

## بررسی اثر کشت مخلوط سری‌های افزایشی و جایگزینی بر عملکرد، کارایی مصرف نور و میزان جذب تشعشع گلرنگ و نخود پاییزه در ایلام

رویا فتاح‌نیایی<sup>۱</sup>، یاسر علیزاده\*<sup>۲</sup>، احسان‌اله زیدعلی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۰

### چکیده

به‌منظور بررسی اثر کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی بر عملکرد، کارایی مصرف و جذب نور گلرنگ و نخود، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۹ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل: کشت خالص: گلرنگ (۲۵ بوته در متر مربع)، نخود (۲۵ بوته در متر مربع)، کشت مخلوط جایگزینی: (۷۰٪ گلرنگ، ۳۰٪ نخود)، (۵۰٪ گلرنگ، ۵۰٪ نخود)، (۳۰٪ گلرنگ، ۷۰٪ نخود) و کشت مخلوط افزایشی: (۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود)، (۱۰۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود)، (۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود) و (۱۰۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود) بود. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه (۱۹۰ کیلوگرم در هکتار) و زیستی (۱۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) گلرنگ در سری افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود مشاهده شد. بیشترین (۱/۴۷) و کمترین (۰/۸۶) نسبت برابری زمین به ترتیب در سری‌های افزایشی ۳۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود و جایگزینی ۷۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود حاصل گردید. حداکثر شاخص سطح برگ در گلرنگ و نخود به ترتیب ۶۰ و ۸۰ روز پس از کشت مشاهده شد. بیشترین مقدار کارایی مصرف نور گلرنگ و نخود به ترتیب در تیمارهای افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود و جایگزینی ۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود حاصل شد. بالاترین میزان تشعشع جذب‌شده (۶۰۳ مگا ژول بر متر مربع) در الگوی افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود بود. الگوی کشت مخلوط نخود و گلرنگ باعث بهبود میزان جذب تشعشع و کارایی مصرف نور در این گیاهان گردید که نتیجه آن بیشتر شدن عملکرد کل در واحد سطح و بالا رفتن میزان LER بود.

**کلیدواژه‌گان:** اجزای عملکرد، الگوی کشت، شاخص سطح برگ، کشت پاییزه، نسبت برابری زمین

## مقدمه

کشاورزی پایدار تلفیقی از دانش و مدیریت است که می‌تواند در بلندمدت از نظر بیولوژیکی، زیست‌محیطی و اقتصادی ارزش افزوده‌ی مطلوبی به همراه داشته باشد (Strydhorst *et al.*, 2008). کشت مخلوط یکی از راه‌کارهای حرکت به سوی کشاورزی پایدار می‌باشد که ضمن افزایش تنوع اکولوژیکی و اقتصادی، موجب افزایش عملکرد، استفاده کارتر از منابع موجود مانند زمین، آب، عناصر غذایی، کاهش مشکلات آفات و بیماری‌ها، افزایش ثبات بوم‌نظام‌ها و برتری اقتصادی می‌شود (Neamatollahi *et al.*, 2013). حبوبات می‌توانند به کمک همزیستی با گونه‌هایی از ریزوبیوم، نیتروژن اتمسفری را در گره‌های ریشه‌ی خود تثبیت و قسمت اعظم نیتروژن مورد نیاز خود را تأمین کنند (Pouramir *et al.*, 2010). دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند و دارای اسیدهای چرب و پروتئین می‌باشند (FAO, 2010). کشت مخلوط گیاهان روغنی با حبوبات می‌تواند کارایی استفاده از منابع را در مقایسه با کشت خالص افزایش داده و منجر به بهبود عملکرد شود (Sarkar *et al.*, Tiwari *et al.*, 1992; Sing *et al.*, 2010; 2000). در بررسی کشت مخلوط نخود و گلرنگ مشاهده شد که کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد دانه در هر دو گیاه شده و کارایی استفاده از منابع را نیز افزایش داد (Zafarnieh, 2015). در آزمایش دیگری گزارش شد که تولید کمی و کیفی گیاه سیاهدانه در شرایط کشت مخلوط با نخود برتری معنی‌داری نسبت به کشت خالص داشت (Rezaei Chianeh and QoliNejad, 2014). نتایج به‌دست‌آمده در بررسی کشت مخلوط نخود و گلرنگ نشان داد که بیشترین عملکرد و نسبت برابری زمین در بین نسبت‌های مختلف کشت، مربوط به نسبت کاشت ۵۰:۵۰ بود (Sarkar *et al.*, 2000). تحقیقات نشان می‌دهد که برتری زراعت مخلوط به دلیل استفاده‌ی بهینه از منابع موجود می‌باشد و تفاوت اجزای مخلوط در استفاده از منابع موجب بالا رفتن کارایی استفاده از منابع می‌گردد (Mazaheri, 1988). به‌طور کلی، حضور چند گیاه در کشت مخلوط نسبت به یک گیاه در کشت خالص می‌تواند در صورت انتخاب درست گیاهان، میزان جذب نور را از نظر زمانی و مکانی افزایش داده و بهره‌وری بالاتری از منابع نوری را به همراه داشته باشد (Keating and Carberry, 1993). در شرایط مطلوب زراعی که هیچ عامل محدودکننده‌ی

دیگری وجود ندارد، بین وزن خشک تولیدی با میزان نور جذب‌شده، به‌ویژه تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده یک رابطه‌ی خطی وجود داشته و شیب رگرسیون خطی بین جذب تابش جمعی و زیست‌توده تولیدی گیاه، کارایی مصرف نور را تعیین می‌کند (Tsubo *et al.*, 2001). کارایی مصرف نور و میزان جذب تشعشع در کشت مخلوط سری‌های افزایشی کنگد و نخود بیشتر از تک‌کشتی این گیاهان گزارش شد (Pouramir *et al.*, 2016). همچنین در آزمایش دیگری کارایی مصرف نور ذرت و لوبیا در سیستم‌های کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی دو گونه بیشتر به دست آمد که بیانگر استفاده بهینه از منبع نوری در کشت مخلوط بود (Mansouri *et al.*, 2102). در یک بررسی ۲۰ ساله از تحقیقات مختلف کشت مخلوط، گزارش شد که بیشتر مطالعات در بخش کشت مخلوط صرفاً بر عملکرد متمرکز بوده و فواید اکولوژیکی این نوع کشت‌ها چندان مورد توجه قرار نگرفته است. به نظر می‌رسد بررسی کارکردهای اکولوژیکی کشت مخلوط برای توسعه نظام‌های تولید پایدار بسیار راهگشا باشد (Conolly *et al.*, 2001). نتایج بیشتر آزمایش‌ها نشان می‌دهد که مزیت اصلی کشت مخلوط که با شاخص‌های مختلفی مانند نسبت برابری زمین نشان داده می‌شود، بهبود کارایی مصرف نور، نیتروژن و آب می‌باشد (Gao *et al.*, 2009; Alizadeh *et al.*, 2009; Alizadeh *et al.*, 2012). برخی از بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش عملکرد در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در نتیجه‌ی افزایش میزان جذب تشعشع و کارایی استفاده از آن حاصل می‌گردد (Tsubo *et al.*, 2005). از آنجا که رابطه‌ای مستقیم بین میزان افزایش ماده‌خشک و کارایی مصرف نور وجود دارد، بنابراین یکی از راهکارهای افزایش تولید، بالا بردن کارایی استفاده از نور می‌باشد (Awal *et al.*, 2006). به عبارتی افزایش میزان جذب نور از کل نور رسیده به سطح کانوپی و استفاده‌ی بهینه‌تر از نور جذب‌شده، افزایش عملکرد گیاهان را به دنبال دارد و کشت مخلوط شاید یک راهکار مناسب برای این فرآیند باشد (Tsubo *et al.*, 2001). نخود بعد از نخودفرنگی و لوبیا، سومین لگوم مهم جهان می‌باشد (FAO, 2010). این گیاه به دلیل خصوصیات مانندی توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی عمیق و استفاده‌ی مؤثر از نزولات جوی نقش مهمی در ثبات تولید نظام‌های زراعی ایفا می‌کند و عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود. گلرنگ یکی

گلرنگ رقم صفه از شرکت پاکان بذر اصفهان و بذر نخود رقم منصور از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام تهیه گردید. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۸ سانتی‌متر بود که تراکم ۲۵ بوته در مترمربع حاصل شد. عمق کاشت برای گلرنگ و نخود ۵ سانتی‌متر لحاظ گردید. جهت آماده‌سازی زمین ابتدا با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار زمین موردنظر شخم زده شد. سپس با استفاده از فاروئر ردیف‌های کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۳×۳ متر و هر کرت شامل ۶ ردیف کاشت بود. کشت دو گیاه در تاریخ ۲۸ و ۲۹ آبان سال ۱۳۹۸ به روش دستی و به‌صورت کپه‌ای انجام شد و در مرحله ۴-۶ برگی گیاهان عملیات تنک برای رسیدن به تراکم نهایی انجام شد. هیچ‌گونه کودی به مزرعه داده نشده و کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی در کل فصل رشد بر اساس نیاز انجام گرفت. با توجه به پاییزه بودن کشت و وقوع بارندگی، فقط یک آبیاری بعد از کاشت برای سبز شدن در مزرعه انجام شد و یک آبیاری نیز در بهار صورت گرفت. با توجه به اینکه کشت مخلوط در این آزمایش به‌صورت کشت مخلوط ردیفی بود، در تیمارهای جایگزینی، ردیف‌های گیاه نخود و گلرنگ به‌صورت یک‌درمیان قرار گرفت. در تیمارهای سری‌های افزایشی، ردیف‌های کشت با فاصله ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و گیاه دوم روی ردیف‌های اضافه در بین ردیف‌های کشت، اضافه شد. نمونه‌برداری از ۱۵ روز پس از سبز شدن تا زمان برداشت هر دو هفته یک‌بار به منظور اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک در تیمارهای مختلف انجام شد. در مرحله برداشت پس از حذف اثر حاشیه، از نیمه‌ی دست‌نخورده‌ی هر کرت آزمایشی برداشت انجام گردید و پس از انتقال به آزمایشگاه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی گیاهان نخود و گلرنگ اندازه‌گیری شده و شاخص برداشت گیاهان نیز بر اساس معادله ۱ محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه سطح‌برگ‌سنج (مدل Li-COF) استفاده شد و جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفتند. پس از خشک شدن نمونه‌ها وزن آن‌ها توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد.

$$HI = \frac{GY}{BY} \times 100 \quad (\text{معادله ۱})$$

BY و GY به ترتیب عملکرد دانه و زیست‌توده کل برای هر گیاه بود.

از گیاهان مهم برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. این گیاه بومی ایران بوده و دارای خصوصیتی مانند مقاومت نسبتاً زیاد به تنش‌های محیطی نظیر خشکی و شوری، استفاده‌ی غذایی و دارویی از گل‌های آن، تولید روغن نباتی با کیفیت بالا (به دلیل بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع خصوصاً لینولئیک و اسید اولئیک) از اهمیت خاصی برخوردار است (Khajepour, 2004). هدف اصلی در زراعت گیاه گلرنگ، استخراج روغن موجود در دانه آن می‌باشد، که مقدار روغن موجود در دانه این گیاه بسته به عوامل مختلف بین ۲۰ تا ۴۵ درصد وزن دانه گزارش شده است (Rahimi et al., 2014). کشت دو گیاه گلرنگ و نخود در کشور به‌طور معمول در نظام‌های کم‌نهاده انجام شده و در نتیجه تأمین نیازهای این گیاهان در درون بوم‌نظام، قدم بزرگی در جهت استقرار نظام‌های کم‌نهاده و پایدار می‌باشد. به نظر می‌رسد گیاه گلرنگ با افزایش پوشش سطح مزرعه و جذب نور می‌تواند برای مدیریت جمعیت علف‌های هرز مزارع نخود مفید بوده و از طرفی گیاه نخود به دلیل تثبیت نیتروژن می‌تواند باعث بهبود عملکرد در گیاه گلرنگ گردد. با توجه به مطالب بیان‌شده هدف از انجام این آزمایش، ارزیابی عملکرد و کارایی مصرف نور و میزان جذب تشعشع در کشت مخلوط نخود و گلرنگ بود.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی بر عملکرد و اجزای عملکرد دو گیاه گلرنگ و نخود آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ارتفاع ۱۱۷۴ متر از سطح دریا انجام گردید. آب‌وهوای منطقه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه معتدل و نیمه‌مرطوب می‌باشد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۹ تیمار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل: کشت خالص گلرنگ (۲۵ بوته در مترمربع)، کشت خالص نخود (۲۵ بوته در مترمربع)، کشت مخلوط جایگزینی (۷۰٪ گلرنگ، ۳۰٪ نخود)، (۵۰٪ گلرنگ، ۵۰٪ نخود)، (۳۰٪ گلرنگ، ۷۰٪ نخود) و کشت مخلوط افزایشی (۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود)، (۱۰۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود)، (۱۰۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ) و (۱۰۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ) بودند. بذر

$I_s$ : مقدار تشعشع جذب شده توسط گلرنگ

$I_c$ : مقدار تشعشع جذب شده توسط نخود

$K_s$ : ضریب خاموشی نور گلرنگ که ۰/۵ (Masoumipour et al., 2016) منظور شد.

$K_c$ : ضریب خاموشی نور نخود که ۰/۷ (Tesfaye et al., 2006) منظور شد.

$L_s$ : شاخص سطح برگ گلرنگ

$L_c$ : شاخص سطح برگ نخود

تشعشع جذب شده در هر مرحله، از حاصل ضرب نور ورودی شبیه سازی شده در درصد نور جذب شده به دست آمد. نهایتاً مقدار کل تشعشع جذب شده به صورت تجمعی از طریق حاصل ضرب نور ورودی شبیه سازی شده در انتگرال کسر PAR جذب شده نسبت به زمان محاسبه گردید. کارایی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم بر مترمربع) و میزان تشعشع تجمعی (مگاژول بر مترمربع) محاسبه شد (Alizadeh et al., 2012). داده های آزمایش توسط نرم افزار SAS (VER 9) آنالیز و مقایسه میانگین آن ها به روش LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام پذیرفت. برای رسم شکل ها از نرم افزار Excel (VER 16) استفاده گردید.

## نتایج و بحث

### عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ

بر اساس جدول تجزیه واریانس عملکرد دانه و زیستی گیاه گلرنگ تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفته و بین تیمارهای مختلف از نظر وزن هزار دانه، شاخص برداشت، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۱). بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک و دانه گیاه گلرنگ در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود به ترتیب با ۱۰۷۰/۵۹۷ و ۱۹۰ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید (جدول ۲). افزایش عملکرد گیاهان مختلف در شرایط کشت مخلوط با گیاهان لگوم توسط محققین دیگری نیز گزارش شد (Alizadeh et al., 2009; Pouramir et al., 2010; Pouramir et al., 2016). در کشت مخلوط نخود و گلرنگ گزارش شد که نخود در کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد دانه گلرنگ گردیده و محققین دلیل افزایش عملکرد گیاه گلرنگ را تأمین نیتروژن گلرنگ توسط نخود در کشت مخلوط بیان داشتند

برای گیاه نخود صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صدانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت، و برای گیاه گلرنگ صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در طبق، تعداد طبق در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت اندازه گیری شد. به منظور ارزیابی سودمندی کشت مخلوط از شاخص نسبت برابری زمین (LER) طبق معادله زیر استفاده شد (Mazaheri, 1988).

$$RY = \frac{Y_i}{Y_m} \quad (\text{معادله ۲})$$

گونه دوم RY + گونه اول LER=RY

$Y_i$  عملکرد گونه در کشت مخلوط و  $Y_m$  عملکرد گونه در تک کشتی می باشد.

برای محاسبه کارایی مصرف نور ابتدا لازم بود که مقادیر شاخص سطح برگ روزانه و همچنین تشعشعات جذب شده روزانه برآورد می شد. بدین منظور برآورد مقادیر LAI روزانه از طریق برازش معادله ۳ به دست آمد (Tsubo et al., 2005).

$$y = a + b * 4 * (\exp(-(x - c)/d)) / (1 + \exp(-(x - c)/d))^2 \quad (\text{معادله ۳})$$

a: عرض از مبدأ

b: زمان رسیدن به حداکثر LAI

c: حداکثر LAI

d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می شود.

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی ایلام به روش ارائه شده توسط خودریان و فان لار (Goudriaan and Vanlaar, 1993) محاسبه گردید. نور جذب شده ی روزانه برای هر دو گونه بر اساس معادلات زیر محاسبه شد (Tsubo et al., 2005).

$$I_i = I_0(1 - \exp^{((-K_c L_c) + (-K_s L_s))}) \quad (\text{معادله ۴})$$

$$I_s = I_i \left( \frac{K_s L_s}{((K_s L_s) + (K_c L_c))} \right) \quad (\text{معادله ۵})$$

$$I_c = I_i - I_s \quad (\text{معادله ۶})$$

$I_0$ : مقدار تشعشع رسیده به بالای کانوپی

$I_i$ : مقدار تشعشع جذب شده در کل مخلوط

مخلوط گلرنگ و نخود، گزارش کردند کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد گلرنگ شده است اما بیشترین عملکرد نخود در کشت خالص این گیاه حاصل شد (Ismaeilian and Amiri, 2020; Salari *et al.*, 2020).

(Zafarani, 2015; Salari *et al.*, 2020). در کشت مخلوط سیب‌زمینی و گلرنگ گزارش شد کشت مخلوط باعث افزایش ۱۲ درصدی عملکرد گلرنگ شده است (Rahimi *et al.*, 2014). سایر محققان در مطالعه‌ی کشت

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
بلوک	۲	۰/۰۰۸ <sup>ns</sup>	۱/۶۱ <sup>ns</sup>	۹/۹۸ <sup>ns</sup>	۸۶/۶ <sup>ns</sup>	۳۲۶/۸۳ <sup>**</sup>	۱۵/۰۱ <sup>ns</sup>
تیمار	۷	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۳/۴۲ <sup>ns</sup>	۴/۷۲ <sup>ns</sup>	۶۱/۴۶ <sup>ns</sup>	۲۳۲۰/۱۵ <sup>**</sup>	۵۳/۷۴ <sup>**</sup>
خطا	۱۴	۰/۰۲	۶/۹۶	۳/۸۰	۳۴/۶۸	۴۶/۲۷	۵/۵۳
ضریب تغییرات (%)	۲۳	۹/۶۹	۱۱/۳۹	۷/۸۸	۹/۷۹	۱۰/۱۴	۱۰/۹۶

\*\* و \* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر الگوهای کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گلرنگ

تیمار	وزن هزار دانه (g)	تعداد طبق در بوته	عملکرد بیولوژیک (Kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (Kg.ha <sup>-1</sup> )
کشت خالص	۲۴/۲۶۳ <sup>a</sup>	۰/۳۶۶ <sup>a</sup>	۹۹۰/۷۳۰ <sup>ab</sup>	۱۷۰/۰۱۳ <sup>ab</sup>
۳۰٪ نخود + ۷۰٪ گلرنگ	۲۵/۱۹۰ <sup>a</sup>	۰/۱۰۰۰ <sup>a</sup>	۷۹۰/۰۶۷ <sup>c</sup>	۱۲۰/۷۸۰ <sup>cd</sup>
۵۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ	۲۵/۲۵۰ <sup>a</sup>	۰/۱۶۶۷ <sup>a</sup>	۴۹۰/۵۸۷ <sup>d</sup>	۹۰/۸۴۰ <sup>de</sup>
۷۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ	۲۲/۷۹۷ <sup>a</sup>	۰/۱۶۶۷ <sup>a</sup>	۲۸۰/۴۴۳ <sup>e</sup>	۵۰/۴۵۳ <sup>f</sup>
۱۰۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ	۲۵/۸۹۷ <sup>a</sup>	۰/۱۶۶۷ <sup>a</sup>	۳۲۰/۳۵۳ <sup>e</sup>	۷۰/۴۱۳ <sup>ef</sup>
۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ گلرنگ	۲۵/۹۰۷ <sup>a</sup>	۰/۱۶۶۷ <sup>a</sup>	۱۰۷۰/۵۹۷ <sup>a</sup>	۱۹۰/۴۹۷ <sup>a</sup>
۱۰۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ	۲۴/۵۲۷ <sup>a</sup>	۰/۱۳۳۳ <sup>a</sup>	۴۸۰/۹۷۳ <sup>e</sup>	۱۲۰/۶۲۳ <sup>cd</sup>
۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ گلرنگ	۲۴/۱۹۰ <sup>a</sup>	۰/۳۳۳۳ <sup>a</sup>	۹۰۰/۷۱۷ <sup>bc</sup>	۱۴۰/۵۷۰ <sup>bc</sup>

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

### عملکرد و اجزای عملکرد نخود

در بین صفات مختلف مورد ارزیابی، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمارهای مختلف آزمایش قرار گرفت و اثر تیمارها بر تعداد غلاف در دانه، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه در گیاه نخود از نظر آماری معنی‌دار نبود

(جدول ۳). بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نخود در کشت مخلوط افزایشی ۳۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود به ترتیب به میزان ۱۷۴۰ و ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین کمترین میزان عملکرد دانه (۱۱۰ کیلوگرم در هکتار) و بیولوژیک (۲۹۰ کیلوگرم در هکتار) از کشت مخلوط جایگزینی ۷۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود حاصل شد (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نخود

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن صد دانه	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
بلوک	۲	۲/۰۱*	۰/۰۰۶ <sup>ns</sup>	۴/۸۰ <sup>ns</sup>	۴۹/۴۸**	۶۴۸/۸۸*	۵۸/۰۵ <sup>ns</sup>
تیمار	۷	۰/۷۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۷/۹۰ <sup>ns</sup>	۳۰/۹۱**	۶۶۱۹/۰۳**	۱۷۹/۸۰**
خطا	۱۴	۰/۳۹	۰/۰۰۱	۴/۱۸	۶/۳۸	۱۷۳/۶۹	۴۵/۶۲
ضریب تغییرات (%)	۲۳	۱۵/۳۰	۴/۹۹	۶/۵۳	۵/۶۷	۱۳/۵۸	۱۵/۴۰

\*\* و \* به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و ns عدم وجود تفاوت معنی دار را نشان می دهد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر الگوهای کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نخود

تیمار	عملکرد دانه (Kg.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد بیولوژیک (Kg.ha <sup>-1</sup> )	شاخص برداشت
کشت خالص	۷۸۰/۳۲ <sup>a</sup>	۱۶۳۰/۶۷ <sup>a</sup>	۴۸/۰۱ <sup>a</sup>
۳۰٪ نخود + ۷۰٪ گلرنگ	۱۱۰/۹۸ <sup>d</sup>	۲۹۰/۳۶ <sup>e</sup>	۴۰/۴۵ <sup>d</sup>
۵۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ	۲۷۰/۶۳ <sup>c</sup>	۶۴۰/۲۲ <sup>d</sup>	۴۲/۷۴ <sup>cd</sup>
۷۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ	۴۵۰/۱۴ <sup>b</sup>	۹۶۰/۳۸ <sup>c</sup>	۴۶/۸۶ <sup>abc</sup>
۱۰۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ	۸۰۰/۵۱ <sup>a</sup>	۱۷۴۰/۱۲ <sup>a</sup>	۴۶/۲۶ <sup>abc</sup>
۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ گلرنگ	۲۶۰/۴۹ <sup>c</sup>	۵۶۰/۳۱ <sup>d</sup>	۴۷/۲۵ <sup>ab</sup>
۱۰۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ	۵۱۰/۷۲ <sup>b</sup>	۱۲۵۰/۴۶ <sup>b</sup>	۴۱/۳۳ <sup>d</sup>
۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ گلرنگ	۲۸۰/۸۵ <sup>c</sup>	۶۶۰/۷۳ <sup>d</sup>	۴۳/۱۹ <sup>bcd</sup>

در هر ستون، میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD تفاوت آماری معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

گزارش شده است که بالاترین میزان عملکرد نخود در الگوی کشت ۷۵٪ نخود + ۲۵٪ کنجد مشاهده شده و با افزایش تراکم میزان عملکرد نخود کاهش یافت به طوری که در الگوی کشت ۷۵٪ نخود + ۲۵٪ کنجد، آرایش کاشت مناسب تر بوده و فضای کافی برای گیاه نخود جهت جذب بهتر نور و رقابت کمتر ایجاد شد؛ به عبارت دیگر، گیاه نخود به خوبی از منابع محیطی استفاده نمود (Pouramir et al., 2010).

#### نسبت برابری زمین

در کشت مخلوط گلرنگ با نخود بیشترین میزان نسبت برابری زمین کل (۱/۴۷) در کشت مخلوط افزایشی ۳۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ مشاهده شد. همچنین در همین الگوی کشت، بیشترین میزان نسبت برابری زمین جزئی در نخود (۱/۰۳) حاصل شد. بیشترین میزان برابری زمین جزئی در گلرنگ در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود (۱/۱۲) مشاهده شد (جدول ۵). زمانی که نسبت برابری

بالاترین شاخص برداشت گیاه نخود در تیمار کشت خالص با ۴۸ درصد مشاهده شد و این در حالی بود که کمترین میزان شاخص برداشت در کشت مخلوط جایگزینی ۷۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ به دست آمد (جدول ۴). البته در این آزمایش بین تیمار کشت مخلوط ۳۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود که بالاترین عملکرد دانه و بیولوژیک را داشت و کشت خالص نخود اختلاف معناداری مشاهده نشد (جدول ۴). به نظر می رسد عملکرد نخود بیشترین تأثیر را از تغییر در تراکم پذیرفته بود. در کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی گلرنگ و نخود بیشترین میزان عملکرد دانه و بیولوژیک در گلرنگ مربوط به کشت مخلوط بوده است ولی بالاترین میزان عملکرد دانه و زیستی نخود در کشت خالص آن گزارش شد (Salari et al., 2019). در بررسی کشت مخلوط نخود و سیاهدانه نیز بیشترین میزان عملکرد دانه و بیولوژیک در کشت خالص این گیاه حاصل شد و دلیل آن رقابت بوته های نخود با سیاهدانه بیان گردید (Rezaei Chianeh and Qoli, 2014). در کشت مخلوط جایگزینی کنجد و نخود

برابری زمین در کشت مخلوط بیشتر از ۱ بوده است و این نشان از برتری کشت مخلوط بر کشت خالص می‌باشد (Ghahremini *et al.*, 2017). در کشت مخلوط بالنگو و نخود بیان شد کشت مخلوط باعث افزایش نسبت برابری زمین می‌شود (Izadi *et al.*, 2018). حمزه‌ئی و سیدی بیان کردند کشت مخلوط باعث افزایش نسبت برابری زمین می‌شود (Hamzei and seidi, 2014). نسبت برابری زمین در کشت مخلوط گلرنگ و نخود بیشتر از نسبت برابری زمین در کشت خالص این دو گیاه بود (Ismaeilian and Amiri, 2020).

زمین بیشتر از یک گردد، به این معنی است که کشت مخلوط سودمندتر می‌باشد. با توجه به جدول ۵، میزان نسبت برابری زمین در الگوهای کشت مخلوط افزایشی بیشتر از الگوهای کشت مخلوط جایگزینی است و این می‌تواند به دلیل تثبیت بیولوژیک نیتروژن هوا توسط نخود و افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود شرایط برای رشد گیاه گلرنگ باشد. در بررسی کشت مخلوط ریحان با لوبیا، تقریباً تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بیشتری نسبت به کشت خالص داشتند (Alizadeh *et al.*, 2012). در کشت مخلوط زیره سبز و نخود گزارش شد که نسبت

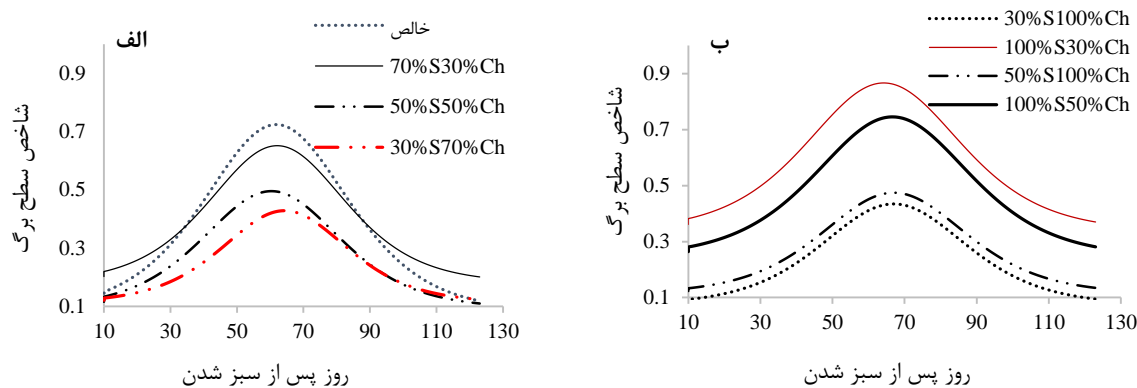
جدول ۵- نسبت برابری زمین (جزئی و کل) در کشت مخلوط دو گیاه گلرنگ و نخود

تیمار	۷۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود	۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود	۳۰٪ گلرنگ + ۷۰٪ نخود	۳۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود	۱۰۰٪ گلرنگ + ۰٪ نخود	۵۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود	۱۰۰٪ گلرنگ + ۰٪ نخود
نسبت برابری زمین جزئی گلرنگ	۰/۷۵	۰/۵۸	۰/۳۲	۰/۴۴	۱/۱۲	۰/۷۰	۰/۸۵
نسبت برابری زمین جزئی نخود	۰/۱۵	۰/۳۶	۰/۵۸	۱/۰۳	۰/۳۴	۰/۶۷	۰/۳۷
نسبت برابری زمین کل	۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۸۶	۱/۴۷	۱/۴۶	۱/۳۷	۱/۱۷

### شاخص سطح برگ گلرنگ

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است تقریباً در تمامی الگوهای کشت، شاخص سطح برگ گلرنگ در ۶۰ روز پس از سبز شدن بالاترین میزان را داشت. بالاترین شاخص سطح برگ (۰/۸۷) در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود مشاهده شد و در همین مرحله کمترین شاخص (۰/۴) مربوط به کشت مخلوط افزایشی ۳۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود بود (جدول ۶). روند شاخص

سطح برگ از ابتدای رشد گیاه، صعودی بوده و تا ۶۰ الی ۷۰ روز پس از سبز شدن به حداکثر میزان خود رسید. از ابتدای رشد، سرعت افزایش شاخص سطح برگ در الگوی کشت مخلوط افزایشی ۳۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود کندتر از بقیه الگوهای کاشت بود. تقریباً در تمامی الگوهای کشت، ۳۰ روز پس از سبز شدن، افزایش شاخص سطح برگ سرعت پیدا کرده و تقریباً در ۶۰ روز پس از سبز شدن به حداکثر میزان خود رسید و بعد از آن روند کاهش پیدا کرد (شکل ۱).

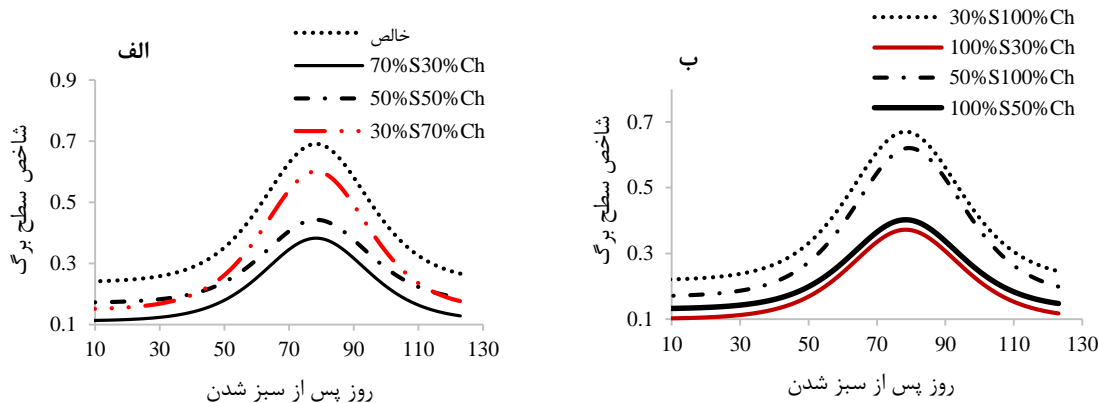


شکل ۱- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط بر شاخص سطح برگ گلرنگ، الف: کشت خالص و کشت مخلوط جایگزینی، ب: کشت مخلوط افزایشی  
Ch: Chickpea, S: Safflower

برگ در گیاه جو در شرایط کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت. همچنین در این گزارش بیان شد که شاخص سطح برگ نخود در الگوهای مختلف کشت تا حدود زیادی وابسته به تراکم این گیاه بود (Hamzei and seidi, 2014). در کشت مخلوط ذرت و آفتابگردان نیز شاخص سطح برگ این گیاهان در کشت مخلوط بیشتر از تک کشتی بود (Mousavian, and Seid-mohamadi, 2014). به نظر می‌رسد در این آزمایش شاخص سطح برگ گیاه نخود، تحت تأثیر تراکم قرار داشت و با کاهش تراکم در تیمارهای مختلف، شاخص سطح برگ آن کاهش یافت. همچنین در کشت مخلوط نیز تا حدودی رقابت بیشتر، باعث کاهش شاخص سطح برگ در نخود گردید اما گیاه گلرنگ در شرایط تراکم ۱۰۰٪ در کشت مخلوط افزایشی، با حضور نخود، شاخص سطح برگ بالاتری به دست آورد که نشان‌دهنده‌ی تأمین نیتروژن برای این گیاه توسط نخود بود.

### شاخص سطح برگ نخود

شاخص سطح برگ نخود حدوداً در تمامی الگوهای کشت، ۸۰ روز پس از کشت به حداکثر میزان خود رسید. بیشترین شاخص سطح برگ (۰/۷۸) در کشت خالص نخود مشاهده شد و در همین مرحله کمترین میزان شاخص سطح برگ (۰/۳۴) مربوط به الگوی کشت مخلوط جایگزینی ۷۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود بود (جدول ۶). در ابتدای رشد، افزایش شاخص سطح برگ در الگوهای کشت مخلوط جایگزینی ۷۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود و الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود کندتر از دیگر الگوهای کشت بود. تقریباً در تمامی الگوها ۴۰ روز پس از کشت شاخص سطح برگ سرعت پیدا کرد و در ۸۰ روز به حداکثر خود رسید و بعد از آن روند کاهشی پیدا کرد (شکل ۲). در کشت مخلوط نخود و جو مشاهده شد که میزان شاخص سطح



شکل ۲- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط بر شاخص سطح برگ نخود، الف: کشت خالص و کشت مخلوط جایگزینی، ب: کشت مخلوط افزایشی  
Ch: Chickpea, S: Safflower



جدول ۶- حداکثر شاخص سطح برگ دو گیاه گلرنگ و نخود در تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط

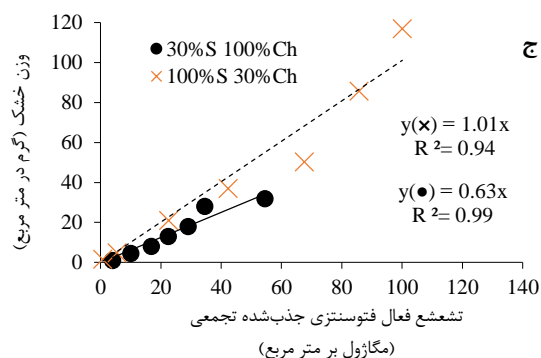
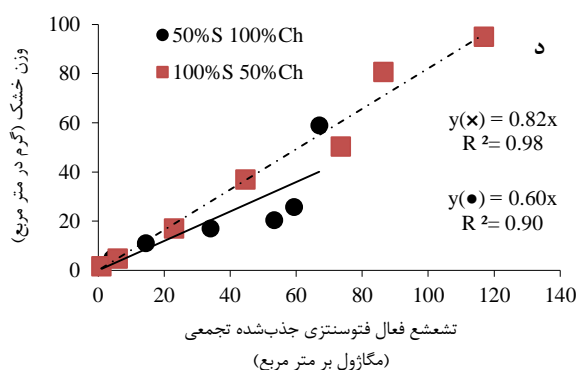
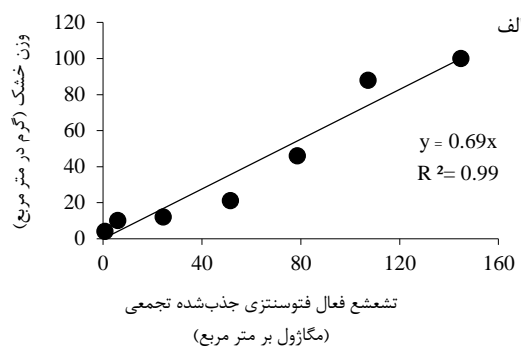
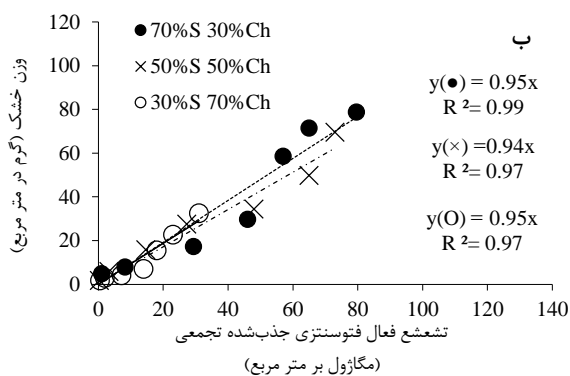
نخود	گلرنگ	تیمار
$0.78 \pm 0.07^a$	$0.72 \pm 0.07^b$	کشت خالص
$0.34 \pm 0.03^e$	$0.65 \pm 0.07^b$	۳۰٪ نخود + ۷۰٪ گلرنگ
$0.45 \pm 0.04^{de}$	$0.50 \pm 0.06^c$	۵۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ
$0.58 \pm 0.05^{cd}$	$0.42 \pm 0.05^c$	۷۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ
$0.72 \pm 0.08^{ab}$	$0.40 \pm 0.04^c$	۱۰۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ
$0.35 \pm 0.03^e$	$0.87 \pm 0.07^a$	۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ گلرنگ
$0.62 \pm 0.04^{bc}$	$0.45 \pm 0.06^c$	۱۰۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ

در هر ستون، میانگین‌هایی ( $\pm$  خطای استاندارد) که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

میزان تشعشع فعال فتوسنتزی جذب‌شده (PAR) داشت و در همه‌ی تیمارها ضریب تبیین بیش از ۰/۹ به‌دست آمد (شکل ۳ و ۴).

### کارایی مصرف نور

نتایج این آزمایش نشان داد که تجمع ماده‌خشک در تمام تیمارها و در هر دو گیاه گلرنگ و نخود ارتباطی خطی با



شکل ۳- اثر الگوهای کشت مخلوط بر کارایی مصرف نور گیاه گلرنگ، الف: کشت خالص، ب: کشت مخلوط جایگزینی، ج و د: کشت مخلوط افزایشی  
 Ch: Chickpea, S: Safflower

۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود با ۱/۰۱ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی به دست آمد و کمترین میزان کارایی مصرف نور در گیاه گلرنگ (۰/۶۰ گرم بر مگاژول PAR) در

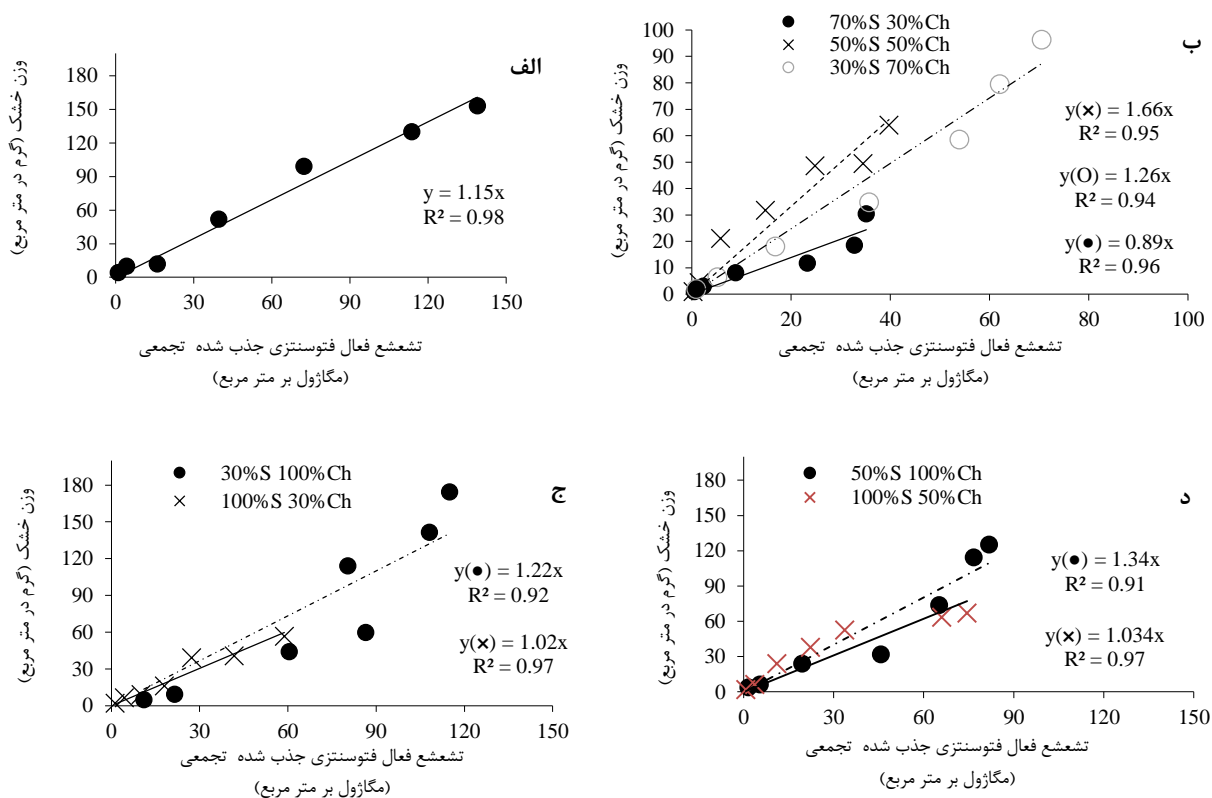
شیب رابطه‌ی بین مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی جذب‌شده و ماده‌خشک بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد. بالاترین میزان کارایی مصرف نور گیاه گلرنگ در تیمار

تیمار ۵۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود مشاهده شد (جدول ۷).  
بیشترین میزان کارایی مصرف نور گیاه نخود (۱/۶۶ گرم بر مگاژول PAR) در کشت مخلوط جایگزینی ۵۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ مشاهده شد و کمترین آن در تیمار ۳۰٪ نخود + ۷۰٪ گلرنگ بود (شکل ۳ و ۴، جدول ۷).

جدول ۷- کارایی مصرف نور (گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول PAR) دو گیاه گلرنگ و نخود در تیمارهای کشت خالص و مخلوط

تیمار	گلرنگ	نخود
کشت خالص	$0.69 \pm 0.06^{bc}$	$1.15 \pm 0.09^{bc}$
۳۰٪ نخود + ۷۰٪ گلرنگ	$0.95 \pm 0.12^a$	$0.89 \pm 0.08^d$
۵۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ	$0.95 \pm 0.08^a$	$1.66 \pm 0.11^a$
۷۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ	$0.94 \pm 0.11^a$	$1.26 \pm 0.10^b$
۱۰۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ	$0.63 \pm 0.07^c$	$1.22 \pm 0.09^{bc}$
۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ گلرنگ	$1.01 \pm 0.10^a$	$1.01 \pm 0.07^{cd}$
۱۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ	$0.60 \pm 0.07^c$	$1.34 \pm 0.12^b$
۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ گلرنگ	$0.82 \pm 0.08^{ab}$	$1.03 \pm 0.07^{cd}$

در هر ستون، میانگین‌هایی ( $\pm$  خطای استاندارد) که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.



شکل ۴- اثر الگوهای کشت مخلوط بر کارایی مصرف نور گیاه نخود، الف: کشت خالص، ب: کشت مخلوط جایگزینی، ج و د: کشت مخلوط افزایشی  
Ch: Chickpea, S: Safflower

### جذب تشعشع

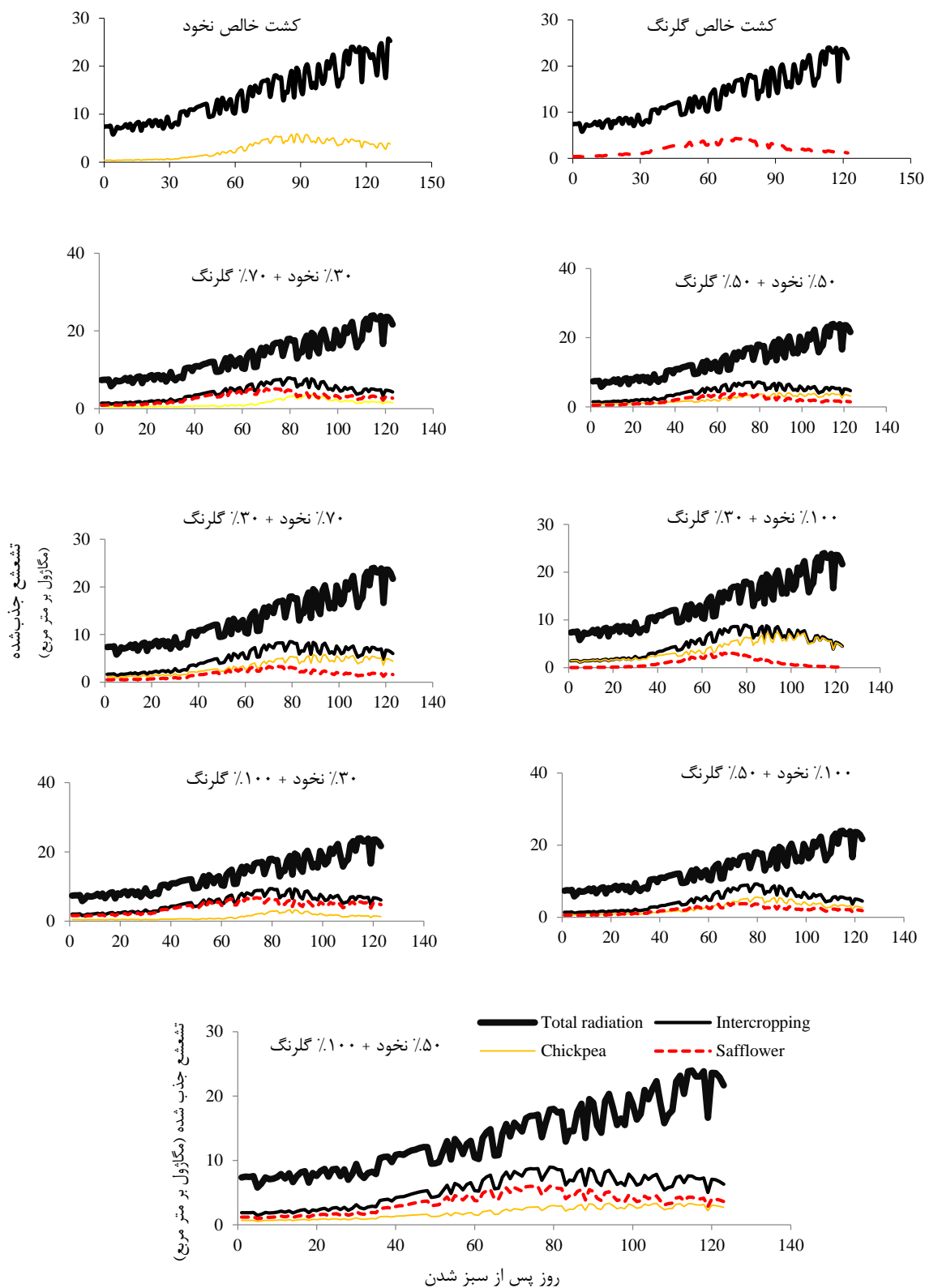
روند تغییرات کل تشعشع رسیده به سطح دو گیاه گلرنگ و نخود و میزان تشعشع جذب‌شده‌ی روزانه توسط کانوپی تیمارهای مختلف این دو گیاه در شکل ۵ نشان داده شده است. در ابتدای دوره‌ی رشد از میزان کل تشعشع رسیده به سطح کانوپی گیاهان، به دلیل پایین بودن شاخص سطح برگ و باز بودن کانوپی گیاهان گلرنگ و نخود، جذب نور توسط گیاهان کم بوده ولی با گذشت زمان و افزایش شاخص سطح برگ جذب نور توسط کانوپی افزایش یافت و پس از رسیدن به حداکثر خود به علت پیری گیاهان و کاهش سطح برگ آن‌ها روند نزولی پیدا کرد (شکل ۵). تقریباً حداکثر جذب نور برای تمامی تیمارها و الگوهای کشت حدود ۶۰ تا ۸۰ روز پس از کاشت اتفاق افتاده است (شکل ۵)، دقیقاً در زمانی که شاخص سطح برگ آن‌ها به حداکثر میزان خود رسیده است (شکل ۱ و ۲). در این آزمایش تفاوت اندکی که در میزان جذب نور وجود دارد به دلیل نوع الگوی کاشت و همچنین نوع گیاهان به کار رفته و زمان رسیدن به حداکثر شاخص برگ در الگوهای کشت است. بر این اساس، می‌توان علت تفاوت در میزان تشعشع جذب‌شده‌ی روزانه توسط الگوهای کاشت را به سرعت رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و مدت‌زمان باقی‌ماندن در حداکثر شاخص سطح برگ نسبت داد. بالاترین میزان تشعشع جذب‌شده در الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود (۶۰۳ مگا ژول بر مترمربع) مشاهده شد. کمترین میزان تشعشع جذب‌شده نیز مربوط به الگوی کشت خالص گلرنگ (۳۱۵ مگا ژول بر مترمربع) بود (جدول ۸).

مقادیر کارایی مصرف نور نخود کاملاً منطبق با نتایج سایر مطالعات می‌باشد که بین ۰/۶ تا ۱/۸۶ گزارش شده است (Leach and Beech, 1998). در گیاهان پروتئینی و روغنی مانند نخود و کنجد هزینه‌ی بالای تنفس رشد عامل اصلی کاهش کارایی مصرف نور می‌باشد. از آنجا که گلرنگ یک گیاه روغنی و نخود یک گیاه لگوم می‌باشد بنابراین در مجموع، کارایی مصرف نور این گیاهان پایین‌تر از مقادیر گزارش‌شده برای گیاهان زراعی نشاسته‌ای می‌باشد (Sinclair and Muchow, 1999, Singh et al., 2010, Sarkar et al., 2000). به‌طور کلی در این آزمایش، کارایی مصرف نور محاسبه‌شده برای گیاه نخود تقریباً در تمامی تیمارها، از کارایی مصرف نور گلرنگ بالاتر بود. از آنجا که هزینه‌ی تولید یک واحد روغن بیشتر از هزینه‌ی ساخت یک واحد پروتئین می‌باشد، این نتیجه قابل توجه می‌باشد. البته به‌طور کلی عملکرد گیاه گلرنگ در این آزمایش پایین‌تر از نخود بود که این عامل هم اثر مستقیم بر کارایی مصرف نور داشت. اما نکته‌ی حائز اهمیت در این آزمایش این بود که در بیشتر تیمارهای کشت مخلوط سری‌های افزایشی و جایگزینی کارایی مصرف نور در هر دو گیاه از کشت خالص آن‌ها بالاتر بود (جدول ۷). یوسف‌نیا و همکاران در بررسی کارایی و جذب نور در کشت مخلوط شنبلیله و شوید بیان کردند که شاخص سطح برگ، میزان جذب نور، تجمع ماده خشک و کارایی مصرف نور شنبلیله و شوید در تمامی تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا کرده است (Yousefnia et al., 2015). مرادی و همکاران نیز گزارش کردند که میزان جذب تشعشع توسط سایه‌انداز مخلوط ذرت- لوبیا در کلیه‌ی تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص ذرت و لوبیا بیشتر بوده است (Moradi et al., 2016).

جدول ۸- میزان جذب تشعشع (PAR) تجمعی (مگاژول بر مترمربع) دو گیاه گلرنگ و نخود در تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط

کشت مخلوط	نخود	گلرنگ	تیمار
-	۳۹۸ <sup>aA</sup>	۳۱۵ <sup>bB</sup>	کشت خالص
۴۷۸ <sup>dA</sup>	۱۷۰ <sup>eC</sup>	۳۰۸ <sup>bB</sup>	۳۰٪ نخود + ۷۰٪ گلرنگ
۵۲۴ <sup>bcA</sup>	۲۷۸ <sup>cdB</sup>	۲۴۶ <sup>cB</sup>	۵۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ
۵۱۵ <sup>cdA</sup>	۳۰۳ <sup>bcB</sup>	۲۱۵ <sup>cdC</sup>	۷۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ
۵۲۵ <sup>bcA</sup>	۳۴۱ <sup>bB</sup>	۱۸۴ <sup>dC</sup>	۱۰۰٪ نخود + ۳۰٪ گلرنگ
۵۵۸ <sup>abcA</sup>	۱۵۰ <sup>eC</sup>	۴۰۸ <sup>aB</sup>	۳۰٪ نخود + ۱۰۰٪ گلرنگ
۵۶۳ <sup>abA</sup>	۳۱۶ <sup>bB</sup>	۲۴۷ <sup>cC</sup>	۱۰۰٪ نخود + ۵۰٪ گلرنگ
۶۰۳ <sup>aA</sup>	۲۳۳ <sup>dC</sup>	۳۷۰ <sup>aB</sup>	۵۰٪ نخود + ۱۰۰٪ گلرنگ

در هر ستون و هر ردیف، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند. حروف بزرگ و کوچک به ترتیب نشان‌دهنده‌ی معناداری در ردیف و ستون می‌باشند.



شکل ۵- تثعشع فعال فتوسنتزی روزانه جذب شده (مگاژول بر مترمربع) دو گیاه گلرنگ و نخود در تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط

*al.*, 2006; Alizadeh *et al.*, 2009; Hosseinpanahi *et al.*, 2010; Alizadeh *et al.*, 2012). در بررسی میران جذب

تحقیقات مختلفی اثر مثبت کشت مخلوط بر افزایش جذب تثعشع را گزارش کرده اند (Tsubo *et al.*, 2001; Awal *et al.*, 2001).

به نظر می‌رسد دلیل اصلی پایین بودن نسبت برابری زمین در کشت مخلوط جایگزینی، کم بودن LER جزئی نخود بود. همچنین نتایج آزمایش نشان داد کشت مخلوط دو گیاه گلرنگ و نخود، اگرچه اثر مشخصی بر عملکرد گیاه نخود نداشت، اما باعث بهبود عملکرد گلرنگ شد. بالاترین میزان نسبت برابری زمین در کشت مخلوط افزایشی ۳۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود (۱/۴۷) بود. کشت مخلوط در این آزمایش بر کارایی و تسخیر نور اثر مثبت داشت، به طوری که بیشترین مقدار کارایی مصرف نور گیاه گلرنگ (۱/۰۱ گرم بر مگاژول) و نخود (۱/۶۶ گرم بر مگاژول) به ترتیب در تیمار مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود و کشت مخلوط جایگزینی ۵۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود حاصل شد. همچنین بالاترین میزان تشعشع جذب شده (۶۰۳ مگا ژول بر مترمربع) مربوط به الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۵۰٪ نخود بود. نتایج آزمایش نشان داد الگوی کشت مخلوط دو گیاه نخود و گلرنگ باعث بهبود میزان جذب تشعشع و کارایی مصرف نور در این گیاهان گردید که نتیجه‌ی آن بیشتر شدن عملکرد کل و بالا رفتن میزان LER بود.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت آموزش و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهش دانشگاه ایلام جهت پیشبرد پایان‌نامه کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی که مقاله حاضر حاصل آن است، قدردانی می‌شود.

و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط دو گیاه نخود و کنجد نشان داده شد که تشعشع جذب شده در کشت مخلوط این دو گیاه بالاتر از کشت خالص آن‌ها بود (Pouramir *et al.*, 2016)، که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت داشت. در کشت مخلوط به دلیل آشیان‌های اکولوژی متفاوت، گیاهان موجود در کشت مخلوط تمام آشیان‌های موجود را به طور کامل پر می‌کنند و ایجاد شرایط سینوسی در پوشش مزرعه، باعث افزایش جذب نور توسط کانوپی مخلوط نسبت به کشت خالص می‌شود (Tsubo *et al.*, 2001). در آزمایشی که به منظور بررسی جذب و کارایی مصرف تشعشع در چندکشتی گندم و سویا انجام شد، میزان تشعشع جذب شده در الگوهای مختلف کشت مخلوط به مراتب بالاتر از تک‌کشتی این دو گیاه برآورد گردید (Caviglia *et al.*, 2004). در شرایط کشت مخلوط پوشش گیاهی حالت سینوسی پیدا کرده و میزان سطح سبز بیشتری در برابر نور قرار می‌دهد که یک دلیل جذب تشعشع بیشتر در گیاهان می‌باشد (Tsubo *et al.*, 2005).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان‌دهنده‌ی سودمندی کشت مخلوط دو گیاه نخود و گلرنگ بود. به طوری که بیشترین عملکرد دانه (۱۹۰ کیلوگرم در هکتار) و بیولوژیک (۱۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) در گیاه گلرنگ در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ گلرنگ + ۳۰٪ نخود به دست آمد. در نخود نیز بیشترین میزان عملکرد دانه (۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) و بیولوژیک (۱۷۴۰ کیلوگرم در هکتار) از مخلوط افزایشی ۳۰٪ گلرنگ + ۱۰۰٪ نخود حاصل شد. بررسی سودمندی کشت مخلوط بر اساس شاخص نسبت برابری زمین، نشان داد که در تمام سری‌های افزایشی کشت مخلوط، LER بالاتر از ۱ بود و این در حالی بود که تمامی سری‌های جایگزینی کشت مخلوط، LER کمتر از ۱ داشتند.

## منابع

- Alizadeh, Y., Koocheki, A.R. and Nasiri Mahallati, M. 2009. Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris*) and herb sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Agroecology*, 2: 94-104. (In Persian).
- Alizadeh, Y., Koocheki, A.R., Nasiri Mahallati, M. and Pouramir, F. 2012. Evaluation of radiation absorption and radiation use efficiency of intercropping of Sweet basil and Bean. *Field Crop Research*, 11: 54-63. (In Persian).
- 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.
- Yousefnia, M., Banaeian, A.M. and Khoramdel, S. 2015. Evaluation of light absorption and efficiency by canopy of mixed cultivation of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum L*) and dill (*Anethum graveolens L*). *Agroecology*, 7: 412-424. (In Persian).
- Caviglia, O.P., Sadras, V.O. and Andrade, F.H. 2004. Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crop Research*, 87: 117-129.
- Connolly, J., Goma, H.C. and Rahim, K. 2001. The information content of indicators in intercropping research. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 87: 191-207.
- FAO. 2010. Food and Agriculture Organization, [www.fao.org](http://www.fao.org).
- Gao, Y., Duan, A.W., Sun, J.S., Li, F.S., Liu, Z.G., Liu, H. and Liu, Z.D. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research*, 111: 65-73.
- Ghahremani, Gh.V., Naseripour yazdi, M.T. and Kamaei, R. 2017. Yield of chickpea (*Cicer arietinum* in mixed cultivation with *Cumin cyminum*) under the influence of planting date. *Scientific Journal of Crop Ecophysiology*, 11: 399-412. (In Persian).
- Goudriaan, J. and Van Laar, H.H. 1993. *Modelling Potential Crop Growth Processes*, Kluwer Academic Press, Netherlands.
- Hamzei, J. and Seidi, M. 2014. Study of vegetation growth indices in pure and mixed cultivation of chickpea and barley in weed competition conditions. Special issue of the *Journal of Agricultural science and Sustainable Production*. 24: 75-90. (In Persian).
- Hosseinpanahi, F., Koocheki, A., Nassiri, M. and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of absorption and use efficiency of radiation in corn/potato intercropping. *Agroecology*, 2(1): 50-60. (In Persian).
- Ismailian, Y. and Behzadamiri, M. 2020. Agricultural and economic evaluation of safflower and chickpea mixed cultivation under micronutrient application conditions. *Scientific Journal of Crop Ecophysiology*, 15: 1-20. (In Persian).
- Izadi Darbandi, A., Maghsoudi, A. and Molaei, A. 2018. Evaluation of Yield and Land Equilibrium Ratio in Mixed Cultivation of *Lallemantia royleana* Benth. And *Cicer arietinum L* under the Effect of Weed Competition Period. *Pulse Research*, 10: 90-103. (In Persian).
- Khajehpour, M.R. 2004. *Industrial plants*. 1st edn. University Jihad Publication. 580p. (In Persian).
- Keating, B.A. and Carberry, P.S. 1993. Resource capture and use in intercropping: Solar radiation. *Field Crops Research*, 34: 273-301.
- Kumar, B.R.M., Mansur, C.P., Salimath, P.M., Alagundagi, S.C. and Sarawad, I.M. 2009. Influence of different row proportions on yield components and yield of rabi crops under different intercropping systems. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 22(5): 1087-1089.
- Leach, G. and Beech, D.F. 1988. Response of chickpea accessions to row spacing and plant density on a vertisol on the Darling Downs, south-eastern Queensland. 2. Radiation interception and water use. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 28(3): 377-383.

- Mansoori, H., Mansoori, L., Jamshidi, Kh., Rastgoo, M. and Moradi, R. 2012. Absorption and efficiency of light consumption in growing an increasing mixture of corn and beans in Zanjan region. *Crop Production and Processing*, 3: 15-27. (In Persian)
- Masoumipour, A., Torabi, B. and Rahimi, A. 2016. Evaluation of extinction coefficient and radiation use efficiency in different cultivars of safflower under different levels of nitrogen fertilizer. *Electronic journal of Crop Production*, 9: 67-86.
- Mazaheri, D. 1988. *Intercropping*. Tehran University Press. 262 pp. (In Persian).
- Mousavian, S.N. and Seid-mohamadi, S.A.R. 2014. Effect of Nitrogen and Cultivation Patterns on Morphological Traits and Growth Indices in Mixture of Corn and Sunflower. *Crop Physiology*, 26: 105-120.
- Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G. and Samizadeh, J.A. 2016. Evaluation of the usefulness of cultivating a triple mixture of corn (*Zea mays* L.), pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and paper seed squash (*Cucurbita pepo* L.). *Crop Production and Processing*, 19: 177-188. (In Persian)
- Neamatollahi, E., Jahansuz, M.R., Mazaheri, D. and Bannayan, M. 2013. *Intercropping*. In: Lichtfouse, E.(ed.), *Sustainable Agriculture Reviews, Sustainable Agriculture Reviews 12*. Springer London, P. 304.
- Pouramir, F., Koocheki, A.R., Nasiri Mahallati, M. and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of yield and yield components of sesame and chickpea in intercropping. *Field Crop Research*, 7: 747-757. (In Persian).
- Pouramir, F., Hossein Panahi, F. and Alizadeh, Y. 2016. Evaluation the Effect of Different Planting Combinations on Radiation Absorption and Use Efficiency of Intercropping Sesame and Chickpea in Additive Series. *Ecological Agriculture*, 6: 81-97. (In Persian).
- Rahimi, Gh., Barmaki, M. and Seyed Sharifi, R. 2014. Evaluation of yield and yield components in mixed potato and safflower cultivation. *Applied Field Crop Research*, 108: 114-119. (In Persian).
- Rezaei Chianeh, A. and Qoli Nejad, A. 2014. Study of agronomic characteristics and usefulness indices in intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black seed (*Nigella sativa* L.). *Agroecology*, 7: 381-396. (In Persian).
- Salari, F., Khalesro, S., Heidari, G. and Ghobari, H. 2020. Comparison of quantitative and qualitative traits of safflower and chickpea in replacement and additive intercropping systems. *Field Crop Science*, 51(3): 129-138. (In Persian).
- Sarkar, R.K., Shit, D. and Maitra, S. 2000. Competition function, productivity and economics of chickpea based intercropping systems under rainfed conditions of Bihar plateau. *Indian Journal of Agronomy*, 45(4): 681-688.
- Strydhorst, S.M., King, J.R., Lopetinsky, K.J. and Neil Harker, K. 2008. Forage potential of intercropping barley with faba bean or field pea. *Agronomy*, 100: 182-190.
- Singh Rajesh, K., Kumar, H. and Singh, A.K. 2010. Brassica based intercropping systems - A Review. *Agricultural Science*, 31(4): 6- 11.
- Sinclair, T.R. and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in agronomy*, 65: 215-265.
- 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.
- Tsubo, M., Walker, S. and Mukhala, E. 2001. Comparisons of radiation use efficiency of mono intercropping system with different row orientation. *Field Crops Research*, 71: 17-29.
- 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.
- Zafaranih, M. 2015. Effect of various combinations of safflower/chickpea intercropping on yield and yield components of safflower. *Agriculture Science Developments*, 4: 31-34.

## The effect of intercropping of replacement and additive series on yield, light use efficiency, and radiation absorption in safflower and chickpea in Ilam

Roya Fatahneaei<sup>1</sup>, Yaser Alizadeh\*<sup>2</sup>, Ehsan Zeidali<sup>3</sup>

1. M.Sc. student of agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2\*. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Received: 15-12-2021

Accepted: 30-01-2022

### Abstract

In order to study the effect of intercropping (additive and replacement series) on yield and radiation use efficiency of safflower and chickpea, a field experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications and nine treatments at the research farm, Faculty of Agriculture, Ilam University during the growing season in 2020. Experimental treatments were include: sole crops: safflower (S) (25 plants.m<sup>-2</sup>) and chickpea (Ch) (25 plants.m<sup>-2</sup>), intercropping of replacement series: (70% S, 30% Ch), (50% S, 50% Ch), (30% S, 70% Ch) and intercropping of additive series: (100% S+ 30% Ch), (100% S+ 50% Ch), (100% Ch + 30% S) and (100% Ch + 50% S). The results showed that the highest grain yield (190 kg.ha<sup>-1</sup>) and biological yield (1070 kg.ha<sup>-1</sup>) of safflower were obtained in additive series 100% S+ 30% Ch. The highest (1.47) and the lowest (0.86) land equivalent ratio was obtained from additive series 30% S+ 100% Ch and replacement series of 30% S+ 70% Ch, respectively. The highest radiation use efficiency (RUE) of safflower and chickpea was obtained in the treatments of 100% S + 30% Ch and 50% S + 50% Ch, respectively. The highest radiation absorbed (603 MJ.m<sup>-2</sup>) was obtained in the treatments of 100% S+ 50% Ch. Intercropping patterns of chickpea and safflower improved the radiation absorption and radiation use efficiency and increased the total yield per unit area and LER.

**Keywords:** Yield components, cropping pattern, leaf area index, autumn planting, land equivalent ratio