J. Soil Plant Interact. 2025; 16(4): 73–89. https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.21751

Journal of Soil and Plant Interactions

Journal homepage: https://jspi.iut.ac.ir/

ISSN: 2783-5014 EISSN: 2783-5286

Research Article

Evaluation of The Agronomic and Economic Characteristics of Garlic and Fenugreek Intercropping Under Various Nutrition Systems

Mohammad Reza Naghavi* and **Abolfazl Tavassoli**

Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
* Corresponding author, Email: mr_naghavi@pnu.ac.ir

(Received: 12 August 2025; Revised: 28 October 2025; Accepted: 15 November 2025)

Abstract

Background and Objective: The use of organic fertilizers, in addition to reducing the use of chemical fertilizers, can also play an important role in environmental health. It is important to investigate the various ecological and economic aspects of intercropping plants using different fertilizers. This experiment was conducted to compare the agronomic and economic characteristics of pure and mixed cropping patterns of garlic and fenugreek under organic and chemical nutrition conditions.

Methods: This experiment was conducted as a split-plot based on randomized complete blocks design with three replications at the Research Farm of the Faculty of Agriculture of Shirvan, Iran, during the 2021–2022 growing season. The main factor was the control, chemical fertilizer, and compost as organic fertilizer, and the secondary factor included pure cultivation of garlic and fenugreek, mixed cultivation of 25% garlic with 75% fenugreek, 50% garlic with 50% fenugreek, and 75% garlic with 25% fenugreek.

Results: The use of compost resulted in the highest percentages of essential oil in garlic and fenugreek (2.53 and 1.19%, respectively), and the control plants showed the lowest percentages of essential oil in garlic and fenugreek (1.99 and 0.89%, respectively). Plants fed with compost and chemical fertilizers under pure cultivation conditions had the highest dry forage yield, biological yield, and grain yield. On the other hand, the highest economic benefit was obtained from the intercropping pattern, so that the highest economic benefit belonged to the intercropping treatment of 75% garlic and 25% fenugreek under compost fertilization conditions.

Conclusion: The results of this study showed the agronomic and economic advantages of the intercropping pattern over monocropping, and organic nutrition system over chemical fertilization in garlic and fenugreek cultivation. Overall, implementing an intercropping system with ratios of 75% garlic with 25% fenugreek and 50% garlic with 50% fenugreek with compost fertilization was more suitable.

Keywords: Chemical fertilizers, Organic fertilizers, Essential oil, Advantage, Land equivalent ratio.

How to Cite: Naghavi, M.R., Tavassoli, A., 2025. Evaluation of the agronomic and economic characteristics of garlic and fenugreek intercropping under various nutrition systems. J. Soil Plant Interact. 16(4), 73–89. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.21751

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

روابط خاک و گیاه ۱۴۰۴؛ (۴)۱۶: ۸۹-۷۳، https://doi.org/10.47176/jspi.16.4.21751

روابط خاک و گیاه

صفحه خانگی فصلنامه: https://jspi.iut.ac.ir/

شاپا: ۲۷۸۳-۵۰۱۴ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۸۶

مقاله پژوهشی

بررسی ویژگی‌های زراعی و اقتصادی کشت مخلوط سیر و شنبلیله در سامانه‌های تغذیه مختلف

محمدرضا نقوی* و ابوالفضل توسلی

گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: mr_naghavi@pnu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۲۱؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۸/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۲۴)

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: استفاده از کودهای آلی علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی، می‌تواند نقش مهمی در سلامت محیط زیست داشته باشد. بررسی ابعاد مختلف اکولوژیک و اقتصادی کشت مخلوط گیاهان تحت استفاده از کودهای مختلف دارای اهمیت است. این آزمایش با هدف مقایسه ویژگی‌های زراعی و اقتصادی الگوهای کشت خالص و مخلوط دو گیاه سیر و شنبلیله، تحت شرایط تغذیه آلی و شیمیایی انجام شد.

روش‌ها: این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی شیروان اجرا شد. عامل اصلی شامل شاهد، کود شیمیایی و کمپوست (کود آلی) و عامل فرعی شامل کشت خالص سیر و شنبلیله، کشت مخلوط ۲۵ درصد سیر با ۷۵ درصد شنبلیله، ۵۰ درصد سیر با ۵۰ درصد شنبلیله، و ۷۵ درصد سیر با ۲۵ درصد شنبلیله بود.

نتایج: استفاده از کمپوست منجر به بیشترین درصد اسانس سیر و شنبلیله (به‌ترتیب ۲/۵۳ و ۱/۱۹٪) شد و گیاهانی که کود دریافت نکردند، کمترین درصد اسانس سیر و شنبلیله را به‌ترتیب با مقادیر ۱/۹۹ و ۰/۸۹٪ نشان دادند. گیاهانی که در شرایط کشت خالص با کودهای کمپوست و شیمیایی تغذیه شده بودند، بیشترین مقدار عملکرد علوفه خشک، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را داشتند. از طرف دیگر، بیشترین مزیت اقتصادی از الگوی کشت مخلوط حاصل شد، به‌طوری که بیشترین مزیت اقتصادی متعلق به کشت مخلوط ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله در شرایط تغذیه با کود کمپوست بود.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج این پژوهش نشان‌دهنده مزیت زراعی و اقتصادی الگوی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی، و سامانه تغذیه آلی نسبت به تغذیه شیمیایی در کشت گیاهان سیر و شنبلیله بود. در مجموع، اجرای سامانه کشت مخلوط با نسبت‌های ۷۵ درصد سیر همراه با ۲۵ درصد شنبلیله و ۵۰ درصد سیر با ۵۰ درصد شنبلیله با کوددهی کمپوست مناسب‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: کودهای شیمیایی، کودهای آلی، اسانس، سودمندی، نسبت معادل (هم‌ارزی) زمین.

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۴ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

سیر (*Allium sativum*) گیاهی چندساله و علفی از خانواده *Liliaceae* بوده که از نظر تولید جهانی در بین گیاهان پیازی پس از پیاز خوراکی رتبه دوم را به خود اختصاص داده است. این گیاه یکی از قدیمی‌ترین گیاهان شناخته‌شده با خواص ضدباکتریایی، ضدسرطانی، ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی است.. سیر دارای طبیعت گرم و خشک بوده و مهم‌ترین ترکیب سیر که خاصیت آنتی‌بیوتیکی دارد، آلیسین است که سبب تندی و طعم گزنده سیر می‌شود. این ترکیب حدود ۱/۵ درصد از وزن گیاه را تشکیل می‌دهد و عامل اصلی بوی آن است. استفاده از این گیاه دارویی برای کاهش کلسترول خون، تنظیم فشار خون، درمان بیماری‌های قلبی و عروقی، سرماخوردگی و آنفولانزا توصیه شده است (Alizad et al., 2018). همچنین گیاه شنبلیله با نام علمی *Trigonella foenum- graceum* به خانواده نخود (*Leguminosea*) تعلق دارد. شنبلیله گیاهی علفی، یک‌ساله، ایستاده، تقریباً بدون کرک و دارای ساقه‌ی راست، توخالی و برگ‌دار است. نام این گیاه از کلمه یونانی Trigonou به مفهوم مثلث گرفته شده است، که به مثلثی‌بودن شکل برگ‌چه‌ها اشاره دارد. برگ‌ها و دانه‌های شنبلیله علاوه بر کاربردهای دارویی (ضددیابت، کاهنده کلسترول خون، ضدسرطان و ضدمیکروب) برای اهداف متفاوتی از جمله در تهیه غذا و رنگ‌ها استفاده می‌شود. این گیاه دارای خاصیت گشادکنندگی عروق خونی است و مانع از بروز سکته قلبی می‌شود و اسید نیکوتینیک یا نیاسین موجود در این گیاه از بیماری پلاگر جلوگیری می‌کند (Ghoroori et al., 2023).

در روش تک‌کشتی که در آن‌ها یک گونه گیاهی و معمولاً در یک دوره زمانی کوتاه کشت می‌شود استفاده بیشینه از نهاده‌های بیرون مزرعه برای افزایش بازدهی تولید صورت می‌پذیرد. حفظ و گسترش چنین سامانه‌های کشتی علاوه بر کاهش تنوع زیستی، کاهش ماده آلی و کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک، مخاطرات زیست‌محیطی زیادی (به‌ویژه در نتیجه مصرف بیش از حد کودها و سموم شیمیایی) ایجاد کرده و از نظر اقتصادی نیز ثبات کافی را نداشته و خطرپذیری به‌شدت زیادی دارند (Bedoussac et al., 2015). هدف اصلی سامانه‌های تولید محصولات کشاورزی دارای تنوع زیستی رسیدن به ثبات تولید به‌واسطه محافظت از گیاه در برابر انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی و افزایش بهره‌وری و سودمندی بوم‌نظام کشاورزی است که با اجرای سامانه کشت مخلوط محقق می‌شود (Shafagh-Kolvanagh, 2025). در این میان، اجرای سامانه کشت مخلوط که یکی از گونه‌های گیاهی آن گیاهان تثبیت‌کننده بیولوژیک عناصر باشد می‌تواند نقش مؤثری در بهره‌وری استفاده از منابع محیطی به‌ویژه عناصر غذایی داشته و بهره‌وری کل سامانه تولید فرآورده‌های کشاورزی و درآمد مزرعه را افزایش دهد (Amani Machiani et al., 2018). گزارش شده است که سامانه کشت مخلوط می‌تواند با افزایش حاصلخیزی خاک و همچنین پوشش بیشتر و حفاظت خاک، در افزایش عملکرد مؤثر باشد (Lithourgidis et al., 2011; Yu et al., 2015). از دیگر مزایای کشت مخلوط می‌توان به مدیریت بهتر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، کاهش هدرروی آب، کنترل فرسایش خاک و پایداری اقتصادی تولید اشاره کرد که عملاً می‌تواند منجر به افزایش انعطاف‌پذیری و ثبات این سامانه‌ها در برابر فشارهای محیطی و شرایط متغیر پیش روی سامانه تولید شود (Duchene et al., 2017; Marastoni et al., 2019).

استفاده از کودهای شیمیایی در تولید محصولات زراعی هرچند در کوتاه‌مدت ممکن است منجر به افزایش عملکرد و درآمد مزرعه شود، اما در درازمدت و در صورت نبود مدیریت مصرف این کودها با مخاطرات و مسائلی همچون تخریب خاک و کاهش کیفیت شیمیایی آن، کاهش جمعیت میکروبی و فعالیت‌های بیولوژیک خاک، آلودگی خاک و به خطر افتادن سلامت جانداران و در نهایت برهم‌خوردن تعادل اکولوژیک بوم‌نظام کشاورزی را به دنبال خواهد داشت (Ahmadian et al., 2011). افزایش نگرانی‌ها در ارتباط با آثار نامطلوب کودهای شیمیایی بر محیط زیست و هزینه‌های آشکار و نهان کشاورزی رایج در آینده، باعث تغییر گرایش به سمت کاربرد کودهای آلی در تولید گیاهان زراعی شده است (Savci, 2012; Siddiqui et al., 2011). امروزه

کاربرد منابع کودی آلی برای حفظ سلامت و پایداری اکوسیستم-های کشاورزی اهمیت دوچندان یافته است. با توجه به اینکه کود کمپوست در نتیجه فرآوری ضایعات و پسماندهای آلی تولید می‌شود، می‌تواند علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی، در پاک‌سازی و حفظ سلامت محیط زیست نیز نقش مهمی داشته باشد (Vafadar-Yengeje et al., 2019). گزارش شده است که کاربرد کمپوست آثار مثبت و معنی‌داری بر رشد و عملکرد انواع فرآورده‌های زراعی و باغی دارد. البته محتوای عناصر غذایی این کود آلی بسته به نوع مواد خام بکاررفته می‌تواند بسیار متغیر باشد و بر همین اساس تأثیر آن بر گیاهان مختلف می‌تواند متفاوت باشد (Shrimal and Khan, 2017).

در مجموع، به دلیل مشکلات ناشی از افزایش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و خطرات زیست‌محیطی مرتبط با مصرف غیراصولی این کودها زمینه‌های توجه بیشتر به مدیریت تلفیقی در کشاورزی پایدار را فراهم کرده است. یک کشاورزی موفق با تلفیقی از روش‌های نوین و سنتی می‌تواند از عوامل تولید بیشترین استفاده را نموده و نیازهای غذایی جمعیت در حال رشد را تامین نماید. استفاده از کودهای آلی در سیستم‌های کشت مخلوط احتمال موفقیت سیستم‌های تلفیقی را افزایش می‌دهد. چنین به نظر می‌رسد که با بهره‌گیری از کودهای آلی در کشت مخلوط ضمن افزایش حاصل‌خیزی خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، می‌توان انتظار افزایش عملکرد کمّی و کیفی گیاهان را نیز داشت (Mahdavi Maraj et al., 2015). با توجه به ضرورت ارزیابی اصول مدیریتی کشاورزی پایدار در زراعت گیاهان و ابعاد مختلف اکولوژیک و اقتصادی کشت مخلوط، این آزمایش با هدف مقایسه زراعی و اقتصادی الگوهای کشت خالص و مخلوط دو گیاه سیر و شنبلیله تحت شرایط تغذیه آلی و شیمیایی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی واکنش دو گیاه سیر و شنبلیله به شیوه کشت مخلوط و نوع تغذیه کودی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی شیروان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. مکان آزمایش در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۹۳ دقیقه با ارتفاع ۱۰۹۷ متری از سطح دریا قرار گرفته است. در مکان آزمایش، میانگین بارندگی سالانه ۲۴۱/۳ میلی‌متر و میانگین دما ۱۴/۵ درجه سلسیوس است. عامل اصلی آزمایش شامل سه سطح تغذیه: شاهد (بدون کوددهی)، کود شیمیایی NPK و کمپوست، و عامل فرعی شامل کشت خالص سیر، کشت خالص شنبلیله، کشت مخلوط ۲۵ درصد سیر و ۷۵ درصد شنبلیله، ۵۰ درصد سیر و ۵۰ درصد شنبلیله، ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله با سه تکرار بود. نتایج تجزیه خاک مکان آزمایش (لایه ۳۰-۰ سانتی‌متر) و کمپوست مورد استفاده که از پنج نمونه تصادفی بدست آمد، در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

با توجه به نتایج آزمایش کمپوست مورد استفاده و خاک، به‌ترتیب تیمار کود آلی بر اساس ۱۰ تن در هکتار کمپوست و تیمار کود شیمیایی بر اساس ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منابع به‌ترتیب اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به صورت دستی و تا عمق ۲۰ سانتی‌متری در خاک کرت‌های مربوط به تیمارهای آزمایش اعمال شد. هر کرت شامل هشت ردیف کشت به طول دو متر و با فواصل ۵۰ سانتی‌متر بین ردیف بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. در نیمه آبان ۱۴۰۰، سوخ‌های سیر با فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک و بذور شنبلیله با فاصله ۵ سانتی‌متر روی ردیف با عمق کشت ۲ سانتی‌متر بر اساس الگوی ارائه‌شده (شکل ۱) کشت شدند. آبیاری کرت‌ها به روش سطحی بلافاصله پس از کشت انجام گرفت. به منظور سهولت در سبزشدن گیاهان، عملیات آبیاری دوم با فاصله چهار روز انجام گرفت. تا اول فروردین پنج مرحله آبیاری انجام گرفت و پس از آن با توجه به نیاز آبی گیاهان و شرایط منطقه، آبیاری با دور هفت روز تا پیش از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گونه-های گیاهی انجام شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک کشت مخلوط سیر و شنبلیله در شیروان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 1. Soil analysis results of garlic and fenugreek intercropping in Shirvan in the crop year of 2011-2012

فسفر قابل‌جذب Available phosphorus	پتاسیم قابل‌جذب Available potassium	شوری Salinity	واکنش pH	نیتروژن کل Total nitrogen	کربن آلی Organic carbon	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت Texture
---------- mg kg^{-1} ----------		dS m^{-1}	–	---------- % ----------					–
8.1	99	3.1	7.6	0.022	0.23	49.8	45.7	4.5	لوم شنی Sandy loam

جدول ۲. نتایج تجزیه کود کمپوست استفاده‌شده در کشت مخلوط سیر و شنبلیله در شیروان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 2. Results of compost analysis used in mixed cultivation of garlic and fenugreek in Shirvan in the crop year of 2011–2012

واکنش pH	شوری Salinity	مس Cu	روی Zn	آهن Fe	منیزیم Magnesium	کلسیم Calcium	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	آمونیوم NH_4^+	کربن آلی Organic carbon
–	dS m^{-1}	------ mg kg^{-1} -------			---------- % ----------					
7.99	8.01	35	142	2189	1.16	3.38	1.05	2.89	0.04	30.12

F3					F1					F2				
C2	C3	C1	C5	C4	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C1	C4	C3	C2
F2					F3					F1				
C2	C5	C4	C1	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C3	C4	C5	C1	C2
F1					F2					F3				
C5	C1	C2	C3	C4	C2	C3	C4	C5	C1	C1	C5	C3	C2	C4

شکل ۱. نقشه آزمایش در کشت سیر و شنبلیله. F1، F2 و F3 به‌ترتیب نشان‌دهنده شاهد (بدون مصرف کود)، کود شیمیایی، کمپوست است؛ C_1، C_2، C_3، C_4 و C_5 به‌ترتیب بیان‌گر کشت خالص سیر، کشت خالص شنبلیله، کشت مخلوط با نسبت ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ سیر و شنبلیله است.

Fig. 1. Experiment plan in garlic and fenugreek intercropping. F1, F2 and F3 show control (no fertilizer application), chemical fertilizer, compost, respectively; C1, C2, C3, C4 and C5 stand for pure garlic cultivation, pure fenugreek cultivation, mixed cultivation with a ratio of 75:25, 50:50 and 25:75 garlic and fenugreek, respectively.

برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک شنبلیله، در مرحله گل‌دهی، برداشت کل شاخساره گیاه از سطح ۰/۵ متر مربع هر کرت انجام گرفت. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک شده و سپس وزن علوفه خشک هر کرت توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد و در نهایت به واحد کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. در پایان دوره رشد و به منظور اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد، برداشت از ۲ متر مربع (هر کدام ۰/۵ متر مربع) وسط هر کرت صورت گرفت.

برای تعیین درصد اسانس بذر شنبلیله و سوخک سیر، ۲۵ گرم نمونه بذر شنبلیله و ۵۰ گرم نمونه خشک سوخک سیر انتخاب شده و پس از آسیاب‌کردن نمونه‌ها، استخراج اسانس به روش تقطیر با آب در مدت ۴ ساعت توسط دستگاه کلونجر انجام شد (Kumar and Tripathi, 2011).

برای ارزیابی سودمندی و مزیت زراعی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص، شاخص‌های نسبت معادل (هم‌ارزی) زمین با روابط زیر محاسبه شد (Gliessman, 1998):

$$LER=LER_g+LER_f \quad (۱)$$

$$LER_g=\frac{Y_{gi}}{Y_g} \quad (۲)$$

$$LER_f=\frac{Y_{fi}}{Y_f} \quad (۳)$$

که در این روابط، LER، LER_g و LER_f به‌ترتیب نسبت معادل (هم‌ارزی) کل زمین، نسبت معادل (هم‌ارزی) زمین سیر و نسبت معادل (هم‌ارزی) زمین شنبلیله هستند. همچنین Y_{gi}، Y_g، Y_{fi} و Y_f به‌ترتیب عملکرد سیر در کشت مخلوط، عملکرد سیر در کشت خالص، عملکرد شنبلیله در کشت مخلوط و عملکرد شنبلیله در کشت خالص است.

میزان رقابت نسبی بین دو محصول با استفاده از شاخص غالبیت (A[1]) با معادله زیر محاسبه شد (Dhima et al., 2007):

$$A_{gf}=\left[\frac{Y_{gi}}{Y_g\times Z_{gi}}-\frac{Y_{fi}}{Y_f\times Z_{fi}}\right] \quad (۴)$$

$$A_{fg}=\left[\frac{Y_{fi}}{Y_f\times Z_{fi}}-\frac{Y_{gi}}{Y_g\times Z_{gi}}\right] \quad (۵)$$

که در این معادله، A_{gf}، A_{fg}، Z_{gi} و Z_{fi} به‌ترتیب غالبیت سیر نسبت به شنبلیله، غالبیت شنبلیله نسبت به سیر، نسبت کاشت سیر و نسبت کاشت شنبلیله در کشت مخلوط است. شاخص غالبیت برای بررسی رابطه رقابتی بین دو گونه طراحی شده است و ا نشان می‌دهد که افزایش نسبی عملکرد یک محصول تا چه اندازه بیشتر از دیگری است. بنابراین این شاخص متمرکز بر این موضوع است که مشخص کند کدام محصول «تهاجمی» (غالب) و کدام محصول «مغلوب» است.

شاخص مزیت پولی به‌منظور ارزیابی مزیت اقتصادی سامانه کشت مخلوط با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Ghosh, 2004) که در آن‌ها MAI[2] و VCI[3] به‌ترتیب شاخص مزیت پولی و ارزش پولی گیاهان مخلوط، و P_g و P_f به‌ترتیب ارزش تجاری سیر و شنبلیله است:

$$MAI=VCI\times\left[\frac{LER-1}{LER}\right] \quad (۶)$$

$$VCI=(Y_{gi}\times P_g)+(Y_{fi}\times P_f) \quad (۷)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ارتفاع بوته و شاخص برداشت سیر مشخص کرد تیمارهای کودی و الگوی کشت اثر معنی‌داری بر این صفات نداشتند. اثر برهمکنش سطوح عوامل اصلی و فرعی آزمایش نیز بر صفات مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۳). در حالی که اثر تیمار کودی بر ارتفاع گیاه شنبلیله معنی‌دار بود و بیشترین ارتفاع بوته در تیمار کود آلی (F3) (۳۷/۹ سانتی‌متر) مشاهده شد.

تیمارهای سطوح کودی و الگوی کشت اثر معنی‌داری بر تعداد سوخک در سوخ و طول و قطر سوخک داشتند، هرچند اثر برهمکنش تیمارهای مذکور بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴)، بیشترین مقادیر تعداد سوخک در سوخ (۶/۵۲) از کاربرد کود آلی حاصل شد، اگرچه اختلاف معنی‌داری بین این تیمار و تیمار کود شیمیایی وجود نداشت. در بین تیمارهای الگوی کشت، بیشترین تعداد سوخک در سوخ (۷/۵۰) از الگوی کشت مخلوط ۷۵٪ سیر به همراه ۲۵٪ شنبلیله حاصل شد و پس از این تیمار، الگوی کشت مخلوط ۵۰٪ سیر و ۵۰٪ شنبلیله (۷/۴۴ سوخک در سوخ) قرار گرفت. کمترین تعداد سوخک (۵/۹۳) در نتیجه اجرای کشت خالص سیر بدست آمد. بیشترین طول سوخک (۱۷/۸۸ میلی‌متر) در اثر کاربرد کود کمپوست حاصل شد، اگرچه اختلاف معنی‌داری با تیمار کود شیمیایی نداشت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد کشت مخلوط ۷۵٪ سیر به همراه ۲۵٪ شنبلیله بیشترین طول

1- Aggressivity
2- Monetary advantage index
3- Value of combined intercrops

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای اسانس سیر تحت تأثیر سامانه تغذیه و الگوی کشت

Table 3. Results of variance analysis of yield, yield components and garlic essential oil content as affected by nutrition system and cropping pattern

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (Mean of squares)							
		ارتفاع بوته	تعداد سوخک در سوخ	طول سوخک	قطر سوخک	عملکرد سوخ	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	اسانس سوخک
Sources of variation	Degree of freedom	Plant height	Number of bulblets in bulb	Bulblet length	Bulblet diameter	Bulb yield	Biological yield	Harvest index	Bulblet essential oil
تکرار Replication	2	7.98^{ns}	0.08^{ns}	0.98^{ns}	0.87^{ns}	81957^{ns}	78771^{ns}	19.2^{ns}	0.0009^{ns}
کود Fertilizer	2	8.89^{ns}	9.97^{**}	11.36^{**}	20.10^{**}	199954^{*}	211087^{**}	28.4^{ns}	0.41^{**}
خطای a Error a	4	5.96	0.06	0.87	0.91	78073	89048	15.1	0.079
الگوی کشت Cropping pattern	4	2.43^{ns}	6.09^{*}	31.79^{**}	2.14^{*}	20984569^{**}	48230958^{**}	49.3^{ns}	0.27^{*}
برهمکنش Interaction	8	4.99^{ns}	2.01^{ns}	4.01^{ns}	0.93^{ns}	498731^{*}	1190947^{*}	28.2^{ns}	0.08^{ns}
خطای b Error b	24	6.01	2.13	3.77	0.70	19478	389050	37.1	0.07
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation	-	9.8	8.9	11.9	9.5	10.6	8.9	14.7	14.1

ns، * و ** به‌ترتیب بیان‌گر اثر غیرمعنی‌دار و آثار معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱٪ است.

ns, * and ** stand for non-significant effect and significant effects at the 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات گیاه سیر و شنبلیله تحت تأثیر سامانه تغذیه و الگوی کشت

Table 4. Means' comparison of traits of garlic and fenugreek plants as affected by nutrition system and cropping pattern

شنبلیله fenugreek			سیر Garlic				
اسانس بذر (٪) Seed essential oil (%)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	اسانس سوخک (٪) Bulblet essential oil (%)	قطر سوخک (میلی‌متر) Bulblet diameter (mm)	طول سوخک (میلی‌متر) Bulblet length (mm)	تعداد سوخک در سوخ Number of bulblets in bulb	تیمار Treatment
				سامانه تغذیه Nutrition system			
0.89^{b}	13.8^{b}	28.7^{b}	1.99^{b}	6.98^{b}	15.95^{b}	5.70^{b}	F_1
1.05^{a}	15.9^{ab}	33.5^{ab}	2.21^{ab}	7.51^{a}	17.80^{a}	6.39^{a}	F_2
1.19^{a}	17.2^{a}	37.9^{a}	2.53^{a}	8.29^{a}	17.88^{a}	6.52^{a}	F_3
				الگوی کشت Cropping pattern			
-	-	-	2.01^{b}	7.80^{b}	17.2^{c}	5.93^{c}	C_1
1.01^{c}	13.8^{c}	33.2^{a}	-	-	-	-	C_2
1.04^{bc}	16.1^{b}	33.6^{a}	2.37^{a}	7.85^{ab}	17.0^{c}	6.98^{ab}	C_3
1.15^{b}	16.8^{b}	33.7^{a}	2.39^{a}	8.09^{a}	18.3^{b}	7.44^{a}	C_4
1.25^{a}	17.9^{a}	33.8^{a}	2.41^{a}	8.08^{a}	19.5^{a}	7.50^{a}	C_5

در هر ستون و در هر گروه، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ندارند (آزمون LSD). F_1، F_2 و F_3 به‌ترتیب نشان‌دهنده شاهد (بدون مصرف کود)، کود شیمیایی، و کمپوست است؛ C_1، C_2، C_3، C_4 و C_5 به‌ترتیب بیان‌گر کشت خالص سیر، کشت خالص شنبلیله، کشت مخلوط با نسبت ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ سیر و شنبلیله است.

In each column and in each group, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level (LSD test). F1, F2 and F3 show control (no fertilizer application), chemical fertilizer, and compost, respectively; C1, C2, C3, C4 and C5 stand for pure garlic cultivation, pure fenugreek cultivation, mixed cultivation with a ratio of 25:75, 50:50 and 75:25 garlic and fenugreek, respectively.

سوخک (۱۹/۵ میلی‌متر) را نشان داد و پس از این تیمار، کشت مخلوط ۵۰٪ سیر به همراه ۵۰٪ شنبلیله با طول سوخک ۱۸/۳ میلی‌متر قرار گرفت. کمترین طول سوخک (۱۷/۲ میلی‌متر) در کشت خالص سیر مشاهده شد (جدول ۴). در بین تیمارهای کودی، تیمار کمپوست موجب بیشترین قطر سوخک (۸/۲۹ میلی‌متر) شد. تیمارهای کشت مخلوط ۵۰٪ سیر به همراه ۵۰٪ شنبلیله و کشت مخلوط ۷۵٪ سیر و ۲۵٪ شنبلیله بیشترین افزایش قطر سوخک (به‌ترتیب برابر ۸/۰۹ و ۸/۰۸ میلی‌متر) را سبب شدند و کمترین قطر سوخک (۷/۸۰ میلی‌متر) در تیمار کشت خالص سیر بدست آمد (جدول ۴).

اثر عوامل اصلی و فرعی آزمایش و همچنین اثر برهمکنش آن‌ها بر عملکرد سوخ و عملکرد بیولوژیک سیر معنی‌دار شد (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است، بیشترین مقادیر عملکرد سوخ و عملکرد بیولوژیک در تیمارهای F_2C_1 و F_3C_1 حاصل شد. در حالی که کمترین عملکرد سوخ از تیمارهای بدون کوددهی و کود شیمیایی و کشت مخلوط ۲۵٪ سیر به همراه ۷۵٪ شنبلیله (F_1C_3 و F_2C_3) و برای عملکرد بیولوژیک از تیمارهای کودی مختلف و کشت مخلوط ۲۵٪ سیر به همراه ۷۵٪ شنبلیله (F_1C_3، F_2C_3 و F_3C_3) بدست آمد (جدول ۵).

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش مشخص کرد درصد اسانس سوخک سیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کودهای آلی و شیمیایی و همچنین الگوهای کشت قرار گرفت، هرچند اثر برهمکنش عوامل آزمایش بر صفت مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تیمار مصرف کمپوست بیشترین درصد اسانس سوخک سیر (۲/۵۳ درصد) را سبب شد و کود شیمیایی از نظر تأثیر بر بهبود این صفت (۲/۲۱ درصد) در رتبه بعدی قرار گرفت. با این وجود تنها مصرف کود کمپوست با تیمار بدون کوددهی (۱/۹۹) اختلاف معنی‌دار نشان داد. اجرای الگوی کشت با نسبت ۲۵:۷۵ سیر و شنبلیله موجب حصول بیشترین اسانس سیر (۲/۴۱ درصد) شد و کمترین اسانس (۲/۰۱ درصد) از کشت خالص گیاه سیر بدست آمد (جدول ۴).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های ارتفاع بوته شنبلیله، بین تیمارهای کودی از نظر تأثیر بر این صفت اختلاف معنی‌داری وجود داشت. هرچند، اثر تیمارهای الگوی کشت و اثر برهمکنش کود و الگوی کشت بر صفت مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۶). بیشترین ارتفاع بوته (۳۷/۹ سانتی‌متر) در نتیجه اعمال کود آلی حاصل شد و تیمار شیمیایی در رتبه بعد (ارتفاع بوته ۳۳/۵ سانتی‌متر) از نظر تأثیر بر این صفت قرار گرفت. همچنین بین الگوهای کشت، بیشترین ارتفاع شنبلیله (۳۳/۸ سانتی‌متر) از ترکیب ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله حاصل شد (جدول ۴). از طرف دیگر، عوامل کودی و الگوی کشت اثر معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته شنبلیله داشتند، اما اثر برهمکنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۶). در مورد تعداد غلاف در بوته، بیشترین مقدار این صفت (۱۷/۲) متعلق به تیمار کود کمپوست بود و پس از این تیمار، کود شیمیایی (۱۵/۹ غلاف در بوته) قرار گرفت. کمترین تعداد غلاف در بوته (۱۳/۸) مربوط به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) بود (جدول ۴). در بین تیمارهای الگوی کشت، بیشترین تعداد غلاف در بوته (۱۷/۹) در تیمار ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله مشاهده شد و پس از آن، تیمار ۵۰ درصد سیر و ۵۰ درصد شنبلیله (۱۶/۸ غلاف در بوته) قرار گرفت. کمترین تعداد غلاف در بوته (۱۳/۸) نیز در کشت خالص شنبلیله بدست آمد (جدول ۴).

تجزیه واریانس داده‌های تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و شاخص برداشت شنبلیله مشخص کرد هیچ کدام از عوامل آزمایش و اثر برهمکنش آن‌ها اختلاف معنی‌داری از نظر تأثیر بر صفات مذکور نشان ندادند (جدول ۶). همچنین تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنی‌دار عوامل اصلی و فرعی و همچنین برهمکنش آن‌ها بر صفات عملکرد علوفه خشک، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه شنبلیله بود (جدول ۶). همان‌طور که داده‌های جدول ۵ نشان می‌دهند، گیاهانی که در شرایط کشت خالص شنبلیله با کود کمپوست و شیمیایی تغذیه شده بودند بیشترین مقدار عملکرد علوفه خشک، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را داشتند. کمترین مقادیر این صفات از تیمار ۷۵ درصد سیر به همراه ۲۵ درصد شنبلیله و بدون مصرف کود

جدول ۵. مقایسه میانگین صفات گیاه سیر و شنبلیله تحت تأثیر برهمکنش سامانه تغذیه و الگوی کشت

Table 5. Means' comparison of traits of garlic and fenugreek plants as affected by the interaction of nutrition system and cropping pattern

شنبلیله Fenugreek			سیر Garlic		
عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	عملکرد سوخ Bulb yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	تیمار Treatment
(kg ha^{-1})			(kg ha^{-1})		
–	–	–	5082^{bc}	6985^{c}	F_1C_1
704^{b}	2520^{b}	1849^{d}	–	–	F_1C_2
611^{c}	2190^{c}	1605de	2111^{gh}	3011^{f}	F_1C_3
408^{f}	1507^{f}	1394^{f}	2508^{fg}	3990^{e}	F_1C_4
308^{h}	1169^{h}	904^{h}	3997^{d}	6984^{c}	F_1C_5
–	–	–	6014^{a}	8967^{a}	F_2C_1
903^{a}	3083^{a}	2408^{a}	–	–	F_2C_2
589^{d}	2598^{b}	1973^{c}	2027^{gh}	2995^{f}	F_2C_3
507^{e}	1763^{e}	1580^{ef}	3695^{d}	4896^{d}	F_2C_4
319^{h}	1380^{g}	997^{gh}	4862^{c}	7011^{b}	F_2C_5
–	–	–	5904^{a}	8875^{a}	F_3C_1
908^{a}	3307^{a}	2414^{a}	–	–	F_3C_2
712^{b}	3148^{a}	2011^{b}	2105^{gh}	5085^{d}	F_3C_3
513^{e}	1970^{d}	1559^{ef}	2963^{e}	6790^{c}	F_3C_4
365^{g}	1408^{g}	1148^{g}	4793^{c}	6801^{c}	F_3C_5

در هر ستون، میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ندارند (آزمون LSD). F_1، F_2 و F_3 به‌ترتیب نشان‌دهنده شاهد (بدون مصرف کود)، کود شیمیایی، و کمپوست است؛ C_1، C_2، C_3، C_4 و C_5 به‌ترتیب بیان‌گر کشت خالص سیر، کشت خالص شنبلیله، کشت مخلوط با نسبت ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ سیر و شنبلیله است.

In each column, the means with at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level (LSD test). F1, F2 and F3 show control (no fertilizer application), chemical fertilizer, and compost, respectively; C1, C2, C3, C4 and C5 stand for pure garlic cultivation, pure fenugreek cultivation, mixed cultivation with a ratio of 25:75, 50:50 and 75:25 garlic and fenugreek, respectively.

(به‌ترتیب ۹۰۴، ۱۱۶۹ و ۳۰۸ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد (جدول ۵).

تجزیه واریانس تفاوت بین تیمارهای کودی و الگوی کشت از نظر تأثیر بر درصد اسانس بذر شنبلیله را معنی‌دار نشان داد. با این وجود برهمکنش تیمارهای مذکور اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۶). داده‌های جدول ۴ نشان می‌دهند گیاهانی که تحت سامانه‌های تغذیه شیمیایی و آلی قرار داشتند با محتوای اسانس به‌ترتیب ۱/۰۵ و ۱/۱۹ درصد تفاوت معنی‌داری با گیاهانی که هیچ گونه کودی دریافت نکرده بودند (با محتوای اسانس ۰/۸۹ درصد) داشتند. در بین تیمارهای کشت مخلوط، بیشترین درصد اسانس بذر شنبلیله (۱/۲۵ درصد) از ترکیب ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله حاصل شد و پس از آن تیمار ۵۰ درصد سیر و ۵۰ درصد شنبلیله (۱/۱۵ درصد اسانس بذر) قرار داشت. درحالی که کمترین درصد اسانس بدست‌آمده (۱/۰۱ درصد) تحت شرایط کشت خالص شنبلیله (C_2) حاصل شد.

شاخص‌های ارزیابی مزیت کشت مخلوط

نتایج بررسی نسبت معادل (هم‌ارزی) زمین جزیی محصول سیر

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای اسانس بذر شنبلیله تحت تأثیر سامانه تغذیه و الگوی کشت

Table 6. Results of variance analysis of yield, yield components and essential oil content of fenugreek seeds as affected by nutrition system and cropping pattern

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات (Mean of squares)								
		ارتفاع بوته Plant height	غلاف در بوته Pods on the plant	دانه در غلاف Seeds in pod	وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	اسانس بذر Seed essential oil
تکرار Replication	2	6.78^{ns}	5.96^{ns}	0.074^{ns}	0.58^{ns}	21095^{ns}	9847^{ns}	149873^{ns}	6.0^{ns}	0.07^{ns}
کود Fertilizer	2	155.6^{**}	30.8^{*}	0.054^{ns}	0.87^{ns}	445098^{**}	89428^{**}	950738^{**}	5.2^{ns}	0.95^{**}
خطای a Error a	4	5.9	6.39	0.099	0.75	19985	7094	158765	3.02	0.06
الگوی کشت Cropping pattern	4	10.01^{ns}	32.9^{**}	0.984^{ns}	0.94^{ns}	897064^{**}	318976^{**}	480965^{**}	8.95^{ns}	0.25^{**}
برهمکنش Interaction	8	14.8^{ns}	5.88^{ns}	0.875^{ns}	0.91^{ns}	950982^{**}	212098^{**}	476803^{**}	15.9^{ns}	0.08^{ns}
خطای b Error b	24	10.02	5.95	0.998	0.99	15609	6839	48012	11.90	0.09
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation (%)	–	9.8	9.8	12.9	13.8	15.3	10.6	8.9	14.1	15.8

ns، * و ** به‌ترتیب بیان‌گر اثر غیرمعنی‌دار و آثار معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱٪ است.

ns, * and ** stand for non-significant effect and significant effects at the 5 and 1% probability levels, respectively.

نشان می‌دهد به‌طورکلی با افزایش نسبت کاشت سیر در سامانه کشت مخلوط این نسبت روند افزایشی داشت. بیشترین میزان این شاخص (۰/۸۱) از تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد سیر به ۲۵ درصد شنبلیله در شرایط کمپوست حاصل شد. این در حالی است که کمترین مقدار این شاخص (۰/۴۱) از الگوی کشت مخلوط ۲۵ درصد سیر به همراه ۷۵ درصد شنبلیله در شرایط بدون کوددهی حاصل شد. در مورد گیاه شنبلیله محدوده اعداد بدست‌آمده برای نسبت معادل (هم‌ارزی) زمین جزیی محصول بین ۰/۳۳ و ۰/۶۶ متغیر بود (جدول ۷). بررسی نسبت معادل (هم‌ارزی) کل زمین مشخص کرد تمامی الگوهای کشت مخلوط به اعداد بیشتر از یک منجر شدند که نشان‌دهنده مزیت زراعی و بهبود کارآیی استفاده از زمین کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. سامانه کشت مخلوط در تمامی سطوح کودی بیشترین تأثیر را در افزایش این شاخص داشت و بیشترین عدد بدست‌آمده (۱/۱۵) متعلق به تیمار مصرف کود شیمیایی در سامانه کشت مخلوط ۷۵٪ سیر و ۲۵٪ شنبلیله بود. تیمار کشت مخلوط ٪۷۵ سیر و ۲۵٪ شنبلیله همراه با کاربرد کود شیمیایی نیز با نسبت معادل (هم‌ارزی) زمین برابر ۱/۱۴ در رتبه بعدی قرار گرفت (جدول ۷). محاسبه شاخص غالبیت (چیرگی) گونه‌های گیاهی در این آزمایش نشان‌دهنده قدرت رقابتی بیشتر و غالبیت گیاه سیر نسبت به شنبلیله در اغلب الگوهای کشت مخلوط بود. بیشترین غالبیت گیاه سیر در تیمارهای کشت مخلوط ۲۵ درصد سیر و ۷۵ درصد شنبلیله مشاهده شد به‌طوری که بیشترین شاخص (۰/۴۱) از این سامانه کشت در شرایط تغذیه با کود شیمیایی بدست آمد و پس از آن، همین الگوی کشت در شرایط تغذیه آلی (۰/۴۰) قرار گرفت (جدول ۷). از طرف دیگر، گیاه شنبلیله در تیمارهای F_1C_3 و F_1C_4 یعنی در شرایط کشت مخلوط ۲۵ درصد سیر و ۷۵ درصد شنبلیله، و ۵۰ درصد سیر و ۵۰ درصد شنبلیله بدون استفاده از کود، غالبیت بیشتری داشت و بیشترین میزان غالبیت شنبلیله (۰/۲۹) از تیمار F_1C_3 بدست آمد. نتایج ارزیابی اقتصادی سامانه‌های کشت مخلوط نشان‌دهنده مزیت اقتصادی تمامی الگوهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی است. همان‌طور که از داده‌های جدول ۷ مشخص است بیشترین مزیت اقتصادی از الگوی کشت مخلوط حاصل شد، به‌طوری که بیشترین مزیت اقتصادی (۵۵۶۸۴۵۵۶) متعلق به تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله (F_3C_5) در شرایط تغذیه با کود کمپوست بود. رتبه دوم مزیت اقتصادی (۵۲۱۹۸۲۹۶) از همین الگوی کشت در شرایط کوددهی شیمیایی (F_2C_5) حاصل شد. این در حالی است که کمترین مقادیر شاخص مزیت اقتصادی (۲۹۹۲۹۶۳۲) از نسبت کشت ۲۵ درصد سیر و ۷۵ درصد شنبلیله در شرایط بدون تغذیه کودی (F_1C_3) بدست آمد.

بحث

بر اساس نتایج این پژوهش، تأثیر معنی‌دار تیمارهای آزمایشی بر صفات مورد بررسی گیاهان سیر و شنبلیله مشاهده شد. تعداد سوخک در سوخ گیاه سیر افزایش ۱۴ درصدی در تیمار کود آلی داشت که احتمالاً به این دلیل است که کاربرد کمپوست با بهبود شرایط فیزیکی، بیولوژیک و شیمیایی خاک محیط مناسبی برای رشد ریشه و جذب عناصر غذایی فراهم می‌کند. این شرایط نهایتاً به‌واسطه بهبود رشد رویشی و ظرفیت فتوسنتزی گیاه، موجب تولید فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتر و انتقال آن‌ها به اندام اقتصادی گیاه و در نتیجه افزایش تعداد سوخک شده است (Shafagh-Kolvanagh et al., 2025; Alizad et al., 2018). در پژوهشی مشاهده شد که استفاده از کود شیمیایی و کمپوست به‌ترتیب موجب افزایش ۹ و ۱۱ درصدی تعداد سوخک در سیر نسبت به تیمار شاهد شده است (Esmaeelian et al., 2017). طول و قطر سوخک نیز واکنش معنی‌داری به کاربرد کمپوست داشت که دلایل این یافته را می‌توان به آثار مثبت این کود در بهبود ساختمان و گنجایش نگهداشت آب خاک، فرایندهای فیزیولوژیک گیاه، تغذیه متعادل گیاه و در نهایت ارتقاء اجزای عملکرد گیاه مرتبط دانست (Gangwar et al., 2006). پژوهش‌های پیشین نشان داده است که استفاده پیوسته از کودهـای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را به‌دلیل اسیدی‌شدن

جدول ۷. مقایسه میانگین شاخص‌های نسبت معادل (هم‌ارزی) زمین، غالبیت و شاخص مزیت اقتصادی در الگوهای کشت مخلوط

Table 7. Means' comparison of land equality ratio, dominance and monetary advantage indices in mixed cropping patterns

شاخص مزیت اقتصادی Monetary advantage index	غالبیت Dominance		نسبت معادل (هم‌ارزی) زمین Land equality ratio			تیمار Treatment
	شنبلیله Fenugreek	سیر Garlic	کل Total	شنبلیله Fenugreek	سیر Garlic	
29929632	0.29	-0.29	1.07	0.66	0.41	F_1C_3
38741475	0.17	-0.17	1.07	0.59	0.48	F_1C_4
48764840	-0.03	0.03	1.11	0.41	0.70	F_1C_5
31740156	-0.41	0.41	1.08	0.65	0.43	F_2C_3
44326730	0.00	0.00	1.10	0.55	0.55	F_2C_4
52198296	-0.13	0.13	1.15	0.37	0.78	F_2C_5
34789068	-0.40	0.40	1.06	0.54	0.42	F_3C_3
51345223	-0.22	0.22	1.07	0.48	0.59	F_3C_4
55684556	0.11	-0.11	1.14	0.33	0.81	F_3C_5

F_1، F_2 و F_3 به‌ترتیب نشان‌دهنده شاهد (بدون مصرف کود)، کود شیمیایی، و کمپوست است؛ C_1، C_2، C_3، C_4 و C_5 به‌ترتیب بیانگر کشت خالص سیر، کشت خالص شنبلیله، کشت مخلوط با نسبت ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ سیر و شنبلیله است.

F1, F2 and F3 show control (no fertilizer application), chemical fertilizer, and compost, respectively; C1, C2, C3, C4 and C5 stand for pure garlic cultivation, pure fenugreek cultivation, mixed cultivation with a ratio of 25:75, 50:50 and 75:25 garlic and fenugreek, respectively.

خاک، کاهش کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک و نبود ریزمغذی‌ها در این کودها کاهش می‌دهد. این در حالی است که توسعه کاربرد کمپوست به جای منابع شیمیایی می‌تواند نقش مهمی در باروری و حفظ فعالیت‌های زیستی، ماده آلی خاک، سلامت بوم‌نظام زراعی و افزایش کیفیت محصولات زراعی داشته باشد (Vafadar-Yengeje et al., 2019).

بیشترین مقادیر عملکرد سوخ و عملکرد بیولوژیک در تیمار کشت خالص و تحت شرایط کوددهی شیمیایی و کمپوست حاصل شد. در حالی که کمترین عملکرد سوخ از تیمارهای بدون کوددهی و کود شیمیایی و کشت مخلوط ۲۵٪ سیر به همراه ۷۵٪ شنبلیله (F_1C_3 و F_2C_3) و برای عملکرد بیولوژیک از تیمارهای کودی مختلف و کشت مخلوط ۲۵٪ سیر به همراه ۷۵٪ شنبلیله (F_1C_3، F_2C_3 و F_3C_3) بدست آمد. تراکم بوته زیاد در واحد سطح می‌تواند علت اصلی افزایش عملکرد بیولوژیک در تیمار کشت خالص باشد. بهبود عملکرد بیولوژیک سیر در نتیجه مصرف کود شیمیایی در زراعت سیر را باید به آزادسازی سریع عناصر غذایی پرمصرف، افزایش رشد رویشی و گسترش شاخساره گیاه نسبت داد (Ranjbar et al., 2016; Alizad et al., 2018). از طرف دیگر، کود کمپوست علاوه بر تأمین مقادیر کافی از عناصر پرمصرف، دارای عناصر کم‌مصرف متنوعی بوده که می‌تواند با تغذیه متعادل گیاه و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی موجب افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تولید زیست توده بیشتر گردد (Darzi et al., 2010; Rahimi and Hashemi, 2016).

مصرف کمپوست بیشترین درصد اسانس سوخک سیر (۲/۵۳ درصد) را نشان داد و تیمار کود شیمیایی از نظر تأثیر بر بهبود این صفت (۲/۲۱ درصد) در رتبه بعدی قرار گرفت. با این وجود تنها تیمار مصرف کود کمپوست با تیمار بدون کوددهی (۱/۹۹) اختلاف معنی‌دار نشان داد. پژوهشگران دیگری ضمن گزارش

نتایج مشابه اظهار داشتند کمپوست با بهبود فعالیت باکتری‌ها و سایر ریزجانداران خاک، حلالیت عناصر معدنی و دسترسی گیاه به آن‌ها را تسهیل کرده و نهایتاً با ایجاد تعادل در تولید متابولیت‌های اولیه و ثانویه، باعث افزایش میزان اسانس تولیدی گیاه می‌شود (Safikhani Nasimi et al., 2019). با توجه به اینکه درصد اسانس سیر در کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری از کشت خالص این گیاه بیشتر بود می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که ایجاد تنوع زیستی از راه اجرای کشت مخلوط با کاهش رقابت درون‌گونه‌ای موجب بهره‌برداری بیشتر از منابع محیطی به‌ویژه نور، آب و عناصر غذایی و بهبود ظرفیت فتوسنتزی شده که نهایتاً با توجه به رابطه مثبت بین میزان فتوسنتز و تولید متابولیت‌های ثانویه، درصد اسانس گیاه در این شرایط بهبود یافته است (Rezaei-Chiyaneh et al., 2016).

گیاهانی که در شرایط کشت خالص شنبلیله با کود کمپوست و شیمیایی تغذیه شده بودند، بیشترین مقادیر عملکرد علوفه خشک، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را داشتند و کمترین عملکرد برای این صفات از تیمار ۷۵ درصد سیر به همراه ۲۵ درصد شنبلیله و بدون مصرف کود حاصل شد. بیشترین ارتفاع بوته در نتیجه کاربرد کود آلی حاصل شد و تیمار شیمیایی در رتبه بعد از نظر تأثیر بر این صفت قرار گرفت. همچنین بین الگوهای کشت، بیشترین ارتفاع شنبلیله از ترکیب ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله حاصل شد. نتیجه برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اختلاف ارتفاع گیاه در کشت خالص در مقایسه با کشت مخلوط می‌تواند به‌دلیل رقابت برای نور، آب و مواد غذایی باشد. در حالی که گیاهان به خاطر رقابت برون‌گونه‌ای اغلب از ارتفاع کمتری برخوردارند (Koocheki et al., 2021; Shafagh-Kolvanagh, 2025). زمانی که گیاه در مرحله پیش از گل‌دهی بوده، مواد حاصل از فتوسنتز به ریشه‌ها انتقال یافته و کودهای آلی با توسعه ریشه، شرایط را برای جذب بیشتر عناصر معدنی فراهم می‌کنند؛ این امر به نوبه خود باعث افزایش فتوسنتز می‌شود. مازاد مواد فتوسنتزی نیز پیش از گل‌دهی در ساقه ذخیره می‌گردد و پس از گل‌دهی و با نزدیک‌شدن به رسیدگی، با انتقال مجدد این مواد به دانه‌ها منتقل می‌شوند (Koocheki et al., 2021). کمپوست و کود شیمیایی با فراهم‌کردن سریع و امکان دسترسی بوته شنبلیله به محتوای زیاد نیتروژن، از راه افزایش سطح سبز گیاه، افزایش ظرفیت فتوسنتزی، تحریک رشد رویشی و افزایش طول میان‌گره‌ها را فراهم می‌کنند (Pez-Bellido et al., 2004; Mardani et al., 2015). در این راستا، تأثیر مثبت کمپوست بر افزایش عملکرد گیاه شنبلیله گزارش شده است (Kargar and Mortazaeinejhad, 2016).

عوامل کودی و الگوی کشت اثر معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته شنبلیله داشتند و از بین تیمارهای کودی بیشترین مقدار این صفت متعلق به تیمار کود کمپوست بود و پس از این تیمار، کود شیمیایی قرار گرفت. در حالی که بین تیمارهای الگوی کشت، بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله مشاهده شد. تعداد غلاف در بوته شنبلیله از اجزای عملکرد مهم و تأثیرگذار در عملکرد نهایی گیاه است، زیرا غلاف از یک طرف در بردارنده تعداد دانه بوده و از طرف دیگر در تأمین فرآورده‌های فتوسنتزی برای دانه‌ها نقش اساسی دارد (Rezaei-Chiyaneh et al., 2014). کمپوست و کود شیمیایی بیشترین تأثیر را در بهبود این صفت داشت. به‌نظر می‌رسد عناصر پرمصرف که به‌آسانی از راه این کودها در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، توانسته است به‌واسطه افزایش طول دوره رشد رویشی و تجمع ماده خشک بیشتر، موجب تولید گل بیشتر و در نهایت تولید غلاف بیشتر در بوته شود (Marastoni et al., 2019).

تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و شاخص برداشت شنبلیله پاسخ معنی‌داری به تیمارهای کودی و الگوی کشت نشان ندادند. این نتایج می‌تواند تأییدکننده این موضوع باشد که این صفات بیشتر تحت تأثیر صفات ژنتیکی گیاه بوده و کمتر تحت تأثیر محیط و عوامل مدیریتی کشت گیاه قرار می‌گیرند (Azarnia et al., 2015).

گیاهانی که تحت تغذیه شیمیایی و آلی قرار داشتند از نظر محتوای اسانس، اختلاف معنی‌داری با گیاهانی که هیچ گونه کودی دریافت نکرده بودند داشتند. در بین تیمارهای کشت

مخلوط، بیشترین درصد اسانس بذر شنبلیله از ترکیب ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله حاصل شد، در حالی که کمترین درصد اسانس بدست‌آمده از کشت خالص شنبلیله (C_2) حاصل شد. گزارش شده است که تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه با کودهای آلی و شیمیایی، بهبود بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه و افزایش تقسیم سلولی و تولید سلول‌های ذخیره‌ای اسانس، و افزایش محتوای مواد مؤثره آن را در پی داشته است (Ghanbari et al., 2017). اجرای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بهبود تولید اسانس در بذر شنبلیله را در پی داشت. در این میان، گیاهان کشت‌شده با نسبت کاشت کمتر شنبلیله درصد اسانس بیشتری را نشان دادند که احتمالاً دلیل آن کاهش تراکم گیاه و در نتیجه کاهش رقابت درون گونه‌ای بوده است. نتایج مشابهی توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Mosapour et al., 2015).

نتایج بررسی نسبت معادل (هم‌ارزی) زمین جزیی محصول سیر نشان می‌دهد به‌طور کلی با افزایش نسبت کاشت سیر در سامانه کشت مخلوط این نسبت روند افزایشی داشت و بیشترین میزان این شاخص از تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد سیر به ۲۵ درصد شنبلیله در شرایط کمپوست حاصل شد. این یافته نشان می‌دهد گیاه سیر در کشت مخلوط اثر مثبت بیشتری در مقایسه با شنبلیله دریافت کرده است که تأییدکننده مزیت گیاه شنبلیله به عنوان یک گونه افزاینده حاصلخیزی خاک برای گیاه سیر است.

شاخص کل نیز در تمامی تیمارها بیشتر از یک شد که بیان‌گر آن است که در این الگوهای کشت به علت تفاوت‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک اجزای مخلوط و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های مختلف، کارآیی استفاده از زمین و منابع محیطی افزایش می‌یابد. همچنین، برتری کشت مخلوط نشان‌دهنده این موضوع است که رقابت برون‌گونه‌ای هر یک از گونه‌های گیاهی این آزمایش به مراتب از رقابت درون‌گونه‌ای کمتر بوده است (Dehghanian et al., 2020). شاخص غالبیت در اکثر تیمارها برای گیاه سیر مثبت بود و بیشترین غالبیت گیاه سیر در کشت مخلوط ۲۵ درصد سیر و ۷۵ درصد شنبلیله مشاهده شد. دلیل این نتیجه را می‌توان به ویژگی‌های خاص مورفولوژیک گیاه سیر و توانایی اشغال فضا، سایه‌اندازی و بهره‌برداری بیشتر از منابع محیطی، استقرار و رشد اولیه سریع‌تر آن نسبت به شنبلیله مرتبط دانست (Nakhzari Moghaddam, 2016).

ارزیابی شاخص مزیت اقتصادی نشان‌دهنده مزیت اقتصادی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص دو گیاه سیر و شنبلیله بود که مشخص‌کننده استفاده مطلوب‌تر از منابع محیطی موجود به‌ویژه نور، آب و عناصر غذایی و همچنین کنترل بهتر علف‌های هرز در کشت مخلوط است (Bagheri Shirvan et al., 2012). اعداد این شاخص در کشت مخلوط و تحت انواع سیستم‌های تغذیه منفی بود که نشان‌دهنده کاهش کارآیی استفاده از منابع محیطی و افزایش رقابت بین دو گونه بوده است (Bagheri Shirvan et al., 2012). به‌طور کلی، مثبت و منفی شدن سودمندی اقتصادی سیستم‌های کشت مخلوط اغلب به‌دلیل اثر عوامل مورفولوژیک و فیزیولوژیک، نیازهای غذایی و چگونگی استفاده هر گونه از منابع محیطی و همچنین اختلاف قیمت تجاری گونه‌های گیاهی است (Bagheri Shirvan et al., 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده مزیت زراعی و اقتصادی الگوی کشت مخلوط نسبت به الگوی تک‌کشتی و سیستم تغذیه آلی نسبت به شیمیایی در کشت گیاهان سیر و شنبلیله است. اجرای سیستم کشت مخلوط با نسبت‌های ۷۵ درصد سیر همراه با ۲۵ درصد شنبلیله، و۵۰ درصد سیر با ۵۰ درصد شنبلیله با کوددهی توسط کمپوست در شرایط اقلیمی و خاکی مشابه با مکان این آزمایش را می‌توان پیشنهاد کرد. در مجموع بر اساس سودآوری، تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله با کود کمپوست بهترین تیمار بود. همچنین بر اساس کارایی زمین تیمارهای کشت مخلوط ۷۵ درصد سیر و ۲۵ درصد شنبلیله همراه با کود شیمیایی و کمپوست مناسب بودند. در صورتی که بر مبنای رقابت متعادل بین گونه‌ها، تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد سیر و ۵۰ درصد شنبلیله همراه با کود شیمیایی پیشنهاد می‌شود.

تشکر و سپاسگزاری

در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شـــخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورداستفاده

References

1. Ahmadian, A., Ghanbari, A., Siahsar, B., Heydari, M., Ramroodi, M., Mousavinik, S.M., 2011. Study of chamomiles yield and its components under drought stress and organic and inorganic fertilizers usage and their residue. J. Microb. Antimicrob. 3(2), 23–28.
2. Alizad, L., Aghaei, A., Mostafavirad, M., 2018. Effect of chemical, organic and biological fertilizers on growth and physiological characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) in Guilan province. J. Plant Prod. Res. 25(3), 55–68. https://doi.org/10.22069/JOPP.2018.13994.2258. (In Persian with English abstract)
3. Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., Maggi, F., 2018. Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. Ind. Crop. Prod. 111, 743–754.
4. Azarnia, M., Safikhani, S., Biabani, A., 2015. The effect of bio-fertilizer on crops yield, sustainable agriculture and organic farming. J. Biosaf. 8(2), 85–97. https://doi.org/20.1001.1.27170632.1394.8.2.9.6. (In Persian with English abstract)
5. Bagheri Shirvan, M., Zaefarian, F., Akbarpour, V., Asadi, G.A., 2012. Evaluation of yield advantage and economic productivity of soybean (*Glycine max* L.) intercropping with sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) and borage (*Borago officinalis* L.). J. Agroecol. 2(2), 42–57. https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2022.354814.3003. (In Persian with English abstract)
6. Bedoussac, L., Journet, E.P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E.S., Prieur, L., Justes, E., 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. Agron. Sustain. Dev. 35, 911–935.
7. Darzi, M.T., Hadjseyed Hadi, M.R. Rejali, F., 2010. Effects of vermicompost and phosphate biofertilizer application on yield and yield components in anise (*Pimpinella anisum* L.). Iran. J. Med. Arom. Plants, 26(4), 452–467. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6655. (In Persian with English abstract)
8. Dehghanian, H., Barmaki, M., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Seifdavati, J., 2020. Forage yield and relay intercropping advantage of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) and annual cereals at different cropping patterns. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 30(1), 41–56. https://doi.org/10.1399.30.1.3.4. (In Persian with English abstract)
9. Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., Dordas, C.A., 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. Field Crops Res. 100, 249–256.
10. Duchene, O., Vian, J.F., Celette, F., 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. Agric. Ecosyst. Environ. 240, 148–161.
11. Esmaeelian, Y., Amiri, M.B., Askari Naeeni, S., Moradi Sadr, J., Heidari Amale, F., 2017. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of garlic medicinal plant (*Allium sativum* L.) under the conditions of different organic and chemical fertilizers application. J. Hort. Sci. 31(4), 722–738. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v31i4.60566. (In Persian with English abstract)
12. Gangwar, K.S., Singh, K.K., Sharma, S.K., Tomar, O.K., 2006. Alternative tillage and crop residue management in wheat after rice in sandy loam soils of Indo-Gangetic plains. Soil. Till. Res. 88, 242–252.
13. Ghanbari, S., Moradi Telavat, M., Siadat, S.A., 2017. Evaluation of competitive indices in barley intercropped with fenugreek under manure applications. J. Crop. Improve. 18(4), 821–834. https://doi.org/10.22059/jci.2017.56654. (In Persian with English abstract)
14. Ghoroori, Sh., Moghadam, M., Farhadi, N., 2023. The changes of physiological and phytochemical traits of fenugreek (*Trigonella foenum-groecum*) in response to inoculation with different species of mycorrhizal fungi. J. Soil Plant Interact. 14(1), 1–17. https://doi.org/10.47176/jspi.14.1.121013. (In Persian with English abstract)
15. Ghosh, P.K., 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping system in the semi-arid tropics of India. Field Crops Res. 88, 227–237.
16. Gliessman, S.R., 1998. Agroecology: Ecological Process in Sustainable Agriculture. Ann Arbor Press, Michigan, 252p.

17. Kargar, N., Mortazaeinejhad, F., 2016. Evaluating the amount of trigonelline and growth factors on the medium reinforced with vermicompost and chemical fertilizer in Iranian fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Iran. J. Med. Arom. Plant. 32(5), 868–879.
18. Koocheki, A., Nassiri Mahallati M., Hatefi Farajian, M.H., 2021. Evaluation of yield and yield components of green bean and bell pepper under replacement and additive intercropping systems. Iran J. Pulses Res. 12, 127–143. (In Persian with English abstract)
19. Kumar, R., Tripathi, Y.C., 2011. Training manual on extraction technology of natural dyes & aroma therapy and cultivation value addition of medicinal plants. Chemistry Division, For. Res. Inst. Dehra Dun, India.
20. Lithourgidis, A., Dordas, C., Damalas, C., Vlachostergios, D., 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. Aust. J. Crop Sci. 5, 396–410.
21. Mahdavi Maraj, T., Ghanbari, A., Asghari Pour, M.R., 2015. Intercropping of barley and ajwain under different levels of manure and chemical fertilizers. J. Appl. Res. Plant Ecophysiol. 1, 63–78. (In Persian with English abstract)
22. Marastoni, L., Sandri, M., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Brunetto, G., Cesco, S., Mimmo, T., 2019. Synergism and antagonisms between nutrients induced by copper toxicity in grapevine rootstocks: monocropping vs. intercropping. Chemosphere 214, 563–578. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.127.
23. Mardani, F., Balouchi, H., Yadavi, A., Salehi, A., 2015. Effect of row intercropping patterns on yield, yield components, and weed control of fenugreek (*Trigonella foenum-greacum* L.) and anise (*Pimpinella anisum* L.). Iran. J. Field Crops Res. 13(3), 623–636. (In Persian with English abstract)
24. Mosapour, H., Ghanbari, A., Asgharipour, M., 2015. Effects of intercropping proportion on the quantity and quality of essential oil in isabgol and ajwain. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 25(3), 1–13. (In Persian with English abstract)
25. Nakhzari Moghaddam, A., 2016. The effects of nitrogen levels and intercropping pattern on forage yield and competition indices of barley (*Hordeum vulgare*) and pea (*Pisum sativum*). J. Crop Prod. 9(1), 199–214. https://doi.org/10.22069/EJCP.2016.2964. (In Persian with English abstract)
26. Pez-Bellido, L., Lopez-Bellido, R.J., Castillo, J.E., Lopez-Bellido, F.J., 2004. Chickpea response to tillage and soil residual nitrogen in a continuous rotation with wheat: I. Biomass and seed yield. Field Crops Res. 88, 191–200.
27. Rahimi, M.M., Hashemi, A.R., 2016. Yield and yield components of vetch (*Vigna radiata*) as affected by the use of vermicompost and phosphate bio-fertilizer. J. Crop. Ecophysiol. 10(2), 529–540.
28. Ranjbar, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., 2016. Effect of intercropping paterns of fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*), sesame (*Sesamum indicum*) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on growth, qualitative and quantitative characters and yield components. J. Hortic. Sci. 30, 406–416. (In Persian with English abstract)
29. Rezaei- Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Fotohi Chiyaneh, S., 2014. Yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in strip intercropping with ajowan (*Carum copticum* L.) influenced by bio and chemical fertilizers. J. Agric. Sci. Sust. Prod. 24(4), 1–15.
30. Rezaei-chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Jamali, M., Ghiyasi, M., 2016. Evaluation of yield and indices advantages at different intercropping patterns of dill (*Anethun graveolens* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Agric. Crop Manage. 8(1), 15–27. https://doi.org/10.22084/PPT.2016.1752. (In Persian with English abstract)
31. Safikhani Nasimi, N., Adavi, Z., Mansourifar, C., 2019. Effects of different urea and vermicompost rates on yield and essential oil contents of two dill (*Anethum graveolens* L.) cultivars. J. Plant Ecophysiol. 11(39), 21–33.
32. Savci, S., 2012. Investigation of effect of chemical fertilizers on environment. APCBEE Procedia 1, 287–292.
33. Shafagh-Kolvanagh, J., Zehtab-Salmasi, S., Ghassemi-Golezani, K., Amani, M., Shokati Amrollah, B., 2025. Effect of different planting patterns on yield, yield components, and essential oil of dill (*Anethum graveolens* L.) grains in additive and replacement intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). J. Crop Prod. Proc. 15(1), 33–53. https://doi.org/10.47176/jcpp.15.1.37744. (In Persian with English abstract)
34. Shrimal, P., Khan, T.I., 2017. Studies on the effects of vermicompost on growth parameters and chlorophyll content of bengal gram (*Cicer arietinum* L.) var. RSG-896. IOSR J. Environ. Sci., Toxicol. Food Technol. 11, 12–16.
35. Siddiqui, Y., Islam, T.M., Naidu, Y., Meon, S., 2011. The conjunctive use of compost tea and inorganic fertiliser on the growth, yield and terpenoid content of *Centella asiatica* (L.) urban. Sci. Hortic. 130, 289–295.
36. Vafadar-Yengeje, L., Amini, R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., 2019. Chemical compositions and yield of essential oil of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under different fertilizers application. J. Clean. Prod. 239, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118033.
37. Yu, Y., Stomph, T.J., Makowski, D., van der Werf, W., 2015. Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. Field Crops Res. 184, 133–144. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.010.