

تأثیر اسید جیبرلیک و فسفر شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia officinalis* L.)

مریم سرافراز^۱، حمید دهقانزاده^{۲*} و امیرفرید هاشمی^۳

۱- کارشناس ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، نراق، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران، پست الکترونیک: Dehghanzadeh@pnu.ac.ir

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، نراق، ایران

تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۱

تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: بهمن ۱۴۰۰

چکیده

برای بررسی تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی فسفر و اسید جیبرلیک بر عملکرد و اجزای آن و اسانس مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) در منطقه قره‌چای استان مرکزی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سوپر فسفات تریپل در سه سطح (۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده)، کود فسفر بیولوژیک بارور-۲ در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) و اسید جیبرلیک در سه سطح (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ppm) بودند. نتایج نشان داد که تأثیر کود بارور-۲، اسید جیبرلیک و سوپر فسفات تریپل بر تمام صفات عملکرد و اجزای آن و اسانس معنی‌دار بود. کود بارور-۲ به ترتیب منجر به افزایش ۷/۷٪، ۱۸/۲ درصدی عملکرد اسانس و افزایش جزئی ترکیب‌های عمده اسانس نسبت به شاهد شد. همچنین، مصرف ۲۰۰ ppm اسید جیبرلیک به ترتیب موجب افزایش ۲۳/۵ و ۴۰/۵ درصدی اسانس و عملکرد اسانس در مقایسه با شاهد شد. بیشترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد اسانس به ترتیب به میزان ۳۷۵۱ و ۱۵/۵۲ کیلوگرم در هکتار با کاربرد همزمان ۱۰۰٪ سوپر فسفات تریپل توصیه شده، کود بارور-۲ و ۲۰۰ ppm اسید جیبرلیک بدست آمد. بیشترین درصد آلفا-توجون (۲۷/۹۱٪) به عنوان مهم‌ترین ترکیب اسانس با کاربرد همزمان ۱۰۰٪ سوپر فسفات تریپل توصیه شده، کود بارور-۲ و ۱۰۰ ppm اسید جیبرلیک بدست آمد. کاربرد همزمان اسید جیبرلیک و بارور-۲ منجر به کاهش مصرف کود شیمیایی فسفر برای حصول خصوصیات رویشی بهتر و عملکرد و درصد اسانس بالا گردید، به طوری که در بسیاری از صفات، کاربرد ۷۰٪ سوپر فسفات تریپل توصیه شده در تلفیق با کود بارور-۲ و اسید جیبرلیک، اختلاف معنی‌داری با مصرف ۱۰۰٪ سوپر فسفات تریپل توصیه شده نداشت. بنابراین می‌توان با کاربرد همزمان ۲۰۰ ppm اسید جیبرلیک و بارور-۲، بدون اینکه کاهش معنی‌داری در عملکرد و اسانس گیاه مریم گلی ایجاد شود، میزان مصرف کود فسفر را تا ۳۰٪ کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، جیبرلیک اسید، زیست‌توده، کود بیولوژیک، مریم گلی (*Salvia officinalis* L.).

مقدمه

کاهش مصرف کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی با استفاده از کودهای بیولوژیک به عنوان جایگزین یا مکمل کودهای شیمیایی پرمصرف از جنبه‌های اکولوژیکی و اقتصادی مزیت‌هایی را به دنبال دارد (Sarikhani & Amini, 2020). با توجه به احتمال بروز اثرهای منفی ناشی از مصرف بی‌رویه سموم و کودهای شیمیایی روی کمیت و کیفیت ترکیب‌های مؤثره گیاهان دارویی، بسیاری از شرکت‌های دارویی مواد خام حاصل از نظام‌های پایدار و ارگانیک را ترجیح می‌دهند (Shahin Faridvand et al., 2021). در این راستا، کاربرد کودهای بیولوژیک از جمله راهبردهای نیل به اهداف کشاورزی ارگانیک است که در سال‌های اخیر برای رفع این مشکلات مورد توجه قرار گرفته‌اند (Vafadar-Yengeje et al., 2019). کود تجاری بارور-۲ نوعی کود زیستی حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های باسیلوس لنتوس و سودوموناس پوتیدا است که به ترتیب با استفاده از دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و اسید فسفاتاز باعث حل ترکیب‌های فسفره نامحلول و قابل جذب شدن آن برای گیاه می‌شود (Malbubi, 2007). افزایش درصد اسانس، پرولین و کاروتنوئید بابونه (Khatami & Galavi, 2019)، افزایش وزن تر گیاه و میزان کاروتنوئید برگ نعناع سبز (Hekmati et al., 2021)، افزایش عملکرد، درصد و عملکرد اسانس نعناع فلفلی (Pakpour, 2012)، افزایش عملکرد اسانس در گیاه بابونه آلمانی (Alijani et al., 2011)، افزایش عملکرد دانه و اسانس زیره سبز (Rezaei Chiyaneh et al., 2015)، افزایش عملکرد زیستی و خواص کیفی اسفرزه (Khavari et al., 2021) و افزایش عملکرد دانه سیاهدانه (Haghighat et al., 2020) با کاربرد کودهای بیولوژیکی و بارور-۲ گزارش شده است. Pourhadi (۲۰۱۱) نشان داد که کودهای بیولوژیک نیتروکسین و حل‌کننده فسفات از جنس سودوموناس و پرنیتروپلاس (حاوی باکتری‌های محرک رشد شامل آزوسپیرلیوم، سودوموناس و باسیلوس و بیوسولفور) نسبت به تیمار شاهد عملکرد کمی و کیفی نعناع

فلفلی را بهبود بخشید.

جیبرلیک اسید تنظیم‌کننده رشد گیاهی است که بر کیفیت گل، زمان گلدهی و رشد گل‌ها مؤثر است. در آزمایشی تیمار ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک باعث افزایش عملکرد اسانس، وزن تر و خشک برگ و ساقه، تعداد گیاهان گل‌دهنده و ارتفاع گیاه اسطوخودوس شد (Hajisamadi et al., 2011). کاربرد اسید جیبرلیک در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیز موجب دستیابی به حداکثر میزان مواد مؤثره در گیاه استویا گردید (Sedghi et al., 2018). افزایش عملکرد و اسانس نعناع فلفلی (Pakpour, 2012)، افزایش وزن برگ زعفران (Amirshakari et al., 2008)، افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس بادرنجبویه (Khoei, 2014)، افزایش عملکرد تک بوته فلفل (Mohammadi et al., 2018)، افزایش سطح برگ و بهبود رشد گیاه فلفل زینتی (Georgi et al., 2010)، افزایش وزن تر و خشک بوته و اسانس گیاه سرخارگل (Echinacea purpurea (L.) Moench (Hasan-beigi et al., 2021) با کاربرد جیبرلین گزارش شده است. علت افزایش طول ساقه و برگ در تیمار با جیبرلیک اسید به دلیل اثر این ماده در تسهیل رشد گیاه می‌باشد، به نحوی که جیبرلیک اسید با تحریک و تسریع تقسیم یاخته‌ای، افزایش طول یاخته و بزرگ شدن آن بر سرعت رشد گیاه اثر می‌گذارد (Al-Khassawneh et al., 2006).

مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) گیاهی از خانواده نعناع می‌باشد که برگ‌های آن دارای اسانس روغنی فرّار و ساپونین و یک ماده تلخ به نام پیکروسالوین با خاصیت متوقف کردن رشد باکتری و همچنین اسیدهای آلی است. از این گیاه در طب سنتی برای معالجه یبوست، وبا، سرماخوردگی و انواع تب و اختلالات کبدی و صرعی و فلج استفاده می‌کرده‌اند و این گیاه را مقوی و مولد خون تازه و صالح می‌دانستند و برای تقویت عضلات و آرام کردن اعصاب تجویز می‌شده است (Azadbakht, 2000). با توجه به اهمیت به‌زراعی گیاه مریم‌گلی، این تحقیق برای بررسی اثر کود بیولوژیکی فسفر بارور-۲، کود شیمیایی فسفر و

(B2) و مصرف جیبرلیک اسید در سه سطح [عدم مصرف (G1)، مصرف ۱۰۰ ppm (G2) و مصرف ۲۰۰ ppm (G3)] بودند. براساس توصیه‌های کودی، تیمارهای کود شیمیایی فسفر شامل ۱۵۰ (P1)، ۱۰۵ (P2) و ۴۵ (P3) کیلوگرم فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل هنگام خاک‌ورزی به صورت یکنواخت با خاک مخلوط شد. تیمار کود بارور-۲ در هنگام کاشت قلمه‌ها و قرار دادن ریشه قلمه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در محلول ۱۰۰ گرم در مترمکعب بارور-۲ اعمال گردید. هر کرت شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۴ متر و فاصله ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و تعداد بوته در هر خط کاشت ۸ عدد و فاصله کرت‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. تیمارهای جیبرلیک اسید در مرحله رشد طولی ساقه و وقتی ارتفاع بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود به صورت محلول پاشی بر روی اندام‌های هوایی گیاهان (شاخساره) توسط سمپاش دستی انجام گردید. برای تأثیرگذاری بیشتر و همچنین به دلیل حساسیت جیبرلین به نور، محلول پاشی هنگام غروب آفتاب انجام شد. آبیاری کرت‌ها به صورت قطره‌ای انجام و مراقبت‌های زراعی به طور یکنواخت برای کلیه تیمارها اعمال گردید.

جیبرلیک اسید بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی مریم‌گلی اجرا شد تا واکنش این گیاه دارویی در راستای کشاورزی پایدار به کودهای بیولوژیکی مشخص شود.

مواد و روش‌ها

برای بررسی تأثیر کاربرد کود فسفر زیستی بارور-۲، کود شیمیایی فسفر و جیبرلیک اسید بر خواص کمی و اسانس مریم‌گلی در منطقه قره‌چای استان مرکزی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال زراعی ۱۳۹۲ انجام شد. محل آزمایش دارای مختصات جغرافیایی ۳۹ درجه و ۰/۰۳ دقیقه عرض شمالی و ۳۷ درجه و ۹۲ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۷۷۱ متر از سطح دریا، دارای حرارت حداقل ۳/۶ درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت ۳۹/۸ درجه سانتی‌گراد در طول دوره آزمایش بود. مشخصات خاک آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. تیمارهای آزمایش شامل کود شیمیایی فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل در ۳ سطح [۱۰۰٪ توصیه شده (P1)، ۷۰٪ توصیه شده (P2) و ۳۰٪ توصیه شده (P3)]، کود فسفر بیولوژیک بارور-۲ در دو سطح [عدم تلقیح (B1) و تلقیح

جدول ۱- مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر

Table 1. Chemical and physical properties of experimental soil at depth of 0-30 cm

| Soil texture | Clay | Silt | Sand | Total nitrogen | Organic matter | K | P | pH | EC (dS.m ⁻¹) |
|-----------------|------|------|------|----------------|----------------|-----|----|-----|--------------------------|
| | | | | (%) | | | | | |
| Silty clay loam | 40 | 35 | 25 | 0.07 | 0.49 | 430 | 10 | 7.5 | 1.5 |

استخراج اسانس با استفاده از روش تقطیر با آب به وسیله دستگاه کلونجر انجام شد. از حاصلضرب درصد اسانس در مقدار ماده خشک، عملکرد اسانس بدست آمد. برای تجزیه اسانس و اندازه‌گیری ترکیب‌های آلفا-توجون، ۸،۱-سینئول و کامفور، از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی استفاده شد.

با شروع گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد برگ در بوته، تاج پوشش، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، عملکرد بیولوژیکی، درصد اسانس و عملکرد اسانس از ۸ بوته انتخابی در هر کرت اندازه‌گیری شد. برای خشک کردن، نمونه‌ها در آون و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند.

توصیه شده، عدم مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و عدم مصرف اسید جیبرلیک با ۳۸/۶۷ سانتی متر کمترین ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۳). البته بین تیمار کاربرد ۱۰۰٪ کود فسفره توصیه شده، مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و مصرف ۲۰۰ ppm اسید جیبرلیک با کاربرد ۷۰٪ کود فسفره توصیه شده و مقادیر مختلف مصرف کود بارور و جیبرلیک اسید اختلاف معنی داری در ارتفاع بوته مشاهده نشد (جدول ۳).

تأثیر کود بارور، جیبرلیک اسید و کود فسفر بر تعداد شاخه فرعی معنی دار بود (جدول ۲). مصرف کود بارور منجر به افزایش ۱۷ درصدی تعداد شاخه‌های فرعی شد (جدول ۳). همچنین مصرف ۱۰۰٪ کود فسفره توصیه شده منجر به افزایش ۱۸ درصدی تعداد شاخه فرعی نسبت به کاربرد ۳۰٪ کود توصیه شده گردید (جدول ۳). البته بین تیمار ۱۰۰٪ کود فسفره توصیه شده و تیمار ۷۰٪ کود فسفره توصیه شده اختلاف معنی داری در تعداد شاخه‌های فرعی مشاهده نشد (جدول ۳). همچنین مصرف ۲۰۰ ppm جیبرلین منجر به افزایش ۱۲/۲ درصدی تعداد شاخه‌های فرعی نسبت به شاهد شد (جدول ۳). هرچند کاربرد ۱۰۰ ppm اسید منجر به افزایش شاخه‌های فرعی گردید، اما این افزایش معنی دار نبود (جدول ۳). اثر متقابل کود بیولوژیک بارور-۲، کود شیمیایی فسفره و اسید جیبرلیک بر شاخه‌های فرعی معنی دار بود (جدول ۱). مقایسه اثر متقابل نشان داد که کاربرد ۷۰٪ کود فسفره توصیه شده، مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و مصرف اسید جیبرلیک ۲۰۰ ppm با ۱۸/۳۳ شاخه بیشترین تعداد شاخه فرعی و کاربرد ۳۰٪ کود فسفره توصیه شده، عدم مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و عدم مصرف اسید جیبرلیک با ۱۲/۶۷ شاخه کمترین تعداد شاخه فرعی را داشتند (جدول ۳). البته بین تیمار کاربرد ۷۰٪ کود فسفره توصیه شده، مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و مصرف اسید جیبرلیک ۲۰۰ ppm با تیمارهای کاربرد ۱۰۰٪ کود شیمیایی فسفره اختلاف معنی داری در تعداد شاخه‌های فرعی مشاهده نشد (جدول ۳).

دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Trace Ms حاوی ستون DB-5 با طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میکرومتر بود. از دستگاه گاز کروماتوگراف متصل به طیف‌سنج جرمی مدل Quadrupole استفاده شد. دمای ستون از ۴۰ درجه سانتی‌گراد تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۲/۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش یافت. سرعت جریان گاز حامل هلیوم با سرعت ۱/۱ میلی‌متر در دقیقه و انرژی یونیزاسیون آن در طیف‌سنجی جرمی ۷۰ الکترون ولت بود. برای محاسبه اندیس‌های بازدارندگی ترکیب‌ها، آلکان‌های نرمال C9-C22 تزریق گردید. طیف‌های بدست آمده با مقایسه طیف‌های جرمی استاندارد شناسایی شدند. درصد نسبی هر یک از ترکیب‌ها هم با توجه به سطح زیر منحنی آن در طیف کروماتوگرام حاصل بدست آمد (Izadi & Mirazi, 2020). تجزیه واریانس داده‌ها به وسیله نرم‌افزار MSTATC انجام گردید. در صورت معنی دار بودن اثر عامل آزمایشی از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ برای مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد.

نتایج

نتایج نشان داد که کاربرد کود زیستی، کود شیمیایی فسفر و اسید جیبرلیک بر ارتفاع بوته معنی دار بود (جدول ۲). مصرف کود بارور-۲ منجر به افزایش ۱۴/۵ درصدی ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳). مصرف ۱۰۰٪ کود فسفره توصیه شده و مصرف ۳۰٪ کود فسفره توصیه شده به ترتیب دارای بالاترین و کمترین ارتفاع بوته به میزان ۱۷/۹۵ و ۶۹/۴۴ سانتی‌متر بودند (جدول ۳). همچنین مصرف ۲۰۰ ppm اسید جیبرلیک منجر به افزایش ۱۴/۵ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). اثر متقابل کود بیولوژیک بارور-۲، کود شیمیایی فسفره و اسید جیبرلیک بر ارتفاع بوته معنی دار بود (جدول ۲). کاربرد ۱۰۰٪ کود فسفره توصیه شده، مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و مصرف ۲۰۰ ppm اسید جیبرلیک با ۶۲ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته و کاربرد ۳۰٪ کود فسفره

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر اسید جیبرلیک و کودهای بیولوژیکی و شیمیایی فسفر روی عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس مریم گلی

Table 2. ANOVA of gibberellic acid, and phosphorus biological and chemical fertilizers effects on yield, yield components, and essential oil of *Salvia officinalis*

| Sources of variation | d.f. | Mean squares | | | | | |
|---|------|--------------|------------------------------|----------------------------|-------------|------------------|-----------------|
| | | Plant height | Number of branches per plant | Number of leaves per plant | Canopy area | Shoot dry weight | Root dry weight |
| Replication | 2 | 0.24074 | 0.0185 | 14.018 | 1.85185 | 5.752 | 0.0184 |
| Phosphorus bio-fertilizer of Barvar-2 (B) | 1 | 50.0741* | 9.796* | 31.129* | 0.16667* | 3.370* | 0.078* |
| Triple super phosphate (P) | 2 | 793.352** | 29.796** | 30983.35** | 303.352** | 1437.05** | 1.195** |
| Gibberlic acid (GA) | 2 | 141.796** | 15.130** | 6594.13** | 540.685** | 442.423** | 5.348** |
| B × P | 2 | 16.796 ns | 11.130* | 620.351* | 102.389** | 34.997** | 2.656** |
| B × GA | 2 | 82.574* | 7.907* | 1334.24* | 72.167* | 56.205** | 1.201** |
| P × GA | 4 | 54.407 * | 2.490 ns | 4021.57** | 185.518** | 92.207** | 0.788** |
| B × P × GA | 4 | 3.129* | 5.324 * | 1197.46** | 61.889** | 15.812* | 0.699** |
| Experimental error | 34 | 18.69 | 2.254 | 135.018 | 15.498 | 5.390 | 0.173 |
| C.V. (%) | - | 8.36 | 9.81 | 6.09 | 4.82 | 4.87 | 5.99 |

ns, *, and **: not significant, and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۲- ...

Continued Table 2. ...

| Sources of variation | d.f. | Mean squares | | | | | |
|---|------|------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|-------------|---------|
| | | Biological yield | Essential oil percentage | essential oil yield | α -thujone | 1,8-cineole | camphor |
| Replication | 2 | 81203.24 | 0.0001 | 2.557 | 2.0 | 0.3 | 0.8 |
| Phosphorus bio-fertilizer of Barvar-2 (B) | 1 | 21233.57* | 0.6229** | 17.207** | 6.7* | 1.2* | 2.4* |
| Triple super phosphate (P) | 2 | 2283290.0** | 1.271** | 202.81** | 5.1* | 0.01* | 3.9* |
| Gibberlic acid (GA) | 2 | 707878.1* | 0.6225** | 51.707** | 7.1** | 1.0** | 1.2* |
| B × P | 2 | 55995.45** | 0.1753** | 7.978** | 2.3* | 1.0* | 2.3** |
| B × GA | 2 | 89928.46** | 0.1223** | 11.794** | 2.7** | 0.9 * | 1.0* |
| P × GA | 4 | 147532.5** | 0.0275 ns | 8.995** | 0.3 ns | 0.7 ns | 1.0 ns |
| B × P × GA | 4 | 25259.1** | 0.0562* | 1.739* | 1.1* | 0.5** | 1.6* |
| Experimental error | 34 | 8624.1 | 0.0145 | 0.634 | 1.0 | 0.2 | 0.8 |
| C.V. (%) | - | 5.88 | 5.69 | 7.91 | 3.5 | 4.8 | 4.6 |

ns, *, and **: not significant, and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر اسید جیبرلیک و کودهای بیولوژیکی و شیمیایی فسفر روی عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس مریم گلی

Table 3. Means comparison of gibberellic acid, and phosphorus biological and chemical fertilizers effects on yield, yield components and essential oil of *Salvia officinalis*

| Treatments | Shoot dry weight (g.plant ⁻¹) | Root dry weight (g.plant ⁻¹) | Canopy area (cm ²) | Number of leaves per plant | Number of branches per plant | Plant height (cm) |
|---|---|--|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------|
| B1 (without phosphorus bio-fertilizer of Barvar-2) | 78.16 b | 6.48 b | 79.08 b | 164.63 b | 14.09 b | 76.08 b |
| B2 (with phosphorus bio-fertilizer of Barvar-2) | 83.15 a | 7.48 a | 83.15 a | 187.11 a | 16.54 a | 87.15 a |
| P1(100% of the recommended triple super phosphate) | 90.41 a | 7.25 a | 95.17 a | 229.56 a | 16.39 a | 95.17 a |
| P2 (70% of the recommended triple super phosphate) | 78.61 b | 6.96 b | 79.33 b | 196.0 b | 15.67 a | 79.33 b |
| P3 (30% of the recommended triple super phosphate) | 72.96 c | 6.67 b | 69.44 c | 147.06 c | 13.89 b | 69.44 c |
| G1 (0 ppm gibberellic acid) | 75.80 c | 6.64 b | 75.67 c | 171.61 c | 14.56 b | 75.67 c |
| G2 (100 ppm gibberellic acid) | 80.47 b | 6.72 b | 81.67 b | 191.11 b | 15.06 b | 81.67 b |
| G3 (200 ppm gibberellic acid) | 85.71 a | 7.52 a | 86.61 a | 209.98 a | 16.33 a | 86.61 a |
| P1×B1×G1 | 90.11abc | 7.54 ab | 90.33bcd | 230.67 b | 17.0 bc | 52.0 c |
| P1×B1×G2 | 90.41 ab | 7.59 ab | 95.67 ab | 222.0 b | 15.0 bcd | 54.0 bc |
| P1×B1×G3 | 90.66 abc | 7.10 bc | 97.00 ab | 234.67ab | 16.33 abc | 58.67 ab |
| P1×B2×G1 | 84.96 d | 5.96 def | 87.67 cd | 223.0 b | 14.33 cde | 55.33 bc |
| P1×B2×G2 | 91.77 ab | 6.99 bc | 100.3 a | 224.33 b | 17.67 ab | 58.33 ab |
| P1×B2×G3 | 93.78 a | 7.95 a | 94.67 bc | 246.67 a | 18.0 a | 62.0 a |
| P2×B1×G1 | 72.56 gh | 5.81 f | 67.67 efg | 160.0 de | 13.33 def | 55.0 bc |
| P2×B1×G2 | 73.18 gh | 5.91 ef | 72.33 ef | 173.0 c | 13.33 def | 49.67 cd |
| P2×B1×G3 | 86.58 cd | 7.07 bc | 91.33 bc | 232.67ab | 16.33 abc | 51.67c |
| P2×B2×G1 | 70.22 hi | 6.07 def | 67.33 efg | 129.0 f | 16.0 abc | 49.0 cd |
| P2×B2×G2 | 80.71 e | 7.15 bc | 87.00 cd | 234.67ab | 16.67 abc | 53.0 bc |
| P2×B2×G3 | 91.18 ab | 8.03 a | 95.67 ab | 242.67 a | 18.33 a | 61.57 a |
| P3×B1×G1 | 65.15 j | 6.38 cde | 64.67 g | 132.0 f | 12.67 f | 38.67 e |
| P3×B1×G2 | 71.63 ghi | 6.63 cde | 70.67 fg | 147.67de | 13.33 def | 42.33 de |
| P3×B1×G3 | 77.83 ef | 7.70 ab | 71.67 efg | 166.33cd | 15.67cde | 48.0 cd |
| P3×B2×G1 | 68.14 ij | 6.59 cde | 66.33 fg | 143.0 ef | 13.0 f | 39.0 e |
| P3×B2×G2 | 75.40 fg | 6.73 cd | 68.67 efg | 145.0 def | 14.33 def | 49.0 cd |
| P3×B2×G3 | 79.60 e | 7.75 ab | 74.87 e | 48.33 def | 14.33 def | 53.33 bc |

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level (LSD test).

ادامه جدول ۳- ...

Continued Table 3. ...

| Treatments | Biological yield (kg.ha ⁻¹) | essential oil (%) | essential oil yield (kg.ha ⁻¹) | camphor (%) | 1,8-cineole | α -thujone (%) |
|--|---|-------------------|--|-------------|-------------|-----------------------|
| B1 (without phosphorus bio-fertilizer of Barvar-2) | 3106.50 b | 1.97 b | 9.50 b | 19.1 b | 9.4 b | 26.8 b |
| B2 (with phosphorus bio-fertilizer of Barvar-2) | 3346.16 a | 2.33 a | 10.63 a | 19.4 a | 9.7 a | 27.4 a |
| P1(100% of the recommended triple super phosphate) | 3616.36 a | 2.42 a | 13.52 a | 19.3 a | 9.8 a | 27.4 a |
| P2 (70% of the recommended triple super phosphate) | 3144.29 b | 2.14 b | 9.80 b | 19.3 a | 9.6 b | 27.1 b |
| P3 (30% of the recommended triple super phosphate) | 2918.36 c | 1.90 c | 7.14 c | 19.2 c | 9.3 c | 26.9 c |
| G1 (0 ppm gibberellic acid) | 3031.93 c | 1.91 c | 8.24 c | 19.1 b | 9.3 c | 26.8 c |
| G2 (100 ppm gibberellic acid) | 3218.73 b | 2.19 b | 10.37 b | 19.2 b | 9.6 b | 27.1 b |
| G3 (200 ppm gibberellic acid) | 3428.33 a | 2.36 a | 11.58 a | 19.4 a | 9.7 a | 27.6 a |
| P1×B1×G1 | 3626.20 ab | 2.25 bc | 12.22cd | 19.6 c | 9.6 c | 27.4 c |
| P1×B1×G2 | 3604.53 abc | 2.26 bc | 13.44 b | 19.6 c | 9.6 c | 27.6 bc |
| P1×B1×G3 | 3626.27 abc | 2.32 b | 13.08 b | 19.7 b | 9.7 b | 27.8 b |
| P1×B2×G1 | 3398.40 d | 2.27 bc | 12.34 cd | 19.7 b | 9.7 b | 27.9 a |
| P1×B2×G2 | 3670.93 ab | 2.31b | 14.54 ab | 19.8 b | 9.8 a | 27.9 a |
| P1×B2×G3 | 3751.20 a | 2.75 a | 15.52 a | 19.9 a | 9.8 a | 27.0 cd |
| P2×B1×G1 | 2901.73 gh | 1.64 g | 6.47 fg | 19.5 d | 9.6 b | 27.0 cd |
| P2×B1×G2 | 2927.20 gh | 1.94 ef | 8.22 e | 19.6 c | 9.7b | 27.1 cd |
| P2×B1×G3 | 3463.33 cd | 1.99 def | 11.21 d | 19.6 c | 9.7 b | 27.4 c |
| P2×B2×G1 | 2808.64 hi | 2.07 cde | 6.52 fg | 19.7 b | 9.7 a | 27.5 c |
| P2×B2×G2 | 3228.40 e | 2.30 b | 13.04 c | 19.7 b | 9.6 b | 27.6 bc |
| P2×B2×G3 | 3646.40 ab | 2.61 ab | 14.59 ab | 19.9 a | 9.8 a | 27.9 ab |
| P3×B1×G1 | 2725.73 ij | 1.43 h | 4.89 h | 19.5 d | 9.4 e | 26.9 cd |
| P3×B1×G2 | 2865.20 ghi | 1.90 ef | 6.87 efg | 19.5 d | 9.5 d | 26.9 cd |
| P3×B1×G3 | 3113.20 ef | 2.02 de | 8.20 e | 19.6 c | 9.6 b | 26.8 d |
| P3×B2×G1 | 2605.65 j | 1.79 fg | 5.76 gh | 19.6 c | 9.5 d | 27.0 c |
| P3×B2×G2 | 3016.26 fg | 2.06 cde | 7.32 ef | 19.7 b | 9.5 d | 27.1 c |
| P3×B2×G3 | 3184.0 e | 2.20 bcd | 7.89 ef | 19.7 b | 9.6 b | 27.1 c |

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at 5% probability level (LSD test).

کاهش یافت (جدول ۳). با افزایش مقدار مصرف جیبرلیک اسید به ۲۰۰ ppm تعداد برگ در بوته نسبت به شاهد ۲۲/۳۰٪ افزایش یافت (جدول ۳). اثر متقابل کود بیولوژیک بارور-۲، کود شیمیایی فسفره و اسید جیبرلیک بر تعداد برگ معنی دار بود (جدول ۱). بررسی جدول مقایسه میانگین

تعداد برگ در بوته به طور معنی داری تحت تأثیر کاربرد کود بارور-۲، کود فسفر و جیبرلیک اسید قرار گرفت (جدول ۱). با مصرف کود بارور تعداد برگ در بوته ۱۳/۶٪ افزایش یافت (جدول ۳). همچنین با کاهش مصرف کود فسفر از ۱۰۰٪ به ۳۰٪ توصیه شده تعداد برگ در بوته ۵۶٪

اختلاف معنی‌داری در وزن خشک ریشه مشاهده نشد (جدول ۳). همچنین با افزایش مقدار مصرف جیبرلیک اسید به ۲۰۰ ppm وزن خشک ریشه نسبت به شاهد ۱۳/۲٪ افزایش یافت (جدول ۳). اثر متقابل کود بیولوژیک بارور-۲، کود شیمیایی فسفره و اسید جیبرلیک بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). کاربرد ۷۰٪ کود فسفره توصیه شده، مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و مصرف اسید جیبرلیک ۲۰۰ ppm با ۸/۰۳ گرم بیشترین وزن خشک ریشه و تیمار کاربرد ۳۰٪ کود فسفره توصیه شده، عدم مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و عدم مصرف اسید جیبرلیک با ۵/۸۱ گرم کمترین وزن خشک ریشه را داشتند (جدول ۳).

وزن خشک اندام هوایی تک بوته و عملکرد بیولوژیکی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کود بارور-۲، فسفر و اسید جیبرلیک قرار گرفت (جدول ۱). با کاربرد کود بارور، وزن خشک اندام‌های هوایی تک بوته و عملکرد بیولوژیکی در مقایسه با عدم کاربرد آن، به ترتیب ۶/۴٪ و ۷/۷٪ افزایش داشت (جدول ۳). با افزایش فسفر مصرفی از ۳۰٪ به ۱۰۰٪ توصیه شده، وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد بیولوژیکی ۲۳/۹٪ افزایش یافت (جدول ۳). همچنین افزایش مصرف جیبرلیک اسید به ۲۰۰ ppm، منجر به افزایش ۱۳ درصدی وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد بیولوژیکی گردید (جدول ۳). تیمار کاربرد ۱۰۰٪ کود فسفره توصیه شده، مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و مصرف ۲۰۰ ppm اسید جیبرلیک و تیمار کاربرد ۳۰٪ کود فسفره توصیه شده، عدم مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و عدم مصرف اسید جیبرلیک به ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد بیولوژیکی بودند (جدول ۳). تیمار کاربرد ۷۰٪ فسفر توصیه شده، مصرف کود بارور و مصرف ۲۰۰ ppm اسید جیبرلیک اختلاف معنی‌داری در قطر بوته با کاربرد ۱۰۰٪ فسفر توصیه شده نداشت (جدول ۳).

درصد اسانس، عملکرد اسانس و درصد آلفا-توجون، ۸،۱-سینئول و کامفور اسانس تحت تأثیر کود بارور، کود فسفر و مصرف جیبرلیک اسید قرار گرفت (جدول ۱).

تعداد برگ در بوته نشان داد که کاربرد ۱۰۰٪ کود فسفره توصیه شده، مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و مصرف اسید جیبرلیک ۲۰۰ ppm با ۲۴۶/۶۷ برگ بیشترین تعداد برگ در بوته و تیمار کاربرد ۳۰٪ کود فسفره توصیه شده، عدم مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و عدم مصرف اسید جیبرلیک با ۱۳۲ برگ کمترین تعداد برگ در بوته را داشتند (جدول ۲). البته بین تیمار کاربرد ۷۰٪ کود فسفره توصیه شده، مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و مصرف اسید جیبرلیک ۲۰۰ ppm با تیمارهای کاربرد ۱۰۰٪ کود شیمیایی فسفر اختلاف معنی‌داری در تعداد برگ در بوته مشاهده نشد (جدول ۳).

قطر بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کود بارور، فسفر و اسید جیبرلیک قرار گرفت (جدول ۱). مصرف کود بارور منجر به افزایش ۵/۶ درصدی قطر بوته شد (جدول ۳). با کاهش مصرف کود فسفر از ۱۰۰٪ به ۳۰٪ توصیه شده قطر بوته ۳۷٪ کاهش یافت (جدول ۳). همچنین با افزایش مقدار مصرف جیبرلیک اسید به ۲۰۰ ppm قطر بوته نسبت به شاهد ۱۴/۵٪ افزایش یافت (جدول ۳). اثر متقابل کود بیولوژیک بارور-۲، کود شیمیایی فسفره و اسید جیبرلیک بر قطر بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). کاربرد ۱۰۰٪ کود فسفره توصیه شده، مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و مصرف ۱۰۰ ppm اسید جیبرلیک با ۱۰۰/۳ سانتی‌متر مربع بیشترین و تیمار کاربرد ۳۰٪ کود فسفره توصیه شده، عدم مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و عدم مصرف اسید جیبرلیک با ۶۴/۶۷ سانتی‌متر مربع کمترین قطر بوته را داشتند (جدول ۳). تیمار کاربرد ۷۰٪ فسفر توصیه شده، مصرف کود بارور و مصرف ۲۰۰ ppm جیبرلیک اسید اختلاف معنی‌داری در قطر بوته با کاربرد ۱۰۰٪ فسفر توصیه شده نداشت (جدول ۳).

تأثیر کود بارور، کود فسفر و جیبرلیک اسید بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). کود بارور باعث افزایش ۱۵/۴ درصدی وزن خشک ریشه در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳). با کاهش مصرف کود فسفر از ۱۰۰٪ به ۳۰٪ توصیه شده وزن خشک ریشه ۸/۶٪ کاهش یافت (جدول ۳). بین مصرف ۷۰٪ فسفر و ۳۰٪ فسفر توصیه شده

سطح برگ و بهبود رشد گیاه فلفل (Georgi *et al.*, 2010)، افزایش وزن برگ زعفران (Amirshkari *et al.*, 2008)، افزایش عملکرد تک بوته فلفل (Mohammadi *et al.*, 2018) و افزایش مواد مؤثره گیاه استویا (Sedghi *et al.*, 2018) با کاربرد جیبرلین گزارش شده که با نتایج این تحقیق همسو است. جیبرلیک اسید سطوح RNA- پیامبری را افزایش داده و از طریق نسخه برداری، ژن‌های مربوط به سنتز آلفا-آمیلاز را تحریک می‌کند (Kafi *et al.*, 2003). آنزیم آلفا-آمیلاز سبب هیدرولیز مواد ذخیره‌ای و تبدیل نشاسته به قند می‌گردد که این عمل تقسیم سلولی و طولی شدن سلول را به دنبال دارد (Amirshkari *et al.*, 2008). همچنین جیبرلین می‌تواند از طریق افزایش سطح برگ و بالا بردن سطوح فتوسنتزی، تثبیت بیشتر دی‌اکسیدکربن از طریق باز شدن بیشتر روزنه‌ها و بالاخره افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و بالا بردن فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سنتتاز، رشد و نمو گیاهان زراعی را تسریع کند (Hejazi & Kaffashisedghi, 2000). همچنین گزارش شده که هورمون‌های گیاهی، رشد گیاه را تحریک کرده و بیوسنتزترین‌ها را در تعداد زیادی از گونه‌های آروماتیک (معطر) که منجر به تغییرات مفید در کمیت و کیفیت ترین‌ها می‌شوند تحریک می‌کنند (Farooqi & Shukla, 1990). از سویی، جیبرلین با بکارگیری مواد غذایی بیشتر برای رشد زایشی شامل گلدهی و تشکیل میوه، افزایش کارایی فتوسنتز، کاهش تنفس، بالا بردن انتقال و تجمع قندها (Georgi *et al.*, 2010) و افزایش متابولیسم مواد غذایی (Javid *et al.*, 2011)، منجر به افزایش عملکرد می‌شود.

کود شیمیایی فسفره بر تمام صفات مورد بررسی تأثیر معنی‌دار داشت. با افزایش مصرف فسفر تا ۱۰۰٪ توصیه شده، عملکرد، اجزای عملکرد و مقدار اسانس افزایش یافت. سایر تحقیقات هم از تأثیر فسفر بر افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دلالت دارد (Bakhsh *et al.*, 2008)؛ (Farahvash & Taghizadeh, 2018). فسفر در تقسیم و طولی شدن سلول نقش اساسی دارد (Khavari *et al.*, 2021). از این رو، با کاربرد این کود ارتفاع گیاه می‌تواند

مصرف کود بارور به ترتیب منجر به افزایش ۱۸/۲ و ۱۱/۹ درصدی اسانس و عملکرد اسانس شد، ولی درصد ترکیب‌های عمده اسانس تفاوت قابل ملاحظه‌ای نکرد (جدول ۳). همچنین با افزایش کود فسفر مصرفی به ۱۰۰٪ مقدار توصیه شده، درصد اسانس، عملکرد اسانس و ۸،۱-سینئول نسبت به مصرف ۳۰٪ توصیه شده، به ترتیب ۲۷/۳، ۸۹ و ۷/۹ افزایش یافت (جدول ۳). این تیمارها به ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیکی نیز بودند (جدول ۳). مصرف ۲۰۰ ppm جیبرلیک اسید به ترتیب منجر به افزایش ۲۳/۵ و ۴۰/۵ درصدی اسانس و عملکرد اسانس و افزایش جزئی آلفا-توجون، ۸،۱-سینئول و کامفور در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۳). اثر متقابل کود بیولوژیک بارور-۲، کود شیمیایی فسفره و اسید جیبرلیک بر درصد اسانس، عملکرد اسانس، درصد آلفا-توجون، ۸،۱-سینئول و کامفور اسانس معنی‌دار بود (جدول ۳). تیمار کاربرد ۱۰۰٪ کود فسفره توصیه شده، مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و مصرف ۲۰۰ ppm اسید جیبرلیک و تیمار کاربرد ۳۰٪ کود فسفره توصیه شده، عدم مصرف کود بیولوژیک بارور-۲ و عدم مصرف اسید جیبرلیک به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد اسانس، عملکرد اسانس، درصد آلفا-توجون، ۸،۱-سینئول و کامفور اسانس بودند (جدول ۳). تیمار کاربرد ۷۰٪ فسفر توصیه شده، مصرف کود بارور و مصرف ۲۰۰ ppm جیبرلیک اسید اختلاف معنی‌داری در درصد اسانس، عملکرد اسانس، درصد آلفا-توجون، ۸،۱-سینئول و کامفور اسانس با کاربرد ۱۰۰٪ فسفر توصیه شده، مصرف کود بارور و مصرف ۲۰۰ ppm جیبرلیک اسید نداشت (جدول ۳).

بحث

اسید جیبرلیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس تأثیر معنی‌داری داشت و با افزایش غلظت جیبرلیک اسید کلیه صفات مورد بررسی افزایش یافت. افزایش طول ساقه گل‌دهنده در گل مریم (Kheiry *et al.*, 2011)، افزایش

ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آنها مانند ایزوپنتنیل پیروفسفات (IPP) و دی‌متیل آلیل پیروفسفات (DMAPP) نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند، کودهای زیستی با فراهم کردن عناصر غذایی باعث افزایش تولید اسانس می‌شوند (Govahi et al., 2017).

کاربرد کود زیستی بارور-۲ منجر به کاهش مصرف کود شیمیایی فسفر برای حصول خصوصیات بهتر رویشی، عملکرد و اسانس گردید، به طوری که در بسیاری از صفات کاربرد ۷۰٪ کود فسفر توصیه شده در تلفیق با کود بارور و مصرف ۲۰۰ ppm جیبرلیک اسید، اختلاف معنی‌داری با مصرف ۱۰۰٪ فسفر توصیه شده نداشت. تلفیق کود زیستی و فسفر برای برخی محصولات گزارش شده است (Alijani et al., 2011؛ Farahvash & Taghizadeh, 2018؛ Ghasemi et al., 2011؛ Tohidinia et al., 2014؛ Allahdadi et al., 2020). تلفیق ۵۰٪ فسفر توصیه شده و کود بارور برای حصول عملکرد بالای دانه عدس توصیه شده است (Farahvash & Taghizadeh, 2018). Ghasemi و همکاران (۲۰۱۱) هم گزارش کردند که عملکرد دانه و وزن هزاردانه در ذرت زمانی بالاترین مقدار را داشت که کود زیستی با کود شیمیایی فسفر به صورت تلفیقی مورد استفاده قرار گرفت. تأثیر مثبت کودهای زیستی و شیمیایی بر افزایش موسیلاژ گاو زبان توسط Karami و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شده است. همچنین محققان افزایش عملکرد اسانس و درصد ماده مؤثر کامازولن اسانس در گیاه بابونه آلمانی را با کاربرد کود بارور-۲ در تلفیق با کود فسفر گزارش کردند که با نتایج این بررسی همسو است (Alijani et al., 2011). به دلیل اینکه متابولیت‌های ثانویه از تولیدات جانبی فتوسنتز هستند و با توجه به اینکه حجم رویشی در تلفیق فسفر و کود بارور در بالاترین مقدار بوده و سبزی‌نگی گیاهان دارای منبع کودی بیولوژیک به دلیل فراهمی مناسب و متناسب فسفر در بهترین حالت نسبت به تیمارهای دیگر می‌باشد، بنابراین مقدار تولید متابولیت‌های ثانویه در این گیاهان بالا رفته و بالاترین حجم تولیدی اسانس را به خود اختصاص می‌دهند (Alijani et al.,

به دلیل افزایش تقسیم سلول و طول شدن آنها افزایش یابد (Farahvash & Taghizadeh, 2018). گیاهان به طور قابل ملاحظه‌ای تحت کمبود فسفر قرار می‌گیرند، زیرا فسفر از اجزای اسیدهای نوکلئیک و فسفولیپیدهای غشایی است. علاوه بر آن، فسفر نقش مهمی را در انتقال انرژی، تنظیم‌کنندگی فعالیت آنزیم‌ها و انتقال سیگنال بر عهده دارد (Sarker et al., 2015). فسفر در بسیاری از فرایندهای ضروری گیاهان دخالت دارد و نقش مهمی را در انتقال انرژی به عنوان یکی از اجزای ATP بر عهده دارد. فسفر به جذب مواد غذایی از طریق افزایش رشد ریشه‌ها کمک می‌کند، بنابراین تجمع ماده خشک در گیاه افزایش می‌یابد (Farahvash & Taghizadeh, 2018).

کود زیستی فسفات بارور-۲ بر عملکرد و اجزای عملکرد و اسانس مریم‌گلی تأثیر مثبت داشت. افزایش ارتفاع و وزن خشک اندام‌های هوایی در مریم‌گلی (Youssef et al., 2004)، افزایش ارتفاع بوته و تعداد برگ در سیب‌زمینی (Ghasem Khanloo et al., 2009)، افزایش تاج پوشش، وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی مریم‌گلی (Marashi et al., 2015)، افزایش رشد رویشی، افزایش وزن تر، وزن خشک و میزان اسانس در گیاه رازیانه (Mahfouz & Sharaf-), (Foeniculum vulgare Mill.) (Eldin, 2007)، افزایش ارتفاع، تعداد برگ ساقه اصلی، قطر ساقه تعداد شاخه گل‌دهنده در گیاه دارویی بادرشی (Yousefzadeh et al., 2013) و افزایش سطح برگ در سویا (Jagam & Sharma, 2015) با کاربرد کودهای زیستی به دلیل بهبود شرایط خاک و دستیابی به عناصر غذایی و رشد بهتر گیاه گزارش شده است. افزایش عملکرد محصولات در نتیجه استفاده از کودهای زیستی در اثر فراهمی عناصر ریزمغذی و تنظیم‌کننده‌های رشدی است که از این مجموعه کودها حاصل می‌شود (Sarikhani & Amini, 2020). همچنین کود بارور-۲ با افزایش دوام سطح برگ منجر به افزایش استفاده از انرژی خورشید در نتیجه فتوسنتز بالاتر گیاه می‌شود (Malbubi, 2007). از آنجایی که اسانس‌ها

References

- 2011). بیشترین وزن خشک، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد برگ، درصد اسانس، عملکرد اسانس و ترکیب‌های اسانس با کاربرد ۱۰۰٪ کود فسفر توصیه شده توأم با کاربرد بارور-۲ بدست آمد. در توجیه این روند می‌توان چنین گفت که نتایج ذکرشده به دلیل اهمیت فراوان فسفر در ساختار فتوسنتزی گیاه برای هیدروکربن‌سازی و استفاده از این منبع در انتقال دوباره برای بالا بردن مقدار عملکرد اقتصادی در گیاه می‌باشد و با توجه به اینکه استفاده از کودهای زیستی تداوم کارایی استفاده کود را در خاک برای گیاهان فراهم کرده و نسبت S/R را در حد معقولی برای تولید حفظ و زمان بیشتری را نیز برای استفاده از کود فراهم می‌کند، بنابراین گیاهان در این تیمارها دارای حجم رویشی بالاتری نیز خواهند بود (Franke & Schilcher, 2005). با توجه به نتایج آزمایش، به نظر می‌رسد که مصرف کودهای زیستی در خاک‌های فقیر به تنهایی نمی‌تواند عملکرد گیاه را به حداکثر مقدار آن برساند، از این رو برای بدست آوردن عملکرد مطلوب، کاربرد تلفیقی کودهای زیستی همراه با کودهای شیمیایی لازم به نظر می‌رسد (Tohidinia et al., 2014).
- به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی کود شیمیایی فسفره بر تمام صفات مورد بررسی تأثیر معنی‌دار داشت. با افزایش مصرف فسفر تا ۱۰۰٪ مقدار توصیه شده عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس افزایش یافت. کود فسفر بارور-۲ باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد، اسانس و افزایش جزئی ترکیب‌های عمده اسانس مریم‌گلی شد. افزایش مصرف جیبرلیک اسید تا ۲۰۰ ppm منجر به بهبود اجزای عملکرد و اسانس گیاه گردید. کاربرد همزمان جیبرلیک اسید، بارور-۲ و فسفر شیمیایی منجر به کاهش مصرف کود شیمیایی فسفر برای حصول خصوصیات رویشی بهتر، عملکرد و اسانس بالا گردید. به طوری که در بسیاری از صفات کاربرد ۷۰٪ کود فسفر توصیه شده در تلفیق با کود بارور-۲ و جیبرلیک اسید اختلاف معنی‌داری با مصرف ۱۰۰٪ فسفر توصیه شده نداشت. بنابراین می‌توان با کاربرد همزمان جیبرلیک اسید و بارور-۲، میزان مصرف کود فسفر را تا ۳۰٪ کاهش داد بدون اینکه کاهش معنی‌داری در عملکرد، مقدار اسانس و ترکیب‌های اسانس مریم‌گلی ایجاد شود.
- Alijani, M., Amini Dehaghi, M., Malboobi, M., Zahedi, M. and Modares Sanavi, S., 2011. The effect of different levels of phosphorus fertilizer together with phosphate bio-fertilizer (Barvar 2) on yield, essential oil amount and chamazulene percentage of *Matricaria recutita* L., Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27(3): 450-459.
 - Al-Khassawneh, N.M., Karam, N.S. and Shibli, R.A., 2006. Growth and flowering of blackiris (*Iris nigricans* Dinsm.) flowering treatment with plant growth regulators. Scientia Horticulturae, 107: 187-193.
 - Allahdadi, M., Raei, Y., Bahreininejad, B. and Taghizadeh, A., 2020. Role of nitrogen, phosphorus and bio-fertilizer in improving yield and quality indicators of artichoke fodder (*Cynara scolymus* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(2): 21-38.
 - Amirshkari, H., Sorooshzadeh, A., Modareh Sanavy, A.M. and Jalali Javaran, M., 2008. Effects of root-zone temperature, corm size, and gibberellin on vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14(5): 96-104.
 - Azadbakht, M., 2000. Classification of Medical Plants. Teymourzadeh Publication, 420p.
 - Bakhsh, A., Khan, R., Gurmani, A., Sohail Khan, M., Shahid Nawaz, B.M., Fazal Haq, B. and Farid, P.A., 2008. Residual/direct effect of phosphorus application on wheat and rice yield under rice-wheat system. Gomal University Journal of Research, 24: 29-35.
 - Farahvash, F. and Taghizadeh, F., 2018. The feasibility of replacing bio-fertilizer (barvar-2) with phosphorus chemical fertilizer in lentil cultivation. Journal of Plant Ecophysiology, 9(31): 124-139.
 - Farooqi, A.H.A. and Shukla, A., 1990. Utilization of plant growth regulators in aromatic plant production. Chromatograph, 12: 152-157.
 - Franke, R. and Schilcher, H., 2005. Chamomile: Industrial Profiles. Taylor and Francis Group, New York, 304p.
 - Georgi, O., Ilias, I. and Anastasia, G., 2010. Comparative study on the effects of various plant growth regulators on growth, quality and physiology of (*Capsicum annuum* L.). Pakistan Journal of Botany, 42: 805-814.
 - Ghasem Khanloo, Z., Nasrollahzadeh Asl, A., Alizadeh, A. and Haji Hassani Asl, N., 2009. Effect of barvar-2 Phosphate biofertilizer on yield and yield components of potato varieties in chaldran. Journal of Research in Crop Sciences, 1(3): 1-13.
 - Ghasemi, S., Siavoshi, K., Choukan, R., Khavazi, K. and Rahmani, A., 2011. Effect of biofertilizer phosphate on grain yield and its components of maize (*Zea mays* L.) cv. KSC704 under water deficit stress

- stress. *Plan Productio Technology (Agricultural Research)*, 11(1): 37-50.
- Khatami, M. and Galavi, M., 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizers application on flower yield, essential oil percentage and osmotic adjustments of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) in response to water deficit stress. *Journal of Plant Production Research*, 25(4): 119-132.
 - Khavari, M., Ramroudi, M., Ghanbri, A. and Dahmardeh, M., 2021. Evaluation of the yield and content of photosynthetic pigments of *Plantago ovata* in response to phosphorus fertilizers and planting method under drought stress. *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 4(1): 113-128.
 - Kheiry, A., Khalighi, A., Mostofi, Y. and Naderi, R., 2011. Effects of gibberellic acid (GA3) and benzyladenine on tuberosity quality and quantity. *Journal of Crops Improvement*, 13(1): 9-20.
 - Khoei, J., 2014. Effects of gibberellic acid and biological phosphorus on yield and percentage of essential oil in melissa (*Mellisa officinalis*) in Abhar climate. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Abhar.
 - Mahfouz, S.A. and Sharaf-Eldin, M.A., 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *International Agrophysics*, 21: 361-366.
 - Marashi, S., Niknejad, J., Falah Amoli, H. and Mehdiya Afra, J., 2015. Comparison of the impact of bio-fertilizers on agronomic characteristics, livestock and medicinal *Salvia officinalis*. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, 12(2): 133-143.
 - Malbubi, A., 2007. Characteristic of Barvar-2 Phosphorus Biofertilizer. Technical Publication. Zist Fannavar Sabz Publications, 423p.
 - Mohammadi, M., Saidi, M. and Khademi, O., 2018. Evaluation of effect of gibberellins and calcium spray in different growth stages on some qualitative and quantitative traits of sweet pepper. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 48(4): 823-832.
 - Pakpour, M., 2012. Response of peppermint (*Mentha piperita* L) to the application of gibberellic acid and chemical and biological sources of phosphorus. M.Sc. thesis, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University of Arak.
 - Pourhadi, M., 2011. Effects of biofertilizers on yield and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Medicinal Herbs (Formerly known as Journal of Herbal Drugs)*, 2(2): 137-148.
 - Rezaei Chiyaneh, I., Pirzad, A. and Farjami, A., 2015. Effect of nitrogen, phosphorus and sulfur supplier bacteria on seed yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(4): 71-83.
 - Sarker, B.C., Rashid, P. and Karmoker, J., 2015. Anatomical changes of lentil (*Lens culinaris* Medik.) conditions. *Seed and Plant Production Journal*, 27-(2): 219-233.
 - Govahi, M., ghalavand, A., Nadjafi, F. and Sorooshzadeh, A., 2017. Comparing different soil fertility systems on some physiological characteristics, yield and essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 9(2): 445-457.
 - Haghghat, A., Madani, H., Heidari sharif abad, H., Majedi Heravan, E. and Mostashari, M., 2020. Effect of plant density and phosphorus resources on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.) medicinal plant in dryland farming. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 8(2): 199-214.
 - Hajisamadi, A.B., Hassanpouraghdam, M.B. and Khalighi, A., 2011. Effects of gibberellic acid (GA3) foliar application on growth characteristics and essential oil of Lavender (*Lavandula officinalis* Chaix.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 21: 23-32.
 - Hasan-beigi, H., Saidi, M. and Mohammadi, M., 2021. Effects of gibberellic acid and salicylic acid application on morphophysiological characteristics and essential oil yield of *Echinacea purpurea* L. (Moench). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(6): 1038-1051.
 - Hejazi, A. and Kaffashisedghi, M., 2000. Plant growth substances principle and application. Tehran University Press, 339p.
 - Hekmati, J., Hamidoghli, Y., Esmailpour, B. and Ghasemnezhad, M., 2021. Effect of arsenic and phosphate biofertilizer on physiological and biochemical properties of green mint (*Mentha spicata* L.). *Journal of Plant Production Research*, 28(1): 127-139.
 - Izadi, Z. and Mirazi N., 2020. Identification of chemical compounds and evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of sage (*Salvia officinalis* L.) essential oil at different harvest times. *Qom University Medical Sciences Journal*, 14(9): 1-15.
 - Jagam, P.K. and Sharma, S., 2015. Effect of bio-fertilizer and fertilizers on productivity of soybean. *Annals of Plant and Soil Research*, 17(2): 171-174.
 - Javid, M.G., Sorooshzadeh, A., Moradi, F., Mohammad Modarres Sanavy, S.A. and Allahdadi, A., 2011. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Australian Journal of Crop Science*, 5(6):726-734.
 - Kafi, M., Zand, E., Kamkar, B., Shareefee, H.R. and Goldanee, M., 2003. *Plant Physiology*. Mashhad Jihad Daneshgahi Press. Mashhad, Iran, 379p.
 - Karami, A., Sepehri, A., Hamzei, J. and Salimi, G., 2012. Effect of nitrogen and phosphorous biofertilizers on quantitative and qualitative traits of borage (*Borago officinalis* L.) under water deficit

- (*Zea mays* cv. SC704). Iranian Journal of Crop Sciences, 15(4): 295-307.
- Vafadar-Yengeje, L., Amini, R. and Dabbagh Mohammadi Nasab, A., 2019. Chemical compositions and yield of essential oil of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under different fertilizers application. Journal of Cleaner Production, 239: 118033.
 - Youssef, A.A., Edris, A.E. and Gomaa, A.M., 2004. A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormones producing microorganisms on growth and essential oil composition of *Salvia officinalis* L. Plant Annals of Agricultural Sciences, 49: 299-311.
 - Yousefzadeh, S., Modarres-Sanavy, S.A.M, Sefidkon, F., Asgarzadeh, A., Ghalavand. A., Roshdi, M. and Safaralizadeh, A., 2013. Effect of biofertilizer, azocompost and nitrogen on morphologic traits and essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. in two regions of Iran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29(2): 438-459.
 - under phosphorus deficiency stress. Bangladesh Journal of Botany, 44(1): 73-78.
 - Sarikhani, M. and Amini, R., 2020. Biofertilizer in sustainable agriculture: Review on the researches of biofertilizers in Iran. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(1): 329-365.
 - Sedghi, M., Sheikhnavaž Jahed, P. and Seyed Sharifi, R., 2018. Effect of gibberellic acid and priming on germination and some constituents of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Journal of Plant Process and Function, 7(26): 199-208.
 - Shahin Faridvand, S.H., Rezaei-Chiyaneh, E., Battaglia, M.L., Gitari, H.I., Raza, M.A. and Siddique, K.H.M., 2021. Application of bio and chemical fertilizers improves yield, and essential oil quantity and quality of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) intercropped with mung bean (*Vigna radiata* L.). Food and Energy Security, 11(2): e319.
 - Tohidinia, M.A., Mazaheri, D., Bagher Hosseini, S.M. and Madani, H., 2014. Effect of biofertilizer Barvar-2 and chemical phosphorus fertilizer application on kernel yield and yield components of maize

Effects of gibberellic acid and chemical and biological (Barvar-2) phosphorus on yield, yield components, and essential oil of *Salvia officinalis* L.

M. Sarafraz¹, H. Dehghanzadeh^{2*} and A.F. Hashemi¹

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Naragh Branch, Islamic Azad University, Naragh, Iran

2*- Corresponding author, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University (PNU), Iran

E-mail: Dehghanzadeh@pnu.ac.ir

Received: February 2022

Revised: July 2022

Accepted: July 2022

Abstract

To investigate the effects of biological and chemical phosphorus fertilizers, and gibberellic acid (GA₃) on yield and its components, and essential oil of *Salvia officinalis* L., a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications was conducted in Ghara Chay region, Markazi province, Iran. Experimental treatments included triple super phosphate at three levels (100, 70, and 30 % of the recommended amount), phosphorus bio-fertilizer of Barvar-2 at two levels (application and no application), and GA₃ at three levels (0, 100, and 200 ppm). The results showed that Barvar-2, GA₃, and triple super phosphate affected yield and its components, and essential oil significantly. The Barvar-2 application increased the yield and essential oil percentage by 7.7 and 18.2% compared to the control, respectively. It also resulted in a slight increase of the major essential oil compounds. Also, the GA₃ 200 ppm application increased the percentage and essential oil yield by 23.5 and 40.5% compared to the control, respectively. The highest biological yield and essential oil yield were obtained 3751 and 15.52 kg.ha⁻¹, respectively with the simultaneous application of 100% of the recommended triple super phosphate, Barvar-2, and GA₃ 200 ppm. The highest α -thujone percentage (27.91%) as the most important essential oil compound was obtained with the simultaneous application of 100% of the recommended triple super phosphate, Barvar-2, and GA₃ 100 ppm. The combined application of GA₃ and Barvar-2 reduced the use of phosphorus chemical fertilizer to achieve better vegetative characteristics, and high yield and essential oil percentage, so that in many traits the simultaneous application of 70% of the recommended triple super phosphate, Barvar-2, and GA₃ did not differ significantly from the 100% of the recommended triple super phosphate application. Therefore, with the combined use of GA₃ 200 ppm and Barvar-2, the amount of phosphorus fertilizer consumption could be reduced by 30% without causing a significant reduction in yield and essential oil of *S. officinalis*.

Keywords: Essential oil, gibberellic acid, biomass, biological fertilizer, *Salvia officinalis* L.