J. Soil Plant Interact. 2026; 17(2): 23–39. https://doi.org/10.47176/jspi.17.2.21931

Journal of Soil and Plant Interactions

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

ISSN: 2783-5014 EISSN: 2783-5286

Research Article

The Effects of Weed Control and Different Intercropping Ratios of Canola (*Brassica napus* L.) and Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) on Yield Characteristics of Canola (Shir-Ali Variety)

Jalil Shafagh-Kolvanagh[1*], Fariborz Shekari[2], Abdullah Jawanmard[2], Mina Amani[3] and Zohreh Saeli-Ashan[1]

1- Department of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2- Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
3- Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
* Corresponding author, Email: shafagh.jalil@gmail.com

(Received: 8 February 2026; Revised: 21 April 2026; Accepted: 22 April 2026)

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 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: A factorial experiment was designed using a randomized complete blocks design (RCBD) with 10 treatments and three replications during the 2020–2021 cropinpg season in a farm in Maragheh, Iran. The first factor included weed control at two levels of complete weed control and no weed control. The second factor involved five intercropping ratios of pure cultivation of canola, optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m^2), optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m^2), mixed cultivation of 1:1 replacement of canola and safflower, and mixed cultivation of 2:1 replacement of canola and safflower.
Results: In canola, the highest biomass yield (i.e., 7990 kg per hectare) was observed in the pure canola treatment, 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 pure cultivation, except for the treatment of optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m^2). Among all intercropping treatments, the highest land equivalent ratio (equal to 1.71) was associated with the 1:1 (canola - safflower) intercropping treatment with complete weed control. Furthermore, the highest total relative value (TRV) was attributed to the 1:1 (canola - safflower) 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 canola performance but also improve weed management and optimize resource utilization.

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

How to Cite: Shafagh-Kolvanagh, J., Shekari, F., Jawanmard, A., Amani, M., Saeli-Ashan, Z., 2026. The effects of weed control and different intercropping ratios of canola (*Brassica napus* L.) and safflower (*Carthamus tinctorius* L.) on yield characteristics of canola (Shir-Ali variety). J. Soil Plant Interact. 17(2), 23–39 (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jspi.17.2.21931

Copyright © 2026 Isfahan University of Technology, Published by IUT Press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

روابط خاک و گیاه ۱۴۰۵؛ ۱۷(۲): ۳۹-۲۳، https://doi.org/10.47176/jspi.17.2.21931

روابط خاک و گیاه

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

شاپا: ۲۷۸۳-۵۰۱۴ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۸۶

مقاله پژوهشی

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

جلیل شفق کلوانق[1*]، فریبرز شکاری[2]، عبدالله جوانمرد[2]، مینا امانی[3] و زهره سائلی‌اشان[1]

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

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۳- گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: shafagh.jalil@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۲/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۲)

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 به‌منظور ارزیابی آثار کشت مخلوط بر کنترل علف‌های هرز و تأثیر آن بر صفات زراعی و عملکرد کلزا در سامانه کشت مخلوط کلزا و گلرنگ اجرا شد.

روش‌ها: آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و ۳ تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه‌ای در شهرستان مراغه اجرا شد. فاکتور اول شامل کنترل علف‌های هرز در دو سطح کنترل علف‌های هرز و بدون کنترل علف‌های هرز و فاکتور دوم شامل پنج نسبت مختلف کشت شامل کشت خالص کلزا، تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع)، کشت مخلوط جایگزینی – ۱:۱ یک ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ، و کشت مخلوط جایگزینی – ۲:۱ دو ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ درنظر گرفته شد.

نتایج: نتایج نشان داد که در گیاه کلزا، بیشترین عملکرد زیست‌توده (برابر ۷۹۹۰ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص کلزا و عملکرد دانه در 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 بیشتری نسبت به کشت خالص داشتند. بیشترین میزان نسبت برابری زمین (برابر ۱/۷۱) به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ) با کنترل علف‌های هرز تعلق داشت. همچنین، بیشترین مجموع ارزش نسبی (برابر ۲/۳۳) در تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ با کنترل علف‌های هرز مشاهده شد.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج این پژوهش 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 زیست‌توده، نسبت‌های کشت.

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۵ ©.

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

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

مقدمه

شیوه‌های چندکشتی، شیوه‌های متنوع کشت گیاهان هستند، اما روش جدیدی نبوده و از دهه‌های گذشته در بسیاری از نقاط جهان، به‌منظور بهره‌برداری بیشتر از زمین در واحد زمان و فصل اجرا می‌گردند. 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 مانند ایجاد توازن اکولوژیک، بهره‌برداری بیشتر از منابع، افزایش کمّی و کیفی عملکرد و کاهش خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز را دنبال می‌کند (Abdi, 2023).

در کشت مخلوط، اصول اولیه اکولوژیک به شکل تنوع زیاد، رقابت و تسهیل برای تولید محصولات رعایت می‌شود. به‌طورکلی، اگر سیستم چندکشتی محصولات با پیش‌نیازهای مناسب انتخاب شود، بازده عملکرد بیشتر از پایه‌های خالص محصولات چندگانه خواهد بود (Duan et al., 2019). سیستم کشت مخلوط، پوشش بیشتری از سطح زمین توسط تاج‌پوشش گیاهان را تضمین می‌کند و تعرق بیشتری توسط شاخساره گیاه انجام می‌شود که می‌تواند یک اقلیم خنک‌تر ایجاد کرده و باعث کاهش دمای خاک می‌شود (Huang et al., 2022). به‌طورکلی، در کشت‌های مخلوط، گیاهان مختلف با عادت‌های رشد متفاوت انتخاب می‌شوند؛ بنابراین منابع موجود به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار گرفته و سود نهایی تبدیل به تولید ماده خشک یا عملکرد محصول می‌شود. عوامل مختلف مانند انتخاب گونه‌ها و ارقام گیاهی، نسبت کاشته شده و مدیریت زراعی شامل آب، عناصر غذایی و توانایی رقابتی گیاهان می‌توانند بر عملکرد و همچنین موفقیت سیستم‌های کشت مخلوط تأثیر بگذارند (Jalilian et al., 2017; Darabi, 2025).

کنترل و کاهش علف‌های هرز یکی از مزایای کشت مخلوط محسوب می‌شود. سازوکار این پدیده به این صورت است که یکی از گیاهان زراعی از راه رقابت با علف‌های هرز، محیطی برای گیاه زراعی دیگر فراهم کرده که در آن زیست‌توده 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. زمانی‌که 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 کرده و این موضوع باعث افزایش عملکرد در مقایسه با کشت خالص می‌شود (Guglielmini et al., 2017; Shafagh-Kolvanagh et al., 2024).

با وجود گزارش‌های متعدد درباره کشت مخلوط در گیاهان زراعی، پژوهش‌های اندکی درباره برهمکنش گلرنگ و کلزا در شرایط کنترل و بدون کنترل علف‌های هرز وجود دارد. برای نمونه، در بررسی کشت مخلوط باقلا و جو، Agegnehu et al. (2016) نشان دادند که افزایش عملکرد زیست‌توده در شرایط کنترل علف‌های هرز نسبت به شرایط بدون کنترل علف‌های هرز بیشتر بود. کشت مخلوط گیاهان روغنی با گیاهان تیره کاسنیان کارایی استفاده از منابع را در مقایسه با کشت خالص افزایش داده 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). باتوجه 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 اجزای عملکرد کلزا انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۰ در مزرعه‌ای در شهرستان

جدول ۱. ویژگی‌های خاک مکان اجرای آزمایش

Table 1. Soil characteristics of the study site

کلاس بافت Textural class	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	pH	رسانایی الکتریکی عصاره اشباع Electrical conductivity in saturated extract (dS m^{-1})	ماده آلی Organic matter (%)	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (ppm)
لوم شنی Sandy loam	60	22	18	7.7	1.12	1.1	11.2	0.10	58	295

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 ۴ دقیقه شرقی قرار گرفته و میزان بارندگی سالیانه آن برابر ۲۴۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه برابر ۱۴/۴ درجه سلسیوس، میانگین بیشینه و کمینه دمای سالیانه به‌ترتیب برابر ۲۰/۷ و ۸/۰ درجه سلسیوس است. بافت خاک مکان انجام آزمایش لوم شنی بوده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

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 آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه، در اواخر مهر ماه سال ۱۳۹۹ و تسطیح زمین و کرت‌بندی و تفکیک بلوک‌های آزمایش در فروردین ماه ۱۴۰۰ انجام شد. عملیات کاشت گلرنگ و کلزا به‌طور همزمان در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰ و با دست صورت گرفت. رقم مورد استفاده برای گلرنگ، رقم گلستان و برای کلزا، رقم شیرعلی بود که از شهرستان کرمانشاه تهیه شدند. کاشت به‌صورت کرتی با چهار ردیف کاشت و با فاصله بین ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بذور در روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر برای گلرنگ و برای کلزا با هشت ردیف کاشت و با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بذور در روی ردیف دو سانتی‌متر درنظر گرفته شد. هر کرت کاشت به ابعاد ۲/۴×۲ متر و مساحت ۴/۸ مترمربع بود. بذور گلرنگ در عمق سه سانتی‌متری و کلزا در عمق ۱/۵ سانتی‌متری از سطح خاک کاشته شدند. روی بذرهای کلزا باتوجه به ریزبودن بذرها با مقدار مناسب ماسه بادی پوشانده شد تا جوانه‌زنی آن‌ها به‌طور یکنواخت انجام گیرد. گلرنگ در کشت خالص با تراکم ۶۰ بوته در مترمربع و کلزا در کشت خالص با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع درنظر گرفته شد. کلزا بسته به نسبت‌های کشت در کشت مخلوط تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا، ۴۰ بذر در مترمربع با فاصله روی ردیف چهار سانتی‌متر و در کشت مخلوط تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا، ۶۰ بذر کلزا در مترمربع با فاصله روی ردیف سه سانتی‌متر درنظر گرفته شد. برای کشت مخلوط جایگزینی در نسبت (۱:۱) یک ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ و در نسبت (۲:۱) دو ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ درنظر گرفته شد. پس از کاشت به‌منظور جلوگیری از خشک‌شدن خاک و اختلال در جوانه‌زنی، آبیاری اولیه هر چهار روز یک‌بار و پس از آن، آبیاری با دور هفت روز تا پایان فصل رشد انجام گرفت. در مرحله پنج‌برگی هر دو گیاه تنک شدند تا تراکم موردنظر حاصل شود. در طول دوره رشد در خرداد ماه، کود اوره در مرحله به ساقه رفتن گیاهان به‌صورت سرک افزوده شد (برابر ۷۵ کیلوگرم نیتروژن 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.

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 con	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 con	تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع) Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m^2)
4	کنترل کامل Complete weed con	کشت مخلوط جایگزینی – ۱:۱ (یک ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ) Mixed cultivation of 1:1 replacement of canola and safflower
5	کنترل کامل Complete weed con	کشت مخلوط جایگزینی – ۲:۱ (دو ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ) Mixed cultivation of 2:1 replacement of canola and safflower
6	بدون کنترل No weed control	کشت خالص کلزا Pure cultivation of canola
7	بدون 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	بدون کنترل No weed control	تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع) Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m^2)
9	بدون کنترل No weed control	کشت مخلوط جایگزینی – ۱:۱ (یک ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ) Mixed cultivation of 1:1 replacement of canola and safflower
10	بدون کنترل No weed control	کشت مخلوط جایگزینی – ۲:۱ (دو ردیف کلزا و یک ردیف گلرنگ) Mixed cultivation of 2:1 replacement of canola and safflower

صفات مورد بررسی

صفاتی که در طول فصل رشد مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز بود. برای نمونه‌برداری از علف‌های هرز از درون هر پلات به‌وسیله کوادرات یک متر در یک متر، کل علف‌های هرز موجود در تیمارهای بدون کنترل از سطح خاک بریده شد. برای بررسی تراکم علف‌های هرز، همه علف‌های هرز شمارش شده و ارتفاع آن‌ها یادداشت گردید. برای اندازه‌گیری زیست‌توده علف‌های هرز، توده تازه آن‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شده و سپس از آون خارج نموده و با ترازوی حساس توزین و داده‌ها ثبت شدند.

شاخص ارزیابی کشت مخلوط

برای ارزیابی سودمندی کشت مخلوط از شاخص نسبت برابری زمین[1] (LER) بر مبنای عملکرد زیست‌توده هر دو گیاه به شرح زیر استفاده شد (Darabi, 2025):

$$LER(T) = LER(a) + LER(b) \quad (۱)$$

$$LER(a) = Yab / Yaa \quad (۲)$$

1- Land equality ratio

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

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

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

$$LER(b) = Yba + Ybb \quad (۳)$$

که در آن، LER(T) نسبت برابری کل زمین، LER(a) نسبت برابری زمین گونه A، LER(b) نسبت برابری زمین گونه B، Yab: عملکرد گونه A در کشت مخلوط، Yaa عملکرد گونه A در کشت خالص، Yba عملکرد گونه B در کشت مخلوط، و Ybb عملکرد گونه B در کشت خالص است. برای محاسبه مجموع ارزش نسبی[۲] (TRV) از معادله زیر استفاده شد:

$$TRV=(aP_1+bP_2)/aM_1 \quad (۴)$$

که در این رابطه P_1 و P_2 به‌ترتیب عملکرد گونه‌های اول و دوم در کشت مخلوط و M_1 عملکرد گونه اول در کشت خالص و a و b به‌ترتیب قیمت گیاه اول و دوم است. اگر TRV > 1 باشد، کشت مخلوط بهتر است. درصورتی‌که TRV < 1 باشد، کشت

2- Total relative value

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[3] (WCE) توسط تیمارهای کشت مخلوط از رابطه (۵) استفاده شد:

$$WCE= [(WDW_c - WDW_i) /WDW_c]\times 100 \quad (۵)$$

که در این رابطه، WDW_c و WDW_i به‌ترتیب زیست‌توده علف‌های هرز در تیمار کشت خالص گلرنگ بدون کنترل علف‌های هرز و زیست‌توده علف‌های هرز در تیمار کشت مخلوط هستند (Darabi, 2025).

عملیات برداشت

به‌منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، برداشت نمونه‌های کلزا به ابعاد یک مترمربع در هر کرت صورت گرفت. بدین صورت 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 درنظر گرفته شد. همچنین به تعداد پنج بوته از سطح باقی‌مانده نمونه‌برداری به‌طور تصادفی انجام شد و صفاتی مانند تعداد خورجین در بوته، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد.

عملکرد دانه و زیست‌توده در واحد سطح: به هنگام رسیدگی محصول با حذف اثر حاشیه‌ای، کلیه بوته‌های گلرنگ و کلزا از سطح یک مترمربع هر کرت برداشت شده و خشک شدند. سپس نمونه‌های خشک‌شده با ترازوی حساس توزین شده و عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه آن‌ها (با واحد کیلوگرم در هکتار) تعیین شد.

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

$$\text{شاخص برداشت} = \frac{\text{عملکرد اقتصادی} \times ۱۰۰}{\text{(زیست‌توده اندام هوایی + عملکرد اقتصادی)}} \quad (۶)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش 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 نرم‌افزارهای آماری MSTAT-C و SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. همچنین، برای ترسیم نمودارهای مربوط به صفات مختلف، از Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد خورجین در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آثار تیمارهای کنترل علف‌های هرز، نسبت‌های کشت و همچنین اثر برهمکنش کنترل علف‌های هرز و نسبت‌های کشت بر تعداد خورجین در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های اثر برهمکنش کنترل علف‌های هرز و نسبت‌های کشت، نشان‌دهنده تفاوت 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 (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ) و با کنترل کامل علف‌های هرز با میانگین ۲۸/۹ بود، درحالی‌که کمترین تعداد خورجین به ترکیب تیماری کشت مخلوط افزایشی با نسبت تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا و بدون 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 درنظر گرفته می‌شود، زیرا خورجین‌ها دارای دانه بوده و در مراحل اولیه پرشدن دانه از راه فرایند فتوسنتز در رشد

3- Weed control efficiency

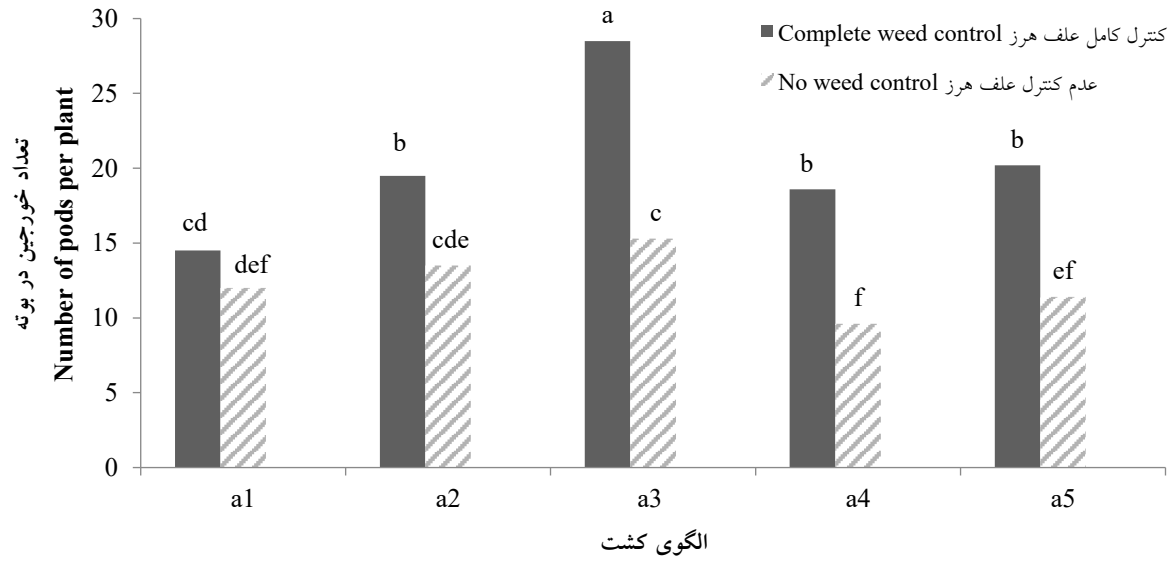
جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر الگوهای کشت مختلف و کنترل علف‌های هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

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

	Mean Square میانگین مربعات				
منبع تغییر (Source of variation)	درجه آزادی (df)	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)		16.3	5639	1131	23.6

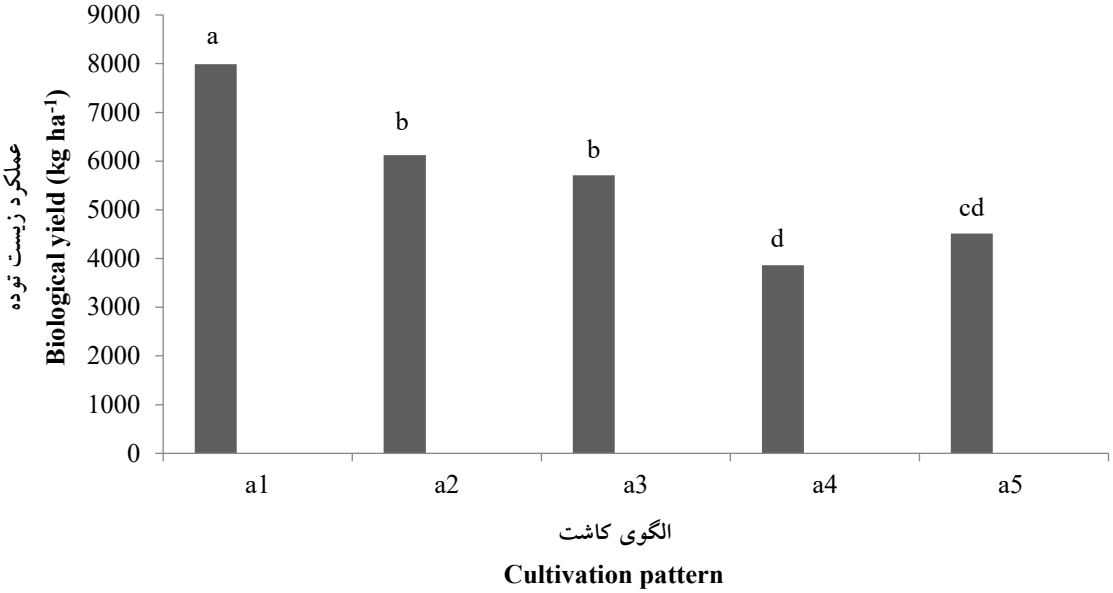
ns، ** و * به‌ترتیب بیانگر آثار غیرمعنی‌دار، و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

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



شکل ۱. مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش الگوهای مختلف کشت و کنترل علف‌های هرز بر تعداد خورجین در بوته کلزا. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a_1: کشت خالص کلزا، a_2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_4: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a_5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

Fig. 1. Mean comparisons for the interaction effect of different cultivation patterns and controlling weeds on the number of pods in canola. Treatments with at least one common letter did not differ significantly based on Duncan's test at 5% probability level. a_1: Pure cultivation of canola, a_2: Mixed cultivation of 1:1 replacement of canola and safflower, a_3: Mixed cultivation of 2:1 replacement of canola and safflower, a_4: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m^2), a_5: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m^2).



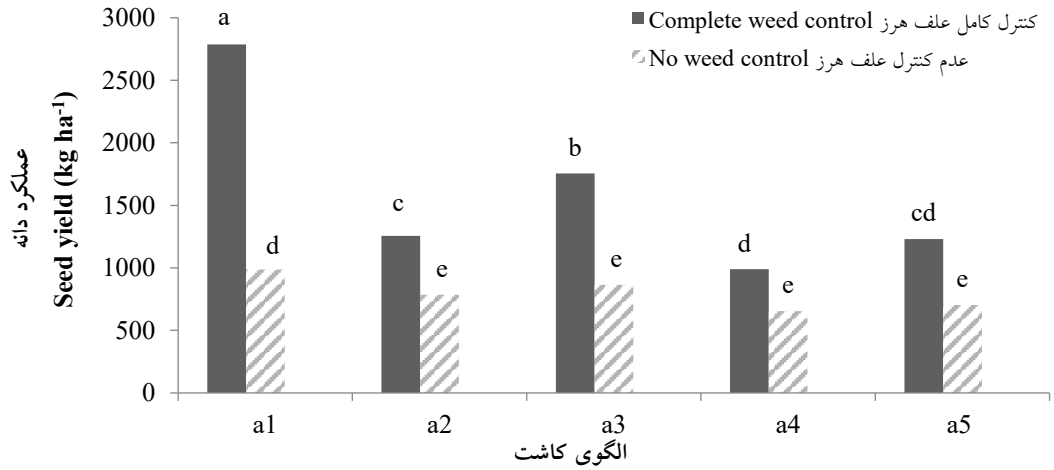
شکل ۲. مقایسه میانگین تأثیر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد زیست‌توده کلزا. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a_1: کشت خالص کلزا، a_2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_4: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a_5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

Fig. 2. Mean comparisons for the effect of different cultivation patterns on biological yield of canola. Treatments with at least one common letter did not differ significantly based on Duncan's test at 5% probability level. a_1: Pure cultivation of canola, a_2: Mixed cultivation of 1:1 replacement of canola and safflower, a_3: Mixed cultivation of 2:1 replacement of canola and safflower, a_4: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m^2), a_5: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m^2).

و تکامل دانه‌ها نقش دارند. بنابراین، هرچه تعداد دانه‌ها در هر خورجین بیشتر باشد، گیاه به‌عنوان مخزنی بزرگ‌تر برای آسیمیلات تولیدشده به‌منظور تولید دانه عمل می‌کند (Abdi, 2023; Shafagh-Kolvanagh et al., 2025). این نتایج با یافته‌های مربوط به پژوهش‌های انجام‌شده در مورد کشت مخلوط گلرنگ–باقلا (Saeidi et al., 2018) همخوانی دارد. گزارش‌های 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 درنهایت عملکرد زراعی باشد.

عملکرد زیست‌توده در واحد سطح

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نسبت‌های کشت بر عملکرد زیست‌توده در واحد سطح، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر برهمکنش کنترل علف‌های هرز در نسبت‌های کشت و اثر ساده کنترل علف‌های هرز معنی‌دار 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 تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا با ۳۸۶۵ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را داشت (شکل ۲). به نظر می‌رسد رقابت برون‌گونه‌ای 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 به‌دلیل تفاوت در توانایی رقابت بین گیاهان افزایش می‌یابد (Koocheki et al., 2014).

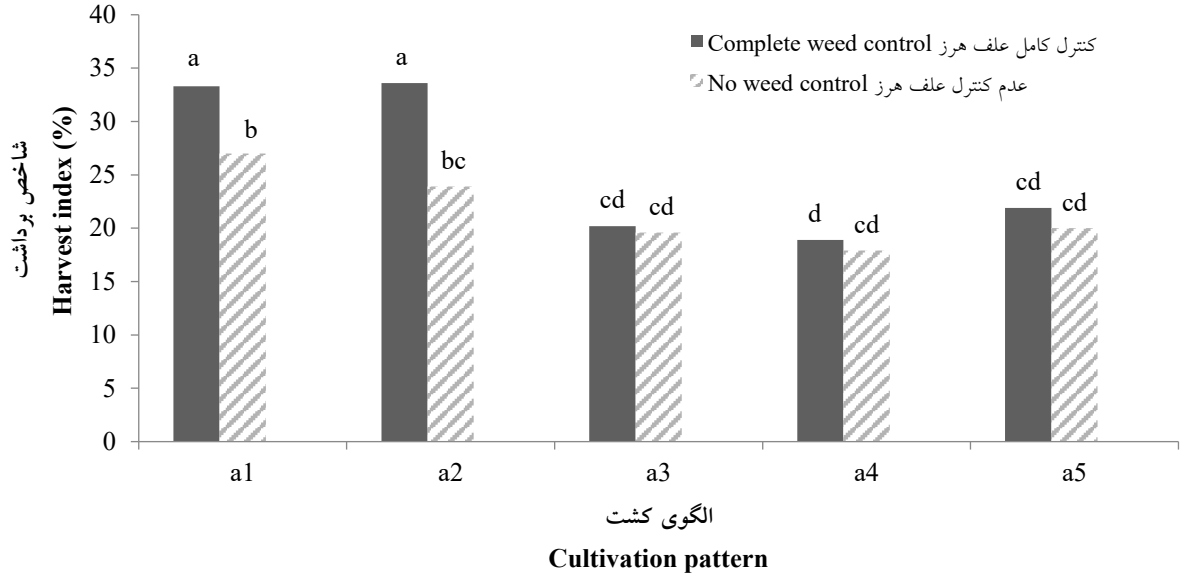


شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش الگوهای مختلف کشت و کنترل علف‌های هرز بر عملکرد دانه کلزا. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a_1: کشت خالص کلزا، a2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_4: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a_5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

Fig. 3. Mean comparisons for the interaction effect of different cultivation patterns and weed control on seed yield of canola. Treatments with at least one common letter did not differ significantly based on Duncan's test at 5% probability level. a_1: Pure cultivation of canola, a_2: Mixed cultivation of 1:1 replacement of canola and safflower, a_3: Mixed cultivation of 2:1 replacement of canola and safflower, a_4: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m^2), a_5: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m^2).

عملکرد دانه در واحد سطح

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آثار کنترل علف‌های هرز، الگوی کاشت و اثر برهمکنش کنترل علف‌های هرز و الگوی کاشت بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های آثار برهمکنش کنترل علف‌های هرز و الگوی کاشت نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بیشترین عملکرد دانه کلزا (۲۷۸۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ترکیب تیماری کشت خالص کلزا با کنترل کامل علف‌های هرز بود. همچنین کمترین عملکرد دانه (۶۵۴/۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ترکیب تیماری تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا بدون کنترل علف‌های هرز مشاهده شد. به‌طوری‌که بیشترین کاهش عملکرد مربوط به تیمار تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا با ۷۰/۴ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ) با ۲۷/۱ درصد است. عملکرد دانه در کشت مخلوط و بدون کنترل علف‌های هرز نسبت به کشت خالص و کنترل کامل علف‌های هرز، کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل ۳). به‌نظر می‌رسد در اثر افزایش رقابت در کشت مخلوط و کاهش منابع محیطی، عملکرد گونه‌ها در کشت مخلوط کاهش یافته است (Shafagh-Kolvanagh et al., 2024). در پژوهشی مربوط به 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 آزمایشی قرار گرفت و میانگین این صفت در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط بیشتر بود (Koocheki et al., 2014). در پژوهشی در



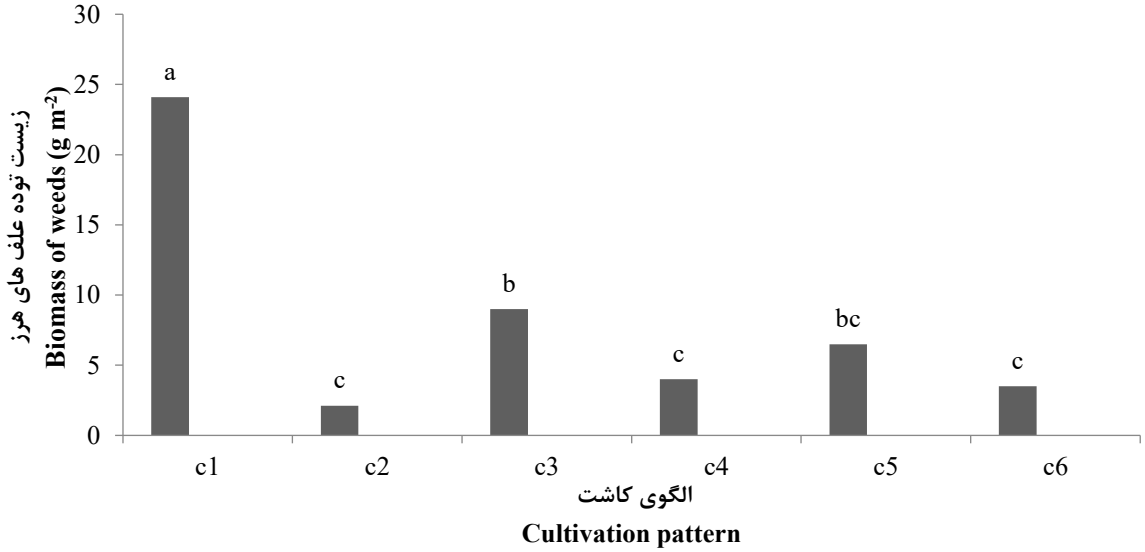
شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر برهمکنش الگوهای مختلف کشت و کنترل علف‌های هرز بر شاخص برداشت کلزا. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a_1: کشت خالص کلزا، a_2: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_3: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_4: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a_5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

Fig. 4. Mean comparisons for the interaction effect of different cultivation patterns and weed control on harvest index of canola. Treatments with at least one common letter did not differ significantly based on Duncan's test at 5% probability level. a_1: Pure cultivation of canola, a_2: Mixed cultivation of 1:1 replacement of canola and safflower, a_3: Mixed cultivation of 2:1 replacement of canola and safflower, a_4: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m^2), a_5: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m^2).

زمینه کشت مخلوط زنیان (*T. copticum*) و شنبلیله (*T. foenum-graecum*) بیان شد که زنیان (*T. copticum*) گیاه غالب در کشت بوده و به‌نظر می‌رسد که کشت مخلوط عمدتاً به نفع زنیان (*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 افزایش مشاهده نمی‌شود (Mirhashemi et al., 2009).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آثار کنترل علف‌های هرز و نسبت‌های کشت و اثر برهمکنش کنترل علف‌های هرز و نسبت‌های کشت بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های اثر برهمکنش کنترل علف‌های هرز و نسبت‌های کشت نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین شاخص برداشت کلزا (۳۳/۶ درصد) مربوط به ترکیب تیماری کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ) با کنترل کامل علف‌های هرز بود. همچنین تیمار تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا بدون کنترل علف‌های هرز کمترین شاخص برداشت (۱۷/۹ درصد) را دارا بود (شکل ۴). پژوهش‌ها نشان دادند که کشت‌های مخلوط جایگزینی یونجه و جو دارای بیشترین شاخص برداشت بودند (Esmaili et al., 2012).



شکل ۵. مقایسه میانگین زیست‌توده علف‌های هرز تحت تأثیر تیمار الگوهای مختلف کشت. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a_1: کشت خالص گلرنگ، a_2: کشت خالص کلزا، a_3: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_4: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a_6: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

Fig. 5. Mean comparisons for the biomass of weeds as affected by different cultivation patterns. Treatments with at least one common letter did not differ significantly based on Duncan's test at 5% probability level. a_1: Pure cultivation of safflower, a_2: Pure cultivation of canola, a_3: Mixed cultivation of 1:1 replacement of canola and safflower, a_4: Mixed cultivation of 2:1 replacement of canola and safflower, a_5: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m^2), a_6: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m^2).

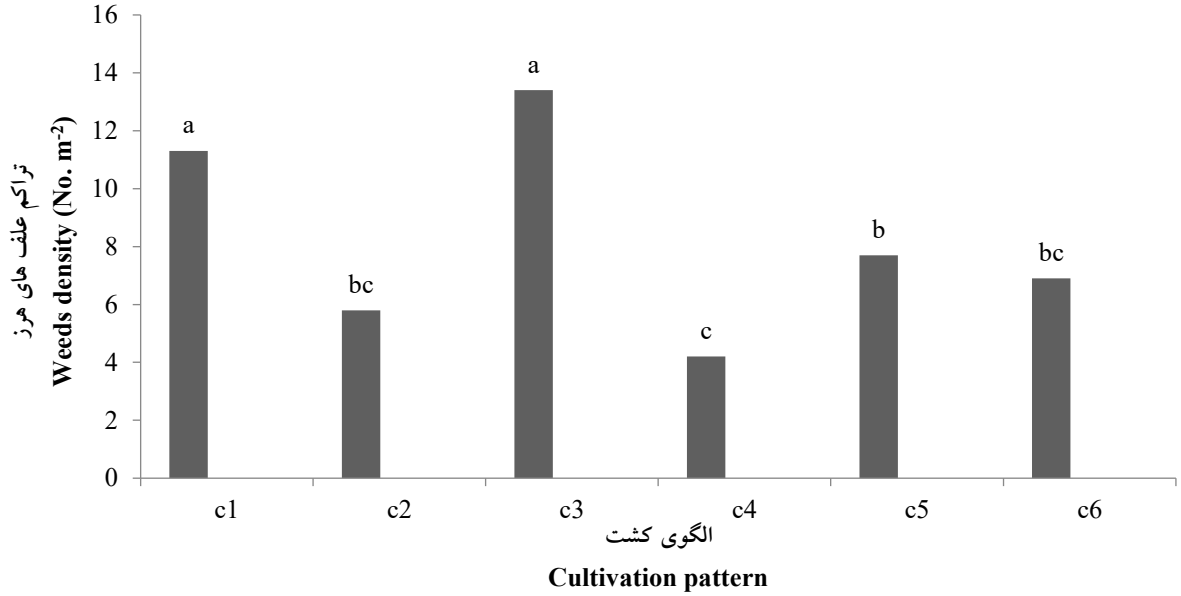
شاخص برداشت، مقیاسی برای اندازه‌گیری تسهیم منابع در طول دوره رشد بوده و نشان‌دهنده تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به مخازن اقتصادی گیاه است (Mirhashemi et al., 2009). همان‌طورکه اشاره شد تفاوت در شاخص برداشت را می‌توان به تفاوت در اجزای عملکرد و یا افزایش عملکرد زیست‌توده نسبت داد (Shafagh-Kolvanagh et al., 2023, 2024 and 2025).

زیست‌توده 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 زیست‌توده علف‌های هرز بود (شکل ۵). به نظر می‌رسد که جوانه‌زنی و رشد سریع‌تر از یک طرف و وجود آثار آللوپاتی کلزا، از طرف دیگر منجر به جلوگیری از جوانه‌زنی و رشد علف‌های هرز در کشت خالص شد، اما تیمار تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا نیز با ۳/۵ گرم در مترمربع و در تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ) با ۴ گرم در مترمربع نیز دارای کمترین زیست‌توده بود (شکل ۵). با افزایش زیست‌توده، سهم علف‌های هرز از عوامل محیطی مؤثر بر رشد افزایش و به همان نسبت سهم گیاه زراعی از آن‌ها کاهش یافت. به‌طورکلی زیست‌توده علف‌های هرز معیار مناسب‌تر و کاربردی‌تر نسبت به تعداد علف‌های هرز به شمار می‌رود (Shafagh-Kolvanagh et al., 2023).

تراکم علف‌های هرز

مقایسه میانگین‌های اثر نسبت‌های کاشت بر تراکم علف‌های هرز نشان داد که تیمار کشت خالص گلرنگ (با تعداد علف‌های هرز



شکل ۶. مقایسه میانگین تراکم علف‌های هرز تحت تأثیر تیمار الگوهای مختلف کشت. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. a_1: کشت خالص گلرنگ، a_2: کشت خالص کلزا، a_3: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_4: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، a_5: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا (۴۰ بذر در مترمربع)، a_6: تراکم مطلوب گلرنگ (۶۰ بذر در مترمربع) + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا (۶۰ بذر در مترمربع).

Fig. 6. Mean comparisons for the weeds density as affected by different cultivation patterns. Treatments with at least one common letter did not differ significantly based on Duncan's test at 5% probability level. a_1: Pure cultivation of safflower, a_2: Pure cultivation of canola, a_3: Mixed cultivation of 1:1 replacement of canola and safflower, a_4: Mixed cultivation of 2:1 replacement of canola and safflower, a_5: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 50% optimal density of canola (40 seeds/m^2), a_6: Optimal density of safflower (60 seeds/m^2) + 75% optimum density of canola (60 seeds/m^2).

برابر ۱۱/۳ در مترمربع) دارای بیشترین و تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ) دارای کمترین تراکم (با تعداد علف‌های هرز برابر ۴/۲ در مترمربع) بود (شکل ۶). بیشترین تراکم علف‌های هرز (برابر تعداد ۱۴۰/۷ در مترمربع) مربوط به سلمه‌تره در تیمار کشت مخلوط ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ) بود. و بقیه به سایر علف‌های هرز اختصاص یافت (شکل ۶). در پژوهشی مشاهده شد کشت مخلوط این دو گیاه، به‌دلیل پوشش بهتر و متراکم‌تر روی سطح زمین، باعث افزایش قدرت رقابت گیاهان زراعی برای استفاده از نور، آب و سایر منابع محیطی در مقایسه با کشت خالص شده که در نهایت، باعث کاهش تنوع و تراکم علف‌های هرز در کشت مخلوط در مقایسه 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. بجز تیمار تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا که دارای نسبت برابری زمین کمتر از یک بود، کلیه تیمارهای کشت مخلوط، نسبت برابری زمین بیشتری نسبت به کشت خالص هر دو گیاه داشتند. بیشترین میزان نسبت برابری زمین (برابر ۱/۷۱) به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ) با کنترل کامل علف‌های هرز تعلق داشت؛ به این مفهوم که برای دستیابی به همین مقدار عملکرد از کشت خالص این دو گیاه به ۱/۷۱ هکتار زمین نیاز بوده و ۰/۷۱ هکتار زمین صرفه‌جویی شده است (جدول ۵). کمترین نسبت برابری زمین (برابر ۰/۸۷) نیز در تیمار تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد

جدول ۵. مقادیر نسبت برابری زمین (LER)، مجموع ارزش نسبی (TRV)، کارایی کنترل علف‌های هرز (WCE) و عملکرد نسبی گیاهان

Table 5. The values of land equality ratio (LER), total relative value (TRV), weed control efficiency (WCE) and relative yields of plants

معیار ارزیابی کشت مخلوط Evaluation criterion of mixed cultivation					تیمارها Treatments	
عملکرد نسبی گلرنگ Relative yield of safflower	عملکرد نسبی کلزا Relative yield of canola	WCE	TRV	LER	الگوی کشت Planting pattern	کنترل علف‌های هرز Weed control
0.95	0.76	–	2.33	1.71	b_1	کنترل کامل علف‌های هرز Complete weed control
0.81	0.45	–	1.63	1.26	b_2	
0.59	0.28	–	1.09	0.87	b_3	
0.69	0.37	–	1.36	1.06	b_4	
0.93	0.69	62.7	2.01	1.62	b_1	بدون کنترل علف‌های هرز Non-weed control
0.78	0.5	83.4	1.56	1.28	b_2	
0.65	0.32	73	1.15	0.97	b_3	
0.74	0.42	85.4	1.41	1.16	b_4	

b_1: کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، b_2: کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، b_3: تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا، b_4: تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا.

b1: 1:1 replacement mixed crop of canola and safflower, b2: 2:1 replacement mix of canola and safflower, 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.

تراکم مطلوب کلزا با کنترل کامل علف‌های هرز مشاهده شد که این نتیجه 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 بیشینه محصول تک‌کشتی باشد. اضافه عملکرد به‌دست آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلاف مورفولوژیک بین آن‌ها و کمتربودن علف‌های هرز در الگوی کاشت مخلوط نسبت داد (Shafagh-Kolvanagh et al., 2023; Darabi, 2025). در این پژوهش 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 تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب 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 در مقایسه با کشت خالص است. بیشترین مجموع ارزش نسبی (برابر ۲/۳۳) به تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ) با کنترل کامل علف‌های هرز تعلق داشت و کمترین مقدار آن (برابر ۱/۰۹) در تیمار تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا با کنترل کامل علف‌های هرز 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). باتوجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا، تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا دارای شاخص کارایی کنترل علف‌های هرز به‌ترتیب برابر ۶۲/۷، ۸۳/۴، ۷۳ و ۸۵/۴ 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 درنتیجه عملکرد کل سیستم

نسبت به تیمار بدون کنترل علف‌های هرز افزایش یافته است. در واقع، با افزایش تراکم گیاه کلزا در مزرعه گلرنگ، سطح زمین سریع‌تری توسط گیاهان زراعی پوشیده شد و از دسترسی علف‌های هرز به نور عبورکرده از تاج‌پوشش گلرنگ به سمت زمین، جلوگیری شد. در پژوهش‌های مشابه، گزارش شد که با افزایش تراکم گیاه همراه در مزرعه گیاه اصلی، تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. علت کاهش زیست‌توده 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 and 2025). تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز با اجرای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. پژوهشگران دلیل این یافته را اثر مکمل گیاهان زراعی در کشت مخلوط دانستند که باعث افزایش توان رقابتی گیاهان زراعی با علف‌های هرز می‌شود (Shafagh-Kolvanagh et al., 2023 and 2025). همچنین، در مقایسه شاخص کارایی کنترل علف‌های هرز مشخص شد که تیمار کشت مخلوط تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا با ۸۵/۴ درصد، بیشترین کارایی را در کنترل علف‌های هرز داشت، به‌طوری‌که در مقایسه با تیمار کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ) از ۲۳ درصد برتری برخوردار بود.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، نتایج نشان داد که آرایش کشت مخلوط تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا به‌طور معنی‌داری زیست‌توده علف‌های هرز را نسبت به کشت خالص گلرنگ کاهش می‌دهد. به‌طور مشخص، در تیمارهای کشت مخلوط جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ (دو ردیف کلزا:یک ردیف گلرنگ)، تراکم مطلوب گلرنگ + ۵۰ درصد تراکم مطلوب کلزا، تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا، به‌ترتیب ۶۲/۷، ۸۳/۴، ۷۳ و ۸۵/۴ درصد کاهش زیست‌توده علف‌های هرز نسبت به کشت خالص گلرنگ مشاهده شد. این نتایج حاکی از این است که کشت مخلوط تراکم مطلوب گلرنگ + ۷۵ درصد تراکم مطلوب کلزا 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. به‌علاوه، استفاده از کشت مخلوط به‌دلیل کاهش رقابت بین‌گونه‌ای و بهره‌برداری بهینه از عوامل محیطی، منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در کلزا شد. باتوجه به یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با رویکردی جامع‌تر و مبتنی بر اصول بوم‌زراعی انجام گیرد. به‌منظور درک عمیق‌تر از سازوکارهای رقابتی و برهمکنش‌های بین‌گونه‌ای در کشت مخلوط کلزا و گلرنگ، بررسی پویایی علف‌های هرز، تغییرات فلور و تراکم آن‌ها در مراحل مختلف رشد پیشنهاد می‌شود. همچنین بررسی 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 فیزیولوژیک و مورفولوژیک مانند کارایی مصرف نور، آب و مواد غذایی در شرایط کشت مخلوط، انجام آزمایش‌های چندمکانه و چندساله برای سنجش پایداری عملکرد در شرایط اقلیمی گوناگون و تحلیل اقتصادی جامع بر پایه هزینه-فایده از دیگر محورهای پیشنهادی است. افزون بر این، بررسی آثار کشت مخلوط بر ویژگی‌های 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 منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

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. http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.13.3.34793. (In Persian with English abstract)
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., Dugje, 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. https://doi.org/10.47176/jcpp.15.1.22317. (In Persian with English abstract)
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., Hosein, 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. https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110476. (In Persian with English abstract)
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. https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75899.1153. (In Persian with English abstract)
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 (*Phaseoluse vulgaris* L.). Iran. J. Field Crops Res. 12, 1–8. https://doi.org/10.22067/gsc.v12i1.36624. (In Persian with English abstract)
13. Korres, N. E. 2018. Agronomic weed control: A trustworthy approach for sustainable weed management. In: Jabran, K., Chauhan, B.S. (Eds.), Non-Chemical Weed Control, Academic Press. pp. 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 with English abstract)
16. Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Fotohi 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. http://dx.doi.org/10.29252/abj.21.1.16. (In Persian with English abstract)
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 with English abstract)
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. http://agrobreedjournal.ir/article-1-1304-fa.html. (In Persian with English abstract)
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. https://doi.org/10.22069/jopp.2023.21104.3020. (In Persian with English abstract)
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. http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.15.1.37744. (In Persian with English abstract)