جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط افزایشی ذرت- لوبیا در منطقه زنجان

حامد منصوری[۱]، لیلا منصوری[۲]، خلیل جمشیدی[۲]، مهدی راستگو[۱] و روح‌الله مرادی[۱*]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۲/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۱۹)

چکیده

بهبود کارایی استفاده از منابع یکی از راهکارهای اساسی برای رسیدن به کشاورزی پایدار می‌باشد. استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط با بهره‌گیری بهینه از منابع آب، نور و عناصر غذایی یکی از این راهکارها می‌باشد. به‌منظور ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا، آزمایشی در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل نسبت‌های مختلف کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا (افزایش ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تراکم بهینه لوبیا در کشت خالص به تراکم بهینه ذرت) و هم‌چنین کشت خالص هر دو گونه بود. ماده خشک و سطح برگ هر دو گیاه در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میزان جذب تشعشع توسط سایه‌انداز مخلوط ذرت- لوبیا در کلیه تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص ذرت و لوبیا بیشتر بود، زیرا در کشت مخلوط، سطح سایه‌انداز برای جذب تشعشع افزایش می‌یابد. نسبت برابری زمین برای جذب فعال فتوسنتزی در تمام تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود که بیانگر سودمندی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی از لحاظ جذب تشعشع می‌باشد. بیشتر بودن کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در سیستم کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی دو گونه نیز بیانگر استفاده بهینه از منبع نوری در کشت مخلوط بود. با توجه به کارایی مصرف نور در بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط، کشت افزایشی ۶۰٪ لوبیا به‌عنوان بهترین الگوی کشت مخلوط شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کاشت، تک‌کشتی، نسبت برابری زمین

۱. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: roholla18@gmail.com

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]

مقدمه

گرایش جدید جامعه جهانی به سمت کشاورزی پایدار در راستای کم کردن استفاده از نهاده‌های مختلف، خصوصاً نهاده‌های شیمیایی می‌باشد و هم‌چنین فراهم آوردن سیستمی که بیشتر بر نیروی انسانی متکی بوده تا بتواند در این راستا به سامانه‌ای دست یابد که در آن فقر روستایی نیز مد نظر قرار گرفته و در نهایت با رسیدن به کشاورزی دارای ثبات در عملکرد و کمترین آثار سوء زیست‌محیطی، قادر به بهبود وضع معیشتی جوامع روستایی باشد (۱۶). یکی از این سیستم‌ها، کشت مخلوط می‌باشد؛ سیستمی که در گذشته‌های دور ابداع شده و به‌دلیل مسائل و مشکلات کشاورزی رایج، امروزه دوباره مطرح شده است. کشت مخلوط یا زراعت همزمان دو یا چند محصول در یک قطعه زمین، از جمله قدیمی‌ترین نظام‌های زراعی جهان محسوب می‌شود که از نظر تاریخی در مناطق گرم و مرطوب پیدایش و تکامل یافته است (۱۵). افزایش کارایی مصرف منابع (نور، آب و عناصر غذایی) مهم‌ترین ویژگی کشت مخلوط می‌باشد (۲۴ و ۳۷). به‌علاوه، کنترل علف‌های هرز (۱۳)، کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها (۳۵) و افزایش تنوع زیستی (۷ و ۹)، خصوصیات کارکردی منحصر به فردی را فراهم می‌سازد که باعث شده این سیستم‌های زراعی قرن‌ها در کشاورزی معیشتی نقش مهمی در تأمین مواد غذایی بشر داشته باشند (۳۵) و در حال حاضر نیز جایگاه خاصی را در طراحی بوم‌نظام‌های زراعی پایدار به خود اختصاص دهند (۱۲).

کانولی و همکاران (۱۱) مقالات منتشر شده و تحقیقات انجام گرفته در زمینه کشت مخلوط، طی یک دوره زمانی ۲۰ ساله، را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که بخش اعظم این تحقیقات تنها به مقایسه عملکرد کشت مخلوط با تک‌کشتی پرداخته‌اند و در نتیجه سایر مزایای اکولوژیک این سیستم زراعی از نظر دور مانده‌اند. به نظر می‌رسد که توجه به خصوصیات کارکردی کشت مخلوط و بهره‌گیری از آنها راهکارهای مناسبی را برای بهبود بهره‌وری منابع در مناطق خشک نظیر ایران فراهم سازد. نتایج اغلب آزمایش‌ها نشان داده که مهم‌ترین مزیت کشت‌های مخلوط که از طریق شاخص‌هایی نظیر نسبت برابری زمین (Land equivalent ratio, LER) سنجیده می‌شود، بالاتر بودن کارآیی استفاده از منابع، به‌ویژه نور، آب و نیتروژن، در مقایسه با کشت‌های خالص می‌باشد (۹ و ۱۳). این‌گونه بیان شده که در کشت مخلوط، جامعه گیاهی با پوشاندن زمین در زمان کوتاه‌تر، جذب و کارایی نور را افزایش می‌دهد (۱۰). به‌طورکلی، حضور چند گیاه در کشت مخلوط نسبت به یک گیاه در کشت خالص می‌تواند در صورت انتخاب درست گیاهان، میزان بیشتری از نور رسیده به سطح زمین را جذب کرده تا افزایش تولید ماده خشک در واحد سطح را به دنبال داشته باشد (۱۸).

تحقیقات نشان می‌دهد که برتری زراعت مخلوط به‌دلیل استفاده بهینه از منابع موجود می‌باشد. تفاوت اجزای مخلوط در استفاده از منابع موجب بالا رفتن کارایی استفاده از منابع می‌گردد (۲۱). به‌عنوان مثال، اختلاف ارتفاع در اجزای کشت مخلوط سبب می‌گردد که سطح کانوپی از حالت مسطح به حالت موجی در آمده، در نتیجه سطح جذب نور افزایش پیدا می‌کند (۷). کشت‌های مخلوط به واسطه افزایش جذب نور، از طریق افزایش طول دوره جذب (برتری زمانی) یا در نتیجه پوشش بیشتر سطح خاک (برتری مکانی) سبب افزایش بهره‌وری سیستم‌های زراعی می‌شوند (۶). آبراهام و سینگ (۱) پس از اندازه‌گیری میزان جذب نور در کشت خالص سورگوم و مخلوط آن با لوبیا، ماش، بادام زمینی و سویا دریافتند که در تمامی کشت‌های مخلوط جذب نور بیشتر از کشت خالص بود. در ایران نیز آزمایش‌های متعددی در زمینه بررسی کارایی مصرف نور در کشت مخلوط انجام شده و بهبود کارایی مصرف نور در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در آزمایش‌های مختلف (۳، ۱۷، ۲۰ و ۲۸) گزارش شده است.

ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهانی است که در سیستم‌های کشت مخلوط نواحی مختلف دنیا مورد علاقه بوم‌شناسان و متخصصین زراعت قرار گرفته است (۲۸). در کشت مخلوط، ذرت معمولاً به‌عنوان محصول اصلی و بقولات به‌عنوان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]

محصول ثانویه کشت می‌شود. بقولات، به‌دلیل داشتن ویژگی تثبیت نیتروژن، از جمله گیاهان مناسب برای کشت با سایر گیاهان به منظور تأمین نیازهای غذایی آنها می‌باشد. لوبیا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده بقولات می‌باشد که شواهد زراعی زیادی نیز در مورد افزایش عملکرد در سیستم‌های مخلوط ذرت و لوبیا گزارش شده است (۳۶).

بررسی‌های انجام گرفته در خصوص برتری عملکرد در سیستم کشت مخلوط نسبت به کشت خالص نشان داده است که افزایش عملکرد در کشت مخلوط ممکن است به‌دلیل افزایش جذب و تسخیر منابع، افزایش کارایی مصرف منابع، یا هر دو مورد به‌صورت توأم باشد (۳۴). بنابراین، هدف از انجام این تحقیق ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا در شرایط آب و هوایی زنجان و مقایسه آن با تک‌کشتی این دو گیاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار و تابستان سال زراعی ۱۳۸۹در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل نسبت‌های مختلف کشت مخلوط افزایشی ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) و لوبیا قرمز ایستاده (رقم درخشان) در شش سطح شامل کشت مخلوط افزایشی ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تراکم بهینه لوبیا در کشت خالص به تراکم بهینه ذرت و هم‌چنین کشت خالص هر دو گونه بود. برای این منظور، کرت‌هایی به طول ۶ متر و عرض ۳ متر ایجاد شد و هر کرت شامل ۴ ردیف (۲ ردیف کناری به‌عنوان حاشیه) به فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود و فاصله بین‌کرت‌ها ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عملیات کاشت در تاریخ چهارم خردادماه به‌صورت کپه‌ای (کشت ۲ تا ۳ بذر در هر کپه) و با دست انجام شد. ذرت با عمق کاشت ۸ سانتی‌متر، فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر برای به‌دست‌آوردن تراکم بهینه ۱۰ بوته در مترمربع و هم‌چنین لوبیا با عمق کاشت ۴ سانتی‌متر و متناسب با تیمارهای مختلف الگوی کشت مخلوط افزایشی با ذرت در فواصل روی ردیف ۵، ۶/۲۵، ۸/۳۳، ۱۲/۵ و ۲۵ سانتی‌متر به‌ترتیب برای کشت خالص لوبیا، ۸۰٪، ۶۰٪، ۴۰٪ و ۲۰٪ کشت شد.

عملیات داشت متناسب با نیازهای ارقام مورد مطالعه و توصیه‌های محققین انجام گرفت. آبیاری کرت‌ها به فاصله زمانی ۷ روز و به صورت نشتی انجام گرفت تا هیچگونه تنش خشکی به گیاهان اعمال نگردد. مقدار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار با استفاده از کود اوره (۴۶٪ نیتروژن) و به‌صورت نواری در دو مرحله به زمین اضافه شد. مرحله نخست کوددهی حدود ۱۰ روز پس از کاشت و مرحله دوم در زمان گل‌دهی ذرت (حدود ۷۰ روز پس از کاشت) اعمال شد. حدود یک‌ماه پس از کاشت، جهت حصول تراکم مورد نظر، عملیات تنک برای گیاه ذرت و لوبیا انجام گرفت. نمونه‌برداری در زمان‌های مختلف با حذف اثر حاشیه از سطحی معادل ۰/۵ × ۱/۵ مترمربع انجام شد و در هر بار نمونه‌برداری، شاخص سطح برگ و وزن خشک ذرت و لوبیا اندازه‌گیری و ثبت شد.

در زمان برداشت نیز با حذف اثر حاشیه‌ای، عملکرد دانه و بیولوژیک و اجزای عملکرد ذرت شامل تعداد بلال در بوته، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. در ارتباط با لوبیا نیز عملکرد دانه و بیولوژیک و اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد.

محاسبه میزان جذب و کارآیی مصرف نور

ابتدا مقادیر شاخص سطح برگ (LAI) روزانه از طریق برازش معادله ۱ برآورد شد:

$$y = \frac{a + b \times ۴_e^{\frac{-(x-c)}{d}}}{(۱+e^{\frac{-(x-c)}{d}})^۲} \qquad [۱]$$

که a عرض از مبدأ، b حداکثر LAI، c زمان رسیدن به حداکثر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]

LAI و d نقطه عطف منحنی است که در آن رشد سطح برگ از مرحله خطی وارد مرحله نمایی می‌شود.

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی زنجان به روش ارائه شده توسط گودریان و وان لار (۱۵) با احتساب ساعات آفتابی هر روز (استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم شناسی زنجان) برآورد گردید و ۵۰٪ آن به‌عنوان تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در نظر گرفته شد. سپس میزان تشعشع روزانه جذب شده برای هر دو گونه براساس معادلات ۲ تا ۴ محاسبه شد (۳۴):

$$I_{abs} = I_{\circ}(1 - e^{((-K_m \cdot LAI_m)+(K_\delta \cdot LA_\delta))}) \quad [۲]$$

$$I_m = \frac{(-k_m \cdot LAI_m)}{(-k_m \cdot LAI_m)+(-k_\delta \cdot LAI_\delta)} \quad [۳]$$

$$I_b = I_{abs} - I_m \quad [۴]$$

که I_0 میزان تشعشع در بالای سایه‌انداز، I_{abs} نور جذب شده توسط سایه‌انداز مخلوط، I_m نور جذب شده توسط گیاه ذرت، I_b نور جذب شده توسط گیاه لوبیا، LAI_m و LAI_b به‌ترتیب شاخص سطح برگ ذرت و لوبیا و K_m و K_b به‌ترتیب ضریب خاموشی نور ذرت و لوبیا (۰/۶) می‌باشد.

با به‌دست آوردن میزان نور جذب شده توسط هر گیاه و رسم معادله رگرسیونی ساده بین نور جذب شده و ماده خشک، کارایی مصرف نور (که شیب این معادله می‌باشد) به‌دست آمد.

هم‌چنین، نسبت برابری زمین برای PAR جذب شده (LER_{PAR}) از طریق معادله ۵ به‌دست آمد:

$$LER_{PAR} = \sum \frac{PAR_{i/m}}{PAR_{i/m}} \quad [۵]$$

در این معادله، $PAR_{i,m}$ و $PAR_{i,s}$ به‌ترتیب تشعشع جذب شده توسط گونه‌ها در کشت مخلوط و خالص می‌باشد.

آنالیز آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین بین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Sigma Plot 10 استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد ذرت و لوبیا

بیشترین تعداد دانه در بلال و ردیف در بلال ذرت در کشت مخلوط افزایشی ۲۰٪ لوبیا با ذرت به‌دست آمد و با افزایش میزان تراکم لوبیا در مخلوط با ذرت این صفات کاهش نشان دادند (جدول ۱). بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک و دانه ذرت نیز در کشت مخلوط افزایشی ۲۰٪ لوبیا با ذرت حاصل شد و با افزایش تراکم لوبیا عملکرد ذرت کاهش یافت (جدول ۱). به نظر می‌رسد که افزایش تراکم لوبیا، به‌ویژه در تراکم‌های زیاد، باعث افزایش رقابت بین ذرت و لوبیا شده و کاهش عملکرد ذرت را باعث می‌شود. تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف لوبیا تحت تأثیر تیمارهای مختلف کشت مخلوط قرار نگرفت؛ در صورتی‌که عملکرد بیولوژیک و دانه لوبیا تحت تأثیر تیمارهای مختلف مخلوط قرار گرفتند. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد در کشت خالص لوبیا و کمترین عملکرد در کشت افزایشی ۲۰٪ لوبیا با ذرت مشاهده گردید. با توجه به این‌که اجزای عملکرد لوبیا تحت تأثیر کشت مخلوط قرار نگرفتند می‌توان بیان کرد که دلیل زیاد بودن عملکرد لوبیا، تراکم‌های مختلف آن در کشت افزایشی با ذرت بوده است.

شاخص سطح برگ

روند تغییرات شاخص سطح برگ ذرت و لوبیا در طول فصل رشد در تمام تیمارها در ابتدا افزایشی بود، سپس ثابت شده و در مراحل آخر رشد کاهش یافته است. به عبارت دیگر، با افزایش روزهای پس از سبز شدن، شاخص سطح برگ با روندی افزایشی در فاصله ۱۱۰ روز پس از سبز شدن به بیشینه مقدار خود رسید و پس از آن تا انتهای فصل رشد در تمام تیمارها به‌دلیل زرد شدن، پیری و ریزش برگ‌های پائین سایه‌انداز و نزدیک شدن به مرحله رسیدگی کاهش یافت (شکل ۱). شاخص سطح برگ ذرت در کشت مخلوط افزایشی ۶۰٪ لوبیا نسبت به سایر تیمارهای مختلف کشت مخلوط بیشترین مقدار را داشت. به‌طورکلی، تیمارهای کشت

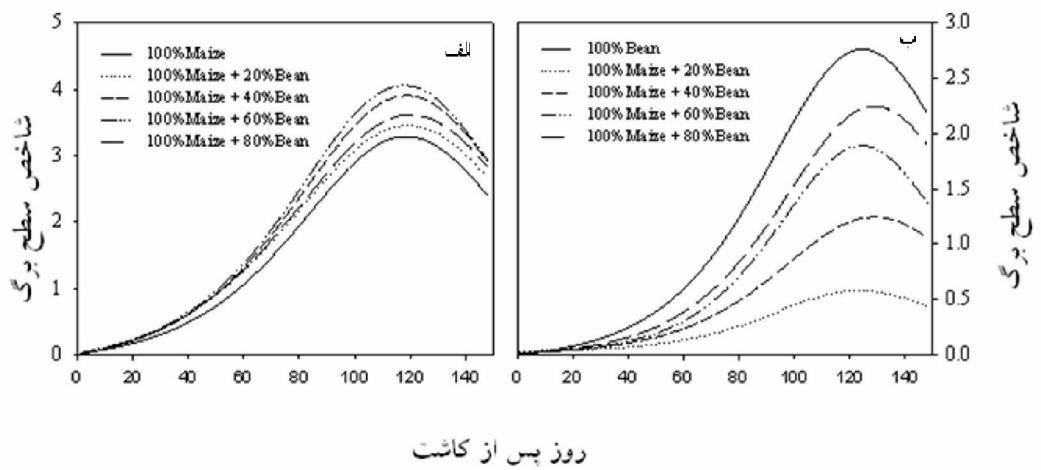
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]

جدول ۱. عملکرد و اجزای عملکرد ذرت و لوبیا تحت تأثیر نسبت‌های مختلف اختلاط در کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا

نسبت اختلاط	ذرت					لوبیا			
	تعداد دانه در بلال	تعداد ردیف در بلال	وزن ۱۰۰ دانه (g)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)
۱۰۰٪ ذرت+۲۰٪ لوبیا	۷۱۹/۷a	۱۸/۰۳a	۲۵/۰۱a	۲۰۹۳۹a	۹۱۰۷a	۲۷/۲۷a	۴/۰۰a	۱۵۲۶d	۷۶۴d
۱۰۰٪ ذرت+۴۰٪ لوبیا	۶۹۴/۵a	۱۷/۱۰ab	۲۸/۷۵a	۲۰۱۳۱a	۸۸۵۰ab	۲۶/۵۳a	۴/۰۰a	۳۱۹۷c	۱۵۶۱c
۱۰۰٪ ذرت+۶۰٪ لوبیا	۶۶۱/۰b	۱۶/۲۰b	۲۵/۹۵a	۱۹۸۲۶a	۸۳۰۷b	۳۱/۷۳a	۳/۵۳a	۴۸۲۲b	۲۴۱۶b
۱۰۰٪ ذرت+۸۰٪ لوبیا	۶۵۵/۵b	۱۶/۰۰b	۲۷/۱۳a	۱۹۴۹۷a	۸۲۲۸b	۲۹/۰۷a	۳/۷۰a	۵۶۷۶b	۲۸۲۹b
خالص	۶۹۰/۹a	۱۷/۲۳ab	۲۹/۱۰a	۱۹۹۴۴a	۸۸۶۰ab	۲۹/۱۳a	۳/۸۱a	۷۰۸۳a	۳۵۴۷a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.



شکل ۱. روند تغییرات شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف کشت مخلوط افزایشی ذرت- لوبیا در طول فصل رشد برای دو گیاه ذرت (الف) و لوبیا (ب)

مخلوط نسبت به کشت خالص ذرت دارای شاخص سطح برگ بیشتری بودند (شکل ۱- الف). بعد از کشت مخلوط افزایشی ۶۰٪ لوبیا که نسبت به کشت خالص ذرت افزایش ۲۳ درصدی در حداکثر شاخص سطح برگ ذرت نسبت به کشت خالص ذرت را داشت، به‌ترتیب کشت‌های مخلوط افزایشی ۴۰٪، ۸۰٪ و ۲۰٪ لوبیا دارای شاخص سطح برگ بیشتری در گیاه ذرت بودند. به‌طوری‌که نسبت به کشت خالص ذرت باعث افزایش ۱۸/۶، ۱۰ و ۴ درصدی در حداکثر شاخص سطح برگ شدند (شکل ۱- الف). شاخص سطح برگ بیشتر تا حد معین باعث جذب بیشتر نور و در نتیجه فتوسنتز بیشتر شده و در نهایت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]

باعث تولید ماده خشک بیشتر می‌شود. به‌طوری‌که در تیمارهایی که میزان شاخص سطح برگ بیشتری داشتند، دارای ماده خشک بیشتری نیز بودند (۵ و ۲۷).

آدنیان و همکاران (۲) گزارش کردند که تراکم زیاد در گیاهان باعث بیشتر شدن رقابت بر سر نور می‌شود که به گیاه در جهت رشد و سطح برگ بیشتر در سایه‌انداز کمک می‌کند. از اینرو، ذرت در کشت مخلوط به‌دلیل رقابت بر سر نور و هم‌چنین کنترل علف‌های هرز در مقایسه با کشت خالص دارای گسترش سطح برگ بیشتری می‌باشد. والکر و اگیندو (۳۶) نیز گزارش کردند که سیستم مخلوط سطح برگ بیشتری از کشت خالص ذرت و لوبیا در همه فصول داشت. بیشترین شاخص سطح برگ لوبیا در طول فصل رشد، مربوط به کشت خالص لوبیا بود که به‌دلیل تراکم زیاد لوبیا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بود (شکل ۱- ب). حداکثر شاخص‌سطح برگ در کشت خالص لوبیا برابر با ۲/۷۱ بود که بیشترین مقدار را در بین تیمارها داشت. مؤمنی (۲۴) در تحقیق خود در کشت مخلوط ذرت و لوبیا اظهار داشت که هر دو گیاه در کشت خالص سطح برگ بیشتری نسبت به کشت مخلوط داشتند. با افزایش تراکم لوبیا در کشت مخلوط افزایشی، شاخص سطح برگ لوبیا افزایش یافت. به‌طوری‌که حداکثر شاخص سطح برگ این گیاه در کشت‌های مخلوط افزایشی ۲۰٪، ۴۰٪، ۶۰٪ و ۸۰٪ لوبیا به‌ترتیب برابر با ۰/۵۹، ۱/۲۵، ۱/۸۷ و ۲/۲۳ بود (شکل ۱- ب).

جذب تشعشع

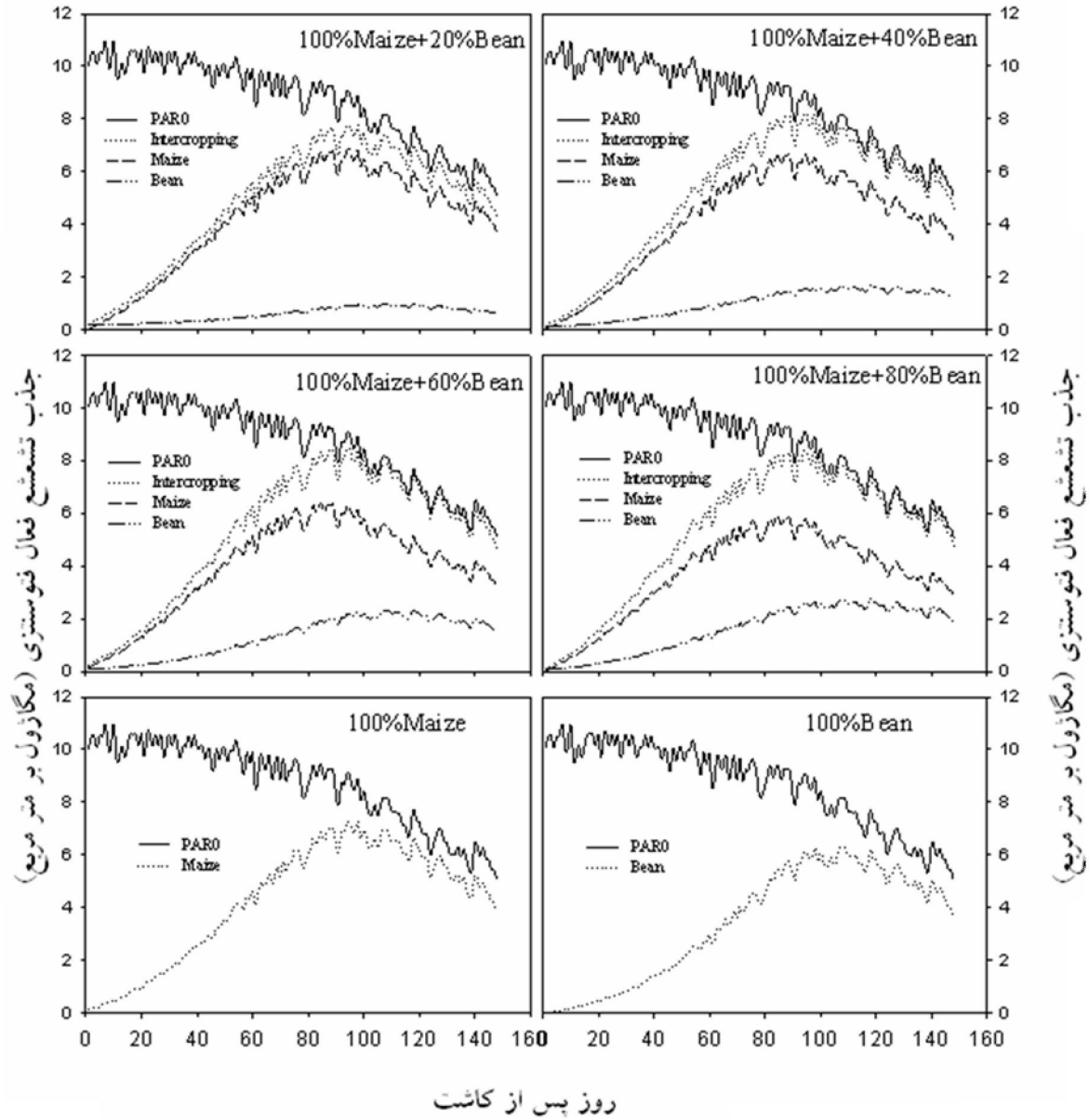
در شکل ۲ میزان تشعشع بالای سایه‌انداز و هم‌چنین میزان تشعشع جذب شده توسط کل سایه‌انداز کشت مخلوط و سهم هر کدام از دو گیاه ذرت و لوبیا از تشعشع جذب شده در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و کشت خالص هر دو گونه نشان داده شده است. الگوی تغییرات زمانی جذب نور در تمامی تیمارها از الگوی رشد سطح برگ تبعیت داشت (شکل‌های ۱ و ۲). با توجه به شکل ۲، دیده می‌شود که بعد از بسته شدن سایه‌انداز، تقریباً تمام تشعشع رسیده به سطح سایه‌انداز در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، به‌ویژه در تراکم‌های بالای لوبیا در مخلوط با ذرت، جذب شده است. در صورتی‌که در کشت خالص دو گونه، مقداری از تشعشع رسیده به سایه‌انداز از دسترس گیاه خارج شده است. به‌عبارتی، استفاده از منبع نور در تیمارهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به‌طور بهینه و با کمترین تلفات نوری صورت گرفته است. اختلاف ارتفاع در اجزای کشت مخلوط سبب می‌گردد که سطح سایه‌انداز از حالت مسطح به حالت موجی درآمده و در نتیجه سطح جذب نور افزایش پیدا می‌کند (۱۲).

با افزایش تراکم لوبیا به ذرت، میزان جذب تشعشع توسط سایه‌انداز مخلوط از کل تشعشع رسیده به بالای سایه‌انداز افزایش می‌یابد که به‌دلیل پر شدن نیچ‌های خالی توسط گیاه لوبیا و به‌عبارتی پوشش بیشتر سطح خاک می‌باشد. به‌طوری‌که در کشت افزایشی ۸۰٪ لوبیا به ذرت، بیشترین تشعشع توسط سایه‌انداز مخلوط جذب شده بود (شکل ۲). هم‌چنین، با افزایش تراکم لوبیا به ذرت، سهم تشعشع جذب شده توسط لوبیا افزایش و سهم گیاه ذرت از کل تشعشع جذب شده توسط سایه‌انداز مخلوط کاهش می‌یابد (شکل ۲). آوال و همکاران (۶) بیان کردند که افزایش جذب نور در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به‌دلیل افزایش طول دوره جذب (برتری زمانی) یا در نتیجه پوشش بیشتر سطح خاک (برتری مکانی) در کشت مخلوط می‌باشد.

میزان کل تشعشع جذب شده توسط ذرت و لوبیا در کشت‌های مخلوط و خالص دو گونه در جدول ۲ ارائه شده است. میزان تشعشع جذب شده توسط ذرت در کشت خالص آن نسبت به کشت‌های مخلوط بیشتر بود، که دلیل این امر احتمالاً به‌خاطر رقابت نوری ایجاد شده بین ذرت و لوبیا در کشت‌های مخلوط می‌باشد (جدول ۲). هم‌چنین، میزان تشعشع جذب شده توسط لوبیا در کشت خالص (۵۰۴ MJ/m^2) نسبت به کشت مخلوط (۸۹-۲۳۴ MJ/m^2) بیشتر بود، که دلیل اصلی این اختلاف در جذب نور و تراکم زیاد لوبیا در کشت خالص نسبت به کشت‌های مخلوط بود. هر چند با در نظر گرفتن تراکم

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]



شکل ۲. روند تغییرات میزان تشعشع فعال فتوسنتزی رسیده به بالای سایه‌انداز (PAR0)، میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده توسط سایه‌انداز مخلوط ذرت- لوبیا (Intercropping) و هم‌چنین سهم هر دو گیاه ذرت (Maize) و لوبیا (Bean) به‌صورت جداگانه در کشت مخلوط و خالص هر دو گونه

یکسان لوبیا در کشت خالص و مخلوط نیز می‌توان نتیجه گرفت که جذب نور توسط لوبیا در کشت مخلوط کمتر از کشت خالص آن است، زیرا با در نظر گرفتن رقابت نوری ایجاد شده بین لوبیا و ذرت در کشت مخلوط و هم‌چنین ارتفاع بلندتر ذرت نسبت به لوبیا، می‌توان بیان کرد که جذب نور توسط لوبیا در کشت خالص، در تراکم یکسان نیز بیشتر از کشت مخلوط می‌باشد.

جذب نسبی تشعشع برای گیاه ذرت در تمام تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از لوبیا بود و با افزایش تراکم لوبیا در کشت‌های مخلوط، جذب نسبی تشعشع در ذرت کاهش و در لوبیا افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که جذب نسبی در ذرت از ۰/۹۹ به ۰/۸۶ کاهش یافت. در حالی‌که در لوبیا از ۰/۱۸ به ۰/۴۶

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]

جدول ۲. میزان کل تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده توسط ذرت و لوبیا در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و خالص هر دو گونه، جذب نسبی هر دو گونه و نسبت برابری زمین برای تشعشع فعال فتوسنتزی (LER_{PAR})

نسبت اختلاط	تشعشع جذبی (MJ/m^2)				جذب نسبی		LER_{PAR}
	ذرت مخلوط	لوبیا مخلوط	ذرت خالص	لوبیا خالص	ذرت	لوبیا	
۱۰۰٪ ذرت	–	–	۶۳۱	–	–	–	–
۱۰۰٪ ذرت+۲۰٪ لوبیا	۶۲۷	۸۹	–	–	۰/۹۹	۰/۱۸	۱/۱۷
۱۰۰٪ ذرت+۴۰٪ لوبیا	۶۰۴	۱۴۷	–	–	۰/۹۶	۰/۲۹	۱/۲۵
۱۰۰٪ ذرت+۶۰٪ لوبیا	۵۸۶	۱۹۳	–	–	۰/۹۳	۰/۳۸	۱/۳۱
۱۰۰٪ ذرت+۸۰٪ لوبیا	۵۴۰	۲۳۴	–	–	۰/۸۶	۰/۴۶	۱/۳۲
۱۰۰٪ لوبیا	–	–	–	۵۰۴	–	–	–

افزایش نشان داد (جدول ۲). نسبت برابری زمین برای تشعشع فعال فتوسنتزی در تمام تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از لحاظ جذب تشعشع می‌باشد (جدول ۲). نتایج نشان داد که با افزایش تراکم لوبیا در کشت مخلوط، نسبت برابری زمین برای تشعشع افزایش می‌یابد، زیرا با افزایش تراکم لوبیا، سطح سایه‌انداز در مخلوط افزایش یافته و تلفات نوری کاهش می‌یابد و در نتیجه میزان جذب نور افزایش یافته و منجر به زیادتر بودن نسبت برابری زمین برای تشعشع فعال فتوسنتزی می‌گردد.

کارایی مصرف نور

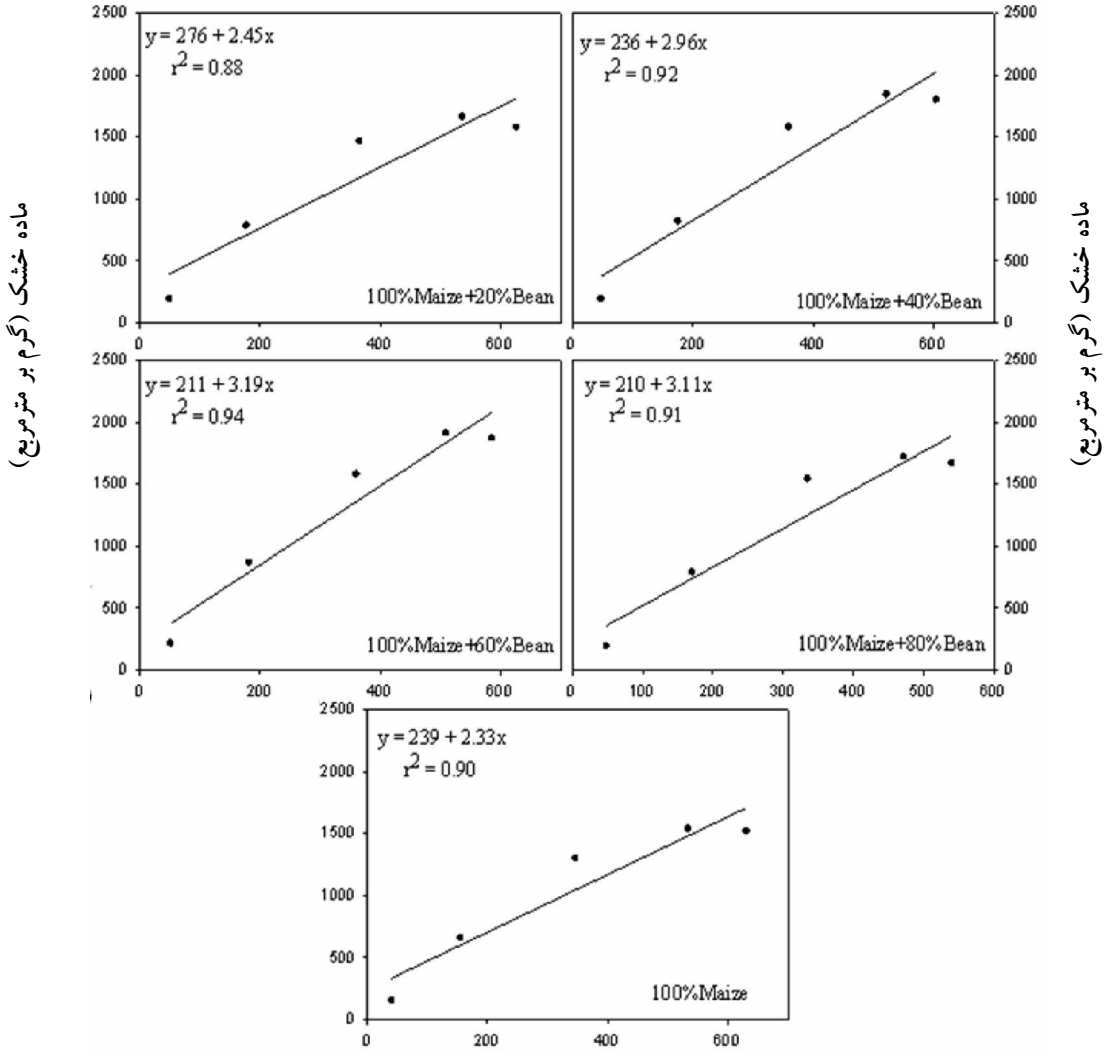
در تمام تیمارهای کشت مخلوط ذرت- لوبیا و کشت خالص هر دو گونه، تجمع ماده خشک در ذرت و لوبیا با میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی رابطه خطی نشان داد و ضریب تبیین در تمام تیمارها بیشتر از ۰/۹ بود (به‌جز رابطه خطی بین تجمع ماده خشک ذرت و تشعشع فعال فتوسنتزی در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۲۰٪ لوبیا با ذرت) (شکل‌های ۳ و ۴). شیب این رابطه بیانگر کارایی مصرف نور بوده که برای گیاه ذرت بین ۲/۳۳ تا ۳/۱۹ گرم بر مگاژول (شکل ۳) و برای گیاه لوبیا بین ۰/۹۴ تا ۱/۷۸ گرم بر مگاژول (شکل ۴) متغیر بود. با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان نتیجه گرفت که به‌طورکلی کارایی مصرف نور در گیاه ذرت نسبت به گیاه لوبیا بیشتر می‌باشد، زیرا گیاه ذرت دارای سیستم فتوسنتزی چهار کربنه بوده و کارایی مصرف نور در گیاهان چهار کربنه بیشتر از گیاهان سه کربنه می‌باشد. مطالعات مختلفی کارایی مصرف نور بالاتر گیاهان C_4 را نسبت به C_3 گزارش کرده‌اند و آن را ناشی از توان فتوسنتزی بهتر گیاهان C_4 می‌دانند (۲۲، ۲۴، ۲۶ و۳۲).

کارایی مصرف نور برای هر دو گیاه ذرت و لوبیا در کلیه تیمارهای کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص دو گونه بود. در واقع در زراعت‌های تک‌کشتی، همواره مقادیری از تشعشع فتوسنتزی به‌دلیل وجود فضاهای خالی در سایه‌انداز تلف می‌شود. ولی در کشت مخلوط، به‌دلیل پوشش بیشتر و مناسب‌تر سطح خاک، این تلفات کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب تشعشع کل نسبت به تک‌کشتی بیشتر می‌شود. این مسأله به تنهایی می‌تواند سبب افزایش عملکرد و در نتیجه بهبود کارایی مصرف نور گردد (۲۳).

بیشترین کارایی مصرف نور ذرت در کشت مخلوط افزایشی ۶۰٪ لوبیا (۳/۱۹ گرم بر مگاژول) و کمترین میزان آن در کشت خالص ذرت (۲/۳۳ گرم بر مگاژول) حاصل شد (شکل ۳). افزایش تراکم لوبیا از ۲۰٪ تا ۸۰٪ در کشت‌های مخلوط به‌ترتیب باعث افزایش ۵، ۲۷، ۳۷ و ۳۳ درصدی در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]

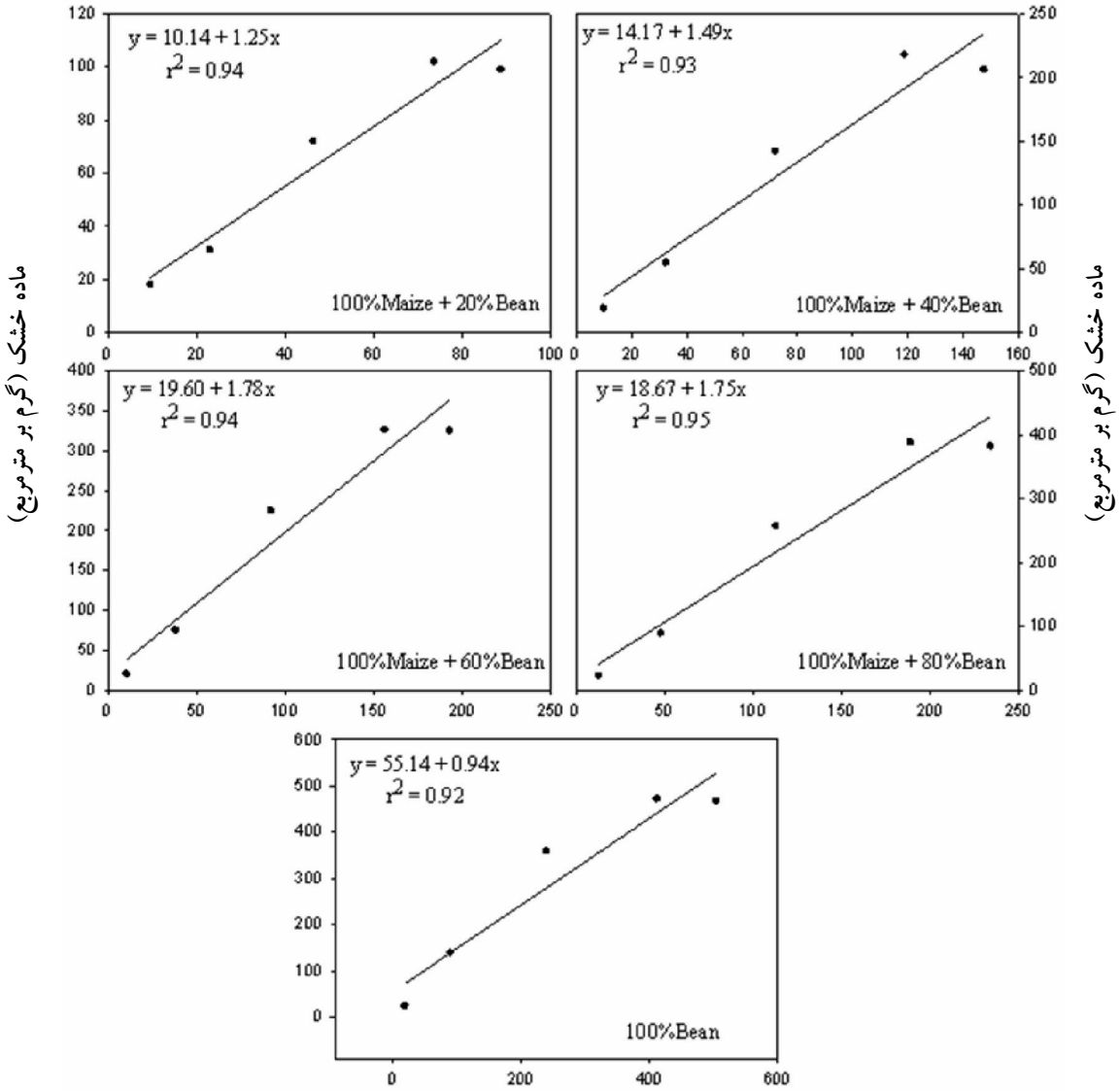


شکل ۳. رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه ذرت در تیمارهای مختلف کشت مخلوط ذرت- لوبیا و کشت خالص ذرت (شیب این رابطه خطی بیانگر کارایی مصرف نور توسط ذرت می‌باشد).

کارایی مصرف نور ذرت نسبت به کشت خالص ذرت گردید. در کشت مخلوط افزایشی ۶۰٪ لوبیا، گیاه لوبیا دارای بیشترین کارایی مصرف نور (۱/۷۸ گرم بر مگاژول) و در کشت خالص لوبیا دارای کمترین کارایی مصرف نور (۰/۹۴ گرم بر مگاژول) بود (شکل ۴).

کارایی مصرف نور لوبیا در کشت‌های مخلوط افزایشی ۲۰٪، ۴۰٪، ۶۰٪ و ۸۰٪ لوبیا به‌ترتیب ۳۳٪، ۵۸٪، ۸۹٪ و ۸۶٪ بیشتر از کشت خالص لوبیا بود. با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد که کشت مخلوط باعث بهبود کارایی مصرف نور برای هر دو گیاه ذرت و لوبیا نسبت به کشت خالص آنها شده است و هم‌چنین این بهبود کارایی مصرف نور در گیاه لوبیا نسبت به گیاه ذرت بیشتر نمود پیدا کرده است. به‌عبارتی، میزان افزایش کارایی مصرف نور در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در گیاه لوبیا بیشتر از ذرت بوده است. از آنجا که گیاه لوبیا در زیر سایه‌انداز ذرت قرار داشت، سهم زیادی از نور رسیده به آن از نور پخشی (Diffuse radiation) بود که معمولاً با کارایی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]



شکل ۴. رابطه رگرسیونی بین تجمع ماده خشک و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی برای گیاه لوبیا در تیمارهای مختلف کشت مخلوط ذرت- لوبیا و کشت خالص لوبیا (شیب این رابطه خطی بیانگر کارایی مصرف نور توسط لوبیا می‌باشد).

بیشتری مصرف می‌شود. نصیری محلاتی و همکاران (۲۷) بیان کردند که درکشت‌های مخلوطی که گونه‌های همراه دوره رشد خود را به‌صورت همزمان تکمیل می‌کنند، غالبیت یک گونه باعث افزایش رقابت نوری شده و این امر موجب خواهد شد تا کارایی مصرف نور گونه‌ای که در شرایط محدودیت نوری قرار دارد افزایش یابد، که شرایط برای لوبیا به این صورت بود. هم‌چنین، در بسیاری از گیاهان زراعی، نیمی از شدت نور رسیده به بالای سایه‌انداز بیشتر از نیاز گیاه برای رسیدن به شرایط اشباع نوری است و هر گونه افزایش تشعشع در بالای سایه‌انداز باعث بهبود توان فتوسنتزی در این بخش از سایه‌انداز نمی‌شود (۲۹). کاهش تشعشع رسیده به سایه‌انداز ممکن است باعث افزایش کارایی مصرف نور در برگ‌های واقع در پایین گیاه شود، که برای گیاه لوبیا در این آزمایش صادق بود.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، برتری سیستم کشت مخلوط نسبت به سیستم تک‌کشتی به‌دلیل استفاده بهینه از منابع موجود می‌باشد. تفاوت اجزای مخلوط در استفاده از منابع موجب بالا رفتن کارایی استفاده از منابع می‌گردد (۲۵). بهبود کارایی مصرف نیتروژن (۱۸)، آب (۲۷ و ۳۲) و نور (۱۱ و ۱۲) در سیستم کشت مخلوط گزارش شده است. یکی از مهم‌ترین دلایل بالا رفتن بهره‌وری در کشت مخلوط را می‌توان برهمکنش مثبت بین گیاهان دانست (۶). به‌عنوان مثال، فراهمی نیتروژن توسط بقولات در کشت مخلوط می‌تواند کارایی مصرف نور را در گیاه دیگر کشت مخلوط بالا ببرد. نتایج این آزمایش به خوبی تأثیر مثبت کشت مخلوط ذرت- لوبیا را در بهبود جذب تشعشع و در نتیجه کارایی مصرف نور در هر دو گیاه نشان داد. در بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط نیز کشت مخلوط افزایشی ۶۰٪ لوبیا با ذرت به‌عنوان مناسب‌ترین الگوی کشت افزایشی، با توجه به بهبود کارایی مصرف نور، در نظر گرفته شد.

منابع مورد استفاده

1. Abraham, C. T. and S. P. Singh. 1984. Weed management in sorghum- legume intercropping system. *Journal of Agriculture Science* 103:356-360.
2. Adeniyan, O. N., S. R. Akande, M. O. Balogun and J. O. Saka. 2007. Evaluation of crop yield of African yam bean, maize and kenaf under intercropping systems. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environment Science* 2(1): 99-102.
3. Alizadeh, Y., A. Koocheki and M. Nassiri Mahallati. 2010. Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.*)* and herb sweet basil (*Ocimum basilicum* L.*). Journal of Agroecology* 1: 94-104. (In Farsi).
4. Altieri, M. A. and M. Liebman. 1986. Insect, weed and plant disease management in multiple cropping systems. PP. 182-218. *In:* Francis, C. A. (Ed.), Multiple Cropping Systems, MacMillan Pub., New York.
5. Acreche, M. M. and G. A. Slafer. 2009. Grain weight, radiation interception and use efficiency as affected by sink-strength in Mediterranean wheats released from 1940 to 2005. *Field Crops Research* 110: 98-105.
6. Awal, M. A., H. Koshi and T. Ikeda. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 139: 74-83.
7. Black, C. and C. Ong. 2000. Utilization of light and water in tropical agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 104: 25-37.
8. Carruthers, K., B. Prithiviraj, Q. Fe, D. Cloutier, R. C. Martin and D. L. Smith. 2000. Intercropping corn with soybean, lupin and forages: Yield component responses. *European Journal of Agronomy* 12: 103-115.
9. Carruthers, K., Q. Fe, D. Cloutier and D. L. Smith. 1992. Intercropping corn with soybean, lupin and forages: Weed control by intercrops combined with inter row cultivation. *European Journal of Agronomy* 8: 225-238.
10. Clark, E. A. and C. A. Francis. 1985. Transgressive yielding in time and space. *Field Crops Research* 11: 37-53.
11. Connolly, J., H. C. Goma and K. Rahim. 2001. The information content of indicators in intercropping research. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87: 191-207.
12. Fukai, S. and B. R. Trenbath. 1993. Processes determining intercrop productivity and yields of component crops. *Field Crops Research* 34: 247-271.
13. Gao, Y., A. W. Duan, J. S. Sun, F. S. Li, Z. G. Liu, H. Liu and Z. D. Liu. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research* 111: 65-73.
14. Goudriaan, J. and H. H. Van Laar. 1993. Modeling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press.
15. Hauggaard-Nielsen, H., M. K. Andersen, B. Jornsgaard and E. S. Jensen. 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea–barley intercrops. *Field Crops Research* 95: 256-267.
16. Hibberd, J. M., J. E. Sheehy and A. Langdale. 2008. Using C4 photosynthesis to increase the yield of rice-rationale and feasibility. *Current Opinion in Plant Biology* 11: 228-231.
17. Hosseinpanahi, F., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and R. Ghorbani. 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato/corn intercropping. *Journal of Agroecology* 2: 50-60. (In Farsi).
18. Keating, B. A. and P. S. Carberry. 1993. Resource capture and use in intercropping: Solar radiation. *Field Crops Research* 34: 273-301.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]

19. Kiniry, J., C. Jones, J. O'Toole, R. Blanchet, M. Cabelguenne and D. Spanel. 1989. Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five crop species. *Field Crops Research* 20: 51-64.
20. Koocheki, A., M. Nassiri Mahallati, F. Mondani, H. Feizi and S. Amirmoradi. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. *Journal of Agroecology* 1: 13-23. (In Farsi).
21. Manna, M. C. and M. V. Singh. 2001. Long- term effects of intercropping and bio-litter recycling on soil biological activity and fertility status of subtropical soils. *Bioresource Technology* 76: 143-150.
22. Mazaheri, D. 1993. Intercropping. Tehran University Press, Tehran. (In Farsi).
23. Mitchell, P. L., J. E. Sheehy and F. I. Woodward. 1998. Potential yields and the efficiency of radiation use in rice. IRRI Discussion Paper Series No. 32, International Rice Research Institute, Manila, Philippines.
24. Momeni, S. 2008. Assessing effect of different planting patterns of bean-maize intercropping on growth traits and yield in duple cropping. MSc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Farsi).
25. Morris, R. A. and D. P. Carrity. 1993. Resource capture and utilization in intercropping: Water. *Field Crops Research* 34: 303-317.
26. Nachigera, G. M., J. F. Led and X. Drye. 2010. Shoot and root competition in potato/maize intercropping: Effects on growth and yield. *Environmental and Experimental Botany* 22: 118-129.
27. Nassiri Mahallati, M., A. Koocheki and M. Jahan. 2011. Radiation absorption and use efficiency in relay intercropping and double cropping of winter wheat and maize. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8: 878-890. (In Farsi).
28. Nassiri Mahallati, M., A. Koocheki, P. Rezvani Moghaddam and A. Beheshti. 2001. Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Press., Mashhad, Iran (In Farsi).
29. Pessarakli, M. 2005. Handbook of Photosynthesis. Taylor and Francis Pub., USA.
30. Rajulee, M. N., R. Montandon and J. E. Slosser. 1997. Relay intercropping to enhance abundance of insect predators of cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover) in Texas cotton. *International Journal of Pest Management* 43: 227-232.
31. Rangasamy, A., V. V. Krishnamurthi, B. Rajkannan, M. R. Iruthagaraj and M. Ajyaswamy. 1988. Intercropping of rows of green gram in cotton. *Seed and Farmers* 14: 20-23.
32. Sage, R. F. and R. K. Monson. 1999. C_4 Plant Biology. Academic Press., USA.
33. Tsubo, M., S. Walker and E. Mukhala. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research* 71: 17-29.
34. Tsubo, M., S. Walker and H.O. Ogindo. 2005. A simulation model of cereal- legume intercropping systems for semi-arid regions. I. Model development. *Field Crops Research* 93: 10-22.
35. Van der Meer, J. 1989. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, New York, 237 p.
36. Walker, S. and H. O. Ogindo. 2003. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. *Physics and Chemistry of the Earth* 28: 919-926.
37. Willey, R. W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agricultural Water Management* 17: 215-231.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2025-08-22]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1392.3.9.2.5]