Saffron Agronomy & Technology
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir
Vol. 13, No. 1, Spring 2025, p. 43-58

Study of Crop Yield and Economic Advantage of Cumin and Saffron Intercropping Under Climatic Conditions of Qohestan Region, South Khorasan Province

Abbas Ghobani[1], Sohrab Mahmoodi [2*], Seyed Vahid Eslami [2]and Hamid Reza Fallahi [2]

Article type:
Research Article
Article history:
Submitted: 6 December 2024
Revised: 14 March 2025
Accepted: 9 July 2025
Available Online: 10 July 2025

How to cite this article:
Ghobani, A., Mahmoodi, S., Eslami, S. V, Fallahi, H. R. 2025. Study of Crop Yield and Economic Advantage of Cumin and Saffron Intercropping Under Climatic Conditions of Qohestan Region, South Khorasan Province. Saffron Agronomy & Technology, 13(1), 43-58.

DOI: 10.22048/jsat.2025.483002.1552

Abstract

This study aimed to explore the agronomic and economic implications of intercropping cumin and saffron in the Ghohestan region of South Khorasan province at a private research farm, under the supervision of the Faculty of Agriculture, University of Birjand, during the 2022-2023 period. To assess saffron's performance when intercropped with cumin, an experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications in a uniform three-year-old saffron field. The experimental treatments involved different densities of cumin cultivation in the saffron field, including 0, 30, 60, and 120 plants per square meter (0, 25, 50, and 100% of its optimal density, respectively). The findings revealed that the LER index exceeded one in all treatment groups. The highest saffron stigma yield, recorded at 0.41 kg/ha, was achieved with an intercropping density of 60 cumin plants per square meter. The highest LER values were 1.94 and 1.92, obtained through the treatments with 30 and 60 cumin plants per square meter, respectively. Additionally, the Relative Value Total (RVT) was above one across all intercropping ratios. The greatest Intercropping Advantage index (IA) that was recorded at 0.065; was also achieved with the 60 plants per square meter cumin treatment. Consequently, increasing the cumin planting density in saffron fields, particularly at 60 plants per square meter, did not significantly affect saffron yield, leading to a recommendation for farmers in this region to adopt this practice for improved land use and economic benefit.

Keywords: Advantage of intercropping, LER, Medicinal plants, RVT, Saffron Stigma.

1- Ph.D. Student of Agrotechnology – Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Plant and Environmental Stresses Research Group and Saffron Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

Corresponding author email: smahmoodi@birjand.ac.ir

© 2022, University of Torbat Heydarieh. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial License (CC BY NC 4.0)
(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد۱۳، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴ ص. ۵۸-۴۳
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir

مقاله پژوهشی

مطالعه عملکرد زراعی و سودآوری اقتصادی کشت مخلوط زیره سبز و زعفران تحت شرایط اقلیمی منطقه قهستان خراسان جنوبی

عباس قربانی[۱]، سهراب محمودی[۲]*، سیدوحید اسلامی[۲] و حمیدرضا فلاحی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۶ آذر ۱۴۰۳
تاریخ بازنگری: ۲۴ اسفند ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۸ تیر ۱۴۰۴

قربانی، ع.، محمودی، س.، اسلامی، س. و.، و فلاحی، ح . ۱۴۰۴. مطالعه عملکرد زراعی و سودآوری اقتصادی کشت مخلوط زیره سبز و زعفران تحت شرایط اقلیمی منطقه قهستان خراسان جنوبی. زراعت و فناوری زعفران، ۱۳(۱): ۵۸-۴۳.

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی جنبه‌های زراعی و اقتصادی کشت مخلوط افزایشی زیره سبز و زعفران در منطقه قهستان استان خراسان جنوبی و در مزرعه تحقیقاتی زیر نظر دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند در سال زراعی ۱۴۰۲- ۱۴۰۱ انجام گرفت. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در داخل مزرعه زعفران سه ساله کاملاً یکنواخت انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تراکم‌های مختلف کشت مخلوط افزایشی زیره سبز در زعفران، شامل صفر، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ بوته در مترمربع (به ترتیب معادل صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد تراکم مطلوب آن) بود. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص LER در تمامی تیمارهای مورد آزمایش، بالاتر از یک بود. مطابق نتایج، بیشترین عملکرد کلاله زعفران در تیمار مخلوط با ۶۰ بوته زیره سبز در مترمربع به میزان ۰/۴۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. بیشترین میزان شاخص برابری زمین، ۱/۹۴ و ۱/۹۲ به ترتیب در تیمار ۳۰ و ۶۰ بوته زیره سبز در مترمربع به‌دست آمد. مجموع ارزش نسبی (RVT) نیز در تمامی نسبت‌های کشت، بیشتر از یک بود. بیشترین مقدار شاخص سودمندی اقتصادی (IA) به میزان ۰/۰۶۵ نیز در تیمار مخلوط زعفران با ۶۰ بوته زیره سبز در مترمربع، حاصل شد. از این رو، نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی زیره سبز در مزارع زعفران به ویژه تراکم ۶۰ بوته زیره سبز در مترمربع، ضمن عدم تأثیر معنی‌دار بر عملکرد زعفران، به جهت استفاده بهتر از زمین و سودمندی اقتصادی، قابلیت استفاده در این منطقه را دارد.

کلمات کلیدی: سودمندی کشت مخلوط، کلاله زعفران، گیاهان دارویی، مجموع ارزش نسبی، نسبت برابری زمین.

۱- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی و عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی و گروه پژوهشی زعفران، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: smahmoodi@birjand.ac.ir)

DOI: 10.22048/jsat.2025.483002.1552

مقدمه

تخریب، نابودی و به هم خوردن تعادل اکولوژیکی اکوسیستم‌های کشاورزی، در نتیجه رشد جمعیت جهانی بوده است. به جهت رفع نیاز غذایی جوامع بشری، افزایش تولیدات کشاورزی در کنار نجات محیط زیست، می‌بایست مورد توجه باشد. کشت مخلوط یکی از راهکارهای بالابردن تولید در نظام‌های کشاورزی می‌باشد. بنا به مطالعات، مشخص گردید که عملکرد کشت مخلوط در بسیاری از موارد از کشت خالص بیشتر و از زمین زراعی استفاده بهتری انجام شده است (Naderi Darbaghshahi et al., 2010). کشت دو یا چند گیاه در یک زمین به طور هم‌زمان از تعاریف رایج کشت مخلوط است، همچنین، امکان افزایش عملکرد، از مهم‌ترین مزیت‌های کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیان شده است (Zhang et al., 2020). چنانچه گیاهان تشکیل دهنده کشت مخلوط از نظر نحوه و میزان استفاده از منابع محیطی با یکدیگر متفاوت‌تر باشند، انتظار از سودمندی کشت مخلوط بیشتر می‌شود. علت افزایش محصول در زراعت مخلوط، استفاده بهتر گیاهان از عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذائی است. با این حال؛ تحقیقاتی که این عوامل را از هم تفکیک کرده باشد، محدود است (Karami et al., 2022).

آنچه در کشت مخلوط بیشتر حائز اهمیت می‌باشد شامل حداکثر استفاده از فصل رشد، درجه حرارت، آب، نور و سایر منابع است (Moradi & Pour Ghasemian, 2021) با این حال امکان مقابله سیستم با مخاطرات محیطی همچون آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز بیشتر است. به همین دلیل، نظام‌های چندکشتی از ثبات اکولوژیکی بالاتری نسبت به نظام‌های تک کشتی برخوردار هستند (Gonias et al., 2011).

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی چندساله و متعلق به خانواده زنبقیان است که گلدهی آن در فصل پاییز اتفاق می‌افتد. این گیاه یکی از بااهمیت‌ترین محصولات کشاورزی ایران بوده که جایگاه ویژه در اشتغال‌زایی و ایجاد درآمد ارزی دارد (Naderi & Esfahani, 2015). زعفران، گیاهی نسبتاً مقاوم به تنش آب بوده و دارای کارایی مصرف آب بالا در بین گیاهان زراعی است (Azizi-Zohan et al., 2008) . سازگاری با اقلیم استان‌های خراسان جنوبی و رضوی که از جمله استان‌های کم آب ایران به لحاظ بارندگی هستند، باعث شده تا کشت این محصول در سطح گسترده در این استان‌ها رایج باشد. از طرفی امکان گل دهی به مدت ۵ تا ۷ سال در یک نوبت کشت، ماندگاری طولانی مدت و سهولت در نگه داری محصول، عدم نیاز به ماشین‌آلات سنگین و ارزآوری بالا از دیگر عوامل موثر در انتخاب این کشت توسط زارعین این استان‌ها بوده است (Kavand et al., 2014). مطابق آمار، از لحاظ ارزش اقتصادی، زعفران بعد از پسته، با سهم ۱۲ درصدی رتبه دوم کالای صادراتی ایران را طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ به خود اختصاص داده که ارزش آن معادل ۲۶۵ میلیون دلار ذکر شده است (Fakari Sardhai et al., 2023).

گیاه زعفران، از اواخر اردیبهشت خشک شده و به خواب می‌رود، لذا در طول فصل تابستان فاقد اندام‌های رویشی است. با این حال، بنه‌های آن به دمای بالای خاک حساس است (Molina et al., 2004). طی سال‌های اخیر، انسان شاهد افزایش جهانی دمای کره زمین ناشی از تغییر اقلیم بوده است. انتظار می‌رود که قرارگیری اندام‌های هوایی گیاهان همراه، بر سطح خاک در مزارع زعفران در کشت مخلوط، از طریق سایه‌اندازی و کاهش دمای خاک و به دلیل مطلوب شدن شرایط برای رشد بنه‌های مادری، سبب تحریک گلدهی شده و افزایش عملکرد زعفران را به همراه داشته باشد، ضمن اینکه بهبود کارایی استفاده از زمین و به تبع آن افزایش درآمد زارع

را نیز موجب می‌گردد (Koocheki et al., 2016). در خصوص کشت مخلوط زعفران با گیاهان دارویی (Naderi Asadi et al., 2016; Darbaghshahi et al., 2013)، حبوبات (Koocheki et al., 2009)، غلات (Koocheki et al., 2009) تحقیقاتی انجام شده است. در پژوهشی به بررسی تأثیر فاصله آبیاری و ترکیب‌های کشت مخلوط مرزنجوش و زعفران بر خنک شدن بنه‌ها به منظور کاهش اثرات نامطلوب تغییر اقلیم پرداخته شد. نتایج نشان داد که اثر فاصله آبیاری و ترکیب کشت مخلوط با مرزنجوش بر تعداد، وزن تر گل و عملکرد اقتصادی زعفران، معنادار بود. محققین اشاره داشتند که مخلوط زعفران با مرزنجوش احتمالاً به‌دلیل سایه اندازی و در نتیجه خنک شدن سطح خاک، باعث افزایش تولید گل و در نهایت افزایش عملکرد اقتصادی زعفران شده است. از این رو کشت مخلوط زعفران می‌تواند به منظور کاهش اثرات احتمالی افزایش دما در نتیجه پدیده تغییر اقلیم مفید باشد. نتایج تحقیقات نشان داده است که کشت مخلوط زعفران با دیگر گیاهان، مزایایی از قبیل کنترل علف‌های هرز، سایه اندازی روی خاک و در نتیجه خنک‌تر شدن خاک را موجب شده و باعث افزایش عملکرد گل و بنه در زعفران گردد (Koocheki et al., 2016).

گیاهان همراه از طریق جلوگیری از رشد علف‌های هرز، افزایش نفوذ باران، افزایش زیست توده میکروبی خاک و تشدید فعالیت ریزجانداران خاکزی، نقش مهمی در کشاورزی پایدار ایفاء می‌کنند (Jahan et al., 2013). در این میان، گیاهان دارویی ضمن دارا بودن تنوع و پایداری در سیستم‌های کشاورزی، از نظر انطباق با سیستم‌های پایدار و کم‌نهاده حائز اهمیت می‌باشند (Sujatha et al., 2011). استفاده از گیاهان دارویی و فراورده‌های حاصل از آن در چرخه اقتصاد جهانی هر روز پر رنگ تر می‌گردد، به طوری که مصرف رو به رشد این گیاهان در کشورهای توسعه یافته نیز قابل توجه است (Rezvani Moghaddam & Moradi., 2012).

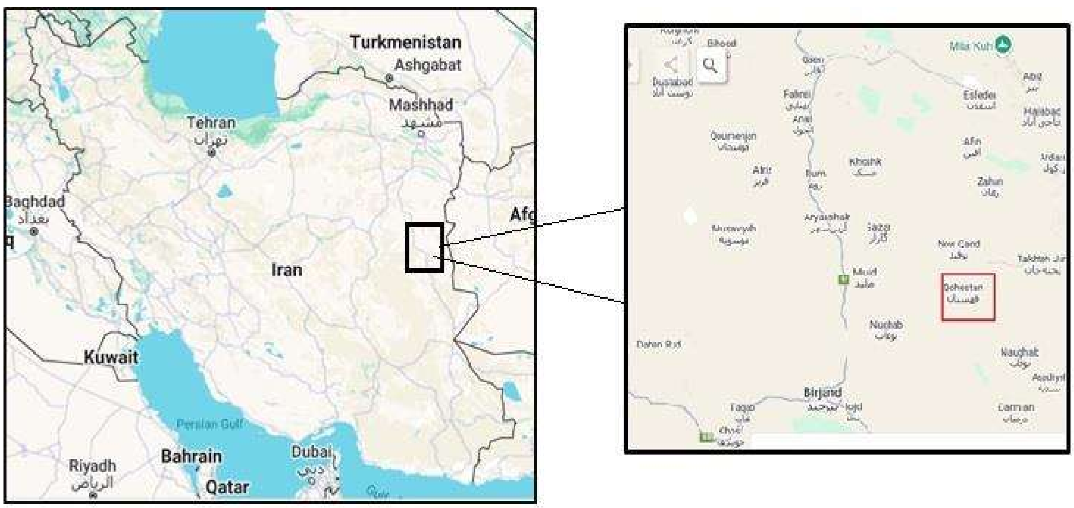
از جمله گیاهان دارویی مهم و دارای ارزش صادراتی در ایران، زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) است. این گیاه متعلق به خانواده چتریان بوده، ارتفاعی بین ۱۵ تا ۶۰ سانتی متر و ریشه دراز باریک به رنگ سفید دارد (Mozafarian, 2008). زیره سبز در استان‌های خراسان، یزد، اصفهان و کرمان کشت می‌گردد (Saeed Nejhad & Rezvani, 2010). با هدف اندازه‌گیری تأثیر تراکم و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز، آزمایشی در چهار تاریخ کاشت ۱۵ و ۳۰ بهمن، ۱۶ اسفند و ۱ فروردین و سه سطح تراکم ۴۴، ۹۶ و ۱۴۸ بوته زیره سبز در مترمربع در کرمان انجام شد. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت، تراکم و اثر متقابل این دو بر اجزای عملکرد از جمله تعداد چتر در گیاه، تعداد دانه در چتر و تعداد چترک در چتر اثر معنی‌داری داشت و بیشترین تعداد چتر، چترک و دانه در چتر از تاریخ کشت ۱۵ بهمن و در تراکم میانه به‌دست آمد (Mashayekhi Sardooyi et al., 2011). در آزمایشی دیگر با افزایش تراکم زیره سبز از ۲۵ به ۲۰۰ بوته در مترمربع، تعداد چتر، تعداد دانه در چتر و عملکرد بوته کاهش اما عملکرد دانه افزایش یافت (Nakhazri Moghadam, 2008).

با توجه به تحقیقات انجام شده به نظر می‌رسد کشت مخلوط افزایشی زیره سبز با زعفران، بتواند ضمن ایجاد حاشیه امنیت اقتصادی برای زارعین زعفران‌کار و با توجه به نوسانات عملکرد و قیمت آن در سال‌های اخیر، به دلیل امکان پوشش سطح خاک و کاهش دمای آن و همچنین کمک به کنترل علف‌های هرز، موجب سودآوری اقتصادی از طریق افزایش عملکرد گیاه اصلی و درآمد حاصل از گیاه همراه شود. از طرف دیگر، مدیریت زراعی رایج زیره سبز به ویژه از نظر نیاز آبی، امکان کشت آن را در مزارع زعفران فراهم می‌کند. لذا هدف از این تحقیق، بررسی کشت مخلوط افزایشی زیره سبز با زعفران در منطقه قهستان به عنوان یکی از مناطق مهم کشت زعفران در خراسان جنوبی است تا ضمن بررسی اثر کاشت زیره سبز بر عملکرد زعفران در

حالات مختلف کشت مخلوط، راهی برای استفاده بهتر از زمین و سودمندی بالاتر برای زارعین منطقه حاصل گردد.

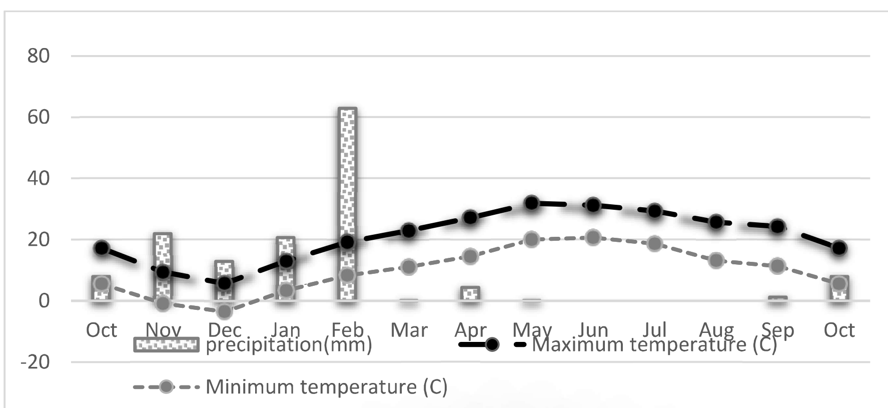
مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۲– ۱۴۰۱ در مزرعه زعفران مطالعاتی شخصی، تحت نظارت دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند واقع در شهرستان درمیان (در استان خراسان جنوبی)، شهر قهستان، روستای آسیابان، با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۹۲۱ متر از سطح دریا اجرا شد. شکل ۱ نقشه موقعیت مکانی و شکل ۲ روند تغییرات دمای حداکثر، حداقل و بارندگی در طول دوره آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۱– نقشه موقعیت منطقه تحقیقاتی

Figure 1– Location map of the research area.



شکل ۲– دمای حداکثر و حداقل هوا و میزان بارندگی منطقه آزمایش طی سال زراعی ۱٤۰۲–۱٤۰۱مطابق داده های سازمان هواشناسی ایران

Figure 2– Maximum and minimum air temperature and precipitation of experimental region during the crop year 2022-2023 according to the data of Iran Meteorological Organization.

به منظور ارزیابی عملکرد زعفران در کشت مخلوط افزایشی با زیره سبز، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با

۷ تیمار و ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۳ تیمار کاشت زیره سبز در داخل مزرعه زعفران با تراکم‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ بوته در هر مترمربع به ترتیب معادل ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد تراکم مطلوب زیره سبز (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012)، به همراه ۳ تیمار تک‌کشتی آن با تراکم‌های مذکور و همچنین تیمار کشت خالص زعفران بود. ابعاد کرت‌های آزمایش ۱/۵×۴ متر (۶ مترمربع) در نظر گرفته شد.

مزرعه زعفران مورد مطالعه، سه ساله با کاشت کپه‌ای زعفران (هر کپه زعفران حدود ۳۰ بنه) بوده و فواصل کپه‌ها در رو و بین ردیف به ترتیب ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به کرت بندی ۶ مترمربعی، تعداد ۳۲ کپه در هر کرت قرار گرفت. آماده‌سازی زمین برای کاشت زیره سبز به صورت دستی و با دقت زیاد (به دلیل حساس بودن بنه‌های زعفران به خاکورزی) در تاریخ ۱۰ اسفند ۱۴۰۱ انجام شد. در این عملیات کلوخه‌ها توسط کارگر و با ابزار ساده، خرد و علف‌های هرز، وجین گردید. کوددهی زعفران مطابق عرف منطقه از نوع کود حیوانی و به میزان ۱۷ تن در هکتار؛ قبل از اولین آبیاری پاییزه در تاریخ ۱۰ مهر ۱۴۰۲، فقط در یک مرحله انجام گردید و از کوددهی جداگانه به زیره سبز صرف نظر شد.

کاشت زیره سبز (توده محلی) در تاریخ ۱۶ اسفند ۱۴۰۱ به صورت دستی و با تراکم بالا در بین ردیف‌های زعفران انجام شد. سپس عملیات تنک زیره سبز به منظور دستیابی به تراکم‌های مورد نظر پس از اطمینان از استقرار گیاه (هنگامی که ارتفاع گیاه بین ۵ تا ۷ سانتی متر بود)، در ۱۵ فروردین ماه ۱۴۰۲ صورت پذیرفت. سه دوره آبیاری تا پایان دوره رشد و زمان برداشت زیره سبز، در تاریخ‌های ۲۶ اسفند ۱۴۰۱، ۲۵ فروردین و ۱۴ اردیبهشت ۱۴۰۲ انجام شد. بارندگی‌های بهاره در تعیین فواصل آبیاری اثرگذار بود و فرآیند رشدی زیره سبز را تا پایان فصل تسهیل نمود. لذا باتوجه به نیاز آبی کم زیره سبز از تعدد آبیاری آن (به دلیل عدم تداخل در مدیریت مزرعه زعفران) اجتناب شد. عملیات وجین علف‌های هرز در طول دوره آزمایش به صورت دستی در تمامی کرت‌ها انجام گرفت.

برداشت زیره سبز در تاریخ ۱۰ و ۲۰ خرداد ۱۴۰۲ انجام شد. برداشت گل زعفران از تاریخ ۶ آبان ۱۴۰۲ به صورت روزانه طی ۱۴ روز از کل سطح کرت‌ها انجام گرفت. بذور زیره سبز پس از برداشت در هوای آزاد کاملاً خشک شد. عملکرد دانه زیره سبز و وزن خشک کلاله زعفران توسط ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری گردید. سپس شاخص‌های مورد مطالعه بر اساس عملکرد دو گیاه محاسبه شد.

نسبت برابری زمین[1] (LER) از جمله شاخص‌های مهم جهت ارزیابی کارایی کشت مخلوط است. این شاخص به عنوان کاربردی‌ترین معیار سودمندی کشت مخلوط در استفاده از منابع محیطی مطرح بوده و بیان کننده مقدار مساحت مورد نیاز زمین برای کشت خالص دو گونه در مقایسه با کشت مخلوط آنها جهت حصول عملکرد برابر می‌باشد (Mead & Wiley, 1980). شاخص نسبت برابری زمین براساس معادله ۱ محاسبه شد (Gliessman, 1997):

$$LER=(Ysi/Yss)+(Yci/Ycs) \quad (۱)$$

در این معادله، Ysi عملکرد زعفران در کشت مخلوط، Yss عملکرد زعفران در کشت خالص، Yci عملکرد زیره سبز در کشت مخلوط و Ycs عملکرد زیره سبز در کشت خالص است.

شاخص مجموع ارزش نسبی[2] (RVT) با کمک معادله ۲ به‌دست آمد (Schultz et al., 1982):

$$RVT=(Ps.Ys+Pc.Yc)/Ps.Ms \quad (۲)$$

در این معادله، Ps قیمت واحد زعفران (هر کیلوگرم، ۵۰۰ میلیون ریال)، Ys عملکرد زعفران در کشت مخلوط، Pc قیمت واحد زیره سبز (هر کیلوگرم، ۳میلیون ریال)، Yc عملکرد زیره سبز در کشت مخلوط و Ms عملکرد زعفران در حالت کشت

1- LER (Land Equivalent Ratio)

2- RVT (Relative Value Total)

خالص می‌باشد. این شاخص، سودمندی اقتصادی ناشی از کشت مخلوط را نشان می‌دهد. مقادیر بیشتر از یک این شاخص، سودمندی اقتصادی و مقادیر پایین تر از یک، عدم سودمندی اقتصادی در کشت مخلوط را نشان می‌دهد (Vandermeer, 1992).

افزایش یا کاهش عملکرد واقعی[1] (AYL) از دیگر شاخص‌های مورد مطالعه در این تحقیق بود که از طریق معادله ۳ محاسبه گردید (Vandermeer, 1992):

$$AYL=AYLs+AYLc \quad (۳)$$
$$AYLs=\{(LERs\times(100/Zsc))-1\}$$
$$AYLc=\{(LERc\times(100/Zcs))-1\}$$

در این معادله، LERs نسبت برابری جزئی زمین برای زعفران، LERc نسبت برابری جزئی زمین برای زیره سبز، Zsc سهم زعفران در مخلوط با زیره سبز و Zcs سهم زیره سبز در مخلوط با زعفران است. AYL اطلاعاتی در خصوص رقابت و رفتار هرگونه در مخلوط ارائه می‌دهد. مقادیر مثبت بدست آمده برای AYL نشانه سودمندی و مقادیر منفی آن حاکی از عدم سودمندی کشت مخلوط به نسبت کشت خالص است (Banik, 1996; Vandermeer, 1992).

شاخص سودمندی کشت مخلوط[2] (IA) نیز با استفاده از معادله ۴ محاسبه شد (Banik, 1996):

$$IA=(Ps/Ps+Pc).AYLs+(Pc/Ps+Pc).AYLc \quad (۴)$$

در این رابطه Ps قیمت واحد زعفران (هر کیلوگرم، ۵۰۰ میلیون ریال)، Pc قیمت واحد زیره سبز (هر کیلوگرم، ۳میلیون ریال)، AYLs افزایش یا کاهش عملکرد واقعی زعفران و AYLc افزایش یا کاهش عملکرد واقعی زیره سبز می‌باشد. شاخص سودمندی کشت مخلوط در تعیین الگوی کشت، بسیار کمک‌کننده است. هرچه مقدار این شاخص از صفر بالاتر باشد، سودمندی بیشتری به‌دست می‌آید (Vandermeer, 1992).

داده‌های حاصل از آزمایش براساس طرح آماری مربوطه، توسط نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ مورد تجزیه واریانس قرار گرفت. قبل از تجزیه واریانس، آزمون نرمالیتی روی داده‌ها انجام شد و در مواردی از تبدیل لگاریتمی برای حصول توزیع نرمال در داده‌ها استفاده شد و داده های نرمال شده مورد آنالیز قرار گرفت. در نهایت میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت شده[3] (FLSD) در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند. برای رسم اشکال نیز از نرم افزار Excel 2016 استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن خشک کلاله

نتایج تجزیه واریانس عملکرد زعفران در کشت خالص و مخلوط با زیره سبز (جدول ۱) حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار میزان کلاله زعفران در تیمار زعفران خالص با همه ترکیبات کشت مخلوط افزایشی آن با زیره سبز بود (شکل ۳). این نتایج نشان داد که حضور گیاه زیره سبز در کنار بوته‌های زعفران در طی دوران رشد آن، هیچ گونه خسارتی به رشد و نمو زعفران وارد ننموده است. بیشترین میانگین عملکرد کلاله زعفران در تیمار کشت مخلوط با ۶۰ بوته زیره سبز در مترمربع به میزان ۰/۴۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. همچنین، کمترین میانگین عملکرد کلاله زعفران در تیمار مخلوط با ۳۰ بوته زیره سبز در مترمربع به‌دست آمد. در این زمینه، مطالعاتی گوناگون با نتایج مختلف انجام شده است. مرادی و پورقاسمیان (Moradi & Pour Ghasemian, 2021) با بررسی کشت مخلوط افزایشی زعفران و زیره سبز در تاریخ‌های مختلف کاشت، گزارش نمودند که با افزایش نسبت زیره سبز در کشت مخلوط، از عملکرد کلاله زعفران بطور معنی‌داری کاسته شد. در بررسی تأثیر

1- AYL (Actual Yield Loss or Gain)
2- IA (Intercropping Advantage)
3- FLSD (Fisher Least Significant Difference)

آرایش‌های مختلف کشت مخلوط زعفران با گیاه دارویی پنیرک، مشخص شد که اختصاص فضای بیشتر در کشت خالص زعفران، بالاترین وزن خشک کلاله را به دنبال داشته است. در مقایسه بین تیمارهای مخلوط آرایش کاشت پنیرک با زعفران نیز مشخص گردید که افزایش فاصله ردیف پنیرک با زعفران از ۳۰ به ۶۰ سانتیمتر، به کاهش ۷۶ درصدی وزن خشک کلاله منجر شد (Khorram Del et al., 2019). در تحقیقی دیگر در نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی نخود و زعفران، با افزایش درصد حضور نخود، وزن خشک کلاله افزایش یافت (Asadi et al., 2016).

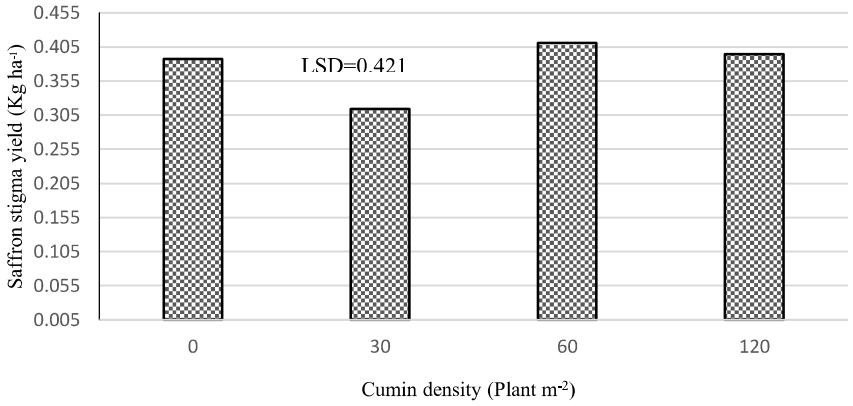
جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تراکم زیره سبز بر وزن خشک کلاله زعفران

Table 1 - Analysis of variance (MS) of the effect of green cumin density on dry weight of saffron stigma

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک کلاله زعفران Dry weight of saffron stigma
بلوک Block	2	0.159^{ns}
تراکم زیره سبز Green cumin density	3	0.017^{ns}
خطا Error	6	0.111
ضریب تغییرات C.V. (%)		22.51

ns: نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون FLSD.

ns: Indicates no significant difference based on the FLSD test.



شکل ۳- اثر تراکم‌های مختلف زیره سبز بر عملکرد کلاله زعفران در کشت مخلوط افزایشی

Figure 3– Effect of different densities of cumin on stigma yield of saffron in addidive intercropping.

در تحقیق حاضر، عملکرد کلاله زعفران در تیمارهای مخلوط با زیره سبز کاهش نیافت. به نظر می‌رشد نقش مؤثر و مفید زیره سبز در تعدیل دمای خاک در طی فصل گرم سال در این زمینه بی‌تأثیر نبوده است. در این مطالعه بیشترین میانگین دمای روزانه در اواسط اردیبهشت و خرداد ماه (May) ثبت گردید و بارندگی سالانه نیز در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در منطقه مورد مطالعه به میزان ۱۴۰ میلی‌متر بود (شکل ۲). از عوامل کاهش عملکرد کلاله زعفران به کمبود بارندگی سالانه، میانگین دمایی بالا در تابستان و سرمای شدید زمستان، اشاره شده است (Behdani & Fallahi, 2015; Koocheki et al., 2009). مولینا و همکاران (Molina et al., 2004) بیان داشتند که وجود درجه حرارت بالا در تابستان، اختلال در گل‌انگیزی و کاهش عملکرد زعفران را به دنبال دارد. در این خصوص، کاهش حدود ۵۰ درصدی میزان تولید زعفران سطح کشور در سال ۱۴۰۲ نسبت به ۱۴۰۱

(MAJ, 2023) می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیمی ذکر شده، باشد. به نظر می‌رسد که در این بازه زمانی، وجود گیاه پوششی مانند زیره سبز به دلیل پوشش زمین، توانسته از شدت گرمای خاک که برای بنه زعفران بسیار آسیب زا است، جلوگیری نماید؛ به طوری که عملکرد کلاله زعفران در تیمارهای مخلوط با تیمار خالص، تفاوت معناداری پیدا نکرد (شکل ۳). در تحقیقی اثر نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی نخود و زعفران بر عملکرد و برخی خصوصیات رشدی مورد مطالعه قرار گرفت. بنابر نتایج این مطالعه نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی با نخود بر وزن خشک کلاله زعفران اثر معناداری داشت، به طوری که بیشترین عملکرد کلاله زعفران در کشت مخلوط در نسبت تراکم ۱۰۰ درصد زعفران و ۱۰۰ درصد نخود حاصل شد. محققین این پژوهش علت افزایش عملکرد کلاله زعفران را ناشی از سایه اندازی گیاه نخود در فصل گرم و در نتیجه بهبود رشد بنه زعفران اعلام نمودند (Asadi et al., 2016). از آنجا که القای گلدهی زعفران در فصل تابستان اتفاق می‌افتد (Khorram Del et al., 2016) و از طرفی درجه حرارت‌های بالا در ماه‌های خرداد و تیر بوده است (شکل ۲)؛ در نتیجه، این دمای بالا به عنوان یکی از عوامل کاهش عملکرد زعفران تلقی می‌گردد. لذا به نظر می‌رسد که کشت مخلوط زیره سبز با زعفران به دلیل مساعد نمودن شرایط رشدی بنه زعفران از طریق خنک کردن سطح خاک به دلیل سایه‌اندازی زیره سبز، موثر بوده است. در مطالعه‌ای استفاده از مالچ کلش گندم به واسطه تعدیل دمای خاک، موجب افزایش رشد و عملکرد زعفران شده است (Galavi et al., 2009). کوچکی و همکاران نیز بیان داشتند که کشت مخلوط زیره سبز با زعفران، افزایش تعداد گل و عملکرد خشک کلاله را به دنبال داشته است. طبق نظر این محققین، افزایش ماده آلی خاک و در نتیجه بهبود خصوصیات شیمیایی خاک در اثر تجزیه بقایای گیاه زیره سبز، نهایتاً موجب افزایش عملکرد کلاله و گل در زعفران شد (Koocheki et al., 2016).

عملکرد بذر زیره سبز

مطابق نتایج تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری در عملکرد بذر زیره سبز در تراکم‌های مختلف کشت خالص و مخلوط وجود داشت (جدول ۲ و شکل ۴).

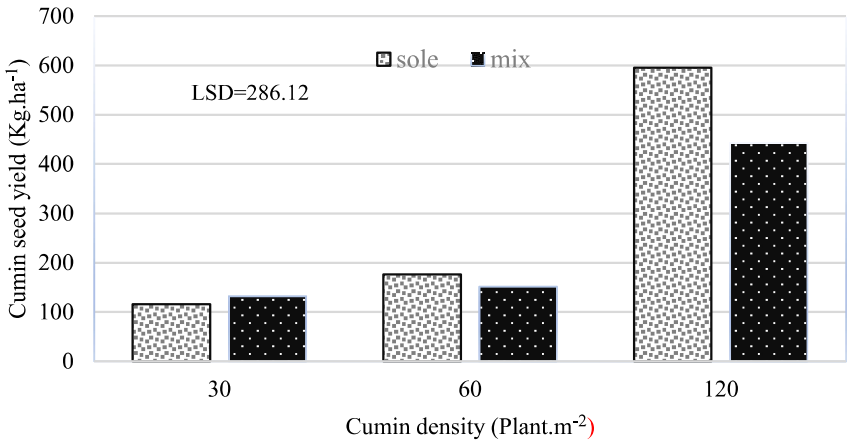
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تراکم‌های کشت خالص و کشت مخلوط با زعفران بر عملکرد زیره سبز

Table 2 - Analysis of variance of the effect of planting densities of pure and mixed cultivation with saffron on green cumin yield

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد زیره سبز Green cumin yield
بلوک Block	2	0.115
تیمار Treatment	5	0.324*
خطا Error	10	0.070
ضریب تغییرات C.V. (%)		11.61

*: نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون FLSD.

*: Indicates a significant difference at the 5% probability level based on the FLSD test.



شکل ٤- اثر تراکم‌های مختلف زیره سبز در کشت خالص و مخلوط بر عملکرد بذر آن

Figure 4- Effect of different cumin densities in sole and mixed croping on cumin seed yield.

میانگین های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معناداری در سطح ۰/۰۵ براساس آزمون FLSD ندارند.

Means with same letters have no significant difference at the level of 0.05 based on the FLSD test.

افزایش تراکم زیره سبز از ۳۰ به ۶۰ و ۱۲۰ بوته در مترمربع، اثر معنی‌داری بر عملکرد بذر آن (در کشت خالص و مخلوط) داشت. افزایش تراکم در کشت خالص زیره سبز از ۳۰ به ۶۰ و ۱۲۰ بوته در مترمربع به ترتیب باعث افزایش ۵۱ و ۴۱۲ درصدی عملکرد بذر آن شد؛ همچنین، این درصد افزایش در حالت مخلوط به ترتیب برابر با ۱۵ و ۲۳۸ درصد بود. در تراکم ۱۲۰ بوته زیره سبز بر مترمربع، تفاوت معنی‌دار بین عملکرد آن در حالت کشت خالص و مخلوط مشاهده شد (شکل ۴). به نظر می‌رسد تراکم ۱۲۰ بوته زیره سبز در مترمربع (تراکم بهینه در نظر گرفته شده در کشت خالص)، تراکم مناسب در شرایط کشت مخلوط با زعفران نیز باشد؛ با این حال، کاهش عملکرد بذر زیره سبز در تراکم ۱۲۰ بوته در مترمربع در حالت مخلوط با زعفران، نشان می دهد که انتخاب این تراکم به عنوان تراکم مناسب در کشت مخلوط، منوط به انجام بررسی‌های اقتصادی و زراعی این سیستم کشت می‌باشد (شکل‌های ۳ و ۴). اگرچه محققین بسیاری به این موضوع اشاره کرده‌اند که کاهش عملکرد گیاه در اثر کاهش تراکم آن در کشت مخلوط رخ می دهد، ولی این وضعیت در تحقیقاتی از کشت مخلوط که با روش جایگزینی انجام شده، گزارش شده است (Asadi et al., 2016; Koocheki et al., 2009 ; Khorramdel et al., 2016). به همین دلیل در کشت مخلوط افزایشی می‌توان انتظار داشت که در صورت عدم کاهش عملکرد اجزای مخلوط، عملکرد بیشتری در واحد سطح (از مجموع گیاهان) حاصل شود که این موضوع در این مطالعه مشاهده شد. در بررسی نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی زیره سبز با زعفران در تاریخ‌های مختلف کاشت، گزارش شده است که با افزایش نسبت تراکم زیره سبز در کشت مخلوط، میزان عملکرد بیولوژیک و بذر زیره سبز افزایش معنی‌داری پیدا کرد (Moradi & Pour Ghasemian, 2021). در مطالعه‌ای دیگر که عملکرد و خصوصیات رشدی نخود در کشت مخلوط با زعفران مورد بررسی قرار گرفت نیز بالاترین عملکرد نخود در حالت مخلوط افزایشی در شرایط کشت ۱۰۰ درصد زعفران با ۸۰ درصد نخود حاصل

گردید؛ گرچه در نسبت های بالاتر نخود، عملکرد آن کمتر بود (Asadi et al., 2016).

شاخص نسبت برابری زمین و مجموع ارزش نسبی محصول

بر اساس نتایج به دست آمده، شاخص نسبت برابری زمین (LER) در همه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود (جدول ۳). این موضوع نشان‌دهنده استفاده بهتر از زمین و سودمندی بیشتر در هنگام اجرای الگوی کشت مخلوط افزایشی زیره سبز با زعفران است. با این وجود، تأکید بر شاخص نسبت برابری کل زمین بدون توجه به اجزای جزئی آن در مواردی که اهمیت زراعی یا اقتصادی یک جزء مخلوط برای زارع بیشتر است (مانند زعفران در تحقیق حاضر)، می‌تولند گمراه کننده باشد. در این موارد باید حتماً شاخص نسبت برابری جزئی اجزاء مخلوط نیز مورد توجه قرار گیرد. میزان LER جزئی زعفران در تراکم ۶۰ و ۱۲۰ بوته زیره سبز در مترمربع، بالاتر از یک بوده و به ترتیب برابر ۱/۰۶ و ۱/۰۱ بدست آمد. این شاخص برای زیره سبز در تراکم ۳۰ بوته در مترمربع، عدد ۱/۱۲ بود. این موضوع با نتایج مربوط به بررسی عملکرد دو گیاه (شکل‌های ۳ و ۴) مطابقت دارد. در تحقیقی که به بررسی اثر کشت مخلوط افزایشی زعفران و زیره سبز در تاریخ‌های مختلف کاشت بر عملکرد کمی و کیفی دو گونه پرداخت، میزان LER جزئی زیره سبز در تمامی تاریخ‌های کاشت با افزایش میزان تراکم در کشت مخلوط، افزایش یافت (Moradi & Pour Ghasemian, 2021). در مطالعه‌ای دیگر، نسبت برابری زمین برای تمام تیمارهای مورد آزمایش در آرایش‌های کشت مخلوط دو گیاه پنیرک و زعفران، بالاتر از یک بوده و همچنین نتایج LER جزئی، تاثیر مثبت کشت مخلوط بر عملکرد هر دو گیاه و به خصوص زعفران را نشان داد (Khorram Del et al., 2019). اثر تیمارهای کشت مخلوط ردیفی زعفران با مرزنجوش نیز نشان داد که اجرای کشت مخلوط باعث افزایش و بهبود LER شد (Koocheki et al., 2013). در تمامی نسبت‌های کشت مخلوط تأخیری زعفران و شوید، LERبالاتر از یک بود (Moradi & Pour Ghasemian, 2017). در پژوهشی، بیشینه عملکرد در کشت مخلوط زیره سیاه و زعفران که به صورت جایگزینی با نسبت های ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ به همراه کشت خالص زیره سیاه و زعفران در یک دوره شش ساله مورد بررسی قرار گرفت، بیشترین عملکرد و نسبت برابری زمین، در کشت مخلوط با نسبت ۵۰:۵۰ این دو گیاه به‌دست آمد (Khosravi, 2006). نتایج آزمایش بر روی ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط بر خصوصیات کمی و کیفی زیره سبز و نخود زراعی نشان داد که در بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط، نسبت ۵۰ درصد زیره سبز و ۵۰ درصد نخود زراعی، از نظر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و نسبت برابری زمین، برتر بوده است (Zarifpour et al., 2014).

مطابق نتایج، شاخص مجموع ارزش نسبی (RVT) نیز در تمام تیمارهای آزمایش بیش از یک برآورد شد (جدول ۳). به بیان دیگر، سود حاصل از کشت مخلوط زیره سبز با زعفران، بسیار بیشتر از سود حاصل از کشت خالص زعفران است. از آنجا که عملکرد پایین وزن کلاله زعفران که در تمام تیمارهای آزمایش کمتر از یک کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۲)، می تواند در اثر شرایط نامناسب دمایی و بارندگی منطقه در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ حاصل شده باشد (شکل ۲)، اما در مخلوط زیره سبز با زعفران با ثبت عملکرد بالای بذر زیره سبز، میزان RVT در تمام تیمارهای مخلوط، افزایش و بیشتر از یک به‌دست آمد. به عبارتی، کشت مخلوط، درآمد ناچیز حاصل از زعفران در این سال زراعی را پوشش داده و به سود تبدیل کرده است؛ به طوری که با وجود اثر منفی زیره سبز بر عملکرد کلاله زعفران در تیمار ۱۲۰، بیشترین میزان برای شاخص RVT، در این تیمار به‌دست آمد (جدول ۳).

در مقایسه کشت خالص و مخلوط زعفران با سه گروه از گیاهان زراعی شامل غلات (گندم بهاره و پاییزه)، حبوبات (عدس و نخود) و گیاهان دارویی (اسفرزه، خاکشیر، سیاهدانه، زنیان و زیره سبز) مشخص شد که بیشترین مقدار شاخص مجموع ارزش نسبی، مربوط به کشت مخلوط زعفران با سیاهدانه و زنیان بود (Koocheki et al., 2009). دریاغشاهی و همکاران (Naderi Darbaghshahi et al., 2010) در مقایسه بین سه گونه بابونه و دو تاریخ کاشت در کشت مخلوط با زعفران، گزارش دادند که مجموع ارزش نسبی در تمام تیمارهای مخلوط بیشتر از تیمار زعفران خالص بوده است.

جدول ۳- برآورد میزان نسبت برابری زمین و مجموع ارزش نسبی محصول در تیمارهای کشت مخلوط

Table 3- Estimation of Land Equivalent Ratio and Relative Value Total of the crop in mixed cropping treatments

تراکم زیره سبز Cumin density	نسبت برابری زمین جزئی زعفران LER saffron	نسبت برابری زمین جزئی زیره سبز LER cumin	نسبت برابری زمین کل LER	مجموع ارزش نسبی RVT
30	0.82	1.12	1.94	2.88
60	1.06	0.86	1.92	3.45
120	1.01	0.74	1.75	8.03

کاهش یا افزایش عملکرد واقعی و شاخص سودمندی

مطابق جدول ۴ میزان کاهش یا افزایش عملکرد واقعی زعفران و زیره سبز محاسبه شد. شاخص AYL به جز در تیمار مخلوط زعفران با ۱۲۰ بوته زیره سبز در مترمربع که کاهش عملکرد واقعی را نشان داد، در تراکم‌های ۳۰ و ۶۰ بوته زیره سبز در مترمربع، اعداد مثبت را ثبت نمود. می‌توان نتیجه گرفت که تداخل زعفران با زیره سبز در تراکم‌های ۳۰ و ۶۰ بوته در مترمربع، از نوع مثبت بوده و افزایش عملکرد واقعی حاصل شده است. بیشترین افزایش عملکرد واقعی مربوط به تراکم ۳۰ بوته زیره سبز در مترمربع در مخلوط با زعفران به میزان ۳/۳۵ بدست آمد. در تراکم‌های پایین‌تر (۳۰ و ۶۰ بوته زیره سبز در مترمربع)، میزان AYL اعداد بزرگتری را نشان داد. با این حال با افزایش تراکم زیره سبز به۱۲۰ بوته در مترمربع، AYL کاهش یافت که این امر می تواند ناشی از رقابت و تداخل منفی دو گیاه در تراکم‌های بالا باشد (Ahmadi et al., 2009). در تحقیقی، بالاترین میزان AYL از تیمارهای مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد ذرت و ۱۲/۵ درصد ارزن در تاریخ کشت هم‌زمان، به‌دست آمد (Shaygan et al., 2007). بیشترین میزان شاخص سودمندی اقتصادی کشت مخلوط (IA) در حالت مخلوط زعفران و ۶۰ بوته زیره سبز در مترمربع و به میزان ۰/۰۶۵ به‌دست آمد. این سودمندی می‌تواند ناشی از استفاده بهتر از منابع موجود نظیر نور، آب و مواد غذایی در این کشت باشد کما اینکه نسبت برابری زمین بالا به میزان ۱/۹۲ نیز در این حالت به‌دست آمده است. محققان در ارزیابی شاخص‌های کشت مخلوط پنبه با لوبیای چشم بلبلی و سورگوم بیان داشتند که مقادیر منفی شاخص سودمندی کل، نشان‌دهنده عدم سودمندی کشت مخلوط بود. آنها علت مقادیر منفی این شاخص را به اختلاف بالای قیمت اجزای کشت مخلوط نسبت دادند (Aasim et al., 1997). بیشترین سودمندی (IA)، در کشت مخلوط افزایشی ماشک گل خوشه‌ای و جو، مربوط به تیمار افزایشی به نسبت ۱۰۰:۱۵ و کمترین سودمندی مربوط به تیمار ۱۰۰:۴۵ بود (Ahmadi et al., 2009). بیشترین میزان سودمندی در کشت مخلوط افزایشی ذرت و ارزن در تاریخ کشت هم‌زمان، در تیمار ۱۰۰درصد ذرت و ۱۲/۵ درصد ارزن، حاصل شد که به استفاده احتمالی بیشتر این تیمار از نور، آب و مواد غذایی نسبت داده شده است (Shaygan et al., 2007).

جدول ٤- برآورد میزان کاهش یا افزایش عملکرد واقعی و سودمندی کشت مخلوط در تیمارهای کشت مخلوط

Table 4 - Estimating the amount Actual Yield Loss (AYL) or Gain and Intercopping Advantage (IA) in mixed cropping treatments

تراکم زیره سبز Cumin density	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی زعفران AYL saffron	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی زیره سبز AYL cumin	کاهش یا افزایش عملکرد واقعی AYL	سودمندی کشت مخلوط IA
30	-0.18	3.53	3.35	-0.016
60	0.61	0.72	1.33	0.065
120	0.018	-0.25	-0.23	0.017

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشـــان داد که بین عملکرد کلاله زعفران در تیمار کشـت خالص با تیمارهای مخلوط زعفران با زیره سـبز، اختلاف معنی‌داری وجود نداشـــت. مخلوط زیره ســـبز با زعفران باعث شـــده تا شـــاخص LER اعداد بالاتر از یک را در تمامی تیمارهای مورد آزمایش نشـــان دهد و گویای کارایی کشـــت مخلوط این دو گیاه نسبت به کشت خالص بود. بیشترین عملکرد کلاله زعفران در حالت مخلوط، در تیمار تراکم ۶۰ بوته در متر مربع زیره ســبز به میزان ۰/۴۱ کیلوگرم در هکتار حاصـل شـد. همچنین بیشـــترین میزان LER در تیمارهای مخلوط ۳۰ و ۶۰ بوته زیره سـبز در مترمربع به میزان ۱/۹۴ و ۱/۹۲ حاصـل شـد. شـاخص مجموع ارزش نسـبی (RVT) در حالت تمامی تیمارهای کشـت مخلوط، بالاتر از یک به‌دسـت آمد. شـاخص سـودمندی اقتصـادی IA نیز در تیمار مخلوط زعفران با تراکم ۶۰ بوته زیره سـبز در مترمربع، بیشـــترین مقدار بود. با توجه به تمامی شاخص‌های مورد مطالعه، کشت مخلوط زعفران با زیره سبز در تراکم ۶۰ بوته در مترمربع قابل اســـتفاده با کارایی بالا به لحاظ زراعی و اقتصادی در این منطقه است؛ لذا انجام آزمایش در چند سال متوالی و به صورت مزرعه‌ای، جهت اطمینان بیشتر در این خصوص توصیه می گردد.

سپاسگزاری

این پژوهش با مساعدت و حمایت گروه پژوهشـــــی گیاه و تنش‌های محیطی و گروه پژوهشی زعفران دانشکده کشاورزی دانشـگاه بیرجند انجام گردیده اسـت. بـــدین وســـیله از مســـاعدت‌هـــای ایـــن گروه های پژوهشی سپاســـگزاری می‌شود.

منابع

Knowledge & Sustainable Production (Agricultural Knowledge), 20/2 (4), 76-87. (In Persian with English Abstract).Asadi, Gh. A., Khorramdel, S., & Hatefi Farajian, M. H. (2016). The effects of row intercropping ratios of chickpea and saffron on their quantitative characteristics and yield. *Saffron Agronomy & Technology, 4*, 93-103. (In Persian with English Abstract).

Azizi-Zohan, A., Kamgar-Haghighi, A. A., & Aasim, M., Umer, E. M., & Karim, A. (2008). Yield and competition indices of intercropping cotton (*Gossypium hirsutum* L.) using different planting patterns. *Tarim Bilimleri Dergisi, 14* (4), 326-333.

Ahmadi, A., Dabagh Mohammadi Nasab, A., Zahtab Salmasi, S., Amini, R., & Jan Mohammadi, H. (2009). Evaluation of performance and useful indicators in the mixed cultivation of barley and vetiver. *Agricultural*

Sepaskhah. A. R. (2008). Crop and pan coefficients for saffron in a semi-arid region of Iran. *Journal of Arid Environment, 72* (3), 270-278.

Banik, P. (1996). Evaluation of Wheat (*Triticum aestivum*) and legume. *Agronomy & Crop Science, 176*, 289-294.

Behdani, M. A., & Fallahi, H. R. (2015). *Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches*. University of Birjand Press. (In Persian).

Fakari Sardhai, B., Farsi, M. M., Kianpour, R., & Rafiei. H. (2023). Checking the export of agricultural products. Research report of the National Center for Strategic Studies of Agriculture and Iran Chamber of Commerce, Industries, Mines and Agriculture, 13-21

Galavi, M., Mousavi, S. R., & Ziyaie, M. (2009). Effects of planting depth and control of soil summer temperature on tunic production, corm propagation and leaf desiccation in end of growth period of saffron (*Crocus sativus* L.). *Asian Journal of Plant Science, 8*, 375-379.

Gliessman, S. R. (1997). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Arbor Press. pp, 357.

Gonias, E. D., Oosterhuis, D. M., & Bibi, A. C. (2011). Light interception and radiation use efficiency of okra and normal leaf cotton isolines. *Environmental & Experimental Botany, 72*, 217–222.

Iranian Meteorological Organization (2024). Annual meteorological report. South Khorasan province: Iranian Meteorological Organization

Jahan, M., Amiri, M. B., Aghhavani Shajari, M., & Tahami, M. K. (2013). Quantity and quality of (*Cucurbita pepo* L.) as affected by winter cover crops (*Lathyrus sativus* and *Trifolium resopinatum*), PGPRs and organic manures. *Iranian Journal of Field Crops Research,11* (2), 337-356. (In Persian with English Abstract).

Karami, E., Almasi, A., Kashi, A., & Etminani, A. (2022). The effect of wind breaking of sweet corn and okra on growth indices and yield of cucumber in strip intercropping system. *Iranian Journal of Horticultural Science, 52* (4), 789-798. (In Persian with English Abstract).

Kavand, H., Kalbali, E., & Sabuhi, M. (2014). Application of data envelopment analysis to evaluate the efficiency of saffron growers (Case study: Qaen county). *Saffron Agronomy & Technology, 2* (1), 17-30. (In Persian with English Abstract).

Khorram Del, S., Moalem Benhangi, F., & Davrpanah, S. J. (2019). The effect of intercropping arrangements with cheese on the yield of girl onions and flowers and quality characteristics of saffron in the third year. *Saffron Agriculture & Technology, 8* (4), 479-495. (In Persian with English Abstract).

Khorram Del, S., Rezvani Moghaddam, P., Asadi, G. A., & Mirshekari, A. (2016). Effect of additive intercropping series of cumin (*Cuminum cyminum* L.) with saffron (*Crocus sativus* L.) on their yield and yield components. *Journal of Saffron Research, 4*, 53-71. (In Persian with English Abstract).

Khosravi, M. (2006). Agroecological and economic viewpoints of black cumin mixed cultivation with saffron and annual plants, Ph.D. Dissertation , field of agriculture, crop ecology trend. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Abstract).Koocheki, A., Shabahang, J., Khorram Del, S., & Azimi, R. (2013). Investigating the effect of irrigation interval and intercropping combinations of marjoram (*Origanum vulgare*) and saffron (*Crocus sativus*) on the cooling of tubers in order to reduce the adverse effects of climate change. *Agricultural Research of Iran, 11* (3), 390. (In Persian with English Abstract).

Koocheki, A., Najibnia, S., & Lalegani, B. (2009). Evaluation of saffron yield (*Crocus sativus* L.) in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. *Iranian Journal of Field Crop Research, 7 (1)*, 175-184. (In Persian with

English Abstract).

Koocheki, A., Seyyedi, S.M., & Gharaei, Sh. (2016). Evaluation of the effects of saffron–cumin intercropping on growth, quality and land equivalent ratio under semi-arid conditions. *Scientia Horticulturae, 201*, 190–198. Mashayekhi Sardooyi, A, Shirzadi, M, H,. & Naghavi, H. (2011). Effect of planting date and plant density on yield and yield components of green cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Middle-East Journal of Scientific Research, 9* (6), 773-777.

Mead, R., & Wiley, R. W. (1980). The concept of a "Land Equivalent Ratio" and advantage in yields from intercropping. *Experimental Agriculture, 16*, 217-228.

Ministry of Agriculture – Jihad (MAJ). (2023). Agricultural statistics 2022 - Garden and greenhouse products. Available at Website http://www.maj.ir.

Molina, R. V., Valero, M., Navaro, Y., Garcia Luis, A., & Guardiola, J. L. (2004). Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulturae, 103*, 361-379.

Moradi, R. A., & Pour Ghasemian, N. (2021), Investigating the effect of growing a mixture of saffron and cumin in different planting dates on the quantitative and qualitative performance of the two species, *Saffron Agriculture & Technology Journal, 1* (8), 19-36. (In Persian)

Mozafarian, V. (2008). Flora of Iran - Tir Chetrian, Tehran: Forest and Pasture Research Institute of Iran, p. 54. (In Persian)

Naderi Darbagshahi, M. R., Pazki, A. R., Bani Taba, A. R., & Jalali Zand, A. R. (2010). Investigating agricultural and economic aspects of saffron and chamomile mixed farming in Isfahan region. *New Findings in Agricultural, 4* (3), 413-422. (In Persian with English Abstract).Naderi Mahdei, K., & Esfahani, S. (2015). Efficiency of saffron farmers in Shahyk region of Ghaen city, Iran (Application of data envelopment analysis using the efficient and inefficient frontiers). *Saffron Agronomy & Technology, 3* (3), 229-240. (In Persian with English Abstract).

Naderidarbaghshahi, M., Jalalizand, A., & Javanmard, H. (2013). Assessment the quantitative traits of saffron in intercropping of saffron and chamomail. *Journal of Novel Applied Sciences, 8*, 238-242.

Nakhazri Moghadam, A. (2008). Effect of plant density and water stress stage on cumin yield and yield components. *Journal of Agricultural Plant Sciences of Iran, 40*, 63-69.

Pour Ghasemian, N., & Moradi, R., (2017), Evaluation of the benefit of delay mixed cultivation of saffron and dill, The 5th National Saffron Conference, Torbat Heydarieh, https://civilica.com/doc/830613. (In Persian).

Rezvani Moghaddam, P., & Moradi, R. (2012). Effect of planting dates, biological fertilizers and intercropping on yield and essential oil quantity of Cumin and Fenugreek. *Journal of Iranian Crop Science, 43*, 230-217. (In Persian with English Abstract).

Saeed Nejhad, A. H., & Rezvani Moghaddam, P. (2010). Effect of biological and chemical fertilizers on morphological parameters, yield, yield components and essential oil percentage of cumin. *Journal of Horticultural Science, 24*, 38-44. (In Persian with English Abstract).

Schultz, B. B., Phillips, C., Rosset, P., & Vandermeer, J. (1982). An experiment in intercropping tomatoes and cucumbers in southern Michigan. USA. *Scientia Horticulturea, 18*, 1-8.

Shaygan, M., Mazaheri, D., Rahimian Mashhadhi, H., & Pighambari, S. A. (2007). History of corn and millet planting and intercropping. Demfobahi on their seed yield and weed control. *Journal of Agricultural Sciences of Iran, 10* (1), 31-46. (In Persian with English Abstract).Sujatha, S., Bhat, R., Kannan, C., & Balasimha, D. (2011). Impact of intercropping of medicinal and aromatic plants with organic

farming approach on resource use efficiency in arecanut (*Areca catechu* L.) plantation in India. *Industrial Crops & Products, 33*, 78–83.

Vandermeer J. H. (1992). The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press.

Zarifpour, N., Naseripour Yazdi, M. T., & Nasiri Mahalati, M. (2014). The effect of different combinations of intercropping on the quantitative and qualitative characteristics of cumin and field peas. *Iran Agricultural Research Journal, 1* (12), 43-34.

Zhang, D., Sun, ZH., Feng, L., Bai, W., Yang, N., Zhang, ZH., Du, G., Feng, CH., Cai, Q., Wang, Q., Zhang, Y., Wang, R., & Arsha , A. (2020). Maize plant density affects yield, growth and source-sink relationship of crops in maize and peanut intercropping. *Field Crops Research, 257*, 1-10.