Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 467-484

Agronomic and Economic Evaluation of Intercropping Systems of Barley (*Hordeum vulgare*) with Two Medicinal Plants, Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) and Garlic (*Allium sativum*)

Y. Esmaeilian[1], M. Eshghizadeh[1*] and A. Tavassoli[2]

Received: 25-03-2020
Revised: 24-05-2021
Accepted: 30-05-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Esmaeilian, Y., Eshghizadeh, M., and Tavassoli, A., 2022. Agronomic and economic evaluation of intercropping systems of barley (*Hordeum vulgare*) with two medicinal plants, fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) and garlic (*Allium sativum*). Journal of Agroecology 14(3): 467-484.
DOI: 10.22067/agry.2021.20274.0

Introduction

Today, agriculture faced various challenges, such as the inadequate agricultural products for growing human needs, in other words, step down of food security, reduction of productivity, economic justification, the competitiveness of agriculture, etc. On the other hand, the excessive use of agricultural inputs, especially water, fertilizers, and pesticides, excessive pressure on natural resources along with the consequences of climate change has affected the sustainability and stability of agroecosystems. Intercropping the agricultural practice of growing two or more species on the same farm at the same time has been emphasized by many researchers around the world as one of the ecological approaches for crop production as an effective technique for achieving sustainable agricultural goals. Therefore, the objective of this research was to agronomic and economic evaluation of intercropping patterns of three different crops.

Materials and Methods

To compare sole cropping and intercropping systems of barley, fenugreek, and garlic, a field experiment was conducted in 2016-17 at the Research Farm of Gonabad University based on a randomized complete block design with three replications. Experimental treatments consisted of sole cropping of barley, fenugreek, and garlic; and 4 replacement intercropping series as barley + fenugreek, barley + garlic, fenugreek + garlic, and barley + fenugreek + garlic. Studied traits included dry forage yield, plant height, 1000-seed weight, biological yield, seed yield, and harvest index in barley, dry forage yield, plant height, pod number per plant, seed number per pod, 1000-seed weight, and seed yield in fenugreek, plant height, leaf number per plant, clove length, clove diameter, clove number per plant, and bulb yield of garlic. In this research, intercropping advantage indexes included land equivalent ratio (LER), actual yield loss (AYL), system productivity index (SPI), intercropping advantage (IA), and relative value total (RVT) were calculated. Analyses of variance were carried out at $p\leq0.05$ using SAS 9.1 software. The means were compared using Duncan's multiple-range test.

Results and Discussion

The results indicated that the highest values of dry forage yield (8523 kg.ha^{-1}), seed yield (3494 kg.ha^{-1}), and biological yield (14111 kg.ha^{-1}) of barley were achieved from the sole cropping system. Among intercropping treatments, the highest dry forage yield (6109 kg.ha^{-1}) was achieved from barley + fenugreek. While the highest seed

1- Assistant Professor, Department of Agricultural and Natural Resources, University of Gonabad, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payam Noor University, Tehran, Iran.
*Corresponding author: m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir

yield (2709 kg.ha^{-1}) and biological yield (11081 kg.ha^{-1}) were obtained from barley + garlic intercropping. There was no significant difference between sole cropping and intercropping systems about yield components such as the plant height, 1000-seed weight, and harvest index of barley. The plant height, the number of pods per plant, and the number of seeds per pod showed the highest value in the sole cropping system, although there was no significant difference between sole cropping with fenugreek + garlic intercropping. The seed yield (1145 kg.ha^{-1}) and dry forage yield (5100 kg.ha^{-1}) of fenugreek in sole cropping were significantly higher than intercropping patterns. The garlic +fenugreek intercropping treatment with 4090 kg.ha^{-1} dry forage yield and 569 kg.ha^{-1} seed yield had the highest values among intercropping patterns. Yield components of garlic included the plant height, number of leaves per plant, clove length and diameter, and number of cloves in the plant had the highest value in sole cropping; however, there was no significant difference between sole cropping and fenugreek + garlic intercropping. The highest value of bulb yield (7194 kg.ha^{-1}) was obtained from sole cropping and garlic + fenugreek intercropping with the value of 3381 kg.ha^{-1} ranked in second place. Among intercropping advantage indexes, the highest value of the land equivalent ratio (1.16), actual yield increase (0.30), and system productivity (8414) was achieved from the barley + garlic intercropping system. The highest value of intercropping advantage (0.02) and relative value total (1.27) was obtained from fenugreek + garlic and barley + fenugreek, respectively.

Conclusion

According to our findings, intercropping systems of barley + fenugreek and fenugreek + garlic can be selected as an appropriate approach for planting these crops to produce more forage than sole cropping. The results also indicate the better utilization of barley from intercropping advantages than other species and its competitive superiority in the use of environmental resources and economic yield enhancement. Based on the findings of this research, intercropping barley with garlic and fenugreek is an appropriate approach for the increase of land use efficiency and economic profitability that . Overall, among cropping systems, the barley-garlic intercropping system had more advantages.

Keywords: Advantage, Forage yield, Land equivalent ratio, Seed yield, System Productivity

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

ارزیابی زراعی و اقتصادی نظام‌های کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare*) با دو گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) و سیر (*Allium sativum*)

یاسر اسماعیلیان[۱]، مسعود عشقی‌زاده[۱*] و ابوالفضل توسلی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹

اسماعیلیان، ی.، عشقی‌زاده، م.، و توسلی، ا.، ۱۴۰۱. ارزیابی زراعی و اقتصادی نظام‌های کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare*) با دو گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) و سیر (*Allium sativum*). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۴۸۴-۴۶۷.

چکیده

به‌منظور ارزیابی و مقایسه سیستم‌های کشت مخلوط با تک‌کشتی سه گیاه جو (*Hordeum vulgare*)، شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) و سیر (*Allium sativum*)، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۶- ۱۳۹۵ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص جو، سیر، شنبلیله و کشت مخلوط جایگزینی به‌صورت جو + شنبلیله، جو + سیر، شنبلیله + سیر، و جو + شنبلیله + سیر بود. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد علوفه خشک، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت در گیاه جو، عملکرد علوفه خشک، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در گیاه شنبلیله، ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول سیرچه، قطر سیرچه، تعداد سیرچه در بوته و عملکرد سوخ در گیاه سیر بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین مقادیر عملکرد علوفه خشک (۸۵۲۳ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۳۴۹۴ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۴۱۱۱کیلوگرم در هکتار) گیاه جو از کشت خالص آن حاصل شد. در بین تیمارهای کشت مخلوط، بیشترین عملکرد علوفه (۶۱۰۹ کیلوگرم در هکتار) از کشت مخلوط جو + شنبلیله به‌دست آمد. صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف گیاه شنبلیله در تیمار کشت خالص بیشترین مقادیر را نشان دادند. عملکرد دانه (۱۱۴۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد علوفه خشک (۵۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) شنبلیله در الگوی کشت خالص در مقایسه با الگوهای کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. تیمار کشت مخلوط سیر + شنبلیله با عملکرد علوفه خشک ۴۰۹۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد دانه ۵۶۹ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر تیمارهای کشت مخلوط برتری داشت. اجزای عملکرد سیر شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول و قطر سیرچه، و تعداد سیرچه در بوته در کشت خالص بیشترین مقادیر را داشتند. بیشترین میزان عملکرد سوخ (۷۱۹۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت خالص سیر به‌دست آمد. در میان شاخص‌های ارزیابی مزیت کشت مخلوط، بالاترین مقادیر نسبت برابری زمین (۱/۱۶)، افزایش واقعی عملکرد (۰/۳۰) و بهره‌وری سیستم (۸۴۱۴) از الگوی کشت مخلوط جو + سیر حاصل شد. بیشترین میزان شاخص سودمندی کشت مخلوط (۰/۰۲) از تیمار شنبلیله + سیر، و بالاترین عدد مجموع ارزش نسبی (۱/۱۳) از تیمار کشت مخلوط جو + شنبلیله به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری سیستم، سودمندی، عملکرد دانه، عملکرد علوفه، نسبت برابری زمین

۱- استادیار گروه مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.
۲- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.20274.0

مقدمه

کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین روش تأمین غذای انسان، ساختمان و عمل اکوسیستم‌های طبیعی را به‌شدت تغییر داده است (Hong et al., 2019). بهره‌برداری انسان از منابع طبیعی همواره به‌صورت یک‌جانبه و بی‌رویه بوده و بهره‌برداری از این منابع بدون رعایت جنبه‌های حفاظتی آن و تنها براساس تأمین منافع کوتاه‌مدت انجام می‌گیرد. رشد فزاینده جمعیت و بحران کمبود غذا، سبب بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع طبیعی و در نتیجه، برهم خوردن توازن بیولوژیکی شده است. مصرف بی‌رویه مواد شیمیایی نیز در کشاورزی، سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی گوناگونی شده است (Hong et al., 2019). کشاورزی پایدار[1] به مدیریت صحیح منابع کشاورزی اطلاق می‌گردد که در جهت رفع نیازهای در حال تغییر بشر به‌کار برده شود و در عین حال، منابع طبیعی و نیز کیفیت محیط زیست را حفظ کرده و حتی بهبود بخشد. کشاورزی پایدار سودمند و مستمر، متکی بر حفظ منابع طبیعی است. این شیوه کشاورزی، اقتصادی‌ترین و در عین‌حال، سودمندترین نحوه تولید محصولات کشاورزی، بدون تخریب حاصل‌خیزی خاک و کیفیت محیط زیست می‌باشد. در گذشته چنانچه زمین تخریب می‌شد، انسان می‌توانست به جای دیگری نقل مکان کند، ولی امروزه با افزایش جمعیت این امر غیرممکن شده است. بدین ترتیب گرایش به‌سمت کشاورزی پایدار اجتناب‌ناپذیر است (Altieri, 2008).

هم‌اکنون چالش اصلی در کشاورزی پایدار این است که استفاده از نهاده‌های خارج از اکوسیستم به حداقل کاهش یابد، در حالی که منابع درون اکوسیستم، به نحو بهتر و با راندمان بیشتری مورد استفاده قرار گیرد. برای دستیابی به هدف فوق، باید به دنبال شناخت روش‌های مدیریت زراعی بود که باعث بهبود و یا حفظ تولید در گذر زمان گردد و کمترین خسارت به محیط زیست وارد آید. از جمله این مدیریت‌های زراعی می‌توان به استفاده از گیاهان پوششی، مدیریت تلفیقی آفات و بیماری‌ها، تناوب زراعی، جنگل – زراعی و کشت مخلوط اشاره کرد (Altieri, 2008). کشت مخلوط به‌عنوان یک سیستم تولید محصولات کشاورزی بر پایه تنوع زیستی، قابلیت افزایش پایداری در سیستم‌های کشاورزی را دارد. این سیستم اشاره به الگویی از کشت دارد که با بهره‌گیری از تفاوت آشیان الکولوژیکی گونه‌های گیاهی و یا با فراهم کردن منابع محیطی برای گونه دیگر، سبب اختلاف در نیازهای محیطی در زمان و مکان می‌شود که استفاده بهینه‌تری از محیط رشد را فراهم می‌نماید (Mucheru-Dhima et al., 2007; Muna et al., 2010; Wezel et al., 2014). البته سیستم کشت مخلوط مزایای دیگری همچون کاهش ریسک تولید و خسارات ناشی از آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز، آبشویی عناصر مغذی و هدررفت نیترات و فرسایش خاک داشته و می‌تواند موجب بهبود کارایی مصرف آب و عناصر غذایی شود (Daryanto et al., 2011; Zhang et al., 2020). برخی از محققین معتقدند، یکی از اهداف اصلی و مهم کاربرد سیستم کشت مخلوط در کشاورزی پایدار، کاهش وابستگی به آفت‌کش‌ها توأم با حفظ کیفیت و بازارپسندی محصول می‌باشد (Fernandez-Aparicio et al., 2007).

امروزه، کشت گیاهان دارویی و معطر نه تنها به خاطر کاربرد آن‌ها در تأمین فراورده‌های دارویی و بهداشتی، بلکه به‌دلیل ارزش اقتصادی و درآمدزایی بالای آن‌ها مورد توجه زیادی قرار گرفته است و تقاضا برای خرید مواد اولیه و ترکیبات ثانویه آن‌ها در سطح تجارت ملی و بین‌المللی رشد قابل توجهی یافته است (Sujatha et al., 2011). علاوه‌براین، کشت گیاهان دارویی مزیت‌هایی همچون کاهش ریسک خسارت آفات و بیماری‌ها، بهبود وضعیت خاک‌های تخریب شده و بهره‌برداری از زمین‌های حاشیه‌ای و با کیفیت پایین‌تر، عمر مفید بیشتر فراورده‌های نهایی گیاهان دارویی و ظرفیت ارزآوری آن‌ها را به‌همراه دارد (GOI, 2000; Rao et al., 2000). از طرفی، رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به‌سمت استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و به‌کارگیری روش‌های مدیریتی کارآمد در زراعت این محصولات نظیر کشت مخلوط می‌باشد (Bahador et al., 2014).

پژوهشگران متعددی برتری کشت مخلوط را بر کشت خالص گزارش کرده‌اند، از آن جمله می‌توان به ارزیابی کشت مخلوط گیاه سیر (*Allium sativum*) با گیاهان دارویی اسفرزه، سیاهدانه، زنیان، رازیانه، همیشه بهار و شوید به‌صورت کشت بینابینی به نسبت ۵۰:۵۰ و در مقایسه با تک‌کشتی اشاره نمود که در این تحقیق مشاهده شد، بالاترین مزیت نسبی از لحاظ شاخص مجموع ارزش نسبی در کشت مخلوط سیر و همیشه بهار بوده است (Bahador et al., 2014). در آزمایشی که در زمینه ارزیابی الگوهای مختلف کشت مخلوط جو

1- Sustainable agriculture

(*Hordeum vulgare*) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) انجام شد، تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد جو + ۵۰ درصد شنبلیله بالاترین مقدار علوفه خشک و بهترین کیفیت علوفه و همچنین، بالاترین مقدار نسبت برابری زمین را حاصل کرد (Ghanbari et al., 2016). در مطالعه‌ای که در آن به بررسی شاخص‌های سودمندی تیمارهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی[1] شنبلیله و مرزه (*Satureja hortensis*) پرداخته شد، نسبت برابری زمین[2] تیمارهای کشت مخلوط در محدوده ۱/۱۷ تا ۱/۹۴ قرار داشت که نشان‌دهنده بهره‌وری بالای استفاده از زمین در کشت مخلوط بود. همچنین، الگوهای کشت مخلوط از شاخص بهره‌وری سیستم[3] بالایی برخوردار بودند. شاخص‌های اقتصادی ارزیابی کشت مخلوط نیز بیانگر مزیت این سیستم کشت نسبت به تک‌کشتی بود (Abdi, 2019).

در پژوهشی در ارتباط با مقایسه کشت خالص و کشت مخلوط گیاه جو با زنیان مشخص شد، الگوی کشت مخلوط اثرات مثبت و معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد جو داشته است که این تأثیر مثبت در سیستم کشت مخلوط درهم نسبت به کشت مخلوط ردیفی بیشتر بوده است (Mahdavi Maraj et al., 2015). عباسیان و همکاران (Abbasian et al., 2018) در نتیجه بررسی الگوهای مختلف کشت مخلوط گیاه سیر با نخود فرنگی اظهار داشتند، عملکرد سیر در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر بود، درحالی‌که شاخص‌های نسبت برابری زمین و ارزش نسبی کل نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. رضایی چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh et al., 2016) با مطالعه الگوهای مختلف کشت مخلوط شنبلیله و شوید (*Anethum graveolens*) گزارش کردند عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی شنبلیله در کشت خالص آن نسبت به تیمارهای کشت مخلوط بیشتر بود. نسبت برابری زمین جزئی شنبلیله در تمامی تیمارهای کشت مخلوط از شوید بیشتر بود. همچنین، نسبت برابری زمین کلیه الگوهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود.

با توجه به اینکه کشت مخلوط به‌عنوان یک راهبرد اصلی از کشاورزی پایدار از طریق افزایش تنوع زیستی و بهره‌مندی از روابط متقابل و اختلافات مورفولوژیکی و اکوفیزیولوژیکی گونه‌های گیاهی می‌تواند نقش کلیدی در جهت بهبود پایداری تولید و ارتقاء عملکرد کمّی و کیفی محصول، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش درآمد خالص مزرعه داشته باشد، بنابراین تحقیق حاضر با هدف ارزیابی نظام‌های کشت مخلوط جهت اهداف متفاوت تولید (جیره دام، منابع غذایی و گیاهان دارویی) و مقایسه زراعی و اقتصادی کشت مخلوط با تک‌کشتی سه گونه متمایز گیاهی جو، شنبلیله و سیر در شرایط اقلیمی شهرستان گناباد صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۶- ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد، واقع در جنوب استان خراسان رضوی اجرا شد. مکان آزمایش دارای طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۸۵ متر از سطح دریا است. اقلیم منطقه بر اساس تقسیم‌بندی کوپن گرم و خشک می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۱۴۲ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت منطقه ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد است (IRIMO, 2016).

قبل از اقدام به عملیات آماده‌سازی زمین و پیاده کردن نقشه طرح، از نقاط مختلف خاک محل آزمایش نمونه‌هایی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت شده و پس از تهیه نمونه مرکب خاک، برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه جهاد کشاورزی گناباد ارسال شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

1 - Replacement intercropping
2 - Land equivalent ratio
3 - System productivity index

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 1- Chemical and physical characteristics of experiment soil

بافت Texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی Organic C	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل‌جذب Absorbable P	پتاسیم قابل‌جذب Absorbable K	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH
	(%)					(mg.kg^{-1})		(ds.m^{-1})	
لومی- شنی Sandy-loam	5.4	41.2	53.4	0.19	0.019	8	103	4.3	8.2

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد که در آن تیمارهای کشت خالص جو، شنبلیله، و سیر با الگوهای کشت مخلوط به‌صورت: جو + شنبلیله، جو + سیر، شنبلیله + سیر، و جو + شنبلیله + سیر مورد مقایسه قرار گرفتند. تیمارهای کشت مخلوط با استفاده از روش کشت مخلوط سری جایگزینی طراحی شدند.

هر کرت از ۱۰ ردیف کشت به‌طول سه متر با فاصله ۲۵ سانتی-متر از یکدیگر تشکیل شده بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه این پژوهش در راستای اهداف کشاورزی پایدار صورت گرفت، در این آزمایش از هیچ کود شیمیایی و سمی در زمان کاشت و سایر مراحل رشد گیاهان استفاده نشد و قبل از کشت مقدار هشت تن در هکتار کمپوست تا عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش مخلوط شد. عملیات کشت در ۲۰ آبان ماه ۱۳۹۵ و به‌صورت دستی و به‌روش خشکه‌کاری انجام شد، به‌صورتی که گیاه جو رقم ریحان با تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع (Nakhzari Moghaddam, 2012)، شنبلیله توده بومی مشهد با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع (Labbafi et al., 2014) و سیر توده سفید همدان با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع (Sedaghti et al., 2016) کشت شد. در تیمارهای کشت مخلوط یک ردیف از گیاه اصلی حذف و گونه دیگر با تراکم معین بین ردیف‌های آن جایگزین شد. به عبارت دیگر، در الگوهای کشت مخلوط ردیف‌های کشت به‌صورت یک در میان اجرا شدند. بلافاصله پس از کاشت عملیات آبیاری انجام شد و برای سهولت و یکنواختی سبز شدن، آبیاری دوم پس از سه روز انجام شد. عملیات آبیاری به‌روش سطحی (غرقابی) و در طول دوره رشد بر اساس نیاز به آبیاری تا قبل از رسیدگی فیزیولوژیکی گونه‌های گیاهی صورت گرفت. در طول دوره رشد محصولات، دو مرحله وجین دستی به‌منظور کنترل علف‌های هرز صورت گرفت. آفت و بیماری خاصی نیز در طول دوره رشد در مزرعه مشاهده نشد.

به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک جو و شنبلیله، برداشت بوته‌ها به‌صورت دستی در مرحله شیری شدن دانه جو (۲۵ فروردین ۱۳۹۶) و مرحله گل‌دهی شنبلیله (۲۰ فروردین ۱۳۹۶) از مساحت ۰/۲۵ مترمربع هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای انجام شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای ۷۲ درجه سانتی-گراد به‌مدت ۴۸ ساعت در آون خشک شده و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، ۱۰ گیاه به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب شدند.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی گیاهان مورد مطالعه، به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد، برداشت جو، سیر و شنبلیله به‌ترتیب در تاریخ‌های ۳۰ خرداد، ۵ تیر و ۲۵ خرداد و به‌روش دستی از سطح یک مترمربع وسط هر کرت انجام شد. سپس، نمونه‌های برداشت شده برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک در دمای اتاق و شرایط سایه تا زمانی که تغییرات وزن طی ۲۴ ساعت مشاهده نگردید، خشک شدند و اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال انجام شد. اندازه‌گیری عملکرد اندام اقتصادی پس از جدا کردن سوخ‌های سیر و دانه جو و شنبلیله از اندام هوایی گیاه، توزین و سپس محاسبه آن بر مبنای کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. شاخص برداشت جو از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. وزن هزار دانه جو و شنبلیله از میانگین وزن دو نمونه صد تایی بذر از هر کرت و تعمیم آن به وزن هزار دانه به‌دست آمد. سایر اجزای عملکرد شنبلیله (تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف) و سیر (تعداد برگ در بوته، تعداد سیرچه در سوخ، طول و قطر سیرچه) از ۱۰ نمونه که به‌صورت تصادفی انتخاب شدند اندازه‌گیری شد.

اولین شاخصی که به‌منظور مقایسه مزیت نسبی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص محاسبه شد، شاخص نسبت برابری زمین (LER) بود. نسبت برابری زمین بر اساس سطح زمین زیر کشت محاسبه می‌گردد و توسط آن مشخص می‌شود که برای به‌دست

آوردن مقدار محصولی که از یک هکتار کشت مخلوط حاصل می‌شود، چه مقدار از زمین به‌صورت زراعت تک کشتی مورد نیاز است تا همان مقدار محصول حاصل شود. نسبت برابری زمین از طریق معادله زیر محاسبه شد (Vandermeer, 1992):

معادله (۱)

$$LER_a = \frac{Y_{ai}}{Y_{aa}}$$

$$LER_b = \frac{Y_{bi}}{Y_{bb}}$$

$$LER_c = \frac{Y_{ci}}{Y_{cc}}$$

$$LER_T = LER_a + LER_b + LER_c$$

که در این معادله، LER_a، LER_b، LER_c و LER_T: به‌ترتیب نسبت برابری زمین جزئی گونه a، b و c و نسبت برابری زمین کل می‌باشد. Y_{ai}، Y_{bi} و Y_{ci}: به‌ترتیب عملکرد سه گونه مذکور در کشت مخلوط، و Y_{aa}، Y_{bb} و Y_{cc}: به‌ترتیب عملکرد آن‌ها در کشت خالص (تک‌کشتی) می‌باشد.

به‌منظور بررسی کاهش یا افزایش عملکرد در کشت مخلوط و نیز گیاه غالب و مغلوب از شاخص کاهش عملکرد واقعی (AYL)[1] با استفاده از رابطه زیر استفاده شد (Banik et al., 2000):

معادله (۲)

$$AYL_a = \left[\frac{\left(\frac{Y_{ai}}{Z_{ai}}\right)}{\left(\frac{Y_{aa}}{Z_{aa}}\right)}\right] - 1$$

$$AYL_b = \left[\frac{\left(\frac{Y_{bi}}{Z_{bi}}\right)}{\left(\frac{Y_{bb}}{Z_{bb}}\right)}\right] - 1$$

$$AYL_c = \left[\frac{\left(\frac{Y_{ci}}{Z_{ci}}\right)}{\left(\frac{Y_{cc}}{Z_{cc}}\right)}\right] - 1$$

$$AYL_T = AYL_a + AYL_b + AYL_c$$

که در این معادله، AYL_a، AYL_b، AYL_c و AYL_T: به‌ترتیب کاهش عملکرد واقعی گونه a، b و c و کاهش عملکرد واقعی کل می‌باشد. در روابط بالا، Z_{ai}، Z_{bi} و Z_{ci}: به‌ترتیب سهم سه گونه مذکور در کشت مخلوط، و Z_a، Z_b و Z_c: به‌ترتیب سهم آن‌ها در کشت خالص می‌باشد. این فرمول رفتار هر گونه را در کشت مخلوط و همچنین میزان رقابت بین و درون گونه‌ای را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Banik et al., 2000).

شاخص بهره‌وری سیستم کشت مخلوط (SPI) از معادله زیر تعیین شد (Odo, 1991):

معادله (۳)

$$SPI = \frac{Y_{aa}}{Y_{bb}} \times Y_{bi} + Y_{ai}$$

که در آن، Y_{ai} و Y_{bi}: به‌ترتیب عملکرد محصول اصلی و فرعی و Y_{aa} و Y_{bb}: عملکرد محصول اصلی و فرعی در کشت خالص است. این شاخص یکی از معیارهای ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط است که داده‌های آن با استاندارد کردن عملکرد محصول فرعی بر اساس عملکرد محصول اصلی به‌دست می‌آید. بالاتر بودن این شاخص نشان‌دهنده مزیت و سودمندی کشت مخلوط می‌باشد (Agegnehu et al., 2006).

شاخص دیگری که برای تعیین میزان مزیت اقتصادی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص مورد استفاده قرار گرفت، شاخص سودمندی کشت مخلوط (IA)[2] است که از معادله زیر حاصل شد (Vandermeer, 1992):

معادله (۴)

$$IA_a = \left[\left(\frac{P_a}{P_a + P_b}\right) \times AYL_a\right]$$

$$IA_b = \left[\left(\frac{P_b}{P_b + P_a}\right) \times AYL_b\right]$$

$$IA_T = IA_a + IA_b$$

که در آن، IA_a، IA_b و IA_T: به‌ترتیب سودمندی کشت مخلوط گونه a و b و سودمندی کل می‌باشد. همچنین، Pa: قیمت واحد محصول a، و Pb: قیمت واحد محصول b می‌باشد.

یکی دیگر از شاخص‌هایی که جهت ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط مورد استفاده قرار گرفت، شاخص ارزش نسبی کل[3] (RVT) است. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد

1- Actual yield loss

2- Intercropping advantage

3- Relative value total

(Vandermeer, 1992):

$$PVT = \frac{(P_a \times Y_{ai}) + (P_b \times Y_{bi}) + (P_c \times Y_{ci})}{P_a \times Y_{aa}} \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن، عملکرد گیاهی که بیشتر بوده است در مخرج کسر قرار می‌گیرد. این شاخص نشان‌دهنده نسبت کل درآمد ناخالص کشت مخلوط به بیشترین درآمد ناخالص تک‌کشتی است. در معادله‌های بالا، قیمت جو، سیر و شنبلیله بر اساس نرخ روز خرید در شهرستان گناباد به‌ترتیب ۶۲۰۰، ۳۱۰۰۰ و ۴۰۰۰۰ تومان در نظر گرفته شده است.

در پایان، برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها داده‌ها نیز توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

جو

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تیمارهای آزمایش بر عملکرد علوفه خشک، بیولوژیک و دانه گیاه جو است، درحالی‌که سایر صفات شامل ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از نظر آماری نشان ندادند (جدول ۲).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین عملکرد علوفه خشک (۸۵۲۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایطی حاصل شد که گیاهان جو تحت سیستم کشت خالص قرار داشتند (جدول ۳). پژوهشگران دیگری نیز به بالاتر بودن عملکرد علوفه گیاه جو در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط آن با ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) (Lamei & Alizadeh, 2012) و رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) (Kiani et al., 2015) اشاره کرده‌اند. کشت مخلوط جو + شنبلیله و جو + سیر با اختلاف ناچیز نسبت به یکدیگر و اختلاف عملکرد حدود ۲۸ درصدی نسبت به کشت خالص در رتبه بعد قرار گرفتند. کمترین عملکرد علوفه خشک اندازه‌گیری شده (۳۱۳۴ کیلوگرم در هکتار) از گیاهانی حاصل شد که در نظام کشت مخلوط سه‌گانه (جو + شنبلیله + سیر) قرار داشتند که کاهش عملکرد ۶۳ درصدی را نشان داد (جدول ۳). کاهش تراکم و در نتیجه، کاهش سطح زمین اشغال شده توسط گیاه جو را می‌توان به‌عنوان عامل اصلی کاهش عملکرد علوفه به‌خصوص در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه نسبت داد (Esmaeili et al., 2012).

مقایسه میانگین اثر نظام‌های مختلف کشت مخلوط برای دو صفت عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نشان داد، بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۴۱۱۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (۳۴۹۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت خالص آن حاصل شد که با توجه به تراکم بالاتر جو در این تیمار در مقایسه با الگوهای کشت مخلوط، این نتیجه دور از انتظار نبود. کمترین مقادیر صفات مذکور (به‌ترتیب ۷۷۱۷ و ۱۷۰۲ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به‌دست آمد (جدول ۳). علت نتایج به‌دست آمده را می‌توان به کاهش سطح اشغال شده توسط گیاه جو در تیمارهای کشت مخلوط به‌ویژه کشت مخلوط با دو گیاه دیگر نسبت داد. این نتایج با نتایج منتشر شده در زمینه کشت مخلوط جو و شنبلیله (Ghanbari et al., 2016)، جو و نخود (Hauggaard-Nielsen et al., 2006)، جو و عدس (Schmidtke et al., 2004)، جو و ماشک گل خوشه‌ای (Kahraryan et al., 2018) و جو و لوبیا چشم بلبلی (Hamzei & Seyedi, 2014) مطابقت دارد. میانگین‌های عملکرد کشت مخلوط جو با شنبلیله و همچنین جو با سیر نیز از نظر آماری در یک سطح قرار داشتند، هرچند عملکرد دانه و بیولوژیک جو در کشت مخلوط با سیر اعداد بیشتری را نشان داد (جدول ۳).

شنبلیله

اثر نظام‌های مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال پنج درصد بر صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد علوفه و دانه شنبلیله معنی‌دار بود و تنها بر وزن هزار دانه این گیاه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

ارتفاع بوته این گیاه تحت شرایط کشت خالص بیشترین مقدار (۴۶/۹ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داد و پس از این تیمار، کشت مخلوط شنبلیله با سیر با ارتفاع ۴۱/۷ سانتی‌متر قرار گرفت، هرچند اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین این دو تیمار به‌دست نیامد. کمترین مقادیر ارتفاع بوته نیز به‌ترتیب از کشت مخلوط سه گانه جو + شنبلیله + سیر و جو + شنبلیله حاصل شد که فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بودند (جدول ۵). کاهش ارتفاع بوته شنبلیله در این الگوهای کشت مخلوط احتمالاً به‌دلیل سایه‌اندازی و اثرات رقابتی گیاه جو بوده است. محققین دیگری نیز اظهار داشتند، جو اثر منفی بر رشد نخود در ترکیب کشت مخلوط داشته است (Hauggaard-Nielsen et al., 2006).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گیاه جو تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of measured traits of barley under the influence of intercropping patterns

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	ارتفاع بوته Plant height	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	7041713*	307.02*	96.13ns	48123313**	6265118**	45.63ns
الگوی کشت Cropping pattern	3	14593865**	85.95ns	15.17ns	23222131**	1684305*	2.06ns
خطا Error	6	835933	47.16	28.33	33182604	379343	14.49
ضریب تغییرات CV (%)	-	15.3	8.8	16.8	14.1	24.1	16.1

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد؛ ns به‌معنای غیرمعنی‌دار می‌باشد

* and **: significant at 5 and 1% levels of probability, respectively; ns: not significant

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گیاه جو تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 3- Mean comparison of measured traits of barley under the influence of intercropping patterns

الگوی کشت Cropping pattern	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
کشت خالص جو Sole barley	8523a	14111a	3494a
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	6109b	9050ab	2331bc
کشت مخلوط جو+ سیر Barley + garlic intercropping	6095b	11081ab	2709b
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	3134c	2709b	1702c

حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد است

Means followed by similar letters in each column are not significantly at the 5% level of probability based on Duncan's test

مقایسه میانگین داده‌ها نشان‌دهنده برتری کشت خالص گیاه شنبلیله در زمینه صفات تعداد غلاف در بوته (۹/۴ غلاف در بوته) و تعداد دانه در غلاف (۷/۱ دانه در غلاف) می‌باشد، اگرچه اختلاف میانگین‌ها از نظر آماری با کشت مخلوط سیر و شنبلیله معنی‌دار نبود (جدول ۵). پژوهشگران دیگری نتایج متفاوتی در مورد الگوهای کشت خالص و مخلوط دو گیاه جو و ماشک گل خوشه‌ای به‌دست آورده و گزارش کردند صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته در کشت خالص ماشک به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای کشت مخلوط کمتر بود (Asadi & Khorramdel, 2014). این اختلافات در نتایج مؤید این نکته است که انتخاب نوع گیاه همراه و الگو و تراکم کشت می‌تواند تأثیر زیادی بر تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد گونه‌های گیاهی در کشت مخلوط داشته باشد.

نتایج این آزمایش نشان داد، بیشترین میزان عملکرد علوفه خشک شنبلیله (۵۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) از تک‌کشتی این گیاه حاصل شد. کشت مخلوط سیر و شنبلیله با ثبت عملکرد ۴۰۹۰ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی از نظر این صفت قرار گرفت و سیستم‌های کشت مخلوط جو و شنبلیله و مخلوط سه گانه با اختلاف زیاد در رتبه‌های بعد قرار گرفتند (جدول ۵). دلیل اصلی این نتایج در درجه اول کاهش تعداد و تراکم بوته در واحد سطح در سیستم‌های کشت مخلوط و بالطبع کاهش عملکرد ماده خشک ناشی از کمتر

بودن تراکم از میزان بهینه می‌باشد. علت افت قابل توجه این شاخص در کشت مخلوط جو و شنبلیله احتمالاً به قدرت استقرار و رشد اولیه سریع گیاه جو، سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر و توانایی بیشتر جو در جذب آب و عناصر غذایی و در مجموع، رقابت بیشتر و سایه‌اندازی بر گیاه شنبلیله مرتبط است (Bahrani & Kazemeini, 2008). این کاهش عملکرد در سیستم کشت مخلوط سه‌گانه به خاطر کاهش بیشتر تراکم بوته شنبلیله تشدید شده است.

عملکرد دانه شنبلیله در سیستم‌های تک‌کشتی و کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری را نشان داد. بالاترین میانگین عملکرد دانه (۱۱۴۵ کیلوگرم در هکتار) از کشت خالص شنبلیله حاصل شد و پس از آن تیمار کشت مخلوط شنبلیله و سیر با میانگین ۵۶۹ کیلوگرم در هکتار قرار گرفت که کاهش ۴۴ درصدی را در مقایسه با کشت خالص نشان داد. کمترین عملکرد دانه شنبلیله (۱۵۶ کیلوگرم در هکتار) نیز متعلق به تیمار کشت مخلوط ترکیب سه گونه مورد مطالعه بود (جدول ۵). از داده‌های جدول بخوبی مشخص است در نظام‌های کشت مخلوط جو در ترکیب با شنبلیله افت عملکرد بسیار چشم‌گیر بوده که نشان‌دهنده غالبیت و قدرت رقابت بالای گیاه جو در مقابل شنبلیله است که دلیل این امر را می‌توان در خصوصیات ویژه مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو گیاه جستجو کرد. اغلب پژوهش‌ها گزارش‌دهنده مغلوبیت گونه‌های بقولات نسبت به غیر بقولات است (Shirani et al., 2002; Hamzei, 2012) که در این تحقیق نیز، گیاه جو به‌خاطر خصوصیات مذکور و سرعت استقرار و رشد اولیه بالا از غالبیت بیشتری برخوردار بوده است (Ghanbari et al., 2016). از طرف دیگر، داده‌های جدول ۵ به‌خوبی نشان می‌دهند که عملکرد دانه شنبلیله در سیستم کشت مخلوط با سیر به‌طور محسوسی نسبت به کشت مخلوط با جو بیشتر بوده است که از یافته‌های این آزمایش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شکل متفاوت سیستم ریشه‌ای و دارا بودن برگ‌های ایستاده سیر که کمترین سایه‌اندازی را بر گیاه شنبلیله داشته منجر به سازگاری بهتر این دو گیاه در کشت مخلوط شده است (Abbasian et al., 2018).

سیر

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات گیاه دارویی سیر گویای اثر معنی‌دار تیمارهای آزمایش بر صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول سیرچه، قطر سیرچه، تعداد سیرچه در سوخ و عملکرد سوخ بود (جدول ۶). جدول ۷ به‌خوبی نشان می‌دهد ارتفاع بوته سیر در کرت‌هایی که زراعت این گیاه به‌صورت تک‌کشتی انجام شده بود با ۴۵/۵ سانتی‌متر در مقایسه با نظام‌های کشت مخلوط بیشتر بود، اگرچه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با حالت کشت مخلوط سیر و شنبلیله نداشت. سایر تیمارهای کشت مخلوط اعداد به مراتب پایین‌تری را نشان دادند که کمترین ارتفاع بوته (۲۸/۷ سانتی‌متر) تحت شرایط کشت مخلوط سه‌گانه حاصل شد.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گیاه شنبلیله تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of measured traits of fenugreek under the influence of intercropping patterns

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در بوته No. of pod per plant	دانه در غلاف No. of seed per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	10.96^{ns}	0.58^{ns}	0.16^{ns}	0.03^{ns}	30033^{ns}	156.3^{ns}
الگوی کشت Cropping pattern	3	425.3**	22.37**	15.72**	0.71^{ns}	12996315**	597835**
خطا Error	6	7.48	0.91	0.94	0.28	222339	1535
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.0	12.9	17.3	4.3	16.7	7.4

* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد؛ ns به‌معنای غیر معنی‌دار می‌باشد

* and **: significant at 5 and 1% levels of probability, respectively; ns: not significant

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گیاه شنبلیله تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 5- Mean comparison of measured traits of fenugreek under the influence of intercropping patterns

الگوی کشت Cropping pattern	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته No. of pod per plan	تعداد دانه در غلاف No. of seed per pod	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
کشت خالص شنبلیله Sole fenugreek	46.9[a]	9.4[a]	7.1[a]	5100[a]	1145[a]
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	24.3[b]	5.2[b]	3.9[b]	1206[c]	250[c]
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	41.7[a]	10.1[a]	8.0[a]	4090[b]	569[b]
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	23.7[b]	4.9[b]	3.4[b]	928[c]	156[d]

حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد است.

Means followed by similar letters in each column are not significantly at the 5% level of probability based on Duncan's test

واکنش سایر صفات اجزای عملکرد سیر به تیمارهای آزمایش از روند مشابهی برخوردار بود، به‌طوری که بالاترین مقادیر تعداد برگ در بوته (۸/۷)، طول سیرچه (۲۷/۳ میلی‌متر)، قطر سیرچه (۲۲/۳ میلی‌متر) و تعداد سیرچه در سیر (۷/۷) از گیاهانی که در شرایط تک‌کشتی قرار داشتند حاصل شد که البته اختلاف معنی‌داری بین این تیمار و تیمار کشت مخلوط شنبلیله و سیر وجود نداشت. کمترین تعداد برگ در بوته (۶/۱)، طول سیرچه (۱۸/۷ میلی‌متر)، قطر سیرچه (۱۲/۸ میلی‌متر) و تعداد سیرچه در سیر (۵/۸) نیز از تیمار کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر به‌دست آمد (جدول ۷). بالاتر بودن اجزای عملکرد سیر در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط و همچنین تفاوت در میانگین‌های اجزای عملکرد در سیستم‌های کشت مخلوط گیاهان مختلف در تحقیق دیگری نیز گزارش شده است (Bahador et al., 2014). کمتر بودن مقدار اجزای عملکرد در کشت مخلوط سه‌گانه می‌تواند مرتبط با پایین بودن قدرت رقابتی گیاه سیر نسبت به گیاهان دیگر در دستیابی به منابع محیطی به‌خصوص نور و سایه‌اندازی گیاه جو بر سیر باشد (Malek Mohamadi, 2011; Bahador et al., 2014).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۷)، عملکرد سوخ تحت شرایط تک‌کشتی بالاترین میزان (۶۴۹۴ کیلوگرم در هکتار) را حاصل کرد. این در حالی است که تیمارهای کشت مخلوط به‌ترتیب شنبلیله + سیر، جو + سیر و جو + شنبلیله + سیر با اختلاف قابل توجهی در رده‌های بعدی از نظر عملکرد سوخ جای گرفتند. محققین دیگری با مقایسه تک‌کشتی و کشت مخلوط سیر با برخی از گیاهان دارویی (اسفرزه، سیاه دانه، زنیان، رازیانه، همیشه بهار و شوید) گزارش کردند کشت خالص سیر نسبت به کشت مخلوط موجب حصول عملکرد سوخ بیشتری شد. محققین دلیل پایین‌تر بودن عملکرد در سیستم‌های کشت مخلوط را علاوه‌بر اثر کاهش ۵۰ درصدی تراکم سیر در این تیمارها، به اثرات رقابتی به‌خصوص سایه‌اندازی گیاهان همراه نسبت دادند که از طریق کاهش فتوسنتز، افت عملکرد سیر را به‌همراه داشته است (Bahador et al., 2014). نتایج آزمایش گویای عملکرد بالاتر سیر در کشت مخلوط با شنبلیله نسبت به کشت مخلوط با جو است که نشان‌دهنده سازگاری بهتر دو گیاه و شدت کمتر رقابت برون گونه‌ای سیر و شنبلیله و حتی اثرات مکملی و تسهیل‌کننده شنبلیله برای گیاه سیر بوده است (Rahimi et al., 2003).

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین شاخص مهمی جهت ارزیابی کارایی کشت مخلوط و میزان افزایش بهره‌وری از زمین می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اختلاف در نظام‌های کشت مخلوط از نظر این شاخص است. همان‌طور که داده‌های جدول ۸ نشان می‌دهند، بیشترین مقدار نسبت برابری زمین جزئی (۰/۷۹) متعلق به گیاه جو در کشت مخلوط با شنبلیله بود. درحالی‌که کمترین عدد (۰/۱۴) از گیاه دارویی شنبلیله در سیستم کشت سه‌گانه حاصل شد. از داده‌های جدول مشخص است که نسبت برابری زمین جزئی برای گیاه جو در تمامی ترکیبات کشت مخلوط به نسبت بالا بوده که معرف سازگاری بهتر و تأثیرپذیری مثبت بیشتر این گیاه از الگوی کشت مخلوط است (Rezaei-Chiyaneh et al., 2019).

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گیاه سیر تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) of measured traits of garlic under the influence of intercropping patterns

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته No. of leaf per plant	طول سیرچه Clove length	قطر سیرچه Clove diameter	تعداد سیرچه در بوته No. of clove per plant	عملکرد سوخ Bulb yield
تکرار Replication	2	69.8^{ns}	1.04^{ns}	4.08^{ns}	14.43^{ns}	0.01^{ns}	671607^{ns}
الگوی کشت Cropping pattern	3	410.8*	6.30**	59.88**	75.8*	4.77**	14474302**
خطا Error	6	24.8	0.35	2.31	13.44	0.87	182040
ضریب تغییرات CV (%)	-	12.9	8.2	6.6	21.6	8.9	12.5

* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد؛ ns به‌معنای غیر معنی‌دار می‌باشد

* and **: significant at 5 and 1% levels of probability, respectively; ns: not significant

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گیاه سیر تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 7- Mean comparison of measured traits of garlic under the influence of intercropping patterns

الگوی کشت Cropping pattern	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته No. of leaf per plant	طول سیرچه Clove length (mm)	قطر سیرچه Clove diameter (mm)	تعداد سیرچه در بوته No. of clove per plant	عملکرد سوخ Bulb yield (kg.ha^{-1})
کشت خالص سیر Sole garlic	45.5^{a}	8.7^{a}	27.3^{a}	22.3^{a}	7.7^{a}	6494^{a}
کشت مخلوط جو + سیر Barley + garlic intercropping	29.4^{b}	5.7^{b}	19.3^{b}	12.5^{b}	5.9^{b}	2372^{c}
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	40.9^{a}	8.1^{a}	26.0^{a}	20.1^{a}	8.3^{a}	3381^{b}
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	28.7^{ab}	6.1^{b}	18.7^{b}	12.8^{b}	5.8^{b}	1439^{d}

حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد است

Means followed by similar letters in each column are not significantly at the 5% level of probability based on Duncan's test

از طرف دیگر، اعداد پایین‌تر نسبت برابری زمین جزئی در مورد سایر گونه‌های گیاهی در این الگوهای مختلف کاشت نشان می‌دهد که گونه جو به‌دلیل سرعت رشد بیشتر خصوصاً در ابتدای دوره رشد (Sadeghpour et al., 2013)، ارتفاع بالاتر (Hauggaard-Nielsen et al., 2006) و همچنین کارآیی بیشتر در جذب منابع (Sadeghpour et al., 2013) اثر غالبیت بر گونه دیگر داشته است.

محاسبه نسبت برابری زمین کل نشان داد، این شاخص در اثر اجرای کشت مخلوط جو + سیر از بیشترین میزان (۱/۱۶) در بین سایر سیستم‌های کشت مخلوط برخوردار بود (جدول ۸). علت نتیجه به‌دست آمده می‌تواند مربوط به استفاده بهتر اجزای کشت مخلوط از منابع محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی و همچنین اثرات برهم‌کنشی و تسهیل‌سازی، به‌علاوه تداخل و رقابت بین گونه‌ای کمتر نسبت به رقابت درون گونه‌ای باشد (Rezaei-Chiyaneh et al., 2019). محققین دیگری نیز، اختلافات مورفولوژیکی گونه‌های در ترکیب کشت مخلوط و در نتیجه، ایجاد اشکوب‌های مختلف و استفاده مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از نور و یا افق‌های خاک را در بیشتر شدن نسبت برابری زمین از عدد یک از دلایل عمده مزیت کشت مخلوط برشمرده‌اند (Javanmard et al., 2019). در نتیجه

تحقیقی در مورد نسبت‌های مختلف کشت مخلوط سیر و نخود فرنگی گزارش شد، نسبت برابری زمین در تمام حالات کشت مخلوط بیشتر از یک بوده است (Abbasian et al., 2018).

بر اساس نتایج آزمایش (جدول ۸)، نسبت برابر زمین کل در مورد دو سیستم کشت مخلوط جو + شنبلیله و جو + شنبلیله + سیر به‌ترتیب برابر ۰/۸۶ و ۰/۸۴ بود که با توجه به اینکه اعداد کمتر از ۱ حاصل شد، گویای عدم برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از نظر این شاخص بود. افت این شاخص احتمالاً مرتبط با عملکرد نسبی پایین‌تر اجزای در ترکیب با جو به‌دلیل واکنش‌های رقابتی و غالبیت جو به‌خصوص تداخلات ریشه‌ای و سایه‌اندازی این گیاه بر گیاه همراه است (Mashhadi et al., 2015).

جدول ۸- نسبت برابری زمین (LER) الگوهای کشت مخلوط

Table 8- Land equivalent ratio (LER) of intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	LER_b	LER_f	LER_g	LER
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	0.64	0.22	-	0.86
کشت مخلوط جو + سیر Barley + garlic intercropping	0.79	-	0.37	1.16
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	-	0.50	0.52	1.02
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	0.48	0.14	0.22	0.84

LER_b، LER_f و LER_g: به‌ترتیب نسبت برابری زمین جزئی جو، شنبلیله و سیر

LER_b, LER_f, and LER_g: Partial and equivalent ratios of barley, fenugreek, and garlic, respectively.

کاهش واقعی عملکرد

بررسی کاهش واقعی عملکرد (AYL) در بین تیمارهای کشت مخلوط نشان‌دهنده مثبت بودن آن در تمام نظام‌های کشت مخلوط گیاه جو بود. بالاترین عدد (۰/۵۷) از تیمار کشت مخلوط جو و شنبلیله حاصل شد (جدول ۹). محققین دیگری نیز به اعداد مثبت این شاخص در مورد کشت مخلوط گیاهان خانواده گندمیان با سایر گونه‌های گیاهی اشاره کرده‌اند (Nakhzari Banik et al., 2006; Moghaddam, 2016). درحالی‌که این شاخص در مورد کلیه حالات کشت مخلوط در گیاه شنبلیله منفی بود که البته عدد منفی آن در کشت مخلوط شنبلیله و سیر (۰/۰۱-) قابل چشم پوشی است. همان‌طور که در جدول ۹ مشخص است، بالاترین عدد منفی (۰/۵۹-) برای شنبلیله در نتیجه کشت مخلوط سه گونه گیاهی به‌دست آمد که به‌نوعی نشان می‌دهد، دو گیاه دیگر (به‌خصوص جو) برای استفاده از منابع محیطی و همچنین اشغال فضا با این گیاه با شدت بالایی رقابت کرده‌اند (Koocheki et al., 2009). شاخص مذکور برای گیاه دارویی سیر در کشت مخلوط سیر و شنبلیله مثبت و برای دو الگوی کشت مخلوط جو + سیر و جو + شنبلیله + سیر منفی بود که بالاترین عدد منفی (۰/۳۳-) از سیستم کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر حاصل شد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، شاخص AYL رفتار گونه و رقابت بین گونه‌ای را به‌خوبی نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده، بیانگر این واقعیت است که گیاه جو به‌عنوان یک گونه از خانواده گندمیان در نظام‌های کشت مخلوط مورد بررسی خود را به‌عنوان یک گیاه رقابت‌کننده و غالب نشان داده است (Mashhadi et al., 2015). این درحالی است که اعداد به‌دست آمده در ارتباط با کشت مخلوط شنبلیله و سیر و در مورد هر دو گیاه نزدیک به صفر بود که نشان می‌دهد دو گیاه، غالبیت و چیرگی نسبت به یکدیگر در این سیستم کشت مخلوط نداشته‌اند (جدول ۹).

بررسی شاخص کل نیز نشان‌دهنده افزایش واقعی عملکرد در سیستم کشت مخلوط جو + سیر و سیر + شنبلیله و افت واقعی عملکرد در سیستم کشت مخلوط جو + شنبلیله و جو + سیر + شنبلیله است. بهترین نتیجه (۰/۳۰) از کشت مخلوط جو + سیر و نامطلوب‌ترین حالت از نظر شاخص مذکور (۰/۴۸-) از سیستم کشت مخلوط سه‌گانه حاصل شد (جدول ۹).

جدول ۹- کاهش واقعی عملکرد (AYL) الگوهای کشت مخلوط

Table 9- Actual yield loss (AYL) of intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	AYL_b	AYL_f	AYL_g	AYL
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	0.27	-0.56	-	-0.29
کشت مخلوط جو + سیر Barley + garlic intercropping	0.57	-	-0.27	0.30
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	-	-0.01	0.04	0.03
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	0.44	-0.59	-0.33	-0.48

AYL_b، AYL_f و AYL_g: به‌ترتیب کاهش واقعی عملکرد جو، شنبلیله و سیر

AYL_b, AYL_f, and AYL_g: Actual yield loss of barley, fenugreek, and garlic, respectively

شاخص بهره‌وری سیستم

نتایج شاخص SPI در سیستم‌های مختلف کشت مخلوط در جدول ۱۰ آورده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بهترین نتایج بهره‌وری سیستم کشت مخلوط از الگوی کشت مخلوط جو و سیر حاصل شد و بالاترین عدد این شاخص (۸۴۱۴) مربوط به حالتی بود که گیاه سیر به‌عنوان محصول اصلی و جو محصول فرعی در نظر گرفته شد. بعد از این ترکیب نیز کشت مخلوط سیر و شنبلیله با شرایط کشت سیر به‌عنوان گیاه اصلی با عدد ۶۶۰۵ قرار گرفت که نشان می‌دهد در سیستم‌های کشت مخلوطی که گیاه سیر به‌عنوان گیاه اصلی در نظر گرفته شده است، مقدار شاخص مذکور افزایش قابل توجهی داشته است که بیانگر افزایش کارایی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. در نتیجه، آزمایشی که در مورد بهره‌وری زراعی و اقتصادی سیستم‌های کشت مخلوط ذرت با باقلا، سیر و پیاز انجام شد، بیشترین شاخص بهره‌وری سیستم در نتیجه کشت مخلوط ذرت و پیاز حاصل شد. نگارندگان اظهار داشتند، این شاخص نشان‌دهنده کارایی و بهره‌وری بیشتر ترکیب گونه‌های گیاهی در استفاده از منابع محیطی و پایداری بیشتر عملکرد است (Hargilas & Ameta, 2015). بر اساس نتایج آزمایش (جدول ۱۰)، کمترین اعداد به‌دست آمده (به‌ترتیب ۱۰۱۴ و ۱۱۶۵) مربوط به کشت مخلوط شنبلیله + جو و کشت مخلوط شنبلیله + سیر بوده است که نشان داد وقتی گیاه شنبلیله در ترکیب کشت مخلوط به‌عنوان گیاه اصلی قرار گرفته است، مقدار شاخص بهره‌وری سیستم کشت مخلوط افت داشته است. در نتیجه تحقیقی که به بررسی شاخص‌های مزیت نسبی در الگوهای مختلف کشت مخلوط جو و شنبلیله پرداخته شد، گزارش گردید بیشترین اعداد شاخص بهره‌وری سیستم از الگوهای کاشت با نسبت بیشتر جو در مقایسه با شنبلیله حاصل شد و برعکس، در ترکیباتی که نسبت شنبلیله افزایش داشت این شاخص کاهش محسوسی را نشان داد (Ghanbari et al., 2016).

جدول ۱۰- شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) الگوهای کشت مخلوط

Table 10- System productivity index (SPI) of intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	گیاه اصلی Main plant		
	جو Barley	شنبلیله Fenugreek	سیر Garlic
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	3095	1014	-
کشت مخلوط جو + سیر Barley + garlic intercropping	3607	-	8414
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	-	1165	6605

شاخص سودمندی کشت مخلوط و ارزش نسبی کل

شاخص سودمندی محاسبه شده برای گیاه جو در تمام نظام‌های کشت مخلوط با دو گیاه شنبلیله و سیر مثبت بود که مشخص‌کننده مزیت اقتصادی و برتری کشت مخلوط جو نسبت به کشت خالص آن از نظر این شاخص است. این درحالی است که شاخص مذکور برای شنبلیله و سیر در ترکیب با جو اعداد منفی را نشان داد که گویای عدم سودمندی کشت مخلوط این گیاهان با جو از نظر اقتصادی بوده است (جدول ۱۱). مثبت بودن این شاخص برای جو و منفی بودن آن برای جزء دیگر (لگوم) توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است (Yilmaz et al., 2008; Nakhzari Moghaddam, 2016).

محاسبه شاخص سودمندی کل کشت مخلوط (جدول ۱۱) نشان‌دهنده اعداد منفی و عدم سودمندی اقتصادی سیستم‌های کشت مخلوط جو + شنبلیله، جو + سیر و جو + شنبلیله + سیر بود. کمترین مقادیر (۰/۴۵-) از کشت مخلوط جو و شنبلیله حاصل شد که می‌تواند به‌دلیل اختلاف قیمت زیاد این دو محصول، اختلاف قابل توجه در عملکرد تک‌کشتی و کشت مخلوط شنبلیله و همچنین غالبیت گیاه جو و رقابت بین گونه‌ای بالای آن باشد (Aasim et al., 2008; Sadri et al., 2015). درحالی‌که شاخص سودمندی سیستم کشت مخلوط سیر + شنبلیله مثبت شد که بیانگر منفعت اقتصادی بیشتر کشت مخلوط دو گیاه مذکور نسبت به کشت خالص آن‌ها است. در مطالعه‌ای روی بررسی شاخص‌های مزیت اقتصادی کشت مخلوط سیر با شش گیاه دارویی، بهترین اعداد شاخص سودمندی از کشت مخلوط این گیاه به‌ترتیب با اسفرزه، همیشه بهار و رازیانه حاصل شد (Bahador et al., 2014).

نتایج به‌دست آمده در مورد ارزش نسبی کل کشت مخلوط در مقایسه با شاخص سودمندی کشت مخلوط متفاوت بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۱۱)، بهترین نتیجه از نظام کشت مخلوط جو و شنبلیله به‌دست آمد که باعث افزایش ۱۳ درصدی درآمد ناخالص مزرعه شده بود. دلیل این امر را می‌توان به افزایش عملکرد کل این دو محصول در کشت مخلوط، عملکرد نسبی بالای جو در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص و نرخ بالای قیمت شنبلیله نسبت داد (Javanmard et al., 2014). برتری شاخص ارزش نسبی کل برای کشت مخلوط جایگزینی مرزه و شنبلیله (Abdi, 2019) و افزایشی جو و ماشک گل خوشه‌ای (Ahmadi et al., 2010) در تحقیقات دیگری گزارش شده است. از طرف دیگر، سایر تیمارهای کشت مخلوط اعداد کمتر از یک را نشان دادند که بیانگر عدم سودمندی اقتصادی این سیستم‌های کشت مخلوط از نظر شاخص مذکور است (جدول ۱۱). محققین دیگری اعداد کمتر از یک را که نشان‌دهنده عدم برتری کشت مخلوط رازیانه و شنبلیله است در سری‌های جایگزینی نظام کشت مخلوط گزارش کردند. امّا سری افزایشی این سیستم کاشت اعداد بالاتر از یک را به‌دست آورد (Sadri et al., 2015).

جدول ۱۱- شاخص سودمندی کشت مخلوط (IA) و ارزش نسبی کل (RVT) در الگوهای کشت مخلوط

Table 11- Intercropping advantage (IA) and relative value total (RVT) in intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	IA_b	IA_f	IA_g	IA	RVT
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	0.04	-0.49	-	-0.45	1.13
کشت مخلوط جو + سیر Barley + garlic intercropping	0.10	-	-0.22	-0.12	0.45
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	-	0.00	0.02	0.02	0.63
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	0.04	-0.31	-0.14	-0.41	0.31

IA_b، IA_f و IA_g: به‌ترتیب سودمندی کشت مخلوط جو، شنبلیله و سیر

IA_b, IA_f, and IA_g: intercropping advantage of barley, fenugreek, and garlic, respectively

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، اگرچه عملکرد گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر گیاه پایین‌تر بود (که دلیل اصلی آن کاهش تراکم و سطح اشغال شده هر گونه در ترکیب کشت مخلوط بود)، امّا شاخص‌های ارزیابی مزیت کشت مخلوط نشان‌دهنده سودمندی این سیستم کشت نسبت به کشت خالص بود. بالاترین نسبت برابری زمین و بیشترین افزایش واقعی عملکرد از کشت مخلوط جو + سیر حاصل شد. در الگوهای کشتی که

سیر در ترکیب کشت مخلوط قرار گرفته بود، شاخص بهره‌وری سیستم افزایش یافت که در بین تیمارها، کشت مخلوط جو + سیر از بالاترین عدد برخوردار بود. محاسبه شاخص‌های اقتصادی ارزیابی کشت مخلوط مشخص کرد، بالاترین سودمندی کشت مخلوط از تیمار کشت مخلوط سیر + شنبلیله و بیشترین ارزش نسبی کل از تیمار کشت مخلوط جو + شنبلیله حاصل شد. یافته‌های این تحقیق مشخص کرد، اجرای کشت مخلوط راهکار مناسبی در جهت بهبود راندمان استفاده از منابع محیطی و افزایش سودمندی اقتصادی سیستم کشت است که در مجموع، نظام‌های کشت مخلوط جو + سیر و جو + شنبلیله نسبت به سایر الگوهای کشت در منطقه محل آزمایش برتری دارد.

References

Aasim, M., Umer, E.M., and Karim, A., 2008. Yield and competition indices of intercropping cotton (*Gossypium hirsutum* L.) using different planting patterns. Tarim Bilimleri Dergisi 14(4): 326-333. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001048

Abbasian, A., Nakhzari Moghaddam, A., Pirdashti, H., and Gholamalipour Alamdari, E., 2018. Evaluation the characteristics of additive and replacement series of garlic (*Allium sativum* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) intercropping in Gonbad Kavoos and Sari regions. Journal of Plant Production Research 25(1): 101-117. (In Persian with English Summary). https://dx.doi.org/10.22069/jopp.2017.12254.2110

Abdi, S., 2019. Evaluation of yield, essential oil percentage, and advantage indices in fenugreek and savory intercropping ratios. Crops Improvement 21(1): 75-92. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2019.268917.2110

Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W., 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. European Journal of Agronomy 25: 202-207. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002

Ahmadi, A., Dabbagh Mohammdi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R., and Janmohammadi, H., 2010. Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 20(4): 77-87. (In Persian with English Summary). https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1389.20.4.7.4

Altieri, M.A., 2008. Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. West View Press, Inc, 448 pp.

Asadi, G.A., and Khorramdel, S., 2014. The Effect of mixed crop mixed ratios on crop variety and weed and yield. Crop Production 7(1): 131-156. (In Persian with English Summary). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1393.7.1.8.1

Bahador, M., Abdali-Mashhadi, A., Koochekzade, A., Lotfi, A., and Yousefian, H., 2014. Evaluation of intercropping of garlic (*Allium sativum* L.) with some medicinal plants in Ahvaz climatic conditions. Journal of Agroecology 6(3): 488-494. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.21005

Bahrani, M.J., and Kazemeini, S.A., 2008. Forage yield, botanical composition and adaptation of some forage grasses and legumes in mono and dual cultures (*Binary combinations*). Iranian Journal of Field Crop Science 39(1): 203-210. (In Persian with English Summary). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084811.1387.39.1.20.5

Banik, P., Sasmal, T., and Ghosal, P.K., 2000. Evaluation of mustard (*Brassica compestris* Var. Toria) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series systems. Journal of Agronomy and Crop Science 185: 9-14. https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2000.00388.x

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S., 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-332. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010

Daryanto, S., Fu, B., Zhao, W., Wang, S., Jacinthe, P.A., and Wang, L., 2020. Ecosystem service provision of grain legume and cereal intercropping in Africa. Agricultural System 178: 102761. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102761

Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., and Dordas, C.A., 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. Field Crops Research 100: 249-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008

Esmaeili, A., Hossein, M.B., Mohammadi, M., and Hosseinikhah, F.S., 2012. Evaluation of grain yield, dry matter production and some of the forage and silage quality properties in annual medic (*Medicago scutellata*) and spring barley (*Hordeum vulgare*) intercropping. Seed and Plant Production Journal 28(3): 277-296. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110476

Ghanbari, S., Moradi Telavat, M., and Siadat, S.A., 2016. Evaluation of competitive indices in barley intercropped with fenugreek under manure applications. Journal of Crop Improvement 18(4): 821-834. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2017.56654

GOI., 2000. Report of the Taskforce on Medicinal Plants in India. Planning Commission, Government of India, Yojana Bhawan, New Delhi, India, 194 pp.

Fernandez-Aparicio, M., Sillero, J.C., and Rubials, D., 2007. Intercropping with cereals reduces infection be *Orobanche crenata* in legumes. Crop Protection 26: 1166-1172. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.10.012

Hamzei, J., 2012. Performance evaluation index SPAD, land use efficiency and productivity index barley (*Hordeum vulgar*) and bitter vetch (*Vicia errilia*) intercropping system. Journal of Crop Production and Processing 2(4): 79-91. (In Persian with English Summary). http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1391.2.4.7.3

Hamzei, J., and Seyedi, M., 2013. Evaluation of mixed cultivation of chickpea and barley using mixtures crop efficiency indices under conditions of competition with weeds. Journal of Agronomy Sciences 5(9): 10-12. (In Persian with English Summary)

Hargilas, M., and Ameta, G.S., 2015. Production potential and advantages of winter maize based intercropping systems in Humid Southern Rajasthan. Green Farming 6(2): 323-326.

Hauggaard-Nielsen, H., Andersena, M.K., Jornsgaard, B., and Jensen, E.S., 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea-barley intercrops. Field Crops Research 95(2-3): 256-267. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.03.003

Hong, Y., Berentsenc, P., Heerinkb, N., Shid, M., and Van Der Werfe, W., 2019. The future of intercropping under growing resource scarcity and declining grain prices- A model analysis based on a case study in Northwest China. Agricultural Systems 176: 102661. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102661

IRIMO., 2016. Statistical information of Gonabad synoptic station, https://www.irimo.ir.

Javanmard, A., Amani Machiani, M., and Eskandari, H., 2019. Evaluation of forage quantity and quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) intercropping system in Maragheh rainfed conditions. Journal of Agroecology 11(2): 435-452. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.65105

Javanmard, A., Arzheh, J., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Ezan, T., 2014. Evaluation of different intercropping patterns of forage sorghum (*Sorghum bicolor*) and vetch (*Vicia villosa*) different nitrogen fertilizer levels. Research in Field Crops 2(2): 1-20. (In Persian with English Summary)

Kahraryan, B., Farahvash, F., Mohammadi, S., Mirshekari, B., and Rashidi, V., 2018. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and vetch (*Vicia villosa* Roth) intercropping. Journal of Crop Ecophysiology 12(4): 651-670. (In Persian with English Summary)

Kiani, S., Moradi Telavat, M.R., Siadat, S.A., Abdali Mashhadi, A.R., and Sari, M., 2015. Evaluation of qualitative and quantitative of forage yield in intercropping of barley and fennel at different levels of nitrogen. Journal of Crop Improvement 16(4): 973-986. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2015.53591

Koocheki, A., Najibnia, S., and Lalegani, B., 2009. Evaluation of saffron yield (*Crocus sativus* L.) in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. Iranian Journal of Agronomy Researches 7(1): 173-182. (In Persian with English Summary). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20081472.1388.7.1.18.6

Labbafi, M.R., Naghdi Badi, H., Zand, E., Qaderi, A., Noormohammadi, G., Khalaj, H., and Mehrafarin, A., 2014. Determination of yield components of trigonelline in fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seed based on path analysis and regression. Iranian Journal of Medicinal Plants 13(2): 144-155. (In Persian with English Summary). http://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2014.13.50.14.2

Lamei, J., and Alizadeh, K., 2012. The selection of most suitable combination in mixed cropping of hairy vetch with barley or triticale under Zanjan rainfed conditions. Iranian Journal of Dryland Agriculture 1(1): 17-39. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/idaj.2012.100094

Mahdavi Maraj, T., Ghanbari, A., and Asghari Pour, M.R., 2015. Intercropping of barley and ajwain under different levels of manure and chemical fertilizers. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology 1(4): 63-78. (In Persian with English Summary). http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-168-en.html

Malek Mohammadi, M., 2011. Evaluation effect of different mulch on quantity and quality yield of garlic populations. M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahwaz, Iran. (In Persian with English Summary)

Mashhadi, T., Nakhzari Moghaddam, A., and Sabouri, H., 2015. Investigation of competition indices in intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under nitrogen consumption. Journal of Agroecology 7(3): 344-355. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v7i3.26662

Mucheru-Muna, M., Pypers, P., Mugendi, D., Kung'u, J., Mugwe, J., Merckx, R., and Vanlauwe, B., 2010. A suggested maize-legume intercrop arrangement robustly increases crop yield and economic returns in the highlands of Central Kenya. Field Crops Research 115: 132-139. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.013

Nakhzari Moghaddam, A., 2012. The yield and forage quality of intercropping barley and mustard in different planting dates. Journal of Crop Production 5(4): 173-189. (In Persian with English Summary). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.4.10.5

Nakhzari Moghaddam, A., 2016. Effect of nitrogen and different intercropping arrangements of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) on forage yield and competitive indices. Journal of Agroecology 8(1): 47-58. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v8i1.12534

Odo, P.E., 1991. Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the Sudan savanna of Nigeria: Land equivalent ratio, grain yield and system productivity index. Experimental Agriculture 27: 435-441. https://doi.org/10.1017/S0014479700019426

Rahimi, M.M., Mazaheri, D., Khodabande, N., and Heidary, H., 2003. Product evaluation in corn and soybean intercropping in Arsanjan area. Agricultural Science 9(3): 109-126. (In Persian with English Summary)

Rao, E.V.S.P., Puttanna, K., Rao, R.S.G., and Kumar, S., 2000. Prospect of commercial mediculture and recent advances in agrotechnologies of aromatic plants in south India. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 22(1): 207-213.

Rao2004, M.R., Palada, M.C., and Becker, B.N., 2004. Medicinal and aromatic plants in agroforestry systems. Agroforestry Systems 61: 107-122. https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000028993.83007.4b

Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Jamali, M., and Ghiyasi, M., 2016. Evaluation of yield and indices advantages at different intercropping patterns of dill (*Anethun graveolens* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Plant Production Technology 8(1): 15-27. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22084/ppt.2016.1752

Rezaei-Chiyaneh, E., Rasouli, Y., Jalilian, J., and Ghodsi, M., 2019. Evaluation of quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in intercropping affected by biological and chemical fertilizers in supplemental irrigation condition. Journal of Agroecology 11(1): 69-85. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.71201

Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M.B., and Hashemi, M., 2013. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. Field Crops Research 148: 43-48. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021

Sadri, S., Poor Yousef, M., and Soleimani, A., 2015. Evaluation of yield, essential oil and productivity indices in fennel and fenugreek intercropping. Journal of Crop Improvement 16(4): 921-932. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2015.53586

Schmidtke, K., Neumann, A., Hof, C., and Rauber, R., 2004. Soil and atmospheric nitrogen uptake by lentil (*Lens culinaris* Medik.) and barley (*Hordeum vulgare* ssp. *nudum* L.) as monocrops and intercrops. Field Crops Research 87(2-3): 245-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.006

Sedaghati. A.R., Kafi, M., Rezvan Bidokhti, S., and Akbari, S., 2016. Effects of planting date and density on yield and yield components and allicin content of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31(6): 1024-1034. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.105891

Shirani, H., Hajabasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A., 2002. Effect of farmyard manure and tillage system on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil and Tillage Research 68: 101-108. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00110-1

Sujatha, S., Bhat, R., Kannan, C., and 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 and Products 33: 78-83. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.001

Vandermeer, J.H., 1992. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, New York, USA, 273 pp.

Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.V., Ferrer, A., and Peigné, A., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture: A review. Agronomy for Sustainable Development 34: 1-20. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7

Yilmaz, S., Atak, M., and Erayman, M., 2008. Identification of advantages of maize legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the east Mediterranean region. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 32: 111-119.

Zhang, L., Wang, G., Zhang, E., Zhang, B., He, C., Wang, Q., Qiang, S., and Huang, G., 2011. Effect of phosphorus application and strip intercropping on yield and some wheat-grain components in a wheat/maize/potato intercropping system. African Journal of Agricultural Research 6(27): 5860-5869. https://doi.org/10.5897/AJAR11.1118