



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

F. Akbari¹, M. Dahmardeh^{1*}, A. Morshedi², A. Ghanbari¹, S. Khorramdel³

1- Department of Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran

2- Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Education and Extension Organization, Shahrekord, Iran

3- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: Dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 03 November 2024
Revised: 15 December 2024
Accepted: 07 January 2025
Available Online: 13 April 2025

Akbari, F., Dahmardeh, M., Morshedi, A., Ghanbari, A., & Khorramdel, 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 with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.90594.1358>

Introduction

Intercropping is considered as one of the components of sustainable agriculture, where two or more species are grown in the same location to take advantage of the beneficial effects between the species. The competition among species for resource use can be facilitative, conflicting, or neutral. In many intercropping systems, plants from the legume and cereal families are cultivated with the aim of creating a complementary relationship between species and to enhance resource use efficiency. One practical way to increase organic matter in agricultural lands is through conservation tillage and returning plant residues to the soil. Corn (*Zea mays* L.) is the third most important cereal in the world, after wheat and rice. Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are among the most consumed legumes, playing a crucial role in providing the protein that humans need. The purpose of this research was to evaluate the performance, competitive indicators, and economic benefits of intercropping of corn and beans influenced by tillage systems, crop residues, and planting patterns in the conditions of Shahrekord.

Materials and Methods

The experiment was performed using split-split plot based on a randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Field of Shahrekord during 2016–2018. Tillage with two levels (minimum, and no-tillage) and three levels of crop residues (30, 60, and 90% of straw yield of wheat) and five intercropping patterns including corn and bean sole cropping, corn and bean ratio with 2:2, 3:1 and 1:3 were considered as main, sub and sub-sub plots, respectively. After measuring the yield of corn and beans, in order to evaluate the efficiency and competition in intercropping, the indices of land equivalent ratio, relative crowding coefficient, aggressivity and competition ratio were calculated. Also, in order to measure the economic usefulness of intercropping, system productivity index, Intercropping Advantage, and Monetary Advantage Index were used.



©2025 The author(s). 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/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2025.90594.1358>

Results and Discussion

Based on the results obtained, the interaction of tillage $\times$ crop residues $\times$ plant patterns had a significant effect on the yield of corn and beans ($P \leq 0.05$). Based on the average comparison results, the highest corn yield was obtained in sole corn cultivation under no-till conditions and using 60% of residues in the second year of the experiment ($1.9317 \text{ kg ha}^{-1}$). The yield of bean seeds, the highest yield was related to sole bean cultivation in low tillage conditions and the use of 60% plant residues ($2933.91 \text{ kg ha}^{-1}$). The interaction of tillage $\times$ crop residues $\times$ plant patterns on total land equivalent ratio was significant ($P \leq 0.05$). The plant pattern of 2 corn: 2 beans had the highest amount of LER (1.71) compared to other intercropping patterns. The maximum value of total relative crowding coefficient and competition index for corn was obtained in the plant pattern of 2 corn: 2 beans. Also, the positive values of the aggressivity index for the corn showed the competitive advantage of this plant compared to beans. The corn canopy has a larger volume and height compared to the bean canopy, so corn is a stronger competitor in absorbing light and other resources than beans. The corn canopy has a larger volume and height compared to the bean canopy, so corn is considered a stronger competitor in absorbing light and other resources than beans. The system productivity index was positive across all intercropping ratios, indicating the overall effectiveness of intercropping. The highest intercropping advantage (5859.42) and monetary advantage index (5988.62) were observed in the 2 corn: 2 beans planting pattern. The increased monetary advantage index in this ratio can be attributed to the higher land equivalent ratio and total relative crowding coefficient achieved in this treatment.

Conclusion

According to the results obtained from the evaluation of the land equivalent ratio and the relative crowding coefficient, intercropping advantage and monetary advantage index, it can be stated that the 2 corn: 2 bean planting pattern was superior in terms of competition and economic usefulness compared to other intercropping patterns. Based on the findings of this research, the positive values of the aggressivity index and the increase in the competition index indicate a competitive advantage of corn over beans in intercropping. Therefore, it can be said that the 2 corn: 2 beans, in addition to creating diversity and sustainability through maximizing the biological potential of the species, is significantly effective in enhancing financial advantage and the efficiency of using agricultural lands.

Keywords: Cereal, Land equivalent ratio, Monetary advantage, Relative crowding coefficient, Yield

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴، ص ۳۵۷-۳۴۱

ارزیابی شاخص‌های رقابت و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) - لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تأثیر سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کاشت

فریده اکبری^۱، مهدی دهمرده^{۱*}، علی مرشدی^۲، احمد قنبری^۱، سرور خرم دل^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

چکیده

تفاوت در خصوصیات ساختاری و زیستی گیاهان نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد ارتباط بین گونه‌های مختلف در سیستم کشت مخلوط دارد. در همین راستا، به منظور ارزیابی توان رقابتی و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) آزمایشی به صورت کرت‌های دوبر خردشده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۷) با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان شهرکرد اجرا شد. سیستم‌های خاک‌ورزی در دو سطح (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) به عنوان عامل اصلی، مدیریت بقایای گیاهی در سه سطح (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد وزن بقایای گندم (*Triticum aestivum* L.) به عنوان عامل فرعی و الگوی کشت مخلوط در پنج سطح (کشت خالص ذرت (*Zea mays* L.)، کشت خالص لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، نسبت‌های کشت مخلوط ۲:۲، ۳:۱ و ۱:۳ ذرت: لوبیا) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص ذرت در شرایط بی‌خاک‌ورزی و کاربرد ۶۰ درصد بقایای گیاهی (۹۳۱۷/۱ کیلوگرم در هکتار) و کشت خالص لوبیا در شرایط کم‌خاک‌ورزی و کاربرد ۶۰ درصد بقایای گیاهی (۲۹۳۳/۹۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. مقادیر شاخص‌های ضریب ازدحام نسبی، رقابت و درجه تهاجم برای ذرت بیشتر از لوبیا بود که این امر بیانگر توان رقابتی بالاتر ذرت بود. بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۷۱)، ضریب ازدحام نسبی، شاخص سودمندی و مزیت مالی کشت مخلوط مربوط به الگوی کشت ۲:۲ ذرت: لوبیا بود. با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان بیان کرد که رویکردهای کشاورزی کم‌نهاد و افزایش تنوع با استفاده از گونه‌ها و الگوهای مناسب که حداقل رقابت را ایجاد نمایند منجر به افزایش بهره‌وری تولید و سودمندی سیستم کشت می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ضریب ازدحام نسبی، عملکرد، غلات، مزیت مالی، نسبت برابری زمین

مقدمه

مناطق کشاورزی است (UNFPA, 2023) که منجر به معضلات زیست‌محیطی و بوم‌شناختی زیان‌باری شده است (Crews, Carton, & Olsson, 2018). بنابراین به منظور افزایش پایداری کشاورزی در بلندمدت، تأمین امنیت غذایی، حفظ منابع طبیعی و بهبود معیشت کشاورزان، راهکارهای کشاورزی پایدار مطرح گردید (Koochafkan & Altieri, 2016). یکی از مؤلفه‌های کشاورزی پایدار که در آن دو یا چند گونه یا ژنوتیپ در یک مکان به منظور بهره‌برداری از اثرات مفید بین گونه‌ها کشت می‌شوند، کشت مخلوط می‌باشد که امکان ترکیب یک محصول سودآور با محصولات پوششی یا غیرسودآور را فراهم می‌نماید. همچنین از لحاظ افزایش عملکرد، کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی و افزایش کارایی مصرف آب

جمعیت جهان به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش و در سال‌های اخیر به بیش از هشت میلیارد نفر رسیده است. از پیامدهای رایج افزایش جمعیت، از بین رفتن بوم‌نظام‌های طبیعی هم‌زمان با گسترش

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، شهرکرد، ایران

۳- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*) - نویسنده مسئول: Email: Dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.90594.1358>

فراوان در تغذیه انسان و دام، صنعت و تأمین انرژی، این گیاه را به محصولی با ارزش و با تقاضای فراوان تبدیل کرده است که نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی در برخی از مناطق فقیر جهان ایفا می‌کند (FAO, 2017; Grote, Fasse, Nguyen, Erenstein, 2021). تا سال ۲۰۵۰، تقاضا برای ذرت در کشورهای در حال توسعه دو برابر خواهد شد. پتانسیل بالای ذرت در جذب و ذخیره انرژی، این گیاه را به یک محصول حیاتی تبدیل کرده است که حداقل ۳۰ درصد کالری مورد نیاز بیش از ۴/۵ میلیارد نفر در سراسر جهان را تأمین می‌نماید، این امر بیانگر اهمیت ذرت در تضمین امنیت غذایی جهانی است (Cimmyt & IITA, 2010; Yali, 2022). لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) از خانواده بقولات (Leguminosae)، از جمله حبوبات پر مصرف در ایران و جهان است که در تأمین پروتئین مورد نیاز انسان نقش به‌سزایی ایفا می‌کند. سطح زیر کشت آن در جهان حدود ۲۹ میلیون هکتار (FAO, 2022) و در ایران بیش از ۱۰۰ هزار هکتار (آمارنامه جهاد کشاورزی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰) است. لوبیا چیتی از زیرگونه‌های لوبیا معمولی است که حدود ۵۰ درصد سطح زیر کشت انواع لوبیا و بیش از نیمی از تولید کل لوبیا در ایران به آن اختصاص دارد (Behgam, Amini, & Dabagh, 2018; Mohammadi Nesab, 2018; Ghatari, Roozbahani, & Rosataei, Fallah, & Yaghoobi, 2019). روستایی و همکاران (Abbasi Surki, 2018) با بررسی نسبت برابری زمین، شاخص رقابت، ضریب ازدحام نسبی، شاخص‌های سودمندی و مزیت مالی کشت مخلوط شنبلله و سیاهدانه گزارش کردند که رقابت بین گونه‌ای و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط به‌شکل معنی‌داری تحت تأثیر الگوهای کاشت و سیستم تغذیه گیاهان قرار دارد. نتایج مطالعه دودمان و همکاران (Doodeman, Mirshekari, Taheri, 2020; Farahvash, & Moradi, 2020) بیانگر افزایش سود مالی و مقادیر مثبت شاخص بهره‌وری سیستم در کشت مخلوط خلر (*Lathyrus sativus* L.) و جو (*Hordeum vulgare*) نسبت به کشت خالص بود. در بیان اهمیت طراحی الگوی کاشت در سودمندی کشت مخلوط، صالحی شیخی و همکاران (Salehi Sheikhi, Nakhzari, Moghaddam, Rahemi Karizaki, & Mohamad Eamaeili, 2021) اظهار داشتند که نسبت برابری زمین و ضریب نسبی تراکم در الگوهای افزایشی بیشتر از الگوهای جایگزینی کشت مخلوط بود. همچنین در الگوهای جایگزینی، نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) و در الگوهای افزایشی، اسفناج غالب بود و در مجموع، نسبت برابری زمین بالای یک و مثبت بودن شاخص بهره‌وری سیستم بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به تک کشتی گونه‌ها بود. محققان در بررسی کشت مخلوط تریتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای تحت تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی گزارش کردند که نسبت برابری جزئی زمین هر یک از گیاهان با افزایش تراکم آن گیاه در الگوهای مختلف کاشت

به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک حائز اهمیت است (Maitra, 2024; Brooker et al., 2023; Tokar et al., 2024). گونه‌های کشت‌شده در مجاورت یکدیگر، منابع را به‌صورت متفاوت و کارآمدتری استفاده می‌نمایند (Beillouin, Ben-Ari, & Makowski, 2019; Jensen, Carlsson, & Hauggaard-Nielsen, 2020)، رقابت هر یک از گونه‌ها در استفاده از منابع می‌تواند به‌صورت تسهیل یا تداخل و یا خنثی باشد. بر همین اساس، در طراحی سیستم کشت مخلوط لازم است که خانواده گیاهان و توانایی گونه‌ها برای رقابت بر سر منابع محدود مورد توجه قرار گیرد (Gaudio et al., 2019; Gaudio et al., 2021). در بسیاری از سیستم‌های کشت مخلوط، گیاهانی از خانواده بقولات و غلات با هدف ایجاد رابطه مکملی بین گونه‌ها و افزایش کارایی استفاده از منابع کشت می‌شوند (Gaba et al., 2018; Jensen et al., 2020). کشاورزان جهت دستیابی به اهداف متعددی از عملیات شخم استفاده می‌نمایند، روش شخم، از نظر شدت و زمان، تأثیرات بلندمدت بر سلامت خاک دارد (Stevens, 2018; Ogieriakhi & Woodward, 2022). عملیات شخم به‌شکل مرسوم منجر به حذف بقایای گیاهی، هجوم علف‌های هرز، اختلال در چرخه آفات و بیماری‌ها (Claassen, Bowman, McFadden, Smith, & Wallander, 2018; Claassen et al., 2018; Blanco, & Lal, 2023)؛ تخریب ساختمان خاک، کاهش حاصلخیزی و افزایش اتکا به نهاده‌های خارجی (Kopitke, 2019; Menzies, Wang, McKenna, & Lombi, 2019) شده است. کشاورزی حفاظتی^۱ که برپایه حداقل اختلال در خاک، تناوب زراعی و حفظ بقایای گیاهی در خاک بنا شده است، به‌عنوان یک راه‌حل در جهت تولید پایدار محصولات کشاورزی پیشنهاد می‌شود که هم‌زمان منابع خاک و آب را حفظ کرده و هزینه‌های ورودی را نیز کاهش می‌دهد. در این نوع کشاورزی، روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی (شخم کاهشی و بدون شخم) جایگزین خاک‌ورزی مرسوم شده است (Margenot et al., 2017; Zhang et al., 2018; Bergtold & Sailus, 2020). امروزه یکی از مشکلات اصلی در سیستم‌های کشاورزی، کمبود مواد آلی خاک است. یکی از راهکارهای قابل اجرا برای افزایش مواد آلی در اراضی کشاورزی، برگرداندن بقایای محصولات گیاهی به خاک است که ضمن تأمین نیازهای گیاه، در حفظ و افزایش مقدار ذخیره کربن آلی خاک مؤثر است، ضمن اینکه از لحاظ اقتصادی نیز برای کشاورزان ارزان‌تر و سودآور می‌باشد (Diaz, 2023). ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده گندمیان (Poaceae) است که پس از گندم و برنج، سومین غله مهم در جهان است. ویژگی‌های خاص ذرت از جمله پتانسیل بالای عملکرد، دامنه سازگاری گسترده در اقلیم‌های مختلف و کاربردهای

عامل فرعی-فرعی الگوهای کشت مخلوط ذرت و لوبیا چیتی در پنج سطح (کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیا، نسبت ۲:۲ ذرت و لوبیا، نسبت ۳:۱ ذرت و لوبیا و نسبت ۱:۳ ذرت و لوبیا) در سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش از ذرت رقم K.S.C 704 از ارقام دیررس با طول دوره رشدی ۱۳۰-۱۲۵ روز و لوبیا چیتی رقم صدری دارای تیپ رشدی رونده و میانگین دوره رشدی ۱۰۸-۱۱۵ روز استفاده شد. به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت، نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه انجام گردید که نتایج آن **جدول ۱** ارائه شده است.

در اوایل بهار، قطعه زمینی به مساحت ۲۴۰۰ مترمربع انتخاب و برای اعمال تیمار بقایای گیاهی، بقایای یک مزرعه گندم در پاییز سال قبل (۸۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) توزین و به‌مقدار لازم برحسب تیمارها به زمین اضافه و سپس عملیات خاک‌ورزی انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف کاشت به‌طول دو متر و فاصله ۶۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۲/۵، کرت‌های فرعی دو، کرت‌های فرعی-فرعی یک متر و فاصله دو بوته روی ردیف برای لوبیا و ذرت به‌ترتیب پنج و ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که تیمارهای خاک‌ورزی نیاز به کرت‌های بزرگ دارند به‌عنوان عامل اصلی در نظر گرفته شدند. به این ترتیب، در هر پلات اصلی تعداد ۱۵ تیمار وجود داشت. بنابراین در طول هر پلات اصلی ۴۸ متر با عرض دو متر، خاک‌ورزی اعمال گردید. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی در طول فصل رشد و توسط کارگر انجام شد. آبیاری به‌صورت بارانی در ابتدای فصل رشد با فاصله زمانی چهار روز و بعد از آن با فاصله زمانی یک هفته صورت گرفت. طی مرحله گرده‌افشانی ذرت که حدود ۱۰ روز به طول انجامید، آبیاری در شب انجام شد تا بساک‌ها در اوایل صبح باز و هوای سرد و مرطوب باعث تأخیر و هوای گرم و خشک باعث تسریع در باز شدن بساک‌ها و گرده‌افشانی نگردد. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه دو گیاه هم‌زمان با زرد شدن اندام‌های گیاه، عملیات برداشت در ۳۰ شهریورماه با رعایت اثر حاشیه انجام شد. پس از محاسبه عملکرد، شاخص‌های رقابتی و سودمندی کشت مخلوط با استفاده از رابطه‌های ۱۰-۱ محاسبه شد.

افزایش یافته است. براساس نتایج حاصل از شاخص‌های رقابتی، ترتیب‌کاله گیاه غالب بود و در این شرایط ماشک را به‌عنوان یک گیاه همراه مطلوب با توانایی رقابتی کمتر معرفی نمودند (Sadra & Fatemi, 2021). در مطالعه فاطمی دوبین و همکاران (Devin, Hosseini, Moghadam, & Motesharezadeh, 2020)، بیشترین نسبت برابری زمین از کشت مخلوط افزایشی ۶۰ درصد ذرت + ۶۰ درصد لوبیاچیتی (۱/۲۲) و بیشترین عملکرد لوبیا چیتی از کشت خالص به دست آمد. ارزیابی شاخص‌های رقابتی شامل ضریب ازدحام نسبی، نسبت رقابت و شاخص غالبیت در کشت مخلوط نشان داد که چغندر علوفه‌ای نسبت به پنبه از قدرت رقابتی بالاتری برخوردار است (Rastgoo, Asadi, Sorkhsaraei, & Rahimi, 2021). کشت مخلوط ذرت و لوبیا با افزایش تنوع، نقش مؤثری در افزایش پایداری بوم‌نظام زراعی ایفا می‌کند، در همین راستا امکان ارتقاء شاخص‌های اقتصادی از طریق بهبود شاخص‌های رقابتی با طراحی الگوی کشت مناسب و کاربرد کشاورزی کم‌نهاد امکان‌پذیر می‌باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی عملکرد، شاخص‌های رقابتی و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت و لوبیا تحت تأثیر سامانه‌های خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کاشت در شرایط شهرکرد بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه ایستگاه چهارتخته مرکز تحقیقات شهرستان شهرکرد با موقعیت ۴۹ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۲۰۶۰ متر از سطح دریا طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۵ انجام شد. اقلیم منطقه براساس روش دومارتن - گوسن و کوپن به‌ترتیب نیمه‌خشک - استپی سرد و معتدل سرد با تابستان‌های گرم و خشک با میانگین بارندگی ۳۳۰ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد است. آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خردشده (اسپلیت - اسپلیت پلات) برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای آزمایشی شامل عامل اصلی سیستم خاک‌ورزی در دو سطح کم‌خاک‌ورزی (دیسک و فاروئر) و بی‌خاک‌ورزی، عامل فرعی مدیریت بقایای گیاهی در سه سطح (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد وزن بقایای گندم) و

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil before start of the experiment

وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g cm ⁻³)	پتاسیم قابل دسترسی Available K (ppm)	فسفر قابل دسترسی Available P (ppm)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی Organic C (%)	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH	بافت Texture	سال زراعی Year
1.4	217	8.6	0.087	0.62	0.73	7.86	لومی - رسی	1395-1396
1.38	249	8.2	0.077	0.78	1.1	7.91	Clay-loam	1396-1397

نسبت برابری زمین^۱ (LER)

$$LER = Y_{ia}/Y_{sa} + Y_{ib}/Y_{sb} \quad (۱)$$

که در آن، Y_{ia} ، Y_{ib} : به ترتیب عملکرد ذرت و لوبیا در کشت مخلوط و Y_{sa} ، Y_{sb} : به ترتیب عملکرد ذرت و لوبیا در کشت خالص می باشد (Willey, 1979).

ضریب ازدحام نسبی^۲ (K) بیانگر غالبیت نسبی یک جزء در مخلوط نسبت به جزء دیگر (DeWit, 1960) و شاخص درجه تهاجم^۳ (A) جهت ارزیابی رقابت در کشت مخلوط ذرت و لوبیا (Willey, 1979) با استفاده از روابط ۴، ۳، ۲ و ۵ محاسبه گردید.

$$K_{ab} = \frac{Y_{ab} \times Z_{ba}}{(Y_{aa} - Y_{ab}) \times Z_{ab}} \quad (۲)$$

$$K_{ba} = \frac{Y_{ba} \times Z_{ab}}{(Y_{bb} - Y_{ba}) \times Z_{ba}} \quad (۳)$$

$$A_{ab} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ab}} - \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ba}} \quad (۴)$$

$$A_{ba} = \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ba}} - \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ab}} \quad (۵)$$

که در آن ها، K_{ba} و K_{ab} : به ترتیب ضریب ازدحام نسبی ذرت و لوبیا، A_{ba} و A_{ab} : به ترتیب درجه تهاجم ذرت و لوبیا، Y_{bb} و Y_{aa} : به ترتیب عملکرد ذرت و لوبیا در کشت خالص، Y_{ba} و Y_{ab} : به ترتیب عملکرد ذرت و لوبیا در مخلوط و Z_{ba} و Z_{ab} : نسبت کشت از هر جزء در مخلوط است. هر چه مقدار K کل ($K_{ab} \times K_{ba}$) در کشت مخلوط بیشتر باشد، نشان دهنده کارایی بیشتر سیستم کشت مخلوط از نظر رقابتی است.

به جای شاخص درجه تهاجم، شاخص دیگری تحت عنوان نسبت رقابت^۴ (CR) معرفی گردید که در این شاخص، نسبت برابری زمین برای هر گیاه در مخلوط همراه با سهم نسبی کشت شده از هر گیاه در نظر گرفته شده است (Willey & Rao, 1980).

$$CR_a = (LER_a/LER_b)(Z_{ba}/Z_{ab}) \quad (۶)$$

به منظور سنجش سودمندی اقتصادی از شاخص های مزیت مالی^۵ و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط^۶ استفاده شد (Lithourgidis, Vlachostergios, Dordas, & Damalas, 2011).

$$MAI = (Y_a \times P_c + Y_b \times P_w) \times \frac{LER-1}{LER} \quad (۷)$$

$$IA_c = AYL_c \times P_c \quad (۸)$$

$$IA_w = AYL_w \times P_w \quad (۹)$$

که در آن ها، AYL_c : کاهش واقعی عملکرد لوبیا، P_c : قیمت محصول لوبیا، AYL_w : کاهش واقعی عملکرد ذرت و P_w : قیمت محصول ذرت است.

شاخص بهره وری سیستم^۷ (SPI)

بر اساس این شاخص، عملکرد جزء دوم (گیاه همراه: لوبیا) در مخلوط بر حسب جزء اول (گیاه اصلی: ذرت) استاندارد می شود (Odo, 1991).

$$SPI = \frac{S_a}{S_b} Y_b + Y_a \quad (۱۰)$$

که در آن، S_a و S_b : میانگین عملکرد ذرت و لوبیا در کشت خالص و Y_a و Y_b : میانگین عملکرد ذرت و لوبیا در کشت مخلوط است. تجزیه داده ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه ذرت و لوبیا

نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح خاک ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت بر عملکرد دانه ذرت و لوبیا در جدول ۲ ارائه گردیده است. برپایه نتایج به دست آمده، اثر متقابل خاک ورزی $\times$ بقایای گیاهی، بقایای گیاهی $\times$ الگوهای کشت و سال $\times$ خاک ورزی $\times$ بقایای گیاهی $\times$ الگوهای کشت بر عملکرد دانه ذرت معنی دار بود ($P \leq 0.05$). همچنین اثر متقابل خاک ورزی $\times$ بقایای گیاهی و خاک ورزی $\times$ بقایای گیاهی $\times$ الگوهای کشت بر عملکرد دانه لوبیا معنی دار بود ($P \leq 0.05$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین عملکرد دانه ذرت در کشت خالص ذرت در شرایط بی خاک ورزی و کاربرد ۶۰ درصد بقایا در سال دوم آزمایش (۹۳۱۷/۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که با تیمار کم خاک ورزی از لحاظ آماری اختلاف معنی داری نشان نداد. کمترین عملکرد دانه ذرت در الگوی کشت ۱ ردیف ذرت: ۳ ردیف لوبیا در سیستم کم خاک ورزی و کاربرد ۳۰ درصد بقایای گیاهی (۵۸۱۳/۴ کیلوگرم در هکتار) در سال دوم آزمایش مشاهده شد (جدول ۳). این نتایج با یافته های قاضی نژاد و همکاران (Ghazinejad, Monjezi, Rahnema Ghahfarokhi, & Sheikhdavoodi, 2022) در رابطه با تأثیر معنی دار اثر متقابل خاک ورزی و بقایای گیاهی بر عملکرد دانه ذرت مطابقت دارد، به طوری که بیشترین عملکرد دانه ذرت در تیمار کم خاک ورزی و حفظ بقایای گندم به دست آمد. همچنین سرخه و همکاران (Sorkheh, Zaefarian, & Gharineh, 2020) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که عملکرد ذرت در تیمار کم خاک ورزی و استفاده از بقایای گندم و گیاه پوششی افزایش یافت. ایشان بیان نمودند که در خاک ورزی حفاظتی، وجود بقایا در سطح خاک موجب کاهش سبز شدن و استقرار علف های هرز و در نتیجه کاهش رقابت آن ها با گیاه زراعی شده و عملکرد ذرت در چنین شرایطی افزایش یافته است.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت بر عملکرد دانه ذرت و لوبیا
 Table 2- Combined analysis of variance (mean of squares) of the effect of tillage levels, crop residues and planting patterns on the yield of corn and beans.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه ذرت Corn grain yield	عملکرد دانه لوبیا Bean grain yield
سال (Y) Year (Y)	1	696942.05 ^{ns}	141118.93 ^{ns}
بلوک (سال) Block (year)	4	109595.44	26024.86
سطوح خاک‌ورزی (T) Tillage levels (T)	1	60794.46 ^{ns}	1078.71 ^{ns}
سال × خاک‌ورزی Y × T	1	2432818.45*	89331.54 ^{ns}
خطای اصلی Main error	4	82714.93	9696.16
بقایای گیاهی (R) Crop residues (R)	2	2158900.94*	1227769.18*
سال × بقایای گیاهی Y × R	2	78454.19 ^{ns}	1466201.31*
خاک‌ورزی × بقایای گیاهی T × R	2	2253240.01*	264357.47*
سال × خاک‌ورزی × بقایای گیاهی Y × T × R	2	3596624.6*	305261.36*
خطای فرعی Sub error	16	178739.29	16278.47
الگوهای کشت (P) Planting patterns (P)	3	21188411.57*	2295579.66*
سال × الگوهای کشت Y × P	3	758152.41*	251427.91*
خاک‌ورزی × الگوهای کشت T × P	3	370799.91 ^{ns}	25818.34 ^{ns}
سال × خاک‌ورزی × الگوهای کشت Y × T × P	3	1138388.2*	15537.86 ^{ns}
بقایای گیاهی × الگوهای کشت R × P	6	47393.08*	108181.11 ^{ns}
سال × بقایای گیاهی × الگوهای کشت Y × R × P	6	487632.64*	34959.49 ^{ns}
خاک‌ورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت T × R × P	6	346207.93 ^{ns}	67441.47*
سال × خاک‌ورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت Y×T × R × P	6	458700.18*	41898.17 ^{ns}
خطای فرعی-فرعی Sub-sub error	72	80251.5	8629.13
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.9	4.0

ns و *: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

ns and *: Non-significant and significant at 5% of probability level, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهم کنش سال، سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت بر عملکرد دانه ذرت
Table 3- Mean comparisons of the interaction of year, tillage levels, crop residues and planting Patterns on corn grain yield

سال Year	سیستم خاک‌ورزی Tillage systems	الگوهای کشت Planting patterns	درصد بقایای گیاهی Crop residues (%)		
			30	60	90
1395-1396	کم خاک‌ورزی Reduced tillage	ذرت خالص Corn sole cropping	7785.9 ^{c-f*}	7758 ^{c-f}	7610.6 ^{d-h}
		2C:2B	6355.7 ^{p-t}	7085.5 ⁱ⁻ⁿ	6361.3 ^{p-t}
		3C:1B	6977.7 ^{k-o}	7144.2 ^{h-m}	6857.6 ^{l-p}
		1C:3B	6404.6 ^{p-s}	6884.5 ^{l-p}	6737.6 ^{d-q}
	بی خاک‌ورزی No tillage	ذرت خالص Corn sole cropping	8677.7 ^b	8725.6 ^b	8088.8 ^{cd}
		2C:2B	6564.5 ^{n-r}	7218.2 ^{g-l}	6717.5 ^{l-q}
		3C:1B	6919 ^{l-q}	7656 ^{d-h}	6755.2 ^{l-q}
		1C:3B	6240.8 ^{q-u}	6670.1 ^{m-q}	6556.2 ^{n-r}
1396-1397	کم خاک‌ورزی Reduced tillage	ذرت خالص Corn sole cropping	7755.72 ^{d-f}	9237.2 ^a	7687.1 ^{d-g}
		2C:2C	6358.4 ^{p-t}	7545.2 ^{e-j}	6512.5 ^{o-r}
		3C:1B	7016.3 ^{k-o}	8249.9 ^{b-c}	7566.7 ^{d-i}
		1C:3B	5813.4 ^u	7595.7 ^{d-i}	5853 ^{tu}
	بی خاک‌ورزی No tillage	ذرت خالص Corn sole cropping	7879.8 ^{c-f}	9317.1 ^a	8260.6 ^{bc}
		2C:2B	6442.7 ^{p-s}	6999.5 ^{h-o}	7044.7 ^{i-o}
		3C:1B	6669.9 ^{m-q}	7442.7 ^{f-k}	7982.1 ^{c-e}
		1C:3B	6102.1 ^{r-u}	6618.4 ^{m-r}	5965.3 ^{s-u}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column follow by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که کشت یک ردیف از هر گیاه در الگوی کشت موجب کاهش عملکرد شده است که می‌توان آن را به کاهش تراکم هر گونه در کشت مخلوط نسبت داد. در تأیید نتایج این پژوهش، پیری و همکاران (Piri, Zendehtdel, & Tavassoli, 2017) اظهار داشتند که عملکرد دانه ذرت و سویا (*Glycine max* L.) لادر الگوهای مختلف کاشت مخلوط کاملاً تحت تأثیر تراکم قرار گرفته و با افزایش تراکم در الگوهای کاشت، عملکرد دانه نیز افزایش یافته است. با توجه به نتایج می‌توان بیان نمود که عدم استفاده از ادوات خاک‌ورزی با تأثیرات مثبت بر ساختار خاک همراه با افزایش مواد آلی، شرایط بهینه رشد را برای گیاهان فراهم آورده و موجب افزایش عملکرد در واحد سطح شده است. همچنین با توجه به روند تدریجی تجزیه و آزادسازی عناصر مغذی از بقایای گیاهی، در سال دوم آزمایش این عناصر به‌نحو مؤثرتری در دسترس گیاهان قرار گرفته و موجب بهبود عملکرد شده است. نتایج آزمایش اسدی و همکاران (Asadi, Khorramdel, Shahriary, Ranjbar, & Agghavani Shajari, 2017) نشان داد که بالاترین عملکرد دانه لوبیا و ذرت مربوط به کشت خالص بود و در کشت مخلوط با افزایش نسبت لوبیا و ذرت در نسبت‌های کشت، عملکرد دانه افزایش یافته است. همچنین بنابر گزارش کوچکی و همکاران (Koocheki,

در خصوص عملکرد دانه لوبیا، بیشترین عملکرد مربوط به کشت خالص لوبیا در شرایط کم‌خاک‌ورزی و کاربرد ۶۰ درصد بقایای گیاهی (۲۹۳۳/۹۱) کیلوگرم در هکتار) بود، درحالی‌که با تیمار بی‌خاک‌ورزی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین عملکرد دانه لوبیا در الگوی کشت ۳ ردیف ذرت : ۱ ردیف لوبیا در سیستم کم‌خاک‌ورزی و کاربرد ۳۰ درصد بقایای گیاهی (۱۸۲۵/۹) کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۳). نسبت‌های کشت ۳:۱ برای ذرت و ۱:۳ برای لوبیا نسبت به دو الگوی دیگر کشت مخلوط، عملکرد بالاتری داشتند. به نظر می‌رسد که در این الگوها، گیاه توانسته است که حداکثر استفاده از منابع را داشته باشد و در نتیجه با افزایش تراکم هر جزء در الگوی کشت، عملکرد دانه روند افزایشی نشان داده است. با توجه به اینکه تاج‌پوشش ذرت، دارای حجم و ارتفاع بیشتری در مقایسه با تاج‌پوشش لوبیا است، بنابراین ذرت، رقیب قوی‌تری در جذب نور و سایر منابع برای لوبیا محسوب می‌شود. چنین به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد لوبیا در کشت خالص نسبت به تیمارهای کشت مخلوط می‌تواند به دلیل عدم رقابت برون گونه‌ای لوبیا در کشت خالص بر سر جذب نور باشد که این امر باعث افزایش جذب نور به وسیله تاج‌پوشش لوبیا و در نتیجه بهبود فتوسنتز و در نهایت افزایش عملکرد اقتصادی لوبیا شده باشد (Fatemi Devin et al., 2020).

داشت، به‌طوری‌که مقدار آن در این الگو برابر با ۱/۷۱ به دست آمد و کمترین مقدار در نسبت کشت ۱ ردیف لوبیا : ۳ ردیف ذرت (۱/۶۰) مشاهده شد (شکل ۱). مقادیر نسبت برابری زمین کل بزرگ‌تر از یک در تمامی الگوهای کشت (۱/۶۰، ۱/۶۴ و ۱/۷۱) بدان معنی است که کشت خالص هر جزء نیاز به ۶۰، ۶۴ و ۷۱ درصد زمین بیشتری نسبت به کشت مخلوط دارد تا عملکردی برابر آن را تولید کند و این نتایج بیانگر کارایی بیشتر استفاده از زمین در سیستم‌های کشت مخلوط است. نتایج مشابهی در سیستم کشت مخلوط ذرت و لوبیا توسط سایر محققان گزارش شده است (Koocheki et al., 2014; Asadi et al., 2017; Esfahani, Amir Shekari, Zand, & Fotovkiyan, 2017; Fatemi Devin et al., 2020). ویژگی‌های ساختاری و زیست‌شناسی متفاوت بین بقولات و غلات در کشت مخلوط مانند تفاوت در عمق ریشه‌دهی، گسترش شعاعی و تراکم ریشه، شکل تاج‌پوشش گیاهان و تثبیت زیستی نیتروژن از عوامل تأثیرگذار بر رقابت بین گیاهان در کشت مخلوط بر سر جذب آب و عناصر غذایی هستند که موجب بروز روابط همزیستی دوجانبه مثبت بین گیاهان می‌شود، در نتیجه کارایی استفاده از زمین در سیستم کشت مخلوط افزایش می‌یابد (Fan et al., 2016; Javanmard, Amani Machiani, & Mousavi, 2018). پژوهشگران در بررسی کشت مخلوط، بیشترین نسبت برابری زمین را در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ ذرت: لوبیا گزارش کردند و علت آن را به تراکم مطلوب گیاهی در این تیمار و استفاده بهتر از منابع محیطی نسبت دادند (Asadi et al., 2017).

Nasiri Mahalati, Deihimfard, Mirzaei Talarposhti, & Kheirkhah, 2014)، بالاترین عملکرد در تیمارهای کشت مخلوط مربوط به الگوهای افزایشی کشت مخلوط بود (جدول ۴). از این‌رو اظهار داشتند که هر چه تراکم یک جزء در کشت مخلوط افزایش یافته، عملکرد آن جزء نیز بالاتر رفته است. محققان افزایش تجمع ماده خشک در کشت مخلوط را به افزایش کارایی مصرف نور از طریق افزایش تراکم گیاه و شاخص سطح برگ کافی برای دریافت نور در مرحله پر شدن دانه، بهبود ظرفیت گونه‌ها و اثر مکملی آن‌ها در افزایش جذب و مصرف منابع و افزایش فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت زیستی نسبت داده‌اند (Jahansooz, Yunusa, Coventry, Palmer, & Eamus, 2007; Koocheki, Nassiri Mahallati, Mondani, Feizi, & Amirmoradi, 2009; Asadi et al., 2017).

نسبت برابری زمین

نسبت برابری جزء و کل دو گیاه تحت تأثیر بقایای گیاهی، الگوهای کشت و برهم‌کنش خاک‌ورزی × بقایای گیاهی تفاوت معنی‌داری داشتند ($P \leq 0.05$)، اما در خصوص سایر اثرات، برهم‌کنش بقایای گیاهی × الگوهای کشت و سال × خاک‌ورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت بر نسبت برابری زمین جزئی لوبیا و نسبت برابری زمین کل معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$) (جدول ۵). نتایج نشان داد که نسبت برابری زمین کل در تمامی الگوهای کشت بزرگ‌تر از یک بود که بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. در بین الگوهای مختلف، نسبت ۲ ردیف ذرت : ۲ ردیف لوبیا بیشترین نسبت برابری زمین را در مقایسه با سایر نسبت‌های کشت مخلوط

جدول ۴- مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت بر عملکرد دانه لوبیا

Table 4- Mean comparisons of the effects of tillage levels, crop residues and planting patterns on bean grain yield

سیستم خاک‌ورزی Tillage systems	الگوهای کشت Planting patterns	درصد بقایای گیاهی Crop residues (%)		
		30	60	90
کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	لوبیا خالص	2418.11 ^{ed*}	2933.91 ^a	2758.42 ^b
	Bean sole cropping			
	2C:2B	2043.25 ^{k-m}	2451.08 ^{de}	2374.14 ^{e-f}
	3C:1B	1825.9 ⁿ	2195.14 ^{h-j}	2353.23 ^{ef}
بی‌خاک‌ورزی No tillage	1C:3B	2215.50 ^{g-j}	2253.33 ^{f-i}	2339.79 ^{e-g}
	لوبیا خالص	2499.22 ^{cd}	2820.75 ^{ab}	2582.68 ^c
	Bean sole cropping			
	2C:2B	2116.42 ^{j-l}	2428.42 ^{ed}	2318.16 ^{e-h}
	3C:1B	1862.40 ⁿ	1998.61 ^m	1966.33 ^{mn}
	1C:3B	2149.42 ^{i-k}	2448.04 ^{ed}	2177.98 ^{ij}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

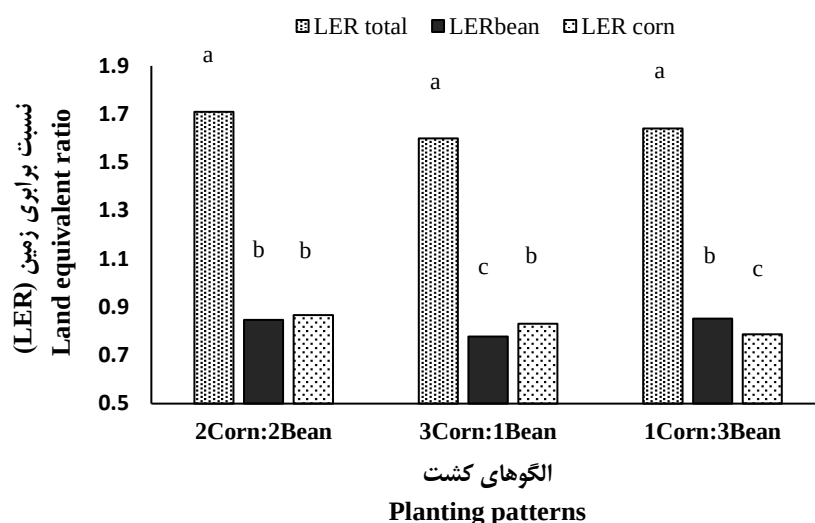
* Means in each column follow by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب نسبت برابری زمین جزء و کل ذرت و لوبیا تحت تأثیر سیستمهای خاکورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت
 Table 5- Combined analysis of variance (mean square) of the partial and total land equivalent ratio of corn and beans affected by tillage systems, crop residues and planting patterns

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	نسبت برابری زمین لوبیا LER _{Corn}	نسبت برابری زمین کل LER _{Bean}	نسبت برابری زمین کل LER _{Total}
سال (Y) Year (Y)	1	0.0074 ^{ns}	0.161*	0.098*
بلوک (سال) Block (year)	4	0.0034	0.0036	0.0069
سطوح خاکورزی (T) Tillage levels (T)	1	0.0030 ^{ns}	0.0128 ^{ns}	0.0033 ^{ns}
سال × خاکورزی Y × T	1	0.114 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.135*
خطای اصلی Main error	4	0.00052	0.0044	0.0024
بقایای گیاهی (R) Crop residues (R)	2	0.0352*	0.0149*	0.0532*
سال × بقایای گیاهی Y × R	2	0.0016 ^{ns}	0.0017 ^{ns}	0.00005 ^{ns}
خاکورزی × بقایای گیاهی T × R	2	0.029*	0.0148*	0.0311*
سال × خاکورزی × بقایای گیاهی Y × T × R	2	0.049*	0.0051*	0.0793*
خطای فرعی Sub error	16	0.0079	0.0038	0.0051
الگوهای کشت (P) Planting patterns (P)	2	0.057*	0.063*	0.105*
سال × الگوهای کشت Y × P	2	0.0094 ^{ns}	0.0195*	0.046*
خاکورزی × الگوهای کشت T × P	2	0.0097 ^{ns}	0.0016 ^{ns}	0.0073 ^{ns}
سال × خاکورزی × الگوهای کشت Y × T × P	2	0.0016 ^{ns}	0.0022 ^{ns}	0.0002 ^{ns}
بقایای گیاهی × الگوهای کشت R × P	4	0.0017 ^{ns}	0.0182*	0.024*
سال × بقایای گیاهی × الگوهای کشت Y × R × P	4	0.0080 ^{ns}	0.0047*	0.016*
خاکورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت T × R × P	4	0.0032 ^{ns}	0.0012 ^{ns}	0.0051 ^{ns}
سال × خاکورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت Y × T × R × P	4	0.00069 ^{ns}	0.0085*	0.0116*
خطای فرعی-فرعی Sub-sub error	48	0.0013	0.0003	0.0011
ضریب تغییرات CV%	-	4.5	3.1	3.1

ns و *: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد.

ns and *: Non-significant and significant at 5% of probability level, respectively.



شکل ۱- نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط ذرت و لوبیا
Figure 1- Land equivalent ratio for different intercropping patterns of corn and beans

شاخص‌های رقابتی

ضریب ازدحام نسبی، قدرت رقابت یک گونه را نسبت به گونه دیگر نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که مقدار این ضریب برای ذرت در تمامی الگوهای کشت به‌استثنای ۱ ردیف ذرت: ۳ ردیف لوبیا بیشتر از ضریب ازدحام نسبی لوبیا بود. حداکثر مقدار ضریب ازدحام نسبی کل در الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا (۴۰/۷۸) به دست آمد (جدول ۶). در مجموع، به نظر می‌رسد که کاهش نسبت دو گیاه به یک ردیف در الگوی کشت موجب کاهش ضریب ازدحام نسبی شده است. به نظر می‌رسد که سهم ذرت در افزایش ضریب ازدحام نسبی کل بیشتر از لوبیا باشد که می‌توان آن را به تیپ رشدی متفاوت دو گیاه نسبت داد. هر چه مقدار K 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 (Koocheki et al., 2014). در پژوهشی روی کشت مخلوط ذرت و سویا مشخص شد که ذرت در مخلوط با سویا جزء غالب بود و حداکثر ضریب ازدحام نسبی در الگوی ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد سویا مشاهده شد و با کاهش تراکم ذرت، مقدار این شاخص کمتر و اثر رقابتی ذرت بر سویا نیز کاهش یافت (Rahimi Darabad, Barmaki, Seyed Sharifi, 2015). هدف از کشت مخلوط، پهنه‌سازی استفاده از فضا، زمان و منابع در بالا و پایین خاک از طریق به حداکثر رساندن اثرات مثبت و به حداقل رساندن اثرات منفی رقابت می‌باشد. موفقیت این سیستم در گرو انتخاب گیاهان اصلی و همراه سازگار و الگوی کشت مناسب است (Mushagalusa, Ledent, & Draye, 2008). شاخص درجه تهاجم بیانگر اختلاف عملکرد نسبی دو گونه می‌باشد و این شاخص در حالت کلی شدت رقابت را به‌صورت

کمی نشان می‌دهد. نتایج حاصل از محاسبه این شاخص نشان داد که در نسبت‌های مختلف کشت، ذرت گیاه غالب بود (جدول ۶). بر همین اساس، بیشترین مقدار این شاخص مربوط به الگوی کشت ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا (۱/۷۳) بود. مقادیر مثبت شاخص درجه تهاجم برای گیاه ذرت بیانگر برتری رقابتی این گیاه نسبت به لوبیا بود. غالبیت غلات نسبت به بقولات به رشد سریع‌تر و توسعه بهتر سیستم ریشه نسبت داده می‌شود (Pellicano, Romeo, Pristeri, Preiti, & Monti, 2015). در مجموع، با توجه به نتایج این دو شاخص می‌توان این گونه نتیجه گرفت که در کشت مخلوط، گیاه برخوردار از مقدار K کمتر و مقدار A منفی‌تر، به‌عنوان گیاه مغلوب و گیاه دیگر به‌عنوان جزء غالب محسوب می‌شود (Willey, 1979; Agegnehu, Ghizaw, & Sinebo, 2006). کشت گیاهان در مجاورت یکدیگر، انتخاب گونه‌های گیاهی با قدرت رقابت بالا، تنظیم فاصله ردیف‌های کشت و تراکم مناسب از عوامل افزایش‌دهنده توان رقابتی گیاهان زراعی هستند (Blackshaw, Donovan, Harker, Clayton, & Stougaard, 2006). در ارزیابی توانایی رقابتی گیاهان در کشت مخلوط، شاخص رقابت در مقایسه با شاخص‌های ضریب ازدحام نسبی و درجه تهاجم معیار مطلوب‌تری است (Yilmaz, Ozel, Atak, & Eraymanm, 2015). بررسی نسبت رقابتی ذرت و لوبیا نشان داد که مقادیر این شاخص در تمامی نسبت‌های کشت برای گیاه ذرت بیشتر از لوبیا بود. بیشترین مقدار شاخص برای ذرت در نسبت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا (۲/۷۹) به دست آمد. مقادیر شاخص رقابت کوچک‌تر از یک برای یک جزء در مخلوط بیانگر اثرات رقابتی کمتر است و به‌عنوان گیاه همراه مطلوب در کشت مخلوط محسوب می‌شود. مطابق نتایج جدول ۶ مقدار شاخص رقابت برای لوبیا کمتر از یک

است و به عنوان گیاه همراه مطلوب در مخلوط با ذرت، توانایی رقابتی بسیار کمتری دارد. براساس نتایج این تحقیق، ایده آل ترین شرایط در کشت مخلوط ذرت و لوبیا نسبت ۱ ردیف ذرت: ۳ ردیف لوبیا بود که دو گیاه اثرات رقابتی یکسان بر یکدیگر داشته و تکمیل کننده آشیان اکولوژیک یکدیگر در الگوی کشت مخلوط هستند. تاج پوشش ذرت دارای حجم و ارتفاع بیشتری در مقایسه با تاج پوشش لوبیا می باشد، بنابراین ذرت رقیب قوی تری در جذب نور و سایر منابع نسبت به لوبیا به شمار می رود (Asadi et al., 2017). در همین زمینه، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) در کشت مخلوط ذرت-لوبیا نتایج مشابهی گزارش کردند. نتایج حاصل از محاسبه شاخص های غالبیت، ضریب ازدحام نسبی و رقابت در کشت مخلوط خلر و جو نشان داد که علامت چیرگی برای جو و خلر به ترتیب مثبت و منفی

بود. در تمامی الگوها، ضریب نسبی تراکم و شاخص رقابتی جو بیشتر از خلر و بالاتر از یک بود که بیانگر برتری عملکرد جو نسبت به خلر در کشت مخلوط بود. از همین رو چنین استنباط کردند که چنانچه رقابت برون گونه ای مساوی و یا کمتر از رقابت درون گونه ای باشد، نه تنها گیاهان با یکدیگر رقابت نمی کنند، بلکه مکمل یکدیگر نیز خواهند بود (Haghaninia, Javanmard, & Mollaaliabasiyan, 2018). به عبارت دیگر، اختلاف بین گونه ها در نحوه استفاده از منابع منجر به کاهش رقابت بین گونه ای نسبت به رقابت درون گونه ای می گردد و در این شرایط بین گیاهان در آشیان اکولوژیکی یکسان از نظر عوامل محیطی و زمان رقابتی وجود ندارد (Mushagalusa et al., 2008).

جدول ۶- شاخص های ضریب ازدحام نسبی، درجه تهاجم و رقابت در الگوهای مختلف کشت مخلوط ذرت-لوبیا

Table 6- Indices of relative crowding coefficient, aggressivity, and competition in different intercropping patterns of corn and beans

الگوهای کشت Planting patterns	ضریب ازدحام نسبی Relative crowding coefficient			شاخص درجه تهاجم Aggressivity		شاخص رقابت Competition ratio	
	ذرت Corn		لوبیا Bean	ذرت Corn		لوبیا Bean	ذرت Corn
	Total						
2C:2B	7.01b	5.89b	40.78a	0.43b	-0.43b	1.13b	0.40c
3C:1B	13.12a	2.55c	29.93b	1.73a	-1.73c	2.79a	0.36c
1C:3B	2.21c	11.69a	25.14c	0.67a	-0.67c	0.99b	0.97b

(Cicer arietinum L.) بیان نمودند که نتایج این شاخص در تمامی الگوهای کشت مخلوط مثبت بود و بیشترین میزان شاخص بهره وری مربوط به الگوی کشت ۷۵ درصد جو + ۲۵ درصد نخود بود (Javanmard et al., 2018). بیشترین میزان سودمندی کشت مخلوط مربوط به نسبت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا (۵۸۵۹/۴۲) و حداقل سودمندی در نسبت ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا (۲۷۳۳/۴۶) مشاهده شد (جدول ۷). برخی از محققان علت بالا رفتن شاخص سودمندی مخلوط را استفاده بهتر از منابع موجود مانند نور، آب و مواد غذایی عنوان کرده اند (Lithourgidis et al., 2011; Rezaei, 2015). عدم سودمندی در نسبت کشت ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا می تواند به دلیل اختلاف قیمت هر جزء در سیستم باشد. این اختلاف قیمت باعث می شود تا اجزاء کشت مخلوط قادر به جبران آن نباشند. محققان عدم سودمندی اقتصادی در سیستم کشت مخلوط پنبه با لوبیا چشم بلبلی و سورگوم را به اختلاف قیمت اجزای مخلوط نسبت دادند (Aasim, Umer, & Karim, 2008). ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط ذرت و لوبیا از طریق شاخص مزیت مالی نشان داد که به استثنای الگوی ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا، سایر الگوهای کشت مخلوط نسبت به تک کشتی از لحاظ اقتصادی سودمند می باشند و الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف

شاخص های اقتصادی

شاخص بهره وری نظام کشت یکی از شاخص های ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط است که داده های آن با استاندارد کردن محصول ثانویه بر مبنای محصول اصلی به دست می آید (Agegnehu et al., 2006). این شاخص قابلیت تولید و کارایی سیستم کشت مخلوط را نمایان می سازد. مقادیر شاخص های بهره وری سیستم (SPI)، سودمندی اقتصادی کشت مخلوط (IA) و مزیت مالی (MAI) در هریک از تیمارهای کشت مخلوط به تفکیک در جدول ۷ ارائه شده است. مثبت بودن مقادیر این شاخص ها گویای سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط ذرت با لوبیا و استفاده بهتر از منابع در دسترس توسط این دو گیاه در مقایسه با کشت خالص آن ها می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، بالاترین میزان شاخص بهره وری سیستم در الگوی کاشت ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا (۲۹۶۱/۱۷) مشاهده شد. در مجموع، مقدار این شاخص در تمام نسبت های کشت مخلوط مثبت بود که نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط است. بررسی روند نتایج نشان دهنده نقش مؤثر ذرت در افزایش بهره وری سیستم است، به نحوی که با افزایش تراکم ذرت بیشترین میزان کارایی براساس شاخص بهره وری سیستم به دست آمد. محققان در ارزیابی شاخص بهره وری سیستم در کشت مخلوط جو و نخود

سایر محققان نیز گزارش شده است (Dhima et al., 2007; Esmaeili et al., 2011). در کشت مخلوط تریتیکاله (*Triticale*) و ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth)، بالاترین مقدار سودمندی مربوط به الگوی ۵۰:۵۰ کشت مخلوط بود که آن را ناشی از تشکیل اشکوب‌های مختلف جهت بهره‌برداری بهتر از منابع محیطی از قبیل نور، آب و عناصر غذایی دانستند (Sadra & Hamzei, 2021). در تأیید نتایج این مطالعه، جوانمرد و همکاران (Javanmard et al., 2018) در بررسی کشت مخلوط نخود و جو گزارش کردند که مقادیر شاخص سودمندی اقتصادی در اکثر الگوهای کشت مخلوط مثبت بود. مثبت بودن این شاخص گویای سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط نخود علوفه‌ای با جو و استفاده بهتر از منابع در دسترس در مقایسه با کشت خالص دو گیاه بود و بیشترین میزان سودمندی اقتصادی (MAI) در تیمار ۵۰ درصد نخود + ۵۰ درصد جو مشاهده شد. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری سیستم و سودمندی اقتصادی در کشت مخلوط خلر و جو بیانگر سودمندی اقتصادی این سیستم کشت بود. بر همین اساس بیان نمودند، تیمارهایی که از نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی بالاتری برخوردارند، میزان بهره‌وری و سودمندی مالی بالاتر و در نتیجه ثبات عملکرد بیشتری داشتند (Haghaninia et al., 2018).

لویا (۵۹۸۸/۶۲) دارای بیشترین مزیت مالی بود (جدول ۷). از آن‌جاکه این شاخص با نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی کل رابطه مستقیمی دارد (Lithourgidis et al., 2011)، بنابراین مزیت مالی در نسبت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لویا را می‌توان به افزایش نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی کل در این تیمار نسبت داد. همچنین مقدار شاخص سودمندی و مزیت مالی در سال دوم آزمایش بیشتر از سال اول بود که می‌تواند ناشی از اثرات مثبت خاک‌ورزی حفاظتی، تجزیه بقایای گیاهی و تثبیت زیستی نیتروژن توسط لویا باشد که اثرات مثبت آن در تغذیه و بهبود رشد گیاهان منجر به افزایش عملکرد و سودمندی اقتصادی گردید. نتایج نشان داد که کاهش نسبت لویا در کشت مخلوط با ذرت از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. لازم به ذکر است که اختلاف در سودمندی سیستم‌های کشت مخلوط از لحاظ اقتصادی می‌تواند ناشی از اختلاف عوامل ساختاری و زیستی گیاهان، نیازهای غذایی متفاوت گونه‌ها، نحوه استفاده آن‌ها از منابع موجود و همچنین غالبیت یک گونه نسبت به دیگری باشد (Dhima, Lithourgidis, Vasilakoglou, & Dordas, 2007). در این تحقیق، نتایج حاصل از شاخص مزیت مالی با نتایج حاصل از نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی مطابقت داشت، به‌طوری‌که نسبت‌هایی که مقدار نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی آن‌ها بیشتر بود از لحاظ اقتصادی نیز سودمند بودند. رابطه نزدیک بین شاخص مزیت مالی با شاخص‌های رقابتی توسط

جدول ۷- تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط ذرت و لویا بر شاخص‌های بهره‌وری سیستم، سودمندی و مزیت مالی

Table 7- The effect of different intercropping patterns of corn and beans on the system productivity, advantage, and monetary advantage

سال Year	شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) System Productivity Index	سودمندی کشت مخلوط (IA) Intercropping Advantage	مزیت مالی (MAI) Monetary Advantage Index
1395-1396	3002.63a	3613.4b	5281.08b
1396-1397	2634.45b	4014.45a	5627.75a
الگوهای کشت Planting patterns			
2C:2B	2775.4b	5859.42a	5988.62a
3C:1B	2961.17a	2733.46c	5083.46c
1C:3B	2719.01c	2848.89b	5291.16b

شاخص درجه تهاجم و افزایش شاخص رقابت بیانگر برتری رقابتی ذرت نسبت به لویا در کشت مخلوط بود. به نظر می‌رسد که غالبیت ذرت به دلیل رشد سریع، سیستم‌ریشه‌ای گسترده و ارتفاع بیشتر بود که منجر به استفاده بهتر از منابع در دسترس گردید. استفاده از گونه‌هایی با قدرت رقابت بالا و طراحی الگوی کشت مناسب از عوامل افزایش‌دهنده توان رقابتی گیاهان در بوم‌نظام‌های زراعی هستند. کشت مخلوط ذرت و لویا سابقه‌ای دیرینه دارد. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل موفقیت این سیستم، کاهش رقابت بین گونه‌ای به دلیل کاشت گونه‌های سازگار (ذرت-لویا) در مجاورت

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بالاترین نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی به الگوی ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لویا تعلق داشت. همچنین با توجه به شاخص‌های سودمندی و مزیت مالی می‌توان اظهار کرد که الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لویا سودمندی بیشتری نسبت به سایر الگوهای کشت مخلوط داشت که با نتایج حاصل از نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی مطابقت داشت. براساس یافته‌های تحقیق حاضر، مقادیر مثبت

یکدیگر می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا علاوه بر ایجاد تنوع و پایداری به واسطه بهره‌گیری حداکثری از پتانسیل زیستی گونه‌ها در افزایش مزیت مالی و کارایی استفاده از زمین‌های کشاورزی به‌طور قابل ملاحظه‌ای مؤثر می‌باشد.

References

1. Aasim, M., Umer, E. M., & Karim, A. (2008). Yield competition indices of intercropping cotton (*Gossypium hirsutum* L.) using different planting patterns. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 14(4), 326-333.
2. 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>
3. Asadi, G., Khorramdel, S., Shahriary, R., Ranjbar, F., & Aghhavan Shajari, M. (2017). Effect of replacement intercropping ratios of sweet corn with bean varieties on yield and yield components. *Iranian Journal of Pulses Research*, 8(2), 192-204. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/IJPR.V8I2.50084>
4. Behgam, M., Amini, R., & Dabagh Mohammadi Nesab, A. (2018). The effect of integrated weed management methods on yield and yield components of pinto bean. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(4), 175-190. (in Persian with English Abstract)
5. Beillouin, D., Ben-Ari, T., & Makowski, D. (2019). A dataset of meta-analyses on crop diversification at the global scale. *Data in Brief*, 24, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103898>
6. Bergtold, J., & Sailus, M. (2020). *Conservation Tillage Systems in the Southeast*. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE), SARE Handbook Series. by the USDA's National Institute of Food and Agriculture under Award No. 2019-38640-29881. p. 310. <https://doi.org/10.13016/dq71-irmm>
7. Blackshaw, R. E., O'donovan, J. T., Harker, K. N., Clayton, G. W., & Stougaard, R. N. (2006). Reduced herbicide doses in field crops: A review. *Weed Biology and Management*, 6(1), 10-17. <https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2006.00190.x>
8. Blanco, H., & Lal, R. (2023). Crop residue management. *Soil Conservation and Management*, In book: 185-210. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30341-8_9
9. Brooker, R. W., Hawes, C., Iannetta, P. P., Karley, A. J., Renard, D., & Schmid, B. (2023). Plant diversity and ecological intensification in crop production systems. *Journal of Plant Ecology*, 16(6), 1-15. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtad015>
10. CIMMYT & IITA. (2010). *Maize – Global alliance for improving food security and the livelihoods of the resource-poor in the developing world*. Draft Proposal Submitted by CIMMYT and IITA to the CGIAR Consortium Board. El Batan, Mexico. pp. 91.
11. Claassen, R., Bowman, M., McFadden, J., Smith, D., & Wallander, S. (2018). Tillage intensity and conservation cropping in The United States. United States Department of Agriculture, Economic Research Service, 197, 1-28. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.277566>
12. Crews, T. E., Carton, W., & Olsson, L. (2018). Is the future of agriculture perennial? Imperatives and opportunities to reinvent agriculture by shifting from annual monocultures to perennial polycultures. *Global Sustainability*, 1(11), 1-18. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.11>
13. Dhima, K. V., Lithourgidis, A. A., Vasilakoglou, I. B., & Dordas, C. A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100(2-3), 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008>
14. Diaz, Ch. A. (2023). The sustainable role of agricultural residues in future bioeconomy strategies and its dependency upon carbon returns to arable soils. *Chemical and Process Engineering*, INSA de Toulouse, Ph.D. Thesis, 383 pp.
15. DeWit, C. T. (1960). On competition. *Verslag Landbouwkundige Onderzoek*, 66, 1-28.
16. Doodeman, A., Mirshekari, B., Taheri, M., Farahvash, F., & Moradi, P. (2020). Effects of P organic and chemical fertilizers on yield and productivity indicators in barley and grass pea intercropping under rainfed conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3), 139-149. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.269565.654546>
17. Esfahani, A. R., Amir Shekari, H., Zand, B., & Fotovkiyan, M. H. (2017). Effect of plant density and arrangement on corn (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) row intercropping. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, 14(1), 13-22. (in Persian with English Abstract).
18. Esmaeili, A., Sadeghpour, A., Hosseini, S. M. B., Jahanzad, E., Chaichi, M. R., & Hashemi, M. (2011). Evaluation of seed yield and competition indices for intercropped barley (*Hordeum vulgare*) and annual medic (*Medicago scutellata*). *International Journal of Plant Production*, 5(4), 395-404. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.749>
19. Fan, Z., An, T., Wu, K., Zhou, F., Zi, S., Yang, Y., Xue, G., & Wu, B. (2016). Effects of intercropping of maize and potato on sloping land on the water balance and surface runoff. *Agricultural Water Management*, 166, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.006>

20. FAO. (2022). Statistical Pocketbook. FAOSTAT database. <http://faostat.fao.org>
21. FAO. (2017). The Future of Food and Agriculture, Trends and Challenges. (Food and Agriculture Organization of the United Nations).
22. Fatemi Devin, R., Hosseini, S. B., Moghadam, H., & Moteszarezhadeh, B. (2020). Effect of organic and bio-fertilizers and additive and replacement intercropping systems on corn (*Zea maize* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yields. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(4), 133-145. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.286433.654634>
23. Gaba, S., Alignier, A., Aviron, S., Barot, S., Blouin, M., Hedde, M., Jabot, F., Vergnes, A., Bonis, A., Bonthoux, S., Bourgeois, B., Bretagnolle, V., Catarino, R., Coux, C., Gardarin, A., Brice Giffard, Gal, A. L., Lecomte, J., Miguet, P., Piutti, S., Rusch, A., Zwicke, M., & Couvet, D. (2018). Ecology for sustainable and multifunctional agriculture. *Sustainable Agriculture Reviews 28: Ecology for Agriculture*, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018 S. Gaba et al. (eds.), Sustainable Agriculture Reviews 28, Ecology for Agriculture 28. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5>
24. Gaudio, N., Escobar-Gutiérrez, A. J., Casadebaig, P., Evers, J. B., Gérard, F., Louarn, G., Colbach, N., Munz, S., Launay, M., Marrou, H., Barillot, R., Hinsinger, P., Bergez, J. E., Combes, D., Durand, J. L., Frak, E., Pagès, L., Pradal, C., Saint-Jean, S., Van Der Werf, W., & Justes, E. (2019). Current knowledge and future research opportunities for modeling annua crop mixtures. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(20), 1-20.
25. Gaudio, N., Violle, C., Gendreau, X., Fort, F., Mahmoud, R., Pelzer, E., Médiène, S., Hauggaard-Nielsen, H., Bedoussac, L., Bonnet, C., Corre-Hellou, G., Couëdel, A., Hinsinger, Ph., Steen Jensen, E., Journet, E. P., Justes, E., Kammoun, B., Litrico, I., Moutier, N., Naudin, Ch., & Casadebaig, P. (2021). Interspecific interactions regulate plant reproductive allometry in cereal-legume intercropping systems. *Journal of Applied Ecology*, 58(11), 2579-2589. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13979>
26. Ghatari, A. S., Roozbahani, A., & Yaghoobi, S. R. (2019). Integration of mechanical and chemical methods in red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) weeds management. *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(39), 58-70. (in Persian with English Abstract)
27. Ghazinejad, M., monjezi, N., Rahnama Ghahfarokhi, A., & Sheikhdavoodi, M. J. (2022). Effect of tillage method and wheat residues on physical productivity of water and corn yield in Dezful city. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(1), 17-32. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43900.2604>
28. Grote, U., Fasse, A., Nguyen, T. T., & Erenstein, O. (2021). Food security and the dynamics of wheat and maize value chains in Africa and Asia. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 1-17. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.617009>
29. Haghaninia, M., Javanmard, A., & Mollaaliabasiyan, S. (2018). Evaluation of forage yield and quality and advantages of barley (*Hordeum vulgare* L.)- grass pea (*Lathyrus sativus* L.) intercropping using mycorrhiza. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(3), 221-242. (in Persian with English Abstract)
30. Jahansooz, M. R., Yunusa, I. A. M., Coventry, D. R., Palmer, A. R., & Eamus, D. (2007). Radiation- and water-use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. *European Journal of Agronomy*, 26(3), 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.10.008>
31. 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 with English Abstract).
32. Jensen, E. S., Carlsson, G., & Hauggaard-Nielsen, H. (2020). Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(5), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>
33. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Deihimfard, R., Mirzaei Talarposhti, R., & Kheirkhah, M. (2014). Evaluating the competitiveness and productivity in a maize-bean intercropping system using some indices. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), 535-542. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.45134>
34. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mondani, F., Feizi, H., & Amirmoradi, S. (2009). Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. *Journal of Agroecology*, 1(1), 13-23. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.2650>
35. Koochekan, P., & Altieri, M. A. (2016). Forgotten agricultural heritage: Reconnecting food systems and sustainable development. *Taylor & Francis*, 296. In book: p. 296. Publication Location London. <https://doi.org/10.4324/9781315470092>
36. Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E., (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
37. 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>
38. 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, 343. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020343>
 39. Margenot, A. J., Paul, B. K., Sommer, R. R., Pulleman, M. M., Parikh, S. J., Jackson, L. E., & Fonte, S. J. (2017). Can conservation agriculture improve phosphorus (P) availability in weathered soils? Effects of tillage and residue management on soil P status after 9 years in a Kenyan Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 166, 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.09.003>
 40. Mushagalusa, G. N., Ledent, J. F., & Draye, X. (2008). Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. *Environmental and Experimental Botany*, 64(2), 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.05.008>
 41. Odo, P. E. (1991). Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the Sudan savanna of Nigeria: Land equivalent ratio, grain yield and system productivity index. *Experimental Agriculture*, 27(4), 435-441. <https://doi.org/10.1017/S0014479700019426>
 42. Ogieriakhi, M. O., & Woodward, R. T. (2022). Understanding why farmers adopt soil conservation tillage: A Systematic review. *Soil Security*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100077>
 43. Pellicano, A., Romeo, M., Pristeri, A., Preiti, G., & Monti, M. (2015). Cereal-pea intercrops to improve sustainability in bioethanol production. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 827-835. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0294-1>
 44. Piri, I., Zendehdel, B., & Tavassoli, A. (2017). Study of agronomical and ecological parameters of additive and replacement intercropping systems of corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Journal of Agroecology*, 9(3), 705-721. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.45737>
 45. Rahimi Darabad, G., Barmaki, M., & Seyed Sharifi, R. (2015). Investigation of some growth indices in mixed potato and safflower cultivation. *Applied Agricultural Research*, 27(104), 173-179. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2014.101838>
 46. Rastgoo, M., Asadi, G., Sorkhsaraei, A. D., & Rahimi, S. (2021). Evaluation of competitive indices and cultivation efficiency of cotton-fodder beet intercropping under weed interference conditions. *Journal of Plant Protection*, 35(3), 373-387. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/JPP.2021.32834.0>
 47. Rezaei-Chiyaneh, E., & Gholinezhad, E. (2015). Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology*, 7(3), 381-396. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V7I3.35858>
 48. Rosataei, M., Fallah, S., & Abbasi Surki, A. (2018). Effect of different fertilization systems (chemical, organic and integrated) on competitive and economic indices of fenugreek and black cumin intercropping, *Plant Production Thecnology*, 10(1), 159-174. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22084/ppt.2018.8046.1461>
 49. 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 with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.41625.2541>
 50. Salehi Sheikhi, M., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A., & Mohamad Eamaeili, M. (2021). Effect of pea cultivar and replacement and additive intercropping ratios of pea and spinach on yield and competition indices. *Journal of Crops Improvement*, 23(4), 952-939. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.302557.2395>
 51. Sorkheh, M., Zaefarian, F., & Gharineh, M. H. (2020). Effect of green manure under different conditions of tillage on weed characteristics and corn (*Zea mays* L.) yield. *Plant Productions*, 43(2), 281-294. (in Persian with English Abstract).
 52. Stevens, A. W. (2018). Review: The economics of soil health. *Food Policy*, 80, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.08.005>
 53. Toker, P., Canci, H., Turhan, I., Isci, A., Scherzinger, M., Kordrostami, M., & Yol, E. (2024). The advantages of intercropping to improve productivity in food and forage production—a review. *Plant Production Science*, 27(3), 155-169. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2372878>
 54. UNFPA. (2023). Peace, dignity and equality on a healthy planet. <https://www.un.org/en/global-issues/population>
 55. Willey, R. W., & Rao, M. R. (1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, 16(2), 117-125. <https://doi.org/10.1017/S0014479700010802>
 56. Willey, R. W. (1979). Intercropping its importance and research needs. Competition and yield advantage. *Field Crop Abstracts*, 32(1), 1-10.
 57. Yali, W. (2022). Review of the genetic variability in maize genotypes (*Zea mays* L.). *Plant*, 10(1), 1-7.

<https://doi.org/10.11648/j.plant.20221001.11>

58. Yilmaz, S., Ozel, A., Atak, M., & Eraymanm, M. (2015). Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(1), 135-143. <https://doi.org/10.3906/tar-1406-155>
59. Zhang, X., Zhu, A., Xin, X., Yang, W., Zhang, J., & Ding, S. (2018). Tillage and residue management for long-term wheat-maize cropping in the North China Plain: I. Crop yield and integrated soil fertility index. *Field Crops Research*, 221, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.025>