فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۰، خرداد و تیرماه ۱۴۰۳ صفحه: ۳۳۹-۳۶۵
https://doi.org/10.22034/13.60.339

مقاله پژوهشی

اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی، عملکرد دانه و روغن گیاهان دارویی خارمریم (*Silybum marianum*) و شنبلیله (*Trigonella foenum- graecum*) در شرایط کشت مخلوط

حسین محمودی[۱]، علی عباسی سورکی*[۱]، سینا فلاح[۱] و امین صالحی[۲]
[۱] گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
[۲] گروه زراعت، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴)

چکیده

به منظور ارزیابی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بر عملکرد دانه و ترکیبات بیوشیمیایی خارمریم و شنبلیله در شرایط کشت مخلوط، آزمایشی در سال ۱۳۹۹ در استان کهگیلویه و بویراحمد، شهر یاسوج به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اول در پنج سطح شامل تیمار باکتری حل‌کننده فسفات، باکتری حل‌کننده سیلیکات، باکتری حل‌کننده فسفات+ حل‌کننده سیلیکات و کاربرد همزمان کود فسفاته و سیلیکاته شیمیایی همراه با شاهد (بدون کود) بر الگوهای مختلف کشت به عنوان عامل دوم شامل کشت خالص خارمریم، کشت خالص شنبلیله، مخلوط خارمریم و شنبلیله با آرایش (۱:۱) و (۲:۲) مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات باعث افزایش کلروفیل **a** شنبلیله (۴۵٪) و خارمریم (۲۱٪)، کلروفیل کل شنبلیله (۲۰٪) و خارمریم (۲۲٪) و کاروتنوئید شنبلیله (۶۰٪) شد و الگوی مخلوط (۲:۲) باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل **b** شنبلیله (۱۶٪) شد. بیشترین میزان فنل خارمریم از کشت مخلوط (۲:۲) و کاربرد همزمان باکتری‌ها و بیشترین خاصیت آنتی‌اکسیدانی در شنبلیله از کشت مخلوط (۱:۱) و کاربرد همزمان باکتری‌ها بدست آمد. کاربرد باکتری‌های حل‌کننده به صورت جدا و همزمان، فنل خارمریم و خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره شنبلیله را در تمام الگوهای کشت افزایش داد. بیشترین درصد روغن دانه در هر دو گیاه از الگوی مخلوط (۲:۲) و کاربرد همزمان باکتری‌ها و بیشترین عملکرد دانه خارمریم از الگوی مخلوط (۲:۲) و کود شیمیایی به دست آمد. به‌طورکلی نتیجه‌گیری می‌شود احتمالاً گونه‌های میکروبی، از طریق افزایش توان فتوسنتزی سبب بهبود عملکرد دانه و درصد روغن دانه می‌شوند. به علاوه شرایط بهتر این دو گیاه در کشت مخلوط به همراه بهره‌گیری از فراهمی برخی عناصر در اثر عمل گونه‌های میکروبی سبب افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه و بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی، میزان فنل و فلاونوئید روغن دو گیاه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: خاصیت آنتی‌اکسیدانی، کشت مخلوط، کود زیستی

مقدمه

در حال حاضر تولید مقدار کافی محصولات پاک یکی از چالش‌های جهانی پیش‌روی بشر است (Maleva *et al.*, 2017). استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی در کشاورزی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: aliabbasis.1359@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

منجر به تخریب خاک، آلودگی آب، خاک و هوا گردیده است (Chen *et al*., 2022). از این‌رو دستیابی به امنیت غذایی جهانی از طریق طراحی سیستم‌های پیشرفته کشاورزی که بتوانند بهره‌وری تولید را با کاربرد حداقل نهاده به حداکثر برسانند، ضروری است. بنابراین برای حفظ یا افزایش عملکرد محصول، کشاورزان می توانند از روش‌های جدید پایدار مانند میکروارگانیسم‌های مفید گیاهی بهره گیرند (Daroon parvar *et al*., 2023). کودهای زیستی، موادی جامد، نیمه‌جامد یا مایع حاوی ریزجانداران زنده یا فرآورده‌های آن‌ها هستند که در ارتباط با تأمین زیستی نیتروژن یا فراهم کردن فسفر، گوگرد و سایر عناصر غذایی به ویژه ریزمغذی‌ها در خاک فعالیت می‌کنند (مستاجران و ضوئی، ۱۳۷۸). در حال حاضر کودهای زیستی به عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی، جهت افزایش حاصلخیزی خاک در کشاورزی پایدار مطرح هستند (Wu *et al*., 2005).

باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات (Silicate Solubilizing Bacteria) کودهای زیستی متشکل از سویه‌های انتخاب‌شده از باکتری‌های جنس باسیلوس هستند که می‌توانند در کشاورزی ارگانیک با کودهای زیستی مانند باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات، پتاس، روی، سولفور، آهن، منگنز و قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بکار روند (Kumawat *et al*., 2019). این کودهای زیستی برای استفاده در کشت گیاهان دارویی و کنترل زیستی آفات، مورد استفاده قرار گرفته و اجزای مؤثر برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات و عناصر غذایی (IPM/INM) هستند، بنابراین منتهی به کاهش معنی‌دار استفاده از مواد شیمیایی می‌شوند که نه تنها بقایایی در خاک بر جا نمی‌گذارند بلکه باعث مقاومت و مشکلات ناشی از آن نیز نمی‌شوند (Kumawat *et al*., 2019). در بحران تغییرات اقلیمی پیش‌روی کره زمین، نقش سیلیسیم به عنوان بهبوددهنده توان فتوسنتزی به سبب نقش در فتوسنتز گیاه و همچنین اثر بر هر دو نوع تنش زیستی و غیرزیستی مانند پاتوژن‌ها، علف‌های هرز، دمای شدید، کمبود آب، شوری بالا و تنش مواد غذایی برای تولید عملکرد پایدار مورد توجه است (Kumawat *et al*., 2019). باکتری‌های حل‌کننده سیلیسیم نه تنها می‌توانند در حلالیت فرم‌های غیرقابل‌حل سیلیکون نقش داشته باشند بلکه حلالیت فسفر و پتاسیم را نیز افزایش داده و در نتیجه موجب افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Maleva *et al*., 2017). طبق مشاهدات Vasanthi و همکاران (۲۰۱۴) از آنجایی که عنصر سیلیکون از طریق ایجاد استحکام در بافت‌های گیاه، شادابی ناشی از کاربرد نیتروژن را کاهش می‌دهد و رشد محصول و عملکرد را افزایش می‌دهد، بنابراین استفاده از کودهای معدنی، خاکستر و بقایای حاوی سیلیکون افزایش یافته است. در این حالت حلالیت سیلیکات برای تأمین نیاز گیاه توسط باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات انجام می‌شود.

میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات نیز به عنوان عاملی کلیدی برای پویایی فسفر در خاک‌ها در حال ظهور هستند و به عنوان یک رویکرد بالقوه مقرون به صرفه، پایدار و بی‌خطر زیستی برای غلبه بر محدودیت‌های فسفر خاک در نظر گرفته می‌شوند (Eida *et al*., 2017). تبدیل فرم‌های غیرقابل‌حل فسفر به فرم‌های قابل دسترس برای گیاهان مثل اورتوفسفات یک ویژگی مهم باکتری‌های حل‌کننده فسفات در افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی است (Hariprasad and Niranjana, 2009). در میان باکتری‌های حل‌کننده فسفات، ریزوباکتری‌ها برای تبدیل فسفات آلی و غیرآلی از فرم غیرقابل حل به فرم قابل حل دو مزیت دارند: در کنار حلالیت فسفات، آن‌ها می‌توانند دیگر عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن را برای گیاه فراهم کنند و همچنین قادرند از طریق هم‌افزایی با دیگر میکروارگانیسم‌ها باعث بهبود رشد بقولات شوند (Zaidi and Khan, 2007). افزایش ۱۵-۱۲ درصدی عملکرد و جایگزینی ۲۸- ۲۵ درصد کودهای فسفاته در غلات، حبوبات، سیب‌زمینی و دیگر گیاهان زراعی با اضافه‌کردن سنگ فسفات و تلقیح با میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات قبلاً به اثبات رسیده است (Arun, 2007).

کشت مخلوط یکی دیگر از رویکردهای پایدار است که به سبب افزایش تولید محصول، ثبات محصول و کارآیی استفاده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

از منابع، وابستگی کمتر به مواد شیمیایی جهت تولید و کنترل آفات در مقایسه با کشت‌های خالص در تولید پایدار گیاهان، مورد توجه می‌باشد (سلوکی و همکاران، ۱۳۹۷). بسیاری از پژوهشگران، برتری کشت مخلوط را بر کشت خالص گزارش کرده‌اند (Zimdahl, 2007; Awal *et al*., 2006; Elhaissoufi *et al*., 2020; Rezaei- Chiyaneh *et al*., 2021).

از سوی دیگر با توجه به اهمیت و نقش گیاهان دارویی در صنایع مختلف، نکته حائز اهمیت در تولید و پرورش آن‌ها افزایش تولید زیست‌توده آن‌ها بدون کاربرد نهاده‌های مضر شیمیایی می‌باشد. از آنجایی که در هر اکوسیستمی جریان انرژی در میان اجزاء آن، مهم‌ترین فرآیندی است که در نهایت، پویایی مواد غذایی، کارآیی استفاده از انرژی و میزان تولید سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد، شناسایی و مطالعه عوامل تأثیرگذار محیطی و عوامل زراعی خصوصاً اثر سیستم‌های تغذیه بر کمیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه بسیار حائز اهمیت است (Halcon, 2002).

خارمریم با نام علمی *Silybum marianum* متعلق به تیره کاسنی (Asteraceae) است. گیاهی یک‌ساله، علفی، بدون کرک و خاردار بومی نواحی مدیترانه‌ای شمال اروپا، شمال افریقا و خاورمیانه است که مقاوم به تنش‌های محیطی است (Karkanis *et al*., 2011; Afshar *et al*., 2015) و در جلگه‌های هموار با آب و هوای گرم و در خاک‌های سبک شنی می‌روید (بیوکی و عبادی، ۱۳۹۶). سیلی‌مارین ماده اصلی و مؤثره گیاه خارمریم در همه بخش‌های گیاه یافت می‌شود، اما در دانه تجمع بیشتری دارد (Ahmad *et al*., 2014). هم‌اکنون اداره دارو و غذای آلمان این گیاه دارویی را جهت اختلالات گوارشی، مسمومیت و سیروز کبدی و به عنوان مکمل دارویی در درمان التهاب کبدی پیشنهاد کرده است. این گیاه دارای اثرات مختلفی همچون درمان بیماری‌های کبد، کیسه صفرا، اختلالات پوستی، درمان ورم، دفع رطوبت و بلغم لزج، تقویت هضم معدی، گرم کردن کلیه‌ها و تقویت توان جنسی، افزایش تعریق و رفع بوی بد بدن است (تویسرکانی و همکاران، ۱۳۹۸).

گیاه شنبلیله (Fenugreek) با نام علمی *Trigonella foenum- graecum* گیاهی یک‌ساله و علفی از خانواده حبوبات (Fabaceae) است (Altuntas *et al*., 2005). از نظر شرایط آب و هوایی شنبلیله می‌تواند طیف وسیع دمایی از آب و هوای سرد استپی و مرطوب تا گرمسیری خیلی خشک و دمای متوسط ۷/۸ تا ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد را تحمل کند. نکته جالب توجه در مورد شنبلیله طیف وسیع اثرات درمانی آن می‌باشد به‌طوری‌که اثرات ضددرد، ضدآترواسکلروز، ضدالتهاب، ضدنفخ، ضداسپاسم، ضدسرطان، پایین‌آورنده قند خون، افزایش‌دهنده میل جنسی، قابض، مقوی قلب، صفراآور، ملین، خلط‌آور، کاهش‌دهنده کلسترول خون، کاهش‌دهنده چربی خون، کاهش‌دهنده پرفشاری خون، کاهش‌دهنده تری‌گلیسرید خون، شیرافزایی، مسهل، اکسی توسیک، مقوی رحم و ضدکرم از این گیاه گزارش شده است (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹).

کشت مخلوط دو گیاه خارمریم و شنبلیله به سبب تفاوت‌های ساختاری و عملکردی زیادی که دارند می‌تواند ترکیب مناسبی در جهت تولید پایدار باشد. سیستم ریشه‌ای عمیق خارمریم در مقابل ساختار ریشه‌ای انگشت مانند حجیم شنبلیله (Mehrafarin *et al*., 2011) ارتفاع بلند خارمریم (بین ۱ تا ۳ متر) (بیوکی و عبادی، ۱۳۹۶) نسبت به ارتفاع کم شنبلیله (۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) (Ahmad *et al*., 2015) و ساختار خشبی و خاردار خارمریم (بیوکی و عبادی، ۱۳۹۶) در مقابل ساختار نرم و علفی شنبلیله (Ahmad *et al*., 2015) تفاوت‌هایی است که کشت مخلوط این دو گیاه را به عنوان دو گیاه مکمل توجیه‌پذیر می‌سازد. گیاه دارویی شنبلیله به عنوان یک لگوم تثبیت‌کننده نیتروژن (Ahmad *et al*., 2015) می‌تواند تأمین‌کننده نیتروژن مورد نیاز خود و خارمریم باشد. همچنین کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات جهت تأمین فسفر و باکتری حل‌کننده سیلیکون جهت تأمین سیلیس و سایر عناصر مغذی نظیر پتاسیم، فسفر، آهن و کلسیم از خاک و ایجاد مقاومت در مقابل پاتوژن‌ها در این آزمایش پیشنهاد شده است.

دو گیاه دارویی خارمریم و شنبلیله گیاهانی مهم و پرکاربرد با پتانسیل بالا برای کشت وسیع و تجاری در ایران هستند. تأثیر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

کود زیستی بر کمیت و کیفیت ترکیبات دارویی مؤثر گیاهان خارمریم و شنبلیله موضوعی کمتر شناخته شده است. همین طور شنبلیله به عنوان یک لگوم تثبیت‌کننده نیتروژن، یک گیاه دارویی مهم با اثرات دگرآسیبی جهت کنترل علف‌های هرز، یک منبع مهم پروتئین دامی و گیاهی چندمنظوره است. کشت مخلوط آن با خارمریم به عنوان یک گیاه دارویی با اثرات مهم آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی و اثرات مفید درمانی دیگر ممکن است در کشت مخلوط شرایط اکولوژیک متفاوتی را از نظر تغذیه‌ای فراهم کند. با توجه به اینکه در کشور ما به شرایط تولید گیاهان دارویی که مستقیماً با سلامت انسان مرتبط است، توجه کمی شده است، در صورت مطلوب‌بودن نتایج این آزمایش، می‌توان راهبردی مفید در تولید سالم و ایمن گیاهان دارویی در شرایطی اقتصادی‌تر، با ریسک کمتر برای سلامت و محیط‌زیست و با ترکیبات فیتوشیمیایی و دارویی با کیفیت‌تر را توصیه نمود. لذا اهداف این آزمایش ابتدا بررسی اثر کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بر فاکتورهای رشدی و کمیت و کیفیت ترکیبات بیوشیمیایی دو گیاه دارویی (خارمریم و شنبلیله) در کشت مخلوط و مقایسه آن با تک‌کشتی و سپس دستیابی به یک الگوی کشت مناسب جهت حصول بیشترین عملکرد کمی و کیفی از این دو گیاه دارویی است.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی: به منظور ارزیابی اثر باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات بر عملکرد دانه و ترکیبات بیوشیمیایی خارمریم و شنبلیله در شرایط کشت مخلوط، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در استان کهگیلویه و بویراحمد، شهر یاسوج، روستای چنارستان با مشخصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۸۳۲ متر از سطح دریا، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. عامل اول در پنج سطح کودی شامل: بدون کاربرد باکتری (شاهد)، باکتری حل‌کننده فسفات *Pseudomonas putida*، باکتری حل‌کننده سیلیکات *Bacillus circulans*، باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات و کاربرد همزمان کود فسفاته + سیلیکاته در چهار الگوی مختلف مخلوط به عنوان عامل دوم شامل: کشت خالص خارمریم، کشت خالص شنبلیله، کشت مخلوط خارمریم و شنبلیله به صورت تک ردیفی (۱:۱) و کشت مخلوط خارمریم و شنبلیله به صورت دو-ردیفی (۲:۲)، جمعاً شامل ۲۰ تیمار آزمایشی در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند.

ویژگی‌های خاک محل آزمایش، قبل از کاشت و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

آماده‌سازی زمین و نهاده‌ها: ابتدا عملیات شخم، تسطیح و تهیه زمین و سپس کرت‌بندی زمین مطابق نقشه طرح انجام گرفت. بذرها قبل از کاشت با باکتری‌های حل‌کننده (فسفات و سیلیکات) تلقیح شدند (رضاپور کویشاهی و همکاران، ۱۳۹۴). سویه‌های باکتری از مرکز ملی ذخایر ژنتیک و زیستی کشور به صورت محیط‌کشت فعال و بذور گیاهان مورد آزمایش از شرکت "بذر منتخب" کرج تهیه گردید. فاصله بین ردیف‌ها برای گیاه خارمریم ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر انتخاب شد. برای گیاه شنبلیله نیز فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۸ سانتی‌متر بود (بیوکی و عبادی، ۱۳۹۶). فاصله کرت‌ها از هم نیم متر و فاصله بلوک‌ها از هم یک متر و هر کرت شامل هشت ردیف کشت شامل شش ردیف اصلی و دو ردیف حاشیه با عرض ۳ متر و طول ۴ متر بود که کشت مخلوط (۱:۱) به صورت یک ردیف خارمریم و یک ردیف شنبلیله به صورت ردیف‌های یک در میان با فاصله ردیف ۳۵ سانتی‌متر و کشت مخلوط (۲:۲) به صورت دو ردیف پشت سر هم خارمریم با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و دو ردیف پشت سر هم شنبلیله با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف شنبلیله و خارمریم ۳۵ سانتی‌متر در کرت قرار گرفت. پس از سبزشدن عملیات تنک‌کردن در شنبلیله در مرحله چهار تا پنج برگی و در خارمریم در مرحله سه برگی صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و سپس تا آخر فصل رشد هر هفته دو بار انجام شد و علف‌های هرز مزرعه نیز هر هفته

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

بافت خاک	شن	سیلت	رس	سیلیس	پتاسیم قابل‌جذب	فسفر قابل‌جذب	هدایت الکتریکی	ازت کل	کربن آلی	pH	عمق (cm)
	(٪)			(mg kg^{-1})			(dS m^{-1})	(٪)			
رسی سیلتی	۳۰	۴۲	۲۸	۷/۴	۱۵۶	۸	۰/۳	۰/۰۱	۱	۷/۹	۰–۳۰

یک بار به صورت دستی کنترل شد.

صفات اندازه‌گیری‌شده، میزان کلروفیل a و b و کارتنوئیدها: جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل در هر یک از دو گیاه در مرحله شروع گلدهی، مقدار نیم گرم اندام هوایی در هاون چینی ریخته شد و سپس با استفاده از نیتروژن مایع خرد و له گردید. ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به نمونه اضافه، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده و عصاره جداشده فوقانی حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای انتقال یافت. مقداری از نمونه داخل بالن در کووت اسپکتروفتومتر (مدل XD 7500 ساخت کمپانی آکوالیتیک آلمان) قرار داده شد. سپس به طور جداگانه در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مقدار جذب خوانده گردید.

در نهایت با استفاده از فرمول‌های ۱ تا ۳ میزان کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد (Arnon, 1967).

$$Chl\ a = (19.3 \times A_{663} - 0.86 \times A_{645})\ V/100W$$
$$Chl\ b = (19.3 \times A_{645} - 3.6 \times A_{663})\ V/100W$$
$$Car = 100(A_{470}) - 3.27(mg\ chl\ a) - 104(mg\ chl\ b)\ /227$$

V= حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A= جذب نور، W= وزن تر نمونه برحسب گرم

میزان فلاونوئید کل در گیاه: یک گرم نمونه گیاهی از هر کدام از دو گیاه مورد آزمایش در ۵۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد خیسانده و به مدت ۴۸ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شد. در طول مدت خیسانیدن در فواصل زمانی معین نمونه‌ها توسط شیکر هم‌زده و سپس عصاره‌ها صاف و جدا گردید. رسوب باقیمانده بر روی صافی بار دیگر با حلال به مدت یک شبانه‌روز با همان شرایط قبلی عصاره‌گیری گردید. این عصاره به عصاره اولیه اضافه شده و بعد حلال در دمای کمتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد توسط دستگاه تقطیر در خلأ تبخیر شد. اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید کل براساس روش کلاریمتری آلومینیوم کلراید و در طول‌موج ۴۱۵ نانومتر انجام گرفت (Marinova *et al.*, 2005).

قدرت احیاءکنندگی عصاره: توانایی عصاره‌های هر دو گیاه مورد آزمایش برای احیاء یون‌های آهن سه ظرفیتی با این آزمون مورد ارزیابی قرار گرفت (Yildirim *et al.*, 2001). برای این منظور محلول‌هایی با غلظت ۵۰۰–۱۲/۵ میکروگرم در میلی‌لیتر از عصاره‌های پودرشده هر گیاه در حلال‌های مربوطه تهیه شد. ۱ میلی‌لیتر از محلول عصاره یا آنتی‌اکسیدان سنتزی با ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات (pH=۶/۶) و ۲/۵ میلی‌لیتر پتاسیم فری سیانید (۱۰ گرم در لیتر) مخلوط شد و به مدت نیم ساعت در حمام آب با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از افزودن ۲/۵ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید ۱۰٪ (وزنی:حجمی)، نمونه‌ها ۱۰ دقیقه با دور ۱۶۵۰g سانتریفیوژ شدند. از محلول بالایی پس از سانتریفیوژ، ۲/۵ میلی‌لیتر به دقت برداشته شد و پس از افزودن ۲/۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر، جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۷۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر UV خوانده شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره با روش DPPH: رادیکال پایدار دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل برای تعیین فعالیت به دام‌اندازی رادیکال آزاد به کار می‌رود. ۱ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ میلی‌مولار DPPH به ۱ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی هر کدام از دو گیاه، اضافه شده و مخلوط حاصل به خوبی توسط شیکر هم زده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در اتاق تاریک قرار گرفت. سپس جذب مخلوط توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر UV در ۵۱۷ نانومتر با بلانک متانول خوانده و از آسکوربیک اسید به عنوان استاندارد استفاده شد. در نهایت مقدار به دام‌اندازی رادیکال

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

DPPH با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Rojas *et al.*, 2001).

[AB - AS]/AB×100

AB= جذب بلانک، AS= جذب نمونه یا استاندارد

اجزای عملکرد و عملکرد دانه: بوته‌های رسیده از یک مترمربع هر کرت برداشت و در گیاه خارمریم تعداد کاپیتول در بوته، تعداد دانه در کاپیتول و وزن هزار دانه و در گیاه شنبلیله صفات تعداد نیام در هر بوته، تعداد دانه در نیام و وزن هزار دانه اندازه‌گیری و در نهایت عملکرد دانه دو گیاه محاسبه شد.

درصد روغن: استخراج روغن از دانه به روش Eller و همکاران (۲۰۱۱) صورت گرفت. برای استخراج روغن در هر دو گیاه از دستگاه سوکسله استفاده شد. نمونه هر گیاه آسیاب شده و در تیمبل قرار داده شد و به مدت ۸-۶ ساعت عمل استخراج روغن توسط حلال پترولیوم اتر انجام گرفت. این عمل به منظور تهیه روغن کافی برای انجام آزمایشات، چندین مرتبه تکرار شد. سپس حلال توسط دستگاه تبخیرکننده تحت خلاء از روغن جدا شد. با توزین روغن استخراجی از ۷ گرم نمونه، درصد روغن دانه طبق رابطه زیر تعیین شد.

Oil (%)= (W/7) ×100

Oil: روغن دانه، W: وزن دانه

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام و مقایسه میانگین داده‌ها به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی: اثر رژیم‌های مختلف کودی بر میزان کلروفیل a در هر دو گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل a در هر دو گیاه شنبلیله و خارمریم، از تیمار تلفیقی باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات به دست آمد که به ترتیب سبب افزایش ۴۵ و ۲۱ درصدی نسبت به شاهد شد. در هر دو گیاه کمترین میزان کلروفل a مربوط به تیمار شاهد یا عدم مصرف کود بود (جدول ۳). اما اثر الگوهای مخلوط و برهمکنش عوامل آزمایش بر میزان کلروفیل a در هر دو گیاه معنی‌دار نشد (جدول ۲). در مورد کلروفیل b، اما اثر الگوهای مختلف کشت در گیاه شنبلیله معنی‌دار ولی در گیاه خارمریم معنی‌دار نبود. بیشترین میزان کلروفیل b در شنبلیله از الگوی مخلوط (۲:۲) به دست آمد که افزایش ۱۶ درصدی نسبت به کشت خالص شنبلیله را نشان داد (جدول ۴). اثر رژیم‌های کودی و بر همکنش الگوی کاشت × کود روی کلروفیل b در هر دو گیاه معنی‌دار نشد (جدول ۲).

محتوای کلروفیل کل (a+b) در هر دو گیاه تحت تأثیر رژیم‌های مختلف کودی قرار گرفتند اما در هیچ کدام از دو گیاه تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار نگرفت. همین طور برهمکنش این دو عامل در گیاه شنبلیله معنی‌دار ولی در خارمریم معنی‌دار نگردید (جدول ۲). به‌طورکلی در شنبلیله کاربرد جداگانه و همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات سبب افزایش میزان کلروفیل کل در هر سه الگوی مختلف کشت گردیده است و تیمارهای باکتریایی توانسته‌اند همپای کاربرد شیمیایی فسفات و سیلیکات مقدار کلروفیل را افزایش دهند. این تفاوت‌ها در کشت خالص فاحش‌ترند و این امر نشان می‌دهد که کشت مخلوط توانسته تفاوت بین تیمارهای کودی را کاهش داده و تا حدودی نیازهای اولیه گیاه را مرتفع کند که منجر به افزایش غلظت کلروفیل کل شده است (شکل ۱). Elhaissoufi و همکاران (۲۰۲۰) معتقدند بهبود محتوای نیتروژن خاک در کشت مخلوط توسط گیاه لگوم سبب رشد و توسعه ریشه و بهبود جذب عناصر و رشد اندام هوایی و محتوای کلروفیل فتوسنتزی می‌گردد.

اثر رژیم‌های مختلف کودی در هر دو گیاه معنی‌دار بود اما اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط بر میزان کارتنوئید برگ هر دو گیاه شنبلیله و خارمریم معنی‌دار نشد. بر همکنش این دو عامل نیز بر میزان کاروتنوئید برگ گیاهان مذکور معنی‌دار نگردید (جدول ۲). در گیاه دارویی شنبلیله، در بین رژیم‌های مختلف کودی بیشترین میزان کارتنوئید (۰/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از تیمار تلفیقی باکتری حل‌کننده فسفات و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های مختلف کودی و الگوی کشت بر رنگدانه‌های فتوسنتزی شنبلیله و خارمریم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کلروفیل a		کلروفیل b		کلروفیل a+b		کاروتنوئیدها	
		شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم
تکرار	۲	۰/۱۳**	۰/۰۱۹^{ns}	۰/۰۳۸^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۰/۰۰۲۶^{ns}	۰/۲۲**	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}
تیمار کودی (A)	۴	۰/۲۵۶**	۰/۴۱۵**	۰/۰۳۹^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۸۸**	۰/۰۸۹**	۰/۰۹۴**	۰/۱۵۵**
الگوی کشت (B)	۳	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۱۹^{ns}	۰/۰۸۳**	۰/۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۴۴^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}
(B) × (A)	۱۲	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۲۳^{ns}	۰/۰۴۱^{ns}	۰/۰۲۸**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۱۱ ^{ns}
خطا	۳۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲
ضریب تغییرات (٪)		۶/۴۵	۲/۴۰	۱۱/۱۲	۱۵/۹۹	۴/۰۵	۶/۱۵	۹/۲۰	۱۳/۳۱

ns، **: به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف کودی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی شنبلیله و خارمریم

تیمارها	کلروفیل a (mg g^{-1} FW)		کلروفیل a+b (mg g^{-1} FW)	کارتنوئیدها (mg g^{-1} FW)	
کود	شنبلیله	خارمریم	خارمریم	شنبلیله	خارمریم
C	۰/۹۰^{d}	۲/۵۱^{e}	۱/۲۵^{c}	۰/۲۸^{e}	۰/۵۸^{b}
PSB	۱/۱۸^{b}	۲/۷۸^{c}	۱/۴۳^{b}	۰/۳۶^{c}	۰/۸۴^{a}
SiSB	۱/۱۰^{c}	۲/۶۹^{d}	۱/۳۶^{b}	۰/۳۰^{d}	۰/۸۶^{a}
PSB+SiSB	۱/۳۱^{a}	۳/۰۵^{a}	۱/۵۲^{a}	۰/۴۵^{a}	۰/۸۴^{a}
P+Si	۱/۲۹^{a}	۲/۹۵^{b}	۱/۴۲^{b}	۰/۴۱^{b}	۰/۹۲^{a}

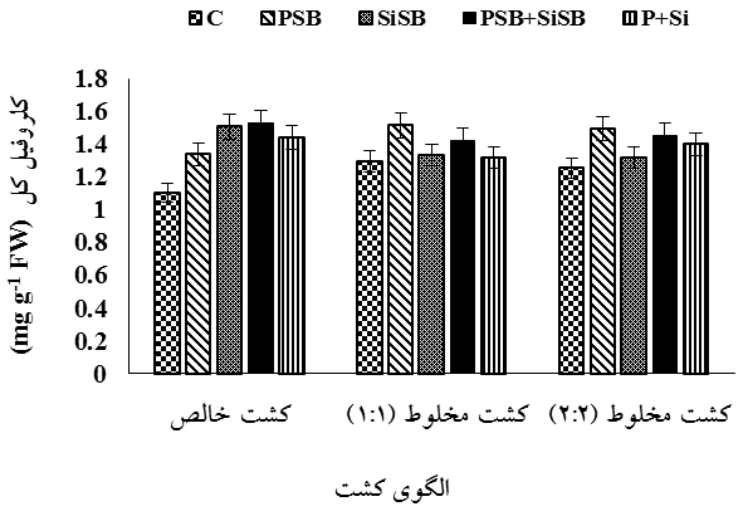
در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB+SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر الگوی کشت بر کلروفیل b شنبلیله

تیمارها	کلروفیل b (mg g^{-1} FW)
الگوی کشت	
کشت خالص	۰/۶۲^{b}
کشت مخلوط (۱:۱)	۰/۵۷^{b}
کشت مخلوط (۲:۲)	۰/۷۲^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB+SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر کلروفیل کل شنبلیله. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB+ SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات+ باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته شیمیایی

سیلیکات حاصل شد که سبب افزایش ۶۰ درصدی نسبت به عدم مصرف کود شد و با هیچ کدام از تیمارهای کودی در یک گروه آماری قرار نگرفته و اختلاف معنی‌داری را نشان داد و کمترین میزان (۰/۲۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) نیز از تیمار شاهد به دست آمد. در مورد گیاه دارویی خارمریم، در بین رژیم‌های مختلف کودی کمترین میزان کارتنوئید برگ (۰/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از تیمار شاهد حاصل گردید که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد و سایر سطوح کودی نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند. بیشترین میزان کارتنوئید برگ هم از تیمار کود شیمیایی فسفاته و سیلیکاته حاصل شد که سبب افزایش ۵۹ درصدی نسبت به تیمار عدم مصرف کود (شاهد) شد (جدول ۴).

برخی محققان مانند Awal و همکاران (۲۰۰۶) بر این باورند که کشت مخلوط با افزایش جذب نور و سایر منابع موجب بهبود طول دوره رشد و پوشش بهتر خاک شده که در نهایت، افزایش بهره‌وری را به دنبال دارد (Zimdahl, 2007). Rezaei- chiyaneh و همکاران (۲۰۱۴) دلیل بهبود عملکرد را در کشت مخلوط دو گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) و باقلا (*Vicia faba*) به فنولوژی و مورفولوژی متفاوت و وجود حداقل رقابت بین دو گونه نسبت دادند. دلیل افزایش میزان کاروتنوئید در کشت مخلوط دو ردیفه در این آزمایش را می‌توان به تفاوت مورفولوژی و ارتفاع دو بوته خارمریم و شنبلیله که منجر به جذب و بهره‌وری بهتر منابع می‌گردد و مجاورت با شنبلیله دانست که تثبیت‌کننده نیتروژن است.

باکتری‌های متعلق به جنس سودوموناس و باسیلوس توانایی ارتقاء رشد گیاه را از طریق تولید ACC (۱- آمینو سیکلوپروپان -۱-کربوکسیلیک اسید) دی‌آمیناز، فیتوهورمون‌ها (اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها) و سیدروفورها دارا هستند. باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌توانند از طریق افزایش جذب نیتروژن، سنتز فیتوهورمون‌ها، حلالیت فسفات‌های آلی و غیرآلی در خاک و تولید سیدروفورهایی که آهن را شلاته می‌کنند و آن‌را در دسترس ریشه گیاه قرار می‌دهند، رشد گیاه را بهبود بخشند (Bouizgarne *et al.*, 2023).

یکی از عوامل اثرگذار بر بهبود ظرفیت فتوسنتزی در گیاهان، غلظت کلروفیل می‌باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد کشت مخلوط سبب افزایش کلروفیل b شنبلیله شد (جدول ۴). از طرف دیگر کاهش تفاوت معنی‌دار بین شاهد و تیمارهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

کودی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیانگر آنست که کشت مخلوط توانسته میزان کلروفیل کل گیاه را افزایش دهد (شکل ۱). افزایش جذب نیتروژن به واسطه تثبیت زیستی شنبلیله و رابطه مکملی مثبت ایجادشده بین گیاه شنبلیله و خارمریم در کشت مخلوط و از طرفی نقش مهم نیتروژن بر فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و ساختار رنگدانه‌های فتوسنتزی (Huang *et al*., 2004) موجب افزایش کلروفیل در کشت مخلوط شد. از آن جایی که نیتروژن در ساختار این رنگدانه‌ها وجود دارد، افزایش محتوای کلروفیل به وسیله افزایش در محتوای نیتروژن کل برگ‌ها قابل‌توجیه است. افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز ارتباط مستقیمی با جذب دی‌اکسید کربن دارد. افزایش نیتروژن در گیاه سبب افزایش پروتوپلاسم و در نتیجه افزایش اندازه سلول و سطح برگ شده و در نهایت باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی می‌گردد (Arefi *et al*., 2012). در کشت مخلوط بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) و ذرت، کشت مخلوط سبب افزایش کلروفیل اندام هوایی در هر دو گیاه شد (IInal *et al*., 2007). آزمایش Baharloi (۲۰۱۳) در کشت مخلوط نخودفرنگی (*Pisum sativum*) و کلزا (*Brassica napus* L.) نشان داد کلروفیل b نخودفرنگی در تیمار کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری نسبت به کشت خالص افزایش یافت. اگر چه برخی محققین اعتقاد دارند در کشت مخلوط، رقابت بر سر عناصر غذایی مانند نیتروژن سبب کاهش دسترسی گیاه به مقدار کافی نیتروژن و کاهش میزان کلروفیل برگ می‌گردد (Ohashi *et al*., 2012). همچنین تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر بهبود حلالیت فسفر خاک موجب بهبود رشد ریشه شد که با افزایش محتوای کلروفیل برگ کاملاً مرتبط است (Elhaissoufi *et al*., 2020). باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات نیز از طریق افزایش ضخامت مزوفیل برگ، افزایش تعداد کلروپلاست‌ها و پلاستیدها در واحد سطح می‌توانند باعث افزایش میزان کلروفیل و بهبود ظرفیت فتوسنتزی گیاه شوند (Maleva *et al*., 2017).

در آزمایش Maleva و همکاران (۲۰۱۷) با کاربرد باکتری حل‌کننده سیلیکات محتوای کلروفیل a تا ۸۲ درصد، کلروفیل b تا ۴۶ درصد و محتوای کاروتنوئیدها تا دو برابر نسبت به شاهد در خردل (*Brassica juncea*) افزایش یافت. با مصرف کودهای زیستی با افزایش فراهمی نیتروژن برای گیاه، باعث افزایش میزان کلروفیل شده که به دنبال آن سبزینگی، توانایی جذب نور خورشید، تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد که با نتایج ازمایش حاضر مطابقت دارد. ضخامت لایه مزوفیل برگ و تعداد سلول‌های مزوفیل به طور متوسط ۲۴ درصد افزایش یافت که با افزایش شدید رنگدانه‌های فتوسنتزی و میزان جذب دی‌اکسید کربن تا دو برابر مرتبط است و موجب بهبود فتوسنتز خردل چینی گردید. در آزمایشی که توسط Kumari و همکاران (۲۰۲۰) روی شنبلیله انجام گرفت کاربرد همزمان نانوذرات و باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه (PGPR) باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه، تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر نسبت به شاهد گردید. ترکیب این دو تیمار همچنین بیشترین مقدار کلروفیل، قند، پروتئین محلول و فعالیت کاتالاز را در شنبلیله سبب شد.

صفات بیوشیمیایی، قدرت احیاکنندگی عصاره: اثر الگوهای کشت مخلوط بر قدرت احیاکنندگی عصاره شنبلیله و خارمریم غیرمعنی‌دار بود ولی اثر رژیم‌های مختلف کودی در هر دو گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بر همکنش این عامل‌ها نیز بر قدرت احیاکنندگی در هیچ کدام از دو گیاه معنی‌دار نگردید (جدول ۵). مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد در شنبلیله بین تیمارهای کودی بیشترین میزان قدرت احیاکنندگی عصاره (۰/۳۸٪) از تیمار تلفیقی باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات حاصل شد که سبب افزایش ۱۲۳ درصدی نسبت به شاهد یا عدم مصرف کود شد. کمترین میزان قدرت احیاکنندگی نیز از تیمار شاهد به‌دست آمد. در خارمریم نیز بیشترین قدرت احیاکنندگی از تیمار کود شیمیایی فسفاته و سیلیکاته حاصل شد که اختلاف معنی‌داری را با سایر رژیم‌های کودی نشان داد. کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات به صورت جداگانه و همزمان در هر دو گیاه موجب افزایش قدرت احیاکنندگی نسبت به شاهد شد.

در آزمایش توان احیاکنندگی، احیاء آهن فریک به فروس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های مختلف کودی بر قدرت احیاکنندگی، فنل، فلاونوئید و خاصیت آنتی‌اکسیدانی شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		قدرت احیاکنندگی		فنل		فلاونوئید		خاصیت آنتی‌اکسیدانی	
		شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم
تکرار	۲	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۲۸ns	۲/۰۶۴ns	۶۳/۸۲**	۱۲/۷۰**	۶/۸۹**	۳۴۴/۶۸ns	۵۲۵/۷۹ns
تیمار کودی (A)	۴	۰/۰۵۱**	۰/۴۱۵**	۷۰/۲۳**	۱۷۰/۶۱**	۳۵/۶۱**	۳۱/۹۲**	۱۵۸۵/۳۶**	۹۹۰/۸۷**
الگوی کشت (B)	۳	۰/۰۰۰۴ ns	۰/۰۶۶ns	۲۱/۵۰**	۳۹۸/۰۱**	۷۷/۳۲**	۶۵/۴۷**	۳۱۴۶/۲۰**	۲۳۳/۴۰ns
(B) × (A)	۱۲	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۵۸ns	۰/۲۷۱ns	۱۲/۶۸**	۱/۰۷ns	۱/۰۶ns	۴۷۱/۱۰**	۱۱/۲۱ns
خطا	۳۸	۰/۰۰۲	۰/۰۱۵	۰/۷۰۳	۱/۸۰	۰/۶۷۹	۰/۳۵۶	۶۱/۶۶	۸۳/۸۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۸/۵۵	۱۰/۶۸	۸/۷۱	۱۰/۵۸	۹/۸۸	۸/۰۶	۱۵/۲۷	۲۵/۴۳

ns، **: به‌ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف کودی بر قدرت احیاکنندگی، فنل، فلانوئید و خاصیت آنتی‌اکسیدانی شنبلیله و خارمریم

تیمارها	قدرت احیاکنندگی (٪)		فنل (mg GAE/g seedDW)		mg فلاونوئید QE/100g(seed DW)	خاصیت آنتی‌اکسیدانی (٪)
کود	شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم	خارمریم	خارمریم
C	۰/۱۷c	۰/۸۲d	۶/۱۷e	۵/۶۲e	۴/۹۳e	۲۸/۳۱b
PSB	۰/۲۷b	۱/۱۶bc	۹/۲۹c	۸/۳۵c	۷/۶۰c	۳۲/۵۰b
SiSB	۰/۲۸b	۱/۰۹c	۸/۰۸d	۷/۵۴d	۶/۳۴d	۳۱/۲۴b
PSB+SiSB	۰/۳۸a	۱/۲۲b	۱۳/۴۱a	۱۰/۹۹a	۹/۹۰a	۵۴/۴۴a
P+Si	۰/۲۳b	۱/۴۱a	۱۱/۱۸b	۹/۲۱b	۸/۲۱b	۳۳/۵۱b

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات+باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته +کود سیلیکاته

به عنوان یک نمایه، برای پتانسیل الکترون‌دهی بکار می‌رود. ترکیبات فنلی به عنوان دهنده الکترون عمل نموده و ممکن است واکنش‌های ناخواسته ایجادشده توسط رادیکال‌های آزاد را خنثی کنند (Rajesh *et al.*, 2008). ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنلی عمدتاً ناشی از قدرت احیاکنندگی و ساختار شیمیایی آنهاست که آن ها را قادر به خنثی‌کردن رادیکال‌های آزاد، تشکیل کمپلکس با یون‌های فلزی و خاموش کردن مولکول‌های اکسیژن یگانه و سه گانه می‌سازد (Pokorny, 2007).

میزان فنل: اثر رژیم‌های مختلف کودی و الگوهای مختلف کشت بر میزان فنل دو گیاه شنبلیله و خارمریم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ولی بر همکنش عامل‌ها تنها بر میزان فنل گیاه دارویی خارمریم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). در بین رژیم‌های مختلف کودی بیشترین میزان فنل (۱۳/۴۱ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) مربوط به تیمار کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

فسفات و سیلیکات بود که سبب افزایش ۹۸ درصدی نسبت به تیمار عدم مصرف کود شد و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد و بعد از آن، تیمار کود شیمیایی فسفاته و سیلیکاته از بیشترین میزان فنل برخوردار بود و تیمار شاهد نیز کمترین میزان فنل (۶/۷۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) را داشت (جدول ۶). در گیاه دارویی شنبلیله در بین الگوهای مختلف کشت، الگوی مخلوط (۲:۲) از بالاترین میزان فنل (۱۰/۸۱ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) برخوردار بود که سبب افزایش ۲۸ درصدی نسبت به کشت خالص شد و کمترین میزان نیز (۸/۴۲ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم ماده خشک) مربوط به الگوی کشت خالص این گیاه دارویی بود (جدول ۷). در گیاه دارویی خارمریم به‌طورکلی در تیمارهای مخلوط میزان فنل مقادیر بالاتری را به خود اختصاص داده است. این مقادیر به ویژه الگوی (۲:۲) مشهود است. به علاوه چنین به نظر می‌رسد که در کاربرد همزمان دو باکتری تولید فنل تحریک شده است به‌طوری‌که بیشترین میزان فنل از الگوی مخلوط (۲:۲) و رژیم کودی کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات و کمترین میزان نیز از الگوی کشت خالص و تیمار بدون مصرف کود به دست آمد (شکل ۲).

پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که متابولیت‌های ثانویه از جمله فنل‌ها نقش مهمی در تعامل مختلف بین گیاهان و محیط طبیعی بازی می‌کنند. کودهای زیستی و آلی با ایجاد تغییرات قابل‌توجه در فعالیت‌های آنزیمی و سازوکارهای فیزیولوژیک درگیر، منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه مانند پلی‌فنل‌ها در گیاهان میزبان می‌شوند (Bagheri *et al.*, 2015). فنل‌ها از اجزای مهم محافظ سلول‌های گیاهی هستند و ساختار شیمیایی مناسبی برای حذف رادیکال‌های آزاد فعال دارند. این ترکیبات به دلیل فعالیت بالای هیدروژنی یا الکترون‌دهندگی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی مؤثرتری از آسکوربات و توکوفرول دارند (Kiarostami *et al.*, 2010). احتمالاً همجواری با یک گونه متفاوت در کشت مخلوط دو گیاه و بهره‌گیری از نیتروژن تثبیت‌شده سبب تحریک تولید متابولیت‌های ثانویه و از این‌رو فنل شده است (Fathi *et al.*, 2016).

میزان فلاونوئیدها: تأثیر رژیم‌های کودی و الگوهای مختلف کشت بر میزان فلاونوئید شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار اما برهمکنش این دو عامل معنی‌دار نگردید (جدول ۵).

مقایسه میانگین (جدول ۷)، نشان داد در بین الگوهای مختلف کشت در هر دو گیاه شنبلیله و خارمریم، الگوی کشت مخلوط (۲:۲) از بیشترین میزان فلاونوئید (۹/۹۱ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) و (۹/۲۶ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم ماده خشک) به ترتیب در گیاه شنبلیه و خارمریم برخوردار بود که سبب افزایش ۷۳ و ۷۹ درصدی نسبت به الگوی کشت خالص این گیاهان شد. کمترین میزان در هر دو گیاه مربوط به کشت خالص آن‌ها بود. در شنبلیله در مجموع کشت مخلوط میزان فلاونوئیدها را افزایش داد. در بین کودهای مورد استفاده بیشترین میزان فلاونوئید مربوط به تیمار تلفیقی باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات بود که در هر دو گیاه دارویی، این تیمار با هیچ کدام از تیمارهای دیگر در یک گروه آماری قرار نگرفت و اختلافش با سایر تیمارها معنی‌دار گردید و کمترین میزان فلاونوئید در هر دو گیاه نیز مربوط به تیمار عدم مصرف کود بود که در هر دو گیاه با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد. کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات در شنبلیله و خارمریم میزان فلاونوئیدها را به ترتیب ۹۵ و ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۶).

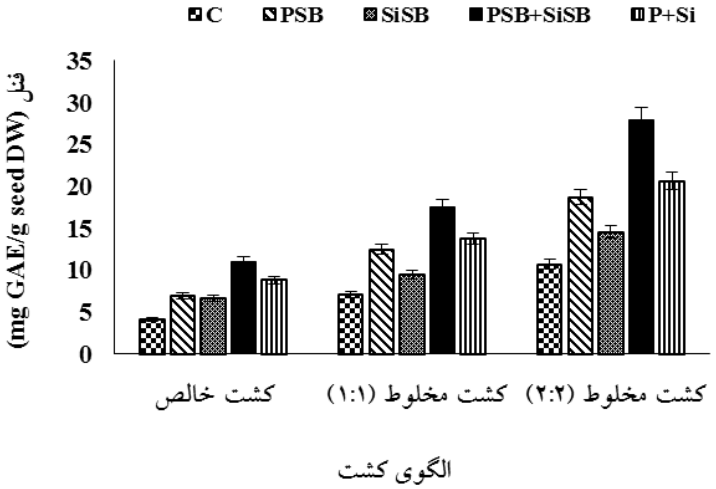
فلاونوئیدها ترکیبات پلی‌فنولیک و از مهمترین ترکیبات ثانویه گیاهان می‌باشند. مسیر فنیل‌پروپانوئید که با تولید و فعالیت آنزیم فنل‌آلانین آمونیالیاز فعال می‌شود مسیر اصلی برای بیوسنتز مواد فنلی و فلاونوئیدها است. فلاونوئیدها همانند سایر ترکیبات غیرآنزیمی آنتی‌اکسیدانی، جاروب‌کننده قوی ROSها هستند (Hasanloo *et al.*, 2011). گیاهان به محرک های محیطی پاسخ می‌دهند و متابولیت‌های ثانویه دارای نقش کلیدی در برهمکنش بین گیاه و محیط‌شان هستند و مطابق نتایج محققان، فلاونوئیدها نیز از جمله متابولیت‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر فنل و فلانوئید شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط

تیمارها	فنل (mg GAE/g seedDW)		mg فلاونوئید QE/100g(seed DW)
الگوی کشت	شنبلیله	خارمریم	خارمریم
کشت خالص	۸/۴۲^{c}	۵/۷۴^{b}	۵/۱۷^{c}
کشت مخلوط (۱:۱)	۹/۶۴^{b}	۹/۳۷^{a}	۷/۷۵^{b}
کشت مخلوط (۲:۲)	۱۰/۸۱^{a}	۹/۹۱^{a}	۹/۲۶^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر میزان فنل خارمریم. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات+ باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته

ثانویه‌ای هستند که مسیر بیوسنتزی آن‌ها تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد و در مراحل نموی و شرایط محیطی دارای نوسان هستند (حاتم‌وند و همکاران، ۱۳۹۳). طبق مشاهدات و مقایسه میانگین‌های حاصل از این تحقیق محتوای فلاونوئید تحت تأثیر کاربرد همزمان کودهای زیستی قرار گرفت. از آنجا که سیلی‌مارین، ماده مؤثره خارمریم ترکیبی فلاونوئیدی متشکل از پنج نوع فلاونولیگنان مختلف است، می‌توان نتیجه گرفت که با کاربرد کود زیستی، میزان سیلی‌مارین گیاه نیز افزایش می‌یابد. آزمایش Naghdibadi و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که کودهای زیستی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش میزان فلاونوئید در گیاه دارویی گل گاوزبان ایرانی می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در آزمایش‌های Shetty و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۲) کاربرد سیلیکون برای رز به طور محسوسی غلظت اسیدهای فنلی ضدمیکروبی و فلاونوئیدها را در پاسخ به آلودگی رز به سفیدک پودری افزایش داد. همچنین بیان ژن‌های کدکننده آنزیم‌های کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئید را باز تنظیم کرد. افزایش در این ترکیبات فنلی در رز باعث کاهش ۴۶ درصدی بیماری قارچی سفیدک پودری در مقایسه با عدم کاربرد سیلیس شد.

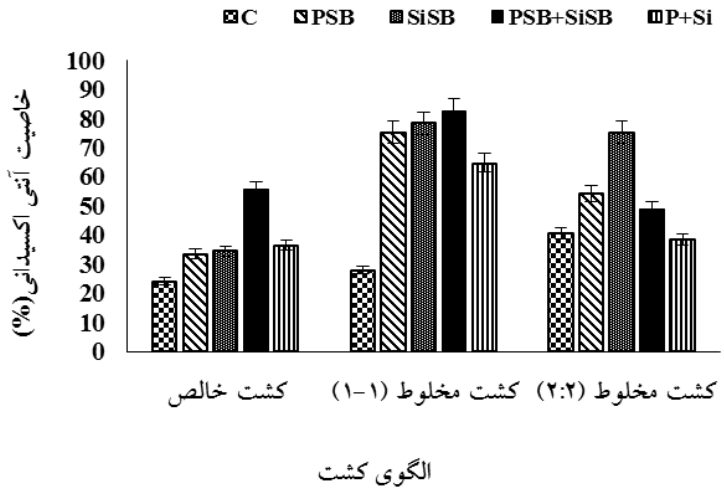
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

خاصیت آنتی‌اکسیدانی: اثر رژیم‌های مختلف کودی و الگوهای مختلف کشت بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی شنبلیله در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود اما در خارمریم خاصیت آنتی‌اکسیدانی فقط تحت تأثیر رژیم‌های کودی قرار گرفت. برهمکنش این دو عامل نیز تنها در گیاه دارویی شنبلیله معنی‌دار شد (جدول ۵). در مجموع کشت مخلوط میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی شنبلیله را افزایش داد. این نکته به ویژه در الگوی (۱:۱) مخلوط شنبلیله و خارمریم و در تیمارهای باکتریایی مشهودتر بود. به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی شنبلیله در کشت مخلوط (۱:۱) و کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات حاصل شد و کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی از الگوی کشت خالص شنبلیله و شاهد به دست آمد (شکل ۳). این در حالی است که در کشت خالص شنبلیله هیچ کدام از تیمارها تقریباً اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند. در خارمریم در بین تیمارهای کودی نیز بیشترین میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی از رژیم کودی کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات با افزایش ۹۲ درصدی نسبت به شاهد به دست آمد. سایر تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری را در میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی با هم نشان ندادند و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶).

گیاهان دارویی منابع مهم و غنی از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی هستند. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی یک گیاه ارتباط مستقیم با نوع و میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجود در آن گیاه نظیر کاروتنوییدها، فنل و اسید آسکوربیک دارد (Ascon *et al.*, 2006). DPPH، یک رادیکال آزاد پایدار است و اندازه‌گیری میزان آن یکی از مهم‌ترین روش‌های ارزیابی قدرت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان به شمار می‌رود (Lee *et al.*, 2003). تفاوت در فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌تواند ناشی از تفاوت در میزان فنل و سایر ترکیبات مؤثره باشد. در این آزمایش افزایش کاروتنوئیدها و سایر رنگدانه‌های فتوسنتزی به واسطه نقش باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات و نیتروژن تثبیت‌شده توسط شنبلیله، همچنین افزایش میزان فنل به دست آمده می‌تواند دلیلی بر افزایش میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی و توان احیاکنندگی عصاره گیاهان خارمریم و شنبلیله باشد. حتی وجود باکتری‌های حل‌کننده به عنوان یک مهاجم خارجی برای گیاه ممکن است منجر به فعال‌شدن مکانیسم دفاعی گیاه و در نتیجه تولید مواد آنتی‌اکسیدان در گیاه شود. مشابه همین یافته در گیاهانی چون نعناع، بومادران، درمنه و آویشن تأیید شده است (Nieto, 2020). تیمارهایی که باعث کاهش تنفس و تولید اتیلن و در نتیجه کاهش سرعت پیری می‌شوند، باعث کاهش سرعت تولید رادیکال‌های آزاد و در نتیجه کاهش مصرف آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شوند. در آزمایشی که توسط Gharakhani-Beni و همکاران (۲۰۲۲) انجام شد، بیشترین عملکرد روغن‌های ضروری و فعالیت آنتی‌اکسیدانی از تیمار تک‌کشتی زوفا و کشت مخلوط زوفا و شنبلیله (۳:۱) به دست آمد اما در آزمایش Salehi و همکاران (۲۰۱۸)، در کشت مخلوط شنبلیله و گندم سیاه، نسبت (۲:۱) (گندم سیاه : شنبلیله) بیشترین افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات بیواکتیو را نسبت به سایر نسبت‌های کشت مخلوط نشان داد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. همچنین در آزمایشی که توسط Mahfouz و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد نسبت (۲:۱) (چاودار: شنبلیله) بیشترین مقدار روغن و پروتئین را نسبت به سایر نسبت‌های کشت مخلوط سبب شد. Ghorbanpour و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی اثر تلقیح با دو سویه ریزوباکتری *Pseudomonas putida* و *fluorescens pseudomonas* روی آلکالوئید تروپان در گیاه *Hyoscyamus niger* تحت سه سطح تنش خشکی (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد) نشان دادند که هر دو سویه باکتری، محتوای آلکالوئیدها را افزایش داده و سویه *Pseudomonas putida* در تنش خشکی ۳۰ درصد، بیشترین افزایش میزان آلکالوئیدها را در اندام‌های هوایی و زمینی داشت.

اجزای عملکرد: اثر رژیم‌های مختلف کودی و الگوهای کشت بر اجزای عملکرد شنبلیله (تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام و وزن هزار دانه) معنی‌دار اما برهمکنش این دو عامل بر هیچ کدام از اجزای عملکرد معنی‌دار نشد (جدول ۸).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی شنبلیله در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر رژیم‌های مختلف کودی بر اجزای عملکرد شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد نیام در بوته	تعداد کاپیتول در بوته	تعداد دانه در نیام	تعداد دانه در کاپیتول	وزن هزاردانه	
		شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم
تکرار	۲	۱/۶۳۳^{ns}	۲/۴۶۷*	۹/۴۷۲*	۲۶۴/۲۹**	۴/۶۱۰**	۴۵/۵۳**
تیمار کودی (A)	۴	۳۲/۱۳**	۱۶/۰۷۸**	۲۰/۴۱*	۱۰۷/۳۷**	۶/۹۷۶**	۲۴/۲۱۲**
الگوی کشت (B)	۳	۵۳/۹۹۳**	۱۷/۸۶۷**	۳۵/۰۹**	۸۱/۴۹**	۲۷/۵۷۳**	۱۳/۶۵**
(B) × (A)	۱۲	۱/۸۶۷^{ns}	۲/۳۱۱*	۰/۹۶^{ns}	۱۱/۸۵*	۰/۸۱۶^{ns}	۲/۰۴۸ ^{ns}
خطا	۳۸	۱/۱۶۰	۰/۷۷۶	۱/۰۱۸	۴/۹۵۶	۰/۶۶۸	۱/۶۴۶
ضریب تغییرات (٪)		۷/۲۸	۱۱/۳۰	۹/۵۴	۶/۸۲	۶/۵۲	۱۰/۵۴

ns، **، *: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

در بین کودهای مختلف مورد استفاده بیشترین تعداد نیام در بوته (۱۷/۳۳)، تعداد دانه در نیام (۱۲/۵۶) و وزن هزار دانه (۱۳/۷۳ گرم) شنبلیله از تیمار کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات حاصل شد که به ترتیب سبب افزایش ۴۱/۸۱، ۴۴/۸۷ و ۱۹/۸۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد یا عدم مصرف کود شد (جدول ۹). بین الگوهای مختلف کشت نیز بیشترین تعداد نیام در بوته (۱۶/۴۰)، تعداد دانه در نیام (۱۲) و وزن هزار دانه (۱۳/۸۸ گرم) از الگوی کشت مخلوط (۲:۲) و کمترین میزان این صفات از تیمار کشت خالص حاصل شد (جدول ۹). در خارمریم هم اثر رژیم‌های مختلف کودی و الگوهای مختلف کشت بر اجزای عملکرد (تعداد کاپیتول در بوته، تعداد دانه در کاپیتول و وزن هزار دانه) معنی‌دار اما برهمکنش این عامل‌ها تنها بر وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (جدول ۸). در بررسی برهمکنش عامل‌ها در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های مختلف کودی بر اجزای عملکرد شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط

تیمارها	تعداد نیام در بوته	تعداد دانه در نیام	وزن هزار دانه	
الگوی کشت	شنبلبه	شنبلیله	شنبلبه	خارمریم
کشت خالص	۱۲/۷۳^{c}	۸/۸۰^{c}	۱۱/۲۰^{c}	۱۱/۲۷^{b}
کشت مخلوط (۱:۱)	۱۵/۲۷^{b}	۱۰/۹۳^{b}	۱۲/۵۶^{b}	۱۲/۱۶^{b}
کشت مخلوط (۲:۲)	۱۶/۴۰^{a}	۱۲/۰۰^{a}	۱۳/۸۸^{a}	۱۳/۱۳^{a}
کود				
C	۱۲/۲۲^{d}	۸/۶۷^{c}	۱۱/۴۶^{d}	۹/۳۵^{c}
۸PSB	۱۴/۸۹^{bc}	۱۱/۰۰^{b}	۱۳/۰۳^{ab}	۱۲/۷۸^{a}
SiSB	۱۴/۰۰^{c}	۹/۵۷^{c}	۱۲/۰۲^{cd}	۱۲/۱۷^{a}
PSB+SiSB	۱۷/۳۳^{a}	۱۲/۵۶^{a}	۱۳/۷۳^{a}	۱۳/۲۸^{a}
P+Si	۱۵/۵۶^{b}	۱۱/۱۱^{b}	۱۲/۵۰^{bc}	۱۳/۲۸^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح (۵٪) اختلاف معنی‌داری ندارد. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته

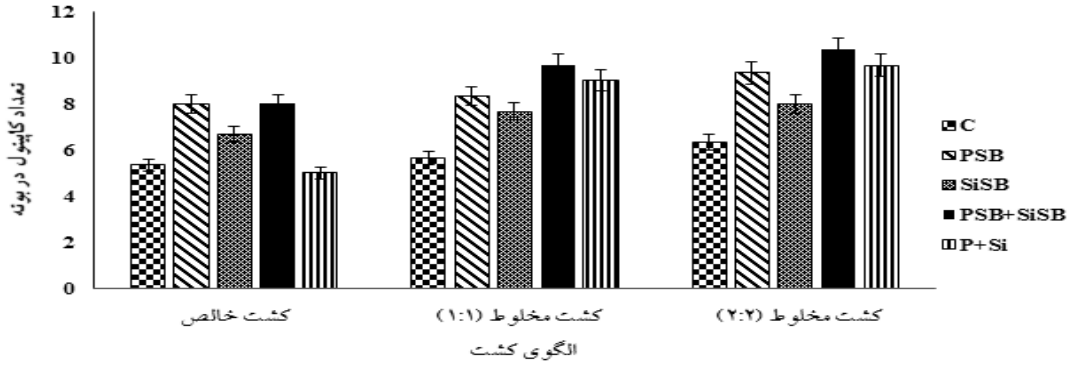
خارمریم بیشترین تعداد کاپیتول در بوته از الگوهای کشت مخلوط و کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات و نیز تیمار کود شیمیایی حاصل شد. اگر چه تیمارهای باکتریایی حتی در کشت خالص نیز همپای این تیمارها در کشت مخلوط بودند اما در تیمار شیمیایی کشت خاص تعداد کاپیتول‌ها کاهش یافت (شکل ۴).

در مورد تعداد دانه در کاپیتول تقریباً اکثر تیمارهای کودی مقدار این پارامتر را در تمام الگوهای کشت به ویژه مخلوط نسبت به شاهد افزایش دادند. این امر نشان می‌دهد که این جزی عملکردی در گیاه خارمریم نسبت به سایر اجزا کمتر تحت تأثیر تیمارها قرار می‌گیرد و اثر تیمارها در سایر اجزای عملکرد جبران می‌شود (شکل ۵).

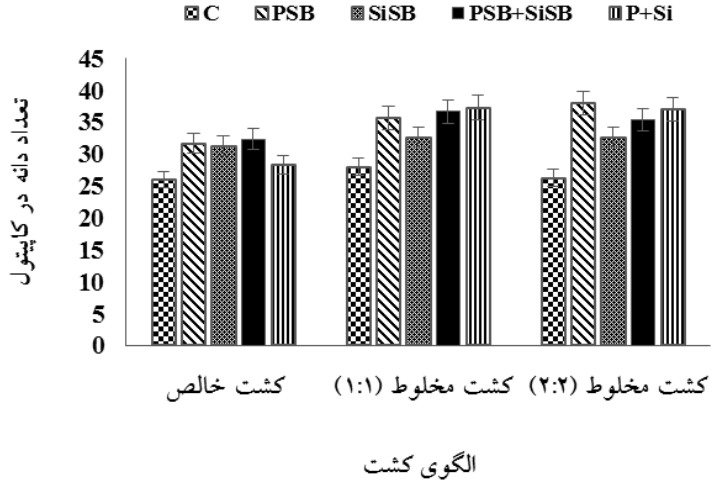
از نظر وزن هزار دانه خارمریم در بین الگوهای مختلف کشت، بیشترین میزان (۱۳/۱۳ گرم) از کشت مخلوط (۲:۲) حاصل شد که تفاوت معنی‌داری را با سایر الگوهای مختلف کشت نشان داد و دو الگوی کشت مخلوط (۱:۱) و کشت خالص نیز از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را با هم نشان ندادند. تیمارهای کودی مورد استفاده سبب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه خارمریم نسبت به تیمار شاهد شدند به گونه‌ای که همه تیمارهای کودی در یک گروه آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند اما اختلافشان با تیمار شاهد معنی‌دار شد (جدول ۹).

کودهای زیستی مورد استفاده با تأثیر بر میزان جذب عناصر غذایی و افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی (جدول ۳) و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتزی دو گیاه شنبلیله و خارمریم باعث افزایش اجزای عملکرد این دو گیاه شدند. Fanaei و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک (نیتروکارا و نیتروکسین) و کود شیمیایی بر عملکرد دانه و بعضی صفات زراعی گلرنگ اظهار کردند که کاربرد کود زیستی باعث افزایش معنی‌دار تعداد طبق در بوته و عملکرد دانه شد. به نظر می‌رسد با کاربرد کودهای زیستی منجر به بهبود فعالیت میکروبی خاک و تثبیت نیتروژن توسط کود زیستی شده که منجر به بهبود میزان فتوسنتز و تولید زیست‌توده گیاهی شده است و در نتیجه شرایط مناسبی را برای دسترسی به عناصر غذایی در خاک فراهم نموده که منجر به بهبود رشد و دوام پرشدن دانه و نهایتاً افزایش وزن هزاردانه می‌گردد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر تعداد کاپیتول در بوته خارمریم در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات+ باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر تعداد دانه در کاپیتول خارمریم در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات+ باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته

(Darzi *et al*., 2012).

در پژوهشی Daneshvar و Khajoei-Nejad (۲۰۱۴) افزایش وزن هزار دانه ارقام مختلف گلرنگ را با کاربرد کودهای زیستی نیتروژنی (Azotobacter و Azospirillum) و فسفات بارور۲ گزارش نمودند و اظهار داشتند که استفاده از کودهای زیستی به‌دلیل افزایش توسعه ریشه و افزایش جذب مواد غذایی سبب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه شده است. Shakeri و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاربرد کود زیستی نیتروکسین باعث افزایش وزن هزاردانه کنجد شد و دلیل آن را به افزایش طول دوره پرشدن دانه و تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه از طریق افزایش مقدار مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده در طول مدت پرشدن دانه نسبت داده‌اند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. در آزمایشی Jahani و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که در کشت مخلوط عدس و زیره سبز وزن خشک اندام‌های رویشی، عملکرد زیست‌توده، وزن ۱۰۰۰ دانه و تعداد دانه در هر چتر در زیره سبز و عملکرد دانه آن به طور معنی‌داری افزایش یافت.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس تأثیر رژیم‌های مختلف کودی و الگوهای مختلف کشت بر خارمریم و شنبلیله در شرایط کشت مخلوط (جدول ۱۰)، نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار عامل‌های مورد بررسی بر عملکرد دانه شنبلیله و خارمریم و برهمکنش آنها در شرایط کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بود. در مورد گیاه دارویی خارمریم و شنبلیله طبق شکل ۶ و ۷ بیشترین میزان عملکرد دانه خارمریم از الگوهای کشت مخلوط و تیمار کود شیمیایی فسفات + سیلیکات به دست آمد که با کاربرد همزمان دو باکتری و نیز باکتری حل‌کننده فسفات تفاوت معنی‌داری نداشت. بالابودن عملکرد دانه در تیمار اخیر احتمالاً بیانگر این موضوع است که عنصر فسفر نسبت به سیلیس نقش مهمتری را در تشکیل دانه و نهایتاً عملکرد دانه خارمریم دارد (شکل ۶). برای شنبلیله اما کاربرد همزمان دو باکتری عملکرد دانه را در تیمارهای مخلوط افزایش داد. این امر نشان می‌دهد که خارمریم توانسته بهره بیشتری از فسفر شیمیایی ببرد حال آنکه در شنبلیله باکتری‌های حل‌کننده نقش مهمتری در شکل‌گیری عملکرد دانه داشته‌اند. کمترین نیز از الگوی کشت خالص خارمریم و تیمار شاهد یا عدم مصرف کود به دست آمد (شکل ۷).

نتایج بررسی‌های Borghi و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد هنگامی که دو گونه با ارتفاع بوته، پوشش گیاهی و الگوی رشد متفاوت به صورت همزمان در کشت مخلوط قرار می‌گیرند، کمترین رقابت را با یکدیگر ایجاد می‌کنند و این موضوع باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. تحقیقات Weston و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که سیستم‌های کشت خالص غالباً به دلیل افزایش رقابت درون گونه‌ای منجر به کاهش اجزاء عملکرد گیاهان می‌شوند، درحالی‌که کشت مخلوط به دلیل واردکردن گونه همراه و کاهش رقابت درون گونه‌ای معمولاً سبب افزایش اجزاء عملکرد می‌گردد که در نتایج حاضر نیز عملکرد کشت خالص به شکل معنی‌داری کمتر از کشت مخلوط بود. بررسی‌های Hauggard-Nielson و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد در شرایطی که رقابت بین گونه‌ای کمتر از درون گونه‌ای باشد، گیاهان در کشت مخلوط برای نیچ‌های یکسان رقابت نکرده و عملکرد افزایش می‌یابد. تفاوت مورفولوژیک محسوس بین خارمریم و شنبلیله نظیر ارتفاع متفاوت، شکل برگ‌ها و تفاوت عمق ریشه آن‌ها می‌تواند دلیلی بر کاهش رقابت بین این دو گونه باشد که منجر به بهبود عملکرد مخلوط نسبت به کشت خالص گردیده است. نتایج آزمایش Chalk (۱۹۹۶) نشان داد که برتری عملکرد گیاهان در کشت مخلوط نتیجه تثبیت و انتقال نیتروژن لگوم‌ها در زراعت مخلوط است.

در آزمایشی که توسط Rezaei- Chiyaneh و همکاران (۲۰۲۱) صورت گرفت، نتایج حاکی از افزایش میزان نیتروژن و فسفر دانه در شرایط کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی بود و تلقیح با باکتری بیشترین عملکرد دانه را هم در شنبلیله و هم گندم سیاه نشان داد. کشت مخلوط شنبلیه و گندم سیاه (۶۶:۳۴) بیشترین نسبت برابری زمین را داشت. اگر چه مطالعه انجام‌شده توسط Ofori و Stern (۱۹۸۷) نشان دادند هنگامی که کشت دو گونه در یک زمان انجام می‌شود رقابت برای منابع شدیدتر است و لذا کاهش عملکرد دو گونه در این گونه سیستم‌ها بیشتر به چشم می‌خورد.

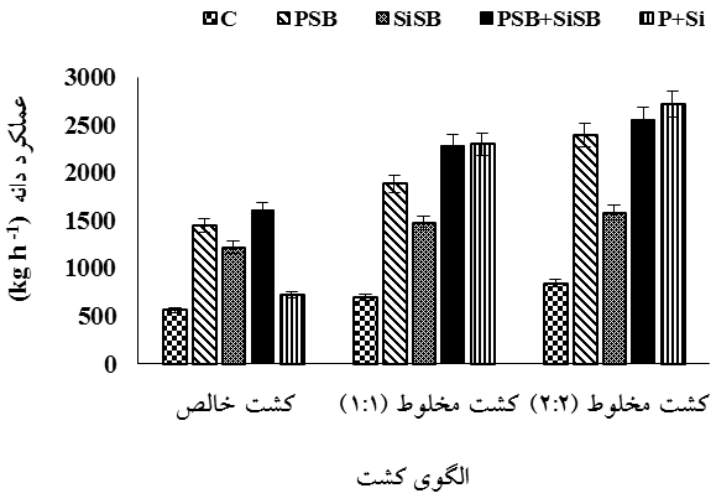
نتایج پژوهش‌های Choudhary و همکاران (۲۰۱۷) بر گندم نشان داد که باکتری‌های حل‌کننده فسفات به دلیل شرایط مناسب محیطی و در اختیار قراردادن آب و عناصر غذایی برای گیاه موجب زیادشدن شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و سرعت رشد نسبی می‌شود. با توجه به مطالعات انجام‌شده توسط Jaleel و همکاران (۲۰۰۷) باکتری‌های محرک رشد از طریق کمک به جذب نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌کنند در کنار کود نیتروژنه به توسعه بهتر ریشه، تحریک رشد گیاه و افزایش انباشت ماده خشک کمک می‌کنند. در پژوهشی که توسط Hamzei و Salimi (۲۰۱۵) صورت گرفت تلقیح بذرهای خارمریم با مایکوریزا و کود فسفره به طور معنی‌داری صفات تعداد کاپیتول در بوته، تعداد دانه در مترمربع، وزن دانه، عملکرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

جدول ۱۰- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های مختلف کودی بر درصد روغن و عملکرد دانه شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد دانه		درصد روغن	
		شنبلیله	خارمریم	شنبلیله	خارمریم
تکرار	۲	۳۵۵۸۸۶/۳**	۱۷۸۱۸/۵ns	۰/۰۳۸ns	۶/۶۷**
تیمار کودی (A)	۴	۱۰۴۹۱۰۶/۸**	۲۹۹۴۵۰۱/۷**	۶/۲۳۹**	۴۸/۰۷**
الگوی کشت (B)	۳	۲۰۹۳۹۴۰/۶**	۳۱۹۷۰۸۹/۴**	۲۲/۲۴۴**	۴۴/۳۰**
(A) × (B)	۱۲	۱۰۳۰۸۷/۰۴**	۴۱۴۸۸۰/۵ **	۰/۹۶۶**	۳/۰۵**
خطا	۳۸	۳۳۱۵۸/۱۳	۲۳۰۷۳/۷	۰/۰۵۳	۰/۳۵
ضریب تغییرات (٪)		۱۷/۳۸	۹/۳۸	۳/۱۸	۲/۵۴

ns، **: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

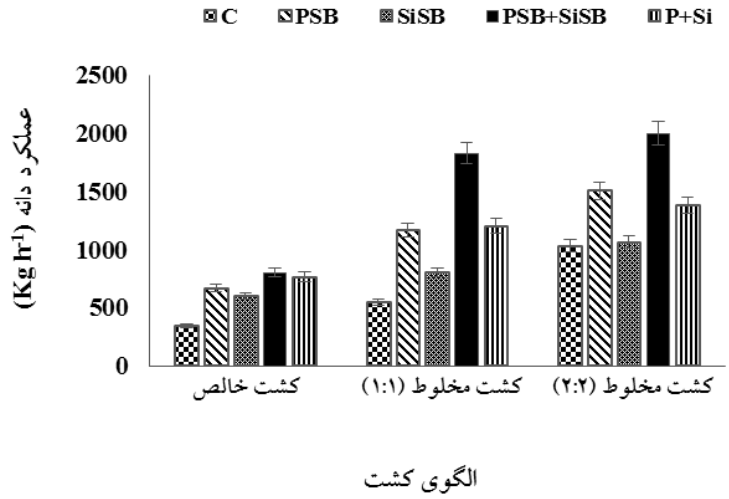


شکل ۶- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر عملکرد دانه خار مریم در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات+ باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته

دانه، شاخص کلروفیل و کارایی مصرف فسفر را افزایش داد. بیشترین و کمترین مقدار اجزای عملکرد دانه به ترتیب در ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره و تلقیح با مایکوریزا به دست آمد و عملکرد دانه را ۵۸ درصد در مقایسه با تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره و عدم‌تلقیح با مایکوریزا افزایش داد. در پژوهش صورت‌گرفته توسط Rezaei- Chiyaneh و همکاران (۲۰۱۵) الگوی کشت بر تمام صفات آزمایش اثر معنی‌دار داشت. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی از کشت مخلوط ۱۲ردیف زنیان و ۶ ردیف شنبلیله به دست آمد. اثر نوع کود نیز بجز تعداد نیام بر سایر صفات مورد بررسی شنبلیله اثر معنی‌داری داشت. بالاترین عملکرد دانه شنبلیله و عملکرد بیولوژیکی از تیمار کود شیمیایی و کمترین عملکرد از تیمار شاهد به دست آمد. بیشترین نسبت برابری زمین از کشت مخلوط نواری با نسبت ۴ ردیف زنیان و دو ردیف شنبلیله به دست آمد.

Santi و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند کاربرد سیلیسیم به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

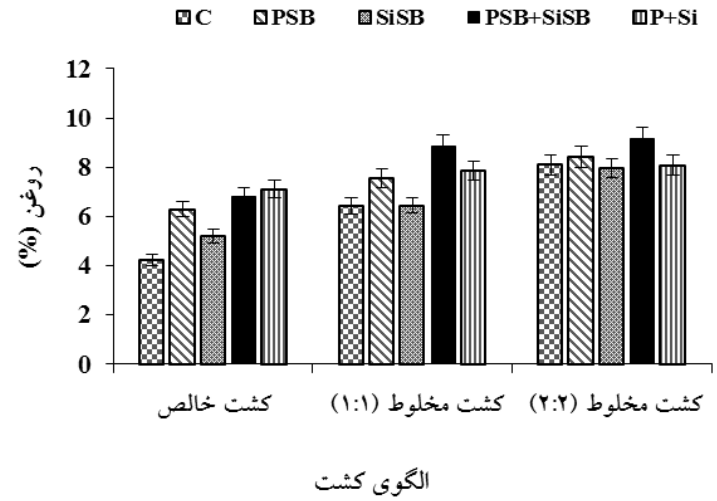


شکل ۷- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر عملکرد دانه شنبلیله در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته

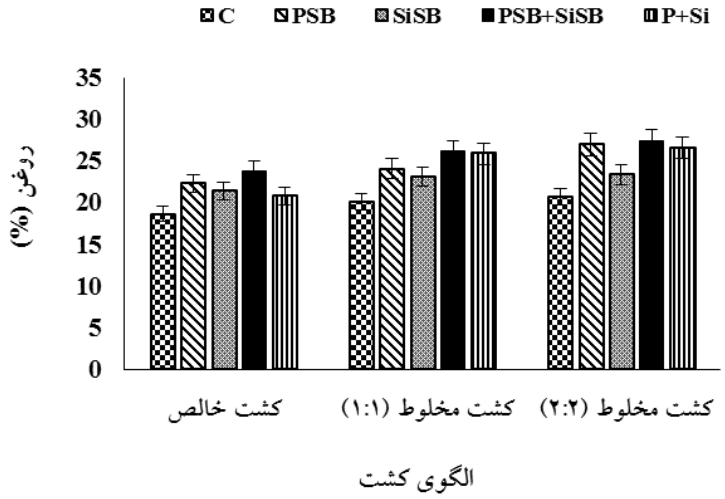
شکل بیونانواورتو سالیسیک اسید توانست عملکرد سویای سیاه را تا ۲۶ درصد و کارایی مصرف آب را تا ۳۷ درصد افزایش دهد و میزان مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم را تا ۵۰ درصد کاهش دهد. از سویی Sun و همکاران (۲۰۲۰) بیان داشتند کاربرد دو نوع باکتری افزایش‌دهنده رشد گیاه *Bacillus mucilaginosus* و *Aspergillus niger* باعث افزایش عملکرد دانه برنج در مقایسه با تیمار شاهد شد. کاربرد این دو باکتری با هم اثر هم‌افزایی داشت و اثر آن‌ها به طور همزمان نسبت به زمانی که هر کدام به تنهایی بکار می‌رفت، بیشتر بود. کاربرد همزمان آن‌ها باعث آزادسازی سیلیکون قابل حل شد و محتوای سیلیکون گیاه را افزایش داد. در این آزمایش میکرواورگانیسم‌های خاک، بیومس میکروبی، فعالیت آنزیمی و فعالیت بیوشیمیایی خاک به طور معنی‌داری افزایش یافتند. آنچه در تحقیق حاضر مشاهده شد نیز مؤید همین مطلب است که اثر دو باکتری با هم نسبت به کاربرد هر کدام از آنها به تنهایی روی اکثر صفات اثر مثبت معنی‌داری داشت که نشان از اثر هم‌افزایی این دو نوع باکتری دارد. در آزمایشی که توسط Song و همکاران (۲۰۲۱) انجام شد تأمین سیلیکون خاک به طور معنی‌داری باعث کاهش دسترسی به کادمیوم خاک، جذب آن در بافت‌های گیاه، افزایش سلامتی و رشد و عملکرد گندم گردید. در این آزمایش تیمار سیلیسیم بیشترین تأثیر (۲۵/۵۴٪) را روی عملکرد دانه نسبت به تیمارهای شاهد، بیوچار و کود برگی داشت. بیشترین کاهش در دسترسی زیستی به کادمیوم خاک مربوط به تیمار سیلیسیم (۲۹/۵۶٪) بود. اصلاح‌کننده‌های خاک مانند بیوچار، کود سیلیکون و کود برگی نقش حیاتی در کاهش دسترسی به کادمیوم خاک و حمایت از رشد گیاه و سلامت محصول و امنیت غذایی در اکوسیستم بازی می‌کنند.

مطالعات Galindo و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد کاربرد باکتری حل‌کننده سیلیکون در حضور سنگ آهک به عنوان منبع سیلیکات و کود نیتروژن، باعث بهبود پارامترهای رشد گندم و کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد دانه می‌شود. نتایج این آزمایش نشان داد استفاده از سیلیسیم در حضور باکتری حل‌کننده سیلیکات می‌تواند سبب بهبود جذب نیتروژن شود. در تحقیق Rezakhani و همکاران (۲۰۱۹) در یک محیط گلدانی پرلیت با کاربرد جداگانه سیلیسیم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات همه پارامترهای مورفولوژیکی (وزن خشک اندام‌های هوایی، ریشه و عملکرد دانه)، پارامترهای تغذیه‌ای (جذب سیلیسیم و پتاسیم) و پارامترهای فیزیولوژیکی (فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز و پراکسیداز) گیاه سورگوم (*Sorghum bicholar* L.) بهبود یافت. استفاده از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]



شکل ۸- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر درصد روغن دانه شنبلیله در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته



شکل ۹- مقایسه میانگین برهمکنش کود × الگوی کاشت بر درصد روغن خارمریم در شرایط کشت مخلوط. میله‌ها بیانگر اشتباه استاندارد هر میانگین است که از سه تکرار بدست آمده است. C: شاهد، PSB: باکتری حل‌کننده فسفات، SiSB: باکتری حل‌کننده سیلیکات، PSB +SiSB: باکتری حل‌کننده فسفات + باکتری حل‌کننده سیلیکات، P+Si: کود فسفاته + کود سیلیکاته

باکتری حل‌کننده فسفات برای گیاهان سورگوم رشدیافته در فسفر قابل‌حل یا غیرقابل‌حل به طور معنی‌داری کارآیی استفاده از فسفر را افزایش داد. سیلیکون نه تنها جذب فسفر از منبع فسفر کم‌محلول (سنگ فسفات) را افزایش داد بلکه جذب فسفر از منبع فسفر محلول در آب را نیز بهبود بخشید. در آزمایشی اثر باکتری حل‌کننده فسفات *Bacillus megaterium* و باکتری حل‌کننده پتاسیم *Bacillus mucilaginosus* روی جذب مواد معدنی، دسترسی خاک و رشد گیاه بادمجان، به طور معنی‌داری باعث افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن، فسفر و پتاسیم و نهایتاً افزایش رشد و عملکرد محصول بادمجان شد (Han and Lee, 2006). Sarker و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان داشتند در کاربرد دو سویه باکتری (PSB_1 و PSB_8) و منابع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

مختلف فسفر روی گیاه گندم و برنج، هر دو سویه به طور معنی‌داری رشد گیاهچه (اندام هوایی و طول ریشه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه) و محتوای عناصر غذایی (NPK) در بافت‌های گیاه گندم را در مقایسه با شاهد افزایش دادند.

درصد روغن: تجزیه واریانس تأثیر رژیم‌های کودی و الگوهای مختلف کشت بر درصد روغن خارمریم و شنبلیله در شرایط کشت مخلوط (جدول ۱۰)، نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار عامل‌های مورد بررسی و برهمکنش آن‌ها بر درصد روغن شنبلیله و خارمریم در شرایط کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد بود. در بررسی برهمکنش عامل‌ها در شنبلیله بیشترین میزان درصد روغن از الگوهای کشت مخلوط و کاربرد همزمان باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات به دست آمد که تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نسبت به سایر تیمارها نشان داد (شکل ۸). در خارمریم نیز بیشترین درصد روغن دانه از الگوهای کشت مخلوط و کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات به دست آمد که با کاربرد شیمیایی فسفر و سیلیس تفاوت معنی‌داری نداشت. به علاوه در الگوی مخلوط (۲:۲) باکتری حل‌کننده فسفات به تنهایی توانست درصد روغن آن را افزایش دهد (شکل ۹).

در آزمایشی که توسط Rezaei- Chiyaneh و همکاران (۲۰۲۱) صورت گرفت، کشت مخلوط شنبلیه و گندم سیاه (۶۶:۳۴) بیشترین مقدار عملکرد دانه و درصد روغن دانه را داشت. Ghaderimokri و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند کشت مخلوط با نسبت (۲:۲) به همراه کود زیستی بیشترین محتوای روغن دانه را در رازیانه و شنبلیله تولید کرد. کاربرد هیومیک اسید و کود زیستی عملکرد روغن دانه را در رازیانه ۶۶ تا ۷۵ درصد و در شنبلیله ۴۰ تا ۵۷ درصد افزایش داد. Rezvani-moghadam و moradi (۲۰۱۲) نشان دادند اثر الگوی کشت روی عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه در دو گیاه شنبلیله و زیره سبز تفاوت معنی‌داری را در مقایسه با شاهد نشان دادند. کود بیولوژیک اثر معنی‌داری روی عملکرد روغن زیره سبز نداشت ولی اثر معنی‌داری روی عملکرد روغن دانه در شنبلیله نسبت به شاهد نشان داد. کود زیستی سودوموناس پوتیدا، نسبت برابری زمین بیشتری را در مقایسه با سایر تیمارهای کود زیستی (نیتروکسین و تیمار شاهد) داشت. مهمترین دلیل افزایش و کاهش عملکرد روغن به افزایش و کاهش عملکرد دانه باز می‌گردد. در تحقیق حاضر نیز با توجه به کاهش عملکرد دانه در شرایط کشت خالص شنبلیله و خارمریم، عملکرد روغن نیز کاهش پیدا کرد و افزایش عملکرد در کشت مخلوط به همراه کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سیلیکات هم عملکرد دانه و هم میزان درصد روغن دانه نسبت به شاهد افزایش داشت. در آزمایشی که توسط Mahfouz و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد نسبت (۲:۱) (چاودار:شنبلیله) بیشترین مقدار ترکیبات فیتوشیمیایی (درصد روغن و پروتئین) را نسبت به سایر نسبت‌های کشت مخلوط داشت. در بررسی Shehata و El-khawas (۲۰۰۳) افزایش معنی‌دار میزان روغن آفتابگردان با مصرف کود زیستی گزارش شد.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که اثر الگوهای مختلف کشت و رژیم‌های مختلف کودی بر صفات مورد بررسی در هر دو گیاه شنبلیله و خارمریم معنی‌دار اما بر همکنش این دو عامل در گیاه دارویی شنبلیله بر صفات کلروفیل کل، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و درصد روغن و در گیاه خارمریم بر صفات فنل کل، درصد روغن و عملکرد دانه معنی‌دار شد. بیشترین میزان اکثر صفات مورد بررسی مانند درصد روغن در هر دو گیاه خارمریم و شنبلیله از الگوی کشت مخلوط دو ردیفه (۲:۲) این دو گیاه و کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده (فسفات + سیلیکات) به دست آمد و بیشترین عملکرد دانه به میزان (۲۰۱۴/۰۳ کیلوگرم در هکتار) و (۲۷۰۹/۶۳ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب در گیاه شنبلیله و خارمریم، در کشت مخلوط دو ردیفه (۲:۲) و کاربرد همزمان باکتری حل‌کننده (فسفات+ سیلیکات) یا کاربرد کود شیمیایی فسفاته و سیلیکاته حاصل شد. این نشان می‌دهد در بیشتر موارد کاربرد همزمان دو باکتری حل‌کننده فسفات و سیلیکات در شرایط کشت مخلوط توانسته نیاز شیمیایی این دو گیاه را به فسفر و سیلیکات مرتفع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

سازد که احتمالاً از طریق افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و به دنبال آن افزایش ظرفیت فتوسنتزی و نهایتاً اثر بر صفات رشدی و عملکرد دانه است. به علاوه حضور شنبلیله در کنار خارمریم، از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و حضور باکتری‌های حل‌کننده فسفات از طریق بهبود سیستم ریشه و حضور باکتری حل‌کننده سیلیکات از طریق افزایش کلروفیل و اثرات هم‌افزایی این عامل‌ها همگی شرایط خوبی را برای دو گیاه بوجود آورده است که از نظر تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه و منجر به افزایش فنل، فلاونوییید و خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که استفاد از کودهای زیستی در کشت مخلوط یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب کمی و کیفی این دو گیاه دارویی با حداقل مصرف نهاده‌های خارجی است که در بلندمدت می‌تواند منجر به کاهش نیاز سیستم‌های زراعی به نهاده‌های شیمیایی شود.

منابع

تویسرکانی، فاطمه، حرمتی، احمد، مرادی، حسین، و علی‌اصل، فاطمه (۱۳۹۸). نگاهی گذرا به گیاه خارمریم از دیدگاه طب سنتی ایرانی و مطالعات نوین. *مجله دانشگاه علوم پزشکی قم*، ۱۳(۱)، ۷۸-۸۶. DOI: 10.29252/qums.13.1.78

حاتم‌وند، معصومه، حسنلو، طاهره، دهقان نیری، فاطمه، شیرانی‌راد، امیرحسین، طباطبایی، سیدعلی، و حسینی، سیدمحمد (۱۳۹۳). بررسی برخی شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام کلزا تحت تأثیر تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۷(۲)، ۱۷۳-۱۸۵. https://doi.org/10.22077/escs.2015.174

حسن‌زاده، الناز، رضازاده، شمسعلی، شمسا، سید فاضل، دولت‌آبادی، رضا، و زرین‌قلم، جلال (۱۳۸۹). مروری بر خواص درمانی و فیتوشیمیایی شنبلیله. *فصلنامه گیاهان دارویی*، ۳۴(۹)، ۱-۱۸. DOR: 20.1001.1.2717204.2010.9.34.1.9

رضاپورکویشاهی، طاهره، انصاری، محمدحسین، و مصطفوی‌راد، معرفت (۱۳۹۴). اثر برخی سویه‌های باکتری حل‌کننده فسفات بر عملکرد و خصوصیات زراعی مهم لوبیای محلی (*Phaseolus vulgaris* L.) گیلان در مقادیر مختلف کود فسفاته. *نشریه به‌زراعی کشاورزی*، ۱۷(۳)، ۸۰۱-۸۱۴. https://doi.org/10.22059/jci.2015.54387

سلوکی، حسام‌الدین، نصیری‌محلاتی، مهدی، کوچکی، علیرضا، و رضوانی‌مقدم، پرویز (۱۳۹۷). ارزیابی جذب و کارآیی مصرف نور در کشت مخلوط جایگزینی ماریتیغال و رازیانه. *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۱۰(۲۰)، ۳۱۳-۳۲۶. https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.34659

مستاجران، اکبر، و ضوئی، فرزانه (۱۳۷۸). همزیستی (سیستم‌های همیاری گیاه و باکتری). جلد ۳، دانشگاه اصفهان، اصفهان.

یزدانی‌بیوکی، رستم، و عبادی، محمدتقی (۱۳۹۶). دستورالعمل تولید گیاه دارویی خارمریم محصولی متحمل به شوری. چاپ ۱، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی، کرج.

Afshar, R. K., Chaichi, M. R., Rezaeie, K., Asareh, M. H., Karimi, M., & Hashemi, M. (2015). Irrigation regime and organic fertilizers influence on oil content and fatty acid composition of milk thistle seeds. *Agronomy Journal*, *107*, 187-194. https://doi.org/10.2134/agronj14.0368

Ahmad, A., Alghamdi, S. S., Mahmood, K., & Afzal, M. (2015). Fenugreek a multipurpose crop: Potentialities and improvements. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *23*, 300-310. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.09.015

Ahmad, M., Zafar, M., Sultana, S., Azam, A., & Khan, M. A. (2014). The optimization of biodiesel production from a novel source of wild non-edible oil yielding plant *Silybum marianum*. *International Journal Green Energy*, *11*, 589-594. https://doi.org/10.1080/15435075.2013.777910

Altuntas, E., Ozgoz, E., & Taser, O. F. (2005). Some physical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seeds. *Journal of Food Engineering*, *71*, 37-43. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.015.-

Arefi, I., Kafi, M., Khazaee, H. R., & Banayan Aval, M. (2012). Effect of nitrogen phosphorous and potassium fertilizer levels on yield, photosynthetic rate photosynthetic pigments, chlorophyll content, and nitrogen concentration of plant components of *Allium altissimum* Regel. *Iran Journal of Agroecology*, *4*(3), 207-214. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JAG.V4I3.15309

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

Arun, K. S. (2007). Bio-fertilizers for Sustainable Agriculture. Mechanism of P Solubilization. Agribios publishers. Jodhpur. India.

Ascon, D. B., Lopez-Briones, S., Liu, M., Ascon, M., Savransky, V., & Colvin, R. B. (2006). Phenotypic and functional characterization of kidney-infiltrating lymphocytes in renal ischemia reperfusion injury. *Journal of Immunology Research, 177*, 3380-3387. https://doi.org/10.4049/jimmunol.177.5.3380

Awal, M. A., Koshi, H., & Ikeda, T. (2006). Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorologyis, 139*, 74-83. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.06.001

Bagheri, R., Bashir, H., Ahmad, J., Iqbal, M., & Qureshi, M. I. (2015). Spinach (*Spinacia oleracea* L) modulates its proteome differentially in response to salinity, cadmium and their combination stress. *Plant Physiology and Biochemistry, 97*, 235-245. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.10.012

Baharloi, S. (2013). Effect of plant competition on nitrogen requirement of intercropping of *Pisum sativum* and rapeseed. M.Sc Thesis, Shahrekord University, Shahrekord. Iran (In Persian).

Borghi, E., Crusciol, C. A. C., Nascente, A. S., Sousa, V. V., & Martins, P. O. (2013). Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. *European Journal of Agronomy, 51*, 130-139. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.006

Bouizgarne, B., Bakki, M., Boutasknit, A., Banane, B., El Ouarrat, H., Ait El Maalem, S., Amenzou, A., Ghousmi, A., & Meddich, A. (2023). Phosphate and potash solubilizing bacteria from Moroccan phosphate mine showing antagonism to bacterial canker agent and inducing effective tomato growth promotion. *Front Plant Science, 14*, 970382. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.970382

Chalk, P. M. (1996). Nitrogen transfer from legumes to cereals in intercropping. In: Proceeding of the International Workshop: Dynamics of Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). Patancheru, Andhra Pradesh.

Chen, J. J., Cheng, M. J., Lee, T. H., Kuo, Y. H., & Lu, C. T. (2022). Secondary metabolites with anti-inflammatory from the roots of *Cimicifuga taiwanensis*. *Molecules, 27*(18), 6035. https://doi.org/10.3390/molecules27186035

Choudhary, R. R., Yadav, H. L., Choudhary, S. L., Prajapat, A. L., & Choudhary, R. (2017). Effect of integrated nutrient management on growth of wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6*(8), 2369-2374. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.603.280

Daneshvar, F. & Khajoei-Nejad, G. H. (2014). Study of bio-fertilizers application effects on yield potential and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under different irrigation regimes, *Journal of Irrigation and Water Engineering, 4* (4), 59-69. (In Persian).

Darzi, M. T., Hadj Seyed Hadi, M. R., & Rejali, F. (2012). Effects of cattle manure and plant growth promoter bacteria application on some morphological traits and yield in coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 28*(3), 434-446. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.2945

Daroon Parvar, M., Rafiee, A., Riazi-Rad, F., Katebi, A., & Shahi, Z. (2023). Bacteroides fragilis supernatant plays anti-viability roles accompanied by apoptosis and cell cycle arrest via P62/Caspase8/ Bax/Fas pathway in colorectal adenocarcinoma cell line: Anticancer effects of *B. fragilis*. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences, 19*(3), 217-227. https://doi.org/10.22037/ijps.v19i3.43878

Eida, A. A., Hirt, H., & Saad, M. M. (2017). Challenges faced in field application of phosphate-solubilizing bacteria. *Springer Nature Singapore. Rhizotrophs: Plant Growth Promotion to Bioremediation, Microorganisms for Sustainability*, 43-125. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4862-3_6

Elhaissoufi, W., Khourchi, S., Ibnyasser, A., Ghoulam, C., Rchiad, Z., Zeroual, Y., Lyamlouli, K., & Bargaz, A. (2020). Phosphate solubilizing rhizobacteria could have a stronger influence on wheat root traits and above ground physiology than rhizosphere P solubilization. *Frontier in Plant Science, 11*, 979. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00979

Eller, F. J., Cermak, S. C., & Taylor, S. L. (2011). Supercritical carbon dioxide extraction of cuphea seed oil. *Industrial Crops and Products, 33*, 554-557. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.017

Fanaei, H. R., Azmal, A., & Piri, I. (2017). Effect of biological and chemical fertilizers on oil, seed yield and some agronomic traits of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, *8*(4), 551-566. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JAG.V8I4.46602

Fathi, A., Tahmasebi, A., & Teimoori, N. (2016). Effect of sowing date and weed interference on chickpea seed quantitative and traits in genotypes under dryland conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture. 5*(2), 135-156. https://doi.org/10.22092/IDAJ.2016.109662

Galindo, F. S., Buzetti, S., Rodrigues, W. L., Boleta, E. H. M., Silva, V. M., Tavanti, R. F. R., Fernandes, G. C., Biagini, A. L. C., Rosa, P. A. L., & Teixeira Filho, M. C. M. (2020). Inoculation of *Azospirillum brasilense* associated with silicon as a liming source to improve nitrogen fertilization in wheat crops. *Science Report, 10*(1), 6160. https://doi.org/10.1038/s41598-020-63095-4

Ghaderimokri, L., Rezaei-Chiyaneh, E., Ghiyasi, M., Gheshlaghi, M., Battaglia, M. L., & Kadambot H. M. (2022). Application of humic acid and biofertilizers changes oil and phenolic compounds of fennel and fenugreek in

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

intercropping systems. *Science Report, 12*(1), 5946. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09645-4

Gharakhani-Beni, A., Ghasemi Pirbalouti, A., Javanmard, H., Soleymani, A., & Golparvar, A. (2022). Chemical compositions, yield and antioxidant activity of the essential oil of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Natural Product Research, 37*(4), 675-680. https://doi.org/10.1080/14786419.2022.2078971

Ghorbanpour, M., Hatami, M., & Khavai, K. (2013). Role of plant growth promoting rhizobactera on antioxidant enzyme activities and tropane alkaloid production of *Hyoscyamus niger* under water deficit stress. *Turkish Journal of Biology, 37*, 350-360. https://doi.org/10.3906/biy-1209-12

Halcon, L. (2002). Aromatherapy therapentic applications of plant essential oils. *Minnesota Medicine, 85*, 6-42.

Hamzei, J. & Salimi, F. (2015). Root colonization, yield and yield components of milk thistle (*Silybum marianum*) affected by mycorhizal fungi and phosphorus fertilizer. *Agricultural Science and Sustainable Production, 24*, 85-96.

Han, J. Y., Kwon, Y. S., Yang, D. C, Jung, Y. R., & Choi, Y. E. (2006). Expression and RNA interference-induced silencing of the dammarenediol synthase gene in Panax ginseng. *Plant Cell Physiol, 47*(12):1653-62. https://doi.org/10.1093/pcp/pcl032. Epub 2006 Nov 6. PMID: 17088293

Hariprasad, P. & Niranjana, S. R. (2009). Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Journal of Plant Soil, 316*, 13-24. https://doi.org/10.1007/s11104-008-9754-6

Hasanloo, T., Sepehrifar, R., & Hajimehdipoor, H. (2011). Levels of phenolic compounds and their effects on antioxidant capacity of wild *Vaccinium arctostaphylos* L. (Qare-Qat) collected from different regions of Iran. *Turkish Journal of Biology, 35*(3), 371-377. https://doi.org/10.3906/biy-0909-96

Hauggard-Nielson, H., Ambus, P., & Jensen, E. S. (2001). Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea barley intercropping. *Field Crop Research, 70*, 101-109. https://doi.org/10.1016/S0378-4290 (01)00126-5

Huang, D., Jiang, Y., Yang, J., & Sun, S. (2004). Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence, and anti oxidant enzymes in leaves of rice plants. *Agronomy Journal, 42*(3), 357-364. https://doi.org/ 10.1023/B:PHOT.0000046153.08935.4c

IInal, A., Gunes, A., Zhang, F. S., & Cakmak, I. (2007). Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. *Plant Physiology and Biochemistry, 45*, 350-356. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.03.016

Jahani, M., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2008). Comparison of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum*) and lentil (*Lens culinaris*). *Iranian Journal of Field Crops Research, 6*(1), 67-78. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V6I1.1177

Jaleel, C. A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007). *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. *Plant and Soil, 60*(1), 7-11. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.05.012

Karkanis, A., Bilalis, D., & Efthimiadou, A. (2011). Cultivation of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.), a medicinal weed. *Industrial Crops Production, 34*, 825-830. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.027

Kiarostami, K. H., Mohseni, R., & Saboora, A. (2010). Biochemical changes of *Rosmarinus officinalis* under salt stress. *Journal of Stress Physiological Biochemical, 6*(3), 114-122.

Kumari, S., Sharma, A., Chaudhary, P., & Khati, P. (2020). Management of plant vigor and soil health using two agriusable nanocompounds and plant growth promotory rhizobacteria in Fenugreek. *King Abdulaziz City for Science and Technology, 11*, 461. https://doi.org/10.1007/s13205-020-02448-2

Kumawat, N., Kumar, R., Khandkar, U. R., Yadav, R. K., Saurabh, K., Mishra, J. S., Dotaniya, M. L., & Hans, H. (2019). Silicon and zinc solubilizing microorganisms: role in sustainable agriculture. *Springer Nature Switzerland, 55*, 109-135. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18933-4_6

Lee, K. E., Adhikari, A., Kang, S. M., You, Y. H., Joo, G. J., Kim, J. H., Kim, S. J., & Lee, I. J. (2019). Isolation and characterization of the high silicate and phosphate solubilizing novel strain *Enterobacter ludwigii* GAK2 that promotes growth in rice plants. *Agronomy, 9*, 144. https://doi.org/10.3390/agronomy9030144

Lee, S. E., Hwang, H. J., Ha, J. S., Jeong, H. S., & Kim, J. H. (2003). Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Sciences, 73*, 167-179. https://doi.org/10.1016/S0024-3205 (03)00259-5

Mahfouz, S. A., Mohamed, M. A., Atteya, A., & Ibrahim, M. E. (2017). Impact of intercropping system on yield and quality of *Lolium multiflorum* and *Trigonella foenum-graecum* L. *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research, 9*, 324-331. https://doi.org/10.25258/ijpcr.v9i04.8542

Maleva, M., Borisova, G., Koshcheeva, O., & Sinenko, O. (2017). Biofertilizer based on silicate solubilizing bacteria improves photosynthetic function of *Brassica Juncea*. *Agrofor International Journal, 2*, 13-19. https://doi.org/10.7251/AGRENG1703013M

Marinova, D., Ribarova, F., & Atanassova, M. (2005) Total phenolics and total flavonoids in *Bulgarian fruits* and vegetables. *Journal of Chemical Technolgy Metall, 40*, 255-260.

Mehrafarin, A., Rezazadeh, S. H., Naghdi Badi, H., Noorohaadi, G., Zand, E., & GHaderi, A. (2011). A review on biology, cultivation and biotechnology of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) as a valuable medicinal plant

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

and multipurpose. *Journal of Medicinal Plants, 10*(37), 6-24.

Naghdibadi, H., Omidi, H., Rezazadeh, S. H., & Zeinali Mobarakeh, Z., (2012). Morphological, agronomical and phytochemical changes in borage (*Borago officinalis* L.) under biological and chemical fertilizers. *Journal of Medicinal Plants, 2*(42), 145-156.

Nieto, G. A. (2020). Review on applications and uses of *Thymus* in the food industry. *Plants (Basel), 9*(8), 961. https://doi.org/10.3390/plants9080961

Ofori, F. & Stern, W. R. (1987). Cereal-legume intercropping systems. *Advanced Agronomy, 41*, 4-9. https://doi.org/10.1016/S0065-2113 (08)60802-0

Ohashi, Y., Saneoka, H., & Fujita, K. (2012). Effect of water stress on growth, photosynthesis, and photoassimilate translocation in soybean and tropical pasture legume siratro. *Soil Science and Plant Nutrient, 46*(2), 417-425. https://doi.org/10.1080/00380768.2000.10408795

Pokorny, J. P. (2007). Are natural antioxidants better and safer than synthetic antioxidants? *European Journal of Lipid Science and Technology, 109*, 629-642. http://dx.doi.org/10.1002/ejlt.200700064

Rajesh, M., Nagarajan, A., Perumal, S., & Sellamuthu, M. (2008). The antioxidant activity and free radical scavenging potential of two different solvent extracts of *Camellia sinensis*. *Ficus bengalensis* and *Ficus racemosa*. *Food Chemistry, 107*, 1000-1007. https://doi.org/10.1016/j

Rezaei-chiyaneh, E., Khorramdel, S., & Garachal, P. (2014). Evaluation of relay intercropping of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) on their yield and land use efficiency. *Journal of Crop Improve. (Journal of Agriculture)* In Press (In Persian).

Rezaei-Chiyaneh, E., Leonardo Battaglia, M., Sadeghpour, A., Shokrani, F., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Raza, M. A., & von Cossel, M. (2021). Optimizing intercropping systems of black cumin (*Nigella sativa* L.) and Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) through inoculation with bacteria and mycorrhizal fungi. *Advanced Sustainable Systems, (5)*9, 2000269. https://doi.org/10.1002/adsu.202000269

Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., & Fotohi Chiyaneh, S. (2015), Yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in strip intercropping with ajowan (*Carum copticum* L.) influenced by Bio and chemical fertilizer. *Agricultural Science and Sustainable Production, 24*, 1-15.

Rezakhani, L., Motesharezadeh, B., Tehrani, M. M., Etesami, H., & Hosseini, H. M. (2019). Effect of silicon and phosphate-solubilizing bacteria on improved phosphorus (P) uptake is not specific to insoluble P-fertilized sorghum (*Sorghum bicolor* L.) plants. *Journal of Plant Growth Regulation. Springer, 173*, 504-513. https://doi.org/10.1007/s00344-019-09978-x

Rezvani moghadam, P. & moradi, R. (2012). Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. *Iranian Journal of Field Crop Science, 43*(2), 217-230. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2012.28484.

Rojas G., Levaro, J., Tortoriello, J., & Navarro, V. (2001). Antimicrobial evaluation of certain plants used in Mexican traditional medicines for the treatment of respiratory disease. *Journal of Ethnopharmacology, 74*, 97-101. https://doi.org/10.1016/S0378-8741 (00)00349-4

Salehi, A., Fallah, S., Zitterl-Eglseer, K., Kaul, H., Abbasi Surki, A., & Mehdi, B. (2018). Effect of organic fertilizers on antioxidant activity and bioactive compounds of fenugreek seeds in intercropped systems with buckwheat. *Agronomy, 9*, 367. https://doi.org/10.3390/agronomy9070367

Santi, L. P., Goenadi, D. H., Barus, J., Dariah, A., & Kalbuadi, D. N. (2020). Effects of Bio-nano OSA application on fertilizer use and water consumption efficiencies of black soybean grown on rice-field. *Jurnal Tanah dan Iklim, 2*(43), 109-116. https://doi.org/10.21082/jti.v43n2.2019.109-116

Sarker, A., Khan, M. A., & Islam, T. (2012). Phosphate solubilizing bacteria on phosphorus nutrition of wheat and rice. Conference: 22nd Bangladesh Science Conference of Bangladesh Association for the Advancement of Science (BAAS) at: Dhaka, Bangladesh. https://doi.org/10.1556/AMicr.59.2012.2.5.

Shakeri, E., Amini Dehaghi, M., Tabatabaei, S. A., & Modares Sanavi, S. A. M. (2013). Effect of nitrogen and biological fertilizers on seed yield and fatty acid composition of sesame cultivars under Yazd conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *10*(4), 742-750. (In Persian). 10.22067/GSC.V10I4.20385

Shehata, M. M. & El-khawas, S. A. (2003). Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, Yield. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 6*(14), 1257-1268. https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.1257.1268

Shetty, R., Frette, X., Jensen, B., Shetty, N. P., Jensen, J. D., Jorgensen, H. J. L., Newman, M. A., & Christensen, L. P. (2011). Silicon-induced changes in antifungal phenolic acids, flavonoids and key phenylpropanoid pathway genes during the interaction between miniature roses and the biotrophic pathogen *Podosphaera pannosa*. *Plant Physiology, 157*, 2194-2205. https://doi.org/10.1104/pp.111.185215

Shetty, R., Jensen, B., Shetty, N. P., Hansen, M., Hansen, C. W., Starkey, K. R., & Jorgensen, H. J. L. (2012). Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. *Plant Pathology, 61*, 120-131. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02493.x

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

Song, A., Li, Z., Wang, E., Xu, D., Wang, S., Bi, J., Wang, H., Jeyakumar, P., Li, Z., & Fan, F. (2021). Supplying silicon alters microbial community and reduces soil cadmium bioavailability to promote health wheat growth and yield. *Science of the Total Environment, 796*, 148797 https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148797

Sun, T., Liu, Y. Y. N., Wu, S., Zhang, J. Z., Qu, B., & Xu, J. G. (2020). Effects of background fertilization followed by co-application of two kinds of bacteria on soil nutrient content and rice yield in Northeast China. *International Journal of Agriculture and Biological Engineering, 13*(2), 154-162. https://doi.org/ 10.25165/j.ijabe.20201302.4863

Vasanthi, M., Lilly, M., & Anthony Raj, S. (2014). Silicon in Crop Production and Crop Protection. Rom Vijay Bioo tech Private limited. Pondicherry, 607 402, India. https://doi.org/10.5958/J.0976-0741.35.1.002

Weston, E. J., King, A. J., Strong, W. M., Lehane, K. J., Cooper, J. E., & Holmes, C. J. (2002). Sustaining productivity of a vertisoil at warra. Queens land, with fertilizers, no tillage or legumes. Production and nitrogen benefits from annual medic in rotation with wheat. *Australian Journal of Experimental Agriculture, 42*, 961-969. https://doi.org/10.1071/EA03166

Wu, S. C., Coa, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., & Wong, M. H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and fungi on maize growth. *Geoderma, 125*, 155-166. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003

Yildirim, A., Mavi, A., & Kara, A. A. (2001). Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49*, 4083-4089. https://doi.org/10.1021/jf0103572

Zaidi, A. & Khan, M. S. (2007). Stimulatory effects of dual inoculation with phosphate solubilizing microorganisms and arbuscular mycorrhizal fungus on chickpea. *Australian Journal Experimental Agriculture, 47*, 1016-1022. https://doi.org/10.1071/EA06046

Zimdahl, R. H. (2007). Fundamentals of Weed Sciences. Academic Press, New York.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]

The effect of phosphate and silicate solubilizing bacteria on some physiological, biochemical characteristics, seed and oil yield of Milk Thistle (*Silybum marianum*) and Fenugreek (*Trigonella foenum- graecum*) in Intercropping conditions

Hossein Mahmoudi [1], Ali Abbasi Surki[1], Sina Fallah[1], Amin Salehi[2]

[1] Deparment of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[2] Deparment of Agronomy, Yasouj University, Yasouj, Iran
(Received: 2023/08/18, Accepted: 2023/12/25)

Abstract

In order to evaluate the effect of phosphate and silicate solubilizing bacteria on grain yield and biochemical compounds of Milk thistle and Fenugreek in intercropping conditions, a three replicated RCBD factorial experiment was conducted in 2019 in Kohgiluyeh and Boyar Ahmad provinces, Yasouj, Iran. Five different levels of fertilizers includes phosphate solubilizing bacteria, silicate solubilizing bacteria, phosphate solubilizing bacteria + silicate solubilizing bacteria, and phosphate and silicate chemical fertilizers versus control (no fertilizer) as the first factor, were evaluated in different intercropping patterns (monocropping of Milk thistle, monocropping of Fenugreek, intercropping of Milk thistle and Fenugreek with arrangements (1:1) and (2:2)) as second factor. The results showed that the simultaneous application of phosphate and silicate solubilizing bacteria increased the chlorophyll a of Fenugreek (45%) and Milk thistle (21%), the total chlorophyll of Fenugreek (20%) and Milk thistle (22%), and the carotenoid of Fenugreek (60%) and intercropping pattern (2:2) caused a significant increase in chlorophyll b of Fenugreek (16%) at the probability level of one percent. The highest phenol rate of Milk thistle was obtained from the intercropping pattern (2:2) and the simultaneous application of bacteria, and the highest antioxidant property of Fenugreek was obtained from the intercropping pattern (1:1) and the simultaneous application of bacteria. The application of solubilizing bacteria increased the phenol of Milk thistle and the antioxidant property of Fenugreek extract in all cropping patterns. The highest percentage of seed oil in both plants was obtained from the intercropping pattern (2:2), and the simultaneous application of bacteria and the highest yield of Milk thistle seeds were obtained from the intercropping pattern (2:2) and chemical fertilizer. In general, it could be concluded that the application of microbial species will probably improve the yield and percentage of seed oil. In addition, better conditions for both plants in the intercropping system and more available nutrients resulting from microbial activity will increase the production of secondary metabolites and improve antioxidant property, phenol and flavonoid contents of the oil.

Keywords: Antioxidant property, Intercropping, Biofertilizers

Corresponding author, Email: aliabbasis.1359@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-21]