuminum cyminum* L (علینیان و همکاران، ۲۰۱۶) و *Pelargonium odoratissimum* (خالک و همکاران، ۲۰۱۰) ثابت کرده است. در تحقیقات جداگانه، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و میکوریزا باعث افزایش درصد اسانس در گیاهانی مانند *Satureja* (ذاکریان و همکاران ۲۰۲۰)، *Rosmarinus officinalis* L. (بیدگی و همکاران ۲۰۱۹) و زوفا (شریفی و همکاران ۲۰۱۷) شد.

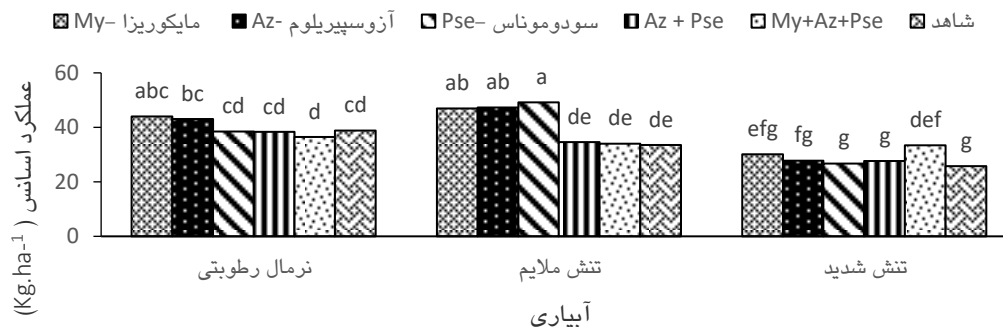


شکل ۱۱، مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر درصد اسانس در زوفا

عملکرد اسانس

مقایسات میانگین تیمارها نشان داد گیاهان تیمار شده با Pse تحت شرایط تنش ملایم با متوسط $49/26 \text{ Kg ha}^{-1}$ بالاترین عملکرد اسانس را به خود اختصاص داد. اختلاف بین تیمارهای مذکور با تیمار My و Az تحت شرایط تنش ملایم و تیمار MY تحت شرایط نرمال رطوبتی معنی دار نبود. کمترین عملکرد اسانس به ترتیب با متوسط $25/76$ ، $26/67$ ، $27/63$ ، $27/74$ و $30/14 \text{ Kg ha}^{-1}$ برای تیمارهای شاهد، Pse، Az + Pse و My تحت شرایط تنش شدید ثبت شد. در این تحقیق قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش شدید کمبود آب باعث کاهش عملکرد اسانس به ترتیب به میزان $39/59$ و $43/43$ درصد نسبت به شرایط نرمال رطوبتی و تنش ملایم شد. نتایج نشان داد که استفاده از My و Az تحت شرایط نرمال رطوبتی باعث افزایش عملکرد اسانس به میزان $4/25$ و $4/23$ کیلوگرم در هکتار (معادل $13/45$ و $10/90$ درصد) نسبت به شاهد مربوطه شد. تحت شرایط تنش ملایم، تیمار با AZ و Pse عملکرد اسانس را به میزان $13/96$ و $15/66$ کیلوگرم در هکتار (معادل $40/77$ و $46/66$ درصد) نسبت به شاهد افزایش داد. در نهایت، اعمال My+Az+Pse در شرایط تنش شدید کمبود آب موجب افزایش عملکرد اسانس به میزان $7/63$ کیلوگرم در

هکتار (معادل $22/85$ درصد) نسبت به شاهد شد (شکل ۱۲). گزارش شده است که تلقیح با میکوریزا جذب مواد مغذی را افزایش دهد و منجر به تولید کربوهیدرات بیشتر و گسترش تریکوم های غده ای و مجاری ترشعی شود که موجب افزایش درصد اسانس و بازده اسانس را توضیح می دهد (قنبرزاده و همکاران ۲۰۱۹؛ نتو و همکاران ۲۰۲۳). در مطالعه ای روی ریحان (*Ocimum basilicum* L)، بیشترین عملکرد و درصد اسانس با کاربرد قارچ میکوریزای به دست آمد (یلماز و همکاران ۲۰۲۲). در مطالعه ای دیگر تلقیح با باکتری های محرک رشد باعث افزایش زیست توده اندام هوایی و ریشه و سطح برگ شد (نتو و همکاران، ۲۰۲۳؛ دل-روساریو و همکاران ۲۰۱۵) باکتری های محرک رشد دارای خواص مختلفی از جمله تثبیت نیتروژن، حل شدن فسفات، تولید ایندول-۳-استیک اسید (IAA) و سیدروفورها می باشد. این تلقیح به طور قابل توجهی بر عملکرد کل اسانس، ترکیب شیمیایی و بیوسنتز اجزای اسانس در گیاهان دارویی و معطر تأثیر می گذارد (چامخی و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعات قبلی اثرات مثبت تلقیح با باکتری های محرک رشد را بر عملکرد اسانس در ریحان و مرزه (*Satureja hortensis*) (خالدیان و همکاران ۲۰۲۱)، و گیاه *Lippia palmeri* (مندز مایوکا و همکاران ۲۰۲۱)، مستند کردند.

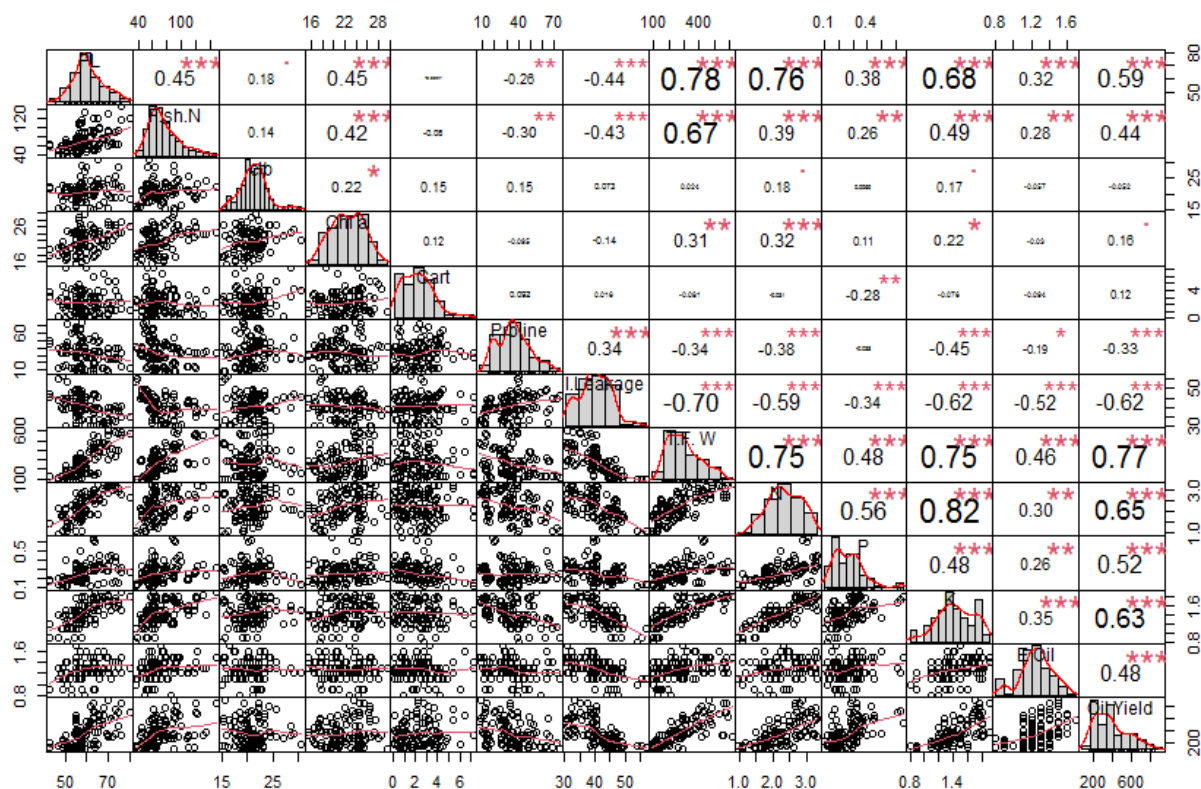


شکل ۱۲-مقایسه میانگین تیمارهای برهمکنش آبیاری با تلقیح با کود زیستی از نظر اثر بر عملکرد اسانس در زوفا

همبستگی بین صفات

نظر به اینکه عملکرد اسانس مهمترین و اقتصادی ترین در گیاهان دارویی است، در این آزمایش به ارتباط صفات مورد بررسی با عملکرد اسانس پرداخته شد. نتایج نشان داد عملکرد اسانس با درصد اسانس ($P < 0.01$)، محتوی نیتروژن، فسفر پتاسیم برگ ($P < 0.01$)، وزن تر کل ($P < 0.01$)، محتوی کلروفیل a ($P < 0.05$)، تعداد شاخه گلدهند ($P < 0.01$) و ارتفاع بوته ($P < 0.01$) همبستگی مثبت و معنی دار و با محتوی پرولین ($P < 0.01$) و نشت یونی ($P < 0.01$) همبستگی منفی و معنی دار داشت. با توجه به اینکه بیوماس گیاهی (وزن خشک گل) و درصد اسانس از اجزای تشکیل دهنده عملکرد اسانس هستند وجود چنین ارتباطی دور از انتظار نبود، نتایج نشان داد همبستگی درصد اسانس با محتوی نیتروژن ($P < 0.01$)، فسفر ($P < 0.01$) و پتاسیم برگ ($P < 0.01$) وزن تر کل مثبت و معنی دار بود، می توان نتیجه گرفت بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش رشد رویشی موجب افزایش درصد اسانس شده و از این طریق اثر این صفات اثر مثبتی بر عملکرد اسانس نشان داده اند، از طرفی دیگر همبستگی درصد اسانس با محتوی پرولین ($P < 0.05$) و نشت یونی ($P < 0.01$) منفی و معنی دار بود، می توان

اظهار داشت هر عاملی که موجب کاهش محتوی پرولین و نشت یونی در گیاه زوفا شود، درصد اسانس و به دنبال آن عملکرد اسانس را افزایش داده است. درصد اسانس همبستگی مثبتی با وزن تر کل داشت، اسانس زوفا از قسمت رویشی استحصال می شود، وزن تر کل نیز در این مطالعه با صفات محتوی نیتروژن ($P < 0.01$)، فسفر ($P < 0.01$) و پتاسیم برگ ($P < 0.01$)، محتوی کلروفیل a ($P < 0.01$)، تعداد شاخه جانبی ($P < 0.01$) و ارتفاع بوته ($P < 0.01$) داشت، می توان نتیجه گرفت افزایش هر یک از صفات مذکور زمینه را برای افزایش وزن تر کل و در نهایت عملکرد اسانس فراهم می آورد. همچنین با افزایش پرولین و نشت یونی از وزن تر کل کاسته شد، که بیانگر اثر منفی دو صفت مذکور بر وزن تر کل هستند. بنابراین می توان نتیجه گرفت تلقیح با باکتریه های محرک رشد و میکوریزا از طریق بهبود خصوصیات رویشی، بهبود جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر پتاسیم، افزایش غلظت رنگدانه های فتوسنتزی در سطوح مختلف آبیاری عملکرد اسانس را افزایش داده اند، همچنین این تیمارها از طریق القای سنتز پرولین تحمل گیاه به تنش کمبود آب را افزایش داده و مقدار نشت یونی را کاهش داده اند.



شکل ۱۳، ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در گیاه زفا تحت تأثیر تلقیح با کودهای زیستی و سطوح مختلف آبیاری - PL-ارتفاع بوته، Fsh. N- تعداد شاخه گلدهنده، Cla- کلروفیل a، Clb- کلروفیل b، Cart- کارتنوئید، Proline- پرولین، I. leakage- نشت یونی، T.F.W- وزن تر کل، N- نیتروژن برگ، P- فسفر برگ، K- پتاسیم برگ، E.Oil- درصد اسانس و Oil Yield- عملکرد اسانس.

*** و ** به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ۱ هزار آماري

نتیجه گیری کلی

مهمترین و اقتصادی ترین صفت در گیاه زوفا عملکرد اسانس این گیاه است. در این مطالعه گیاهان تیمار شده با Pse و My تحت شرایط تنش ملایم حداکثر عملکرد اسانس را تولید کردند. می توان نتیجه گرفت تیمارهای مذکور از طریق بهبود سنتز رنگدانه های فتوسنتزی، بهبود رشد عناصر ضروری غذایی مانند نیتروژن، فسفر پتاسیم موجب بهبود رشد رویشی و سنتز اسانس در سطح تنش ملایم شده اند و همچنین از طریق سنتز پرولین مقاومت گیاه را به تنش کم آبی ارتقاء داده اند بنابراین با کاربرد تلقیح باکتری با کودهای زیستی به خصوص Pse ، My و

My+Az+Pse علاوه بر دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی می توان در مصر آب و دیگر نهاده های تولید صرفه جویی کرده و در جهت کشاورزی پایدار گام برداشت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از تمامی حمایت ها و مساعدت های دانشگاه آزاد اسلامی تبریز جهت فراهم نمودن امکانات مورد نیاز برای اجرای این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

منابع مورد استفاده

- Abbaszadeh B, Layeghhaghighi M, Azimi R and Hadi N .2020. Improving water use efficiency through drought stress and using salicylic acid for proper production of *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 144:111893. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. inder op. 2019. 111893](https://doi.org/10.1016/j.indcr.2019.111893)
- Abd Elbar OH, Farag RE and Shehata SA. 2019. Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.10.001>
- Ahanger MA, Morad-Talab N, Abd-Allah EF, Ahmad P and Hajiboland R. 2016. Plant growth under drought stress: Significance of mineral nutrients. In *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*; Ahmad, P., Ed.; Wiley Blackwell: Weinheim, Germany, 2016; pp. 649–668.
- Ahanger MA, Qi M, Huang Z, Xu X, Begum N, Qin C, Zhang C, Ahmad N, Mustafa NS and Ashraf M. 2021. Improving growth and photosynthetic performance of drought stressed tomato by application of nano-organic fertilizer involves up-regulation of nitrogen, antioxidant and osmolyte metabolism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 216, 112195. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112195>
- Ahmad HM, Fiaz S, Hafeez S, Zahra S, Shah AN, Gul B, Aziz, O, Ur-Rahman M and Fakhar A. .2022.. Plant growth-promoting rhizobacteria eliminate the effect of drought stress in plants: A review. *Frontiers in Plant Science* , 13: 875774. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.875774>
- Al-Arjani AF, Hashem A and Abd-Allah EF .2020. Arbuscular mycorrhizal fungi modulates dynamics tolerance expression to mitigate drought stress in *Ephedra foliata* Boiss. *Journal of Biological Sciences* , 27(1):380– 394. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. sjbs. 2019. 10. 008](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.10.008).
- Alinian S, Razmjoo Jand Zeinali H .2016. Flavonoids, anthocynins, phenolics and essential oil produced in cumin (*Cuminum cyminum* L.) accessions under different irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, 81:49–55. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. inder op. 2015. 11. 040](https://doi.org/10.1016/j.indcr.2015.11.040).
- Alotaibi M,Ikram M, Alotaib N M, Hussain G S , Ghoneim A M. , Younisf U, Naz N and Danish S. 2023. Examining the role of amf-biochar in the regulation of spinach growth attributes, nutrients concentrations, and antioxidant enzymes in mitigating drought stress. *Plant Stress*, 100205. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100205>
- Arpanahi AA, Feizian M, Mehdipourian G, Khojasteh DN. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, 100, 103217. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103217>
- Asghari B, Khademian R and Sedaghati B. 2020.Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) confer drought resistance and stimulate biosynthesis of secondary metabolites in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) under water shortage condition. *Scientia Horticulturae*, 263: 109132. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109132>
- Aslani Z, Hassani A, Mandoulakani BA, Barin M and Maleki R. 2023. Effect of drought stress and inoculation treatments on nutrient uptake, essential oil and expression of genes related to monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*). *Scientia Horticulturae*, 309: 111610. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111610>
- Azeem M, Haider MZ, Javed S, Saleem MH, Alatawi A. 2020. Drought Stress Amelioration in Maize (*Zea mays* L.) by Inoculation of *Bacillus* spp. Strains under Sterile Soil Conditions. *Agriculture : 12*, 50. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010050>
- Azizi S, Kouchaksaraei MT, Hadian J, Abad ARFN, Sanavi SAMM, Ammer C, Bader and MKF. 2021. Dual inoculations of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria boost drought resistance and essential oil yield of common myrtle. *Forest Ecology and Management*, 497: 119478. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119478>

- Babaei K, Moghaddam M, Farhadi N, Pirbalouti AG. 2021. Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. *Scientia Horticulturae* 284: 110116.
- Batool T, Ali S, Seleiman MF, Naveed NH, Ali A, Ahmed K, Abid M, Rizwan M, Shahid MR, Alotaibi M, Al-Ashkar I and Mubushar M. 2020. Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. *Sci Rep* 10:16975. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73489-z>
- Begum N, Xiao Y, Wang L, Li D, Irshad A and Zhao T. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* alleviates drought stress in soybean with overexpressing the GmSPL9d gene by promoting photosynthetic apparatus and regulating the antioxidant system. *Microbiological Research*, 273: 127398. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127398>
- Benelli G, Pavela R, Canale A, Cianfaglione K, Ciaschetti G, Conti F, Nicoletti M, Senthil-Nathan S, Mehlhorn H and Maggi F. 2017. Acute larvicidal toxicity of five essential oils (*Pinus nigra*, *Hyssopus officinalis*, *Satureja montana*, *Aloysia citrodora* and *Pelargonium graveolens*) against the filariasis vector *Culex quinquefasciatus*: Synergistic and antagonistic effects. *Parasitology International*, 66(2):166-171. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2017.01.012>. Epub 2017 Jan 18. PMID: 28110082.
- Bidgoli RD, Azarnezhad N, Akhbari M, Ghorbani M. 2019. Salinity stress and PGPR effects on essential oil changes in *Rosmarinus officinalis* L. *Agriculture & Food Security*, 8:2. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0246-5>. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0246-5>
- Bistgani ZE, Siadat SA, Bakhshandeh A, Ghasemi Pirbalouti A and Hashemi M. 2017. Interactive effects of drought stress and chitosan application on physiological characteristics and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. *Crop Journal*, 5(5):407–415. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.003>.
- Bornø ML, Mueller-Stoeve DS and Liu F. 2022. Biochar modifies the content of primary metabolites in the rhizosphere of well-watered and drought-stressed *Zea mays* L. (maize). *Biology and Fertility of Soils*, 58: 633–647. <https://doi.org/10.1007/s00374-022-01649-6>
- Boutasknit A, Baslam M, Ait-El-Mokhtar M, Anli M, Ben-Laouane R, Douira A, El Modafar C, Mitsui T, Wahbi S and Meddich A. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi mediate drought tolerance and recovery in two contrasting Carob (*Ceratonia siliqua* L.) ecotypes by regulating stomatal, water relations, and (In)organic adjustments. *Plants*, 9:80. <https://doi.org/10.3390/plants9010080>
- Chamkhi, I., Sbabou, L. & Aurag, J. Improved growth and quality of saffron (*Crocus sativus* L.) in the field conditions through inoculation with selected native plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Industrial Crops and Products* 197, 116606 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116606>
- Chandra D, Srivastava R, Glick BR, Sharma AK. 2020. Rhizobacteria producing ACC deaminase mitigate water-stress response in finger millet (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.). *Biotech*, 10: 65. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-2046-4>
- Chiej R. The Macdonald Encyclopedia of Medicinal Plants. London, Macdonald & Co. 1984; P. 274.
- Das, D., Bisht, K., Chauhan, A., Gautam, S., Jaiswal, J.P., Salvi, P., Lohani, P., 2023. Morpho-physiological and Biochemical responses in wheat foliar sprayed with zinc-chitosan-salicylic acid nanoparticles during drought stress. *Plant Nano Biology*, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2023.100034>
- Del Rosario Cappellari, Santoro MV, Reinoso H, Travaglia C, Walter Giordano W and Erika Banchio E. 2015. Anatomical, morphological, and phytochemical effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on peppermint (*Mentha piperita*). *Journal of Chemical Ecology*, 41: 149–158 <https://doi.org/10.1007/s10886-015-0549-y>
- Emami, AD. 1996.. Methods of plant analysis. Volume 1, Publication No. 982, Soil and Water Research Institute. 128 pages.

- Eshaghi Gorgi O, Fallah H, Niknejad H and Barari Tari D. 2022. Effect of Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizal fungi inoculations on essential oil in *Melissa officinalis* L. under drought stress. *Biologia* 77,11–20 <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00919-2>
- Fascella G, Mammano MM, D'Angiolillo F, Pannico A and Roupheal Y. 2020. Coniferous wood biochar as substrate component of two containerized Lavender species: effects on morpho-physiological traits and nutrients partitioning. *Scientia Horticulturae*, 267: 109356. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109356>
- Ghanbarzadeh Z, Mohsenzadeh S, Rowshan V and Moradshahi A. 2019. Evaluation of the growth, essential oil composition and antioxidant activity of *Dracocephalum moldavica* under water deficit stress and symbiosis with *Claroideoglomus etunicatum* and *Micrococcus yunnanensis*. *Scientia Horticulturae*, 256: 108652. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108652>
- Ghorbani A, Ghasemi Omran VO, Razavi SM, Pirdashti H and Ranjbar M. 2019. *Piriformospora indica* confers salinity tolerance on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) through amelioration of nutrient accumulation, K⁺/Na⁺ homeostasis and water status. *Plant Cell Reports*, 38:1151–1163. <https://doi.org/10.1007/s00299-019-02434-w>
- Ghorbani A, Razavi SM, Ghasemi Omran VO and Pirdashti H .2018a. *Piriformospora indica* alleviates salinity by boosting redox poise and antioxidative potential of tomato. *Russian Journal of Plant Physiology*, 65:898–907. <https://doi.org/10.1134/S1021443718060079>
- Ghorbani A, Taftteh M, Roudbari N, Pishkar L, Zhang W, Wu C (2020) *Piriformospora indica* augments arsenic tolerance in rice (*Oryza sativa*) by immobilizing arsenic in roots and improving iron translocation to shoots. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 209:111793. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111793>
- Guler NS, Pehlivan N, Karaoglu SA, Guzel S and Bozdeveci A .2016. *Trichoderma atroviride* ID20G inoculation ameliorates drought stress-induced damages by improving antioxidant defence in maize seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(6):132. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2153-3>
- Haghaninia H, , Javanmard A, Radicetti E, Rasouli F and Sabbatini P. 2024. Adoption of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar for alleviating the agro-physiological response of lavender (*Lavandula angustifolia* L.) subjected to drought stress. *Plant Stress* , 12 : 100461. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100461>
- Haghaninia M, Javanmard A, Mahdavinia GR, Shah, A.A., Farooq, M., 2023. Co-application of biofertilizer and Stress-modulating nanoparticles modulates the physiological, biochemical, and yield responses of Camelina (*Camelina sativa* L.) under limited water supply. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23 (4), 6681–6695. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01521-y>
- Hashem A, Abd-Allah EF, Alqarawi AA, Al-Huqail AA, Wirth S and Egamberdieva D .2016. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardii* under salt stress. *Frontiers in Microbiology*, 7:1089. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01089>
- Khalediyan N, Weisany W and Schenk PM. 2021. Arbuscular mycorrhizae and rhizobacteria improve growth, nutritional status and essential oil production in *Ocimum basilicum* and *Satureja hortensis*. *Industrial Crops and Products*, 160: 113163 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113163>
- Khalid KA, Teixeira da Silva JA and Caic W .2010. Water deficit and polyethylene glycol 6000 affects morphological and biochemical characters of *Pelargonium odoratissimum* L. *Scientia Horticulturae*, 125:159–166. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.009>
- Langeroodi ARS., Mancinelli R and Radicetti, E. 2021 Contribution of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi to sustainable cultivation of sunflower under semi-arid environment. *Field Crops Research* 273, 108292. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108292>
- Lichtenthaler HK. 1987. Chlorophylls and carotenoids. Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148: 350–380. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

- Liu C, Duan N, Chen X, Li H, Zhao X, Duo P, Wang J, Li Q. 2020. Metabolic Pathways Involved in the Drought Stress Response of *Nitraria tangutorum* as Revealed by Transcriptome Analysis. *Forests*, 13: 509. <https://doi.org/10.3390/f13040509>
- Lutts S., Kinet J.M. and Bouhamont J. 1996. NACL-induced senescence leaves of rice cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78: 389-398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>
- Ma W-Y, Qin Q-Y, Zou Y-N, Kuc[˘] a K, Giri B, Wu Q-S, Hashem A, Al-Arjani A-BF, Almutairi KF, Abd Allah EF and Xu Y-J .2022. Arbuscular mycorrhiza induces low oxidative burst in drought-stressed walnut through activating antioxidant defense systems and heat shock transcription factor expression. *Frontiers in Plant Science*, 13:1089420. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1089420>.
- Mendez-Mayboca, E.R. Maribel Plascencia Jatomea M, Francisco Javier Wong Corral CT, Jesús Borboa Flores J, Guerra Contreras KM, Murillo Amador B, Omar Rueda Puente E. 2021. Plant growth promoting halobacteria associated to plant growth promoting halobacteria associated to *Lippia palmeri* (Verbenaceae) in the arid zone of northwestern Mexico. *Acta Biológica Colombiana*, 26: 439–448 (2021). DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v26n3.83820>
- Mutumbam FA, Zagal E, Gerding M, Castillo-Rosales D, Paulino L and Schoebitz M .2018. Plant growth promoting rhizobacteria for improved water stress tolerance in wheat genotypes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(4):1080–1096. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162018005003003>.
- Neto LP, Silva-Santos L, Souza L, Morais M, Corte-Real N, Júnior IPM, da Camara, CAG, de Moraes MM and Ulisses C. 2023. Mycorrhization changes the antioxidant response and chemical profile of *Lippia alba* (Verbenaceae) essential oil under salinity conditions. *South African Journal of Botany*, 152, 264–277. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.11.001>.
- Polish pharmacopoeia, VII. (2006). PTFarm. Warsaw, Poland.
- Rashid U, Yasmin H, Hassan MN, Naz R, Nosheen A, Sajjad M, Ilyas N, Keyani R, Jabeen Z, Mumtaz S. 2022. Drought-tolerant *Bacillus megaterium* isolated from semi-arid conditions induces systemic tolerance of wheat under drought conditions. *Plant Cell Reports*, 41: 549–569. <https://doi.org/10.1007/s00299-020-02640-x>
- Rezvani Moghaddam P and Moradi R. 2012. Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. *Iranian Journal of Field Crop Sciences* 2: 217-230.. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2012.28484>
- Sadat Mousavi A, Naeemi M, Rahemi karizaki A, and Gholizadeh A. 2021. Study of the Effect of Elicitors Application on Osmotic Regulation, Cell Membrane Stability, Photosynthetic Pigments and Essential Oil Yield in Hyssop under Drought Stress. *Journal of Crops Improvement*.23 (3); 632-621.
- Saheri F, Barzin G, Pishkar L, Boojar MMA and Babaeekhou L .2020. Foliar spray of salicylic acid induces physiological and biochemical changes in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress. *Biologia* 75:2201. <https://doi.org/10.2478/s11756-020-00571-2>.
- Sapre S, Gontia I and Tiwari S. 2022. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Ameliorates Salinity Stress in Pea (*Pisum sativum*). *Plant Growth Regulation*, 41(2): (2022). <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10329-y>
- Sharifi P. 2017. The Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), salicylic acid and drought stress on growth indices, the chlorophyll and essential oil of Hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Biosciences, Biotechnology Research Asia*, 14(3):1033–1042. <https://doi.org/10.13005/bbra/2538>.
- Singh AD, Kour J, Dhiman S, Khanna K, Kumar P, Kaur R, Kapoor N and Bhardwaj R. 2021. Prospects of PGPR-Mediated Antioxidants and S and P Metabolism in Plants Under Drought Stress. In *Antioxidants in Plant-Microbe Interaction*; Singh, H.B., Vaishnav, A., Sayyed, R., Eds.; Springer: Singapore, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1350-0_24

- Soltanbeigi A, Yıldız M, Diraman H, Terzi H, Sakartepi E. and Yıldız E. 2021. Growth responses and essential oil profile of *Salvia officinalis* L. influenced by water deficit and various nutrient sources in the greenhouse. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28, 7327–7335. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.034>.
- Tadayyon A, Nikneshan P and Pessarakli, M. 2018. Effects of drought stress on concentration of macro-and micro-nutrients in Castor (*Ricinus communis* L.) plant. *Journal of Plant Nutrition* 41, 304–310 (2018). <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381126>
- Tashakorizadeh M, Vahabi MR, Golkar P and Mahdavian K. 2022. The singular and combined effects of drought and copper stresses on the morphological traits, photosynthetic pigments, essential oils yield and copper concentration of *Fumaria parviflora* Lam. *Industrial Crops and Products*, 177, 114517. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114517>
- Wang X, Ge J, He M, Li Q, Cai J, Zhou Q, Zhong Y, Wollenweber B, Jiang D. 2023. Enhancing crop resilience: understanding the role of drought priming in wheat stress response. *Field Crops Research*, 302: 109083. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109083>.
- Yasmin H Rashid U, Hassan MN, Nosheen A, Naz R, Ilyas N, Sajjad M, Azmat A, Alyemeni M. 2021. Volatile organic compounds produced by *Pseudomonas pseudoalcaligenes* alleviated drought stress by modulating defense system in maize (*Zea mays* L.). *Physiologia Plantarum*, 172, 896–911. <https://doi.org/10.1111/ppl.13304>
- Yilmaz A and Karik, U. 2022. AMF and PGPR enhance yield and secondary metabolite profile of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Industrial Crops and Products*. *Industrial Crops & Products* 176 (2022) 114327. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114327>.
- Zakerian F, Sefidkon F, Abbaszadeh B and Kalate Jari S .2020. Effects of water stress and mycorrhizal fungi on essential oil content and composition of *Satureja sahendica* Bornm. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22(3):789–799
- Zhang W, Xie Z, Zhang X, Lang D and Zhang X .2019. Growth-promoting bacteria alleviates drought stress of *G. uralensis* through improving photosynthesis characteristics and water status. *Journal of Plant Interactions*, 14(1):580–589. <https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1680752>.
- Zhu XQ, Tang M and Zhan HQ .2017. Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced the growth, photosynthesis, and calorific value of black locust under salt stress. *Photosynthetica* 55(2):378–385. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0662-y>