J. Crop Prod. Process. 2026, 16(2), 75-91; DOI: 10.47176/jcpp.16.2.24924

Journal of Crop Production and Processing

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

Original Article

Agronomical, Ecological and Economical Evaluation of Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) and Vetch (*Vicia panonica*) Intercropping in Rotation After Rice

Mohammad Rabiee * and Sajjad Shaker Kouhi
Department of Seed Improvement, Rice Research Institute, Rasht, Iran

Extended Abstract:
Introduction: As the global population increases and natural resources degrade, new and sustainable approaches are necessary to ensure food security. Intercropping is considered as one of the components of sustainable agriculture, where two or more species are grown in the same location to take advantage of the beneficial effects between the species. Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) is a cereal which can grow fast, suppress weed pressure and provide high dry matter yield, but the protein content of the forage is low. Intercropping of triticale and vetch (*Vicia panonica*) has been suggested to increase forage quality. Despite the high potential of paddy fields in the northern provinces of Iran, unfortunately, most of these paddy fields are left unused for about 7 months after rice harvesting. Intercropping of forage crops after rice harvesting in paddy fields can be an effective strategy to provide fodder for livestock, increase land productivity, sustainability of rice production, increase paddy farmers' income, and thus prevent rural out-migration. Therefore, the main objective of the present study was to examine agronomical, ecological and economic indicators of triticale and vetch intercropping in rotation after rice.

Materials and Methods: This study was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the research fields of the Rice Research Institute of Iran in Rasht during two cropping seasons of 2023-2024 and 2024-2025. The experimental treatments included intercropping of triticale and vetch with replacement ratios of 1:1 (one row of triticale + one row of vetch), 2:2 (two row of triticale + two row of vetch), 3:1 (three row of triticale + one row of vetch) and 1:3 (one row of triticale + three row of vetch) as well as sole cropping of triticale and vetch. In this study, traits such as dry forage yield, crude protein content and protein yield were evaluated. The beneficial indicators of intercropping including land equivalent ratio (LER), actual yield loss (AYL), relative crowding coefficient (K), competitive ratio (CR), relative value total (RVT) monetary advantage index (MAI), intercropping advantage (IA) and system productivity index (SPI), were calculated. Data was analyzed using SAS software, and mean comparisons were done by least significant difference (LSD) test at the 5% probability level.

Results and Discussion: The results showed that the cropping pattern had significant effect on dry forage yield, crude protein content and protein yield. The highest dry forage yield (12157 kg ha^{-1}) and protein yield (1695 kg ha^{-1}) was obtained from 3:1 triticale:vetch intercropping. The ratio of 1:1 triticale:vetch was in the next rank. The lowest dry forage yield (7906 kg ha^{-1}) was related to monoculture of vetch. Increasing the proportion of vetch in intercropping resulted in higher crude protein content and consequently improved forage quality. The land equivalent ratio in all intercropping treatments was more than one. The highest value of this index was obtained in the 1:3 and 1:1 triticale:vetch treatments, respectively. The total AYL values were positive in all intercropping treatments. The ratio of 3:1 triticale:vetch had the highest total AYL (0.62). The higher values of the CR and K for triticale indicate its competitive superiority over vetch. The maximum value of total K (4.54) was revealed at ratio of 3:1 triticale:vetch. The ratio of 1:1 triticale:vetch was also ranked next. The ratios of 1:1, 3:1 and 2:2 triticale:vetch treatments with relative value total (1.32), (1.28) and (1.22) were ranked first to third, respectively. The highest and lowest intercropping advantage was obtained from 3:1

Received: Mar. 06, 2026; Revised: Jun. 15, 2026; Accepted: Jun. 17, 2026; Published Online: July. 18, 2026.
* Corresponding Author: rabiee_md@yahoo.co.uk

Journal of Crop Production and Processing

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

(7295) and 2:2 (2061) triticale:vetch treatments, respectively. The maximum MAI was observed in the ratios of 1:1 (19585677) and 3:1 (19175048) triticale:vetch treatments, respectively. The increased MAI index in these ratios can be attributed to the higher LER and total K. The SPI was positive across all intercropping ratios, indicating the overall effectiveness of intercropping. According to the results, the maximum value of SPI was obtained from 1:1 and 3:1 triticale:vetch treatments, respectively.

Conclusions: Based on the results of this study, to achieve optimal forage yield and greater economic advantage, the ratios of 3:1 and 1:1 triticale:vetch are recommended as the most suitable intercropping combinations for second crop after rice harvesting in paddy fields of Guilan province in north of Iran. These findings suggest that the intercropping of forage crops in rotation after rice could play a pivotal role in improving paddy farmers' income and sustainable rice production.

Keywords: Competitive ratio, Economic advantage, Land equivalent ratio, Second crop, System productivity.

How to Cite: Rabiee M., Shaker Kouhi S., Agronomical, ecological and economical evaluation of triticale (*X. Triticosecale* Wittmack) and vetch (*Vicia panonica*) intercropping in rotation after rice. *J. Crop Prod. Process*. 2026, 16(2), 75-91 (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.16.2.24924.

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۵، دوره ۱۶، شماره ۲، صص. ۹۱-۷۵، DOI: 10.47176/jcpp.16.2.24924

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی

صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

ارزیابی زراعی، بوم‌شناسی و اقتصادی کشت مخلوط تریتیکاله (*X Triticosecale* Wittmack) و ماشک (*Vicia panonica*) در تناوب پس از برنج

محمد ربیعی* و سجاد شاکرکوهی

چکیده– به‌منظور بررسی زراعی، بوم‌شناسی و اقتصادی کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک در تناوب پس از برنج، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و ۱۴۰۴-۱۴۰۳ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور در شهرستان رشت به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک با نسبت‌های جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، ۲:۲ (دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک)، ۱:۳ (سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک) و ۳:۱ (یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک) و کشت خالص تریتیکاله و ماشک بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه خشک (۱۲۱۵۷ کیلوگرم در هکتار) از کشت مخلوط ۱:۳ تریتیکاله:ماشک حاصل شد. نسبت برابری زمین در کلیه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود و بیشترین میزان آن (۱/۲۴) در تیمار ۱:۳ تریتیکاله:ماشک به‌دست آمد. مقادیر مثبت شاخص کاهش واقعی عملکرد کل نشان داد که هیچ یک از تیمارهای کشت مخلوط افت عملکرد نداشتند. مقادیر نسبت رقابت و ضریب ازدحام نسبی برای تریتیکاله به‌ترتیب ٤٦ و ٥٥ درصد بیشتر از ماشک به‌دست آمد که این امر بیانگر توان رقابتی بالاتر تریتیکاله بود. محاسبه شاخص‌های اقتصادی نشان داد که بیشترین سودمندی کشت مخلوط (۷۲۹۵) از تیمار ۱:۳ و بیشترین مجموع ارزش نسبی (۱/۳۲) و مزیت پولی (۱۹۵۸۵٦۷۷) از تیمار ۱:۱ تریتیکاله:ماشک حاصل شد. بر اساس نتایج، پیشنهاد می‌شود که بهره‌برداران جهت دستیابی به عملکرد و سودمندی اقتصادی بیشتر، به‌ترتیب اولویت کشت مخلوط ۱:۳ و ۱:۱ تریتیکاله:ماشک را به‌عنوان کشت دوم در تناوب پس از برنج قرار دهند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری سامانه، کشت دوم، سودمندی اقتصادی، نسبت برابری زمین، نسبت رقابت

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۲/۱۵، بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۷، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۲۷

بخش تحقیقات اصلاح و تهیه بذر، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، ایران

*: نویسنده مسئول، رایانامه: rabiee_md@yahoo.co.uk

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۳ ©.

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

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

مقدمه

رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیاز بشر به مواد غذایی از یک طرف و پیامدهای تغییر اقلیم و محدودیت منابع طبیعی از طرف دیگر، لزوم توسعه سامانه‌های زراعی پایدار را دوچندان نموده است (۹). در همین راستا یکی از روش‌های مناسب جهت نیل به این هدف، کشت مخلوط گیاهان زراعی است. کشت مخلوط به‌عنوان یک سامانه تولید محصولات کشاورزی بر پایه تنوع زیستی، کشت هم‌زمان دو و یا چند گیاه زراعی در یک قطعه زمین است. این سامانه اشاره به الگویی از کشت دارد که با بهره‌گیری از تفاوت آشیان بوم‌شناسی گونه‌های گیاهی، سبب اختلاف در نیازهای محیطی در زمان و مکان شده و استفاده بهتر از محیط رشد را فراهم می‌نماید (۵). کاهش ریسک تولید، افزایش عملکرد در واحد سطح، کاهش خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی از طریق کاهش مصرف سموم و کودهای شیمیایی، از دیگر مزایای کشت مخلوط می‌باشند (۱۵ و ۱۷).

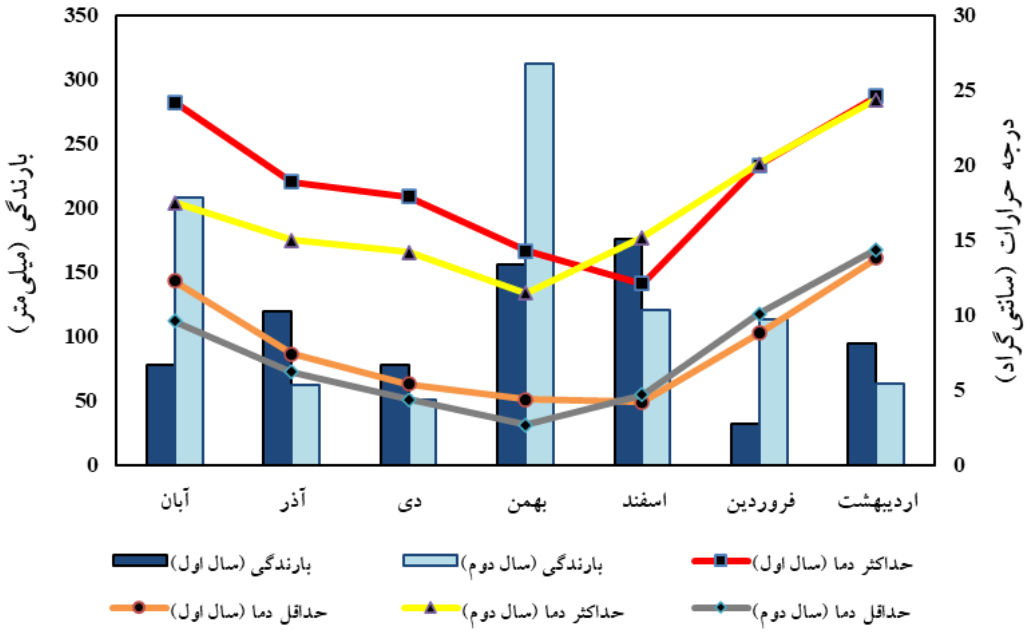
اراضی شالیزاری استان‌های شمالی کشور از جمله مناطق مستعد برای کشت دوم پس از برداشت برنج در پاییز به‌شمار می‌روند. کشت دوم پس از برداشت برنج باعث تولید محصول زراعی زمستانه مهم در نیمه دوم سال، رعایت تناوب زراعی، بهبود شرایط محیط و خاک، افزایش درآمد کشاورزان و پایداری تولید برنج می‌شود (۲۰). در این راستا، استفاده از گیاهان علوفه‌ای پاییزه با قابلیت کشت در اراضی شالیزاری که عملکرد بالا و کیفیت مطلوبی دارند، علاوه بر تأمین علوفه مورد نیاز دام‌ها، می‌تواند نقش مهمی در کشاورزی پایدار و برقراری نظام چندکشتی ایفا نماید. از جمله مناسب‌ترین محصولات علوفه‌ای جهت کشت دوم در شالیزار می‌توان به تریتیکاله، جو، شبدر، ماشک و نخود علوفه‌ای اشاره کرد. از طرف دیگر، با توجه به این‌که کشت گیاهان علوفه‌ای در اراضی شالیزاری شمال کشور بدون مصرف آب و به‌صورت دیم صورت می‌گیرد، اجرای این الگوی کشت علاوه بر کاهش فشار به منابع آبی و کاهش هزینه تولید، می‌تواند گامی مؤثر در جهت تأمین امنیت غذایی کشور باشد (۲۱).

انتخاب گونه‌ها برای کشت مخلوط در شالیزار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گیاهان تشکیل‌دهنده مخلوط باید کمترین هم‌زمانی برداشت را با نشای برنج داشته و از سازگاری خوبی نسبت به شرایط آب و هوایی معتدل و مرطوب استان‌های شمالی کشور (از جمله بارندگی‌های فصول پاییز و زمستان) برخوردار باشند. از جمله ترکیبات مناسب برای کشت مخلوط در شالیزار می‌توان به ترکیب گیاهان خانواده غلات با لگوم‌های علوفه‌ای اشاره کرد (۲۱). در این ترکیب، غلات از نیتروژن تثبیت شده توسط لگوم‌ها استفاده می‌کنند. همچنین، لگوم‌ها با ریشه‌های عمیق خود آب و عناصر غذایی را از لایه‌های عمیق‌تر خاک تخلیه کرده و از این طریق، بازچرخش عناصر آبشویی شده به سطح خاک صورت می‌گیرد. غلات نیز می‌توانند به‌عنوان یک قیم مناسب برای لگوم‌ها عمل کنند (۲۳ و ۲۶).

نتایج بررسی عملکرد و سودمندی کشت مخلوط لگوم‌های علوفه‌ای با گرامینه‌ها به‌عنوان کشت دوم در شالیزار نشان داد که ترکیب تیماری ۳۰ درصد ماشک + ۷۰ درصد تریتیکاله به‌ترتیب با ٤٨٨٤٤ و ١٥٢٦٩ کیلوگرم در هکتار از بیشترین عملکرد علوفه تر و خشک برخوردار بود. فاصله مناسب بوته‌ها از یکدیگر، عدم رقابت بین‌گونه‌ای، افزایش ارتفاع بوته و جذب نور بیشتر از جمله دلایل افزایش عملکرد در این تیمار عنوان شد (۲۰). محققان با بررسی عملکرد کمی و کیفی علوفه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جو و ماشک گزارش کردند که کشت مخلوط از عملکرد علوفه تر بیشتری نسبت به کشت خالص دو گونه برخوردار بود، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد علوفه تر به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۹۰۰۰ و ٣٨١٦٧ کیلوگرم در هکتار از کشت مخلوط افزایشی ٦٠:١٠٠ و ٤٠:١٠٠ جو: ماشک به‌دست آمد (۱۳). در آزمایشی دیگر گزارش شد که شاخص نسبت برابری زمین (LER) در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گونه بود (۲۲). معرفی و انتخاب گونه‌های علوفه‌ای

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (درصد)	کربن آلی (درصد)	اسیدیته	بافت
۰/۷۶	۱۷۵	۱۹/۱	۰/۱۲	۱/۲۴	۷/۱	رسی- سیلتی



شکل ۱. اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

مناسب و تعیین بهترین الگو و نسبت کاشت آن‌ها می‌تواند در موفقیت و توسعه سامانه‌های کشت مخلوط به‌عنوان کشت دوم پس از برداشت برنج نقش مهمی ایفا نماید. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی زراعی، بوم‌شناسی و اقتصادی کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک به‌عنوان کشت دوم پس از برداشت برنج در اراضی شالیزاری گیلان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و ۱۴۰۴-۱۴۰۳ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت پس از برداشت برنج طراحی و اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک با نسبت‌های جایگزینی ۱:۱ (یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، ۲:۲ (دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک)، ۱:۳ (سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک) و ۳:۱ (یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک) و کشت خالص تریتیکاله و ماشک بودند. بذور تریتیکاله (رقم هاشمی) از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی و بذور ماشک (رقم لامعی) از موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور تهیه شدند. قبل از اجرای آزمایش، یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از چندین نقطه مزرعه آزمایشی تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱). الگوی تغییرات جوی محل اجرای آزمایش شامل میانگین درجه حرارت و مجموع بارندگی منطقه طی سال‌های زراعی ۱۴۰۴-۱۴۰۲ (اخذ شده از مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان گیلان) در شکل ۱ ارائه شده است.

پس از برداشت برنج، عملیات شخم حداقل با استفاده از روتیواتور طی دو مرحله در عمق ۱۵–۱۰ سانتی‌متر انجام گرفت و جهت مبارزه با علف‌های هرز، از علف‌کش تری‌فلورالین (ترفلان) پنج روز پیش از کاشت و به میزان دو لیتر در هکتار استفاده شد. به‌منظور خروج آب اضافی در اثر بارندگی‌های سنگین احتمالی و ایجاد شرایط مناسب برای کشت، زهکش‌هایی به عمق ۳۰–۲۰ سانتی‌متر و به عرض ۳۰–۲۵ سانتی‌متر دور تا دور زمین و همچنین، مابین تکرارها احداث شد. تاریخ کاشت در هر دو سال آزمایش نهم آبان بود. هر کرت شامل هشت خط کاشت به طول هفت متر و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. فواصل بین کرت‌ها دو متر و بین تکرارها نیز سه متر در نظر گرفته شد. میزان بذر مصرفی برای تریتیکاله و ماشک به‌ترتیب ۱٤۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. مبارزه با آفت حلزون در ابتدای سبزشدن بذور و در مرحله سه تا چهار برگی با استفاده از سم متالدهاید (سه کیلوگرم در هکتار) انجام شد. برداشت علوفه در مرحله شیری شدن دانه‌های تریتیکاله و مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی ماشک (اویل اردیبهشت) پس از حذف خطوط کناری و یک متر از بالا و پایین هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، صورت گرفت. برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک، یک کیلوگرم علوفه تر از هرکرت به‌طور تصادفی انتخاب و نمونه‌ها به مدت ٤۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. میزان پروتئین خام علوفه از طریق اندازه‌گیری درصد نیتروژن نمونه‌ها به روش کجلدال و ضرب کردن آن در عدد ثابت ٦/۲۵ محاسبه شد (۲۵). عملکرد پروتئین نیز از حاصل‌ضرب پروتئین خام علوفه و عملکرد علوفه خشک به‌دست آمد (۲۷). برای ارزیابی سودمندی و کارایی کشت مخلوط، از شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER)، کاهش واقعی عملکرد (AYL)، نسبت رقابت (CR)، ضریب ازدحام نسبی (K)، مجموع ارزش نسبی (RVT)، سودمندی کشت مخلوط (IA)، مزیت پولی (MAI) و بهره‌وری سامانه (SPI) بر اساس روابط زیر استفاده شد (۱۸، ٢٤، ۲۸ و ۳۰).

رابطه (۱)
$$LER = LERa + LERb$$
$$LER = (Yab/Yaa) + (Yba/Ybb)$$

رابطه (۲)
$$AYL = AYLa + AYLb$$
$$AYLa = [LERa \times (100/Zab) -1]$$
$$AYLb = [LERb \times (100/Zba) -1]$$

رابطه (۳)
$$CRa = (LERa/LERb)(Zba/Zab)$$
$$CRb = (LERb/LERa)(Zab/Zba)$$

رابطه (٤)
$$K = Ka \times Kb$$
$$Ka = YabZba/(Yaa - Yab)\ Zab$$
$$Kb = YbaZab/(Ybb - Yba)\ Zba$$

رابطه (۵)
$$RVT = PaYab + PbYba/PaYaa$$

رابطه (٦)
$$IA = IAa + IAb$$
$$IAa = AYLa \times Pa$$
$$IAb = AYLb \times Pb$$

رابطه (۷)
$$MAI = (YabPa + YbaPb) \times (LER - 1/LER)$$

رابطه (۸)
$$SPI = (Yaa/Ybb) \times (Yab + Yba)$$

در این روابط، LER_a و LER_b به‌ترتیب نسبت برابری زمین جزئی تریتیکاله و ماشک، Y_{ab} و Y_{ba} به‌ترتیب عملکرد علوفه تریتیکاله و ماشک در کشت مخلوط، Y_{aa} و Y_{bb} به‌ترتیب عملکرد علوفه در کشت خالص تریتیکاله و ماشک، AYL_a و AYL_b به‌ترتیب کاهش واقعی عملکرد تریتیکاله و ماشک در کشت مخلوط، CR_a و CR_b به‌ترتیب نسبت رقابت تریتیکاله و ماشک، K_a و K_b به‌ترتیب ضریب ازدحام نسبی تریتیکاله و ماشک، Z_{ab} و Z_{ba} به‌ترتیب نسبت تریتیکاله و ماشک در کشت مخلوط، P_a و P_b به‌ترتیب قیمت علوفه خشک تریتیکاله (۷۰۰۰۰ ریال در سال اول و ۸۵۰۰۰ ریال در سال دوم) و ماشک (۱۲۰۰۰۰ ریال در سال اول و ۱٤۵۰۰۰ ریال در سال دوم) و IA_a و IA_b به‌ترتیب سودمندی تریتیکاله و ماشک در کشت مخلوط هستند.

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. پس از انجام آزمون یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی (آزمون بارتلت) و اطمینان از یکنواخت‌بودن خطاهای آزمایشی در سال‌های مختلف، تجزیه مرکب داده‌ها انجام شد. مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

جدول ۲. تجزیه واریانس مرکب عملکرد علوفه خشک، پروتئین خام و عملکرد پروتئین در الگوهای مختلف کشت طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		عملکرد علوفه خشک	پروتئین خام	عملکرد پروتئین
سال	۱	۲۹۴۴۰۸۴*	۳/۱۴ns	۱۶۳۶۲۰*
سال× تکرار	۲	۴۲۳۸۳۴	۳/۲۷	۶۱۴۰۸
الگوی کشت	۵	۱۵۰۴۳۴۲۲**	۲۷/۱**	۲۹۸۹۲۲**
سال × الگوی کشت	۵	۹۱۱۳۹ns	۲/۳۸ns	۲۱۵۶۹ns
خطا	۲۰	۷۰۳۶۹۴	۱/۵۲	۳۱۶۱۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۲/۴۸	۵/۵۲	۱۰/۲۱

ns غیر معنی‌دار و * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر اصلی سال و الگوی کشت بر عملکرد علوفه خشک، پروتئین خام و عملکرد پروتئین طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

تیمار	عملکرد علوفه خشک (کیلوگرم در هکتار)	پروتئین خام (درصد)	عملکرد پروتئین(کیلوگرم در هکتار)
سال			
۱۴۰۳-۱۴۰۲	۱۰۷۳۵a	۱۴/۶a	۱۵۴۳a
۱۴۰۴-۱۴۰۳	۱۰۱۶۳b	۱۴/۱a	۱۴۰۸b
الگوی کشت			
کشت خالص تریتیکاله	۱۰۴۱۹bc	۱۰/۷c	۱۱۱۸c
۱:۳ (ترتیکاله:ماشک)	۱۲۱۵۷a	۱۳/۹b	۱۶۹۵a
۱:۱ (ترتیکاله:ماشک)	۱۱۶۲۸ab	۱۴/۴b	۱۶۸۲a
۳:۱ (ترتیکاله:ماشک)	۹۳۶۶c	۱۵/۴ab	۱۴۱۶abc
۲:۲ (ترتیکاله:ماشک)	۱۱۲۱۷ab	۱۴/۲b	۱۵۸۸ab
کشت خالص ماشک	۷۹۰۶d	۱۷/۲a	۱۳۵۶bc

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه خشک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر سال در سطح احتمال پنج درصد و اثر الگوی کشت در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد علوفه خشک معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که سال اول آزمایش با میانگین ۱۰۷۳۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به سال دوم با میانگین ۱۰۱۶۳ کیلوگرم در هکتار، از عملکرد علوفه خشک بیشتری برخوردار بود (جدول ۳). بیشتر بودن عملکرد علوفه در سال اول را می‌توان به شرایط مساعد آب و هوایی در این سال (بارندگی کمتر و درنتیجه شرایط غرقابی کمتر، دمای بالاتر و مجموع ساعات آفتابی بیشتر) و درنتیجه، ایجاد پوشش گیاهی مناسب‌تر و رشد رویشی بیشتر نسبت داد.

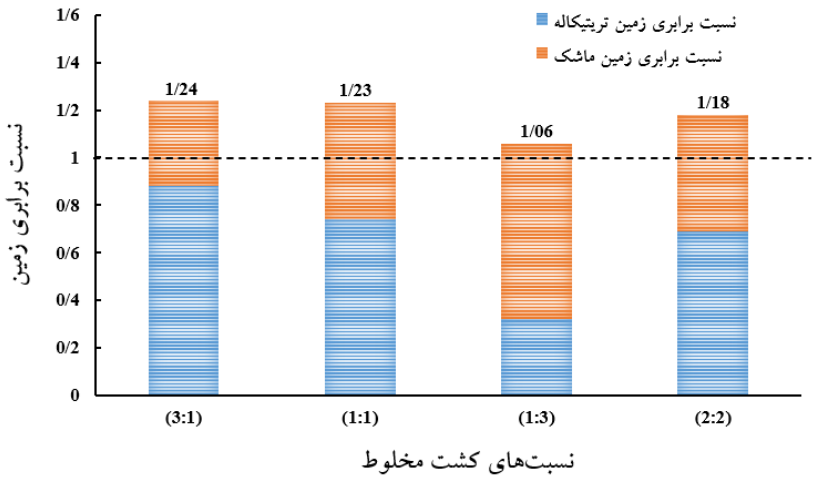
در بین الگوهای مختلف کشت، نسبت سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) دارای بیشترین عملکرد علوفه خشک (۱۲۱۵۷ کیلوگرم در هکتار) بود، هرچند با نسبت‌های یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۱) و دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک (۲:۲) اختلاف معنی‌دار نداشت. با افزایش درصد ماشک در کشت مخلوط از عملکرد علوفه خشک کاسته شد و در تیمار کشت خالص ماشک به حداقل مقدار خود (۷۹۰۶ کیلوگرم در هکتار) رسید (جدول ۳). افزایش عملکرد علوفه در کشت مخلوط را می‌توان به تفاوت در ساختار مورفولوژی تریتیکاله و ماشک برای استفاده بهتر از منابع مانند نور، آب و عناصر غذایی و کاهش رقابت درون‌گونه‌ای نسبت داد (۲۹). در بررسی کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک به‌عنوان کشت دوم در شالیزار گزارش شد که بیشترین عملکرد علوفه خشک در کشت مخلوط ۷۰ درصد تریتیکاله + ۳۰ درصد ماشک (۱۵۲۶۹ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که دلیل آن به اثرات متقابل تسهیل‌کنندگی بین دو گونه نسبت داده شد (۲۰). در آزمایشی دیگر نصیری و همکاران (۱۹) در کشت مخلوط افزایشی تریتیکاله و ماشک گزارش کردند که بیشترین عملکرد علوفه خشک (۵٤٤۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰۰:٦۰ ماشک:تریتیکاله حاصل شد.

میزان پروتئین خام

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان پروتئین خام علوفه به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر الگوی کشت قرار گرفت (جدول ۲). در بین الگوهای مختلف کشت، کشت خالص ماشک با میانگین ۱۷/۲ درصد، بیشترین میزان پروتئین خام را به خود اختصاص داد، هرچند با نسبت یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک (۳:۱) اختلاف معنی‌داری نداشت. کشت خالص تریتیکاله نیز، با میانگین ۱۰/۷ درصد از کمترین میزان پروتئین خام برخوردار بود (جدول ۳). با افزایش سهم ماشک و کاهش سهم تریتیکاله در کشت مخلوط، میزان پروتئین خام افزایش یافت. افزایش در محتوای پروتئین خام علوفه در کشت مخلوط به‌دلیل حضور بقولات در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (٤ و ۱۸). کهراریان و همکاران (۱٤) در بررسی عملکرد کمی و کیفی علوفه در کشت مخلوط جو و ماشک گزارش کردند که بیشترین میزان پروتئین خام علوفه به‌ترتیب در کشت خالص ماشک (۲۵/۲ درصد) و تیمار ۲۰ درصد جو + ۸۰ درصد ماشک (۲٤/۱ درصد) به‌دست آمد. نتایج آن‌ها نشان داد که در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط با افزایش نسبت ماشک، بر میزان پروتئین خام افزوده شد.

عملکرد پروتئین

نتایج جدول تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار سال و الگوی کشت بر صفت عملکرد پروتئین علوفه بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، سال اول آزمایش (۱۵٤۳ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سال دوم (۱٤۰۸ کیلوگرم در هکتار) از نظر عملکرد پروتئین دارای برتری معنی‌داری بود (جدول ۳). با توجه به این‌که عملکرد علوفه خشک و عملکرد پروتئین دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر هستند، لذا برتری عملکرد پروتئین در سال اول به‌دلیل عملکرد علوفه خشک بیشتر، منطقی و توجیه‌پذیر به‌نظر می‌رسد. عملکرد پروتئین در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص دو گونه بود. بر این اساس، نسبت‌های سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) و یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۱) به‌ترتیب با میانگین‌های ۱٦۹۵ و ۱٦۸۲ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد پروتئین بودند (جدول ۳). کم بودن عملکرد پروتئین در کشت خالص تریتیکاله را می‌توان به کمتر بودن میزان پروتئین خام و در کشت خالص ماشک، به کمتر بودن عملکرد علوفه خشک نسبت داد. همسو با نتایج این تحقیق، کهراریان و همکاران (۱٤) گزارش کردند که عملکرد پروتئین در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط جو و ماشک بیشتر از کشت خالص دو گونه بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان آن در کشت مخلوط ٤۰ درصد جو + ٦۰ درصد ماشک به‌دست آمد.



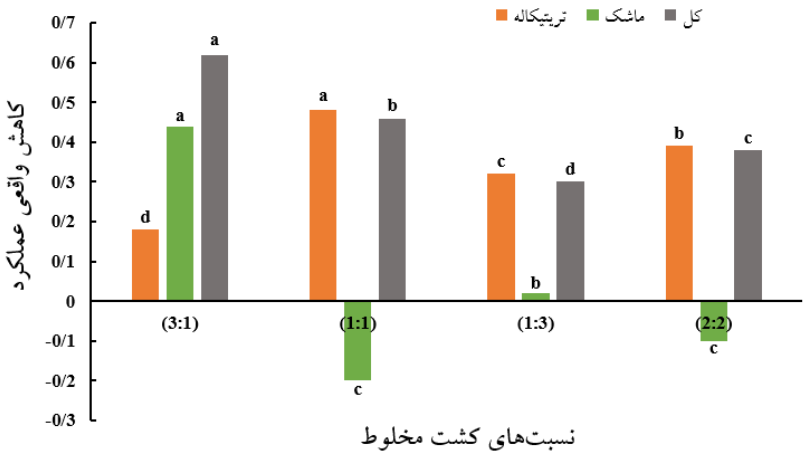
شکل ۲. نسبت برابری زمین در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

نسبت برابری زمین (LER)

نسبت برابری زمین یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط است. این شاخص بر اساس سطح زیر کشت محاسبه می‌شود و به‌وسیله آن مشخص می‌شود که برای به‌دست آوردن محصول حاصل از یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار زمین به صورت خالص مورد نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود (۲۸). مقدار LER از ۱/۲۴ در تیمار سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) تا ۱/۰۶ در تیمار یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک (۳:۱) متغیر بود (شکل ۲). در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط، مقدار LER بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک نسبت به کشت خالص این دو گونه و به عبارتی دیگر، برتری تسهیل بین‌گونه‌ای به رقابت بین‌گونه‌ای بود. دلیل سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌تواند ناشی از تنظیم مؤثر ساختار تاج‌پوشش گیاهان در کشت مخلوط به‌منظور افزایش جذب نور باشد که این امر منجر به تأمین انرژی لازم برای انجام مطلوب فرایندهای فتوسنتزی می‌شود (۲۹). استفاده کارآمد و مؤثر از منابع موجود با توجه به تفاوت در عمق ریشه‌دهی، گسترش شعاعی و تراکم ریشه دو گونه، تثبیت زیستی نیتروژن توسط ماشک، کنترل بهتر علف‌های هرز و به تبع آن افزایش رشد رویشی، از جمله دلایل دیگر افزایش LER در کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک به‌شمار می‌رود. LER برابر با ۱/۲۴ در تیمار سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) بیانگر آن است که ۲۴ درصد سطح زمین بیشتری در کشت خالص نیاز است تا عملکردی مشابه با کشت مخلوط حاصل شود. همچنین، مقایسه LER جزئی دو گونه نشان داد که این شاخص برای تریتیکاله بیشتر از ماشک بود. بنابراین، چنین استنباط می‌شود که تریتیکاله در کشت مخلوط تأثیر مثبت بیشتری از همراهی با ماشک پذیرفته است. محققان در بررسی کارایی کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای گزارش کردند که میزان LER در کلیه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود، به‌طوری‌که بالاترین مقدار آن (۱/۳) در نسبت جایگزینی ۵۰ درصد تریتیکاله + ۵۰ درصد ماشک حاصل شد (۲۲).

کاهش واقعی عملکرد (AYL)

کاهش واقعی عملکرد می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری را نسبت به سایر شاخص‌ها در خصوص رقابت درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای و رفتار اجزای تشکیل‌دهنده کشت مخلوط در اختیار ما قرار دهد. مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده افزایش و مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش عملکرد گونه در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است (۳۰). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، AYL جزئی تریتیکاله در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط



شکل ۳. کاهش واقعی عملکرد تریتیکاله و ماشک در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

نسبت ۱:۳ (سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۱:۱ (یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۳:۱ (یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک) و نسبت ۲:۲ (دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک)

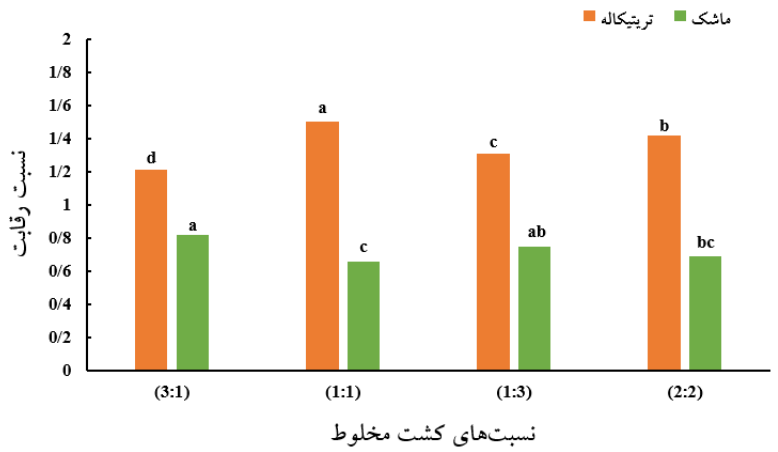
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

مثبت بود و بیشترین مقدار آن در تیمار یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۰/۴۸) به‌دست آمد. به‌عبارت دیگر، محصول واقعی تریتیکاله در کشت مخلوط بیش از محصول پیش‌بینی شده بود که از دلایل آن می‌توان به استقرار سریع، بالابودن سرعت رشد نسبی تریتیکاله در مراحل اولیه رشد و درنتیجه استفاده بهتر از منابع و همچنین، به اثر مثبت ماشک بر عملکرد این گیاه اشاره کرد.

بیشترین AYL جزئی ماشک نیز در تیمار سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۰/۴۴) حاصل شد. منفی بودن AYL جزئی ماشک در نسبت‌های یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۱) و دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک (۲:۲) حاکی از افت عملکرد ماشک بود. محاسبه میزان AYL کل نشان داد که در کلیه تیمارهای کشت مخلوط مقدار عددی این شاخص مثبت بود که بیانگر این واقعیت است که هیچ یک از تیمارهای کشت مخلوط افت عملکرد نداشتند و کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گونه داری مزیت است. بیشترین میزان AYL کل (۰/۶۲) در تیمار سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) به‌دست آمد (شکل ۳). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک دارای رعایت اصل تولید حمایتی بود و به‌عبارت دیگر، مساعدت در کلیه تیمارها وجود داشت. همسو با این نتایج، محققان گزارش کردند که میزان AYL کل در تمامی الگوهای کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای مثبت بود (۲۲). در آزمایشی دیگر جوانمرد و همکاران (۱۱) در بررسی کشت مخلوط گندم و نخود گزارش کردند که مثبت بودن مقادیر AYL کل بیانگر تأثیر مفید دو گونه بر روی همدیگر و سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود.

نسبت رقابت (CR)

شاخص نسبت رقابت میزان رقابت یک محصول را نسبت به محصول دیگر در کشت مخلوط ارزیابی می‌کند. مقادیر CR کمتر از یک برای یک جزء در مخلوط بدین معنی است که آن جزء اثرات رقابتی کمتری دارد و به‌عنوان یک گیاه همراه مطلوب برای کشت مخلوط تلقی می‌شود (۲۸). بررسی مقادیر شاخص CR نشان داد که این شاخص در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط برای تریتیکاله بیشتر از ماشک بود که بیانگر توانایی بیشتر رقابت



شکل ٤. نسبت رقابت تریتیکاله و ماشک در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط طی سال‌های ۱٤۰٤-۱٤۰۲

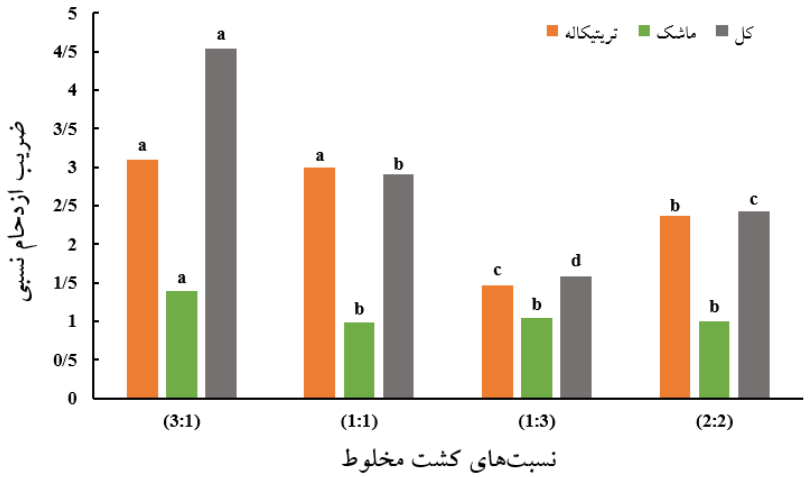
نسبت ۱:۳ (سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۱:۱ (یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۳:۱ (یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک) و نسبت ۲:۲ (دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک)

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

تریتیکاله و همچنین، غالبیت این گیاه نسبت به ماشک است. بیشترین مقدار CR برای تریتیکاله در تیمار یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱/۵۱) حاصل شد (شکل ٤). غالبیت تریتیکاله نسبت به ماشک را می‌توان به رشد سریع‌تر، توسعه بهتر ریشه و ارتفاع بیشتر تاج پوشش و درنتیجه جذب بیشتر نور و سایر منابع نسبت داد (۳). با توجه به این‌که مقدار CR برای ماشک در تمامی نسبت‌های کشت مخلوط کمتر از یک بود، این گیاه به‌عنوان یک گیاه همراه مطلوب در کشت مخلوط با تریتیکاله محسوب می‌شود. بر اساس نتایج، ایده‌آل‌ترین شرایط در نسبت سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) حاصل شد، به‌طوری‌که کمترین مقدار CR تریتیکاله در این ترکیب کشت به‌دست آمد و درنتیجه دو گونه از اثرات رقابتی کمتری برخوردار بوده و تکمیل‌کننده آشیان اکولوژیک یکدیگر بودند (شکل ٤). محققان در بررسی شاخص‌های رقابت و سودمندی کشت مخلوط ذرت و لوبیا نتایج مشابهی را گزارش کردند (۲). در آزمایشی دیگر، بررسی شاخص‌های رقابت کشت مخلوط جو و خلر نشان داد که در تمامی نسبت‌های کشت، شاخص CR جو بیشتر از خلر و بالاتر از یک بوده که بیانگر برتری عملکرد جو نسبت به خلر بود (۸).

ضریب ازدحام نسبی (K)

ضریب ازدحام نسبی در واقع معیاری از تسلط نسبی یک محصول بر محصول دیگر در سامانه کشت مخلوط است. هر چقدر مقدار K کل بیشتر باشد، نشان‌دهنده کارایی بیشتر سامانه کشت مخلوط از نظر رقابتی است (۱۸). هم‌راستا با نتایج شاخص CR، مقدار K برای تریتیکاله در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط بیشتر از ماشک بود. بیشترین (٤/٥٤) و کمترین (۱/۵۹) مقدار K کل به‌ترتیب در تیمار سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) و تیمار یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک (۳:۱) به‌دست آمد (شکل ۵). نتایج بیانگر این واقعیت است که با افزایش نسبت تریتیکاله در کشت مخلوط، قدرت تهاجمی آن به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. در آزمایشی گزارش شد که بیشترین مقدار K کل در کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای در نسبت ۵۰ درصد تریتیکاله + ۵۰ درصد ماشک گل‌خوشه‌ای حاصل شد (۲۲). نتایج بررسی کشت مخلوط لوبیا و آفتابگردان نشان داد که گیاه لوبیا گونه مغلوب بود به‌طوری‌که در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، مقدار K برای لوبیا کمتر از آفتابگردان و کمتر از یک بود و بیشترین مقدار K کل (۱/۷۹) در نسبت ۲۵ درصد لوبیا + ۷۵ درصد آفتابگردان به‌دست آمد (۷).



شکل ۵. ضریب ازدحام نسبی تریتیکاله و ماشک در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

نسبت ۱:۳ (سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۱:۱ (یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۳:۱ (یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک) و نسبت ۲:۲ (دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک)

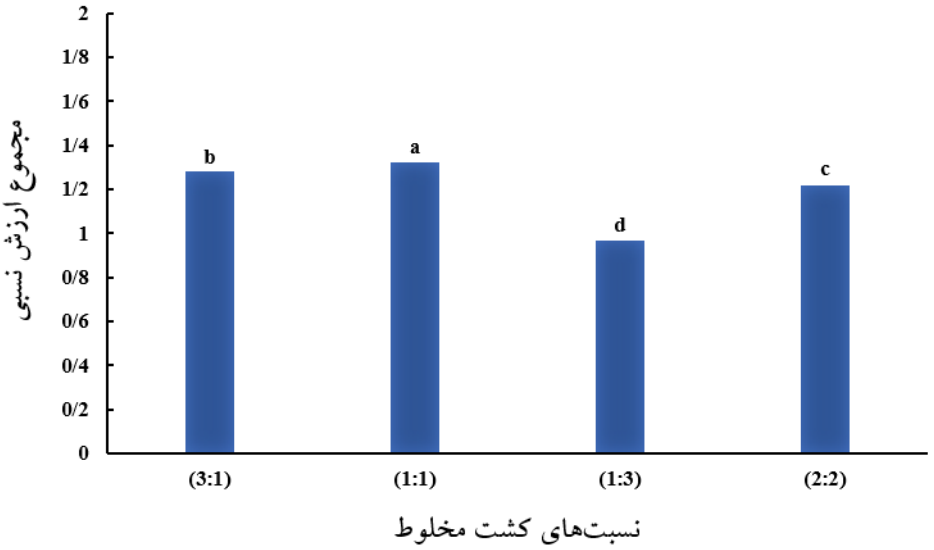
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

مجموع ارزش نسبی (RVT)

امروزه تعیین الگوی کشت گیاهان زراعی بیشتر بر اساس بازده اقتصادی است. از این‌رو برای توجیه اقتصادی، کشت مخلوط باید با مطلوب‌ترین شرایط تک‌کشتی دو گیاه قابل رقابت باشد. شاخص مناسب برای دستیابی به این هدف، مجموع ارزش نسبی است. RVT بیانگر نسبت کل درآمد ناخالص کشت مخلوط به بیشترین درآمد کشت خالص است (۱۰). مقادیر RVT به جزء در نسبت یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک (۰/۹۷)، در سایر نسبت‌ها بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده سودمندی این ترکیبات کشت نسبت به کشت خالص دو گونه است. بیشترین میزان شاخص RVT (۱/۳۲) از تیمار یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۱) حاصل شد. تیمارهای سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) و دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک (۱:۲) نیز به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (شکل ٦). در آزمایشی گزارش شد که در کلیه ترکیبات کشت مخلوط ذرت و لوبیا مقدار RVT بیشتر از یک بود که بیانگر سودمندی اقتصادی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گونه بود (٦).

سودمندی کشت مخلوط (IA)

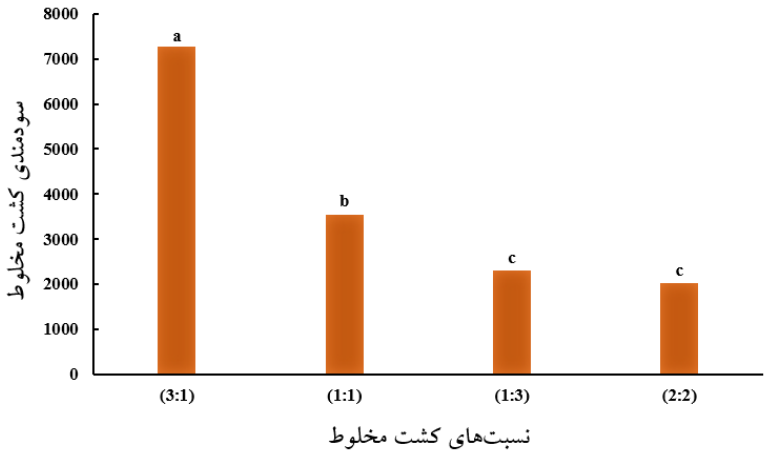
مثبت بودن مقادیر سودمندی کشت مخلوط در تمامی نسبت‌های کشت مخلوط تریتیکاله با ماشک نشان‌دهنده سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط و استفاده بهتر از منابع در دسترس توسط دو گونه در مقایسه با کشت خالص آن‌ها بود. در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، بیشترین مقدرا IA (۷۲۹۵) به تیمار سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) اختصاص داشت (شکل ۷). محققان گزارش کردند که بالاترین مقدار IA در کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای در ترکیب ۵۰ درصد تریتیکاله + ۵۰ درصد ماشک گل‌خوشه‌ای به‌دست آمد که دلیل آن به تشکیل اشکوب‌های مختلف جهت بهره‌برداری بهتر از منابع محیطی از قبیل نور، آب و عناصر غذایی نسبت داده شد (۲۲). در آزمایشی دیگر در کشت مخلوط جو و ماشک گل‌خوشه‌ای گزارش شد که بیشترین میزان IA به تیمار افزایشی ۱۰۰:۱۵ ماشک گل‌خوشه‌ای:جو اختصاص داشت. کمترین میزان این شاخص نیز به تیمار افزایشی ۱۰۰:٤٥ ماشک گل‌خوشه‌ای:جو تعلق داشت که احتمالاً ناشی از رقابت برون گونه‌ای بیشتر دو گیاه در این تیمار بود (۱).



شکل ٦. مجموع ارزش نسبی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک طی سال‌های ١٤٠٤-١٤٠٢

نسبت ۱:۳ (سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۱:۱ (یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۳:۱ (یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک) و نسبت ۲:۲ (دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک)

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



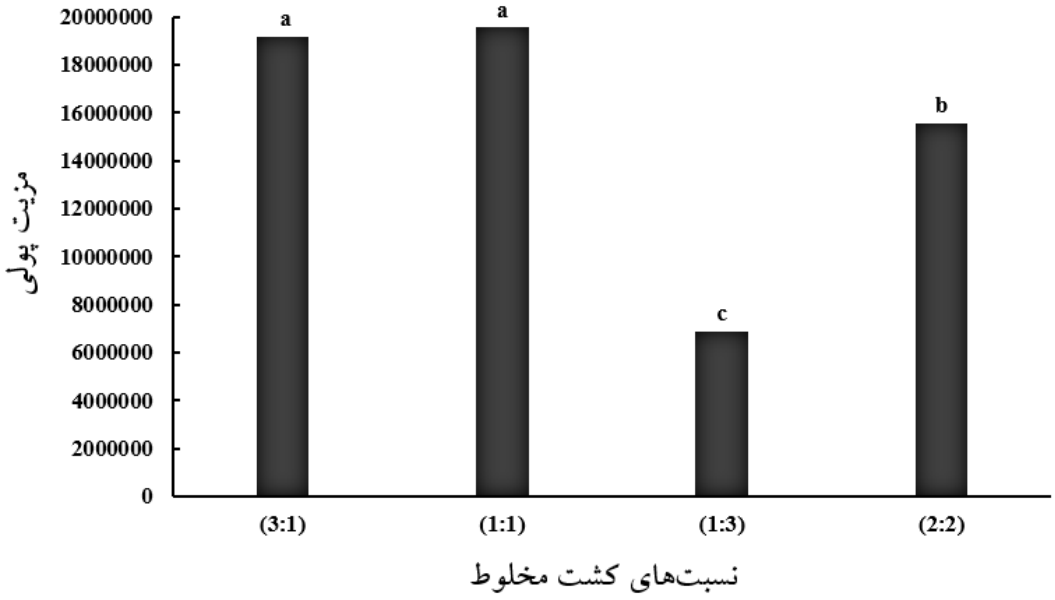
شکل ۷. شاخص سودمندی کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت طی سال‌های ١٤٠٤-١٤٠٢

نسبت ۱:۳ (سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۱:۱ (یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۳:۱ (یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک) و نسبت ۲:۲ (دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک)

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

مزیت پولی (MAI)

با توجه به نحوه محاسبه شاخص مزیت پولی (رابطه ۷)، الگوهای کشت مخلوط تنها زمانی به کشت خالص دو گونه مزیت دارند که دارای مزیت اکولوژیک (LER>1) نیز باشند (۱۸). نتایج نشان داد که بیشترین مقدار MAI به‌ترتیب در تیمارهای یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱۹۵۸۵٦۷۷) و سه ردیف



شکل ۸. مزیت پولی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

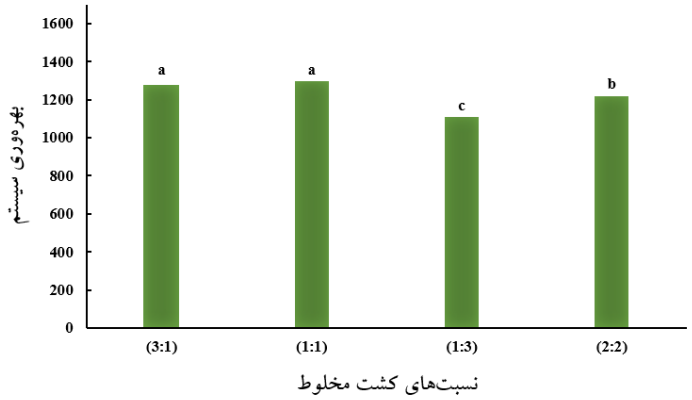
نسبت ۱:۳ (سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۱:۱ (یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۳:۱ (یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک) و نسبت ۲:۲ (دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک)

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱۹۱۷۵۰۴۸) به‌دست آمد (شکل ۸). از آن‌جایی‌که شاخص MAI با شاخص‌های LER و K کل رابطه مستقیمی دارد، بنابراین بیشتر بودن MAI در تیمارهای یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۱) و سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) را می‌توان به افزایش LER و K کل در این تیمارها نسبت داد (۱۸). همسو با این نتایج، اکبری و همکاران (۲) در کشت مخلوط ذرت و لوبیا گزارش کردند که نتایج شاخص MAI با نتایج شاخص‌های LER و K کل مطابقت داشت، به‌طوری‌که تیمارهای دارای LER و K کل بیشتر، از لحاظ اقتصادی نیز سودمندتر بودند. نتایج آزمایشی دیگر نشان داد که مقادیر MAI در الگوهای کشت مخلوط جایگزینی گندم و نخود مثبت بود و بیشترین میزان آن (۶۹۴۳۱) به الگوی کشت یک ردیف گندم + یک ردیف نخود تعلق داشت که دلیل آن به استفاده بهتر از منابع در دسترس توسط دو گونه در مقایسه با کشت خالص آن‌ها نسبت داده شد (۱۱).

بهره‌وری سامانه (SPI)

شاخص بهره‌وری سامانه از جمله شاخص‌های دیگری است که برای ارزیابی کارایی سامانه کشت مخلوط مورد استفاده قرار می‌گیرد. بالاتر بودن این شاخص بیانگر افزایش کارایی کشت مخلوط است. طبق نتایج شکل ۹، مقادیر شاخص SPI در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک مثبت بود که نشان‌دهنده سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص دو گونه است. بر اساس نتایج، بیشترین میزان شاخص SPI به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۳۰۱ و ۱۲۷۹ در تیمارهای یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۱) و سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) به‌دست آمد. کمترین مقدار این شاخص نیز در تیمار یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک (۳:۱) حاصل شد. در مجموع، بررسی روند نتایج بیانگر نقش مؤثر تریتیکاله در افزایش بهره‌وری سامانه کشت مخلوط بود. محققان در ارزیابی شاخص SPI در کشت مخلوط جو و نخود گزارش کردند که مقادیر این شاخص در تمامی الگوهای کشت



شکل ۹. بهره‌وری سامانه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

نسبت ۱:۳ (سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۱:۱ (یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک)، نسبت ۳:۱ (یک ردیف تریتیکاله + سه ردیف ماشک) و نسبت ۲:۲ (دو ردیف تریتیکاله + دو ردیف ماشک)

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

مخلوط مثبت بود و بیشترین مقدار آن در الگوی کشت ۷۵ درصد جو + ۲۵ درصد نخود به‌دست آمد (۱۲). نتایج بررسی عملکرد و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای یکساله با جو نشان داد که بیشترین مقدار SPI در تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود علوفه‌ای + ۲۵ درصد جو حاصل شد (۱۶).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه خشک (۱۲۱۵۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پروتئین (۱۶۹۵ کیلوگرم در هکتار) در کشت مخلوط سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) حاصل شد. نسبت برابری زمین در کلیه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک نسبت به کشت خالص این دو گونه بود. محاسبه کاهش واقعی عملکرد کل نشان داد که در تمامی تیمارهای کشت مخلوط مقدار عددی این شاخص مثبت بود و بیشترین میزان آن (۰/۶۲) در تیمار سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) حاصل شد. نتایج شاخص‌های رقابت بیانگر غالبیت تریتیکاله نسبت به ماشک بود. به‌طوری‌که با افزایش نسبت تریتیکاله در کشت مخلوط، قدرت تهاجمی آن به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. مثبت بودن شاخص‌های سودمندی، مزیت پولی و بهره‌وری سامانه نشان‌دهنده سودمندی اقتصادی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گونه بود. بیشترین سودمندی کشت مخلوط (۷۲۹۵) به تیمار سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) اختصاص داشت. همچنین، بیشترین میزان بهره‌وری سامانه به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۳۰۱ و ۱۲۷۹ در تیمارهای یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۱) و سه ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک (۱:۳) به‌دست آمد. بر اساس نتایج، می‌توان عنوان کرد که کشت مخلوط ۱:۳ و ۱:۱ تریتیکاله:ماشک علاوه بر ایجاد تنوع در بوم‌نظام شالیزار و پایداری تولید، می‌تواند موجب افزایش درآمد اقتصادی شالیکاران و افزایش بهره‌وری زمین شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله برخود لازم می‌دانند که از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و موسسه تحقیقات برنج کشور، جهت حمایت‌های مادی لازم برای اجرای این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

1. Ahmadi, A., A. Dabbagh Mohammdi Nasab, S. Zehtab Salmasi, R. Amini and H. Janmohammadi. 2009. Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 20(4): 77-87. (In Farsi).
2. Akbari, F., M. Dahmardeh, A. Morshedi, A. Ghanbari and S. Khorramdel. 2025. Evaluation of the competitive indices and economical adavantage of corn (*Zea mays* L.)- bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping under the influence of tillage levels, crop residues, and planting patterns. *Iranian Journal of Field Crops Research* 23(3): 341-357. (In Farsi).
3. Asadi, G., S. Khorramdel, R. Shahriary, F. Ranjbar and M. Aghhavani Shajari. 2017. Effect of replacement intercropping ratios of sweet corn with bean varieties on yield and yield components. *Iranian Journal of Pulses Research* 8(2): 192-204. (In Farsi).
4. Contreras Paco, J. L., H. Ramírez Rivera, M. Tunque Quispe, Y. R. Aroni Quintanilla and J. Curasma Ccente. 2020. Productive and nutritional aspects of forages oats and barley alone and consociated to vetch in high Andean conditions. *MOJ Food Processing and Technology* 8(2): 56-65.
5. Esmaeilian, Y., M. Eshghizadeh and A. Tavassoli. 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. (In Farsi).
6. Fotohi-Chianeh, S., A. Javanshir, A. Dabbagh Mohammadi Nassab, E. Zande, F. Razavi and E. Rezaei-Chianeh. 2012. Effect of various corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping densities on crop yield and weed biomass. *Journal of Agroecology* 4(2): 131-143. (In Farsi).
7. Gholipour, M. and P. Sharifi. 2018. Yield and productivity indices of common bean and sunflower intercropping in different planting ratios. *Journal of Plant Ecophysiology* 10(33): 127-137. (In Farsi).
8. Haghaninia, M., A. Javanmard and S. Mollaaliabasiyan. 2018. Evaluation of forage yield and quality and advantages of barley (*Hordeum vulgare* L.)-grass pea (*Lathyrus sativus* L.) intercropping using mycorrhiza. *Journal of Agricultural Science and Sustanable Production* 28(3): 221-242. (In Farsi).
9. Hong, Y., N. Heerlink, M. Zhao and W. van der Werf. 2019. Intercropping contributes to a higher technical efficiency in smallholder farming: evidence from a case study in Gaotai County, China. *Agricultural Systems* 173: 317-324.
10. Javanmard, A., A. Dabbagh Mohammadi Nasab, Y. Nasiri and F. Shekari. 2014. Evaluation of forage yield and some advantage indices in intercropping corn with different legume as double cropped. *Journal of Crop Production and Processing* 4(12): 39-52. (In Farsi).
11. Javanmard, A., A. Rostami, M. Nouraein and G. Gharekhany. 2015. Agronomical, ecological and economical evaluation of wheat- chickpea intercropping under rainfed condition of maragheh. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 26(1): 19-37. (In Farsi).
12. Javanmard, A., M. Amani Machiani and S. B. Mousavi. 2018. Evaluation of competition and advantage in barley (*Hordeum vulgare* L.) and forage pea (*Pisum sativum* L.) intercropping under rainfed condition. *Journal of Agricultural Science and Sustainable* 28(3): 1-17.
13. Jeylani, M., H. Ajam Norouzi and M. Rabiee. 2015. Effect of planting bed on quantity and quality of hay in different mixing ratio of barley and vetch in rainfed condition of Rasht area. *Research in Crop Ecosystems* 2(3): 23-35. (In Farsi).
14. Khraryan, B., F. Farahvash, S. Mohammadi, B. Mirshekari and V. Rashidi. 2024. Evaluation of quantitative and qualitative of forage yield in intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) with vetch (*Vicia Villosa* Roth). *Crop Physiology Journal* 16(63): 59-77. (In Farsi).
15. Kugbe, X. J., R. N. Yaro, J. K. Soyel, E. S. Kofi and P. Ghaney. 2018. Role of intercropping in modern agriculture and sustainability: A Review. *British Journal of Science* 16(2): 67-75.
16. Lamei Hervani, J. 2013. Assessment of dry forage and crude protein yields, competition and advantage indices in mixed cropping of annual forage legume crops with barley in rainfed conditions of Zanjan province in Iran. *Seed and Plant Production Journal* 29(2):169-183. (In Farsi).
17. Lan, Y., Y. ZhangHe, C. Jiang, M. Yang and S. Ye. 2023. Legume-bacteria-soil interaction networks linked to improved plant productivity and soil fertility in intercropping systems. *Industrial Crops and Products* 196(3): 116504.
18. Lithourgidis, A. S., D. N. Vlachostergios, C. A. Dordas and C. A. Damalas. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy* 34(4): 287-294.
19. Nasiri, B., A. Daraei Mofrad and S. H. Hosseinian. 2015. Evaluation of qualitative and quantitative of forage in additive series intercropping of triticale and broad leaf vetch in dry land conditions. *Research in Crop Ecosystems* 2(2): 37-48. (In Farsi).
20. Rabiee, M. and F. farahdahr. 2020. Evaluation of yield and advantages of forage legumes with cereals intercropping as second crop in paddy fields. *Plant Productions* 43(3): 363-374. (In Farsi).

21. Rabiee, M. and S. Shaker kouhi. 2025. Best intercropping systems after rice harvesting in paddy fields of Guilan province. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 10(1): 33-44. (In Farsi).
22. Sadra, T. and J. Hamzei. 2021. Evaluation of the efficiency of triticale (*Triticosecale* wittmack) intercropping with winter vetch (*Vicia villosa* L.) by competitive indices under different tillage systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 31(3): 1-18. (In Farsi).
23. Salama, H. S. A. 2020. Mixture cropping of berseem clover with cereals to improve forage yield and quality under irrigated conditions of the Mediterranean basin. *Annals of Agricultural Sciences* 65(2): 159-167.
24. Shaker Kouhi, S. and S. Nasrollahzadeh. 2014. Evaluation of yield and advantage indices of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and mung bean (*Vigna radiate* L.) intercropping systems. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 2(1): 151-160.
25. Tabatabaei, S. A. and G. H. Ranjbar. 2012. Effect of different levels of nitrogen and potassium on grain yield and protein of triticale. *International Research Applied and Basic Sciences* 3(2): 390-393.
26. Tzemi, D., P. Peltonen-Sainio, T. Palosuo, J. Rämö and H. Lehtonen. 2025. Profitability of intercropping legumes with cereals: A farm-level analysis. *Journal of Agriculture and Food Research* 21: 101804.
27. Ul-Allah, S., A. A. Khan, T. Fricke, A. Buerkert and M. Wachendorf. 2014. Fertilizer and irrigation effects on forage protein and energy production under semi-arid conditions of Pakistan. *Field Crops Research* 159: 62-69.
28. Yilmaz, S., A. Ozel, M. Atak and M. Erayman. 2015. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39(1): 135-143.
29. Zarei Chaleshtari, S., A. Ayeneband and S. Karami. 2024. Comparison of forage production potential in berseem clover– proso millet intercropping with sole cropping in cold regions. *Applied Field Crops Research* 36(2): 57-40. (In Farsi).
30. Zhang, Y., J. Liu, J. Zhang, H. Liu, S. Liu, L. Zhai, H. Wang, Q. Lei, T. Ren and C. Yin. 2015. Row ratios of intercropping maize and soybean can affect agronomic efficiency of the system and subsequent wheat. *Plos One* 10(6): e0129245.