



## بررسی جذب و کارایی مصرف نور در کشت مخلوط ارزن معمولی و سویا تحت تنش کمبود آب

سمیه حاجی‌نیا<sup>۱</sup> و گودرز احمدوند<sup>۲\*</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۲

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنش کمبود آب بر سطح برگ، کارایی مصرف نور و ماده خشک سویا (*Glycine max* L.) و ارزن (*Panicum miliaceum* L.) در کشت مخلوط، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینای همدان به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تنش کمبود آب در سه سطح (آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر) به عنوان عامل اصلی و الگوی کاشت جایگزینی در پنج سطح (تک‌کشتی سویا (100S)، تک‌کشتی ارزن (100M)، کشت مخلوط جایگزینی ۳۳ درصد سویا + ۶۷ درصد ارزن (33S:67M)، ۵۰ درصد سویا + ۵۰ درصد ارزن (50S:50M) و ۶۷ درصد سویا + ۳۳ درصد ارزن (67S:33M) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد، بیشترین شاخص سطح برگ سویا و ارزن به ترتیب به میزان ۵/۶۸ و ۳/۲۳ در تک‌کشتی آنها به دست آمد. تنش شدید کمبود آب شاخص سطح برگ سویا و ارزن را به ترتیب ۳۳/۰۳ و ۳۳/۳۳ درصد نسبت به عدم تنش کاهش داد. بالاترین ماده خشک در تک‌کشتی سویا و ارزن به ترتیب به مقدار ۶۱۳ و ۵۴۰ گرم بر مترمربع، حاصل شد. تنش شدید کمبود آب ماده خشک سویا و ارزن را به ترتیب ۳۹/۸۷ و ۳۱/۵۶ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. کارایی مصرف نور ارزن در الگوهای کشت مخلوط (33S:67M)، (50S:50M) و (67S:33M) به ترتیب ۲۴/۸۵، ۲۹/۸۶ و ۲۶/۷۶ درصد بیشتر از کشت خالص ارزن بود. در حالی که، کارایی مصرف نور سویا در کشت مخلوط کاهش یافت و میانگین آن در طول فصل رشد از ۰/۹۷ گرم بر مگاژول در نسبت (33S:67M) تا ۱/۷۷ گرم بر مگاژول در تیمار کشت خالص سویا متغیر بود. نتایج نشان داد تنش کمبود آب تأثیر منفی بر کارایی مصرف نور ارزن و سویا داشت.

**واژگان کلیدی:** تنش کمبود آب، جذب نور، سطح برگ، کشت مخلوط، ماده خشک.

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

## مقدمه

نور یکی از عوامل محیطی است که معمولاً میزان تولید گیاهان رابطه مستقیم با مقدار جذب آن دارد (Tsubo *et al.*, 2001). کارآیی 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 مگا ژول تشعشع جذب شده می‌باشد. تولید ماده خشک در گیاه یک ارتباط خطی با میزان تشعشع جذب شده توسط گیاه دارد که شیب این ارتباط بیانگر کارآیی مصرف نور می‌باشد (Zhang *et al.*, 2008). اگر چه اعتقاد بر این بود که کارآیی مصرف نور ثابت و بیشتر از طریق ژنتیکی کنترل می‌شود (Monteith, 1977)، اما عوامل محیطی و عملیات مدیریت نظیر تاریخ کاشت، تراکم بوته، رقم، تغییرات آب و هوایی و حاصلخیزی خاک به سبب نقش ویژه‌ای که در فتوسنتز دارد، این عامل را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Akmal and Janssens, 2004).

تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که ۴۰ تا ۶۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Reddy *et al.*, 2004). تسفای و همکاران (Tesfaye *et al.*, 2006) کاهش کارآیی مصرف نور در گیاهان زراعی تحت شرایط تنش کمبود آب در مرحله رشد رویشی گزارش کردند. از جمله دلایل کاهش کارآیی مصرف نور در گیاهان تحت تنش کمبود آب، کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی گزارش شده است (Garofalo and Rinaldi, 2015; Tesfaye *et al.*, 2006). تنش کمبود آب سطح برگ گیاه به علت پژمردگی و جمع شدن پهنک کاهش می‌دهد، با کاهش سطح برگ، جذب تشعشع فعال فتوسنتزی کاهش می‌یابد (Ngugi *et al.*, 2013).

کولینو و همکاران (Collino *et al.*, 2001) کاهش کارآیی مصرف نور در شرایط تنش کمبود آب را در بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) گزارش کردند. بنابراین، دستیابی به راهبردهایی برای کاهش اثرات منفی تنش کمبود آب بر گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کشت مخلوط، یکی از راهکارهای زراعی برای افزایش بهره‌وری استفاده از نور و استفاده حداکثری از رطوبت خاک، می‌باشد (Alizadeh, 2001).

نتایج برخی تحقیقات نشان‌دهنده افزایش کارآیی مصرف نور، عناصر غذایی، آب و زمین در سیستم‌های کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد (Awal *et al.*, 2006; Shahbaghi *et al.*, 2017). کاولیگا و همکاران (Caviglia *et al.*, 2004) در آزمایشی که به منظور بررسی جذب و کارآیی مصرف تشعشع در چند کشتی گندم (*Triticum aestivum* L.) و سویا انجام دادند، مشاهده نمودند که میزان تشعشع جذب شده در الگوهای مختلف کشت مخلوط به مراتب بالاتر از تک‌کشتی بود. گزارش شده است که شاخص سطح برگ در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolous vulgaris*) در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آنها، بالاتر بود و این شاخص سطح برگ بالاتر منجر به استفاده بهینه از نور دریافتی توسط تاج پوشش و افزایش عملکرد شد (Tsubo *et al.*, 2005).

در شرایط محدودیت منابع آبی، تغییر الگوی کشاورزی به سمت کاشت گیاهان متحمل به خشکی می‌تواند راهکار بسیار مناسبی باشد. ژنوتیپ‌های مختلف ارزن به دلیل کوتاه بودن فصل رشد و داشتن برخی خصوصیات ویژه به آب کمتری نیاز دارند و می‌توانند در شرایط مساعد محیطی نسبت به سایر غلات محصول بیشتری

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینای همدان واقع در روستای دستجرد با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا، در سال ۱۳۹۴، اجرا گردید. منطقه مورد بررسی بر اساس آمار هواشناسی ۵۵ ساله، از نظر اقلیمی جزو مناطق نیمه‌خشک و سرد، با میانگین بارندگی سالیانه ۳۳۳ میلی‌لیتر و میانگین درجه حرارت ۲۴ درجه سلسیوس در گرم‌ترین ماه سال است. بافت خاک محل آزمایش لومی و سال قبل از اجرای آزمایش به‌صورت آیش بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. کرت‌های اصلی شامل تنش کمبود آب در سه سطح (آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A که به-ترتیب به‌عنوان آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید کمبود آب در نظر گرفته شدند) و الگوی کاشت جایگزینی به عنوان عامل فرعی در پنج سطح (تک‌کشتی سویا (100S)، تک‌کشتی ارزن (100M)، کشت مخلوط جایگزینی ۳۳ درصد سویا + ۶۷ درصد ارزن (33S:67M)، ۵۰ درصد سویا + ۵۰ درصد ارزن (50S:50M) و ۶۷ درصد سویا + ۳۳ درصد ارزن (67S:33M) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

عملیات کاشت سویا و ارزن معمولی به-صورت همزمان در اول خرداد ماه در کرت‌هایی شش ردیفه با طول چهار متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. فاصله نهایی بوته‌ها روی

تولید کنند (Kazemi Arbat, 2007). بنابراین، ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) می‌تواند گیاه مناسبی برای کاشت در مناطق کمبود آب باشد.

سویا (*Glycine max* L.) نیز از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در جهان و ایران محسوب می‌شود و با دارا بودن ۱۸-۲۵ درصد روغن و ۳۰-۵۰ درصد پروتئین، یکی از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی است و اهمیت ویژه‌ای در تغذیه انسان، دام و طیور دارد (Khajehpour, 2004). بنابراین، پتانسیل زیادی برای گسترش کشت این گیاه در الگوهای کشت مخلوط وجود دارد.

کشت مخلوط ارزن و سویا به دلیل تفاوت در سیستم ریشه‌ای (ریشه‌های افشان در ارزن و ریشه‌های راست در سویا) و سیستم فتوسنتزی (سیستم فتوسنتزی چهار کربنه در ارزن و استفاده از انرژی تابشی در نور زیاد و وجود سیستم سه کربنه در سویا و در نتیجه سرعت رشد بالاتر این گیاه در تابش‌های کمتر) اهمیت زیادی در استفاده کارآمد از منابع محیطی مانند نور، آب و عناصر غذایی دارد (Khajehpour, 2004; Kazemi Arbat, 2007).

با توجه به این‌که بخش عمده مناطق کشور دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک و شدت تشعشع بالا می‌باشد، در این شرایط کشت مخلوط می‌تواند به‌عنوان یک راهکار به‌منظور حداکثر استفاده از تشعشع بالای خورشیدی و منابع محدود آب به‌کار رود. بنابراین، این تحقیق با هدف ارزیابی شاخص سطح برگ، جذب تشعشع، کارایی مصرف نور و عملکرد دانه در کشت مخلوط ارزن و سویا تحت تأثیر تنش کمبود آب در شهرستان همدان اجرا شد.

یک بار تا انتهای دوره رشد، انجام شد و بوته‌های برداشت شده به آزمایشگاه منتقل گردید. جهت تعیین شاخص سطح برگ از دستگاه سطح برگ سنج استفاده شد. همچنین، جهت تعیین وزن خشک کل سویا نیز ابتدا نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آن به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توسط ترازو توزین گردید.

به‌منظور بیان تغییرات شاخص سطح برگ سویا و ارزن نسبت به روزهای کاشت از معادله لجستیک- پیک (معادله ۱) استفاده گردید.

$$Y = a + b \times 4 \times (\exp(-(x-c)/d)) / (1 + \exp(-(x-c)/d)^2) \quad \text{معادله ۱}$$

در این معادله  $a$ ، عرض از مبدا،  $b$ ، زمان رسیدن به حداکثر LAI،  $c$ ، حداکثر LAI و  $d$ ، نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و  $x$ ، زمان بر حسب روزهای پس از کاشت است. جهت ارزیابی تغییرات ماده خشک سویا و ارزن در زمان معادله سیگموئیدی (معادله ۲) بهترین برازش را به داده‌های به‌دست آمده داشت.

$$TDM = a / (1 + b \times \exp(-c \times x)) \quad \text{معادله ۲}$$

در این معادله TDM تجمع ماده خشک برحسب گرم در مترمربع  $a$ ، حداکثر تجمع ماده خشک،  $b$ : ثابت معادله،  $c$ ، سرعت رشد نسبی و  $x$ ، زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

جهت محاسبه میزان جذب و کارآیی مصرف تابش ابتدا میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی همدان به روش ارائه شده توسط خودریان و فن‌لار (Goudriaan and van Laar, 1994) محاسبه گردید. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی گرفته شده از ایستگاه

خطوط کاشت در هر دو گیاه، پنج سانتی‌متر بود. الگوهای مختلف کشت مخلوط به روش جایگزینی انجام شد و نسبت‌های کاشت با تغییر تعداد ردیف‌های کشت تنظیم گردید. در نسبت کاشت 33S:67M چهار ردیف ارزن و دو ردیف سویا و در نسبت 67S:33M دو ردیف ارزن و چهار ردیف سویا منظور شد و نسبت کاشت 50S:50M شامل کشت یک در میان ارزن با سویا بود. در تک‌کشتی سویا و ارزن، شش ردیف به کشت خالص هر کدام از آنها اختصاص یافت.

بذر مورد استفاده ارزن نوع معمولی (پیشاهنگ) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان و بذر سویا (رقم M9) از مرکز تحقیقات دانه‌های روغنی الشتر (لرستان) تهیه شد. کاشت بذر با تراکم بیشتر از حد مورد نظر انجام و برای دستیابی به تراکم مطلوب سویا و ارزن (۴۰ بوته در مترمربع) گیاهان در مرحله چهار تا شش برگی تنک شدند.

اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور انجام گرفت. گیاهان تا مرحله چهار تا شش برگی به‌طور منظم و یکنواخت آبیاری شدند. بعد از این مرحله اعمال تیمارهای آبیاری بر اساس تبخیر تشت تبخیر کلاس A، صورت گرفت. میزان تبخیر از تشتک تبخیر در مزرعه، به‌طور روزانه اندازه‌گیری شد و آبیاری هر تیمار، پس از رسیدن میزان تبخیر جمعی به مقدار مورد نظر انجام شد. آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای و با لوله‌های پلی‌اتیلنی انجام و مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری با استفاده از کنتور کنترل گردید. به منظور تعیین وزن خشک کل و سطح برگ، از ۳۰ روز پس از کاشت، نمونه‌برداری‌های تخریبی با برداشت سه بوته به‌طور کاملاً تصادفی و با در نظر گرفتن اثر حاشیه از هر یک از کرت‌ها، هر ۱۵ روز

دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای برآزش منحنی‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای Slide Write و Excel استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### شاخص سطح برگ

نتایج این آزمایش نشان دهنده‌ی روند مشابه تغییرات شاخص سطح برگ سویا و ارزن در طول فصل رشد، برای تمامی تیمارها بود (شکل ۱ و ۲). به طوری که، در ابتدای دوره رشد با گذشت زمان شاخص سطح برگ سویا و ارزن به کندی افزایش یافت و در ادامه فصل رشد افزایش شاخص سطح برگ برای هر دو گیاه روند خطی پیدا کرد و برای سویا و ارزن به ترتیب در حدود ۷۰ و ۶۰ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید. پس از آن به دلیل پیری، زرد شدن و ریزش برگ‌های پایین تاج پوشش شاخص سطح برگ روند نزولی پیدا کرد (شکل ۱ و ۲).

نتایج نشان داد تا ۵۰ روز پس از کاشت، در هر دو گیاه، تفاوت معنی‌داری از لحاظ شاخص سطح برگ بین تیمارها وجود نداشت که احتمالاً به این دلیل باشد، که در این مرحله گیاهان کمتر تحت تأثیر تنش کمبود قرار گرفته‌اند. در ۵۰ پس از کاشت ارزن و سویا، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده گردید. در این مرحله، با اعمال تنش کمبود آب شاخص سطح برگ ارزن و سویا کاهش یافت (شکل ۱ و ۲). در ۱۰۰ روز پس از کاشت سویا و ۸۰ روز پس از کاشت ارزن شاخص سطح برگ سویا و ارزن در نتیجه پیری و ریزش برگ‌ها در تمام سطوح تنش کمبود آب و الگوهای کشت مخلوط کاهش یافت (شکل ۱ و ۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تنش کمبود آب و کشت مخلوط بر حداکثر شاخص سطح برگ

هواشناسی مرکز همدان (سایت هواشناسی استان همدان ۱۳۹۴) اصلاح و نور جذب شده روزانه برای هر دو گونه بر اساس معادلات ۳ تا ۵ محاسبه شد (Tsubo *et al.*, 2005).

$$I_{abs} = \frac{I_0(1 - )}{1 - \exp(-K_M LAI_M) + (-K_S LAI_S)} \quad \text{معادله ۳}$$

$$I_M = I_{abs} \left( \frac{K_M LAI_M}{(K_M LAI_M) + (K_S LAI_S)} \right) \quad \text{معادله ۴}$$

$$I_S = I_{abs} - I_M \quad \text{معادله ۵}$$

$I_0$ : مقدار تشعشع رسیده به بالای تاج پوشش (مگاژول بر مترمربع)،  $I_{abs}$ : مقدار تشعشع جذب شده توسط تاج پوشش مخلوط (مگاژول بر مترمربع)، : ضریب انعکاس که برای ارزن و سویا، ۰/۰۵ منظور شد،  $I_S$  و  $I_M$  به ترتیب مقدار تشعشع جذب شده توسط ارزن و سویا،  $K_M$ : ضریب خاموشی نور ارزن که معادل ۰/۵۵ منظور شد (Azizi *et al.*, 2015)،  $K_S$ : ضریب خاموشی نور سویا که معادل ۰/۵۲ منظور شد (Azizi *et al.*, 2015)،  $LAI_M$  و  $LAI_S$  به ترتیب شاخص سطح برگ ارزن و سویا است. سپس تشعشع جذب شده از حاصل ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده به دست آمد. مقدار کل تشعشع جذب شده به صورت تجمعی از طریق حاصل ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده نسبت به زمان، محاسبه گردید.

کارایی مصرف نور بر حسب گرم بر مگا ژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیونی بین ماده خشک (گرم در مترمربع) و میزان تشعشع تجمعی جذب شده (مگاژول بر مترمربع) محاسبه گردید (Tsubo and Walker, 2002).

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند

سویا، ارزن و کل تاج پوشش، معنی‌دار بود (جدول ۳ و ۲).

بیشترین شاخص سطح برگ سویا (۵/۶۸) در تک‌کشتی سویا به‌دست آمد و با افزایش سهم ارزن در کشت مخلوط، میزان شاخص سطح برگ سویا کاهش یافت (جدول ۴). بیشترین شاخص سطح برگ ارزن (۳/۲۳) نیز در کشت خالص حاصل شد که البته با توجه به تراکم بالاتر ارزن در این تیمار منطقی به‌نظر می‌رسد و کمترین شاخص سطح برگ ارزن در تیماری به‌دست آمد که ارزن در آن کمترین تراکم را داشت (جدول ۴). تاج پوشش کشت مخلوط در همه الگوهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی ارزن، دارای شاخص سطح برگ بالاتری بود (جدول ۴). تنش کمبود آب شدید حداکثر شاخص سطح برگ سویا، ارزن و کل تاج پوشش را مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۳۳/۰۳، ۳۳/۳۳ و ۳۳/۰۳ درصد کاهش داد (جدول ۴). تنش کمبود آب شاخص سطح برگ را در ارزن و سویا کاهش داد، که با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Tabarzad et al., 2016; Anjum et al., 2011). تحقیقات نشان داده است که اولین بازتاب به کمبود آب، کاهش سطح برگ و رشد گیاه است که این امر موجب می‌شود که تعرق در گیاه کمتر شود (Xu and Zhou, 2008). کاهش در آماس برگ و فتوسنتز تحت شرایط تنش کمبود آب، رشد و گسترش سلول را محدود و منجر به کاهش سطح برگ می‌گردد (Tabarzad et al., 2016; Anjum et al., 2011). به نظر می‌رسد که پیرشدن و ریزش شدیدتر برگ‌ها و عدم جایگزینی این برگ‌ها توسط برگ‌های جدید، باعث کاهش بیشتر شاخص سطح برگ در تیمار تنش شدید کمبود آب شدید شد. چاکیر (Cakir, 2004)

گزارش کرد که تنش کمبود آب از طریق کاهش تولید، رشد و افزایش پیری برگ‌ها، شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد.

سینگر و همکاران (Singer et al., 2007) گزارش کردند که در کشت مخلوط گندم و شبدر قرمز (*Trifolium pretense* L.)، شاخص سطح برگ این گیاهان نسبت به کشت خالص بالاتر بود و این امر منجر به استفاده بهینه از نور دریافتی تاج پوشش و افزایش عملکرد شد. مورگادو و ویلی (Morgado and Willey, 2003) در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا بیان کردند که شاخص سطح برگ در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بیشتر بود. مافی و موسیاری (Maffei and Mucciarelli, 2003) گزارش کردند که شاخص سطح برگ نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) در کشت مخلوط با سویا در مقایسه با کشت خالص، بیشتر بود. پاندیتا و همکاران (Pandita et al., 2000) در مطالعات خود بر روی کشت مخلوط انواع بقولات و ذرت، نشان دادند که در کشت مخلوط ذرت و ماش (*Vigna radiata*)، بیشترین شاخص سطح برگ ماش مربوط به کشت خالص این گیاه بود. قوش (Ghosh, 2004) نیز کاهش شاخص سطح برگ بادام‌زمینی را در کشت مخلوط با ارزن مرواریدی گزارش کرد. علت افزایش شاخص سطح برگ ارزن در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌تواند به دلیل فراهمی نیتروژن برای ارزن از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط سویا و توزیع مطلوب‌تر نور توسط تاج پوشش ارزن باشد.

#### ماده خشک کل

تجمع ماده خشک سویا (صفر تا ۱۱۰ روز پس از کاشت) و ارزن (صفر تا ۹۰ روز پس از کاشت) در طول زمان از یک رابطه سیگموئیدی

راندمان انتقال مواد و تجمع ماده خشک کاهش یافت. که این موضوع با یافته‌های سایر محققان مطابقت دارد ( *Tabarzad et al.*, 2016; *Oraki et al.*, 2012). اسپورن و همکاران ( *Osborne et al.*, 2002) بیان داشتند که علت افزایش تولید ماده خشک در شرایط آبیاری مطلوب، گسترش بیشتر و تداوم سطح برگ بود که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک گردید. دانشیان و همکاران ( *Daneshian et al.*, 2011) اثر تنش قطع آب را بر تجمع ماده خشک و شاخص‌های رشد سویا، بررسی کردند. تنش کمبود آب به دلیل کاهش سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک را در گیاه کاهش داد. بنابراین، در شرایط تنش کمبود آب، عدم تأمین آب مطلوب مورد نیاز برای گیاه باعث کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش جذب نور می‌شود که در نتیجه فتوسنتز و تولید ماده خشک در گیاه کاهش می‌یابد. تاج پوشش کشت مخلوط ارزن نسبت به کشت خالص آن دارای تجمع ماده خشک بیشتری بود که این موضوع می‌تواند به علت جذب نور بیشتر توسط تاج پوشش ارزن در کشت مخلوط باشد. همچنین، افزایش نفوذ نور به درون پوشش گیاهی حاصل از کشت مخلوط و استفاده از نیتروژن آلی تثبیت شده در خاک می‌تواند عامل مؤثری در افزایش ماده خشک ارزن در کشت مخلوط با سویا باشد. افزایش ماده خشک گیاهان زراعی در الگوهای کشت مخلوط، اغلب از طریق بهبود ظرفیت گونه‌های مخلوط برای افزایش جذب و مصرف فیزیولوژیکی منابع توسط آنها، حاصل می‌شود ( *Jahansooz et al.*, 2007). نتایج آزمایش انجام شده روی کشت مخلوط سویا و نعنای فلفلی نیز نشان داد که میزان ماده خشک در کشت مخلوط

تبعیت کرد. بین تیمارهای مختلف از نظر تجمع ماده خشک ارزن در روزهای ابتدایی، تفاوت چندانی وجود نداشت. از حدود ۵۰ روز پس از کاشت اختلاف میان تیمارهای مختلف از لحاظ تغییرات ماده خشک نمود پیدا کرد و در حدود ۹۰ روز پس از کاشت به بیشترین مقدار خود رسید و از آن پس روند تقریباً ثابتی را دنبال کرد (شکل ۳).

تجمع ماده خشک سویا در تیمارهای مختلف از روند مشابهی پیروی کرد، تولید ماده خشک از زمان سبز شدن تا ۹۰ روز پس از کاشت افزایش یافت، بعد از آن در اثر ریزش برگ‌ها، میزان ماده خشک روند ثابتی پیدا کرد (شکل ۴). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تنش کمبود آب و کشت مخلوط بر حداکثر ماده خشک سویا، ارزن و کل تاج پوشش مخلوط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳). در بین الگوهای کشت مخلوط، بیشترین ماده خشک در کشت خالص سویا و ارزن به ترتیب با ۶۱۳ و ۵۴۰ گرم ماده خشک در مترمربع، به‌دست آمد. افزایش نسبت هر یک از دو گیاه ارزن و سویا در سطوح مختلف کشت مخلوط، افزایش ماده خشک آن را به دنبال داشت (جدول ۴).

تنش ملایم و شدید کمبود آب موجب کاهش ماده خشک سویا به ترتیب به میزان ۲۱/۰۶ و ۳۹/۸۷ درصد نسبت به عدم تنش شد (جدول ۴). تنش ملایم و شدید کمبود آب ماده خشک ارزن را به ترتیب به میزان ۱۵/۸۹ و ۳۱/۵۶ درصد نسبت به عدم تنش کاهش داد (جدول ۴). تنش کمبود آب باعث کاهش حداکثر تجمع ماده خشک کل در ارزن و سویا گردید. به‌نظر می‌رسد که در تیمارهای تحت تنش کمبود آب به‌دلیل کاهش سطح فعال برگ و کاهش سرعت فتوسنتز،

ردیفی در مقایسه با کشت خالص بالاتر بود (Maffei and Mucciarelli, 2003). این امر می‌تواند به علت افزایش شاخص سطح برگ و تکمیل سریع‌تر تاج پوشش در نسبت‌های کشت مخلوط باشد. تأثیر مثبت تاج پوشش گیاه بر تجمع ماده خشک و عملکرد توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Heatherly and Smith, 2004).

### جذب تشعشع

میزان تشعشع بالای تاج پوشش و همچنین میزان تشعشع جذب شده توسط کل تاج پوشش کشت مخلوط و سهم هر کدام از دو گیاه سویا و ارزن از تشعشع جذب شده در تیمارهای مختلف کشت مخلوط و خالص دو گیاه در شکل ۵ نشان داده شده است. الگوی تغییرات زمانی جذب تشعشع در همه تیمارها از الگوی رشد سطح برگ تبعیت کرد. بدین ترتیب که متناسب با افزایش شاخص سطح برگ دو گیاه، میزان تشعشع جذب شده توسط تاج پوشش گیاه در تمامی تیمارها نیز به تدریج افزایش یافت و سپس به علت کاهش شاخص سطح برگ در انتهای دوره رشد، روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۵). این موضوع با نتایج سایر محققان مبنی بر تطابق روند افزایش شاخص سطح برگ با روند جذب تشعشع، مطابقت دارد (Yousef Nia et al., 2015).

با اعمال تنش کمبود آب، میزان جذب نور فعال فتوسنتزی در هر دو گیاه کاهش یافت (شکل ۳). احتمالاً این کاهش جذب نور، ناشی از کاهش سطح برگ بود. آراس و همکاران (Araus et al., 2003) اثر تنش کمبود آب را بر تسریع پیری برگ و کاهش سطح سبز برگ و در نتیجه کاهش جذب نور فعال فتوسنتزی، گزارش کردند. موجو (Muchow, 1985) گزارش کرد که وقوع

تنش کمبود آب از زمان استقرار گیاهچه و ادامه یافتن آن تا زمان بلوغ بقولات دانه‌ای مختلف مانند سویا باعث کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و مقدار ماده خشک اندام‌های هوایی می‌شود. به‌طور کلی، تولید ماده خشک گیاهی و در نهایت دست‌یابی به عملکرد بالا، به‌طور مستقیم به مقدار نور جذب شده توسط پوشش گیاهی بستگی دارد و در این میان سطح برگ و آرایش فضایی اندام‌های هوایی، از عوامل مؤثر و مهم در مقدار جذب تابش ورودی به پوشش گیاهی در مراحل مختلف چرخه زندگی گیاه هستند.

جذب نور توسط تاج پوشش کشت مخلوط ارزن نسبت به کشت خالص در تمام نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی به‌مراتب بالاتر از تک‌کشتی بود، که به نظر می‌رسد به علت تغییر ساختار تاج پوشش ارزن و سویا و اثرات مثبت ناشی از حضور سویا در مجاورت ارزن باشد. سایر محققان نیز افزایش جذب منابع مصرفی از جمله نور را در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص گزارش کرده‌اند (Rodrigo et al., 2001; Awal et al., 2006). آنها بیان کردند که استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط، یک راهکار اکولوژیکی ضروری برای بهبود کارآیی جذب و مصرف منابع، در جهت توسعه پایدار تولید محصولات می‌باشد.

در کشت مخلوط که دو گونه متفاوت از نظر آرایش برگ و ارتفاع در کنار هم رشد می‌کنند نسبت به کشت خالص، نور بیشتری را از نظر کمی و کیفی جذب می‌کنند (Awal et al., 2006). این نتایج به وضوح نشان می‌دهد که تاج پوشش کشت مخلوط، شرایطی را ایجاد کرده است که در طی فصل رشد تشعشع ورودی به نحو مطلوب‌تری توسط گونه‌ها جذب شود.



تنش شدید کمبود آب کارایی مصرف نور ارزن را در الگوهای کشت مخلوط (100M)، (33S:67M)، (50S:50M) و (67S:33M) در مقایسه با تیمار عدم تنش به ترتیب ۱۲/۶۰، ۱۶/۱۲ و ۱۷/۱۰ و ۲۷/۰۸ درصد کاهش داد (شکل ۶). کارایی مصرف نور ارزن در الگوهای کشت مخلوط (33S:67M)، (50S:50M) و (67S:33M) به ترتیب ۲۴/۸۵، ۲۹/۸۶ و ۲۶/۷۶ درصد بیشتر از کشت خالص ارزن بود (شکل ۶).

تجمع ماده خشک سویا نیز ارتباط خطی با تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی داشت و ضریب همبستگی آن در بین تیمارهای مختلف بین ۰/۶۳ تا ۰/۸۱ متغیر بود (شکل ۷). شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور می باشد که میانگین آن در طول فصل رشد از ۰/۹۷ گرم بر مگازول در الگوی کشت (33S:67M) در تنش شدید تا ۱/۷۷ گرم بر مگازول در تیمار کشت خالص سویا بدون تنش، متغیر بود و کارایی مصرف نور سایر تیمارها حد واسط این دو تیمار بود (شکل ۷). تنش شدید کمبود آب، کارایی مصرف نور سویا را در الگوهای کشت مخلوط (100S)، (33S:67M)، (50S:50M) و (67S:33M) در مقایسه با عدم کاربرد آن به ترتیب ۳۲/۶۰، ۲۹/۷۴، ۲۵/۵۹ و ۲۴/۸۳ درصد کاهش داد. کشت مخلوط جایگزینی منجر به کاهش کارایی مصرف نور سویا گردید (شکل ۷).

کارایی مصرف نور در ارزن بیشتر از لوبیا بود، زیرا گیاه ارزن دارای سیستم فتوسنتزی چهار کربنه (C<sub>4</sub>) بوده و کارایی مصرف نور در گیاهان C<sub>4</sub> در شدت‌های بالاتر نور، بیشتر از گیاهان سه کربنه (C<sub>3</sub>) می باشد. مطالعات مختلفی کارایی مصرف نور بالاتر گیاهان C<sub>4</sub> را نسبت به گیاهان C<sub>3</sub> گزارش کرده اند و آن را ناشی از توان

با افزایش شاخص سطح برگ و به تبع آن افزایش پوشش گیاهی بر سطح زمین در شرایط کشت مخلوط ردیفی در مقایسه با کشت خالص، میزان جذب نور افزایش یافت که این امر منجر به کاهش اتلاف نور و بهبود کارایی مصرف نور شد. تسوبو و همکاران (Tsubo et al., 2001) در آزمایشی روی کشت مخلوط ذرت و باقلا (Vicia faba)، مجموع میزان نور دریافتی در کشت مخلوط این دو گونه را نسبت به تک کشتی آنها بالاتر گزارش کردند. جذب نور توسط تاج پوشش سویا نشان داد که جذب تابش گیاه سویا در تیمارهای کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود. همچنین، با افزایش تراکم ارزن و کاهش تراکم سویا در الگوهای کشت مخلوط، سهم تشعشع جذب شده توسط ارزن افزایش و سهم گیاه سویا از کل تشعشع جذب شده توسط تاج پوشش کشت مخلوط کاهش یافت. احتمالاً علت راندمان جذب بیشتر تشعشع سویا در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط، شاخص سطح برگ بیشتر این گیاه در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط است. که افزایش جذب تشعشع در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط را در پی داشته است.

### کارایی مصرف نور

نتایج آزمایش نشان داد که در تمام تیمارها، ارتباط بین تولید ماده خشک ارزن و تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی به صورت خطی و ضریب همبستگی آن بیشتر از ۰/۹۷ بود (شکل ۶). کمترین و بیشترین مقدار کارایی مصرف نور به ترتیب مربوط به تیمار کشت خالص ارزن تحت تنش شدید (۲/۰۸ گرم بر مگازول) و الگوی کشت (50S:50M) بدون تنش ۳/۰۹ گرم بر مگازول بود (شکل ۶).

با توجه به نتایج، می‌توان بیان کرد که کشت مخلوط باعث بهبود کارایی مصرف نور ارزن نسبت به کشت خالص آنها شده است. احتمالاً افزایش کارایی مصرف نور از طریق اثرات تکمیل‌کنندگی کشت مخلوط به دست می‌آید، به‌گونه‌ای که فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن سویا نیز منجر به بهبود میزان فتوسنتز ارزن و در نتیجه تجمع ماده خشک نسبت به نور جذب شده می‌شود که این موضوع منجر به افزایش کارایی مصرف نور ارزن در کشت مخلوط شده است. افزایش کارایی مصرف نور در کشت مخلوط، توسط بسیاری از محققان گزارش شده است (Tsubo and Walker, 2002; Ceotto and Castelli, 2002). آنها بیان کردند که استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط یک راهکار اکولوژیکی ضروری برای بهبود کارایی جذب و مصرف منابع به‌منظور توسعه پایدار تولید محصولات می‌باشد. در کشت مخلوط بادام‌زمینی و ذرت نیز افزایش کارایی مصرف نور گزارش شده است (Awal et al., 2006). زنگ و همکاران (Zhang et al., 2008) با بررسی جذب و مصرف تشعشع در چند کشتی گندم و پنبه (*Gossypium hirsutum*) دریافتند که جذب تشعشع فعال فتوسنتزی توسط گندم در الگوهای مخلوط مورد بررسی، بیشتر از تک‌کشتی گندم بود.

به نظر می‌رسد کاهش مقدار تشعشع رسیده به تاج پوشش سویا که در همه تیمارهای کشت مخلوط کمتر از تک‌کشتی بود، سبب کاهش قابل‌توجهی در زیست‌توده سویا شد. کاهش تشعشع سبب کاهش اسیملاسیون دی‌اکسید کربن و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک در سویا می‌شود. به نظر می‌رسد با توجه به کاهش تراکم سویا در الگوهای مختلف کشت مخلوط

فتوسنتزی بهتر گیاهان  $C_4$  می‌دانند (Nachigera et al., 2010). به‌طور کلی کارایی مصرف نور گونه‌های  $C_4$  به دلیل خصوصیات مسیر فتوسنتزی آنها بالاتر از گونه‌های  $C_3$  می‌باشد (Monteith, 1994).

کاهش کارایی مصرف نور تحت تنش خشکی در گیاهانی مانند سویا (Muchow, 1985)، سورگوم (Rinaldi and Garofalo, 2011) و گندم زمستانه (Li et al., 2011) نیز گزارش شده است. مطالعات نشان داده کاهش در ظرفیت فتوسنتزی تاج پوشش ناشی از کمبود آب، باعث کاهش در کارایی مصرف نور گردید (Bat-Oyun et al., 2011). کولینو و همکاران (Collino et al., 2001) کاهش کارایی مصرف نور در شرایط تنش خشکی را در بادام‌زمینی گزارش کردند. عزت احمدی و همکاران (Ezzat Ahmadi et al., 2012) نیز دریافتند که شرایط تنش کمبود آب، سبب کاهش شاخص سطح برگ گندم و متعاقب آن کاهش قابل توجهی در کارایی مصرف نور نسبت به حالت آبیاری مطلوب می‌گردد.

محققان متعددی افزایش، کاهش و یا تأثیر ناچیز کشت مخلوط را بر کارایی مصرف نور گزارش کرده‌اند، اما آنچه که بسیار اهمیت دارد بهبود بهره‌وری تولید در کشت‌های مخلوط، در ارتباط با نور می‌باشد که این امر می‌تواند از طریق افزایش جذب تشعشع خورشیدی، کارایی مصرف نور یا ترکیبی از هر دو بهبود یابد (Awal et al., 2006; Zhang et al., 2008). در مجموع اعتقاد بر این است که کشت‌های مخلوط بیشتر به واسطه افزایش جذب نور، از طریق افزایش طول دوره جذب یا پوشش بیشتر سطح خاک، سبب افزایش بهره‌وری نظام‌های زراعی می‌شوند (Awal et al., 2006).

مخلوط و تنش کمبود آب قرار گرفت. تنش کمبود آب شاخص سطح برگ، ماده خشک و کارایی مصرف نور در سویا و ارزن کاهش داد. الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی سویا و ارزن منجر به بهبود شاخص سطح برگ، ماده خشک، جذب نور و کارایی مصرف نور در گیاه ارزن شد، که این موضوع نشان دهنده تأثیر مثبت سویا بر ارزن می‌باشد، در حالی که کارایی مصرف نور سویا در الگوهای مختلف کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص سویا کاهش یافت.

جایگزینی، و به دلیل کاهش شاخص سطح برگ در این تیمارها، کاهش کارایی مصرف نور قابل توجه باشد. زیرا به خاطر کم شدن تراکم، وزن خشک تولیدی سویا در الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی کاهش یافت. گزارش شده است که با کاهش تراکم کلم بروکلی (*Brassica oleracea*) از میزان کارایی مصرف نور آن کاسته شد (Muchow et al., 1993).

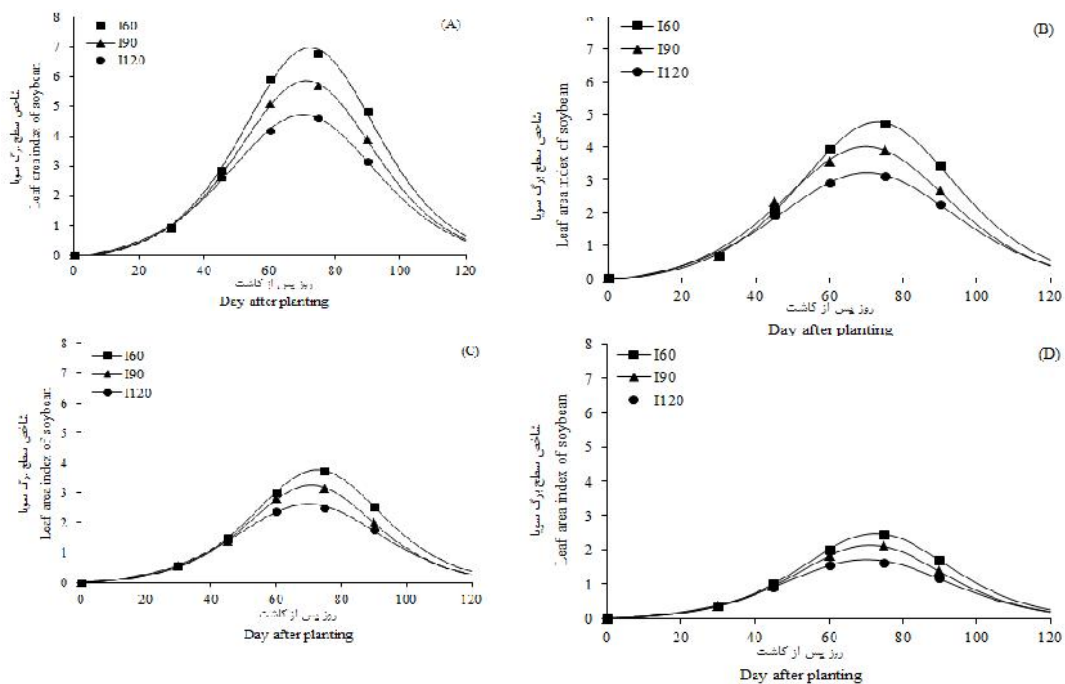
### نتیجه‌گیری کلی

شاخص سطح برگ، ماده خشک و کارایی مصرف نور تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک)

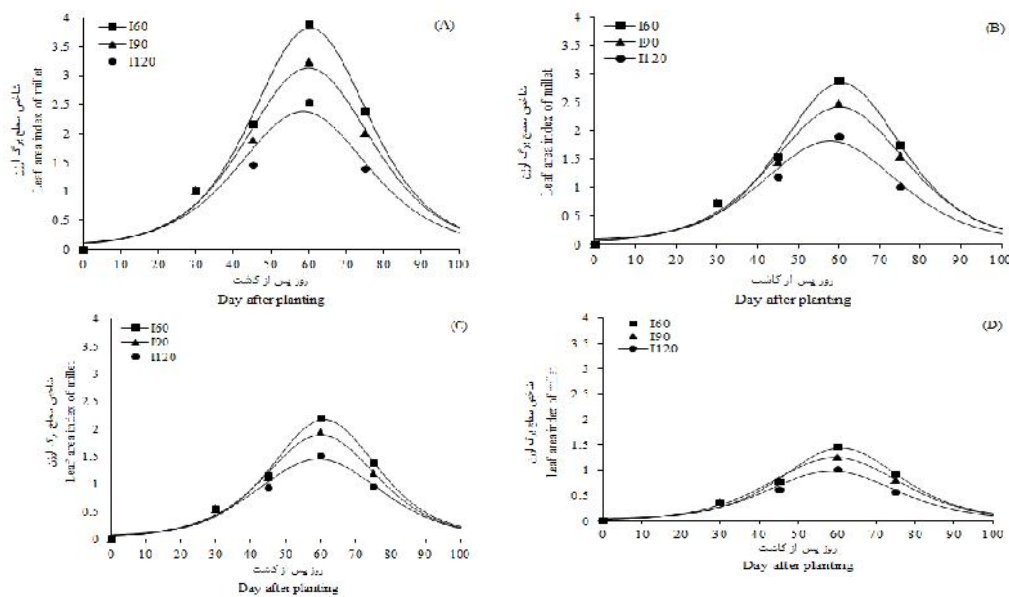
**Table 1-** Physical and chemical characteristics of experimental field soil (soil depth 0-30 cm)

بافت خاک Soil Texture	هدایت الکتریکی EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	فسفر قابل جذب P (ppm)	پتاسیم قابل جذب K (ppm)	نیترژن کل Total N (%)
لومی (Loam)	0.18	8.00	0.75	11.00	326.00	0.02



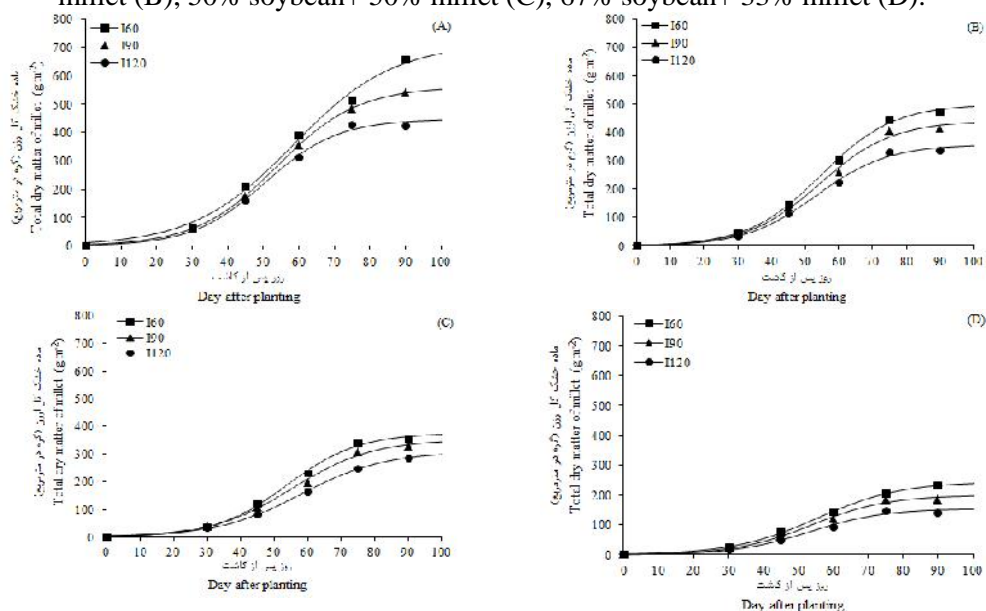
شکل ۱- تأثیر تنش کمبود آب بر شاخص سطح برگ سویا در الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی؛ تک کشتی سویا (A)، الگوی کشت ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن (B)، الگوی کشت ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن (C) و الگوی کشت ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن (D)

**Figure 1-** The effect of water deficit stress on leaf area index of soybean in different replacement intercropping patterns; monoculture of soybean (A), 67% soybean+ 33% millet (B), 50% soybean+ 50% millet (C), 33% soybean+ 67% millet (D).



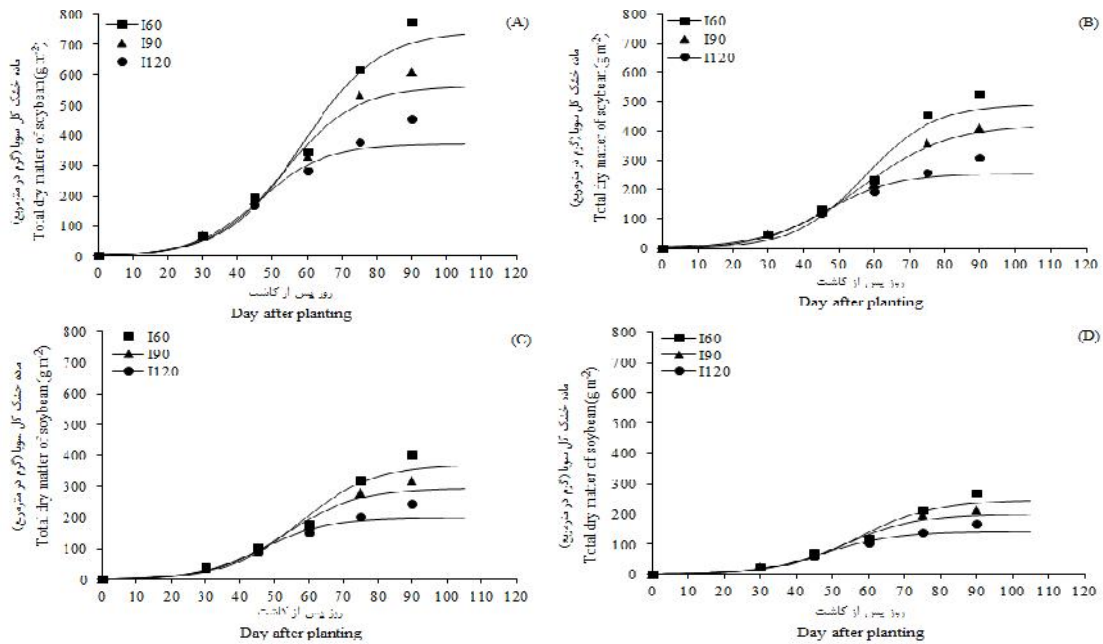
شکل ۲- اثر تنش کمبود آب بر شاخص سطح برگ ارزن در الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی؛ تک کشتی ارزن (A)، الگوی کشت ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن (B)، الگوی کشت ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن (C) و الگوی کشت ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن (D)

**Figure 2-** The effect of water deficit stress on leaf area index of millet in different replacement intercropping patterns; monoculture of soybean (A), 33% soybean+ 67% millet (B), 50% soybean+ 50% millet (C), 67% soybean+ 33% millet (D).



شکل ۳- اثر تنش کمبود آب بر ماده خشک ارزن در الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی؛ تک کشتی ارزن (A)، الگوی کشت ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن (B)، الگوی کشت ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن (C) و الگوی کشت ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن (D).

**Figure 3-** The effect of water deficit stress on dry matter of millet in different replacement intercropping patterns; monoculture of soybean (A), 33% soybean+ 67% millet (B), 50% soybean+ 50% millet (C), 67% soybean+ 33% millet (D).



شکل ۴- اثر تنش کمبود آب بر ماده خشک کل سویا در الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی؛ تک کشتی سویا (A)، الگوی کشت ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن (B)، الگوی کشت ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن (C) و الگوی کشت ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن (D)

**Figure 4-** The effect of water deficit stress on dry matter of soybean in different replacement intercropping patterns; monoculture of soybean (A), 67% soybean+ 33% millet (B), 50% soybean+ 50% millet (C), 33% soybean+ 67% millet (D).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) حداکثر شاخص سطح برگ و حداکثر ماده خشک سویا و ارزن در کشت مخلوط تحت شرایط تنش کمبود آب

**Table 2-** Analysis of variance (mean squares) of maximum leaf area index and dry matter of soybean and millet in intercropping under water deficit stress condition

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	حداکثر شاخص سطح برگ maximum leaf area index		حداکثر ماده خشک maximum dry matter	
		سویا soybean	ارزن millet	سویا soybean	ارزن millet
تکرار Replication	2	0.356 <sup>ns</sup>	0.553 <sup>ns</sup>	6631 <sup>ns</sup>	2962 <sup>ns</sup>
آبیاری Irrigation	2	6.329*	2.277*	113792**	56795**
خطای a Error a	4	1.060 <sup>ns</sup>	0.230	3411	3142
کشت مخلوط Intercropping	3	20.951**	6.322**	263397**	191701**
آبیاری × الگوی کاشت × Irrigation Intercropping	6	0.240 <sup>ns</sup>	0.121 <sup>ns</sup>	7852 <sup>ns</sup>	3753 <sup>ns</sup>
خطای b Error b	18	0.457	0.136	3032	1967
ضریب تغییرات CV (%)	-	18.30	16.77	14.12	12.12

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ns: غیر معنی‌دار  
\*, and \*\*: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively; ns: non significant

**جدول ۳-** تجزیه واریانس (میانگین مربعات) حداکثر شاخص سطح برگ و ماده خشک کل تاج پوشش کشت مخلوط سویا و ارزن تحت شرایط تنش کمبود آب.

**Table 3-** Analysis of variance (mean squares) of maximum leaf area index and dry matter of soybean and millet mixed canopy in intercropping under water deficit stress conditions

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	حداکثر شاخص سطح برگ کل تاج پوشش Maximum leaf area index of mixed canopy	حداکثر ماده خشک کل تاج پوشش Maximum dry matter of mixed canopy
تکرار Replication	2	1.978 <sup>ns</sup>	2650 <sup>ns</sup>
آبیاری Irrigation	2	12.947*	265037**
خطای a Error a	4	0.774	2812
کشت مخلوط Intercropping	4	7.842**	13867**
آبیاری × الگوی کاشت Intercropping × Irrigation	8	0.0730 <sup>ns</sup>	1506 <sup>ns</sup>
خطای b Error b	24	0.511	1788
ضریب تغییرات CV (%)	-	15.16	6.99

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ NS: غیر معنی‌دار  
\*, and \*\*: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively; ns: non significant

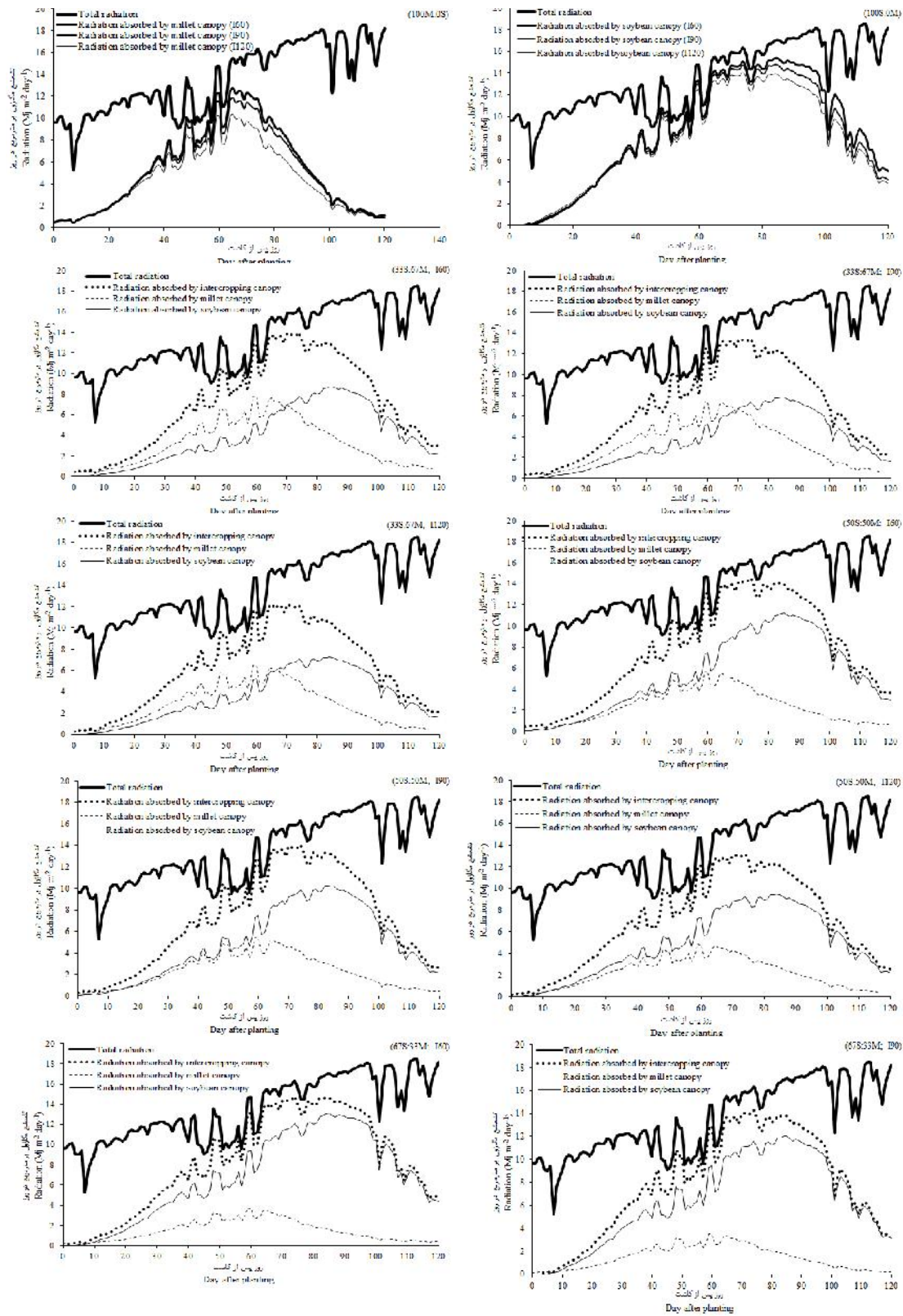
**جدول ۴-** اثرات کشت مخلوط و تنش کمبود آب بر حداکثر شاخص سطح برگ و ماده خشک سویا و ارزن.

**Table 4-** Effects of intercropping and water deficit stress on maximum leaf area index and dry matter of soybean and millet.

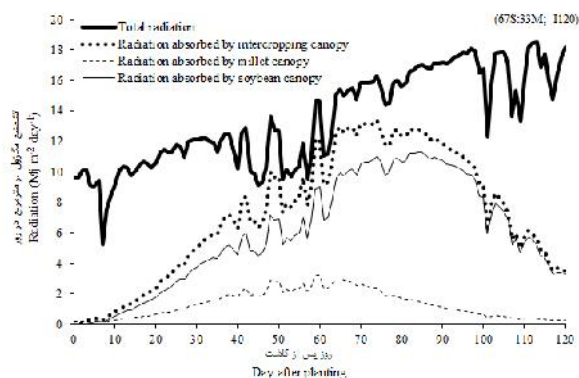
تیمارها Treatments	حداکثر شاخص سطح برگ maximum leaf area index			حداکثر ماده خشک maximum dry matter		
	سویا soybean	ارزن millet	کل تاج پوشش mixed canopy	سویا soybean	ارزن millet	کل تاج پوشش mixed canopy
آبیاری Irrigation						
60	4.42 <sup>a</sup>	2.61 <sup>a</sup>	5.63 <sup>a</sup>	489.12 <sup>a</sup>	434.69 <sup>a</sup>	739.05 <sup>a</sup>
90	3.70 <sup>ab</sup>	2.23 <sup>ab</sup>	4.74 <sup>a</sup>	386.41 <sup>b</sup>	365.75 <sup>b</sup>	601.73 <sup>b</sup>
120	2.96 <sup>b</sup>	1.74 <sup>b</sup>	3.77 <sup>b</sup>	294.46 <sup>c</sup>	297.10 <sup>c</sup>	473.25 <sup>c</sup>
کشت مخلوط Intercropping						
100S:0M	5.68 <sup>a</sup>	-	5.68 <sup>a</sup>	613.33 <sup>a</sup>	-	613.33 <sup>a</sup>
67S:33M	3.90 <sup>b</sup>	1.26 <sup>d</sup>	5.16 <sup>ab</sup>	415.57 <sup>b</sup>	193.08 <sup>d</sup>	601.98 <sup>a</sup>
50S:50M	3.13 <sup>c</sup>	1.89 <sup>c</sup>	5.01 <sup>ab</sup>	321.59 <sup>c</sup>	322.15 <sup>c</sup>	643.74 <sup>a</sup>
33S:67M	2.06 <sup>d</sup>	2.42 <sup>b</sup>	4.48 <sup>b</sup>	209.48 <sup>d</sup>	408.09 <sup>b</sup>	624.24 <sup>a</sup>
0S:100M	-	3.23 <sup>a</sup>	3.23 <sup>c</sup>	-	540.08 <sup>a</sup>	540.08 <sup>b</sup>

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.  
Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan's multiple range test (p 0.05)



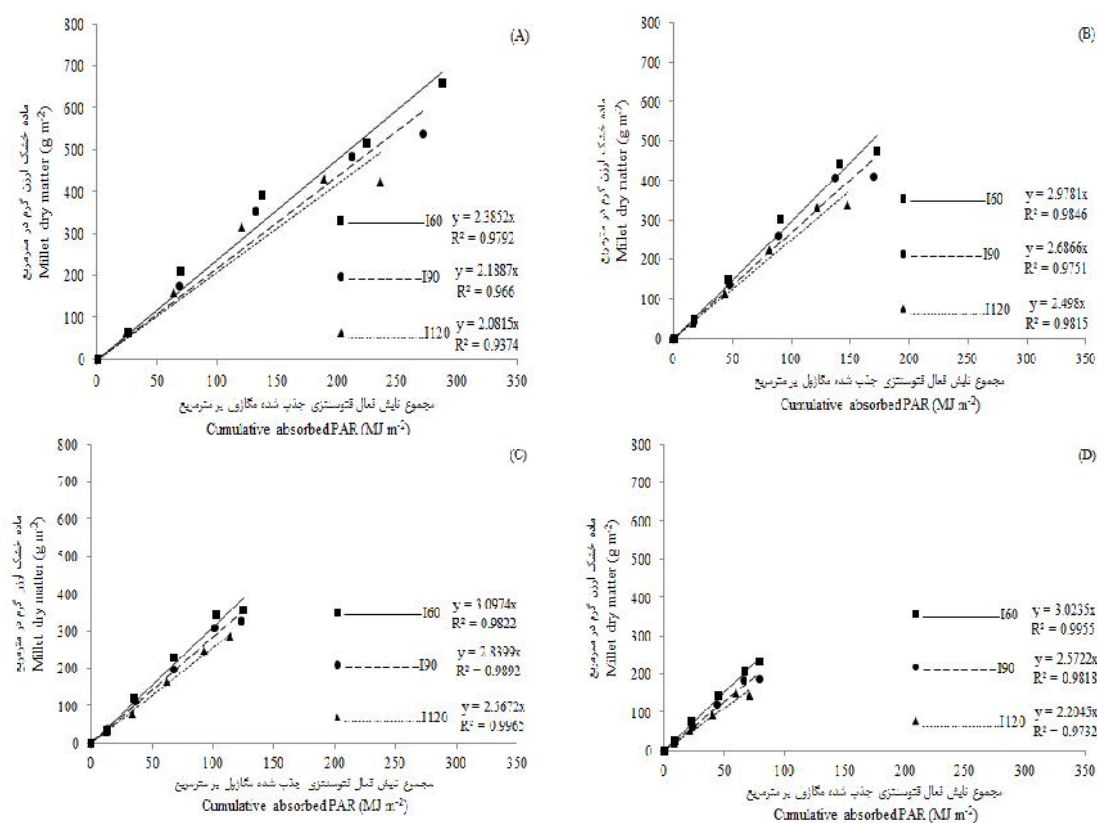


شکل ۵- تأثیر تنش کمبود آب بر جذب تشعشع در الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی سویا و ارزن  
**Figure 5-** The effect of water deficit stress on radiation absorption at different replacement intercropping patterns of soybean and millet



ادامه شکل ۵

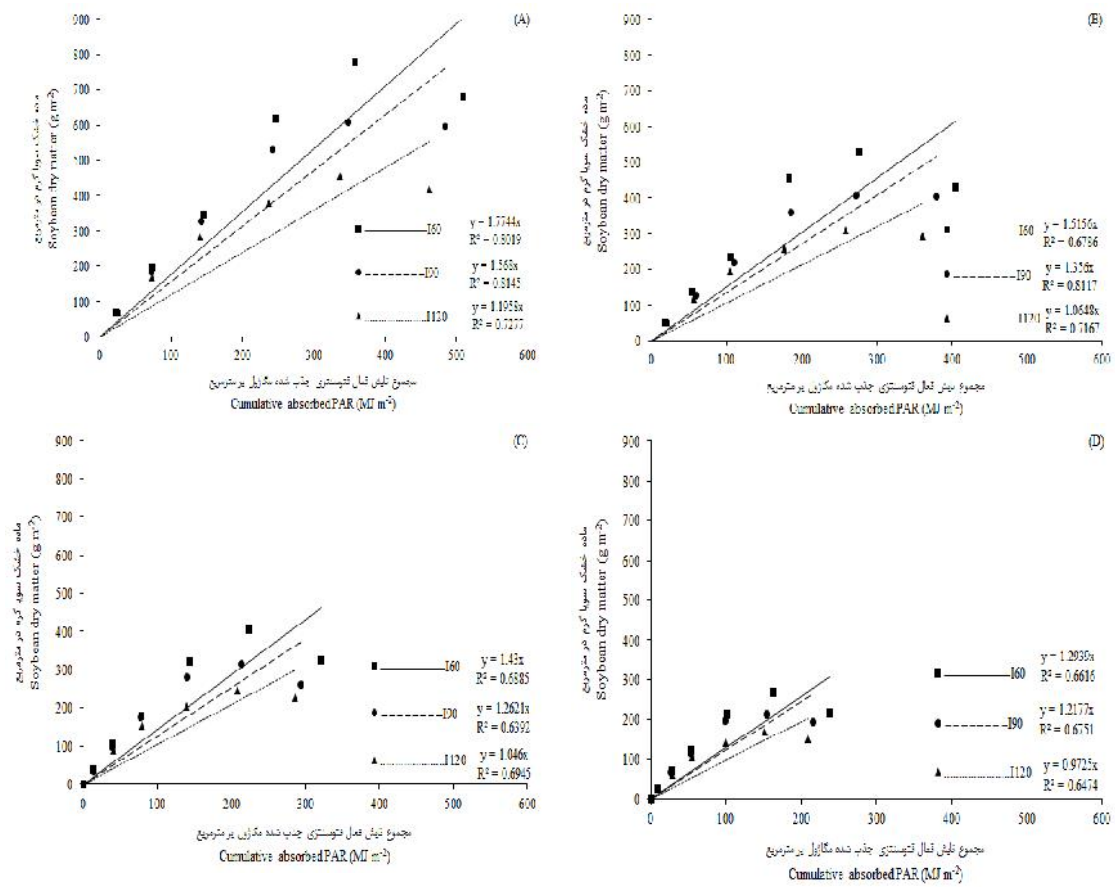
Figure 5- Continued



شکل ۶- اثر تنش کمبود آب بر کارایی مصرف نور در گونه‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی؛ تک کشتی ارزن (A)، الگوی کشت ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن (B)، الگوی کشت ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن (C) و الگوی کشت ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن (D)

**Figure 6-** The effect of water deficit stress on radiation use efficiency of millet in different replacement intercropping patterns; monoculture of soybean (A), 33% soybean+ 67% millet (B), 50% soybean+ 50% millet (C), 67% soybean+ 33% millet (D)





شکل ۷- اثر تنش کمبود آب بر کارایی مصرف نور سویا در الگوهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی؛ تک کشتی سویا (A)، الگوی کشت ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن (B)، الگوی کشت ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن (C) و الگوی کشت ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن (D).

**Figure 7-** The effect of water deficit stress on radiation use efficiency of soybean in different replacement intercropping patterns; monoculture of soybean (A), 67% soybean+ 33% millet (B), 50% soybean+ 50% millet (C), 33% soybean+ 67% millet (D)

## References

## منابع مورد استفاده

- Akmal, M., and M.J. Janssens. 2004. Productivity and light use efficiency of perennial ryegrass with contrasting water and nitrogen supplies. *Field Crop Research*. 88: 143-155.
- Alizadeh, A. 2001. Drought and necessity of increase in water productivity. *Quarterly Science-Extension of Aridity and Agricultural Drought*. 2: 3-8.
- Anjum, S.A., X. Xie, L. Wang, M.F. Saleem, C. Man, and W. Lei. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal Agriculture Research*. 6(9): 2026-2032.
- Araus, J.L., J. Bort, P. Steduto, D. Villegas, and C. Royo. 2003. Breeding cereals for Mediterranean conditions: Ecophysiological clues for biotechnology application. *Annual Applied Biology*. 142: 129-141.
- 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.
- Azizi, A., A. Koocheki, P. Rezvani Moghaddam, and M. Nassiri Mahallati. 2015. Evaluation of nutrient resource and crop diversity interaction on radiation use efficiency in different cropping systems. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 12(4): 58-70. (In Persian).n
- Bat-Oyun, T.M. Shinoda, and M. Tsubo. 2011. Effects of water and temperature stresses on radiation use efficiency in a semi-arid grassland. *Journal Plant Interaction*. 7: 214-224.
- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Reserch*. 89: 1-16.
- Caviglia, O.P., V.O. Sadras, and F.H. Andrade. 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.
- 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.
- Collino, D.J., J.L. Dardanelli, R. Sereno, and R.W. Racca. 2001. Physiological responses of argentine varieties to water stress, light interception, radiation use efficiency and partitioning of assimilate. *Field Crops Reserch*.70: 177-184.
- Daneshian, J., P. Jonoubi, and D. Barari Tari. 2011. Investigation of water deficit stress on agronomical traits of soybean cultivars in temperate climate. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 75: 778-785.
- Ezzat Ahmadi, M., G. Noor Mohammadi, M. Moghaddasi, and M. Kafi. 2012. Evaluation of radiation and water use efficiency in bread wheat genotypes in condition of different photosynthetic and moisture stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 10(1): 225-239. (In Persian).n
- Garofalo, P., and M. Rinaldi. 2015. Leaf as exchange and radiation use efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in response to different deficit irrigation strategies: From solar radiation to plant growth analysis. *European Journal of Agronomy*. 64: 88-97.

- Ghosh, P.K. 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field Crops Research*. 88: 227-237.
- Goudriaan, J., and H.H. van Laar. 1994. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Press.
- Heatherly, L.G., and J.R. Smith. 2004. Effect of soybean stem growth habit on height and node number after beginning bloom in the mid southern USA. *Crop Science*. 44: 1855-1858.
- Jahansooz, M.R., I.A.M. Yunusa, 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.
- Kazemi Arbat, H. 2007. Private agronomy. First Volume: Cereals. Center Publication University. 315 pp. (In Persian).
- Khajehpour, M.R. 2004. Industrial plants. Isfahan University of Technology. 571 pp. (In Persian).
- Li, H.L., Y. Luo, and J.H. Ma. 2011. Radiation-use efficiency and the harvest index of winter wheat at different nitrogen levels and their relationships to canopy spectral reflectance. *Crop Pasture Science*. 62:208-217.
- Maffei, M., and A. Mucciarelli. 2003. Essential oil yield in peppermint/soybean strip intercropping. *Field Crops Research*. 84: 229-240.
- Monteith, J.L. 1977. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*. 9: 747-766.
- Monteith, J.L. 1994. Principles of resource capture by crops stands. In: Resource Capture by Crops. Monteith, J.L., R.K. Scott, and M.U. Unsworth (eds.). pp 1-15. Nottingham University Press, Loughborough, UK.
- Morgado, L.B., and R.W. Willey. 2003. Effects of plant population and nitrogen fertilizer on yield and efficiency of maize-bean intercropping. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 38: 1257-1264.
- Muchow, R.C. 1985. An analysis of the effects of water deficits on grain legumes grown in a semi-arid tropical environment in terms of radiation interception and its efficiency of use. *Field Crops Research*. 11:309-323.
- Muchow, R.C., M.J. Robertson, and B.C. Pengelly. 1993. Radiation use efficiency of soybean, mung bean and cowpea under different environmental conditions. *Field Crops Research*. 32: 1-16.
- Nachigera, G.M., J.F. Ledent, and X. Draye. 2010. Shoot and root Competition in potato maize intercropping: effects on growth and yield. *Environmental and Experimental Botany*. 22: 118-129.
- Ngugi, K., J.O. Collins, and S. Muchira. 2013. Combining, earliness, short anthesis to silking interval and yield based selection indices under intermittent water stress to select for drought tolerant maize. *Australian Journal of Crop Science*. 7: 2014-2020.
- Oraki, H., F. Parhizkar Khanjani, and M. Aghaalikhna. 2012. Effect of water deficit stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and grain yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. *African Journal Biotechnology*. 11: 164-168.

- Osborne, S.L., J.S. Scheppers, D.D. Francis, and M.R. Schlemmer. 2002. Use of spectral Radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. *Crop Science*. 42: 165-171.
- Pandita, A.K., M.H. Saha, and A.S. Bali. 2000. Effect of row ratio in cereal- legume intercropping systems on productivity and competition functions under Kashmir condition. *Indian Journal of Agronomy*. 45: 48-53.
- Reddy, A.R., K.V. Chaitanya, and M. Vivekanandan, 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal Plant Physiology*. 161: 1189-1202.
- Rinaldi, M., and P. Garofalo. 2011. Radiation-use efficiency of irrigated biomass sorghum in a Mediterranean environment. *Crop Pasture Science*. 62:830-839.
- Rodrigo, V.H.L., C.M. Stirling, Z. Teklehaimanot, and A. Nugawela. 2001. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations. *Field Crops Research*. 69: 237-249.
- Shahbaghi, M., A. Valadabadi, J. Daneshiyan, A.H. ShiraniRad, and S. Seyfzadeh. 2017. Valuation of quantitative and qualitative characteristics of corn and grass pea as affected by organic, chemical and biofertilizers. *Journal of Crop Ecophysiology*. 11(2): 363-382. (In Persian).
- Singer, J.W., T.S. Sauer, B.C. Blaser, and D.W. Meek. 2007. Radiation use efficiency in dula winter cereal forage production systems. *American Society of Agronomy*. 99: 1175-1179.
- Tabar zad, A., A.A. Ghaemi, and S. Zand-Parsa. 2016. Extinction coefficients and radiation use efficiency of barley under different, irrigation regimes and sowing dates. *Agricultural Water Management*. 178: 126-136.
- Tesfaye, K., S. Walkerb, and M. Tsubob. 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., and S. Walker. 2002. A model of radiation interception and use by a maize/bean intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*. 110: 203-215.
- Tsubo, M., S. Walker, and E. Mukhala. 2001. Comparison of radiation use efficiency of monoculture and intercropping systems with different row orientations. *Field Crops Research*. 71: 17-29.
- 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.
- Xu, Z., and G. Zhou. 2008. Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass. *Journal of Experimental Botany*. 59: 3317-3325.
- Yousef Nia, M., M. Banayan Aval, and S. Khorramdel. 2015. Evaluation of radiation use and interception of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) intercropping canopy. *Journal of Agroecology*. 7(3): 412-424. (In Persian).
- Zhang, L., W. Vander Werf, L. Bastiaans, S. Zhang, B. Li, and J.H. Spiertz. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crops Research*. 107:29-42.

## Effect of Light Radiation Absorption and Its Use Efficiency in Intercropping of Soybean and Millet Under Water Deficit Stress

Somayeh Hajinia<sup>1</sup>, and Goudarz Ahmadvand<sup>2\*</sup>

Received: October 2016, Revised: 1 February 2017, Accepted: 19 February 2017

### Abstract

To study the effect of water deficit stress on leaf area, radiation use efficiency and dry matter production of soybean and millet in intercropping, a split plot experiment based on randomized complete block design with three replications was carried out, in 2015 at the Research Station of Agricultural Faculty of Bu-Ali Sina University. The main factor consisted of three levels of water deficit stresses (irrigation after 60, 90 and 120 mm evaporation from pan) and sub factor of five replacement intercropping treatments sol cropping of soybean (100S), sol cropping of millet (100M), 67 % S+ 33 % M (67S:33M), 50 % S+ 50 % M (50S:50M) and 33 % S+ 67 % M (33S:67M). The results showed that the highest leaf area index of soybean and millet in sol cropping were 5.68 and 3.23 respectively. Severe water deficit stress significantly decreased leaf area index of soybean and millet by about 30.03 and 30.33 percent, respectively, as compared to well-watered condition. The highest dry matter (613 and 540 g.m<sup>-2</sup>) belonged to sol cropping of soybean and millet, respectively. Severe water deficit stress reduced dry matter of soybean and millet by 39.87 and 31.556 percent respectively as compared to the control. Radiation use efficiency of millet in (33S:67M), (50S:50M) and (67S:33M) intercropping ratios were 24.85, 29.86 and 26.76 percent more than sol cropping of millet, respectively. Radiation use efficiency of soybean reduced in the intercropping. Mean radiation use efficiency of soybean in growing season ranged from 0.97 g.mj<sup>-1</sup> in the (33S:67M) ratio to 1.77 g.mj<sup>-1</sup> in the sol cropping of soybean. The results showed a negative effect of water deficit stress on radiation use efficiency of both millet and soybean.

**Key words:** Absorption of radiation, Dry matter, Intercropping, Leaf area, Water deficit stress.

1- Ph.D. Student of Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Bu Ali Sina, Hamedan, Iran.

2- Associate Professor of Agronomy, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

\* Corresponding Author: [gahmadvand@basu.ac.ir](mailto:gahmadvand@basu.ac.ir)

