نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد سیزدهم، شماره اول، بهار ۹۹
۸۵-۹۸
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2020.17447.2289

ارزیابی سودمندی سیستم کشت مخلوط آفتابگردان–لگوم

سیدمحسن سیدی[1]* و جواد حمزه‌ئی[2]

[1]دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانش آموخته دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران
[2]دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۵

چکیده

سابقه و هدف: یکی از راهکارهای کلیدی در کشاورزی پایدار بازگرداندن تنوع به محیط‌های کشاورزی و مدیریت مؤثر آن است. کشت مخلوط عبارت است از کشت همزمان دو یا بیش از دو گونه در یک قطعه زمین در طول یک فصل زراعی، که یک روش مهم در توسعه سیستم تولید پایدار به‌ویژه در سیستم‌هایی که هدف آن‌ها محدود ساختن مصرف نهاده‌های خارجی مانند کود و علف‌کش‌های شیمیایی است. در قیاس با تک کشتی سیستم کشت مخلوط استفاده بالاتری از منابع مثل کارایی مصرف مواد غذایی، کارایی مصرف آب و کارایی مصرف زمین دارد. این مطالعه به منظور ارزیابی سودمندی سیستم کشت مخلوط آفتابگردان–لگوم (لوبیا و سویا) انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان طی دو سال زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص آفتابگردان، لوبیا و سویا و کشت‌های مخلوط افزایشی ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد لوبیا با آفتابگردان و کشت‌های مخلوط افزایشی ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد سویا با آفتابگردان بودند. ارزیابی کشت مخلوط بر اساس شاخص‌های نسبت برابری زمین، بهره‌وری سیستم، غالبیت، رقابت، مجموع ارزش نسبی، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان و ضریب ازدحام نسبی صورت گرفت.

یافته‌ها: بر اساس نتایج این تحقیق، عملکرد دانه هر سه گونه و عملکرد معادل تحت تأثیر الگوهای کشت قرار گرفتند. بیشترین عملکرد دانه آفتابگردان، لوبیا و سویا در کشت خالص به دست آمد و کشت مخلوط به افت عملکرد دانه منجر شد. با این حال عملکرد معادل آفتابگردان در کشت‌های مخلوط با ٦۰ و ۹۰ درصد لوبیا و سویا بیش از عملکرد خالص بود. در این تیمارها شاخص‌های نسبت برابری زمین، غالبیت، رقابت، مجموع ارزش نسبی، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان و ضریب ازدحام نسبی بالاتر از یک و شاخص رقابت کمتر از یک بود که نشان‌دهنده سودمندی سیستم کشت مخلوط است. از طرفی، با توجه به شاخص غالبیت، گیاه آفتابگردان نسبت به لوبیا و سویا غالب بود.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که سیستم کشت مخلوط عملکرد دانه معادل آفتابگردان را نسبت به کشت خالص آفتابگردان افزایش داد. به‌طورکلی، کشت مخلوط آفتابگردان و لگوم (لوبیا و سویا) در بیشتر تیمارها برتر از کشت خالص گیاهان بود که با بهبود عملکرد اقتصادی و کارایی استفاده از زمین همراه بود.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، سویا، شاخص‌های سودمندی، لوبیا، نسبت برابری زمین، رقابت، عملکرد دانه.

*مسئول مکاتبه: m.seyedi98@areeo.ac.ir

مقدمه

روند تخریب و بهم خوردن تعادل اکولوژیک سامانه‌های زراعی درحالی ادامه دارد که جمعیت جهان رو به افزایش است و اگر چاره‌ای برای افزایش تولیدات کشاورزی و حفظ محیط زیست نشود، بروز قحطی دور از واقعیت نیست. بشر تاکنون تدابیر گوناگونی اتخاذ کرده و با به کارگیری تکنولوژی، استفاده از ژنتیک، مصرف کودهای شیمیایی فراوان و مصرف سموم گیاهی مختلف و غیره توانسته است بخشی از نیاز غذایی را به صورت منطقه‌ای برآورده کند. شیوه‌های رایج تولید، آینده را به قیمت افزایش تولید فعلی به خطر انداخته است. بنابراین، علائم زوال و نابودی در گذر زمان، شرایط مورد نیاز برای تولید پایدار را بیش از پیش آشکار کرده است. با توجه به مشکلات زیست محیطی ناشی از افزایش تولید، امروزه گرایش به سمت نظام‌های پایدار در کشاورزی اهمیت پیدا کرده است. در حال حاضر دانشمندان علوم زیستی با یک اجماع کلی، تخریب و کاهش منابع طبیعی را به عنوان یک مشکل جدی مطرح کرده‌اند (۲۶).

در افزایش تولیدات کشاورزی علاوه بر افزایش سطح زیر کشت و بهبود عملکرد، راهکاری مانند افزایش میزان محصول در واحد سطح و زمان نیز قابل تأمل است. در مناطقی که عواملی چون آب و دما محدودکننده کشت‌های دوگانه، سه گانه و چهار گانه محسوب می شوند، تحقق این امر با کشت مخلوط امکان‌پذیر می‌گردد (۲۱). در کشت مخلوط افزایش تولید در واحد سطح از طریق کشت بیش از یک گیاه در یک قطعه زمین و در یک سال زراعی تامین می شود. در این راستا انتخاب گیاهانی که کمترین رقابت را با هم داشته باشند، قدم عمده‌ای محسوب می‌شود (۲۶). کشت مخلوط به صورت کاشت دو یا چند گونه زراعی با یکدیگر در مناطق مختلف جهان به طور گسترده‌ای متداول می‌باشد. کشت مخلوط، به دلیل استفاده بهینه و حداکثر از منابع تولید، کاهش میزان آلودگی محیط زیست، حفاظت خاک، موازنه در امر تغذیه گیاهی و به دست آوردن حداکثر سود، اهداف مشترک اگرونومیست و اکولوژیست را که همانا توسعه پایدار است در بر می‌گیرد (۱۸، ۱۹). برای استفاده مطلوب از عوامل محیطی (نور، مواد غذایی و آب) از لحاظ تئوری به یک تیپ ایده آل نیاز است. به طوری که، گیاه زراعی قادر باشد در کم‌ترین زمان تمام آشیان‌های اکولوژیک ممکن را به طور کامل اشغال کند. مثلاً عناصر غذایی و آب را از تمام پروفیل خاک جذب نماید و بتواند از تمام نور رسیده به طور مؤثر استفاده نماید. شاید در عمل دستیابی به این تیپ غیر ممکن باشد، اما راهکار استفاده کامل‌تر از منابع و امکانات محیطی، با الگوبرداری از نمونه‌های موجود در طبیعت، کشت گونه‌های مختلف گیاهی در کنار هم است. این گونه‌ها در استفاده از منابع، نیچ‌های متفاوتی دارند، به طوری که وقتی در کنار هم رشد می کنند، مکمل هم می‌شوند. در این حالت می‌توان دو گونه را به عنوان یک گونه جدید در نظر گرفت که به تیپ ایده‌آل نزدیک است (۲۶). به این ترتیب، در صورت انتخاب مناسب گونه‌ها، نسبت‌ها و ترکیب-های مناسب در کشت مخلوط گیاهان، علاوه بر افزایش عملکرد، می‌توان افزایش کیفیت، افزایش کارایی مصرف آب، مقاومت به سرما و کنترل جمعیت علف‌های هرز را نیز انتظار داشت (۱٤، ۲۰). بررسی ترکیب‌های منتخب در کشت مخلوط گیاهان مختلف نشان می‌دهد که واکنش اجزای مخلوط در تراکم و سایر عوامل مؤثر در رشد، در نسبت‌های مختلف اختلاط متفاوت است. محسن آبادی و همکاران (۲۰۰۷) در ارزیابی کشت مخلوط جو- ماشک در سطوح مختلف کود نیتروژن دریافتند که کشت مخلوط نسبت به تک کشتی جو و ماشک برتری دارد

(۲۸). دریایی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط نخود و جو گزارش کردند که شاخص رقابت در اکثر تیمارهای مخلوط پایین‌تر از واحد بود که نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط است (۹). قنبری و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که در کشت مخلوط ذرت و کدو، کشت مخلوط اثر معنی‌داری را بر روی عملکرد کدو داشت و میزان شاخص کارایی استفاده از زمین در اکثر تیمارها بزرگ‌تر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است (۱۵). ولیزادگان (۲۰۱۵) گزارش کرد که در کشت مخلوط گیاهان همیشه بهار و نخود صفات کمی و کیفی همیشه بهار نسبت به تک کشتی بهبود یافتند که احتمالا مربوط به مزایای کشت مخلوط گیاهان مختلف با یکی از اعضای خانواده لگوم می‌باشد (۳۹). حمزه‌ئی و سیدی (۲۰۱۲) کشت مخلوط افزایشی جو با نخود را موثرتر و بهتر از تک کشتی جو از نظر صفاتی مانند شاخص کارایی استفاده از زمین و افزایش عملکرد کل بیولوژیک و دانه دانستند (۱۷). اسکالیس و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود روی کشت برخی گیاهان لگوم و جو اظهار داشتند که حضور اعضای خانواده لگوم در کشت مخلوط باعث افزایش مزایای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی گیاهان می‌گردد (۳۷). در واقع، یکی از مهم‌ترین مزایای حضور گیاهان لگوم در کشت مخلوط تثبیت نیتروژن است که سبب بهبود سودمندی کشت مخلوط می‌شوند (۲، ۱۲، ۱۳، ۱۶، ۱۸، ۳۷).

به‌طورکلی، محاسبه شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط، امکان تصمیم‌گیری درست‌تر و دقیق‌تر در خصوص انتخاب تیمار برتر را فراهم می‌آورد. به‌عبارت‌دیگر، با ارزیابی این شاخص‌ها می‌توان صحت تصمیم‌گیری درباره تیمار برتر را مورد بازبینی قرار داد. از این‌رو، هدف این پژوهش، تعیین سودمندی کشت مخلوط آفتابگردان-لگوم از طریق محاسبه شاخص‌های نسبت برابری زمین، غالبیت، رقابت، مجموع ارزش نسبی، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان و ضریب ازدحام نسبی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان (در ٤٨ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی، ۳۵ درجه و ۱ دقیقه عرض شمالی با ۱٦۹۰ متر ارتفاع از سطح دریا) انجام شد. نتایج آزمون خاک، بافت خاک را لوم رسی و pH آن را ۷/٤۹ نشان داد. ویژگی‌های خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1- Experiment local soil physical and chemical properties.

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	اسیدیته pH	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون) K available (ppm)	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون) P available (ppm)	کربن آلی (درصد) OC (%)
لوم رسی Clay loam	0.428	7.49	0.11	362	26	1.18

میزان بارندگی طی فصل رشد گیاهان در دو سال زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ زیر ۲ میلی‌متر و متوسط دما طی ماه‌های اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ به‌ترتیب ۲۲/۵ و ۲۳/۰ درجه سانتی‌گراد بود. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل الگوهای

مختلف کاشت به صورت کشت خالص آفتابگردان، لوبیا و سویا و کشت‌های مخلوط افزایشی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد لوبیا با آفتابگردان و کشت‌های مخلوط افزایشی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد سویا با آفتابگردان بودند. در این آزمایش، آفتابگردان گیاه اصلی بود و لوبیا و سویا به عنوان گیاه همراه برای کنترل علف‌های هرز مزرعه آفتابگردان در کشت مخلوط استفاده شدند (داده‌های منتشر نشده). بذر رقم یوروفلور آفتابگردان، از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و بذور رقم اختر لوبیا و رقم هابیت سویا نیز به ترتیب از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر لوبیا خمین و مرکز دانه‌های روغنی استان لرستان تهیه شدند. عملیات کاشت هر سه گونه گیاهی (آفتابگردان، لوبیا و سویا) در تاریخ ۱۰ خرداد ۱۳۹۲ و ۸ خرداد ۱۳۹۳ به طور همزمان با دست انجام گرفت. برای لوبیا و سویا در هر کرت ۶ ردیف کاشت به‌طول ۴/۵ متر، فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و تراکم نهایی ۴۰ بوته در متر مربع و برای آفتابگردان در هر کرت ۵ ردیف کاشت به‌طول ۴/۵ متر، فاصله ردیف و بوته به‌ترتیب ۶۰ و ۱۸/۵ سانتی‌متر و تراکم نهایی ۹ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. قابل ذکر است که تراکم آفتابگردان، لوبیا و سویا طبق توصیه محققین مرکز تحقیقات کشاورزی همدان، انتخاب شد. بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، ۷۵ کیلوگرم اوره در هکتار در کشت خالص لوبیا و سویا به عنوان آغازگر و در زمان کشت به خاک اضافه گردید. همچنین، ۲۵۰ کیلوگرم اوره در بقیه الگوهای کشت استفاده شد که نصف آن به‌صورت پایه و در زمان کشت و نصف دیگر به‌صورت سرک در مرحله ۶ تا ۸ برگی آفتابگردان مصرف گردید. آبیاری به صورت بارانی (کلاسیک ثابت) و اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت صورت گرفت و پس از سبز شدن به طور متوسط هر هفت روز یک بار به آبیاری مزرعه اقدام شد. میزان آب مصرفی در پلات‌های آزمایشی یکسان بود که از طریق تعیین دبی آب‌پاش‌ها و ثبت دقیق مدت آبیاری برآورد گردید. میزان مصرف آب در این آزمایش حدود ۶۰۰۰ متر مکعب در هکتار بود. در پلات‌های آزمایشی عاری از علف‌هرز (کشت‌های خالص)، چندین مرتبه علف‌های هرز در طول فصل رشد و به صورت دستی وجین شدند، ولی در پلات‌های بدون وجین به علف‌های‌هرز اجازه رشد داده شد. عملیات برداشت هر سه گونه گیاهی در مهر ماه سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ انجام گرفت. بدین صورت که بعد از حذف دو ردیف از هرطرف و نیم متر از ابتدا و انتهای تمام ردیف‌ها، برای تعیین عملکرد دانه هر سه گونه گیاهی، ۳ متر مربع از هر کرت برداشت شد. برای ارزیابی کشت مخلوط از شاخص های جدول ۲ استفاده شد (۴، ۲۶).

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط.

Table 2- Evaluating Indices of intercropping.

شاخص Index	معادله Equation
عملکرد معادل Equivalent yield	$(EY_A) = Y_{AB} + Y_{BA} \times (P_A / P_B)$
ضریب ازدحام نسبی Relative crowding coefficient (K)	$RCC_A = (Y_{AB}/(Y_{AA}-Y_{AB})) \times (Z_{BA}/Z_{AB})$ $RCC_B = (Y_{BA}/(Y_{BB}-Y_{BA})) \times (Z_{AB}/Z_{BA})$ $K = RCC_A \times RCC_B$
شاخص رقابت Competition index	$CI = (Y_{AA} - Y_{AB}) \times (Y_{BB} - Y_{BA})/(Y_{AB} \times Y_{BA})$
مجموع ارزش نسبی Relative value total	$RVT = (P_A \times Y_{AA} + P_B \times Y_{BB})/P_A \times Y_{AB}$

کارایی استفاده از زمین Land equivalent ratio	$LER = (Y_{AA}/P_A) + (Y_{BA}/P_B)$
نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان Area-time equivalent ratio	$ATER= [(T_{AA}/T_{AB}) \times (Y_{AB}/Y_{AA})] + [(Y_{BA}/Y_{BB}) \times (T_{BB}/T_{BA})]$
کاهش عملکرد واقعی Actual yield loss	$AYL= [LER_A \times (100/Z_{AB}) -1] + [LER_B \times (100/Z_{BA}) -1]$
سودمندی کشت مخلوط Intercropping advantage	$IA_A= AYL_A \times P_A$ $IA_B= AYL_B \times P_B$ $IA= IA_A + IA_B$
شاخص غالبیت Aggresivity	$A=(Y_{AB}/E_{AB}) - (Y_{BA}/E_{BA})$
شاخص بهره‌وری سیستم System productivy index	$SPI = (S_{AA}/S_{BB}) \times S_{AB} + S_{BA}$
Y_{AA} و Y_{BB}: به ترتیب عملکرد گونه A و B در کشت خالص Y_{AA} and Y_{BB}: Yield of crop A and B in solecropping, respectively	Y_{AB} و Y_{BA}: به ترتیب عملکرد گونه A و B در کشت مخلوط Y_{AB} and Y_{BA}: Yield of crop A and B in intercropping, respectively
Z_{AA} و Z_{BB}: به ترتیب نسبت گونه A و B در کشت خالص Z_{AA} and Z_{BB}: Rate of crop A and B in solecropping, respectively	Z_{AB} و Z_{BA}: به ترتیب نسبت گونه A و B در کشت مخلوط Z_{AB} and Z_{BA}: Rate of crop A and B in intercropping, respectively
T_{AA} و T_{BB}: به ترتیب زمان رسیدگی گونه A و B در کشت خالص T_{AA} and T_{BB}: Time to maturing of crop A and B in solecropping, respectively	T_{AB} و T_{BA}: به ترتیب زمان رسیدگی گونه A و B در کشت مخلوط T_{AB} and T_{BA}: Time to maturing of crop A and B in intercropping, respectively
S_{AA} و S_{BB}: به ترتیب متوسط عملکرد گونه A و B در کشت خالص S_{AA} and S_{BB}: Mean yield of crop A and B in solecropping, respectively	S_{AB} و S_{BA}: به ترتیب متوسط عملکرد گونه A و B در کشت مخلوط S_{AB} and S_{BA}: Mean yield of crop A and B in intercropping, respectively
E_{AB} و E_{BA}: به ترتیب عملکرد مورد انتظار گونه A و B در کشت مخلوط S_{AB} and S_{BA}: Expected yield of crop A and B in intercropping, respectively	P_A و P_B: به ترتیب قیمت گونه A و B and P_B: Price of crop A and B, respectively P_A

تجزیه مرکب داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها (بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد) توسط نرم افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت. لازم به ذکر است که چون در این آزمایش اثر سال بر صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود، لذا از ارائه نتایج آزمایش سال‌ها به‌صورت جداگانه خودداری شد و بر اساس تجزیه مرکب داده‌ها، نتایج ارائه و تفسیر گردید.

نتایج و بحث

عملکرد دانه آفتابگردان: میانگین عملکرد دانه تحت تأثیر تیمار الگوهای کشت قرار گرفت، ولی اثر سال بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). در بین الگوهای کشت، بیشترین و کمترین عملکرد دانه آفتابگردان (به‌ترتیب ۳۴۸۰ و ۲۲۱۷ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب در تیمار تک کشتی و کشت مخلوط ۹۰٪ لوبیا + آفتابگردان به‌دست آمد. عملکرد دانه آفتابگردان در کشت مخلوط ۹۰٪ لوبیا و سویا + آفتابگردان نسبت به کشت خالص در حدود ۳۷ درصد افت نشان داد. با اجرای کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه در کلیه الگوهای کشت مخلوط نسبت به تک کشتی آفتابگردان کاسته شد (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد تشدید رقابت بین گونه‌های زراعی در تیمارهای کشت مخلوط ۹۰٪ لوبیا و سویا + آفتابگردان باعث افت قابل توجه عملکرد دانه آفتابگردان شده است. بنیک و همکاران (۲۰۰٦) و حمزه‌ئی و سیدی (۲۰۱۲ و ۲۰۱٤a) گزارش کردند افزایش تراکم گونه‌های زراعی در کشت مخلوط کاهش معنی‌دار عملکرد دانه را در پی دارد (٤، ۱۷، ۱۸). بیشترین عملکرد دانه آفتابگردان در الگوهای

کشت مخلوط به تیمارهای کشت مخلوط ٦٠٪ لوبیا و سویا + آفتابگردان تعلق گرفت.

عمکرد معادل آفتابگردان: اثر سال بر عملکرد معادل آفتابگردان معنی‌دار نبود، اما این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفت (جدول ۳). در بین الگوهای کشت بیشترین و کمترین عملکرد معادل دانه آفتابگردان (به‌ترتیب ۵۸۰۵ و ۲۹۱۱ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب به کشت مخلوط ٦٠٪ لوبیا + آفتابگردان و تیمار کشت مخلوط ۳۰٪ سویا + آفتابگردان اختصاص داشت (جدول ۳). مهمترین دلیل افزایش عملکرد معادل آفتابگردان در تیمارهای کشت مخلوط آفتابگردان و لوبیا نسبت به کشت مخلوط آفتابگردان با سویا، قیمت مناسب محصول لوبیا بود. با اینکه عملکرد دانه در اکثر مطالعات کشت مخلوط کاهش یافته است (٤، ۱۸، ۱۹، ۳۵)، ولی مجموع تولید گونه‌های زراعی، کاهش عملکرد را نسبت به کشت خالص گونه‌ها جبران می‌نماید (۵، ٦، ۸، ١٤، ۳۱، ۳۲). بنیک و همکاران (۲۰۰٦) گزارش کردند بالا بودن این شاخص بیانگر افزایش کارایی کشت مخلوط در استفاده از منابع محیطی و کارایی استفاده از زمین می‌باشد (٤).

کاهش عملکرد دانه آفتابگردان: با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر الگوهای کشت بر کاهش عملکرد دانه آفتابگردان معنی‌دار بود. با این حال اختلاف معنی‌داری میان تیمارهای کشت مخلوط ۳۰ و ۹۰٪ لوبیا و سویا + آفتابگردان مشاهده نشد. در تیمارهای کشت مخلوط ۳۰ ٪ لوبیا و سویا + آفتابگردان علاوه بر رقابت بین دو گونه زراعی (آفتابگردان با لوبیا/سویا)، وجود علف‌های‌هرز نیز که به طور مناسب کنترل نشده بودند (داده‌های منتشر نشده) عملکرد دانه آفتابگردان را کاهش دادند. در تیمارهای ۹۰ ٪ لوبیا و سویا + آفتابگردان گرچه مشکل علف‌های‌هرز به حداقل رسید (داده‌های منتشر نشده) ولی رقابت گونه‌های زراعی در شدیدترین شکل ممکن بود. در این میان به‌نظر می‌رسد تیمارهای ٦۰ درصد لگوم + آفتابگردان دارای بار رقابتی کمتری با آفتابگردان بوده و حضور علف‌های هرز نیز مشکل چندانی ایجاد نکرد. در مطالعات دیگر نیز افت عملکرد محصولات زراعی در کشت مخلوط به دلیل رقابت گزارش شده است (۵، ٦، ۸، ۳۱).

عملکرد دانه لوبیا و سویا: عملکرد دانه لوبیا و سویا نیز تحت تأثیر تیمار الگوهای کشت قرار گرفتند، ولی اثر سال بر این دو صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). در این صفات هم بیشترین عملکرد در تیمارهای تک کشتی دو محصول مشاهده شد (به‌ترتیب ۳۰۲۱ و ۳۱۵۸ کیلوگرم در هکتار). با کاهش تراکم لوبیا و سویا و البته رقابت آن‌ها با آفتابگردان، عملکرد دانه در تیمارهای کشت مخلوط کاهش بسیار چشمگیری یافت (جدول ٤). کمترین میزان عملکرد دانه لوبیا و سویا به تیمار کشت ۳۰ درصد این دو محصول با آفتابگردان تعلق داشت.

شاخص بهره‌وری سیستم: بیشترین شاخص بهره‌وری سیستم (۵۲۹/۳۳) در تیمار ٦۰ درصد لوبیا + آفتابگردان مشاهده شد. این امر نشانگر سودمندی بیشتر این تیمار است. کمترین مقدار (۳۱٦/۸۹) نیز مربوط به تیمار ۳۰ درصد لوبیا + آفتابگردان بود (جدول ۵). برتری کشت مخلوط دو گونه نسبت به تک کشتی آن‌ها را می‌توان به اثر مکملی آن‌ها در استفاده بهینه از منابعی نظیر نیتروژن و آب و به تبع آن کاهش تقاضا برای نهاده‌های خارجی نسبت داد (۱، ۱۱، ۱۷). ارزیابی سودمندی عملکرد و بهره وری اقتصادی کشت مخلوط سویا با ریحان و گاوزبان اروپایی نشان داد شاخص بهره‌وری سیستم کشت مخلوط مناسب‌تر از کشت خالص این گیاهان بود (۳).

جدول ۳- میانگین مربعات اثر الگوهای مختلف کشت بر برخی صفات مورد ارزیابی.

Table 3- Mean squares of effect of different planting patterns on some evaluated properties.

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه آفتابگردان Sunflower grain yield	درجه آزادی df	عملکرد معادل آفتابگردان Sunflower equal yield	کاهش عملکرد دانه آفتابگردان Sunflower loss grain yield	درجه آزادی df	عملکرد دانه لوبیا Bean grain yield	عملکرد دانه سویا Soybean grain yield
سال Year (Y)	1	12.38^{ns}	1	89.67^{ns}	259.87^{ns}	1	100.04^{ns}	1093.50^{ns}
تکرار × سال Replication/Y	4	16760.38	4	22459.75	3038.58	4	4857.41	1661.45
الگوی کشت Planting pattern (P)	6	15639.91**	5	46882.44**	1212.52**	3	73639.59**	77486.27**
الگوی کشت× سال P×Y	6	2292.43^{ns}	5	1517.35^{ns}	287.47^{ns}	3	17.15^{ns}	816.27^{ns}
خطا Error	24	2011.51	20	1145.25	110.07	12	593.25	673.90
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	--	16.32	--	16.95	19.44	--	14.55	15.82

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

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

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر برخی صفات مورد ارزیابی.

Table 4- Mean Comparison of effect of different planting patterns on some evaluated properties.

الگوهای کشت Planting pattern	عملکرد دانه آفتابگردان (کیلوگرم در هکتار) Sunflower grain yield (Kg ha^{-1})	عملکرد معادل آفتابگردان (کیلوگرم در هکتار) Sunflower equal yield (Kg ha^{-1})	کاهش عملکرد دانه آفتابگردان (درصد) Sunflower loss grain yield (%)	عملکرد دانه لوبیا (کیلوگرم در هکتار) Bean grain yield (Kg ha^{-1})	عملکرد دانه سویا (کیلوگرم در هکتار) Soybean grain yield (Kg ha^{-1})
M_1	3480^{a}	-	-	-	-
M_2	-	-	-	3021^{a}	-
M_3	-	-	-	-	3158^{a}
I_1	2413^{c}	3031^{c}	31.26^{a}	353^{d}	-
I_2	3320^{a}	5805^{a}	12.11^{b}	142 0^{c}	-
I_3	2217^{c}	5530^{a}	39.79^{a}	1893^{b}	-
I_4	2481^{bc}	2911^{c}	30.02^{a}	-	430^{d}
I_5	299.5^{ab}	4311^{c}	14.27^{b}	-	1317^{c}
I_6	2330^{c}	3988^{b}	34.40^{b}	-	1658^{b}

کشت خالص آفتابگردان، لوبیا و سویا (به‌ترتیب M_1، M_2 و M_3)، کشت مخلوط ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد لوبیا با آفتابگردان (به‌ترتیب I_1، I_2 و I_3) و کشت مخلوط ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد سویا با آفتابگردان (به‌ترتیب I_4، I_5 و I_6)

Sunflower, bean and soybean sole cropping (M_1, M_2 and M_3, respectively), intercropping 30, 60 and 90% bean + sunflower (I_1, I_2 and I_3, respectively) and intercropping 30, 60 and 90% soybean + sunflower (I_4, I_5 and I_6, respectively)

شاخص رقابت: با بررسی مفهومی به نام شاخص رقابت اگر چه میزان اضافه محصول نشان داده نمی‌شود، ولی با اشاره به شدت رقابت بین دو گونه در تیمارهای مختلف مخلوط، می‌توان در مورد سودمندی کشت مخلوط قضاوت کرد (۱۰). در این مطالعه، بیشترین شاخص رقابت (۳/۳٤) به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۳۰ درصد لوبیا + آفتابگردان و کمترین میزان این شاخص (۰/۰۵) به تیمار کشت

مخلوط افزایشی ٦٠ درصد لوبیا + آفتابگردان تعلق داشت. به عبارت دیگر، در الگوهای کشت مخلوطی که دارای تراکم‌های بالاتر از ۳۰ درصد لگوم بودند، شاخص رقابت پایین‌تر از یک بود (جدول ۵). این موضوع نشان‌دهنده سودمندی الگوهای کشت مخلوط است. دریایی و همکاران (۲۰۰۸) و مشهدی و همکاران (۲۰۱۵) نیز به‌ترتیب در ارزیابی کشت مخلوط نخود با جو و نخود با گندم، شاخص رقابت را پایین‌تر از یک گزارش کردند (۹، ۲۵). همچنین، در کشت مخلوط زنیان با اسفرزه، همه الگوهای کشت مخلوط دارای شاخص رقابت کمتر از یک و در محدوده ۰/۰٦ تا ۰/۱۰ بودند که سودمندی کشت مخلوط با استفاده از شاخص رقابت را نشان می‌دهد (۲۹).

مجموع ارزش نسبی: با بررسی داده‌های مربوط به مجموع ارزش نسبی نیز مشخص گردید در تیمارهایی که تراکم لوبیا و سویا ۳۰ درصد بود، مجموع ارزش نسبی کمتر از یک بود که نشانگر عدم سودمندی این تیمارها نسبت به الگوهای کشت مخلوط با تراکم‌های بالای ۳۰ درصد لوبیا و سویا (کشت‌های مخلوط ٦٠ و ۹۰ درصد لوبیا و سویا با آفتابگردان) بود. کمترین مجموع ارزش نسبی (۰/۸۷) به کشت مخلوط افزایشی ۳۰ درصد لوبیا/سویا + آفتابگردان تعلق داشت. این شاخص در الگوهای کشت مخلوطی که در آن‌ها تراکم لوبیا و سویا بیش از ۳۰ درصد بود، بیشتر از یک شد. به نظر می‌رسد افزایش مجموع ارزش نسبی در این تیمارها حاکی از تولید نسبتاً خوب لگوم در واحد سطح است. بیشترین میزان مزیت اقتصادی (۱/٦۸) از تیمار کشت مخلوط افزایشی ٦٠ درصد سویا + آفتابگردان بدست آمد (جدول ۵). به گزارش اینال و همکاران (۲۰۰۷) مزیت کشت مخلوط ذرت و بادام زمینی بیشتر از تک کشتی این گیاهان بوده است (۲۰). میدگا و همکاران (۲۰۱٤) نیز به سودمندی اقتصادی کشت مخلوط ذرت و لوبیا نسبت به کشت خالص اشاره کردند (۲۷). منصوری و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه تأثیر کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا بر عملکرد، اجزای عملکرد و کنترل علف‌های‌هرز در شرایط اقلیمی زنجان دریافتند که در بیشتر تیمارهای کشت مخلوط افزایشی، مجموع ارزش نسبی بیش از واحد بود (RVT>1) (۲٤). در بررسی کشت مخلوط نخود فرنگی با گندم، چاودار و ترتیکاله مقدار شاخص سودمندی مالی در اغلب نسبت ها مثبت گزارش شده است (۲۳). در مطالعه‌ای روی ارزیابی سودمندی عملکرد و بهره‌وری اقتصادی کشت مخلوط سویا با ریحان و گاوزبان اروپایی اعلام شد بهره‌وری مالی در سیستم کشت مخلوط بیش از کشت خالص این گیاهان بود (۳). ارزیابی شاخص های رقابت در کشت مخلوط گندم و نخود زراعی نیز نشان داد که ارزش اقتصادی کشت مخلوط بیش از کشت خالص بود (۲۵).

نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تراکم‌های بالای ۳۰ درصد لوبیا و سویا (کشت‌های مخلوط ٦٠ و ۹۰ درصد لوبیا و سویا با آفتابگردان) دارای شاخص نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان بالاتر از یک بودند. کمترین میزان نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان به کشت مخلوط افزایشی ۳۰ درصد لوبیا + آفتابگردان تعلق داشت. این شاخص نیز مانند مجموع ارزش نسبی در الگوهای کشت مخلوطی که در آن‌ها تراکم لوبیا و سویا بیش از ۳۰ درصد بود، بیشتر از یک به دست آمد (جدول ۵). به نظر می‌رسد افزایش نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان در این تیمارها حاکی از تولید نسبتاً خوب لگوم در واحد سطح است. بیشترین نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان نیز از کشت مخلوط افزایشی ٦٠ درصد لوبیا + آفتابگردان بدست

آمد (جدول ۵). این افزایش نسبت معادل سطح زیر کشت موکد این است که برای رسیدن به سودمندی در تک کشتی زمان بیشتری لازم است (۱۰). در تحقیقی مشابه، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان در تیمارهای کشت مخلوط ذرت با ماش و لوبیا چشم بلبلی بالاتر از یک و در تیمارهای مخلوط ذرت با سویا و بادام زمینی کمتر از یک گزارش شده است (۳۸). باقری شیروان و همکاران (۲۰۱۲) نیز در ارزیابی سودمندی عملکرد و بهره‌وری اقتصادی کشت مخلوط سویا با ریحان وگاوزبان اروپایی، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان را در اکثر تیمارهای کشت مخلوط بالاتر از یک گزارش کردند (۳).

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های ارزیابی سودمندی کشت مخلوط در تیمارهای آزمایشی.

Table 5- Values of advantage evaluation indices of intercropping at experimental treatments.

تیمار treatment	شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index	شاخص رقابت Competition index	مجموع ارزش نسبی Relative value total	نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان Area-time equivalent ratio
I_1	316.89	3.34	0.87	0.77
I_2	529.33	0.05	1.67	1.36
I_3	447.94	0.34	1.59	1.18
I_4	332.53	2.55	0.87	0.81
I_5	481.08	0.23	1.68	1.22
I_6	437.67	0.45	1.59	1.12

I_1، I_2 و I_3 به ترتیب کشت مخلوط ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد لوبیا با آفتابگردان و I_4، I_5 و I_6 به ترتیب کشت مخلوط ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد سویا با آفتابگردان

Intercropping 30, 60 and 90% bean + sunflower (I_1, I_2 and I_3, respectively) and intercropping 30, 60 and 90% soybean + sunflower (I_4, I_5 and I_6, respectively)

نسبت برابری زمین: از نسبت برابری زمین برای بیان این ادعا که کشت مخلوط عملکرد بیشتری از کشت خالص در واحد سطح تولید می‌کند، استفاده می‌شود (٤). بیشترین نسبت برابری زمین آفتابگردان در تیمار کشت مخلوط ٦٠ درصد لگوم با این گیاه مشاهده شد، ولی نسبت برابری لوبیا و سویا در تراکم ۹۰ درصد بیشتر بود (جدول ٦). نتایج نشان داد که در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی که تراکم لگوم در آن‌ها بیش از ۳۰ درصد بود، LER بیشتر از یک بود (جدول ٦) که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط سه گونه نسبت به تک کشتی هر یک از گونه‌ها می‌باشد. در میان الگوهای مختلف کشت، کمترین نسبت برابری زمین به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۳۰ درصد لوبیا و سویا + آفتابگردان مربوط بود که دارای LER کمتر از یک بودند (جدول ٦). به نظر می‌رسد که عملکرد بسیار کم لوبیا و سویا و نیز رقابت شدید گیاهان زراعی باعث کاهش نسبت برابری زمین در این تیمارها شده است. با افزایش تراکم لوبیا و سویا و در نتیجه با افزایش عملکرد آن در واحد سطح، نسبت برابری زمین کل نیز افزایش یافت، به‌طوری که در تمام الگوهای کشت مخلوط دارای ٦٠ درصد و بیش از ٦٠ درصد لوبیا و سویا نسبت برابری زمین کل بیشتر از یک بود. بیشترین میزان شاخص نسبت برابری زمین کل (۱/٤۲) در کشت مخلوط افزایشی ٦٠ درصد لوبیا + آفتابگردان به‌دست آمد. نسبت برابری زمین بزرگتر از یک نشانگر سودمندی عملکرد کشت مخلوط در مقابل کشت خالص است که در نتیجه بهره‌برداری بهتر از زمین و استفاده مناسب از منابع محیطی در جهت رشد گیاهان حادث شده است (۲۳). برخی دیگر از پژوهشگران نیز در مطالعات خود دریافتند که در سیستم‌های کشت مخلوط کارایی استفاده از زمین افزایش می‌یابد (۷، ۸، ۱۱، ۲۲، ۳۳، ۳٤).

جدول ٦- مقادیر شاخص نسبت برابری زمین کشت مخلوط در تیمارهای آزمایشی.

Table 6- Values of land equivalent ratio of intercropping at experimental treatments.

تیمار treatment	نسبت برابری زمین آفتابگردان Sunflower land equivalent ratio	نسبت برابری زمین لوبیا Bean LER	نسبت برابری زمین سویا Soybean LER	نسبت برابری زمین کل Total LER	کاهش عملکرد واقعی Actual yield loss	سودمندی کشت مخلوط Intercropping advantage
I_1	0.69	0.12	-	0.81	-0.92	-0.42
I_2	0.95	0.47	-	1.42	-0.26	-0.11
I_3	0.64	0.63	-	1.27	-0.67	-0.34
I_4	0.71	-	0.14	0.85	-0.83	-0.42
I_5	0.86	-	0.42	1.28	-0.44	-0.22
I_6	0.67	-	0.53	1.20	-0.75	-0.37

I_1، I_2 و I_3 به ترتیب کشت مخلوط ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد لوبیا با آفتابگردان و I_4، I_5 و I_6 به ترتیب کشت مخلوط ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد سویا با آفتابگردان

Intercropping 30, 60 and 90% bean + sunflower (I_1, I_2 and I_3, respectively) and intercropping 30, 60 and 90% soybean + sunflower (I_4, I_5 and I_6, respectively)

کاهش عملکرد واقعی: کاهش عملکرد واقعی، کاهش عملکرد یا سودمندی هر گیاه را در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص نشان می‌دهد. علامت مثبت نشان‌دهنده افزایش عملکرد واقعی و علامت منفی نشان‌دهنده کاهش عملکرد واقعی کشت مخلوط نسبت به تک کشتی است (٤). در این پژوهش علی رغم مناسب بودن شاخص نسبت برابری زمین در اکثر تیمارها (LER>1)، کاهش عملکرد واقعی در تمام تیمارها منفی بود. این کاهش در تیمارهای ٦۰ درصد و بیش از ٦۰ درصد لوبیا و سویا + آفتابگردان کمتر بود (جدول ٦) که نشان از برتری آن‌ها در مقابل سایر تیمارها دارد. در کشت مخلوط افزایشی رازیانه و شنبلیله هم کاهش عملکرد واقعی منفی گزارش شده است (۳٦). در پژوهش بنیک و همکاران (۲۰۰٦) روی کشت مخلوط افزایشی گندم و جو نیز تمام تیمارها دارای کاهش عملکرد واقعی منفی بودند، در حالی که نسبت برابری زمین در همه این تیمارها بیش از یک بود؛ این محققین دلیل منفی شدن کاهش عملکرد واقعی را رقابت بالا در سیستم کشت مخلوط نسبت به تک کشتی گزارش کرده‌اند (٤).

سودمندی کشت مخلوط: سودمندی کشت مخلوط نیز همانند صفت کاهش عملکرد واقعی در تمام الگوهای کشت مخلوط منفی بود (جدول ٦). کمترین میزان سودمندی کشت مخلوط (۰/٤۲-) به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۳۰ درصد لوبیا و سویا + آفتابگردان مربوط بود. بر اساس این ویژگی نیز تیمار ٦۰ درصد لوبیا + آفتابگردان برتر از سایر الگوهای کشت مخلوط بود. در کشت مخلوط رازیانه و شنبلیله، تیمارهای کشت مخلوط افزایشی به علت رقابت بین گونه‌ای دارای سودمندی کشت مخلوط منفی بودند (۳٦). این نتایج با یافته‌های نخزری مقدم و همکاران (۲۰۱٦) روی تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط سری جایگزینی بر عملکرد جو و نخودفرنگی مطابقت داشت (۳۰).

شاخص غالبیت: شاخص غالبیت نشان می‌دهد که افزایش عملکرد نسبی یک گونه در کشت مخلوط چه مقدار بیشتر از گونه دیگر است (۲۳). نتایج بررسی داده‌های آزمایشی بر اساس شاخص غالبیت نشان داد که در کلیه تیمارهای کشت مخلوط، گیاه آفتابگردان نسبت به گیاهان لوبیا و سویا دارای غالبیت بالاتری بوده و قدرت رقابتی بیشتری داشت (جدول ۷). به نظر می‌رسد که ارتفاع بیشتر و نیز شاخص سطح برگ و وزن خشک بالای آفتابگردان باعث شده است که این گیاه در رقابت با گیاهان لگوم موفق‌تر عمل نماید.

این نتایج با یافته‌های دریایی و همکاران (۲۰۰۸) و مشهدی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد (۹، ۲۵). در بررسی نخزری مقدم و همکاران (۲۰۱٦) روی تأثیر سطوح نیتروژن و نسبت‌های کشت مخلوط سری جایگزینی بر عملکرد جو و نخودفرنگی، غالبیت جو بر نخودفرنگی بسیار چشم‌گیر گزارش شده است (۳۰). والا و همکاران (۲۰۰۹) هم غالبیت جو را در تیمارهای کشت مخلوط با نخود فرنگی و عدس گزارش کرده‌اند (٤٠).

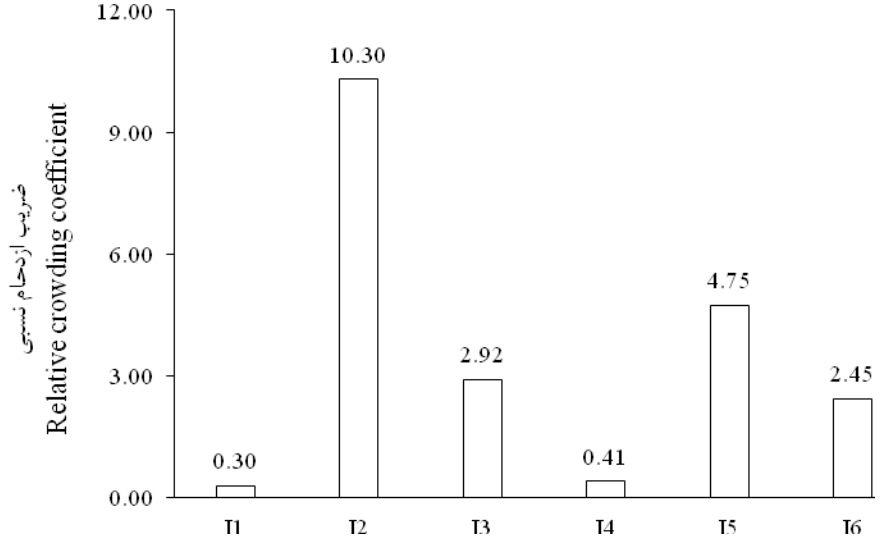
جدول ۷- مقادیر شاخص غالبیت در تیمارهای آزمایشی.

Table 7- Values of aggresivity index at experimental treatments

تیمار treatment	شاخص غالبیت آفتابگردان به لوبیا Aggresivity index sunflower/bean	شاخص غالبیت لوبیا به آفتابگردان Aggresivity index bean/sunflower	تیمار treatment	شاخص غالبیت آفتابگردان به سویا Aggresivity index sunflower/soybean	شاخص غالبیت سویا به آفتابگردان Aggresivity index bean/sunflowersoy
I_1	0.39	-0.39	I_4	0.36	-0.36
I_2	0.36	-0.36	I_5	0.34	-0.34
I_3	0.15	-0.15	I_6	0.14	-0.14

I_1، I_2 و I_3 به ترتیب کشت مخلوط ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد لوبیا با آفتابگردان و I_4، I_5 و I_6 به ترتیب کشت مخلوط ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد سویا با آفتابگردان

Intercropping 30, 60 and 90% bean + sunflower (I_1, I_2 and I_3, respectively) and intercropping 30, 60 and 90% soybean + sunflower (I_4, I_5 and I_6, respectively)



شکل ۱- مقادیر شاخص ضریب ازدحام نسبی در تیمارهای آزمایشی (کشت مخلوط ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد لوبیا با آفتابگردان به‌ترتیب با I_1، I_2 و I_3 و کشت مخلوط ۳۰، ٦۰ و ۹۰ درصد سویا با آفتابگردان به‌ترتیب با I_4، I_5 و I_6 نشان داده شده است)

Figure 1- Values of relative crowding coefficient at experimental treatments (Intercropping 30, 60 and 90% bean + sunflower showed with I_1, I_2 and I_3, respectively, and intercropping 30, 60 and 90% soybean + sunflower showed with I_4, I_5 and I_6, respectively)

ضریب ازدحام نسبی: نتایج ارزیابی داده‌های آزمایشی براساس شاخص ضریب ازدحام نسبی نشان داد که الگوهای کشت مخلوطی که تراکم‌های بالاتر از ۳۰ درصد لوبیا و سویا دارند، در مقایسه با تک کشتی آن‌ها سودمندترند (شکل ۱). بیشترین ضریب ازدحام نسبی (۱۰/۳۰) از تیمار ٦۰ درصد لوبیا + آفتابگردان به‌دست آمد. آجینهو و همکاران (۲۰۰٦) نیز در بررسی کشت مخلوط جو و باقلا، سودمندی کشت

مخلوط این دو گونه را نسبت به تک کشتی با استفاده از شاخص ضریب ازدحام نسبی گزارش کردند (۱). در بررسی حاضر کمترین ضریب ازدحام نسبی به الگوهای کشت مخلوط با تراکم‌های ۳۰ درصد لوبیا و سویا + آفتابگردان مربوط بود که سودمندی کمتری نسبت به کشت‌های خالص داشتند. دلیل کاهش ضریب نسبی ازدحام در این تیمارها می‌تواند کاهش عملکرد گیاهان زراعی باشد. در مطالعه سودمندی عملکرد کشت مخلوط سویا با ریحان وگاوزبان اروپایی در بیشتر تیمارهای کشت مخلوط ضریب ازدحام نسبی بالاتر از یک گزارش شده است (۳). صدری و همکاران (۲۰۱٤) نیز دریافتند در کشت مخلوط رازیانه و شنبلیله، ضریب ازدحام نسبی در بیشتر تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود (۳٦).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این بررسی نشان داد که عملکرد دانه گیاهان آفتابگردان، لوبیا و سویا در کشت خالص بیش از کشت مخلوط این گونه‌ها بود، ولی اکثر شاخص‌های ارزیابی سودمندی کشت مخلوط آفتابگردان–لگوم، برتری کشت مخلوط آفتابگردان + لوبیا/سویا را نسبت به کشت خالص تایید کردند، به طوری که در بیشتر تیمارهای کشت مخلوط، شاخص‌های نسبت برابری زمین، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان و ضریب ازدحام نسبی بالاتر از یک بودند که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط است. عملکرد دانه معادل آفتابگردان نیز در تیمارهای ٦۰ و بالاتر از ٦۰ درصد لگوم در سیستم کشت مخلوط با آفتابگردان از تک کشتی این گیاه بیشتر بودند. همچنین، در این مطالعه الگوهای کشت مخلوط ٦۰ و ۹۰ درصد لگوم + آفتابگردان دارای شاخص رقابت پایین‌تر از یک بودند که این موضوع نیز نشانگر سودمندی الگوهای کشت مخلوط می‌باشد. بررسی شاخص غالبیت هم مشخص ساخت که در تمامی الگوهای کشت مخلوط، گیاه آفتابگردان نسبت به گیاهان لوبیا و سویا غالبیت بالاتر و در نتیجه قدرت رقابتی بیشتری داشت. با توجه به یافته‌های این مطالعه تیمار ٦۰ درصد لوبیا + آفتابگردان سودمندی بیشتری نسبت به سایر الگوهای کشت داشت و در شرایط مشابه قابل توصیه است.

منابع

1. Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W. 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and fababean mixed cropping in Ethiopian highlands. Europ. J. Agron. 25: 3. 202-207.
2. Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., and Maggi, F. 2018. Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. Ind. Crop Prod. 111: 743-754.
3. Bagheri Shirvan, M., Zaefarian, F., Akbarpour, V., and Asadi, G. 2012. Evaluation of yield advantage and economic productivity of soybean intercropping with sweet basil and borage. J. Agroecol. 2: 2. 42-57. (In Persian).
4. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. Europ. J. Agron. 24: 4. 325-332.
5. Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E., and Baresel. J.P. 2014. Evaluating spatial arrangement for durum wheat and sub clover intercropping systems. Field Crop Res. 169: 49-57.
6. Chapagain, T., and Riseman, A. 2014. Barley–pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. Field Crop Res. 166: 18-25.
7. Chimonyo, V.G.P., Modi, A.T., and Mabhaudhi T. 2016. Water use and productivity of a sorghum–cowpea–bottle

gourdintercrop system. Agric. Water Manag. 165: 82-96.
8. Crusciol, C.A.C., Nascente, A.S., Mateus, G.P., Pariz, C.M., Martins, P.O., and Borghi E. 2014. Intercropping soybean and palisade grass for enhanced land use efficiency and revenue in a no till system. Europ. J. Agron. 58: 53-62.
9. Daryaei, F., Agha Alikhani, M., and Chaichi, M.R. 2008. Comparison advantage index of intercropping chickpea and barley in forage manufacture. Agric. Nat. Resour. Syst. 6: 21. 35-40. (In Persian).
10. Egbe, O.M., Alibo, S.E., and Nwueze, I. 2010. Evaluation of some extra-early-and early-maturing cowpea varieties for intercropping with maize in southern Guinea Savanna of Nigeria. Agric. Biol. J. North Am. 1: 5. 845-858.
11. Fan, Z., An, T., Wu, K., Zhou, F., Zi, S., Yang, Y., Xue, G., and Wu. B. 2016. Effects of intercropping of maize and potato on sloping land on the water balance and surface runoff. Agric. Water Manag. 166: 9-16.
12. Franco, J.G., King, S.R., Masabni, J.G., and Volder, A. 2015. Plant functional diversity improves short-term yields in a low-input intercropping system. Agric. Ecosys. Environ. 203: 1-10.
13. Franco, J.G., King, S.R., and Volder, A. 2018. Component crop physiology and water use efficiency in response to intercropping. Europ. J. Agron. 93: 27-39.
14. Fuente, E.B., Suárez, S.A., Lenardis, A.E., and Poggio, S.L. 2014. Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems: Evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. NJAS – Wagen. J. Life Sci. 70: 47-52.
15. Ghanbari, A., Ghadiri, H., Ghafari Moghadam, M., and Safari, M. 2010. Evaluation of intercropping of maize and cucurbit and effect on weed control. Iranian J. Field Crop Sci. 41: 1. 43- 55. (In Persian).
16. Gronle, A., Lux, G., Böhm, H., Schmidtke, K., Wild, M., Demmel, M., Brandhuber, R., Wilbois, K., and Heb, J. 2015. Effect of ploughing depth and mechanical soil loading on soil physical properties, weed infestation, yield performance and grain quality in sole and intercrops of pea and oat in organic farming. Soil Till. Res. 148: 59-73.
17. Hamzei, J., and Seyedi, S.M. 2014b. Study of canopy growth indices in mono and intercropping of chickpea and barley under weed competition. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 24: 4. 75-90. (In Persian).
18. Hamzei, J., and Seyedi, S.M. 2012. Determination of the best intercropping combination of wheat and rapeseed based on agronomic indices, total yield and land use equivalent ratio. Crop Prod. Process. 2: 5. 109-119. (In Persian).
19. Hamzei, J., and Seyedi, S.M. 2014a. Soil physicochemical characteristics and land use efficiency in cereal-legume intercropping systems. Water Soil. 24: 4. 261-271. (In Persian).
20. Inal, A., Gunes, A., Zhang, F., and Cakmak, I. 2007. Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. Plant Physiol. Biochem. 45: 5. 350-356.
21. Khajehpour, M.R. 2009. Principles and Fundamentals of Crop Production. Third edition, Jahad-e- Daneshgahi. Press of Isfahan University of Technology. 636 p. (In Persian).
22. Lal, B., Rana, K.S., Rana, D.S., Shivay, Y.S., Sharma, D.K., Meena, B.P., and Gautam, P. 2019. Biomass, yield, quality and moisture use of Brassica carinata as influenced by intercropping with chickpea under semiarid tropics. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 18: 1. 61-71.
23. Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., and Damalas, C.A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content competition in pea-cereal intercropping systems. Europ. J. Agron. 34: 4. 287-294.
24. Mansouri, L., Jamshidi, K., Rastgoo, M., Saba, J., and Mansouri, H. 2013. The effect of additive maize-bean intercropping on yield, yield components and weeds control in Zanjan climate Conditions. Iranian J. Field Crop Res. 11: 3. 483- 492. (In Persian).
25. Mashhadi, T., Nakhzari Moghaddam, A., and Sabouri, H. 2015. Investigation of

competition indices in intercropping of wheat and chickpea under nitrogen consumption. J. Agroecol. 7: 3. 344-355. (In Persian).
26. Mazaheri, D. 2008. Intercropping. 2nd Ed. Tehran, Iran. 262 p. (In Persian).
27. Midega, C.A. O., Salifu, D., Bruce, T.J., Pittchar, J., Pickett, J.A., and Khan, Z.R. 2014. Cumulative effects and economic benefits of intercropping maize with food legumes on *Striga hermonthica* infestation. Field Crop Res. 155: 144-152.
28. Mohsen Abadi, G.R., Jahansuz, M.R., Chaichi, M.R., Rahimian Mashhadi, R., Liaghat, A., and Savaghebi Firuzabadi, G.R. 2007. Intercropping of barley - vetch at different levels of nitrogen. Agric. Sci. Technol. 10: 1. 23-31. (In Persian).
29. Mosapour, H., Ghanbari, A., Sirousmehr, A.R., and Asgharipour, M.R. 2015. Effect of sowing time on seed yield, advantage and competitive indices in ajwain and isabgol intercropping. Iranian J. Crop Sci. 17: 2. 139-152. (In Persian).
30. Nakhzari Moghaddam, A., Dehghanpour Inchehbron, O., and Rahemi Karizaki, A. 2016. The effects of nitrogen levels and intercropping pattern on forage yield and competition indices of barley and pea. Elec. J. Crop Prod. 9: 1. 199-214. (In Persian).
31. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2015. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize and bean in Northeast. J. Clean. Prod. 106: 343-350.
32. Nyawade, S.O., Karanja, N.N., Gachene, C.K.K., Gitari, H.I., Schulte-Geldermann, E., and Parker, M.L. 2019. Short-term dynamics of soil organic matter fractions and microbial activity in smallholder potato-legume intercropping systems. Appl. Soil Ecol. 142: 123-135.
33. Pötzsch, F., Lux, G., Lewandowska, S., Bellingrath - Kimurac, S.D., and Schmidtke, K. 2019. Optimizing relative seed frequency of intercropped pea and spring barley .Europ. J. Agron. 105: 32-40.
34. Ren, Y., Liuc, J., Wangd, Z., and Zhanga, S. 2016. Planting density and sowing proportions of maize–soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. Europ. J. Agron. 72: 70-79.
35. Rezaei-Chianeh, E., Khorramdel, S., and Garachali, P. 2015. Evaluation of relay intercropping of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) on their yield and land use efficiency. Agric. Crop Manag. 17: 1. 183-196. (In Persian).
36. Sadri, S., Pouryousef, M., and Soleimani, A. 2014. Evaluation of yield, essential oil and productivity indices in fennel and fenugreek intercropping. Agric. Crop Manag. 16: 4. 921-932. (In Persian).
37. Scalise, A., Tortorella, D., Pristeri, A., Petrovicova, B., Gelsomino, A., Lindstrom, K., and Monti, M. 2015. Legume-barley intercropping stimulates soil N supply and crop yield in the succeeding durum wheat in a rotation under rainfed conditions. Soil Biol., Biochem. 89: 150-161.
38. Sherma, A.R., and Behera, U.K. 2009. Recycling of legume residues for nitrogen economy and higher productivity in maize (*Zea mays* L.) – wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. Nutr. Cycling Agroecosyst. 83: 3. 197-210.
39. Valizadegan, A. 2015. Study of yield quality and quantiting in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) and species diversity and relative abundance of insects in row and strip intercropping. J. Sustain. Agric. Prod. Sci. 25: 3. 15-30. (In Persian).
40. Wahla, I.H., Ahmad, R., Ehsanullah Ahmad, A., and Jabbar, A. 2009. Competitive functions of components crops in some barley based intercropping systems. Inter. J. Agric. Biol. 11: 1. 69-72.