



## Biofertilizers effect on *Satureja bachtiarica* Bunge. traits under irrigation stress at various growth stages

Vahideh Samadiyan Sarbangholi<sup>1</sup>, Bohloul Abbaszadeh<sup>2\*</sup>, Fatemeh Sefidkon<sup>3</sup> and Mehrdad Yarnia<sup>4</sup>

1- Ph.D. student, Department of Horticultural Science and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Iran

2\*- Corresponding author, Medicinal and Aromatic Plants Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: babaszadeh@rifr-ac.ir

3- Medicinal and Aromatic Plants Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran

4- Department of Agronomy and Plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Received: October 2020

Revised: August 2021

Accepted: March 2023

### Abstract

**Background and objective:** Deficiency or excess of any growth factor leads to morphological, anatomical, physiological, and growth disorders in plants. Drought stress means a lack of water in the plant. This situation occurs when the amount of transpiration exceeds the amount of water absorption. Low irrigation (watering less than the optimal water requirement of the plant) is a strategy to save water, but it affects the plant at a particular stage of growth or the entire season. Biofertilizers develop the root system, changing host plant water relations and plant metabolism. They also activate the defense system, improving access to minerals and tolerance to drought in the host plant, making it environmentally friendly and natural. To manage the prevailing water crisis, one should look for solutions such as reducing water consumption and stopping irrigation at all stages of growth. This is without harming the plant's final performance. In addition, due to the importance of medicinal plants and increasing their biomass, biological fertilizers and the adjustment of drought stress effects have a special place. This experiment was carried out to investigate the effectiveness of *Satureja bachtiarica* Bunge. against dehydration at different stages of growth. It also investigated the consumption of mycorrhizal fungi and growth-stimulating bacteria to manage plant production with high quality and quantity.

**Methodology:** The experiment was carried out in the form of split plots in the form of a randomized complete block design in three replications in the research farm of Islamic Azad University, Tabriz branch, in 2018. The main and sub-factors were included in 4 water stress (I1: without stress, I2: cut irrigation in stem elongation stage, I3: cut irrigation at the budding stage and I4: cut irrigation at 50% flowering stage) and 5 biofertilizer levels (b1: without inoculation, b2: inoculation with *Funneliformis mosseae*, b3: inoculation with *Rhizopagus irregularis*, b4: *Funneliformis mosseae* + *Rhizopagus irregularis* and b5: *Azospirillum*+*Pseudomonas*+*Azetobacter*), respectively. The harvest was in full flowering stage.

**Results:** The comparison of the average of irrigation interruptions showed that the most number of leaves, stem diameter, canopy extent, root weight, leaf yield, flowering stem yield, and flowering branch yield belonged to the irrigation interruption at the 50% flowering stage. Inoculation with *Funneliformis mosseae* mycorrhizal fungus achieved the highest leaf yield



(912.06 kg/ha), flowering stem yield (1071.25 kg/ha) and flowering branch yield (1983.32 kg/ha) in inoculation with *Azospirillum* + *Pseudomonas* + *Azotobacter* was observed. The highest percentage of essential oil was found in inoculation with *Funneliformis mosseae* with an average of 1.76%. The maximum average yield of essential oil at 30.50 kg/ha was observed in the inoculation treatment with *Azospirillum* + *Pseudomonas* + *Azotobacter*. The results of the comparison of the average of the interaction effect showed that the maximum height of the plant and the number of inflorescences with an average of 61.72 cm and 30.46 per plant were found in the interaction effect of the treatment of interruption of irrigation at the stemming stage and inoculation of *Rhizophagus irregularis* + *Funneliformis mosseae*, which is about 31 and 39. The percentage increased compared to their lowest value. Stopping irrigation in the budding stage × *Funneliformis mosseae* had the highest percentage of essential oil with an average of 2.33%. Stopping irrigation in the stemming stage × *Rhizophagus irregularis* had the lowest essential oil percentage. The highest leaf yield (1212.83 kg/ha), flowering stem yield (1494.75 kg/ha), flowering branch yield (2707.58 kg/ha) and essential oil yield (44.39 kg/ha) in the interaction effect of cutting × *Azospirillum* + *Pseudomonas* + *Azotobacter* irrigation was observed at the 50% flowering stage, which increased by 70, 82, 81 and 87% compared to the lowest ones.

**Conclusion:** The correct management of soil fertility, improvement, and maintenance of soil fertility in modern agricultural systems will provide the nutrients needed by the plant and thus enhance the yield. Therefore, in recent years, many studies have been conducted on biological fertilizers. Mycorrhizal fungi are essential factors in the stable plant-soil system, which coexist with more than 85% of plants. Drought stress is one of the most influential environmental factors in plant growth and causes morphological, physiological, and metabolic changes. In addition, biofertilizers increase plant access to nutrients and produce and direct hormones involved in the growth of the root environment. They also increase stress tolerance and enhance yield. Considering the arid and semi-arid conditions of the country and the increase in demand for medicinal plants and *Satureja bachtiarica* spices, it is recommended to stop irrigation at the 50% flowering stage and use *Azotobacter*, *Azospirillum*, and *Pseudomonas* biofertilizers to obtain the maximum yield of leaves, flowering branches, and essential oil.

**Keywords:** Drought stress, Mycorrhiza, *Pseudomonas*, *Azetobacter*, *Azospirillum*, essential oil yield.

## اثر کودهای زیستی بر خصوصیات مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge.)

### تحت شرایط تنش آبیاری در مراحل مختلف رشد

وحیده صمدیان ساریانقلی<sup>۱</sup>، بهلول عباسزاده<sup>۲\*</sup>، فاطمه سفیدکن<sup>۳</sup> و مهرداد یارنیا<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی و معطر، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران،

ایران، پست الکترونیک: babaszadeh@rifr-ac.ir

۳- استاد، بخش تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات فرعی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور

۴- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۹

### چکیده

سابقه و هدف: کمبود یا بیش از حد مطلوب هر یک از عوامل مؤثر بر رشد، اختلالات ریختی، آناتومی، فیزیولوژیک و رشد و نمو را در گیاهان به همراه دارد. تنش خشکی به منزله کمبود آب در گیاه بوده و این وضعیت هنگامی ایجاد می‌شود که میزان تعرق از میزان جذب آب بیشتر باشد. کم‌آبیاری (آبیاری کمتر از نیاز آبی مطلوب گیاه) یک راهبرد برای صرفه‌جویی در مصرف آب است که گیاه را در مرحله خاصی از رشد یا کل فصل تحت تأثیر قرار می‌دهد. کودهای زیستی باعث توسعه سیستم ریشه، تغییر روابط آبی گیاه میزبان و متابولیسم گیاهی، فعال‌سازی سریع سیستم دفاعی، بهبود دسترسی به مواد معدنی و تحمل به خشکی در گیاه میزبان می‌شود. برای مدیریت بحران آبی حاکم، بایستی بدنبال راهکارهایی مانند کاهش مصرف آب و قطع آبیاری در مراحل از رشد بدون آسیب به عملکرد نهایی گیاه بود. علاوه بر این، با توجه به اهمیت گیاهان دارویی و افزایش زیست‌توده آنها مصرف کودهای زیستی و تعدیل اثرهای ناشی از تنش خشکی جایگاه ویژه‌ای دارد. این آزمایش با هدف بررسی تأثیرپذیری مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge.) از کم‌آبی در مراحل مختلف رشد و مصرف قارچ‌های میکوریزی و باکتری‌های محرک رشد در راستای مدیریت تولید گیاهانی با کمیت و کیفیت بالا اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. عامل اصلی شامل تنش آب مدیریت شده در راستای کاهش مصرف آب در چهار سطح آبیاری کامل (I1)، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و شروع دوباره در مرحله غنچه‌دهی (پس از انتقال نشاء و استقرار گیاهچه‌ها آبیاری تا مرحله غنچه‌دهی قطع شد) (I2)، قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی و شروع دوباره در مرحله ۵۰ درصد گلدهی (I3) و قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی و عدم آبیاری تا پایان دوره گلدهی (I4) بود.

نتایج: مقایسه میانگین قطع آبیاری نشان داد که بالاترین تعداد برگ، قطر ساقه، گستردگی تاج‌پوشش، وزن ریشه، عملکرد برگ، عملکرد ساقه گلدار و عملکرد سرشاخه گلدار متعلق به قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی بود. تلقیح با قارچ مایکوریزی *Funneliformis mosseae* باعث دستیابی به بیشترین عملکرد برگ (۹۱۲/۰۶ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد ساقه گلدار (۱۰۷۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد سرشاخه گلدار (۱۹۸۳/۳۲ کیلوگرم در هکتار) در تلقیح با *Azospirillum + Pseudomonas + Azotobacter* شد. بیشترین درصد اسانس متعلق به تلقیح با *Funneliformis mosseae* با میانگین ۱/۷۶ درصد بود. بیشترین میانگین عملکرد اسانس با ۳۰/۵۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار تلقیح با *Azospirillum + Pseudomonas + Azotobacter* مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته و تعداد گل‌آذین با میانگین ۶۱/۷۲ سانتی‌متر و ۳۰/۴۶ عدد در بوته در اثر متقابل تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و تلقیح *Rhizophagus irregularis + Funneliformis mosseae* مشاهده شد که

حدود ۳۱ و ۳۹ درصد نسبت به کمترین مقدار آنها افزایش داشت. بیشترین مقدار اسانس با میانگین ۲/۳۳ درصد با قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی × *Funneliformis mosseae* بدست آمد و کمترین مقدار اسانس با میانگین ۰/۹۸ درصد با قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی × *Rhizophagus irregularis* حاصل شد. بیشترین عملکرد برگ (۱۲۱۲/۸۳ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد ساقه گلدار (۱۴۹۴/۷۵ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد سرشاخه گلدار (۲۷۰۷/۵۸ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد اسانس (۴۴/۳۹ کیلوگرم در هکتار) در اثر متقابل قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی × *Azospirillum + Pseudomonas + Azotobacter* مشاهده شد که نسبت به کمترین آنها به ترتیب ۷۰، ۸۱، ۸۲ و ۸۷ درصد افزایش داشت.

نتیجه‌گیری کلی: مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک، بهبود و حفظ باروری خاک در سیستم‌های زراعی نوین سبب تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه و افزایش عملکرد می‌شود. از این‌رو، در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در راستای استفاده از کودهای زیستی انجام شده است. قارچ‌های میکوریزی از عوامل ضروری در سیستم پایدار خاک گیاه محسوب می‌شوند که با ریشه بیش از ۸۵٪ گیاهان همزیستی دارند. تنش خشکی به عنوان یکی از مهمترین فاکتورهای محیطی دخیل در رشد گیاهان و باعث تغییرات مورفولوژی، فیزیولوژی و متابولیسمی است. بعلاوه، کودهای زیستی با افزایش میزان دسترسی گیاهان به مواد غذایی، تولید و هدایت هورمون‌های دخیل در رشد کنار محیط ریشه، باعث افزایش تحمل به تنش و افزایش عملکرد می‌شوند. با در نظر گرفتن شرایط خشک و نیمه‌خشک کشور و افزایش تقاضای گیاهان دارویی و مرزه بختیاری، قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی و مصرف کودهای زیستی از توباکتر، آزوسپریلیوم و سودوموناس برای حصول بیشترین عملکرد برگ، سرشاخه گلدار و اسانس توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، مایکوریزی، سودوموناس، از توباکتر، آزوسپریلیوم، عملکرد اسانس.

## مقدمه

مرزه یکی از جنس‌های خانواده نعنا (Lamiaceae) می‌باشد که حدود ۳۶ گونه از آن در ایران گزارش شده است (Sefidkon et al., 2015). گونه مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge) گیاهی چندساله با پراکندگی به نسبت وسیع در ایران است و در مناطق مختلف کشور مانند استان‌های چهارمحال و بختیاری، لرستان، خوزستان، ایلام، کرمانشاه، اصفهان، گیلان و بعضی نقاط دیگر می‌روید. متوسط بارندگی سالانه در رویشگاه‌های این گونه ۲۲۰-۲۰۲ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۹-۱۸ درجه سانتی‌گراد است (Jamzad, 2009). این گونه بوته‌هایی منشعب به ارتفاع ۳۰-۲۰ سانتی‌متر با قاعده چوبی، میان‌گره‌ها کوتاه، ساقه‌های خاکستری‌رنگ، کرکدار با کرک‌های بسیار کوتاه و نرم هستند (Ahmadi et al., 2009). برگ‌ها به شکل مستطیلی خطی، ضخیم، به پشت خمیده و نوک کند بوده و به صورت مجتمع در طول ساقه قرار گرفته‌اند (Sefidkon et al., 2007). گل‌ها بدون دمگل، کوچک (حدود ۱/۵ میلی‌متر)، به رنگ سفید، کمی کرکدار،

پرچم‌ها و خامه کمی از جام گل بیرون زده و گیاه دیر گل‌دهنده است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۸). مرزه بختیاری طبیعتی گرم و خشک دارد و در طب سنتی به‌عنوان ضدنفخ و اشتهاآور مصرف می‌شود و برای تقویت نیروی جنسی مؤثر است. همچنین برای تسکین درد دندان از آن استفاده می‌شود و اگر با آب انجیر خورده شود برای سرفه و تنگی نفس مفید است (Sefidkon & Jamzad, 2005). مرزه گیاهی دگرگشن بوده و در گونه‌های مختلف میزان دگرگشتی متفاوت و تا بیش از ۸۰٪ نیز گزارش شده است (Hadian et al., 2010). بنابراین پایه‌های مختلف از نظر ژنتیکی با یکدیگر متفاوت بوده و از نظر تحمل به تنش و تولید متابولیت‌های ثانویه با یکدیگر متفاوت هستند (Shariat et al., 2018).

رشد و نمو گیاهان به عواملی مانند نور، دمای محیط، اکسیژن، آب و ... در حد مطلوب و در زمان مناسب بستگی دارد، کمبود یا بیش از حد مطلوب بودن هر یک از عوامل مؤثر بر رشد، اختلالات ریختی، آناتومی و فیزیولوژیک و رشد و نمو را در گیاهان به‌همراه دارد که تحت عنوان تنش

با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک بیشتر مناطق کشور، خشکسالی‌های پی‌درپی و مصرف ۹۲٪ از منابع آبی کل کشور در بخش کشاورزی (Bitaraf, 2014)، برای مدیریت بحران آبی حاکم بایستی به‌دنبال راهکارهایی مانند کاهش مصرف آب و قطع آبیاری در مراحل از رشد بدون آسیب به عملکرد نهایی گیاه بود. علاوه بر این، با توجه به اهمیت گیاهان دارویی و افزایش زیست‌توده آنها مصرف کودهای زیستی و تعدیل اثرهای ناشی از تنش خشکی جایگاه ویژه‌ای دارد. این آزمایش با هدف بررسی تأثیرپذیری مرزه بختیاری از کم‌آبی در مراحل مختلف رشد و مصرف قارچ‌های میکوریزی و باکتری‌های محرک رشد در راستای مدیریت تولید گیاهانی با کیفیت و کمیت بالا اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. مزرعه در ۱۵ کیلومتری شرق تبریز در اراضی با ۱۳۶۰ متر ارتفاع از سطح دریای آزاد، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی واقع شده است. متوسط بارندگی منطقه حدود ۲۷۱ میلی‌متر، میانگین حداقل درجه حرارت ۲/۲ و حداکثر درجه حرارت آن حدود ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. عامل اصلی شامل تنش آب مدیریت شده در راستای کاهش مصرف آب در چهار سطح آبیاری کامل (I<sub>1</sub>)، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی (شروع دوباره در مرحله غنچه‌دهی-پس از انتقال نشاء و استقرار گیاهچه‌ها آبیاری تا مرحله غنچه‌دهی قطع شد (I<sub>2</sub>))، قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی (شروع دوباره در مرحله ۵۰٪ گلدهی (I<sub>3</sub>)) و قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی (عدم آبیاری تا پایان دوره گلدهی (I<sub>4</sub>)) بود. دور آبیاری براساس عرف منطقه

معرفی می‌شود (Amiri-Dehahmadi *et al.*, 2010). تنش خشکی به‌منزله کمبود آب در گیاه بوده و این وضعیت هنگامی ایجاد می‌شود که میزان تعرق از میزان جذب آب بیشتر باشد (Chehregani Rad *et al.*, 2015). میزان اثربخشی تنش خشکی به ژنتیک گیاه، مرحله رشدی، مدت زمان پایداری و میزان تنش بستگی دارد (Ghilavizadeh *et al.*, 2019).

کم‌آبیاری (آبیاری کمتر از نیاز آبی مطلوب گیاه) یک راهبرد برای صرفه‌جویی در مصرف آب است که گیاه را در مرحله خاصی از رشد یا کل فصل تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2018). اثرهای زیان‌آور تنش کم‌آبی ناشی از کاهش حرکت آب در گیاه باعث برخی پاسخ‌های مورفولوژیکی مانند کاهش سطح برگ، کاهش رشد ساقه، افزایش رشد ریشه، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش نرخ رشد می‌شود (Mahdavicikia *et al.*, 2019). راهکارهای مختلفی برای کاهش اثرهای تنش خشکی یا کم‌آبی ارائه شده که رایج‌ترین آنها استفاده از کودهای زیستی مانند باکتری‌های محرک رشد و قارچ‌های میکوریزی است (Rostami *et al.*, 2022). کودهای زیستی باعث توسعه سیستم ریشه، تغییر روابط آبی گیاه میزبان و متابولیسم گیاهی، فعال‌سازی سریع سیستم دفاعی، بهبود دسترسی به مواد معدنی و تحمل به خشکی در گیاه میزبان می‌شود و طبیعی و دوستدار محیط‌زیست هستند (Kaushal & Wani, 2016). طبق یافته‌های محققان، مصرف کود زیستی نیتراژین باعث افزایش طول بلال، قطر بلال، تعداد دانه و وزن هزاردانه در ذرت دانه‌ای هیبرید SC 704 و قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و ظهور گل‌آذین شد (Ashkanvand *et al.*, 2013). طبق گزارشی دیگر، مصرف توأم کودهای زیستی آزوسپریلیوم و ازتوباکتر و ورمی‌کمپوست سبب افزایش عملکرد پیکره رویشی، درصد و عملکرد اسانس زوفا (*Hyssopus officinalis*) گردید (Darzi & Sadeghi Nekou, 2016).

به طوری که قبل از کاشت نشاء در مزرعه، در هر چاله کاشت ۱۰ گرم از کود زیستی که حاوی ۴۰۰ تا ۵۰۰ اندام فعال قارچی بود، قرار داده شد (Karegar Hajiabadi et al., 2015). تیمار با باکتری‌ها، در زمان انتقال نشاء با خوابانیدن ریشه نشاء‌ها در مایه تلقیح مایع با تعداد سلول زنده  $10^8$  در هر میلی‌لیتر به مدت ۱۰ دقیقه اعمال شد (Naghdibadi et al., 2013). برداشت در مرحله گلدهی کامل انجام شد. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع گیاه، طول گل‌آذین، طول ریشه (بعد از شستن ریشه برداشت شده و پهن کردن ریشه روی سطح صاف) و گستردگی تاج‌پوشش به وسیله خط‌کش و متر، در مرحله گلدهی کامل اندازه‌گیری شد. طول میانگره و قطر ساقه به وسیله کولیس ورنیه اندازه‌گیری گردید. تعداد برگ و تعداد گل‌آذین پس از برداشت و قبل از خشک شدن در هر گیاه انجام شد. عملکرد برگ و سرشاخه گلدار (پس از برداشت از مزرعه و خشک شدن در سایه و گذاشتن نمونه‌ها در آون در دمای  $105^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد) با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم توزین و ثبت شد. اسانس‌گیری با روش تقطیر با آب توسط کلونجر به مدت دو ساعت برای هر نمونه گیاهی به وزن ۱۰۰ گرم با سه تکرار اجرا شد (Mirza et al., 1996). داده‌های بدست آمده، پس از نوشتن برنامه آماری و از طریق SAS مورد تجزیه واریانس و مقایسه میانگین قرار گرفته و میانگین‌ها از طریق آزمون LSD مقایسه شدند. همبستگی بین صفات نیز بدست آمد.

و هفته‌ای ۲ نوبت تا رسیدن به صد درصد ظرفیت زراعی مزرعه انجام شد. عامل فرعی شامل استفاده از کودهای زیستی به منظور افزایش تحمل گیاه در برابر تنش کم‌آبیری و نیز افزایش عملکرد سرشاخه گلدار در پنج سطح، عدم مصرف کود زیستی (b<sub>1</sub>)، تلقیح با *Rhizophagus irregularis* (b<sub>2</sub>)، تلقیح با *Funneliformis mosseae* (b<sub>3</sub>)، تلقیح با *Funneliformis mosseae + irregularis* (b<sub>4</sub>) و تلقیح با *Azospirillum lipoferum* strain OF+ با *Pseudomonas putida + Azotobacter chroococcum* strain 5 (b<sub>5</sub>) بود.

بذرهای تهیه شده از مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور (تهران) ابتدای بهار (۱۰ فروردین) در سینی‌های کاشت ۴۵ خانه‌ای حاوی پیت (نسبت دوچهارم)، پرلیت (نسبت یک‌چهارم) و کوکوپیت (نسبت یک‌چهارم) در هوای آزاد کشت و در مرحله ۱۲ تا ۱۴ برگی در کرت‌های آزمایشی با ابعاد ۲ × ۳ متر مربع نشاء شد؛ به طوری که فاصله بلوک‌ها، کرت‌ها، گیاهان روی ردیف و بین ردیف ۲/۵ متر، ۲ متر، ۳۰ سانتی‌متر و ۶۰ سانتی‌متر بود. برخی از خصوصیات خاک مزرعه در جدول ۱ آورده شده است. اعمال تنش آبی با توجه به مراحل رشدی گیاه و پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها انجام شد. کودهای زیستی حاوی قارچ میکوریزایی به صورت اندام فعال قارچی (شامل اسپور، هیف و ریشه) بوده و از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه گردید. تیمار با قارچ میکوریزایی در زمان انتقال نشاء از سینی کاشت به زمین اصلی انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Physicochemical properties of experimental soil

Texture	pH	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	Organic matter (%)	K (mg.kg <sup>-1</sup> )	P (mg.kg <sup>-1</sup> )
Sandy-Loam	8.9	11.67	0.67	214	166

## نتایج

اثر متقابل بین آنها بر تمام صفات مورد مطالعه اثر معنی دار طبق نتایج بدست آمده، قطع آبیاری، کودهای زیستی و آماری در سطح ۱٪ داشت (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر قطع آبیاری و کودهای زیستی بر برخی صفات مرزه بختیاری

Table 2. ANOVA of irrigation stop and biofertilizers effects on some *Satureja bachtiarica* characteristics

S.O.V.	d.f.	M.S.						
		Plant height	Number of leaves	Internode length	Stem diameter	Canopy diameter	Number of inflorescences	Inflorescence length
Block	2	76.09**	80000 <sup>ns</sup>	81.76**	0.82**	90.15**	80.90**	20.65**
Irrigation stop (I)	3	169.07**	5382514**	14.52**	1.45**	6380.74**	79.28**	32.32**
Main error	6	1.47	6000	1.76	0.04	60.95	0.90	0.65
Biofertilizer (B)	4	493.17**	2464454**	254.36**	1.74**	7490.84**	102.77**	69.30**
I × B	12	35.61**	2113391**	14.03**	0.57**	6745.97**	26.94**	14.56**
Experimental error	32	1.62	6000	1.76	0.04	10.15	0.90	0.65
C.V. (%)	-	12.59	11.25	5.41	17.22	10.91	13.92	14.24

  

S.O.V.	d.f.	M.S.						
		Root length	Root weight	Leaf yield	Flowering stem yield	Flowering branch yield	Essential oil percentage	Essential oil yield
Block	2	20.55**	20.52**	200666**	201500**	76.09**	0.72**	18.07**
Irrigation stop (I)	3	69.10**	66.20**	451949**	1161657**	169.08**	0.09**	735.12**
Main error	6	0.55	0.52	666.67	1499.99	1.47	0.00	0.07
Biofertilizer (B)	4	118.17**	53.14**	116074**	243778**	493.17**	0.61**	139.45**
I × B	12	22.24**	18.03**	161312**	231625**	35.61**	0.41**	292.77**
Experimental error	32	0.55	0.52	666.67	1500	4166.67	0.00	0.07
C.V. (%)	-	13.93	5.50	16.43	14.28	13.89	11.67	10.02

n.s., \*, and \*\*: non-significant, significant at 5, and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر قطع آبیاری بر برخی صفات مرزه بختیاری

Table 3. Means comparison of irrigation stop effects on some *Satureja bachtiarica* characteristics

Treatment	Plant height (cm)	Number of leaves.plant <sup>-1</sup>	Internode length (mm)	Stem diameter (mm)	Canopy diameter (cm)	Number of inflorescences.plant <sup>-1</sup>	Inflorescence length (cm)
I <sub>1</sub>	50.17 <sup>b</sup>	3874.61 <sup>b</sup>	25.68 <sup>a</sup>	3.01 <sup>ab</sup>	94.22 <sup>c</sup>	26.83 <sup>a</sup>	18.63 <sup>b</sup>
I <sub>2</sub>	53.44 <sup>a</sup>	2666.53 <sup>d</sup>	24.39 <sup>b</sup>	2.44 <sup>c</sup>	96.22 <sup>c</sup>	25.46 <sup>b</sup>	21.25 <sup>a</sup>
I <sub>3</sub>	47.59 <sup>c</sup>	3251.49 <sup>c</sup>	24.66 <sup>b</sup>	2.88 <sup>b</sup>	108.02 <sup>b</sup>	22.04 <sup>c</sup>	17.88 <sup>c</sup>
I <sub>4</sub>	45.69 <sup>d</sup>	3943.94 <sup>a</sup>	23.28 <sup>c</sup>	3.15 <sup>a</sup>	138.90 <sup>a</sup>	22.56 <sup>c</sup>	18.70 <sup>b</sup>

  

Treatment	Root length (cm)	Root weight (g.plant <sup>-1</sup> )	Leaf yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Flowering stem yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Flowering branch yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Essential oil (%)	Essential oil yield (kg.ha <sup>-1</sup> )
I <sub>1</sub>	19.95 <sup>ab</sup>	12.79 <sup>c</sup>	808.19 <sup>b</sup>	938.01 <sup>b</sup>	1746.20 <sup>b</sup>	1.54 <sup>c</sup>	25.84 <sup>b</sup>
I <sub>2</sub>	19.79 <sup>b</sup>	10.54 <sup>d</sup>	525.49 <sup>d</sup>	538.91 <sup>c</sup>	1064.41 <sup>d</sup>	1.51 <sup>d</sup>	16.20 <sup>d</sup>
I <sub>3</sub>	20.43 <sup>a</sup>	13.77 <sup>b</sup>	733.53 <sup>c</sup>	923.80 <sup>b</sup>	1657.33 <sup>c</sup>	1.65 <sup>b</sup>	25.52 <sup>c</sup>
I <sub>4</sub>	15.79 <sup>c</sup>	15.58 <sup>a</sup>	940.64 <sup>a</sup>	1216.24 <sup>a</sup>	2156.89 <sup>a</sup>	1.67 <sup>a</sup>	33.30 <sup>a</sup>

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

I<sub>1</sub>: without stress, I<sub>2</sub>: irrigation stop at stem elongation stage, I<sub>3</sub>: irrigation stop at budding stage, and I<sub>4</sub>: irrigation stop at 50% flowering stage.

ساعتی متر در قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی مشاهده شد. بالاترین تعداد برگ، قطر ساقه، گستردگی تاج‌بوشش وزن

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۵۳/۴۴ سانتی متر و طول گل‌آذین با میانگین ۲۱/۲۵

۹۱۲/۰۶ کیلوگرم در هکتار، عملکرد ساقه گلدار با میانگین ۱۰۷۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار و عملکرد سرشاخه گلدار با میانگین ۱۹۸۳/۳۲ کیلوگرم در هکتار در تلقیح با *Azospirillum+ Pseudomonas+ Azotobacter* مشاهده شد که نسبت به پایین‌ترین مقدار آنها در تلقیح با *Rhizophagus irregularis* حدود ۲۶، ۲۹، ۲۹، ۲۸ و ۲۹ درصد افزایش داشت. کوتاه‌ترین و سبک‌ترین ریشه‌ها با میانگین ۱۵/۳۹ سانتی‌متر و ۱۰/۳۹ گرم در بوته متعلق به تیمار تلقیح با *Rhizophagus irregularis* بود که با ۳۱٪ و ۳۴٪ افزایش به بیشترین مقادیر در تیمار تلقیح با *Rhizophagus irregularis+ Funneliformis mosseae* رسیدند. بیشترین درصد اسانس متعلق به تلقیح با *Funneliformis mosseae* با میانگین ۱/۷۶٪ و کمترین آن متعلق به *Rhizophagus irregularis* با میانگین ۱/۲۴٪ بود. بیشترین میانگین عملکرد اسانس با ۳۰/۵۰ کیلوگرم در هکتار در تیمار تلقیح با *Azospirillum+ Pseudomonas+ Azotobacter* مشاهده شد که نسبت به حداقل آن در تلقیح با *Funneliformis mosseae* ۲۳/۴۷٪ افزایش داشت (جدول ۴).

ریشه، عملکرد برگ، عملکرد ساقه گلدار و عملکرد سرشاخه گلدار متعلق به قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی بود که نسبت به کمینه آنها در تنش ساقه‌دهی ۳۲، ۲۳، ۳۱، ۳۲، ۴۴، ۵۶ و ۵۱ درصد افزایش داشت. آبیاری کامل مرزه بختیاری منجر به دستیابی به بیشترین طول میانگره با میانگین ۲۵/۶۸ میلی‌متر و تعداد گل‌آذین با میانگین ۲۶/۸۳ عدد در بوته شد. طول‌ترین ریشه‌ها در قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با میانگین ۲۰/۴۳ سانتی‌متر مشاهده شد که نسبت به کوتاه‌ترین آنها در قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی ۲۳٪ افزایش داشت. قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی با افزایش ۹/۵۸ درصدی در درصد اسانس و ۵۱/۳۵ درصدی در عملکرد اسانس نسبت به قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی در جایگاه نخست آماری قرار گرفت (جدول ۳).

تلقیح با قارچ مایکوریزی *Funneliformis mosseae* باعث دستیابی به بیشترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، تاج‌گستر و تعداد گل‌آذین شد که نسبت به کمترین آنها در تیمار شاهد و بدون تلقیح ۲۳، ۲۶، ۲۴ و ۲۴ درصد افزایش داشت. بیشترین تعداد برگ در بوته با میانگین ۴۲۱۸/۱۰ عدد در بوته، طول گل‌آذین با میانگین ۲۲/۳۳ سانتی‌متر، عملکرد برگ با میانگین

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی بر برخی صفات مرزه بختیاری

Table 4. Means comparison of biofertilizers effects on some *Satureja bachtiarica* characteristics

Treatment	Plant height (cm)	Number of leaves.plant <sup>-1</sup>	Internode length (mm)	Stem diameter (mm)	Canopy diameter (cm)	Number of inflorescences.plant <sup>-1</sup>	Inflorescence length (cm)
B <sub>1</sub>	41.98 <sup>d</sup>	3433.39 <sup>b</sup>	21.03 <sup>c</sup>	2.46 <sup>c</sup>	94.79 <sup>d</sup>	21.31 <sup>d</sup>	18.11 <sup>c</sup>
B <sub>2</sub>	43.08 <sup>c</sup>	3179.63 <sup>c</sup>	18.57 <sup>d</sup>	2.48 <sup>c</sup>	97.86 <sup>c</sup>	21.38 <sup>d</sup>	15.80 <sup>d</sup>
B <sub>3</sub>	54.75 <sup>a</sup>	3199.69 <sup>c</sup>	28.34 <sup>a</sup>	3.32 <sup>a</sup>	124.07 <sup>a</sup>	28.14 <sup>a</sup>	19.93 <sup>b</sup>
B <sub>4</sub>	55.67 <sup>a</sup>	3138.92 <sup>c</sup>	29.19 <sup>a</sup>	3.09 <sup>b</sup>	115.17 <sup>b</sup>	24.58 <sup>c</sup>	19.41 <sup>b</sup>
B <sub>5</sub>	50.64 <sup>b</sup>	4218.10 <sup>a</sup>	25.39 <sup>b</sup>	2.99 <sup>b</sup>	114.80 <sup>b</sup>	25.70 <sup>b</sup>	22.33 <sup>a</sup>
Treatment	Root length (cm)	Root weight (g.plant <sup>-1</sup> )	Leaf yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Flowerin g stem yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Flowering branch yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Essential oil (%)	Essential oil yield (kg.ha <sup>-1</sup> )
B <sub>1</sub>	16.09 <sup>c</sup>	11.74 <sup>c</sup>	737.17 <sup>b</sup>	862.10 <sup>c</sup>	1599.27 <sup>c</sup>	1.49 <sup>b</sup>	24.97 <sup>c</sup>
B <sub>2</sub>	15.39 <sup>d</sup>	10.39 <sup>d</sup>	650.51 <sup>d</sup>	766.14 <sup>d</sup>	1416.65 <sup>e</sup>	1.24 <sup>c</sup>	21.39 <sup>e</sup>
B <sub>3</sub>	21.69 <sup>a</sup>	13.80 <sup>b</sup>	701.89 <sup>c</sup>	783.51 <sup>d</sup>	1485.40 <sup>d</sup>	1.76 <sup>a</sup>	23.34 <sup>d</sup>
B <sub>4</sub>	22.24 <sup>a</sup>	15.71 <sup>a</sup>	758.20 <sup>b</sup>	1038.20 <sup>b</sup>	1796.40 <sup>b</sup>	1.74 <sup>a</sup>	25.87 <sup>b</sup>
B <sub>5</sub>	19.45 <sup>b</sup>	14.22 <sup>b</sup>	912.06 <sup>a</sup>	1071.25 <sup>a</sup>	1983.32 <sup>a</sup>	1.74 <sup>a</sup>	30.50 <sup>a</sup>

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

B<sub>1</sub>: without inoculation and inoculation with B<sub>2</sub>: *Rhizophagus irregularis*, B<sub>3</sub>: *Funneliformis mosseae*, B<sub>4</sub>: *Rhizophagus irregularis + Funneliformis mosseae*, and B<sub>5</sub>: *Azospirillum + Pseudomonas + Azotobacter*.



سرشاخه گل‌دار (۲۷۰۷/۵۸) کیلوگرم در هکتار) و عملکرد اسانس (۴۴/۳۹) کیلوگرم در هکتار) در اثر متقابل قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی × *Azosprillium+Pseudomonas+Azotobacter* مشاهده شد که نسبت به کمترین آنها ۷۰، ۸۲، ۸۱ و ۸۷ درصد افزایش داشت (جدول ۵).

### بحث

عوامل محیطی و کمبود آب که اصلی‌ترین جنبه فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان است و تنش حاصل از آن یکی از مهمترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد، باروری و تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی را به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک سرتاسر جهان با مشکل مواجه کرده است. اثرهای تنش خشکی بر صفات مورفولوژی و عملکرد با توجه به ژنتیک گیاه، میزان کمبود آب و مرحله رشد گیاه متفاوت است (Ghilavizadeh et al., 2019). تنش در مراحل رشد گیاهچه و رشد سریع، شدت رشد رویشی و به تبع آن ارتفاع گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که پس از رفع تنش تداوم رشد رویشی نمی‌تواند کاهش رشد ایجاد شده را جبران کند (Amiri-Dehahmadi et al., 2010). ولی برخلاف انتظار بلندترین بوته‌های مرزه بختیاری در تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی مشاهده شد و این بیانگر رشد سریع رویشی پس از رفع تنش است. به نظر می‌رسد اگرچه برای مقابله با تنش گیاه وارد مرحله زایشی زود هنگام شد ولی با شروع دوباره آبیاری رشد رویشی همزمان با غنچه‌دهی گیاه سرعت گرفته و فاصله میانگره‌ها بیشتر شده است. کوتاه‌ترین بوته‌ها در قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی مشاهده شد. از آنجایی که در این مرحله گیاه در پایان رشد قرار دارد و رشد طولی سلول‌ها کاهش یافته، بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی اختصاص یافته است. رشد طولی سلول‌ها کمتر شده، طول میانگره کاهش یافته و منجر به کاهش ارتفاع نهایی گیاه شد که با یافته‌های سایر محققان همخوانی داشت (Amiri-Dehahmadi et al., 2010؛ Ghilavizadeh et al., 2019).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته و تعداد گل‌آذین با میانگین ۶۱/۷۲ سانتی‌متر و ۳۰/۴۶ عدد در بوته در اثر متقابل تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و تلقیح *Rhizophagus irregularis+Funneliformis mosseae* مشاهده شد که حدود ۳۱٪ و ۳۹٪ نسبت به کمترین مقدار آنها افزایش داشت. پایین‌ترین تعداد برگ در بوته متعلق به قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی × *Rhizophagus irregularis* با میانگین ۲۲۳۲/۳۸ عدد در بوته مشاهده شد که در تیمار آبیاری کامل × *Azosprillium+Pseudomonas+Azotobacter* با افزایش ۶۰ درصدی به بیشترین مقدار خود با میانگین ۵۶۱۱/۲۶ عدد در بوته رسید. آبیاری کامل × *Funneliformis mosseae* با افزایش ۴۵ درصدی طول میانگره نسبت به آبیاری کامل × *Rhizophagus irregularis* در اولین گروه آماری جای گرفت. قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی × *Funneliformis mosseae* باعث حصول بیشترین قطر ساقه و تاج‌گستر با میانگین ۴/۴۳ میلی‌متر و ۱۶۸/۵۴ سانتی‌متر شد. کوتاه‌ترین گل‌آذین‌ها با میانگین ۱۴/۵۴ سانتی‌متر در تیمار قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی × *Rhizophagus irregularis* مشاهده شد که با افزایش ۴۸ درصدی در اثر متقابل تنش در ساقه‌دهی × *Azosprillium+Pseudomonas+Azotobacter* در اولین گروه آماری قرار گرفت. طویل‌ترین ریشه‌ها در اثر متقابل تنش در ساقه‌دهی × *Funneliformis mosseae* مشاهده شد که نسبت به کوتاه‌ترین آن در تیمار قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی × عدم تلقیح حدود ۵۱٪ افزایش داشت. سبک‌ترین ریشه‌ها با میانگین ۵/۶۹ گرم در آبیاری کامل × *Funneliformis mosseae* بدست آمد که به بیشترین مقدار خود با میانگین ۱۸/۲۵ گرم در تیمار قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی × *Rhizophagus irregularis+Funneliformis mosseae* رسید. قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی × *Funneliformis mosseae* با میانگین ۲/۳۳ بیشترین و با میانگین ۱/۱۴٪ کمترین درصد اسانس را قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی × *Rhizophagus irregularis* داشت. بیشترین عملکرد برگ (۱۲۱۲/۸۳) کیلوگرم در هکتار، عملکرد ساقه گل‌دار (۱۴۹۴/۷۵) کیلوگرم در هکتار، عملکرد

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل قطع آبیاری و کودهای زیستی بر برخی صفات مرزه بختیاری  
**Table 5. Means comparison of irrigation stop × biofertilizers interaction on some *Satureja bachtiarica* characteristics**

Treatment	Plant height (cm)	Number of leaves.plant <sup>-1</sup>	Internode length (mm)	Stem diameter (mm)	Canopy diameter (cm)	Number of inflorescences.plant <sup>-1</sup>	Inflorescence length (cm)
I <sub>1</sub> × B <sub>1</sub>	44.25 <sup>hi</sup>	4573 <sup>c</sup>	22.28 <sup>f</sup>	2.92 <sup>cde</sup>	86.68 <sup>i</sup>	23.89 <sup>d</sup>	17.49 <sup>hij</sup>
I <sub>1</sub> × B <sub>2</sub>	46 <sup>h</sup>	4212 <sup>d</sup>	18.35 <sup>h</sup>	2.64 <sup>efg</sup>	97.87 <sup>h</sup>	28.65 <sup>b</sup>	16.65 <sup>ij</sup>
I <sub>1</sub> × B <sub>3</sub>	54.50 <sup>cde</sup>	2178.59 <sup>n</sup>	33.48 <sup>a</sup>	2.63 <sup>efg</sup>	84.04 <sup>i</sup>	26.08 <sup>c</sup>	19.69 <sup>ef</sup>
I <sub>1</sub> × B <sub>4</sub>	51.83 <sup>f</sup>	2798.22 <sup>k</sup>	26.96 <sup>cd</sup>	3.29 <sup>bc</sup>	96.17 <sup>h</sup>	26.36 <sup>c</sup>	17.97 <sup>ghi</sup>
I <sub>1</sub> × B <sub>5</sub>	54.30 <sup>cde</sup>	5611.26 <sup>a</sup>	27.34 <sup>cd</sup>	3.58 <sup>b</sup>	106.36 <sup>g</sup>	29.17 <sup>ab</sup>	21.35 <sup>cd</sup>
I <sub>2</sub> × B <sub>1</sub>	48.58 <sup>g</sup>	2518.37 <sup>lm</sup>	22.05 <sup>f</sup>	2.20 <sup>hi</sup>	82.14 <sup>i</sup>	22.19 <sup>ef</sup>	21.89 <sup>c</sup>
I <sub>2</sub> × B <sub>2</sub>	43.83 <sup>hi</sup>	2232.38 <sup>m</sup>	19.54 <sup>gh</sup>	1.96 <sup>i</sup>	70.48 <sup>j</sup>	18.66 <sup>h</sup>	17.21 <sup>ij</sup>
I <sub>2</sub> × B <sub>3</sub>	56.00 <sup>bcd</sup>	3143.91 <sup>hi</sup>	25.17 <sup>de</sup>	2.60 <sup>efg</sup>	116.77 <sup>ef</sup>	29.95 <sup>ab</sup>	20.18 <sup>def</sup>
I <sub>2</sub> × B <sub>4</sub>	61.72 <sup>a</sup>	2479.03 <sup>m</sup>	29.29 <sup>bc</sup>	2.81 <sup>def</sup>	115.20 <sup>f</sup>	30.46 <sup>a</sup>	19.16 <sup>fg</sup>
I <sub>2</sub> × B <sub>5</sub>	57.08 <sup>b</sup>	2958.96 <sup>i</sup>	25.91 <sup>d</sup>	2.61 <sup>efg</sup>	96.51 <sup>h</sup>	26.07 <sup>c</sup>	27.80 <sup>a</sup>
I <sub>3</sub> × B <sub>1</sub>	40.42 <sup>j</sup>	2644.03 <sup>l</sup>	20.92 <sup>fg</sup>	2.38 <sup>gh</sup>	86.54 <sup>i</sup>	20.29 <sup>gh</sup>	16.67 <sup>ij</sup>
I <sub>3</sub> × B <sub>2</sub>	42.75 <sup>i</sup>	3051.25 <sup>ij</sup>	25.57 <sup>de</sup>	2.44 <sup>fgh</sup>	101.23 <sup>gh</sup>	18.90 <sup>h</sup>	14.54 <sup>k</sup>
I <sub>3</sub> × B <sub>3</sub>	53.75 <sup>def</sup>	4144.17 <sup>de</sup>	29.14 <sup>bc</sup>	3.62 <sup>b</sup>	126.95 <sup>cd</sup>	26.38 <sup>c</sup>	21.02 <sup>cde</sup>
I <sub>3</sub> × B <sub>4</sub>	52.58 <sup>ef</sup>	3247.25 <sup>gh</sup>	30.66 <sup>b</sup>	3.11 <sup>cd</sup>	121.63 <sup>de</sup>	20.31 <sup>gh</sup>	1721 <sup>ij</sup>
I <sub>3</sub> × B <sub>5</sub>	48.47 <sup>g</sup>	3170.76 <sup>hi</sup>	25.09 <sup>de</sup>	2.85 <sup>de</sup>	103.78 <sup>g</sup>	24.33 <sup>d</sup>	19.99 <sup>def</sup>
I <sub>4</sub> × B <sub>1</sub>	34.67 <sup>k</sup>	4002.14 <sup>f</sup>	18.87 <sup>gh</sup>	2.36 <sup>gh</sup>	123.82 <sup>cd</sup>	18.87 <sup>h</sup>	16.39 <sup>j</sup>
I <sub>4</sub> × B <sub>2</sub>	39.75 <sup>j</sup>	3222.90 <sup>gh</sup>	18.89 <sup>gh</sup>	2.90 <sup>de</sup>	121.88 <sup>de</sup>	19.32 <sup>h</sup>	14.81 <sup>k</sup>
I <sub>4</sub> × B <sub>3</sub>	54.75 <sup>cde</sup>	3332.08 <sup>g</sup>	25.57 <sup>de</sup>	4.43 <sup>a</sup>	168.54 <sup>a</sup>	30.16 <sup>ab</sup>	18.84 <sup>fgh</sup>
I <sub>4</sub> × B <sub>4</sub>	65.58 <sup>bc</sup>	4031.19 <sup>ef</sup>	29.86 <sup>b</sup>	3.18 <sup>cd</sup>	127.69 <sup>c</sup>	21.22 <sup>fg</sup>	23.30 <sup>b</sup>
I <sub>4</sub> × B <sub>5</sub>	42.72 <sup>i</sup>	5131.41 <sup>b</sup>	23.25 <sup>ef</sup>	2.91 <sup>cde</sup>	152.57 <sup>b</sup>	23.25 <sup>de</sup>	20.19 <sup>def</sup>

  

Treatment	Root length (cm)	Root weight (g.plant <sup>-1</sup> )	Leaf yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Flowering stem yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Flowering branch yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Essential oil (%)	Essential oil yield (kg.ha <sup>-1</sup> )
I <sub>1</sub> × B <sub>1</sub>	20.25 <sup>d</sup>	13.47 <sup>ef</sup>	963.48 <sup>c</sup>	1129.81 <sup>d</sup>	2093.29 <sup>d</sup>	1.24 <sup>k</sup>	27.18 <sup>h</sup>
I <sub>1</sub> × B <sub>2</sub>	13.75 <sup>hi</sup>	12.20 <sup>fg</sup>	958.91 <sup>c</sup>	1107.20 <sup>d</sup>	2066.11 <sup>d</sup>	1.43 <sup>i</sup>	33.51 <sup>e</sup>
I <sub>1</sub> × B <sub>3</sub>	18.56 <sup>ef</sup>	5.69 <sup>j</sup>	359.05 <sup>j</sup>	365.38 <sup>j</sup>	724.43 <sup>j</sup>	1.18 <sup>l</sup>	6.42 <sup>f</sup>
I <sub>1</sub> × B <sub>4</sub>	22.36 <sup>c</sup>	13.70 <sup>de</sup>	577.26 <sup>h</sup>	708.17 <sup>g</sup>	1285.43 <sup>g</sup>	2.12 <sup>c</sup>	23.53 <sup>k</sup>
I <sub>1</sub> × B <sub>5</sub>	24.85 <sup>ab</sup>	16.53 <sup>b</sup>	1182.23 <sup>a</sup>	1379.51 <sup>b</sup>	2561.74 <sup>b</sup>	1.76 <sup>f</sup>	38.57 <sup>c</sup>
I <sub>2</sub> × B <sub>1</sub>	15.53 <sup>g</sup>	9.07 <sup>i</sup>	494.22 <sup>i</sup>	499.33 <sup>i</sup>	993.55 <sup>i</sup>	1.61 <sup>g</sup>	17.62 <sup>p</sup>
I <sub>2</sub> × B <sub>2</sub>	15.43 <sup>g</sup>	5.69 <sup>j</sup>	255.96 <sup>k</sup>	264.10 <sup>k</sup>	520.06 <sup>k</sup>	0.98 <sup>m</sup>	5.70 <sup>s</sup>
I <sub>2</sub> × B <sub>3</sub>	25.56 <sup>a</sup>	12.41 <sup>efg</sup>	565.10 <sup>h</sup>	475.29 <sup>i</sup>	1040.39 <sup>i</sup>	1.33 <sup>j</sup>	11.80 <sup>q</sup>
I <sub>2</sub> × B <sub>4</sub>	23.85 <sup>b</sup>	14.88 <sup>cd</sup>	731.52 <sup>f</sup>	869.21 <sup>f</sup>	1600.73 <sup>f</sup>	1.76 <sup>f</sup>	25.23 <sup>j</sup>
I <sub>2</sub> × B <sub>5</sub>	18.25 <sup>ef</sup>	10.66 <sup>h</sup>	580.68 <sup>h</sup>	586.27 <sup>g</sup>	1167.32 <sup>h</sup>	1.89 <sup>e</sup>	20.68 <sup>m</sup>
I <sub>3</sub> × B <sub>1</sub>	16.03 <sup>g</sup>	11.09 <sup>gh</sup>	560.80 <sup>h</sup>	687.27 <sup>g</sup>	1248.07 <sup>gh</sup>	1.61 <sup>g</sup>	22.07 <sup>l</sup>
I <sub>3</sub> × B <sub>2</sub>	17.66 <sup>f</sup>	11.81 <sup>gh</sup>	711.48 <sup>fg</sup>	849.67 <sup>f</sup>	1561.15 <sup>f</sup>	1.42 <sup>j</sup>	26.18 <sup>h</sup>
I <sub>3</sub> × B <sub>3</sub>	25.14 <sup>ab</sup>	16.66 <sup>b</sup>	830.54 <sup>e</sup>	1030.71 <sup>e</sup>	1861.25 <sup>e</sup>	2.33 <sup>a</sup>	34.63 <sup>d</sup>
I <sub>3</sub> × B <sub>4</sub>	24.14 <sup>b</sup>	16.01 <sup>bc</sup>	892.32 <sup>d</sup>	1227.22 <sup>c</sup>	2119.54 <sup>d</sup>	1.55 <sup>h</sup>	26.35 <sup>i</sup>
I <sub>3</sub> × B <sub>5</sub>	19.22 <sup>de</sup>	13.30 <sup>ef</sup>	672.52 <sup>g</sup>	824.11 <sup>f</sup>	1496.63 <sup>f</sup>	1.34 <sup>j</sup>	18.36 <sup>o</sup>
I <sub>4</sub> × B <sub>1</sub>	12.57 <sup>i</sup>	13.33 <sup>ef</sup>	930.18 <sup>cd</sup>	1132.00 <sup>d</sup>	2062.18 <sup>d</sup>	1.51 <sup>h</sup>	33.02 <sup>f</sup>
I <sub>4</sub> × B <sub>2</sub>	14.75 <sup>gh</sup>	11.88 <sup>gh</sup>	675.67 <sup>g</sup>	843.60 <sup>f</sup>	1519.27 <sup>f</sup>	1.14 <sup>l</sup>	20.20 <sup>n</sup>
I <sub>4</sub> × B <sub>3</sub>	17.51 <sup>f</sup>	18.04 <sup>a</sup>	1052.86 <sup>b</sup>	1262.67 <sup>c</sup>	2315.53 <sup>c</sup>	2.20 <sup>b</sup>	40.53 <sup>b</sup>
I <sub>4</sub> × B <sub>4</sub>	18.62 <sup>ef</sup>	18.25 <sup>a</sup>	831.70 <sup>e</sup>	1348.19 <sup>b</sup>	2179.89 <sup>d</sup>	1.53 <sup>h</sup>	28.36 <sup>g</sup>
I <sub>4</sub> × B <sub>5</sub>	49.15 <sup>g</sup>	16.42 <sup>b</sup>	1212.83 <sup>a</sup>	1494.75 <sup>a</sup>	2707.58 <sup>a</sup>	1.99 <sup>d</sup>	44.39 <sup>a</sup>

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

I<sub>1</sub>: without stress, I<sub>2</sub>: irrigation stop at stem elongation stage, I<sub>3</sub>: irrigation stop at budding stage, and I<sub>4</sub>: irrigation stop at 50% flowering stage; B<sub>1</sub>: without inoculation and inoculation with B<sub>2</sub>: *Rhizopagus irregularis*, B<sub>3</sub>: *Funneliformis mosseae*, B<sub>4</sub>: *Rhizopagus irregularis* + *Funneliformis mosseae*, and B<sub>5</sub>: *Azospirillum* + *Pseudomonas* + *Zotobacter*.

فسفات است. گونه‌های مختلف جنس سودوموناس در کنترل قارچ‌های بیماری‌زا مؤثر بوده و از طریق سازوکارهای مختلفی از جمله سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌کنند، سبب تحریک رشد گیاه می‌شود. بنابراین با افزایش جذب نیتروژن و فسفر و کارایی این عناصر در فتوسنتز و تولید سطح سبز، رشد و گلدهی افزایش خواهد یافت (Nejatzadeh, 2015). در این تحقیق نیز تعداد برگ در تیمار I5 بیشتر بود که همین موضوع منجر به افزایش عملکرد برگ شد. گل‌آذین‌های طویل در این تیمار منجر به افزایش عملکرد ساقه گلدار، عملکرد سرشاخه گلدار، درصد اسانس و عملکرد اسانس شد که با یافته‌های سایر محققان روی بابونه آلمانی (Fallahi et al., 2009) همخوانی داشت. قارچ‌های میکوریزی از عوامل ضروری در سیستم پایدار خاک گیاه محسوب می‌شوند که با ریشه بیش از ۸۵٪ گیاهان همزیستی دارند (Smith & Read, 2008). بیشترین ارتفاع بوته، طول میانگره، قطر ساقه و تاج‌گستر در تلقیح با *Funneliformis mosseae* مشاهده شد. بنابراین این تیمار همزیستی موفق‌تری داشته و باعث بهبود رشد رویشی شد. این تیمار روی توسعه ریشه اثر مثبت داشته و بیشتر موجب کشندگی و گسترش طولی ریشه تا وزن آن شد که با یافته‌های Karegar Hajiabadi و همکاران (۲۰۱۵) در آویشن کرک‌آلود و Makkizadeh و همکاران (۲۰۱۲) در ریحان همخوانی داشت.

تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهمترین فاکتورهای محیطی دخیل در رشد گیاهان است و باعث تغییرات مورفولوژی، فیزیولوژی و متابولیسم می‌شود. به‌علاوه، کودهای زیستی با افزایش میزان دسترسی گیاهان به مواد غذایی، تولید و هدایت هورمون‌های دخیل در رشد کنار محیط ریشه باعث افزایش تحمل به تنش و افزایش عملکرد می‌شوند. با در نظر گرفتن شرایط خشک و نیمه‌خشک کشور و افزایش تقاضای گیاهان دارویی و مرزه بختیاری،

به نظر می‌رسد تأثیر کمتر تنش در مرحله گلدهی بر صفات مورفولوژی به این دلیل است که عمده مراحل رشد رویشی بدون تنش سپری شده و همین موضوع منجر به حصول بیشترین تعداد برگ، قطر ساقه و تاج‌گستر در قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی شد. حصول بیشترین مقدار صفات مذکور نسبت به آبیاری کامل بیانگر تحریک مثبت تنش آبی حتی در پایان دوره رشدی گیاه و کاهش میزان آب مصرفی است. کوتاه‌ترین گل‌آذین‌ها در قطع آبیاری، در مرحله ساقه‌دهی مشاهده شد. به دلیل تحریک گیاهان تنش دیده در مرحله ساقه‌دهی برای ورود به مرحله زایشی و ایجاد تعدادی ساقه جانبی و پنجه، به دلیل سایه‌اندازی کانویی و شروع دوباره رشد رویشی مواد فتوسنتزی کمتر صرف گل‌آذین شده و طول آنها کم شده است (Sayed-ahmadi et al., 2015). با توجه به اینکه مرزه بختیاری گیاهی با رشد نامحدود است و با شروع رشد زایشی، برخلاف گیاهان یکساله، رشد رویشی آن نیز ادامه پیدا می‌کند، به نظر می‌رسد با اعمال تیمارهای تنش رطوبتی در مرحله ۵۰٪ گلدهی، رشد زایشی بیشتر تحریک شده و گیاه اقدام به تولید گلدهی بیشتر کرده (Ghilavizadeh et al., 2019) و عملکرد برگ، سرشاخه گلدار، عملکرد کل، درصد و عملکرد اسانس که تابعی از عملکرد سرشاخه گلدار است در این تیمار بیشتر شد که با یافته‌های سایر محققان روی مرزه (Shariat et al., 2018) و آویشن (Sayyadi et al., 2014؛ Fazeli Nasab et al., 2018) همخوانی دارد. مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک، بهبود و حفظ باروری خاک در سیستم‌های زراعی نوین سبب تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه و افزایش عملکرد می‌شود. از این‌رو، در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در راستای استفاده از کودهای زیستی انجام شده است. از توباکتر جزو باکتری‌های محرک رشد گیاه است که در تثبیت بیولوژیکی نیتروژن اهمیت دارد و باعث بهبود در عملکرد و رشد رویشی گیاه می‌شود (Naghdibadi et al., 2013). باکتری سودوموناس یکی از مهمترین جنس‌های خانواده باکتری‌های حل‌کننده

- Journal of Medicinal Plants and By-products, 1: 67-75.
- Hadian, J., Ebrahimi, S.N. and Salehi, P., 2010. Variability of morphological and phytochemical characteristics among *Satureja hortensis* L. accessions of Iran. *Industrial Crops and Products*, 32(1): 62-69.
  - Jamzad, Z., 2009. *Thyme and Savory of Iran*. Forests and Rangelands Research Institute Publication. 171p.
  - Karegar Hajiabadi, E., Abbaszadeh, B., Sefidkon, F. and Khavazi, K., 2015. Comparing the effect of seed and transplants inoculation with biofertilizers on *Thymus pubescens* Bioss. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(1): 81-91.
  - Kaushal, M. and Wani, S.P., 2016. Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. *Annals of Microbiology*, 66: 35-42.
  - Mahdaviakia, H., Rezaei-Chiyaneh, E., Rahimi, A. and Mohammadkhani, N., 2019. Effects of fertilizer treatments on antioxidant activities and physiological traits of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water limitation conditions. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 2: 143-151.
  - Makkizadeh, M., Nasrollahzadeh, S., Zehtab Salmasi, S., Chaichi, M. and Khavazi, K., 2012. The effect of organic, biologic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, 22: 1-12.
  - Mirza, M., Sefidkon, F. and Ahmadi, L., 1996. *Natural Essential Oils, Extraction, Qualitative and Quantitative Identification, Application*. Research Institute of Forests and Rangelands press, 175p (In Persian).
  - Naghdibadi, H.A., Lotfizad, M., Ghavami, N., Mehrafarin, A. and Khavazi, K., 2013. Quantitative and qualitative yield response of valerian (*Valeriana officinalis* L.) to the biological and chemical fertilizers of phosphorus application. *The Journal of Medicinal Plants*, 46: 25-37.
  - Nejatizadeh, F., 2015. The effect of biological and chemical nitrogenous fertilizers on growth, yield and essential oil compounds of (*Anthem graveolens* L.). *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, 5(19): 77-84.
  - Rezaei-Chiyaneh, E., Seyyedi, S.M., Ebrahimi, E., Siavas Moghaddama, S. and Damalasd, C.A., 2018. Exogenous application of gamma-aminobutyric acid (GABA) alleviates the effect of water deficit stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, 112: 741-748.
  - Rostami, R., Esmailpour, B., Hosseini, S.A., Salimi, G. and Etminan, A., 2022. Effects of arbuscular mycorrhizae on growth, biochemical characteristics, and essential oil yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.)

قطع آبیاری در مرحله ۵۰٪ گلدهی و مصرف کودهای زیستی ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و پسودوموناس برای حصول بیشترین عملکرد برگ، سرشاخه گلدار و اسانس توصیه می‌شود.

## References

- Ahmadi, Sh., Sefidkon, F., Babakhanlou, P., Asgari, F., Khademi, K., Valizadeh, N. and Karimifar, M.A., 2009. Comparing essential oil composition of *Satureja bachtiarica* Bunge before and full flowering stages in field and provenance. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 25(2): 159-169.
- Amiri-Dehahmadi, S.R., Parsa, M. and Ganjali, A., 2010. The effect of drought stress at different phenology stages on morphologic traits and yield components of *Cicer arietinum* L. under greenhouse condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(1): 157-166.
- Ashkanvand, M., Roshdi, M., Khalili Mohaleh, J., Jalili, F. and HosseinPour, A., 2013. Effect of drought stress during phenological stage and biofertilizer and nitrogen application on yield and yield components of corn (KSC 704). *Journal of Crop Ecophysiology*, 6(4): 365-373.
- Bitaraf, H., 2014. Seventy-sixth monthly meeting of Baran Foundation, Tehran, <http://www.bonyadbaran.com>. (In Persian)
- Chehregani Rad, A., Khourezman, N., Elri Yazdi, H. and Shirkhani, Z., 2015. Variation in morphological traits and physiological indicators of bean under Zn stress in hydroponic cultivation. *Developmental Biology*, 8(2): 31-39.
- Darzi, M. and Sadeghi Nekou, B., 2016. The effect of organic and biofertilizer application on some morphological traits and yield of *Hyssopus officinalis* L. *Journal of Horticulture Science*, 30(3): 491-500.
- Fallahi, H.R., Koocheki, A. and Rezvani Moghaddam, P., 2010. Effects of biofertilizers on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria recutita*) as a medicinal plant. 6th Conference on Medicinal and Aromatic Plants of Southeast European Countries, 8 March: 109.
- Fazeli Nasab, B., Sirousmehr, A.R. and Azad, H., 2018. Effect of titanium dioxide nanoparticles on essential oil quantity and quality in *Thymus vulgaris* under Water Deficit. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 2: 125-133.
- Ghilavizadeh, A., Hadidi Masouleh, E., Zakerin, H.R., Valadabadi, S.A.R., Sayfzadeh, S. and Yousefi, M., 2019. Influence of Salicylic Acid on Growth, Yield and Macro-elements Absorption of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under Water Stress.

- Sefidkon, F., Heydari, A., Kasyani, M., Tabayi Aghdayi, S.R. and Naderi, M., 2015. Comparison of essential oil content and composition of four accessions of *Satureja macrantha* C. A. Mey. in three years after cultivation in climatic condition of Tehran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 31(1): 150-164.
- Shariat, A., Karimzadeh, Gh., Assareh, M.H. and Hadian, J., 2018. A promising application of drought stress for increasing product quality of Iranian endemic *Satureja sahandica* Bornm medicinal plant. Iranian Journal of Field Crop Scienc, 49(1): 167-177.
- Smith, S.E. and Read, D.J., 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London, UK., 800p.
- under lead heavy metal stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 38(1): 114-132.
- Sayed-ahmadi, A., Bakhshandeh, A. and Gharineh, M.A., 2015. Evaluation of physiological characteristics and grain yield of cultivars under drought conditions at the end of the season, weather conditions in Ahvaz. Journal of agricultural research, 71: 71-80.
- Sayyadi, A., Ahmadi, J., Asghari, B. and Hosseini, S.M., 2014. Effect of abiotic stress for adding of thymol and some fenolic compounds on plant medicinal Thyme. Eco-Phytochem J Medicinal Plants, 2: 50-61.
- Sefidkon, F. and Jamzad, Z., 2005. Chemical composition of the essential oil of three *Satureja* species (*S. mutica*, *S. macrantha* and *S. intermedia*), Food Chemistry, 91, 1-4, 2005.
- Sefidkon, F., Abbasi, Kh., Jamzad, Z. and Ahmadi, S., 2007. The effect of distillation methods and stage of plant growth on the essential oil content and composition of *Satureja rechingeri*. Food Chemistry, 100(3): 1054-1068.