



Evaluation of Efficiency in Fenugreek-Black Cumin Intercropping Under Application of Growth-Promoting Bacteria and Nitrogen Fertilizer Amounts

Abbas Khanamani¹ | Enayatollah Tohidi-Nejad²  | Gholamreza Khajoei-Nejad³  | Jalal Ghanbari⁴ 

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: abas.khanamani@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, and Research and Technology Institute of Plant Production, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: e_tohidi@uk.ac.ir
3. Department of Plant Production and Genetics, and Research and Technology Institute of Plant Production, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: khajoei@uk.ac.ir
4. Department of Plant Production and Genetics, and Research and Technology Institute of Plant Production, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: jalalghanbari@agr.uk.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: January 01, 2022
Received in revised form:
June 27, 2022
Accepted: July 31, 2022
Published online: April 16, 2023

Keywords:

Biofertilizer,
fertilization efficiency,
land equivalent ratio,
medicinal plants,
nitrogen use efficiency.

ABSTRACT

This field experiment is arranged in a split-split plot based on a randomized complete block design replicated three times during the growing season of 2019 at Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. Nitrogen fertilizer rates (no-application, 50%, and 100%; 0, 75, and 150 kg urea per hectare) serve as the main factor, inoculation with growth-promoting bacteria (non-inoculation and inoculation with *Pantoea agglomerans*) as sub factor, and different fenugreek and black cumin cropping systems (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100) as sub-sub factor. Biomass, yield, nitrogen use efficiency (NUE), agronomy efficiency of fertilizer (AEF), and land equivalent ratio (LER) are determined. The results show that the highest biomass and NUE of studied plants are obtained from 100% fertilization and bacteria inoculation in monoculture. The total LER is also significantly improved by fertilization (between 28-51%) and bacteria inoculation (23%), showing a higher advantageous in 25:75 and 50:50 cropping patterns with LER values of 1.732 and 1.688, respectively. In contrast, reducing 50% of fertilization under bacterial inoculation increases the AEF, especially in fenugreek monoculture. Fertilization increasing the total NUE and bacteria inoculation results in the highest NUE, particularly at increased ratios of fenugreek. Fenugreek:black cumin cropping ratio of 25:75 under 100% N fertilization and bacteria inoculation with LER ≈ 2 has been the best treatment combination for gaining maximum overall productivity. Fertilization with 50% N inoculated with bacteria in the same cropping pattern can be recommended when fertilizer application is restricted. The present research suggests that the integrated application of bacteria and fertilization can enhance the overall efficiency of intercropping.

Cite this article: Khanamani, A., Tohidi-Nejad, E., Khajoei-Nejad, Gh. R., & Ghanbari, J. (2023). Evaluation of Efficiency in Fenugreek-Black Cumin Intercropping Under Application of Growth-Promoting Bacteria and Nitrogen Fertilizer Amounts. *Journal of Crops Improvement*, 25 (1), 159-175.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.336635.2661>





ارزیابی کارایی کشت مخلوط شنبليله - سیاهدانه در شرایط کاربرد باکتری محرک رشد و مقادیر کود نیتروژن

عباس خانامانی^۱ | عنایت‌الله توحیدی‌نژاد^۲ | غلامرضا خواجهی‌نژاد^۳ | جلال قنبری^۴

۱. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: abas.khanamani@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه تولید و ژنتیک گیاهی و پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: e_tohidi@uk.ac.ir
۳. گروه تولید و ژنتیک گیاهی و پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: khajoei@uk.ac.ir
۴. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: jalalghanbari@agr.uk.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

کلیدواژه‌ها:

کارایی کوددهی،

کارایی مصرف نیتروژن،

کود زیستی،

گیاه دارویی،

نسبت برابری زمین.

این آزمایش مزرعه‌ای به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در طول فصل رشد ۱۳۹۹ در دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. مقادیر کود نیتروژنه (عدم کاربرد، ۵۰ و ۱۰۰ درصد؛ به ترتیب صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار) به عنوان عامل اصلی، تلقیح با باکتری محرک رشد (عدم تلقیح و تلقیح با *Pantoea agglomerans*) به عنوان عامل فرعی و سیستم‌های مختلف کشت مخلوط شنبليله و سیاهدانه (۱۰۰:۰، ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵) به عنوان عامل فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. زیست‌توده، عملکرد، کارایی مصرف نیتروژن، کارایی زراعی کود و نسبت برابری زمین (LER) ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن گیاهان مورد بررسی از کوددهی ۱۰۰ درصد و تلقیح با باکتری در تک‌کشتی حاصل شد. همچنین، LER کل با کوددهی (بین ۵۱-۲۸ درصد) و تلقیح (۲۳ درصد) به طور معنی‌داری بهبود یافت و در الگوهای کشت ۷۵:۲۵ و ۵۰:۵۰ به ترتیب با مقادیر ۱/۷۳۲ و ۱/۶۸۸ مزیت بالاتری نشان داد. در مقابل، کاهش کوددهی به میزان ۵۰ درصد در شرایط تلقیح باکتریایی، کارایی زراعی کود را به‌ویژه در تک‌کشتی شنبليله افزایش داد. کوددهی، کارایی مصرف نیتروژن کل را افزایش داد و تلقیح در نسبت‌های بالای شنبليله منجر به حصول بیش‌ترین کارایی شد. نسبت کشت ۷۵:۲۵ شنبليله: سیاهدانه در شرایط کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم اوره و تلقیح با باکتری با LER حدود ۲ بهترین ترکیب تیماری جهت حصول حداکثر بهره‌وری کلی بود. در موارد محدودیت در کاربرد کود نیز ۵۰ درصد کوددهی و تلقیح با باکتری در همین نسبت کشت می‌تواند قابل توصیه باشد. پژوهش حاضر نشان می‌دهد که کاربرد تلفیقی باکتری و کوددهی می‌تواند کارایی کلی کشت مخلوط را افزایش دهد.

استناد: خانامانی، ع.، توحیدی‌نژاد، ع.، خواجهی‌نژاد، غ. ر. و قنبری، ج. (۱۴۰۲). ارزیابی کارایی کشت مخلوط شنبليله - سیاهدانه در شرایط کاربرد باکتری محرک رشد و مقادیر کود نیتروژن. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۱)، ۱۵۹-۱۷۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.336635.2661>



۱. مقدمه

امروزه گیاهان دارویی نقش غیر قابل انکاری در سلامت انسان در سراسر جهان ایفا می‌کنند. در حال حاضر، بسیاری از ترکیبات زیست‌فعال و اجزای اسانس گیاهان دارویی، به‌طور گسترده در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد (Wondimu *et al.*, 2007). شنبليله (*Trigonella foenum-groecum* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa*) از مهم‌ترین گیاهان دارویی بوده که علاوه بر کاربرد غذایی، به‌دلیل بسیاری خواص دارویی به‌طور گسترده در صنایع دارویی کاربرد دارند (Sarwar *et al.*, 2020; Dabeer *et al.*, 2022).

طی دهه‌های گذشته، روش‌های کشاورزی فشرده آثار زیست‌محیطی جدی در پی داشته است. به‌عنوان مثال، می‌توان به آلودگی منابع آب و هوا در اثر کاربرد میزان بالای کودهای نیتروژنه و آفت‌کش‌ها در کشاورزی اشاره کرد (Tilman, 2020). به‌کارگیری روش‌های مدرن کشاورزی باستانی^۱ از جمله روش‌های کشت مخلوط، می‌تواند ضمن بهبود عملکرد گیاهان، اثرهای محیطی روش‌های کشاورزی فشرده را کاهش دهد (Li *et al.*, 2020). در بررسی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط شنبليله و سیاهدانه (۵۰:۵۰، ۲۵:۷۵، ۱۲/۵:۱۰۰، ۳۷/۵:۱۰۰، ۱۰۰:۵۰) در مقابل تک‌کشتی، گزارش شد که بیش‌ترین عملکرد شنبليله از تک‌کشتی شنبليله و بیش‌ترین عملکرد سیاهدانه و سودمندی کل از نسبت کشت ۱۰۰:۱۲/۵ شنبليله و سیاهدانه حاصل شد (Rahmati *et al.*, 2020). با وجود برتری عملکرد دانه و اسانس در کشت خالص، بیش‌ترین مقدار سودمندی (۱/۲۹) در بین تیمارهای کشت مخلوط، از الگوی کشت ۳:۱ و ۱:۱ مرزه: شنبليله مشاهده شد (Abdi, 2019). به‌طور مشابه، در الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی شوید و شنبليله، بیش‌ترین عملکرد دانه شنبليله از کشت خالص و بیش‌ترین عملکرد دانه شوید از نسبت کشت ۱:۳ شوید: شنبليله حاصل شد در حالی که بیش‌ترین میزان LER از نسبت کشت ۲:۲ به‌دست آمد (Rezaei-chiyaneh *et al.*, 2016). همچنین، بیش‌ترین نسبت برابری زمین (۱/۴۵) از الگوی کاشت ۲۵ درصد نخود+ ۷۵ درصد سیاهدانه در کشت مخلوط حاصل شد (Gholinezhad & Rezaei-Chiyaneh, 2014).

با این حال، افزایش کارایی سیستم کشت در جذب حداکثری عناصر غذایی می‌تواند به‌عنوان راه‌کاری برای کاهش میزان کاربرد، کاهش میزان هدررفت و افزایش جذب و کارایی مصرف عناصر پرمصرف به‌ویژه نیتروژن باشد (Ghorbanpour *et al.*, 2015). گزارش شده که به‌ازای هر واحد غذای تولیدی در سیستم‌های کشت مخلوط، ۱۹ تا ۳۶ درصد کود کم‌تری نیاز بوده که موجب افزایش کارایی مصرف کود کاربردی و کاهش میزان عناصر غذایی بلااستفاده می‌شود (Li *et al.*, 2020). کودهای زیستی حاوی میکروارگانیزم‌های مفید محرک رشد، به‌ویژه باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، با بهبود تغذیه گیاه، کارایی مصرف منابع مختلف کودی را بهبود داده و از اهمیت ویژه‌ای در بخش کشاورزی برخوردارند (Aasfar *et al.*, 2020; Kordi *et al.*, 2021). اثر مثبت ریزوباکتری‌های محرک رشد در بهبود کارایی کشت مخلوط در الگوهای مختلف کشت مخلوط سیاهدانه و شنبليله (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2021a) و رازیانه و لوبیا معمولی (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2020) گزارش شده است.

کاربرد ریزوباکتری‌های محرک رشد با مقادیر کاهش یافته کاربرد نهاده‌های شیمیایی، به‌عنوان یک راهبرد سازگار با محیط زیست، برای دستیابی به افزایش عملکرد و کیفیت گیاهان دارویی، معرفی شده است (Ghorbanpour *et al.*, 2015). ضمن این که کوددهی شیمیایی شاخص‌های سودمندی و بهره‌وری در سیستم‌های کشت مخلوط رازیانه و شنبليله (Abd-Elghany *et al.*, 2017) و گندم و باقلا^۲ (Xiao *et al.*, 2018) را بهبود داده است، کاربرد باکتری‌های

1. Ancient agriculture

2. Faba bean (*Vicia faba* L.)

تثبیت‌کننده ازت در شرایط کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی در الگوهای مختلف کشت مخلوط موجب افزایش عملکرد و بهبود کارایی مصرف کودهای نیتروژن شد (Kordi et al., 2020). در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد ۵۰ درصد مقدار کودهای شیمیایی در تلفیق با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و پتاسیم و باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت منجر به بیش‌ترین عملکرد دانه بادرشبویه^۱ و ماش^۲ در تک‌کشتی شد، در حالی که بیش‌ترین محتوای عناصر و بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۳۵) از الگوهای کشت مخلوط (۱:۱، ۲:۲، ۳:۲) حاصل شد (Faridvand et al., 2021).

با این وجود، کودهای زیستی به‌طور کامل قادر به تأمین نیاز گیاه به عناصر غذایی نیستند. بنابراین، لازم است مقادیر تکمیلی عناصر موردنیاز از طریق منابع کودی تأمین شود. با توجه به این که کم‌تر از ۵۰ درصد کودهای شیمیایی توسط گیاه جذب می‌شود و مابقی آن به دلایل مختلف از دسترس گیاه خارج می‌شود، کاربرد میکروارگانیزم‌های محرک رشد با افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، می‌تواند منجر به افزایش کارایی مصرف عناصر شود (Miransari, 2011). بر این مبنای هدف از این مطالعه، بررسی نقش باکتری محرک رشد در بهبود کارایی مصرف کودهای شیمیایی و کارایی مصرف نیتروژن و افزایش بهره‌وری و سودمندی کشت مخلوط بود.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. محل اجرا، تیمارها و طرح آزمایشی

این پژوهش در سال ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان با موقعیت جغرافیایی طول ۵۷ درجه و ۰۷ دقیقه شرقی، عرض ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۷۷۴ متر از سطح دریا، انجام شد. ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری تعیین شد (جدول ۱).

آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل استفاده از سطوح مختلف کاربرد کود شیمیایی شامل صفر (شاهد)، ۵۰ درصد (۷۵ کیلوگرم در هکتار اوره) و ۱۰۰ درصد (۱۵۰ کیلوگرم اوره) در هکتار بود. عامل فرعی شامل کاربرد و عدم کاربرد باکتری محرک رشد (تحت نام تجاری از توبارور-۱، *Pantoea agglomerans* strain Q4) $(10^7 \text{ CFU ml}^{-1})$ ، تهیه شده از شرکت زیست‌فناور سبز) و عامل فرعی فرعی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط شنبلیله و سیاهدانه (تک کشتی هر گیاه ترکیب‌های کشت مخلوط شنبلیله:سیاهدانه ۷۵:۲۵، ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵) بود.

بذرهای شنبلیله و سیاهدانه از شرکت بذر پاکان بذر اصفهان تهیه شد. مایه تلقیح باکتری تثبیت‌کننده ازت در دو مرحله اعمال شد. ابتدا بذرهای گیاهان موردبررسی در مرحله کاشت، تلقیح شدند. در مرحله دوم، کاربرد به‌همراه آب آبیاری و قبل از مرحله گل‌دهی به میزان ۲ لیتر در هکتار (Kordi et al., 2020) انجام شد.

جدول ۱. ویژگی‌های مختلف خاک محل اجرای آزمایش واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان

پتاسیم	فسفر	نیتروژن	ظرفیت	ماده	وزن مخصوص	قابلیت	بافت
قابل‌دسترس	قابل‌دسترس	کل	تبادل کاتیونی	آلی	ظاهری	هدایت الکتریکی	
(mg kg^{-1})	(mg kg^{-1})	(%)	$\text{Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$	(%)	(g cm^{-3})	(dS m^{-1})	
۳۲۷	۶/۶	۰/۱	۷/۲	۰/۲۹	۱/۷	۷/۹۶	لوم شنی

1. Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.)

2. Mung bean (*Vigna radiata* L.)

بعد از آماده‌سازی زمین در فروردین‌ماه ۱۳۹۹، نیمی از مقادیر کود اوره براساس میزان کاربرد در بستر کاشت اعمال شده و با خاک مخلوط شد. بذرهاى هر دو گیاه در کرت‌هایی به مساحت سه مترمربع (شامل چهار ردیف ۳ متری به فاصله ۲۵ سانتی‌متر) و در عمق مورد نظر برای هر گیاه (شنبليله ۱/۵ سانتی‌متر و سیاهدانه ۰/۵ سانتی‌متر) در تاریخ ۲۳ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۹ به‌صورت هم‌زمان کشت شدند. آبیاری بلافاصله پس از کاشت اعمال و برنامه آبیاری براساس نیاز گیاهان انجام شد. وجین به‌صورت دستی و عملیات تنک به‌منظور دستیابی به تراکم ۸۰ بوته در مترمربع برای هر دو گیاه، انجام شد. مابقی کود اوره قبل از شروع مرحله زایشی به‌صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت.

۲.۲. جمع‌آوری داده‌ها

به‌منظور تعیین وزن خشک ریشه و تعداد گره در ریشه شنبليله تحت تأثیر کوددهی و تلقیح با باکتری، در مرحله گل‌دهی شنبليله (۲۰ تیرماه ۱۳۹۹) سه بوته به‌طور کامل به‌همراه ریشه از نسبت‌های تک‌کشتی برداشت شد. پس از شست‌وشو، تمام گره‌های ریشه شمارش شده و ریشه‌ها در دمای ۷۵ درجه برای ۲۴ ساعت خشک و وزن خشک ریشه تعیین شد. در پایان فصل رشد (۲۵ شهریورماه برای سیاهدانه و ۲۶ مهرماه ۱۳۹۹ برای شنبليله)، عملیات برداشت از یک متر میانی ردیف‌های وسط با حذف حاشیه از دو طرف انجام شد. برای تعیین زیست‌توده (BY) برای هر دو گیاه و عملکرد دانه سیاهدانه (SY)، نمونه‌های برداشت‌شده از واحد سطح در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت در آون خشک و سپس وزن شدند.

به‌منظور مقایسه و برآورد سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با کشت تک محصولی، نسبت برابری زمین (LER) برای هر تیمار و الگوی کشت براساس زیست‌توده شنبليله و عملکرد دانه سیاهدانه محاسبه شد (رابطه ۱).

$$\text{LER} = (Y_{fb}/Y_f) + (Y_{bf}/Y_b) \quad \text{رابطه ۱}$$

که Y_f و Y_b به‌ترتیب زیست‌توده شنبليله و عملکرد دانه سیاهدانه در تک‌کشتی و Y_{bf} و Y_{fb} به‌ترتیب زیست‌توده شنبليله و عملکرد دانه سیاهدانه در کشت مخلوط هستند (Kordi et al., 2020).

کارایی زراعی کود^۱ (AEF) برای ارزیابی کارایی کاربرد کود شیمیایی نیتروژنه در سیستم‌های کشت از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\text{AEF (kg kg}^{-1}\text{)} = (Y_f - Y_0)/FN \quad \text{رابطه ۲}$$

Y_f : عملکرد تولیدشده (کیلوگرم در هکتار) به‌ازای کیلوگرم در هکتار کاربرد کود (FN) و Y_0 : عملکرد (کیلوگرم در هکتار) اندازه‌گیری‌شده در تیمار شاهد (بدون کاربرد کود) بود (Xu et al., 2012).

کارایی مصرف نیتروژن (NUE) برای هر گیاه براساس عملکرد تولیدشده (Y) به‌ازای عنصر مصرف‌شده برای تولید آن محصول در واحد سطح (عنصر موجود در خاک و عنصر اضافه‌شده توسط کود شیمیایی (TN)) از رابطه (۳) محاسبه شد (Ghanbari & Khajoei-Nejad, 2021). جهت بررسی کارایی مصرف نیتروژن کل، مجموع کارایی مصرف نیتروژن دو گیاه محاسبه و موردآنالیز قرار گرفت.

$$\text{TN} = Y/\text{NUE (g g}^{-1}\text{)} \quad \text{رابطه ۳}$$

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۰) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها، آزمون حداقل تفاوت آماری معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۶) انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تولید زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن شبلیله

تولید زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن شبلیله تحت تأثیر کوددهی، تلقیح با باکتری، الگوی کشت و اثر متقابل باکتری در الگوی کشت قرار گرفت (جدول ۲). سطوح کاربرد ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد کوددهی زیست‌توده شبلیله را به ترتیب ۱۵ و ۳۱ درصد و کارایی مصرف نیتروژن را به ترتیب ۸ و ۱۶ درصد نسبت به عدم کاربرد، بهبود دادند (جدول ۳). همان‌طور که مشاهده می‌شود (شکل ۱- الف و ب)، بیش‌ترین زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن از تک‌کشتی شبلیله در تلقیح با باکتری حاصل شد. تلقیح در نسبت‌های بالا و متوسط شبلیله در الگوی کشت، زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن را بهبود داد، در حالی که در نسبت کشت ۷۵:۲۵ شبلیله: سیاهدانه اثر معنی‌داری بر صفات مذکور نداشت. در حالی که کاهش نسبت کشت شبلیله منجر به کاهش زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن شد، تلقیح با باکتری کاهش زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن در الگوی کشت ۲۵:۷۵ شبلیله: سیاهدانه را نسبت به تک‌کشتی شبلیله و عدم تلقیح جبران نمود، به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل کوددهی، تلقیح باکتریایی، الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها بر تولید زیست‌توده و کارایی

مصرف نیتروژن شبلیله در کشت مخلوط با سیاهدانه

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد زیستی	کارایی مصرف نیتروژن
بلوک	۲	۲۸۰۷ ns	۰/۰۰۹۲ ns
کود	۲	۴۸۸۷۷**	۰/۰۴۷۶**
بلوک × کود	۴	۸۲۹	۰/۰۰۲۶
باکتری	۱	۱۲۱۵۷۳**	۰/۴۱۲**
کود × باکتری	۲	۲۱۱ ns	۰/۰۰۱۳ ns
بلوک × باکتری (کود)	۶	۶۶۸	۰/۰۰۲۳
الگوی کشت	۳	۴۲۵۰۳۲**	۱/۴۴**
کود × الگوی کشت	۶	۲۳۰۱ ns	۰/۰۰۷۶ ns
باکتری × الگوی کشت	۳	۱۱۷۳۴**	۰/۰۴۱۰**
کود × باکتری × الگوی کشت	۶	۷۲۵ ns	۰/۰۰۳۰ ns
خطا	۳۶	۱۴۰۶	۰/۰۰۵۰
ضریب تغییرات (%)	-	۱۱/۴	۱۱/۷

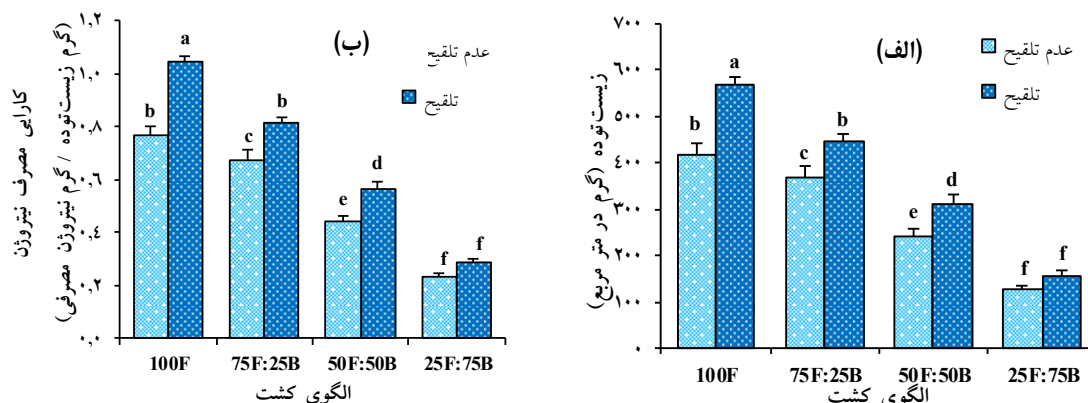
ns و ** و ***: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی‌دار.

جدول ۳. اثر سطوح کاربرد کود شیمیایی و تلقیح با باکتری محرک رشد بر زیست‌توده، کارایی مصرف نیتروژن و خصوصیات

ریشه شبلیله در کشت مخلوط با سیاهدانه

تیمار	زیست‌توده (g m ⁻²)	کارایی مصرف نیتروژن (g g ⁻¹)	وزن خشک ریشه (g plant ⁻¹)	تعداد گره ریشه (No plant ⁻¹)
سطوح کوددهی				
شاهد	۲۸۶c	۰/۵۶۰ c	۱/۰۰ b	-
۵۰ درصد	۳۲۹ b	۰/۶۰۴ b	۱/۱۶ b	-
۱۰۰ درصد	۳۷۶ a	۰/۶۴۹ a	۱/۵۱ a	-
تلقیح با باکتری				
عدم تلقیح	-	-	-	۵۱/۰ b
تلقیح	-	-	-	۶۲/۰ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.



شکل ۱. زیست توده (الف) و کارایی مصرف نیتروژن (ب) شنبليله تحت تأثیر اثر متقابل الگوی کشت و تلقیح با باکتری. F: شنبليله و B: سیاهدانه

بهبود عملکرد شنبليله در الگوهای مختلف کشت در شرایط کوددهی و تلقیح با باکتری را می توان به افزایش میزان عناصر موجود با افزودن کودهای شیمیایی و بهبود حلالیت و جذب عناصر توسط باکتری های تثبیت کننده N نسبت داد که می تواند نقش مهمی در بهبود رشد و عملکرد داشته باشد (Kordi *et al.*, 2020; Vafadar-Yengeje *et al.*, 2019). در مطالعات مختلف، اثر کوددهی فسفره در کشت مخلوط رازیانه و شنبليله (Abd-Elghany *et al.*, 2017)، اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و کیفیت بادرشوبیه و ماش (Faridvand *et al.*, 2021)، اثر کاربرد باکتری های محرک رشد بر بهره‌وری کشت مخلوط لوبیا و رازیانه (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2020) و اثر کوددهی بر بهبود عملکرد در کشت مخلوط بادرشوبیه و باقلا (Vafadar-Yengeje *et al.*, 2019) مثبت گزارش شده است. همچنین، تلقیح با باکتری تثبیت کننده N₂ در سیستم کشت مخلوط ریحان و ذرت علوفه‌ای (Kordi *et al.*, 2020) و لوبیا و رازیانه (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2020) و کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و کودهای زیستی در کشت مخلوط ماش و بادرشوبیه (Faridvand *et al.*, 2021) موجب بهبود معنی دار عملکرد شده است.

۲.۳. وزن خشک ریشه و تعداد گره در ریشه شنبليله

وزن خشک ریشه تحت تأثیر سطوح کودی و تعداد گره در ریشه در شنبليله تحت تأثیر تلقیح با باکتری قرار گرفتند (جدول ۴). همان طور که جدول (۳) نشان می دهد، در حالی که کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی تفاوت معنی داری با شاهد نشان نداد، اعمال سطح ۱۰۰ درصد کود شیمیایی وزن خشک ریشه را نسبت به شاهد ۵۱ درصد افزایش داد. همچنین، تلقیح باکتریایی نسبت به عدم تلقیح، تعداد گره در ریشه را ۲۲ درصد افزایش داد (جدول ۳).

افزایش زیست توده و کارایی مصرف نیتروژن شنبليله با کاربرد میزان ۱۰۰ درصد کوددهی و تلقیح با باکتری، از طرف دیگر می تواند به افزایش در وزن خشک ریشه در شرایط کوددهی ۱۰۰ درصد و افزایش تعداد گره در شرایط تلقیح با باکتری مربوط باشد (جدول ۳) که می تواند در بهبود تغذیه و استفاده کارآمدتر از منابع قابل دسترس مؤثر واقع شود. پژوهش های قبلی نیز نشان داد که کوددهی با افزایش رشد ریشه و افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی و آب، عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان را بهبود می دهد (He *et al.*, 2015). هر چند بیشترین مقادیر از تک کشتی شنبليله مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل کوددهی و تلقیح باکتریایی و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک ریشه و تعداد گره در ریشه شنبليله

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک ریشه	تعداد گره در بوته
بلوک	۲	۰/۰۸۲ ns	۱۲۶ ns
کود	۲	۰/۴۱۰*	۷/۴۴ ns
بلوک × کود	۴	۰/۰۲۸	۸۳/۳
باکتری	۱	۰/۱۷۱ ns	۵۴۸*
کود × باکتری	۲	۰/۰۰۶ ns	۱۵/۵ ns
خطا	۶	۰/۰۸۴	۷۲/۸
ضریب تغییرات (%)	-	۲۳/۷	۱۵/۱

* و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

۳.۳. عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن سیاهدانه

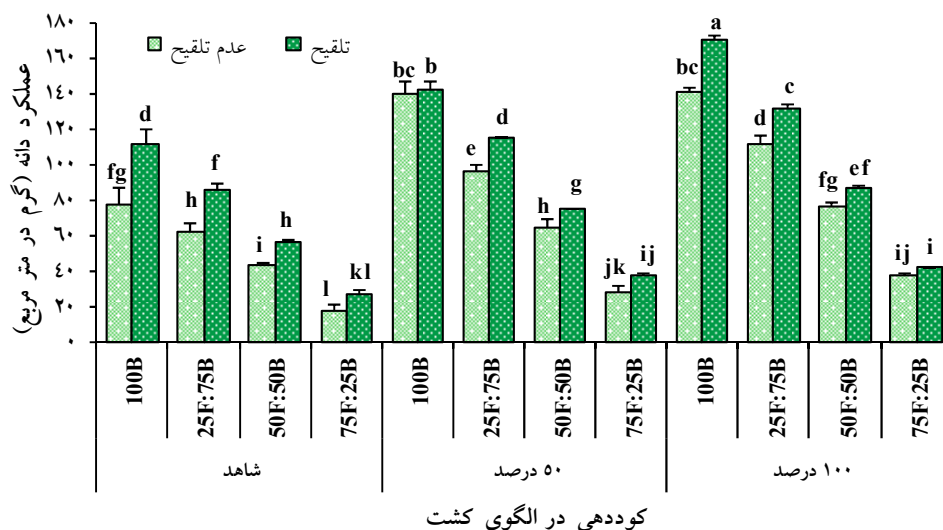
عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن سیاهدانه تحت تأثیر کوددهی، تلقیح با باکتری، الگوی کشت و اثرات متقابل الگوی کشت با کوددهی و تلقیح با باکتری قرار گرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد که تلقیح با باکتری در شرایط ۱۰۰ درصد کوددهی موجب بهبود معنی‌دار عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن نسبت به عدم تلقیح و حصول بهترین نتایج برای سیاهدانه شد (شکل‌های ۲ و ۳). در شرایط عدم تلقیح، بیش‌ترین عملکرد دانه از تک‌کشتی حاصل شد در حالی که تلقیح کاهش عملکرد ناشی از کاهش نسبت کشت را نسبت به عدم تلقیح جبران نمود. به‌عنوان نمونه، تلقیح با باکتری در شرایط کوددهی ۱۰۰ درصد در نسبت کشت ۷۵:۲۵ شنبليله: سیاهدانه اختلاف معنی‌داری با تک‌کشتی و عدم تلقیح نشان نداد. با وجود اثر مثبت تلقیح در نسبت‌های کشت، در نسبت پایین کشت سیاهدانه، اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه و کارایی مصرف عناصر نشان نداد (شکل‌های ۲ و ۳).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل کوددهی، تلقیح باکتریایی، الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه، کارایی

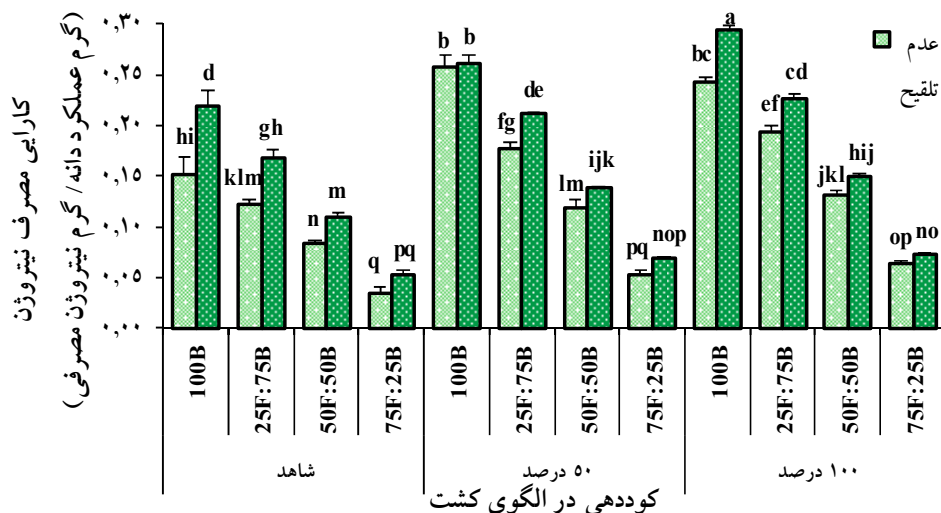
مصرف نیتروژن و تولید زیست‌توده سیاهدانه در کشت مخلوط با شنبليله

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	کارایی مصرف نیتروژن	زیست‌توده
بلوک	۲	۱۹/۴ ns	۰/۰۰۰۰۷ ns	۱۶۶ ns
کود	۲	۹۸۳۲**	۰/۰۱۹۶۱**	۱۱۸۰۷۹**
بلوک × کود	۴	۲۶	۰/۰۰۰۰۷	۲۴۴
باکتری	۱	۴۲۵۸**	۰/۰۱۴۶۱**	۸۰۳۳۱**
کود × باکتری	۲	۱۴۴ ns	۰/۰۰۰۶۲ ns	۳۶۳۲ ns
بلوک × باکتری (کود)	۶	۷۱/۴	۰/۰۰۰۲۴	۸۵۸
الگوی کشت	۳	۳۲۶۹۴**	۰/۰۸۷۹**	۲۳۸۰۵۵**
کود × الگوی کشت	۶	۶۰۲**	۰/۰۰۱۲۳**	۵۳۶۲**
باکتری × الگوی کشت	۳	۲۲۲**	۰/۰۰۰۷۶**	۵۲۹۰**
کود × باکتری × الگوی کشت	۶	۱۱۲*	۰/۰۰۰۳۸*	۵۷۲ ns
خطا	۳۶	۳۸/۳	۰/۰۰۰۱۳	۲۸۰
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۵۰	۷/۵۹	۷/۴۳

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار.



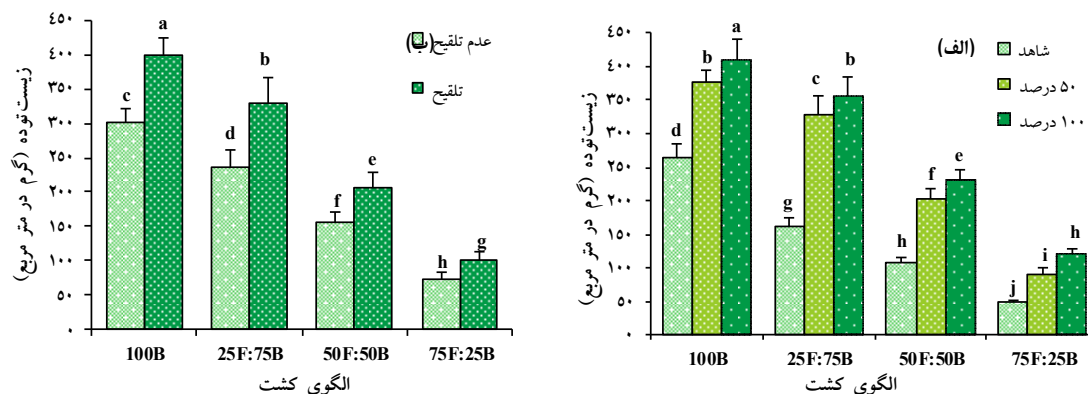
شکل ۲. عملکرد دانه سیاهدانه تحت تأثیر اثر متقابل کوددهی، الگوی کشت و تلقیح با باکتری. F: شنبليله و B: سیاهدانه.



شکل ۳. کارایی مصرف نیتروژن سیاهدانه تحت تأثیر اثر متقابل کوددهی، الگوی کشت و تلقیح با باکتری. F: شنبليله و B: سیاهدانه.

۴.۳ زیست توده سیاهدانه

تولید زیست توده در سیاهدانه تحت تأثیر اثرات متقابل کود در الگوی کشت و باکتری در الگوی کشت قرار گرفت (جدول ۴). کوددهی و تلقیح زیست توده را در تمام الگوهای کشت افزایش دادند (شکل ۴- الف و ب). با این حال، به نظر می رسد تأثیر کوددهی و تلقیح در نسبت کشت ۷۵:۲۵ سیاهدانه: شنبليله بیش تر از سایر نسبت ها باشد. کوددهی ۱۰۰ درصد در این نسبت کشت ضمن افزایش عملکرد نسبت به عدم کوددهی در تک کشتی، عملکردی معادل کوددهی ۵۰ درصد تولید کرد (شکل ۴- الف). به طور مشابه، تلقیح با باکتری نیز در این نسبت کشت، زیست توده را نسبت به تک کشتی و عدم تلقیح بهبود داد (شکل ۴- ب).



شکل ۴. تولید زیست‌توده سیاهدانه تحت تأثیر اثر متقابل کوددهی و الگوی کشت (الف) و تلقیح با باکتری و الگوی کشت (ب).
F: شنبليله و B: سیاهدانه.

مشابه با شنبليله، بیش‌ترین عملکرد سیاهدانه نیز از تک کشتی حاصل شد. در بررسی کشت مخلوط نخود و سیاهدانه نشان داد که بیش‌ترین تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و عملکرد سیاهدانه از کشت خالص سیاهدانه حاصل شد (Gholinezhad & Rezaei-Chiyaneh, 2014). کاهش عملکرد در کشت مخلوط در مقایسه با تک کشتی به‌طور عمده می‌تواند در نتیجه تراکم کم‌تر گیاهان در واحد سطح در نسبت‌های کشت مخلوط باشد. کاهش عملکرد نخود و سیاهدانه (Gholinezhad & Rezaei-Chiyaneh, 2014)، لوبیا و رازیانه (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2020) و بالنگوی سیاه و شنبليله (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2021b) نسبت به تک کشتی گزارش شده است. علاوه بر این، افزایش عملکرد دانه سیاهدانه در نسبت کشت ۷۵:۲۵ شنبليله: سیاهدانه در شرایط کوددهی و تلقیح با باکتری در نتیجه استفاده مکمل از منابع در دسترس توسط گونه‌هاست که منجر به استفاده کارآمدتر از منابع می‌شود (Abd-Elghany *et al.*, 2017). در همین راستا، در بررسی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط رازیانه و شنبليله، نسبت کشت ۳:۱ بهترین نسبت کشت برای رسیدن به حداکثر عملکرد گزارش شد (Abd-Elghany *et al.*, 2017). نتایج مشابه در کشت مخلوط شنبليله و شوید (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2016) و شنبليله و بالنگوی سیاه گزارش شده است (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2021b).

۵.۳. نسبت برابری زمین

نتایج نشان از اثر معنی‌دار کوددهی، تلقیح با باکتری و الگوی کشت بر نسبت برابری زمین (LER) داشت (جدول ۶). نتایج نشان داد که LER کل در تمام ترکیب‌های تیماری بیش‌تر از یک بود که نشان از برتری سیستم کشت مخلوط نسبت به تک کشتی است (جدول ۷ و شکل ۶). هم‌چنین با کوددهی، تلقیح و افزایش نسبت کشت شنبليله، LER برای این گیاه افزایش نشان داد (جدول ۷).

علاوه بر این، LER سیاهدانه تحت تأثیر برهم‌کنش کود در الگوی کشت و باکتری در الگوی کشت و LER کل نیز تحت تأثیر برهم‌کنش کود در الگوی کشت قرار گرفتند (جدول ۶). همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد (شکل ۵-الف)، کوددهی در الگوهای مختلف کشت، LER سیاهدانه را بهبود داد اما به‌نظر می‌رسد اثر آن در الگوی کشت ۲۵:۷۵ شنبليله: سیاهدانه کم‌تر بود. به‌طور مشابه، تلقیح با باکتری نیز در الگوهای مختلف منجر به افزایش معنی‌دار LER سیاهدانه شد (شکل ۵-ب).

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل کوددهی، تلقیح باکتریایی، الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها بر نسبت برابری زمین در کشت مخلوط سیاهدانه و شنبليله

منابع تغییر	درجه آزادی	نسبت برابری زمین سیاهدانه	نسبت برابری زمین شنبليله	نسبت برابری زمین کل
بلوک	۲	۰/۴۹۳ **	۰/۱۶۸ **	۱/۱۹۹ **
کود	۲	۰/۸۲۱ **	۰/۳۰۶ **	۲/۰۷۵ **
بلوک × کود	۴	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۹۳	۰/۰۱۵
باکتری	۱	۰/۴۲۳ **	۰/۳۸۶ **	۱/۶۱۷ **
کود × باکتری	۲	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۰۰۲ ns
بلوک × باکتری (کود)	۶	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹۲	۰/۰۱۷
الگوی کشت	۲	۳/۶۵۶ **	۲/۵۹۵ **	۰/۰۹۲ **
کود × الگوی کشت	۴	۰/۰۶۱ **	۰/۰۲۲ ns	۰/۰۵۴ *
باکتری × الگوی کشت	۲	۰/۰۳۵ *	۰/۰۲۸ ns	۰/۰۰۰۶ ns
کود × باکتری × الگوی کشت	۴	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۲۲ ns	۰/۰۰۴۱ ns
خطا	۲۴	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	۰/۰۱۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۸	۱۲/۷	۷/۴۳

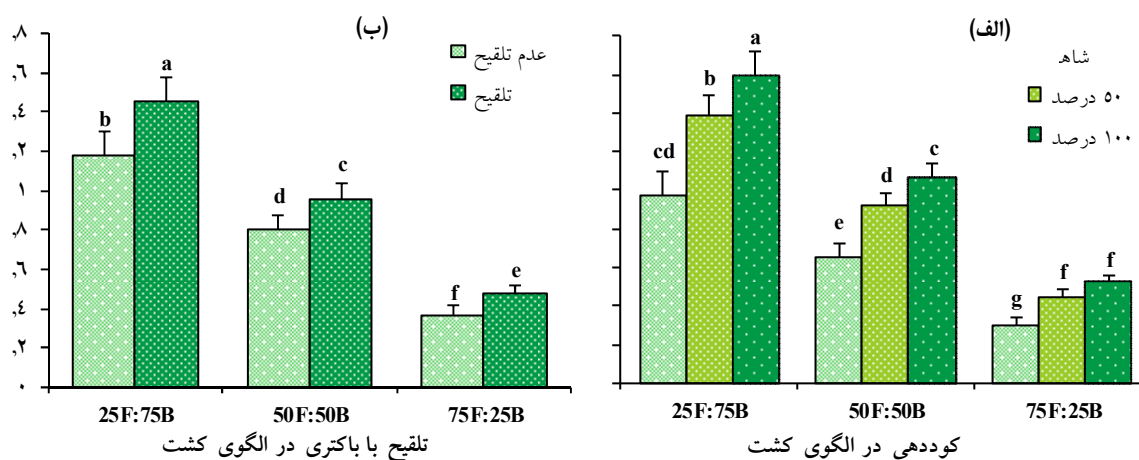
***, **, * ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۷. نسبت برابری زمین در کشت مخلوط سیاهدانه و شنبليله تحت تأثیر اثر عوامل کوددهی، تلقیح با باکتری و الگوی کشت

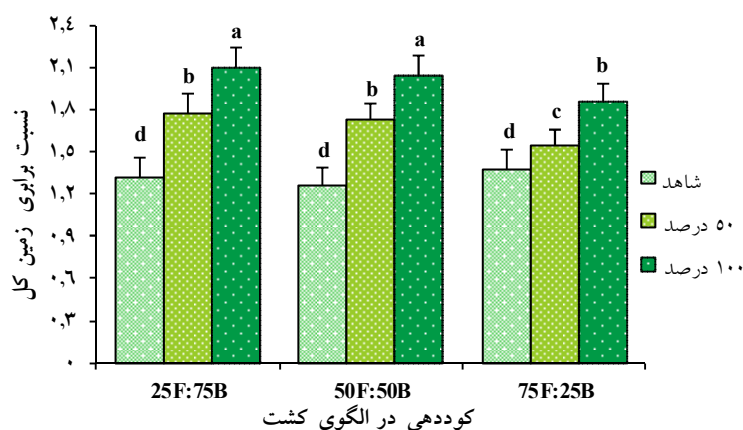
تیمار	نسبت برابری زمین شنبليله (LER _f)	نسبت برابری زمین کل (LER)
سطوح کوددهی		
شاهد	۰/۶۷۶ ^c	۱/۳۱۹ ^c
۵۰ درصد	۰/۷۶۸ ^b	۱/۶۸۴ ^b
۱۰۰ درصد	۰/۹۳۳ ^a	۱/۹۹۷ ^a
تلقیح با باکتری		
عدم تلقیح	۰/۷۰۸ ^b	۱/۴۹ ^b
تلقیح	۰/۸۷۷ ^a	۱/۸۴ ^a
الگوی کشت		
25F:75B	۰/۴۱۱ ^c	۱/۷۳۲ ^a
50F:50B	۰/۷۹۷ ^b	۱/۶۷۷ ^a
75F:25B	۱/۱۷ ^a	۱/۵۹۰ ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند. B: سیاهدانه، F: شنبليله.

اثر کوددهی در الگوهای کشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ شنبليله: سیاهدانه مشابه بود و به نظر می‌رسد اثر بهبوددهندگی کوددهی بر میزان LER در این نسبت‌ها مشهودتر بود (شکل ۶). تلقیح با باکتری منجر به افزایش معنی‌دار کل نسبت به عدم تلقیح شد (جدول ۷). علاوه بر این، بیش‌ترین مقادیر LER کل از کوددهی ۱۰۰ درصد در الگوهای کشت مذکور حاصل شد و کوددهی در این الگوهای کشت مزیت بیش‌تری نسبت به الگوی کشت ۲۵:۷۵ شنبليله: سیاهدانه نشان داد (شکل ۶).



شکل ۵. نسبت برابری زمین سیاهدانه تحت تأثیر اثر متقابل کوددهی و الگوی کشت (الف) و اثر متقابل تلقیح با باکتری و الگوی کشت (ب). B: سیاهدانه، F: شنبلیله.



شکل ۶. نسبت برابری زمین کل تحت تأثیر اثر متقابل کوددهی و الگوی کشت. B: سیاهدانه، F: شنبلیله.

با وجود کاهش معنی‌دار تولید زیست‌توده و عملکرد دانه در بسیاری در نسبت‌های کشت، در کشت مخلوط عملکرد کم‌تر برای هر یک از گونه‌ها به معنی بهره‌وری کلی کم‌تر نیست (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2021a). کارایی بالای نسبت‌های کشت مخلوط در این مطالعه که توسط مقادیر LER تأیید شد، با یافته‌های بسیاری از مطالعات در زمینه کشت مخلوط هم‌خوانی دارد (Vafadar-Yengeje *et al.*, 2019; Weisany *et al.*, 2015; Gholinezhad & Rezaei-Chiyaneh, 2014). افزایش مقادیر LER در شرایط افزایش نسبت سیاهدانه در الگوی کاشت و کاربرد نسبت‌های کشت متعادل (شکل ۵) را می‌توان تا حدی با استفاده کارآمدتر از منابع در زمان و مکان بین گونه‌های مختلف در کشت مخلوط توضیح داد (Salehi *et al.*, 2018). علاوه بر این، مقادیر LER جزیی برای دو گونه مورد استفاده در این مطالعه نشان می‌دهد که با وجود تأثیرپذیری مثبت هر دو گونه از کشت مخلوط، کشت مخلوط سیاهدانه نسبت به

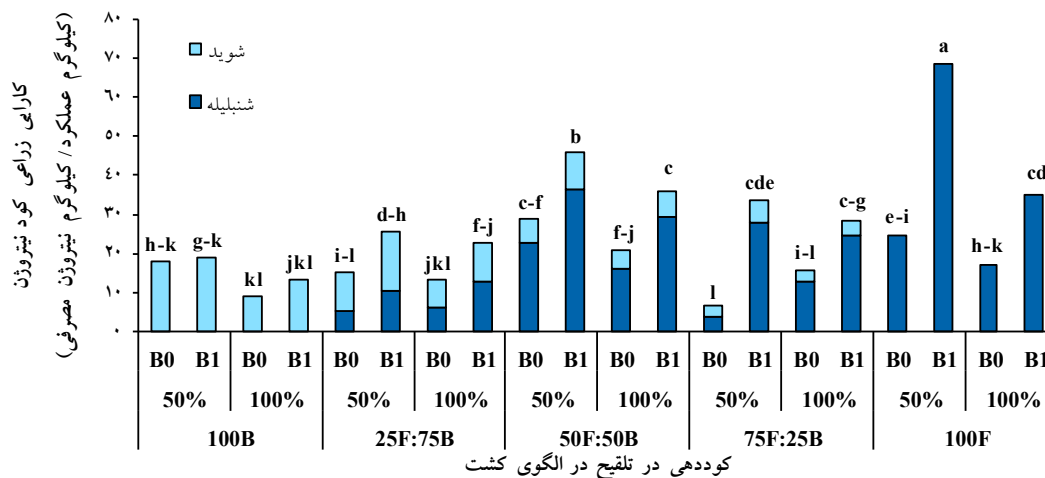
تک کشتی آن مزیت بالاتری نشان داده است. کشت مخلوط با بقولات مانند شنبليله، می تواند محدودیت های نیتروژن خاک در کشت مخلوط با گیاهان غیر لگوم را کاهش داده که در نتیجه می تواند منجر به افزایش بهره وری و کارایی کلی سیستم شود (Salehi *et al.*, 2018). در مطالعات گذشته نیز کارایی بالاتر استفاده از زمین در کشت های مخلوط نسبت به تک کشتی گزارش شده است (Abd-Elghany *et al.*, 2017; Vafadar-Yengeje *et al.*, 2019). در تأیید نتایج این مطالعه، گزارش شد که بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۴۵) از الگوی کاشت ۲۵ درصد نخود+ ۷۵ درصد سیاهدانه حاصل شد (Gholinezhad & Rezaei-Chiyaneh, 2014). همچنین، بیشترین نسبت برابری زمین از نسبت ۲:۲ در کشت مخلوط شوید: شنبليله به دست آمد که نشان از برتری کشت مخلوط این دو گونه نسبت به تک کشتی داشت (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2016).

علاوه بر این، کوددهی و تلقیح نیز با بهبود عملکرد، کاهش نسبت کشت در کشت مخلوط را به ویژه در نسبت کشت ۲۵:۷۵ شنبليله: سیاهدانه جبران نمود و نسبت برابری زمین را به طور قابل توجهی افزایش داد (شکل ۲ و جدول ۷). این نتایج با نتایج حاصل از مطالعه دیگر در بهبود عملکرد و LER در کشت مخلوط با کاربرد کودهای شیمیایی مطابقت داشت (Vafadar-Yengeje *et al.*, 2019). رشد گیاه وابسته به عوامل مختلف اقلیمی و قابلیت دسترسی عناصر مورد نیاز برای فعالیت های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است (He *et al.*, 2015). در مطالعه حاضر، کاربرد تلفیقی کود نیتروژنه و باکتری محرک رشد برخی از اجزای عملکرد، عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن را در هر دو گونه افزایش داد که یکی از فرضیه های مهم این مطالعه مبنی بر بهبود بهره وری سیستم کشت مخلوط با کاربرد تیمارهای مذکور را تأیید می کند. کودهای شیمیایی حاوی عناصر ضروری برای رشد و نمو گیاه بوده که قادر به افزایش رشد و عملکرد گیاه هستند (Vafadar-Yengeje *et al.*, 2019). بهبود LER با کوددهی و تلقیح با باکتری در این مطالعه (جدول ۷) می تواند حاصل اثر تسهیل کنندگی در بهبود دسترسی و جذب عناصر غذایی خاک باشد (Weisany *et al.*, 2015).

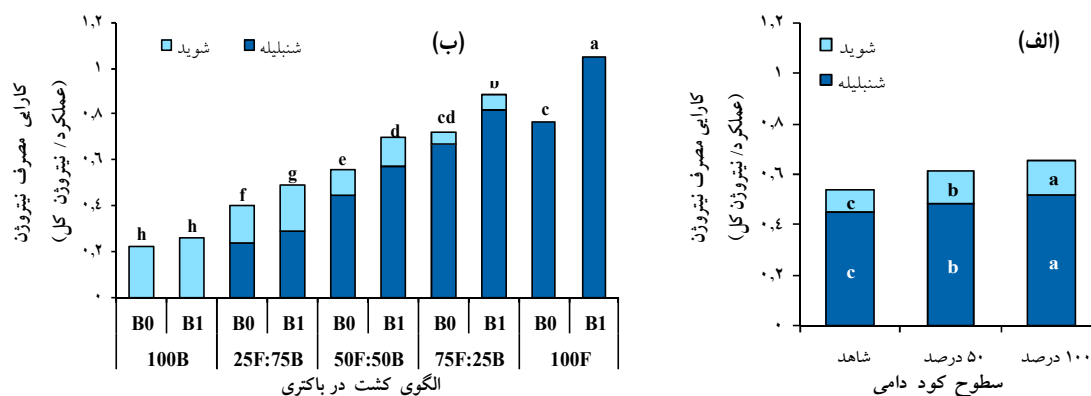
۳.۶. کارایی زراعی کود نیتروژنه و کارایی کل مصرف نیتروژن

کارایی زراعی کاربرد کود شیمیایی تحت تأثیر اثر متقابل کوددهی، تلقیح با باکتری و الگوی کشت قرار گرفت (شکل ۷). نتایج نشان داد که تلقیح با باکتری کارایی زراعی کود را به خصوص در سطح کوددهی ۵۰ درصد در تمام نسبت های کاشت بهبود داد و به طور کلی از کارایی بالاتری نسبت به کاربرد ۱۰۰ درصد کود برخوردار بود. بیشترین کارایی از تک کشتی شنبليله در سطح کاربرد ۵۰ درصد کوددهی و تلقیح با باکتری و به دنبال آن از نسبت کشت ۵۰:۵۰ و همین ترکیب تیماری حاصل شد. به طور کلی، با افزایش نسبت شنبليله در الگوی کشت، کارایی تلقیح با باکتری در افزایش کارایی زراعی کود بیش تر بود و در تمام نسبت های کشت و سطوح کودی، تلقیح به طور معنی داری کارایی مصرف کود را بهبود داد. مقادیر کارایی زراعی کود در شنبليله به دلیل تولید عملکرد اقتصادی بالاتر نسبت به عملکرد تولیدی سیاهدانه، بیش تر بود (شکل ۷).

کارایی مصرف نیتروژن کل (مجموع کارایی مصرف نیتروژن سیاهدانه و شنبليله) تحت تأثیر کوددهی و اثر متقابل تلقیح در الگوی کشت قرار گرفت (شکل ۸). افزایش سطوح کوددهی منجر به افزایش معنی دار کارایی کل مصرف نیتروژن شد (شکل ۸-الف). مشابه با نتایج مشاهده شده برای کارایی زراعی کود نیتروژنه، بیشترین کارایی مصرف نیتروژن از تک کشتی شنبليله در شرایط تلقیح با باکتری حاصل شد. نتایج همچنین به طور کلی نشان می دهد که افزایش نسبت شنبليله در الگوی کشت به ویژه در شرایط تلقیح، منجر به افزایش کارایی کل مصرف نیتروژن شد (شکل ۸-ب) که به طور عمده به دلیل تولید ماده خشک بیش تر نسبت به عملکرد تولیدی سیاهدانه بود (شکل ۸).



شکل ۷. کارایی زراعی کود شیمیایی تحت تأثیر اثر متقابل کوددهی، تلقیح با باکتری و الگوی کشت. B: سیاهدانه، F: شنبليله، B0: عدم تلقیح و B1: تلقیح با باکتری.



شکل ۸. کارایی مصرف نیتروژن کل (سیاهدانه و شنبليله) تحت تأثیر کوددهی (الف) و اثر متقابل تلقیح با باکتری و الگوی کشت (ب). B: سیاهدانه، F: شنبليله، B0: عدم تلقیح و B1: تلقیح با باکتری.

کارایی بالای تک‌کشتی شنبليله و وابستگی افزایش کارایی کوددهی کل به تغییر در نسبت شنبليله، می‌تواند به دلیل تولید اقتصادی بالاتر در این گیاه نسبت به سیاهدانه باشد که سهم عمده‌ای در کارایی کل سیستم دارد. بهبود معنی‌دار کارایی زراعی کود در تیمار ۵۰ درصد توسط تلقیح با باکتری، از طرفی مربوط به بهبود قابل توجه عملکرد و از طرف دیگر کاهش میزان کاربرد کود و بهبود کارایی آن با تلقیح با باکتری، مرتبط بود. در همین رابطه، در مقایسه بین کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و کاربرد تلفیقی کودهای زیستی با ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن در کشت مخلوط ذرت و ریحان، نشان داده شد که از نظر عملکرد زیستی، تیمار تلفیقی باکتری با میزان کاهش یافته کود نیتروژن، پتانسیل قابل قبولی را نشان داده و تفاوت قابل توجهی بین آن با ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مشاهده نشد (Kordi et al., 2020) که با توجه به مقدار کم‌تر مصرف کود بهبود کارایی مصرف کود را در پی داشته است.

در رابطه با بهبود کارایی مصرف نیتروژن کل با کوددهی و تلقیح با باکتری در نسبت‌های مختلف کشت گزارش شده است با وجود این که کود مرغی و تلفیق آن با کودهای شیمیایی مزایای قابل توجهی در مقایسه با کود شیمیایی، برای

تولید زیست‌توده و عملکرد دانه نشان دادند، اما بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن از اعمال کودهای شیمیایی حاصل شده است (Salehi *et al.*, 2018). با وجود این که مزیت کشت مخلوط در بهبود تغذیه گیاهان و کارایی مصرف نیتروژن گزارش شده است (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2021a)، در این مطالعه، دلیل کارایی بالاتر مصرف نیتروژن در تک‌کشتی شنبليله، تولید عملکرد اقتصادی بالاتر نسبت به سیاهدانه بوده است. در همین رابطه، گزارش شد که در کشت مخلوط شنبليله و بالنگوی سیاه، کاربرد ورمی‌کمپوست و کودهای زیستی منجر به افزایش بهره‌وری شد (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2021b).

۴. نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که ترکیب تیماری کودهای شیمیایی و تلقیح با باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن در کشت مخلوط شنبليله و سیاهدانه می‌تواند بهره‌وری در واحد سطح را افزایش دهد. این مطالعه، با به‌کارگیری باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن در سطوح مختلف کاربرد کود شیمیایی، زمینه‌ای برای استفاده مؤثرتر از منابع در کشت مخلوط فراهم کرده که بتوان با اعمال نسبت کشت مناسب ضمن عدم افت معنی‌دار عملکرد در مقادیر کاهش یافته کودهای شیمیایی، کارایی زراعی کوددهی و کارایی مصرف نیتروژن را بهبود داد. طبق نتایج، جهت تولید شنبليله، تک‌کشتی و نسبت بالای شنبليله در الگوی کشت (۲۵:۷۵ شنبليله: سیاهدانه) در شرایط کوددهی و تلقیح با باکتری توصیه می‌شود. با وجود افزایش عملکرد در تک‌کشتی، براساس مقادیر LER کل، نسبت کشت ۷۵:۲۵ شنبليله: سیاهدانه در شرایط کاربرد ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه و تلقیح با باکتری، بهترین نسبت کشت جهت حداکثر بهره‌وری کلی سیستم بود. در موارد محدودیت منابع کودی، با توجه به کارایی قابل‌توجه کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی در شرایط تلقیح با باکتری در همین نسبت کشت نیز می‌تواند قابل‌توصیه باشد.

۵. تشکر و قدردانی

از گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر برای تأمین امکانات انجام این پژوهش قدردانی به‌عمل می‌آید. هم‌چنین از جناب آقای مهندس باباخانی برای مساعدت در اجرای طرح، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Aasfar, A., Bargaz, A., Yaakoubi, K., Hilali, A., Bennis, I., Zeroual, Y., & Meftah Kadmiri, I. (2021). Nitrogen fixing azotobacter species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in Microbiology*, 12, 354. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>
- Abd-Elghany, H. F. A., Meawad, A. A., & Abdelkader, M. A. I. (2017). Growth, yield components and competitive indices of fennel and fenugreek as influenced by intercropping system and phosphorus fertilizer rate. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 44(3), 955-968. <https://doi.org/10.21608/ZJAR.2017.52294>
- Abdi, S. (2019). Evaluation of yield, essential oil percentage and advantage indices in fenugreek and savory intercropping ratios. *Journal of Crops Improvement*, 21(1), 75-92. doi: 10.22059/jci.2019.268917.2110

- Dabeer, S., Rather, M. A., Rasool, S., Rehman, M. U., Alshahrani, S., Jahan, S., ... & Khan, A. (2022). Chapter 1 - History and traditional uses of black seeds (*Nigella sativa*). In A. Khan & M. Rehman (Eds.), *Black Seeds (Nigella Sativa)* (pp. 1-28). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824462-3.00016-0>
- Faridvand, S., Rezaei-Chiyaneh, E., Battaglia, M. L., Gitari, H. I., Raza, M. A., & Siddique, K. H. M. (2021). Application of bio and chemical fertilizers improves yield, and essential oil quantity and quality of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) intercropped with mung bean (*Vigna radiata* L.). *Food and Energy Security*, e319. <https://doi.org/10.1002/fes3.319>
- Ghanbari, J., & Khajoei-Nejad, G. (2021). Integrated nutrient management to improve some soil characteristics and biomass production of saffron. *Industrial Crops and Products*, 166, 113447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113447>
- Gholinezhad, E., & Rezaei-Chiyaneh, E. (2014). Evaluation of grain yield and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(3), 236-249.
- Ghorbanpour, M., Hatami, M., Kariman, K., & Khavazi, K. (2015). Enhanced efficiency of medicinal and aromatic plants by PGPRs. In *Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants* (pp. 43-70). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13401-7_3
- He, Y. T., Zhang, W. J., Xu, M. G., Tong, X. G., Sun, F. X., Wang, J. Z., ... & He, X. H. (2015). Long-term combined chemical and manure fertilizations increase soil organic carbon and total nitrogen in aggregate fractions at three typical cropland soils in China. *Science of The Total Environment*, 532, 635-644. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.011>
- Kordi, S., Salmasi, S. Z., Kolvanagh, J. S., Weisany, W., & Shannon, D. A. (2020). Intercropping system and N₂ fixing bacteria can increase land use efficiency and improve the essential oil quantity and quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 11, 2069. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.610026>
- Li, C., Hoffland, E., Kuyper, T. W., Yu, Y., Zhang, C., Li, H., ... & van der Werf, W. (2020). Syndromes of production in intercropping impact yield gains. *Nature Plants*, 6(6), 653-660. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0680-9>
- Miransari, M. (2011). Soil microbes and plant fertilization. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 92(5), 875-885. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3521-y>
- Rahmati, E., Khalesro, S., & Heidari, G. (2020). Improving quantitative and qualitative yield of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Agroecology*, 11(4), 1261-1273. doi: 10.22067/jag.v11i4.72390
- Rezaei-Chiyaneh, E., Amirnia, R., Amani Machiani, M., Javanmard, A., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2020). Intercropping fennel (*Foeniculum vulgare* L.) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by PGPR inoculation: A strategy for improving yield, essential oil and fatty acid composition. *Scientia Horticulturae*, 261, 108951. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108951>
- Rezaei-Chiyaneh, E., Battaglia, M. L., Sadeghpour, A., Shokrani, F., Nasab, A. D. M., Raza, M. A., & von Cossel, M. (2021a). 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*, 2000269. <https://doi.org/10.1002/adsu.202000269>
- Rezaei-Chiyaneh, E., Mahdavia, H., Battaglia, M. L., Thomason, W. E., & Caruso, G. (2021b). Intercropping and fertilizer type impact seed productivity and secondary metabolites of dragon's head and fenugreek. *Scientia Horticulturae*, 287, 110277. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110277>
- Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Jamali, M., & Ghiyasi, M. (2016). Evaluation of yield and indices advantages at different intercropping patterns of dill (*Anethum graveolens* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). , 8(1), 15-27. doi: 10.22084/ppt.2016.1752

- Salehi, A., Mehdi, B., Fallah, S., Kaul, H.-P., & Neugschwandtner, R. W. (2018). Productivity and nutrient use efficiency with integrated fertilization of buckwheat–fenugreek intercrops. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110(3), 407–425. <https://doi.org/10.1007/s10705-018-9906-x>
- Sarwar, S., Hanif, M. A., Ayub, M. A., Boakye, Y. D., & Agyare, C. (2020). Chapter 20 - Fenugreek. In M. A. Hanif, H. Nawaz, M. M. Khan, & H. J. Byrne (Eds.), *Medicinal Plants of South Asia* (pp. 257-271). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102659-5.00020-3>
- Tilman, D. (2020). Benefits of intensive agricultural intercropping. *Nature Plants*, 6(6), 604-605.
- 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. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118033. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118033>
- Weisany, W., Raeli, Y., & Pertot, I. (2015). Changes in the essential oil yield and composition of dill (*Anethum graveolens* L.) as response to arbuscular mycorrhiza colonization and cropping system. *Industrial Crops and Products*, 77, 295-306. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.003>
- Wondimu, T., Asfaw, Z., & Kelbessa, E. (2007). Ethnobotanical study of medicinal plants around 'Dheeraa' town, Arsi Zone, Ethiopia. *Journal of Ethnopharmacology*, 112(1), 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.02.014>
- Xiao, J., Yin, X., Ren, J., Zhang, M., Tang, L., & Zheng, Y. (2018). Complementation drives higher growth rate and yield of wheat and saves nitrogen fertilizer in wheat and faba bean intercropping. *Field Crops Research*, 221, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.08.010>
- Xu, G., Fan, X., & Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 153–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>