

ارزیابی زراعی، اکولوژیکی و اقتصادی کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) با نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط دیم مراغه

عبدالله جوانمرد^{۱*}، امیر رستمی^۲، مجتبی نورآئین^۱، غلامحسین قره‌خانی^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۱

- ۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
 - ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
 - ۳- استادیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
- *مسئول مکاتبه: A.javanmard@maragheh.ac.ir

چکیده

به منظور ارزیابی کشت مخلوط نخود و گندم در شرایط دیم، پژوهشی در سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تیمار و ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل کشت خالص گندم و نخود، کشت مخلوط جایگزینی نخود-گندم با نسبت ۱:۱، ۲:۱ و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد گندم و ۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد گندم بود. کشت مخلوط بر اساس شاخص‌های نسبت برابری زمین، ضریب ازدحام نسبی، غالبیت، نسبت رقابت، افت واقعی عملکرد، برتری مالی، سودمندی مخلوط و شاخص بهره‌وری سیستم ارزیابی شد. نتایج نشان داد تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه نخود و تعداد سنبله در سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین دانه گندم تحت تأثیر الگوهای کاشت قرار گرفتند. بیشترین عملکرد دانه در هر دو گونه به کشت خالص تعلق داشت. در الگوهای مخلوط، بیشترین عملکرد دانه نخود و گندم به ترتیب در تیمارهای ۲:۱ و ۱:۱ مشاهده شد. در نسبت‌های ۱:۱، ۲:۱ و ۱۰۰:۷۵ نخود غالبیت بیشتری نسبت به گندم داشت که این بیانگر توانایی رقابت بالاتر نخود در این تیمارهاست. مقادیر افت واقعی عملکرد در کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی به ترتیب مثبت و منفی بود، که بیانگر ثبات بیشتر عملکرد در کشت مخلوط جایگزینی نسبت به افزایشی است. بالاترین میزان شاخص نسبت برابری زمین، برتری مالی، سودمندی مخلوط و بهره‌وری سیستم در کشت‌های ۱:۱ و ۲:۱ ثبت شد، که سودمندی این تیمارها را از لحاظ زراعی و اقتصادی نشان می‌دهد. براساس یافته‌های این پژوهش، کشت مخلوط افزایشی نخود با گندم جهت تولید دانه در شرایط دیم مراغه فاقد سودمندی است.

واژه‌های کلیدی: افت واقعی عملکرد، شاخص برتری مالی، درصد پروتئین، عملکرد دانه، کشت مخلوط جایگزینی

Agronomical, Ecological and Economical Evaluation of Wheat- Chickpea Intercropping Under Rainfed Condition of Maragheh

Abdollah Javanmard^{1*}, Amir Rostami², Mojtaba Nouraein¹, Gholamhossein Gharekhany³

Received: November 17, 2015 Accepted: February 10, 2016

1-Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

2-MSc Student of Agroecology, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

3-Assist. Prof., Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

*Corresponding Author: A.javanmard@maragheh.ac.ir

Abstract

In order to evaluate of wheat-chickpea intercropping under rainfed condition, a field experiment based on randomized complete blocks design (RCBD) with 6 treatment and 3 replications was carried out at the faculty of Agriculture, University of Maragheh during 2013 growing season. Treatments were included sole planting of wheat and chickpea, replacement intercropping of chickpea- wheat in 1:1 and 2:1 ratios and additive intercropping of chickpea with wheat in ratios 100:100 and 100:75. Evaluation of the planting patterns was performed on basis of several intercropping indices such as land equivalent ratio (LER), relative crowding coefficient (RCC or K), aggressivity (A), competitive ratio (CR), actual yield loss (AYL), monetary advantage index (MAI), intercropping advantage (IA) and system productivity index (SPI). Results showed that pods number per plant, seed number per plant, seed yield of chickpea and spikelet number per spike, grain number per spike, grain yield, protein content and protein yield of wheat were affected significantly by planting patterns. Highest grain yield were obtained in the sole crops. The greatest grain yield of wheat and chickpea in intercropping was observed in 1:1 and 2:1 ratios. The chickpea aggressivity was greater than wheat in 1:1, 2:1 and 100:75 ratios, indicating that chickpea was more competitive than wheat. The total AYL values were positive and negative in replacement and additive intercrops, respectively, showing that replacement intercropping was more resistant to yield loss than additive intercropping. The highest LER, MAI, IA and SPI values were recorded for 1:1 and 2:1 intercrops, indicating that the intercropping systems were the most profitable on basis of agronomical and economical. Considering the experimental findings, there was no advantage for chickpea-wheat as additive intercropping in rainfed condition of Maragheh if grain yield is the primary purpose.

Keywords: Actual Yield Loss, Grain Yield, Monetary Advantage Index, Protein Percent, Replacement Intercropping

مقدمه

در کشت مخلوط را می‌توان به کاهش رشد علف‌های هرز (هاوگارد نیلسن و همکاران ۲۰۰۹)، کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها (ابراهیم و همکاران ۲۰۱۴)، سرعت رشد بیشتر و استفادۀ بهتر از منابع در دسترس نسبت داد (یانگ و همکاران ۲۰۱۴). بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده هنگامی که دو گونه با ارتفاع بوته، پوشش گیاهی و الگوی رشد متفاوت به صورت همزمان در کشت مخلوط قرار می‌گیرند، کمترین رقابت را با یکدیگر ایجاد می‌کنند و این موضوع باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی می‌شود (بورژای و همکاران ۲۰۱۳).

نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) با سطح زیر کشت ۱۳ میلیون هکتار در جهان و متوسط عملکرد ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار و با پروتئین ۳۱/۵-۱۲/۴ درصد سومین گیاه مهم از گروه حبوبات به شمار می‌آید (فائو ۲۰۱۳). در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ سطح زیر کشت نخود در ایران ۴۷۲ هزار هکتار برآورد شده که به‌طور متوسط عملکرد آن ۷۲۳/۲۵ کیلوگرم در هکتار بود. استان آذربایجان شرقی با سطح زیر کشت معادل ۶۲۱۷۸ هکتار (۱۲۸۵ هکتار آبی و ۶۰۸۹۳ هکتار دیم) و با میانگین عملکرد ۸۴۹/۰۲۵ کیلوگرم در هکتار (میانگین عملکرد نخود آبی و دیم به ترتیب ۱۳۲۲/۷۱، ۳۷۵/۳۴ کیلوگرم در هکتار) در رتبه پنجم کشوری قرار گرفت (آمارنامه جهاد کشاورزی ۱۳۹۳).

براساس بررسی‌های موجود، مردم ایران در حدود ۷۰ درصد کالری مورد نیاز و بخش مهمی از پروتئین روزانه خود را از نان و سایر مواد غذایی حاصل از گندم و آرد تأمین می‌کنند. مصرف سرانه گندم در ایران رقمی حدود ۱۲۵ تا ۱۳۰ کیلوگرم و مصرف نان بالغ بر ۱۶۰ کیلوگرم در سال می‌باشد. میزان سطح زیر کشت گندم در ایران در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱، بالغ بر ۶/۴ میلیون هکتار و تولید گندم نیز در حدود ۹/۳ میلیون تن بود (آمارنامه جهاد کشاورزی ۱۳۹۳). از این مقدار استان آذربایجان شرقی با سطح زیر کشت ۳۸۲۰۹۰ هکتار و با تولید ۴۱۰۷۷۴ تن در سال زراعی ۹۲-۹۱ در

امروزه در مقیاس جهانی، کشاورزی در مواجهه با نیازهای روزافزون به غذا بسیار موفق عمل کرده است، که این توفیق اساساً به دلیل واریته‌های گیاهی جدید، استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و توسعه سازه‌های آبیاری بوده است. اما مطالعه اثرات بلندمدت این پیشرفت‌ها در کشاورزی مشخص ساخت که نظام جهانی تولید غذا در حال گسستن بسیاری از زیربنای و پایه‌های خود به دلیل کاهش اساس بهره‌وری و تولید می‌باشد (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۴). از آنجا که هدف اصلی کشاورزی از این دیدگاه به حداکثر رساندن توأم تولید و درآمد است، به منظور دستیابی به این اهداف مجموعه‌ای از عملیات بدون توجه به پیامدهای درازمدت آنها و بدون در نظر گرفتن پویایی بوم‌شناختی نظام‌های زراعی تکامل یافته‌اند که پیامد آنها گسترش تک‌کشتی در مقیاس وسیع و وابستگی شدید آن به انرژی‌های فسیلی غیرقابل تجدید می‌باشد. چنین نظامی در رفع نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد کنونی و نسل‌های آتی ناتوان بوده و این مسئله لزوم شکل‌گیری تفکر پایدار در کشاورزی جهت حل مشکلات موجود را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (نصیری محلاتی ۲۰۱۴؛ بورژای و همکاران ۲۰۱۳). بنابراین باید بازنگری در روش‌های متداول کشاورزی و استراتژی‌های مربوط به استفاده بهینه از زمین و افزایش تولید در زمینه غلات به ویژه گندم، بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد (چاپاگین و رایسمان ۲۰۱۴). کشت مخلوط به عنوان یکی از مهمترین سیستم‌های کشاورزی قابل اجرا در بسیاری از کشورهای در حال توسعه می‌تواند به جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (ابراهیم و همکاران ۲۰۱۴). یکی از دلایل اصلی که کشاورزان در جهان کشت مخلوط را بر کشت خالص ترجیح می‌دهند این است که در اغلب موارد تولید بیشتری از کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص از همان مقدار زمین به دست می‌آید (یانگ و همکاران ۲۰۱۴). افزایش تولید

بهبود کیفیت آن بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر، برای حفظ محیط زیست و منابع طبیعی، لازم است افزایش تولید گندم با مدیریت صحیح انجام شود.

از طرف دیگر رقابت فاکتوری است که می‌تواند روی میزان رشد و عملکرد کشت مخلوط نسبت به کشت خالص تأثیر معنی‌داری داشته باشد (دهیما و همکاران ۲۰۰۷). چندین شاخص از قبیل نسبت برابری زمین^۱، راندمان کل زمین^۲، ضریب ازدحام نسبی^۳، غالبیت^۴، نسبت رقابت^۵، کاهش واقعی عملکرد^۶، شاخص برتری اقتصادی^۷، شاخص برتری مالی^۸ و شاخص بهره‌وری سیستم^۹ جهت توصیف رقابت و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط به‌کار برده شده‌اند (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱ و دباغ محمدی نسب و همکاران ۲۰۱۱). چاپاگین و رایزمن (۲۰۱۴) گزارش کردند با انجام کشت مخلوط کارایی استفاده از زمین در مقایسه با تک‌کشتی ۳۲-۱۲ درصد افزایش یافت و بالاترین راندمان کل زمین (۵/۹ تن در هکتار) و نسبت برابری زمین (۱/۳۲) در ترکیب ۲:۱ (جو با نخود فرنگی) حاصل شد. همچنین در کشت مخلوط، جو دارای بیوماس نیتروژن و در نتیجه درصد پروتئین بالاتر نسبت به کشت خالص آن بود و میزان گره‌های نخود فرنگی و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن هم نسبت به کشت خالص آن بیشتر بود.

در نهایت با توجه به اهمیت استراتژیک گندم و نخود در تأمین امنیت غذایی کشور و با توجه به محدودیت منابع آبی در سال‌های اخیر، این آزمایش با هدف بررسی رقابت، عملکرد و اجزای عملکرد هر یک از

رتبه دهم کشوری قرار گرفت. میانگین عملکرد گندم دیم کشور ۷۲۱ کیلوگرم در هکتار بوده ولی این رقم در استان معادل ۴۸۳/۷۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند ایران که آب عامل محدود کننده است باید سعی شود تا با بهره‌برداری مطلوب از آب موجود، میزان تولید را افزایش داد. بهترین و شاید تنها راه نیل به هدف، انجام چند کشتی و یا کشت مخلوط است (ابراهیم و همکاران ۲۰۱۴). آگگنهو و همکاران (۲۰۰۶) به این نتیجه رسیدند در صورت محدود بودن آب، کشت مخلوط از نظر کارایی مصرف آب و استفاده بیشتر از منابع محیطی و به دنبال آن پایداری بیشتر عملکرد نسبت به تک کشتی برتری دارد.

یکی از راهکارهای کلیدی در کشاورزی پایدار بازگرداندن تنوع به اکوسیستم‌های کشاورزی و مدیریت مؤثر آن است. کشت مخلوط نخود- گندم به عنوان نمونه‌ای از نظام‌های پایدار در کشاورزی اهدافی نظیر ایجاد تعادل اکولوژیک، بهره‌برداری بیشتر از منابع، افزایش کمی و کیفی عملکرد و کاهش خسارت آفات، بیماریها و علفهای هرز را دنبال می‌کند (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱). بانیک و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی که بر روی کشت مخلوط گندم و نخود انجام دادند مشاهده کردند که عملکرد نخود به طور معنی‌داری کاهش یافت ولی در عین حال تولید کل و کارایی استفاده از زمین بیشتر شد. خان و همکاران (۲۰۰۵) در کشت مخلوط گندم با نخود، عدس و کلزا دریافتند که صفات ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه گندم بطور معنی‌داری تحت تأثیر نوع کشت واقع شدند ولی وزن هزار دانه گندم تحت تأثیر کشت مخلوط قرار نگرفت. همچنین برای تأمین غذای مورد نیاز جمعیت روزافزون کشور لازم است عملکرد و سطح زیر کشت گندم به عنوان یک محصول استراتژیک افزایش یابد ولی افزایش سطح زیرکشت گندم به دلیل محدودیت منابع آب و خاک امکان‌پذیر نیست. لذا امروزه افزایش عملکرد گندم و

¹ - Land Equivalent Ratio (LER)

² - Total Land Outputs (TLO)

³ - Relative Crowding Coefficient (RCC)

⁴ - Aggressivity (A)

⁵ - Competition Ratio (CR)

⁶ - Actual Yield Loss (AYL)

⁷ - Monetary Advantage Index (MAI)

⁸ - Intercropping Advantage (IA)

⁹ - System Productivity Index (SPI)

بلوک‌های تصادفی با ۶ تیمار و ۳ تکرار اجرا شد این منطقه دارای مشخصات جغرافیایی 37° 23° عرض شمالی و 46° 16° طول شرقی و ۱۴۸۵ متر ارتفاع از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه ۲۵۵/۴ میلی متر بود. مشخصات خاک مزرعه به شرح جدول ۱ بود.

گیاهان در کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی خود با گندم در شرایط دیم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی سال زراعی ۱۳۹۲ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه به صورت طرح

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

رس	سیلت	شن	پتاسیم	فسفر	نیترژن	کربن آلی	کربنات	اسیدیته	هدایت الکتریکی
			میلی‌گرم در کیلوگرم	میلی‌گرم در کیلوگرم	کل	(درصد)	کلسیم	(درصد)	(دسی زیمنس بر متر)
	درصد				(درصد)		(درصد)		
۳۱	۴۵	۲۴	۷۲۰	۷/۳۱	۰/۱۵	۰/۹۲	۱۷	۷/۰۷	۰/۷

خالص خود اضافه و در بین ردیف‌های آن کشت شد، ولی در کشت مخلوط جایگزینی از نسبت معادل گونه‌ای استفاده شد. بین کرت‌ها در هر بلوک ۱ متر و بین بلوک‌ها هم ۲ متر فاصله لحاظ گردید. قبل از برداشت به منظور تعیین اجزای عملکرد خود و گندم، به ترتیب ۱۰ و ۲۰ بوته در هر کرت به صورت تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری صفات انجام شد. عملکرد نهایی دانه و بیولوژیک نیز پس از حذف اثر حاشیه، با برداشت ۳ متر مربع از هر واحد آزمایشی تعیین گردید. جهت تعیین درصد پروتئین دانه ابتدا درصد نیترژن دانه با روش کج‌دال (نیلسن و سومرس ۱۹۷۲) اندازه‌گیری و سپس با ضرب آن در عدد ۶/۲۵، درصد پروتئین محاسبه شد و با ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه، عملکرد پروتئین مشخص شد.

برای ارزیابی سودمندی کشت مخلوط از شاخص‌های نسبت برابری زمین، مجموع عملکرد نسبی، شاخص سودمندی اقتصادی، ضریب ازدحام نسبی، نسبت رقابت، شاخص غالبیت، کاهش عملکرد واقعی و شاخص بهره‌روی استفاده شد.

نسبت برابری زمین (LER)

بر اساس سطح زیر کشت محاسبه می‌گردد و به وسیله آن مشخص می‌شود که برای به دست آوردن

تیمارهای کشت عبارت بودند از کشت خالص گندم، کشت خالص خود، کشت مخلوط خود با گندم با نسبت ۱:۱، کشت مخلوط خود با گندم با نسبت ۲:۱، کشت مخلوط ۱۰۰ درصد خود + ۱۰۰ درصد گندم و کشت مخلوط ۱۰۰ درصد خود + ۷۵ درصد گندم. در پاییز ۱۳۹۲ زمین مورد نظر را با گاواهن برگردان‌دار شخم عمیق زده و سپس در ۱۵ اسفند همان سال شخم سطحی با پنجه‌غازی انجام پذیرفت. بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل همزمان با آماده‌سازی زمین و ۵۰ کیلوگرم اوره در زمان کشت به خاک اضافه گردید. عملیات کاشت به صورتی دستی و همزمان در تاریخ ۲۰ اسفند ۱۳۹۲ صورت گرفت. در این آزمایش گندم به‌عنوان محصول اصلی و خود گیاه فرعی محسوب شد. ارقام مورد استفاده خود و گندم به‌ترتیب هاشم و زاگرس بودند. تراکم‌های کاشت خود و گندم به ترتیب ۴۰ و ۳۵۰ بوته در متر مربع منظور گردید. فاصله ردیف‌های کشت برای خود و گندم به ترتیب ۴۰ و ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد، بنابراین در کشت خالص خود در هر کرت آزمایشی ۷ ردیف کاشت و در کشت خالص گندم ۱۵ خط کاشت به طول ۴ متر قرار داشتند. در کشت مخلوط افزایشی، درصدهای مورد نظر از گیاه گندم به کشت

نسبت رقابت (CR)

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 نسبت به سودمندی مخلوط قضاوت کرد (دهیما و همکاران ۲۰۰۷).

$$CR_c = \frac{IER_c}{LER_p} * \frac{Z_{wi}}{Z_{ci}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$CR_w = \frac{IER_p}{LER_c} * \frac{Z_{ci}}{Z_{wi}}$$

LER_c : نسبت برابری زمین در نخود، LER_w : نسبت برابری زمین در گندم، Z_{wi} نسبت گندم کاشته شده در مخلوط، Z_{ci} نسبت نخود کاشته شده در مخلوط.

شاخص غالبیت (A)

این شاخص میزان غالبیت گیاهان را نسبت به همدیگر در کشت مخلوط نشان می‌دهد و توسط معادله زیر محاسبه می‌گردد (هاگارد نیلسن و همکاران ۲۰۰۹)

$$A_c = \left(\frac{Y_{ci}}{Y_c Z_{ci}} \right) - \left(\frac{Y_{wi}}{Y_w Z_{wi}} \right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$A_w = \left(\frac{Y_{wi}}{Y_w Z_{wi}} \right) - \left(\frac{Y_{ci}}{Y_c Z_{ci}} \right)$$

Y_{ci} ، عملکرد نخود در کشت مخلوط با گندم Y_c ، عملکرد نخود در تک کشتی Z_{ci} ، نسبت نخود در کشت مخلوط Y_{wi} ، عملکرد گندم در کشت مخلوط با نخود Y_w ، عملکرد گندم در تک کشتی Z_{wi} ، نسبت گندم در کشت مخلوط با نخود.

کاهش واقعی عملکرد (AYL)

جهت بدست آوردن کاهش عملکرد واقعی از فرمول زیر استفاده می‌کنیم. عدد حاصل از AYT کل در صورتی که هدف مقایسه عملکرد بر اساس یک گیاه باشد، براساس سودمندی یا عدم سودمندی کشت مخلوط می‌تواند مثبت یا منفی باشد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱).

محصول حاصل از یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار از زمین به صورت تک کشتی مورد نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱) برای تعیین این شاخص، عملکرد نسبی هر جزء محاسبه می‌شود و مجموع آنها میزان LER را مشخص می‌سازد.

$$LER = RYT = \frac{Y_w}{Y_{ww}} + \frac{Y_c}{Y_{cc}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

Y_c : عملکرد نخود در کشت مخلوط، Y_{cc} عملکرد نخود در کشت خالص، Y_w : عملکرد گندم در کشت مخلوط و Y_{ww} عملکرد گندم در کشت خالص.

سپس با استفاده از روابط زیر عملکرد دانه نخود در هر واحد آزمایشی به عملکرد معادل گندم در کشت مخلوط تبدیل شد (بورگی و همکاران ۲۰۱۳). EY_i عملکرد معادل گندم در سیستم کشت مخلوط (گرم در متر مربع)، Y_w عملکرد گندم (گرم در مترمربع)، EY_{wc} عملکرد نخود معادل گندم (گرم در مترمربع)، Y_c عملکرد دانه نخود (گرم در مترمربع)، P_w قیمت گندم (۱۲۰۰۰ ریال) و P_c قیمت نخود (۲۲۰۰۰ ریال) است.

$$EY_i = Y_w + EY_{wc} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$EY_{wc} = Y_c \times \left(\frac{P_c}{P_w} \right)$$

ضریب ازدحام نسبی (RCC)

این ضریب مشخص کننده‌ی میزان رقابت بین گیاهی است که به صورت مخلوط کشت شده اند. ضریب ازدحام نسبی برای نخود که با گندم مخلوط شده است به صورت زیر است (دباغ محمدی نسب و همکاران ۲۰۱۱)

$$RCC_c = \frac{Y_{ci} * Z_{wi}}{(Y_c - Y_{ci}) Z_{ci}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$RCC_w = \frac{Y_{wi} * Z_{ci}}{(Y_w - Y_{wi}) Z_{wi}}$$

$$RCC = K = RCC_c \times RCC_w$$

Y_{ci} : عملکرد نخود در کشت مخلوط، Z_{wi} نسبت گندم در کشت مخلوط با نخود، Y_c : عملکرد نخود در تک کشتی، Z_{ci} : نسبت نخود در کشت مخلوط، Y_w عملکرد گندم در تک کشتی، Y_{wi} عملکرد گندم در کشت مخلوط.

داده‌های آزمایش، تجزیه واریانس توسط نرم افزار آماری MSTAT-C انجام و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته نخود

نتایج تجزیه واریانس نشان داد ارتفاع بوته نخود تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کاشت قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که نخود در تیمارهای ۱۰۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد گندم و کشت خالص نخود به ترتیب با میانگین ۳۶/۳۳ و ۱۹/۵ سانتیمتر بیشترین و کمترین ارتفاع بوته را دارا بود. افزایش ارتفاع بوته نخود در کشت مخلوط افزایشی کامل را می‌توان به سایه اندازی و رقابت نوری بین بوته ها نسبت داد، زیرا رقابت بر سر نور باعث می‌شود تا گیاهان سرمایه‌گذاری بیشتری برای ارتفاع بوته داشته باشند (تونا و اوراک، ۲۰۰۷). به طوری که تونا و اوراک (۲۰۰۷) در کشت مخلوط ماشک با یولاف، کاهش یا افزایش ارتفاع بوته گیاهان را به شدت رقابت بین دو گیاه نسبت دادند. در شرایط سایه با کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور (R/FR) و کاهش میزان تشعشعات فعال فتوسنتزی (PAR) افزایش ارتفاع گیاهان قابل انتظار است (یانگ و همکاران ۲۰۱۴). از طرفی، با افزایش سایه اندازی به دلیل کاهش نور دریافتی توسط لایه های پایین کانوپی، هورمون اکسین تجزیه نشده و با افزایش غلظت اکسین، ارتفاع بوته افزایش می یابد (آگنهو و همکاران ۲۰۰۶). افزایش ارتفاع بوته سویا در کشت مخلوط با سورگوم به دلیل سایه اندازی توسط گیاه بلندتر و در اثر افزایش طول میانگره‌ها بوده است (زندوکیلی و همکاران ۲۰۱۲).

رابطه (۵)

$$AYLc = \left\{ \left[\frac{\left(\frac{YcI}{ZcI} \right)}{\left(\frac{Yc}{Zc} \right)} - 1 \right] \right\}$$

$$AYLw = \left\{ \left[\frac{\left(\frac{YwI}{ZwI} \right)}{\left(\frac{Yw}{Zw} \right)} - 1 \right] \right\}$$

YcI : عملکرد نخود در کشت مخلوط، ZcI : نسبت نخود در کشت مخلوط، Yc : عملکرد نخود در تک کشتی، Zc : نسبت نخود در کشت خالص، YwI : عملکرد گندم در کشت مخلوط، ZwI : نسبت گندم در کشت مخلوط، Yw : عملکرد گندم در کشت خالص، Zw : نسبت نخود در کشت خالص.

شاخص بهره‌وری سیستم (SPI)

برای تعیین شاخص بهره‌وری سیستم کشت مخلوط (SPI) از فرمول زیر استفاده شد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱).

$$SPI = \left(\frac{Sc}{Sw} \right) * Yc + Yw \quad \text{رابطه (۶)}$$

Sc : عملکرد نخود در تک کشتی Sw ، عملکرد گندم در تک کشتی Yc ، عملکرد نخود در کشت مخلوط Yw ، عملکرد گندم در کشت مخلوط میباشد.

جهت تعیین سودمندی اقتصادی از شاخص‌های سودمندی اقتصادی (MAI) و برتری مالی (IA) استفاده شد (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱). در محاسبات این دو شاخص، بهای هر کیلوگرم دانه نخود و گندم به ترتیب ۲۲۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.

$$IA = IAc + IAw \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$IAc = AYLc * Pc$$

$$IAw = AYLw * Pw$$

$$MAI = (YcI * Pc + YwI * Pw) * \frac{LER - 1}{LER} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$AYLc$: کاهش واقعی عملکرد نخود، Pc : قیمت محصول نخود، $AYLw$: کاهش واقعی عملکرد گندم، Pw : قیمت محصول گندم. در نهایت پس از اطمینان از نرمال بودن

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به نخود در کشت خالص و مخلوط

میانگین مربعات								
شاخص	عملکرد	عملکرد دانه	تعداد دانه	تعداد غلاف	تعداد شاخه	ارتفاع	درجه	منابع تغییر
برداشت	بیولوژیک	در بوته	در بوته	در بوته	فرعی	بوته	آزادی	
۲۸/۸۴	۸۴/۶	۳/۲۴	۰/۴۶۷	۰/۸	۰/۴۳۷	۱/۰۵	۲	تکرار
۳۴/۲۸ ^{ns}	۱۸۶۲۹/۷**	۲۱۲۸/۵۴**	۶۶/۴۳۳**	۴۶/۶۶۶**	۳۷/۴۱۶*	۱۵۲/۶**	۴	تیمار
۱۱/۴۹	۳۴۰/۳	۳۴/۷۱	۱/۶۳۳	۰/۷۱۶۷	۳/۵۰۸	۱/۰۵	۸	خطای آزمایش
۹/۰۸	۱۰/۸۴	۹/۴۲	۹/۲۱	۶/۰۴	۱۸/۳۸	۳/۷۵		ضریب تغییرات (درصد)

*, ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و عدم معنی دار میباشد.

تعداد شاخه فرعی نخود

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی در بوته نخود داشتند (جدول ۲). بیشترین تعداد شاخه فرعی به تیمار تک‌کشتی نخود بدون تفاوت معنی‌دار با نسبت ۲:۱ تعلق داشت و کمترین تعداد شاخه فرعی در بوته مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد گندم با میانگین ۶/۱۷ بود (جدول ۳). دلیل این امر می‌تواند افزایش رقابت به علت حضور گندم در حالت کشت مخلوط باشد که سبب کاهش منابع محیطی در دسترس گیاه زراعی نخود می‌گردد. همچنین در کشت خالص به علت متأثر شدن هورمون اکسین از نور و عدم رقابت بین گونه‌ای جهت کسب نور، گیاه انرژی و مواد فتوسنتزی را به جای ارتفاع صرف تولید شاخه‌های فرعی می‌کند. با توجه به این که ساختار پوشش گیاهی حاصل از کشت مخلوط نقش مهمی در استفاده بهینه از تابش خورشید و در نتیجه افزایش عملکرد محصول دارد، بنابراین افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در نسبت ۲:۱ می‌تواند به علت در اختیار داشتن فضای مناسب در این نسبت از کشت مخلوط باشد (زو و همکاران ۲۰۰۸). حمزه‌ئی و سیدی (۱۳۹۲) در کشت مخلوط جو و نخود نشان دادند که بیشترین شاخه فرعی مربوط به کشت خالص و کمترین آن مربوط به الگوهای افزایشی بود.

تعداد غلاف در بوته

جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که تعداد غلاف تحت تأثیر معنی‌دار نسبت‌های مختلف کشت قرار گرفت. کشت خالص نخود با میانگین ۱۹/۶۷ عدد بیشترین و تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد گندم با میانگین ۹ عدد کمترین تعداد غلاف در بوته را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). کاهش تعداد غلاف نخود در مقایسه با کشت خالص آن را می‌توان به رقابت شدید نخود با گندم در کشت مخلوط افزایشی کامل نسبت داد. همچنین تعداد غلاف بیشتر در کشت خالص به افزایش تعداد شاخه‌های فرعی نیز نسبت داده می‌شود. زندوکیلی و همکاران (۲۰۱۲) کمترین میزان تعداد غلاف در بوته را در کشت‌های افزایشی مشاهده کردند. از آنجایی که تعداد غلاف در بوته به عنوان مهمترین جزء تعیین کننده عملکرد هر گیاهی مطرح می‌باشد، بنابراین کاهش تعداد غلاف در کشت مخلوط افزایشی آن هم به دلیل کاهش تعداد گل‌های بارور در گیاه در نتیجه رقابت درون‌گونه‌ای (رقابت بر سر جذب نور و مواد غذایی) به کاهش عملکرد منجر خواهد شد (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۴ و زندوکیلی و همکاران ۲۰۱۲).

تعداد دانه در بوته نخود

غذایی و سایه‌اندازی گندم روی نخود (کاهش نور دریافتی) نسبت داد که سبب کاهش شدت فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها و در نتیجه کاهش رشد می‌شود (جهانسوز و همکاران ۲۰۰۷). پورامیر و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ی خود روی ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد کنجد و نخود در کشت مخلوط سری‌های جایگزینی اظهار داشتند که تعداد دانه در بوته نخود در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی کاهش معنی‌داری نشان داده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نسبت‌های مختلف کشت بر تعداد دانه در بوته اثر معنی‌دار گذاشتند (جدول ۲). بیشترین و کمترین تعداد دانه در بوته به ترتیب به تیمارهای کشت خالص نخود و ۱۰۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد گندم تعلق داشت که با تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد گندم اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). با تغییر نظام کشت از تک‌کشتی به کشت مخلوط تعداد دانه در بوته کاهش می‌یابد، این کاهش را می‌توان به رقابت گندم با نخود بر سر مواد

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مربوط به نخود در کشت خالص و مخلوط

عملکرد بیولوژیک (گرم در متر مربع)	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)	تعداد دانه در بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد شاخه فرعی	ارتفاع بوته (سانتیمتر)	الگوی کشت
۲۹۱/۷a	۹۹/۷۲a	۲۰a	۱۹/۶۷a	۱۴/۵a	۱۹/۵e	نخود خالص
۷۶/۸d	۲۹/۸۲e	۹d	۹d	۶/۱۷d	۳۶/۳۳a	۱۰۰ درصد نخود + ۱۰۰ درصد گندم
۱۳۶/۸c	۴۶/۵۳d	۹/۳۳c	۱۲c	۷/۲cd	۳۳b	۱۰۰ درصد نخود + ۷۵ درصد گندم
۱۶۲/۸bc	۶۲/۷۶c	۱۴/۶۷bc	۱۴/۳۳b	۱۰/۴۲bc	۲۵/۳۳c	۱:۱
۱۸۲/۳b	۷۳/۸۹b	۱۶/۳b	۱۵b	۱۲/۶۷ab	۲۲/۳۳d	۲:۱

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

عملکرد دانه نخود

همچنین کاهش عملکرد نخود را می‌توان به قرار گرفتن کانوپی آن در زیر کانوپی گندم و کمتر بودن اجزای عملکرد آن به ویژه تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد بوته در واحد سطح، تعداد شاخه فرعی و کاهش اندازه نهایی دانه در این شرایط نسبت داد (نیوگزچوانتر و کاول ۲۰۱۴؛ اله‌دادی و همکاران ۱۳۹۴). چاپاگین و رایزمن (۲۰۱۴) رقابت بین گونه‌ای را دلیلی بر افزایش رشد رویشی و کاهش اجزای زایشی دانسته‌اند. همچنین بیان کردند که این امر انرژی کسب شده توسط گونه را به سمتی سوق می‌دهد که بتواند اثرات رقابتی را کاهش و یا حذف کند و در نتیجه میزان انرژی کمتری به تولید عملکرد اقتصادی اختصاص می‌دهد. تورستد و همکاران (۲۰۰۶) کاهش عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی در کشت مخلوط افزایشی را به بالا بودن رقابت بین‌گونه‌ای در مقایسه با رقابت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد عملکرد دانه نخود تحت تأثیر معنی‌دار سیستم کشت واقع شد (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه نخود مربوط به تیمار تک کشتی نخود با میانگین ۹۹۷/۲ کیلوگرم در هکتار و بعد از آن به نسبت‌های ۲:۱ و ۱:۱ تعلق داشت و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد گندم با میانگین ۲۹۸/۲ کیلوگرم در هکتار و تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد گندم بود (جدول ۳). شاید یکی از دلایل کاهش عملکرد دانه نخود در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص را به خاطر کاهش فضای لازم برای رشد و به دنبال آن رقابت به خاطر آب، مواد غذایی و نور نسبت داد (جهانسوز و همکاران ۲۰۰۷). زو و همکاران (۲۰۰۸) تولید بیشتر در کشت خالص را به یکنواختی بیشتر محیط نسبت به کشت مخلوط می‌دانند.

نخود+۱۰۰ درصد گندم بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد بود (جدول ۵). سوبکویز (۲۰۰۶) در کشت مخلوط تریپتیکاله با باقلا گزارش کرد که تعداد دانه در هر سنبله تریپتیکاله به دلیل رقابت دو گونه بر سر منابع محیطی از قبیل نور، آب و مواد غذایی و در نتیجه کاهش طول سنبله کاهش معنی‌داری پیدا کرد. حمزه‌ئی و سیدی (۱۳۹۲) در کشت مخلوط جو و نخود مشاهده کردند که تعداد دانه در سنبله در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش پیدا کرده است. تعداد دانه و وزن هزار دانه با میزان PAR دریافتی در طی مراحل ۷ روز قبل از گرده‌افشانی، دوره گرده‌افشانی و پرشدن دانه همبستگی خطی و معنی‌داری دارد و با توجه به اینکه در این مراحل میزان PAR دریافتی توسط کانوپی گندم در کشت مخلوط ۳۴، ۵۵ و ۶۸ درصد کشت خالص بوده است، کاهش ۳۶ و ۲۵ درصدی تعداد دانه و وزن خشک دانه قابل انتظار است (لی و همکاران ۲۰۰۸).

تعداد سنبلچه در سنبله گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد سنبلچه در سنبله تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفته است (جدول ۴). بیشترین تعداد سنبلچه در سنبله در تیمار کشت خالص گندم با میانگین ۲۰/۳۳ و کمترین آن به تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد گندم با میانگین ۱۲/۴ عدد بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد گندم بود (جدول ۵). در کشت خالص به دلیل نور قابل دسترس بیشتر نسبت به کشت مخلوط، میزان تمایز گل‌آذین‌ها در طی مرحله پنجه‌زنی افزایش و در نتیجه تعداد سنبلچه‌ها و گلچه‌ها در هر گل‌آذین افزایش می‌یابد (نیوگزچوانتنر و کاول ۲۰۱۴).

عملکرد بیولوژیک گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که عملکرد بیولوژیک گندم تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کشت در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفته است (جدول ۴).

درون‌گونه‌ای ذکر کردند. نتایج این تحقیق با یافته‌های (بانیک و همکاران ۲۰۰۶ و حمزه‌ئی و سیدی ۱۳۹۲) هماهنگ است.

عملکرد بیولوژیک نخود

طبق جدول تجزیه واریانس اثر نسبت‌های مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیک نخود معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک نخود مربوط به تیمار تک کشتی نخود با میانگین ۲۹۱۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد گندم با میانگین ۷۶۸ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). تونا و اوراک (۲۰۰۷) در کشت مخلوط ماشک با یولاف گزارش کردند که عملکرد بیولوژیکی هر یک از گیاهان کشت شده در مخلوط به طور معنی‌داری نسبت به کشت خالص آنها کاهش یافته است. در کشت مخلوط سویا با سورگوم، عملکرد بیولوژیک سویا تا ۳۰ درصد نسبت به کشت خالص این گیاه کاهش یافت (قوش و همکاران ۲۰۰۶). محققین مختلف، علت کاهش عملکرد بیولوژیک را به خاطر رقابت نوری بین اجزای عملکرد در کشت مخلوط گزارش کردند. ضعف نخود در رقابت که سرعت رشد کم و قدرت سایه‌اندازی اندکی در ابتدای فصل رشد دارد و زیادی قدرت رقابتی گندم و تفاوت نظام ریشه‌ای این گیاهان (نظام ریشه‌ای افشان گندم در مقابل نظام ریشه‌ای عمودی در نخود) ممکن است دلیل کاهش عملکرد بیولوژیک نخود در کشت مخلوط باشد (جهانسوز و همکاران ۲۰۰۷).

صفات مورد بررسی گندم

تعداد دانه در سنبله گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نسبت‌های مختلف کشت بر تعداد دانه در سنبله اثر معنی‌داری داشته‌اند (جدول ۴). بیشترین و کمترین تعداد دانه در سنبله به ترتیب با میانگین ۴۱/۳۳ و ۲۸/۷۷ عدد مربوط به تیمار کشت خالص گندم و تیمار ۱۰۰ درصد

پنجه‌ها، تعداد دانه در پانیکول و شاخص برداشت، آن هم به دلیل فضای بیشتر برای رشد می‌دانند. پوتنام و همکاران (۱۹۸۵) در تحقیقی مخلوط ذرت و سویا را با درجات قرابت مورد بررسی قرار دادند. این محققین نشان دادند که عملکرد ذرت در ردیف‌های متناوب (۱:۱) در مقایسه با آرایش‌های جفت ردیف‌های متناوب (۲:۲) بالاتر بود. به عبارت دیگر در یک نسبت گونه‌ای ثابت درجه قرابت دو گونه اهمیت زیادی در افزایش عملکرد مخلوط دارد. آنها همچنین بیان کردند که آرایش جفت ردیف‌های متناوب در مقایسه با ردیف‌های متناوب رقابت بیشتری را جهت کسب منابع قابل دسترسی ایجاد می‌کند ولی باعث قابلیت مکملی منابع می‌شود. البته در کشت مخلوط همیشه عملکرد دانه گیاهان مخلوط کاهش نمی‌یابد. برای مثال لانگ و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که در کشت مخلوط گندم با سویا عملکرد دانه گندم ۲۸-۳۰ درصد نسبت به کشت خالص افزایش یافته بود. لی و همکاران (۲۰۰۸) نیز در کشت مخلوط گندم و باقلا نشان دادند که عملکرد گندم تا ۴۰ درصد افزایش یافت. سونگ و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کرد که در کشت مخلوط ذرت و باقلا، عملکرد دانه ذرت ۴۳-۲۶ درصد افزایش یافته است، ایشان افزایش عملکرد دانه ذرت را به خاطر آزادسازی اسیدهای ارگانیک و به تثبیت نیتروژن در ریشه‌های باقلا نسبت دادند. این اسیدها، فسفر غیر محلول خاک را به حالت محلول درآورده و به همراه نیتروژن در اختیار ذرت قرار می‌دهد.

بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار خالص با میانگین ۶۸۶/۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد گندم با میانگین ۲۲۱/۹ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (جدول ۵). دلیل کاهش عملکرد بیولوژیک در کشت مخلوط می‌تواند به دلیل رقابت برای جذب نور و نیتروژن در مرحله رویشی و آب در مرحله پر شدن دانه به ویژه در شرایط باشد (تورستد و همکاران ۲۰۰۶). چاپاگین و رایزمن (۲۰۱۴) کاهش عملکرد بیولوژیک گیاهان نسبت به کشت خالص آن‌ها را گزارش کرده‌اند.

عملکرد دانه گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر نسبت-های کشت بر عملکرد دانه گندم معنی‌دار بوده است (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص گندم با میانگین ۲۰۳۹ کیلوگرم در هکتار و بعد از آن در نسبت ۱:۱ مشاهده شد و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد گندم با میانگین ۶۹۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (جدول ۵). تونا و اوراک (۲۰۰۷) علت کاهش عملکرد گرامینه‌ها در کشت مخلوط با لگوم‌های دانه‌ای را به رقابت لگوم‌ها برای جذب عناصر غذایی یا کمبود انتقال نیتروژن نسبت داده‌اند. حمزئی و سیدی (۱۳۹۲) در کشت مخلوط نخود و جو دلیل کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی را رقابت بین گونه‌ای و کاهش منابع محیطی در دسترس می‌دانند. نیوگزچوانتنر و کاول (۲۰۱۴) افزایش عملکرد یولاف در کشت خالص را به دلیل افزایش تعداد

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به گندم در کشت خالص و مخلوط

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد دانه در سنبله	میانگین مربعات		تعداد دانه در سنبله	عملکرد دانه	شاخص برداشت
				تعداد سنبله	عملکرد بیولوژیک			
تکرار	۲	۲۷/۳۸	۰/۳۴۱	۱/۲۲۶	۹۷/۲	۵۵/۵۳	۱۵/۶۷	
تیمار	۴	۲۲/۰۴ ^{ns}	۸۳/۴۹۹**	۳۲/۲۴۴**	۳۲۹۷۳/۶**	۸۸۲۲/۲۷**	۵۴/۴ ^{ns}	
خطای آزمایش	۸	۲۱/۳۱	۵/۷۴۱	۰/۳۱۱	۶۹۶/۶	۴۶/۷۱	۱۷/۵۷	
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۳۷	۶/۸۶	۳/۵۶	۸/۷۱	۶/۲۴	۱۱/۸۸	

** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

شاخص برداشت گندم

کاول (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند که احتمالاً فشار رقابت در مرحله گرده‌افشانی موجب تشکیل تعداد دانه کمتر و بعد از گرده‌افشانی به دلیل آسیمیلیات کمتر و بنابراین تجمع بیوماس کمتر در طی رشد دانه منجر به کاهش شاخص برداشت خواهد شد.

در بسیاری از مطالعات روی کشت مخلوط، همچون پژوهش حاضر مشخص شده که شاخص برداشت تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. حمزه‌ئی و سیدی (۱۳۹۲) نتایج مشابهی را گزارش کردند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که شاخص برداشت گندم تحت تأثیر کشت مخلوط قرار نگرفت (جدول ۴). میانگین‌ها نشان می‌دهد که با انجام کشت مخلوط شاخص برداشت اندکی کاهش یافته ولی از لحاظ آماری بین تیمارها تفاوتی مشاهده نشد. تفاوت در شاخص برداشت می‌تواند به دلیل میزان بیوماس در آغاز پر شدن دانه، میزان رشد گیاه در طی پر شدن دانه و انتقال مجدد آسیمیلیات‌های ذخیره شده قبل از گرده‌افشانی در مرحله رویشی باشد. نیوگزچوانتنر و

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مربوط به گندم در کشت خالص و مخلوط

شاخص برداشت (درصد)	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)	عملکرد بیولوژیک (گرم در متر مربع)	تعداد سنبله در سنبله	تعداد دانه در سنبله	الگوی کاشت
۴۲/۳۱	۲۰۳/۹a	۴۸۲a	۲۰/۳۳a	۴۱/۳۳a	گندم خالص
۳۴/۸۸	۸۳/۳c	۲۴۰/۸c	۱۲/۴d	۲۸/۷۷c	۱۰۰ درصد نخود + ۱۰۰ درصد گندم
۳۱/۰۷	۶۹d	۲۲۱/۹c	۱۲/۹d	۳۰/۴۳c	۱۰۰ درصد نخود + ۷۵ درصد گندم
۳۵/۰۴	۱۰۵/۱b	۳۰۴/۲b	۱۷/۳۳b	۳۸/۳۳ab	۱:۱
۳۲/۹۹	۸۶/۸c	۲۶۴/۶bc	۱۵/۳۳c	۳۵/۶۷b	۲:۱

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

در نتیجه انتقال نیتروژن تثبیت شده نسبت داده می‌شود (چاپاگین و رایزن ۲۰۱۴). هاوگارد نیلسن و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده کردند که در کشت مخلوط جو با نخود میزان استفاده از منابع نیتروژن ۳۱-۱۷ درصد بیشتر از تک‌کشتی گیاهان است و دلیل آن را به جذب بیشتر نیتروژن خاک توسط جو و در نتیجه تحریک بیشتر خود به تثبیت بیولوژیکی ربط دادند. چاپاگین و رایزن (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند که با انجام کشت مخلوط جو با نخود فرنگی، تعداد گره‌های نخود بطور معنی‌داری نسبت به کشت خالص لگوم افزایش می‌یابد. بطوری که تعداد گره‌ها ۲۷-۴۵ درصد و میزان تثبیت بیولوژیکی ۱۷-۹ درصد بیشتر از کشت خالص بود. همچنین آنها گزارش کردند که بیشترین میزان انتقال نیتروژن انتقال

درصد پروتئین و عملکرد پروتئین دانه گندم

تجزیه واریانس نشان داد درصد پروتئین دانه گندم و عملکرد پروتئین تحت تأثیر معنی‌دار سیستم‌های کشت واقع شدند (جدول ۶). مشاهده می‌شود با انجام کشت مخلوط درصد پروتئین دانه گندم روند افزایشی یافته است. بطوری که بیشترین درصد پروتئین دانه گندم (۱۵/۱۶ درصد) در تیمار ۲:۱ بدون تفاوت معنی‌دار با نسبت ۱:۱ مشاهده شد. کمترین میزان پروتئین دانه هم به کشت خالص گندم بدون تفاوت معنی‌دار با نسبت ۱۰۰ درصد نخود + ۷۵ درصد گندم تعلق داشت (جدول ۷). دلیل افزایش پروتئین دانه گندم به تثبیت بیشتر نیتروژن توسط نخود در کشت مخلوط آن هم در پاسخ به افزایش رقابت با گندم بر سر جذب نیتروژن خاک و

نیترژن برنج بطور معنی‌داری در سیستم مخلوط با بادام زمینی افزایش یافت. بیشترین عملکرد پروتئین هم به کشت خالص گندم (۲۱۵ کیلوگرم در هکتار) و بعد از آن به الگوهای جایگزینی ۱:۱ و ۲:۱ تعلق داشت و کمترین میزان عملکرد پروتئین هم به الگوهای افزایشی مربوط بود.

داده شده از نخود فرنگی به جو (۶ کیلوگرم در هکتار و یا ۱۶ درصد نیترژن موجود در دانه جو) در نسبت ۱:۱ مشاهده شد. زیائو و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از ایزوتوپ N^{15} میزان نیترژن منتقل شده از باقلا به گندم در کشت مخلوط را معادل ۱۵ درصد از کل نیترژن جذب شده توسط گندم گزارش کردند. چو و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که عملکرد و محتوای

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس درصد و عملکرد پروتئین دانه گندم

میانگین مربعات		درجه	منابع تغییر
عملکرد پروتئین دانه گندم	درصد پروتئین دانه گندم	آزادی	
۱۴۰/۹۷ ^{ns}	۰/۶۰۷ ^{ns}	۲	تکرار
۸۰۳۹/۴۹ ^{**}	۱۰/۵۸ ^{**}	۴	تیمار
۱۲۲/۲۰۷	۰/۴۲۸	۸	خطای آزمایش
۸/۱۷	۵/۱۵		ضریب تغییرات (درصد)

^{**} و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و عدم معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین درصد پروتئین و عملکرد پروتئین دانه گندم در کشت خالص و مخلوط

عملکرد پروتئین دانه گندم (کیلوگرم در هکتار)	درصد پروتئین دانه گندم	تیمار
۲۱۵a	۱۰/۵۵c	گندم خالص
۹۹/۹۱c	۱۲/۰۳b	۱۰۰ درصد نخود + ۱۰۰ درصد گندم
۸۱/۲۳c	۱۱/۷۱bc	۱۰۰ درصد نخود + ۷۵ درصد گندم
۱۴۸/۷b	۱۴/۱۲/a	۱:۱
۱۳۱/۸b	۱۵/۱۶a	۲:۱

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

عملکرد مشابه کشت مخلوط به دست آید. کمترین نسبت برابری زمین هم به الگوی افزایشی مربوط بود (جدول ۸). مشاهده می‌شود LER جزئی نخود در الگوهای جایگزینی بیشتر از ۰/۵ بوده است، این بدان معنی است که نخود در کشت مخلوط با گندم به صورت جایگزینی دارای سودمندی است و بر عکس در حالت افزایشی LER جزئی هر دو گیاه کمتر از ۰/۵ بوده است که این موضوع عدم سودمندی کشت مخلوط افزایشی گندم و نخود را برای تولید دانه نشان می‌دهد (صادق‌پور و

نسبت برابری زمین (LER) و عملکرد معادل گندم (EYwc) در کشت مخلوط و راندمان کل زمین (TLO) هر چند عملکرد دانه اجزای کشت مخلوط نسبت به تک کشتی آنها کاهش یافت ولی نسبت برابری زمین در مقایسه با تک‌کشتی در کشت مخلوط جایگزینی بیشتر از ۱ بود. بیشترین میزان نسبت برابری زمین مربوط به تیمار ۲:۱ با میزان ۱/۱۶ و بعد از آن به نسبت ۱:۱ (۱/۱۴) تعلق داشت، این بدان معنی است که ۱۶-۱۴ درصد سطح زمین بیشتری در تک کشتی نیاز است تا

کشت مخلوط گندم-باقلا و حمزه‌ئی و سیدی (۱۳۹۲) در کشت مخلوط جو-نخود به نتایج مشابهی دست یافتند. راندمان کل زمین هم روندی شبیه LER را داشت با این تفاوت که بیشترین میزان TLO بدون تفاوت معنی‌دار در نسبت ۱:۱ و بعد از آن در نسبت ۲:۱ حاصل شد (جدول ۸). در کشت مخلوط لگوم با غیر لگوم، گونه لگوم از طریق افزایش نیتروژن قابل دسترس غیرلگوم منجر به افزایش راندمان کل اکوسیستم خواهد شد. چاچاگین و رایزمن (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند که در الگوی کشت ۲:۱ جو با نخود فرنگی، بیشترین میزان تثبیت دی اکسیدکربن (تولید اولیه ناخالص) و در نتیجه بیشترین تولید خالص اکوسیستم و راندمان استفاده از زمین حاصل شد.

همچنین عملکرد معادل گندم در سیستم کشت مخلوط در نسبت‌های ۲:۱ و ۱:۱ بیشتر از حالت افزایشی بود، دلیل آن به کمتر بودن رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای در این الگوها نسبت به الگوهای افزایشی می‌باشد (بانیک و همکاران ۲۰۰۶). این نتایج بیانگر کارایی کشت مخلوط جایگزینی نخود با گندم در استفاده از منابع محیطی و استفاده بهتر از زمین و عدم سودمندی کشت مخلوط افزایشی این گیاهان برای تولید دانه می‌باشد (بانیک و همکاران ۲۰۰۶).

همکاران (۲۰۱۳). اختلافات مورفولوژیک گراس و لگوم و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های مختلف و استفاده مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از نور و یا افق‌های مختلف خاک می‌تواند دلیل LER بزرگتر از یک باشد. هاوگارد نیلسن و همکاران (۲۰۰۹) ذکر کردند که افزایش LER در کشت مخلوط به بیشتر از یک به دلیل افزایش جذب نیتروژن است. در حالی‌که جهانسوز و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که به دلیل میزان رشد کمتر و کانونی کوچک نخود، کشت مخلوط نخود با گندم از لحاظ تولید دانه و بیوماس فاقد هر گونه سودمندی می‌باشند. افزایش رشد رویشی در اوایل فصل رشد به دلیل در دسترس بودن نیتروژن و در نتیجه افزایش مصرف آب در نواحی دیم که به موجب آن تولید دانه با محدودیت مواجه می‌شود، دلیل کاهش LER و عدم سودمندی می‌تواند باشد (نیوگزچوانتنر و کاول ۲۰۱۴). کوچکی و همکاران (۱۳۸۸) نتیجه گرفتند که در کشت مخلوط لوبیا و ذرت، نسبت برابری زمین برای تولید دانه تنها در نسبت مخلوط ۱:۱ بیشتر از یک بود. هاوگارد نیلسن و همکاران (۲۰۰۹) افزایش ۳۰-۲۵ درصدی عملکرد دانه در کشت مخلوط جو-نخود فرنگی را به دلیل استفاده بهتر از منابع محیطی شامل آب، نور و مواد غذایی ذکر کردند. آگنهو و همکاران (۲۰۰۶) در

جدول ۸- نسبت برابری زمین جزئی و نسبت برابری زمین کل برای عملکرد دانه نخود و گندم در الگوهای کشت مخلوط

الگوی کاشت	عملکرد نسبی نخود	عملکرد نسبی گندم	نسبت برابری زمین	راندمان کل زمین (TLO)	عملکرد معادل گندم در سیستم کشت مخلوط (گرم در مترمربع)
۱۰۰ درصد نخود + ۱۰۰ درصد گندم	۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۷۰	۱۱۳/۱۵	۱۳۸
۱۰۰ درصد نخود + ۷۵ درصد گندم	۰/۴۶	۰/۳۳	۰/۷۹	۱۱۵/۵۶	۱۵۴/۳۳۶
۱:۱	۰/۶۲	۰/۵۱	۱/۱۳	۱۶۷/۸۹	۲۲۰/۱۹۷
۲:۱	۰/۷۴	۰/۴۲	۱/۱۶	۱۶۰/۷۲	۲۲۲/۲۹۸

نسبت رقابت (CR)

توانایی رقابت محصولات می‌دهد (گوش و همکاران ۲۰۰۶). جدول ۹ نشان می‌دهد که نسبت رقابت نخود (CR_c) در نسبت ۱۰۰ درصد نخود + ۱۰۰ درصد گندم و

نسبت رقابتی در مقایسه با ضریب ازدحام نسبی و غالبیت شاخص بهتری می‌باشد و نتیجه بهتری از

الگوهای کشت مخلوط می‌باشد. آگیگنیهو و همکاران (۲۰۰۶) و اوسینی (۲۰۱۰) بیان کردند که در کشت مخلوط غلات و لگوم‌ها، همیشه غلات گیاه غالب نمی‌باشند. این یافته‌ها با محاسبه شاخص غالبیت بهتر نمایان می‌شود (جدول ۹). غالبیت شاخصی است که بیانگر اختلاف عملکرد نسبی دو گونه می‌باشد و این شاخص در حالت کلی شدت رقابت را به صورت کمی نشان می‌دهد (دباغ محمدی نسب و همکاران ۲۰۱۱). شاخص غالبیت نخود نسبت به گندم در تیمارهای ۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد گندم، ۱:۱ و ۲:۱ مثبت بوده و این بیانگر غالب بودن آن در این ترکیبات می‌باشد. تعدادی از محققان بیان کرده‌اند که غلات به استثنای گندم در کشت مخلوط با لگوم‌ها اکثراً غالب می‌باشند (دهیما و همکاران ۲۰۰۷). غالبیت غلات نسبت به لگوم‌ها به رشد سریع‌تر و توسعه بهتر ریشه‌دهی نسبت داده می‌شود (لی و همکاران ۲۰۰۸). ژانگ و همکاران (۲۰۱۱) در کشت مخلوط ذرت با یونجه مشاهده کردند که یونجه گیاه غالب بوده و بهتر می‌تواند از منابع محیطی استفاده کرده و عملکرد کل سیستم مخلوط را تحت تأثیر قرار دهد.

۲:۱ کمتر از نسبت رقابت گندم (CR_w) ولی در الگوهای ۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد گندم و ۱:۱ نسبت رقابت آن بیشتر از گندم است. کمتر بودن نسبت رقابت گونه‌ای به این معنی است که آن گونه می‌تواند با گونه دیگر به صورت مخلوط کشت شود ولی اگر نسبت رقابت گونه‌ای بیشتر از ۱ باشد مفهوم آن این است که آن گونه در کشت مخلوط از غالبیت برخوردار است (صادق‌پور و همکاران ۲۰۱۳).

ضریب ازدحام نسبی (RCC) و غالبیت (A)

مقادیر ضریب ازدحام نسبی نخود در تیمارهای ۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد گندم، ۱:۱ و ۲:۱ بیشتر از ضریب ازدحام نسبی گندم بود (جدول ۹). این بدان معنی است که نخود در این ترکیبات غالب و از نظر رقابتی برتر می‌باشد، افزایش LER جزئی نخود در این تیمارها نیز این غالبیت را نشان می‌دهد (جدول ۸). همچنین ضریب ازدحام نسبی کل در همه الگوها کمتر از یک بود، که این بیانگر عدم سودمندی کشت مخلوط این دو گیاه در شرایط دیم می‌باشد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه گرفتند که مقادیر ضریب ازدحام بالاتر یونجه نسبت به ذرت بیانگر غالب بودن آن در همه

جدول ۹- میزان نسبت رقابت، ضریب ازدحام نسبی و غالبیت نخود و گندم در کشت مخلوط

غالبیت		ضریب ازدحام نسبی			نسبت رقابت		الگوی کشت
A_w	A_c	K	K_w	K_c	CR_w	CR_c	
۰/۱۰۹	-۰/۱۰۹	۰/۲۹	۰/۶۹	۰/۴۲	۱/۳۵	۰/۷۴	۱۰۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد گندم
-۰/۲۱۲	۰/۲۱۲	۰/۲۵	۰/۳۸	۰/۶۵	۰/۹۶۷	۱/۰۳	۱۰۰ درصد نخود+ ۷۵ درصد گندم
-۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۸۱۸	۱/۲۲	۱:۱
-۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۶۴	۱/۱۱	۰/۸۹	۲:۱

دباغ محمدی نسب و همکاران (۲۰۱۱). طبق جدول (۱۰) بیشترین میزان AYL مربوط به نسبت ۲:۱ و کمترین میزان AYL مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد گندم می‌باشد که با نتایج LER همخوانی دارد.

کاهش واقعی عملکرد

مقادیر افت واقعی عملکرد اطلاعات دقیق‌تری نسبت به دیگر شاخص‌ها درباره رقابت درون و برون‌گونه‌ای محصولات و رفتار هر گونه در کشت مخلوط می‌دهد

سودمندی کشت مخلوط را نشان می‌دهد (دهیما و همکاران ۲۰۰۷).

شاخص بهره‌وری سیستم

شاخص بهره‌وری سیستم کشت از دیگر شاخص‌های ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط می‌باشد که داده‌های آن با استاندارد کردن محصول زراعت ثانوی بر مبنای محصول زراعت اصلی به دست می‌آید (آگیگنیهو و همکاران ۲۰۰۶). طبق جدول ۱۰ شاخص بهره‌وری سیستم در تمامی الگوهای کشت مخلوط مثبت می‌باشد که این نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط می‌باشد و بیشترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم به نسبت ۱:۱ و بعد از آن به نسبت ۲:۱ تعلق داشت. نصیری محلاتی و همکاران (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند بیشترین میزان SPI در نسبت ۲:۲ ذرت با لوبیا حاصل شد.

مثبت بودن میزان AYL در کشت مخلوط جایگزینی بیانگر تأثیر مفید این گیاهان بر روی همدیگر و سودمندی کشت مخلوط بوده است (بانیک و همکاران ۲۰۰۶). همچنین بیانگر آن است که محصول واقعی این گیاهان در کشت مخلوط بیشتر از محصول پیش‌بینی شده بوده و از عوامل محیطی رشد استفاده بیشتری کرده‌اند (زو و همکاران، ۲۰۰۸)، بطوری که در کشت مخلوط جایگزینی ۲:۱ و ۱:۱ به ترتیب ۳۷ و ۲۸ درصد افزایش عملکرد نسبت به کشت خالص مشاهده شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کشت مخلوط جایگزینی دارای رعایت اصل تولید حمایتی بود، به عبارت دیگر مساعدت در این الگوی کشت وجود دارد (اله‌دادی و همکاران ۱۳۹۴). ولی AYL در الگوهای افزایشی منفی بوده است. منفی بودن AYL عدم

جدول ۱۰- میزان شاخص بهره‌وری سیستم و کاهش واقعی عملکرد در کشت مخلوط نخود و گندم

کاهش واقعی عملکرد (AYL)			شاخص بهره‌وری سیستم	
AYL	AYL _w	AYL _c	SPI	الگوی کشت
-۱/۲۹	-۰/۵۹	-۰/۷۰	۵۵/۴۰	۱۰۰ درصد نخود+۱۰۰ درصد گندم
-۱/۰۷	-۰/۵۴	-۰/۵۳	۵۶/۵۰	۱۰۰ درصد نخود+۷۵ درصد گندم
۰/۲۸	۰/۰۳	۰/۲۵	۸۲/۰۹	۱:۱
۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۱۲	۷۸/۵۷	۲:۱

AYL_c: کاهش واقعی عملکرد نخود، AYL_w: کاهش واقعی عملکرد گندم، AYL: کاهش واقعی عملکرد کل

و بیشترین میزان IA کل (۶۰۶/۲۸) در نسبت ۱:۱ حاصل شد. مثبت بودن این شاخص‌ها در الگوی جایگزینی کشت مخلوط بیانگر مزیت اقتصادی الگوی جایگزینی نسبت به الگوهای افزایشی جهت تولید دانه می‌باشد. دهیما و همکاران (۲۰۰۷) و لایتورگایدیس و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند که بالا بودن مقادیر نسبت برابری زمین و ضریب نسبی در تیمارهای کشت مخلوط سبب افزایش مقادیر شاخص MAI می‌شود.

شاخص سودمندی اقتصادی (MAI) و برتری مالی (IA) مقادیر شاخص‌های سودمندی اقتصادی و برتری مالی در هر یک از تیمارهای کشت مخلوط به تفکیک در جدول ۱۱ ارائه شده است. مثبت بودن مقادیر این شاخص‌ها گویای سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط نخود با گندم و استفاده بهتر از منابع در دسترس توسط این دو گیاه در مقایسه با تک‌کشتی آنها می‌باشد. در بین تیمارهای کشت مخلوط، بیشترین میزان سودمندی اقتصادی (MAI) معادل (۶۹۴۳۱/۵۱)

جدول ۱۱- میزان شاخص سودمندی اقتصادی و شاخص برتری مالی

شاخص برتری مالی			شاخص سودمندی اقتصادی		الگوی کاشت
IA	IA _w	IA _C	MAI		
-۲۲۴۸	-۷۰۹/۷۶	-۱۵۳۸/۵۴	-۱۲۰۸۸۵		۱۰۰ درصد نخود + ۱۰۰ درصد گندم
-۱۸۳۲/۰۲	-۶۵۸/۵۵	-۱۱۷۳/۷۴	-۸۳۳۲۴/۷		۱۰۰ درصد نخود + ۷۵ درصد گندم
۶۰۶/۲۸	۳۷/۰۷	۵۶۹/۱۹	۶۹۴۳۱/۵۱		۱:۱
۵۷۱/۳۷	۳۰۲/۴۶	۲۶۸/۹۳	۳۶۷۷۹/۵۹		۲:۱

نتیجه‌گیری

می‌باشد و بیشترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم به نسبت ۱:۱ و بعد از آن به نسبت ۲:۱ تعلق داشت. مقادیر افت واقعی عملکرد در کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی به ترتیب مثبت و منفی بود، که این بیانگر ثبات بیشتر عملکرد در کشت مخلوط جایگزینی نسبت به افزایشی است. مثبت بودن شاخص‌های سودمندی اقتصادی و برتری مالی در الگوهای جایگزینی بیانگر سودمندی اقتصادی این الگو نسبت به الگوی افزایشی جهت تولید دانه در شرایط دیم مراغه می‌باشد.

در مجموع نتایج آزمایش حاکی از آن بود که اگرچه کشت مخلوط نخود و گندم در بیشتر صفات و به ویژه در عملکرد دانه، پایین تر از تک کشتی نخود و گندم بود ولی نسبت برابری زمین در الگوهای جایگزینی بیشتر از یک بود که این نشان از سودمندی کشت مخلوط جایگزینی نسبت به کشت مخلوط افزایشی دو گیاه است. بیشترین میزان نسبت برابری زمین در نسبت‌های ۲:۱ (۱/۱۶) و ۱:۱ (۱/۱۴) مشاهده شد. شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) در تمامی الگوهای کشت مخلوط مثبت

منابع مورد استفاده

- آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۳. محصولات زراعی، جلد اول. وزارت جهاد کشاورزی.
- الهدادی م، دباغ محمدی‌نسب ع، شکبیا م و امینی ر، ۱۳۹۴. بررسی رقابت و عملکرد کمی و کیفی در کشت مخلوط سویا و همیشه‌بهار. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۷(۱): ۵۱-۳۸.
- پور امیر ف، کوچکی ا، نصیری محلاتی م و قربانی ر، ۱۳۸۹. ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد کنجد و نخود در کشت مخلوط سری-های جایگزینی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۸(۵): ۷۶۷-۷۵۷.
- حمزه‌ئی ج و سیدی م، ۱۳۹۲. ارزیابی کشت مخلوط نخود و جو با استفاده از شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط تحت شرایط رقابت با علف‌های هرز. مجله دانش زراعت، ۵(۹): ۱۲-۱۰.
- کوچکی ا، شگانی دزکی ب و نجیب‌نیا س، ۱۳۸۸. ارزیابی تولید در کشت مخلوط لوبیا و نرت. پژوهش‌های زراعی ایران، ۷(۲): ۶۱۴-۶۰۵.

Agegnehu G, Ghizaw A and Sinebo W, 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 22: 202-207.

Banik P, Midya A, Sarkar B K and Ghose SS, 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, 24: 325-332.

- Borghini E, Crusciol CAC, Nascente AS, Sousa VV and Martins PO, 2013. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. *European Journal of Agronomy*, 51: 130-139.
- Chapagain T and Riseman A, 2014. Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research*, 166: 18-25.
- Chu, GX, Shen QR and Cao JL, 2004. Nitrogen fixation and N transfer from peanut to rice cultivated in aerobic soil in an intercropping system and its effect on soil N fertility. *Plant and Soil*, 263: 17-27.
- Dabbagh Mohammadi Nasab A, Amon T and Kaul HP, 2011. Competition and yield in intercrops maize and sunflower for biogas. *Industrial Crops and Products*, 34: 1203-1211.
- Dhima K V, Lithourgidis AS, Vasilakoglou IB and Dordas CA, 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100: 249-256.
- FAO, 2013. Crop Production. Global Market Analysis. <http://www.faostat.fao.org>. Food outlook.com.
- Ghosh PK, Manna MC, Bandyopadhyay KK, Ajay Tripathi AK, Wanjari RH, Hati KM, Misra AK, Acharya CL and Subba Rao A, 2006. Inter-specific interaction and nutrient use in soybean sorghum intercropping system. *Agronomy Journal*, 98: 1097-1108.
- Hauggaard-Nielsen H, Gooding M, Ambus P, Corre-Hellou G, Crozat Y, Dahlmann C, Dibet A, von Fragstein P, Pristeri A, Monti M and Jensen E S, 2009. Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research*, 113: 64-71.
- Ibrahim M, Ayub M, Maqbool MM, Nadeem SM, Haq T, Hussain S, Ali A, Lauriault LM, 2014. Forage yield components of irrigated maize-legume mixtures at varied seed ratios. *Field Crops Research*, 169: 140-144.
- Jahansooz MR, Yunusa IAM, Coventry DR, Palmer AR and 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: 275-282.
- Khan M, Khan RU, Wahab A and Rashid A, 2005. Yield and yield components of wheat as influenced by intercropping of chickpea, lentil and rapeseed in different proportions. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 42: 1-3.
- Li F, Meng P, Fu D and Wang B, 2008. Light distribution, photosynthetic rate and yield in a Paulownia-wheat intercropping system in China. *Agroforest Systems*, 74:163-172.
- Lithourgidis AS, Vlachostergios DN, Dordas, C.A. and Damalas, C.A., 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34: 287-294.
- Long L, Sun J, Zhang F, Li X, Yaung S and Rngel Z, 2001. Wheat-maize or wheat-soybean strip intercropping I. Yield advantage and inter-specific interaction on nutrients. *Field Crops Research*, 71: 123-137.
- Nassiri Mahallati M, Koocheki AR, Mondani F, Feizi H and Amirmoradi SH, 2014. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. *Journal of Cleaner Production*, 85 (2): 1-8.
- Nelson DW and Sommers LE, 1972. Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal*. 65: 109-111.
- Neugschwandtner R and Kaul PH, 2014. Sowing ratio and N fertilization affect yield and yield components of oat and pea in intercrops. *Field Crops Research*, 155: 159-163.
- Oseni TO, 2010. Evaluation of sorghum-cowpea intercrop productivity in savanna agroecology using competition indices. *Journal of Agricultural Science*, 2(3): 229-234.

- Putnam DH, Herbert SJ and Vargas A, 1985. Intercropped corn-soybean density studies. I. Yield complementary. *Experimental Agriculture*, 21: 41-51.
- Sadeghpour A, Jahanzad E, Esmaili A, Hosseini MB, Hashemi M, 2013. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. *Field Crops Research*, 148: 43-48.
- Sobkowicz P, 2006. Competition between triticale and field beans in additive intercrops. *Plant and Soil Environment*, 52: 42-54.
- Song YN, Zhang FS, Marschner P, Fan FL, Gao HM, Bao XG, Sun JH and Li L, 2007. Effect of intercropping on crop yield and chemical and microbiological properties in rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.), and faba bean (*Vicia faba* L.). *Biology and fertility of soils*, 43: 565-574.
- Tuna C and Orak A, 2007. The role of intercropping on yield potential of common vetch/oat cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agriculture Biological Science*, 2: 14-19.
- Thorsted MD, Olesen JE and Weiner S, 2006. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. *Field Crops Research*, 95: 280-290.
- Xu BC, Li FM and Shan L, 2008. Switchgrass and milk vetch intercropping under 2:1 row replacement in semiarid region, northwest China: Aboveground biomass and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 228: 485-492.
- Xiao Y, Li L and Zhang F, 2004. Effect of root contact on interspecific competition and N transfer between wheat and faba bean using direct and indirect ¹⁵N techniques. *Plant and Soil*, 262: 45-54.
- Yang F, Huang S, Gao R, Liu W, Yong T, Wang X, Wu X and Yang W, 2014. Growth of soybean seedling in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far- red ratio. *Field Crops Research*, 155: 245-253.
- Zhang G, Yang Z and Dong S, 2011. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. *Field Crops Research*, 124: 66-73.
- Zandvakili OR, Allahdadi I, Mazaheri D, Akbari GA, Jahanzad E and Mirshekari M, 2012. Evaluation of quantitative and qualitative traits of forage sorghum and lima bean under different nitrogen fertilizer regimes in additive- replacement series. *Journal of Agricultural Science*, 4: 223- 235.