

Biomass Production and Nitrogen Use Efficiency in Dill-Fenugreek Intercropping in Response to Biofertilizers and Manure

Vahid Babakhani¹, Enayatollah Tohidi-Nejad^{2,3*}, Gholamreza Khajoei-Nejad^{2,3},
Jalal Ghanbari^{2,3}

Received: 27 October 2021 Accepted: 19 March 2023

1-MSc Student in Agronomy- Crop Ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

2- Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

3- Research and Technology Institute of Plant Production, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

*Corresponding Author Email: e_tohidi@uk.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Medicinal plants' intercropping system is a relatively new approach to enhance their sustainable production. Improving plant nutrition through integrated nutrient management can increase the efficiency of intercropping systems. The aim of this study was to evaluate the response of fenugreek-dill to the application of manure and biofertilizers in the intercropping system.

Materials and Methods: The effect of manure levels (no application, 6, and 12 t.ha⁻¹), and N-fixing bacteria (inoculation and no-inoculation) in different intercropping patterns of dill + fenugreek (25% + 75%, 50% + 50%, 75% + 25%, and dill and fenugreek monoculture) were examined during the growing season of 2020. Biomass production, advantageous indices, agronomy efficiency of fertilizer (AEF), and nitrogen use efficiency (NUE) were evaluated.

Results: The results showed that in no application of manure, biomass production of fenugreek decreased in intercropping patterns compared to monoculture. Application of 12 t.ha⁻¹ manure with bacterial inoculation compensated yield reduction in 25% dill + 75% fenugreek, and 50% dill + 50% fenugreek intercropping ratios. Similarly, the reduction in dill cropping ratio decreased dill biomass production compared with monoculture. Biomass production of dill under bacterial inoculation and 6 t.ha⁻¹ manure application did not show any significant difference with 12 t.ha⁻¹ which led to increased AEF, NUE, and LER.

Conclusion: According to the results, 25% dill + 75% fenugreek, and 50% dill + 50% fenugreek intercropping ratios under 12 t.ha⁻¹ manure application and bacterial inoculation can increase the total advantageous and NUE. While 12 t.ha⁻¹ manure application inoculated with bacteria and monoculture were the best conditions for the production of fenugreek, for sustainable production of dill, 75% dill + 25% fenugreek intercropping ratio inoculated with bacteria in 6 t.ha⁻¹ manure application can be recommended.

Keywords: Agronomic Efficiency of Fertilizer, Growth Promoting Bacteria, Land Equivalent Ratio, Land Use Efficiency, Legumes, Medicinal Plants

تولید زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط شوید-شنبليله در پاسخ به کودهای زیستی و دامی

وحید باباخانی^۱، عنایت‌الله توحیدی نژاد^{۲*}، غلامرضا خواجهی نژاد^۳، جلال قنبری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت-اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
 - ۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
 - ۳- پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
- *مسئول مکاتبه: Email: e_tohidi@uk.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: سیستم کشت مخلوط گیاهان دارویی رویکردی نسبتاً جدید در جهت افزایش پایداری تولید این گیاهان است. بهبود تغذیه گیاهی از طریق مدیریت تغذیه تلفیقی می‌تواند منجر به افزایش کارایی سیستم‌های کشت مخلوط شود. هدف از این آزمایش بررسی پاسخی شویید و شنبليله به کاربرد کودهای آلی و زیستی در کشت مخلوط بود.

مواد و روش‌ها: اثر سطوح کود دامی (عدم کاربرد، ۶ و ۱۲ تن در هکتار) و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (تلقیح و عدم تلقیح) در الگوهای مختلف کشت مخلوط شویید+ شنبليله (۲۵ درصد+۷۵ درصد، ۵۰ درصد+۵۰ درصد، ۷۵ درصد+۲۵ درصد و کشت خالص هر گیاه) در فصل رشد ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفت. تولید زیست‌توده، شاخص‌های سودمندی، کارایی زراعی کود و کارایی مصرف نیتروژن ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در شرایط عدم کوددهی، زیست‌توده شنبليله در الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش یافت. کاربرد ۱۲ تن کود دامی به همراه تلقیح باکتری، کاهش عملکرد را در نسبت‌های کشت ۲۵ درصد شویید+۷۵ درصد شنبليله و ۵۰ درصد شویید+۵۰ درصد شنبليله جبران نمود. به‌طور مشابه، کاهش نسبت کشت شویید، زیست‌توده شویید را نسبت به کشت خالص کاهش داد. تولید زیست‌توده شویید در شرایط تلقیح با باکتری و ۶ تن کود دامی تفاوت معنی‌داری با کوددهی ۱۲ تن نشان نداد که منجر به افزایش کارایی کود، کارایی مصرف نیتروژن و سودمندی کل شد.

نتیجه‌گیری: نسبت‌های کشت مخلوط ۲۵ درصد شویید+۷۵ درصد شنبليله و ۵۰ درصد شویید+۵۰ درصد شنبليله در شرایط کاربرد ۱۲ تن کود دامی و تلقیح باکتری می‌تواند منجر به افزایش سودمندی کل و کارایی مصرف نیتروژن شود. در حالی که بهترین شرایط برای تولید شنبليله کاربرد ۱۲ تن کود دامی و تلقیح با باکتری در کشت خالص بود، جهت تولید پایدار شویید، نسبت کشت ۷۵ درصد شویید+۲۵ درصد شنبليله در شرایط کاربرد ۶ تن کود دامی و تلقیح با باکتری قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های محرک رشد، بقولات، کارایی استفاده از زمین، کارایی زراعی کود، گیاهان دارویی، نسبت برابری زمین

مقدمه

امروزه گیاهان دارویی در سراسر جهان نقش مهمی در سلامت انسان ایفا می‌کنند. علاوه بر این، بسیاری از ترکیبات مؤثره گیاهان دارویی به‌طور گسترده در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (واندیمو و همکاران ۲۰۰۷). شنبليله (*Trigonella foenum-groecum* L.) گیاهی دارویی یک‌ساله متعلق به خانواده بقولات است. این گیاه حاوی ترکیبات مؤثره فراوانی است که برای درمان سرماخوردگی، آب مروارید، آنفلوانزا، یبوست، آسم، ذات‌الریه، سل، گلو درد و سینوزیت، دیابت و تقویت سیستم ایمنی بدن استفاده می‌شود. از خواص دیگر آن می‌توان به فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ضد توموری، ضد باکتریایی و ضد انگلی اشاره کرد (سرور و همکاران ۲۰۲۰).

شوید (*Anethum graveolens* L.) یک گیاه مهم دارویی - صنعتی، از خانواده چتریان^۱ است که علاوه بر کاربرد به عنوان طعم‌دهنده غذا، در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود. از خواص مختلف شوید می‌توان به خصوصیات ضدالتهاب، ضد درد، ضد میکروبی، و همچنین محافظ مخاط معده، شل‌کننده عضلات و بسیاری از اثرات دارویی دیگر اشاره کرد (محسین و همکاران ۲۰۲۰).

سلامت انسان و جامعه به منابع غذایی کافی و ایمن و همچنین محیطی پایدار نیازمند است. افزایش چشم‌گیر عملکرد محصولات زراعی در دهه‌های گذشته، حاصل مدیریت فشرده کشاورزی بوده که آثار زیست محیطی جدی در پی داشته است. بنابراین، امروزه برای دستیابی به بازدهی بالا، نیاز به به‌کارگیری روش‌های کارآمد و سازگار زیست محیطی بیش از پیش احساس می‌شود (تیلمن ۲۰۲۰). نسخه‌های مدرن کشاورزی باستانی^۲ از جمله کشت مخلوط، این پتانسیل را دارد که عملکرد محصولات را افزایش و اثرهای محیطی کشاورزی فشرده را کاهش دهد (لی و همکاران ۲۰۲۰).

کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص، می‌تواند با استفاده مؤثرتر از منابع، ضمن افزایش تولید در واحد سطح و بهبود بهره‌وری زمین (گیلفوس ۲۰۱۹، تیلمن ۲۰۲۰)، کارایی جذب عناصر غذایی را افزایش داده که می‌تواند به عنوان راهکاری برای کاهش کاربرد و هدررفت عناصر پرمصرف به خصوص نیتروژن مد نظر قرار گیرد (قربان‌پور و همکاران ۲۰۱۵). امروزه تحقیقات در زمینه افزایش بهره‌وری مزارع با به کارگیری کشت مخلوط گیاهان دارویی و بقولات در حال افزایش است. به عنوان مثال، مزیت نسبت‌های مختلف کشت مخلوط شنبليله و شوید (یوسف‌نیا و همکاران ۲۰۱۴) و شنبليله و رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) (عبدالغنی و همکاران ۲۰۱۷) نسبت به کشت خالص نشان داده شده است. همچنین، گزارش شد که بیشترین عملکرد زیستی شنبليله و شوید به‌ترتیب از کشت خالص و نسبت ۱:۳ شوید: شنبليله و بیشترین نسبت برابری زمین از نسبت ۲:۲ حاصل شد (رضائی‌چپانه و همکاران ۲۰۱۶).

در دهه‌های اخیر، اهمیت کودهای آلی در رشد گیاهان مورد توجه قرار گرفته است. این امر عمدتاً به دلیل تأمین عناصر برای گیاهان و همچنین محتوای مواد آلی موجود در کودهای آلی بوده که به دلیل نقش آن‌ها در ساختار خاک، فرایندهای بیولوژیکی و چرخه عناصر غذایی، تأثیر مثبتی بر کیفیت و سلامت خاک می‌گذارد (قنبری و خواجویی نژاد ۲۰۲۱). از طرف دیگر، استفاده از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به دلیل نقش بالقوه آن‌ها در تولید غذای سالم، بهبود عملکرد محصول و افزایش کارایی مصرف عناصر (به ویژه نیتروژن) از اهمیت ویژه‌ای در بخش کشاورزی برخوردار بوده و پتانسیل آن‌ها در کاهش مقدار کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنه نشان داده شده است (کردی و همکاران ۲۰۲۰، آصفر و همکاران ۲۰۲۱). بررسی اثر الگوهای کشت مخلوط رازیانه و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط کاربرد و عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد

^۲ Ancient agriculture^۱ Apiaceae

بیشترین عملکرد زیست‌توده با اعمال ۱۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست از تلقیح و مخلوط‌پاشی کود زیستی حاصل شد (درزی و هادی ۲۰۱۲).

طبق تحقیقات انجام شده، از آنجا که کودهای زیستی به طور کامل از کارایی لازم برای تأمین تمام عناصر غذایی مورد نیاز گیاه برخوردار نیستند، تأمین عناصر از طریق کاربرد منابع کودی ضروری است. با این حال، افزایش کارایی مصرف کودهای دامی با توجه به سرعت پایین آزادسازی عناصر نیز امری ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، کاربرد کودهای زیستی می‌تواند در افزایش کارایی منابع مختلف کودی مؤثر باشد (میرانصاری ۲۰۱۱). بر این اساس، هدف از این مطالعه بررسی پتانسیل باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در افزایش بهره‌وری، افزایش کارایی مصرف کودهای آلی و کارایی مصرف نیتروژن در کشت مخلوط شوید و شنبليله بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان (طول جغرافیایی ۵۷° و ۰۷° شرقی، عرض جغرافیایی ۳۰° و ۱۴° شمالی و ارتفاع ۱۷۷۴ متر از سطح دریا)، طی فصل رشد ۱۳۹۹ انجام شد. جهت ارزیابی خصوصیات مختلف فیزیکی-شیمیایی خاک مزرعه، نمونه‌برداری در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر انجام و پس از مخلوط کردن، دو نمونه به آزمایشگاه منتقل شد. خصوصیات مختلف خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

نشان داد که بیشترین عملکرد دانه لوبیا معمولی و رازیانه از کشت خالص در شرایط کاربرد باکتری‌ها حاصل شد و کاربرد این باکتری‌ها بهره‌وری کشت مخلوط را افزایش داد (رضائی‌چپانه و همکاران ۲۰۲۰). کردی و همکاران (۲۰۲۰) اثر تلقیح با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (*Azospirillum brasilense*) و *Azotobacter chroococcum* را در کاهش ۵۰ درصد کود شیمیایی در کشت مخلوط افزایشی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) بررسی و گزارش کردند که در هر دو سیستم کشت، کاربرد این باکتری‌ها عملکرد تر و خشک و نسبت برابری زمین را در مقایسه با شاهد افزایش داد. در مقابل این باکتری‌ها از کارایی لازم در کشت مخلوط باقلا (*Vicia faba* L.) و بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica*) در شرایط کاربرد تلفیقی با ۵۰ درصد کودهای شیمیایی در برابر اعمال ۱۰۰ درصد کودهای شیمیایی برخوردار نبودند (وفادار ینگجه و همکاران ۲۰۱۸).

در مطالعه‌ای دیگر، بیشترین عملکرد دانه ماش (*Vigna radiata* L.) و بادرشبویه در کشت خالص و با کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی و کود زیستی حاصل شد، در حالی که بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۳۵) در تیمار کشت مخلوط ۲:۳ تغذیه شده با ۵۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی حاصل شد (فریوند و همکاران ۲۰۲۱). همچنین در کشت شوید، اثر کاربرد مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست (۰، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار) و کود زیستی و ترکیبی از *Azotobacter chroococcum* و *Azospirillum lipoferum* بررسی و گزارش شد که

جدول ۱- خصوصیات مختلف کود دامی مورد استفاده و خاک محل اجرای آزمایش واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان

| قابلیت هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹) | اسیدیته | وزن مخصوص ظاهری (g.cm ⁻³) | ماده آلی (%) | ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmol(+) kg ⁻¹) | نیتروژن (%) | فسفر قابل دسترس (%) | پتاسیم (%) | بافت | بافت |
|---|-------------|---------------------------------------|--------------|---|-------------|---------------------|------------|---------|----------|
| ۱/۹ | ۷/۹۰ | ۱/۵۹ | ۰/۳۸ | ۷/۳۴ | ۰/۱۵ | ۰/۰۰۰۷۶ | ۰/۰۳۶۱ | لوم شنی | خاک |
| ۱ (۵:۱۰۰) | ۹/۵ (۵:۱۰۰) | - | ۳۰/۷ | - | ۱/۲ | ۰/۸۴ | ۰/۵۰ | - | کود دامی |

خالص شنبلیله به طور کامل با سیستم ریشه‌ای برداشت شد. پس از شستشو، گره‌های ریشه شمارش و وزن خشک ریشه پس از خشک کردن ریشه در آون (دمای ۷۵ درجه برای ۲۴ ساعت) ارزیابی شد. در پایان فصل رشد (۲۶ شهریور برای شوید و ۲۵ مهر ۱۳۹۹ برای شنبلیله)، عملیات برداشت با حذف یک متر از دو طرف هر ردیف، از یک متر وسط ردیف‌ها انجام شد. صفات مورفولوژیک شامل، ارتفاع بوته و تعداد شاخه در شوید مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای تعیین عملکرد زیستی و عملکرد دانه، نمونه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در آون خشک و سپس با ترازو وزن شدند. شاخص برداشت شنبلیله و شوید بر اساس رابطه (۱) تعیین شد.

$$\text{HI (\%)} = \left(\frac{\text{SY}}{\text{BY}} \right) \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

HI: شاخص برداشت، BY: عملکرد زیستی، SY: عملکرد دانه

برای مقایسه و برآورد مزیت کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص از نسبت برابری زمین (LER) استفاده شد. برای محاسبه LER، عملکرد حاصل از کشت مخلوط نسبت به عملکرد کشت خالص ارزیابی می‌شود. در پژوهش حاضر، از عملکرد بیولوژیک برای محاسبه شاخص‌های مختلف استفاده شده است.

$$\text{LER} = \left(\frac{Y_{fd}}{Y_f} \right) + \left(\frac{Y_{df}}{Y_d} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که Y_f و Y_d محصول حاصل از شنبلیله و شوید در کشت خالص و Y_{fd} و Y_{df} به ترتیب عملکرد شنبلیله و شوید در کشت مخلوط هستند. مقادیر $\text{LER} > 1$ برتری سیستم کشت مخلوط را در مصرف منابع محیطی برای رشد و تولید گیاه نسبت به کشت خالص نشان می‌دهد و هنگامی که $\text{LER} < 1$ باشد، منابع در تولید کشت خالص به‌طور مؤثرتری نسبت به سیستم کشت مخلوط استفاده شده است (کردی و همکاران ۲۰۲۰).

این آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل اصلی شامل استفاده از سطوح مختلف کود دامی شامل: صفر (شاهد)، ۶ و ۱۲ تن در هکتار به ترتیب معادل کاربرد صفر، ۷۲ و ۱۴۴ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (محاسبه شده بر اساس محتوای نیتروژن کود دامی (۱/۲ درصد؛ جدول ۱) و مقدار کاربرد در هر سطح کود دامی) بود. عامل فرعی شامل کاربرد و عدم کاربرد کود زیستی (تحت نام تجاری ازتوبارور-۱، *Pantoea agglomerans strain Q4* تهیه شده از شرکت زیست فناوری سبز (10^7 CFU ml^{-1})) و عامل فرعی فرعی شامل الگوهای مختلف کشت (کشت خالص شوید و شنبلیله، ۷۵ درصد شنبلیله + ۲۵ درصد شوید، ۵۰ درصد شنبلیله + ۵۰ درصد شوید، ۲۵ درصد شنبلیله + ۷۵ درصد شوید) بود.

بذرهای شنبلیله و شوید از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه و قبل از کاشت با باکتری تلقیح شد. باکتری قبل از مرحله گل‌دهی به میزان ۲ لیتر در هکتار (کردی و همکاران ۲۰۲۰) مجدداً همراه با آب آبیاری اعمال شد. بر این اساس، جهت پخش شدن بهتر مایه تلقیح رقیق شده به نسبت ۱:۱۰ تلقیح به ازای هر متر مربع کرت همراه با آبیاری اعمال گردید.

بعد از آماده سازی زمین در فروردین ماه ۱۳۹۹، تیمار کود آلی براساس میزان هر تیمار در بستر کاشت اعمال شده و با خاک مخلوط شد. بذر گیاهان مورد بررسی در کرت‌هایی به مساحت ۳ متر مربع و در عمق ۱/۵ سانتی‌متری کاشته شد که شامل ۴ ردیف ۲ متری به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر برای هر دو گیاه بود (امید بیگی ۲۰۱۱). هر دو گیاه در تاریخ ۱۳۹۹/۲/۲۳ کاشته شدند. تمام کرت‌ها بلافاصله پس از کاشت آبیاری شدند و آبیاری حسب نیاز انجام شد. وجین علف‌های هرز به صورت دستی و عملیات داشت به‌طور یکنواخت برای تمام کرت‌ها انجام شد. پس از استقرار بوته‌ها، به منظور دستیابی به تراکم مورد نظر (۸۰ بوته در متر مربع)، بوته‌های شنبلیله و شوید تنک شدند.

به منظور ارزیابی تأثیر کوددهی و تلقیح با باکتری بر خصوصیات ریشه شنبلیله به عنوان گونه تثبیت کننده ازت، در مرحله گل‌دهی شنبلیله پنج گیاه از کشت

نسبت برابری زمان-سطح^۳ (ATER) طبق معادله زیر محاسبه شد:

$$\text{ATER} = \frac{((Y_{fd} \div Y_f) \times t_f) + ((Y_{df} \div Y_d) \times t_d)}{T} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که: Y_{fd} = عملکرد شنبلیله در کشت مخلوط، Y_f = عملکرد شنبلیله در کشت خالص، Y_{df} = عملکرد شویید در کشت مخلوط، Y_d = عملکرد شویید در کشت خالص، t_f = دوره رشد شنبلیله (روز)، t_d = دوره رشد شویید (روز) و T طول دوره رشد سیستم کشت مخلوط بر حسب روز است (عبدالغنی و همکاران ۲۰۱۷).

کارایی بهره‌برداری از زمین^۴ (LUE) با استفاده از مقادیر LER و ATER، بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{LUE} (\%) = \left(\frac{\text{LER} + \text{ATER}}{2} \right) \times 100 \quad (\text{رابطه ۴})$$

کارایی زراعی کود

کارایی زراعی کود^۵ (AEF) برای ارزیابی کارایی مصرف کود دامی در سیستم‌های کشت مخلوط و کشت خالص در مطالعه حاضر استفاده شد.

$$\text{AEF} (\text{kg kg}^{-1}) = (Y_t - Y_0) / \text{FN} \quad (\text{رابطه ۵})$$

Y_t : عملکرد زیستی تولید شده (کیلوگرم در هکتار) به ازای مقدار معین کاربرد کود (FN: کیلوگرم در هکتار نیتروژن) و Y_0 : عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار) اندازه‌گیری شده در تیمار شاهد (بدون کاربرد کود و باکتری) بود (زو و همکاران ۲۰۱۲).

همچنین، کارایی مصرف نیتروژن (NUE) برای هر محصول براساس رابطه زیر (رابطه ۶) با توجه به عملکرد زیستی تولید شده برای هر محصول (BY) به ازای عنصر مصرف شده در واحد سطح (نیتروژن موجود در خاک و معادل نیتروژن اضافه شده توسط کود دامی (TN)) برای تولید آن محصول محاسبه شد (قنبری و خواجوی نژاد ۲۰۲۱). جهت بررسی کارایی مصرف نیتروژن کل، مجموع کارایی مصرف نیتروژن در دو گیاه با توجه به عملکرد زیستی تولیدی در الگوی کاشت مورد نظر محاسبه و سپس مورد آنالیز قرار گرفت.

$$\text{NUE} (\text{g g}^{-1}) = (\text{BY}) / \text{TN} \quad (\text{رابطه ۶})$$

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از SAS ver 9.0 انجام شد. آزمون حداقل تفاوت آماری معنی‌دار (LSD) نیز برای تعیین تفاوت بین میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد مورد استفاده قرار گرفت. رسم شکل‌ها توسط نرم افزار Excel ver 2016 انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد زیستی، شاخص برداشت و کارایی مصرف نیتروژن شنبلیله

عملکرد زیستی و کارایی مصرف نیتروژن تحت تأثیر کوددهی، تلقیح با باکتری و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت. ولی شاخص برداشت شنبلیله تحت تأثیر عوامل مورد بررسی و اثر متقابل آن‌ها قرار نگرفت (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات شنبلیله در کشت مخلوط با شویید

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | |
|--------------------------|------------|--------------------|----------------------|
| | | عملکرد زیستی | کارایی مصرف نیتروژن |
| بلوک | ۲ | ۷۹۰۴ | ۰/۰۱۵ |
| کود | ۲ | ۵۶۱۲۲** | ۰/۰۹۷** |
| بلوک × کود | ۴ | ۳۹۳ | ۰/۰۰۰۸ |
| باکتری | ۱ | ۱۲۵۶۴۰** | ۰/۲۴۰** |
| کود × باکتری | ۲ | ۱۲۲۰ ^{ns} | ۰/۰۰۲۲ ^{ns} |
| بلوک × باکتری (کود) | ۶ | ۲۵۶۸ | ۰/۰۰۶۸ |
| الگوی کشت | ۳ | ۲۰۳۶۱۵** | ۰/۳۸۹** |
| کود × الگوی کشت | ۶ | ۱۵۱۴ ^{ns} | ۰/۰۰۲۶ ^{ns} |
| باکتری × الگوی کشت | ۳ | ۱۴۸۶ ^{ns} | ۰/۰۰۲۹ ^{ns} |
| کود × باکتری × الگوی کشت | ۶ | ۴۱۲۶** | ۰/۰۰۷۹** |

^۵ Agronomic efficiency of fertilizer

^۳ Area-time equivalent ratio

^۴ Land use efficiency

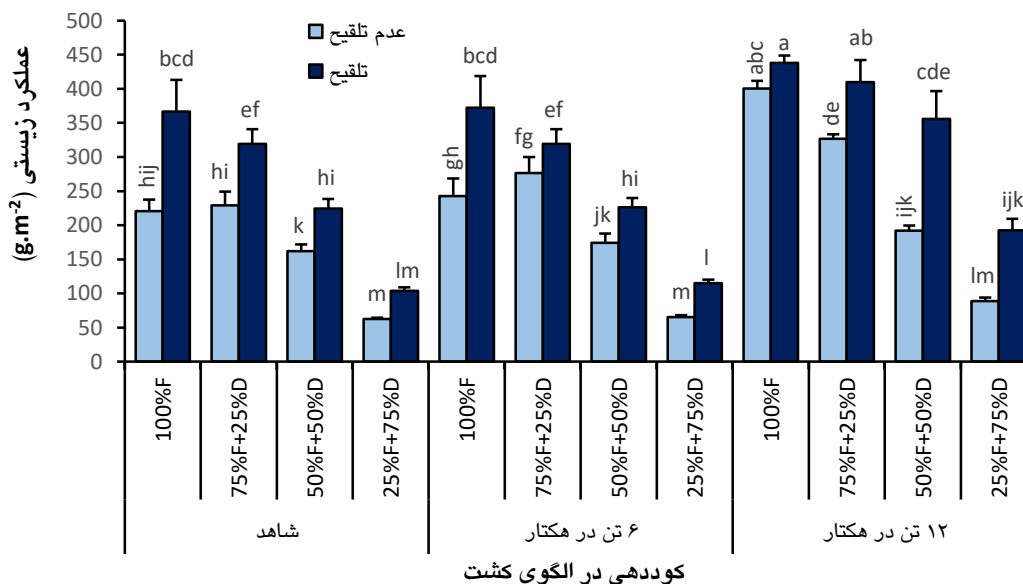
| خطا | ۳۶ | ۷۹۳ | ۰/۰۰۱۵ | ۳۲/۵ |
|------------------|----|------|--------|------|
| ضریب تغییرات (%) | - | ۱۱/۵ | ۱۱/۵ | ۲۰/۲ |

ns و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار می باشد.

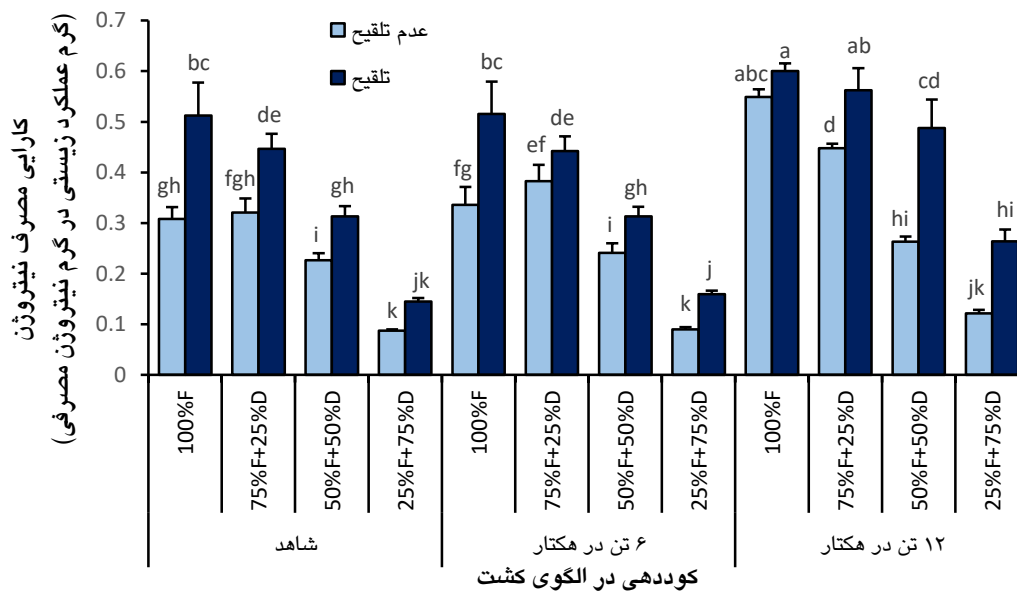
همان طور که مشاهده می شود بیشترین عملکرد زیستی و کارایی مصرف نیتروژن از کشت خالص شنبليله با کاربرد ۱۲ تن کود دامی و تلقیح با باکتری تثبیت کننده نیتروژن حاصل شد (شکل های ۱ و ۲). در شرایط کاربرد ۱۲ تن کود دامی، تلقیح با باکتری اثر معنی داری بر عملکرد زیستی و کارایی مصرف نیتروژن در کشت خالص نداشت. در این سطح کوددهی، تلقیح با باکتری اثر بارزتری بر صفات ذکر شده در نسبت های کشت مخلوط داشت. این در حالی بود که با کاهش مقدار کود (۶ تن در هکتار و شاهد)، تلقیح با باکتری اثر بیشتری بر افزایش عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن در کشت خالص نشان داد.

از طرف دیگر، نتایج نشان داد که در شرایط عدم تلقیح و اعمال ۱۲ تن کود دامی، افزایش معنی داری در

زیست توده در کشت خالص مشاهده شد که نشان می دهد کوددهی می تواند با کاهش رقابت درون گونه ای برای عناصر غذایی در بهبود عملکرد در این شرایط مؤثر واقع شده (شکل ۱) و کارایی مصرف نیتروژن را بهبود دهد (شکل ۲). علاوه بر این، تلقیح در سطح کوددهی ۱۲ تن در هکتار در نسبت های ۷۵ درصد شنبليله + ۵۰ درصد شوید و ۲۵ درصد شوید و ۵۰ درصد شنبليله + ۵۰ درصد شوید عملکرد شنبليله را بهبود داده و با کشت خالص تفاوت معنی داری نشان نداد (شکل ۱). پذیرفته شده ترین دلیل پیشنهاد شده در این مورد مربوط به تفاوت استفاده از منابع در دسترس برای رشد توسط گونه ها است که به صورت مکمل عمل کرده و از منابع به شکل کارآمدتری استفاده می کنند (عبدالغنی و همکاران ۲۰۱۷).



شکل ۱- عملکرد زیستی شنبليله تحت ترکیبات تیماری کوددهی، تلقیح با باکتری و الگوی کشت F: شنبليله، D: شوید



شکل ۲- کارایی مصرف نیتروژن شنبليله تحت تركيبات تیماری کودهی، تلقیح با باکتری و الگوی کشت
F: شنبليله، D: شوید

۶ تن در هکتار کود دامی تفاوت معنی داری با شاهد نشان نداد، اما کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود دامی به ترتیب ۹۵ و ۹۳ درصد وزن خشک ریشه و تعداد گره را نسبت به شاهد افزایش داد.

وزن خشک ریشه و تعداد گره در ریشه شنبليله
وزن خشک ریشه و تعداد گره در ریشه شنبليله تحت تأثیر سطوح کودی قرار گرفت اما تلقیح باکتریایی و اثر متقابل کود در باکتری اثری بر این صفات نداشت (جدول ۳). همان طور که جدول ۴ نشان می دهد، کاربرد

جدول ۳- تجزیه واریانس وزن خشک و تعداد گره ریشه شنبليله

| میانگین مربعات | | درجه آزادی | منابع تغییر |
|--------------------|--------------------|------------|------------------|
| تعداد گره | وزن خشک ریشه | | |
| ۱۶/۷ | ۰/۳۴ | ۲ | بلوک |
| ۵۲۷۰ ^{**} | ۱/۰۷ ^{**} | ۲ | کود |
| ۱۱۴ | ۰/۰۵ | ۴ | بلوک × کود |
| ۳۴۷ ^{ns} | ۰/۶۸ ^{ns} | ۱ | باکتری |
| ۴۷۷ ^{ns} | ۰/۳۰ ^{ns} | ۲ | کود × باکتری |
| ۱۷۳ | ۰/۱۳ | ۶ | خطا |
| ۱۸/۱ | ۲۹/۸ | - | ضریب تغییرات (%) |

^{**} و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک درصد و عدم تفاوت معنی داری باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین سطوح کود دامی از لحاظ وزن خشک ریشه و تعداد گره در ریشه شنبليله

| سطوح کود دامی | وزن خشک ریشه در بوته (g) | تعداد گره در بوته |
|----------------|--------------------------|-------------------|
| شاهد | ۰/۸۶ ^b | ۵۵/۳ ^b |
| ۶ تن در هکتار | ۱/۱۰ ^b | ۵۵/۷ ^b |
| ۱۲ تن در هکتار | ۱/۶۸ ^a | ۱۰۷ ^a |

میانگین های دارای حروف مشترک برای هر صفت، فاقد اختلاف آماری معنی دار براساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می باشند.

گرفتند (جدول ۵). کاهش نسبت شوید در کشت مخلوط عملکرد زیستی و کارایی مصرف نیتروژن را به ترتیب ۲۰، ۴۷ و ۷۶ درصد نسبت به کشت خالص آن کاهش داد. همچنین عملکرد زیستی و کارایی مصرف نیتروژن با تلقیح باکتری در شرایط کاربرد ۶ تن در هکتار کود دامی نسبت به عدم تلقیح، ۵۳ درصد افزایش یافت به طوری که با شرایط کاربرد ۱۲ تن کود دامی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل‌های ۳ و ۴).

کارایی تلقیح باکتری در شوید در شرایط اعمال ۶ تن در هکتار کود دامی بیشتر بود که نشان می‌دهد اگرچه اعمال ۱۲ تن در هکتار کود دامی تولید زیست‌توده را نسبت به عدم کاربرد کود افزایش داد، اما تلفیق کاربرد ۶ تن در هکتار کود دامی با تلقیح باکتریایی نیز نتیجه مشابهی در برداشت (شکل‌های ۳ و ۴). به طور کلی به نظر می‌رسد تلقیح با کودهای زیستی به دلیل افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی، به خصوص در شرایط اعمال کودهای دامی، می‌تواند شرایط را برای رشد و در نتیجه افزایش زیست‌توده در هر دو گونه گیاه در کشت مخلوط بهبود دهد (رضائی‌چیان و همکاران ۲۰۲۱).

افزایش عملکرد شنبليله با کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود دامی، می‌تواند به افزایش وزن خشک ریشه و تعداد گره مربوط باشد (جدول ۴). تحقیقات قبلی نشان داد که کودهای آلی با بهبود خصوصیات خاک منجر به بهبود رشد ریشه و افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی و آب و در نهایت بهبود عملکرد گیاهان خواهند شد (هی و همکاران ۲۰۱۵). گزارش شده کاربرد کودهای آلی و زیستی با افزایش جذب عناصر غذایی، در افزایش عملکرد دانه و اسانس بالنگو و شنبليله مؤثر بودند. همچنین، در تمام الگوهای مخلوط، اعمال کودهای زیستی و آلی (ورمی‌کمپوست) در بیشتر پارامترها بیشترین مقادیر را به همراه داشت (رضائی‌چیان و همکاران ۲۰۲۱).

عملکرد زیستی، کارایی مصرف نیتروژن و شاخص برداشت شوید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد زیستی و کارایی مصرف نیتروژن تحت تأثیر کوددهی، تلقیح با باکتری، الگوی کشت و اثر متقابل کود در باکتری قرار

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در شوید

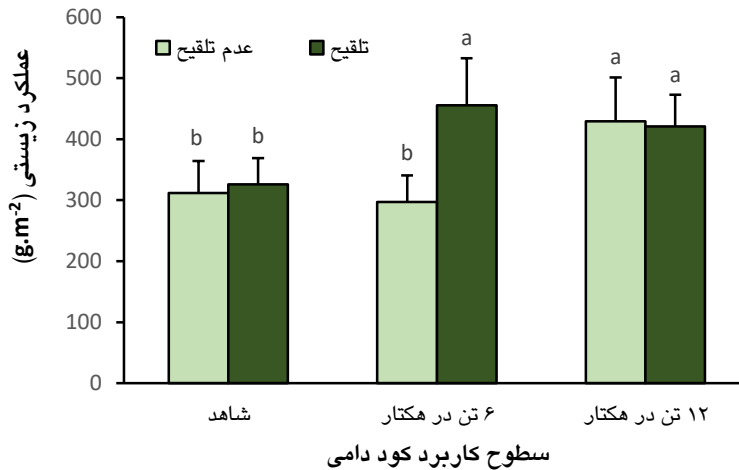
| میانگین مربعات | | | | | | |
|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------|--------------------------|
| شاخص برداشت | کارایی مصرف نیتروژن | عملکرد زیستی | تعداد شاخه در بوته | ارتفاع بوته | درجه آزادی | منابع تغییر |
| ۲۹/۲ | ۰/۰۰۶۵ | ۳۳۷۱ | ۷/۳۰ | ۱۱۵ | ۲ | بلوک |
| ۱۶۶۶* | ۰/۱۱۳* | ۶۷۷۳۲* | ۱۹/۴ ^{ns} | ۲۲۸ ^{ns} | ۲ | کود |
| ۹۸/۷ | ۰/۰۱۶ | ۸۴۸۹ | ۱۹/۰ | ۷۷/۱ | ۴ | بلوک × کود |
| ۵۶/۷ ^{ns} | ۰/۱۰۴* | ۵۴۲۵۲* | ۳۶/۷ ^{ns} | ۳۰۰ ^{ns} | ۱ | باکتری |
| ۶۵/۸ ^{ns} | ۰/۰۹۴* | ۴۸۹۶۰* | ۸/۸۶ ^{ns} | ۱۴۸ ^{ns} | ۲ | کود × باکتری |
| ۷۲/۰ | ۰/۰۱۵ | ۷۵۲۱ | ۱۲/۰ | ۱۰۸ | ۶ | بلوک × باکتری (کود) |
| ۴۴۷** | ۱/۲۷** | ۶۶۲۶۶** | ۸/۵۰ ^{ns} | ۲۴۰ ^{ns} | ۳ | الگوی کشت |
| ۷۶/۴ ^{ns} | ۰/۰۱۸ ^{ns} | ۹۸۷۹ ^{ns} | ۶/۱۲ ^{ns} | ۱۰۱ ^{ns} | ۶ | کود × الگوی کشت |
| ۲۳/۵ ^{ns} | ۰/۰۰۵۲ ^{ns} | ۲۶۵۹ ^{ns} | ۴/۷۱ ^{ns} | ۲۷/۲ ^{ns} | ۳ | باکتری × الگوی کشت |
| ۱۳۱ ^{ns} | ۰/۰۴۷ ^{ns} | ۲۴۵۶۹ ^{ns} | ۱۳/۴ ^{ns} | ۱۶۲ ^{ns} | ۶ | کود × باکتری × الگوی کشت |
| ۹۳/۵ | ۰/۰۲۱ | ۱۱۰۸۰ | ۶/۶۶ | ۹۲/۰ | ۳۶ | خطا |
| ۳۴/۸ | ۲۸/۲ | ۲۸/۲ | ۲۴/۳ | ۱۱/۳ | - | ضریب تغییرات (%) |

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌داری باشد.

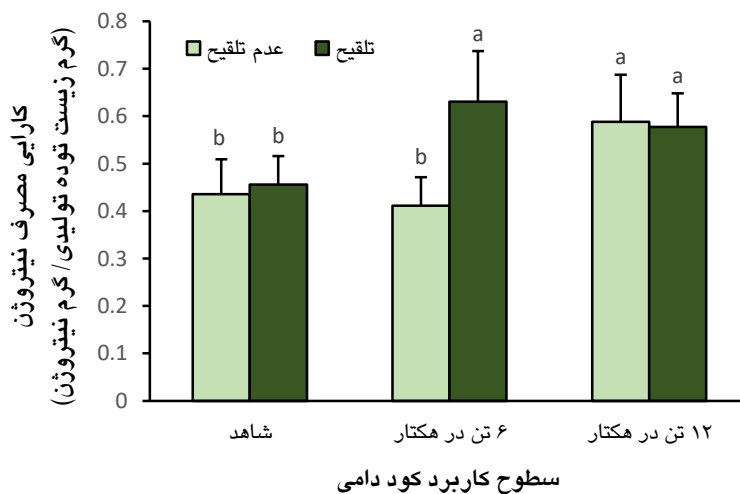
جدول ۶- اثر تلقیح با باکتری و الگوی کشت بر تولید زیست توده، شاخص برداشت و کارایی مصرف نیتروژن شوید

| کارایی مصرف نیتروژن (گرم زیست توده تولیدی/گرم نیتروژن) | عملکرد زیستی (g.m ⁻²) | تیمار |
|---|--------------------------------------|-----------------|
| ۰/۴۸۰ ^b | ۳۴۶ ^b | تلقیح با باکتری |
| ۰/۵۵۵ ^a | ۴۶۷ ^a | عدم تلقیح |
| ۰/۸۰۵ ^a | ۵۸۱ ^a | تلقیح |
| ۰/۶۴۵ ^b | ۴۶۷ ^b | الگوی کاشت |
| ۰/۴۲۰ ^c | ۳۰۶ ^c | 100%D |
| ۰/۱۹۵ ^d | ۱۴۱ ^d | 25%F+75%D |
| | | 50%F+50%D |
| | | 75%F+25%D |

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



شکل ۳- عملکرد زیستی شوید تحت ترکیبات تیماری کوددهی و تلقیح با باکتری

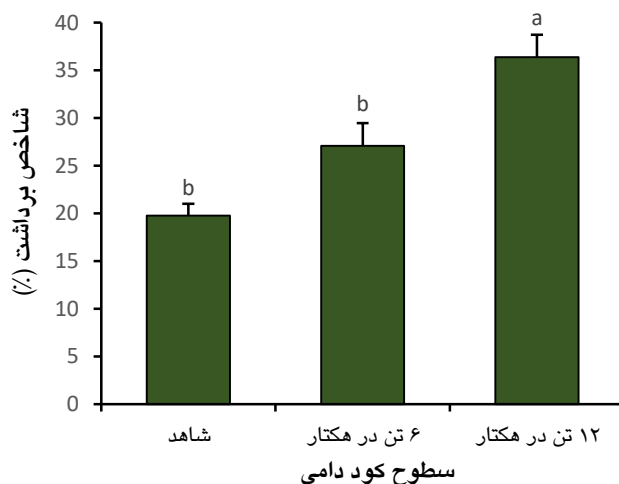


شکل ۴- کارایی مصرف نیتروژن شوید تحت ترکیبات تیماری کوددهی و تلقیح با باکتری

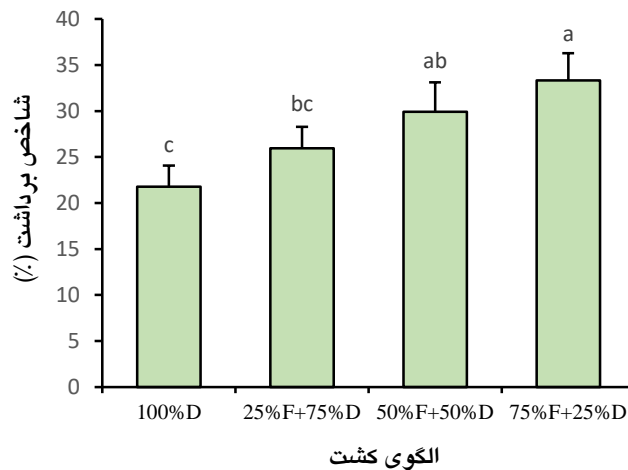
۳:۱ و ۲:۲ شوید:شنبلیله، گزارش شد که بیشترین عملکرد دانه شنبلیله از کشت خالص و بیشترین عملکرد دانه شوید در الگوی ۱:۳ شوید: شنبلیله حاصل شد (رضائی‌چیانه و همکاران ۲۰۱۶). همچنین در مطالعه‌ای دیگر، بیشترین عملکرد بالنگوی سیاه و شنبلیله به ترتیب از نسبت‌های ۲۵ درصد شنبلیله + ۷۵ درصد بالنگوی سیاه و ۷۵ درصد شنبلیله + ۲۵ درصد بالنگوی سیاه حاصل شد. با این وجود، نسبت ۲۵ درصد شنبلیله + ۷۵ درصد بالنگوی سیاه در شرایط کاربرد ورمی کمپوست بیشترین مقدار سودمندی کل را نشان داد (رضائی‌چیانه و همکاران ۲۰۲۱).

شاخص برداشت شوید تحت تأثیر کوددهی و الگوی کشت قرار گرفت (جدول ۵). نتایج مقایسه سطوح کوددهی (شکل ۵) نشان داد که سطح کوددهی ۱۰۰ درصد شاخص برداشت را نسبت به عدم کوددهی ۸۴ درصد افزایش داد. در حالی که کاربرد ۶ تن در هکتار کود دامی تفاوت معنی‌داری در شاخص برداشت نسبت به شاهد نشان نداد. به طور کلی همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، در حالی که کمترین شاخص برداشت (۲۸ درصد) در کشت خالص شوید حاصل شد، با کاهش نسبت شوید در الگوی کشت، شاخص برداشت افزایش نشان داد و بیشترین میزان شاخص برداشت (۳۳ درصد) از نسبت کشت ۷۵:۲۵ شنبلیله: شوید حاصل شد (شکل ۶).

در مقایسه با کشت خالص، کشت مخلوط عملکرد زیستی را در هر دو گونه گیاهی کاهش داد که عمدتاً می‌تواند در نتیجه تراکم کمتر گیاهان در واحد سطح در نسبت‌های کشت مورد بررسی باشد (گائو و همکاران ۲۰۲۰). نتایج مشابه در بسیاری از تحقیقات گزارش شده است. به عنوان مثال، کاهش عملکرد زیستی بادرشبویه در کشت مخلوط بادرشبویه و باقلا (وفادار ینگجه و همکاران ۲۰۱۹)، کاهش عملکرد در کشت مخلوط لوبیا و شوید (ویسانی و همکاران ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶)، لوبیا و رازیانه (رضائی‌چیانه و همکاران ۲۰۲۰) و بالنگوی سیاه و شنبلیله (رضائی‌چیانه و همکاران ۲۰۲۱) نسبت به کشت خالص گزارش شده است. همان‌طور که نتایج کارایی مصرف نیتروژن نشان می‌دهد، در این نسبت کشت نیز کارایی مصرف نیتروژن توسط دو گونه به‌طور قابل توجهی نسبت به کشت خالص در شرایط مذکور افزایش نشان داده است (جدول ۱۰). همچنین به نظر می‌رسد در کشت مخلوط با افزایش نسبت کشت، گیاه دسترسی کمتری به عوامل محیطی (نور، مواد غذایی و رطوبت) دارد (رضائی‌چیانه و همکاران ۲۰۲۱). در مطالعه‌ای، کشت مخلوط سه ردیف رازیانه+ یک ردیف شنبلیله بهترین نسبت کشت برای رسیدن به حداکثر عملکرد و بهره‌وری گزارش شد (عبدالغنی و همکاران ۲۰۱۷). به طور مشابه، در بررسی کشت خالص و الگوهای کشت مخلوط ۱:۲، ۱:۳، ۱:۴،



شکل ۵- شاخص برداشت شوید تحت تأثیر کوددهی



شکل ۶- شاخص برداشت شویید تحت تأثیر الگوی کشت F: شنبلیله، D: شویید

شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط

نتایج نشان از اثر معنی‌دار کوددهی، تلقیح با باکتری، الگوی کشت و اثر متقابل این عوامل بر شاخص‌های سودمندی داشت. نسبت برابری زمین برای شویید نیز تحت تأثیر عوامل فوق به جز اثر کوددهی قرار گرفت (جدول ۷). نتایج نشان داد که LER کل تنها در ترکیب تیماری ۶ تن کود دامی، عدم تلقیح و ۲۵ درصد شنبلیله + ۷۵ درصد شویید کمتر از یک بود. در سایر موارد این نسبت بالاتر از یک بود که نشان از برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است (جدول ۸). بیشترین نسبت برابری زمین برای شویید در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح از نسبت بالای کاربرد شویید در الگوی کشت و اعمال ۱۲ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. این در حالی بود که تلقیح با باکتری، نسبت برابری زمین را برای شویید به طور معنی‌داری افزایش داده که موجب عدم مشاهده اختلاف معنی‌دار با اعمال ۱۲ تن در هکتار کود دامی شد (جدول ۸). برای شنبلیله، بیشترین نسبت برابری زمین از نسبت‌های بالای شنبلیله در شرایط اعمال ۱۲ تن در هکتار کود دامی و تلقیح با باکتری حاصل شد. تلقیح با باکتری به‌طور معنی‌داری نسبت برابری زمین را در شنبلیله افزایش داد. همچنین، کوددهی تنها در شرایط اعمال ۱۲ تن در هکتار کود دامی نسبت برابری را در نسبت‌های مختلف کشت در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول ۸).

تولید زیست‌توده کمتر برای هر یک از گونه‌ها در کشت مخلوط به معنی بهره‌وری کلی پایین‌تر نیست (رضائی‌چیانه و همکاران ۲۰۲۱). در این راستا، LER، ATER و LUE شاخص‌های مناسب‌تر جهت ارزیابی بهره‌وری کلی در مقایسه بین سیستم‌های کشت مخلوط و کشت خالص است (عبدالغنی و همکاران ۲۰۱۷، فریوند و همکاران ۲۰۲۱). در این مطالعه، مقادیر LER بالاتر از یک و LUE بالاتر از ۱۰۰ درصد، نشان دهنده بهره‌وری کلی بالاتر در کشت مخلوط گونه‌های مورد بررسی در مقایسه با کشت خالص بود (جدول ۸). کارایی بالای نسبت‌های کشت مخلوط در این مطالعه که توسط مقادیر شاخص‌های مختلف سودمندی تأیید شد با یافته‌های بسیاری از مطالعات همخوانی دارد (ویسانی و همکاران ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶، وفادار ینگجه و همکاران ۲۰۱۹). بر این اساس، عملکرد کلی سیستم زراعی را می‌توان از نظر LER بهینه‌سازی کرده و بر این اساس، می‌توان این دو محصول را بدون افت عملکرد از نقطه نظر سیستم‌های کشت مخلوط، با ترکیب مناسب کشت کرد. در بین نسبت‌های کشت مورد بررسی، افزایش نسبت شویید در الگوی کاشت و همچنین کاربرد نسبت‌های بالا و متعادل شنبلیله (۷۵ و ۵۰ درصد) در کشت مخلوط منجر به بیشترین سودمندی در این مطالعه شد (جدول ۸). این مشاهدات را می‌توان تا حدی با استفاده کارآمدتر از منابع در زمان و مکان، بین گونه‌های مختلف در کشت مخلوط توضیح داد (گیلفوس ۲۰۱۹). علاوه بر این،

بقولات مانند شنبلیله، به دلیل تثبیت همزیست نیتروژن، ممکن است محدودیت‌های نیتروژن خاک در کشت همراه با گیاهان غیرلگوم را کاهش داده، که در نتیجه می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری کلی سیستم شود (صالحی و همکاران ۲۰۱۸). همچنین، عادت‌های مکمل رشد رویشی

و زیر زمینی و ویژگی‌های ریخت شناختی اجزای کشت مخلوط امکان استفاده کارآمدتر از منابع مورد نیاز رشد گیاهان، شامل آب، عناصر غذایی و انرژی تابشی را فراهم می‌آورد (ویسانی و همکاران ۲۰۱۵).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل کوددهی، تلقیح با باکتری، الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط شوید با شنبلیله

| منابع تغییر | درجه آزادی | نسبت برابری زمین (شوید) | نسبت برابری زمین (شنبلیله) | نسبت برابری زمین (کل) | نسبت برابری زمان-سطح | کارایی استفاده از زمین |
|--------------------------|------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| بلوک | ۲ | ۰/۲۱ | ۰/۲۵ | ۰/۶۴ | ۰/۵۳ | ۵۸۱۹ |
| کود | ۲ | ۰/۱۵ ^{ns} | ۰/۶۴ ^{**} | ۱/۴۰ ^{**} | ۱/۲۳ ^{**} | ۱۳۱۲۹ ^{**} |
| بلوک × کود | ۴ | ۰/۰۵۱ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۴۴ | ۰/۰۲۸ | ۲۵۸ |
| باکتری | ۱ | ۰/۱۸ [*] | ۱/۵۶ ^{**} | ۲/۸۰ ^{**} | ۲/۵۴ ^{**} | ۲۶۶۵۲ ^{**} |
| کود × باکتری | ۲ | ۰/۰۵۴ ^{ns} | ۰/۱۲ ^{ns} | ۰/۰۱۸ ^{ns} | ۰/۰۳۰ ^{ns} | ۲۳۸ ^{ns} |
| بلوک × باکتری (کود) | ۶ | ۰/۰۲۲ | ۰/۰۳۱ | ۰/۰۹۰ | ۰/۰۷۵ | ۸۲۰ |
| الگوی کشت | ۲ | ۱/۹۲ ^{**} | ۴/۱۱ ^{**} | ۰/۴۲ ^{**} | ۰/۸۳ ^{**} | ۶۰۴۸ ^{**} |
| کود × الگوی کشت | ۴ | ۰/۰۳۷ ^{ns} | ۰/۰۱۱ ^{ns} | ۰/۰۱۳ ^{ns} | ۰/۰۰۷ ^{ns} | ۱۰۰ ^{ns} |
| باکتری × الگوی کشت | ۲ | ۰/۰۰۳ ^{ns} | ۰/۰۱۸ ^{ns} | ۰/۰۱۹ ^{ns} | ۰/۰۱۹ ^{ns} | ۱۸۹ ^{ns} |
| کود × باکتری × الگوی کشت | ۴ | ۰/۱۰۲ [*] | ۰/۰۲۹ [*] | ۰/۱۲ [*] | ۰/۰۸۴ [*] | ۹۹۶ [*] |
| خطا | ۲۴ | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۲۴ | ۲۷۸ |
| ضریب تغییرات (درصد) | - | ۲۷/۵ | ۱۰/۴ | ۱۱/۴ | ۱۰/۶ | ۱۱/۰ |

^{ns} و ^{*} و ^{**} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

علاوه بر این، کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود دامی به همراه تلقیح با کود زیستی موجب بهبود عملکرد شنبلیله شده و کاهش عملکرد به دلیل کاهش نسبت کشت شنبلیله در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را جبران نمود و بهبود شاخص‌های سودمندی را به همراه داشت. این مشاهدات حاصل اثر تسهیل‌کنندگی عوامل مورد بررسی در بهبود دسترسی و جذب عناصر غذایی خاک نسبت داده می‌شود (ویسانی و همکاران ۲۰۱۵). در مورد شوید، با کاربرد ۶ تن در هکتار کود دامی و

تلقیح با باکتری نیز بهبود شاخص‌های سودمندی حاصل شد (جدول ۸) که نشان از اثر مثبت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در بهبود کارایی کود دامی است. در همین راستا نسبت کشت ۲:۲ بادرش‌بویه و باقلا و اعمال ۵۰ درصد کود شیمیایی و کودهای زیستی، مقادیر LER را افزایش داده و کارایی استفاده از سطح زمین را به ترتیب ۳۶ و ۳۸ درصد در دو سال مورد بررسی بهبود داده است (وفادار ینگجه و همکاران ۲۰۱۹).

جدول ۸- شاخص‌های مختلف سودمندی کشت مخلوط شویید و شنبلیله تحت تأثیر اثر متقابل کوددهی، تلقیح با باکتری و الگوی کشت

| سطوح کود دامی | الگوی کشت | نسبت برابری زمین (شویید) | | نسبت برابری زمین (شنبلیله) | | نسبت برابری زمین (کل) | | نسبت برابری زمین - کارایی استفاده از زمین | |
|----------------|-----------|--------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|---|--------------------|
| | | تلقیح | عدم تلقیح | تلقیح | عدم تلقیح | تلقیح | عدم تلقیح | تلقیح | عدم تلقیح |
| شاهد | 25%F+75%D | ۰/۷۲ ^{cd} | ۰/۸۰ ^{bc} | ۰/۲۹ ^h | ۰/۴۸ ^g | ۱/۰۱ ^{ef} | ۱/۲۸ ^{de} | ۱/۱۳ ^{fg} | ۹۴/۳ ^{gh} |
| | 50%F+50%D | ۰/۴۲ ^{efg} | ۰/۶۷ ^{cde} | ۰/۷۵ ^f | ۱/۰۲ ^{de} | ۱/۱۷ ^{ef} | ۱/۶۹ ^{bc} | ۱/۵۷ ^{bc} | ۱۱۳ ^{fgh} |
| | 75%F+25%D | ۰/۲۳ ^g | ۰/۲۶ ^{fg} | ۱/۰۵ ^d | ۱/۴۶ ^{bc} | ۱/۲۸ ^{de} | ۱/۷۲ ^{bc} | ۱/۶۷ ^b | ۱۲۶ ^{def} |
| ۶ تن در هکتار | 25%F+75%D | ۰/۶۲ ^{cde} | ۱/۱۶ ^a | ۰/۳۰ ^h | ۰/۵۳ ^g | ۰/۹۲ ^f | ۱/۶۹ ^{bc} | ۱/۴۷ ^{b-e} | ۸۵/۸ ^h |
| | 50%F+50%D | ۰/۵۱ ^{def} | ۰/۶۰ ^{cde} | ۰/۸۰ ^f | ۱/۰۳ ^{de} | ۱/۳۱ ^{de} | ۱/۶۳ ^{bc} | ۱/۵۲ ^{bc} | ۱۲۶ ^{def} |
| | 75%F+25%D | ۰/۲۴ ^{fg} | ۰/۲۷ ^{fg} | ۱/۲۹ ^c | ۱/۴۶ ^{bc} | ۱/۵۳ ^{cd} | ۱/۷۲ ^{bc} | ۱/۶۷ ^b | ۱۵۱ ^{cd} |
| ۱۲ تن در هکتار | 25%F+75%D | ۱/۲۳ ^a | ۱/۰۲ ^{ab} | ۰/۴۱ ^{gh} | ۰/۸۹ ^{def} | ۱/۶۴ ^{bc} | ۱/۹۰ ^b | ۱/۷۱ ^b | ۱۵۲ ^{cd} |
| | 50%F+50%D | ۰/۶۴ ^{cde} | ۰/۶۴ ^{cde} | ۰/۸۸ ^{ef} | ۱/۶۲ ^b | ۱/۵۲ ^{cd} | ۲/۲۶ ^a | ۱/۴۰ ^{cde} | ۱۴۶ ^{cde} |
| | 75%F+25%D | ۰/۲۱ ^g | ۰/۴۲ ^{efg} | ۱/۵۰ ^b | ۱/۸۶ ^a | ۱/۷۱ ^{bc} | ۲/۲۹ ^a | ۱/۶۷ ^b | ۱۶۹ ^{bc} |

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

شنبلیله شاخص‌های رقابتی هر دو گیاه را افزایش داد. علاوه بر این، از مطالعه شاخص‌های رقابتی، مشخص شد که نسبت بالای برابری زمین (۱/۱۳۷ و ۱/۱۵۶) و کارایی استفاده از زمین (۱۰۷/۵۳ و ۱۰۸/۷۲ درصد) در سیستم کشت مخلوط یک ردیف رازیانه با سه ردیف شنبلیله همراه با سطح متوسط فسفر به دست آمد (عبدالغنی و همکاران ۲۰۱۷).

کارایی زراعی کود دامی و کارایی کل مصرف نیتروژن کارایی زراعی کاربرد کود دامی و کارایی کل مصرف نیتروژن (کارایی مصرف نیتروژن شویید + شنبلیله) تحت تأثیر اثر متقابل کاربرد کود دامی، تلقیح با باکتری و الگوی کشت قرار گرفت (جدول ۹ و ۱۰). بیشترین کارایی زراعی کود دامی برای شویید از نسبت‌های بالای کشت شویید در الگوی کشت و تلقیح با باکتری در شرایط اعمال ۶ تن در هکتار کود دامی حاصل شد (جدول ۹). این در حالی بود که عدم تلقیح با باکتری در همین نسبت‌های کشت شویید منجر به کارایی منفی کاربرد ۶ تن در هکتار کود دامی شد که نشان از تأثیر قابل توجه اثر تلقیح با باکتری بر افزایش کارایی مصرف کود دامی داشت. به طور مشابه در شنبلیله نیز بیشترین کارایی زراعی کود از کشت خالص شنبلیله در

با روندی مشابه بین سایر شاخص‌ها (نسبت برابری زمین کل، نسبت برابری زمین - سطح و کارایی استفاده از زمین)، بیشترین میزان سودمندی با کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود دامی در شرایط تلقیح و نسبت‌های کشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ شویید: شنبلیله حاصل شد که عمدتاً نتیجه بهبود معنی‌دار LER برای شنبلیله در این شرایط بود. همچنین، تلقیح با باکتری در نسبت‌های مختلف کشت و شرایط مختلف کوددهی، سودمندی کشت مخلوط را نسبت به شرایط عدم تلقیح افزایش داد (جدول ۸).

در مطالعات گذشته نیز گزارش شده که کارایی استفاده از زمین (LUE) در کشت‌های مخلوط بیشتر از کشت خالص است (عبدالغنی و همکاران ۲۰۱۷، وفادار ینگجه و همکاران ۲۰۱۹). در تأیید نتایج این مطالعه، گزارش شد که عملکرد و کارایی استفاده از زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی شویید و شنبلیله (۱:۲، ۱:۳، ۱:۴، ۳:۱ و ۲:۲) بیشتر بوده و بیشترین عملکرد شویید در الگوی ۱:۳ شویید: شنبلیله حاصل شد. این در حالی بود که بیشترین نسبت برابری زمین در الگوی کشت ۲:۲ به دست آمد که نشان از برتری کشت مخلوط این دو گونه نسبت به کشت خالص داشت (رضائی‌چیان و همکاران ۲۰۱۶). همچنین، گزارش شده که سیستم کشت مخلوط ۲۵ درصد رازیانه + ۷۵ درصد

با کشت خالص شنبليله نشان نداد. بیشترین کارایی کل کاربرد کود دامی از نسبت ۷۵:۲۵ شويد: شنبليله در تلقیح با باکتری در شرایط کاربرد ۶ تن در هکتار کود دامی حاصل شد (جدول ۹).

تلقیح با باکتری در شرایط اعمال ۶ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. این در حالی بود که تلقیح با باکتری نیز کارایی زراعی کود را در نسبت‌های کشت مخلوط شنبليله: شويد بهبود داده به طوری که تفاوت معنی‌داری

جدول ۹- کارایی زراعی کود دامی در ترکیبات تیماری کوددهی، تلقیح با باکتری و الگوی کشت

| کل | شوید | | شنبليله | | الگوی کشت | سطوح کود دامی | |
|----------------------|----------------------|-------|-----------|-------|-----------|---------------|----------------|
| | عدم تلقیح | تلقیح | عدم تلقیح | تلقیح | | | |
| تلقیح | عدم تلقیح | تلقیح | عدم تلقیح | تلقیح | عدم تلقیح | | |
| ۲۵/۳۰ ^b | -۵/۵۹ ^{ij} | ۲۵/۳۰ | -۵/۵۹ | - | - | ۱۰۰%D | ۶ تن در هکتار |
| ۴۰/۴۲ ^a | -۹/۲۹ ^j | ۳۲/۰۷ | -۹/۶۸ | ۷/۳۵ | ۰/۳۹ | ۲۵%F+۷۵%D | |
| ۲۶/۱۱ ^b | ۸/۱۸ ^{fgh} | ۱۷/۲۲ | ۶/۵۲ | ۸/۸۹ | ۱/۶۷ | ۵۰%F+۵۰%D | |
| ۱۶/۶۸ ^{b-f} | ۷/۰۹ ^{gh} | ۴/۱۸ | -۰/۵۲ | ۱۲/۵۰ | ۶/۵۷ | ۷۵%F+۲۵%D | |
| ۲۱/۱۱ ^{bcd} | ۳/۰۹ ^{hi} | - | - | ۲۱/۱۱ | ۳/۰۹ | ۱۰۰%F | |
| ۵/۸۱ ^{gh} | ۸/۷۵ ^{fgh} | ۵/۸۱ | ۸/۷۵ | - | - | ۱۰۰%D | ۱۲ تن در هکتار |
| ۱۸/۵۰ ^{b-e} | ۱۸/۸۳ ^{b-e} | ۹/۴۵ | ۱۶/۹۹ | ۹/۰۵ | ۱/۸۴ | ۲۵%F+۷۵%D | |
| ۲۲/۳۰ ^{bc} | ۹/۵۲ ^{e-h} | ۸/۸۶ | ۷/۴۶ | ۱۳/۴۴ | ۲/۰۷ | ۵۰%F+۵۰%D | |
| ۱۸/۷۹ ^{b-e} | ۶/۱۶ ^{gh} | ۶/۲۴ | -۰/۶۰ | ۱۲/۵۵ | ۶/۷۶ | ۷۵%F+۲۵%D | |
| ۱۵/۰۹ ^{c-g} | ۱۲/۵۰ ^{d-h} | - | - | ۱۵/۰۹ | ۱۲/۵۰ | ۱۰۰%F | |

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

کشت مخلوط برتری نشان داده و کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود دامی و تلقیح با باکتری به‌طور معنی‌داری در این نسبت‌های کشت کارایی مصرف نیتروژن را بهبود داد (جدول ۱۰). در نسبت‌های بالای کشت شويد (کشت خالص و ۲۵:۷۵ شنبليله: شويد)، تلقیح با باکتری در شرایط کاربرد ۶ تن در هکتار کود دامی، بیشترین کارایی مصرف نیتروژن مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود دامی در این نسبت‌های کشت نشان نداد. این در حالی بود که در نسبت‌های متعادل و کاهش یافته شويد در کشت مخلوط (۵۰ درصد شنبليله + ۵۰ درصد شويد و ۷۵ درصد شنبليله + ۲۵ درصد شويد) بالاترین کارایی مصرف نیتروژن شنبليله از کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود دامی در شرایط تلقیح با باکتری حاصل شد (جدول ۱۰).

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بالاترین کارایی مصرف نیتروژن در شويد از کشت خالص شويد و کاربرد ۶ تن در هکتار کود دامی در شرایط تلقیح با باکتری حاصل شد. همچنین نتایج نشان داد که با کاهش نسبت شويد در الگوی کشت کارایی مصرف نیتروژن شويد کاهش یافت. در شنبليله، بیشترین کارایی از کشت خالص و کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود دامی در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح و در شرایط کاربرد ۶ تن در هکتار کود دامی در شرایط تلقیح حاصل شد. همچنین کاربرد ۱۲ تن در هکتار کود دامی و تلقیح با باکتری، کارایی مصرف نیتروژن شنبليله را در نسبت‌های کاهش یافته کشت شنبليله (۷۵%F+۲۵%D و ۵۰%F+۵۰%D) بهبود داده که موجب عدم تفاوت معنی‌دار با کشت خالص شنبليله در شرایط مذکور شد. با این حال، براساس کارایی کل مصرف عناصر، نسبت‌های مختلف

جدول ۱۰- کارایی مصرف نیتروژن تحت ترکیبات تیماری کوددهی، تلقیح با باکتری و الگوی کشت

| کل | شوید | | شنبليله | | الگوی کشت | سطوح کود دامی | |
|---------------------|---------------------|-----------|---------|-----------|-----------|---------------|----------------|
| | تلقیح | عدم تلقیح | تلقیح | عدم تلقیح | | | |
| ۰/۶۱ ^{e-h} | ۰/۷۵ ^{b-g} | ۰/۶۱ | ۰/۷۵ | - | - | 100% D | شاهد |
| ۰/۶۸ ^{c-h} | ۰/۶۱ ^{e-h} | ۰/۵۴ | ۰/۵۲ | ۰/۱۵ | ۰/۰۹ | 25% F+75% D | |
| ۰/۸۱ ^{a-e} | ۰/۵۳ ^{g-j} | ۰/۵۰ | ۰/۳۰ | ۰/۳۱ | ۰/۲۲ | 50% F+50% D | |
| ۰/۶۲ ^{d-h} | ۰/۴۹ ^{hij} | ۰/۱۸ | ۰/۱۷ | ۰/۴۵ | ۰/۳۲ | 75% F+25% D | |
| ۰/۵۱ ^{hij} | ۰/۳۱ ^j | - | - | ۰/۵۱ | ۰/۳۱ | 100% F | |
| ۱/۰۰ ^a | ۰/۶۹ ^{c-h} | ۱/۰۰ | ۰/۶۹ | - | - | 100% D | ۶ تن در هکتار |
| ۱/۰۱ ^a | ۰/۵۱ ^{hij} | ۰/۸۵ | ۰/۴۲ | ۰/۱۶ | ۰/۰۹ | 25% F+75% D | |
| ۰/۷۸ ^{a-f} | ۰/۶۰ ^{e-h} | ۰/۴۷ | ۰/۳۶ | ۰/۳۱ | ۰/۲۴ | 50% F+50% D | |
| ۰/۶۵ ^{d-h} | ۰/۵۶ ^{f-i} | ۰/۲۱ | ۰/۱۷ | ۰/۴۴ | ۰/۳۸ | 75% F+25% D | |
| ۰/۵۲ ^{hij} | ۰/۳۳ ^{ij} | - | - | ۰/۵۲ | ۰/۳۴ | 100% F | |
| ۰/۸۵ ^{a-d} | ۰/۹۱ ^{abc} | ۰/۸۵ | ۰/۹۱ | - | - | 100% D | ۱۲ تن در هکتار |
| ۰/۹۶ ^{ab} | ۰/۹۷ ^{ab} | ۰/۷۰ | ۰/۸۵ | ۰/۲۶ | ۰/۱۲ | 25% F+75% D | |
| ۰/۹۶ ^{ab} | ۰/۷۰ ^{c-h} | ۰/۴۷ | ۰/۴۴ | ۰/۴۹ | ۰/۲۶ | 50% F+50% D | |
| ۰/۸۵ ^{a-d} | ۰/۶۰ ^{e-h} | ۰/۲۹ | ۰/۱۵ | ۰/۵۶ | ۰/۴۵ | 75% F+25% D | |
| ۰/۶۰ ^{e-h} | ۰/۵۵ ^{f-i} | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۶۰ | ۰/۵۵ | 100% F | |

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

با افزودن کودهای آلی و بهبود حلالیت و جذب عناصر توسط باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن نسبت داد که می‌تواند نقش مهمی در بهبود رشد، جذب بهتر عناصر و عملکرد دو گونه داشته باشد (وفادار ینگجه و همکاران ۲۰۱۹).

علاوه بر این، افزایش نسبت کشت در کشت مخلوط از طرفی با تولید زیست‌توده بالاتر و از طرف دیگر با افزایش استفاده از منابع عنصری قابل دسترس و افزایش جذب و کارایی جذب عناصر غذایی توسط گیاه، کارایی مصرف عناصر را بهبود می‌دهد (رضائی‌چیان و همکاران ۲۰۲۱). در همین ارتباط، گزارش شد که کارایی مصرف نیتروژن کاربردی در کشت مخلوط شنبليله - گندم سیاه در مقایسه با کشت خالص بیشتر بود و بهترین نتایج از الگوی کشت ۲: ۱ شنبليله: گندم سیاه حاصل شد (صالحی و همکاران ۲۰۱۸). همچنین گزارش شد که کاربرد ۵۰ درصد کودهای شیمیایی همراه با تلقیح با کودهای زیستی در مقایسه با کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی کاهش معنی‌داری در عملکرد زیستی ریحان و ذرت نشان نداد (کردی و همکاران

در مطالعه حاضر، کاربرد تلفیقی کود دامی و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، زیست‌توده و کارایی مصرف نیتروژن را در هر دو گونه به دلیل افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی افزایش داد که تأیید کننده یکی از فرضیه‌های این مطالعه مبنی بر بهبود بهره‌وری سیستم کشت مخلوط با کاربرد تلفیقی کود دامی و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن بود. کودهای آلی حاوی عناصر ضروری برای رشد و نمو گیاه بوده و موجب بهبود خواص ساختاری و شیمیایی خاک و افزایش مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری آب و در نهایت عملکرد گیاه می‌شوند (وفادار ینگجه و همکاران ۲۰۱۹، قنبری و خواجه‌پوی نژاد ۲۰۲۱). در مطالعات قبلی در کشت خالص و کشت مخلوط، عملکرد با کاربرد کودهای آلی و زیستی افزایش یافته است (وفادار ینگجه و همکاران ۲۰۱۹، کردی و همکاران ۲۰۲۰، رضائی‌چیان و همکاران ۲۰۲۰، آصفی و همکاران ۲۰۲۱، فریوند و همکاران ۲۰۲۱). بنابراین، بهبود عملکرد، بهره‌وری و کارایی مصرف نیتروژن هر دو گونه در این شرایط را می‌توان به افزایش مقدار عناصر

۲۵: ۷۵ شنبلیله: شوید در شرایط کاربرد ۶ تن در هکتار کود دامی و کودهای زیستی جهت حداکثر تولید، کارایی مصرف نیتروژن و افزایش بهره‌وری قابل توصیه است. با این وجود، بیشترین سودمندی کل سیستم از نسبت‌های کشت ۷۵: ۲۵ و ۵۰: ۵۰ شنبلیله: شوید در تیمار با مقدار ۱۲ تن کود دامی در هکتار و کاربرد کودهای زیستی حاصل شد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های بخش مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان و همچنین از جناب آقای مهندس خانامانی به خاطر همکاری ایشان در طول اجرای پروژه قدردانی به عمل می‌آید.

۲۰۲۰) که با توجه به کاهش ۵۰ درصدی در میزان کاربرد کود شیمیایی، منجر به بهبود کارایی مصرف کود شده است.

نتیجه‌گیری

یافته‌های مطالعه حاضر نشان می‌دهد که کشت مخلوط شنبلیله و شوید با ترکیب کودهای دامی و تلقیح با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن سودمندی را افزایش و بهره‌وری در واحد سطح را بهبود می‌دهد. این مطالعه زمینه‌ی مناسبی برای استفاده مؤثرتر از منابع در کشت مخلوط شنبلیله و شوید فراهم می‌کند. کاربرد کودهای زیستی در شرایط کاهش میزان کوددهی ضمن حفظ تولید در کشت مخلوط، کارایی زراعی کود و کارایی مصرف نیتروژن را بهبود می‌دهد. طبق نتایج این مطالعه، اگر هدف تولید پایدار شوید باشد، نسبت کشت

منابع مورد استفاده

- Aasfar A, Bargaz A, Yaakoubi K, Hilali A, Bennis I, Zeroual Y and Meftah Kadmiri I. 2021. Nitrogen fixing azotobacter species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in Microbiology*, 12: 354.
- Abd-Elghany HFA, Meawad AA and Abdelkader MAI. 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: 955–968.
- Darzi MT and Hadi MHS. 2012. Effects of the application of organic manure and biofertilizer on the fruit yield and yield components in Dill (*Anethum graveolens*). *Journal of Medicinal Plants Research*, 6: 3345–3350.
- Faridvand S, Rezaei-Chiyaneh E, Battaglia ML, Gitari HI, Raza MA and Siddique KHM. 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.
- Geilfus C-M. 2019. Intercropping. Pp. 175–185. In: Geilfus C-M (eds). *Controlled Environment Horticulture*. Springer.
- Ghanbari J and Khajoei-Nejad G. 2021. Integrated nutrient management to improve some soil characteristics and biomass production of saffron. *Industrial Crops Products*, 166: 113447.
- Ghorbanpour M, Hatami M, Kariman K and Khavazi K. 2015. Enhanced efficiency of medicinal and aromatic plants by PGPRs. pp 43–70. In: Egamberdieva D, Shrivastava S and Varma A (eds). *Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants*. Springer.
- He YT, Zhang WJ, Xu MG, Tong XG, Sun FX, Wang JZ, Huang SM, Zhu P and He XH. 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.
- Kordi S, Salmasi SZ, Kolvanagh JS, Weisany W and Shannon DA. 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.
- Li C, Hoffland E, Kuyper TW, Yu Y, Zhang C, Li H, Zhang F and van der Werf W. 2020. Syndromes of production in intercropping impact yield gains. *Nature Plants*, 6: 653–660.
- Miransari M. 2011. Soil microbes and plant fertilization. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 92: 875–885.
- Mohsin MM, Hanif MA, Ayub MA, Bhatti IA and Jilani MI. 2020. Chapter 18 - Dill. Pp 231–239. In: Hanif MA, Nawaz H, Khan MM, Byrne HJ (eds). *Medicinal Plants of South Asia*. Elsevier.
- Omidbeigi R. 2011. *Production and Processing of Medicinal Plants*. Publications of Astaneh Ghods-e-Razavi, Mashhad. (In Persian).
- Rezaei-Chiyaneh E, Amirnia R, Amani Machiani M, Javanmard A, Maggi F and Morshedloo MR. 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.
- Rezaei-Chiyaneh E, Mahdavia H, Battaglia ML, Thomason WE and Caruso G. 2021. Intercropping and fertilizer type impact seed productivity and secondary metabolites of dragon's head and fenugreek. *Scientia Horticulturae*, 287: 110277.
- Rezaei-Chiyaneh E, Tajbakhsh M, Jamali M and Ghiyasi M. 2016. Evaluation of yield and indices advantages at different intercropping patterns of dill (*Anethum graveolens* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Plant Production Technology*, 8(1): 15-27. (In Persian).
- Salehi A, Mehdi B, Fallah S, Kaul HP, Neugschwandtner RW. 2018. Productivity and nutrient use efficiency with integrated fertilization of buckwheat–fenugreek intercrops. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 110(3): 407-25.
- Sarwar S, Hanif MA, Ayub MA, Boakye YD and Agyare C. 2020. Chapter 20 - Fenugreek. Pp. 257–271. In: Hanif MA, Nawaz H, Khan MM, Byrne HJ (eds). *Medicinal Plants of South Asia*. Elsevier.
- Tilman D. 2020. Benefits of intensive agricultural intercropping. *Nature Plants*, 6: 604–605.
- Vafadar Yengageh L, Amini R and Dabbagh Mohammadi Nasab A. 2018. Assessment of growth characteristics and yield of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica*) under different fertilizer treatments in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(2): 35-51. (In Persian).
- Vafadar-Yengeje L, Amini R and 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.
- Weisany W, Raei Y and 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.
- Weisany W, Raei Y, Zehtab-Salmasi S and Sohrabi Y. 2016. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) in mono and Intercropping System. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(3): 1-19. (In Persian).
- Wondimu T, Asfaw Z and Kelbessa E. 2007. Ethnobotanical study of medicinal plants around 'Dheeraa' town, Arsi Zone, Ethiopia. *Journal of Ethnopharmacology*, 112: 152–161.
- Yousefnia M, Bannayan M and Khorramdel S. 2014. Evaluation of radiation interception and use by fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) intercropping canopy. *Journal of Agroecology*, 7(3): 412-424. (In Persian).
- Xu G, Fan X and Miller AJ. 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63: 153–182.