

Effect of Phosphate-Solubilizing Bacteria and Phenylalanine on Growth Characteristics, Photosynthetic Pigments, and Essential Oil content of *Salvia virgata* L.

Sara Farsaraei, Mohammad Moghaddam*¹, Hossein Nemati and Mohammad Mahmoodi Sarvestani²

1-

2-

* Corresponding author, Email: m.moghadam@um.ac.ir

Abstract

Background and Aims: Phosphorus plays a crucial role in the growth of medicinal plants. Phosphate-solubilizing bacteria (PSB) improve phosphorus uptake, while phenylalanine positively influences plant metabolic pathways. This study aimed to evaluate the effects of growth-promoting PSB and foliar application of phenylalanine on growth characteristics, photosynthetic pigments, and essential oil content of *Salvia virgata* under greenhouse conditions.

Methods: The experiment was conducted in a factorial, based on a completely randomized design with two factors: nine bacterial species (*Pantoea agglomerans*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Enterobacter cloacae*, *Rhizobium meliloti*) and a control, and three concentrations of foliar-applied phenylalanine (0, 100, and 200 mg/L), with four replications.

Results: The interaction between bacteria and phenylalanine had a significant effect on all measured traits at the 1% probability level. The highest plant height and fresh and dry root weight were obtained with *P. putida* combined with foliar application of 200 mg/L phenylalanine. Application of *B. licheniformis* with 200 mg/L phenylalanine increased leaf relative water content (45.6%), chlorophyll a (50.0%), chlorophyll b (39.6%), total chlorophyll (35.9%), and carotenoids (39.4%) compared with the control (no bacteria or phenylalanine). The highest essential oil yield (1.18 cc per pot) was observed in the *P. fluorescens* treatment combined with foliar application of 200 mg/L phenylalanine.

Conclusion: These findings indicate that application of *B. licheniformis* and *P. fluorescens*, together with foliar application of phenylalanine at 200 mg/L, can effectively enhance essential oil yield and photosynthetic pigment content, thereby improving the yield and quality of *Salvia virgata*.

Keywords: *Bacillus licheniformis*, Growth-promoting, Leaf relative water content, phosphate, *Pseudomonas fluorescens*.

تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی فنیل‌آلانین بر ویژگی‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان اسانس مریم‌گلی ترکه‌ای (*Salvia virgata* Jacq.)

سارا فرسرائی^۱، محمد مقدم^{۱*}، حسین نعمتی^۱ و محمد محمودی سروسنایی^۲

۱- گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: m.moghadam@um.ac.ir

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: باتوجه به اهمیت عنصر فسفر در رشد و نمو گیاهان دارویی و نقش باکتری‌های حل‌کننده فسفات در بهبود جذب فسفر و همچنین تأثیر مثبت فنیل‌آلانین بر مسیرهای متابولیکی گیاه، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی فنیل‌آلانین بر برخی ویژگی‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان اسانس گیاه مریم‌گلی ترکه‌ای در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. **روش‌ها:** پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل تلقیح گیاه با ۹ سویه باکتری (*Pantoea agglomerans*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Enterobacter cloacae*, *Rhizobium meliloti*, control) و محلول‌پاشی سه غلظت فنیل‌آلانین (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در چهار تکرار اجرا گردید.

نتایج: نتایج نشان داد که اثر متقابل باکتری‌ها و فنیل‌آلانین بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ریشه با کاربرد باکتری *P. putida* همراه با محلول‌پاشی فنیل‌آلانین در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. همچنین کاربرد باکتری *B. licheniformis* و محلول‌پاشی فنیل‌آلانین در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ (۴۵/۶۴ درصد)، کلروفیل a (۵۰ درصد)، کلروفیل b (۳۹/۵۸ درصد)، کلروفیل کل (۳۵/۸۹ درصد) و کارتنوئید (۳۹/۳۸ درصد) نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد باکتری و فنیل‌آلانین) شد. بیشترین میزان اسانس (۰/۵۷ درصد حجمی-وزنی) نیز در تیمار *P. fluorescens* و محلول‌پاشی فنیل‌آلانین در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد.

نتیجه‌گیری کلی: به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به اهمیت اسانس و رنگیزه‌های فتوسنتزی در کیفیت و ارزش اقتصادی گیاهان دارویی، کاربرد باکتری‌های *B. licheniformis* و *P. fluorescens* همراه با محلول‌پاشی فنیل‌آلانین در سطح ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای افزایش عملکرد و کیفیت این گیاه توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فسفات، محتوای نسبی آب برگ، محرک رشد، *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus licheniformis*

نه تنها موجب کاهش کارایی جذب فسفر می‌شود، بلکه با پیامدهای زیست‌محیطی همچون آلودگی منابع آب، تخریب ساختار خاک و کاهش تنوع زیستی میکروبی همراه است (Wei et al., 2018).

در این میان، استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات از جمله جنس‌هایی مانند *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus* و ... به عنوان یک راهکار زیستی موثر برای افزایش دسترسی گیاهان به فسفر مورد توجه قرار گرفته است. این باکتری‌ها با تولید اسیدهای آلی نظیر اسید سیتریک، گلوکونیک، اگزالیک و لاکتیک، همچنین ترشح سیدروفورها و آنزیم‌های تجزیه‌کننده، ترکیبات فسفوری نامحلول را به فرم قابل جذب تبدیل کرده و جذب فسفر را برای گیاه تسهیل می‌کنند (Khatoun et al., 2020). مطالعات متعددی اثر مثبت این باکتری‌های حل‌کننده فسفات را بر گیاهان دارویی گزارش کرده‌اند. در پژوهشی گزارش گردیده که تلقیح گیاه نعنای فلفلی با دو باکتری گونه *P. agglomerans* و *P. putida* منجر به بهبود عملکرد، افزایش رشد رویشی، سطح برگ و میزان اسانس آن شد (Seif Sahandi et al., 2019). بررسی‌های مشابه بر روی گیاهانی نظیر شوید (Hegazi et al., 2015) با تلقیح با باکتری‌های گونه سودوموناس و همچنین در سه گونه مریم‌گلی (Abbaspour Anbi et al., 2019) تحت تلقیح با باکتری‌های گونه *Enterobacter* و *Pseudomonas* نیز نشان‌دهنده افزایش رشد و میزان اسانس با کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات بوده است. تحقیقی دیگر نشان داد که کاربرد باکتری *B. licheniformis* در ذرت موجب بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی و خصوصیات رشدی در این گیاه شد (Galiliya Medison et al., 2023). باکتری گونه *P. fluorescens* نیز در گیاه نخودفرنگی نقش بهبود دهنده رشد در این گیاه را نشان داد (Oteino et al., 2015). در فندق نیز کاربرد ترکیبی سه باکتری *P. putida*، *B. subtilis* و *E. cloaca* تاثیر مثبتی در بهبود رشد این گیاه داشت (Rostamikia et al., 2024).

اسیدهای آمینه به‌عنوان واحدهای سازنده پروتئین‌ها، نقش

استفاده از گیاهان دارویی به دلیل داشتن ترکیبات موثر دارویی، در طب سنتی، صنایع داروسازی، صنایع غذایی و بهداشتی افزایش تقاضا برای محصولات گیاهی، تحقیقات گسترده‌ای را برای بهبود کیفیت، کمیت و پایداری تولید این گیاهان به همراه داشته است (Shahhoseini et al., 2024). یکی از گیاهان دارویی ارزشمند، مریم‌گلی ترکه‌ای (*Salvia virgata*) از خانواده نعنائیان است که به دلیل دارا بودن فلاونوئیدها، ترکیبات فنلی و اسانس‌های معطر، از ارزش دارویی و اقتصادی بالایی برخوردار است (Ben Akacha et al., 2024). اندام‌های مورد استفاده این گیاه بخش‌های هوایی شامل برگ‌ها و گل‌ها هستند که به دلیل خواص ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی و تقویت سیستم ایمنی، در صنایع داروسازی و طب سنتی کاربرد گسترده‌ای دارد (Shahhoseini et al., 2019). یکی از اهداف اصلی در کشت این گیاه، افزایش رشد، عملکرد و میزان اسانس آن است. این گیاه به صورت خودرو در مناطق کوهستانی و معتدل ایران از جمله استان‌های فارس، مازندران و البرز رشد می‌کند (Esmaceli et al., 2022). سطح زیر کشت رسمی این گیاه محدود و عمدتاً به صورت پراکنده در مزارع کوچک یا در اطراف مناطق طبیعی آن گزارش شده است، چرا که بیشتر به صورت وحشی و طبیعی در زیستگاه‌های خود یافت (Rahimi et al., 2019).

فسفر یکی از عناصر ضروری برای رشد و توسعه گیاهان در سطح سلولی و مولکولی است و در فرآیندهایی مانند فتوسنتز، انتقال انرژی، تقسیم سلولی و تشکیل اندام‌های گیاهی نقش حیاتی ایفا می‌کند (Walpola and Yoon, 2012). با این حال، فسفر موجود در خاک‌های کشاورزی عمدتاً به صورت ترکیبات نامحلول مانند فسفات کلسیم، آهن و آلومینیوم بوده که قابلیت جذب مستقیم توسط ریشه گیاه را ندارد و برای استفاده گیاه باید به فرم محلول تبدیل شود (Richardson, 2001). از این رو، تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان معمولاً از طریق کاربرد کودهای شیمیایی فسفره انجام می‌شود. با این حال، مصرف بی‌رویه این کودها

مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیسم گیاهان ایفا می‌کنند. فنیل آلانین یکی از اسیدهای آمینه معطر بوده که به عنوان پیش‌ساز اصلی در بیوسنتز ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها شناخته می‌شود. این اسید آمینه نه تنها پیش‌ساز ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی است، بلکه می‌تواند بر بهبود خصوصیات رشدی و میزان اسانس گیاهان دارویی نیز موثر باشد (Khan et al., 2019). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که محلول‌پاشی فنیل آلانین در گیاهانی مانند بادرنجبویه (Yazdanpanahi et al., 2024)، ریحان (Reham et al., 2016) و آویشن باغی (Naghdi Badi et al., 2014)، باعث بهبود صفات رشدی، افزایش کلروفیل و میزان اسانس شده است. فنیل آلانین از طریق مسیر آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز، در سنتز ترکیبات فنلی نقش دارد و عملکرد فتوسنتزی و متابولیسم گیاه را ارتقا می‌دهد (Feduraev et al., 2020). در پژوهشی دیگر، تاثیر فنیل آلانین بر رنگیزه‌های فتوسنتزی مریم‌گلی (*Slavia officinalis*) نیز بررسی شد که نشان‌دهنده اثر مثبت آن بر افزایش کلروفیل بود (Rahmani Samani et al., 2019). همچنین این اسید آمینه می‌تواند همراه با تیروزین در مسیرهای متابولیسمی وارد شده و روند سنتز ترکیبات فنلی را کوتاه‌تر کند (Feduraev et al., 2020). در مطالعه‌ای بر روی گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)، محلول‌پاشی فنیل آلانین همراه با کودهای زیستی و آبیاری مناسب، افزایش میزان اسانس را به دنبال داشت (Hassanabadi et al., 2024). Deveikyte و همکاران (۲۰۲۵) نیز نشان دادند که محلول‌پاشی فنیل آلانین توانسته میزان اسانس را در گیاه ریحان افزایش دهد. همچنین کاربرد فنیل آلانین در گیاه دارویی زوفا موجب شد تا ویژگی‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و همچنین مواد موثره این گیاه افزایش یابد (Aghaei et al., 2019). در گیاه دارویی نعناع فلفلی نیز محلول‌پاشی برگری با فنیل آلانین توانست موجب بهبود رشد، میزان و ترکیبات اسانس این گیاه شود (Salehi and Ebadi, 2008).

با توجه به نقش کلیدی فسفر در رشد، توسعه ریشه، سنتز ترکیبات آلی و افزایش عملکرد گیاهان دارویی، کمبود فراهمی این عنصر در خاک یکی از عوامل محدودکننده تولید محسوب

می‌شود. استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌تواند با افزایش قابلیت جذب فسفر، رشد و کارایی فیزیولوژیکی گیاه را بهبود بخشد. از سوی دیگر، اسید آمینه فنیل آلانین به عنوان پیش‌ماده مسیر فنیل پروپانوئید نقش مهمی در القای سنتز اسانس‌های معطر دارد. تاکنون مطالعات کمی اثر هم‌زمان این دو عامل زیستی را بر رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و ترکیبات ثانویه گیاه مریم‌گلی ترکیه‌ای بررسی کرده‌اند. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف تبیین اثرات هم‌افزایی کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی فنیل آلانین بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان اسانس این گیاه دارویی ارزشمند انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. در این مطالعه، فاکتور اول شامل تلقیح گیاه با ۹ سویه باکتری حل‌کننده فسفات:

(*Pantoea agglomerans*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Enterobacter cloacae*, *Rhizobium meliloti*, control)

و فاکتور دوم محلول‌پاشی با اسید آمینه فنیل آلانین در سه غلظت (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر) مختلف بود. تیمارهای مختلف به صورت ترکیبی اعمال شدند تا تاثیرات هم‌زمان باکتری‌ها و فنیل آلانین بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان اسانس گیاه مریم‌گلی ترکیه‌ای (*Salvia virgata*) مورد بررسی قرار گیرد.

برای اجرای آزمایش، بذره‌های مریم‌گلی در سینی کشت حاوی کوکوپیت و پرلیت به نسبت (۱:۱) مساوی کشت شدند. در مرحله چهارم برگری، نشاءها به گلدان‌هایی با حجم ۱۲ کیلوگرم (قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر) حاوی مخلوط خاک باغچه، ماسه و خاک‌برگ به نسبت ۲:۱:۱ منتقل شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر کاشت در جدول ۱ آورده شده است. به

Table 1. Physical and chemical characteristics of the planting substrate

Potassium (K) (mg/kg)	Phosphorus (P) (mg/kg)	Nitrogen (N) (mg/g)	Organic carbon کربن آلی (%)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	pH
120	24.4	0.57	1.5	1.2	7.5

با خط کش تعیین گردید. سطح برگ با دستگاه سطح برگ سنج مدل LI-3100C اندازه گیری شد و وزن تر برگ، ساقه و ریشه به صورت جداگانه با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم ثبت شد. نمونه ها برای تعیین وزن خشک، ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. حجم ریشه نیز با استفاده از اختلاف حجم ایجاد شده پس از قرار دادن ریشه در حجم مشخصی از آب و با دقت ۰/۱ میلی لیتر اندازه گیری شد (Akhavan et al., 2012).

محتوای نسبی آب برگ: برای تعیین محتوای نسبی آب برگ، توزین وزن تر برگ ها (FW^1)، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند و سپس وزن آماس (TW^2) ثبت شد. در ادامه، نمونه ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد خشک و وزن خشک (DW^3) اندازه گیری گردید. درصد محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Sánchez et al., 1998).

$$RWC\% = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100 \quad (1)$$

رنگیزه های فتوستتزی: برای اندازه گیری رنگیزه های فتوستتزی، ۰/۲ گرم برگ کاملاً توسعه یافته با ۲۰ میلی لیتر متانول ۹۹ درصد در هاون چینی عصاره گیری شد و عصاره حاصل به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. جذب نوری عصاره ها پس از رقیق سازی در طول موج های ۴۷۰، ۶۵۳ و ۶۶۶ نانومتر با اسپکتروفوتومتر (مدل UK Bio Quest C250) اندازه گیری شد. سپس غلظت رنگیزه ها فتوستتزی با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (Arnon, 1949).

$$Chla = (15.65 * A666) - (7.34 * A653) \quad (2)$$

منظور اعمال تیمار باکتری، مایه تلقیح باکتری ها از مرکز تحقیقات آب و خاک تهران بخشی بیولوژیک خاک تهیه شد و سپس تلقیح ریشه نشاءها با محیط کشت مایع حاوی باکتری (با جمعیت تقریبی $10^8 \times CFU/ml$) پیش از انتقال به گلدان انجام شد. مرحله دوم تلقیح، ۱۰ روز پس از انتقال نشاءها، به منظور اطمینان از استقرار باکتری ها، انجام گرفت بدین صورت که به هر بوته ۵۰ میلی لیتر از محیط کشت مایع (۲۵۰ میلی لیتر برای هر گلدان) اضافه شد (Riahi et al., 2020). شرایط گلخانه ای شامل دمای 25 ± 2 درجه سانتی گراد در روز، 18 ± 2 درجه سانتی گراد در شب و رطوبت نسبی حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد بود. کلیه عملیات داشت به صورت یکسان برای تمام گیاهان انجام شد. فنیل آلانین به صورت محلول در آب مقطر تهیه شد و چهار بار، هر دو هفته یک بار روی برگ و ساقه گیاهان اسپری شد. اولین محلول پاشی سه هفته پس از انتقال نشاءها انجام شد و گیاهان شاهد تنها با آب مقطر محلول پاشی شدند (Tarasevičienė et al., 2021). در مرحله تمام گل، نمونه برداری از گیاهان جهت اندازه گیری صفات مورد بررسی انجام شد که از زمان کاشت تا این مرحله حدود ۷۰ روز طول کشید. این صفات شامل ارتفاع گیاه، طول شاخه گل - دهنده، وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه، طول و عرض برگ، تعداد برگ، سطح برگ، طول و حجم ریشه، قطر ساقه، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کارتنوئید و میزان اسانس بودند.

خصوصیات رشدی: برای ارزیابی خصوصیات رشدی، اندازه گیری ها با روش های استاندارد انجام شد. قطر ساقه با کولیس دیجیتال و ارتفاع بوته، طول ساقه گل دهنده و طول ریشه

3 Dry Weight

1 Fresh Weight

2 Turgid Weight

$$\text{Chlb} = (27.05 * A653) - (11/21 * A666) \quad (3)$$

$$\text{Cx+c} = (1000 * A470 -$$

$$2.860 * \text{Chla} - 129.2 * \text{Chlb}) / 245 \quad (4)$$

$$\text{Chlt} = \text{Chla} + \text{Chlb} \quad (5)$$

Chla: میزان کلروفیل a، Chlb: میزان کلروفیل b، Cx+c:

کاروتنوئید کل و Chlt: کلروفیل کل

تعیین میزان اسانس: ۲۵ گرم از نمونه خشک شده پس از آسیاب، به همراه ۶۰۰ میلی لیتر آب در دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت جوشانده شد. سپس مقدار اسانس جمع آوری شده قرائت و به صورت درصدی از وزن خشک گیاه (حجمی-وزنی) محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری: داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار Minitab 17 تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون Tukey در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت. نمودارها با نرم افزار اکسل ۲۰۱۶ ترسیم شدند.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل بین باکتری‌های حل کننده فسفات و اسید آمینه فنیل آلانین بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲ و ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۸۲/۶ سانتی متر)، وزن تر ریشه (۲۵/۷ گرم در گلدان) و وزن خشک ریشه (۵/۱ گرم در گلدان) در تیمار کاربرد باکتری *P. putida* همراه با محلول پاشی فنیل آلانین با غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر مشاهده شد. در مقابل، کمترین مقادیر این صفات به ترتیب برابر با ۴۱/۵ سانتی متر، ۱۴/۲ گرم در گلدان و ۲/۸ گرم در گلدان در تیمار شاهد (بدون استفاده از باکتری‌های حل کننده فسفات و فنیل آلانین) بدست آمد (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد که تیمار شاهد کمترین وزن تر برگ (۲۷/۷ گرم در گلدان)، وزن خشک برگ (۶/۱ گرم در گلدان) و قطر ساقه (۰/۷ میلی متر) را نشان داد. در مقابل، تیمار حاوی باکتری *B. licheniformis* به همراه محلول پاشی فنیل آلانین ۲۰۰ میلی گرم در لیتر موجب

افزایش چشمگیر این صفات نسبت به شاهد شد؛ به طوری که وزن تر برگ (۲۱۴/۶ درصد)، وزن خشک برگ (۲۱۴/۴ درصد) و قطر ساقه (۲۶۹/۳۳ درصد) نسبت به شاهد افزایش یافتند (جدول ۴). بیشترین طول و عرض برگ به ترتیب با ۹/۲۰ و ۳/۷۵ سانتی متر در تیمار باکتری *B. subtilis* و محلول پاشی فنیل آلانین در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر مشاهده گردید (جدول ۴).

علاوه بر این، تیمار ترکیبی باکتری *B. licheniformis* و فنیل آلانین با سطح ۲۰۰ میلی گرم در لیتر، بالاترین محتوای نسبی آب برگ را ایجاد کرد و این مقدار ۴۵/۵۶ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۵). در بررسی رنگی‌های فتوسنتزی، تیمار شاهد کمترین مقدار کلروفیل a (۱/۳۲ میلی گرم در گرم وزن تر برگ)، کاروتنوئید (۰/۳۲۵ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) و کلروفیل کل (۱/۹۵ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) را نشان داد. درحالی‌که تیمار حاوی *B. licheniformis* و محلول پاشی فنیل آلانین در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر بیشترین مقادیر این رنگی‌ها را به ترتیب با ۱/۹۸، ۰/۴۵۳ و ۲/۶۵ میلی گرم در گرم وزن تر برگ ایجاد کرد. سایر تیمارهای باکتریایی نیز در افزایش این رنگی‌ها موثر بودند، اما باکتری *B. megaterium* کمترین تاثیر را داشت (جدول ۵). بیشترین مقدار کلروفیل b نیز در تیمار *P. agglomerans* با محلول پاشی فنیل آلانین در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر (۰/۷۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) به دست آمد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین میزان اسانس نشان داد که کاربرد ۲۰۰ میلی گرم در لیتر فنیل آلانین بیشترین تاثیر را در افزایش این صفت داشت؛ بطوریکه تیمار *P. fluorescens* همراه با محلول پاشی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر فنیل آلانین، بیشترین میزان اسانس (۵۶۹/۰ درصد حجمی-وزنی) را نشان داد که البته این تیمار از نظر آماری تفاوت معنی داری با تیمارهای حاوی *B. licheniformis*، *P. putida* و *R. meliloti* در سطح مشابه فنیل آلانین نداشت (نمودار ۱).

جدول ۲. آنالیز واریانس اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی فنیل آلانین بر ارتفاع بوته، وزن ترو خشک اندام هوایی، طول و عرض برگ، قطر ساقه و وزن تر و خشک ریشه مریم‌گلی
ترک‌های

Table 2. Analysis of variance of the effects of phosphate-solubilization bacteria and foliar application of L-Phenylalanine on Plant height, Shoot fresh and dry weight, Leaf length and width, Stem diameter and Root fresh and dry weight of *Salvia virgata*

Mean Squares								df	
Root dry weight	Root fresh weight	Stem diameter	Leaf width	Leaf length	Shoot dry weight	Shoot fresh weight	Plant height		
1.54**	37.94**	2.06**	0.67**	4.45**	36.05**	745.03**	409.07**	9	Phosphate solubilizing bacteria
1.83**	45.11**	1.17**	0.28*	2.35**	5.69 ^{ns}	117.68 ^{ns}	14.81 ^{ns}	2	Phenylalanine
0.27**	6.86**	0.75**	0.73**	1.83**	17.39**	359.52**	313.55**	18	Phosphate solubilizing bacteria* Phenylalanine
0.07	2.09	0.22	0.07	0.44	2.96	61.09	16.36	60	Error
12.97	13.05	27.48	19.62	15.88	24.58	24.59	17.92		cv

^{ns}, * و ** به ترتیب بیانگر اثر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

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

جدول ۳. آنالیز واریانس اثر باکتری‌های محرک رشد حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی فنیل آلانین بر محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید و میزان اسانس مریم‌گلی
ترک‌های

Table 3. Analysis of variance of the effects of phosphate-solubilization bacteria and foliar application of L-Phenylalanine on Relative water content (RWC), Chlorophyll a, Chlorophyll b, Total chlorophyll, Carotenoid and essential oil content of *Salvia virgata*

Mean Squares						df	
Essential oil content	Carotenoid	Total Chlorophyll	Chlorophyll b	Chlorophyll a	RWC		
0.006**	0.0070**	0.13**	0.05**	0.10**	116.80**	9	Phosphate solubilizing bacteria
0.001**	0.0008**	0.01**	0.02**	0.05**	218.37**	2	Phenylalanine
0.001**	0.0020**	0.06**	0.02**	0.04**	97.01**	18	Phosphate solubilizing bacteria* Phenylalanine
0.00001	0.00007	0.002	0.003	0.005	34.44	60	Error
26.74	8.78	7.03	19.36	8.76	11.18		cv

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

* and ** stand for significant effects at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی فنیل آلانین بر ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول و عرض برگ، قطر ساقه و وزن تر و خشک ریشه گیاه مریم‌گلی ترکه‌ای

Table 4. Comparison of the mean interactive effect of phosphate-solubilizing bacteria and L-phenylalanine foliar application on Plant height, Shoot fresh and dry weight, Leaf length and width, Stem diameter and Root fresh and dry weight of *Salvia virgata*

Root dry weight (g/pot)	Root fresh weight (g/pot)	Stem diameter (mm)	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)	Shoot dry weight (g/pot)	Shoot fresh weight (g/pot)	Plant height (cm)	Phenylalanine (mg/l)	Phosphate solubilizing bacteria
3.94±0.14 ^{c-c}	19.7±0.72 ^{c-c}	1.75±0.17 ^{ab}	2.45±0.14 ^{d-f}	7.75±0.14 ^{a-d}	10.72±0.73 ^{b-f}	43.5±7.51 ^{d-f}	49.3±2.03 ^{g-d}	0	
4.09±0.10 ^{b-c}	20.4±0.53 ^{b-c}	2.19±0.02 ^{ab}	2.85±0.08 ^{a-c}	6.75±0.14 ^{b-c}	12.73±0.47 ^{b-c}	48.7±3.32 ^{b-f}	51.0±2.89 ^{g-j}	100	<i>Pantoea agglomerans</i>
4.58±0.18 ^{z-d}	22.9±0.89 ^{a-d}	2.18±0.07 ^{ab}	2.80±0.11 ^{b-f}	7.00±0.00 ^{a-d}	14.46±0.001 ^{a-d}	51.7±1.30 ^{b-f}	50.5±3.18 ^{g-j}	200	
4.03±0.19 ^{c-c}	20.2±0.95 ^{c-c}	2.25±0.26 ^{ab}	3.43±0.01 ^{a-c}	7.25±0.14 ^{a-d}	12.32±1.84 ^{b-c}	56.0±8.37 ^{b-c}	73.5±0.00 ^{a-c}	0	
4.16±0.17 ^{b-c}	20.1±0.85 ^{b-c}	1.91±0.01 ^{ab}	2.05±0.03 ^{ef}	6.60±0.23 ^{b-c}	15.01±0.41 ^{a-d}	68.2±1.88 ^{a-d}	51.5±1.44 ^{g-j}	100	<i>Bacillus pumilus</i>
4.57±0.14 ^{a-d}	22.8±0.73 ^{a-d}	2.50±0.17 ^{ab}	2.15±0.20 ^{ef}	6.75±0.43 ^{b-c}	13.53±0.06 ^{a-c}	61.5±0.29 ^{a-c}	56.5±1.44 ^{c-i}	200	
4.24±0.20 ^{a-c}	21.2±0.98 ^{a-c}	1.41±0.09 ^{a-c}	2.70±0.17 ^{b-f}	7.75±0.43 ^{a-d}	12.65±1.27 ^{b-c}	57.5±5.77 ^{b-c}	61.0±1.00 ^{c-h}	0	
4.79±0.07 ^{a-c}	23.9±0.38 ^{a-c}	1.67±0.31 ^{ab}	2.25±0.00 ^{ef}	5.75±0.43 ^{de}	16.11±1.81 ^{ab}	73.2±8.23 ^{ab}	48.3±1.45 ^{h-j}	100	<i>Bacillus licheniformis</i>
4.06±0.10 ^{b-c}	20.3±0.52 ^{b-c}	2.77±0.59 ^a	2.40±0.34 ^{ef}	6.50±0.29 ^{b-c}	19.19±0.41 ^a	87.2±1.88 ^a	70.0±1.15 ^{a-c}	200	
4.22±0.23 ^{a-c}	21.1±1.14 ^{a-c}	2.55±0.63 ^{ab}	2.95±0.00 ^{a-c}	8.35±0.00 ^{a-c}	11.11±1.97 ^{b-f}	50.5±8.95 ^{-f}	65.5±2.60 ^{-f}	0	
4.13±0.16 ^{b-c}	20.6±0.80 ^{b-c}	1.50±0.003 ^{a-c}	2.25±0.03 ^{ef}	6.85±0.08 ^{b-c}	10.94±0.60 ^{b-f}	49.7±2.74 ^{b-f}	59.6±2.73 ^{d-h}	100	<i>Bacillus megaterium</i>
4.74±0.20 ^{a-d}	23.7±1.03 ^{a-d}	2.25±0.13 ^{ab}	2.65±0.20 ^{c-f}	7.25±0.00 ^{a-d}	14.68±1.05 ^{a-d}	66.7±4.76 ^{a-d}	59.5±3.75 ^{d-h}	200	
4.34±0.28 ^{a-c}	21.7±1.40 ^{a-c}	1.32±0.001 ^{a-c}	2.30±0.29 ^{ef}	6.85±0.84 ^{b-c}	9.68±0.44 ^{d-h}	44.0±2.02 ^{d-f}	62.6±4.26 ^{c-g}	0	
4.32±0.11 ^{a-c}	21.6±0.54 ^{a-c}	2.54±0.29 ^{ab}	3.45±0.00 ^{a-c}	8.50±0.00 ^{ab}	10.94±1.17 ^{b-f}	49.7±5.34 ^{b-f}	68.3±0.33 ^{b-c}	100	<i>Bacillus subtilis</i>
4.73±0.17 ^{a-d}	23.6±0.84 ^{a-d}	2.61±0.10 ^a	3.75±0.00 ^a	9.20±0.81 ^a	11.99±1.59 ^{b-c}	54.5±7.22 ^{b-c}	61.0±1.15 ^{c-h}	200	
3.82±0.07 ^{d-f}	19.1±0.37 ^{d-f}	1.95±0.005 ^{ab}	2.60±0.23 ^{c-f}	5.90±0.17 ^{de}	15.62±1.21 ^{a-c}	71.0±5.48 ^{a-c}	59.0±1.73 ^{d-h}	0	
4.98±0.08 ^{ab}	24.9±0.44 ^{ab}	2.51±0.12 ^{ab}	3.35±0.00 ^{a-d}	7.40±0.00 ^{a-d}	11.66±0.25 ^{b-f}	53.0±1.15 ^{b-f}	77.6±0.33 ^{ab}	100	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
4.60±0.15 ^{a-d}	23.0±0.75 ^{a-d}	2.74±0.48 ^a	2.30±0.00 ^{ef}	7.50±0.29 ^{a-d}	12.93±0.001 ^{b-c}	58.7±0.00 ^{b-c}	58.5±0.86 ^{d-h}	200	
4.02±0.06 ^{c-c}	20.1±0.31 ^{c-c}	2.36±0.08 ^{ab}	2.60±0.06 ^{c-f}	7.60±0.34 ^{a-d}	15.07±0.19 ^{a-d}	68.5±5.48 ^{a-d}	53.3±2.60 ^j	0	
4.27±0.05 ^{a-c}	21.3±0.27 ^{a-c}	2.57±0.24 ^{ab}	3.56±0.23 ^{ab}	6.66±0.71 ^{b-c}	12.04±0.001 ^{b-c}	54.7±1.15 ^{b-c}	69.0±0.00 ^{b-c}	100	<i>Pseudomonas putida</i>
5.13±0.04 ^a	25.7±0.23 ^a	1.63±0.00 ^{ab}	2.95±0.26 ^{a-c}	5.75±0.14 ^{de}	16.00±0.001 ^{ab}	72.7±0.00 ^{ab}	82.6±2.03 ^a	200	
4.06±0.10 ^{b-c}	20.3±0.51 ^{b-c}	2.69±0.24 ^a	2.75±0.14 ^{b-f}	6.75±0.14 ^{b-c}	15.18±0.32 ^{a-d}	69.0±0.86 ^{a-d}	61.8±0.83 ^{c-h}	0	
4.26±0.13 ^{a-c}	21.3±0.66 ^{a-c}	1.97±0.01 ^{ab}	2.30±0.17 ^{ef}	6.25±0.72 ^{c-c}	10.01±1.65 ^{c-f}	45.5±0.00 ^{-f}	66.3±1.20 ^{b-f}	100	<i>Enterobacter cloacae</i>
4.62±0.12 ^{a-d}	23.1±0.62 ^{a-d}	2.05±0.07 ^{ab}	2.15±0.20 ^{ef}	6.40±0.52 ^{b-c}	11.66±1.78 ^{b-f}	53.0±0.00 ^{b-f}	53.5±0.86 ^{f-j}	200	
4.25±0.25 ^{a-c}	21.3±1.27 ^{a-c}	1.18±0.68 ^{a-c}	2.25±0.14 ^{ef}	6.90±0.34 ^{b-d}	10.67±1.33 ^{b-f}	48.5±1.44 ^{b-f}	76.3±3.18 ^{ab}	0	
4.50±0.10 ^{a-d}	22.5±0.51 ^{a-d}	1.50±0.00 ^{a-c}	2.70±0.00 ^{b-f}	5.75±0.43 ^{de}	9.57±0.82 ^{d-f}	56.2±2.17 ^{b-c}	71.2±4.13 ^{a-d}	100	<i>Rhizobium meliloti</i>
4.60±0.18 ^{a-d}	23.0±0.94 ^{a-d}	1.78±0.04 ^{ab}	2.75±0.14 ^{b-f}	6.00±0.00 ^{de}	10.45±0.00 ^{b-f}	65.7±0.00 ^{a-d}	51.0±3.51 ^{g-j}	200	
2.84±0.06 ^g	14.2±0.33 ^g	0.75±0.00 ^g	1.90±0.06 ^f	4.65±0.20 ^e	6.10±0.54 ^f	27.7±2.45 ^f	41.5±4.91 ^j	0	
2.98±0.03 ^{fg}	14.9±1.53 ^{fg}	0.97±0.35 ^{bc}	2.23±0.14 ^{ef}	6.30±0.63 ^{b-c}	7.75±0.60 ^{ef}	35.2±2.74 ^f	43.6±0.67 ^{ij}	100	Control
3.48±0.17 ^{c-g}	17.4±0.85 ^{c-g}	1.36±0.00 ^{a-c}	2.75±0.14 ^{b-f}	5.85±0.08 ^{de}	11.38±0.28 ^{b-f}	47.5±8.08 ^{b-f}	50.0±1.73 ^{g-j}	200	

حروف مشابه در هر ستون به مفهوم عدم وجود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون توکیاست.

In each column, means with similar letters are not significantly different (Tukey, $P < 0.05$).

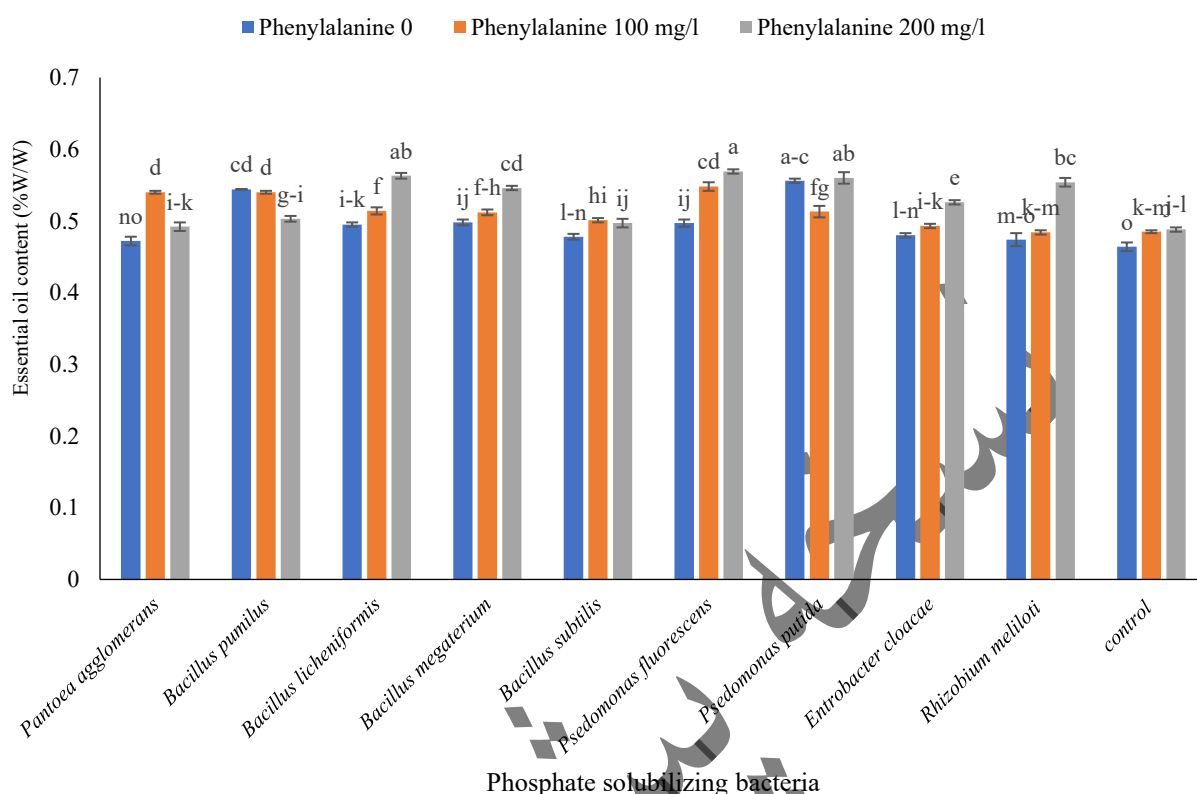
جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی فنیل آلانین بر محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید و میزان اسانس‌گیاه مریم‌گلی ترکه‌ای

Table 5. Comparison of the mean interactive effect of phosphate-solubilizing bacteria and L-phenylalanine foliar application on Relative water content (RWC), Chlorophyll a, Chlorophyll b, Total chlorophyll, Carotenoid and essential oil content of *Salvia virgata*

Carotenoids (mg/gFW ⁻¹)	Total Chlorophyll (mg/gFW ⁻¹)	Chlorophyll b (mg/gFW ⁻¹)	Chlorophyll a (mg/gFW ⁻¹)	RWC (%)	Phenylalanine (mg/l)	Phosphate solubilizing bacteria
0.276±0.00 ^p	2.22±0.01 ^{g-k}	0.58±0.06 ^{a-f}	1.65±0.004 ^{d-f}	65.9±2.31 ^{a-d}	0	<i>Pantoea agglomerans</i>
0.391±0.0002 ^{d-i}	2.26±0.0003 ^{f-j}	0.61±0.008 ^{a-e}	1.63±0.00 ^{d-f}	64.9±2.02 ^{a-d}	100	
0.368±0.007 ^{h-n}	2.59±0.06 ^{ab}	0.77±0.07 ^a	1.81±0.08 ^{a-f}	72.4±1.73 ^{a-d}	200	
0.395±0.006 ^{d-h}	2.28±0.05 ^{e-i}	0.70±0.01 ^{a-c}	1.57±0.03 ^f	67.7±0.96 ^{a-d}	0	<i>Bacillus pumilus</i>
0.413±0.0006 ^{b-d}	2.32±0.04 ^{d-i}	0.62±0.01 ^{a-e}	1.70±0.06 ^{c-f}	67.3±2.74 ^{a-d}	100	
0.425±0.007 ^{bc}	2.51±0.006 ^{a-c}	0.59±0.002 ^{a-f}	1.92±0.004 ^{a-c}	71.5±6.28 ^{a-d}	200	
0.431±0.005 ^{ab}	2.36±0.03 ^{c-h}	0.66±0.07 ^{a-d}	1.70±0.008 ^{c-f}	71.8±3.62 ^{a-d}	0	<i>Bacillus licheniformis</i>
0.409±0.00 ^{b-e}	2.34±0.002 ^{d-i}	0.58±0.009 ^{a-f}	1.76±0.00 ^{a-f}	74.3±1.13 ^{a-d}	100	
0.453±0.00 ^a	2.65±0.04 ^a	0.67±0.02 ^{a-d}	1.98±0.09 ^a	79.8±0.09 ^a	200	
0.406±0.005 ^{b-f}	2.32±0.001 ^{d-i}	0.73±0.07 ^{ab}	1.59±0.008 ^{ef}	63.9±6.17 ^{a-d}	0	<i>Bacillus megaterium</i>
0.391±0.004 ^{d-i}	2.21±0.04 ^{g-k}	0.51±0.03 ^{c-f}	1.71±0.03 ^{b-f}	66.9±0.51 ^{a-d}	100	
0.377±0.00 ^{g-m}	2.09±0.004 ^{i-l}	0.47±0.04 ^{d-f}	1.61±0.05 ^{d-f}	76.2±3.26 ^{a-c}	200	
0.395±0.003 ^{d-h}	2.37±0.02 ^{c-h}	0.49±0.006 ^{d-f}	1.87±0.0007 ^{a-d}	67.1±3.03 ^{a-d}	0	<i>Bacillus subtilis</i>
0.383±0.002 ^{e-k}	2.40±0.0003 ^{b-f}	0.48±0.007 ^{d-f}	1.93±0.008 ^{a-c}	72.4±4.16 ^{a-d}	100	
0.385±0.00 ^{d-j}	2.46±0.02 ^{a-d}	0.51±0.03 ^{c-f}	1.98±0.01 ^a	76.9±3.05 ^{a-c}	200	
0.353±0.0003 ^{mn}	2.18±0.02 ^{i-k}	0.44±0.03 ^{ef}	1.71±0.05 ^{b-f}	60.8±7.54 ^{a-d}	0	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
0.356±0.0007 ^{l-n}	2.07±0.00 ^{kl}	0.44±0.02 ^{ef}	1.66±0.09 ^{a-f}	63.1±1.49 ^{a-d}	100	
0.354±0.003 ^{mn}	2.20±0.02 ^{h-k}	0.54±0.02 ^{b-f}	1.80±0.01 ^{a-f}	76.2±1.77 ^{a-c}	200	
0.388±0.01 ^{d-j}	2.19±0.01 ^{i-k}	0.54±0.02 ^{b-f}	1.80±0.03 ^{a-f}	66.8±4.86 ^{a-d}	0	<i>Pseudomonas putida</i>
0.367±0.006 ⁱ⁻ⁿ	2.42±0.04 ^{a-f}	0.56±0.03 ^{b-f}	1.85±0.07 ^{a-d}	68.5±1.85 ^{a-d}	100	
0.381±0.004 ^{f-l}	2.55±0.007 ^{ab}	0.54±0.006 ^{b-f}	1.95±0.06 ^{ab}	78.6±1.71 ^{ab}	200	
0.372±0.00 ^{h-n}	2.41±0.03 ^{b-f}	0.57±0.004 ^{a-f}	1.84±0.007 ^{a-d}	58.1±8.01 ^{cd}	0	<i>Enterobacter cloacae</i>
0.363±0.001 ^{j-n}	2.43±0.03 ^{a-e}	0.61±0.03 ^{a-e}	1.81±0.04 ^{a-f}	69.2±0.52 ^{a-d}	100	
0.371±0.001 ^{h-n}	2.38±0.0003 ^{c-h}	0.61±0.04 ^{a-e}	1.77±0.02 ^{a-f}	75.9±2.23 ^{a-c}	200	
0.402±0.0008 ^{c-g}	2.42±0.01 ^{a-f}	0.70±0.02 ^{a-c}	1.72±0.006 ^{b-f}	67.9±0.77 ^{a-d}	0	<i>Rhizobium meliloti</i>
0.373±0.003 ^{h-n}	2.26±0.05 ^{f-j}	0.43±0.03 ^{ef}	1.83±0.04 ^{a-e}	69.4±2.16 ^{a-d}	100	
0.361±0.005 ^{j-n}	2.19±0.03 ^{i-k}	0.49±0.05 ^{d-f}	1.72±0.04 ^{b-f}	72.0±3.18 ^{a-d}	200	
0.325±0.005 ^o	1.95±0.03 ^l	0.48±0.004 ^f	1.32±0.00 ^g	54.8±0.82 ^d	0	Control
0.391±0.004 ^{d-i}	2.30±0.02 ^{d-j}	0.48±0.03 ^{d-f}	1.82±0.008 ^{a-e}	59.7±0.47 ^{b-d}	100	
0.349±0.13 ^{no}	2.06±0.00 ^{kl}	0.46±0.01 ^f	1.61±0.06 ^f	69.9±2.69 ^{a-d}	200	

حروف مشابه در هر ستون به مفهوم عدم وجود تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون Tukey است.

In each column, means with similar letters are not significantly different (Tukey, $P < 0.05$).



نمودار ۱. اثر متقابل باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی فنیل آلانین بر میزان اسانس گیاه مریم‌گلی ترکه‌ای

Fig. 1. Interaction effect of phosphate solubilization bacteria and foliar application of L-Phenylalanine on essential oil content of *Salvia virgata*.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی فنیل آلانین، هر دو اثر معنی‌داری بر بهبود ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مریم‌گلی ترکه‌ای داشتند و ترکیب این دو عامل بیشترین تاثیر را در افزایش اغلب صفات مورد بررسی در این تحقیق گذاشتند.

بیشترین ارتفاع بوته، وزن تر و خشک ریشه در تیمار *P. putida* همراه با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر فنیل آلانین حاصل شد. یافته‌های این تحقیق با نتایج Enayatizamir و همکاران (۲۰۲۱) در دو گونه ریحان و Karimi Sernawi و همکاران (۲۰۲۴) در نعناع‌فللی مطابقت دارد که تاثیر این باکتری را بر افزایش وزن خشک و طول ریشه گزارش کردند. همچنین Pazoki (۲۰۱۶) رشد تحریک شده گیاه دارویی ریحان با استفاده

از این باکتری را تایید نمود. Khanizadeh و همکاران (۲۰۱۹) نیز در بررسی گیاه دارویی بادرنجویه به نتایج مشابه دست یافتند. این اثرگذاری ممکن است در نتیجه تولید سایر متابولیت‌ها توسط باکتری *P. putida* باشد که در بهبود جذب آب و عناصر غذایی شده رشد ریشه موثر هستند (Abdelaal et al., 2021). همچنین طبق گزارش Khanizadeh و همکاران (۲۰۱۹)، این باکتری از طریق افزایش جذب آب، سبب افزایش طول ریشه و به دنبال آن افزایش وزن تر ریشه می‌شود که این تغییر در ساختار سیستم ریشه ای نیز می‌تواند بر جذب عناصر غذایی مختلف تاثیر گذار باشد و به این طریق طول ریشه گیاه را افزایش دهد.

در این تحقیق، کاربرد *B. licheniformis* بیشترین اثر را بر افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی داشت. که این نتایج با تحقیق Dehghani Meshkani و همکاران (۲۰۱۱) در مورد بابونه شیرازی همسو است. گونه‌های *Bacillus* به‌ویژه

licheniformis از طریق بهبود رشد ریشه و افزایش تولید فیتوهورمون‌ها، جذب آب و مواد غذایی را تسهیل کرده و در نهایت رشد گیاه را تقویت می‌کند (Torfi et al., 2022). از سوی دیگر، فنیل‌آلانین به‌عنوان پیش‌ساز ترکیبات فنلی در تحریک مسیرهای متابولیکی افزایش تقسیم سلولی و رشد بافت‌های رویشی نقش دارد (Khan et al., 2019). همچنین فنیل‌آلانین یکی از اسیدهای آمینه ضروری است که به دلیل ماهیت محلول در آب خود، به راحتی از طریق ریشه و برگ گیاه جذب می‌شود که این جذب آسان به دلیل قابلیت فنیل‌آلانین در حل شدن در آب و حرکت در جریان آوندهای گیاهی است و اجازه می‌دهد به سرعت در سراسر گیاه منتقل شده و در فرآیندهای متابولیکی شرکت کند و نقش مثبتی در بهبود رشد گیاه و افزایش سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی داشته باشد (Rahmani Samani et al., 2019). این امر می‌تواند علت احتمالی افزایش خصوصیات رویشی گیاه مورد مطالعه در این تحقیق باشد. Salehi و Ebadi (۲۰۲۴) نیز تاثیر مثبت فنیل‌آلانین را بر خصوصیات رشدی نعنادهشتی گزارش کردند. همچنین محلول‌پاشی فنیل‌آلانین در مرزه (Poorghadir et al., 2020) و مریم‌گلی (Hasan Abadi et al., 2022) موجب بهبود رشد گیاه شد. یکی از علل احتمالی دیگر این تاثیر را می‌توان به نقش فنیل‌آلانین در افزایش محتوای پروتئین و فعال سازی مسیر بیوسنتز اسید جیبرلیک نسبت داد که با تحریک تقسیم، طولی شدن و تمایز سلول‌ها، رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Gonda et al., 2018).

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد باکتری *B. licheniformis* موجب بیشترین افزایش در محتوای نسبی آب برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه مریم‌گلی ترکه‌ای شد. این یافته با نتایج گزارش شده در مورد گیاهانی از جمله ذرت (Abasi et al., 2014) و گل راعی (Raj et al., 2023) همخوانی دارد. مکانیسم احتمالی این تاثیر می‌تواند به توانایی این باکتری در افزایش جذب آب و عناصر غذایی مرتبط باشد و همچنین *licheniformis* از طریق تولید هورمون‌هایی نظیر اکسین، موجب

تحریک رشد ریشه و افزایش سطح جذب ریشه شده و در نتیجه، محتوای نسبی آب برگ را افزایش می‌دهد (Akhtar et al., 2020). بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی با کاربرد این باکتری نیز پیش‌تر در گیاهانی مانند عناب (Kwon et al., 2021)، داوودی (Zhou et al., 2017)، و خردل هندی (Prakash Dube et al., 2024) گزارش شده است. این تاثیر به نقش *B. licheniformis* در افزایش ترشح اسیدهای آلی نسبت داده می‌شود که موجب افزایش جذب عناصر ریزمغذی و در نهایت بهبود تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌گردد. همچنین توانایی این باکتری در تسهیل جذب فسفر، نیتروژن و منیزیم که از اجزای اصلی ساختار کلروفیل هستند نقش مهمی در افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی ایفا می‌کند (Park et al., 2017). از سوی دیگر، محلول‌پاشی فنیل‌آلانین در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز بیشترین اثر را بر افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ داشت. این یافته‌ها با نتایج گزارش شده در مورد گیاهان مورینگا (El-Bassiouny et al., 2021) و خردل (Hassanein et al., 2023) هم راستا بود. فنیل‌آلانین به‌عنوان پیش ساز اصلی مسیر فنیل‌پروپانوییدی عمل کرده و با فعال سازی آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیز، ترکیبات فنلی تولید می‌کند. این ترکیبات موجب پایداری غشا کلروپلاست و حفاظت از رنگیزه‌ها در برابر تخریب اکسیداتیو می‌شوند (Feduraev et al., 2020). علاوه بر این، فنیل‌آلانین با تحریک سنتز پروتئین‌های ساختاری، آنزیم‌های مرتبط با فتوسنتز و تولید کلروفیل، بازده فتوسنتزی و تجمع رنگیزه‌ها را افزایش می‌دهد (El-Bassiouny et al., 2021). همچنین این ترکیب با بهبود رشد ریشه و افزایش ظرفیت جذب آب از خاک، منجر به افزایش محتوای آب برگ می‌گردد (Khan et al., 2019).

بر اساس نتایج این تحقیق، کاربرد باکتری *P. fluorescens* موجب افزایش محتوای اسانس در گیاه مورد مطالعه شد. این یافته با گزارش‌های پیشین در مورد آویشن خوزستانی (Salehnia Sammak et al., 2021)، شوید (Hegazi et al., 2015) و نعنای فلفلی (Santoro et al., 2015) مطابقت دارد. یکی

از مکانیسم‌های اصلی اثرگذاری این باکتری در افزایش میزان اسانس، ترشح ترکیبات آلی فرار مانند بنزالدئید و استات هاست که با تحریک بیان ژن‌های مسیر بیوسنتزی ترپنوئیدها که مولفه‌های اصلی اسانس هستند، موجب افزایش سنتز آنها می‌گردند (Ryu et al., 2003). همچنین، *P. fluorescens* با افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر، در تقویت تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس‌ها نقش موثری ایفا می‌کند (Vacheron et al., 2013). از طرفی دیگر باکتری‌های جنس سودوموناس به‌عنوان میکروارگانیسم‌های محرک رشد گیاه، قادر به تولید سیدروفور هستند؛ مولکول‌هایی با ظرفیت بالا برای اتصال و انتقال آهن (Fe^{3+}) به محیط پیرامون خود که آهن را به صورت کمپلکس محلول درمی‌آورند و قابلیت جذب آن توسط ریشه‌های گیاه را افزایش می‌دهند که این امر باعث بهبود فرآیندهای متابولیکی گیاه، از جمله سنتز کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های وابسته به آهن، می‌شود و در نهایت رشد و سلامت گیاه را تقویت می‌کند و به دنبال آن موجب افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاه نیز می‌شوند (Kloepper et al., 1980). از سوی دیگر، فنیل‌آلانین نیز در این پژوهش موجب افزایش محتوای اسانس شد. یکی از دلایل اصلی این اثر، نقش فنیل‌آلانین به‌عنوان پیش‌ساز مسیر فنیل‌پروپانوییدی است؛ این مسیر یکی از مهمترین مسیرهای تولید ترکیبات فنلی و آروماتیک در گیاهان به‌شمار می‌رود که در نهایت منجر به افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه از جمله ترپنوئیدها می‌شود (Khan et al., 2019). افزون بر این، فنیل‌آلانین با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و فتوسنتزی گیاه، شرایط مناسبی برای تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه فراهم می‌سازد (Khan et al., 2019). مطالعات پیشین نیز افزایش محتوای اسانس در پاسخ به کاربرد فنیل‌آلانین را در گیاهانی مانند بادرنبجوبیه (Baharlou et al., 2020) و مریم‌گلی (Rahmani Samani et al., 2019) گزارش کرده‌اند که تاییدی بر نتایج به‌دست آمده در این تحقیق است.

نتیجه‌گیری

تضاد منافع

در این پژوهش به بررسی و مقایسه اثر کاربرد انواع مختلف باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی سطوح مختلف فنیل‌آلانین بر ویژگی‌های رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و میزان اسانس گیاه مریم‌گلی پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئید)، محتوای نسبی آب برگ و میزان اسانس در تیمار باکتری *B. licheniformis* همراه با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر فنیل‌آلانین مشاهده شد. همچنین کاربرد باکتری *P. fluorescens* نیز به‌تنهایی یا همراه با فنیل‌آلانین نقش مؤثری در افزایش میزان اسانس ایفا کرد. بررسی نتایج نشان داد که استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه به‌ویژه *B. licheniformis* از طریق تحریک رشد ریشه، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی شد. همچنین فنیل‌آلانین به‌عنوان پیش‌ساز مسیر فنیل‌پروپانوییدی، با تأثیر بر سنتز ترکیبات فنلی و آروماتیک و بهبود فعالیت فتوسنتزی، موجب افزایش رنگیزه‌ها و اسانس گیاه گردید. در مجموع، کاربرد تلفیقی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و محلول‌پاشی اسید آمینه فنیل‌آلانین، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر جهت بهبود صفات فیزیولوژیکی و افزایش کیفیت گیاه مریم‌گلی ترکه‌ای مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اهمیت اسانس و رنگیزه‌های فتوسنتزی در کیفیت ارزش اقتصادی گیاهان دارویی، توصیه می‌شود از ترکیب باکتری‌های *B. licheniformis* و *P. fluorescens* همراه با محلول‌پاشی فنیل‌آلانین در سطح ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده شود.

تشکر و سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری نویسنده اول مقاله در رشته فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان دارویی از دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت‌های علمی و پژوهشی دانشگاه مذکور صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

References

1. Abasi, R., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Mosavi, Y., 2014. Effect of Plant Growth-Promoting Bacteria on Quantitative and Qualitative Yield of Forage Maize. *Crop Prod Process.* 6(21), 133-145. (In Persian with English abstract).
2. Abbaspour Anbi, A., Mirshekari, B., Eivazi, A., Yarnia, M., Khalilvand behrouzyar, E., 2019. PGPRs affected photosynthetic capacity and nutrient uptake in different *Salvia* species. *J. Plant Nut.* 43(1), 108-121. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659342>.
3. Abdelaal, K. H., Alkahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Kiraly, L., 2021. The Role of Plant Growth-Promoting Bacteria in Alleviating the Adverse Effects of Drought on Plants. *Biology.* 10, 2-23. <https://doi.org/10.3390/biology10060520>.
4. Akhavan, S., Shabanpour, M., Esfahani, S., 2012. Soil Compaction and Texture Effects on the Growth of Roots and Shoots of Wheat. *Water and Soil.* 26(3), 727-735. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.14941>. (In Persian with English abstract).
5. Akhtar, S. S., Buchvaldt Amby, D., Hegelund, J. N., Fimognari, L., Muller, R., Roitsch, T., 2020. *Bacillus licheniformis* FMCH001 Increases Water Use Efficiency via Growth Stimulation in Both Normal and Drought Conditions. *Front. Plant Sci.* 11, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00297>.
6. Arnon, D. I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24, 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>.
7. Baharlou, M., Ghasemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F., 2020. Effect of different concentrations of L-phenylalanine on chemical compositions and yield of essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis*). *J. Herb Med.* 10(4), 183-191. (In Persian with English abstract).
8. Ben Akacha, B., Kačániová, M., Generalić, I., Kukula-Koch, W., Koch, W., Erdogan, I., Taglieri, I., Venturi, F., Taieb Bouteraa, M., 2024. Sage (*Salvia officinalis* L.): A botanical marvel with versatile pharmacological properties and sustainable applications in functional foods. *S. Afr. J. Bot.* 169, 361-382. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.044>.
9. Dehghani Meshkani, M., Naghdi Badi, H., Darrehi, M. T., Mehrafrin, A., Rezazadeh, S., Kadkhoda, Z., 2011. The effect of bio and chemical fertilizers on the quantitative and qualitative yield of Shiraz chamomile (*Matricaria recutita* L.). *J. Med Plants.* 10(2), 35-48. (In Persian with English abstract).
10. Deveikyte, J., Blinstrubienė, A., Burbulis, N., Baltušnikienė, A., 2025. Foliar application of amino acids increases sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) resistance to high-temperature stress. *Plants* 14(5), 739. <https://doi.org/10.3390/plants14050739>.
11. Enayatizamir, N., Mahmoodi Sourestani, M., Momeni Monfared, M., 2021. The Impact of *Pseudomonas putida* and chemical phosphorus fertilizer on some vegetative, reproductive and biochemical characteristics of two species of basil (*O. sanctum* L. and *O. basilicum* var. thrysiflora). *Plant Product.* 44(2), 235-246. <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.31636.1844>. (In Persian with English abstract).
12. Esmacili, G., Fatemi, H., Baghani Avval, M., Azizi, M., Arouiee, H., Vaezi, J., Fujii, Y., 2022. Diversity of chemical composition and morphological traits of eight Iranian wild *Salvia* species during the first step of domestication. *Agronomy.* 12(10), 2455. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102455>.
13. Feduraev, P., Skrypnik, L., Riabova, A., Pungin, A., Tokupova, E., Maslennikov, P., Chupakhina, G., 2020. Phenylalanine and tyrosine as exogenous precursors of wheat (*Triticum aestivum* L.) secondary metabolism through PAL-associated pathways. *Plants.* 9(476): 2-19. <https://doi.org/10.3390/plants9040476>.
14. Galileya Medison, R., Jiang, J., Medison, M. B., Tan, L. T., Kayange, C., Sun, Z., Zhou, Y., 2023. Evaluating the potential of *Bacillus licheniformis* YZCUO202005 isolated from lichens in maize growth promotion and biocontrol. *Heliyon.* 9(10), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20204>.
15. Hegazi, M. A., Salem, M., Belal, M., 2015. Influence of plant growth-promoting bacteria (PGPR) on coriander (*Coriandrum sativum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) plants. *J. Plant Prod.* 6(2), 205-218. <https://doi.org/10.21608/jpp.2015.49299>.
16. Karimi Sernawi, M., Rezaei Nejad, A., Mousavi-Fard, S., Mirzai Najafgholi, H., Beiranvand, F., 2024. Effect of growth promoting bacteria *Pseudomonas putida* and *Curtobacterium* sp. strain WLU on the growth and essential oil of peppermint plants (*Mentha piperita* L.) under water deficit stress conditions. *Plant Process Funct.* 13(63), 24. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1014-fa.html>. (In Persian with English abstract).
17. Khan, S., Yu, H., Li, Q., Gao, Y., Sallam, B. N., Wang, H., Liu, P., Jiang, W., 2019. Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agron.* 9(5), 266. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050266>.

18. Khatoon, Z., Huang, S., Rafique, M., Fakhar, A., Kamran, M. A., Santoyo, G., 2020. Unlocking the potential of plant growth-promoting rhizobacteria on soil health and the sustainability of agricultural systems. *J. Environ. Manage.* 273, 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111118>.
19. Khanizadeh, P., Hatami, M., Abtahi, F. S., Hosseini, N., 2019. Stimulatory effect of *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida* bacteria on germination features and growth of lemon balm (*Melissa officinalis*). *J. Plant Res.* 32(3), 558-569. 20.1001.1.23832592.1398.32.3.18.5. (In Persian with English abstract).
20. Kloepper, J. W., Leong, J., Teintze, M., Schhroth, M. N., 1980. Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. *Nature.* 286(5776), 885-886. <https://doi.org/10.1038/286885a0>.
21. Kwon, J. H., Won, S. J., Moon, J. H., Lee, U., Park, Y. S., Ahn, Y. S., 2021. *Bacillus licheniformis* PR2 controls fungal diseases and increases production of jujube fruit under field conditions. *Horticulturae.* 7(3), 49. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030049>.
22. Naghdi Badi, H., Labbafi, M. R., Qavami, N., Qaderi, A., Abdossi, V., Agharebparast, M. R., Mehrafarin, A., 2014. Responses of quality and quantity yield of Garden Thyme (*Thymus vulgaris* L.) to foliar application of bio-stimulator based on amino acids and methanol. *J. Med Plants.* 14(2), 146-158. <https://Sid.ir/paper/15817/en>. (In Persian with English abstract).
23. Oteino, N., D. Lally, R., Kiwanuka, S., Ryan, D., Dowling, D. N., 2015. Plant growth promoting induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers.* 22(6), 745. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745>.
24. Park, H. G., Lee, Y. S., Kim, K. Y., Park, Y. S., Han, T. H., Park, C. M., Ahn, Y. S., 2017. Inoculation with *Bacillus licheniformis* MH48 promotes nutrient uptake in seedlings of the ornamental plant *Camellia japonica* grown in Korean reclaimed coastal lands. *Hortic Sci.* 28, 11-20. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20170002>.
25. Pazoki, A. R., 2016. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and humic acid on yield and components of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress in Qom region. *J. Agroecol.* 6(1), 60-80.
26. Prakash Dube, S., Dey, R., Devi, S., Raghuwanshi, R., 2024. Seed quality, chlorophyll and carotene content in *Brassica Juncea* L. leaves at two growth stages in response to Rhizospheric Bacteria. *Curr Agric Res J.* 12(2), 820-835. <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.12.2.25>.
27. Poorghadir, M., Mohammadi Torkashvand, A., Mirjalili, S. A., Moradi, P., 2020. Interactions of amino acids (proline and phenylalanine) and biostimulants (salicylic acid and chitosan) on the growth and essential oil components of savory (*Satureja hortensis* L.). *Biocatal. Agric Biotechnol.* 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101815>.
28. Rahmani Samani, M., Ghasemi Pirbalouti, A., Moattar, F., Golparvar, A. R., 2019. L-Phenylalanine and bio-fertilizers interaction effects on growth, yield and chemical compositions and content of essential oil from the sage (*Salvia officinalis* L.) leaves. *Ind Crops Prod.* 137, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.019>.
29. Raj, Y., Kumar, A., Kumari, S., Kumar, R., 2023. Comparative genomics and physiological investigations supported multifaceted plant growth-promoting activities in two *Hypericum perforatum* L.-associated plant growth-promoting rhizobacteria for microbe-assisted cultivation. *Microbiol. Spectr.* 11(3), 1-19. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00607-23>.
30. Reham, M. S., Khattab, M. E., Ahmed, S. S., Kandil, M. A. M., 2016. Influence of foliar spray with phenylalanine and nickel on growth, yield, quality, and chemical composition of Genovese basil plant. *J. Agric Res.* 11(16), 1398-1410. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10699>.
31. Riahi, L., Cherif, H., Miladi, S., Neifar, M., Bejaoui, B., Chouchane, H., Slaheddine Masmoudi, A., Cherif, A., 2020. Use of plant growth promoting bacteria as an efficient biotechnological tool to enhance the biomass and secondary metabolites production of the industrial crop *Pelargonium graveolens* L'Hér. under semi-controlled conditions. *Ind Crops Prod.* 154, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112721>.
32. Richardson, A. E., 2001. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Funct Plant Biol.* 28(9), 897-906. <https://doi.org/10.1071/PP01072>.
33. Rostamikia, Y., Rahmani, A., Teimouri, M., 2024. The effect of inoculation of growth-stimulating bacteria on some leaf growth traits and nutritional elements of hazelnut seedlings under field conditions. *J. Soil Plant Relat.* 15(1), 1-15. (In Persian with English abstract).
34. Salehi, M. K., Ebadi, M. T., 2024. Effects of L-phenylalanine or L-tyrosine foliar application on growth characteristics, yield, and essential oil of spearmint. *Iran. J. Hort Sci.* 56(1), 81-101. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.371335.2149>. (In Persian with English abstract).
35. Salehnia Sammak, A., Anvari, M., Matinizadeh, M., Mirza, M., 2021. Evaluation of inoculation pseudomonas fluorescens and arbuscular mycorrhizal fungus on growth, morphological characteristics and essential oil percentage of *Thymus kotschyanus*. *JMPB.* 11(2), 181-189. 10.22092/jmpb.2021.352625.1298.
36. Sánchez, F. J., Manzanares, M., de Andres, E. F., Tenorio, J. L., Ayerbe, L., 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Res.* 59(3), 225-235. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00125-7).

37. Santoro, M .V., Cappellari, L .R., Giordano, W., Banchio E., 2015. Plant growth-promoting effects of native *Pseudomonas* strains on *Mentha piperita* (peppermint): an in vitro study. Plant Biol. 17(6), 18-26. <https://doi.org/10.1111/plb.12351>.
38. Seif Sahandi, M., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Khalighi-Sigaroodi, F., Sharifi, M., 2019. Improving growth, phytochemical, and antioxidant characteristics of peppermint by phosphate-solubilizing bacteria along with reducing phosphorus fertilizer use. Ind Crops and Prod. 141: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111777>.
39. Shahhoseini, R., Hossaini, S .M., Nikjouyan, M .J., 2024. Investigation of the growth and phytochemical variatcions for different Salvia species in terms of their transfer and adaptation in Iran. J. Appl Res Med Aromat Plants. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2023.100526>.
40. Tarasevičiene, Z., Velička, A., Paulauskiene, A., 2021. Impact of foliar application of amino acids on total phenols, phenolic acids content of different mints varieties under the field condition. Plants. 10: 20-16. <https://doi.org/10.3390/plants10030599>.
41. Torfi, V., Danesh Shahraki, A., Gho badinia, M., Saeidi, K., 2022. Effect of water deficit stress and separate, dual and triple combined inoculation of some growth promoting bacteria on agromorphological traits of Lemon balm. Env. Stresses Crop Sci. 16(2): 487-500. <http://dx.doi.org/10.22077/escs.2023.4769.2066>. (In Persian with English abstract).
42. Walpola, B.C., Yoon, M., 2012. Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: a review, Afr J Microbiol. Res. 6: 6600–6605. DOI:10.5897/AJMR12.889.
43. Wei, Y., Zhao, Y., Shi, M., Cao, Z., Lu, Q., Yang, T., Fan, Y., Wei, Z., 2018. Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation. Bioresour. Technol. 247: 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.092>.
44. Yazdanpanahi, F., Sanikhani, M., Kheiry, A., Rabbi Angourani, H., 2024. Effect of phenylalanine and gamma-aminobutyric acids on morphophysiological characteristics of *Dracocephalum moldavica* L. under salinity stress. Plant Process and Function. 13 (62): 33-50 . <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-2025-en.html>. (In Persian with English abstract).
45. Zhou, C., Chu, L., Xie, Y., Li, F., Xiao, X., Ma, Z., Wang, J., 2017. *Bacillus licheniformis* SA03 confers increased saline–alkaline tolerance in chrysanthemum plants by induction of abscisic acid accumulation. Front Plant Sci. 29(8): 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01143>.