



Agronomic, Ecological, and Economic Evaluation of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Vetch (*Vicia panonica*) Intercropping in Rotation with Rice (*Oryza sativa* L.) in Paddy Fields

Mohammad Rabiee^{1*} and Sajjad Shaker Kouhi¹

1- Department of Seed Improvement, Rice Research Institute, Rasht, Iran

(* - Corresponding author's Email: m.rabiee@areeo.ac.ir)

Received: 25-04-2026
Revised: 26-07-2026
Accepted: 29-07-2026
Available Online: 22-06-2026

How to cite this article:

Rabiee, M., & Shaker Kouhi, S. (2026). Agronomic, ecological, and economic evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and vetch (*Vicia panonica*) intercropping in rotation with rice (*Oryza sativa* L.) in paddy fields. *Journal of Agroecology*, 18(2), 229-246. (In Persian)
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.98402.1272>

Introduction

Intercropping is the growing of two or more crop species simultaneously in the same field during a growing season. This system has been considered a method in which resources can be utilized more efficiently, consequently improving plant production. Intercropping annual forage legumes with winter cereals after rice (*Oryza sativa* L.) harvesting in paddy fields of the Northern provinces of Iran can be an effective strategy to provide fodder for livestock, increase land productivity, improve the sustainability of rice production, increase paddy farmers' income, and thus prevent migration of villagers. Therefore, this study was carried out with the aim of agronomical, ecological, and economic evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and vetch (*Vicia panonica*) intercropping in rotation with rice in paddy fields of Guilan province.

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 barley and vetch with replacement ratios of 3:1 (three rows of barley + one row of vetch), 1:3 (one row of barley + three rows of vetch), 1:1 (one row of barley + one row of vetch), and 2:2 (two rows of barley + two rows of vetch), and sole cropping of barley and vetch. In this study, traits such as fresh and dry forage yield, crude protein content, protein yield and forage ash were evaluated. The beneficial indicators of intercropping, including land equivalent ratio², actual yield loss³, relative crowding coefficient⁴, intercropping advantage⁵, monetary advantage index,¹ and system productivity



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.98402.1272>

- 1- SPI
- 2- LER
- 3- AYL
- 4- K
- 5- IA

index, were calculated.

Results and Discussion

The results of combined analysis of variance indicated that the cropping pattern had a significant effect on all studied traits. Mean comparison showed that the first year of the experiment had higher fresh and dry forage yields (40661 and 9977 kg ha⁻¹, respectively) compared to the second year. Among different planting patterns, the highest fresh forage yield (42325 kg ha⁻¹) and dry forage yield (11550 kg ha⁻¹) were obtained from 1:1 barley: vetch intercropping. The ratio of 3:1 barley: vetch was in the next position. The lowest fresh forage yield (36535 kg ha⁻¹) and dry forage yield (7095 kg ha⁻¹) were related to monoculture of vetch. Increasing vetch percentage in intercropping resulted in increased crude protein content, forage ash, and consequently, increased forage quality. The maximum protein yield (1548 kg ha⁻¹) was obtained from 1:1 barley: vetch intercropping. LER in all intercropping treatments was more than one, except the 1:3 barley: vetch treatment. The highest values of this index were obtained in the 1:1 and 3:1 barley: vetch treatments, respectively. The total AYL values were positive for ratios of 3:1, 1:1, and 2:2 barley: vetch. The ratio of 1:1 barley: vetch had the highest total AYL (0.68). The higher values of the K index for barley indicate the competitive superiority of barley over vetch. The maximum value of total K (5.55) was revealed at a ratio of 1:1 barley: vetch. The ratio of 3:1 barley: vetch was also ranked next. The ratios of 3:1, 1:1, and 2:2 barley: vetch with IA (7554), (6230), and (3446) were ranked first to third, respectively. The highest MAI was observed in the ratios of 1:1 (29449141) and 3:1 (20246333) barley: vetch, 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 (1579) and 3:1 (1511) barley: vetch treatments, respectively.

Conclusion

According to the results of the present study, to achieve optimal yield, as well as greater economic advantage, the ratios of 1:1 and 3:1 barley: vetch are recommended as the most suitable intercropping combinations for the second crop after rice harvesting in paddy fields of Guilan province, respectively.

Keywords: Advantage, Forage yield, Land equivalent ratio, Second crop, System productivity.

مقاله پژوهشی

جلد ۱۸، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، ص ۲۴۶-۲۲۹

ارزیابی زراعی، بوم‌شناختی و اقتصادی کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و ماشک (*Vicia panonica*) در تناوب با برنج (*Oryza sativa* L.) در شالیزار

محمد ربیعی^{۱*} و سجاد شاکرکوهی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۷

چکیده

به منظور بررسی زراعی، بوم‌شناختی و اقتصادی کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و ماشک (*Vicia panonica*) در تناوب با برنج (*Oryza sativa* L.) در شالیزار، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور در شهرستان رشت به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل کشت مخلوط جو و ماشک با نسبت‌های جایگزینی سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۳)، یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱)، یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) و دو ردیف جو + دو ردیف ماشک (۲:۲) و کشت خالص دو گونه بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه تر (۴۴۵۷۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد علوفه خشک (۱۲۱۵۷ کیلوگرم در هکتار) از کشت مخلوط ۱:۱ جو: ماشک حاصل شد. با افزایش نسبت ماشک در کشت مخلوط، میزان پروتئین خام، خاکستر علوفه و به تبع آن کیفیت علوفه افزایش یافت. نسبت برابری زمین (LER) در کلیه تیمارهای کشت مخلوط به جز تیمار ۳:۱ جو: ماشک، بیشتر از یک بود. محاسبه شاخص‌های اقتصادی نشان داد که بیشترین سودمندی کشت مخلوط (IA) و مزیت پولی (MAI) به ترتیب با میانگین‌های ۷۵۵۴ و ۲۹۴۴۹۱۴۱ به تیمارهای ۱:۳ و ۱:۱ جو: ماشک اختصاص داشت. شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) نیز در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط مثبت بود. براساس نتایج، جهت حصول عملکرد مناسب علوفه، افزایش کارایی استفاده از زمین و سودمندی اقتصادی بیشتر، کشت مخلوط جو و ماشک با نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۳ به عنوان کشت دوم پس از برداشت برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان قابل توصیه می‌باشد.

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

مقدمه

کشت اشاره به الگویی دارد که با بهره‌گیری از تفاوت‌های آشیان اکولوژیک گونه‌های گیاهی سبب اختلاف در نیازهای محیطی در زمان و مکان شده و استفاده بهتر از محیط رشد را فراهم می‌نماید (Esmailian et al., 2022). استفاده از کشت مخلوط به عنوان جزئی مرسوم از مدیریت بوم‌نظام‌های زراعی در بسیاری از مناطق جهان ثابت کرده که این سیستم کشت می‌تواند مزایای بسیاری را به همراه داشته باشد. از جمله مزایای این سیستم کشت می‌توان به افزایش عملکرد در واحد سطح، کاهش ریسک تولید، افزایش تنوع زیستی، مدیریت بهتر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، افزایش کیفیت خاک و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی از طریق کاهش

با افزایش جمعیت جهان و تخریب منابع طبیعی، رویکردهای نوین و پایدار برای تضمین امنیت غذایی ضروری به نظر می‌رسد. یکی از روش‌ها و الگوهای کشتی که می‌تواند در این زمینه مورد توجه قرار گیرد، کشت مخلوط یا تنوع و دگرگونی در بوم‌نظام‌ها است (Maitra et al., 2021). کشت مخلوط به صورت کشت هم‌زمان دو و یا چند گیاه زراعی در یک قطعه زمین تعریف می‌شود. این سیستم

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

(Email: m.rabiee@areeo.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.98402.1272>

مصرف سموم و کودهای شیمیایی، اشاره کرد (Kugbe et al., 2018; Lan et al., 2024). به‌طور کلی، کشت مخلوط به‌دلیل استفاده بهینه از فضای کل قابل دسترس، کاهش کاربرد ماشین‌آلات کشاورزی و استفاده بهتر از مواد مغذی و رطوبت می‌تواند بهره‌وری اقتصادی را نسبت به کشت خالص افزایش دهد (Cuartero et al., 2022). تفاوت سیستم ریشه‌ای، ارتفاع بوته و سطح برگ در گونه‌های کشت مخلوط موجب افزایش جذب آب، عناصر غذایی و تشعشع خورشیدی شده و در نتیجه، افزایش عملکرد را به دنبال خواهد داشت. به عبارت دیگر، حداکثر عملکرد در کشت مخلوط زمانی حاصل می‌شود که گیاهان تشکیل‌دهنده از نظر ویژگی‌های ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی و میزان استفاده از منابع طبیعی با یکدیگر متفاوت باشند (Wang et al., 2018).

جایگزین کردن شیوه‌های چندکشتی به‌جای تک‌کشتی برنج (*Oryza sativa* L.)، یکی از شیوه‌های افزایش بهره‌وری از اراضی شالیزاری می‌باشد. اراضی شالیزاری شمال کشور از پتانسیل بالایی برای کشت دوم پس از برداشت برنج برخوردار هستند. علی‌رغم پتانسیل بالای این اراضی جهت کشت دوم در پاییز، متأسفانه بیشتر آن‌ها در نیمه دوم سال که می‌توانند جهت جبران بخشی از نیازهای غذایی و علوفه‌ای منطقه مورد استفاده قرار گیرند، بدون استفاده باقی می‌مانند. 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 (Rabiee & farahdahr, 2020). یکی از عوامل مهم محدودکننده در توسعه دامپروری و تولیدات دامی، تأمین علوفه مورد نیاز دام‌ها می‌باشد. به‌طوری که واردات علوفه و دانه‌های علوفه‌ای بخش قابل توجهی از واردات کشور را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین، ضرورت تولید علوفه روزبه‌روز بیشتر احساس می‌شود (Shafagi et al., 2020). در این راستا، استفاده از گیاهان علوفه‌ای پاییزه با قابلیت کشت در اراضی شالیزاری که عملکرد بالا و کیفیت مطلوبی دارند، علاوه‌بر تأمین علوفه مورد نیاز دام‌ها، می‌تواند نقش مهمی در کشاورزی پایدار و برقراری نظام چندکشتی ایفا نماید. کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای به‌ویژه گیاهان تیره بقولات در تناوب با برنج می‌تواند موجب افزایش فعالیت‌های بیولوژی خاک، حفاظت خاک در برابر عوامل فرسایش‌دهنده، توسعه صنعت دامپروری و افزایش تولید گردد. 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 علاوه‌بر کاهش فشار به منابع آبی و کاهش هزینه تولید، می‌تواند گامی مؤثر در جهت تأمین امنیت غذایی کشور باشد (Rabiee & Shaker Kouhi, 2025).

انتخاب مناسب گونه‌ها در کشت مخلوط به‌منظور بهینه‌سازی استفاده از فضا، زمان و منابع از طریق به حداکثر رساندن اثرات مثبت و به حداقل رساندن اثرات منفی رقابت، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این انتخاب باید به‌نحوی صورت گیرد که قرار گرفتن گونه‌های مختلف در کنار یکدیگر موجب افزایش عملکرد در واحد سطح شده و برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص نمایان شود. لزوم این کار، شناخت کامل گونه‌ها در ارتباط با نیازهای بوم‌شناختی و نحوه پاسخ آن‌ها به محیط است (Darabi, 2025). از جمله ترکیبات مناسب برای کشت مخلوط پس از برداشت برنج در شالیزار می‌توان به ترکیب گیاهان خانواده غلات مانند جو (*Hordeum vulgare* L.) و تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack) با لگوم‌های علوفه‌ای نظیر شبدر برسيم (*Trifolium alexandrinum* L.)، ماشک (*Vicia panonica*) و نخودفرنگی علوفه‌ای (*Pisum sativum* L.) اشاره کرد. در این ترکیب، غلات به‌عنوان یک قیم مناسب برای لگوم‌ها عمل کرده و مشکل برداشت مکانیزه این گیاهان (به‌علت ورس) را برطرف می‌کنند. از طرفی دیگر، لگوم‌های علوفه‌ای باعث افزایش درصد پروتئین و قابلیت هضم، کاهش درصد فیبر خام و در نهایت افزایش کیفیت علوفه در کشت مخلوط می‌شوند. همچنین این گیاهان از طریق افزایش ماده آلی خاک و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن منجر به کاهش مصرف کود نیتروژن و در نتیجه کاهش هزینه تولید می‌گردند (Tzemi et al., 2025; Rabiee & Shaker Kouhi, 2025). با توجه به اینکه کشت متوالی برنج به‌دلیل شرایط غرقابی و عملیات گل‌خرابی سبب تخریب ساختمان خاک، کاهش فعالیت ریزجانداران و واکنش‌های بیوشیمیایی می‌شود، کشت بقولاتی نظیر ماشک پس از برداشت برنج می‌تواند موجب افزایش فعالیت‌های میکروبیولوژی خاک شده و فرآیند معدنی شدن نیتروژن را تسریع نماید (Benintende et al., 2008). نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله بقولات به‌صورت آلی در بقایای ریشه باقی مانده و به‌تدریج از طریق فرآیند معدنی شدن در اختیار گیاه بعدی (برنج) قرار می‌گیرد و از این طریق می‌تواند تا ۵۰ درصد از نیاز برنج به نیتروژن را برطرف کند (Rezaei Noupashani & Aminpanah, 2018).

مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت طراحی و اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل کشت مخلوط جو و ماشک با نسبت‌های جایگزینی سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۳)، یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱)، یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) و دو ردیف جو + دو ردیف ماشک (۲:۲) و کشت خالص دو گونه بودند. بذور جو (رقم گلچین) از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و بذور ماشک (رقم لامعی) از مؤسسه 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 خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید (جدول ۱). الگوی تغییرات جوی محل اجرای آزمایش شامل میانگین درجه حرارت و مجموع بارندگی منطقه طی سال‌های زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۴ در شکل ۱ ارائه شده است.

اجرای سیستم‌های کشت مخلوط برپایه گیاهان علوفه‌ای در تناوب پس از برنج در اراضی شالیزاری می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مناسب برای تولید علوفه با کمیت و کیفیت بالا در نظر گرفته شود. در این راستا، معرفی و انتخاب گونه‌های مناسب و تعیین بهترین الگو و نسبت کاشت آن‌ها در موفقیت و توسعه سیستم‌های کشت مخلوط از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی زراعی، بوم‌شناختی و اقتصادی کشت مخلوط جو و ماشک به‌عنوان کشت دوم پس از برداشت برنج در اراضی شالیزاری گیلان انجام شد.

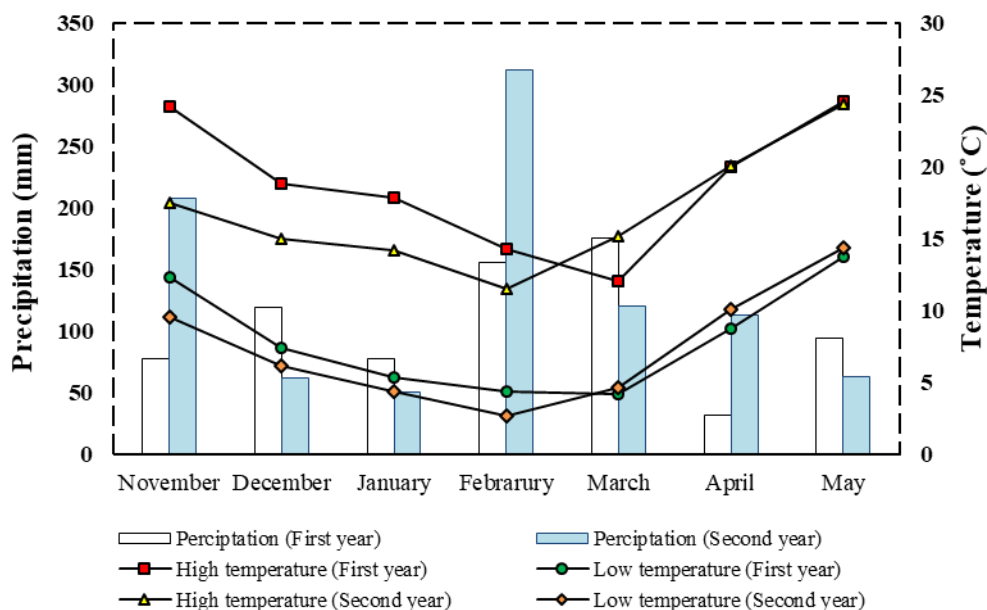
مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ و ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در مزرعه پژوهشی

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil at the experiment site

هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (mg kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available phosphorous (mg kg ⁻¹)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته pH	بافت Texture
0.76	175	19.1	0.128	1.24	7.1	رسی-سیلتی Clay-silty



شکل ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش (۱۴۰۲-۱۴۰۴)

Fig. 1- Meteorological information of the experiment site (2023-2025).

سودمندی کشت مخلوط (IA^4)، مزیت پولی (MAI^5) و بهره‌وری سیستم (SPI^6) براساس معادله‌های ۱ تا ۶ استفاده شد (Lithourgidis et al., 2011; Zhang et al., 2015).

$$LER = (Y_{ab}/Y_{aa}) + (Y_{ba}/Y_{bb}) \quad (۱) \text{ معادله}$$

$$LER = LER_a + LER_b$$

$$AYL = AYL_a + AYL_b \quad (۲) \text{ معادله}$$

$$AYL_b = [LER_b \times (100/Z_{ba})] - 1 \quad (۱)$$

$$AYL_a = [LER_a \times (100/Z_{ab})]$$

$$K = K_a \times K_b \quad (۳) \text{ معادله}$$

$$K_b = Y_{ba}Z_{ab}/(Y_{bb} - Y_{ba}) Z_{ba}$$

$$K_a = Y_{ab}Z_{ba}/(Y_{aa} - Y_{ab}) Z_{ab}$$

$$IA_b = AYL_b \times Pb \quad (۴) \text{ پمعادله}$$

$$IA = IA_a + IA_b \quad IA_a = AYL_a \times Pa$$

(۵) معادله

$$MAI = (Y_{ab}Pa + Y_{ba}Pb) \times (LER - 1/LER)$$

$$SPI = (Y_{aa}/Y_{bb}) \times (Y_{ab} + Y_{ba}) \quad (۶) \text{ معادله}$$

که در آن‌ها، LER_a و LER_b : به‌ترتیب نسبت برابری زمین جزئی جو و ماشک، Y_{ba} و Y_{ab} : به‌ترتیب عملکرد علوفه جو و ماشک در کشت مخلوط (کیلوگرم در هکتار)، Y_{aa} و Y_{bb} : به‌ترتیب عملکرد علوفه در کشت خالص جو و ماشک (کیلوگرم در هکتار)، AYL_a و AYL_b : به‌ترتیب کاهش واقعی عملکرد جو و ماشک در کشت مخلوط، Z_{ba} و Z_{ab} : به‌ترتیب نسبت جو و ماشک در کشت مخلوط (درصد) و P_a و P_b : به‌ترتیب قیمت علوفه خشک جو (۸۰۰۰۰ ریال در سال اول و ۱۰۰۰۰۰ ریال در سال دوم) و ماشک (۱۲۰۰۰۰ ریال در سال اول و ۱۵۰۰۰۰ ریال در سال دوم) می‌باشند.

جهت حفظ و پایداری شیوه زراعی مبتنی برپایه برنج (اجرای تناوب) و بررسی اثر کشت مخلوط جو و ماشک بر عملکرد برنج، پس از برداشت محصولات علوفه‌ای، کشت برنج رقم هاشمی در بهار سال‌های ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ در زمین مورد نظر صورت گرفت. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت. بررسی توزیع نرمال

پس از برداشت برنج، عملیات شخم 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 به‌میزان دو لیتر در هکتار استفاده شد. به‌منظور خروج آب اضافی در اثر بارندگی‌های سنگین احتمالی و ایجاد شرایط مناسب برای کشت، زهکش‌هایی به‌عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متر و به‌عرض ۳۰-۲۵ سانتی‌متر دور تا دور زمین و همچنین مابین تکرارها احداث گردید. تاریخ کاشت در هر دو سال آزمایش، نهم آبان بود. هر کرت شامل هشت خط کاشت به‌طول هفت متر و با فاصله بین تکرارها نیز سه متر در بود. فواصل بین کرت‌ها دو متر و فاصله بین تکرارها نیز سه متر در نظر گرفته شد. میزان بذر مصرفی برای جو و ماشک به‌ترتیب ۱۴۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. مبارزه با آفت حلزون در ابتدای سبز شدن بذور و در مرحله سه تا چهار برگ با استفاده از سم متالدهاید (سه کیلوگرم در هکتار) انجام شد. برداشت علوفه در مرحله شیر شدن دانه‌های جو و مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی ماشک (اوایل اردیبهشت) صورت گرفت. با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در توسعه کشت دوم پس از برداشت برنج در شالیزار، تداخل زمان برداشت محصولات دوم با نشاء برنج می‌باشد، دلیل انتخاب زمان برداشت علوفه جو و ماشک، جلوگیری از این هم‌پوشانی بود. جهت تعیین عملکرد علوفه تر در واحد سطح با حذف خطوط کناری و یک متر از بالا و پایین هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، علوفه برداشت و بلافاصله توزین شد. برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک، یک کیلوگرم علوفه تر از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. میزان پروتئین خام علوفه از طریق اندازه‌گیری درصد نیتروژن نمونه‌ها به‌روش کج‌لدال و ضرب کردن آن در عدد ثابت ۶/۲۵ محاسبه گردید (Tabatabaei & Ranjbar, 2012). عملکرد پروتئین نیز از حاصل ضرب پروتئین خام و عملکرد علوفه خشک به دست آمد (Ul-Allah et al., 2014). برای اندازه‌گیری خاکستر علوفه از کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد استفاده گردید. برای ارزیابی سودمندی و کارایی کشت مخلوط، از شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER^1)، کاهش واقعی عملکرد (AYL^2)، ضریب ازدحام نسبی (K^3), 3- Relative crowding coefficient

4- Intercropping advantage

5- Monetary advantage index

6- System productivity index

1- Land equivalent ratio

2- Actual yield loss

داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام شد. پس از انجام آزمون یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی (آزمون بارتلت) و اطمینان از یکنواخت بودن خطاهای آزمایشی در سال‌های مختلف، تجزیه مرکب داده‌ها صورت گرفت. تجزیه مرکب با فرض تصادفی بودن سال و ثابت بودن تیمارهای آزمایشی برای صفات مورد نظر انجام شد. مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه تر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال و الگوی کشت در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد علوفه تر معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین، سال اول آزمایش (۴۰۶۶۱ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سال دوم (۳۸۷۹۸ کیلوگرم در هکتار) از نظر عملکرد علوفه تر از برتری معنی‌داری برخوردار بود (جدول ۳). بیشتر بودن عملکرد علوفه تر در سال اول را می‌توان به شرایط مساعد آب‌وهوایی در این سال (بارندگی کمتر و در نتیجه شرایط غرقابی کمتر، دمای بالاتر و مجموع ساعات آفتابی بیشتر) و در نتیجه ایجاد پوشش گیاهی

مناسب‌تر و رشد رویشی بیشتر نسبت داد. در بین الگوهای مختلف کشت، بیشترین عملکرد علوفه تر به‌ترتیب با میانگین‌های ۴۲۳۲۵ و ۴۱۱۶۳ کیلوگرم در هکتار به تیمارهای یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) و سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۳) اختصاص داشت. با افزایش درصد ماشک در کشت مخلوط از عملکرد علوفه تر کاسته شد و در تیمار کشت خالص ماشک به حداقل مقدار خود (۳۶۵۳۵ کیلوگرم در هکتار) رسید (جدول ۳). افزایش نسبت جو در کشت مخلوط، تأثیر معنی‌داری بر جبران کاهش عملکرد علوفه ماشک داشت که این مهم از طریق افزایش عملکرد جو حاصل شد. افزایش عملکرد علوفه تر در کشت مخلوط را می‌توان به تفاوت در ساختار ریخت‌شناسی جو و ماشک برای استفاده بهتر از منابع نسبت داد. به‌طوری که حضور گیاه جو با ریشه‌های سطحی و افشان در مجاورت گیاه ماشک که دارای ریشه‌های عمیق‌تری می‌باشد، موجب می‌شود که ریشه این گیاهان در سطوح مختلف خاک پراکنده شده و در مجموع آب و مواد غذایی بیشتری از حجم معینی از خاک جذب گردد که منجر به افزایش عملکرد می‌گردد (Lameie-Harvani, 2013).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات کمی و کیفی علوفه در الگوهای مختلف کشت طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴
Table 2- Combined variance analysis for qualitative and quantitative traits of forage in different planting patterns (2023-2025)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	پروتئین خام Crude protein	عملکرد پروتئین Protein yield	خاکستر Ash
سال Year (Y)	1	27556249**	5812117**	0.16 ^{ns}	136407**	0.2 ^{ns}
سال × تکرار Y × R	2	3230419	403886	0.13	8485	0.25
الگوی کشت Planting pattern (CP)	5	31257417**	20285987**	39.03**	256103**	12.19**
سال × الگوی کشت Y × CP	5	774272 ^{ns}	114157 ^{ns}	0.08 ^{ns}	6688 ^{ns}	0.42 ^{ns}
خطا Error	20	4229946	404979	0.52	12111	0.38
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	16.5	13.2	6.8	11.6	5.4

^{ns}: عدم معنی‌داری و * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سال و الگوی کشت بر عملکرد کمی و کیفی علوفه طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

Table 3- Mean comparison for the effects of year and planting pattern on qualitative and quantitative of forage yield (2023-2025)

تیمار Treatment	عملکرد علوفه تر Fresh forage yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد پروتئین Protein yield (kg ha ⁻¹)
سال Year			
سال اول First year	40661	9977	1313
سال دوم Second year	38798	9173	1190
LSD 5%	156.15	512.35	81.64
الگوی کشت Planting pattern			
کشت خالص جو Sole cropping of barley	39209	9700	957
۳ ردیف جو : ۱ ردیف ماشک 3 row of barley : 1 row of vetch	41163	11065	1269
۱ ردیف جو : ۱ ردیف ماشک 1 row of barley : 1 row of vetch	42325	11550	1548
۱ ردیف جو : ۳ ردیف ماشک 1 row of barley : 3 row of vetch	38221	7606	1116
۲ ردیف جو : ۲ ردیف ماشک 2 row of barley : 2 row of vetch	40924	10437	1392
کشت خالص ماشک Sole cropping of vetch	36535	7095	1225
LSD 5%	2432.11	886.44	121.35

میانگین‌های که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح پنج درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌داری هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

علوفه تر، عملکرد علوفه خشک در سال اول آزمایش (۹۹۷۹ کیلوگرم در هکتار) نسبت به سال دوم (۹۱۷۳ کیلوگرم در هکتار) بیشتر بود. عملکرد علوفه خشک در تمامی تیمارهای کشت مخلوط به‌جز تیمار یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱)، بیشتر از کشت خالص دو گونه بود. بیشترین عملکرد علوفه خشک به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۱۵۵۰، ۱۱۰۶۵ و ۱۰۴۳۷ کیلوگرم در هکتار به تیمارهای یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱)، سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۳) و دو ردیف جو + دو ردیف ماشک (۲:۲) اختصاص داشت (جدول ۳). بیشتر بودن عملکرد علوفه خشک در این تیمارها را می‌توان به بیشتر بودن عملکرد علوفه تر نسبت داد. به نظر می‌رسد که جو با ارتفاع بیشتر خود تشعشعات ورودی به تاج پوشش سیستم کشت مخلوط را جذب نموده و از طرف دیگر، ماشک با پوشش بیشتر سطح زمین، تشعشعاتی که توسط جو قابل استفاده نبود را جذب کرده و بدین طریق کارایی استفاده از نور و به‌تبع آن عملکرد در کشت مخلوط افزایش یافت (Nassiri Mahallati et al., 2015). محققان

همچنین به‌دلیل اینکه اجزای کشت مخلوط در مصرف منابع محیطی به‌طور مکمل عمل می‌کنند، بنابراین رقابت برون‌گونه‌ای کمتر از رقابت درون‌گونه‌ای بوده که این امر موجب افزایش تولید علوفه در کشت مخلوط می‌شود (Javanmard et al., 2019). محققان در 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، به‌طوری که بیشترین عملکرد علوفه تر به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۹۰۰۰ و ۳۸۱۶۷ کیلوگرم در هکتار از کشت مخلوط افزایشی ۶۰:۱۰۰ و ۴۰:۱۰۰ جو: ماشک به دست آمد (Jeylani et al., 2015).

عملکرد علوفه خشک

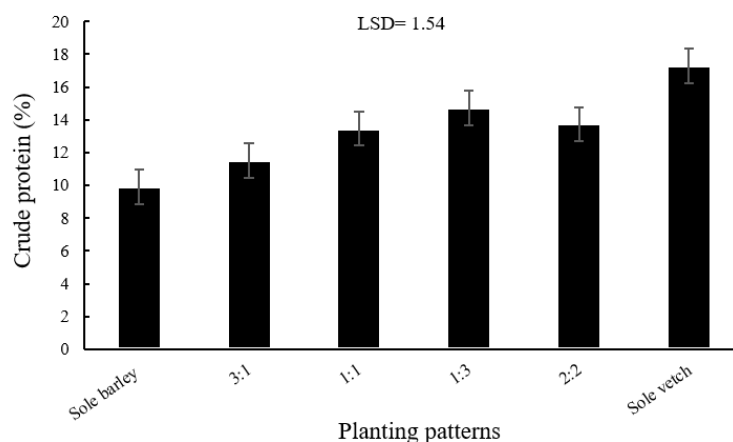
نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار سال و الگوی کشت بر عملکرد علوفه خشک بود (جدول ۲). هم‌راستا با عملکرد

(۳:۱) نسبت به تیمار سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۳)، ۲۲ درصد افزایش نشان داد (شکل ۲). محققان 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 (۲۵/۱۸ درصد) و تیمار ۲۰ درصد جو + ۸۰ درصد ماشک (۲۴/۰۷ درصد) به دست آمد. نتایج آن‌ها نشان داد که در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط با افزایش نسبت ماشک، بر میزان پروتئین خام افزوده شد (Kheradmand et al., 2024). خردمند و همکاران (Lathyrus sativa) و جو گزارش کردند که هرچه از سهم خلر کاسته شد و به سهم جو افزوده شد، میزان پروتئین خام علوفه کاهش یافت، به‌طوری که بیشترین کمترین میزان آن به‌ترتیب در کشت‌های خالص خلر و جو به دست آمد. همبستگی خطی و مثبت بین میزان پروتئین خام علوفه و نسبت لگوم‌ها در کشت مخلوط، در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Lithourgidis et al., 2011; Contreras Paco et al., 2020).

در کشت مخلوط جو و ماشک گزارش کردند که بیشترین عملکرد علوفه خشک (۳۴۱۵ کیلوگرم در هکتار) در کشت مخلوط و در تیمار ۵۰ درصد جو + ۵۰ درصد ماشک حاصل شد (Zeiditoolabi et al., 2021). نتایج آزمایشی دیگر نشان داد که تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد جو + ۵۰ درصد ماشک با تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع بیشترین عملکرد علوفه خشک (۹۵۲۰ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (Shakour Zadeh et al., 2012).

پروتئین خام علوفه

براساس نتایج تجزیه واریانس، بین الگوهای مختلف کشت از نظر میزان پروتئین خام علوفه اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان پروتئین خام به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۷/۲۷ و ۹/۸۹ درصد در کشت‌های خالص ماشک و جو به دست آمد. نتایج بیانگر این موضوع بود که با افزایش سهم ماشک و کاهش سهم جو در کشت مخلوط، میزان پروتئین خام افزایش یافت. به‌طوری که میزان پروتئین خام علوفه در تیمار یک ردیف جو + سه ردیف ماشک



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر الگوی کشت بر پروتئین خام علوفه طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴
Fig. 2- Mean comparison for the effect of planting pattern on forage crude protein (2023-2025).

میانگین‌های که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح پنج درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌داری هستند.
Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

۱۱۹۰ کیلوگرم در هکتار، از عملکرد پروتئین بیشتری برخوردار 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 به نظر می‌رسد. در بین الگوهای مختلف کشت،

عملکرد پروتئین

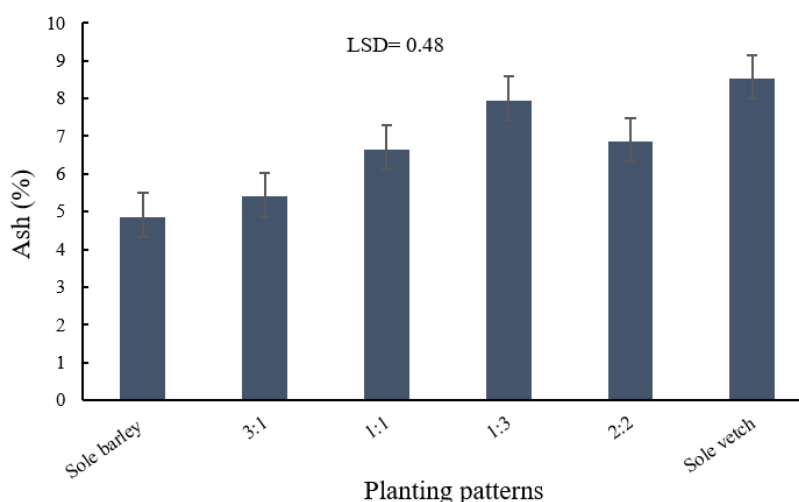
نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال و الگوی کشت بر عملکرد پروتئین علوفه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که سال اول آزمایش با میانگین ۱۳۱۳ کیلوگرم در هکتار نسبت به سال دوم با میانگین

بیشترین عملکرد پروتئین (۱۵۴۸ کیلوگرم در هکتار) به تیمار یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) و کمترین میزان آن به کشت خالص جو (۹۵۷ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت. میانگین افزایش عملکرد پروتئین علوفه در تیمار یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) نسبت به کشت‌های خالص جو و ماشک به ترتیب ۳۸ و ۲۱ درصد بود (جدول ۳). کم بودن عملکرد پروتئین در کشت خالص جو را می‌توان به کمتر بودن میزان پروتئین خام و در کشت خالص ماشک، به کمتر بودن عملکرد علوفه خشک نسبت داد. محققان گزارش کردند که عملکرد پروتئین علوفه در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط جو و ماشک بیشتر از کشت خالص دو گونه بود، به‌طوری که بیشترین میزان آن در کشت مخلوط ۴۰ درصد جو + ۶۰ درصد ماشک به دست آمد (Khraryan et al., 2024). در آزمایشی دیگر، جیلانی و همکاران (Jeylani et al., 2015) گزارش کردند که کلیه تیمارهای کشت مخلوط جو و ماشک از نظر عملکرد پروتئین نسبت به کشت خالص دو گونه دارای برتری معنی‌داری بودند.

خاکستر علوفه

در گیاهان علوفه‌ای، خاکستر هیچ نوع انرژی برای دام تأمین نمی‌کند، اما به‌عنوان یک جزء حیاتی خوراک دام، انواع اصلاح و مواد معدنی مورد نیاز دام اعم از عناصر پرمصرف و عناصر کم‌مصرف را

شامل می‌شود. این مواد جهت ادامه فعالیت‌های متابولیک و سلامت دام لازم هستند. بنابراین، درصد خاکستر به‌طور مستقیم با کیفیت علوفه مرتبط است (Lithourgidis et al., 2011). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین الگوهای مختلف کشت از نظر میزان خاکستر علوفه اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین، کشت خالص ماشک با میانگین ۸/۵۸ درصد بیشترین خاکستر علوفه را به خود اختصاص داد. کمترین میزان خاکستر نیز به ترتیب با میانگین‌های ۴/۹۱ و ۵/۴۴ درصد به کشت خالص جو و تیمار سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۳) اختصاص داشت. نتایج بیانگر این موضوع بود که با افزایش سهم ماشک در کشت مخلوط، میزان خاکستر علوفه افزایش یافت، به‌طوری که میزان آن در تیمار یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱) نسبت به تیمار سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۳)، ۳۲ درصد افزایش نشان داد (شکل ۳). نتایج بررسی عملکرد و صفات کیفی علوفه در کشت مخلوط تریتیکاله با لگوم‌های یک‌ساله نشان داد که افزودن لگوم‌ها به کشت مخلوط موجب افزایش خاکستر علوفه شد، به‌طوری که بیشترین (۱۰ درصد) و کمترین (۵/۳ درصد) میزان خاکستر به ترتیب در نسبت یک ردیف تریتیکاله + یک ردیف ماشک و کشت خالص تریتیکاله حاصل شد (Salehi et al., 2018).



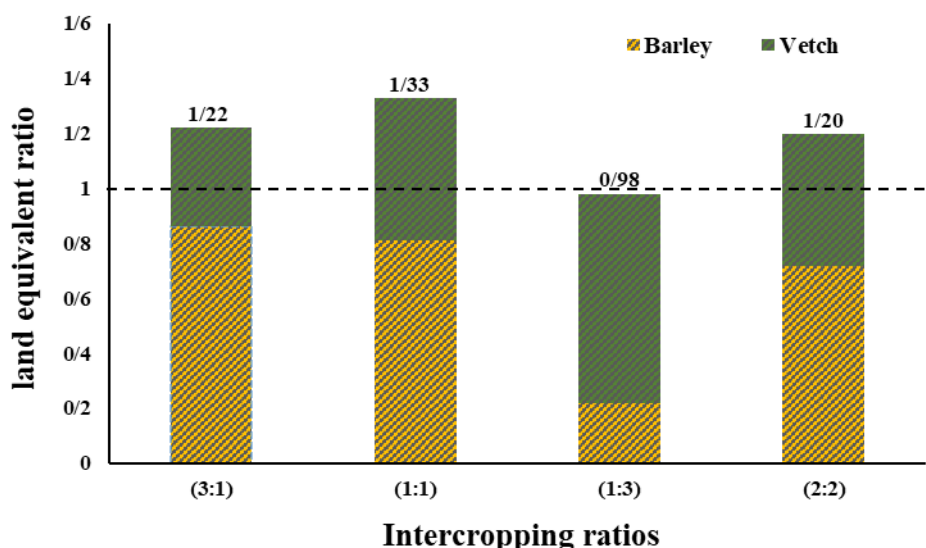
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر الگوی کشت بر خاکستر علوفه طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴
Fig. 3- Mean comparison for the effect of planting pattern on forage ash (2023-2025).

میانگین‌های که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح پنج درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌داری هستند.
Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

نسبت برابری زمین (LER)

نسبت برابری زمین (LER) به عنوان متداول‌ترین شاخص ارزیابی مزیت زراعی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شناخته می‌شود. این شاخص براساس سطح زیرکشت محاسبه می‌گردد و به وسیله آن مشخص می‌گردد که برای به دست آوردن محصول حاصل از یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار زمین به صورت خالص مورد نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود (Lithourgidis et al., 2011). مقدار نسبت برابری زمین از ۱/۳۳ در تیمار یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) تا ۰/۹۸ در تیمار یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱) متغیر بود (شکل ۴). مقدار نسبت برابری زمین بیشتر از یک در نسبت‌های (۱:۳)، (۱:۱) و (۲:۲) جو: ماشک نشان‌دهنده سودمندی این نسبت‌های کشت در مقایسه با کشت خالص دو گونه و به عبارتی دیگر، برتری تسهیل بین‌گونه‌ای به رقابت بین‌گونه‌ای بود. نسبت برابری زمین برابر با ۱/۳۳ در تیمار یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) بیانگر آن است که این نظام کشت مخلوط موجب افزایش ۳۳ درصدی بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص شده است و به عبارتی دیگر، برای دستیابی به عملکرد معادل کشت

مخلوط به ۰/۳۳ واحد زمین بیشتری در کشت خالص نیاز است. همچنین مقایسه نسبت برابری زمین جزئی دو گونه نشان داد که این شاخص برای جو بیشتر از ماشک بود. بنابراین، چنین استنباط می‌شود که جو در کشت مخلوط تأثیر مثبت بیشتری از همراهی با ماشک پذیرفته است. به نظر می‌رسد که ماشک به عنوان یک گیاه لگوم همراه توانسته است با تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و افزایش حاصلخیزی خاک، شرایط مطلوبی برای رشد و حصول عملکرد بالای گیاه اصلی (جو) فراهم کند. ویژگی‌های ساختاری و زیست‌شناسی متفاوت بین بقولات و غلات از عوامل تأثیرگذار بر رقابت بین این گونه‌ها بر سر جذب منابع طبیعی در کشت مخلوط است که موجب بروز روابط هم‌زیستی دوجانبه مثبت شده و در نتیجه آن، کارایی استفاده از زمین در این سیستم کشت افزایش می‌یابد (Akbari et al., 2025). محققان با بررسی عملکرد کمی و کیفی علوفه در کشت مخلوط جو و ماشک گزارش کردند که میزان نسبت برابری زمین در کلیه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود، به طوری که بالاترین مقدار آن (۲/۶) در نسبت ۵۰ درصد جو + ۵۰ درصد ماشک به دست آمد (Zeiditoolabi et al., 2021).



شکل ۴- نسبت برابری زمین در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جو و ماشک طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴

Fig. 4- Land equivalent ratio in different ratios of barley- vetch intercropping (2023-2025).

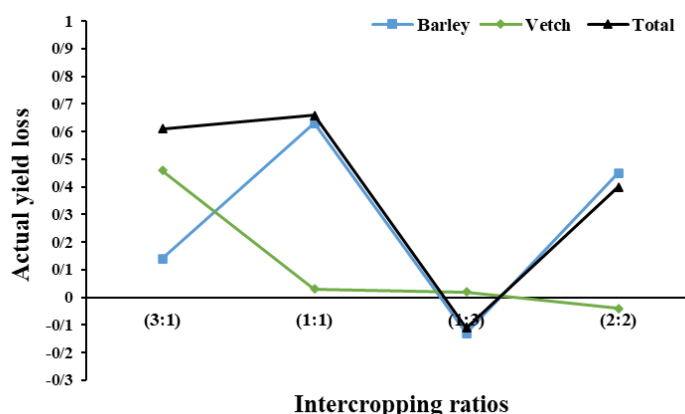
کاهش واقعی عملکرد (AYL)

کاهش واقعی عملکرد (AYL)، کاهش عملکرد یا سودمندی هر

گیاه را در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص نشان می‌دهد. این شاخص می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری را نسبت به سایر شاخص‌ها در

حاکمی از افت عملکرد این دو گونه بود. نتایج حاصل از AYL کل نشان داد که به جز نسبت یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱)، در بقیه نسبت‌های کشت مخلوط مقدار عددی این شاخص مثبت بود که بیانگر عدم افت عملکرد و مزیت این نسبت‌های کشت در مقایسه با کشت خالص دو گونه می‌باشد. بر این اساس، بیشترین میزان AYL کل (۰/۶۶) در تیمار یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) حاصل شد (شکل ۳). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کشت مخلوط جو و ماشک با نسبت‌های (۱:۳)، (۱:۱) و (۲:۲) دارای رعایت اصل تولید حمایتی بود و به عبارت دیگر، مساعدت در آن‌ها وجود داشت. محققان در کشت مخلوط تریپتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای گزارش کردند که مقادیر AYL کل در تمامی الگوهای کشت مخلوط مثبت بود که بیانگر تأثیر مفید دو گونه روی همدیگر و سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود (Javanmard et al., 2015).

خصوص رقابت درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای و رفتار اجزای تشکیل‌دهنده کشت مخلوط در اختیار ما قرار دهد. مقادیر مثبت AYL نشان‌دهنده افزایش و مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش عملکرد گونه در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است (Zhang et al., 2015). نتایج نشان داد که AYL جزئی جو در نسبت‌های (۱:۳)، (۱:۱) و (۲:۲) جو: ماشک مثبت بود. به عبارت دیگر، محصول واقعی جو در این نسبت‌های کشت بیش از محصول پیش‌بینی شده بود که از دلایل آن می‌توان به استقرار سریع، بالا بودن سرعت رشد نسبی در مراحل اولیه رشد و در نتیجه استفاده بهتر از منابع اشاره کرد. بیشترین مقدار AYL جزئی جو در تیمار یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۰/۶۳) حاصل شد. بیشترین AYL جزئی ماشک نیز در تیمار سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۰/۴۶) به دست آمد. منفی بودن AYL جزئی ماشک در تیمار دو ردیف جو + دو ردیف ماشک (۲:۲) و AYL جزئی جو در تیمار یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱)



شکل ۵- کاهش واقعی عملکرد در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جو و ماشک طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

Fig. 5- Actual yield loss in different ratios of barley- vetch intercropping (2023-2025).

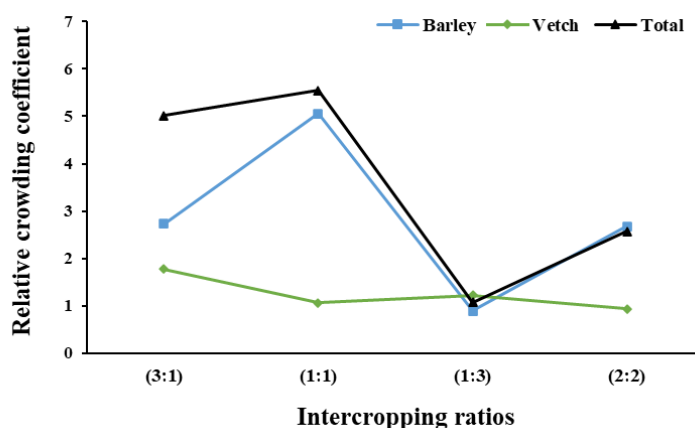
2011). مقدار ضریب ازدحام نسبی برای جو در کلیه تیمارهای کشت مخلوط به جز تیمار یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱) بیشتر از ماشک بود (شکل ۶). نتایج بیانگر این واقعیت می‌باشد که سهم جو در افزایش ضریب ازدحام نسبی کل بیشتر از ماشک بود که دلیل آن را می‌توان به تیپ رشدی متفاوت دو گیاه نسبت داد. بیشترین کمترین مقدار ضریب ازدحام نسبی کل به ترتیب با میانگین‌های ۵/۵۵ و ۱/۰۸ در تیمارهای یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) و یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱) حاصل شد (شکل ۶). بیشتر بودن ضریب ازدحام نسبی کل در تیمار یک ردیف جو + یک ردیف ماشک

ضریب ازدحام نسبی (K)

ضریب ازدحام نسبی (K)، قدرت رقابت یک گونه را نسبت به گونه دیگر نشان می‌دهد. چنانچه مقدار ضریب ازدحام نسبی برای هر دو گونه برابر واحد باشد، بیانگر برقراری تعادل یا موازنه در کشت مخلوط است؛ اما اگر این ضریب برای هر دو گونه برابر واحد نباشد، گیاه با ضریب بیشتر، گیاه غالب خواهد بود. هرچه مقدار ضریب ازدحام نسبی کل بزرگ‌تر باشد، بدان معنی است که هر دو جزء در کشت مخلوط اثرات رقابتی کمتری بر یکدیگر دارند و در نتیجه کارایی کشت مخلوط افزایش خواهد یافت (Lithourgidis et al.,

تیمارهای کشت مخلوط نسبت به بقولات علوفه‌ای بیانگر غالب بودن این گیاه در رقابت برون‌گونه‌ای بود. در آزمایشی دیگر گزارش شد که بیشترین مقدار ضریب ازدحام نسبی کل در کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای در نسبت ۵۰ درصد تریتیکاله + ۵۰ درصد ماشک گل‌خوشه‌ای حاصل شد (Sadra & Hamzei, 2021).

(۱:۱) نشان‌دهنده این است که علی‌رغم ظرفیت رشدی بهتر جو در این نسبت کشت، این برتری به‌گونه‌ای تعدیل شده که هر دو گونه اثرات رقابتی کمتری بر یکدیگر داشته و از منابع در دسترس به‌شکل بهتری استفاده کرده‌اند. لامعی هروانی (Lameie-Harvani, 2013) با بررسی کشت مخلوط بقولات علوفه‌ای یک‌ساله با جو گزارش کرد که بیشتر بودن مقدار ضریب ازدحام نسبی برای جو در تمامی



شکل ۶- ضریب ازدحام نسبی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جو و ماشک طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴
Fig. 6- Relative crowding coefficient in different ratios of barley- vetch intercropping (2023-2025).

بیشترین میزان سودمندی کشت مخلوط به تیمار افزایشی ۱۰۰:۱۵ ماشک گل‌خوشه‌ای: جو اختصاص داشت. کمترین میزان این شاخص نیز به تیمار افزایشی ۱۰۰:۴۵ ماشک گل‌خوشه‌ای: جو تعلق داشت که دلیل این امر به رقابت برون‌گونه‌ای بیشتر دو گونه نسبت داده شد (Ahmadi et al., 2009). در آزمایشی دیگر گزارش شد که مقادیر شاخص سودمندی کشت مخلوط در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای مثبت بود و بیشترین مقدار آن به نسبت ۵۰ درصد تریتیکاله + ۵۰ درصد ماشک گل‌خوشه‌ای اختصاص داشت (Sadra & Hamzei, 2021).

مزیت پولی (MAI)

بررسی شاخص مزیت پولی (MAI) نشان داد که همسو با نتایج سودمندی کشت مخلوط، مقادیر این شاخص در نسبت‌های (۱:۳)، (۱:۱) و (۲:۲) جو: ماشک مثبت بود. با توجه به نحوه محاسبه شاخص مزیت پولی، تیمارهای کشت مخلوط تنها زمانی به کشت خالص دو گونه مزیت دارند که دارای مزیت اکولوژیک ($LER > 1$) نیز باشند.

سودمندی کشت مخلوط (IA)

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، مقادیر سودمندی کشت مخلوط برای نسبت‌های سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۳)، یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) و دو ردیف جو + دو ردیف ماشک (۲:۲) مثبت بود که نشان‌دهنده سودمندی و مزیت اقتصادی این نسبت‌های کشت و استفاده بهتر از منابع در دسترس توسط دو گونه در مقایسه با کشت خالص آن‌ها می‌باشد. همچنین منفی بودن این شاخص برای نسبت یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱) بیانگر افزایش رقابت برون‌گونه‌ای، کاهش اثرات تسهیل‌کنندگی و تکمیل‌کنندگی دو گونه و در نتیجه، عدم سودمندی اقتصادی می‌باشد. در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، بیشترین مقدار سودمندی کشت مخلوط (۷۵۵۴) به تیمار سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۳) اختصاص داشت که احتمالاً ناشی از تشکیل اشکوب‌های مختلف جهت بهره‌برداری بهتر از منابع محیطی از قبیل نور، آب و عناصر غذایی بود (Sadra & Hamzei, 2021). در آزمایشی روی کشت مخلوط جو و ماشک گل‌خوشه‌ای گزارش شد که

جدول ۴- سودمندی کشت مخلوط، شاخص مزیت پولی و شاخص بهره‌وری سیستم در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جو و ماشک طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۲

Table 4- Intercropping advantage, monetary advantage index and system productivity index in different ratios of barley-vetch intercropping (2023-2025)

تیمار Treatment	سودمندی کشت مخلوط Intercropping advantage	شاخص مزیت پولی Monetary advantage index	شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index
۳ ردیف جو : ۱ ردیف ماشک 3 row of barley : 1 row of vetch	7554	20246333	1511
۱ ردیف جو : ۱ ردیف ماشک 1 row of barley : 1 row of vetch	6230	29449141	1579
۱ ردیف جو : ۳ ردیف ماشک 1 row of barley : 3 row of vetch	-931	-1765798	1037
۲ ردیف جو : ۲ ردیف ماشک 2 row of barley : 2 row of vetch	3446	17755433	1426

مقایسه با کشت خالص آن‌ها نسبت داده شد (Javanmard et al., 2015). اکبری و همکاران (Akbari et al., 2025) در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گزارش کردند که نتایج شاخص مزیت پولی با نتایج شاخص‌های نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی کل مطابقت داشت، به‌طوری که تیمارهای دارای نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی کل بیشتر، از لحاظ اقتصادی نیز سودمندتر بودند.

بهره‌وری سیستم (SPI)

نتایج شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) در جدول ۴ ارائه شده است. بالا بودن این شاخص بیانگر افزایش کارایی سیستم کشت مخلوط می‌باشد. مقادیر شاخص بهره‌وری سیستم در کلیه نسبت‌های کشت مخلوط مثبت بود که نشان‌دهنده سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط جو و ماشک در مقایسه با کشت خالص دو گونه می‌باشد. براساس نتایج، تیمارهای یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱)، سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۳:۱) و دو ردیف جو + دو ردیف ماشک (۲:۲) به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۵۷۹، ۱۵۱۱ و ۱۴۲۶ از نظر شاخص بهره‌وری سیستم در رتبه‌های اول تا سوم قرار داشتند. مقدار شاخص بهره‌وری سیستم در تیمار یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) نسبت به تیمار یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱)، ۳۴/۳ درصد افزایش نشان داد. در مجموع، بررسی روند نتایج بیانگر نقش مؤثر جو در افزایش بهره‌وری سیستم کشت مخلوط بود. نتایج بررسی عملکرد و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای یک‌ساله با جو نشان داد که بیشترین مقدار شاخص بهره‌وری

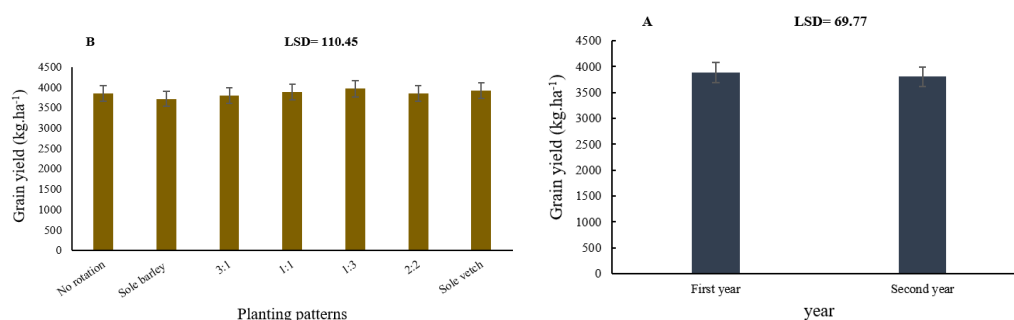
از این‌رو، منفی بودن شاخص مزیت پولی و در نتیجه عدم سودمندی اقتصادی در تیمار یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱) را می‌توان به نسبت برابری زمین کمتر از یک در این تیمار نسبت داد. به عبارت دیگر، علی‌رغم افزایش میزان پروتئین و بهبود کیفیت علوفه در این نسبت کشت، رقابت جو آن‌قدر شدید بوده که عملاً صرفه اقتصادی را از بین برده است. بیشترین مقدار شاخص مزیت پولی در تیمار یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۲۹۴۴۹۱۴۱) به دست آمد. تیمار سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱۹۱۷۵۰۴۸) نیز در رتبه بعدی قرار داشت (جدول ۴). بیشتر بودن شاخص مزیت پولی در تیمارهای یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) و سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۳:۱) را می‌توان به افزایش LER و ضریب ازدحام نسبی کل در این تیمارها نسبت داد (Lithourgidis et al., 2011). در نسبت‌های یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) و سه ردیف جو + یک ردیف ماشک (۳:۱)، گیاه جو از ظرفیت رشد بیشتری برخوردار بود، اما در نسبت ۱:۱، این برتری به‌گونه‌ای تعدیل شد که هر دو گونه به سودمندی قابل قبولی (شاخص مزیت پولی) رسیدند. این موضوع نشان می‌دهد که برای دستیابی به تعادل بین کمیت و کیفیت (پروتئین)، نسبت یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۱:۱) انتخاب بهتری بوده، هرچند که جو رقیب قوی‌تری می‌باشد. محققان در آزمایشی گزارش کردند که مقادیر شاخص مزیت پولی در الگوهای کشت مخلوط جایگزینی گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) 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

کیلوگرم در هکتار در تناوب با کشت یک ردیف جو + سه ردیف ماشک (۳:۱) حاصل شد. هرچند با تیمارهای کشت خالص ماشک (۳۹۱۵ کیلوگرم در هکتار) و یک ردیف جو + یک ردیف ماشک (۳۸۸۲ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان عملکرد دانه برنج (۳۷۱۴ کیلوگرم در هکتار) نیز در تناوب با کشت خالص جو به دست آمد (شکل ۷). اگرچه عملکرد دانه برنج در تناوب با تیمارهای کشت خالص جو و کشت مخلوط سه ردیف جو + یک ردیف ماشک نسبت به شاهد (بدون تناوب) کاهش یافت، اما سود حاصل از فروش علوفه در این تیمارها، این ضرر را جبران کرد. در مجموع، نتایج بیانگر این موضوع بود که کشت و برداشت برنج در هر دو سال مورد آزمایش در تناوب با کشت مخلوط جو و ماشک با موفقیت صورت پذیرفت.

سیستم در تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود علوفه‌ای + ۲۵ درصد جو به دست آمد (Lameie-Harvani, 2013). در آزمایشی دیگر گزارش شد که مقادیر شاخص بهره‌وری سیستم در تمامی الگوهای کشت مخلوط جو و نخود مثبت بود و بیشترین مقدار آن در الگوی کشت ۷۵ درصد جو + ۲۵ درصد نخود حاصل شد (Javanmard et al., 2018).

عملکرد دانه برنج

نتایج نشان داد که عملکرد دانه برنج تحت تأثیر سال و الگوی کشت قرار گرفت. بر این اساس، عملکرد دانه برنج در سال اول آزمایش (۳۸۸۰ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از سال دوم (۳۸۰۵ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۷). بیشترین عملکرد دانه برنج با میانگین ۳۹۶۸



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر سال (A) و الگوی کشت (B) بر عملکرد دانه برنج

Fig. 7- Mean comparison for the effects of year (A) and planting pattern (B) on rice grain yield.

میانگین‌های که اختلاف آن‌ها از مقدار LSD در سطح پنج درصد بیشتر باشد، دارای اختلاف معنی‌داری هستند.

Means differing by more than the LSD (5%) are statistically significant.

کل بیانگر غالبیت جو نسبت به ماشک بود، به‌طوری که با افزایش نسبت جو در کشت مخلوط، قدرت تهاجمی آن به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. بیشترین سودمندی کشت مخلوط (۷۵۵۴) به تیمار ۱:۳ جو : ماشک اختصاص داشت. همچنین بیشترین مزیت پولی و بهره‌وری سیستم نیز به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۹۴۹۱۴۱ و ۱۵۷۹ در تیمار ۱:۱ جو : ماشک حاصل شد. براساس نتایج دو ساله این پژوهش و در شرایط آب‌وهوایی مشابه، کشت مخلوط جو و ماشک با نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۳ علاوه بر تولید علوفه با کمیت و کیفیت بالا، می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مناسب برای ایجاد تنوع در بوم‌نظام شالیزار، افزایش درآمد شالیکاران و پایداری تولید برنج در منطقه گیلان مورد توجه قرار گیرد. ال، جهت ارائه یک الگوی قطعی،

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد کمی و کیفی علوفه تحت تأثیر الگوی کشت قرار گرفت. بیشترین عملکرد علوفه خشک (۱۱۵۵۰ کیلوگرم در هکتار) در کشت مخلوط ۱:۱ جو: ماشک حاصل شد که نسبت به کشت‌های خالص جو و ماشک به‌ترتیب ۱۶ و ۳۹ درصد افزایش نشان داد. افزایش نسبت ماشک در کشت مخلوط از طریق افزایش میزان پروتئین خام و خاکستر علوفه منجر به بهبود کیفیت علوفه شد. نسبت برابری زمین بیشتر از یک و همچنین مثبت بودن کاهش واقعی عملکرد کل در نسبت‌های ۱:۳، ۱:۱ و ۲:۲ جو: ماشک، بیانگر رعایت اصل تولید حمایتی و سودمندی این الگوهای کشت نسبت به کشت خالص دو گونه بود. نتایج ضریب ازدحام نسبی

سیاسگزاری

مطالعات بلندمدت‌تر (حداقل چهار سال) برای ارزیابی پایداری این

نظام‌ها در برابر نوسانات اقلیمی ضروری است.

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی و مؤسسه تحقیقات برنج کشور، به‌جهت

حمایت‌های مالی از اجرای این تحقیق تشکر نمایند.

References

- Ahmadi, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R., & Janmohammadi, H. (2009). Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 20(4), 77-87. (In Persian).
- Akbari, F., Dahmardeh, M., Morshedi, A., Ghanbari, A., & Khoramdel, S. (2025). Evaluation of the competitive indices and economical advantage 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 Persian). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.90594.1358>
- Benintende, M. C., Sterren, M. A., & Battista, J. J. D. (2008). Soil microbiological indicators of soil quality in four rice rotation system. *Ecological Indicators*, 8(5), 704-708. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.12.004>
- Contreras Paco, J. L., Ramírez Rivera, H., Tunque Quispe, M., Aroni Quintanilla, Y. R., & Curasma Ccente, J. (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. <https://doi.org/10.15406/mojft.2020.08.00243>
- Cuartero, J., Pascual, J. A., Vivo, J. M., Özbolat, O., Sánchez-Navarro, V., Egea-Cortines, M., Zornoza, R., Mena, M. M., Garcia, E., & Ros, M. (2022). A first-year melon/cowpea intercropping system improves soil nutrients and changes the soil microbial community. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 328, 107856. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107856>
- Darabi, A. (2025). The effects of planting patterns and density on yield and monetary benefits in intercropping of onion and lettuce. *Journal of Crop Production and Processing*, 15(1), 71-87. (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jcpp.15.1.22317>
- Esmailian, Y., Eshghizadeh, M., & 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. (In Persian).
- Javanmard, A., Rostami, A., Nouraein, M., & Gharekhany, G. (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 Persian).
- Javanmard, A., Amani Machiani, M., & Mousavi, S. B. (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. (In Persian).
- Javanmard, A., Amani Machiani, M., & 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). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.65105>
- Jeylani, M., Ajam Norouzi, H., & Rabiee, M. (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 Persian).
- Kheradmand, S., Mahmoodib, S., & Ahmadi, E. (2014). Quantitative and qualitative performance evaluation of green pea and barley forage intercropping. *Applied Field Crops Research*, 27(105), 111-118. <https://doi.org/10.22092/aj.2014.103358>
- Khraryan, B., Farahvash, F., Mohammadi, S., Mirshekari, B., & Rashidi, V. (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 Persian).

14. Kugbe, X. J., Yaro, R. N., Soyel, J. K., Kofi, E. S., & Ghaney, P. (2018). Role of intercropping in modern agriculture and sustainability: A review. *British Journal of Science*, 16(2), 67-75.
15. Lameie-Harvani, 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 raifed conditions of Zanjan province in Iran. *Seed and Plant Production Journal*, 2(29), 169-183. (In Persian).
16. Lan, Y., ZhangHe, Y., Jiang, C., Yang, M., & Ye, S. (2023). Legume-bacteria-soil interaction networks linked to improved plant productivity and soil fertility in intercropping systems. *Industrial Crops and Products*, 196(3), 116504. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116504>
17. Lithourgidis, A. S., Vlachostergios, D. N., Dordas, C. A., & Damalas, C. A. (2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007>
18. Maitra, S., Hossain, A., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., Gitari, H., Brahmachari, K., Shankar, T., Bhadra, P., Palai, J. B., Jena, J., Bhattacharya, U., Duvvada, S. K., Lalichetti, S., & Sairam, M. (2021). Intercropping-a low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agronomy*, 11(2), 311-343. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020343>
19. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mondani, F., Feizi, H., & Amirmoradi, S. (2015). Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. *Journal of Cleaner Production*, 106, 343-350. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.099>
20. Rabiee, M., & farahdahr, F. (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 Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.27838.1689>
21. Rabiee, M., & Shaker Kouhi, S. (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 Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.89419.1096>
22. Rezaei Noupashani, S., & Aminpanah, H. (2018). Effect of different crops rotation with rice, N rate and N split application on crop grain yield. *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(31), 95-106. (In Persian).
23. Sadra, T., & Hamzei, J. (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 Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.41625.2541>
24. Salehi, Z., Amirnia, R., Rezaeichiyaneh, E., & Khalilvandi Behrozyar, H. (2018). Evaluation of yield and some qualitative traits of forage in intercropping of triticale with annual legumes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4), 59-76. (In Persian).
25. Shafagi, A., Abbas Dokht, H., & Gholipoor, M. (2020). Effect of nitroxin and urea fertilizers on some quantitative and qualitative traits of corn and fenugreek forage based on additive intercropping in south Khorasan. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(1), 257-277. (In Persian).
26. Shakour Zadeh, A., Alizadeh, K., Pour Yousef, M., & Ghaffari, A.A. (2012). Study of density and nixed ratios on forage qualitative and quantitative yield in intercropping of barley and vetch under dryland conditions. *Iranian Journal of Dry Land Farming*, 1, 63-74. (In Persian).
27. Tabatabaei, S. A., & Ranjbar, G. H. (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.
28. Tzemi, D., Peltonen-Sainio, P., Palosuo, T., Rämö, J., & Lehtonen, H. (2025). Profitability of intercropping legumes with cereals: A farm-level analysis. *Journal of Agriculture and Food Research*, 21, 101804. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101804>
29. Ul-Allah, S., Khan, A. A., Fricke, T., Buerkert, A., & Wachendorf, M. (2014). Fertilizer and irrigation effects on forage protein and energy production under semi-arid conditions of Pakistan. *Field Crops Research*, 159, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.01.003>
30. Wang, Y., Qin, Y., Chai, Q., Feng, F., Zhao, C., & Yu, A. (2018). Interspecies interactions in relation to root distribution across the rooting profile in wheat-maize intercropping under different plant densities. *Frontiers in Plant Science*, 9, 483. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00483>
31. Zeiditoolabi, N., Khomri, I., Sirous Mehr, A., Daneshvar, M., Glovy, M., & Dehmordeh, M. (2021). Quantitative and qualitative evaluation of vetch (*Vicia narbonensis*) and barley (*Hordeum vulgar*) intercropping in

- Khorramabad rainfed conditions under the influence of aztobarvar-1 biofertilizer and superabsorbent material. *Crop Physiology Journal*, 13(49), 167-185. (In Persian).
32. Zhang, Y., Liu, J., Zhang, J., Liu, H., Liu, S., Zhai, L., Wang, H., Lei, Q., Ren, T., & Yin, C. (2015). Row ratios of intercropping maize and soybean can affect agronomic efficiency of the system and subsequent wheat. *Plos One*, 10(6), e0129245. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129245>