

The effect of Chemical and Biological Fertilizers on some Morphological Traits and the Advantages of safflower (*Carthamus tinctorius*) and fenugreek Intercropping

Parisa Rostami Bonab¹, Yaghoub Raei^{*2}, Younes Kheirizadeh Arough²

Received: 29 June, 2025

Accepted: 10 January, 2026

1- Ph.D. student of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

* Corresponding Author Email: yaegoob@yahoo.com

Abstract

Background & Objectives: The tendency to produce oilseeds, as well as the demand for oilseed products, is growing worldwide, particularly under organic settings. Intercropping systems, as a kind of sustainable production, can make better use of available resources. This study was carried out to determine the effect of chemical and biological fertilizers on some morphological features and advantage indices of safflower in various intercropping patterns with fenugreek.

Materials and Methods: The experiment was carried out as a factorial experiment in a randomized complete block design with three replications at the Faculty of Agriculture's research farm in Tabriz. The experimental treatments consisted of a two-level cropping pattern (pure safflower and 100:50 additive intercropping (safflower to fenugreek)) and a six-level fertilizer treatment. (control, 100% urea recommended by soil test, foliar application of NPK, Barvar 2 phosphate + 100% urea, Barvar 2 phosphate + 50% urea, Barvar 2 phosphate + NPK).

Results: According to the results, the most grain were produced in the capital by the treatment combination of Barvar 2 phosphate + NPK in pure cultivation and Barvar 2 phosphate + 100% urea in intercropping (with 61.8 and 64.47 numbers, respectively). The intercropping system resulted in a lower yield of safflower seeds than in pure cultivation. The highest grain yield (332.6 g m⁻²) and oil yield (85.18 g m⁻²) were obtained from pure cultivation of this plant in conjunction with the application of 100% urea. When 100% urea was applied to safflower grown in pure conditions, the grain yield rose by 7.9% and the oil yield by 1.5% in comparison to the control. However, the treatment of applying 50% urea along with Barvar 2 phosphate improved the grain yield by 4.1% and the oil output by 8.4% compared to the control. The 100% urea application treatment had the highest land equivalency ratio (2.1), while the NPK foliar application treatment had the lowest index (1.5). Conversely, the Barvar 2 phosphate + 50% urea application treatments produced the best relative yield of safflower (1.37), while the NPK foliar application treatment produced the highest relative yield of fenugreek (0.47).

Conclusion: According to the study's findings, the most effective nutritional treatments for boosting safflower's grain and oil yields were 50% urea + Barvar 2 phosphate in intercropping and 100% urea in pure cultivation. As a result, these treatments can be suggested for farmers use.

Keywords: Barvar 2 Phosphate, Land Equivalence Ratio, Oil, Relative Yield, Urea

تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی بر برخی صفات مورفولوژیکی و سودمندی کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) و شنبلیله

بریسا رستمی بناب^۱، یعقوب راعی^{۲*}، یونس خیری زاده آروق^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۰	تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸
-------------------------	--------------------------

۱- دانشجوی دکتری گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: تمایل به تولید گیاهان روغنی و تقاضا برای محصولات روغنی در جهان به ویژه در شرایط ارگانیک رو به گسترش است. سیستم‌های کشت مخلوط به عنوان یکی از روش‌های تولید پایدار می‌توانند به طور کارآمدتری از منابع موجود استفاده کنند. این پژوهش به منظور ارزیابی تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی بر برخی صفات مورفولوژیکی و شاخص‌های سودمندی گلرنگ در الگوهای مختلف کشت مخلوط با شنبلیله اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل الگوی کشت در دو سطح (کشت خالص گلرنگ و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ به ۵۰ (گلرنگ به شنبلیله) و تیمار کودی در شش سطح (شاهد، اوره ۱۰۰٪، توصیه آزمون خاک، محلول پاشی NPK، فسفات بارور ۲ + اوره ۱۰۰٪، فسفات بارور ۲ + ۵۰٪ اوره، فسفات بارور ۲ + NPK) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ترکیب تیماری فسفات بارور ۲ + NPK در کشت خالص و ترکیب تیماری فسفات بارور ۲ + ۱۰۰ درصد اوره در کشت مخلوط (به ترتیب با ۶۱/۸ و ۶۴/۴۷ عدد) بیشترین دانه در کاپیتول را دارا بودند. کشت مخلوط سبب کاهش عملکرد دانه گلرنگ در مقایسه با کشت خالص آن گردید. حداکثر عملکرد دانه (۳۳۲/۶ گرم در مترمربع) و عملکرد روغن (۸۵/۱۸ گرم در مترمربع) از کشت خالص گلرنگ به همراه مصرف ۱۰۰ درصد اوره به دست آمد. تحت شرایط کشت خالص گلرنگ کاربرد ۱۰۰ درصد اوره در مقایسه با شاهد عملکرد دانه را ۷/۹ درصد و عملکرد روغن را ۱/۵ درصد افزایش داد. با این وجود تحت شرایط کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله تیمار کاربرد ۵۰ درصد اوره به همراه فسفات بارور ۲ در مقایسه با شاهد عملکرد دانه را ۴/۱ درصد و عملکرد روغن را ۸/۴ درصد بهبود بخشید. بالاترین نسبت برابری زمین (۲/۱) متعلق به تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد اوره و کمترین این شاخص (۱/۵) متعلق به تیمار محلول-پاشی NPK می‌باشد. از طرفی بیشترین عملکرد نسبی گلرنگ (۱/۳۷) را تیمار کاربرد فسفات بارور ۲ + ۵۰ درصد اوره و حداکثر عملکرد نسبی شنبلیله به میزان ۰/۴۷ را تیمار محلول پاشی NPK به خود اختصاص داد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، به منظور افزایش عملکرد دانه و روغن گلرنگ کاربرد ۱۰۰ درصد اوره در کشت خالص و مصرف ۵۰ درصد اوره + فسفات بارور ۲ در کشت مخلوط به عنوان مطلوب‌ترین تیمار تغذیه‌ای مشخص شد و بنابراین می‌توان این تیمارها را جهت استفاده کشاورزان توصیه کرد.
واژه‌های کلیدی: اوره، روغن، فسفات بارور ۲، عملکرد نسبی، نسبت برابری زمین

مقدمه

برای بهبود عملکرد گیاهان در سیستم‌های کشاورزی، استفاده از کودها از جمله روش‌های متداول به شمار می‌رود. در این بین، کودهای شیمیایی به‌ویژه در کشاورزی صنعتی نقش زیادی ایفا می‌کنند (شاه‌محمدی و همکاران ۲۰۲۴). استفاده از این کودها در کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله باعث بهبود رشد، افزایش کیفیت محصول و بهینه‌سازی مصرف منابع غذایی می‌شود (گائو و همکاران ۲۰۲۱). با این وجود استفاده از کودهای شیمیایی در درازمدت سبب کاهش حاصلخیزی خاک، تخریب و تغییر کیفیت خاک، ورود آلودگی به زنجیره‌های غذایی، کاهش کیفیت محصولات کشاورزی، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، آلودگی جوی، کاهش تنوع زیستی و جلوگیری از عملکرد طبیعی اکوسیستم می‌گردد (ناگانادا و همکاران ۲۰۱۰). کشاورزی پایدار به‌عنوان یکی از حوزه‌های مهم و مورد توجه در کشاورزی مدرن، به مجموعه‌ای از شیوه‌ها و راهکارها اشاره دارد که هدف اصلی آن حفظ منابع طبیعی و اکوسیستم‌ها، تأمین امنیت غذایی، بهره‌برداری اقتصادی از زمین‌های کشاورزی، کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی، حفظ تنوع زیستی، ارتقاء کیفیت خاک و استفاده بهینه از منابع طبیعی مانند آب، خاک، و انرژی است. کشاورزی پایدار نیازمند تغییر در شیوه‌های تولید سنتی است که اغلب با استفاده بی‌رویه از نهاده‌های شیمیایی و آفت‌کش‌ها، باعث تخریب اکوسیستم‌ها و آلودگی منابع آب و خاک می‌شود. کشاورزی پایدار بر اساس رویکردهایی مانند کشت مخلوط، کشاورزی بیولوژیک، تناوب زراعی، کنترل بیولوژیک آفات و مدیریت مصرف آب طراحی می‌شود (زارعی و زارعی ۲۰۱۹).

کشت مخلوط به عنوان یکی از شیوه‌های مهم و مؤثر در کشاورزی پایدار شناخته شده است. کشت مخلوط به معنای کشت همزمان دو یا چند گونه گیاهی در یک قطعه زمین است که این گونه‌ها می‌توانند دارای ویژگی‌های مکمل باشند. کشت مخلوط می‌تواند به کاهش رقابت‌های منفی و افزایش همزیستی میان گیاهان

کمک کند (لی و همکاران ۲۰۲۳). از مهم‌ترین فواید کشت مخلوط افزایش تولید در واحد سطح نسبت به تک‌کشتی، به دلیل استفاده بهتر از عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک است (بانیک و همکاران ۲۰۰۶). در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی نشان داده‌اند که کشت مخلوط با انتخاب صحیح گونه‌های گیاهی می‌تواند موجب افزایش عملکرد محصول، افزایش بهره‌وری، بهبود کیفیت خاک، حفظ محیط‌زیست، کنترل طبیعی آفات و بیماری‌ها، کاهش استفاده از کودها و سموم شیمیایی شود. این شیوه به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک و خشک، که با چالش‌هایی همچون کمبود آب و منابع طبیعی مواجه‌اند، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است (ساهو و همکاران ۲۰۲۳).

یکی دیگر از راهکارهای مورد نظر در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی می‌باشد. کودهای زیستی به عنوان جایگزین‌های بهتری برای کودهای شیمیایی مطرح شده‌اند و در کشاورزی پایدار به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. کود زیستی عبارت است از مواد نگهدارنده با جمعیت متراکم از یک یا چند نوع موجود مفید خاکزی و یا فرآورده‌های متابولیکی آن‌ها هستند (جهان و همکاران ۲۰۱۳) که سبب بهبود حاصلخیزی خاک، کنترل بیماری‌های خاکزاد، تأمین نیازهای غذایی گیاه، افزایش محصول و کاهش آلودگی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی (محفوظ و شرف‌الدین ۲۰۰۷) می‌شوند. هم‌چنین کودهای زیستی در مقایسه با کودهای شیمیایی در چرخه‌ی عناصر غذایی، مواد سمی تولید نمی‌کنند، قابلیت تکثیر خود به خودی دارند و باعث اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شوند (سیدال-اهل و همکاران ۲۰۱۵). یکی از این کودهای زیستی کود فسفات بارور ۲ است که فواید متعددی برای رشد گیاهان در شرایط مختلف خاک دارد. فسفات یک منبع اساسی فسفر برای گیاهان است که نقش کلیدی در فرایندهای بیوشیمیایی مانند سنتز DNA و تنظیم رشد گیاهی ایفا می‌کند. استفاده از فسفات بارور ۲ در کنار سیستم‌های مدیریت شده کشت می‌تواند به‌ویژه در

توسط کودهای غیرشیمیایی به ویژه کودهای زیستی و نیز سیستم کشت مخلوط سبب گردید تا پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی بر عملکرد، برخی صفات مورفولوژیک و شاخصهای سودمندی گیاه گلرنگ در کشت مخلوط با شنبلیله طراحی و اجرا گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در بهار سال ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در ۲۳ کیلومتری شرق تبریز به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. منطقه مورد مطالعه دارای موقعیت جغرافیایی ۹۱ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۲۳ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی بوده و در ارتفاع ۲۲۱۱ متری از سطح دریای آزاد قرار دارد. تیمارهای آزمایش شامل الگوی کشت در دو سطح (کشت خالص گلرنگ و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ به ۵۰ (گلرنگ به شنبلیله) به عنوان فاکتور اول و تیمار کودی در شش سطح (شاهد، اوره ۱۰۰٪، توصیه آزمون خاک، محلول‌پاشی NPK، فسفات بارور ۲ + اوره ۱۰۰٪، فسفات بارور ۲ + اوره ۵۰٪، فسفات بارور ۲ + NPK) به عنوان فاکتور دوم بود. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ و صفر تا ۶۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱).

بسته‌بندی شرکتی آن استفاده شد. کود زیستی فسفات بارور ۲ حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های پانتوآ آگومرانس (سویه P25) و سودوموناس پوتیدا (سویه P13) می‌باشد که به ترتیب با کاربرد دو سازوکار ترشح اسیدهای آلی و اسید فسفاتاز باعث تجزیه ترکیبات فسفره نامحلول و در نتیجه قابل جذب شدن آن برای گیاه می‌گردند (توحیدی‌نیا و همکاران ۲۰۱۳). آبیاری بلافاصله پس از کاشت به روش غرقابی انجام شد. پس از آن، با توجه به شرایط جوی و نیاز آبی گیاهان، آبیاری‌های بعدی به‌طور منظم انجام گرفت. کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. در

خاک‌های با کمبود فسفر، به طور چشمگیری عملکرد گیاهان را بهبود بخشید (رفیعی و همکاران ۲۰۲۳). کودهای زیستی مانند فسفات بارور ۲ که حاوی میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات هستند با تبدیل فسفات نامحلول به فرم‌های قابل جذب برای گیاه، به بهبود رشد و عملکرد گلرنگ کمک می‌کنند. همچنین، این کودها با کاهش نیاز به کودهای شیمیایی و کمک به حفظ سلامت خاک، گزینه‌ای مناسب برای کشاورزی پایدار به شمار می‌روند (مسلمان و همکاران ۲۰۲۴). ال سید (۲۰۱۳) نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد و روغن دانه گلرنگ با کاربرد کودهای زیستی آزوسپریلیوم و ازتوباکتر افزایش یافت. شهابی و ال‌خواز (۲۰۰۳) اظهار داشتند که کاربرد کود زیستی در مقایسه با عدم کاربرد باعث افزایش میزان روغن و پروتئین دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) گردید.

گلرنگ گیاهی است یکساله از خانواده کمپوزیته (*Asteraceae*) که به عنوان گیاه روغنی مهم با کیفیت روغن مرغوب مورد کشت قرار می‌گیرد (حمدان و همکاران ۲۰۰۹). از جمله ویژگی‌های مطلوب گلرنگ می‌توان به سازگاری با شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک، تحمل به سرما و مقاومت نسبی به خشکی به دلیل داشتن ریشه عمیق، مقاومت به شوری و کیفیت بالای روغن دانه اشاره کرد (ماندل و برگمن ۲۰۰۸). دمای مناسب برای رشد این گیاه بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است و خاک‌های سبک تا متوسط با زهکشی مناسب برای کشت آن ایده‌آل محسوب می‌شوند (کین و همکاران ۲۰۲۵). تاکنون بیش از ۲۰۰ ترکیب از این گیاه از قبیل کینوکالکون‌ها، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، پلی-استیلن‌ها، اسیدهای آلی، گلوکوزیدهای آروماتیک و غیره شناسایی و استخراج شده است (فان و همکاران ۲۰۰۹).

اهمیت گیاه گلرنگ به عنوان یکی از دانه‌های روغنی مهم در صنعت تولید روغن و نیز وابستگی بالای کشور ایران به واردات روغن خوراکی (نزدیک ۹۰ درصد) از یک طرف و مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و مشکلات ناشی از آن و لزوم جایگزینی بخشی از آن

پایان دوره رشد، نمونه برداری از گیاهان به منظور ارزیابی انجام گرفت.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق	EC	pH	مواد خنثی شونده	کربن آلی	ازت کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	روی قابل جذب	آهن قابل جذب	منگنز قابل جذب	شن	سیلت	رس
				%		ppm					%		
۰-۳۰	۲/۷۱	۷/۷۹	۷	۰/۷۴	۰/۰۷	۴۱۰	۰/۷۲	۲/۶	۳/۸	۶۴	۲۲	۱۴	
۳۰-۶۰	۲/۴۹	۷/۹۶	۷/۷۵	۰/۶۲	۰/۰۶	۴۰۰	۰/۴۲	۲/۱	۲/۷	۶۶	۲۰	۱۴	

عملیات آماده سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح بود. پس از آماده سازی زمین، کاشت گلرنگ و شنبلیله به صورت دستی در کرت هایی به ابعاد ۳×۳ انجام شد. در هر کرت ۵ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. فاصله روی ردیف های کاشت در کشت خالص برای گلرنگ ۵ سانتی متر و بصورت تک ردیفی رو به جنوب و در کشت مخلوط نیز یک ردیف گلرنگ و یک ردیف شنبلیله با فاصله روی ردیف ۵ سانتی متر کشت شدند. عمق کشت شنبلیله ۳-۴ سانتی متر و بذر گلرنگ ۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. در مرحله ۳-۴ برگی گیاهان تنک شدند و تراکم ۴۰ بوته در مترمربع (کشت خالص گلرنگ) در نظر گرفته شد (مندنی و همکاران ۲۰۲۴). فاصله کرت ها از یکدیگر ۱ متر و فاصله بلوک ها ۱/۵ متر تعیین گردید. رقم گلرنگ مورد استفاده ZYS چینی بود که از سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی تهیه گردید. رقم شنبلیله مورد کشت رقم محلی اردکانی بود. جهت اطمینان از قدرت جوانه زنی بذرها آزمون جوانه زنی استاندارد روی آن ها انجام گرفت. مقدار مصرف کود شیمیایی اوره با توجه به آزمون خاک تعیین شد که به صورت کود استارتر موقع کشت و هم زمان با اولین آبیاری بود. مصرف کود فسفات بارور ۲ به صورت بذرمال انجام گرفت و کود NPK به صورت محلول-پاشی در مرحله آغاز گلدهی گلرنگ اعمال گردید. کود NPK محصول شرکت کیمیا پارس بود. کود زیستی فسفات بارور ۲ از شرکت زیست فناور سبز تهیه گردید و حاوی ۱۰^۷ تا ۱۰^۸ گرم از جمعیت باکتری در یک گرم

از محصول است و طبق دستور شرکت سازنده به روش تلقیح با بذر با توجه به دستورالعمل مندرج در پایان دوره رشد گلرنگ به منظور تعیین صفات مورفولوژیک، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت یک مترمربع از هر واحد آزمایشی پس از حذف اثرات حاشیه ای برداشت گردید. پس از برداشت، ده بوته به طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی، تعداد کاپیتول در بوته و تعداد دانه در کاپیتول در بوته های انتخابی اندازه گیری و میانگین آن ها یادداشت گردید. بعد از اندازه گیری عملکرد بیولوژیک، دانه ها از بوته های موجود در یک مترمربع جدا شده و وزن دانه ها در بوته های یک مترمربع اندازه گیری شد و عملکرد در یک مترمربع به دست آمد.

شاخص برداشت

شاخص برداشت با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (نتانوس و کوتروباس ۲۰۰۲).

$$۱۰۰ \times \text{عملکرد بیولوژیک} / \text{عملکرد دانه} = \text{شاخص برداشت}$$

[رابطه ۱]

وزن هزار دانه

جهت تعیین وزن هزار دانه هفت نمونه صدتایی توزین و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$۱۰۰۰ \times \text{تعداد نمونه توزین شده} / \text{وزن نمونه های}$$

توزین شده = وزن هزار دانه

درصد روغن

ده گرم از بذر خشک شده گیاه گلرنگ توزین و توسط آسیاب پودر گردید و در کاغذ های صافی بسته بندی گردید و سپس توسط ترازوی حساس توزین و در دستگاه سوکسله با حلال شیمیایی پترولیوم اتر به مدت ۵ ساعت جوشانده و روغن بدست آمد و سپس نمونه ها به مدت دو هفته هوا خشک شده و توزین گردید. درصد روغن با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید (کوبساد و همکاران ۲۰۰۸). عملکرد روغن نیز از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد روغن محاسبه گردید.

$$\text{درصد روغن} = W2 - W1 / W2$$

[رابطه ۳]

در این رابطه W2 وزن کاغذ صافی و نمونه در ابتدای کار و W1 وزن کاغذ صافی و نمونه در انتهای کار است.

نسبت برابری زمین (LER)

برای تعیین نسبت برابری زمین از رابطه (۴) استفاده گردید (اسلام و همکاران ۲۰۲۴). هنگامی که نسبت برابری زمین بیشتر از یک باشد، کشت مخلوط باعث بهبود رشد و عملکرد ارقام می شود.

]

[رابطه ۴]

$$LER = (Yab / Yaa) + (Yba / Ybb)$$

که در آن LER: نسبت برابری زمین، Yab: عملکرد گلرنگ در کشت مخلوط، Yaa: عملکرد گلرنگ در کشت خالص، Yba: عملکرد شنبلیله در کشت مخلوط و Ybb: عملکرد شنبلیله در کشت خالص می باشد.

عملکرد نسبی (RY)

این شاخص برای گیاه گلرنگ از طریق رابطه ۵ و برای گیاه شنبلیله از طریق رابطه ۶ محاسبه گردید.

$$RY_{\text{safflower}} = (Yab / Yaa) \quad \text{[رابطه ۵]}$$

$$RY_{\text{fenugreek}} = (Yba / Ybb) \quad \text{[رابطه ۶]}$$

که در آن RY: عملکرد نسبی، Yab: عملکرد گلرنگ در کشت مخلوط، Yaa: عملکرد گلرنگ در کشت خالص،

Yba: عملکرد شنبلیله در کشت مخلوط و Ybb: عملکرد شنبلیله در کشت خالص می باشد.

تجزیه و تحلیل داده ها

برای تجزیه های آماری از نرم افزار SPSS استفاده گردید و میانگین داده ها بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردیدند. برای ترسیم شکل ها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر اصلی الگوی کشت بر صفات تعداد ساقه فرعی، تعداد کاپیتول در بوته، عملکرد دانه و عملکرد روغن اثر معنی داری داشت (جدول ۲). همچنین اثر اصلی تیمار کودی بر صفات تعداد ساقه فرعی، تعداد کاپیتول در بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و عملکرد روغن اثر معنی داری را باعث گردید (جدول ۲). اثر متقابل تیمارها تأثیر معنی داری بر صفات تعداد ساقه فرعی، تعداد دانه در کاپیتول، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد روغن داشت (جدول ۲).

تعداد ساقه فرعی

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین ها مشخص گردید که بیشترین تعداد ساقه فرعی (۸/۶۶ عدد) از تیمار کاربرد ۵۰ درصد اوره به همراه فسفات بارور ۲ تحت شرایط کشت خالص گلرنگ و کمترین آن نیز متعلق به تیمار مصرف فسفات بارور ۲ به همراه محلول پاشی NPK تحت شرایط کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله (۴/۱۸ عدد) بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که تحت شرایط کشت خالص گلرنگ کاربرد ۱۰۰ درصد اوره، محلول-پاشی NPK، فسفات بارور ۲ + ۱۰۰ درصد اوره و فسفات بارور ۲ + NPK در مقایسه با شاهد تعداد ساقه فرعی را به ترتیب ۳۳/۶، ۴۱/۲، ۱۰/۴ و ۲۹/۳ درصد کاهش و استفاده از فسفات بارور ۲ + ۵۰ درصد اوره محتوای این شاخص را ۹/۲ درصد افزایش داد (جدول ۳). از طرفی در کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله تیمارهای

کود زیستی فسفات بارور ۲ در استقرار گیاهچه و جوانه- زنی تأثیر داشته و در نتیجه باعث به وجود آمدن گیاهچه‌های قوی در مزرعه شده است و از طرفی کود اوره نیز به صورت استارتر باعث رشد سریع گیاهچه در مزرعه و در نتیجه تولید ساقه‌های فرعی بیشتر گردیده است.

۱۰۰ درصد اوره، فسفات بارور ۲ + ۱۰۰ درصد اوره و فسفات بارور ۲ + ۵۰ درصد اوره تعداد ساقه فرعی را نسبت به شاهد به ترتیب ۳۸/۹، ۱۵/۵ و ۱۱/۶ درصد بهبود بخشید، ولی محلول پاشی NPK این شاخص را ۶/۴ درصد و محلول پاشی NPK + فسفات بارور ۲ نیز این شاخص را در مقایسه با شاهد ۱۸/۵ درصد کاهش داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد بذرمال کردن بذور گلرنگ با

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر الگوی کشت و کود بر صفات مورد بررسی در گلرنگ

میانگین مربعات										
منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد ساقه فرعی	تعداد کاپیتول در بوته	تعداد دانه در کاپیتول	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	درصد روغن
بلوک	۲	۱۳۸/۴۶ ^{ns}	۰/۴۶ ^{ns}	۲۰/۹۷ ^{ns}	۲۴/۴۵ ^{ns}	۲۵۳۵۵/۳ ^{**}	۶۹۶۲/۸ ^{**}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۷۸ ^{ns}	۵/۶۷ ^{ns}
الگوی کشت	۱	۲/۵ ^{ns}	۹/۹۷ ^{**}	۲۹/۶۴ ^{**}	۱۲/۸۷ ^{ns}	۶۷۳۰۰/۴ ^{ns}	۲۱۰۳۹/۵ ^{**}	۰/۰۴ [*]	۴/۶۸ ^{ns}	۳۰/۰۸ ^{ns}
کود	۵	۷۲/۴۴ ^{ns}	۵/۸۳ ^{**}	۱۱/۸ ^{**}	۲۸/۷۹ ^{ns}	۵۱۳۶۸/۱ ^{**}	۵۷۵۶/۵۶ ^{**}	۰/۰۱ ^{**}	۱/۸۵ ^{ns}	۲۱/۳۵ ^{ns}
الگوی کشت × کود	۵	۵۴/۸۳ ^{ns}	۴/۹۹ ^{**}	۳/۴۵ ^{ns}	۳۳۸/۰۵ ^{**}	۵۶۷۶۵۰/۹ ^{**}	۶۱۸۱/۷۲ ^{**}	۰/۰۰۸ ^{ns}	۷/۶۳ ^{ns}	۱۴/۵۹ ^{ns}
اشتباه آزمایشی	۲۲	۶۱/۵۵	۱/۰۲	۲/۵۳	۶۵/۹۸	۶۶۴۵۷/۹	۱۱۳۲/۴	۰/۰۰۱	۶/۲۶	۱۲/۷۵
ضرب تغییرات (%)	-	۱۲/۷۳	۱۶/۸۴	۱۷/۸۲	۱۵/۸۳	۱۶/۷۳	۱۴/۱۴	۹/۲۲	۶/۴۲	۱۴/۱۷

ns، ** و * به ترتیب نشان دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد است.

بارور ۲ به رشد گیاهانی مانند گندم و یونجه کمک کرده و تعداد ساقه‌های فرعی را به طور معنی‌داری افزایش داد. در این راستا عنوان شده است که فسفر و نیتروژن بر روند رشد ریشه و ساقه تأثیر چشمگیری دارند و در پی آن، افزایش سطح فتوسنتز و بهتر شدن شکل‌دهی ساقه‌های فرعی را باعث می‌شوند (وانگ و همکاران ۲۰۲۴). در این پژوهش نیز کاربرد تلفیقی فسفات بارور ۲ و ۵۰ درصد اوره با تأمین بهینه مواد مغذی، می‌تواند به افزایش تعداد ساقه‌های فرعی در کشت خالص گلرنگ منجر شود.

تعداد دانه در کاپیتول

مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که ترکیب تیماری فسفات بارور ۲ + NPK در کشت خالص و ترکیب تیماری فسفات بارور ۲ + ۱۰۰ درصد اوره در کشت مخلوط (به ترتیب با ۶۱/۸ و ۶۴/۴۷ عدد) بیشترین دانه در کاپیتول را دارا بودند. کمترین تعداد دانه در کاپیتول

تعداد ساقه‌های فرعی در گیاهان یکی از عوامل کلیدی در رشد و عملکرد نهایی است (بوآرد و سیتیسی ۱۹۸۶). این ویژگی به طور عمده تحت تأثیر فاکتورهای مختلف از جمله ژنتیک گیاه، شرایط محیطی و نوع گیاه قرار دارد (ژو و همکاران ۲۰۲۵). گزارش شده است که افزایش تعداد ساقه‌ها باعث افزایش سطح برگ‌ها و به تبع آن، بالا رفتن ظرفیت فتوسنتز گیاه می‌شود (لادوکس و همکاران ۲۰۲۴). همچنین افزایش تعداد ساقه‌های فرعی به پایداری و مقاومت گیاه در برابر شرایط نامساعد محیطی کمک می‌کند (لی و همکاران ۲۰۲۱). فسفات بارور ۲ به عنوان منبع غنی از فسفر، نقش مهمی در رشد و توسعه ریشه‌ها و در نتیجه افزایش تعداد ساقه‌های فرعی ایفا می‌کند. همچنین، اوره به عنوان منبعی غنی از نیتروژن، عنصر ضروری برای رشد رویشی گیاهان است که می‌تواند به افزایش تعداد ساقه‌ها ی فرعی کمک کند (قاسیم و هامو ۲۰۲۴). در تحقیقی گزارش گردید که کاربرد ترکیبی اوره و فسفات

(۳۹/۶۳ عدد) مربوط به تیمار کاربرد توأم فسفات بارور + NPK تحت شرایط کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله بود (جدول ۳). بر اساس نتایج حاصل مشخص گردید که تحت شرایط کشت خالص گلرنگ کاربرد ۱۰۰ درصد اوره و کاربرد تلفیقی فسفات بارور + NPK در مقایسه با شاهد تعداد دانه در کاپیتول را به ترتیب ۱۲/۱ و ۱۹/۶ درصد افزایش و تیمارهای محلول پاشی NPK، فسفات بارور + ۱۰۰ درصد اوره و نیز فسفات بارور + ۵۰ درصد اوره تعداد دانه در کاپیتول را نسبت به شاهد به ترتیب ۶/۵، ۱۴/۳ و ۷/۸ درصد کاهش داد. از طرفی تحت شرایط کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله تعداد دانه در کاپیتول گلرنگ با محلول پاشی NPK ۳/۲ درصد، ۱۰۰ درصد اوره ۲۰/۲ درصد، فسفات بارور + ۵۰ درصد اوره ۱۱/۱ درصد و فسفات بارور + NPK ۲۷/۶ درصد کاهش یافت، در صورتی که با استفاده از فسفات بارور ۲ به همراه ۱۰۰ درصد اوره میزان این شاخص ۱۷/۶ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

تعداد دانه در کاپیتول گلرنگ اهمیت زیادی دارد، چرا که افزایش این شاخص می‌تواند به‌طور مستقیم بر عملکرد دانه و میزان روغن تولیدی در گلرنگ تأثیر بگذارد. از آنجا که گلرنگ یکی از گیاهان اقتصادی برای تولید روغن است، توجه به عوامل مؤثر بر تعداد دانه در هر کاپیتول می‌تواند در افزایش بازدهی محصول و بهبود کیفیت روغن نقش مهمی ایفا کند. در این پژوهش استفاده از کود فسفات بارور ۲ به‌ویژه در ترکیب با سایر کودها، منجر به افزایش تعداد دانه در کاپیتول شده است. این نشان دهنده اهمیت تأمین فسفر کافی برای گلرنگ می‌باشد (احمدپور و همکاران ۲۰۱۹). همچنین استفاده از اوره و NPK به عنوان منبع نیتروژن، تأثیر مثبتی بر تعداد دانه داشته است. با این حال، استفاده بیش از حد نیتروژن می‌تواند منجر به رشد رویشی بیش از حد و کاهش تعداد دانه شود (ستشوگلا ۲۰۲۴).

عملکرد بیولوژیک

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین عملکرد بیولوژیک (۹۶۶/۷ گرم در مترمربع) با محلول-پاشی NPK در شرایط کشت خالص گلرنگ مشاهده شد. کمترین عملکرد بیولوژیکی (۴۶۶/۵ گرم در

مترمربع) نیز در ترکیب تیماری کاربرد توأم فسفات بارور + NPK تحت شرایط کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله به دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را با تیمارهای استفاده از فسفات بارور + NPK (۴۷۸/۳ گرم در مترمربع) و فسفات بارور + ۱۰۰ درصد اوره (۴۷۷/۹ گرم در مترمربع) در کشت خالص گلرنگ و نیز ترکیب‌های تیماری عدم کاربرد کود (۵۰۳/۱ گرم در مترمربع) و محلول پاشی NPK (۵۲۷/۵ گرم در مترمربع) تحت شرایط کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله نداشت (جدول ۳). در کشت خالص گلرنگ کاربرد ۱۰۰ درصد اوره عملکرد بیولوژیک را ۱۷/۶ درصد و محلول پاشی NPK محتوای این شاخص را ۲۶/۵ درصد در مقایسه با شاهد بهبود دادند. در صورتی که مصرف تلفیقی فسفات بارور + ۱۰۰ درصد اوره، فسفات بارور + ۵۰ درصد اوره و فسفات بارور + NPK عملکرد بیولوژیک را نسبت به عدم کاربرد کود (شاهد) به ترتیب ۳۷/۴، ۱۷/۲ و ۳۷/۳ درصد کاهش داد. همچنین تحت شرایط کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله کاربرد ۱۰۰ درصد اوره عملکرد بیولوژیک را ۴۷/۶ درصد، محلول پاشی NPK ۴/۸ درصد، فسفات بارور + ۱۰۰ درصد اوره ۵۶ درصد و فسفات بارور + ۵۰ درصد اوره ۳۴/۶ درصد افزایش و فسفات بارور + NPK نیز ۷/۲ درصد در مقایسه با شاهد کاهش دادند (جدول ۳).

گزارش‌ها نشان می‌دهد که در کشت خالص گلرنگ عملکرد بیولوژیک افزایش می‌یابد. این افزایش به دلیل افزایش تعداد بوته‌ها و در نتیجه افزایش مجموع اندام‌های رویشی است (کالری و همکاران ۲۰۲۴). همچنین کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله می‌تواند به دلیل تطابق‌های خاص بین گیاهان در زمینه مصرف منابع (آب، نور، مواد غذایی و ...) باعث بهبود عملکرد بیولوژیکی شود. زمانی که دو گیاه به صورت مخلوط کشت می‌شوند، از تعاملات مثبت مانند نیتروژن‌زدایی توسط شنبلیله، جذب بهتر مواد مغذی توسط گلرنگ و کاهش رقابت برای منابع به دلیل تفاوت‌های رشد استفاده می‌شود. این تعاملات می‌تواند باعث بهبود کیفیت و کمیت رشد گیاهان در کشت مخلوط گردد (وانگ و همکاران ۲۰۲۴). به‌طور کلی، تأثیر کشت

مخلوط بر عملکرد بیولوژیکی بستگی به نوع گیاهان کشت شده، تراکم بوته ها و شرایط محیطی دارد. در برخی موارد، کشت مخلوط می تواند منجر به کاهش عملکرد بیولوژیکی به دلیل رقابت بین گونه ها شود، در حالی که در موارد دیگر، ممکن است به دلیل هم افزایی و استفاده بهینه تر از منابع، افزایش عملکرد بیولوژیک را به همراه داشته باشد. در مطالعه ای بر روی کشت مخلوط همیشه بهار و نخود، نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیکی در کشت خالص همیشه بهار به میزان ۲۰۳۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در حالی که در کشت مخلوط ردیفی، این مقدار کاهش یافت و به ۱۳۹۶ کیلوگرم در هکتار رسید (یاری و همکاران ۲۰۲۴). همچنین، در تحقیقی دیگر بر روی کشت مخلوط ذرت و ماش، نتایج نشان داد که کشت مخلوط منجر به کاهش عملکرد بیولوژیکی نسبت به کشت خالص می شود. این کاهش ممکن است به دلیل رقابت بین

گونه ها برای منابع مانند نور، آب و مواد غذایی باشد (امینی و همکاران ۲۰۲۴). در مقابل، در مطالعه ای بر روی کشت مخلوط جو و نخود، مشاهده شد که کشت مخلوط می تواند منجر به افزایش عملکرد بیولوژیکی شود. این افزایش ممکن است به دلیل هم افزایی بین گونه ها و استفاده بهینه تر از منابع محیطی باشد (سیدی و همکاران ۲۰۱۲). گزارش گردیده است که اوره به دلیل نقشی که در سنتز آمینواسیدها، پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک دارد می تواند نقش مؤثری در افزایش رشد گیاهان و در نتیجه بهبود عملکرد بیولوژیکی گیاهان داشته باشد (ایروم و همکاران ۲۰۲۴). نیتروژن و فسفر در نقش های تکمیلی خود در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه عمل می کنند. این عناصر در توازن، رشد و توسعه بیشتر گیاه را از طریق افزایش فتوسنتز، رشد ریشه ها و بخش های رویشی فراهم می آورند (قادر و همکاران ۲۰۲۴).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر الگوی کشت و تیمار کودی بر برخی صفات مورفولوژیکی و عملکرد روغن گلرنگ

الگوی کشت	تیمار کودی	تعداد ساقه فرعی	تعداد دانه در کاپیتول	عملکرد بیولوژیک (g.m ⁻²)	عملکرد دانه (g.m ⁻²)	عملکرد روغن (g.m ⁻²)
کشت خالص گلرنگ	شاهد	۷/۹۳ ab	۵۱/۶۷ ab	۷۶۳/۸ bc	۳۰۸/۲ ab	۸۳/۸۸ ab
	اوره (۱۰۰ درصد توصیه آزمون خاک)	۵/۲۶ cd	۵۷/۹۳ ab	۸۹۸/۷ ab	۳۳۲/۶ a	۸۵/۱۸ a
	محلول پاشی NPK	۴/۶۶ cd	۴۸/۲۷ ab	۹۶۶/۷ a	۲۹۶/۲ ab	۷۷/۹۶ abc
	فسفات بارور + اوره ۱۰۰ درصد	۷/۱ abc	۴۴/۲۴ ab	۴۷۷/۹ d	۲۰۷/۵ c	۴۱/۰۴ d
	فسفات بارور + اوره ۵۰ درصد	۸/۶۶ a	۴۷/۶ ab	۶۳۲ cd	۲۲۲/۷ bc	۴۹/۱۸ cd
	فسفات بارور + NPK	۵/۶ bcd	۶۱/۸ a	۴۷۸/۳ d	۲۰۵/۴ c	۵۰/۸۵ cd
کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله	شاهد	۵/۱۳ cd	۵۴/۸ ab	۵۰۳/۱ d	۲۲۹/۴ bc	۶۰/۱۷ abcd
	اوره (۱۰۰ درصد توصیه آزمون خاک)	۷/۱۳ abc	۴۳/۷۳ ab	۷۴۲/۸ bc	۲۲۶/۹ bc	۵۶/۳۹ bcd
	محلول پاشی NPK	۴/۸ cd	۵۳ ab	۵۲۷/۵ d	۱۶۸/۵ c	۴۲/۱۳ d
	فسفات بارور + اوره ۱۰۰ درصد	۵/۹۳ bcd	۶۴/۴۷ a	۷۸۵ abc	۲۲۸/۹ bc	۵۳/۶۴ cd
	فسفات بارور + اوره ۵۰ درصد	۵/۷۳ bcd	۴۸/۷ ab	۶۷۷/۲ cd	۲۳۸/۹ bc	۶۵/۲۴ abcd
	فسفات بارور + NPK	۴/۱۸ d	۳۹/۶۳ b	۴۶۶/۵ d	۱۸۹/۸ c	۵۶/۲۶ bcd

میانگین های با حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می باشند.

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد دانه گلرنگ ۳۳۲/۶ گرم در مترمربع) از کشت خالص این گیاه به همراه مصرف ۱۰۰ درصد اوره به دست آمد. حداقل

عملکرد دانه (۱۶۸/۵ گرم در مترمربع) نیز از محلول-پاشی NPK تحت شرایط کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله به دست آمد که از نظر آماری با تیمارهای کاربرد فسفات بارور + NPK هم در شرایط کشت خالص و

عملکرد روغن

نتایج حاصل از مقایسه میانگین مشخص کرد که بیشترین عملکرد روغن گلرنگ (۸۵/۱۸ گرم در مترمربع) تحت تأثیر کاربرد ۱۰۰ درصد اوره و در کشت خالص گلرنگ مشاهده گردید که با ترکیبات تیماری عدم کاربرد کود، محلولپاشی NPK تحت شرایط کشت خالص و تیمار شاهد و نیز کاربرد توأم فسفات بارور ۲ + ۵۰ درصد اوره تحت شرایط کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله از نظر آماری اختلاف معنی-داری را نشان نداد (جدول ۳). کمترین عملکرد روغن (۴۱/۰۴ گرم در مترمربع) را تیمار فسفات بارور ۲ + ۱۰۰ درصد اوره تحت شرایط کشت خالص به خود اختصاص داد که با تیمار محلولپاشی NPK در شرایط کشت مخلوط از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را شامل نشد (جدول ۳). بر اساس نتایج حاصل مشخص گردید که تحت شرایط کشت خالص گلرنگ عملکرد روغن با کاربرد ۱۰۰ درصد اوره در مقایسه با شاهد ۱/۵ درصد افزایش و با محلولپاشی NPK، فسفات بارور ۲ + ۱۰۰ درصد اوره، فسفات بارور ۲ + ۵۰ درصد اوره و فسفات بارور ۲ + NPK به ترتیب ۷، ۵۱، ۴۱/۳ و ۳۹/۳ درصد کاهش یافت. از طرفی تحت شرایط کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله نیز استفاده از فسفات بارور ۲ به همراه ۵۰ درصد اوره در مقایسه با شاهد عملکرد روغن را ۸/۴ درصد بهبود بخشید. همچنین عملکرد روغن با کاربرد ۱۰۰ درصد اوره ۶/۲ درصد، محلول پاشی NPK ۲۹/۹ درصد، فسفات بارور ۲ + ۱۰۰ درصد اوره ۱۰/۸ درصد و فسفات بارور ۲ + NPK نیز ۶/۴ درصد در مقایسه با شاهد کاهش نشان داد (جدول ۳).

به‌طور کلی، گیاهان در کشت مخلوط معمولاً در صورت تأمین کافی مواد مغذی و پشتیبانی از سوی گیاهان دیگر رشد بهتری دارند و از این رو درصد روغن افزایش می‌یابد (سینگ و همکاران ۲۰۲۴). شنبلیله در کشت مخلوط می‌تواند تأثیر مثبتی در بهبود عملکرد گلرنگ داشته باشد، زیرا ممکن است برخی منابع معدنی را تثبیت کرده و گیاه گلرنگ از این منابع بهره‌برداری بیشتری کند. این هم‌زیستی می‌تواند سبب بهبود شرایط

هم کشت مخلوط و نیز کاربرد توأم فسفات بارور ۲ + ۱۰۰ درصد اوره در کشت خالص تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کشت مخلوط سبب کاهش عملکرد دانه گلرنگ در مقایسه با کشت خالص گردید. همچنین کاربرد کود اوره عملکرد دانه گلرنگ را افزایش داد که با یافته‌های لین و همکاران (۲۰۲۰) در کلزا مطابقت دارد. به‌طوری که تحت شرایط کشت خالص گلرنگ کاربرد ۱۰۰ درصد اوره در مقایسه با شاهد عملکرد دانه را ۷/۹ درصد افزایش داد. همچنین تحت شرایط کشت مخلوط کاربرد ۵۰ درصد اوره به همراه فسفات بارور ۲ نسبت به شاهد عملکرد دانه را ۴/۱ درصد بهبود بخشید (جدول ۳).

در کشت خالص گلرنگ گیاه تحت شرایط رقابتی کمتری رشد کرده و در نتیجه تمام منابع موجود، مانند نور، آب و مواد غذایی، به طور کامل در اختیار گیاه قرار گرفته است و گیاه توانسته از تمام این منابع برای تولید دانه استفاده کند (سان و همکاران ۲۰۲۴). اما در کشت مخلوط، با توجه به افزایش تراکم گیاهی و رقابت بیشتر میان گیاهان برای منابع، عملکرد محصول در مقایسه با کشت خالص کاهش می‌یابد. به‌ویژه زمانی که گلرنگ و شنبلیله به‌طور مخلوط کشت می‌شوند، رقابت بر سر منابع مانند نور و مواد غذایی شدت می‌یابد، که نتیجه آن کاهش عملکرد گیاهان است (گاوپنسوک و همکاران ۲۰۲۴). رحیمی درآباد و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند که در کشت مخلوط گلرنگ و سیب‌زمینی عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط می‌باشد. سیدشریفی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که کاربرد توأم کود زیستی و کود اوره سبب افزایش عملکرد دانه گلرنگ گردید. دلیل افزایش عملکرد در شرایط استفاده از کودهای زیستی ناشی از تثبیت نیتروژن، فسفات، پتاسیم و آهن، بهبود توزیع آب در گیاه و افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز اعلام شده است (کادر و همکاران ۲۰۰۲).

آن سبب کوتاه شدن مرحله‌ی گلدهی شده و از این طریق سبب کاهش تعداد خورجین در بوته می‌شود. مدنی و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند که تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین با کاربرد کود شیمیایی افزایش می‌یابد. کاربرد نیتروژن، به دلیل افزایش سطح سبز گیاهی و تعداد شاخه فرعی در کلزا، منجر به افزایش تولید مواد فتوسنتزی و باروری گل‌ها و در نتیجه افزایش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین می‌شود (بایبوردی ۲۰۱۰). تأثیر مثبت کاربرد کود زیستی در افزایش تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گشنیز به اثبات رسیده است (درزی و همکاران ۲۰۱۲).

شاخص برداشت

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار شاهد دارای بیشترین (۴۳/۴ درصد) و تیمار محلول‌پاشی NPK نیز دارای کمترین (۳۱ درصد) شاخص برداشت بود (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصل مشخص گردید که تیمارهای ۱۰۰ درصد اوره، محلول‌پاشی NPK، فسفات بارور ۲ + ۱۰۰ درصد اوره، فسفات بارور ۲ + ۵۰ درصد اوره و فسفات بارور ۲ + محلول‌پاشی NPK در مقایسه با شاهد شاخص برداشت گیاه گلرنگ را به ترتیب ۲۱/۱، ۲۸/۵، ۱۳/۵، ۱۸/۴ و ۴/۳ درصد کاهش دادند.

شاخص برداشت اهمیت زیادی در ارزیابی عملکرد کشاورزی دارد و معمولاً برای بهینه‌سازی روش‌های کاشت، داشت، برداشت و مدیریت آب و خاک به کار می‌رود. شاخص برداشت بالاتر نشان‌دهنده بازدهی بهتر در تبدیل منابع ورودی (مثل آب، کود، و نور خورشید) به محصول قابل برداشت است (وانگ و همکاران ۲۰۲۵). در کشت خالص گلرنگ گیاه از تمامی منابع محیطی به طور کامل استفاده می‌کند و در نتیجه، عملکرد بهتری در استفاده از این منابع دارد. این کارایی بیشتر منجر به افزایش شاخص برداشت می‌شود (مسلمان و همکاران ۲۰۲۴). شنبلیله ممکن است نیازهای غذایی و آبی متفاوتی نسبت به گلرنگ داشته باشد و در

فتوسنتزی و در نهایت افزایش درصد روغن در دانه‌های گلرنگ شود (رحیمی و همکاران ۲۰۲۰). گزارش شده است که کشت مخلوط سویا و ذرت نسبت به کشت‌های خالص این گیاهان، توانایی بیشتری در استفاده بهینه از منابع دارد و در نتیجه به بهبود عملکرد دانه و درصد روغن در ذرت و سویا منجر شد. سیدشریفی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که کاربرد تلفیقی کود زیستی و اوره سبب افزایش معنی‌داری در عملکرد روغن گلرنگ گردید. ترکیب فسفات بارور ۲ و اوره، به عنوان منابع غنی از دو عنصر ضروری برای رشد گیاهان، یعنی فسفر و نیتروژن، می‌تواند نیازهای تغذیه‌ای گیاهان در کشت‌های مخلوط را به خوبی تأمین کند. این کودها با تأمین بهینه مواد مغذی، موجب رشد بهتر و در نتیجه افزایش عملکرد روغن می‌شوند (تائو و همکاران ۲۰۲۴). گزارش شده است که ترکیب فسفات بارور ۲ و اوره در کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله باعث تأمین بهینه مواد مغذی و بهبود کارایی استفاده از منابع می‌شود که در نهایت به افزایش عملکرد روغن منجر خواهد شد (گندی و همکاران ۲۰۱۸).

تعداد کاپیتول در بوته

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار کودی فسفات بارور ۲ + ۵۰ درصد اوره بیشترین تعداد کاپیتول در بوته (۱۰/۷۳ عدد) و تیمار فسفات بارور ۲ + NPK کمترین تعداد این شاخص (۷/۳۶ عدد) را نشان داد (جدول ۴). طبق نتایج به دست آمده کاربرد ۱۰۰ درصد اوره و نیز مصرف فسفات بارور ۲ + NPK در مقایسه با شاهد تعداد کاپیتول در بوته را به ترتیب ۱۱/۸، ۱۳/۳ درصد کاهش و محلول‌پاشی NPK، فسفات بارور ۲ + ۱۰۰ درصد اوره، فسفات بارور ۲ + ۵۰ درصد اوره میزان این شاخص را به ترتیب ۲۰/۶، ۹/۶ و ۲۶/۳ درصد افزایش داد (جدول ۴).

ژانگ و سدوم (۲۰۰۵) بیان داشتند که افزایش کاربرد نیتروژن سبب افزایش تعداد خورجین در بوته کلزا گردید. ایشان بیان داشتند که کمبود نیتروژن سبب افزایش درصد ریزش گل‌ها در حین تلقیح و یا پس از

نتیجه، ترکیب این دو گیاه می‌تواند باعث کاهش کارایی استفاده از منابع و در نتیجه کاهش شاخص برداشت شود (توکر و همکاران ۲۰۲۴). گزارش گردیده است که اگر نیتروژن در مقدار مناسب و به طور متوازن به گیاهان برسد، در نهایت می‌تواند به افزایش شاخص برداشت منجر شود (یانگ و همکاران ۲۰۲۴). در کشت

مخلوط باقلا و گندم گزارش شد که افزودن فسفات بارور می‌تواند به افزایش عملکرد کمک کند، اما همچنان رقابت برای فسفر و نیتروژن میان گیاهان باعث می‌شود که عملکرد و در نتیجه شاخص برداشت کاهش یابد (هاباتمو و همکاران ۲۰۲۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمار کودی بر تعداد کاپیتول در بوته و شاخص برداشت گلرنگ

تیمار کودی	تعداد کاپیتول در بوته	شاخص برداشت (%)
شاهد	۸/۴۹ abc	۴۳/۴ a
اوره (۱۰۰ درصد توصیه آزمون خاک)	۷/۴۸ bc	۳۴/۲ c
محلول‌پاشی NPK	۱۰/۲۴ ab	۳۱ c
فسفات بارور ۲ + اوره ۱۰۰ درصد	۹/۳۱ abc	۳۷/۵ abc
فسفات بارور ۲ + اوره ۵۰ درصد	۱۰/۷۳ a	۲۵/۴ bc
فسفات بارور ۲ + NPK	۷/۳۶ c	۴۱/۵ ab

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین نشانگر سودمندی کشت مخلوط از نظر بهره‌برداری از زمین می‌باشد. در این پژوهش تیمارهای کودی و الگوی کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله دارای نسبت برابری بزرگتر از یک بودند. این امر نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط این دو گونه نسبت به کشت خالص آن‌ها می‌باشد. بالاترین نسبت برابری زمین (۲/۱) متعلق به تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد اوره و کمترین این شاخص (۱/۵) متعلق به تیمار محلول‌پاشی NPK می‌باشد (جدول ۵). تاکیم (۲۰۱۲) استفاده بهتر از منابع محیطی را عامل اصلی افزایش در نسبت برابری زمین در سیستم‌های کشت مخلوط عنوان کرده است. در سیستم‌های کشت مخلوط، نیتروژن کافی ناشی از اوره می‌تواند رقابت بین گونه‌های مختلف را کاهش داده و امکان جذب مطلوب منابع غذایی برای هر گیاه را فراهم کند. این عامل باعث افزایش نسبت برابری زمین می‌شود (سان و همکاران ۲۰۲۵). در ترکیب کود فسفات بارور ۲ + NPK، تأمین نیتروژن ممکن است به اندازه اوره مؤثر نبوده باشد. اگرچه NPK دارای مقدار معینی نیتروژن است، اما ممکن است به‌خصوص در مراحل

اولیه رشد گیاه، تأمین نیاز کامل گیاه به نیتروژن کافی صورت نگرفته باشد و در نتیجه نسبت برابری زمین نسبت به کاربرد خالص اوره کمتر باشد (حسان ۲۰۲۳). از طرفی اگرچه NPK به‌طور کلی شامل همه عناصر ضروری برای رشد گیاه است، اما نسبت موجود در این ترکیب ممکن است نیازهای نیتروژنی یا فسفاتی گیاه را به‌طور کامل تأمین نکرده باشد. به خصوص نیتروژن برای گلرنگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و کمبود آن می‌تواند موجب کاهش رشد و توسعه ریشه‌ها و در نتیجه کاهش عملکرد گیاه شود. در نتیجه، ترکیب ناکافی مواد مغذی در تیمار NPK به کاهش کارایی استفاده از زمین و کاهش نسبت برابری زمین منجر می‌شود. به طور کلی، استفاده از کودهای متناسب با نیازهای گیاه و بر اساس توصیه‌های آزمون خاک می‌تواند تأثیر چشمگیری بر افزایش نسبت برابری زمین و بهره‌وری زمین در کشت گلرنگ داشته باشد، در حالی که استفاده از ترکیب‌هایی که به طور دقیق نیازهای غذایی گیاه را تأمین نمی‌کنند، منجر به کاهش عملکرد و نسبت برابری زمین خواهد شد (مندزبله و همکاران ۲۰۲۳). مشابه گلرنگ، در گیاهان زراعی دیگر نظیر برنج، سورگوم،

آفتابگردان و کنجد، هنگامی که از کودهای متناسب با نیازهای تغذیه‌ای گیاهان استفاده می‌شود، عملکرد و کارایی استفاده از زمین به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد (الموتاقی و همکاران ۲۰۲۲).

عملکرد نسبی گلرنگ و شنبلیله

نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد نسبی گلرنگ (۱/۳۷) در تیمار کاربرد فسفات بارور ۲ + ۵۰ درصد اوره و کمترین آن (۰/۴۷) در تیمار محلول‌پاشی NPK و نیز مصرف فسفات بارور ۲ به همراه محلول‌پاشی NPK مشاهده شد. در مقابل حداکثر عملکرد نسبی شنبلیله به میزان ۰/۴۷ را تیمار محلول‌پاشی NPK به خود اختصاص داد. در صورتی که حداقل این شاخص (۰/۱۵) برای گیاه شنبلیله در حالت کاربرد ترکیبی فسفات بارور ۲ و محلول‌پاشی NPK به دست آمد (جدول ۵).

عملکرد نسبی در گیاهان یک معیار است که برای مقایسه کارایی و بهره‌وری سیستم‌های کشت مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. این معیار به‌ویژه در کشت‌های مخلوط کاربرد دارد و برای ارزیابی عملکرد نسبی و بهره‌وری استفاده از زمین در زمان رشد گیاهان به کار می‌رود (نریمانی و همکاران ۲۰۲۴). عملکرد نسبی هر گیاه برابر است با میزان تولیدی که در کشت مخلوط نسبت به تولید آن در کشت خالص

دارد. اگر مجموع عملکرد نسبی دو گیاه بیشتر از یک باشد این به معنای بالاتر بودن بهره‌وری از زمین نسبت به کشت‌های تک‌کشتی است، زیرا گیاهان در کشت مخلوط ممکن است با رقابت کمتری روبه‌رو شوند و با بهره‌وری بیشتری از منابع طبیعی مانند نور، آب و مواد مغذی استفاده کنند (فنگ و همکاران ۲۰۲۴). در پژوهشی گزارش شده است استفاده از کشت مخلوط یولاف و سویا به دلیل کاهش رقابت برای منابع (مثل نور، آب، و مواد مغذی) و بهره‌برداری بیشتر از منابع طبیعی باعث افزایش مجموع عملکرد نسبی در مقایسه با کشت‌های تک‌کشتی شده است (فنگ و همکاران، ۲۰۲۴). آقابابادستجردی و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که در الگوی کشت مخلوط ۱۰۰٪ یونجه + ۵۰٪ رازیانه کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و ۵۰٪ کود شیمیایی در مقایسه با عدم کوددهی موجب افزایش عملکرد نسبی جزء یونجه و رازیانه گردید. راعی و همکاران (۲۰۲۰) اظهار داشتند که در الگوی کشت مخلوط افزایشی دو گیاه لوبیا چیتی و خردل سیاه، کاربرد کودهای زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲، کود شیمیایی اوره و همچنین کاربرد تلفیقی این کودها سبب افزایش عملکرد نسبی جزء لوبیا چیتی و خردل سیاه در مقایسه با عدم کوددهی گردید.

جدول ۵- شاخص‌های کشت مخلوط گلرنگ و شنبلیله

تیمار کودی	نسبت برابری زمین	عملکرد نسبی گلرنگ	عملکرد نسبی شنبلیله
شاهد	۱/۸	۰/۸۷	۰/۲۹
اوره (۱۰۰ درصد آزمون خاک)	۲/۱	۰/۸۶	۰/۲۸
محلول‌پاشی NPK	۱/۵	۰/۴۷	۰/۴۷
فسفات بارور ۲ + اوره ۱۰۰ درصد	۱/۸	۰/۹۲	۰/۳
فسفات بارور ۲ + اوره ۵۰ درصد	۱/۷	۱/۳۷	۰/۴۵
فسفات بارور ۲ + NPK	۱/۶	۰/۴۷	۰/۱۵

اوره و در کشت مخلوط با کاربرد ۵۰ درصد اوره به همراه فسفات بارور ۲ به‌دست آمد. از طرفی در تمام الگوهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بیش از یک

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاکی از آن بود که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد روغن در کشت خالص با کاربرد ۱۰۰ درصد

سیاسگزاری

بدین وسیله از اعضای هیأت علمی و کارشناسان آزمایشگاه‌های گروه اکوفیزیولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در راستای فراهم نمودن امکانات لازم برای اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نماید.

بود که نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. به طور کلی یافته‌های حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم کشت مخلوط شنبلیله با گلرنگ با تیمار کودی اوره ۱۰۰ درصد توصیه آزمون خاک بیشترین نسبت برابری زمین را به خود اختصاص داد و می‌توان بر اساس اولویت کشاورز در تولید گیاهان زراعی به عنوان روش‌های جایگزین برای کشت خالص در برنامه‌های تولید پایدار استفاده شود.

منابع مورد استفاده

- Agha Baba Dastjerdi M, Amini Dehaghi M, Bosaghzadeh Z and Shafiee Adib S. 2017. Effect of biofertilizer on yield and quality characteristics of fennel in additive intercropping with prennial alfalfa. *Plant Production Technology*, 9(1): 125-140. <https://doi.org/10.22084/ppt.2017.2208>
- Ahmadpour Abnvi S, Ramroudi M, Galavi M and Shamsaddin Saied M. 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under low irrigation conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1): 269-284. (In Persian with English Abstract).
- Amini E, Taab A and Radicetti E. 2024. Investigating the quantitative and qualitative yield of bitter vetch (*Vicia ervilia*) and grass pea (*Lathyrus sativus*) in intercropping with wheat (*Triticum aestivum*) under different tillage systems. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(3): 197-210. (In Persian with English Abstract). . <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.373410.655067>.
- Banik P, Midya A, Sarkar BK and Ghose SS. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, 24: 325-332. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010>
- Board JE and Settimi JR. 1986. Photoperiod effect befor and after flowering on branch development in determinate soybean. *Agronomy Journal*, 78: 995-1002. <https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800060013x>
- Bybordi A. 2010. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2(2): 92-97.
- Darzi M, Hadj Seyed Hadi M and Rejali F. 2012. Effects of cattle manure and plant growth promoter bacteria application on some morphological traits and yield in Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28(3): 434-446. (In Persian with English Abstract). . <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.2945>
- El Mouttaqi A, Mnaouer I, Nilahyane A, Belcaid M, Ibourki M, Lazaar K, Diatta L, Devkota KP, Kouisni L and Hirich A. 2022. How does organic amendment and NPK fertilization improve forage yield of cereals under salinity and arid conditions? Case of Moroccan Sahara. *Environmental Sciences Proceedings*, 16(1): 51. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2022016051>
- El-Sayed MAM. 2013. Effect of interaction between biofertilizers and saline irrigation water on the productivity of safflower (*Carthamus tinctorius* L) in northern sinai-egypt. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 4(8): 793-809. <https://doi.org/10.21608/jssae.2013.52068>
- Fan L, Zhao HY, Xu M, Zhou L, Guo H, Han J, Wang BR and Guo DA. 2009. Qualitative evaluation and quantitative determination of 10 major active components in *Carthamus tinctorius* L. by high-

- performance liquid chromatography coupled with diode array detector. *Journal of Chromatography A*, 1216(11): 2063-2070. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.03.046>
- Feng W, Ge J, Rodríguez ARS, Zhao B, Wang X, Peixoto L, Yang Y, Zeng Z and Zang H. 2024. Oat/soybean strip intercropping benefits crop yield and stability in semi-arid regions: A multi-site and multi-year assessment. *Field Crops Research*, 318: 109560. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109560>
- Gawinowski M, Enjalbert J, Cournède PH and Flutre T. 2024. Contrasted reaction norms of wheat yield in pure vs mixed stands explained by tillering plasticities and shade avoidance. *Field Crops Research*, 310: 109368. <https://doi.org/10.1101/2022.10.27.514050>
- Gendy AS, Abdelkader MA, El-Naggar NZ and Elakkad HA. 2018. Effect of intercropping systems and NPK foliar application on productivity and competition indices of black cumin and fenugreek. *Current Science International*, 7(3): 387-401.
- Guo L, Li H, Cao X, Cao A and Huang M. 2021. Effect of agricultural subsidies on the use of chemical fertilizer. *Journal of Environmental Management*, 299: 113621.
- Habtamu M, Elias E, Argaw M and Feleke G. 2024. Intercropping wheat (*Triticum aestivum*) with faba bean (*Vicia faba*) combined with vermicompost and NPS fertilizer application increases crop yields and agronomic efficiency in the humid mid-highlands of Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, 10(1): 2324539. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2324539>
- Hamdan YA, Pérez-Vich B, Velasco L and Fernández-Martínez JM. 2009. Inheritance of high oleic acid content in safflower. *Euphytica*, 168(1): 61-69. <https://doi.org/10.1007/s10681-008-9879-y>
- Hesan M. 2023. Life cycle assessment of an NPK fertilizer production with the focus on principal harmful substances (Master's thesis, University of South-Eastern Norway). 137 Pages.
- Irum A, Pasha MFK, Aziz H, Akram M, Rehman WU, Momin A, Naheed R, Mubeen A and Ullah S. 2024. Rhizobacterial inoculation to enhance growth and productivity of fenugreek. *Indus Journal of Bioscience Research*, 2(02): 1329-1333. <https://doi.org/10.70749/ijbr.v2i02.392>
- Islam MR, Hossain J, Alam MA, Islam MS, Rahman MM, Laing AM and Hossain A. 2024. Growth, productivity, competitive ratio, maize equivalent yield, land equivalent ratio, and profitability of hybrid maize as influenced by relay cropping with mukhikachu (*Colocasia esculenta* Schott.) during rabi season. *Current Applied Science and Technology*, e0256415-e0256415. <https://doi.org/10.55003/cast.2023.256415>
- Jahan M, Nassiri-Mahallati M, Amiri MB and Ehyayi HR. 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. *Industrial Crops and Products*, 43: 606-611. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.012>
- Kader MA, Main MH and Hoque MS. 2002. Effects of *Azotobacter* inoculant on the yield nitrogen uptake by wheat. *Online Journal of Biological Sciences*, 2(4): 259-261. <https://doi.org/10.3923/jbs.2002.259.261>
- Kaleri AA, Sadiq M, Jamali A, Ullah Z, Musawwir A, Islam M, Sadiqa A, Kakar K, Manzoor D and Adil S. 2024. Effects of phosphorus application rate on the growth and yield of wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Pak-Euro Journal of Medical and Life Sciences*, 7(2): 151-158. <https://doi.org/10.31580/pjmls.v7i2.3020>
- Kubsad VS, Naik VR, Hanumantharaya L and Nekar MM. 2008. Phosphorus management in mungbean-safflower sequence cropping in vertisols under rainfed conditions. In *Safflower: unexploited potential and world adaptability*. 7th International Safflower Conference, Wagga Wagga, New South Wales, Australia, 3-6 November, 2008. (pp. 1-4). Agri-MC Marketing and Communication.
- Ladux FJ, González CV, Trentacoste ER, Searles PS and Rousseaux MC. 2024. Morphological and pigment responses to far-red and photosynthetically active radiation in an olive cultivar suitable for super-high-density orchards. *Plants*, 13(13): 1822. <https://doi.org/10.3390/plants13131822>

- Li C, Stomph TJ, Makowski D, Li H, Zhang C, Zhang F and van der Werf W. 2023. The productive performance of intercropping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(2): e2201886120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2201886120>
- Li H, Testerink C and Zhang Y. 2021. How roots and shoots communicate through stressful times. *Trends in Plant Science*, 26(9): 940-952. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.03.005>
- Lin Y, Watts DB, Torbert HA and Howe JA. 2020. Influence of nitrogen rate on winter canola production in the southeastern United States. *Agronomy Journal*, 112: 2978–2987. <https://doi.org/10.1002/agj2.20197>
- Madani H, Malboobi MA, Bakhshkelarestaghi K and Stoklosa A. 2011. Biological and chemical phosphorus fertilizers effect on yield and p accumulation in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(2): 210-214. <https://doi.org/10.15835/nbha4026079>
- Mahfouz SA and Sharaf-Eldin MA. 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *International Agrophysics*, 21(4): 361-366. <https://doi.org/10.1055/s-2007-987419>
- Mndzebele B, Ncube B, Fessehazion M, Mabhaudhi T and Modi AT. 2023. Assessment of the effects of NPK fertilizer on edible yield and agro-biological parameters in a cowpea–amaranth intercrop. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7: 1210984. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1210984>
- Mondani F, Yari A, Bagheri A and Chaghazardi HR. 2024. Investigation of radiation absorption and use efficiency in safflower (*Carthamus tinctorius*) with lentil (*Lens culinaris* Medik) intercropping under dryland conditions. *Journal of Crops Improvement*, 26(2): 315-330. <https://doi.org/10.22059/jci.2024.361496.2829>
- Mosalman S, Rezaei-Chiyaneh E, Mahdavia H, Dolatabadian A and Siddique KH. 2024. Enhancing rainfed safflower yield, oil content, and fatty acid composition through intercropping with chickpea and stress-modifier biostimulants. *Frontiers in Agronomy*, 6: 1389045. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1389045>
- Mundel HH and Bergman JW. 2008. Safflower breeding. pp. 423-447, In: Vollmann J and Rajcan I. (Eds.), *Oil Crop Breeding, Hand Book of Plant Breeding*. Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77594-4_14
- Nagananda GS, Das A, Bhattacharya S and Kalpana T. 2010. In vitro studies on the effects of bio-fertilizers (*Azotobacter* and *Rhizobium*) on seed germination and development of *Trigonella foenum-graecum* L. using a novel glass marble containing liquid medium. *International Journal of Botany*, 6(4): 394-403. <https://doi.org/10.3923/ijb.2010.394.403>
- Narimani Y, Taleshi K, Khorgami A and Vafaei SH. 2024. Cereal based intercropping systems improve yield advantage and crop yield under superabsorbent application in semiarid conditions. *Legume Science*, 6(3): e70002. <https://doi.org/10.1002/leg3.70002>
- Ntanos DA and Koutroubas SD. 2002. Dry matter and N accumulation and translocation for *Indica* and *Japonica* rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 74(1): 93-101. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00203-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00203-9)
- Qadeer A, Yaseen M, Naveed M and Shahbaz M. 2024. Effect of urea-phosphate and application methods on maize (*Zea mays* L.) growth yield and nutrient use efficiency. *Applied Ecology and Environmental Research*, 22(1).
- Qasim HM and Hammo YH. 2024. Influence of shading, GA3 and NPK fertilizer on the growth and development of *Myrtle Myrtus communis* plants. *Tikrit Journal for Agricultural Sciences*, 24(1): 34-44. <https://doi.org/10.25130/tjas.24.1.4>
- Qin Z, Fang X, Fei JL, Fan W, Chen ZM, Liao WJ, Gu LB, Liu HM, Qin Z, Zhu XL and Wang XD. 2025. Impact of microwave treatment on polyphenols in safflower seeds and oil. *Food Chemistry*, 143116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143116>

- Raei Y, Sayyadi Ahmadabad M, Ghassemi-Golezani K and Ghassemi S. 2020. The effect of biological and chemical nitrogen fertilizers on pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and black mustard (*Brassica nigra* L.) intercropping. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30(3): 21-40.
- Rafiee S, Yadavi A, Dehnavi MM and Balouchi H. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing bacteria, and zinc foliar application improve physiological responses in black cumin (*Nigella sativa*) under drought stress. Agricultural Plant Science, 1-20. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3194201/v1>
- Rahimi A, Dovlati B, Amirnia R and Heydarzade S. 2020. Effect of application of *mycorrhizal fungus* and *Azotobacter* on physiological characteristics of *Trigonella foenum-graecum* L. under water stress conditions. Journal of Plant Biological Sciences, 11(4): 1-18. (In Persian with English Abstract). . <https://doi.org/10.22108/IJPB.2019.116384.1149>
- Rahimi Darabad GR, Barmaki M and Seyed Sharifi R. 2015. Evaluation of yield and yield components in potato-safflower intercropping. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi), 108: 114-119. (In Persian with English Abstract). . <http://dx.doi.org/10.22092/aj.2016.106730>.
- Sahoo U, Maitra S, Dey S, Vishnupriya KK, Sairam M and Sagar L. 2023. Unveiling the potential of maize-legume intercropping system for agricultural sustainability: A review. Farming and Management, 8(1): 1-13. <https://doi.org/10.31830/2456-8724.2023.FM-124>
- Said-Al Ahl H, Sarhan A, Dahab M, Abou-Zeid EN, Ali MS and Naguib NY. 2015. Growth and chemical composition of dill affected by nitrogen and bio-fertilizers. International Journal of Life Science and Engineering, 1(2): 75-84.
- Setshogela BP. 2024. Influence of harvest time and genotype on seed yield, petal yield and carthamidin and carthamin contents, and mineral nutritional content in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) (Doctoral dissertation, Buan). Botswana University of Agriculture and Natural Resources, 135 Pages.
- Seyed Sharifi R, Namvar A and Seyed Sharifi R. 2017. Grain filling and fatty acid composition of safflower fertilized with integrated nitrogen fertilizer and biofertilizers. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 52: 236-243. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000400003>
- Seyedi M, Hamzei J, Ahmadvand G and Abutalebian MA. 2012. The evaluation of weed suppression and crop production in barley-chickpea intercrops. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 22(3): 101-115. (In Persian with English Abstract).
- Shamohammadi N, Zare M, Ordokhani K, Aref F and Sharafzaeh S. 2024. Grain corn yield under the influence of water deficit stress, biological and chemical fertilizers. Iranian Journal of Field Crop Science, 55(1): 23-36. (In Persian with English Abstract). . <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2023.352991.654966>
- Shehata MM and El-Khawas SA. 2003. Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower (*Helianthus annuus* L. cv. Vedock) yield. Pakistan Journal of Biological Sciences, 6(14): 1257-1268. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2003.1257.1268>
- Singh A, Singh N, Kalhapure AH, Gupta S, Gupta D, Verma R, Kumar R, Prajapati D and Maurya SK. 2024. Effect of nutrient management on Indian mustard [*Brassica juncea* (L.)]: A Review. International Journal of Plant and Soil Science, 36(7): 429-438. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i74750>
- Sun J, Zhao J, Li W, Wu K, Chen L, Yang X, He X and Zheng H. 2025. The effect of nitrogen application on yield stability of maize|| soybean intercropping systems. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 33(6): 1138-1145. <https://doi.org/10.12357/cjea.20240470>
- Sun T, Zhou J, Fu Y, Wu L and Zhang T. 2024. Soil nitrogen availability mediates the positive effects of intercropping on soil organic carbon at global scales. Soil and Tillage Research, 239: 106063. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106063>

- Takim FO. 2012. Advantages of maize-cowpea intercropping over sole cropping through competition indices. *Journal of Agriculture and Biodiversity Research*, 1: 53-59.
- Tao D, Gao Y, Revillini D, Yan A, Zhou G, Swanson CS, He Q, Ma H, Yu X and Delgado-Baquerizo M. 2024. Root traits regulate the capacity of the rhizosphere to support multiple ecosystem services under intercropping and phosphorus fertilization. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 374: 109181. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109181>
- Tohidinia MA, Mazaheri D, Bagher-Hosseini SM and Madani H. 2013. Effect of biofertilizer Barvar-2 and chemical phosphorus fertilizer application on kernel yield and yield components of maize (*Zea mays* cv. SC704). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15(4). 295-307. (In Persian with English Abstract).
- Toker P, Canci H, Turhan I, Isci A, Scherzinger M, Kordrostami M and Yol E. 2024. The advantages of intercropping to improve productivity in food and forage production—a review. *Plant Production Science*, 27(3): 155-169. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2372878>
- Wang S, Ruan Y, Du M, Sun W, Zhang Y, Wang Y, Guo J, Shao R, Yang Q and Wang H. 2024. Optimization of phosphate fertilizer application strategies to improve phosphorus availability and utilization in maize. *Agronomy Journal*, 116(2): 453-464. <https://doi.org/10.1002/agj2.21513>
- Wang T, Wang K, Wang N, Cui D, Li S, Lu Q and Zuo Y. 2025. From intercropping to monocropping: The effects of *Pseudomonas* strain to facilitate nutrient efficiency in peanut and soil. *Plant Physiology and Biochemistry*, 219: 109378. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109378>
- Wang W, Zhao JH, Li MY, Zhang W, Rehman MMU, Wang BZ, Ullah F, Cheng ZG, Zhu L, Zhang JL and Tao HY. 2024. Yield loss of inferior crop species and its physiological mechanism in a semiarid cereal-legume intercropping system. *European Journal of Agronomy*, 152: 127032. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.127032>
- Yang L, Gu C, Huang W, Chang H, Gao Y, Li Y, Dai J, Li X, Hu W, Cao W and Liao X. 2024. Legume and maize intercropping enhances subsequent oilseed rape productivity and stability under reduced nitrogen input. *Field Crops Research*, 319: 109644. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109644>
- Yari A, Mondani F, Bagheri A and Chaghazardi H. 2024. The effect of intercropping system on radiation use efficiency and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agrotechniques in Industrial Crops*, 4(4): 218-228. (In Persian with English Abstract). . <https://doi.org/10.22126/ATIC.2024.10889.1153>
- Zang PH and Sedum PJ. 2005. Interactions among phosphorous, nitrogen and growth in oilseed rape. *Canadian Journal of Plant Science*, 74(3): 173-181.
- Zarei F, Zarei A. 2019. Sustainable Agriculture. Day System. 159 Pages. (In Persian with English Abstract).
- Zhou C, Kong D, Li J, Su X, Cai N and Xu Y. 2025. The morphological and physiological responses of *Pinus yunnanensis* to different levels of shading after decapitation. *Industrial Crops and Products*, 224: 120374. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.120374>