

## ارزیابی عملکرد اقتصادی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط و خالص ذرت و پنبه تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن

روح‌الله مرادی<sup>۱\*</sup>، علیرضا کوچکی<sup>۲</sup> و مهدی نصیری محلاتی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۸/۱۸)

### چکیده

به منظور بررسی قابلیت کشت مخلوط ذرت و پنبه جهت بهبود کارایی مصرف نور، آزمایشی یک ساله به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارها شامل نیتروژن خالص در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و آرایش کاشت نیز در ۳ سطح (کشت خالص ذرت، کشت خالص پنبه و کشت مخلوط یک ردیف در میان پنبه و ذرت) بود. در طی دوره رشد، صفات شاخص سطح برگ، میزان تولید ماده خشک و عملکرد اقتصادی اندازه‌گیری شد. با افزایش سطوح نیتروژن، عملکرد اقتصادی ذرت و پنبه افزایش معنی‌داری یافت. عملکرد اقتصادی هر دو گیاه در کشت خالص به دلیل تراکم بوته بیشتر، بالاتر از مخلوط بود. شاخص سطح برگ و میزان تابش فعال فتوسنتزی جذب شده طی فصل رشد در تیمار مخلوط بالاتر از کشت خالص دو گیاه ذرت و پنبه بود و با افزایش سطوح کودی مورد استفاده، این صفات در کلیه تیمارها افزایش نشان داد. نسبت برابری زمین برحسب تابش در کلیه سطوح کودی بالاتر از ۱ بود، که نشان‌دهنده نقش مثبت کشت مخلوط در جذب تابش نسبت به کشت خالص دو گونه بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که در هر دو گیاه ذرت و پنبه، کارایی مصرف نور در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص دو گونه بود. همچنین، در تمامی تیمارها، گیاه ذرت دارای کارایی مصرف نور بالاتری نسبت به پنبه بود. به نظر می‌رسد که استفاده از کشت مخلوط می‌تواند راه‌کار مناسبی برای استفاده بهتر از منابع باشد.

واژه‌های کلیدی: جذب نور، تابش فعال فتوسنتزی، نسبت برابری زمین، جذب نسبی

۱. استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. استادان گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: R.moradi@uk.ac.ir

## مقدمه

در کشاورزی جدید نظام‌های تک‌کشتی بر خلاف نظام کشاورزی سنتی که بسیاری از احتیاجات زندگی توسط خود کشاورز تولید می‌شد، انحصار هر محصول در منطقه خاصی تشویق می‌شود که این عامل، خودکفایی جوامع بومی و ملی را کاهش می‌دهد. بنابراین، نیاز به طراحی و اجرای نظام‌های پایدار کشاورزی می‌باشد (۱۶ و ۲۶). یکی از راه‌های افزایش تولید محصولات کشاورزی از طریق بهره‌برداری بیشتر از شرایط محیطی، استفاده مؤثرتر از زمان و مکان و یا به عبارت دیگر افزایش کارایی استفاده از منابع با استفاده از کشت مخلوط است (۳۱). کشت مخلوط از روش‌های زراعی و با قدمتی دیرینه بوده که کشاورزان در جهت بهبود شرایط زراعی و افزایش سازگاری با طبیعت در پیش گرفته‌اند (۱). از نظر تئوری در زراعت تک‌کشتی هدف نهایی که توسط تولید کننده دنبال می‌شود به حداکثر رساندن عملکرد گیاه زراعی می‌باشد ولی در زراعت‌های چند کشتی آنچه بیشتر مورد نظر است مهارت‌های زمانی و مکانی یا به عبارت دیگر حداکثر استفاده از فصل رشد، آب، درجه حرارت، نور و سایر منابع می‌باشد (۶). نظام‌های چند کشتی از ثبات اکولوژیکی بالاتری نسبت به نظام‌های تک‌کشتی برخوردار می‌باشند، خطرپذیری تولید در سیستم‌های کشت مخلوط در سال‌های مختلف کمتر است (۹). به‌طور کلی، در رهیافت‌های بوم سازگار افزایش راندمان منابع مورد استفاده، نخستین گام در جهت پایداری است.

نور یکی از مهم‌ترین منابع مصرفی در رشد و نمو گیاهان می‌باشد. در شرایط مطلوب زراعی که هیچ عامل محدود کننده دیگری وجود ندارد، بین وزن خشک تولیدی با میزان نور جذب شده، به‌ویژه تابش فعال فتوسنتزی جذب شده یک رابطه خطی وجود داشته و شیب رگرسیون خطی بین جذب تابش جمعی و زیست‌توده تولیدی گیاه، کارایی مصرف نور را تعیین می‌کند (۱۰). مدیریت‌های مختلف زراعی می‌تواند کارایی نور را تحت تأثیر خود قرار دهد. یکی از این مدیریت‌ها کشت مخلوط می‌باشد. این‌گونه بیان شده است که در کشت مخلوط،

جامعه گیاهی با پوشاندن زمین در زمان کوتاه‌تر، جذب و کارایی نور را افزایش می‌دهد (۱۱). به‌طور کلی 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 و 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 (۲۴). به‌عنوان مثال، اختلاف ارتفاع در اجزای کشت مخلوط سبب می‌گردد که سطح سایه‌انداز از حالت مسطح به حالت موجی در آمده در نتیجه سطح جذب نور افزایش پیدا می‌کند (۷). کشت‌های مخلوط به‌واسطه 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 (۵). آبراهام و سینگ (۲) 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. یکی از عواملی که تأثیر زیادی بر کارایی مصرف نور دارد، میزان نیتروژن موجود در خاک می‌باشد. گزارش شده است با افزایش غلظت نیتروژن در گیاه به‌دلیل افزایش میزان فتوسنتز، کارایی مصرف نور در گیاه افزایش می‌یابد (۲۹). اکمل و جانسون (۳) با بررسی سطوح مختلف نیتروژن بر روی گیاه لولیوم گزارش کردند که افزایش نیتروژن باعث افزایش کارایی نور می‌گردد. همچنین در آزمایشات مختلف عنوان شده است، به‌دلیل تفاوت بودن عمق ریشه و زمان حداکثر نیاز گیاهان در کشت مخلوط به نیتروژن میزان جذب نیتروژن از خاک در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیشتر شده و این افزایش کارایی جذب نیتروژن در خاک افزایش کارایی نور را نیز به دنبال دارد (۵ و ۴۰).

به‌طور کلی، گیاهان C4 مانند ذرت نیاز نوری بالاتری نسبت

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

بافت	نیترژن (%)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	شوری (dS/m)	pH
لومی سیلتی	۰/۰۷	۱۳/۷	۱۱۹	۱/۲	۷/۵

زمین اضافه شد. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و بعد از آن هر ۱۰ روز یکبار به صورت نشتی و مبارزه با علف هرز توسط وجین دستی در سه نوبت انجام گرفت. در ابتدای فصل رشد بارش تگرگ سنگین باعث بروز خسارت به دو گیاه شد و تا حدودی رشد دو گیاه را به تأخیر انداخت.

#### اندازه‌گیری‌ها

۲۰ روز پس از سبز شدن هر دو هفته یکبار نمونه برداری تخریبی به منظور اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک کل انجام گرفت. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از دستگاه Leaf Area Meter مدل Licor استفاده شد. برای تعیین عملکرد نهایی در هر کرت دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و نیم متر از انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای حذف شد و در سطح باقی مانده عملکرد دانه ذرت و وش پنبه (اقتصادی) تعیین گردید. برداشت در هر دو گیاه به صورت هم‌زمان و توسط دست انجام گرفت. برداشت پنبه در یک پین صورت گرفت. بدین منظور، علاوه بر وش خارج شده از غوزه که براحتی قابل جمع‌آوری بود، غوزه‌های باز نشده نیز برداشت و وش آنها خارج و توزین شد.

محاسبه میزان جذب (مگاژول بر متر مربع) و کارایی مصرف نور (گرم بر مگاژول)

ابتدا برآورد مقادیر LAI روزانه از طریق برآزش معادله (۱) به دست آمد.

(۱)

$$y = a + b \times 4 \times \left( \exp\left(-\frac{x-c}{d}\right) \right) / \left( 1 + \exp\left(-\frac{x-c}{d}\right) \right)^2$$

به گیاهان با مسیر فتوسنتزی C3 مانند پنبه دارند (۱۴ و ۳۶). به نظر می‌رسد که با توجه به نیاز نوری پایین تر پنبه، این گیاه بتواند در سایه‌انداز ذرت رشد مناسبی داشته باشد. تاکنون کارایی مصرف نور این دو گیاه در حالت کشت مخلوط در ایران بررسی نشده است. بنابراین، هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد دانه ذرت و عملکرد وش پنبه به همراه بررسی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ذرت و پنبه در شرایط آب و هوایی مشهد و مقایسه آن با کشت خالص این گونه‌ها در سطوح مختلف نیترژن بود.

#### مواد و روش‌ها

##### موقعیت مکان اجرای طرح و تیمارهای مورد آزمایش

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا اجرا شد. آزمایشی یک‌ساله به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل کود نیترژن در چهار سطح: (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیترژن خالص در هکتار) و آرایش کاشت نیز در ۳ سطح (کشت خالص ذرت، کشت خالص پنبه و کشت مخلوط یک ردیف در میان پنبه و ذرت) بود.

زمین محل اجرای آزمایش، در سال زراعی قبل آیش بود. قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک از زمین محل اجرای آزمایش برداشت و جهت تعیین مقدار عناصر غذایی پر مصرف و pH به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. کاشت هر دو گیاه به صورت هم‌زمان در ۱۵ اردیبهشت در کرت‌های ۴ × ۳ متر با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر انجام گرفت. فاصله دو بوته ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله دو بوته پنبه (رقم ورامین) بر روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کود اوره (۴۶ درصد نیترژن) در دو نوبت قبل از کاشت و ۵۰ روز بعد از کاشت به

در این معادله،  $PAR_{i,m}$  و  $PAR_{i,s}$  به ترتیب تابش جذب شده توسط گونه‌ها در کشت مخلوط و خالص می‌باشد. دامنه کارایی مصرف نور برای گیاهان مختلف از ۰/۲ تا حدود ۵ متغیر بوده و هرچه ماده خشک تولیدی بیشتر باشد کارایی مصرف نور نیز بالاتر خواهد بود (۳۶). به‌عنوان نمونه کارایی مصرف نور برابر با ۱ گرم بر مگاژول نشان دهنده این مطلب است که به‌ازای یک مگاژول تابش رسیده به سایه‌انداز گیاه، ۱ گرم ماده خشک تولید شده است.

داده‌های حاصل از آزمایش براساس طرح آماری مورد استفاده، توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد جهت مقایسه میانگین استفاده شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Sigma Plot نسخه ۱۰ استفاده شد.

## نتایج و بحث

### عملکرد اقتصادی ذرت و پنبه

نتایج نشان داد که عملکرد دانه ذرت و عملکرد وش پنبه تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن و آرایش کاشت اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. به‌طوری‌که با افزایش سطوح نیتروژن عملکرد دانه ذرت افزایش یافت و سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار شاهد، عملکرد دانه ذرت را ۳۰ درصد افزایش داد (جدول ۲). این موضوع می‌تواند به‌دلیل تأثیر نیتروژن بر گسترش سطح برگ و تداوم بهتر آنها نسبت به تیمار عدم مصرف کود باشد (۳۵). احتمالاً این تیمار باعث بهبود ذخائر فتوسنتزی (۳۲) و بهبود عملکرد ذرت شده است. کمترین و بیشترین عملکرد وش نیز به ترتیب در تیمارهای صفر و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد (جدول ۲). با این وجود بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

عملکرد وش پنبه و دانه ذرت در تمامی تیمارهای مخلوط به‌طور معنی‌داری کمتر از کشت خالص آنها بود (جدول ۲). بدیهی است که افزایش عملکرد این دو گیاه در کشت خالص

که در این معادله  $a$ : عرض از مبدا،  $b$ : حداکثر LAI،  $c$ : زمان رسیدن به حداکثر LAI و  $d$ : نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ از مرحله خطی وارد مرحله نمایی می‌شود. میزان تابش روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه شده توسط گوآدریان و وان لار (۱۳) با احتساب ساعات آفتابی هر روز (استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم شناسی خراسان رضوی) برآورد گردید و ۵۰ درصد آن به‌عنوان تابش فعال فتوسنتزی (PAR) سپس میزان تابش روزانه جذب شده برای هر دو گونه براساس معادلات ۲ تا ۴ محاسبه شد (۳۹):

(۲)

$$I_{abs} = I_0 \left( 1 - e^{((-K_b \cdot LAI_b) + (-K_c \cdot LAI_c))} \right) \quad (۳)$$

$$I_b = I_{abs} \frac{(-K_b \cdot LAI_b)}{(-K_b \cdot LAI_b) + (-K_c \cdot LAI_c)} \quad (۴)$$

$$I_c = I_{abs} - I_b$$

$I_0$ ، میزان تابش در بالای سایه‌انداز؛  $I_{abs}$ ، نور جذب شده توسط سایه‌انداز مخلوط؛  $I_b$ ، نور جذب شده توسط گیاه ذرت؛  $I_c$ ، نور جذب شده توسط گیاه پنبه؛  $LAI_b$  و  $LAI_c$  به ترتیب شاخص سطح برگ ذرت و پنبه و  $K_b$  و  $K_c$ ، به ترتیب ضریب خاموشی نور ذرت (۰/۶) و پنبه (۰/۷) 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. نهایتاً 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.

(۵)

$$LER_{PAR} = \sum \frac{PAR_{i,m}}{PAR_{i,m}}$$

جدول ۲. اثر تیمارهای مختلف کودی و آرایش کاشت بر عملکرد ذرت و پنبه

عملکرد و ش پنبه (Kg/ha)	عملکرد دانه ذرت (Kg/ha)	تیمار	
۹۵۷/۰ <sup>c</sup>	۴۱۹۵/۰ <sup>c</sup>	۰	
۱۲۵۴/۲ <sup>b</sup>	۴۶۱۷/۵ <sup>b</sup>	۵۰	سطوح نیتروژن
۱۴۸۲/۵ <sup>b</sup>	۵۴۶۱/۲ <sup>ab</sup>	۱۰۰	(Kg/ha)
۲۰۳۶/۷ <sup>a</sup>	۶۰۱۹/۸ <sup>a</sup>	۱۵۰	
۱۸۸۹/۳ <sup>a</sup>	۶۵۹۳/۳ <sup>a</sup>	خالص	آرایش کاشت
۹۷۵/۸ <sup>b</sup>	۳۵۵۳/۵ <sup>b</sup>	مخلوط	

برای هر تیمار، در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

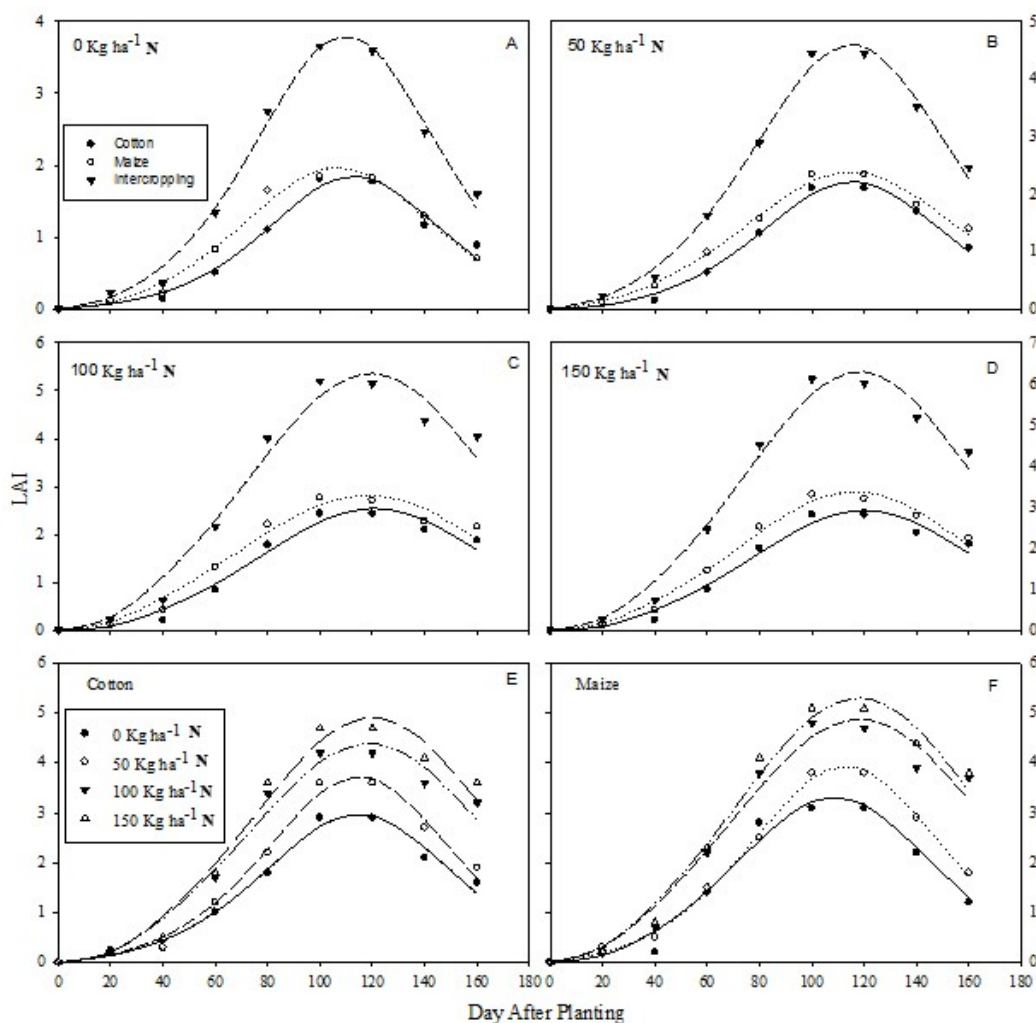
شاخص سطح برگ تیمارها قابل مشاهده می‌باشد. شکل (۱-A-D) نشان‌دهنده روند تغییرات سطح برگ در تیمارهای کشت مخلوط در سطوح مختلف نیتروژن می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص سطح برگ ذرت و پنبه در تیمار کشت مخلوط کمتر از کل مخلوط می‌باشد. در تمامی سطوح نیتروژن، شاخص سطح برگ ذرت بالاتر از پنبه بود. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح نیتروژن از صفر تا ۱۵۰، شاخص سطح برگ در کشت مخلوط افزایش نشان داد، به‌عنوان مثال حداکثر شاخص سطح برگ کل مخلوط در سطوح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، به‌ترتیب حدود ۳/۵، ۴/۵، ۵ و ۶ بود (شکل ۱-A-D). بالاترین شاخص سطح برگ ذرت و پنبه در کشت مخلوط نیز به‌ترتیب معادل ۳ و ۲/۵ در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد (شکل ۱-B). از آنجایی که نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز گیاهان می‌باشد، بدیهی است که با افزایش سطوح نیتروژن رشد گیاه بهبود یافته و در نتیجه زیست‌توده و سطح برگ بالاتری را تولید می‌کند. آزمایش‌های مختلفی افزایش سطح برگ را در نتیجه افزایش سطوح نیتروژن گزارش کرده‌اند (۱۷ و ۲۲).

روند تغییرات شاخص سطح برگ ذرت و پنبه در کشت خالص تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن در شکل (۱-E و F) نشان داده شده است. در هر دو گیاه ذرت و پنبه با افزایش سطوح نیتروژن از صفر تا ۱۵۰، شاخص سطح برگ گیاه

به‌خاطر تعداد بوته بیشتر آنها می‌باشد. پایین بودن عملکرد گونه‌ها در مخلوط نسبت به خالص که در اکثر مطالعات گزارش شده است، در برخی موارد بسیار چشمگیر بوده، به‌طوری‌که باعث خواهد شد مزایای مخلوط از نظر عملکرد کل پنهان بماند (۱۵).

### شاخص سطح برگ

صرف‌نظر از آرایش کاشت و سطوح نیتروژن، روند تغییرات شاخص سطح برگ در تمامی تیمارهای مورد آزمایش مشابه بود (شکل ۱). به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد با گذشت زمان شاخص سطح برگ به‌کندی افزایش یافت و در ادامه روند خطی پیدا کرد و ۱۰۰ روز پس از کاشت به بالاترین مقدار خود رسید و پس از آن به‌دلیل پیر شدن برگ‌ها و ریزش آنها کاهش یافت. در کلیه تیمارهای آزمایشی شاخص سطح برگ تا اواسط دوره رشد در گیاه ذرت بالاتر از پنبه بود و پس از آن اختلاف این صفت بین ذرت و پنبه کاهش یافت. این موضوع به‌دلیل رشد کند پنبه در اوایل رشد بوده و اینکه بعد از آن پنبه سایه‌انداز متراکمی تشکیل داده و به‌خوبی سطح زمین را می‌پوشاند. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، در ابتدای فصل رشد بین شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف تفاوتی دیده نمی‌شود، چون در ابتدای فصل رشد گیاه بیشتر انرژی را صرف توسعه ریشه می‌کند. ولی با شروع رشد سریع گیاه اختلاف بین



شکل ۱. روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) ذرت و پنبه در کشت مخلوط (A-D) و کشت خالص (E-F) در سطوح مختلف نیتروژن

۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، شاخص سطح برگ ذرت و پنبه کمتر از ۴ می‌باشد ولی در کشت مخلوط این دو گیاه کرت مخلوط شاخص سطح برگی بالاتر از ۴ را دارا می‌باشد (شکل ۱- B, E, F). این روند برای دیگر سطوح نیتروژن نیز صادق می‌باشد. از آنجایی که ذرت و پنبه دارای ارتفاع و ساختمان سایه‌انداز متفاوتی می‌باشند، به‌نظر می‌رسد کشت مخلوط آنها در کل توانسته است سطح زمین را به‌خوبی پوشش داده و سطح برگ بالاتری را نسبت به کشت خالص آنها تولید

افزایش چشم‌گیری نشان داد. در هر دو گیاه بالاترین شاخص سطح برگ در ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز پس از کاشت مشاهده شد. بالاترین شاخص سطح برگ ذرت و پنبه در کشت خالص به‌ترتیب معادل حدود ۵/۵ و ۵ در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده شد (شکل ۱- E و F).

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، کشت مخلوط در تمامی سطوح نیتروژن، شاخص سطح برگ بالاتری را نسبت به کشت خالص هر دو گیاه دارا می‌باشد. به‌عنوان مثال در سطح

کند. به علاوه مطالعات نشان داده است که دوره رشد کند پنبه در کشت‌های خالص شرایط مطلوبی را برای ظهور و رشد علف‌های هرز ایجاد خواهد کرد (۴ و ۸)، درحالی‌که در مخلوط با گیاهی مثل ذرت این مشکل به دلیل سایه‌اندازی سایه‌انداز ذرت تا حد زیادی برطرف خواهد شد.

### جذب تابش

میزان تابش فعال فتوسنتزی روزانه در تیمارهای مختلف با کل تابش ورودی روزانه در شکل ۲ مقایسه شده است. نتایج نشان داد که با افزایش شاخص سطح برگ، میزان تابش جذب شده توسط سایه‌انداز ذرت، پنبه و مخلوط نیز به تدریج افزایش یافت و در حدود ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید. با افزایش سطوح نیتروژن از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار میزان تابش جذبی هم در ذرت و پنبه و هم در مخلوط آنها افزایش یافت (شکل ۲-A-D)، به طوری که نتایج نشان داد در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، در دوره حداکثر شاخص سطح برگ تقریباً تمام نور رسیده به سطح سایه‌انداز توسط سایه‌انداز مخلوط جذب شده است (شکل ۲-D). مشاهده شکل (۲-A-D) نشان می‌دهد که از شروع دوره رشد تا ۱۰۰ روز پس از کاشت، جذب تابش توسط سایه‌انداز ذرت بیشتر از جذب به وسیله سایه‌انداز پنبه بود ولی از این دوره به بعد سایه‌انداز پنبه جذب تابش بالاتری را نسبت به سایه‌انداز ذرت دارا بود. این به این دلیل است که رشد پنبه در اواسط دوره رشد کند بوده و سایه‌انداز تنک‌تری نسبت به ذرت دارا می‌باشد و پس از آن پنبه سایه‌انداز متراکمی تشکیل داده و در نتیجه نور رسیده به سطح سایه‌انداز را به خوبی جذب می‌کند.

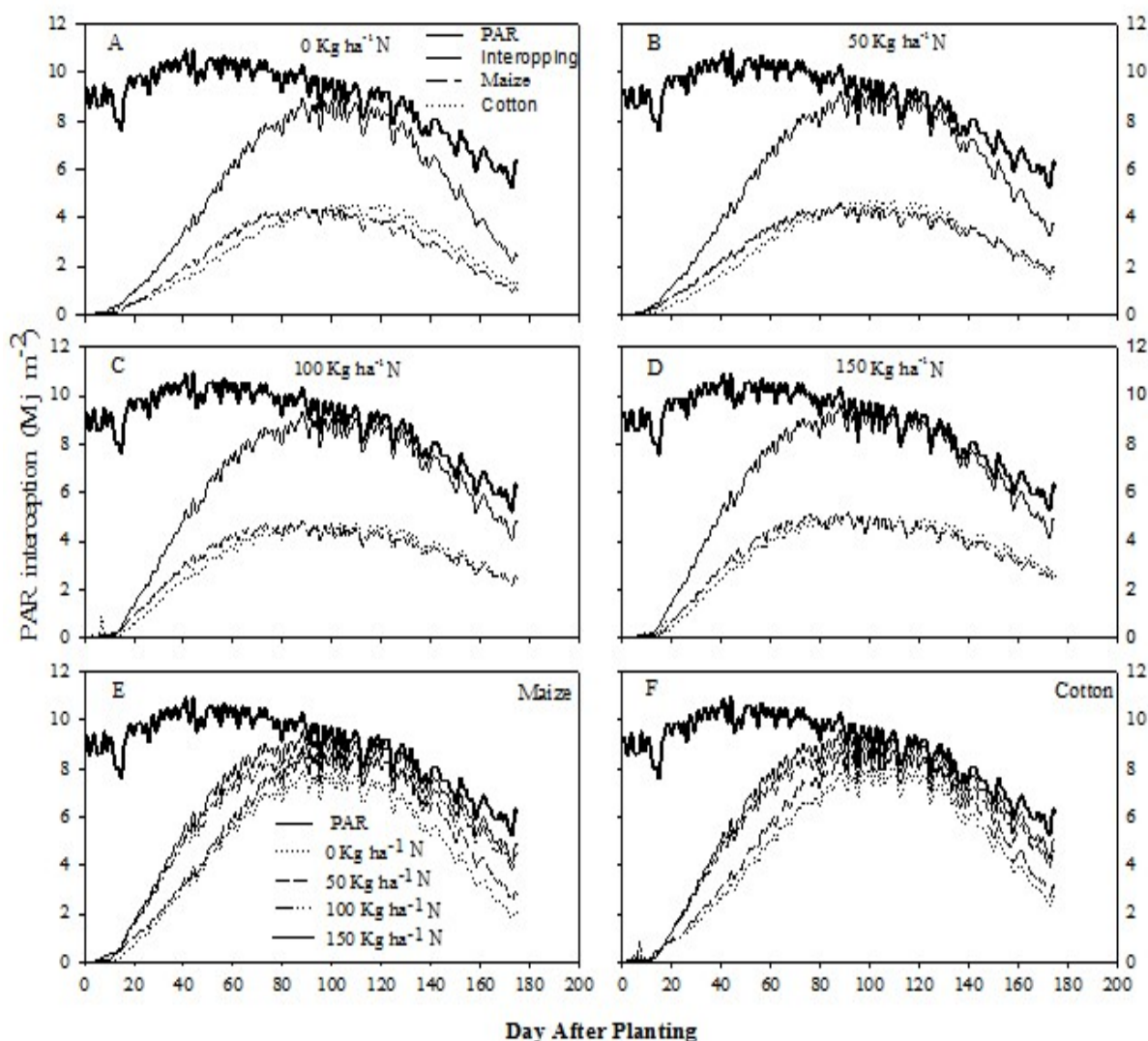
میزان کل تابش جذب شده توسط ذرت و پنبه در کشت خالص و مخلوط در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح کودی، میزان کل تابش دریافتی توسط دو گیاه افزایش یافت. به عنوان مثال در کشت خالص ذرت، با افزایش سطح نیتروژن از صفر به ۱۵۰، تابش جذب شده حدود

۲۶ درصد افزایش نشان داد. بدیهی است که افزایش میزان نیتروژن منجر به افزایش زیست‌توده و سطح برگ ذرت شده که خود باعث بهبود سایه‌انداز و افزایش جذب تابش می‌گردد. جذب نسبی تابش در دو گیاه ذرت و پنبه، اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). با این وجود، جذب نسبی تابش برای گیاه پنبه در تیمار شاهد بالاتر از ذرت و در بقیه سطوح کودی کمتر از ذرت بود. از آنجایی که پنبه نسبت به ذرت دارای ریشه عمیق‌تری می‌باشد (۲۳)، در شرایط عدم کودی موفق‌تر از ذرت عمل کرده و با تولید سطح برگ و زیست‌توده بیشتر، جذب تابش بیشتری را شامل شده است ولی با افزایش سطوح نیتروژن، ذرت موفق‌تر عمل کرده و جذب تابش بیشتری نسبت به پنبه داشته است (جدول ۳).

نتایج نشان داد که جذب تابش در تیمار کشت مخلوط در تمامی سطوح نیتروژن بیشتر از کشت خالص ذرت و پنبه بود (شکل ۲-A-F). به نظر می‌رسد به دلیل اختلاف ارتفاع و ساختار سایه‌انداز ذرت و پنبه جذب نور در کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به کشت خالص این دو گیاه بهبود می‌یابد. از طرفی مجاورت دو گیاه ذرت و پنبه در کنار یکدیگر و حضور پنبه در زیر سایه‌انداز ذرت منجر به جذب طول موج‌های انتقال یافته و منعکس شده توسط سایه‌انداز پنبه توسط ذرت شده و این موضوع باعث افزایش جذب نور سایه‌انداز کشت مخلوط نسبت به خالص در تمامی تیمارهای کشت مخلوط دو گیاه، در تمام طول دوره رشد شد. بررسی نسبت برابری زمین برای تابش جذبی ( $LER_{PAR}$ ) نیز بهبود جذب تابش را توسط سایه‌انداز کشت مخلوط نسبت به کشت خالص تأیید می‌کند (جدول ۳). نشان‌دهنده جذب بهتر تابش در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گیاه ذرت و پنبه می‌باشد.

### کارایی مصرف نور

در تمامی تیمارهای مورد آزمایش، تجمع ماده خشک ذرت و پنبه ارتباط خطی با میزان PAR جمعی داشت و در همه موارد



شکل ۲. روند تغییرات جذب تابش فعال فتوسنتزی (PAR) برای ذرت و پنبه در کشت مخلوط (A-D) و کشت خالص (E-F) در سطوح مختلف نیتروژن

نشان داد. به نظر می‌رسد از آنجایی که بهبود سیستم تغذیه گیاه باعث افزایش رشد، زیست توده و سطح برگ گیاه شده که خود در جذب و مصرف نور رسیده به سطح سایه‌انداز تأثیر به‌سزایی دارد. به‌طور کلی در تمامی سطوح کودی و آرایش‌های کشت، گیاه ذرت دارای کارایی مصرف نور بالاتری نسبت به پنبه بود. مطالعات مختلفی کارایی مصرف نور بالاتر گیاهان C4 را نسبت به C3 گزارش کرده‌اند و آن را ناشی از توان فتوسنتزی بهتر

شیب این خط بیانگر کارایی مصرف نور بوده که بین ۰/۸۱ تا ۲/۲۷ گرم بر مگاژول متغیر بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که در کلیه آرایش‌های کشت دو گیاه ذرت و پنبه، با افزایش سطوح کودی از صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کارایی مصرف نور افزایش یافت (جدول ۴). به‌عنوان مثال برای ذرت در کشت مخلوط با افزایش سطوح کودی از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن، کارایی مصرف نور حدود ۲۸ درصد افزایش



جدول ۳. میزان کل PAR جذب شده، جذب نسبی و LER<sub>PAR</sub> در کشت خالص و مخلوط ذرت و پنبه در سطوح مختلف نیتروژن

LER <sub>PAR</sub>	جذب نسبی		تابش جذبی (MJ m <sup>-2</sup> )				سطوح نیتروژن
	پنبه	ذرت	پنبه مخلوط	پنبه خالص	ذرت مخلوط	ذرت خالص	(Kg ha <sup>-1</sup> )
۱/۰۷ <sup>a</sup>	۰/۵۴ <sup>a</sup>	۰/۵۳ <sup>b</sup>	۴۵۸ <sup>d</sup>	۸۵۱ <sup>c</sup>	۴۵۱ <sup>d</sup>	۸۵۲ <sup>c</sup>	۰
۱/۰۹ <sup>a</sup>	۰/۵۳ <sup>ab</sup>	۰/۵۶ <sup>a</sup>	۴۹۰ <sup>c</sup>	۹۰۶ <sup>b</sup>	۵۰۷ <sup>c</sup>	۹۰۹ <sup>b</sup>	۵۰
۱/۰۵ <sup>a</sup>	۰/۵۱ <sup>b</sup>	۰/۵۴ <sup>a</sup>	۵۴۵ <sup>b</sup>	۱۰۵۸ <sup>ab</sup>	۵۵۷ <sup>b</sup>	۱۰۷۱ <sup>a</sup>	۱۰۰
۱/۰۵ <sup>a</sup>	۰/۵۲ <sup>b</sup>	۰/۵۳ <sup>b</sup>	۵۶۰ <sup>a</sup>	۱۰۸۳ <sup>a</sup>	۵۷۴ <sup>a</sup>	۱۰۹۱ <sup>a</sup>	۱۵۰

در هر ستون میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

LER<sub>PAR</sub>: نسبت برابری زمین برای تابش جذبی

جدول ۴. اثر آرایش‌های مختلف کشت ذرت و پنبه در سطوح مختلف نیتروژن بر کارایی مصرف نور (گرم بر مگاژول)

تیمار	سطوح نیتروژن (Kg ha <sup>-1</sup> )			
	۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰
ذرت خالص	۲/۲۵ <sup>ab</sup>	۱/۹۹ <sup>b</sup>	۱/۶۹ <sup>c</sup>	۱/۴۲ <sup>d</sup>
پنبه خالص	۱/۳۷ <sup>de</sup>	۱/۱۱ <sup>ef</sup>	۱/۰۰ <sup>g</sup>	۰/۸۱ <sup>h</sup>
ذرت مخلوط	۲/۲۷ <sup>a</sup>	۲/۰۵ <sup>b</sup>	۱/۹۵ <sup>b</sup>	۱/۶۲ <sup>c</sup>
پنبه مخلوط	۱/۵۸ <sup>cd</sup>	۱/۲۸ <sup>c</sup>	۱/۱۳ <sup>c</sup>	۰/۸۷ <sup>gh</sup>

میانگین‌های حداقل با یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

آوردند. کارایی مصرف نور در این آزمایش برای ذرت و پنبه در مقایسه با سایر تحقیقات پایین‌تر بود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد در ابتدای دوره رشد دو گیاه بارش تگرگ سنگین باعث کند شدن رشد ذرت و پنبه شدند و به‌نظر می‌رسد این امر باعث شد در مراحل اولیه دوره رشد تا حدود زیادی نور رسیده به سطح زمین توسط سایه‌انداز جذب و مصرف نشده، که خود می‌تواند در کاهش کارایی مصرف نور دو گیاه تأثیر داشته باشد. از طرفی شرایط محیطی و مدیریتی نیز می‌تواند دلیلی بر متفاوت بودن اعداد کارایی نور گزارش شده باشد، به‌طوری‌که عواملی از قبیل دما، میزان رطوبت قابل دسترس، میزان تابش محل مورد آزمایش، تراکم، حاصلخیزی خاک و عوامل دیگر بر کارایی مصرف نور مؤثر می‌باشد (۳۴).

در تمامی سطوح کودی، ذرت در کشت مخلوط و پنبه در کشت خالص به‌ترتیب بیشترین و کمترین کارایی مصرف نور را

ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹ بود (داده‌ها نشان داده نشده است). گیاهان C4 می‌دانند (۱۴، ۱۶، ۲۶ و ۳۵).

در آزمایشات مختلف مقادیر کارایی مصرف نور برای ذرت و پنبه بسته به شرایط آزمایش متفاوت می‌باشد. به‌عنوان مثال کینری و همکاران (۱۹) کارایی مصرف نور ذرت را بین ۲/۷ تا ۳/۴ گرم بر مگاژول گزارش کردند. آوال و همکاران (۵) نیز در تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط ذرت و بادام زمینی، میانگین کارایی مصرف نور ذرت را حدود ۳/۲۶ گرم بر مگاژول به‌دست آوردند. نصیری محلاتی و همکاران (۳۰) نیز با بررسی کشت مخلوط تأخیری ذرت و گندم کارایی مصرف نور برای ذرت را حدود ۲/۴۰ گرم بر مگاژول گزارش کردند. گونیا و همکاران (۱۲) کارایی مصرف نور برای پنبه را حدود ۲/۶ گزارش کردند. همچنین بیتز و همکاران (۴۱) کارایی مصرف نور برای پنبه را بین ۲/۳ - ۱/۳ گرم بر مگاژول به‌دست

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 پنبه به این صورت بود. همچنین، در بسیاری از گیاهان زراعی نیمی از شدت نور رسیده به بالای کانوپی بیشتر از نیاز گیاه برای رسیدن به شرایط اشباع نوری است و هر گونه افزایش تابش در بالای سایه‌انداز باعث بهبود فتوسنتزی در این بخش از سایه‌انداز نمی‌شود (۳۳). کاهش تابش رسیده به سایه‌انداز در اثر سایه‌اندازی ممکن است باعث افزایش کارایی مصرف نور در برگ‌های واقع در پایین سایه‌انداز شود، که برای گیاه پنبه در این آزمایش صادق بود.

### نتیجه‌گیری

به‌طورکلی مهم‌ترین مزیت کشت‌های مخلوط بالا بردن کارایی جذب و مصرف منابع است که در مطالعات مختلف در مورد تابش (۵ و ۳۸)، عناصر غذایی (۲۱ و ۴۲)، آب (۲۸) و نیز زمین (۴۳) به تأیید رسیده است. البته استفاده از این مزایا مستلزم طراحی صحیح مخلوط و انتخاب مناسب گونه‌های همراه می‌باشد. نتایج این آزمایش به‌خوبی تأثیر مثبت کشت مخلوط را در افزایش شاخص سطح برگ، بهبود جذب تابش و همچنین کارایی مصرف نور ذرت و پنبه نشان داد. در کلیه سطوح کودی مورد بررسی، کارایی مصرف نور دو گیاه در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. کارایی بالاتر مصرف نور نشان می‌دهد که گیاه از نور رسیده به کانوپی استفاده مناسب‌تری نموده و به ازای نور رسیده وزن خشک و عملکرد بالاتری تولید کرده است. بررسی جذب نسبی و  $LER_{PAR}$  تابش نشان داد که در تمامی سطوح کودی مورد بررسی، جذب تابش در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص برتری داشت. بیشترین جذب و کارایی مصرف نور در تیمار کشت مخلوط ردیفی ذرت و پنبه در سطح کودی ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد. براساس نتایج، به‌نظر می‌رسد که استفاده از کشت

دارا بودند. به‌طورکلی نتایج نشان داد که در هر دو گیاه ذرت و پنبه، کارایی مصرف نور در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص دو گونه بود (جدول ۴). مونت (۲۷) بیان کرد که کارایی مصرف نور معیاری از فتوسنتز خالص گیاه بوده و کارایی گونه‌ها را در تبدیل تابش جذب شده به ماده خشک نشان می‌دهد. مطالعات مختلفی افزایش و یا کاهش کارایی مصرف نور اجزای گیاهی در مخلوط را گزارش کرده‌اند و برخی مطالعات نیز تأثیر کشت مخلوط بر کارایی مصرف نور را ناچیز دانسته‌اند. اما در هر صورت آنچه که بسیار اهمیت دارد بهبود بهره‌وری تولید در سیستم‌های مخلوط، در ارتباط با نور می‌باشد. بهره‌وری می‌تواند از طریق افزایش جذب تابش خورشیدی، کارایی مصرف نور و یا ترکیبی از هر دو بهبود یابد (۲۰). در واقع در زراعت‌های تک کشتی همواره مقادیری از تابش فتوسنتزی به‌دلیل وجود فضاهای خالی در کانوپی تلف می‌شود. ولی در کشت مخلوط مخلوط، به دلیل پوشش بیشتر و مناسب‌تر سطح خاک این تلفات کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب تابش کل نسبت به تک کشتی بیشتر می‌شود، که این مسئله به‌تنهایی می‌تواند سبب افزایش عملکرد و در نتیجه بهبود کارایی مصرف نور گردد.

گزارش شده است که در کشت مخلوط ذرت با گیاهانی که ارتفاع کمتری نسبت به ذرت دارند، ساختار هندسی سایه‌انداز ذرت و میزان جذب نور آن تحت تأثیر گیاه همراه قرار نمی‌گیرد، چون ذرت از نظر ارتفاع گیاه غالب بوده و بخش عمده جذب نور خود را در لایه‌های بالای سایه‌انداز گیاه همراه جذب می‌کند، بنابر این کارایی مصرف نور ذرت در کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری با کشت خالص آن ندارد (۵) که با نتایج این آزمایش هم‌خوانی داشت. با این وجود در گیاه پنبه، کشت مخلوط تأثیر مثبتی بر بهبود کارایی مصرف نور این نسبت به کشت خالص این گیاه در تمامی سطوح کودی داشت (جدول ۴). از آنجایی که گیاه پنبه در زیر سایه‌انداز ذرت قرار داشت، سهم زیادی از نور رسیده به آن از نور پخش (Diffuse radiation) بود که معمولاً با کارایی بالاتری مصرف می‌شود (۳۶). نصیری محلاتی و همکاران (۳۰) بیان کردند که در مخلوط‌هایی که

مخلوط ذرت و پنبه می‌تواند راه‌کار مناسبی برای استفاده بهتر از واحد سطح باشد. نور رسیده به سطح سایه‌انداز گیاه و در نتیجه تولید بیشتر در

### منابع مورد استفاده

1. Abbasi, R., A. Hejazi, GH. Akbari, M. Kafi and A. Zand. 2006. Assessing different density of cumin and pea whit respect of weed control. *In: Proceeding of the 9<sup>th</sup> Conference of Agronomy and Plant Breeding*. Tehran University. Tehran. P. 141. (In Farsi).
2. Abraham, C. T. and S. P. Singh. 1984. Weed management in sorghum- legume intercropping system. *Journal Agricultural Science* 103: 356-360.
3. Akmal, M. and M. J. J. Janssens. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. *Field Crops Research* 88: 143-155.
4. Alchanatis, V., L. Ridel, A. Hetzroni and L. Yaroslavsky. 2007. Weed detection in multi-spectral images of cotton fields. *Computers and Electronics in Agriculture* 47: 243-260.
5. 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.
6. Bandyopadhyay, S. K. and R. D. Kyamanywa. 1986. Plant growth and seed yield of sorghum when intercropped with legumes. *Journal of Agricultural Science* 107: 621-627.
7. Black, C. and C. Ong. 2000. Utilization of light and water in tropical agriculture. *Agriculture and Forest Meteorology* 104: 25-47.
8. Blaise, D. 2006. Effect of tillage systems on weed control, yield and fiber quality of upland (*Gossypium hirsutum* L.) and Asiatic tree cotton (*G. arboreum* L.). *Soil and Tillage Research* 91: 207-216.
9. Boquet, D. J., E. B. Moser and G. A. Breitenbeck. 1993. Nitrogen effect on boll production of field growth cotton. *Agronomy Journal* 85: 34-39.
10. Ceotto, E. and F. Castelli. 2002. Radiation use efficiency in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): Response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitation. *Field Crops Research* 74: 117-130.
11. Clarck, E. A. and C. A. Francis. 1985. Transgressive yielding in time & space. *Field Crop Research* 11: 37 - 53.
12. Gonias, E. D., D. M. Oosterhuis and A. C. Bibi. 2011. Light interception and radiation use efficiency of okra and normal leaf cotton isolines. *Environmental and Experimental Botany* 72: 217-222.
13. Goudriaan, J. and H. H. Van Laar. 1993. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press. Dordrecht.
14. Hibberd, J. M, J. E. Sheehy and J. A. Langdale. 2008. Using C4 photosynthesis to increase the yield of rice-rationale and feasibility. *Current Opinion in Plant Biology* 11: 228-231.
15. Jahansooz, M. R., I. A. M. Yunus, D. R. Coventry, A. R. Palmer and D. Eamus. 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.
16. Javanshir, A., A. Dabbaghinasab, A. Hamidi and M. Gholipoor. Ecology of Intercropping. Jihad Daneshgahi Press. Tehran.
17. Jongschaap, R. E. E. 2007. Sensitivity of a crop growth simulation model to variation in LAI and canopy nitrogen used for run-time calibration. *Ecological Modelling* 200: 89-98.
18. Keating, B. A. and P. S. Carberry. 1993. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. *Field Crops Research* 34: 273-301.
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, F. Mondani, H. Feyzi and A. Amirmoradi. 2009. Evaluation of radiation interception and use by maize and bean intercropping canopy. *Journal of Agroecology* 1: 13-23. (In Farsi).
21. Li, L., J. H. Sun, F. S. Zhang, X. L. Li, S. C. Yang and Z. Rengel. 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. *Field Crops Research* 71: 123-137.
22. Lin, X., W. Zhou, D. Zhu, H. Chen and Y. Zhang. 2006. Nitrogen accumulation, remobilization and partitioning in rice (*Oryza sativa* L.) under an improved irrigation practice. *Field Crops Research* 96: 448-454.
23. Long, O. H. 1959. Root Studies on Some Farm Crops. University of Tennessee Press, Tennessee.
24. Manna, M. C. and M. V. Singh. 2001. Long- term effects of intercropping and biolitter recycling on soil biological activity and fertility status of subtropical soils. *Bioresource Technology* 76:143-150.
25. Mazaheri, D. 1994. Intercropping. Tehran University Press. Tehran.

26. 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.
27. Monteith, J. L. 1994. Principles of resource capture by crops stands. pp. 1–15. *In*: J. L., Monteith, R. K. Scott and M. U. Unsworth (Eds.), Resource Capture by Crops. Nottingham University Press, Loughborough, UK,
28. Morris R. A. and D. P. Carrity. 1993. Resource capture and utilization in intercropping: water. *Field Crops Research* 34: 303-317.
29. Muurinen, S. and P. Peltonen-Sainio. 2006. Radiation-use efficiency of modern and old spring cereal cultivars and its response to nitrogen in northern growing conditions. *Field Crops Research* 96: 363–373.
30. Nassiri Mahallati, M., A. Koocheki and M. Jahan. 2010. Radiation interception and use efficiency in delay intercropping of wheat and maize. *Iranian Field Crop Researches* 8: 878- 890. (In Farsi).
31. Ndakidemi, P. A. 2006. Manipulating legume/cereal mixtures to optimize the above and below ground interactions in the traditional African cropping systems. *African Journal of Biotechnology* 25: 2526- 2533.
32. Pandey, R. K., J. W. Maranville and A. Admou. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management* 46: 1–13.
33. Pessaraki. M. 2005. Handbook of Photosynthesis. Taylor and Francis Publisher. Florida, USA.
34. Rosati, A., S. G. Metcalf and B. D. Lampinen. 2004. A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. *Annals of Botany* 93: 567-574.
35. Sage, R. F. and R. K. Monson. 1999. C<sub>4</sub> Plant Biology. Academic Press. USA.
36. Sinclair, T. R. and R. C. Muchow. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy* 65: 215–265.
37. Smiciklas, K. D. and F. E. Below. 1990. Influence of heterotic pattern on nitrogen use and yield of maize. *Maydica* 35: 209–213.
38. Tsubo, M., S. Walker and E. Mukhala. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono/intercropping systems with different row orientations. *Field Crops Research* 71: 17–29.
39. 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.
40. Watiki, J. M., S. Fukai, J. A. Banda and B. A. Keating. 1993. Radiation interception and growth of maize/cowpea intercrop as affected by maize plant density and cowpea cultivar. *Field Crops Research* 35: 123-133.
41. Yeates, S. J., G. A. Constable and T. McCumstie. 2010. Irrigated cotton in the tropical dry season. II: Biomass accumulation, partitioning and RUE. *Field Crops Research* 116: 290–299.
42. Zhang, L., J. H. J. Spiertz, S. Zhang, B. Li and W. van der Werf. 2008. Nitrogen economy in relay intercropping systems of wheat and cotton. *Plant and Soil* 303: 55–68.
43. Zhang, L., W. van der Werf, S. Zhang, B. Li and J. H. J. Spiertz. 2007. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. *Field Crops Research* 103: 178–188.?

## Evaluation of Economical Yield and Radiation Use Efficiency of Maize and Cotton in Sole and Intercropping Systems as Affected by Different Levels of Nitrogen

R. Moradi<sup>1\*</sup>, A. Koocheki<sup>2</sup> and M. Nasiri Mahallati<sup>2</sup>

(Received: June 20-2016; Accepted: November 8-2016)

### Abstract

In order to study the potential of maize-cotton intercropping for improving radiation use efficiency (RUE), an experiment was conducted as a factorial arrangement based on completely randomized block design with three replications at experimental field of Ferdowsi University of Mashhad, Iran. The experimental treatments were nitrogen in four levels (0, 50, 100 and 150 Kg N ha<sup>-1</sup>) and planting pattern in three levels (maize and cotton sole cropping and maize/cotton intercropping). LAI, dry matter and yields of maize and cotton were measured during the growing season. The results showed that economical yields of maize and cotton were significantly increased due to increase in N level. Economical yields of both crops in sole cropping were higher than intercropping system. LAI and intercepted PAR in intercropping system were higher than sole cropping, and the traits were improved by increasing N levels. In all the N levels, LER<sub>PAR</sub> was greater than one, which indicates the positive role of intercropping on radiation intercept compared to sole cropping. In general, the results showed that RUE in intercropping system was higher than sole cropping of the two species. Also, maize had higher RUE in comparison with cotton in all the experimental treatments. It seems that the intercropping system can be considered as an appropriate approach for efficient use of resources.

**Keywords:** Light absorption, PAR, LER, Partial interception

---

1. Assistant Professor, Department of Plant Productions, Bardsir Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

2. Professors, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

\*. Corresponding Author, Email: R.moradi@uk.ac.ir