

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

Dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

¹Akbari, F., ^{*2}Dahmardeh, M., ³Morshedi, A., ⁴Ghanbari, A., ⁵Soror Khoramdel

¹Graduated of Ph.D in agriculture, ²Associated professor in agriculture, ³Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, ⁴Professor of agriculture, ⁵Associated professor in agriculture

Introduction

Intercropping is considered 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.

Results and Discussion

Based on the results obtained, the interaction of tillage × crop residues × 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 × crop residues × 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 in all ratios of intercropping, which indicates the usefulness of intercropping. The highest intercropping advantage (5859.42) and monetary advantage index (5988.62) was related to the planting pattern 2 corn: 2 beans. The increase monetary advantage index in the ratio of 2 corn: 2 beans can be attributed to the land equivalent ratio and the total relative crowding coefficient 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

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

فریده اکبری^۱، مهدی دهمرده^{۲*}، علی مرشدی^۳، احمد قنبری^۴، سرور خرم دل^۵

^۱فارغ‌النحیصیل دکتری آگرواکولوژی، ^۲دانشیار گروه زراعت، ^۳استادیار گروه خاکشناسی مرکز تحقیقات چهارمحال بختیاری، ^۴استاد گروه زراعت دانشگاه زابل، ^۵دانشیار گروه زراعت دانشگاه فردوسی مشهد

نویسنده مسئول:

Dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

چکیده

تفاوت در خصوصیات ساختاری و زیستی گیاهان نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد ارتباط بین‌گونه‌های مختلف در سیستم کشت مخلوط دارد. در همین راستا به منظور ارزیابی توان رقابتی و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت و لوبیا آزمایشی به‌صورت کرت‌های دوبرخورد شده بر پایه 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) به‌عنوان عامل اصلی، مدیریت بقایای گیاهی در سه سطح (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد وزن بقایای گندم) به‌عنوان عامل فرعی و الگوی کشت مخلوط در پنج سطح (کشت خالص ذرت، کشت خالص لوبیا، نسبت‌های کشت مخلوط ۲:۲، ۳:۱ و ۱:۳ ذرت: لوبیا) به‌عنوان 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) به‌دست 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

جمعیت جهان به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش و در سال‌های اخیر به بیش از ۸ میلیارد نفر رسیده است. از پیامدهای رایج افزایش جمعیت از بین رفتن اکوسیستم‌های طبیعی هم‌زمان با گسترش مناطق کشاورزی است (UNFPA, 2023) که منجر به معضلات زیست محیطی و اکولوژیکی زیان‌باری شده است (Crews, Carton, & Olsson, 2018). بنابراین به‌منظور افزایش پایداری کشاورزی در بلند مدت، تامین امنیت غذایی، حفظ منابع طبیعی و بهبود معیشت کشاورزان، راهکارهای کشاورزی پایدار مطرح گردید (Koohafkan & Altieri, 2016). یکی از مولفه‌های 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 غیر سودآور را فراهم می‌نماید. همچنین از لحاظ افزایش عملکرد، کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی و افزایش کارایی مصرف آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک حایز اهمیت است (Maitra *et al.*, 2021; Brooker *et al.*, 2023; Toker *et al.*, 2024). گونه‌های کشت شده در مجاورت یکدیگر منابع را به‌صورت متفاوت و کارآمدتری استفاده می‌نمایند (Beillouin, Ben-Ari, & Makowski, 2019; Jensen, Carlsson, & Hauggaard-Nielsen, 2020). رقابت هریک 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 خانواده گیاهان و توانایی گونه‌ها برای رقابت بر سر منابع محدود مورد توجه قرار گیرد (Gaudio *et al.*, 2021; *et al.*, 2019). 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 بلند مدت بر سلامت خاک دارد (Stevens, 2018; Ogieriakhi & Woodward, 2022). عملیات شخم به شکل مرسوم منجر به حذف بقایای گیاهی، هجوم علف‌های هرز، اختلال در چرخه آفات و بیماری‌ها (Claassen, Bowman, McFadden, Smith, & Wallander, 2018). افزایش فرسایش خاک (Claassen *et al.*, 2018; Blanco, & Lal, 2023)، تخریب ساختمان خاک، کاهش حاصلخیزی و افزایش اتکا به نهاده‌های خارجی (Kopittke, Menzies, Wang, McKenna, & Lombi, 2019) شده است. کشاورزی حفاظتی^۱ که بر پایه حداقل اختلال در خاک، تناوب زراعی و حفظ بقایای گیاهی در خاک بنا شده، به عنوان 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 تامین نیازهای گیاه، در حفظ و افزایش مقدار ذخیره کربن آلی خاک موثر است، ضمن این که از لحاظ اقتصادی نیز برای کشاورزان ارزان‌تر و سودآور می‌باشد (Diaz, 2023). ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده

¹ Conservation agriculture

گندمیان (Poaceae) است که پس از گندم و برنج، سومین غله مهم در جهان است. ویژگی‌های خاص ذرت از جمله پتانسیل بالای عملکرد، دامنه‌ی سازگاری گسترده در اقلیم‌های مختلف و کاربردهای فراوان در تغذیه انسان و دام، صنعت و تامین انرژی این گیاه را به محصولی با ارزش و با تقاضای فراوان تبدیل کرده است که نقش مهمی در تامین امنیت غذایی در برخی از مناطق فقیر جهان ایفا می‌کند (FAO, 2017; Grote, Fasse, Nguyen, 2021; 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 تامین 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 تامین 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 (آمار نامه جهاد کشاورزی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰) است. لوبیا چیتی از زیر گونه‌های 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, 2019; Rosataei, Fallah, Amini, & Dabagh Mohammadi Nesab, 2018; Ghatari, Roozbahani, & Yaghoobi, 2019). روستایی و همکاران (Rosataei, Fallah, Amini, & Dabagh Mohammadi Nesab, 2018) با بررسی نسبت برابری زمین، شاخص رقابت، ضریب ازدحام نسبی، شاخص‌های سودمندی و مزیت مالی کشت مخلوط شنبلیله و سیاهدانه گزارش کردند که رقابت بین گونه‌ای و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط به‌شکل معنی‌داری تحت تاثیر الگوهای کاشت و سیستم تغذیه گیاهان قرار دارد. نتایج مطالعه دودمان و همکاران (Doodeman, Mirshekari, Taheri, Farahvash, & Moradi, 2020) بیانگر افزایش سود مالی و مقادیر مثبت شاخص بهره‌وری سیستم در کشت مخلوط خلر و جو 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 و در الگوهای افزایشی، اسفناج گیاه 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. محققین در بررسی کشت مخلوط تربیتیکاله و ماشک گل‌خوشه‌ای تحت تاثیر سامانه‌های خاک‌ورزی گزارش کردند که نسبت برابری جزئی زمین هر یک از گیاهان با افزایش تراکم آن گیاه در الگوهای مختلف کاشت افزایش یافته است. بر اساس نتایج حاصل از شاخص‌های رقابتی، تربیتیکاله گیاه غالب بود و در این شرایط ماشک را به عنوان یک گیاه همراه مطلوب با توانایی رقابتی کمتر معرفی نمودند (Sadra & Hamzei, 2021). در مطالعه فاطمی دوین و همکاران (Fatemi 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 به‌دست 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 موثری در افزایش پایداری بوم‌نظام زراعی ایفا می‌کند، در همین راستا امکان ارتقای شاخص‌های اقتصادی از طریق بهبود شاخص‌های رقابتی با طراحی الگوی کشت مناسب و کاربرد

کشاورزی کم نهاده امکان پذیر می باشد. هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد، شاخص های رقابتی و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت و لوبیا تحت تاثیر سامانه های خاک ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کاشت در شرایط شهرکرد بود.

مواد و روش ها

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 سال های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۵ انجام شد. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن - گوسن و کوپن به ترتیب نیمه خشک - استپی سرد و معتدل سرد با تابستان های گرم و خشک با میانگین بارندگی ۳۳۰ میلی متر و میانگین دمای ۱۱/۸ درجه سانتی گراد است. آزمایش به صورت کرت های دوبار خرد شده (اسپلیت - اسپلیت پلات) بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی با تیمارهای آزمایشی شامل عامل اصلی سیستم خاک ورزی در دو سطح کم خاک ورزی (دیسک و فاروئر) و بی خاک ورزی، عامل فرعی مدیریت بقایای گیاهی در سه سطح (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد وزن بقایای گندم) و 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 صدی دارای تیپ رشدی رونده و میانگین دوره رشدی ۱۰۸-۱۱۵ روز استفاده شد. به منظور تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت، نمونه برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک مزرعه انجام شد که نتایج آن در جدول یک ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش

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

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

در اوایل بهار قطعه زمینی به مساحت ۲۴۰۰ متر مربع انتخاب و برای اعمال تیمار بقایای گیاهی، بقایای یک مزرعه گندم در پاییز سال قبل (۸۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) توزین و به مقدار لازم بر حسب تیمارها به زمین اضافه و سپس عملیات خاک ورزی انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف کاشت به طول دو متر و فاصله ۶۰ سانتی متر بود. فاصله بین کرت های اصلی دو و نیم، کرت های فرعی دو، کرت های فرعی - فرعی یک متر و فاصله دو بوته روی ردیف برای لوبیا و ذرت به ترتیب پنج و ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. با توجه به این که تیمارهای خاک ورزی نیاز به کرت های بزرگ دارند به عنوان 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، خاک ورزی اعمال گردید. مبارزه با علف های هرز به صورت دستی در طول فصل رشد و توسط کارگر انجام شد. آبیاری به صورت بارانی در ابتدای فصل رشد با فاصله زمانی چهار روز و بعد از آن با فاصله زمانی یک هفته صورت گرفت. طی مرحله گرده افشانی ذرت که حدوداً ۱۰ روز به طول انجامید، آبیاری در شب انجام شد تا بساک ها در اوایل صبح باز و هوای سرد و مرطوب باعث تأخیر و هوای گرم و خشک باعث تسریع در باز شدن بساک ها و گرده افشانی نگردد. جهت اندازه گیری

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 ۱-۱۰ محاسبه شد.

نسبت برابری زمین^۱ (LER)

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

در آن Y_{ib} , Y_{ia} به ترتیب عملکرد ذرت و لوبیا در کشت مخلوط و Y_{sb} , Y_{sa} به ترتیب عملکرد ذرت و لوبیا در کشت خالص می‌باشد (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 زیر محاسبه گردید:

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

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

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

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

K_{ba} و K_{ab} به ترتیب ضریب ازدحام نسبی ذرت و لوبیا، A_{ab} و A_{ba} 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 اندازه مقدار K کل ($K_{ab} \times K_{ba}$) در کشت مخلوط بیشتر باشد، نشان‌دهنده 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 شاخص‌های مزیت مالی^۵ (MAI) و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط^۶ (IA) استفاده شد (Lithourgidis,)

(Vlachostergios, Dordas, & Damalas, 2011)

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

$$IA_c = AYL_c \times P_c \quad (۸)$$

¹ Land Equivalent Ratio (LER)

² Relative Crowding Coefficient (RCC or K)

³ Aggressivity (A)

⁴ Competition Ratio (CR)

⁵ Monetary Advantage Index (MAI)

⁶ Intercropping Advantage (IA)

$$IA_W = AYL_W \times P_W \quad (9)$$

که در رابطه‌های فوق 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 بهره‌وری سیستم^۱ (SPI)

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

$$SPI = \frac{S_a}{S_b} Y_b + Y_a \quad (10)$$

S_a و S_b میانگین عملکرد ذرت و لوبیا در کشت خالص، Y_a و Y_b میانگین عملکرد ذرت و لوبیا در کشت مخلوط است. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه ذرت و لوبیا

نتایج تجزیه واریانس تاثیر سطوح خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت بر عملکرد دانه ذرت و لوبیا در جدول ۲ ارائه گردیده است. بر پایه نتایج به‌دست آمده، اثر متقابل خاک‌ورزی × بقایای گیاهی، بقایای گیاهی × الگوهای کشت و سال × خاک‌ورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت بر عملکرد دانه ذرت معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). همچنین اثر متقابل خاک‌ورزی × بقایای گیاهی و خاک‌ورزی × بقایای گیاهی × الگوهای کشت بر عملکرد دانه لوبیا معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین عملکرد دانه ذرت در کشت خالص ذرت در شرایط بی‌خاک‌ورزی و کاربرد ۶۰ درصد بقایا در سال دوم آزمایش (۹۳۱۷/۱ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد، که با تیمار کم‌خاک‌ورزی از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کمترین عملکرد دانه ذرت در الگوی کشت ۱ ردیف ذرت : ۳ ردیف لوبیا در سیستم کم‌خاک‌ورزی و کاربرد ۳۰ درصد بقایای گیاهی (۵۸۱۳/۴ کیلوگرم در هکتار) در سال دوم آزمایش مشاهده شد (جدول ۳). این نتایج با یافته‌های قاضی‌نژاد و همکاران (Ghazinejad, monjezi, Rahnama Ghahfarokhi, & Sheikhdavoodi, 2022) در رابطه با تاثیر معنی‌دار اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر عملکرد دانه ذرت مطابقت دارد، به‌طوری که بیشترین عملکرد دانه ذرت در تیمار کم‌خاک‌ورزی و حفظ بقایای گندم به‌دست آمد. همچنین سرخه و همکاران (Sorkheh, Zaefarian, & Gharineh, 2020) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که عملکرد ذرت در تیمار کم‌خاک‌ورزی و استفاده از بقایای گندم و گیاه پوششی افزایش یافت. ایشان بیان نمودند که در خاک‌ورزی حفاظتی وجود بقایا در سطح خاک موجب کاهش سبز شدن و استقرار علف‌های هرز و در نتیجه کاهش رقابت آن‌ها 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 square) 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
-------------------------	--------------------	-------------------------------------	---------------------------------------

¹ System Productivity Index (SPI)

سال (Y) Year	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%	-	4.94	4.01

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

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

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش 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	ذرت خالص	7785.9 ^{c-f}	7758 ^{c-f}	7610.6 ^{d-h}

Reduced tillage	Corn sole cropping			
	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 ^{l-q}
بی خاک‌ورزی No tillage	ذرت خالص	8677.7 ^b	8725.6 ^b	8088.8 ^{cd}
	Corn sole cropping			
	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}
کم خاک‌ورزی Reduced tillage	ذرت خالص	7755.72 ^{d-f}	9237.2 ^a	7687.1 ^{d-g}
	Corn sole cropping			
	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}
1396-1397	ذرت خالص	7879.8 ^{c-f}	9317.1 ^a	8260.6 ^{bc}
	Corn sole cropping			
	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، بر اساس 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.

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، در حالی که با تیمار بی‌خاک‌ورزی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین عملکرد دانه لوبیا در الگوی کشت ۳ ردیف ذرت : ۱ : ۱ : ۱ در 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 در این الگوها گیاه توانسته 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 کانوبی ذرت، دارای حجم و ارتفاع بیشتری در مقایسه با کانوبی 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 کانوبی لوبیا و در نتیجه بهبود فتوسنتز و در نهایت افزایش عملکرد اقتصادی لوبیا شده باشد (Fatemi & Devin *et al.*, 2020). 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 تایید نتایج این پژوهش پیری و همکاران (Piri, Zendehelel, & Tavassoli, 2017) اظهار داشتند که عملکرد دانه ذرت و سویا در 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 به نحو موثرتری در دسترس گیاهان قرار گرفته و موجب بهبود عملکرد شده است. نتایج آزمایش اسدی و همکاران (Asadi, Khorramdel, Shahriary, Ranjbar, & Aghavani 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 بنا بر گزارش کوچکی و همکاران (Koocheki, Nasiri mahalati, Deihimfard, Mirzaei Talarposhti, & Kheirkhah, 2014) بالاترین عملکرد در تیمارهای کشت مخلوط مربوط به الگوهای افزایشی کشت مخلوط بود. از این رو اظهار داشتند که هر اندازه 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).

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
کم خاک‌ورزی Reduced tillage	لوبیا خالص Bean sole cropping	2418.11 ^{ed}	2933.91 ^a	2758.42 ^b
	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}
	1C:3B	2215.50 ^{g-j}	2253.33 ^{f-i}	2339.79 ^{e-g}
بی خاک‌ورزی No tillage	لوبیا خالص Bean sole cropping	2499.22 ^{cd}	2820.75 ^{ab}	2582.68 ^c
	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، بر اساس 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.

نسبت برابری زمین

نسبت برابری جزء و کل دو گیاه تحت تاثیر 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 داشت به طوری که 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 تاج پوشش گیاهان و تثبیت زیستی نیتروژن از عوامل تاثیرگذار 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.*, 2018; Javanmard, Amani Machiani, & Mousavi, 2016; *al.*). 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).

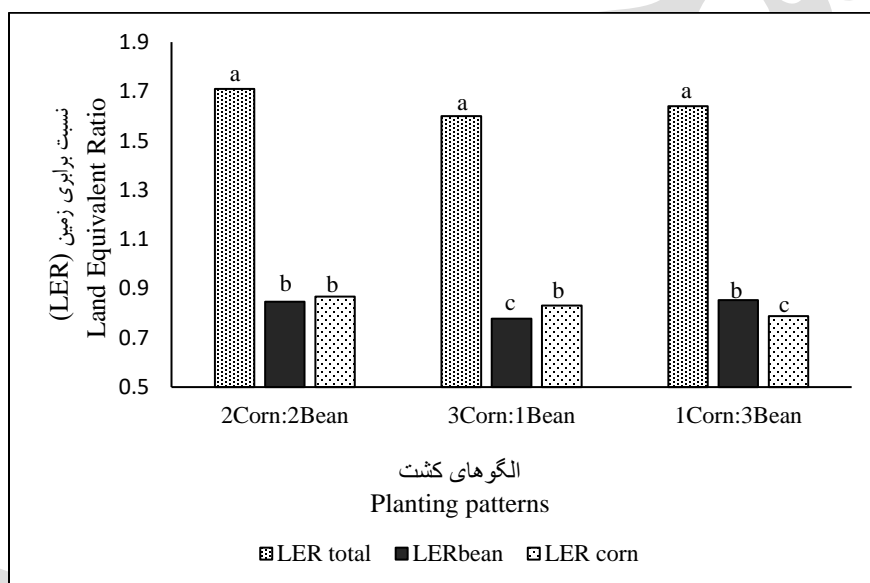
جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب نسبت برابری زمین جزء و کل ذرت و لوبیا تحت تاثیر سیستم‌های خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و الگوهای کشت

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

تغییرات منبع (S.O.V)	آزادی درجه (df)	نسبت برابری زمین لوبیا LER _{Corn}	نسبت برابری زمین لوبیا LER _{Bean}	نسبت برابری زمین کل LER _{Total}
سال (Y) Year	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%	-	4.49	3.14	3.06

ns و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.
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) به‌دست آمد (جدول ۶). در مجموع به‌نظر می‌رسد کاهش نسبت دو گیاه به یک ردیف در الگوی کشت، موجب کاهش ضریب ازدحام نسبی شده است. به‌نظر می‌رسد 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 اندازه 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 بر 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٪ ذرت + ۲۵٪ 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، بهینه‌سازی 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 به صورت 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، به عنوان گیاه مغلوب و گیاه دیگر به عنوان 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، معیار مطلوب‌تری در مقایسه با شاخص‌های ضریب ازدحام نسبی و درجه تهاجم 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 به عنوان 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. بر اساس نتایج، ایده‌آل‌ترین 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 تکمیل‌کننده آشیان اکولوژیک یکدیگر در الگوی کشت مخلوط هستند. تاج‌پوشش ذرت دارای حجم و ارتفاع بیشتری در مقایسه با تاج‌پوشش لوبیا می‌باشد، بنابراین ذرت رقیب قوی‌تری در جذب نور و سایر منابع نسبت به لوبیا به‌شمار می‌رود (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 شاخص‌های 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، چنانچه رقابت برون گونه‌ای مساوی و یا کمتر از رقابت درون گونه‌ای باشد، نه تنها گیاهان با یکدیگر رقابت نمی‌کنند بلکه مکمل یکدیگر نیز خواهند بود (Haghaninia, Javanmard, & Mollaaliabasiyan, 2018). به عبارت دیگر اختلاف بین گونه‌ها در نحوه استفاده از منابع، منجر به کاهش رقابت بین گونه‌ای نسبت

به رقابت درون گونه‌ای می‌گردد 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- شاخص‌های 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	لوبیا	کل	ذرت	لوبیا	ذرت	لوبیا
	Corn	Bean	Total	Corn	Bean	Corn	Bean
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

شاخص‌های اقتصادی

شاخص بهره‌وری سیستم کشت یکی از شاخص‌های ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط است که داده‌های آن با استاندارد کردن محصول ثانویه بر مبنای محصول اصلی به دست می‌آید (Agegnehu *et al.*, 2006). این شاخص قابلیت تولید و کارایی سیستم کشت مخلوط را نمایان می‌سازد. مقادیر شاخص‌های بهره‌وری سیستم (SPI)، سودمندی اقتصادی کشت مخلوط (IA) و مزیت مالی (MAI) در هر یک از تیمارهای کشت مخلوط به تفکیک در جدول ۷ ارائه شده است. مثبت بودن مقادیر این شاخص‌ها 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 آن‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، بالاترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم در الگوی کاشت ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا (۲۹۶۱/۱۷) مشاهده شد. در مجموع مقدار این شاخص در تمام نسبت‌های کشت مخلوط مثبت بود که نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط است. بررسی روند نتایج نشان‌دهنده نقش موثر ذرت در افزایش بهره‌وری سیستم است، به نحوی که با افزایش تراکم ذرت بیشترین میزان کارایی بر اساس شاخص بهره‌وری سیستم به دست آمد. محققان در ارزیابی شاخص بهره‌وری سیستم در کشت مخلوط جو و نخود بیان نمودند که نتایج این شاخص در تمامی الگوهای کشت مخلوط مثبت بود و بیشترین میزان شاخص بهره‌وری مربوط به الگوی کشت ۷۵٪ جو + ۲۵٪ 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 محققین علت بالا رفتن شاخص سودمندی مخلوط را استفاده بهتر از منابع موجود مانند نور، آب و مواد غذایی عنوان کرده‌اند (Litourgidis *et al.*, 2011; Rezaei-Chiyaneh & Gholinezhad, 2015). عدم سودمندی در نسبت کشت ۳ ردیف ذرت: ۱ ردیف لوبیا می‌تواند به دلیل اختلاف قیمت هر جزء در سیستم باشد. این اختلاف قیمت باعث می‌شود تا اجزاء کشت مخلوط قادر به جبران آن نباشند. محققین عدم سودمندی اقتصادی در سیستم کشت مخلوط پنبه با لوبیا چشم بلبلی و سورگوم را به اختلاف قیمت اجزای مخلوط نسبت دادند (Aasim *et al.*, 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 تک‌کشتی از لحاظ اقتصادی سودمند می‌باشند و الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا (۵۹۸۸/۶۲) دارای بیشترین

مزیت مالی بود (جدول ۷). از آن جاکه این شاخص با نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی کل رابطه مستقیمی دارد (Lithourgidis *et al.*, 2011). بنابراین مزیت مالی در نسبت ۲:۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا را می توان 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 می تواند ناشی از اثرات مثبت خاک ورزی حفاظتی، تجزیه بقایای گیاهی و تثبیت زیستی نیتروژن توسط لوبیا 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 لوبیا در کشت مخلوط با ذرت از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد. لازم به ذکر است که اختلاف در سودمندی سیستم های کشت مخلوط از لحاظ اقتصادی می تواند ناشی از اختلاف عوامل ساختاری و زیستی گیاهان، نیازهای غذایی متفاوت گونه ها، نحوه استفاده آن ها 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. به طوری که نسبت هایی که مقدار نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی آن ها بیشتر بود از لحاظ اقتصادی نیز سودمند بودند. رابطه نزدیک بین شاخص مزیت مالی با شاخص های رقابتی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Dhima *et al.* 2007; Esmaili *et al.*, 2011). در کشت مخلوط تریتی کاله و ماشک گل خوشه ای بالاترین مقدار سودمندی مربوط به الگوی ۵۰:۵۰ کشت مخلوط بود که آن را ناشی از تشکیل اشکوب های مختلف جهت بهره برداری بهتر از منابع محیطی از قبیل نور، آب و عناصر غذایی دانستند (Sadra & Hamzei, 2021). در تایید 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 علوفه ای 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٪ نخود+ ۵۰٪ جو مشاهده شد. ارزیابی شاخص های بهره وری 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 بهره وری و سودمندی مالی بالاتر و در نتیجه ثبات عملکرد بیشتری داشتند (Haghaninia *et al.*, 2018).

جدول ۷- تاثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط ذرت و لوبیا بر شاخص های بهره وری 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 بهره وری 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

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 لوبیا تعلق داشت. همچنین با توجه به شاخص‌های سودمندی و مزیت مالی می‌توان اظهار کرد که الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا سودمندی بیشتری نسبت به سایر الگوهای کشت مخلوط داشت که با نتایج حاصل از نسبت برابری زمین و ضریب ازدحام نسبی مطابقت داشت. بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر، مقادیر مثبت شاخص درجه تهاجم و افزایش شاخص رقابت بیانگر برتری رقابتی ذرت نسبت به لوبیا در کشت مخلوط بود. به‌نظر می‌رسد غالبیت ذرت به‌دلیل 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 بوم نظام‌های زراعی هستند. کشت مخلوط ذرت و لوبیا سابقه‌ای دیرینه دارد. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل موفقیت این سیستم، کاهش رقابت بین گونه‌ای به دلیل کاشت گونه‌های سازگار (ذرت-لوبیا) در مجاورت یکدیگر می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت الگوی کشت ۲ ردیف ذرت: ۲ ردیف لوبیا علاوه بر ایجاد تنوع و پایداری به‌واسطه بهره‌گیری حداکثری از پتانسیل زیستی گونه‌ها در افزایش مزیت مالی و کارایی استفاده از زمین‌های کشاورزی به‌طور قابل ملاحظه‌ای موثر می‌باشد.

References

- 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. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001048
- 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>
- 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 Pulses Research*, 8(2), 192-204. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/IJPR.V8I2.50084>
- 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)
- 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>
- Bergtold, J. & Sailus, M., (2020). Conservation Tillage Systems in the Southeast. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE), SARE Handbook Series. <https://doi.org/10.13016/dq71-irmm>
- 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>
- Blanco, H., & Lal, R. (2023). Crop residue management. *Soil conservation and management*, pp. 185-210.
- 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>
- 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. 91 pp.
- 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>
- 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>
- 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>
- 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*, 383 pp.
- DeWit, C.T., 1960. On competition. *Verslag Landbouwkundige Onderzoek*, 66, 1–28.

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 Summary). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.269565.654546>

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 Summary).

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

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>

FAO. (2022). Statistical Pocketbook. FAOSTAT database. <http://faostat.fao.org>

FAO. (2017). The Future of Food and Agriculture, Trends and Challenges. (Food and Agriculture Organization of the United Nations).

Fatemi Devin, R., Hosseini, S. B., Moghadam, H., & Motesharezadeh, B. (2020). Effect of organic and bio-fertilizers and additive and replacement intercropping systems on corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yields. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(4), 133-145. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.286433.654634>

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., Miguët, P., Piutti, S., Rusch, A., Zwicke, M., & Couvet, D. (2018). Ecology for sustainable and multifunctional agriculture. *Sustainable Agriculture Reviews 28: Ecology for Agriculture*, 1-46. <https://doi.org/10.1007/9>

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 annual crop mixtures. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(20), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0562-6>

Gaudio, N., Violle, C., Gendre, 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>

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)

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 Summary). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43900.2604>

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>

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 Summary)

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>

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 Summary).

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>

Koocheki, A., Nasiri mahalati, 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 Summary). <https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.45134>

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 Summary). <https://doi.org/10.22067/jag.v1i1.2650>

Koohafkan, P., & Altieri, M. A. (2016). Forgotten agricultural heritage: Reconnecting food systems and sustainable development. *Taylor & Francis*, pp, 296. <https://doi.org/10.4324/9781315470092>

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>

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>

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>

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>

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>

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>

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>

Pellicanò, 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>

Piri, I., Zendejdel, 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 Summary). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.45737>

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 Summary). <https://doi.org/10.22092/aj.2014.101838>

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 Summary). <https://doi.org/10.22067/JPP.2021.32834.0>

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 Summary). <https://doi.org/10.22067/JAG.V7I3.35858>

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 Summary). <https://doi.org/10.22084/ppt.2018.8046.1461>

Sadra, T., & Hamzei, J. (2021). Evaluation of the Fficiency 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 Summary). <https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.41625.2541>

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 Summary). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.302557.2395>

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 Summary). <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.10.008>

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>

- 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>
- UNFPA. (2023). Peace, dignity and equality on a healthy planet <https://www.un.org/en/global-issues/population>.
- 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>
- Willey, R.W. (1979). Intercropping its importance and research needs. Competition and yield advantage. *Field Crop Abstracts*, 32(1), 1-10.
- 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>
- 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>
- 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>