

Evaluation of Growth Indices, Yield Performance and Advantages in Intercropping of wheat, Soybean and Corn

Javad Hamzei^{2*}, Mojtaba Zarei²

Received: 03 December 2022 Accepted: 31 August 2023

1- Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2- MSc Student, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

*Corresponding Author Email: j.hamzei@basu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Intercropping is an ecological way in sustainable agriculture used to increase land productivity. Therefore, while considering the necessity of using sustainable agriculture systems and creating diversity in agriculture, this experiment was done with the aims of investigating of growth, yield performance in terms of quantity, and quality and resource utilization efficiency in wheat, soybean and corn intercropping system.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a randomized complete blocks design with three replications at the Research Farm of Bu–Ali Sina University in the 2019–2020 growing season. Intercropping treatments included 4 rows wheat: 2 rows soybean, 4 rows wheat: 2 rows soybean: 1 row corn, 4 rows wheat: 2 rows soybean: 2 rows corn, 6 rows wheat: 3 rows soybean, 6 rows wheat: 3 rows soybean: 1 row corn, 6 rows wheat: 3 rows soybean: 2 rows corn, along with sole plot of wheat, soybean and corn. Leaf area index, crop growth rate, grain yield, biological yield, grain quality, and nitrogen, water and land use efficiency, were evaluated.

Results: The effect of different planting patterns on leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR), biological yield and grain yield of wheat, soybean and corn were significant. The highest amount for these properties was achieved from sole cropping of these crops. Nevertheless, the evaluation of intercropping indices showed that all the intercropping patterns had an advantage compared to sole cropping system. So that the highest land equivalent ratio (2.16) and the highest water use efficiency were achieved from intercropping of 6 rows wheat: 3 rows soybean: 2 rows corn.

Conclusion: In general, intercropping of 6 rows wheat: 3 rows soybean: 2 rows corn can lead to the improvement of total grain yield and WUE as well as ecosystem sustainability and maximum land productivity.

Keywords: Cereals, Land Equivalent Ratio, Legume, Polyculture, Resource Utilization Efficiency, Yield

ارزیابی شاخص‌های رشد، محصول تولیدی و سودمندی در کشت مخلوط گندم، سویا و ذرت

جواد حمزه‌ئی^{۱*}، مجتبی زارعی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۹

۱- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: j.hamzei@basu.ac.ir

چکیده

اهداف: کشت مخلوط یکی از شیوه‌های اکولوژیک کشاورزی پایدار است که به منظور افزایش بهره‌وری و تولید محصولات زراعی اجرا می‌شود. بنابراین، با توجه به لزوم استفاده از سیستم‌های کشاورزی پایدار و ایجاد تنوع در سیستم‌های کشاورزی، این آزمایش با هدف بررسی رشد، محصول تولیدی از نظر کمی و کیفی و کارایی استفاده از زمین در کشت مخلوط گندم، سویا و ذرت اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی سینا در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کشت‌های مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا، چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: یک ردیف ذرت، چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت، شش ردیف گندم: سه ردیف سویا، شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: یک ردیف ذرت، شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت و کشت‌های خالص هر سه گونه تیمارهای آزمایش بود. شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، عملکرد دانه و بیولوژیک، کیفیت دانه و کارایی استفاده از آب، نیتروژن و زمین ارزیابی شدند.

یافته‌ها: اثر الگوی کشت بر شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم، سویا و ذرت معنی‌دار بود. بالاترین میزان این ویژگی‌ها از کشت خالص هر سه گونه به دست آمد. با این وجود، ارزیابی شاخص نسبت برابری زمین حاکی از برتری تمام الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص داشت. به طوری که بیشترین میزان نسبت برابری زمین (۲/۱۶) و کارایی مصرف آب از کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت به دست آمد.

نتیجه گیری: به طور کلی، کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت علاوه بر بهبود عملکرد کل و کارایی مصرف آب می‌تواند به پایداری اکوسیستم و حداکثر بهره‌وری از زمین منجر شود.

واژه‌های کلیدی: چند کشتی، عملکرد، غلات، کارایی استفاده از منابع، لگوم، نسبت برابری زمین

مقدمه

بیش از هفت میلیارد نفر در سراسر جهان غذا تهیه کند. این امر یعنی فشار فزاینده برای افزایش تولید محصولات زراعی، باعث سوق دادن شیوه‌های کشاورزی به

حدود ۳۶ درصد از اکوسیستم‌های زمینی جهان در حال حاضر تحت مدیریت کشاورزی است که باید برای

فیزیولوژیک بین گونه‌ها سبب می‌شود تا آن‌ها آشیان-های بوم شناختی متفاوتی را اشغال نمایند که در نتیجه آن گونه‌ها به شکل مکمل عمل کرده و در مجموع باعث افزایش عملکرد می‌شود (هوانگ و همکاران ۲۰۱۸، وانگ و همکاران ۲۰۱۶). تثبیت نیتروژن توسط سویا منجر به افزایش عملکرد دانه ذرت در کشت مخلوط و در نتیجه باعث برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص شده است (بو و همکاران ۲۰۱۸، لی و همکاران ۲۰۲۰) طی پژوهشی در کشت مخلوط گندم و ذرت افزایش عملکرد دانه گندم را گزارش کردند. عملکرد دانه ارزن در کشت مخلوط با ماش در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ به-ترتیب ۱۰ و ۱۸ درصد افزایش داشته است. پژوهشگران علت این امر را به اثرات مکملی دو گیاه و استفاده بهتر از منابع نسبت داده‌اند (شیانگوی و همکاران ۲۰۲۱). دولیجانف و همکاران (۲۰۰۹) در کشت مخلوط سویا با ذرت، مقدار نسبت برابری زمین را ۲/۱۱ گزارش کردند. همچنین، چن و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی طولانی مدت کشت مخلوط تأخیری سویا با ذرت، نسبت برابری زمین را از ۱/۸۵ تا ۲/۳۶ گزارش کردند که این نتایج حاکی از مزیت کشت مخلوط تأخیری در افزایش بهره‌وری از زمین است. گزارش شده است که کشت مخلوط تأخیری ذرت-سویا می‌تواند کارایی مصرف نیتروژن و راندمان استفاده از نور و بهره‌وری از اراضی را افزایش دهد. به طوری که در این آزمایش، پژوهشگران نسبت برابری زمین را در سال ۲۰۱۳ معادل ۱/۶۴ و در سال ۲۰۱۴ معادل ۱/۸۳ گزارش کردند (وانگ و همکاران ۲۰۱۷). اقبال و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که در طی دو دهه اخیر، نوع جدیدی از سیستم کشت مخلوط سویا با ذرت یعنی کشت مخلوط تأخیری - نواری سویا با ذرت به دلیل افزایش کارایی استفاده از منابع و زمین به طور قابل توجهی افزایش یافته است. سایر پژوهشگران نیز در کشت مخلوط تأخیری ذرت با باقلا (خرمی وفا و همکاران ۲۰۱۳) و ذرت با چای ترش (سابقی نژاد و همکاران ۲۰۱۸) از بهبود عملکرد و کارایی سیستم کشت مخلوط نسبت به کشت خالص گزارش دادند. تثبیت زیستی نیتروژن توسط لگوم‌ها در سیستم‌های کشت مخلوط،

گسترش نظام‌های فشرده و مدرن شده است (زالس و همکاران ۲۰۱۹). روند فعلی کشاورزی رایج برای تأمین نیازهای کنونی و آینده بشری به هیچ عنوان پایدار نیست. چرا که توسعه فعالیت‌های کشاورزی رایج برای افزایش عرضه غذا باعث ورود بیش از اندازه نهاده‌هایی مانند کود و سم و نشت بقایای آن‌ها به آب و خاک شده است که این امر به کاهش تنوع زیستی منجر شده است (وانگ و همکاران ۲۰۱۴). از این رو، مشکلات به وجود آمده از نظام‌های کشاورزی فعلی باعث توجه پژوهشگران به کشاورزی پایدار گردیده است. یکی از روش‌های کشاورزی پایدار استفاده از کشت مخلوط می‌باشد. این نوع الگوی کشت علاوه بر حفظ تعادل اکولوژیک و ثبات سیستم، اهدافی نظیر بهره‌برداری حداکثری از منابع محیطی نظیر آب، خاک و مواد غذایی و نیز افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی را در پی دارد (لاتاتی و همکاران ۲۰۱۶). مطالعات نشان می‌دهد که سیستم‌های کشت مخلوط باعث افزایش تنوع زیستی، کیفیت خاک، ترسیب کربن در خاک (به عملیاتی که در اکوسیستم‌های زراعی و طبیعی باعث انتقال CO₂ موجود در اتمسفر به مخازن به مدت زمان طولانی شده و کربن را به شکلی نگهداری می‌کند که بلافاصله به اتمسفر برنگردد، ترسیب کربن گفته می‌شود)، افزایش کارایی استفاده از زمین، افزایش راندمان مصرف عناصر غذایی و کاهش آلودگی به بیماری‌ها و آفات می‌شوند (کانگ و همکاران ۲۰۱۵). بنابراین، کشت مخلوط یکی از راهکارهای افزایش تولید در واحد زمان و در واحد سطح زمین با مصرف کمتر نهاده‌های خارجی و کاهش مشکلات زیست محیطی است (هانگ و همکاران ۲۰۱۹، وانگ و همکاران ۲۰۱۴). این نوع الگوی کشت به عنوان یکی از سیستم‌های کشت موفق در بسیاری از کشورها از جمله هند، چین، آفریقا، آسیای شرقی، آمریکا و حتی در اروپا اجرا می‌شود (مارتین و همکاران ۲۰۱۷). کشت مخلوط غلات-لگوم یکی از معمول‌ترین الگوهای کشت مخلوط بوده که به واسطه حضور لگوم‌ها و تثبیت زیستی نیتروژن، باعث مصرف کمتر کودهای شیمیایی نیتروژنه در طولانی مدت می-شود. در کشت مخلوط اختلاف مورفولوژیک و

این آزمایش با هدف بررسی شاخص‌های رشد، تولید محصول، نسبت برابری زمین، درصد و عملکرد روغن و پروتئین دانه و کارایی مصرف نیتروژن و آب در کشت‌های خالص و مخلوط گندم، سویا و ذرت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

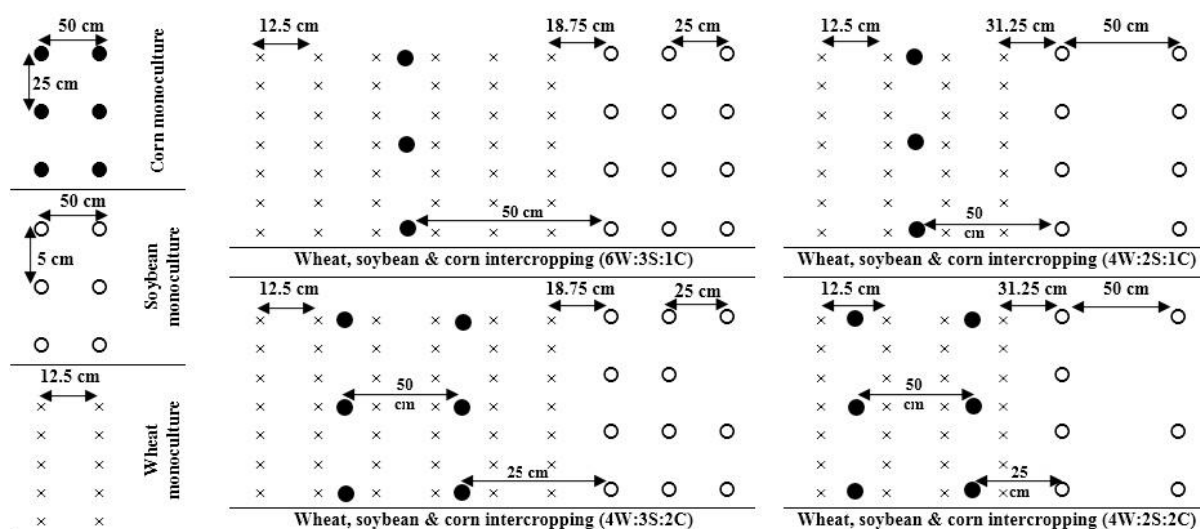
آزمایش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و ۱۶۹۰ متر از سطح دریا) واقع در روستای دستجرد در ۳۷ کیلومتری شهر همدان اجرا گردید. بافت خاک لوم رسی، pH آن ۷/۴۹، مقادیر فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک به ترتیب ۲۶ و ۳۶۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، هدایت الکتریکی آن ۰/۴۲۸ دسی‌زیمنس بر متر و درصد نیتروژن کل و کربن آلی آن به ترتیب ۰/۱۱ و ۱/۱۸ درصد بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. الگوهای مختلف کشت شامل کشت مخلوط دو ردیف سویا: چهار ردیف گندم (4w:2s)، یک ردیف ذرت: دو ردیف سویا: چهار ردیف گندم (4w:2s:1c)، دو ردیف ذرت: دو ردیف سویا: چهار ردیف گندم (4w:2s:2c)، سه ردیف سویا: شش ردیف گندم (6w:3s)، یک ردیف ذرت: سه ردیف سویا: شش ردیف گندم (6w:3s:1c)، دو ردیف ذرت: سه ردیف سویا: شش ردیف گندم (6w:3s:2c) به همراه کشت‌های خالص هر سه گونه تیمارهای آزمایشی بودند. ابعاد تمام کرت های آزمایشی ۲/۵ در ۶ متر (۱۵ مترمربع) بود. در کشت‌های خالص سویا و ذرت در هر کرت پنج ردیف کاشت به فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر برای سویا و ۲۵ سانتی‌متر برای ذرت وجود داشت. در کشت خالص گندم نیز در هر کرت ۲۰ ردیف کشت به فاصله بین ردیف ۱۲/۵ سانتی‌متر وجود داشت. نقشه اجرای آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. بین کرت‌ها در داخل هر بلوک و بین بلوک‌ها به ترتیب یک و ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. تراکم بوته در واحد سطح در کشت‌های خالص سویا و

علت دستیابی به بهره‌وری و LER^۱ بالاتر در الگوهای کشت مخلوط گزارش شده است (مارتین و همکاران ۲۰۱۸). سالاری و همکاران (۲۰۲۰) در ارزیابی کشت مخلوط گلرنگ و نخود به این نتیجه رسیدند که تولید گلرنگ در کشت مخلوط از برتری معنی‌داری نسبت به کشت خالص آن برخوردار بود. در این بررسی، کشت مخلوط از لحاظ عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزاردانه و عملکرد روغن نسبت به کشت خالص گلرنگ برتری نشان داد. آن‌ها علت این امر را به تثبیت نیتروژن توسط نخود، کاهش رقابت بین گونه‌ای نسبت به رقابت درون گونه‌ای در کشت مخلوط و استفاده بهتر از منابع نسبت داده‌اند. با توجه به مسائل زیست محیطی و محدودیت منابع موجود مانند آب و زمین‌های زراعی در دسترس، افزایش تنوع زیستی از طریق کشت مخلوط یکی از مهم‌ترین راهکارهای پایدار افزایش کارایی استفاده از منابع محسوب می‌شود. همچنین، می‌توان بسیاری از جنبه‌های اکولوژیکی و ارتباط بین گونه‌های زراعی را در کشت مخلوط مورد بررسی قرار داد. استفاده از نهاده‌های شیمیایی مانند کود نیتروژنه علاوه بر اثرات مخرب زیست محیطی، سلامت انسان را به خطر می‌اندازد. از این‌رو بهره‌گیری از گیاهان خانواده بقولات در سیستم‌های چندکشتی به عنوان یکی از راهکارهای دسترسی به کشاورزی پایدار، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سطح زیر کشت، میزان تولید و متوسط عملکرد گندم آبی در کشور به ترتیب ۲۳۶۹۶۲۴ هکتار، ۸۱۷۵۸۹۲ کیلوگرم و ۲۴۵۰ کیلوگرم در هکتار و همچنین سطح زیر کشت، میزان تولید و متوسط عملکرد گندم آبی در استان همدان به ترتیب ۷۰۲۰۶ هکتار، ۳۰۷۴۵۶ کیلوگرم و ۴۳۷۹ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۴۰۰ گزارش شده است (وزارت جهاد کشاورزی ۱۴۰۱). با توجه به اینکه استان همدان از نظر تولید گیاهان زراعی به ویژه گندم و ذرت جایگاه مناسبی دارد، لذا توجه به راهکارهای مدیریتی مناسب به منظور دستیابی به حداکثر عملکردهای کمی و کیفی در گیاهان زراعی در این استان نیز امری ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل،

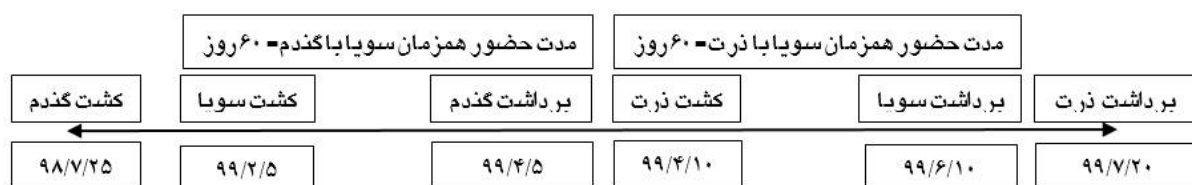
^۱ – Land equivalent ratio

گندم کشت شد و پس از برداشت گندم نیز در جای گندم، ذرت (به صورت کشت دوگانه)^۱ کشت شد. تاریخ کاشت، برداشت و مدت حضور همزمان گندم، ذرت و سویا در طول اجرای آزمایش در شکل ۲ ارائه شده است.

ذرت به ترتیب ۴۰ و ۸ بوته در مترمربع بود. در کشت خالص گندم نیز ۴۰۰ بذر در واحد سطح کشت شد. رقم گندم، سویا و ذرت به ترتیب پیشگام، هابیت و SC۲۶۰ (فجر) بود. در این آزمایش سویا به صورت تأخیری با



شکل ۱- دیاگرام نحوه اجرای آزمایش در کشت مخلوط گندم، سویا و ذرت (قابل ذکر است که در کشت‌های مخلوط پس از برداشت گندم، ذرت در جای گندم کشت شده است و در صورتی که ذرت کشت نشود، الگوهای کشت دو ردیف سویا: چهار ردیف گندم (4W:2S) و سه ردیف سویا: شش ردیف گندم (6W:3S) خواهد بود).



شکل ۲- تاریخ کاشت، برداشت و مدت حضور همزمان گندم، ذرت و سویا در طول اجرای آزمایش

هر کدام به میزان ۴۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. مصرف کود نیتروژن در مرحله گل‌دهی گندم به عنوان استارتر برای سویا در نظر گرفته شد. در کشت خالص ذرت نیز ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سه مرحله (۶۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت، ۶۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله شش تا هشت برگی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار در مرحله تاسلینگ) مصرف شد. در کشت‌های

گندم دو نوبت در پاییز و به روش بارانی آبیاری شد و پس از زمستان‌گذرانی، آبیاری‌های بعدی به صورت منظم و یک بار در هفته صورت گرفت. جهت محاسبه میزان آب مصرفی، از کنتور آب که در ابتدای مسیر ورود آب به مزرعه نصب شده بود، استفاده شد. در کشت‌های خالص و مخلوط گندم، ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سه مرحله (زمان کشت، ساقه‌روی و گل‌دهی گندم)

¹ - Double cropping

سطح برگ بوته‌های برداشت شده از هر واحد آزمایشی به عنوان شاخص سطح برگ هر گونه در نظر گرفته شد. سرعت رشد محصول (CGR) نیز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (هوزاین و همکاران ۲۰۰۷). در روابط (۱) و (۲)، A مساحت برگ، L طول برگ، W بزرگترین پهنای برگ، و در رابطه (۳)، CGR سرعت رشد محصول، GA سطح زمین بر حسب مترمربع، W وزن خشک بوته بر حسب گرم و T زمان بر حسب روز است.

$$A=L \times W \times 0.75$$

$$A=0.919+0.682LW$$

$$CGR=(1/GA) \times (W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)$$

سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص نیز از شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER) (بلانکو و لال ۲۰۰۹)، نسبت رقابتی (CR) و غالبیت (A) (لیتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱) استفاده شد. محاسبه LER، CR و AG به ترتیب طبق رابطه‌های ۶، ۷ و ۸ صورت گرفت. در این فرمول‌ها، Y_{ap} ، Z_b ، Z_a ، LER_b ، LER_a ، Y_{ba} ، Y_{bb} ، Y_{ab} ، Y_{aa} ، A_{ba} و A_{ab} به ترتیب عملکرد گونه a در کشت خالص، عملکرد گونه a در مخلوط، عملکرد گونه b در کشت خالص، عملکرد گونه b در مخلوط، نسبت برابری زمین گونه a، نسبت برابری زمین گونه b، درصد گونه a در مخلوط، درصد گونه b در مخلوط، عملکرد پیش بینی شده گونه a در مخلوط، عملکرد پیش بینی شده گونه b در مخلوط، غالبیت گونه a و غالبیت گونه b است.

$$N_t = D_w \times N_c$$

$$NUE = Y/N_t$$

$$LER = (Y_{ab}/Y_{aa}) + (Y_{ba}/Y_{bb})$$

$$CR = (LER_a/LER_b) \times (Z_b/Z_a)$$

$$A_{ab} = (Y_{ab}/Y_{ap}) - (Y_{ba}/Y_{bp}) = -A_{ba}$$

در نهایت تجزیه داده‌ها با نرم افزار آماری SAS9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

مخلوط (کشت ذرت پس از برداشت گندم) نیتروژن مصرف نشد. در واقع هدف امکان تأمین نیتروژن مورد نیاز ذرت در کشت‌های مخلوط از طریق نیتروژن باقی مانده در زمین گندم به همراه نیتروژن تثبیت شده توسط سویا بود. در طول فصل رشد از بوته‌های ذرت، سویا و گندم نمونه‌برداری شد و شاخص‌های رشد محاسبه گردید. سطح برگ گندم و ذرت با استفاده از رابطه (۱) و سطح برگ سویا بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد. مجموع

رابطه ۱

رابطه ۲

رابطه ۳

برای تعیین عملکرد دانه و بیولوژیک گیاهان مورد مطالعه، از سطحی معادل دو متر مربع نمونه‌برداری صورت گرفت. پس از خشک شدن، نمونه‌ها با ترازوی با دقت یک‌صدم توزین و عملکرد بیولوژیک ثبت شد. سپس در هر واحد آزمایشی، دانه‌ها از کاه و کلش جدا و عملکرد دانه تعیین گردید. پس از برداشت محصول، درصد پروتئین دانه برای هر گونه به روش کجدال اندازه‌گیری شد. عملکرد پروتئین نیز از حاصلضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه محاسبه گردید. درصد روغن دانه سویا به روش سوکسله تعیین و از حاصلضرب درصد روغن در عملکرد دانه، عملکرد روغن سویا تعیین شد. نیتروژن جذب شده بر اساس فرمول (۴) و کارایی نیتروژن جذب شده از رابطه (۵) محاسبه گردید. در روابط (۴) و (۵) N_t نیتروژن جذب شده توسط گیاه ($kg \cdot ha^{-1}$)، D_w : وزن خشک گیاه، N_c : غلظت نیتروژن، NUE : کارایی نیتروژن جذب شده ($kg \cdot kg^{-1}$) و Y : عملکرد اقتصادی ($kg \cdot ha^{-1}$) است (گان و همکاران ۲۰۰۸، لویز-بلیدو و همکاران ۲۰۰۵). کارایی مصرف آب نیز از میزان عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار به آب مصرف شده بر حسب متر مکعب در هکتار محاسبه شد. جهت بررسی

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم، سویا و ذرت
 اثر الگوی کشت بر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول گندم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول گندم (۲۷/۷ گرم در مترمربع در روز) در کشت خالص بطور معنی‌داری بیش‌تر از کشت مخلوط بود و تیمارهای دارای شش و چهار ردیف گندم، پس از کشت خالص به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند (جدول ۲). با کاهش شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول گندم هم کاهش یافت. البته در تیمارهای دارای شش ردیف گندم میزان کاهش این ویژگی‌ها کمتر بود. به طور کلی، میزان کاهش شاخص‌های رشدی گندم (مقادیر پیش‌بینی شده) در کشت مخلوط کمتر از میزان کاهش تراکم بوته گندم در واحد سطح بود. دلیل این امر، احتمالاً کشت تأخیری سویا با گندم است که باعث شده است بوته‌های گندم از منابع محیطی با کارایی بیشتری استفاده کرده و شاخص‌های رشدی را بهبود ببخشند. گزارش شده است که در سیستم‌های زراعی کشت خالص اغلب به دلیل سایه اندازی بوته‌ها روی یکدیگر فتوسنتز گیاه کاهش و در نتیجه آن رشد گیاه نیز کاهش می‌یابد (یانگ و همکاران ۲۰۱۷).

همچنین، بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول سویا (۲۴/۶۳ گرم در متر مربع در روز) نیز به کشت خالص آن تعلق گرفت و الگوهای کشت شش ردیف گندم با سه ردیف سویا (6w:3s) و چهار ردیف گندم با دو ردیف سویا (4w:2s) به‌ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار گرفتند. در الگوهای کشت مخلوط چهار ردیف گندم؛ دو ردیف سویا؛ یک ردیف ذرت و کشت مخلوط چهار ردیف گندم؛ دو ردیف سویا؛ دو ردیف ذرت به دلیل کاهش تراکم بوته سویا در واحد سطح و از طرفی وجود ذرت که گیاهی با توان رقابتی بالا است (جدول ۹)، باعث کاهش شاخص سطح برگ و به تبع آن کاهش سرعت رشد محصول سویا در این تیمارها شد. ولی، در کشت

مخلوط 6w:3s (کشت مخلوط شش ردیف گندم؛ سه ردیف سویا) پس از برداشت گندم، با توجه به اینکه ذرت حضور نداشت (عدم وجود رقابت از طرف ذرت) و به ویژه اینکه تراکم سویا در واحد سطح افزایش پیدا کرده بود، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول سویا افزایش یافت، به طوری که این تیمار پس از کشت خالص سویا، بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول را داشت (جدول ۲). در کشت‌های مخلوط ذرت با سویا (پیری و همکاران ۲۰۱۷) و آفتابگردان با سویا (سیدی و حمزه‌ئی ۲۰۲۰) نیز علت کاهش شاخص سطح برگ سویا، ارتفاع بیشتر ذرت و آفتابگردان و دریافت کمتر نور توسط سویا گزارش شده است.

همانند گندم و سویا، بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول ذرت مربوط به تیمار کشت خالص بود. ولی، تیمارهای کشت خالص و کشت دوگانه ذرت/گندم از نظر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول ذرت تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. کشت مخلوط شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول ذرت را نیز کاهش داد. کمترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول ذرت بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار 4w:2s:1c (کشت مخلوط چهار ردیف گندم؛ دو ردیف سویا؛ یک ردیف ذرت)، از تیمار شش ردیف گندم، سه ردیف سویا و یک ردیف ذرت (6w:3s:1c) به‌دست آمد (جدول ۲). با این وجود، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول ذرت در کشت‌های مخلوط بیشتر از میزان مورد انتظار بود. در واقع بالاتر بودن شاخص سطح برگ ذرت از مقادیر پیش‌بینی شده در کشت مخلوط، احتمالاً به تثبیت نیتروژن توسط سویا مربوط می‌شود. فاطمی و همکاران (۲۰۲۱) نیز در بررسی کشت مخلوط ذرت با لوبیا، مهم‌ترین دلیل افزایش شاخص سطح برگ ذرت در تیمارهای کشت مخلوط را به نقش مثبت لوبیا در افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن و جذب بالای آن توسط ذرت نسبت دادند.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر الگوهای کشت بر شاخص های رشد گندم، سویا و ذرت*

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص سطح برگ			سرعت رشد محصول		
		گندم	سویا	ذرت	گندم	سویا	ذرت
تکرار	۲	۰/۷۲*	۰/۳۹*	۱/۸۷*	۲۷/۱۲*	۵۲/۱۸*	۹۷/۵۸*
الگوی کشت	۶	۰/۷۵*	۰/۴۱**	۱/۹۷*	۳۲/۶۴*	۵۲/۹۹*	۱۰۴/۴۳*
اشتباه آزمایشی	۱۲	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۵۶	۹/۱۲	۱۲/۵۴	۲۳/۷۲
ضریب تغییرات (%)	—	۱۵/۲۶	۱۱/۴۳	۱۴/۲۳	۱۴/۲۳	۱۷/۷۸	۱۷/۵۴

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

‡: درجه آزادی الگوی کشت و خطا برای صفات ذرت به ترتیب ۵ و ۱۰ است.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول (گرم بر مترمربع در روز) گندم، سویا و ذرت

الگوی کشت (ذرت:سویا:گندم)	شاخص سطح برگ			سرعت رشد محصول (g.m ⁻² d ⁻¹)		
	گندم	سویا	ذرت	گندم	سویا	ذرت
۴:۲:۰	۱/۱۰c	۲/۵۴d	—	۱۱/۰۰c	۱۷/۳۷d	—
۴:۲:۱	۱/۴۵c	۲/۳۰e	۱/۸۰c	۱۰/۸۰c	۱۵/۷۶e	۱۲/۲۰c
۴:۲:۲	۱/۴۳c	۲/۲۷e	۳/۶۰b	۱۰/۵۰c	۱۵/۵۵e	۲۴/۰۰b
۶:۳:۰	۲/۹۰b	۳/۲۸b	—	۲۰/۳۰b	۲۲/۴۷b	—
۶:۳:۱	۲/۸۷b	۳/۰۱c	۱/۷۰c	۱۹/۳۰b	۲۰/۶۲c	۱۱/۵۰c
۶:۳:۲	۲/۸۴b	۲/۹۲c	۳/۵۰b	۱۹/۲۰b	۲۰/۰۰c	۲۳/۵۰b
کشت خالص	۳/۹۰a	۳/۵۹a	۵/۰۰a	۲۷/۷۰a	۲۴/۶۳a	۳۴/۴۵a
کشت دوگانه ذرت/گندم	—	—	۴/۷a	—	—	۳۳/۵۵a

میانگین های هرستون با حروف مشابه، تفاوت معنی داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم، سویا و ذرت

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده ها (جدول ۳) اثر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد. کشت مخلوط عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم را بطور معنی داری نسبت به کشت خالص آن کاهش داد. بطوریکه بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم به ترتیب به تیمارهای کشت خالص گندم و کشت های مخلوط دارای چهار ردیف گندم (کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا، کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: یک ردیف ذرت، کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت) (جدول ۴) تعلق گرفت (جدول ۴). الگوهای کشت دارای شش ردیف گندم نیز از نظر عملکردهای دانه و بیولوژیک در حدواسط بین کشت های خالص و مخلوط دارای چهار ردیف گندم قرار گرفتند. به طوری که الگوهای کشت مخلوط دارای چهار ردیف گندم به طور میانگین عملکرد

بیولوژیک و دانه گندم را نسبت به کشت خالص به ترتیب ۶۰ و ۶۱ درصد کاهش دادند. اثر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه سویا نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین (۹۶۶ و ۳۵۰ گرم در مترمربع) و کمترین (۵۹۶ و ۱۶۵ گرم در مترمربع) عملکردهای بیولوژیک و دانه سویا به ترتیب از کشت خالص و کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت (4w:2s:2c) به دست آمد. عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه سویا در کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت نسبت به کشت خالص سویا به ترتیب ۳۸ و ۴۱ درصد کاهش نشان دادند (جدول ۴). علاوه بر این، بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد بیولوژیک ذرت (۲۳۰۵ و ۷۹۵ گرم در مترمربع) به ترتیب به کشت خالص ذرت و کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: یک ردیف ذرت تعلق گرفت. همچنین کشت مخلوط عملکرد دانه ذرت را بطور معنی داری نسبت به کشت خالص آن کاهش داد، بطوریکه

بیشترین و کمترین عملکرد دانه ذرت (۹۵۶ و ۳۲۵ گرم درمترمربع) به ترتیب به کشت خالص ذرت و کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: یک ردیف ذرت تعلق گرفت (جدول ۴). کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: یک ردیف ذرت عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه ذرت را نسبت به کشت خالص ذرت، به ترتیب ۶۶ و ۷۱ درصد کاهش داد. قابل ذکر است که کشت خالص ذرت و کشت دوگانه ذرت/گندم از نظر عملکردهای بیولوژیک و دانه ذرت تفاوتی با هم نداشتند. با کاهش تراکم بوته هر گونه در واحد سطح در تیمارهای کشت مخلوط، طبیعی است که عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نیز روند کاهشی داشته باشد ولی همانند شاخص‌های رشد، در مورد این ویژگی‌ها نیز میزان کاهش متناسب با کاهش تراکم بوته در واحد سطح نبود. در واقع، به دلیل بالاتر بودن شاخص‌های رشدی از مقادیر پیش بینی شده در کشت‌های مخلوط، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نیز بیشتر از مقادیر پیش بینی شده بود. با توجه به این‌که گندم به عنوان گیاه اول در پاییز، سویا به صورت تأخیری با گندم و ذرت به صورت دوگانه با گندم و تأخیری با سویا کشت شد، به نظر می‌رسد فضای مناسبی در اختیار هر سه گونه در کشت‌های مخلوط قرار گرفته و گونه‌های مورد مطالعه توانسته‌اند تشعشعات فعال فتوسنتزی (PAR) بیشتری جذب کنند که این امر به افزایش ظرفیت فتوسنتزی و تولید بیشتر فتوآسیمیلات‌ها و در نتیجه افزایش عملکردهای بیولوژیک و دانه منجر شده است. گانگ و همکاران (۲۰۲۰) در کشت مخلوط ارزن و ماش، افزایش

شاخص سطح برگ، محتوای کلروفیل برگ، جذب تشعشعات فعال فتوسنتزی و فتوسنتز گزارش دادند. به طوری که افزایش ظرفیت فتوسنتزی باعث افزایش رشد و تجمع ماده خشک در کانوپی کشت مخلوط شد که در نهایت به افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اجزای کشت مخلوط نسبت به مقدار پیش بینی شده گردید. گزارش شده است که کشت مخلوط شرایط دریافت نور توسط برگ‌های بلال را بهبود می‌بخشد (رن و همکاران ۲۰۱۶). در الگوهای مخلوطی که گونه‌های همراه دوره رشد خود را به صورت هم زمان با گیاه دیگر تکمیل می‌کنند، غالبیت یک گونه اغلب موجب کاهش عملکرد گونه دوم می‌شود. در این آزمایش نیز بر اساس شاخص‌های غالبیت و نسبت رقابتی (جدول ۹) سویا گیاه مغلوب و گندم و ذرت گیاه غالب تشخیص داده شدند و نتایج مؤید این بود که سویا گیاه مناسبی در کشت مخلوط با گندم و ذرت است. با این وجود، در کشت مخلوط تأخیری به دلیل عدم رقابت شدید بین گونه‌های مخلوط، معمولاً عملکرد و اجزای عملکرد چندان تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. بنابراین، مزیت کشت مخلوط تأخیری در زمینه کاهش رقابت بین گیاهان است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیان کردند که ذرت در سیستم کشت مخلوط، ریشه‌هایی با تراکم و عمق بیشتری ایجاد می‌کند و همچنین در طول دوره زایشی با استفاده از ریشه‌های عمیق خود می‌تواند بهتر از منابع استفاده کند که این امر به استفاده حداکثری سیستم کشت مخلوط از منابع در مقایسه با کشت خالص و در نتیجه به تولید بیشتر منجر خواهد شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیک و دانه گندم، سویا و ذرت[‡]

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد گندم		عملکرد سویا		عملکرد ذرت	
		بیولوژیک	دانه	بیولوژیک	دانه	بیولوژیک	دانه
تکرار	۲	۸۸۶۰۶۷۸*	۶۷۴۷۱۳*	۳۲۱۷۳۵۷*	۷۲۱۳۲۷۲*	۳۷۵۱۳۴۴۸*	۸۷۶۶۴۴۰**
الگوی کشت	۶	۶۷۲۰۵۸۹*	۷۱۳۶۷۰*	۲۴۱۸۸۸۳*	۸۶۵۰۸۴*	۳۴۴۶۷۳۶۹*	۵۴۵۷۷۰۹*
خطا	۱۲	۱۵۱۷۲۴۰	۱۷۲۲۹۶	۷۶۷۳۹۹	۲۴۰۹۶۲	۷۴۵۰۳۱۵	۱۵۳۹۵۰۲
ضریب تغییرات (%)	—	۱۷/۶۹	۱۵/۹۰	۱۳/۸۷	۱۳/۲۶	۱۱/۴۱	۱۴/۸۶

**،* و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

[‡]: درجه آزادی الگوی کشت و خطا برای صفات ذرت به ترتیب ۵ و ۱۰ است.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیک و دانه (گرم در مترمربع) گندم، سویا و ذرت

الگوی کشت (ذرت:سویا:گندم)		عملکرد گندم		عملکرد سویا		عملکرد ذرت (g.m ²)	
		دانه	بیولوژیک	دانه	بیولوژیک	دانه	بیولوژیک
۴:۲:۰	۴۸۶c	۲۰۵c	۶۷۲d	۲۱۶b	—	—	—
۴:۲:۱	۴۶۳c	۱۹۷c	۶۰۶e	۱۷۴d	۸۱۰c	۲۵۰c	—
۴:۲:۲	۴۳۷c	۱۸۵c	۵۹۶e	۱۶۵d	۱۷۰۵b	۶۹۵b	—
۶:۳:۰	۹۴۱b	۴۰۶b	۸۷۸b	۳۰۵b	—	—	—
۶:۳:۱	۹۱۳b	۳۹۲b	۸۲۰c	۲۶۵c	۷۹۵c	۳۲۵c	—
۶:۳:۲	۸۸۶b	۳۸۱b	۷۷۵c	۲۴۵c	۱۶۶۰b	۷۰۰b	—
کشت خالص	۱۲۳۵a	۵۲۴a	۹۶۶a	۳۵۰a	۲۳۰۵a	۹۵۶a	—
کشت دوگانه ذرت/گندم	—	—	—	—	۲۱۷۰a	۸۹۴a	—

میانگین‌های هرستون با حروف مشابه، تفاوت معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

حمزه‌ئی (۲۰۲۰) نیز از افزایش پروتئین دانه آفتابگردان در کشت مخلوط با سویا و لوبیا گزارش دادند. در بررسی کشت مخلوط ذرت با برخی گیاهان خانواده لگوم مانند شبدر برسیم، خلر و ماشک اظهار شد که میزان پروتئین علوفه ذرت در مقایسه با کشت خالص این محصول افزایش معنی‌داری پیدا کرد (جوانمرد و همکاران ۲۰۲۰).

درصد و عملکرد روغن و پروتئین دانه سویا

تجزیه واریانس داده‌ها مؤید این بود که درصد و عملکرد روغن و پروتئین دانه سویا به طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۵). بیشترین درصد روغن دانه سویا در کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت (4w:2s:2c) مشاهده شد که البته با کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت (6w:3s:2c) اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین درصد روغن دانه سویا (۱۹ درصد) نیز در کشت خالص سویا مشاهده شد. ولی، با توجه به اینکه بیشترین عملکرد دانه سویا از کشت خالص بدست آمد و از آنجا که عملکرد روغن حاصلضرب درصد روغن در عملکرد دانه است، بیشترین عملکرد روغن سویا نیز متعلق به کشت خالص سویا بود (شکل ۳). به نظر می‌رسد در الگوهای کشت 4w:2s:2c (کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت) و 6w:3s:2c

درصد و عملکرد پروتئین دانه گندم و ذرت

درصد و عملکرد پروتئین دانه گندم و ذرت به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۵). به طوری که، تمامی الگوهای کشت مخلوط بدون تفاوت معنی‌دار با یکدیگر، درصد پروتئین بیشتری نسبت به کشت خالص گندم داشتند. بیشترین درصد پروتئین دانه گندم مربوط به کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا (4w:2s) بود و کمترین میزان این صفت از کشت خالص گندم مشاهده شد. در بین الگوهای مختلف کشت، بیشترین کمترین مقدار عملکرد پروتئین گندم نیز به ترتیب از کشت خالص گندم (به علت عملکرد بالا در واحد سطح) و کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: دو ردیف ذرت به دست آمد (جدول ۶). در مورد ذرت نیز تمامی کشت‌های مخلوط به طور معنی‌داری درصد پروتئین بیشتری نسبت به کشت خالص ذرت داشتند و بیشترین درصد پروتئین دانه ذرت (۱۳/۶۶ درصد) به کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا: یک ردیف ذرت (4w:2s:1c) تعلق گرفت. ولی با توجه به عملکرد دانه بالا در کشت خالص ذرت، بیشترین عملکرد پروتئین ذرت در کشت خالص این گیاه مشاهده گردید (جدول ۶). در الگوهای کشت مخلوط با سویا شاید بتوان تثبیت بیولوژیک نیتروژن را دلیل افزایش درصد پروتئین دانه ذرت دانست. تثبیت نیتروژن اتمسفری توسط لگوم‌ها، سبب کاهش رقابت برای جذب نیتروژن می‌شود و این امکان را فراهم می‌کند که غلات نیتروژن بیشتری را از خاک جذب کنند. (قوش و همکاران ۲۰۰۶). سیدی و

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر الگوهای مختلف کشت بر کیفیت دانه گندم، سویا و ذرت*

منابع تغییر	درجه آزادی	گندم		ذرت		سویا		تکرار
		درصد	عملکرد	درصد	عملکرد	درصد	عملکرد	
الگوی کشت	۶	۱/۵۶*	۶۵۴/۷۶**	۳/۸۴*	۲۳۲۶/۸۴**	۱۱/۱۹*	۴۶۱/۱۴**	۳۷۶۲/۷۱**
خطا	۱۲	۰/۴۶	۳۱/۶۵	۰/۸۵	۱۴۵/۸۴	۲/۸۸	۵۹/۲۵	۱۳۰/۲۵
ضریب تغییرات (%)	—	۶/۳۷	۱۴/۶۴	۷/۵۷	۱۵/۵۰	۸/۱۵	۱۵/۶۴	۱۲/۰۴

ns و *,** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار می باشد.

‡: درجه آزادی الگوی کشت و خطا برای صفات ذرت به ترتیب ۵ و ۱۰ است.

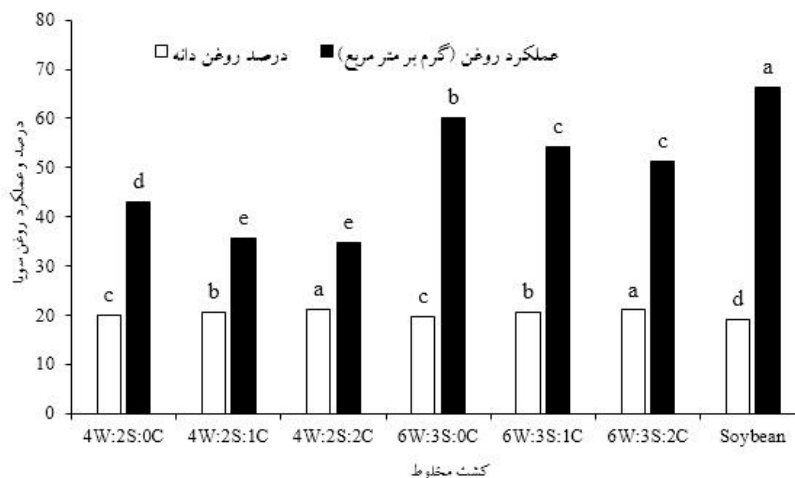
جدول ۶- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر درصد و عملکرد پروتئین (گرم بر مترمربع) دانه گندم، سویا و ذرت

الگوی کشت (ذرت:سویا:گندم)	پروتئین گندم		پروتئین سویا		پروتئین ذرت	
	درصد	عملکرد	درصد	عملکرد	درصد	عملکرد (g.m ⁻²)
۴:۲:۰	۱۲/۱۰ a	۲۴/۷۸ c	۳۸/۰۰ bc	۸۲/۰۸ cd	—	—
۴:۲:۱	۱۲/۰۰ a	۲۳/۶۲ c	۳۶/۲۰ bc	۶۲/۹۷ de	۱۳/۶۶ a	۴۵/۵۰ b
۴:۲:۲	۱۲/۰۰ a	۲۲/۱۸ c	۳۴/۰۱ c	۵۶/۱۹ e	۱۲/۵۰ ab	۸۶/۹۰ a
۶:۳:۰	۱۱/۸۰ a	۴۷/۸۶ b	۴۰/۵۰ ab	۱۲۳/۴۹ b	—	—
۶:۳:۱	۱۱/۸۰ a	۴۶/۲۱ b	۳۶/۷۰ c	۹۷/۶۵ c	۱۲/۸ ab	۴۱/۶۰ b
۶:۳:۲	۱۱/۷۰ a	۴۴/۵۷ b	۳۴/۱۰ c	۸۳/۴۸ c	۱۲/۳ ab	۸۶/۱۰ a
کشت خالص	۱۱/۴۰ b	۵۹/۷۰ a	۴۴/۰۰ a	۱۵۷/۲۵ a	۱۰/۳۰ c	۱۰۸/۰۰ a
کشت دوگانه ذرت/گندم	—	—	—	—	۱۱/۷۰ bc	۹۹/۲۰ a

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD_{5%} اختلاف معنی‌دار ندارند.

(جدول ۶). علت این امر به کاهش تراکم سویا در کشت‌های مخلوط برخوردار از دو ردیف سویا برمی‌گردد. به عبارتی، عملکرد پروتئین حاصل‌ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه است و از آنجاییکه در الگوهای کشت دارای دو ردیف سویا، عملکرد دانه سویا به‌طور معنی‌داری پایین بود، لذا پایین بودن عملکرد پروتئین این تیمارها نیز دور از انتظار نیست. سایر پژوهشگران نیز رقابت بر سر منابع محیطی مختلف مانند آب، نور و مواد غذایی را عامل کاهش عملکرد کمی و کیفی دانه سویا (فیونته ۲۰۱۴) و باقلا (امانی ماچانی و همکاران ۲۰۱۸) در کشت مخلوط گزارش کرده‌اند.

(کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت) سایه اندازی از طرف ذرت و طولانی تر شدن دوره پر شدن دانه، منجر به افزایش درصد روغن دانه سویا در این تیمارها شده است. در واقع، هرچند ذرت به صورت تأخیری با سویا کشت شد، ولی سویا در طول دوره رشد زایشی همراه ذرت بود. از آنجاییکه در دانه‌های روغنی افزایش طول دوره پر شدن دانه می‌تواند به افزایش درصد روغن منجر شود، لذا به نظر می‌رسد تعدیل شرایط محیطی (به ویژه دما) در این الگوهای کشت به سود سویا از نظر درصد روغن تولیدی شده است. به‌طوری که، بیشترین درصد و عملکرد پروتئین سویا به کشت خالص این گیاه تعلق گرفت. کمترین عملکرد پروتئین سویا نیز متعلق به الگوی کشت 4w:2s:2c بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار 4w:2s:1c نداشت



شکل ۳- مقایسه میانگین درصد و عملکرد پروتئین سویا تحت الگوهای مختلف کشت مخلوط. میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون $LSD_{5\%}$ اختلاف معنی‌دار ندارند.

۸). در کل کانوپی نیز تیمار کشت دوگانه زرت/گندم بیشترین مقدار این ویژگی را نشان داد که اختلاف معنی‌داری با کشت‌های خالص گندم و زرت نداشت. کشت خالص سویا دارای کمترین کارایی نیتروژن جذب شده در کل کانوپی بود (جدول ۸). از مزایای مهم سیستم کشت مخلوط گیاهان افزایش کارایی استفاده از منابع محیطی مختلف است (گانگ و همکاران ۲۰۲۰). به‌طوری که در سیستم‌های کشت مخلوط برخوردار از لگوم، نه تنها میزان تثبیت نیتروژن افزایش می‌یابد بلکه استفاده از نیتروژن تثبیت شده توسط لگوم و نیز کارایی مصرف این عنصر غذایی افزایش می‌یابد (جوانمرد و همکاران ۲۰۲۰، هاگارد-نیلسن و همکاران ۲۰۰۹، کرهالو و همکاران ۲۰۰۷).

بر اساس نتایج حاصل، بین الگوهای مختلف کشت از نظر کارایی مصرف آب تفاوت معنی‌دار وجود داشت (شکل ۴). به طوری که، مقایسه میانگین‌ها نشان داد در سیستم کشت گندم- سویا- زرت، بیشترین و کمترین میزان کارایی مصرف آب (به‌ترتیب ۱/۹۷ و ۰/۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌ترتیب متعلق به الگوهای کشت مخلوط شش ردیف گندم، سه ردیف سویا و دو ردیف زرت و کشت خالص سویا بود (شکل ۴). قابل ذکر است که بین کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف زرت و کشت دوگانه زرت/گندم از نظر کارایی

نیتروژن جذب شده و کارایی مصرف نیتروژن و آب نیتروژن جذب شده توسط گندم، زرت و سویا و نیز کل نیتروژن جذب شده در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۷). در هر سه گونه گندم، زرت و سویا بیشترین میزان نیتروژن جذب شده در کشت خالص بدست آمد و با کشت مخلوط از نیتروژن جذب شده گندم، زرت و سویا کاسته شد. (جدول ۸). در واقع مهمترین عامل افزایش نیتروژن جذب شده در کشت خالص به تراکم بوته و بالا بودن عملکرد دانه این گیاهان مربوط می‌شود. با این که میزان نیتروژن جذب شده توسط هر سه گونه در کشت خالص بیشتر بود، ولی از نظر کل نیتروژن جذب شده بیشتر تیمارهای کشت مخلوط در سطح بالاتری نسبت به کشت‌های خالص قرار گرفتند. بنحویکه کمترین مقدار این ویژگی در تیمار کشت خالص گندم بدست آمد و کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف زرت (6w:3s:2c) دارای بیشترین مقدار نیتروژن جذب شده بود (جدول ۸).

کارایی نیتروژن جذب شده برای هر سه گونه (گندم، سویا و زرت) و نیز کارایی کل نیتروژن جذب شده تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرار گرفتند (جدول ۷). در گندم و زرت بیشترین کارایی نیتروژن جذب شده مربوط به کشت خالص آن‌ها بود، در حالیکه در گیاه سویا میزان این ویژگی در تیمارهای کشت مخلوط بیشتر بود (جدول

۲۰۱۸). گانگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز از افزایش کارایی مصرف آب در کشت مخلوط ارزن و ماش گزارش دادند. آنها علت این امر را به گسترش ریشه‌های ارزن به فضاهای خالی بین ردیف که منجر به افزایش تراکم طولی و حجمی ریشه در لایه صفر تا ۵۰ سانتی‌متر خاک شد، نسبت دادند. ما و همکاران (۲۰۲۰) نیز در بررسی کشت مخلوط گندم و ذرت به این نتیجه رسیدند که گندم با گسترش ریشه‌های جانبی خود و جذب آب از بین نوارها موجب افزایش کارایی مصرف آب شد. ین و همکاران (۲۰۲۰) افزایش کارایی مصرف آب را در کشت مخلوط ذرت و گندم گزارش کردند. سیدی و حمزه ئی (۲۰۲۰) نیز در مطالعه کشت مخلوط لوبیا و سویا با آفتابگردان اظهار داشتند که با افزایش عملکرد کل در کشت مخلوط، افزایش معنی‌دار کارایی استفاده از منابع از جمله نیتروژن و آب رخ می‌دهد که این امر می‌تواند از مهمترین مزایای این سیستم کشت باشد.

مصرف آب تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به نظر می‌رسد افزایش کارایی مصرف آب در کشت‌های مذکور به تنوع ساختاری و توسعه عمودی ریشه ذرت، سویا و ریشه‌های افشان گندم در لایه‌های خاک و جذب حداکثری آب از اعماق مختلف خاک بر می‌گردد. از طرفی با توجه به الگوی کشت (کشت تأخیری سویا با گندم و ذرت با سویا و نیز کشت ذرت پس از گندم)، احتمال می‌رود که با برداشت گندم ریشه‌های سویا و ذرت می‌تواند به قسمت‌هایی از خاک که قبلاً توسط گندم اشغال شده توسعه پیدا کرده و از آب با راندمان بیشتری استفاده کنند که در نتیجه این امر عملکرد تولیدی در واحد سطح بیشتر و متعاقباً کارایی مصرف آب نیز بیشتر خواهد شد. تفاوت‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در کشت مخلوط غلات/گرم سبب می‌شود تا گونه‌ها آشیان‌های بوم‌شناختی متفاوتی را اشغال کرده و به شکل مکمل عمل کنند که در نتیجه آن کارایی استفاده از منابع بهبود می‌یابد (وانگ و همکاران ۲۰۱۶، هوانگ و همکاران

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر الگوی کشت بر مقدار و کارایی نیتروژن جذب شده در گندم، سویا و ذرت[‡]

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن جذب شده			کارایی مصرف نیتروژن جذب شده				
		گندم	سویا	ذرت	کل	سویا	ذرت	کل	
تکرار	۲	۴۲۵/۲۹*	۱۸۵۵/۳۴*	۱۹۱۲/۵۰*	۳۷۵۳/۲۵*	۲۰۵/۳۶ ^{ns}	۱۹/۳۹ ^{ns}	۴۳۲/۸۳*	۲۰۱/۴۲*
الگوی کشت	۶	۵۰۰/۷۶*	۱۹۰۰/۷۸*	۲۰۵۶/۳۳*	۶۷۰۷/۵۱*	۴۹۸/۴۵*	۴۳/۷۲*	۴۵۲/۵۹*	۲۰۶/۳۳*
خطا	۱۲	۱۰۲/۳۸	۴۰۰/۴۴	۴۰۰/۹۲	۱۶۰۰/۳۷	۹۹/۷۱	۹/۷۵	۹۵/۹۴	۵۸/۷۳
ضریب تغییرات (%)	-	۱۶/۷۵	۱۵/۲۲	۱۶/۳۵	۱۲/۹۳	۱۸/۱۴	۱۷/۰۶	۱۸/۲۷	۱۷/۷۲

ns, * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد.

[‡]: درجه آزادی الگوی کشت و خطا برای صفات ذرت به ترتیب ۵ و ۱۰ و کل به ترتیب ۹ و ۱۸ است.

غالب بر سویا می‌باشند و سویا گیاه مغلوب است. در کشت مخلوط گندم و نخود نیز گندم گیاه غالب و نخود گیاه مغلوب گزارش شده است (بدوساک و جاستس ۲۰۱۱). شاخص نسبت رقابتی نیز ابزار مهمی به منظور شناخت درجه رقابت یک گونه گیاهی با دیگری است (وحلا و همکاران ۲۰۰۹). به طوری که طبق نتایج، نسبت رقابتی گندم و ذرت در تمام کشت‌های مخلوط بیشتر از نسبت رقابتی سویا بود (جدول ۹). این امر حاکی از این است که می‌توان سویا را گیاهی مناسب برای کشت مخلوط با گندم و ذرت معرفی کرد.

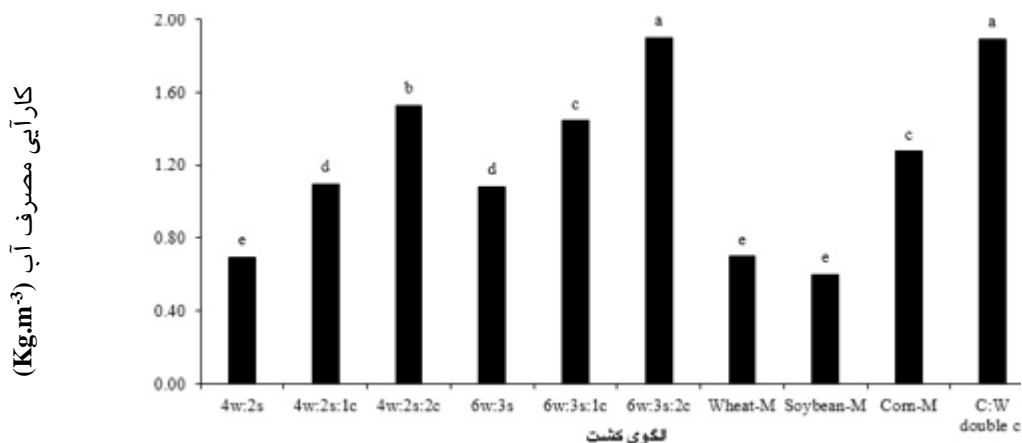
شاخص غالبیت (A)، نسبت رقابتی (CR) و نسبت برابری زمین (LER)

اگر شاخص غالبیت برابر صفر شود هر دو گیاه قدرت رقابتی برابر خواهند داشت. زمانی که شاخص غالبیت یک گونه بزرگتر از صفر شود، نشان‌دهنده غالب بودن آن گونه بر گونه دیگر است (دهیما و همکاران ۲۰۰۷). در این آزمایش، شاخص غالبیت برای گندم و ذرت بزرگتر از صفر شد. مقدار عددی شاخص غالبیت برای سویا در تمام الگوهای کشت مخلوط کوچک‌تر صفر به‌دست آمد (جدول ۹). بنابراین، گندم و ذرت گیاه

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر مقدار و کارایی نیتروژن جذب شده در گندم، سویا و ذرت

کارایی نیتروژن جذب شده (Kg.kg ⁻¹)				نیتروژن جذب شده (Kg.ha ⁻¹)				الگوی کشت
کل	ذرت	سویا	گندم	کل	ذرت	سویا	گندم	ذرت:سویا:گندم
۲۴/۶۱c	—	۱۶/۴۵c	۵۱/۶۵c	۱۷۱/۱۰c	—	۱۳۱/۱۳c	۳۹/۷۰c	۴:۲:۰
۳۴/۲۴b	۴۸/۶۱b	۱۷/۲۷b	۵۲/۰۸b	۲۱۰/۱۰c	۷۲/۲۰c	۱۰۷/۰۷d	۳۷/۸۷c	۴:۲:۱
۳۹/۷۳b	۵۰/۵۱b	۱۸/۳۵a	۵۲/۰۸b	۲۶۳/۳۰b	۱۳۷/۸۰b	۸۹/۹۹d	۳۵/۵۵c	۴:۲:۲
۲۵/۹۱c	—	۱۵/۴۲d	۵۲/۹۷ab	۲۷۴/۵۰b	—	۱۹۷/۸۰b	۷۶/۶۶b	۶:۳:۰
۳۳/۲۵b	۴۹/۵۴b	۱۷/ب۰۳	۵۲/۹۷ab	۲۹۵/۴۲b	۶۵/۵۶c	۱۵۵/۶۰b	۷۳/۲۹b	۶:۳:۱
۳۸/۷۱b	۵۰/۸۷b	۱۸/۳۲a	۵۳/۴۲a	۳۴۲/۲۵a	۱۳۷/۷۶b	۱۳۳/۴۵c	۷۱/۰۳b	۶:۳:۲
۵۴/۷۸a	—	—	۵۴/۷۸a	۹۵/۶۵d	—	—	۹۵/۶۵a	کشت خالص گندم
۱۴/۱۹e	—	۱۴/۱۹e	—	۲۴۶/۶۳b	—	۲۴۶/۶۳a	—	کشت خالص سویا
۵۵/۵۰a	۵۵/۵۰a	—	—	۱۷۲/۲۸c	۱۷۲/۲۸a	—	—	کشت خالص ذرت
۵۵/۶۰a	۵۶/۴۴a	—	۵۴/۴۵a	۲۵۴/۴۰b	۱۵۸/۹۰a	—	۹۵/۵۰a	کشت دوگانه ذرت/گندم

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون 5% LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.



شکل ۴- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب در الگوهای مختلف کشت (Wheat-M: کشت خالص گندم، Soybean-M: کشت خالص سویا، Corn-M: کشت خالص ذرت، C:W: کشت دوگانه ذرت/گندم). میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون 5% LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

نشان داد که کلیه تیمارهای کشت مخلوط LER بیشتر از یک داشتند (جدول ۹) که نشان از برتری کشت مخلوط نسبت به تک کشتی هر سه گونه دارد. در میان الگوهای مختلف کشت، کمترین نسبت برابری زمین مربوط به تیمار کشت مخلوط چهار ردیف گندم: دو ردیف سویا (4w:2s) بود. بیشترین میزان شاخص نسبت برابری زمین (۲/۱۶) نیز از کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت (6w:3s:2c) به دست آمد. لی و همکاران (۲۰۲۰) در کشت مخلوط ذرت و گندم اظهار

نسبت برابری زمین (LER) معیاری برای سنجش کارایی استفاده از زمین در کشت مخلوط است که نشان دهنده سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص برای استفاده از منابع محیطی است. هنگامی که LER بزرگتر از یک باشد، کشت مخلوط به نفع رشد و عملکرد گونه است. از سوی دیگر، مجموع LER بالاتر از یک نشان می‌دهد که رقابت بین گونه‌ای در مخلوط کمتر از رقابت موجود در کشت خالص است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۴). بررسی شاخص نسبت برابری زمین در این مطالعه

(مارتین و همکاران ۲۰۱۸). چن و همکاران (۲۰۱۷) نیز کشت مخلوط تأخیری سویا با ذرت را از نظر کارایی استفاده از زمین بسیار کارآمد دانستند و حداکثر شاخص نسبت برابری زمین را ۲/۳۶ گزارش کردند.

داشتند که کشت مخلوط یکی از روش‌های بسیار موثر در افزایش کارایی استفاده از زمین است. گزارش شده است که تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط لگوم و انتقال آن به گیاه همراه (غیر لگوم) باعث افزایش عملکرد دانه و میزان LER در سیستم‌های کشت مخلوط می‌شود

جدول ۹- شاخص‌های غالبیت (A)، نسبت رقابتی (CR) و نسبت برابری زمین (LER) در کشت مخلوط گندم، سویا و ذرت

LER	نسبت رقابتی		نسبت رقابتی		شاخص غالبیت		شاخص غالبیت		شاخص غالبیت		الگوهای کشت مخلوط	
	نسبت رقابتی گندم با سویا	نسبت رقابتی ذرت با سویا	نسبت رقابتی گندم با سویا	نسبت رقابتی ذرت با سویا	شاخص غالبیت گندم با سویا	شاخص غالبیت ذرت با سویا	شاخص غالبیت گندم با سویا	شاخص غالبیت ذرت با سویا	شاخص غالبیت گندم با سویا	شاخص غالبیت ذرت با سویا		
گندم	سویا	ذرت	کل	CRw	CRs	CRc	CRs	Aw	As	Ac	As	
۰/۳۹	۰/۶۲	—	۱/۰۱	۱/۲۹	۰/۷۸	—	—	۰/۲۶	-۰/۲۶	—	—	4W:2S
۰/۳۸	۰/۵۰	۰/۳۷	۱/۲۴	۱/۵۴	۰/۶۵	۱/۵۰	۰/۶۷	۰/۴۰	-۰/۴۰	۰/۳۷	-۰/۳۷	4W:2S:1C
۰/۳۵	۰/۴۷	۰/۷۳	۱/۵۵	۱/۵۲	۰/۶۶	۱/۵۴	۰/۶۵	۰/۳۷	-۰/۳۷	۰/۳۸	-۰/۳۸	4W:2S:2C
۰/۷۷	۰/۸۷	—	۱/۶۵	۱/۳۳	۰/۷۵	—	—	۰/۲۹	-۰/۲۹	—	—	6W:3S
۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۳۴	۱/۸۵	۱/۴۷	۰/۶۸	۱/۳۶	۰/۷۳	۰/۳۶	-۰/۳۶	۰/۲۷	-۰/۲۷	6W:3S:1C
۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۷۳	۲/۱۶	۱/۵۵	۰/۶۵	۱/۵۶	۰/۶۴	۰/۳۹	-۰/۳۹	۰/۳۹	-۰/۳۹	6W:3S:2C

ردیف ذرت به دست آمد. همچنین، کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت و کشت دوگانه ذرت با گندم از نظر کارایی مصرف آب در بالاترین سطح قرار گرفتند. بنابراین، به نظر می‌رسد کشت مخلوط شش ردیف گندم: سه ردیف سویا: دو ردیف ذرت به عنوان یک تکنیک زراعی جهت بهبود تولید و حداکثر بهره‌بری از زمین و منابع محیطی، قابل توصیه به کشاورزان است.

سپاسگزاری

از سرپرست و کارکنان مزرعه آموزشی پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا که در اجرای این طرح نهایت همکاری را با ما داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، کشت مخلوط تأخیری گندم با سویا و کشت دوگانه ذرت با گندم به دلیل تفاوت‌های مورفولوژیکی و نیازهای اکولوژیکی موجود در بین گونه‌ها، اثرات مکملی مثبت و هم‌پاری را در کشت مخلوط فراهم کرد. در این پژوهش، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول در کل کانوپی (مجموع مقدار عددی شاخص‌ها در هر پلات) در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. عملکرد کل برداشت شده در کشت مخلوط نیز بیشتر از کشت خالص بود. علی‌رغم کاهش عملکرد دانه گیاهان در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، بررسی شاخص نسبت برابری زمین سودمندی کشت مخلوط را نسبت به تک کشتی نشان داد. به طوری‌که بیشترین مقدار شاخص نسبت برابری زمین (۲/۱۶) از کشت مخلوط شش ردیف گندم، سه ردیف سویا و دو

منابع مورد استفاده

- Amani Machiani M, Javanmard A, Morshedloo MR and Maggi F. 2018. Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*, 171: 529–537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.062>

- Bedoussac L and Justes E. 2011. A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. *Field Crops Research*, 124: 25–36. <https://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025>
- Blanco–Canqui H and Lal R. 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28: 139–163. <https://doi.org/10.1080/07352680902776507>
- Du JD, Han TF, Gai JY, Yong TW, Sun X, Wang XC, Yang F, Liu J, Shu K, Liu WG and Yang WY. 2018. Maize–soybean strip intercropping: Achieved a balance between high productivity and sustainability. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4): 747–754. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61789-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61789-1)
- Chen P, Du Q, Liu X, Zhou L, Hussain S, Lei L, Song C, Wang X, Liu W, Yang F, Yang F, Shu, K, Liu J, Du J, Yang T. 2017. Effects of reduced nitrogen inputs on crop yield and nitrogen use efficiency in a long-term maize-soybean relaystrip intercropping system. *PLoS One*, 12, e0184503. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184503>
- Cong WF, Hoffland E, Li L, Six J, Sun JH, Bao XG, Zhang FS and Wopke V.D.W. 2015. Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. *Global Change Biology*, 21: 1715–1726. <https://doi.org/10.1111/gcb.12738>
- Corre–Hellou G, Brisson N, Launay M, Fustec J and Crozat Y. 2007. Effect of root depth penetration on soil N sharing and dry matter in pea–barley intercrops given different soil N supplies. *Field Crops Research*, 103: 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.04.008>
- Dhima KV, 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. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008>
- Dolijanović Ž, Kovačević D, Oljača S and Simić M. 2009. Types of interactions in intercropping of maize and soybean. *Journal of Agricultural Sciences*, 54: 179–187. <https://doi.org/10.2298/JAS0903179D>
- Fatemi R, Hoseini S, Moghadam H and Motasharezadeh B. 2021. Evaluation of light consumption efficiency in a mixture of maize and beans cultivation under the influence of biologic and organic fertilizers. *Journal of Crops Improvement*, 23(4): 712–699. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.308259.2452>
- Fuente E, Suárez S, Lenardis A and Poggio S. 2014. Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems: Evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. *Njasw Ageringen Journal of Life Sciences*, 70: 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2014.05.002>
- Gan Y, Malhi SS, Brandt S, Katepa–Mupondwad F and Stevenson C. 2008. Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of juncea canola under diverse environments. *Agronomy Journal*. 100:285–295. <https://doi.org/10.2134/agronj12007.0229>
- Ghosh PK, Manna MC, Bandyopadhyay KK, Ajay AK, Tripathi RH, Wanjari KM, Hati AK, Misra CL, Acharya and Subba Rao A. 2006. Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. *Agronomy Journal*, 98: 1097–1108. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0328>
- Gong X, Dang K, Lv S, Zhao G, Tian L, Luo Y and Feng B. 2020. Interspecific root interactions and water–use efficiency of intercropped proso millet and mung bean. *European Journal of Agronomy*, 115: 126034. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126034>
- Hauggaard–Nielsen H, Gooding M, Ambus P, Corre–Hellou G, Crozat Y, Dahlmann C, Dibet A, VonFragstein P, Pristeri A, Monti M and Jensen ES. 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. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.009>
- Hong Y, Berentsen P, Heerink N, Shi M and Werf W. 2019. The future of intercropping under growing resource scarcity and declining grain prices – A model analysis based on a case study in Northwest China. *Journal of Agricultural Systems*, 176: 102661. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102661>

- Hozayn M, Zeidan MS, Abd El-Lateef EM and Abd El-Salam MS. 2007. Performance of Some Mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) Genotypes under Late Sowing Condition in Egypt. *Agriculture and Biotechnology Science*, 3: 972–978. <https://doi.org/10.15226/2572-3154/3/2/00118>
- Huang C, Liu Q, Li H, Li X, Zhang and Zhang F. 2018. Optimised sowing date enhances crop resilience towards size-asymmetric competition and reduces the yield difference between intercropped and sole maize. *Field Crops Research*, 217: 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.010>
- Iqbal N, Hussain S, Ahmed Z, Yang F, Wang X, Liu W, Yong T, Du J, Shu K, Yang W, Liu J. 2018. Comparative analysis of maize-soybean strip intercropping systems. *Plant Production Science*, 22(2): 131–142. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1541137>
- Javanmard A, Amani Machiani M, Lithourgidis A, Morshedloo MR and Ostadi A. 2020. Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. *Cleaner Engineering and Technology*, 100003. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100003>
- Khoramivafa M, Ghasemi E, Farhadi B and Najaphy A. 2013. The water use efficiency in forage maize at maize/faba bean relay intercropping in deficit irrigation and no tillage systems. *Agronomy and Plant Production*, 11(4): 3134–3139.
- Latati M, Bargaz A, Belarbi B, Lazali M, Benlahrech S, Siham T, Kaci G and Jean JD. 2016. The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability. *European Journal of Agronomy*, 72: 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.015>
- Li YJ, Ma LS, Wu PT, Zhao XN, Chen XL and GAO XD. 2020. Yield, yield attributes and photosynthetic physiological characteristics of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.)/maize (*Zea mays* L.) strip intercropping. *Field Crops Research*, 248: 107656. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107656>
- Lithourgidis AS, Vlachostergios DN, Dordas CA and Damalas CA. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34: 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007>
- López-Bellido L, López-Bellido RJ and Redondo R. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. *Field Crops Research*, 94(1): 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.11.004>
- Ma LS, Wu PT, Zhao XN, Chen XL and Gao XD. 2020. Coupling evapotranspiration partitioning with water migration to identify the water consumption characteristics of wheat and maize in an intercropping system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 290: 108034. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108034>
- Martin-Guay MO, Paquette A, Dupras J and Rivest, D. 2018. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of the Total Environment*, 615:767–772.
- Piri I, Zendehdel B and 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. <https://doi.org/10.22067/jag.v9i3.45737>
- 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. *European Journal of Agronomy*, 72: 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.001>
- Sabeghynejad F, Dehmardeh M, Asghari Pour MR, Khamari E and Nezami ZS. 2018. Evaluation of tillage systems on agronomic aspect of soybean (*Glycine max* L.) and roselle (*Hibiscus subdariffa* L.) relay intercropping. *Journal of Agroecology*, 11 (3): 1085–1104. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.68442>
- Salari F, Khalesro S, Heidari G and Ghobari H. 2020. Comparison of quantitative and qualitative traits of safflower and chickpea in replacement and additive intercropping systems. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3): 129–138. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.269888.654549>

- Seyedi M and Hamzei J. 2020. Evaluation of advantageous of sunflower–grain legume intercropping. *Electronic Journal of Crop Production*, 13(1): 85–98. (In Persian).
- Wahla IH, Ahmad R, Ehsanullah A and Jabbar A. 2009. Competitive functions of components crops in some barley based intercropping systems. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(1): 69–72.
- Wang G, Chen X, Cui Z, Yue S and Zhang F. 2014. Estimated reactive nitrogen losses for intensive maize production in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 197: 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.07.014>
- Wang Q, Han S, Zhang L, Zhang D, van der Werf, W, Evers JB, Sun H, Su Z and Zhang S. 2016. Density responses and spatial distribution of cotton yield and yield components in jujube (*Zizyphus jujube* L.)/cotton (*Gossypium hirsutum* L.) agroforestry. *European Journal of Agronomy*, 79: 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.05.009>
- Wang X, Deng X, Pu T, Song C, Yong T, Yang F, Sun X, Liu W, Yan Y, Du J, Liu J, Sun K and Yang W. 2017. Contribution of interspecific interactions and phosphorus application to increasing soil phosphorus availability in relay intercropping systems. *Field Crops Research*, 204: 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.020>
- Xiangwei GKD, Long L, Guan Z, Siming LV, Lixin T, Fei J, Yu F, Yingnan Z and Baili F. 2021. Intercropping combined with nitrogen input promotes proso millet (*Panicum miliaceum* L.) growth and resource use efficiency to increase grain yield on the Loess plateau of China. *Agricultural Water Management*, 243: 106434. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106434>
- Yamane K, Ikoma A and Iijima M. 2016. Performance of double cropping and relay intercropping for black soybean production in small-scale farms. *Plant Production Science*, 19: 449–457. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2016.1164574>
- Yang F, Liao DP, Wu XL, Gao RC, Fan YF, Raza MA, Wang XC, Yong TW, Liu WG and Liu J. 2017. Effect of aboveground and belowground interactions on the intercrop yields in maize–soybean relay intercropping systems. *Field Crops Research*, 203: 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.007>
- Yin W, Chai Q, Zhao C, Yu A, Fan Zh, Hu F, Fan H, Guo Y and Coulter JA. 2020. Water utilization in intercropping: A review. *Agricultural Water Management*, 241: 106335. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335>
- Zalles V, Hansen MC, Potapov PV, Stehman SV, Tyukavina A, Pickens A, Song XP, Adusei B, Okpa C and Aguilar R. 2019. Near doubling of Brazil's intensive row crop area since. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116 (2):428–435.
- Zhang, G, Zaibin Y and Shuting D. 2014. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. *Field Crops Research*, 12:466–73. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.006>