

Evaluating the effects of weed control and different intercropping ratios of canola (*Brassica napus* L.) and safflower (*Carthamus tinctorius* L.) on the yield characteristics of canola (Shir-Ali variety)

Jalil Shafagh-kolvanagh^{1*}, Fariborz Shekari², Abdullah Jawanmard³, Mina Amani⁴ and Zohreh Saeli-Ashan⁵

- 1- Department of Plant Ecophysiology, Department of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
3- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran
4- physiology of horticultural plant production and post-harvest, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
5- Physiology of Crop Plants, Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
* Corresponding author, Email: Shafagh@tabrizu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Considering the increasing role of intercropping in enhancing the sustainability of agricultural and medicinal systems, as well as its demonstrated capability in weed suppression, this research was designed and conducted to evaluate the effects of intercropping on weed control and its impact on the agronomic traits and yield of canola, variety Shir-Ali, within a canola (*Brassica napus* L.) - safflower (*Carthamus tinctorius* L.) intercropping system.

Methods: To conduct this research, an experiment was designed as a factorial experiment based on a Randomized Complete Block Design (RCBD) with 10 treatments and 3 replications during the 2020-2021 crop season in a farm located in Maragheh, Iran. The first factor included weed control at two levels: complete weed control and no weed control. The second factor involved different intercropping ratios (1- Pure cultivation of canola, 2- Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m²), 3- Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m²), 4- Mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, 5- Mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola).

Results: The results indicated that in canola, the highest biomass yield was observed in the pure canola treatment with 7990 kg per hectare, while the highest seed yield was recorded in the pure canola treatment with weed control. All intercropping treatments had a higher land equivalent ratio compared to the pure cultivation, except for the treatment of optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m²). Among all intercropping treatments, the highest land equivalent ratio was associated with the 1:1 (safflower – canola) intercropping treatment with complete weed control, measuring 1.71. Furthermore, the highest total relative value was attributed to the 1:1 (safflower – canola) intercropping treatment with complete weed control, yielding a value of 2.33.

Conclusion: The findings of this study demonstrate that intercropping patterns not only enhance the performance of canola but also contribute to improved weed management and optimal resource utilization.

Keywords: Biomass yield, Cultivation ratios, Harvest index, Seed yield.

ارزیابی اثرات کنترل علف‌های هرز و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط کلزا (*Brassica napus* L.) و گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) بر خصوصیات عملکردی کلزا (رقم شیرعلی)

جلیل شفق کلوانق^{۱*}، فربرز شکاری^۲، عبدالله جوانمرد^۳، مینا امانی^۴ و زهره سائلی‌اشان^۵

- ۱- گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، گرایش اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
- ۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
- ۴- فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۵- فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: Shafagh@tabrizu.ac.ir

چکیده

پیشینه پژوهش و هدف: باتوجه به نقش فزاینده کشت مخلوط در ارتقای پایداری سیستم‌های زراعی و همچنین توانایی آن در مهار رشد علف‌های هرز، این پژوهش به منظور ارزیابی اثرات کشت مخلوط بر کنترل علف‌های هرز و تأثیر آن بر خصوصیات زراعی و عملکرد کلزا در سامانه کشت مخلوط کلزا و گلرنگ اجرا گردید.

روش‌ها: به منظور انجام این تحقیق، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و ۳ تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مزرعه‌ای در شهرستان مراغه اجرا گردید. فاکتور اول شامل کنترل علف‌های هرز در دو سطح کنترل علف‌های هرز و عدم کنترل علف‌های هرز و فاکتور دوم شامل نسبت‌های مختلف کشت (۱- کشت خالص کلزا، ۲- تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذریه در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذریه در مترمربع)، ۳- تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذریه در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذریه در مترمربع)، ۴- کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ یک ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ، ۵- کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ دو ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ) در نظر گرفته شد.

نتایج: نتایج حاکی از آن بود که در گیاه کلزا، بیشترین عملکرد زیست‌توده در کشت خالص کلزا با ۱۷۹۹۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد دانه مربوط به کشت خالص کلزا با کنترل علف‌های هرز مشاهده شد. کلیه تیمارهای کشت مخلوط بجز تیمار کشت تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا، نسبت برابری زمین بالاتری نسبت به کشت خالص داشتند. بیشترین میزان نسبت برابری زمین به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ با کنترل علف‌های هرز با مقدار ۱/۷۱ تعلق داشت. همچنین، بیشترین مجموع ارزش نسبی به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ با کنترل علف‌های هرز با مقدار ۲/۳۳ تعلق داشت.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج نشان داد که الگوهای کشت مخلوط نه تنها می‌توانند عملکرد کلزا را افزایش دهند، بلکه به بهبود مدیریت علف‌های هرز و استفاده بهینه از منابع محیطی کمک می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، نسبت‌های کشت.

مقدمه

شیوه‌های چندکشتی، شیوه‌های متنوع کشت گیاهان هستند، اما روش جدیدی نیستند و از دهه‌های گذشته در بسیاری از نقاط جهان، به‌منظور بهره‌برداری بیشتر از زمین در واحد زمان و فصل اجرا می‌گردد. برای افزایش تولید محصولات کشاورزی علاوه بر افزایش سطح زیرکشت و بهبود عملکرد، راهکاری مانند افزایش محصول در واحد سطح و زمان نیز قابل تأمل است (Martin-Guay et al., 2018; Shafagh-Kolvanagh et al., 2024). کشت مخلوط به‌عنوان یکی از روش‌ها و نمونه‌ای از نظام‌های پایدار در کشاورزی، اهدافی نظیر ایجاد تعادل اکولوژیکی، بهره‌برداری بیشتر از منابع، افزایش کمی و کیفی عملکرد و کاهش خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را دنبال می‌کند (Abdi, 2023). در کشت مخلوط، اصول اولیه اکولوژیکی به شکل تنوع بالا، رقابت و تسهیل برای تولید محصولات رعایت می‌شود. به‌طورکلی، اگر سیستم چندکشتی محصولات با بیش‌نیازهای مناسب انتخاب شود، بازده عملکرد بالاتر از پایه‌های خالص محصولات چندگانه به‌نظر می‌رسد (Duan et al., 2019). یک سیستم کشت مخلوط، پوشش بیشتری از سطح زمین توسط تاج پوشش محصولات را تضمین می‌کند، تعرق بیشتری توسط شاخ و برگ انجام می‌شود که می‌تواند یک اقلیم خنک‌تر ایجاد کند و این باعث کاهش دمای خاک می‌شود (Huang et al., 2022). به‌طورکلی، در کشت‌های مخلوط، گیاهان مختلف با عادات رشد متفاوت انتخاب می‌شوند؛ بنابراین منابع موجود به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار می‌گیرند و سود نهایی تبدیل به تولید ماده خشک یا عملکرد محصول می‌شود. عوامل مختلف مانند انتخاب محصولات و ارقام، نسبت کاشته شده و مدیریت زراعی شامل آب و عناصر غذایی و توانایی رقابتی محصولات می‌تواند بر عملکرد و همچنین موفقیت سیستم‌های کشت مخلوط تأثیر بگذارد (Jalilian et al., 2017; Darabi, 2025).

کنترل و کاهش علف‌های هرز یکی از مزایای کشت مخلوط محسوب می‌گردد. مکانیسم این پدیده به این صورت است که

یکی از گیاهان زراعی از طریق رقابت با علف‌های هرز، محیطی برای گیاه زراعی دیگر فراهم کرده که در آن زیست توده علف‌های هرز کاهش می‌یابد (Korres, 2018; Hamzei and Khishvand, 2023). کنترل رقابتی علف‌های هرز در زراعت مخلوط می‌تواند تحت تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی مانند تغییر تراکم، الگوی کاشت، گونه و ژنوتیپ گیاه زراعی تغییر کند. زمانی که دو گونه مختلف با ارتفاع بوته، پوشش گیاهی و الگوی رشد متفاوت به‌صورت همزمان در کشت مخلوط قرار گیرند، کمترین رقابت را با یکدیگر ایجاد می‌کنند و این موضوع باعث افزایش عملکرد درمقایسه با کشت خالص می‌گردد (Guglielmini et al., 2017; Shafagh-Kolvanagh et al., 2024).

با وجود گزارش‌های متعدد درباره کشت مخلوط در گیاهان زراعی، اطلاعات اندکی درباره تعامل گلرنگ و کلزا در شرایط کنترل و عدم کنترل علف‌های هرز وجود دارد. برای مثال، در بررسی کشت مخلوط باقلا و جو، آقینهو و همکاران (Agegnehu et al., 2016) نشان دادند که افزایش عملکرد بیولوژیکی در شرایط کنترل علف‌های هرز نسبت به شرایط عدم کنترل علف‌های هرز بیشتر بود. کشت مخلوط گیاهان روغنی با گیاهان تیره کاسنیان کارایی استفاده از منابع را در مقایسه با کشت خالص افزایش می‌دهد و منجر به بهبود عملکرد می‌شود. امروزه، استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط و یا تغییر در آن‌ها یکی از روش‌های کنترل علف‌های هرز محسوب می‌شود (Gitari et al., 2019; Shafagh-Kolvanagh et al., 2024). با توجه به اهمیت کشت مخلوط به‌عنوان رویکردی پایدار در تولید محصولات زراعی و دارویی، و همچنین نقش آن در کنترل علف‌های هرز، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف کنترل علف‌های هرز و شاخص‌های مرتبط با الگوی کشت مخلوط کلزا و گلرنگ بر صفات زراعی، عملکرد و اجرای عملکرد کلزا انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۰ در مزرعه‌ای در شهرستان

جدول ۱. مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Soil characteristics of the test site

نوع بافت Soil type	pH	EC (ds/m)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	ماده آلی Organic matter (%)	آهک Lime (%)	ازت کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (ppm)
لومی-شنی Loamy-sandy	7.7	1.12	22	18	63	1.1	11.2	0.1	58	295

و کلزا در عمق ۱/۵ سانتی متر از سطح خاک کاشته شدند. روی بذرهای کلزا با توجه به ریزبودن بذر با مقدار مناسب ماسه بادی پوشانده شد تا جوانه زنی آن‌ها به طور یکنواخت انجام گیرد. گلرنگ در کشت خالص با تراکم ۶۰ بوته در مترمربع و کلزا در کشت خالص با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد که البته کلزا بسته به نسبت‌های کشت در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ - کلزا) ۴۰ بذر در مترمربع با فاصله روی ردیف چهار سانتی متر و گلرنگ با تراکم بهینه و در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۷۵ (گلرنگ - کلزا) ۶۰ بذر کلزا در مترمربع با فاصله روی ردیف سه سانتی متر و گلرنگ با تراکم بهینه در نظر گرفته شد و برای کشت مخلوط جایگزینی در نسبت (۱:۱) یک ردیف گلرنگ و یک ردیف کلزا و در نسبت (۲:۱) دو ردیف گلرنگ و یک ردیف کلزا در نظر گرفته شد. پس از کاشت به منظور جلوگیری از خشک شدن خاک و اختلال در جوانه زنی، آبیاری اولیه هر چهار روز یکبار و پس از آن، آبیاری با دور هفت روز تا پایان فصل رشد انجام گرفت. در مرحله پنجم هر دو گیاه تنک شدند تا تراکم مورد نظر حاصل گردد. در طول دوره رشد در خرداد ماه، کود ازت خالص در مرحله هفتم رقتن گیاهان به صورت سرک افزوده شد (۷۵ کیلوگرم در هکتار). کنترل علف‌های هرز در تیمارهای مربوط به وجین با دست، از تیرماه ۱۴۰۰ به بعد هر هفته در طول فصل رشد ادامه یافت. فهرست علف‌های هرز در تیمارهای بدون کنترل در جدول ۳ آورده شده است.

مراغه اجرا شد. این منطقه در ارتفاع ۱۲۹۰ متری از سطح دریا با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و چهار دقیقه شرقی قرار گرفته و میزان بارندگی سالیانه آن ۲۴۳ میلی متر و میانگین دمای سالیانه ۱۴/۴ درجه سانتی گراد، میانگین بیشینه دمای سالیانه ۲۰/۷ درجه سانتی گراد، میانگین کمینه دمای سالیانه هشت درجه سانتی گراد می باشد. نوع خاک محل انجام آزمایش براساس اصول صحیح نمونه برداری و آزمایش‌های خاک انجام گرفته، لومی - شنی بوده و نتایج حاصل از تجزیه آن به شرح جدول ۱ می باشد.

کشت مخلوط براساس سری‌های افزایشی و جایگزینی انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار انجام شد (جدول ۲).

مراحل آماده سازی زمین شامل شخم اولیه، در اواخر مهر ماه سال ۱۳۹۹ و تسطیح زمین و کرت بندی و تفکیک بلوک‌های آزمایش در فروردین ماه ۱۴۰۰ انجام شد. عملیات کاشت گلرنگ و کلزا به طور همزمان در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰ و با دست صورت گرفت. رقم مورد استفاده برای گلرنگ، رقم گلستان بود و برای کلزا، رقم شیرعلی بود که از شهرستان کرمانشاه تهیه شدند. کاشت به صورت کرتی با چهار ردیف کاشت و با فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی متر و فاصله بذور در روی ردیف ۲۰ سانتی متر برای گلرنگ و برای کلزا با هشت ردیف کاشت و با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی متر و فاصله بذور در روی ردیف دو سانتی متر در نظر گرفته شد. هر کرت کاشت به ابعاد ۲×۲/۴ متر و مساحت ۴/۸ مترمربع بود. بذور گلرنگ در عمق سه سانتی متر

جدول ۲. تیمارهای آزمایش

Table 2. Experimental Treatments

ردیف Row	وضعیت کنترل علف‌های هرز Weed Control Status	نوع کشت Cultivation pattern
1	کنترل کامل (Complete Weed Control)	کشت خالص کلزا (Pure cultivation of canola)
2	کنترل کامل (Complete Weed Control)	تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع) (Optimal density of safflower (60 seeds/m ²) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m ²))
3	کنترل کامل (Complete Weed Control)	تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع) (Optimal density of safflower (60 seeds/m ²) + 75% optimum density of canola (40 seeds/m ²))
4	کنترل کامل (Complete Weed Control)	کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ یک ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ (Mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola)
5	کنترل کامل (Complete Weed Control)	کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ دو ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ (Mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola)
6	عدم کنترل (No Weed Control)	کشت خالص کلزا (Pure cultivation of canola)
7	عدم کنترل (No Weed Control)	تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع) (Optimal density of safflower (60 seeds/m ²) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m ²))
8	عدم کنترل (No Weed Control)	تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع) (Optimal density of safflower (60 seeds/m ²) + 75% optimum density of canola (40 seeds/m ²))
9	عدم کنترل (No Weed Control)	کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ یک ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ (Mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola)
10	عدم کنترل (No Weed Control)	کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ دو ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ (Mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola)

صفات مورد بررسی

صفاتی که در طول فصل رشد مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، تراکم و زیست توده علف‌های هرز بود. جهت نمونه‌برداری از علف‌های هرز از داخل هر پلات به وسیله کوادرات یک متر در یک متر، کل علف‌های هرز موجود در تیمارهای بدون کنترل از سطح خاک بریده شده و برای بررسی تراکم علف‌های هرز، همه علف‌های هرز شمارش شده و ارتفاع آن‌ها یادداشت گردید. برای اندازه‌گیری زیست توده علف‌های هرز، به مدت ۴۸ ساعت در آونی با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از طی این مدت از آون خارج نموده و سپس با ترازوی حساس توزین و داده‌ها ثبت گردیدند.

شاخص ارزیابی کشت مخلوط

جهت ارزیابی سودمندی کشت مخلوط از شاخص نسبت برابری

زمین (Land equality ratio: LER) بر مبنای عملکرد بیولوژیکی

هر دو گیاه به شرح زیر استفاده شد (Darabi, 2025):

$$LER(T) = LER(a) + LER(b) \quad (1)$$

$$LER(a) = Y_{ab} / Y_{aa} \quad (2)$$

$$LER(b) = Y_{ba} + Y_{bb} \quad (3)$$

LER(T): نسبت برابری کل زمین، LER(a): نسبت برابری زمین

گونه A، LER(b): نسبت برابری زمین گونه B، Y_{ab}: عملکرد

گونه A در کشت مخلوط، Y_{aa}: عملکرد گونه A در کشت

خالص، Y_{ba}: عملکرد گونه B در کشت مخلوط، Y_{bb}: عملکرد

گونه B در کشت خالص. برای محاسبه مجموع ارزش نسبی

(Total relative value: TRV) از معادله زیر بهره‌گیری شد:

$$TRV = (aP_1 + bP_2) / aM_1 \quad (4)$$

در این رابطه P₁ و P₂ به ترتیب عملکرد گونه‌های اول و دوم در

کشت مخلوط و M₁ عملکرد گونه اول در کشت خالص و a و

جدول ۳. لیست علف‌های هرز در تیمارهای کنترل‌نشده در کشت مخلوط گلرنگ-کلزا

Table 3. List of weeds in non-control treatments safflower-canola

ردیف	نام فارسی	نام علمی	نام تیره
Row	Persian name	Scientific name	Family name
1	سلمه‌تره	<i>Chenopodium album</i> L.	Chenopodiaceae
2	یونجه	<i>Medicago sativa</i> L.	Fabaceae
3	بارهنگ	<i>Plantago major</i> L.	Plantaginaceae
4	هویج وحشی	<i>Daucus carota</i> L.	Apiaceae
5	شنگ معمولی	<i>Tragopogon collinus</i> L.	Asteraceae
6	شنگ اسبی	<i>Scorzonera</i> L.	Asteraceae
7	گاو چاق کن	<i>Lactuca serriola</i> L.	Compositae
8	کنگر صحرایی	<i>Cirsium arvensis scop</i> L.	Asteraceae
9	مرغ	<i>Cynodon dactylon</i> L.	Poaceae
10	چسبک	<i>Setaria viridis</i> L.	Poaceae
11	قیاق	<i>Sorghum halepense</i> L.	Poaceae
12	گاو پنبه	<i>Abutilon theophrasti medic</i> L.	Malvaceae
13	توق	<i>Xanthium strumarium</i> L.	Asteraceae
14	پیچک صحرایی	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae
15	کاسنی	<i>Cichrorium intybus</i> L.	Asteraceae
16	ترشک	<i>Rumex alpinus</i> L.	Polygonaceae
17	جارو قزوینی	<i>Kochia scoparia</i> L.	Amaranthaceae
18	تاج خروس	<i>Amaranthus retroflous</i> L.	Amaranthaceae
19	قاصداک	<i>Taraxacum sect. Ruderalia</i> L.	Asteraceae
20	علف هفت‌بند	<i>Polygonum aviculare</i> L.	Polygonaceae
21	خرفه	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Porthulacaceae
22	پاغازی	<i>Viola pinetorum</i> L.	Violaceae

در این رابطه نیز WDW_e و WDW_i به ترتیب زیست توده علف‌های هرز در تیمار کشت خالص گلرنگ بدون کنترل علف‌های هرز و زیست توده علف‌های هرز در تیمار کشت مخلوط می‌باشد (Darabi, 2025).

عملیات برداشت

به منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، برداشت نمونه‌های کلزا به ابعاد یک مترمربع در هر کرت صورت گرفت. بدین صورت

b به ترتیب قیمت گیاه اول و دوم می‌باشد. اگر $TRV > 1$ باشد، کشت مخلوط بهتر است. در صورتی که $TRV < 1$ باشد، کشت خالص دارای مزیت اقتصادی خواهد بود و کشت خالص ترجیح داده می‌شود. البته باید توجه داشت که اگر $LER < 1$ باشد، محاسبه TRV ضرورتی ندارد. برای محاسبه کارایی کنترل علف‌های هرز (Weed control efficiency: WCE) توسط تیمارهای کشت مخلوط نیز از رابطه زیر استفاده شد.

$$WCE = [(WDW_e - WDW_i) / WDW_e] \times 100 \quad (5)$$

که در هر کرت پس از حذف ردیف‌های کناری و ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای کرت به‌عنوان حاشیه، یک مترمربع به‌عنوان سطح نمونه‌برداری برای صفات عملکردی در واحد سطح در نظر گرفته شدند. همچنین به تعداد پنج بوته از سطح باقی‌مانده نمونه‌برداری به‌طور تصادفی انجام شد و صفاتی از قبیل تعداد خورجین در بوته، عملکرد زیست توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد.

عملکرد دانه و زیست توده در واحد سطح: به هنگام رسیدگی محصول با حذف اثر حاشیه کلیه بوته‌های گلرنگ و کلزا به اندازه یک مترمربع از هر کرت برداشت و خشک شدند. سپس نمونه‌های خشک‌شده با ترازوی حساس توزین و عملکرد زیست توده و عملکرد دانه آن‌ها به‌صورت کیلوگرم در هکتار تعیین گردید.

شاخص برداشت: شاخص برداشت با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد:

$$(۶) \times 100 = \frac{\text{عملکرد اقتصادی}}{\text{شاخص برداشت}} \quad (\text{زیست توده اندام هوایی} + \text{عملکرد اقتصادی})$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. به‌منظور تعیین معنی‌داری تفاوت بین میانگین تیمارها، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. برای انجام کلیه محاسبات آماری، تحلیل واریانس و پردازش داده‌ها از نرم‌افزار آماری MSTAT-C و SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. همچنین، جهت ترسیم نمودارهای مربوط به صفات مختلف، از Excel بهره‌گیری گردید.

نتایج و بحث

تعداد خورجین در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات کنترل

علف‌های هرز، نسبت‌های کشت و همچنین اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در نسبت‌های کشت بر صفت تعداد خورجین در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در نسبت‌های کشت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد بود. به‌طور خاص، بیشترین تعداد خورجین کلزا مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی با نسبت ۲:۱ (گلرنگ - کلزا) و با کنترل کامل علف‌های هرز با میانگین ۲۸/۹ بود، درحالی‌که کمترین تعداد خورجین به ترکیب تیماری کشت مخلوط افزایشی با نسبت ۱۰۰:۵۰ (کلزا - گلرنگ) و عدم کنترل علف‌های هرز با میانگین ۹/۶ تعلق داشت (شکل ۱). افزایش تعداد گل‌های بارور، شرایط مناسبی را برای تشکیل تعداد خورجین فراهم می‌کند. تعداد خورجین به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی عملکرد در نظر گرفته می‌شود، زیرا خورجین‌ها حاوی دانه بوده و در مراحل اولیه پرشدن دانه از طریق فرایند فتوسنتز در رشد و تکامل دانه‌ها نقش دارند؛ بنابراین، هرچه تعداد دانه‌ها در هر خورجین بیشتر باشد، گیاه به‌عنوان مخزنی بزرگتر برای آنیسمیلات تولید شده به‌منظور تولید دانه عمل می‌کند (Abdi, 2023; Shafagh-Kolvanagh et al., 2025). این نتایج با یافته‌های مربوط به پژوهش‌های انجام شده در مورد کشت مخلوط گلرنگ-باقلا (Saeidi et al., 2018) مطابقت دارد. گزارش‌های رضایی چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh et al., 2015) نشان دادند که افزایش رشد رویشی و شاخص سطح برگ در کشت‌های مخلوط منجر به افزایش درصد نور دریافتی نسبت به کشت خالص می‌شود. این امر می‌تواند توضیح‌دهنده تأثیر مثبت کشت‌های مخلوط بر تعداد خورجین و در نهایت عملکرد زراعی باشد.

عملکرد بیولوژیکی در واحد سطح

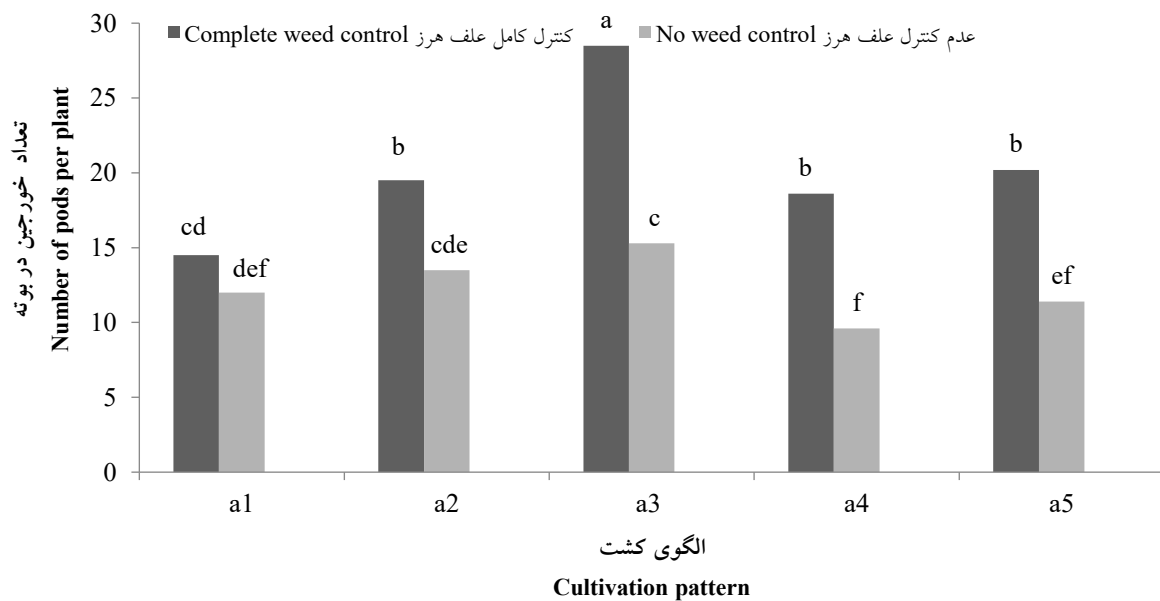
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نسبت‌های کشت بر عملکرد زیست توده در واحد سطح، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در نسبت‌های

جدول ۴. تحلیل واریانس تأثیر الگوهای کشت مختلف و کنترل علف‌های هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

Table 4. Variance analysis of the effect of different cultivation patterns and weed control on yield and yield components of canola

منبع تغییرات (S.O.V)	Mean Square		میانگین مربعات		
	درجه آزادی (D.F)	تعداد خورجین در بوته (Number of pods per plant)	عملکرد زیست‌توده (Biomass yield)	عملکرد دانه (Seed yield)	شاخص برداشت (Harvest index)
بلوک (Block)	2	0.7	119546	3186	46.9
کنترل علف‌های هرز (A) (Weed control)	1	477.6**	31417**	118791**	112.2**
الگوی کشت (B) (Planting pattern)	4	72.3**	152701 ^{ns}	286489*	175.5**
A*B	4	24.9**	12712 ^{ns}	14152**	23.9**
خطای آزمایشی (Error)	18	2.3	13.11	24.96	5.7
ضریب تغییرات (Coefficient of variation) (%)	—	9.2	6.9	11.3	10
میانگین (Mean)		16.31	5639	1131	23.63

ns, **, * and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively



شکل ۱. تأثیر برهم‌کنش اثر الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های هرز بر تعداد خورجین در بوته
Fig. 1. The interaction effect of different cultivation patterns in controlling weeds on the number of pods

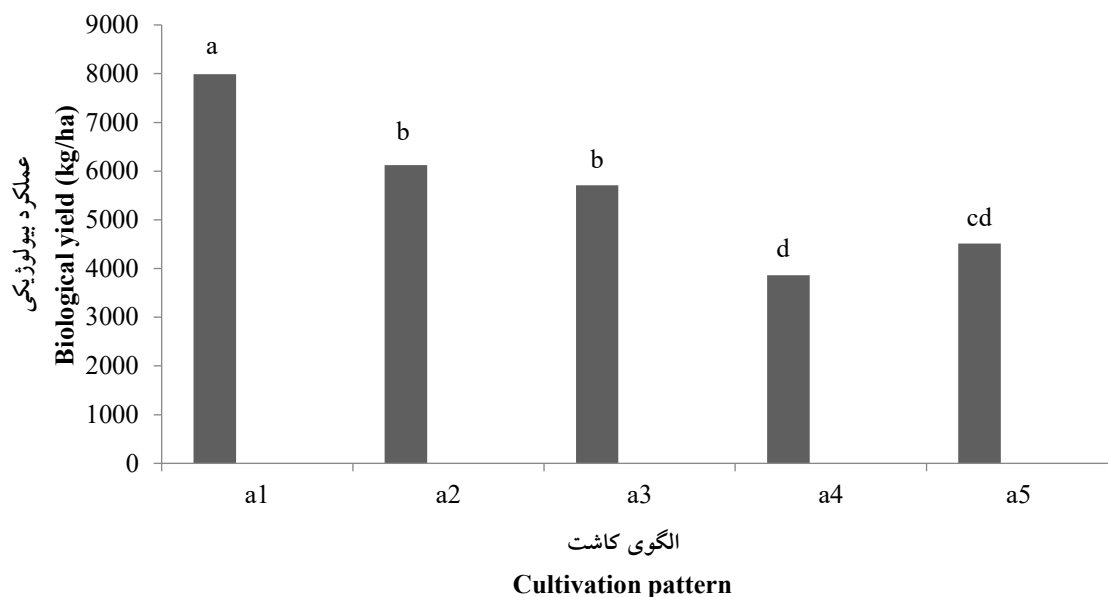
تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Treatments with at least one common letter did not differ significantly at 5% probability level.

a1: کشت خالص کلزا، a2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a4: تراکم مطلوب

گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

a1: Pure cultivation of canola, a2: Mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a3: Mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a4: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m²), a5: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m²).



شکل ۲. تاثیر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیکی کلزا در واحد سطح

Fig. 2. Effect of different cultivation patterns on biological performance

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Treatments with at least one common letter did not differ significantly at 5% probability level.

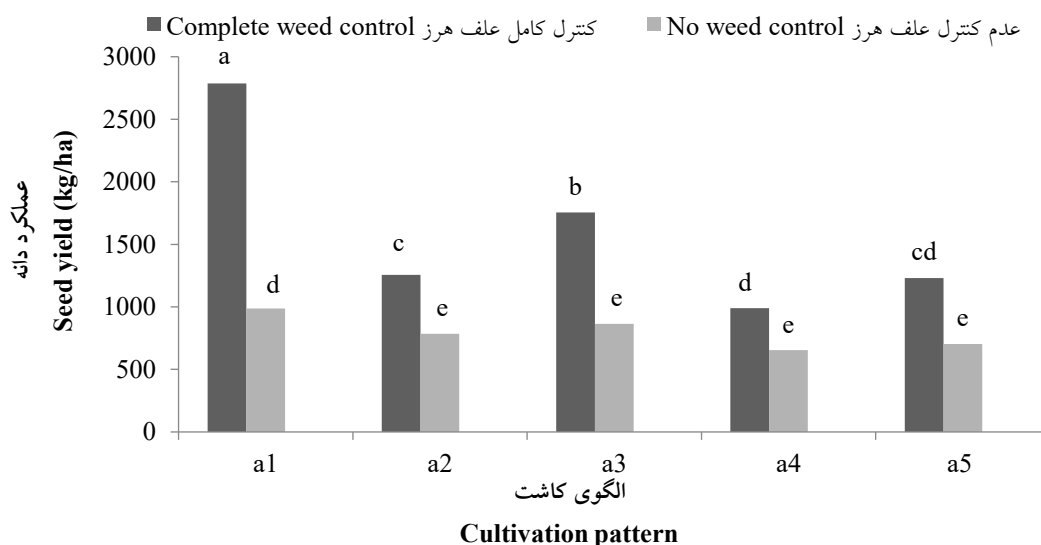
a1: کشت خالص کلزا، a2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a4: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع).

a1: Pure cultivation of canola, a2: Mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a3: Mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a4: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m²), a5: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m²).

عملکرد دانه در واحد سطح

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای کنترل علف‌های هرز، الگوی کاشت و اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی دار هستند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های اثرهای متقابل کنترل علف‌های هرز در الگوی کاشت نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد، بیشترین عملکرد دانه کلزا مربوط به ترکیب تیماری کشت خالص کلزا با کنترل کامل علف‌های هرز با ۲۷۸۶ کیلوگرم در هکتار بود و همچنین کمترین عملکرد دانه مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ - کلزا) با عدم کنترل علف‌های هرز با ۶۵۴/۶ کیلوگرم در هکتار بود. به‌طوری‌که بیشترین کاهش عملکرد مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی

کشت و اثر ساده کنترل علف‌های هرز معنی دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های اثر نسبت‌های کشت بر عملکرد زیست‌توده کلزا نشان داد که تیمار کشت خالص کلزا با ۷۹۹۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد زیست‌توده و تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (کلزا-گلرنگ) با ۳۸۶۵ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را داشت (شکل ۲). به نظر می‌رسد رقابت برون گونه‌ای در کشت مخلوط باعث کاهش عملکرد زیست‌توده در تیمار کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی شده باشد (Shafagh-Kolvanagh et al., 2025). بررسی‌های مختلف نشان داده است که در صورت انتخاب تراکم مناسب کشت مخلوط، جذب آب و مواد غذایی بدلیل تفاوت در توانایی رقابت بین گیاهان افزایش می‌یابد (Koocheki et al., 2014).



شکل ۳: تأثیر بی‌همکنش اثر الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های هرز بر عملکرد دانه کلزا
Fig. 3. The interaction effect of different cultivation patterns in weed control on seed yield
 تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Treatments with at least one common letter did not differ significantly at 5% probability level.

a1: کشت خالص کلزا، a2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a4: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

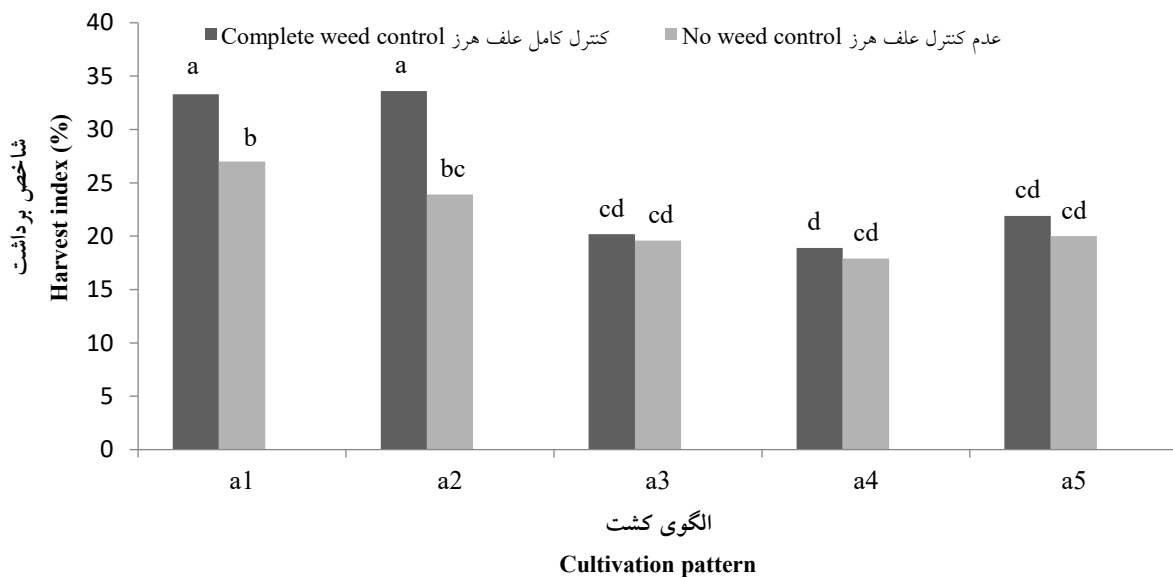
a1: Pure cultivation of canola, a2: Mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a3: Mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a4: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m²), a5: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m²).

(*T. foenum-graecum*) و شنبلیله (*T. copticum*) بیان شد که زیان (*T. copticum*) گیاه غالب در کشت عمل کرده، به‌نظر می‌رسد که کشت مخلوط عمدتاً به نفع زیان (*T. copticum*) بوده و باعث حفظ عملکرد آن شد؛ درحالی‌که برای شنبلیله (*T. foenum-graecum*)، عملکرد نسبت به کشت خالص کاهش یافته و تحت تأثیر آرایش‌های کشت قرار نگرفت، به‌طورکلی زمانی که در کشت مخلوط گیاه غالب در کنار گیاه مغلوب قرار می‌گیرد عملکرد آن نسبت به کشت خالص آن افزایش می‌یابد، در صورتی که برای گیاه مغلوب این اتفاق نمی‌افتد (Mirhashemi et al., 2009).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرهای کنترل

۱۰۰:۵۰ (گلرنگ - کلزا) با ۷۰/۴ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ - کلزا) با ۲۷/۱ درصد می‌باشد. عملکرد دانه در کشت مخلوط و عدم کنترل علف‌های هرز نسبت به کشت خالص و کنترل کامل علف‌های هرز، کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل ۳). به‌نظر می‌رسد بر اثر افزایش رقابت در کشت مخلوط و کاهش منابع محیطی، عملکرد گونه‌ها در کشت مخلوط کاهش یافته باشد (Shafagh-Kolvanagh et al., 2024). در بررسی عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*N. sativa*) در کشت مخلوط با نخود (*C. arietinum*) و لوبیا (*P. vulgaris*) مشخص شد که عملکرد دانه هر سه گیاه تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت و میانگین این صفت در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط بالاتر بود (Koocheki et al., 2014). طبق تحقیقی در کشت مخلوط زیان (*T.*



شکل ۴. تأثیر برهمکنش اثر الگوهای مختلف کشت در کنترل علف‌های هرز بر شاخص برداشت کلزا
Fig. 4. The interaction effect of different cultivation patterns in weed control on harvest index of Canola
 تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Treatments with at least one common letter did not differ significantly at 5% probability level.

a1: کشت خالص کلزا، a2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a4: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

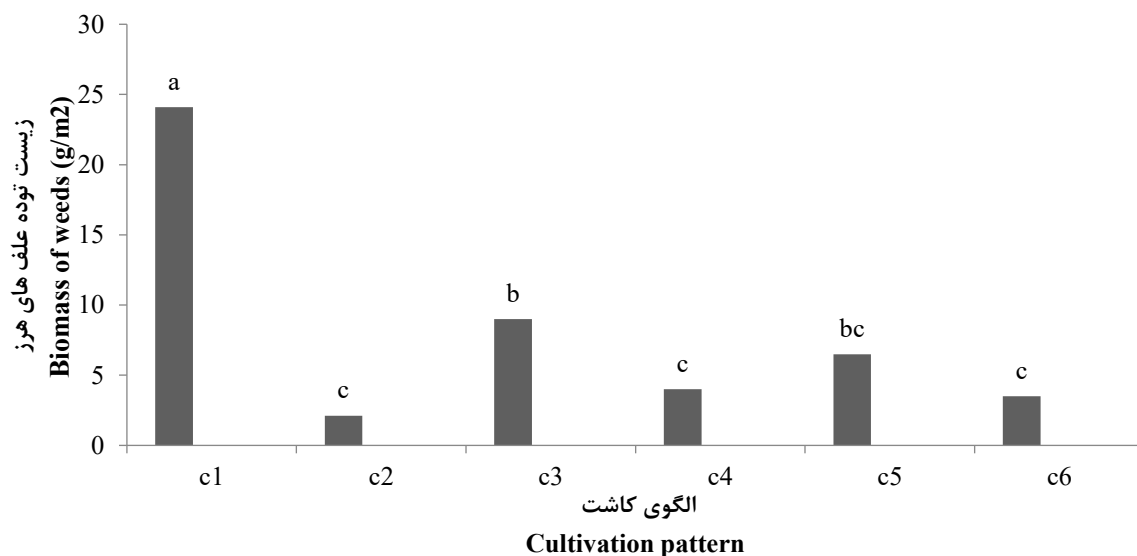
a1: Pure cultivation of canola, a2: Mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a3: Mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a4: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m²), a5: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m²).

اندازه‌گیری تسهیم منابع در طول دوره رشد می‌باشد و نشان‌دهنده تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به مخازن اقتصادی گیاه است (Mirhashemi *et al.*, 2009). همان‌طور که اشاره شد اختلاف در شاخص برداشت را می‌توان به تفاوت در اجزای عملکرد و یا افزایش عملکرد زیست‌توده نسبت داد (Shafagh-Kolvanagh *et al.*, 2023; 2024; 2025).

زیست توده علف‌های هرز

مقایسه میانگین‌های نسبت‌های مختلف کشت برای زیست توده علف‌های هرز نشان داد که تیمار کشت خالص گلرنگ با ۲۴/۲ گرم در مترمربع دارای بیشترین و تیمار کشت خالص کلزا با ۲/۱ گرم در مترمربع دارای کمترین زیست توده علف‌های هرز بود (شکل ۶). بنظر می‌رسد که بعلت اثرات تسهیل‌کنندگی کلزا، مانند

علف‌های هرز، نسبت‌های کشت و اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در نسبت‌های کشت بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل کنترل علف‌های هرز در نسبت‌های کشت نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین شاخص برداشت کلزا مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ - کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز با ۳۳/۶ درصد بود و همچنین کشت مخلوط افزایشی ۵۰:۱۰۰ (کلزا - گلرنگ) با عدم کنترل علف‌های هرز با ۱۷/۹ درصد کمترین شاخص برداشت را دارا بود (شکل ۴). مطالعات نشان دادند که کشت‌های مخلوط جایگزینی یونجه و جو دارای بیشترین شاخص برداشت بودند (Esmaili *et al.*, 2012). شاخص برداشت، مقیاسی برای



شکل ۵. میانگین زیست توده علف های هرز تحت تأثیر تیمار الگوهای مختلف کشت تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Fig. 5. Average biomass of weeds under the influence of different cultivation patterns

Treatments with at least one common letter did not differ significantly at 5% probability level.

a1: کشت خالص کلزا، a2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a4: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

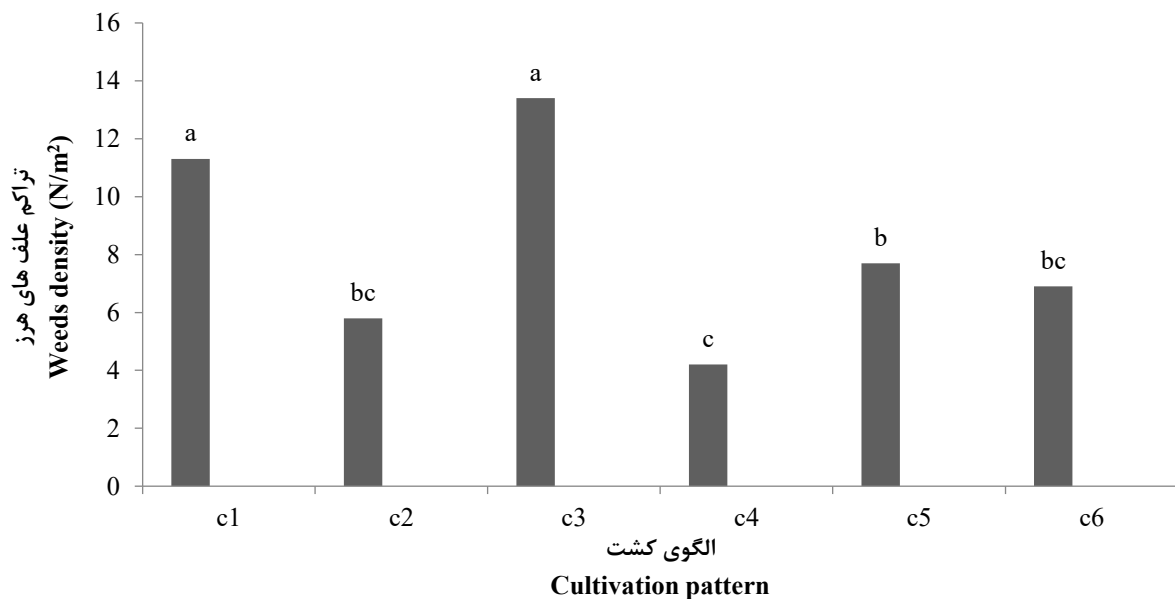
a1: Pure cultivation of canola, a2: Mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a3: Mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a4: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m²), a5: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m²).

زیست توده علف های هرز معیار مناسبتر و کاربردی تر نسبت به تعداد علف های هرز به شمار می رود (Shafagh-Kolvanagh et al., 2023).

تراکم علف های هرز

مقایسه میانگین های نسبت های کاشت به تراکم علف های هرز نشان داد که تیمار کشت خالص گلرنگ با ۱۱/۴ (تعداد علف های هرز در مترمربع) دارای بیشترین و تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (گلرنگ - کلزا) با ۴/۲ (تعداد علف های هرز در مترمربع) دارای کمترین تراکم بود (شکل ۷). بالاترین تراکم علف های هرز با ۱۴۰/۶۶ (تعداد علف های هرز در مترمربع) علف های هرز سلمه تره از گونه های مختلف، مربوط به تیمار کشت مخلوط ۱:۱ (گلرنگ - کلزا) بود که در بین آنها هم تراکم علف های هرز قیاق با ۷۱/۳ (تعداد علف های هرز در مترمربع) بود

جوانه زنی و رشد سریع تر از یک طرف و وجود اثرات آللوپاتی کلزا، از طرف دیگر منجر به جلوگیری از جوانه زنی و رشد علف های هرز در کشت خالص شد، اما در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۷۵ (کلزا - گلرنگ) نیز با ۳/۵ گرم در مترمربع و تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (گلرنگ - کلزا) با چهار گرم در مترمربع نیز دارای کمترین زیست توده بود. بیشترین زیست توده علف های هرز، زیست توده علف های هرز سلمه تره با ۲۱۶/۶ گرم در مترمربع مربوط به تیمار کشت خالص گلرنگ بود که در بین گونه های مختلف علف های هرز، زیست توده یونجه هم با ۶۰ گرم در مترمربع که از بقایای ریشه یونجه دو سال قبل در خاک، سبز شده بود، دارای وزن بالاتری بود و بقیه به سایر علف های هرز اختصاص پیدا کرد (شکل ۵). با افزایش زیست توده، سهم علف های هرز از عوامل محیطی مؤثر بر رشد افزایش می یابد و به همان نسبت سهم گیاه زراعی از آنها کاهش می یابد.



شکل ۶. میانگین تراکم علف‌های هرز تحت تأثیر تیمار الگوهای مختلف کشت

Fig. 6. The average weed density under the influence of different cultivation patterns

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Treatments with at least one common letter did not differ significantly at 5% probability level.

a1: کشت خالص کلزا، a2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، a3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، a4: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع).

a1: Pure cultivation of canola, a2: Mixed cultivation of 1:1 replacement of safflower and canola, a3: Mixed cultivation of 2:1 replacement of safflower and canola, a4: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m²), a5: Optimal density of safflower (60 seeds/m²) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m²).

۱۰۰:۵۰ (کلزا - گلرنگ) که کمتر از یک بود. بیشترین میزان نسبت برابری زمین به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ - کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز با مقدار ۱/۷۱ تعلق داشت. به این معنی که برای دستیابی به همین مقدار عملکرد از کشت خالص این دو گیاه به ۱/۷۱ هکتار زمین نیاز است و ۰/۷۱ هکتار زمین صرفه‌جویی شده است (جدول ۵). کمترین نسبت برابری زمین نیز در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (کلزا - گلرنگ) با کنترل کامل علف‌های هرز با مقدار ۰/۸۷ مشاهده شد که این امر از رقابت گلرنگ و کلزا در استفاده از نور و منابع موجود ناشی شد (Shafagh-Kolvanagh et al., 2024; 2025). کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد دانه مخلوط، بیشتر از حداکثر محصول تک‌کشتی باشد. اضافه عملکرد به دست آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و

و بقیه به سایر علف‌های هرز اختصاص پیدا کرد (شکل ۶). در تحقیقی با بررسی اثر کشت مخلوط این دو گیاه به دلیل پوشش بهتر و متراکم‌تر بر سطح زمین باعث افزایش قدرت رقابت گیاهان زراعی برای استفاده از نور، آب و سایر منابع محیطی درمقایسه با کشت خالص شده که درنهایت، باعث کاهش تنوع و تراکم علف‌های هرز در کشت مخلوط درمقایسه با کشت خالص شد (Shafagh-Kolvanagh et al., 2024).

معیارهای ارزیابی کشت مخلوط

معیارهای ارزیابی کشت مخلوط، نسبت برابری زمین را در تیمارهای مختلف کشت مخلوط نشان می‌دهد. کلیه تیمارهای کشت مخلوط، نسبت برابری زمین بالاتری نسبت به کشت خالص هر دو گیاه داشتند، بجز تیمار کشت مخلوط افزایشی

جدول ۵. مقادیر WCE و TRV و LER

Table 5. The values of LER, TRV and WCE

تیمارها Treatments		معیار ارزیابی کشت مخلوط Evaluation criterion of mixed cultivation				
کنترل علف‌های هرز Weed control	الگوی کشت Planting pattern	WCE	TRV	LER	عملکرد نسبی کلزا Relative yield of canola	عملکرد نسبی گلرنگ Relative yield of safflower
کنترل کامل علف‌های هرز Complete weed control	b ₁	–	2.33	1.71	0.76	0.95
	b ₂	–	1.63	1.26	0.45	0.81
	b ₃	–	1.09	0.87	0.28	0.59
	b ₄	–	1.36	1.06	0.37	0.69
عدم کنترل علف‌های هرز Non-weed control	b ₁	62.7	2.01	1.62	0.69	0.93
	b ₂	83.4	1.56	1.28	0.5	0.78
	b ₃	73	1.15	0.97	0.32	0.65
	b ₄	85.4	1.41	1.16	0.42	0.74

b₁: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ گلرنگ و کلزا، b₂: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ گلرنگ و کلزا، b₃: تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا، b₄: تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا.

b₁: 1:1 replacement mixed crop of safflower and canola, b₂: 2:1 replacement mix of safflower and canola, b₃: optimal density of safflower + 50 percent of the optimal density of canola, b₄: optimal density of safflower + 75 percent of the optimal density of canola.

اختلاف مورفولوژیکی بین آن‌ها و کمتر بودن علف‌های هرز در الگوی کاشت مخلوط نسبت داد (Shafagh-Kolvanagh *et al.*, 2023; Darabi, 2025). در این تحقیق هر دو گونه به‌طور جزیی تحت تأثیر منفی کشت مخلوط قرار گرفتند، با وجود این دو محصول توانستند کاهش عملکرد یکدیگر را جبران کنند و بدین سبب نسبت برابری زمین به‌غیر از تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (گلرنگ - کلزا) در تمامی تیمارها بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. مجموع ارزش نسبی، کشت مخلوط را از نظر ارزش مالی مورد ارزیابی قرار می‌دهد. کلیه تیمارهای کشت مخلوط مجموع ارزش نسبی، بیشتر از یک داشتند که نشان‌دهنده سودمندی اقتصادی این نسبت‌های کاشت درمقایسه با کشت خالص است. بالاترین مجموع ارزش نسبی به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ - کلزا) با کنترل کامل علف‌های هرز با مقدار ۲/۳۳ تعلق داشت و کمترین مقدار آن در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۵۰ (کلزا - گلرنگ) با کنترل کامل علف‌های هرز با مقدار ۱/۰۹ به‌دست آمد (جدول ۵). در بررسی کشت مخلوط سه رقم ذرت با سویا در سه فاصله ردیف نتایج نشان داد که شاخص

نسبت برابری زمین در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص بیشتر از واحد است (Berdjour *et al.*, 2020). با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی (گلرنگ - کلزا) با نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۲ و تیمارهای کشت مخلوط افزایشی (کلزا - گلرنگ) با نسبت‌های ۱۰۰:۵۰ و ۱۰۰:۷۵ دارای شاخص کارایی کنترل علف‌های هرز به‌ترتیب ۶۳/۷، ۸۳/۴ و ۷۳/۴ بودند. به‌نظر می‌رسد که اجرای کشت مخلوط کلزا با گلرنگ، توان این گیاهان در رقابت با علف‌های هرز را افزایش داده و ضمن مهار مطلوب علف‌های هرز، کارایی سیستم زراعی در استفاده از منابع افزایش یافته و در نتیجه عملکرد کل سیستم نسبت به تیمار عدم کنترل علف‌های هرز افزایش یافته است. در واقع، با افزایش تراکم گیاه کلزا در مزرعه گلرنگ، سطح زمین سریعتر توسط گیاهان زراعی پوشیده شد و از دسترسی علف‌های هرز به نور عبور کرده از لابه‌لای شاخ و برگ کانوپی گلرنگ به‌سمت زمین، جلوگیری شد. در مطالعه‌ای، گزارش کردند که با افزایش تراکم گیاه همراه در مزرعه گیاه اصلی، تراکم و زیست توده علف‌های هرز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. علت کاهش زیست توده و تراکم علف‌های هرز

در کشت مخلوط، به افزایش توان رقابتی گیاهان زراعی با علف‌های هرز نسبت داده شده است (Shafagh-Kolvanagh *et al.*, 2024; 2025). در مطالعه دیگر گزارش کردند که تراکم و زیست توده علف‌های هرز با اجرای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. محققان علت این امر را اثر مکملی گیاهان زراعی در کشت مخلوط دانستند که باعث افزایش توان رقابتی گیاهان زراعی با علف‌های هرز می‌شود (Shafagh-Kolvanagh *et al.*, 2023; 2025). همچنین، درمقایسه شاخص کارایی کنترل علف‌های هرز مشخص گردید که تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۷۵ (گلرنگ - کلزا) با ۸۵/۴ درصد، بیشترین کارایی را در کنترل علف‌های هرز داشت، به‌طوری‌که درمقایسه با تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (گلرنگ - کلزا) از ۲۳ درصد برتری برخوردار بود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، نتایج نشان داد که آرایش کشت مخلوط افزایشی به نسبت ۱۰۰:۷۵ (کلزا - گلرنگ) به‌طور معنی‌داری زیست توده علف‌های هرز را نسبت به کشت خالص گلرنگ کاهش می‌دهد. به‌طور مشخص، در تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی (گلرنگ - کلزا) با نسبت‌های ۱:۱ و ۲:۱ و همچنین در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی (کلزا - گلرنگ) با نسبت‌های ۱۰۰:۵۰ و ۱۰۰:۷۵، به‌ترتیب ۶۲/۷، ۸۳/۴ و ۷۳ درصد کاهش زیست توده علف‌های هرز نسبت به کشت خالص گلرنگ مشاهده گردید. این نتایج حاکی از این است که کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰:۷۵ از نظر کنترل علف‌های هرز به‌طور مؤثرتری عمل کرده است. ارزیابی تیمارهای کشت مخلوط با استفاده از شاخص نسبت برابری زمین، مجموع ارزش نسبی و کارایی کنترل علف‌های هرز نشان داد که الگوهای کشت مخلوط از نظر تولید و ارزش اقتصادی نسبت به کشت خالص برتری دارند. همچنین، عملکرد و اجزای عملکرد در کلزا تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و تیمارهای کنترل علف‌های هرز قرار گرفت. نتایج

این آزمایش بیانگر تأثیر مثبت افزایش نسبت‌های کشت مخلوط و جایگزینی کلزا با گلرنگ بر عملکرد کلزا است. به علاوه، استفاده از کشت مخلوط بدلیل کاهش رقابت بین گونه‌ای و بهره‌برداری بهینه از عوامل محیطی، منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در کلزا گردید. باتوجه به یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌شود تحقیقات آتی با رویکردی جامع‌تر و مبتنی بر اصول بوم‌زراعی انجام گیرد. به‌منظور درک عمیق‌تر از سازوکارهای رقابتی و تعاملات بین گونه‌ای در کشت مخلوط کلزا و گلرنگ، بررسی دینامیک علف‌های هرز، تغییرات فلور و تراکم آن‌ها در مراحل مختلف رشد توصیه می‌شود. همچنین مطالعه سطوح متنوع‌تر نسبت‌های کاشت و آرایش فضایی گیاهان با هدف تعیین نسبت بهینه اختلاط، می‌تواند به بهبود کارایی استفاده از منابع محیطی بینجامد. ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی مانند کارایی مصرف نور، آب و مواد غذایی در شرایط کشت مخلوط، انجام آزمایش‌های چند مکانه و چند ساله برای سنجش پایداری عملکرد در شرایط اقلیمی گوناگون و تحلیل اقتصادی جامع بر پایه هزینه-فایده از دیگر محورهای پیشنهادی است. افزون بر این، مطالعه اثرات کشت مخلوط بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و ترکیب آن با روش‌های نوین مدیریت تلفیقی علف‌های هرز می‌تواند به تدوین الگوهای پایدار و کارآمد برای بهبود عملکرد و پایداری تولید در نظام‌های زراعی منجر شود.

تشکر و سپاسگزاری

از دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز به خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

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

References

1. Abdi, S., 2023. Evaluation of yield, yield components and competitive indices in different patterns of intercropping on Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Crop Prod. Process. 13, 31–48. (In Persian) <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.13.3.34793>
2. Agegnehu, G., Ghizaw, A., Sinebo, W., 2016. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in *Ethiopian highlands*. Eur. J. Agron. 25, 202–207. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002>
3. Berdjour, A., Dugie, I. Y., Dzomeku, I. K., Rahman, N. A., 2020. Maize–soybean intercropping effect on yield productivity, weed control and diversity in northern Ghana. Weed Biolo. Manage. 20, 69–81. <http://dx.doi.org/10.1111/wbm.12314>
4. Darabi, A., 2025. The effects of planting patterns and density on yield and monetary benefits in intercropping of Onion and Lettuce. J. Crop Prod. Process. 15, 71–87. (In Persian) <https://doi.org/10.47176/jcpp.15.1.22317>
5. Duan, Y., Shen, J., Zhang, X., Wen, B., Ma, Y., Wang, Y., Zhu, X., 2019. Effects of soybean–tea intercropping on soil-available nutrients and tea quality. Acta Physiol. Plant. 41, 1–9. <http://dx.doi.org/10.1007/s10725-019-07878-5>
6. Esmaili, A.M., Hoseini, B., Mohamadi, M., Hoseini khah, F.A., 2012. Evaluation of grain yield, dry matter and some traits of the forege and silage quality in hay (*Hordeum vulgare*) and annual spiring barely (*Medicago scutellata*) intercropping. Seed Plant Prod. J. 2-28, 277–296. (In Persian) <https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110476>
7. Gitari, H.I., Gachene, C.K., Karanja, N.N., Kamau, S., Nyawade, S., Schulte-Geldermann, E., 2019. Potato-legume intercropping on a sloping terrain and its effects on soil physico-chemical properties. Plant Soil 438, 447–460. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-019-04036-7>
8. Guglielmini, A.C., Verdú, A.M.C., Satorre, E.H., 2017. Competitive ability of five common weed species in competition with soybean. Int. J. Pest Manage. 63, 30–36. <http://dx.doi.org/10.1080/09670874.2016.1235795>
9. Hamzei, J., Khishvand, M., 2023. Study of agronomic traits, yield performance and economical indices in intercropping of spinach with chickpea. J. Hort. Sci. 37, 363–376. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75899.1153>
10. Huang, Z., Cui, C., Cao, Y., Dai, J., Cheng, X., Hua, S., Zhong, Z., 2022. Tea plant–legume intercropping simultaneously improves soil fertility and tea quality by changing *Bacillus* species composition. Hortic. Res. 9, uhac046. <http://dx.doi.org/10.1093/hr/uhac046>
11. Jalilian, J., Zajafabadi, A., Zardashti, M.R., 2017. Intercropping patterns and different farming systems affect the yield and yield components of safflower and bitter vetch. J. Plant Interact. 12(1), 92–99. <http://dx.doi.org/10.1080/17429145.2017.1344917>
12. Koocheki, A., Nasiri mahalati, M., Borumand Rezazadeh, Z., Jahani Kondori, M., Jafari, L., 2014. Yield responses of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) to intercropping with Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Iran. J. Field Crops Res. 12, 1–8. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i1.36624>
13. Korres, N. E. 2018. Agronomic weed control: A trustworthy approach for sustainable weed management. In Non-Chemical Weed Control. 97–114. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811537-7.00006-9>
14. Martin-Guay, M., Paquette, A., Dupras, J., Rivest, D., 2018. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. Sci. Total Environ. 615, 767–772. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.002>
15. Mirhashemi, S.M., Koocheki, A., Parsa, M., Nassiri Mahallati, M., 2009. Evaluation benefit of ajowan and fenugreek intercropping in different levels of manure and planting pattern. Iran. J. Field Crops Res. 7, 269–280. (In Persian)
16. Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Fotuhi Chiyaneh, S., 2015. Yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in strip intercropping with ajowan (*Carum copticum* L.) influenced by bio and chemical fertilizer. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 24, 1–15. (In Persian) <http://dx.doi.org/10.29252/abj.21.1.16>
17. Saeidi, M. R., Raei, Y., Amini, R. A., Taghizadeh, A., Pasban Eslam, B., 2018. Evaluation of yield and protein content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under biological and chemical fertilizers. Agric. Sci. Sustain. Prod. 28(4): 247–260. (In Persian)
18. Shafagh-Kolvanagh, J., Mokhtariyan, R., Amani, M., Nasrollahzade, S., 2023. Effect of weed control methods on seed yield and yield components of dragon's head (*Lallemantia iberica* F. & C.M.). Iran. J. Crop Sci. 25: 88–100. (In Persian) <http://agrobreedjournal.ir/article-1-1304-fa.html>
19. Shafagh-Kolvanagh, J., Sabzi Nojadeh, M., Vojodi, P., Amani, M., 2024. Investigating the effect of combining different weed control methods on vegetative growth and harvest index of safflower (*Carthamus tinctorius*). J. Plant Prod. Res. 31, 69–88. (In Persian) <https://doi.org/10.22069/jopp.2023.21104.3020>
20. Shafagh-Kolvanagh, J., Zehtab-Salmasi, S., Ghassemi-Golezani, K., Amani, M., Shokati Amrollah, B., 2025. Effect of different planting patterns on yield, yield components, and essential oil of Dill (*Anethum graveolens* L.) grains in additive and replacement intercropping with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). J. Crop. Prod. Process. 15, 33–53. (In Persian) <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.15.1.37744>