نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 3، شماره 1، بهار 1390، ص. 120-106

Journal of Agroecology
Vol. 3, No. 1, Spring 2011, p. 106-120

ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط سری‌های جایگزینی نخود (*Cicer arietinum* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.)

فرزاد حسین پناهی[1*]، فرزین پورامیر[1]، علیرضا کوچکی[2]، مهدی نصیری محلاتی[2] و رضا قربانی[3]

تاریخ دریافت: 1389/04/30
تاریخ پذیرش: 1389/10/08

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط سری‌های جایگزینی نخود (*Cicer arietinum* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) انجام گرفت. آزمایش در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایهٔ بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که دارای دو عامل بود. عامل اول (روش کاشت) در دو سطح ردیفی و درهم در کرت‌های اصلی و عامل دوم (الگوی کاشت جایگزینی) در پنج سطح b_1 (تک کشتی نخود)، b_2 (75% نخود +25% کنجد)، b_3 (50% نخود +50% کنجد)، b_4 (25% نخود +75% کنجد)، b_5 (تک کشتی کنجد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کارایی مصرف نور کنجد در اغلب تیمارها بیشتر از نخود بود. مقادیر کارایی مصرف نور کنجد در طول فصل رشد از 1/33 تا 2/07 گرم بر مگاژول تشعشعات فعال فتوسنتزی (PAR) در روش کشت ردیفی، و از 1/27 تا 1/66 گرم بر مگاژول PAR در روش کشت درهم متغیر بود. همچنین مقادیر کارایی مصرف نور نخود در طول فصل رشد از 0/86 تا 1/14 گرم بر مگاژول PAR در روش کشت ردیفی و از 0/48 تا 0/99 گرم بر مگاژول PAR در روش کشت درهم متغیر بود. همچنین نتایج نشان داد که کارایی مصرف نور کنجد و نخود در تمام تیمارهای مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرد. به طور کلی، مقادیر کارایی مصرف نور هر دو گیاه چه در شرایط تک کشتی و چه در شرایط مخلوط، در روش کشت ردیفی بالاتر از روش کشت درهم بود. بر این اساس بهترین تیمار قابل توصیه برای کشت مخلوط کنجد و نخود تیمار 75% نخود و 25% کنجد به شکل ردیفی می‌باشد که در آن میزان کارایی مصرف نور نخود در بالاترین حد ممکن (1/14 گرم بر مگاژول) بوده و کارایی مصرف نور کنجد نیز در این تیمار بیشتر از مقدار تک کشتی شده است (1/89 گرم بر مگاژول در این تیمار نسبت به 1/84 در تک کشتی). نتایج جذب نور نیز نشان داد که در تیمارهای مخلوط ردیفی میزان جذب نور به طور میانگین 36 درصد بالاتر از تک کشتی کنجد بود اما با تک کشتی نخود اختلاف چندانی نداشت. میزان جذب نور در روش کشت درهم بین 20 تا 25 درصد کمتر از روش کشت ردیفی بود. به علاوه در این روش کشت اختلاف جذب نور در تیمارهای مخلوط با تیمارهای تک کشتی به اندازه روش کشت ردیفی نبود.

واژه‌های کلیدی: تشعشع فعال فتوسنتزی، سایه‌اندازی، کشت مخلوط درهم، کشت مخلوط ردیفی

مقدمه

نور یکی از مؤلفه‌های اصلی رشد و تولید زیست‌توده در گیاهان بوده و تولید مادهٔ خشک در شرایط بدون تنش بر اساس معادلهٔ زیر تابعی از زمان و تلفیقی از میزان تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده (I)، کسری از تشعشع که توسط گیاه جذب می‌شود (F) و کارایی استفاده از تشعشع جذب شده در تبدیل به ماده خشک (E) می‌باشد (Tsubo et al., 2001).

1، 2 و 3- به ترتیب دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، استاد و دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: agro_expert@yahoo.com)

$$Y = I. F. E \quad \text{(معادله 1)}$$

جذب تشعشع در طول دورهٔ فصل رشد متغیر است (Watiki et al., 1993) که بیشتر تحت تأثیر شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور کانوپی قرار می‌گیرد (Jeuffroy & Ney, 1997). کسری از تشعشع فعال فتوسنتزی که توسط گیاه جذب می‌شود (F)، بسیار وابسته به شاخص سطح برگ و آرایش برگ‌ها در کانوپی بوده که اهمیت آرایش برگ‌ها در کانوپی، بیشتر از میزان شاخص سطح برگ می‌باشد (Zhang et al., 2008). افزایش شاخص سطح برگ امکان جذب بیشتر نور را فراهم می‌آورد و در گیاهانی که برگ‌ها آرایش عمودی‌تری دارند تشعشع موجود به میزان مؤثرتری جذب گیاه می‌شوند و چنین آرایشی اجازه می‌دهد تا مقادیر بیشتری نور به

لایه‌های پایین‌تر کانوپی رسیده و فتوسنتز برگ‌های پایین کانوپی در بالاتر از نقطه جبرانی حفظ شود (Awal et al., 2006). بنابراین آرایش برگ‌ها در کانوپی بسیار مهم بوده و تغییر در ساختار کانوپی از طریق تغییر در زاویهٔ برگ‌ها و بهبود آرایش عمودی آنها به همراه افزایش دوام سطح برگ راهی مؤثر برای افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (Stewart et al., 2003).

مطالعات نشان داده‌اند که در بقولات دانه‌ای تغییر پذیری مقدار ضریب خاموشی در هر گونهٔ خاص ناشی از اثر تنش‌های محیطی مانند خشکی روی گسترش کانوپی، تغییر در زاویهٔ برگ‌ها، توزیع فضایی برگ‌ها و ویژگی‌های پاسخ به نور برگ‌ها می‌باشد (Jeuffroy & Ney, 1997). این مسئله نشان می‌دهد که جذب تشعشع و استفاده از آن، هم تحت تأثیر ژنتیک و نیز تحت تأثیر محیط است، اما آنچه که بیش از همه اهمیت دارد میزان کارایی گیاهان در استفاده از نور می‌باشد.

کارایی استفاده از نور بیان‌گر مقدار ماده خشک تولید شده به ازای هر واحد نور جذب شده است و واحد آن گرم ماده خشک تولید شده بر مگاژول تشعشع جذب شده ($g.MJ^{-1}$) می‌باشد. در شرایط بدون تنش تولید ماده خشک در گیاه یک ارتباط خطی با میزان تشعشع جذب شده توسط گیاه دارد که شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد (John et al., 2005; Zhang et al., 2008). اگرچه قبلاً اعتقاد بر این بود که کارایی مصرف نور ثابت و بیشتر از طریق ژنتیکی کنترل می‌شود (Monteith, 1977)، اما عوامل محیطی و عملیات مدیریتی نظیر تاریخ کاشت، تراکم و فواصل بوته‌ها، رقم، تغییرات آب و هوایی و حاصلخیزی خاک به ویژه نیتروژن قابل دسترس به سبب نقش ویژه‌ای که در فتوسنتز دارد، این عامل را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Akmal & Janssens, 2004; Ceotto & Castelli, 2002; Rosati et al., 2004). مونتیث (Monteith, 1977) گزارش کرد که کارایی مصرف نور گیاهان زراعی می‌تواند نسبتاً ثابت باشد. وی این ضریب را برای گیاهان مختلف زراعی 1/4 گرم مادهٔ خشک به ازای هر مگاژول تشعشع جذب شدهٔ خورشیدی گزارش نمود، در حالی که مطالعات دیگر نشان داده‌اند که این ضریب برای گونه‌های مختلف و شرایط مختلف رشدی تغییر می‌کند (Faurie et al., 1996; John et al., 2005; Kiniry et al., 1998).

به طور کلی کارایی مصرف نور گونه‌های چهار کربنه بالاتر از گونه‌های سه کربنه و در بین گیاهان سه کربنه کارایی مصرف نور گونه‌های غیر بقولات بیشتر از گونه‌های بقولات می‌باشد (Tesfaye et al., 2006). در بین گونه‌های بقولات نیز تغییرپذیری در کارایی مصرف نور به دلیل تغییرات محیطی است (Sinclair & Muchow, 1999) و با توجه به اینکه کارایی مصرف نور بقولات پایین‌تر از غیربقولات است (Sinclair & Muchow, 1999) باید تحقیق کرد که آیا این مسئله ذاتی است یا تحت تأثیر محیط و مدیریت‌های زراعی هم قرار می‌گیرد.

یکی از مدیریت‌های زراعی که ممکن است باعث تغییرات کارایی مصرف نور در گیاهان شود، کشت مخلوط می‌باشد. 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. قدرت رقابت یک گونه در مخلوط برای نور بستگی به شاخص سطح برگ آن گونه و ارتفاع آن نسبت به گیاه همراه دارد (Midmore, 1993; Fukai, 1993). بهره‌وری در مخلوط زمانی به حداکثر می‌رسد که گونه‌های مخلوط از نظر فنولوژیک و مورفولوژیکی اختلاف زیادی در جذب و رقابت برای نور و آب داشته باشند (Trenbath, 1974). بهره‌وری در ارتباط با نور در کشت‌های مخلوط می‌تواند از طریق افزایش جذب تشعشع خورشیدی، کارایی مصرف نور یا ترکیبی از هر دو بهبود یابد. البته در مجموع اعتقاد بر این است که کشت‌های مخلوط بیشتر به واسطه افزایش جذب نور، از طریق افزایش طول دورهٔ جذب (مانند کشت‌های تاخیری و برتری زمانی) یا در نتیجه پوشش بیشتر سطح خاک (برتری مکانی) سبب افزایش بهره‌وری سیستم‌های زراعی می‌شوند (Zhang et al., 2008). در واقع در زراعت‌های تک‌کشتی همواره مقادیری از تشعشع فتوسنتزی به دلیل وجود فضاهای خالی در کانوپی تلف می‌شود. مقدار این تلفات در زراعت‌های مخلوط به دلیل پوشش بیشتر سطح خاک کاهش یافته و در نتیجه میزان جذب تشعشع کل به نسبت تک‌کشتی بیشتر می‌شود. همین مسئله به تنهایی می‌تواند سبب افزایش عملکرد گردد، اگرچه ممکن است کارایی مصرف نور تحت تأثیر قرار نگرفته و یا حتی در مواردی نیز دچار کاهش گردد (Hosseinpanahi et al., 2010).

یکی از موفق‌ترین سیستم‌های کشت مخلوط سیستمی است که در آن یک گیاه بقولاتی در مخلوط با یک گیاه غیر بقولات کشت شده و در اغلب حالات سبب برتری کشت مخلوط نسبت به تک کشتی می‌شود، که دلیل آن توانایی تثبیت زیستی نیتروژن اتمسفری توسط بقولات است که مزیت‌های اکولوژیکی فراوانی به دنبال دارد (Javanshir et al., 2000). در بین بقولات نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از گیاهانی است که در کشور ما سطح زیر کشت بالایی دارد، به گونه‌ای که طبق آخرین آمار نزدیک به 430 هزار هکتار از کشت‌های سالانه کشور به این گیاه اختصاص یافته و این مقدار نزدیک به 61 درصد سطح زیر کشت حبوبات کشور می‌باشد (Jahad-Agriculture Ministry, 2009). ویژگی‌هایی همچون توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی عمیق و استفاده مؤثر از نزولات جوی سبب شده است که این گیاه نقش مهمی در ثبات تولید

نظام‌های زراعی ایفا نماید (Pouramir, 2009). کنجد (*Sesamum indicum* L.) نیز به عنوان یکی از دانه‌های روغنی مهم خصوصاً در مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود. کنجد حاوی 50 درصد روغن خوراکی می‌باشد این در حالی است که کنسانتره بذر آن نیز حاوی 42 درصد پروتئین غنی از تریپتوفان و متیونین است که غذای خوبی برای مرغ‌های تخم گذار و دام‌های شیرده می‌باشد. سطح زیر کشت کنجد در ایران 40 هزار هکتار با میانگین تولید سالیانه 28 هزار تن می‌باشد (Pouramir, 2009). با توجه به مصرف بالای روغن در کشور و سطح زیر کشت پایین دانه‌های روغنی به نظر می‌رسد که کشت مخلوط این گیاهان با بقولات بتواند به عنوان راه حلی برای افزایش تولید روغن بدون نیاز به افزایش سطح زیر کشت مؤثر باشد.

در تحقیقی که بر روی کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود انجام گرفت مشاهده شد که عملکرد نخود به طور معنی‌داری کاهش یافت ولی در عین حال تولید کل و نسبت برابری زمین در هر دو گیاه بیشتر بود (Banik et al., 2006). چن و همکاران (Chen et al., 2004) درآزمایشی که روی کشت مخلوط جو (Hordeum vulgare L.) و نخود انجام دادند مشاهده کردند که کشت مخلوط نیاز کودی به نیتروژن را کاهش داده و عملکرد زیست تودهٔ بالاتر و نسبت برابری زمین بیشتری در مقایسه با تک کشتی ایجاد می‌کند.

از آنجا که نیاز به افزایش بهره‌وری سیستم‌های زراعی به عنوان یک ضرورت مهم به چشم می‌خورد و با توجه به اینکه کشت‌های مخلوط یکی از راهکارهای زراعی برای افزایش بهره‌وری از سیستم‌های زراعی هستند بنابراین مطالعه در زمینه کشت مخلوط در شرایط آب و هوایی ایران ضروری به نظر می‌رسد. البته با وجود مطالعات زیادی که روی کشت مخلوط گیاهان مختلف در ایران انجام شده اما بررسی کارایی مصرف منابع مخصوصاً نور در این مطالعات بسیار کمتر صورت گرفته و این مطالعه با هدف ارزیابی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط نخود و کنجد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی 86-1385 در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در 10 کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد (عرض جغرافیایی; 36 درجه و 15 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی; 56 درجه و 28 دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا، 985 متر) انجام شد. آزمایش در قالب طرح کرت‌های خرد شده بر پایهٔ بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که دارای دو عامل بود. عامل اول (روش کاشت) در دو سطح ردیفی و درهم در کرت‌های اصلی و عامل دوم (الگوی کاشت جایگزینی) در پنج سطح b_1 (تک کشتی نخود)، b_2 (75% نخود +25% کنجد)، b_3 (50% نخود +50% کنجد)، b_4 (25% نخود +75% کنجد)، b_5 (تک کشتی کنجد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

در این تحقیق از نخود رقم ILC482 و کنجد رقم اکتان استفاده شد. عملیات آماده سازی زمین در اوایل اردیبهشت ماه انجام شد و کاشت هر دو گیاه به طور همزمان در تاریخ یکم اردیبهشت ماه به صورت خشکه کاری صورت گرفت. در تیمارهای کشت جایگزینی ردیفی، در هر کرت هشت ردیف به طول 2/5 متر ایجاد شد که فاصله بین ردیف‌های کاشت با یکدیگر 40 سانتی‌متر و فاصله بوته‌های نخود روی ردیف هفت و بوته‌های کنجد پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد، در نتیجه تراکم نهایی در کشت خالص برای نخود 360 هزار و برای کنجد 50 هزار بوته در هکتار بدست آمد. در کشت ردیفی و برای تیمار 75% نخود +25% کنجد، یک ردیف کنجد در بین هر دو ردیف نخود کشت شد و در تیمار 25% نخود +75% کنجد نیز در بین هر دو ردیف کنجد یک ردیف نخود کشت شد. در تیمار 50% نخود +50% کنجد نیز ردیف‌های کنجد و نخود به صورت یک در میان کشت شدند. در عملیات کاشت برای کشت ردیفی، بذور نخود و کنجد هر دو به صورت کپه‌ای و به ترتیب در عمق‌های پنج و سه سانتی‌متری کشت شدند، ولی در کشت درهم برای اعمال تیمارهای مورد نظر، ابتدا بذور کنجد به اندازهٔ تراکم مورد نیاز با مقدار مناسبی از ماسه مخلوط شده و سپس در داخل کرت به وسیله دست پاشیده شد و پس از آن بذور نخود نیز در داخل کرت پخش شده و بوسیله فوکاهای دستی در عمق مناسب قرار داده شد. اولین آبیاری یک روز پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی هر هشت روز یک بار صورت گرفت. در طول فصل رشد از هیچ گونه کود و یا سموم شیمیایی استفاده نگردید و عملیات کنترل علف‌های هرز نیز دو بار به صورت دستی در طول فصل رشد انجام گرفت.

51 روز پس از کاشت تا اوایل رسیدگی، هر دو هفته یک بار نمونه‌های تصادفی با کوادراتی به ابعاد 50 × 50 سانتی‌متر از هر کرت جمع آوری شده و برای محاسبهٔ تغییرات سطح برگ و وزن خشک، به آزمایشگاه منتقل گردید. برای اندازه‌گیری سطح برگ ازدستگاه سطح برگ سنج (مدل Licor) استفاده شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در آون در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 48 ساعت قرار گرفتند. در پایان فصل رشد بوته‌های نیمه دیگر کرت برای محاسبه عملکرد و اجزای آن مورد استفاده قرار گرفت.

برای محاسبه کارایی مصرف نور ابتدا لازم بود که مقادیر شاخص سطح برگ[1] (LAI) روزانه و همچنین تشعشعات جذب شده روزانه برآورد می‌شد. بدین منظور برآورد مقادیر LAI روزانه از طریق برازش معادله 2 بدست آمد.

$$y = a + b * 4 * (\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^2 \quad \text{(معادله 2)}$$

1- Leaf Area Index

که در این معادله، y: مقادیر LAI روزانه، a: عرض از مبداء، b: زمان رسیدن به حداکثر LAI ، c: حداکثر LAI و d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود.

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد به روش ارائه شده توسط خوادریان و فان‌لار (Goudriaan & Van Laar, 1993) محاسبه گردید. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز اقلیم‌شناسی خراسان (Khorasan Razavi Meteorological Organization, 2007) اصلاح و نور جذب شدهٔ روزانه برای هر دو گونه بر اساس معادلات 3، 4 و 5 محاسبه شد (Tsubo et al., 2005).

$$I_i = I_0\left(1 - exp^{((-K_s L_s)+(-K_c L_c))}\right) \quad \text{(معادله 3)}$$

$$I_s = I_i\left(\frac{(K_s L_s)}{((K_s L_s)+(K_c L_c))}\right) \quad \text{(معادله 4)}$$

$$I_c = I_i \quad I_s \quad \text{(معادله 5)}$$

که در این معادلات، I_0؛ مقدار تشعشع رسیده به بالای کانوپی، Ii؛ مقدار تشعشع جذب شده در کل مخلوط، I_s ؛ مقدار تشعشع جذب شده توسط کنجد، I_c ؛ مقدار تشعشع جذب شده توسط نخود، K_s ؛ ضریب خاموشی نور کنجد که 0/6 منظور شد (Boons-prinz et al., 1993)، K_c؛ ضریب خاموشی نور نخود که 0/8 منظور شد. در منابع ضریب خاموشی نور برای نخود 0/5 (Rahimi Karizaki et al., 2007)، 1/02 (Tesfaye et al., 2006) و 0/4 تا 0/6 (Hughes et al., 1987) گزارش شده است. لذا در این آزمایش به طور میانگین 0/8 برای نخود در نظر گرفته شد. L_s؛ شاخص سطح برگ کنجد، L_c ؛ شاخص سطح برگ نخود.

سپس تشعشع جذب شده در هر مرحله از حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده بدست آمد. نهایتاً مقدار کل تشعشع جذب شده به صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشعات فعال فتوسنتزی[1] (PAR) جذب شده نسبت به زمان محاسبه گردید. کارایی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین مادهٔ خشک (گرم بر متر مربع) و میزان تشعشع تجمعی (مگاژول بر متر مربع) محاسبه شد (Hosseinpanahi et al., 2010).

نتایج و بحث

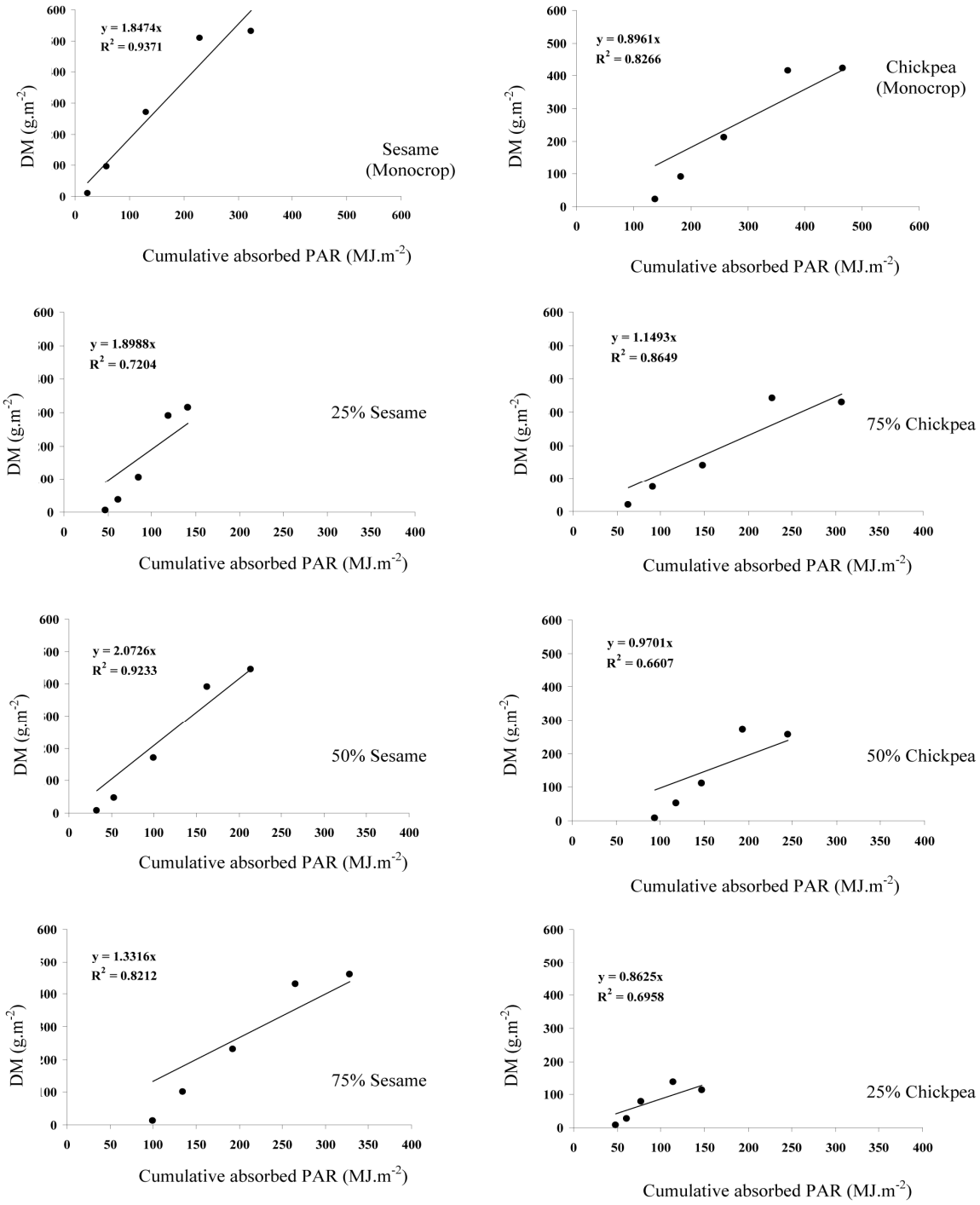
نتایج آزمایش نشان داد که در تمام تیمارها، تجمع مادهٔ خشک در هر دو گیاه نخود و کنجد ارتباط خطی با تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) تجمعی داشت (شکل‌های 1 و 2). شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد که میانگین آن در طول فصل رشد از 0/86 تا 1/14 گرم بر مگاژول PAR در گیاه نخود و از 1/33 تا 2/07 گرم بر مگاژول PAR در گیاه کنجد در روش کشت ردیفی (شکل 1 و جدول 1) و از0/48 تا 0/99 گرم بر مگاژول PAR در گیاه نخود و از 1/27 تا 1/66 گرم بر مگاژول PAR در گیاه کنجد در روش کشت درهم (شکل 2 و جدول 1) متغیر بود.

به طور کلی، کارایی مصرف نور گونه‌های چهارکربنه بالاتر از گونه‌های سه کربنه و در بین گیاهان سه کربنه کارایی مصرف نور گونه‌های غیرلگوم بیشتر از گونه‌های لگوم می‌باشد (Gosse et al., 1986). در گیاهان چهارکربنه عدم وجود تنفس نوری و کارایی بالاتر این گیاهان در استفاده از سایر منابع مانند آب و نیتروژن سبب بالاتر بودن میزان کارایی استفاده از نور شده و در گیاهان پروتئینی و روغنی مانند نخود و کنجد هزینهٔ بالای تنفس رشد عامل اصلی کاهش کارایی مصرف نور می‌باشد (Sinclair & Muchow, 1999). از آنجایی که کنجد یک گیاه روغنی و نخود یک گیاه لگوم می‌باشد بنابراین در مجموع کارایی مصرف نور این گیاهان پائینتر از مقادیرگزارش شده برای سایر گیاهان زراعی می‌باشد. سینکلایر و موچو (Sinclair & Muchow, 1999) مقدار کارایی مصرف نور گیاهان چهارکربنه نیشکر (*Saccharum officinarum* L.)، ذرت (*Zea maize* L.) و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) را به ترتیب 4، 3/54 و 2/8 و کارایی مصرف نور گیاهان سه‌کربنه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) را به ترتیب 3/5، 3/12، 2/92، 2/78 و 2/6 گرم به ازای هر مگاژول تشعشع PAR گزارش کردند.

همانطوری که اشاره شد مقادیر کارایی مصرف نور نخود در این آزمایش در گسترهٔ 0/86 تا 1/14 گرم بر مگاژول PAR در کشت ردیفی و در گسترهٔ 0/48 تا 0/99 گرم بر مگاژول PAR در کشت درهم متغیر بود (شکل‌های 1 و 2؛ جدول 1) که کاملاً منطبق با نتایج سایر مطالعات می‌باشد که بین 0/6 تا 1/86 گزارش شده است (Hughes et al., 1987; Leach & Beech, 1988; Singh & Sri Rama, 1989). در شرایط آب و هوایی ایران رحیمی کاریزکی و همکاران (Rahimi Karizaki et al., 2007) مقدار کارایی مصرف نور نخود را 1 گزارش کرده‌اند که در گسترهٔ اعداد به دست آمده در این مطالعه می‌باشد.

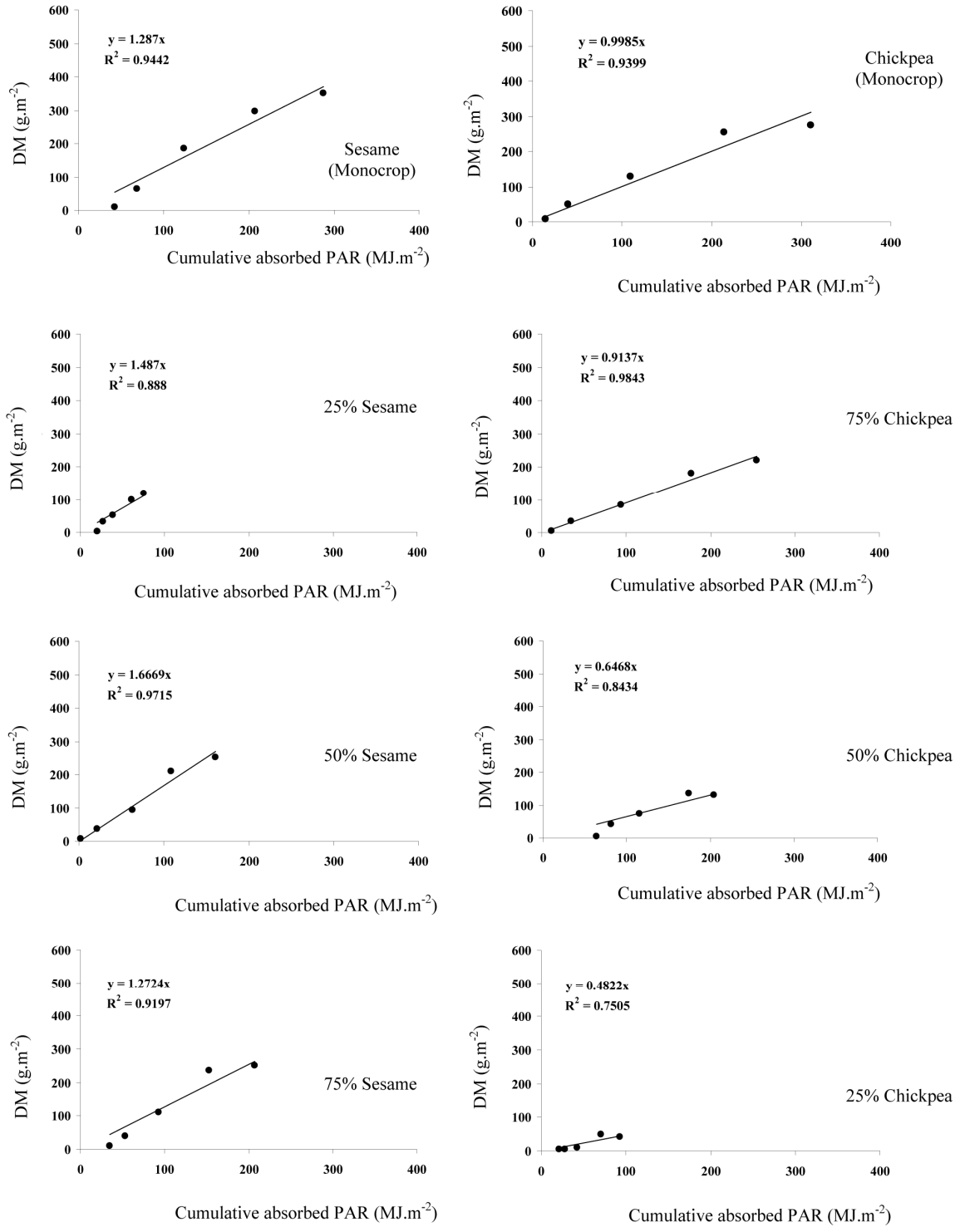
گزارش‌های ارائه شده در مورد کارایی مصرف نور گیاه کنجد بسیار محدود می‌باشد و در این آزمایش مقدار آن بین 1/33 تا 2/07 گرم بر مگاژول PAR در کشت ردیفی و بین 1/27 تا 1/66 گرم بر مگاژول PAR در کشت درهم به دست آمد (شکل‌های 1 و 2؛ جدول 1) که در گسترهٔ مقادیر پیشنهادی سینکلایر و موچو (Sinclair & Muchow, 1999) برای گیاهان روغنی می‌باشد. در سایر گیاهان روغنی مانند بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) مقدار کارایی مصرف نور بر اساس تشعشعات PAR 2/04 تا 2/74 گزارش شده است (Bell et al., 1987; Marshall & Willey, 1983).

1- Photosynthetic Active Radiation



شکل 1- ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده و وزن خشک نخود و کنجد در تیمارهای تک کشتی و کشت مخلوط در روش کشت ردیفی

Fig. 1- The relationship between cumulative absorbed PAR and chickpea and sesame dry matter in monocrop and intercropping treatments based on row planting



شکل2- ارتباط بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده و وزن خشک نخود و کنجد در تیمارهای تک کشتی و کشت مخلوط در روش کشت درهم

Fig. 2- The relationship between cumulative absorbed PAR and chickpea and sesame dry matter in monocrop and intercropping treatments based on mixed planting

جدول 1 – کارایی مصرف نور (گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول PAR) دو گیاه کنجد و نخود در شرایط تک کشتی و مخلوط به صورت ردیفی و درهم

Table 1- Radiation use efficiency (g dry matter per MJ PAR) of sesame and chickpea in monocrop and intercropping treatments at row and mixed planting

تیمار treatments	نخود (کشت درهم) Chickpea (mixed planting)	کنجد (کشت درهم) Sesame (mixed planting)	نخود (کشت ردیفی) Chickpea (row planting)	کنجد (کشت ردیفی) Sesame (row planting)
تک کشتی کنجد Monocrop of Sesame	-	1.28	-	1.84
تک کشتی نخود Monocrop of Chickpea	0.99	-	0.89	-
کشت مخلوط (75% کنجد – 25% نخود) Intercropping (75% sesame-25% chickpea)	0.48	1.27	0.86	1.33
کشت مخلوط (50% کنجد – 50% نخود) Intercropping (50% sesame-50% chickpea)	0.64	1.66	0.97	2.07
کشت مخلوط (25% کنجد – 75% نخود) Intercropping (25% sesame-75% chickpea)	0.91	1.48	1.14	1.89
LSD	0.08	0.145	0.092	0.174

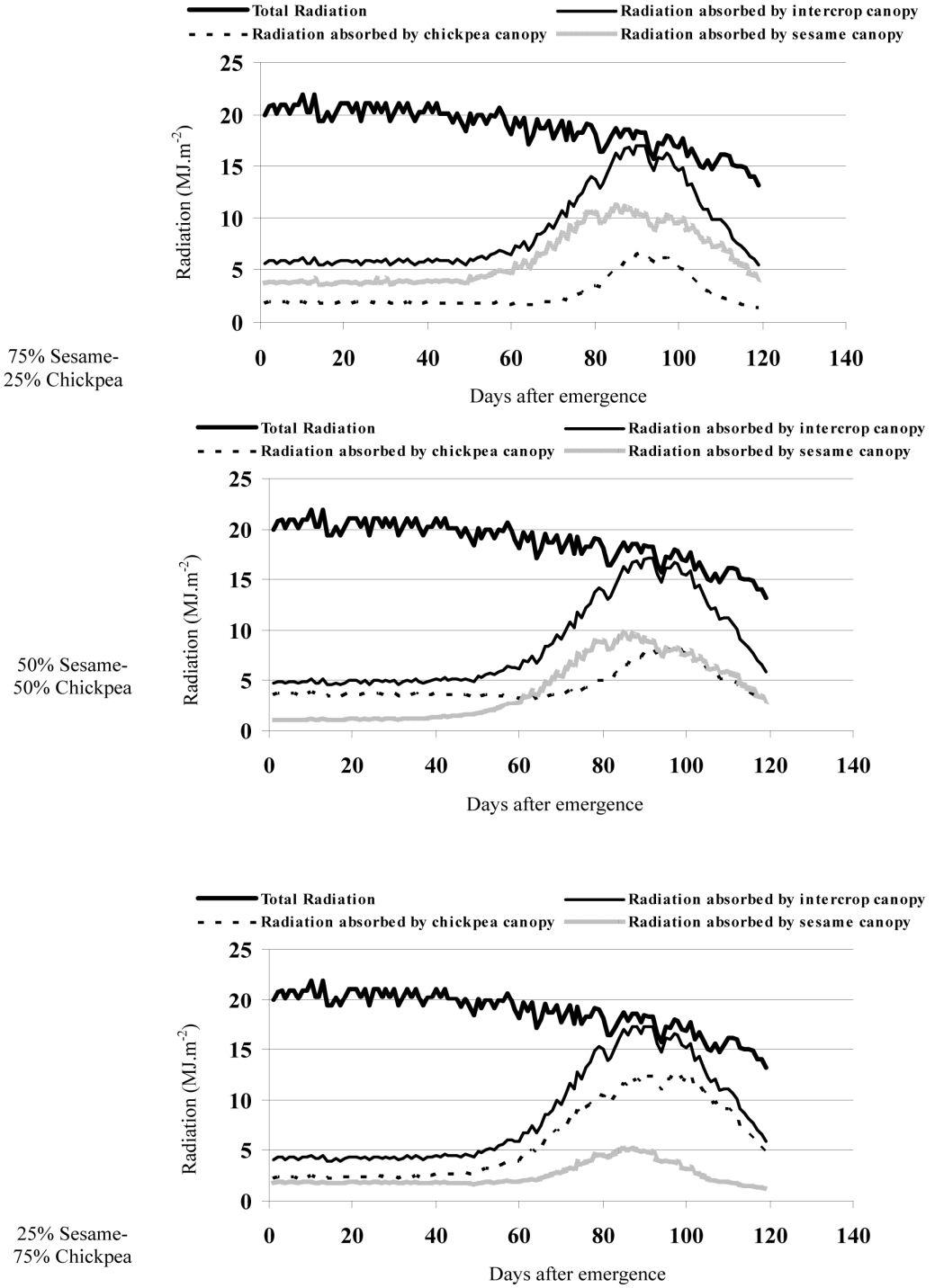
* میانگین‌هایی که تفاوت بین آنها کمتر از میزان LSD می‌باشد، بر اساس آزمونLSD در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means, that the difference between them is lower than the amount of LSD, are not significantly different at α =0.05 by LSD test.

بر خلاف انتظار کارایی مصرف نور گیاه کنجد در این مطالعه بسیار بالاتر از نخود بود، این در حالی است که هزینهٔ تولید یک گرم روغن بیشتر از هزینهٔ تولید یک گرم پروتئین می‌باشد (Penning de Vries et al., 1974). عوامل متعددی می‌توانند در این مسئله دخیل باشند. نخود یکی از بقولات می‌باشد و تثبیت نیتروژن اتمسفری توسط بقولات نیازمند مصرف انرژی بوده و لذا این مسئله روی تولید ماده خشک گیاه تأثیر مستقیم می‌گذارد. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در کاهش زیاد کارایی مصرف نور نخود نسبت به کنجد بروز دماهای بالا در طول فصل رشد می‌باشد. نخود یک گیاه سه کربنه و خاص مناطق معتدله می‌باشد. دمای بهینه برای رشد این گیاه بین 20 تا 25 درجه سانتیگراد است و دماهای بالاتر از 30 درجه سانتیگراد در طول فصل رشد ضمن اینکه سبب افزایش تنفس نگهداری شده، سبب کاهش سرعت فتوسنتز گیاه نیز می‌گردد. با توجه به اینکه بخش اعظم رشد گیاه نخود در طول ماه‌های تابستان صورت گرفته و با توجه به اینکه بر اساس گزارش‌های سازمان هواشناسی دما در بیشتر روزهای تیر و مرداد ماه بیشتر از 30 درجه بوده وگاهی از مرز 40 درجه سانتیگراد نیز گذشته است (Khorasan Razavi Meteorological Organization, 2007)، از اینرو به نظر می رسد که شرایط موجود مناسب رشد مطلوب گیاه نخود نبوده و به احتمال زیاد این عامل یکی از دلایل کاهش کارایی مصرف نور نخود نسبت به کنجد می‌باشد. این در حالی است که گیاه کنجد نسبت به نخود تحمل بیشتری نسبت به دماهای بالا دارد و ازاینرو نسبت به نخود کمتر تحت تأثیر آثار منفی دماهای بالا قرار می‌گیرد.

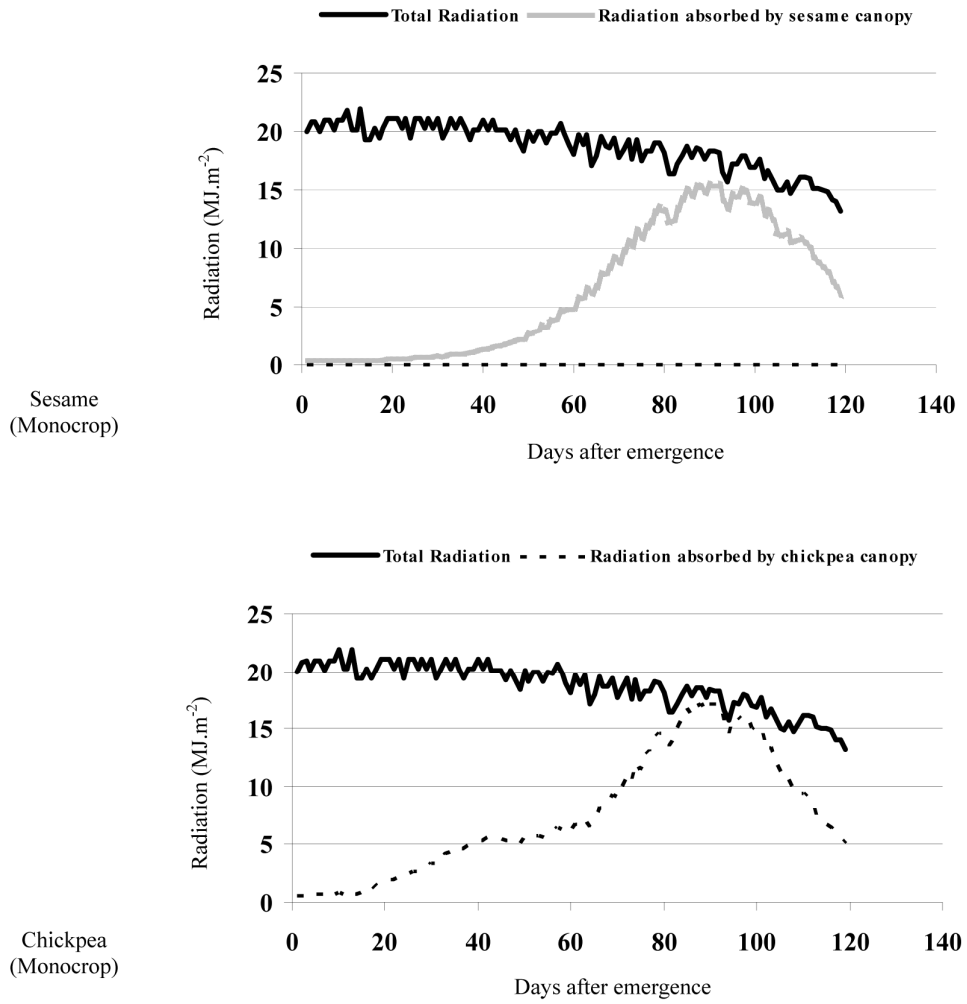
به طور کلی، بر اساس نتایج این مطالعه، در الگوی کشت ردیفی مقدار کارایی مصرف نور هر دو گیاه کنجد و نخود در تیمارهای مخلوط بیشتر از تک کشتی بود (شکل 1 و جدول 1). مطالعات گذشته نشان داده‌اند که کشت مخلوط در اغلب حالات سبب افزایش کارایی استفادهٔ گیاهان از منابع می‌شود (Awal et al., 2006; Faurie et al., 1996; Tsubo et al., 2001; Tsubo et al., 2005; Zhang et al., 2008). نور منبع اصلی تولید زیست توده در گیاهان بوده و در بوم نظام‌های طبیعی رقابت برای نور سبب برتری برخی گونه‌های نسبت به سایر گونه‌ها می‌شود (Trenbath, 1974). در نظام‌های زراعی تک کشتی وجود فضاهای خالی سبب تلفات مقادیر زیادی از نور شده و لذا میزان بهره‌وری بوم نظام زراعی کاهش پیدا می‌کند. یکی از راهکارهای زراعی برای غلبه بر این مشکل کشت گیاهان با تیپ رشدی و ارتفاع متفاوت به صورت مخلوط می‌باشد. در این شرایط گونه مرتفع ضمن استفاده بهینه از نور بالای کانوپی اجازه عبور بخشی از نور به پایین کانوپی را می‌دهد که با کارایی بالاتر توسط گونه زیرین مورد استفاده قرار می‌گیرد چرا که کارایی استفاده از نور در سطوح پایین تشعشع بالاتر می‌باشد (Hosseinpanahi,

2008). نتایج این مطالعه نیز به وضوح نشان داد که میزان جذب نور در شرایط مخلوط و در الگوی ردیفی به طور میانگین 36 درصد بالاتر از تک کشتی کنجد بود، اما با تک کشتی نخود اختلاف چندانی نداشت (شکل‌های 3 و 4 و جدول 2).



شکل 3- جذب تشعشع توسط کانوپی نخود و کنجد در تیمارهای کشت مخلوط در کشت ردیفی

Fig. 3- Radiation absorption of chickpea and sesame canopy in intercropping treatments based on row planting



شکل 4- جذب تشعشع توسط کانوپی نخود و کنجد در تیمارهای تک کشتی در کشت ردیفی

Fig. 4- Radiation absorption of chickpea and sesame canopy in intercropping treatments based on row planting

همین مسئله سبب برتری کشت مخلوط از نظر عملکرد نسبت به تک کشتی شد که نتایج آن در این مقاله گنجانده نشده است اما در مطالعه انجام شده توسط پورامیر و همکاران (Pouramir et al., 2010) موجود است. نتایج مشابهی نیز در سایر مطالعات گزارش شده است (Zhang et al., 2008). این نتایج نشان می‌دهد که کشت مخلوط راهکار بسیار مناسبی جهت افزایش بهره‌وری سیستم‌های زراعی در ارتباط با منابعی مثل نور می‌باشد.

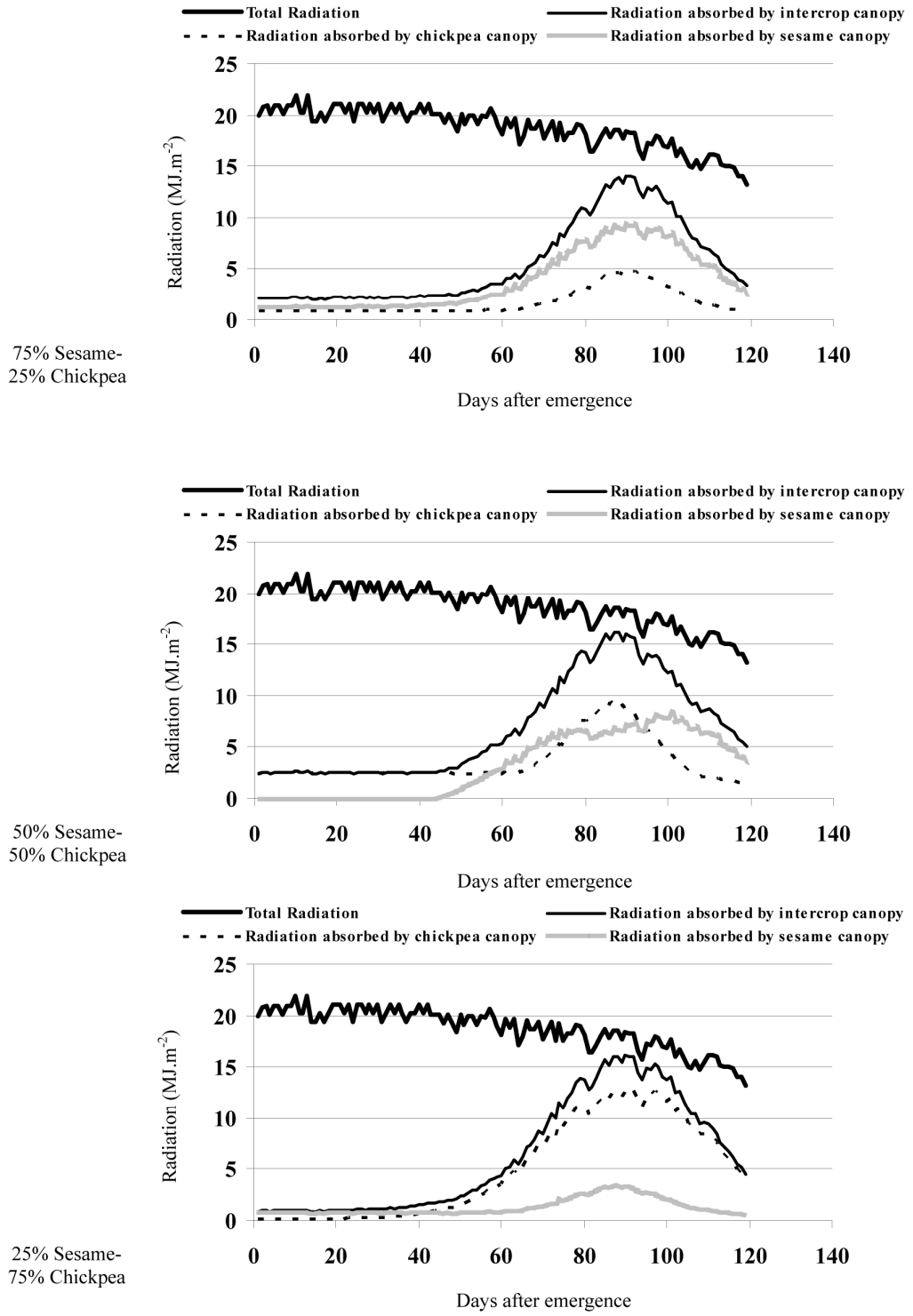
بیشترین مقدار کارایی مصرف نور کنجد (2/07 گرم بر مگاژول PAR) در تیمار 50 درصد کنجد و 50 درصد نخود حاصل شد و بیشترین میزان کارایی مصرف نور نخود (1/14 گرم بر مگاژول PAR) در تیمار 75 درصد نخود و 25 درصد کنجد ثبت شد (جدول 1). به طور کلی، هرچه سهم نخود در مخلوط بیشتر شد میزان کارایی مصرف نور آن به تدریج افزایش پیدا کرد (جدول 1). از آنجائیکه با افزایش سهم نخود در مخلوط به همان میزان سهم کنجد کاهش پیدا کرد، لذا میزان سایه اندازی کنجد روی نخود تدریجاً دچار کاهش شد و این عامل سبب افزایش کارایی مصرف نور نخود گردید. توجه به این نکته در مدیریت کشت مخلوط بسیار ضروری است، زیرا تعیین نسبت مناسبی از گیاهان به گونه‌ای که آثار منفی رقابت به حداقل ممکن کاهش یابد و از طرفی حداکثر استفاده از منابع صورت بگیرد بسیار مهم می‌باشد.

به عنوان مثال، در کشت مخلوط ذرت و سیب زمینی نشان داده شده است که در صورتی که تراکم ذرت به گونه‌ای باشد که میزان فراهمی نور روی کانوپی سیب زمینی را بیشتر از 25% کاهش دهد سبب افت شدید در عملکرد سیب زمینی و در نتیجه کاهش در کارایی

مصرف نور آن می‌گردد، زیرا فتوسنتز سیب زمینی در 75 درصد میزان تشعشعات اختلاف چندانی با میزان فتوسنتز در فراهمی کل تشعشع ندارد (Midmore et al., 1988). در شرایط آب و هوایی مشهد نیز گزارش شده که سایه‌اندازی شدید ذرت روی سیب زمینی نه تنها سبب افزایش کارایی مصرف نور نگردید، بلکه میزان آن را نیز کاهش داد (Hosseinpanahi et al., 2010). بنابراین با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان گفت که بهترین تیمار قابل توصیه برای کشت مخلوط کنجد و نخود تیمار 75% نخود و 25% کنجد می‌باشد که در آن میزان کارایی مصرف نور نخود در بالاترین حد ممکن (1/14 گرم بر مگاژول) بوده و کارایی مصرف نور کنجد نیز در این تیمار بیشتر از مقدار تک کشتی شده است (1/89 گرم بر مگاژول در این تیمار نسبت به 1/84 در تک کشتی).

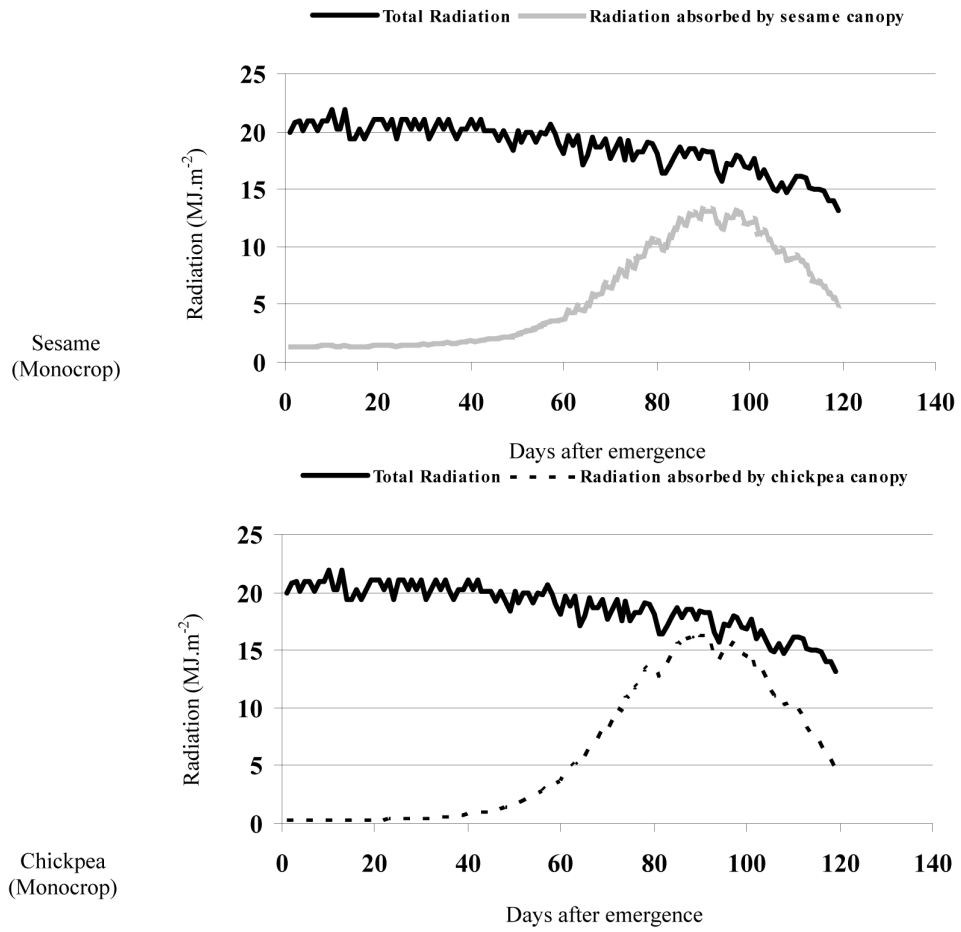
نتایج آزمایش در کشت مخلوط با الگوی کشت درهم روندی مشابه با کشت مخلوط ردیفی داشت اما میزان کارایی مصرف نور در این الگو پایین‌تر از کشت ردیفی بود (شکل2 و جدول 1). تیمارهای این الگوی کشت مخلوط نیز عملکرد کمتری نسبت به الگوی ردیفی داشتند (2). پورامیر (Pouramir, 2009) دلیل این مسئله را آرایش بهتر گیاهان در الگوی ردیفی و استفاده بهتر گیاهان از منابع بویژه آب عنوان کرد که در نهایت باعث افزایش سطح برگ گیاهان این تیمار نسبت به تیمارهای درهم شد. جدول 2 به وضوح نشان می‌دهد که میزان جذب نور در تیمارهای مخلوط و در الگوی درهم نیز بین 20 تا 37 درصد کمتر از تیمارهای مشابه در الگوی ردیفی بوده است (همچنین شکل‌های 5 و 6). به طور کلی از آنجائیکه ماده خشک تولیدی در این الگوی کشت به دلیل توزیع نامناسب گیاهان در مزرعه، تماس مستقیم آب با بوته‌ها و به دنبال آن پوسیدگی درصدی از بوته‌ها و تولید گیاهچه‌های ضعیف به دلیل سله بستن خاک، دچار کاهش شدیدی شد (Pouramir et al., 2010)، از اینرو میزان کارایی مصرف نور نیز در این تیمارها افت شدیدی نشان داد. با این وجود در این الگوی کشت نیز تیمار 75% نخود و 25% کنجد بهترین تیمار موجود بود چرا که در این تیمار میزان کارایی مصرف نور نخود بیشتر از سایر تیمارهای مخلوط بود (0/91 در مقایسه با 0/64 و 0/48 گرم بر مگاژول PAR) و اختلاف چندانی با تک کشتی نداشت (شکل 4 و جدول 1). به علاوه میزان کارایی مصرف نور کنجد در این تیمار حدود 15 درصد بیشتر از تک کشتی کنجد بود (1/48 در مقایسه با 1/28 گرم بر مگاژول PAR).

در مجموع نتایج این مطالعه حاکی از برتری کشت مخلوط از نظر کارایی مصرف نور نسبت به تک کشتی بود. جذب بیشتر نور در کانوپی مخلوط نسبت به تک کشتی از دیگر نتایج سودمند این مطالعه بود و نشان داد که با قرار دادن الگوی مناسبی از کشت گیاهان در کنار همدیگر می‌توان بهره‌وری سیستم‌های زراعی را از نظر منابعی مثل نور بالا برد. بر اساس نتایج این مطالعه بهترین الگوی کشت، الگوی کشت ردیفی و بهترین نسبت مخلوط نسبت 75% نخود و 25% کنجد می‌باشد. همچنین تیمارهای نامبرده از نظر عملکرد نیز برتری نشان دادند (Pouramir et al., 2010).



شکل 5- جذب تشعشع توسط کانوپی نخود و کنجد در تیمارهای کشت مخلوط در کشت درهم

Fig. 5- Radiation absorption of chickpea and sesame canopy in intercropping treatments based on mixed planting



شکل 6- جذب تشعشع توسط کانوپی نخود و کنجد در تیمارهای تک کشتی در کشت درهم

Fig. 6- Radiation absorption of chickpea and sesame canopy in intercropping treatments based on mixed planting

جدول 2- میزان جذب تشعشع (PAR) تجمعی (مگاژول بر متر مربع) در دو گیاه کنجد و نخود در شرایط تک کشتی و مخلوط به صورت ردیفی و درهم

Table 2- The amount of cumulative absorbed PAR ($MJ.m^{-2}$) of sesame and chickpea in monocrop and intercropping treatments at row and mixed planting

تیمار Treatments	جذب تشعشع (PAR) تجمعی (مگاژول بر متر مربع) توسط کانوپی کنجد Cumulative radiation (PAR) absorbed ($MJ.m^{-2}$) by sesame canopy	جذب تشعشع (PAR) تجمعی (مگاژول بر متر مربع) توسط کانوپی نخود Cumulative radiation (PAR) absorbed ($MJ.m^{-2}$) by chickpea canopy	جذب تشعشع (PAR) تجمعی (مگاژول بر متر مربع) توسط کانوپی مخلوط Cumulative radiation (PAR) absorbed ($MJ.m^{-2}$) by intercrop canopy
کشت ردیفی Row planting			
کشت مخلوط (75% کنجد – 25% نخود) Intercropping (75% sesame-25% chickpea)	800	248	1048
کشت مخلوط (50% کنجد – 50% نخود) Intercropping (50% sesame-50% chickpea)	485	540	1026
کشت مخلوط (25% کنجد – 75% نخود) Intercropping (25% sesame-75% chickpea)	303	701	1004
تک کشتی کنجد Monocrop of sesame	753	-	-
تک کشتی نخود Monocrop of chickpea	-	1024	-
کشت درهم Mixed planting			
کشت مخلوط (75% کنجد – 25% نخود) Intercropping (75% sesame-25% chickpea)	464	199	663
کشت مخلوط (50% کنجد – 50% نخود) Intercropping (50% sesame-50% chickpea)	385	431	817
کشت مخلوط (25% کنجد – 75% نخود) Intercropping (25% sesame-75% chickpea)	160	587	748
تک کشتی کنجد Monocrop of sesame	663	-	-
تک کشتی نخود Monocrop of chickpea	-	718	-

منابع

1- Akmal, M., and Janssens, M.J.J. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting

water and nitrogen supplies. Field Crops Research 88: 143-155.
2- Awal, M.A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 139: 74-83.
3- Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in additive series experiment: advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-333.
4- Bell, M.J., Muchow, R.C., and Wilson, G.L. 1987. The effect of plant population on peanuts (*Arachis hypogaea*) in a monsoonal tropical environment. Field Crops Research 17: 91–107.
5- Boons-prinz, E.R., De Koning, G.H.J., Van Diepen, C.D., and Penning De Vries, F.W.T. 1993. Crop specific simulation parameters for yield forecasting across the European Community. Simulation Reports, CABO-TT, N: 32.
6- Ceotto, E., and Castelli, F. 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.
7- Chen, C., Westcot, M., Neill, K., Wichaman, D., and Knox, M. 2004. Row configuration and nitrogen application for barley-pea intercropping in Montana. Agronomy Journal 96: 1730-1738.
8- Faurie, O., Soussana, J.F., and Sinoquet, H. 1996. Radiation interception, partitioning and use in gross-clover mixtures. Annals of Botany 77: 35-45.
9- Fukai, S. 1993. Intercropping-base of productivity. Field Crops Research 34: 239–245.
10- Gosse, G., Varlet-Grancher, C., Bonhomme, R., Chartier, M., Allirand, J.M., and Lemaire, G. 1986. Maximum dry matter production and solar radiation intercepted by a canopy. Agronomie 6: 47–56.
11- Goudriaan, J., and Van Laar, H.H. 1993. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press. Pp: 236.
12- Hosseinpanahi, F. 2008. Evaluation of yield, yield component and radiation use efficiency in corn/potato intercropping. MSc Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Summary)
13- Hosseinpanahi, F., Koocheki, A., Nassiri M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato/corn intercropping. Agroecology 2(1): 45-54. (In Persian with English Summary)
14- Hughes, G., Keatinge, J.D.H., Scott, Cooper, J.B.M., and Dee, N.F. 1987. Solar radiation interception and utilization by chickpea (*Cicer arietinum* L.) crops in northern Syria. Journal of Agricultural Science 108: 419–424.
15- Jahad-Agriculture Ministry. 2009. Office of Statistic and Information Technology. Agricultural Statistic. First Issue (Crops of 2008). Jihad-Agriculture Ministry Press. (In Persian)
16- Javanshir, A., Dabagh, A., Hamidi, A., and Gholipour, M. 2000. Ecology of intercropping. First Edition. Jihad-Daneshgahi of Mashhad Press. (In Persian)
17- Jeuffroy, M.H., and Ney, B. 1997. Crop physiology and productivity. Field Crops Research 53: 3–16.
18- John, L.L., Timothy, J.A., Daniel, T.W., Kenneth, G.C., and Achim, D. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. Agronomy Journal 97: 72-78.
19- Khorasan Razavi Meteorological Organization. 2007. Statistics Report database. Available at Web site http://www.razavimet.gov.ir/pages.aspx?pageID=95 (verified 10 may 2007)
20- Kiniry, J.R., Landivar, J.A., Witt, M., Gerik, T.J., and Wade, L.J. 1998. Radiation use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. Field Crops Research 56: 265-270.
21- Leach, G.J., and Beech, D.F. 1988. Response of chickpea accessions to row spacing and plant density on a vertisol on the Darling Downs, Southeastern Queensland. II. Radiation interception and water use. Australian Journal of Experiment Agriculture 28: 377–383.
22- Marshall, B., and Willey, R.W. 1983. Radiation interception and growth in intercrop of pearl millet/groundnut. Field Crops Research 7: 141–160.
23- Midmore, D.J. 1993. Agronomic modification of resource use and intercrop productivity. Field Crops Research 34: 358–380.
24- Midmore, D.J., Roca, J., and Berrios, D. 1988a. Potato (*Solanum* spp.) in the hot tropics. IV. Intercropping with maize and the influence of shade on potato microenvironment and crop growth. Field Crops Research 18: 141-157.
25- Monteith, J.L. 1977. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. Journal of Applied Ecology 9: 747-766.
26- Penning de Vries, F.W.T., Brunsting, A.H.M., and Van Laar, H.H. 1974. Products, requirements and efficiency of biosynthesis: a quantitative approach. Journal of Theoretical Biology 45: 339-377.
27- Pouramir, F. 2009. Evaluating of the effect of different planting combinations in the replacement and additive series multiple cropping on yield and yield components of sesame and chickpea. MSc Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Summary)
28- Pouramir, F., Koocheki, A., Nassiri M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation the effect of different planting combinations on yield and yield components of intercropping sesame and chickpea in additive series. Iranian Journal of Field Crops Research. In Press. (In Persian with English Summary)
29- Rahimi Karizaki, A., Soltani, A., Pourreza, J., and Zeynali, E. 2007. Estimation of extinction coefficient and radiation use efficiency in field growth chickpea. Journal of Agricultural Science and Natural Resources 14(5):

211-221.
30- Rosati, A., Metcalf, S.G., and Lampinen, B.D. 2004. A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. Annals of Botany 93: 567-574.
31- Sinclair, T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy 65: 215–265.
32- Singh, P., and Sri Rama, Y.V. 1989. Influence of water deficit on transpiration and radiation use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Agricultural Forest and Meteorology 48: 317–330.
33- Stewart, D.W., Costa, C., Dwyer, D.L., Smith, R.I., and Hamliton, B.L. 2003. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. Agronomy Journal 95: 1465-1474.
34- Tesfaye, K., Walker, S., and Tsubo, M. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. European Journal of Agronomy 25: 60–70.
35- Trenbath, B.R. 1974. Biomass productivity of mixtures. Advances in Agronomy 26: 177–210.
36- Tsubo, M., Walker, S., and Mukhalam, E. 2001. Comparison of variation use efficiency of mono/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71: 17-29.
37- Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O. 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93: 10-22.
38- Watiki, J.M., Fukai, S., Banda, J.A., and Keating, B.A. 1993. Radiation interception and growth of maize/cowpea intercrop as affected by maize plant density and cowpea cultivar. Field Crops Research 35: 123–133.
39- Zhang, L., Vander Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., and Spiertz, J.H. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107: 29-42.