



Evaluation of Yield, Yield Components and Advantage Indices of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk) and Peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Additive Series Intercropping

Mehrangiz Jowkar Tang-Karami^{1*}, Javad Taei-Semiromi¹ and Nadia Bahremand²

1- Department of Agrotechnology, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

2- Department of Horticultural Science, University of Jiroft, Jiroft, Iran

(*- Corresponding author's Email: mjowkar@nus.ac.ir; jokar2006@gmail.com)

Received: 15-06-2025
Revised: 07-09-2025
Accepted: 20-09-2025
Available Online: 26-11-2025

How to cite this article:

Jowkar Tang-Karami, M., Taei-Semiromi, J., & Bahremand, N. (2025). Evaluation of yield, yield components and advantage indices of isabgol (*Plantago ovata* Forsk) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) in additive series intercropping. *Journal of Agroecology*, 17(3), 455-472. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94046.1243>

Introduction

Intercropping is the cultivation of two or more crops in the same area at the same time, used as a practical approach to enhance the sustainability of agroecosystems. This cropping system is applied to increase resource productivity and decrease production risk. In an intercropping system, plants of the leguminous family, due to some specific characteristics as high protein contents and biological nitrogen fixation, are used as an important component of intercropping. This study was performed in order to investigate the yield and yield components of isabgol (*Plantago ovata* Forsk) and peanut (*Arachis hypogaea*) under intercropping system conditions and to evaluate indices of land equivalent ratio, productivity and intercropping advantage.

Materials and Methods

This study was conducted at Jiroft University to evaluate the benefits of intercropping peanut and plantain in the subtropical climate of southern Kerman province. The experiment was conducted in a randomized complete block design with eight treatments and three replications in the 2015-2016 crop year. The experimental treatments were: 1- single peanut crop, 2- single plantain crop, 3- 20% plantain + 100% peanut, 4- 30% plantain + 100% peanut, 5- 40% plantain + 100% peanut, 6- 50% plantain + 100% peanut, 7- 75% plantain + 100% peanut, 8- 100% plantain + 100% peanut. Before planting the test plants, the physical and chemical properties of the soil were evaluated. Peanut density was kept constant at 25 plants per square meter, and psyllium density was added incrementally between peanut rows based on experimental treatments. The traits and indices studied were psyllium yield and yield components, peanut yield and yield components, and intercropping utility indices. The data variance analysis was carried out using SAS 9.4 software and mean comparison using Duncan test in significant level 5% and to evaluate the linear relationships between the studied quantitative variables, the Pearson correlation coefficient was calculated using standard statistical procedures.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

 <https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94046.1243>

Results and Discussion

Results showed that the number of shoot branches, pod weight, normal pods, biomass, seed dry weight per plant and grain yield were significantly ($p < 0.01$) affected by the additive ratios of isabgol. The effect of these treatments on hollow pods and pod scurf was not significant. Increasing isabgol density ratio at intercropping caused a linear decrease ($R^2 > 90$) in the number of shoots, pod weight, normal pods, biomass, and seed dry weight per plant. It is considerable that observed differences in these variables between peanut sole cropping and its intercropping with 20% and 30% isabgol addition treatments were not significant. Analyses of isabgol yield and its components indicated that, increase in isabgol density caused a significant ($p < 0.01$) decrease in seed per spicule of isabgol and spicule per plant, but had no significant effect on 1000 seed weight of isabgol, whereas additive treatments of isabgol caused an increase in seed yield and biomass of isabgol per surface unit. The highest yield of Isabgol (69.07 g.m^{-2}) was obtained under sole cropping, which showed no significant difference compared to the intercropping of 100% I + 100% P (67.63 g.m^{-2}). The lowest yield (55.33 g.m^{-2}) was recorded in the intercropping system of 20% I with 100% P. The highest productivity index ($\text{SPI} = 72.13$) and intercropping advantage ($\text{IA} = 5.51$) were obtained from the 100% peanut + 20% psyllium treatments.

Conclusion

Overall, considering the limited competitive ability of peanut at higher planting densities of isabgol, the cropping ratio of 20% psyllium + 100% peanut led to improvements in yield, yield components, and various indices of mixed cropping efficiency compared to sole cropping. Consequently, this treatment is recommended for tropical and subtropical conditions such as those found in Jiroft." Of course, this issue requires further studies.

Acknowledgements

This article is an extract from the final report of the research project 8-95-2828 approved by the Vice Chancellor for Research of Jiroft University. Therefore, thanks and appreciation are extended to Jiroft University for providing the costs of this project.

Keywords: Benefit, Biomass, Low-input cropping systems, Land use efficiency, System productivity index

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، ص ۴۵۵-۴۷۲

ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) و بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) در سیستم کشت مخلوط افزایشی

مهرانگیز جوکار تنگ کرمی^{۱*}، جواد طایی سمیرمی^۱ و نادیا بهره مند^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

چکیده

به منظور بررسی اثر کشت مخلوط افزایشی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) و بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشگاه جیرفت اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص بادام زمینی و اسفرزه و نسبت‌های افزایشی ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه به ۱۰۰ درصد بادام زمینی بودند. تراکم بادام زمینی و اسفرزه در کشت خالص به ترتیب ۲۵ و ۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. در کشت مخلوط تراکم بادام زمینی به صورت ثابت و معادل ۲۵۰ بوته در مترمربع و اسفرزه براساس تیمارهای آزمایش به صورت افزایشی بین ردیف‌های بادام زمینی اضافه گردید. صفات و شاخص‌های مورد بررسی عبارت بودند از عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه، عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط. نتایج نشان داد که صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد پایک، وزن نیام‌ها، تعداد نیام نرمال و غیرنرمال، زیست‌توده، وزن خشک دانه در بوته و عملکرد دانه (مغز تازه) بادام زمینی در واحد سطح به طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های افزایشی اسفرزه قرار گرفتند ($p \leq 0/01$). اثر این نسبت‌های کشت بر درصد پوکی و درصد پوسته معنی‌دار نبود. افزایش نسبت تراکم اسفرزه در کشت مخلوط با بادام زمینی، صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد نیام نرمال، وزن نیام‌ها، ماده خشک دانه در بوته، عملکرد مغز تازه (وزن خشک نیام‌ها) در واحد سطح و عملکرد زیست‌توده را به صورت خطی و معنی‌دار کاهش داد. میزان عملکرد دانه در کشت مخلوط ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی نسبت به کشت خالص ۲/۵، ۱۶/۵، ۲۲/۹، ۳۰/۵، ۴۰/۶ و ۴۷/۹ درصد کاهش یافت. افزایش تراکم اسفرزه در کشت مخلوط باعث کاهش معنی‌دار ($p \leq 0/01$) اجزای عملکرد و تعداد دانه در سنبله و افزایش معنی‌دار ($p \leq 0/01$) زیست‌توده و عملکرد دانه آن در واحد سطح شد، ولی بر وزن هزار دانه اسفرزه تأثیری نداشت. بالاترین میزان عملکرد اسفرزه (۶۹/۰۷ گرم در مترمربع) در کشت خالص که با ۱۰۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی (۶۷/۶۳ گرم در مترمربع) تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین آن (۵۵/۳۳ گرم در مترمربع) در کشت مخلوط ۲۰ درصد اسفرزه به ۱۰۰ درصد بادام زمینی به دست آمد. بیشترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم ($SPI=72/13$) و سودمندی کشت مخلوط ($IA=5/51$) از ترکیب ۲۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی به دست آمد. بنابراین با توجه به عدم توان رقابتی بادام زمینی در تراکم‌های بالاتر اسفرزه، نسبت کاشت ۲۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی باعث بهبود عملکرد، اجزاء عملکرد و شاخص‌های مختلف سودمندی کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی نسبت به کشت خالص گردید و بنابراین این تیمار در شرایط گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جیرفت توصیه می‌شود که البته این موضوع نیازمند مطالعات تکمیلی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زیست‌توده، سودمندی، شاخص بهره‌وری سیستم، کارایی استفاده از زمین، نظام‌های زراعی کم‌نهاد

۱- گروه فناوری کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

(Email: mjowkar@nus.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/AGRY.2025.94046.1243>

مقدمه

کشت مخلوط به‌عنوان یکی از راهکارهای کلیدی در کشاورزی پایدار، به‌منظور افزایش بهره‌وری منابع خاک، بهبود کیفیت محصول و کاهش نیاز به ورودی‌های شیمیایی، توجه گسترده‌ای در تحقیقات کشاورزی حاضر یافته است (Zhao et al., 2024). این سیستم به‌ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، با استفاده از ویژگی‌های مکمل گیاهان مختلف، توانسته است که عملکرد و کارایی زیست‌محیطی را بهبود بخشد (Singh et al., 2023).

بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.)، گیاهی یک‌ساله و علفی به‌عنوان یک لگومینوز تثبیت‌کننده زیست‌شناختی نیتروژن، نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف کودهای نیتروژنه ایفا می‌کند (Khamar et al., 2019)، همچنین محتوای بالای روغن و ترکیبات زیستی فعال آن، اهمیت اقتصادی و دارویی این گیاه را دوچندان کرده است (Chen et al., 2022). بادام زمینی با قابلیت تثبیت نیتروژن، منبعی پایدار برای تأمین نیتروژن در سیستم‌های کشت مخلوط محسوب می‌شود و موجب افزایش کارایی استفاده از منابع خاک و آب و افزایش سودمندی و بهره‌وری کشت مخلوط می‌گردد (Zhou et al., 2025). به‌عنوان مثال، دهمرده و کشته‌گر (Dahmardeh & Keshtegar, 2014) در ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) در کشت مخلوط با بادام زمینی بیان کردند که بالاترین میزان نسبت برابری زمین، در سیستم کاشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام زمینی به دست آمد که این مسئله بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. در کشت مخلوط ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و بادام زمینی بیان شد که بالاترین نسبت برابری زمین در مخلوط ۱۰۰ درصد ارزن + ۱۰۰ درصد بادام زمینی معادل ۱/۶۵ به دست آمد و دلیل آن تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط ریشه‌های گیاه بادام زمینی و افزایش جذب نور بوده است. همچنین مشخص شد که ارزن به‌عنوان گیاه غالب و بادام زمینی مغلوب بوده است (Khammar, 2013). ژو و همکاران (Zhou et al., 2025) در کشت مخلوط ذرت و بادام زمینی بیان کردند که سیستم کشت مخلوط نواری^۱ به‌طور قابل توجهی عملکرد ذرت را افزایش داده و در عین حال کاهش افت عملکرد بادام زمینی

را تقلیل داده است، به‌طوری‌که عملکرد کل سیستم در مقایسه کشت خالص، ۲۳/۸۲ درصد بیشتر بوده است. کشت مخلوط نواری همچنین پایداری عملکرد قابل توجهی را در شرایط نامساعد آب‌وهوایی نشان داده است (نسبت معادل زمین < ۱).

گیاه اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) گیاهی یک‌ساله و علفی متعلق به خانواده بارهنگ^۲ می‌باشد که به‌دلیل ترکیبات فعال دارویی و فیبری بالا شناخته شده و از اهمیت ویژه‌ای در صنایع دارویی و غذایی برخوردار است (Rezaei-Chiyaneh et al., 2021). اگرچه رشد اولیه اسفرزه نسبتاً کند است، اما پوشش سریع و مؤثر سطح خاک توسط این گیاه باعث کاهش رشد علف‌های هرز و حفظ رطوبت خاک می‌شود که این امر بهبود شرایط محیطی برای رشد بادام زمینی را فراهم می‌آورد (Asgharipour & Rafiei, 2010; Roozpeikar et al., 2020).

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که کشت مخلوط بادام زمینی با گیاهان زراعی مختلف مانند ذرت و ارزن، علاوه‌بر افزایش عملکرد کلی، باعث افزایش نسبت برابری زمین^۳ (LER) و بهبود پایداری بوم‌نظام زراعی می‌شود (Dahmardeh & Keshtegar, 2014) که ناشی از تثبیت نیتروژن و بهبود استفاده از منابع محیطی است (Khammar, 2013; Zhou et al., 2025). بااین‌حال، تحقیقات محدود در خصوص کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه، نیازمند تحقیقات بیشتر به‌منظور تعیین ترکیب بهینه و مدیریت صحیح این سیستم‌ها می‌باشد.

در ارتباط با کشت مخلوط گیاهان دارویی جهت افزایش عملکرد و کیفیت آن‌ها تحقیقات اندکی انجام شده است. به‌عنوان مثال، اصغری پور و رفیعی (Asgharipour & Rafiei, 2010) در کشت مخلوط اسفرزه و عدس بیان کرد که کشت مخلوط باعث افزایش غلظت نیتروژن در اسفرزه شد. موسی پور و همکاران (Mosapour et al., 2015) در بررسی اثر زمان کاشت بر عملکرد و شاخص‌های سودمندی و رقابتی در کشت مخلوط اسفرزه و زنیان (*Carum copticum* L.) گزارش نمودند که حداکثر عملکرد مجموع دو گونه برای دانه (۲۳۶۳ کیلوگرم در هکتار)، کارایی استفاده از زمین (LER=۱/۵۳)، شاخص بهره‌وری سیستم (SPI=۱۰۲۳۷) از ترکیب

2- Plantagaceae

3- Land Equivalent Ratio

1-Strip Intercropping

دو متری با فاصله ۴۰ سانتی‌متر بین ردیف‌های بادام زمینی و فاصله ۱۰ سانتی‌متر بین دو بوته روی خطوط کاشت در کشت خالص و مخلوط بود (Khammar et al., 2019; Keshtegar et al., 2015). برای اسفروزه در کشت خالص فاصله بوته‌ها بین ردیف ۴۰ و روی ردیف ۵ سانتی‌متر (Mousapour et al., 2016) و در مخلوط فاصله بوته‌ها روی ردیف به ترتیب ۲۵، ۱۶/۵، ۱۲/۵، ۱۰، ۶/۵ و ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری با استفاده از سیستم قطره‌ای و براساس نیاز آبی دو گیاه انجام گرفت. تمامی عملیات داشت شامل آبیاری، واکاری، تنک و اضافه کردن کود سرک در طی دوره رشد انجام شد. با توجه به عدم همزمانی رسیدگی دو گیاه، ابتدا در اواخر خرداد ماه برداشت دانه اسفروزه در دو مرحله انجام گردید و اجزای عملکرد آن شامل وزن هزاردانه، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله با انتخاب ۱۰ بوته به صورت تصادفی از هر کرت و عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در مترمربع اسفروزه پس از حذف ۰/۵ متر اثر حاشیه‌ای از طرفین و از دو ردیف میانی اندازه‌گیری شد. در اواسط شهریور ماه نیز عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی در مرحله رسیدگی اندازه‌گیری گردید. رطوبت دانه‌ها موقع برداشت بین ۲۵ تا ۳۰ درصد بود. صفات مورد بررسی بادام زمینی شامل تعداد نیام نرمال، تعداد نیام غیرنرمال (براساس شکل ظاهری آن‌ها که خیلی کوچک بودند یا انحناء و شکل غیرطبیعی داشتند، تفکیک شدند)، وزن خشک دانه در بوته (زمان اندازه‌گیری رطوبت دانه‌ها حدود ۱۵ درصد بود)، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد پایک در بوته و وزن نیام‌ها در بوته، با انتخاب پنج بوته به طور تصادفی از هر کرت و میزان زیست‌توده و عملکرد دانه پس از حذف اثر حاشیه‌ای از طرفین هر کرت و از دو ردیف میانی انجام گردید (سطح برداشت شده برابر با ۸۰ سانتی‌مترمربع بود).

به منظور ارزیابی عملکرد دو گیاه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، شاخص سودمندی (IA)^۱ و شاخص بهره‌وری سیستم (SPI)^۲ با استفاده از معادله‌های ۱ نعمت‌اللهی و همکاران (Neamatollahi et al., 2013) و ۲ مائو و همکاران (Mao et al., 2012) محاسبه شدند.

معادله (۱) $IA = (Pa/Pa+Pb) \times AYL_a + (Pb/Pa+Pb) \times AYL_b$ که در آن، Pa: قیمت هر واحد محصول بادام زمینی و Pb: قیمت هر واحد محصول اسفروزه است

۵۰ درصد اسفروزه + ۱۰۰ درصد زنیان به دست آمد. گیاه زنیان در تیمار ۲۵ درصد اسفروزه + ۱۰۰ درصد زنیان به عنوان گیاه غالب دارای بالاترین ضریب ازدحامی ($A=0/54$) و غالبیت ($K=2/38$) بود. روزپیکر و همکاران (Roozpeikar et al., 2020) در سیستم کشت مخلوط افزایشی اسفروزه و زوفا نتیجه گرفتند که حداکثر نسبت برابری زمین (۱/۴۱) و شاخص بهره‌وری (۲۱۹۹۸) در تیمار ۱۰۰ درصد زوفا + ۸۰ درصد اسفروزه به دست آمد.

با توجه به اینکه گیاه بادام زمینی دارای رشد اولیه کند بوده و آشیان اکولوژیک در اوایل دوره رشد آن خالی می‌ماند، بنابراین جهت افزایش بهره‌وری از زمین و پر نمودن آشیان‌های اکولوژیک موجود، استفاده از الگوی کشت مخلوط با گیاه دیگری که دارای رشد اولیه سریع‌تر بوده و روی گیاه بادام زمینی سایه‌اندازی نکند، می‌تواند راهکاری جهت استفاده بیشتر و بهبود بهره‌وری از منابع اکولوژیک در بوم‌نظام کشاورزی باشد. به نظر می‌رسد گیاهی نظیر اسفروزه که دارای استقرار اولیه سریع‌تر، دوره رشد کوتاه و مزیت صنعتی و دارویی است، می‌تواند به صورت مخلوط با بادام زمینی کشت شود (Asgharipour & Rafiei, 2010). بنابراین این پژوهش با هدف بررسی کشت مخلوط اسفروزه با بادام زمینی و اثر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص‌های سودمندی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت، واقع در کیلومتر هشت جاده جیرفت- بندرعباس با عرض جغرافیایی ۲۸° و ۳۷° شمالی، طول جغرافیایی ۵۷° و ۴۱° شرقی و با ارتفاع ۶۷۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل ۱- تک کشتی بادام زمینی، ۲- تک کشتی اسفروزه، ۳- ۲۰ درصد اسفروزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی، ۳۰ درصد اسفروزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی، ۴۰ درصد اسفروزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی، ۵۰ درصد اسفروزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی، ۷۵ درصد اسفروزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی و ۱۰۰ درصد اسفروزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی بود. قبل از اجرای آزمایش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ارزیابی شد (جدول ۱).

سپس، زمین مورد اجرای آزمایش شخم، تسطیح و برای انجام عملیات آزمایش آماده شد. هر کرت آزمایشی دارای چهار خط کاشت

1- Intercropping advantage (IA)

2- System productivity index (SPI)

با توجه به اینکه شاخص اقتصادی سودمندی با توجه به قیمت هر واحد محصول محاسبه می‌شود، قیمت هر واحد بادام زمینی ۴۰۰۰۰ ریال و هر واحد اسفرزه ۲۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شد (هر واحد معادل ۱۰۰ گرم بذر گیاهان در سال اجرای آزمایش در نظر گرفته شد).

معادله (۲)
$$SPI = (Y_{ii} / Y_{jj}) \times (Y_{ij} + Y_{ji})$$
 که در آن‌ها: Y_{ij} : عملکرد گیاه i در کشت مخلوط، Y_{ii} : عملکرد گیاه i در کشت خالص، Y_{ji} : عملکرد گیاه j در کشت مخلوط و Y_{jj} : عملکرد گیاه j در کشت خالص می‌باشد.

در نهایت، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد. برای محاسبه ضریب همبستگی نیز از روش پیرسون استفاده گردید.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی

بررسی اثر نسبت‌های افزایشی اسفرزه در کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی بر عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی نشان داد که صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد پایک، وزن نیام‌ها، تعداد نیام نرمال و غیرنرمال، زیست‌توده، وزن خشک مغز دانه و عملکرد دانه در واحد سطح به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت‌های افزایشی اسفرزه قرار گرفتند ($p \leq 0.01$). اثر این نسبت‌های کشت بر درصد پوکی و درصد پوسته معنی‌دار نبود (جدول ۲).

تعداد شاخه فرعی

تعداد شاخه‌های فرعی بادام زمینی به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی قرار گرفتند (جدول ۲). افزایش تراکم ۳۰ درصد اسفرزه و مقادیر بیشتر از آن به این نظام کشت مخلوط باعث کاهش معنی‌دار ($p < 0.05$) تعداد شاخه‌های فرعی شد. همچنین از لحاظ این صفت، تیمار افزایشی ۲۰ درصد اسفرزه تفاوت معنی‌داری با کشت خالص بادام زمینی نداشت (جدول ۲). تعداد شاخه‌های فرعی تحت تأثیر افزایش تراکم اسفرزه کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین تعداد شاخه فرعی (۸/۵ در بوته) در شرایط کشت خالص و کمترین تعداد این صفت در شرایط ۱۰۰ درصد تراکم اسفرزه (۳/۵) مشاهده شد. هر چه بر تراکم اسفرزه در کشت مخلوط با

بادام زمینی افزوده شد، تعداد شاخه فرعی بادام زمینی کاهش یافت، به‌طوری‌که میزان این صفت در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی حدود ۵۷/۹ درصد نسبت به کشت خالص بادام زمینی کاهش نشان داد. با افزایش تراکم اسفرزه، به‌دلیل رقابت بین گونه‌ای بر سر منابع محیطی مانند نور، آب و عناصر غذایی، بادام‌زمینی قادر به افزایش شاخه‌زایی نبوده و این صفت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Li et al., 2019; Agegnehu et al., 2006).

تعداد پایک

در هر یک از سه گروه تیماری نسبت‌های کشت ۳۰ و ۴۰ درصد، ۵۰ و ۷۵ درصد، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیز تفاوت معنی‌داری از لحاظ تعداد پایک با یکدیگر مشاهده نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین تعداد پایک در بوته نشان داد که با افزایش نسبت اسفرزه در کشت مخلوط، تعداد پایک به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین تعداد پایک در کشت خالص بادام زمینی با میزان ۷۶/۸ در بوته و کمترین آن در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی به‌میزان ۲۶/۵ در بوته مشاهده شد که نسبت به کشت خالص بادام زمینی ۶۵/۵ درصد کاهش یافت. این کاهش می‌تواند ناشی از کاهش انرژی اختصاص‌یافته به اندام‌های زایشی در شرایط رقابت شدید باشد (Zhang et al., 2020).

وزن نیام‌ها

وزن نیام‌ها یکی از شاخص‌های مهم تشکیل‌دهنده اجزای عملکرد بادام زمینی است که در این آزمایش اندازه‌گیری شده است. منظور از وزن نیام نیز تمامی نیام‌ها از قبیل نیام نرمال، غیرنرمال و نیام‌های پر و پوک می‌باشد. وزن نیام‌ها به‌طور معنی‌دار ($p \leq 0.01$) تحت تأثیر کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی قرار گرفت (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (جدول ۳) که افزایش ۲۰ و ۳۰ درصد اسفرزه اثر معنی‌داری بر وزن نیام در نظام کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه نداشت، اما افزایش نسبت‌های بیشتر از ۳۰ درصد اسفرزه در کشت مخلوط باعث کاهش معنی‌دار وزن نیام‌ها شد. البته نسبت‌های کشت ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد افزایش اسفرزه فاقد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر بودند. وزن نیام‌ها در تیمارهای مخلوط ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد نسبت به کشت خالص بادام زمینی ۲/۲، ۸/۳، ۱۵/۵، ۲۲/۷ و ۲۲/۵ درصد کاهش نشان داد. به نظر می‌رسد که

افزایش بیش از ۳۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی باعث افزایش رقابت بین گونه‌ای و کاهش دسترسی به منابع برای پر شدن کامل نیام‌ها شده و وزن نیام‌ها را در این تیمارهای مخلوط کاهش داده است. نتایج تحقیقات دیگر نیز مؤید همین مطلب می‌باشد و کاهش وزن نیام‌های بادام زمینی را در اثر افزایش تراکم گیاهان همراه گزارش است (Ghosh, 2004).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک)

Table 1- Soil physical and chemical characteristics of experimen site 0-30 cm depth

نیترژن کل Total N (%)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg ⁻¹)	ماده آلی Organic materials (%)	شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	بافت Texture
0.023	0.07	0.30	0.47	7.92	1.0	لوم-شنی Loam-sand

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی

Table 1- Analysis of variance of intercropping different ratios on yield and yield components of peanut plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه فرعی Branche No.	تعداد نیام نرمال Normal pod No.	تعداد نیام غیرنرمال Abnormal pod No.	وزن نیام Pod weight	تعداد پیک Pike No.	درصد پوکی Hollowness percentage	درصد پوسته Shell percentage	زیست توده Biomass	وزن خشک دانه (مغز) Kernel dry weight	عملکرد مغز تازه Seed yield
تکرار Replicate	2	1.5	7.01	3.85	4.80	17.3	21.2	5.6	6450	4.53	17713*
نسبت کشت مخلوط Intercropping ratio	6	8.17**	10.04**	27.9**	52.6**	112**	35.3 ^{ns}	14.6 ^{ns}	130620**	9.49**	37091**
خطا Error	12	0.75	1.55	3.82	3.16	12.9	95.6	12.5	2926	0.207	17713
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.3	4.3	16.5	8.2	12.5	13.4	11.5	5.7	3.66	6.5

*, **, و ^{ns}: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

**, * and ^{ns}: indicate respectively a significant difference at the probability level of 1%, 5% and no significant difference based on the Duncan test.

تعداد نیام‌های نرمال

تعداد نیام‌های نرمال در بوته نیز به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که تعداد نیام نرمال در تیمارهای افزایشی ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد اسفرزه نسبت به کشت خالص بادام زمینی فاقد اختلاف معنی‌دار بوده و فقط نسبت‌های افزایشی ۷۵ و ۱۰۰ درصد باعث کاهش معنی‌دار این متغیر شده است. در این تیمارها به ترتیب ۱۴/۲۸ و ۲۴/۴۹ درصد کاهش معنی‌دار تعداد نیام نرمال نسبت به کشت خالص مشاهده شد. براساس این نتایج، افزایش تراکم اسفرزه در سطح بیش از ۵۰ درصد منجر به کاهش تعداد نیام نرمال

شده است و این به‌خاطر اثرات سوء رقابت اسفرزه با بادام زمینی می‌باشد که باعث کاهش اجزای عملکردی بادام زمینی شده است. در تحقیقی دیگر بیشترین تعداد غلاف در بوته در کشت خالص بادام زمینی مشاهده شد و بیشترین کاهش تعداد غلاف در بوته در کشت مخلوط در الگوهای کاشت ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام زمینی و ۱۰۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام زمینی به دست آمد (Dugassa et al., 2023). در بررسی ذرت و بادام زمینی گزارش شد که تعداد نیام در بوته در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود (Keshtegar et al., 2015) (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اجزای عملکرد و عملکرد بادام زمینی تحت تأثیر کشت مخلوط این گیاه با اسفرزه
Table 3- Mean comparison of yield and yield components of peanut affected of intercropping with Isabgol

تیمارها Treatments	تعداد شاخه فرعی Branche No	تعداد نیام نرمال در بوته Normal pod No per plant	تعداد نیام Abnormal pod per plant	وزن نیامها Pod weight (gr)	تعداد پیک Pike No per plant	زیست توده Biomass (g.m ⁻²)	وزن خشک مغز دانه Kernel dry (g.plant ⁻¹)	عملکرد مغز تازه Seed yield (g.m ⁻²)
کشت خالص بادام زمینی Sole crop of peanut	8.3a	24.5 a	7.1 c	40.5 a	76.8 a	979.1 a	9.79 a	612.3a
۱۰۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 100% I + 100% P	3.5 e	18.5 c	15.1 a	31.4 c	26.5 d	454.1 e	5.11 d	319.5d
۷۵٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 75% I + 100% P	4.3 de	21 b	12.6 ab	31.3 c	31.7cd	512.5 de	5.82 d	364.1d
۵۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 50% I + 100% P	5.5 cd	22.6 ab	12.4 ab	34.2 bc	37.2 c	566.6 d	6.81 c	425.9c
۴۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 40% I + 100% P	6.4 bc	22.4 ab	13.1 ab	37.1 b	43.7 b	670.8 c	7.56 bc	472.9bc
۳۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 30% I + 100% P	6.3 bc	22.3 ab	9.8 bc	39.6 ab	47.2 b	850 b	8.18 b	451.7 b
۲۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 20% I + 100% P	7.3 ab	22.5 ab	7.3 c	40.6 a	71 a	916.6 ab	9.56 a	597.9 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون دانکن می‌باشد.
The means with similar letters based on the Duncan test had not differ significantly in the probability level of 5%.

تعداد نیام غیرنرمال

تعداد نیام‌های غیرنرمال نیز یکی از عوامل منفی در عملکرد بادام زمینی است، این متغیر به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تحت تأثیر کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی قرار گرفته است (جدول ۲). تعداد نیام غیرنرمال در کشت خالص بادام زمینی نسبت به تیمارهای ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳)، اما این شاخص در تیمارهای ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه در بادام زمینی نسبت به کشت خالص بادام زمینی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. حداکثر تعداد نیام غیرنرمال ۱۵/۱ عدد در شرایط کشت مخلوط ۱۰۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه در بادام زمینی مشاهده شد و کمترین آن در شرایط کشت خالص به دست آمد.

افزایش نیام‌های غیرنرمال می‌تواند ناشی از رقابت شدید بین گونه‌ای برای منابع محیطی مانند نور، آب و عناصر غذایی باشد که منجر به اختلال در لقاح، پر شدن ناقص نیام‌ها یا توقف رشد آن‌ها می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که در شرایط رقابت بالا، کیفیت اندام‌های زایشی گیاهان کاهش می‌یابد (Ghosh, 2004). همچنین زانگ و همکاران (Zhang et al. 2020) گزارش کردند که تراکم بالای گیاه همراه در کشت‌های مخلوط به‌ویژه در گونه‌هایی با نیاز نوری بالا مانند بادام زمینی می‌تواند باعث افزایش میوه‌های ناقص یا غیرنرمال در گیاه اصلی شود. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که انتخاب نسبت مناسب گیاهان در کشت مخلوط نه تنها بر کمیت بلکه بر کیفیت عملکرد نیز تأثیرگذار است. در شرایطی که تراکم اسفرزه بیش از ۳۰ درصد باشد، احتمال بروز نیام‌های غیرنرمال افزایش یافته و در نتیجه عملکرد مغز تازه بادام زمینی کاهش می‌یابد. بنابراین مدیریت دقیق تراکم گیاه همراه در نظام‌های کشت مخلوط برای حفظ کیفیت محصول ضروری است (Li et al., 2019).

میزان زیست‌توده

اثر کشت مخلوط بر میزان زیست‌توده بادام زمینی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۳) که میزان زیست‌توده در کشت خالص بادام زمینی نسبت به تیمارهای افزایش تراکم ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. پژوهش‌های دیگر نیز گزارش کردند که بیشترین میزان زیست‌توده مربوط به کشت خالص بادام

زمینی بود (Pourkarami et al., 2023). اختلاف تیمار ۲۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه نسبت به کشت مخلوط معنی‌دار نبود. افزایش تراکم اسفرزه باعث کاهش معنی‌دار زیست‌توده شد، به‌طوری‌که میزان این صفت در تیمارهای افزایشی ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی نسبت به کشت خالص بادام زمینی به‌میزان ۶/۴، ۱۳/۱۸، ۱۳/۴۸، ۴۲/۱۳، ۴۷/۶۵ و ۵۳/۶۲ درصد کاهش یافت. کاهش میزان زیست‌توده بادام زمینی در الگوهای کشت مخلوط نشان دهنده وجود رقابت بین گونه‌ای شدیدتر در کشت مخلوط نسبت به رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌های بادام زمینی در کشت خالص می‌باشد و بیانگر غالب بودن اسفرزه نسبت به بادام زمینی در مخلوط است.

وزن خشک دانه

وزن خشک دانه در بوته به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تحت تأثیر کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی قرار گرفت (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که میزان وزن خشک دانه در کشت خالص نسبت به تمام نسبت‌های کشت به‌جز تیمار افزایش تراکم ۲۰ درصد بادام زمینی اختلاف معنی‌داری نشان داد. این موضوع نشان می‌دهد که در تراکم‌های پایین اسفرزه، رقابت برون گونه‌ای کاهش یافته و شرایط مساعدتری برای رشد زایشی بادام زمینی فراهم شده است. وزن خشک دانه در تیمارهای افزایش تراکم اسفرزه در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد، ۴۰ و ۵۰ درصد، ۳۰ و ۴۰ درصد، ۲۰ درصد و کشت خالص فاقد تفاوت معنی‌داری نسبت به یکدیگر هستند. افزایش تراکم اسفرزه در نظام کشت مخلوط بادام زمینی با اسفرزه باعث کاهش میزان وزن خشک دانه شد (جدول ۳). میزان این کاهش در تیمارهای مخلوط ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی به‌ترتیب ۲/۳، ۱۶/۴، ۲۲/۷، ۳۰/۴، ۴۰/۵ و ۴۷/۸ درصد نسبت به کشت خالص بادام زمینی بود.

در تیمارهای با تراکم بالاتر اسفرزه (۳۰ تا ۱۰۰ درصد)، کاهش وزن خشک دانه به‌صورت تدریجی و معنی‌دار مشاهده شد، به‌طوری‌که در تیمار ۱۰۰ درصد، این کاهش به ۴۷/۸ درصد نسبت به کشت خالص رسید. این کاهش می‌تواند ناشی از رقابت شدید برای منابع محیطی مانند نور، آب و عناصر غذایی باشد که منجر به محدود شدن فتوسنتز و تخصیص کمتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی می‌شود (Li et al., 2019).

عملکرد دانه بادام زمینی (مغز تازه)

کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی تأثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) در سطح یک درصد آماری بر عملکرد دانه بادام زمینی در واحد سطح داشت (جدول ۲). بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تیمار کشت مخلوط با تراکم ۲۰ درصد اسفرزه به‌صورت افزایشی اختلاف معنی‌دای با کشت خالص آن نداشت، اما سطوح افزایشی ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه در کشت مخلوط، میزان عملکرد مغز تازه بادام زمینی را در واحد سطح به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) کاهش داد.

بیشترین مقدار عملکرد دانه بادام زمینی در واحد سطح در شرایط کشت خالص و به‌میزان ۶۱۳/۱۴ گرم در مترمربع مشاهده گردید. کمترین میزان عملکرد نیز در شرایط کشت مخلوط بادام زمینی با ۱۰۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه مشاهده شد (۳۱۹/۵ گرم در مترمربع). با افزایش میزان تراکم اسفرزه در کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه، میزان عملکرد بادام زمینی کاهش یافت (جدول ۳)، به‌طوری‌که میزان عملکرد دانه در تیمارهای ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی به‌میزان ۱۶/۵، ۲۲/۹، ۳۰/۵، ۴۰/۶ و ۴۷/۹ درصد نسبت به کشت خالص بادام زمینی کاهش یافت. این نتایج نشان‌دهنده رقابت شدید بین بوته‌های اسفرزه و بادام زمینی بر سر نور، آب و مواد غذایی است که با توجه به تراکم بالای گیاهی در کشت مخلوط افزایشی منطقی به نظر می‌رسد. در آزمایشی، حداکثر عملکرد اقتصادی بادام زمینی در کشت خالص بادام زمینی و حداقل عملکرد در الگوی کشت مخلوط ۵۰ درصد + ۱۰۰ درصد ذرت مشاهده شد (Dugassa et al., 2023).

بررسی همبستگی بین صفات بررسی‌شده نیز حاکی از همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد با تعداد شاخه فرعی، وزن نیام، نیام‌های نرمال، تعداد پایک و زیست‌توده است، اما عملکرد با تعداد نیام غیرنرمال همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (جدول ۴).

در این آزمایش، بادام زمینی با تراکم ثابت ۲۵ بوته در مترمربع کشت شده و اسفرزه با نسبت‌های متفاوت به آن اضافه شده است. در این شرایط طبق نتایج این پژوهش، بادام زمینی در نسبت کشت افزایشی بیش از ۲۰ و ۳۰ درصد دچار افت عملکرد و اجزای آن شده است. به نظر می‌رسد که گیاه بادام زمینی قابلیت تحمل پایینی نسبت به افزایش اسفرزه در تراکم‌های بالای اسفرزه دارد، از طرفی اسفرزه به‌دلیل قابلیت پنجه‌زنی و ایجاد سنبله‌های متعدد دارای انعطاف‌پذیری

بالایی برای جبران عملکرد ناشی از کاهش تراکم دارد (Moosavi et al., 2012)، لذا تراکم ۲۰ و ۳۰ درصد اسفرزه تا حدی قابلیت جبران کاهش تراکم اسفرزه را فراهم آورده است. گیاه بادام زمینی نیز دارای رشد اولیه نسبتاً کندی است، لذا افزایش تراکم ۱۰۰ درصدی اسفرزه باعث ایجاد رقابت اندام‌های هوایی و محدودیت در زمان پایک‌زنی نیام‌های بادام زمینی در خاک شده است. گزارش شده است که عملکرد نیام بادام زمینی به‌شدت تحت تأثیر کشت مخلوط آن با غلاتی نظیر سورگم (*Sorghum bicolor* L.)، ارزن و ذرت قرار گرفته و این صفت به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و این عامل باعث افت عملکرد بادام زمینی شده است (Ghosh et al., 2006). در پژوهشی دیگر، کشت مخلوط بادام زمینی و ذرت مورد مطالعه قرار گرفته است (Dahmardeh & Keshtegar, 2014) و غالبیت و برتری ذرت در تمام نسبت‌های افزایشی کشت مخلوط نسبت به بادام زمینی مشهود است. در تحقیقات دیگر نیز غالبیت و نقش ذرت را نسبت به بادام زمینی در افزایش راندمان استفاده از زمین در کشت مخلوط نشان دادند (Feng et al., 2021). همچنین در بررسی عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی در کشت مخلوط ردیفی سری جایگزینی با چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) به نتایج مشابهی دست یافتند و کاهش رشد و میزان اجزای عملکرد و مغلوبیت بادام زمینی را مشاهده کردند (Pourkarami et al., 2023).

بررسی عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفات تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در بوته، زیست‌توده و عملکرد دانه اسفرزه به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) تحت تأثیر نسبت‌های افزایشی اسفرزه در کشت مخلوط با بادام زمینی قرار گرفت. کشت مخلوط تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشت که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر عوامل ژنتیکی نسبت به عوامل تراکم است (جدول ۵).

بررسی نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله در تیمار کشت مخلوط ۲۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه با بادام زمینی (۶۲/۵۳ دانه در سنبله) و کمترین آن در تیمار کشت خالص اسفرزه (۵۴/۹۳ دانه در سنبله) بود. میزان تعداد دانه در سنبله با کاهش نسبت اسفرزه در مخلوط با بادام زمینی افزایش یافت، به‌طوری‌که اختلاف مشاهده‌شده در کشت خالص اسفرزه نسبت به تیمارهای افزایش تراکم ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد در کشت مخلوط معنی‌دار

بود. این افزایش در تیمارهای کشت مخلوط با تراکم پایین اسفرزه نشان‌دهنده کاهش رقابت درون گونه‌ای و بهبود شرایط زایشی گیاه است. مطالعات مشابه نیز نشان دادند که کاهش تراکم گیاه در کشت مخلوط می‌تواند موجب افزایش کیفیت اندام‌های زایشی شود (Ghosh, 2004; Li et al., 2019).

بررسی تعداد سنبله در بوته اسفرزه تحت تأثیر تیمارهای افزایشی اسفرزه در کشت مخلوط با بادام زمینی نشان داد که این صفت نیز با افزایش تراکم اسفرزه در مخلوط روند کاهشی داشت، به‌طوری‌که در حالت کشت خالص با ۱۰۰ درصد تراکم به کمترین مقدار خود رسید (۱۰/۱۶ عدد). این روند کاهشی با افزایش تراکم اسفرزه در مخلوط، احتمالاً ناشی از رقابت شدید برای منابع محیطی و محدود شدن رشد رویشی گیاه است. اختلاف مشاهده‌شده بین تیمارهای ۲۰ و ۳۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه، ۴۰، ۵۰ و ۷۵ درصد افزایش تراکم اسفرزه و همچنین تیمارهای کشت خالص و ۱۰۰ درصد افزایش تراکم معنی‌دار نبود، اما اختلاف بین این سه گروه تیماری با یکدیگر در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود. اختلاف معنی‌دار بین گروه‌های تیماری مختلف در سطح آماری پنج درصد تأییدکننده تأثیر تراکم بر این صفت است. بیشترین تعداد سنبله در بوته نیز در تیمار افزایشی تراکم ۲۰ درصدی اسفرزه در مخلوط با بادام زمینی (۱۹/۳ سنبله در بوته) مشاهده شد (جدول ۶) که نشان‌دهنده تعادل مناسب بین رقابت و بهره‌برداری از منابع محیطی است. مطالعات دیگر نیز تأیید می‌کنند که تراکم گیاه نقش مهمی در توسعه ساختارهای رویشی دارد. برای مثال، گاش (Ghosh, 2004) گزارش کرد که در کشت‌های مخلوط، کاهش تراکم گیاه همراه می‌تواند منجر به افزایش شاخص‌های رشدی در گیاه اصلی شود.

تغییرات میزان زیست‌توده یا ماده خشک تولیدشده در گیاه اسفرزه تحت تأثیر کشت مخلوط آن با بادام زمینی در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که کاهش تراکم اسفرزه در کشت مخلوط منجر به کاهش عملکرد زیست‌توده شد، به‌طوری‌که کمترین مقدار مشاهده‌شده این صفت (۲۵۱/۱ گرم در مترمربع) در تیمار ۲۰ درصد افزایش تراکم مشاهده گردید، البته اختلاف مشاهده‌شده بین تیمار با نسبت‌های افزایشی ۳۰ و ۴۰ درصد اسفرزه در کشت مخلوط معنی‌دار نبود، اما نسبت به سطوح افزایشی بالاتر دارای اختلاف آماری در سطح آماری پنج درصد بود. تیمار کشت خالص اسفرزه نیز نسبت به سطوح ۲۰ درصد افزایش تراکم اسفرزه و سطوح بالاتر آن اختلاف

معنی‌داری داشت. بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده (۳۱۴/۱ گرم در مترمربع) مربوط به کشت خالص اسفرزه بود که با تیمار افزایشی ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی تفاوت معنی‌داری نداشت. میزان عملکرد زیست‌توده در تیمار افزایشی ۲۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی به‌میزان ۲۰ درصد نسبت به کشت خالص کاهش نشان داد. گزارش شده است که بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده در کشت مخلوط زوفا و اسفرزه مربوط به کشت خالص اسفرزه (۴۲۸۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن مربوط به کشت مخلوط ۲۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) (۲۴۶۷ کیلوگرم در هکتار) بود که با توجه به تراکم کمتر اسفرزه در این تیمار آزمایشی این نتیجه دور از انتظار به نظر نمی‌رسد (Roopzeikar et al., 2020).

بررسی اثر کشت مخلوط اسفرزه با بادام زمینی بر عملکرد دانه اسفرزه نشان داد (جدول ۶) که با کاهش تراکم اسفرزه در کشت مخلوط از میزان عملکرد دانه آن نیز کاسته شده است، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد دانه اسفرزه در کشت خالص آن (۶۹/۰۷ گرم در مترمربع) مشاهده شد که با کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی تفاوت معنی‌داری نداشت (۶۷/۶۳ گرم در مترمربع). این موضوع نشان می‌دهد که در تراکم‌های بالا، رقابت درون‌گونه‌ای کاهش یافته و اسفرزه توانست عملکرد مطلوبی را تولید کند. در مقابل، کمترین میزان عملکرد دانه در تیمار افزایشی ۲۰ درصد اسفرزه (۵۵/۳ گرم در مترمربع) مشاهده شد که این نتیجه با توجه به کاهش شدید تراکم اسفرزه در این تیمار دور از انتظار نیست. عملکرد دانه کشت خالص اسفرزه طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۶ در هر یک از سه گروه تیماری تفکیک‌شده، اختلاف مشاهده‌شده بین تیمار ۲۰ درصد افزایشی اسفرزه با تیمارهای ۳۰ و ۴۰ درصد افزایشی آن معنی‌دار نبود، اما اختلاف این سطح افزایشی با سطوح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد افزایشی و کشت خالص اسفرزه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. به عبارت دیگر، اختلاف عملکرد در کشت خالص نسبت به سطوح ۷۵ درصد افزایش اسفرزه و سطوح کمتر از آن در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که عملکرد دانه اسفرزه در کشت مخلوط به‌شدت تحت تأثیر تراکم گیاه است و کاهش تراکم منجر به افت عملکرد می‌شود. مطالعات مشابه نیز این روند را تأیید کردند.

جدول ۴- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده بادام زمینی در کشت مخلوط بادام زمینی و اسفزه
Table 4- Correlation measured of peanut traits in intercropping

صفت Trait	تعداد شاخه فرعی Branche No	زیست- توده biomass	تعداد Normal pod No	تعداد Pike No	درصد پوکی Hollow pods	درصد پوسته Pod scurf	وزن خشک مغز دانه Kernel dry weight	عملکرد مغز تازه Seed yield	وزن نیام‌ها Pod weight	تعداد نیام غیرنرمال در بوته Abnormal pod No
تعداد شاخه فرعی Branche No.	1									
زیست‌توده Biomass	0.94**	1								
تعداد نیام نرمال Normal pod No.	0.86**	0.72*	1							
تعداد پایک Pike No.	0.94**	0.92**	0.71*	1						
درصد پوکی Hollow pods	-0.12	-0.31	0.23	-0.36	1					
درصد پوسته Pod scurf	0.31	0.53	-0.05	0.45	-0.60	1				
وزن خشک مغز Kernel dry weight	0.96**	0.98**	0.78*	0.96**	-0.26	0.48	1			
عملکرد مغز تازه Seed yield	0.95**	0.97**	0.75*	0.96**	-0.26	0.48	0.98**	1		
وزن نیام‌ها Pod weight	0.93**	0.97**	0.69*	0.89**	-0.21	0.55*	0.94**	0.96**	1	
تعداد نیام غیرنرمال Abnormal pod No.	-0.81**	-0.94**	-0.73*	-0.94**	0.36	-0.54	-0.94**	-0.94**	-0.86**	1

** ، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن را نشان می‌دهد.
** , * and ns: indicate respectively a significant difference at the probability level of 1%, 5% and no significant difference based on the Duncan test.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه

Table 5- Analysis of variance of the effect of intercropping different ratios on yield and yield components of isabgol

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد دانه در سنبله Seed number per spike	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	عملکرد زیست توده Biomass yield	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replicate	2	2.84	0.058	4.01	142.6	6.9
نسبت‌های کاشت Intercropping ratio	6	29.68*	0.011 ^{ns}	39.38**	1615.7**	78.2**
خطا Error	12	9.77	0.344	2.061	194.05	9.4
ضریب تغییرات CV%	-	21.2	19.8	13.05	8.2	15.3

*, *^{ns} و *^{ns}: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

**, * and ^{ns}: indicate respectively a significant difference at the probability level of 1%, 5% and no significant difference based on the Duncan test.

گزارش دیگری هیچ مزیت اقتصادی و سودمندی در کشت مخلوط ذرت و بادام زمینی در شرایط نیمه‌خشک و دیم نسبت به کشت خالص مشاهده نشد (Zhang et al., 2025). با توجه به تحقیقات انجام‌شده، کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد دانه مخلوط بیشتر از حداکثر محصول تک کشتی باشد. در این آزمایش، اضافه عملکرد دانه به‌دست‌آمده را می‌توان به استفاده بهتر دو گیاه از منابع محیطی و اختلاط در سیستم ریشه‌ای و همچنین نیازهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک بین آن‌ها نسبت داد که با ایجاد پوشش گیاهی مناسب، از تبخیر آب خاک و رشد علف‌های هرز جلوگیری نموده و این موضوع منجر به افزایش راندمان تولید نیز گردید. در ارزیابی سودمندی اقتصادی و بهبود تولید و کارایی ذرت و بادام زمینی گزارش شده که کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به کشت خالص آن‌ها باعث افزایش عملکرد و مزیت اقتصادی گردید. بنابراین این نوع کشت مخلوط که سیستم کشت مخلوط غالب در چین می‌باشد، توصیه می‌گردد (Li et al., 2023). در بررسی شاخص‌های رشدی لوبیاقمرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) و بادرششی (*Dracocephalum moldavica*) در الگوهای مختلف کشت مخلوط بیان شد که کشت مخلوط بادرششی با لوبیا سبب بهبود رشد این گیاه دارویی گردید و نسبت برابری زمین در الگوهای کشت مخلوط این گیاه دارویی با یکی از بقولات به‌دلیل تثبیت نیتروژن بیش از یک به دست آمد که از نظر اقتصادی و اکولوژیک سودمند بود (Bagheri et al., 2022).

به‌عنوان مثال، در بررسی کشت مخلوط زنیان و اسفرزه گزارش شد که بیشترین عملکرد دانه اسفرزه از تیمار کشت خالص با میانگین ۵۳۹/۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد، درحالی‌که تیمارهای با تراکم پایین‌تر اسفرزه عملکرد کمتری داشتند. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت حفظ تراکم مناسب گیاه در کشت‌های مخلوط برای دستیابی به عملکرد مطلوب است (Mousapour et al., 2017).

بررسی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط اسفرزه و بادام زمینی

با توجه به جدول ۷، شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط و بهره‌وری سیستم به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$) تحت تأثیر کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان سودمندی کشت مخلوط از تیمار ۲۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی به دست آمد (۵/۵۱) که با سایر تیمارهای کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری نشان داد. این موضوع احتمالاً ناشی از استفاده بهتر از منابع محیطی در این تیمار می‌باشد. کمترین میزان این شاخص نیز مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی بود (۰/۲۸) که با تیمار ۷۵ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی (۰/۴۹) تفاوت معنی‌داری نداشت. احتمالاً دلیل آن رقابت بیشتر این دو گیاه در این تیمارها بوده است (جدول ۸). هر چه بر تراکم بوته اسفرزه در واحد سطح افزوده شد، شاخص سودمندی کشت مخلوط کاهش یافت. نتایج مشابهی در کشت مخلوط گندم و نخود گزارش شده است (Banik et al., 2006). در

جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه تحت تأثیر نسبت‌های مختلف افزایشی با بادام زمینی

Table 6- Mean comparison of yield and yield components of isabgol under the influence of different intercropping different ratios with peanut

تیمار Treatment	تعداد دانه در سنبله Seed numbers per spike	تعداد سنبله در بوته Spike number per plant	عملکرد زیست‌توده Biomass yield (g.m ⁻²)	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)
کشت خالص اسفرزه Sole crop of isabgol	54.93 c*	10.16 d	314.1 a	69.07 a
۱۰۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 100% I + 100% P	55.61 bc	10.47 d	307.4 a	67.63 a
۷۵٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 75% I + 100% P	56.61 abc	13.74 c	280.3 b	61.67 b
۵۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 50% I + 100% P	61.1 ab	15.1 c	278.8 b	61.33 b
۴۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 40% I + 100% P	61.66 ab	16.16 bc	271.2 bc	59.66 bc
۳۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 30% I + 100% P	61.15 ab	18.66 ab	259.1 bc	57.1 bc
۲۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 20% I + 100% P	62.52 a	19.33 a	251.5 c	55.33 c

* میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

* The means with similar letters based on the Duncan test had not differ significantly in the probability level of 5%
I=Isabgol; P=Peanut

جدول ۷- تجزیه واریانس ارزیابی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط بادام زمینی و اسفرزه

Table 7- Analysis of variance evaluation of advantage and competitive indices of peanut and isabgol intercropping

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index	سودمندی کشت مخلوط Intercropping advantage
تکرار Replicate	2	103.424	0.008
نسبت‌های کاشت Planting rate	5	345.248**	11.35**
خطا Error	10	9.261	0.027
ضریب تغییرات CV (%)	-	19.35	10.97

**، * و ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار براساس آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

**، * and ns: indicate respectively a significant difference at the probability level of 1%, 5% and no significant difference based on the Duncan test.

بود. هر چه بر تراکم بوته اسفرزه در واحد سطح افزوده شد، شاخص سودمندی کشت مخلوط کاهش یافت، به طوری که کمترین آن مربوط به ۱۰۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی بود (۴۲/۶۸) که با تیمار ۷۵ درصد اسفرزه به بادام زمینی (۴۶/۹۷) تفاوت معنی‌داری نداشت. این امر به دلیل افزایش رقابت بین گونه‌ای نسبت به درون گونه‌ای است، به طوری که در این تحقیق، افزودن اسفرزه در تراکم‌های بیشتر به

شاخص دیگری که در نهایت کارایی یک سیستم کشت مخلوط را نمایان می‌سازد، شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) است که بالاتر بودن این شاخص نشانگر افزایش کارایی سیستم مخلوط است. بر این اساس مشاهده می‌شود که در تیمارهایی که در آن‌ها تراکم اسفرزه کمتر است، SPI بیشتری را دارا هستند. بیشترین میزان این شاخص (۷۲/۱۳) مربوط به تیمار ۲۰ درصد اسفرزه به بادام زمینی

بادام زمینی، میزان رقابت را بیشتر و کارایی سیستم را نسبت به کشت خالص آن‌ها کاهش داده است. در این رابطه، محققانی در ارزیابی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط افزایشی باقلا (*Vicia faba* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) به این نتیجه رسیدند که با افزایش تراکم باقلا در مخلوط با جو در نسبت ۳۷/۵:۱۰۰ (باقلا-جو) بیشترین میزان کارایی براساس شاخص SPI به دست آمد (Agegnehu et al., 2006). در تحقیقی دیگر، گزارش شده است که بالاترین میزان شاخص سودمندی کشت مخلوط از ۸٪ اسفرزه +

۱۰۰٪ زوفا به دست آمد (Rouzpeikar et al., 2020). با توجه به نتایج آزمایش به نظر می‌رسد که کشت مخلوط در نسبت افزایشی ۲۰٪ اسفرزه به ۱۰۰٪ بادام زمینی، مبتنی بر اصل تولید حمایتی بوده و به عبارت دیگر اصل مساعدت در این تیمار وجود داشت، اما در سایر نسبت‌ها به دلیل رقابت اسفرزه با بادام زمینی (رقابت بین گونه‌ای بیشتر از درون گونه‌ای بوده است)، هیچ‌کدام از اصول کشت مخلوط حاکم نبوده و به عبارتی کشت خالص سودمندتر از مخلوط بوده است.

جدول ۸- مقایسه میانگین شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط

Table 8- Mean Comparison of advantage and competitive indices evaluation of intercropping

تیمار Treatment	شاخص بهره‌وری سیستم System Productivity Index	سودمندی کشت مخلوط Intercropping Advantage
۱۰۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 100% I + 100% P	42.68 d*	0.28 e
۷۵٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 75% I + 100% P	46.97 d	0.49 e
۵۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 50% I + 100% P	53.75 c	1.63 d
۴۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 40% I + 100% P	58.72 bc	2.26 c
۳۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 30% I + 100% P	62.63 b	3.23 b
۲۰٪ اسفرزه + ۱۰۰٪ بادام زمینی 20% I + 100% P	72.13 a	5.51 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

* The means with silimar letters based on the Duncan test had not differ significantly in the probability level of 5%.

نتیجه‌گیری

استفاده از منابع محیطی و افزایش عملکرد در واحد سطح، نسبت کاشت ۲۰ درصد اسفرزه + ۱۰۰ درصد بادام زمینی برای منطقه اجرای آزمایش بود و بنابراین این ترکیب تیماری پیشنهاد می‌شود. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه کشت مخلوط می‌تواند مزایای اکولوژیک و اقتصادی داشته باشد، اما انتخاب نسبت‌های مناسب گیاهان همراه و مدیریت دقیق تراکم‌ها نقش کلیدی در حفظ عملکرد کمی گیاه اصلی دارد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح پژوهشی ۸-۹۵-۲۸۲۸ مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه جیرفت می‌باشد. لذا از دانشگاه جیرفت جهت تأمین هزینه‌های این طرح تشکر و قدردانی می‌گردد.

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که افزایش گیاه اسفرزه در کشت مخلوط با بادام زمینی، عملکرد و اجزای عملکرد بادام زمینی را به‌طرز معنی‌دار تحت تأثیر قرار داده است، به‌طوری‌که با افزایش تراکم اسفرزه، تعداد شاخه فرعی، تعداد نیام نرمال، وزن نیام‌ها، ماده خشک دانه در بوته، عملکرد دانه در واحد سطح و عملکرد زیست‌توده بادام زمینی به‌صورت خطی و معنی‌دار کاهش نشان داد. افزایش تراکم اسفرزه در کشت مخلوط باعث افزایش معنی‌دار زیست‌توده و عملکرد دانه اسفرزه شد و از طرف دیگر منجر به کاهش اجزای عملکرد، تعداد دانه در سنبله و تعداد دانه در سنبله شد، ولی بر وزن هزار دانه تأثیری نداشت. محاسبه شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط نشان داد که بهترین نسبت کشت مخلوط جهت حداکثر

References

1. Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2006). Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25(3), 202-207. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002>
2. Asgharipour, M., & Rafiei, M. (2010). Intercropping of isabgol (*Plantago ovata* L.) and lentil as influenced by drought stress. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 4(3), 341-348.
3. Bagheri, M., Rasouli-Sadaghiani, M., Rezaei-Chiyaneh, E., & Barin, M. (2022). Evaluation of growth indices of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Moldavian balms (*Dracocephalum moldavica*) at Different intercropping patterns in presence of microorganisms. *Journal of Horticultural Science*, 36(2), 355-371. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.67092.0>
4. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B., & Ghose, S. (2006). Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, 24(4), 325-332. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010>
5. Chen, Lu., Ding, M., Li, Z., & Li, X. (2022). Determination of macro, micro and toxic element concentrations in peanuts from main peanut producing areas of China by ICP-MS: A pilot study on the geographical characterization. *RSC advances*, 12(26), 16790-16797. <https://doi.org/10.1039/d2ra02148j>
6. Dahmardeh, M., & Keshtegar, A. (2014). Evaluation of yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in intercropping with peanuts (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agroecology*, 6(2), 311-323. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39371>
7. Dugassa, M., Legesse, H., & Geleta, N. (2023). Benefit and compatibility of maize (*Zea mays* L.) groundnut (*Arachis hypogaea*) intercropping as affected by spacing and row arrangements. *Journal of Agriculture, Food and Natural Resources*, 1(1), 10-15.
8. Feng, C., Sun, Z., Zhang, L., Feng, L., Zheng, J., Bai, W., Gu, C., Wang, Q., Xu, Z., & van der Werf, W. (2021). Maize/peanut intercropping increases land productivity: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 270, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108208>
9. Ghosh, P., Manna, M., Bandyopadhyay, K., Ajay, Tripathi, A., Wanjari, R., Hati, K., Misra, A., Acharya, C., & Subba Rao, A. (2006). Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. *Agronomy Journal*, 98(4), 1097-1108. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0328>
10. Keshtegar, A., Dahmardeh, M., Galavi, M., & Khammari, I. (2015). Evaluation of yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in intercropping with maize (*Zea mays* L.). *Applied Field Crops Research*, 28(107), 115-123. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2015.105712>
11. Khammar, Z. (2013). Evaluation of ecological aspects and beneficiary Indices of millet (*Pennisetum Americanum* L.)-peanuts (*Arachis hypogaea* L.) intercropping in additive and replacement series systems. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran. (In Persian with English abstract).
12. Khamar, Z., Dahmardeh, M., Khammari, I., & Moosavi Nik, S. M. (2019). The evaluation of resource efficiency and soil fertility indices in pearl millet (*Panucum miliaceum* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) intercropping. *Journal of Agroecology*, 11(4), 1511-1525. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i4.76827>
13. Li, Y., Wang, L., Zhao, B., Liu, P., Zhang, J., Dong, S., & Shi, D. (2023). Crop productivity, economic advantage, and photosynthetic characteristics in a corn-peanut intercropping system. *Agronomy*, 13(2), 509. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020509>.
14. Mao, L., Zhang, L., Li, W., Van der Werf, W., Sun, J., Spiertz, H., & Li, L. (2012). Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. *Field Crops Research*, 138, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.019>.
15. Moosavi, S.G., Hemayati, S.S., Seghatoleslami, M.J., & Ansarinia, E. (2012). Effect of planting date and plant density on morphological traits, yield and water use efficiency of *Plantago ovate*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6, 1873-1878. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.1242>.
16. Mosapour, H., Ghanbari, A., Sirousmehr, A., & Asgharipour, M. (2015). Effect of sowing time on seed yield, advantage and competitive indices in ajwain (*Carum copticum* L.) and isabgol (*Plantago ovate* Forsk.) intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(3), 1-13. (In Persian with English abstract). https://sustainableagriculture.tabrizu.ac.ir/article_3939_0.
17. Neamatollahi, E., Jahansuz, M.R., Mazaheri, D., & Bannayan, M. (2013). Intercropping. *Sustainable Agriculture*

- Reviews, 12, 119-142. (In Persian)
18. Rezaei-Chiyaneh, Esmaeil, et al. (2021). Isabgol (*Plantago ovata*) and lentil (*Lens culinaris*) intercrop responses to arbuscular mycorrhizal fungi inoculation. *Biological Agriculture & Horticulture*, 37(2), 125-140. <https://doi.org/10.1080/01448765.2021.1903556>
19. Pourkarami, E., Dahmardeh, M., Galavi, M., & Khmmari, I. (2023). Evolution of yield and yield components of peanut in intercropping with Roselle in different levels of nitrogen. *Journal of Crops Improvement*, 25(4), 887-899. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2023.346478.2735>.
20. Roozpeikar, Z., Jowkar, M., Taei-Semiromi, J., & Parsa Motlagh, B. (2020). Effect of additive intercropping system on yield, yield components and efficiency indices of *Hyssopus officinalis* and *Plantago ovate* Forsk. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(4), 1-17. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2020.12284>
21. Singh, A.K., Singh, J.B., Singh, R., Kantwa, S.R., Jha, P.K., Ahamad, S., Singh, A., Ghosh, A., Prasad, M., Singh, S., Singh, S., & Prasad, P.V.V. (2023). Understanding soil carbon and phosphorus dynamics under grass-legume intercropping in a semi-arid region. *Agronomy*, 13(7), 1692. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071692>
22. Zhang, Y., Sun, Z., Feng, C., Du, G., Feng, L., Bai, W., Zhang, Z., Zhang, D., Yang, J., & Li, C. (2025). Intercropping maize and peanut under semi-arid conditions is a zero-sum game. *Field Crops Research*, 326, 109833. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109833>
23. Zhao, Y., Guo, S., Zhu, X., Zhang, L., Long, Y., Wan, X., & Wei, X. (2024). How maize-legume intercropping and rotation contribute to food security and environmental sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140150. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140150>.
24. Zhou, D., Li, S., Yu, P., Xie, L., Xiu, N., Zhao, Y., Dong, Q., Zhang, H., Wang, J., & Wang, X. (2025). Maize/peanut strip intercropping improves yield stability and potassium use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 169, 127682. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127682>