

مقدمه

برنج منبع غذایی بیش از نیمی از مردم جهان است و پس از گندم دومین گیاه زراعی مهم جهان به شمار می‌رود (Singh et al., 2017). برنج یک سوم از کل سطح زیر کشت جهانی غلات را به خود اختصاص داده و در حدود ۲۱ درصد از انرژی مورد نیاز بشر را تامین می‌کند (Fu et al., 2021).

در اغلب موارد میزان تولید در گیاهان زراعی، در صورت عدم وجود آفات و بیماری‌ها، با مقدار تابش تجمعی دریافت شده توسط گیاه رابطه خطی دارد و تابش فعال فتوسنتزی مهم‌ترین عامل رشد گیاه محسوب می‌شود (Swarna et al., 2017). مقدار تابش دریافت شده توسط گیاه تابع ضریب استهلاک نوری (K) و شاخص سطح برگ (LAI) است (Liu et al., 2011). ضریب استهلاک نوری نشان دهنده کاهش نفوذ نور در جامعه گیاهی است و عمدتاً تابع زاویه برگ‌ها و تراکم (فاصله) برگ‌ها در جامعه گیاهی است (Ghafari & Tadayon, 2019). برگ‌های عمودی‌تر (افراشته) باعث افزایش امکان نفوذ نور به داخل سایه‌انداز گیاه شده و این موضوع باعث افزایش کارایی مصرف تابش می‌شود (Singh et al., 2013). مقدار کمی ضریب استهلاک نوری با استفاده از قانون بیر-لامبرت قابل محاسبه است (Zheng et al., 2022). میزان ضریب استهلاک نوری تحت تاثیر عوامل مدیریتی از جمله الگوی کاشت و تراکم گیاه نیز قرار می‌گیرد (Ali et al., 2013). یکی از روش‌های متداول و ساده جهت تخمین ماده خشک گیاهی تولید شده، مبتنی بر کارایی مصرف تابش (Radiation Use Efficiency; RUE) گیاه است. هر عاملی که باعث تغییر در سرعت فتوسنتز برگ شود، باعث تغییر در کارایی مصرف تابش گیاه می‌شود (Ahmad et al., 2009). گزارش شده است که در تراکم‌های بالا، افزایش شاخص سطح برگ و بسته شدن سریع پوشش گیاهی باعث افزایش کارایی

مصرف تابش ارقام برنج در تیمارهای آرایش کاشت، عمق کاشت و در سیستم کشت فشرده (SRI) می‌شود (Rajput et al., 2017). انتقال گیاهچه‌های جوان برنج به زمین اصلی باعث افزایش فتوسنتز شده و گیاهچه‌ها برای استفاده از عوامل محیطی از جمله نور، رقابت کمتری می‌کنند (Singh et al., 2017).

استان خوزستان با دارا بودن بیش از ۳۴۰۰ ساعت آفتابی در سال، عدم وجود روزهای ابری و بارندگی در طول دوره رشد گیاه برنج، دارای ظرفیت بالایی برای تولید بیشتر نسبت به سایر مناطق برنج خیز است (Nikbakht Shahbazi, 2019). بنابراین به نظر می‌رسد که با به کار گرفتن روش‌های صحیح مدیریتی می‌توان از این ظرفیت به صورت بهینه استفاده و اثرات منفی دمای بالا را به حداقل رساند. این آزمایش با هدف تعیین اثر همزمان آرایش کاشت و سن گیاهچه و خصوصیات گیاهی در بهبود کارایی مصرف تابش و عملکرد دانه ارقام برنج طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق مزرعه‌ای در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه رقم برنج (رقم محلی چمپا؛ با پنجه‌دهی متوسط، ارتفاع بوته ۱۴۵ تا ۱۵۰ سانتی‌متر، دوره رشد ۱۳۰ تا ۱۳۵ روز، میانگین تولید ۴۰۰۰ تا ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار، رقم محلی عنبوری؛ با بوته‌های قوی و کم پنجه، ارتفاع بوته ۱۴۵ تا ۱۵۰ سانتی‌متر، دوره رشد ۱۴۵ تا ۱۵۰ روز، میانگین تولید ۴۵۰۰ تا ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و رقم اصلاح شده پرمحصول دانیال؛ با پنجه‌دهی متوسط، دوره رشد ۱۳۰ تا ۱۳۵ روز، ارتفاع بوته ۹۰ تا ۹۵ سانتی‌متر، میانگین تولید ۶۵۰۰ تا ۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) (عامل اصلی)، سه آرایش کاشت (۱۵×۱۵، ۱۵×۲۰، ۱۵×۳۰ سانتی‌متر) (عامل فرعی) و سه سن گیاهچه (۳۰، ۴۰ و

متوسط ۷۰۰ متر از سطح دریا و ۳۱۹۳ ساعت آفتابی در سال اجرا شد. اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد برنج در جدول یک ارائه شده است.

۵۰ روزه) (عامل فرعی فرعی) در مزارع پایلوت شهرستان قلعه تل در شمال شرقی استان خوزستان با مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی با ارتفاع

جدول ۱ - اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

Table 1. Meteorological information of the experiment site (2019 and 2020)

Month	ماه	2019 ۱۳۹۸			2020 ۱۳۹۹		
		میانگین دمای حداکثر Mean of Max temp. (°C)	میانگین دمای حداقل Mean of Min temp. (°C)	میانگین ساعات آفتابی Mean of sunny hours	میانگین دمای حداکثر Mean of Max temp. (°C)	میانگین دمای حداقل Mean of Min temp. (°C)	میانگین ساعات آفتابی Mean of sunny hours
Apr.	فروردین	34.8	15.6	7.9	36.2	17.8	8.6
May	اردیبهشت	45.1	23.	12.1	43.8	24.9	12.0
Jun.	خرداد	42.9	24.3	11.4	44.1	26.7	11.8
Jul.	تیر	43.3	25.	11.3	44.2	25.1	10.8
Aug.	مرداد	40.8	21.7	10.5	40.3	21.8	10.8
Sep.	شهریور	36.7	17.9	9.5	35.7	14.7	9.8
Oct.	مهر	27.2	10.8	7.0	25.1	11.1	6.6

در نظر گرفته شدند شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۲/۵×۴ متر (۱۰ مترمربع) در نظر گرفته شد. گیاهچه‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ روزه به ترتیب در اول، ۱۰ و ۲۰ تیر هر سال در زمین اصلی نشاکاری شدند. نمونه برداری‌های اول، دوم، سوم، چهارم و پنجم به ترتیب ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ روز پس از نشاکاری انجام شد. سطح برگ‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (WINAREA-UT-11, UK) و وزن خشک بوته‌ها با نمونه‌برداری و خشکاندن آنها در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شدند. صفات و شاخص‌های گیاهی اندازه‌گیری شده به شرح زیر بودند.

سرعت رشد گیاه (CGR): با محاسبه نسبت تغییرات وزن خشک بین دو نمونه‌برداری (W_2-W_1) به فاصله زمانی بین دو نمونه‌برداری (T_2-T_1) در واحد سطح (GA) برآورد شد (Rakesh et al., 2017).
 (رابطه ۱) $CGR = 1/GA * (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)$
 برای برآورد شاخص سطح برگ روزانه که

با توجه به رعایت تناوب، بذر شبدر برسیم به میزان ۳۰ کیلوگرم بذر در هکتار، به عنوان پیش کاشت، کشت شد. تهیه خزانه در اواخر اردیبهشت هر سال پس از شخم و تسطیح در زمینی به مساحت ۱۵۰ مترمربع انجام شد. بذرپاشی بذور برنج جوانه‌دار شده هر رقم به میزان ۵۰ تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار در اول خرداد انجام شد. تهیه زمین اصلی با اجرای شخم در دو مرحله، روتیواتور و ماله‌کشی و تسطیح انجام شد. کودهای شیمیایی مورد نیاز بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه فنی محاسبه شدند. نیتروژن (از منبع اوره) برای ارقام محلی ۱۰۰ کیلوگرم و برای رقم دانیال ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل ۵۰ کیلوگرم و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مصرف شدند. کودهای فسفر و پتاس به علاوه یک سوم کود نیتروژن در زمان انتقال گیاهچه (به صورت پایه) و بقیه آن به صورت سرک به خاک داده شدند. گیاهچه‌های ۳۰ روزه رقم چمپا در آرایش ۱۵×۱۵ سانتی‌متر به عنوان شاهد متداول منطقه

حذف اثر حاشیه) برداشت و محصول آن بعد از خرمکوبی به عنوان عملکرد دانه در نظر گرفته شد. پس از اجرای آزمون بارتلت و اطمینان از همگن بودن واریانس خطای آزمایش، تجزیه آماری به صورت مرکب با فرض تصادفی بودن اثر سال انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS Ver. 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام و از نرم‌افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر رقم، آرایش کاشت، سن گیاهچه و برهمکنش آنها در نمونه‌برداری‌های مختلف برای شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، کارایی مصرف تابش، ضریب استهلاک نوری و عملکرد دانه معنی‌دار بوده و اثر سال بر آنها معنی‌دار نبود.

نتایج نشان داد که روند توسعه سطح برگ بوته‌های ارقام برنج طی فصل رشد غیرخطی بود و مانند سایر گیاهان زراعی از جمله گندم و کلزا شکل سیگموئیدی داشت. نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که شاخص سطح برگ در گیاهچه‌های ۳۰ روزه رقم چمپا (شاهد متداول منطقه)، در آرایش کاشت ۱۵×۱۵ سانتی‌متر، ۵/۸ بود که ۷۵ روز پس از نشاکاری در زمین اصلی بدست آمد (شکل ۱-ا). به‌نظر می‌رسد که دمای مناسب هوا در زمان انتقال گیاهچه‌های ۳۰ روزه باعث کوتاه‌تر شدن دوره پاگیری آنها شد که این موضوع باعث تولید سریع‌تر برگ‌ها و پنجه‌های جدید و افزایش سطح برگ‌های گیاه شد. این یافته با نتایج فرانچسکانگلی و همکاران (Francescangeli *et al.*, 2006) در گیاه برنج مطابقت داشت. نتایج نشان داد که رقم عنبوری در تیمار ۱۵×۱۵ سانتی‌متر به نحو مناسبی سطح زمین را پوشش داده و با

جهت محاسبه مقدار تجمعی تابش جذب شده در پوشش گیاهی به کار می‌رود، از رابطه ۲ استفاده شد (Tsubo *et al.*, 2001).

رابطه ۲) $y = a + b / (1 + \exp(-(x-c)/d))$
a: عرض از مبدأ، b: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، c: حداکثر شاخص سطح برگ، d: نقطه عطف منحنی و x: تعداد روز پس از نشاکاری هستند.

به منظور محاسبه کارایی مصرف تابش (RUE)، میزان تابش روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی قلعه تل با روش ارائه شده توسط گودریان و ون‌لار (Goudriaan and Vanlaar, 1993) محاسبه و سپس براساس تعداد ساعات آفتابی دریافت شده از ایستگاه هواشناسی اصلاح و تابش جذب شده روزانه برای گیاه برنج با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

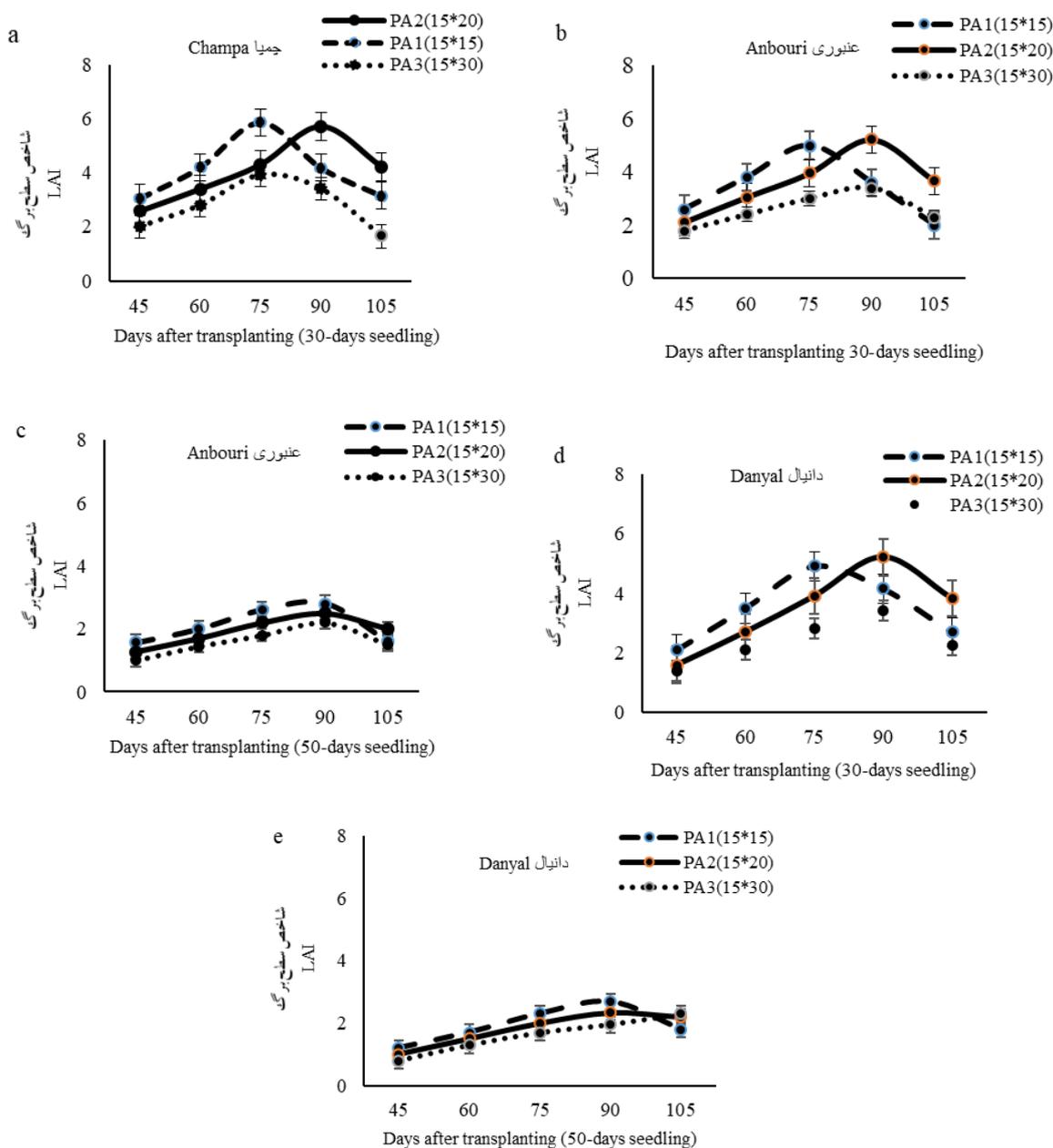
رابطه ۳) $I_{abs} = I_0 (1 - e^{-K \cdot LAI})$

I_{abs} : میزان تابش جذب شده توسط پوشش گیاهی و I_0 : میزان تابش خورشیدی رسیده به بالای پوشش گیاهی هستند. با استفاده از رابطه ۳ و با داشتن شاخص سطح برگ و میزان تابش در بالا و کف پوشش گیاهی، ضریب استهلاک نوری با رگرسیون گیری از لگاریتم طبیعی مقدار نور عبور کرده (I_i/I_0) در مقابل شاخص سطح برگ به دست آمد. اندازه‌گیری تابش در بالا و کف پوشش گیاهی با استفاده از دستگاه تابش‌سنج (Quantum PAR meter, Hydrofarm, USA) از ۴۵ روز پس از نشاکاری با فاصله پانزده روز یک‌بار در ساعات ۱۱ تا ۱۳ در شرایط آسمان بدون ابر، برای هر تیمار انجام شد.

پس از آن کارایی مصرف تابش از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم بر مترمربع) و میزان تابش تجمعی (مگاژول بر مترمربع) محاسبه شد (Tsubo *et al.*, 2001). در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، بوته‌های دو مترمربع از هر کرت (با

شکل ۱-ب). شاخص سطح برگ در گیاهچه‌های ۵۰ روزه رقم عنبوری در تیمار ۱۵×۳۰، ۲/۴ بود. به نظر می‌رسد که تاخیر در نشاکاری باعث مواجه شدن گیاه با

استفاده حداکثری از منابع، شاخص سطح برگ بیشتری داشته و در نتیجه جذب تابش فعال فتوسنتزی در بوته‌های آن بیشتر بود. این یافته با نتایج روزاتی و همکاران (Rosati *et al.*, 2004) مطابقت داشت



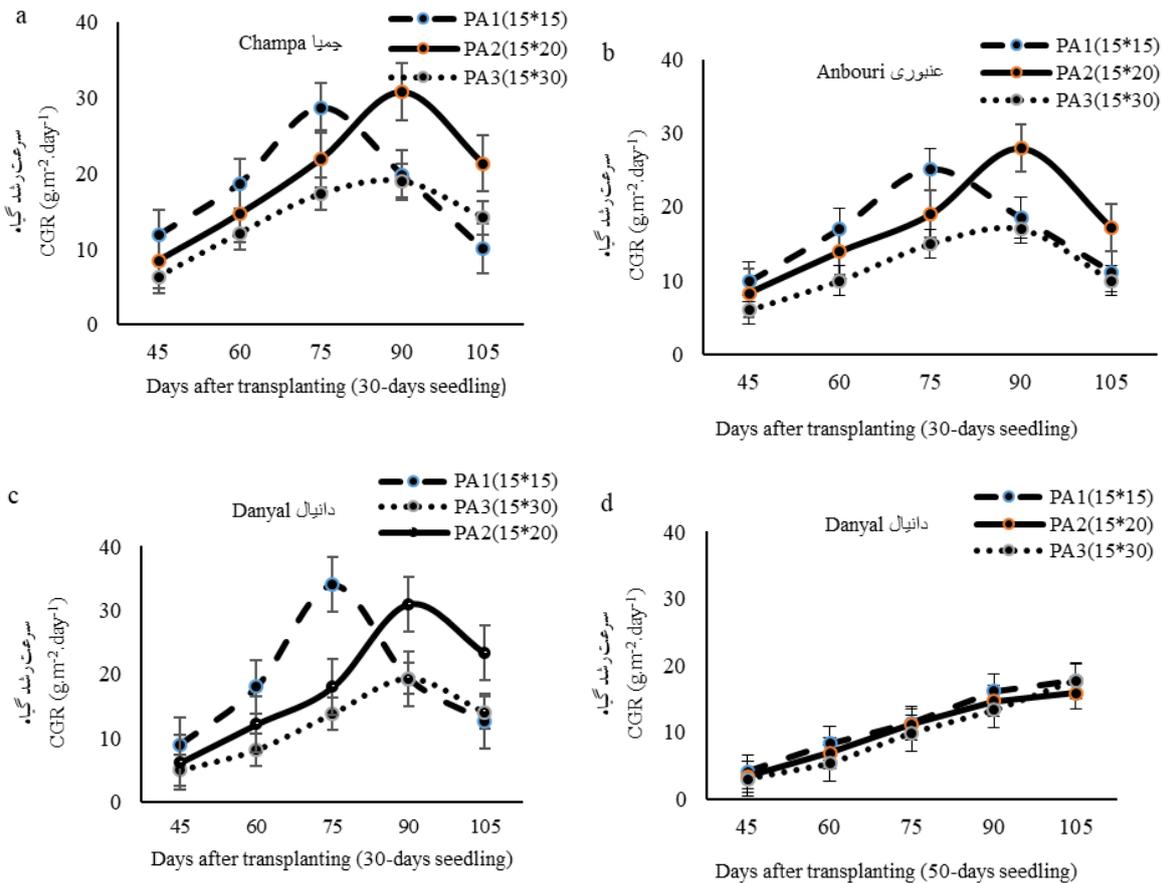
شکل ۱- برهمکنش رقم، آرایش کاشت و سن گیاهچه بر روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام محلی و اصلاح شده برنج مقادیر میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار هستند

Fig. 1. Interaction effect of cultivar, planting arrangement (PA) and seedling age on variation trend of LAI of local and improved rice cultivars

Values are the average of three replicates \pm standard deviation

رقم اصلاح شده دانیال برخوردار بودند، اما در ادامه فصل رشد، در رقم دانیال به دلیل دارا بودن برگ‌های عمودی‌تر (افراشته) امکان نفوذ بیشتر نور به درون پوشش گیاهی فراهم شده و باعث افزایش تجمع ماده خشک در واحد سطح گردید (شکل ۲). براساس نتایج برهمکنش تیمارها، کاهش سرعت رشد گیاه در گیاهچه‌های ۳۰ روزه رقم چمپا در تیمار ۱۵×۱۵ سانتی‌متر در مراحل پایانی ممکن است به این دلیل باشد که افزایش مساحت برگ‌ها و افزایش شاخص سطح برگ، باعث عدم دریافت نور کافی توسط برگ‌های پایینی گیاه برای تثبیت دی‌اکسید کربن شده باشد. این

عوامل نامساعد محیطی و کاهش شاخص سطح برگ و کاهش جذب تابش خورشیدی شده است. این موضوع با نتایج لاچلان و ویکتور (Lachlan and Victor, 2017) مطابقت دارد (شکل ۱- c). در رقم دانیال در ابتدای رشد شاخص سطح برگ پایین بوده و با افزایش رشد، مقدار آن افزایش یافت. در گیاهچه‌های ۵۰ روزه رقم دانیال تغییرات متفاوت بود و تولید پنجه‌های جدید باعث افزایش جزئی شاخص سطح برگ پس از گلدهی شد (شکل ۱- d,e). نتایج نشان داد که در نمونه برداری‌های اول ارقام محلی از سرعت رشد گیاه (CGR) بالاتری نسبت به



شکل ۲- برهمکنش رقم، آرایش کاشت و سن گیاهچه بر روند تغییرات سرعت رشد گیاه ارقام محلی و اصلاح شده برنج مقادیر میانگین سه تکرار \pm انحراف معیار

Fig. 2. Interaction effect of cultivar, planting arrangement (PA) and seedling age on variation trend of CGR of local and improved rice cultivars

Values are the average of three replicates \pm standard deviation

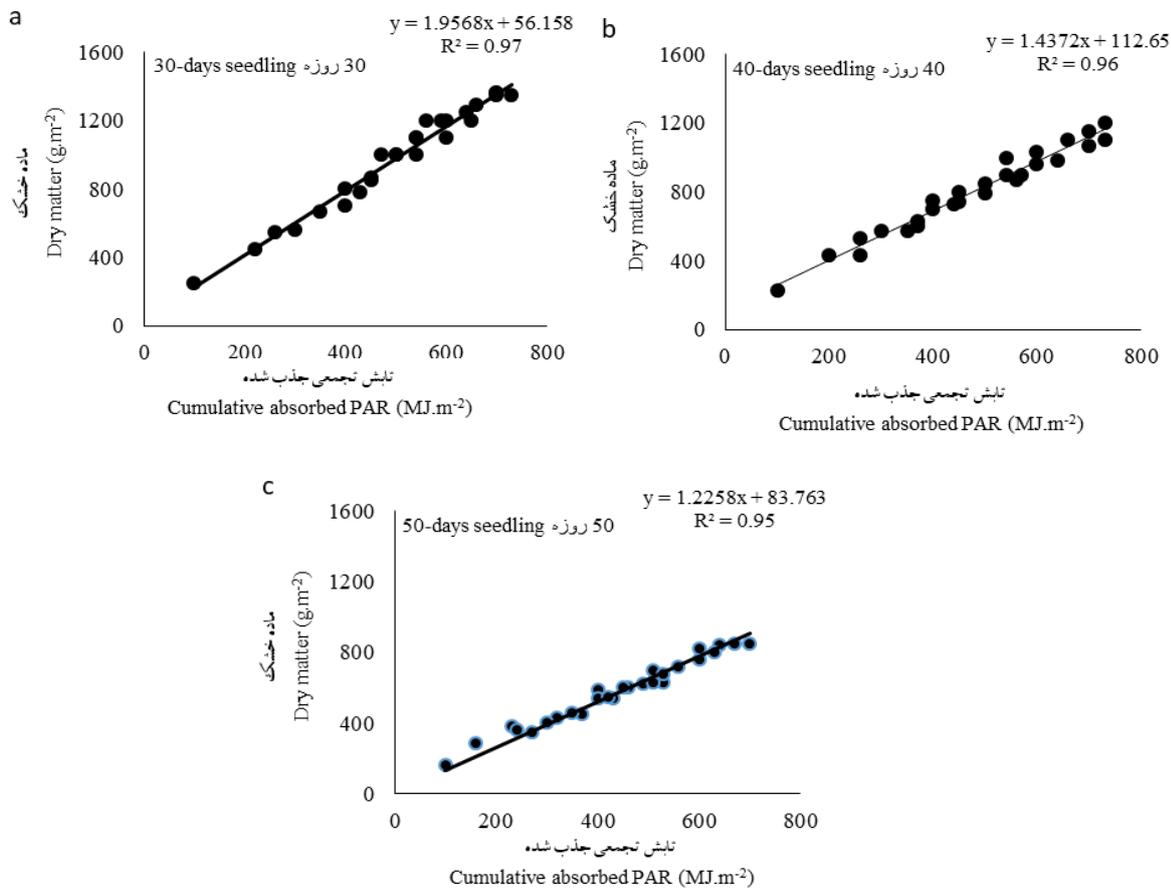
نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. در گیاهچه‌های ۴۰ روزه کارایی مصرف تابش $1/40$ گرم بر مگاژول بود (شکل ۳-ب). در ابتدای انتقال گیاهچه‌ها به زمین اصلی به بدلیل پایین بودن مقدار شاخص سطح برگ، جذب تابش توسط پوشش گیاهی بطور کامل انجام نشد و در نتیجه تولید ماده خشک کمتر بود. در گیاهچه‌های ۵۰ روزه کارایی مصرف تابش $1/22$ گرم بر مگاژول بود (شکل ۳-ج) که نسبت به سایر سنین گیاهچه کمترین مقدار را داشت. دلیل این موضوع می‌تواند نشاکاری دیر هنگام و مصادف شدن پاگیری گیاهچه‌ها با دمای بالای هوا باشد که باعث کاهش شاخص سطح برگ و کاهش جذب تابش گردید. به نظر می‌رسد که یکی از عوامل مهم در کارایی مصرف تابش، سن مناسب گیاهچه‌ها در زمان نشاکاری است که با افزایش سطح برگ در واحد سطح باعث افزایش تولید و تجمع ماده خشک گیاه می‌شود (Singh., 2019). سینکلر و ماچو (Sinclair and Muchow, 1999) حداکثر کارایی مصرف تابش برای برنج را $1/39$ گرم بر مگاژول گزارش کردند. مقدار کارایی مصرف تابش در آزمایش‌های مختلف متفاوت گزارش شده است که دلیل این موضوع می‌تواند به نحوه اندازه‌گیری تابش، نحوه محاسبه تابش فعال فتوسنتزی در طول فصل رشد، لحاظ یا صرف نظر کردن از سهم وزن خشک ریشه در زیست توده کل گیاه و وضعیت آب و مواد غذایی در دسترس گیاه باشد (Hussain et al., 2017).

نتایج نشان داد که سن گیاهچه بر ضریب استهلاک نوری بوته‌ها اثر داشت. نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد که میزان ضریب استهلاک نوری در گیاهچه‌های ۳۰ روزه $0/06$ بود که نسبت به سایر سنین کمترین مقدار را داشت و با افزایش شاخص سطح برگ به‌طور خطی کاهش یافت (شکل ۴-ا).

یافته با نتایج رام و همکاران (Ram et al., 2014) مطابقت دارد (شکل ۲-ا). در گیاهچه‌های ۳۰ روزه رقم عنبری در تیمار 15×15 سانتی‌متر، سرعت رشد گیاه $25/13$ گرم بر مترمربع در روز بود که پس از مرحله گلدهی (۷۵ روز پس از نشاکاری)، روند کاهشی یافت. در تیمار 15×20 سانتی‌متر این مقدار ۲۸ گرم بر مترمربع در روز (۹۰ روز پس از نشاکاری) بود (شکل ۲-ب). انتقال زودتر گیاهچه باعث افزایش شاخص سطح برگ و افزایش دریافت تابش و در نتیجه افزایش سرعت رشد گیاه گردید که این موضوع با یافته‌های ساجو و همکاران (Saju et al., 2019) مطابقت دارد. در گیاهچه‌های ۳۰ روزه رقم دانیال در تیمار 15×15 سانتی‌متر، میزان سرعت رشد گیاه $33/33$ گرم بر مترمربع در روز بود که ۷۵ روز پس از نشاکاری حاصل شد. در گیاهچه‌های ۵۰ روزه رقم دانیال، به علت ظهور پنجه‌ها و برگ‌های جدید سرعت رشد گیاه تا پایان فصل رشد افزایش یافت (شکل ۲-ج، د).

نتایج نشان داد که در کلیه سنین گیاهچه، تجمع ماده خشک ارتباط خطی با تابش تجمعی جذب شده توسط گیاه داشت و ضریب همبستگی بیش از ۹۰ درصد بود (شکل ۳). بیشترین کارایی مصرف تابش در گیاهچه‌های ۳۰ روزه، $1/95$ گرم بر مگاژول بدست آمد (شکل ۳-ا). به نظر می‌رسد که گیاهچه‌های جوان‌تر سرعت رشد بیشتری در شروع فصل داشته و پوشش گیاهی آنها زودتر کامل شده و جذب تابش خورشیدی بیشتری داشته و ماده خشک بیشتری تولید کردند. این موضوع مشابه نتایج سوریانتو و همکاران (Suryanto et al., 2017) بود. به‌علاوه گیاهچه‌های ۳۰ روزه از بیشترین میزان شاخص سطح برگ برخوردار بودند که باعث توانایی بیشتر در جذب تابش و افزایش کارایی مصرف تابش می‌شود. ژنگ و همکاران (Zheng et al., 2022) نیز

روززاتی و همکاران (Rosati *et al.*, 2021) گزارش کردند که کاهش مقدار ضریب



شکل ۳- رابطه رگرسیونی بین مجموع تابش فعال فتوسنتزی جذب شده و وزن خشک گیاه ارقام برنج در تیمارهای سن گیاهیچه (شیب خط رگرسیون کارایی مصرف تابش را نشان می‌دهد)

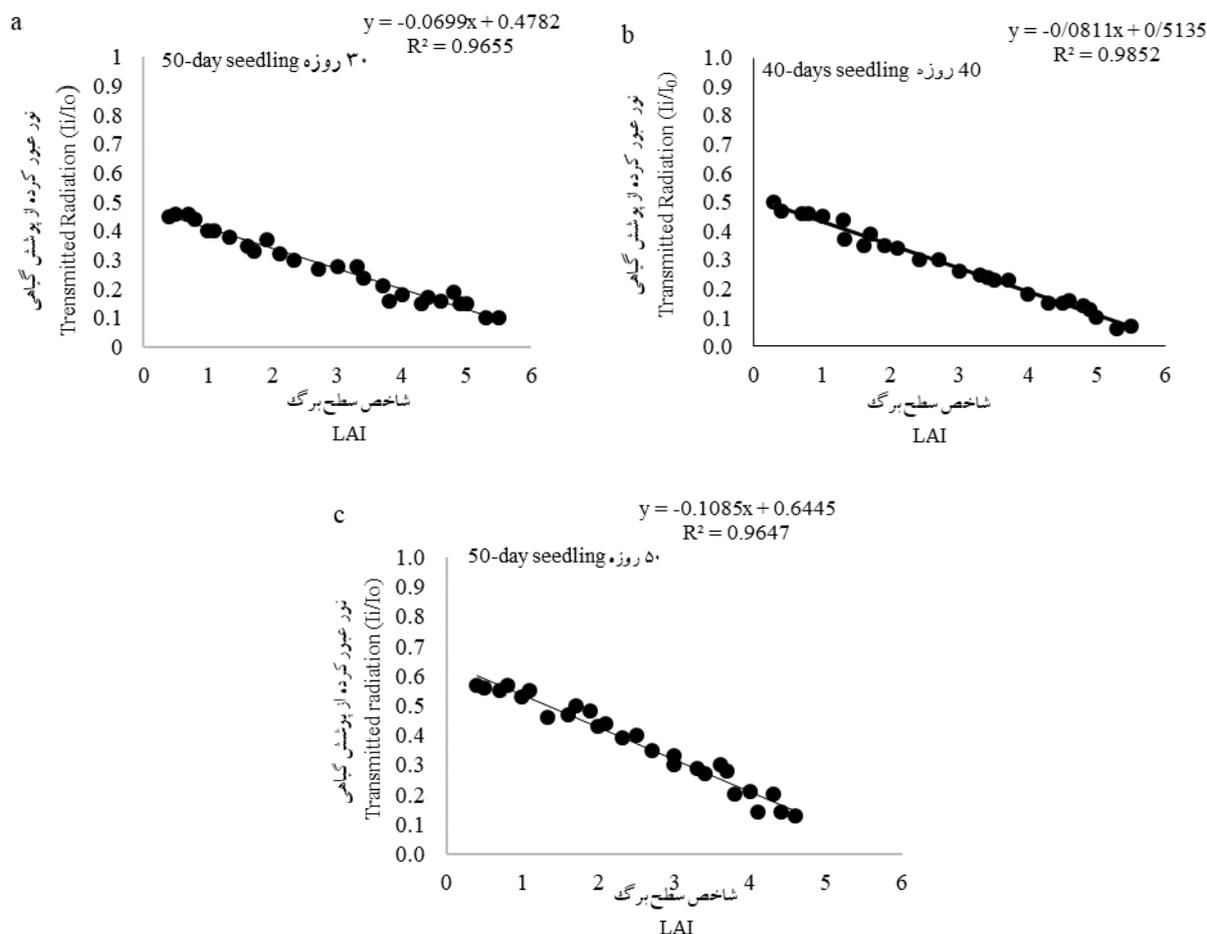
Fig. 3. Regression relationsheep between cumulative absorbed PAR and dry matter of rice cultivars in seedling age treatments (The slope of the regression line shows radiation use efficiency)

دلایل این موضوع می‌توان برگ‌های بزرگتر و سایه اندازی بیشتر در گیاهیچه‌های ۵۰ روزه ذکر کرد. برخی از محققین (Ahmad *et al.*, 2009) پایین بودن ضریب استهلاک نوری را یک مزیت گزارش کرده و از آن به‌عنوان یکی از اهداف به‌نژادی جهت افزایش عملکرد در برنج اعلام کرده‌اند.

نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم عنبوری در گیاهیچه‌های ۳۰ و ۴۰ و ۵۰ روزه در تیمار ۱۵×۱۵ سانتی متر بود. علت برتری رقم عنبوری را

استهلاک نوری باعث فراهم شدن نفوذ نور به داخل پوشش گیاهی و برخورد نور به برگ‌های بیشتر (در تابش کم)، باعث افزایش سرعت کربوکسیلاسیون و افزایش کارایی مصرف تابش در گیاهان منبع محدود خواهد شد. میزان ضریب استهلاک نوری در گیاهیچه‌های ۴۰ روزه ۰/۰۸ بود و با افزایش سن گیاهیچه مقدار آن نیز افزایش یافت (شکل ۴- b). گیاهیچه‌های ۵۰ روزه با ۰/۱۰ بیشترین مقدار ضریب استهلاک نوری را داشتند (شکل ۴- c). از

می‌توان به میزان دریافت کافی تابش و امکان نفوذ نور بیشتر به درون پوشش گیاهی نسبت داد. اوانگلوس و

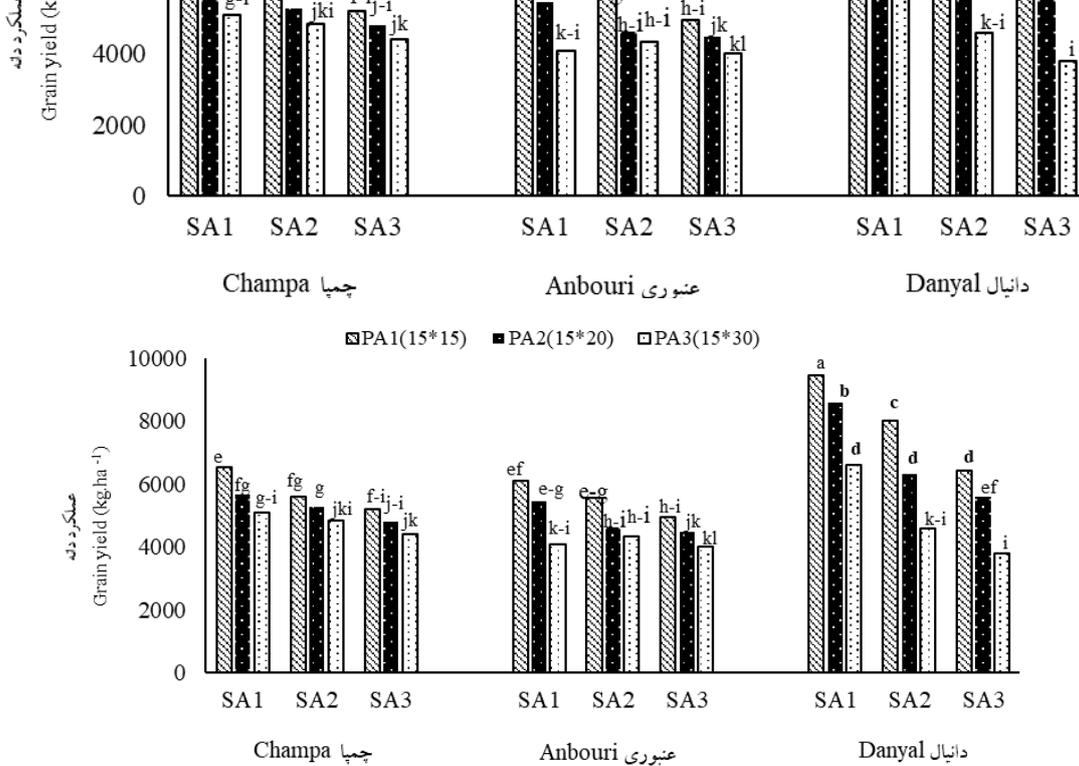


شکل ۴- رابطه رگرسیونی بین نسبت نور عبور کرده از پوشش گیاهی به شاخص سطح برگ ارقام برنج در تیمارهای سن گیاهچه (هر نقطه میانگین شش مشاهده بوده و شیب منحنی برابر با ضریب استهلاک نوری است)

Fig. 4. Regression relationships between transmitted light through the canopy related to LAI of rice cultivars in seedling age treatments (Each point is the mean of 6 observations and the curve slope represent the light extinction coefficient)

و در گیاهچه‌های ۵۰ روزه در همین آرایش کاشت، عملکرد دانه ۶۴۱۰ کیلوگرم در هکتار بود. در رقم دانیال با افزایش سن گیاهچه عملکرد دانه به شدت کاهش یافت که این موضوع نشان می‌دهد ارقام پرمحصول در دامنه مناسبی از شرایط محیطی قادر به تولید بیشتر هستند. این یافته با نتایج راجپوت و همکاران (Rajput *et al.*, 2017) مطابقت داشت (شکل ۵).

همکاران (Evangelos *et al.*, 2011) گزارش کردند که تفاوت در تولید ماده خشک در آرایش‌های مختلف کاشت را می‌توان عامل تفاوت در عملکرد دانست که این موضوع به دلیل تفاوت در میزان جذب تابش فعال فتوسنتزی و نیز کارایی مصرف تابش جذب شده توسط گیاه است. رقم دانیال در آرایش کاشت 15×15 سانتی‌متر دارای بیشترین عملکرد دانه (۹۴۶۶ کیلوگرم در هکتار) بود



شکل ۵- برهمکنش رقم، آرایش کاشت و سن گیاهچه بر عملکرد دانه ارقام محلی و اصلاح شده برنج

Fig. 5. Interaction effect of cultivar, planting arrangement (PA1:15*15 cm, PA2: 15*20 cm, PA3:15*30 cm) and seedling age (SA1: 30, SA2: 40, SA₃: 50 days) on grain yield

می تواند نشان دهنده قابلیت تراکم پذیری بیشتر این رقم باشد. به نظر می رسد که یکی از دلایل تفاوت بین عملکرد دانه ارقام برنج مورد ارزیابی در تیمارهای آرایش کاشت و سن گیاهچه، تفاوت در کارایی مصرف تابش آن ها بوده باشد. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می توان اظهار کرد که نشاکاری گیاهچه های جوان تر برنج، باعث کاهش ضریب استهلاک نوری و بهره مندی حداکثر از تابش خورشیدی برای دستیابی به عملکرد دانه بالاتر ارقام برنج خواهد شد.

سپاسگزاری

از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز جهت تامین هزینه این پژوهش که قسمتی از قرارداد پژوهانه شماره ۹۹/۳/۰۲/۱۸۲۸۷۹ می باشد، تشکر و قدردانی می شود.

نتیجه گیری

برای دستیابی به یک عملکرد مطلوب نیاز به توسعه سریع پوشش گیاهی، وصول سریع تر به حداکثر شاخص سطح برگ برای جذب حداکثر تابش خورشید و تکمیل رشد در زمان مطلوب است. نتایج این آزمایش نشان داد که مقادیر کارایی مصرف تابش و ضریب استهلاک نوری در هر سه سن گیاهچه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ روزه، متاثر از زمان انتقال گیاهچه و متفاوت بود. در گیاهچه های ۳۰ روزه، بسته شدن سریع تر پوشش گیاهی نسبت به سایر سنین، با بیشترین ساعات آفتابی همراه بوده و باعث افزایش کارایی مصرف تابش شد. بالا بودن شاخص سطح برگ در تیمار ۱۵×۱۵ نیز باعث افزایش معنی دار کارایی مصرف تابش شد. گیاهچه های ۳۰ روزه رقم دانیال با توجه به عمودی تر بودن برگ ها (زاویه کوچک تر برگ ها با ساقه)، کمترین میزان ضریب استهلاک نوری را داشتند که این ویژگی

References

Ahmad, A., Iqbal, S., Ahmad, S., Khaliq, T., Nasim, W., Husnain, Z., Hussain, A., Zia, M. and Hoogenboom,

منابع مورد استفاده

- G. 2009.** Seasonal growth, radiation interception, its conversion efficiency and biomass production of *Oryza sativa* under diverse agro-environments in Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 41(3), pp.30-41.
- Ali, M. S. Hasan, M. A., Sikder, S., Islam, M. R. and Hafiz, H. R. 2013.** Effect of seedling age and water management on the performance of (*Oryza sativa*) variety Brrri Dhan28. *The Agriculturists*, 11(2), pp.28-37. <http://doi.org/10.3329/agric.v11i2.17484>
- Evangelos, D. G., Derrick, M., Oosterhuis, A. and Bibi, C. 2011.** Light interception and radiation use efficiency of okra and normal leaf cotton isolines. *Environmental and Experimental Botany*, 72, pp.217– 222. <http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.03.008>
- Francescangeli, N., Sangiacomo, M. A. and Marti, H. 2006.** Effects of plant density in *Oryza sativa* on yield and radiation use efficiency. *Scientia Horticulturae*, 110, pp.135–143. <http://doi.org/10.4236/jhrss.2019.73030>
- Fu, Y. Q., Zhong, X. H., Zeng, J. H., Liang, K. M., Pan, J. F. and Xin, Y. 2021.** Improving grain yield, nitrogen use efficiency and radiation use efficiency by dense planting, with delayed and reduced nitrogen application, in double cropping rice in south china. *Journal of Agricultural Sciences*, 20(2), pp.565–580. [http://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63380-9](http://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63380-9)
- Ghafari, H. and Tadayon, M. R. 2019.** Impact of jasmonic acid on radiation use efficiency and dry biomasses of (*Beta vulgaris L.*) under water deficit conditions. *Plant Production*, 41(4), pp.237-250. [In Persian]. <http://doi.org/10.22055/ppd.2018.22847.1499>
- Goudriaan, J. and Vanlaar, H. H. 1993.** Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Press, <http://doi.org/10.1007/978-94011-07501>
- Hussain, A., Ziahaq, M. and Hoogenboom, G. 2009.** Seasonal growth, radiation interception, its efficiency and biomass production of *Oryza sativa L.* under diverse agro-environments in Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 41(3), pp.1241-1257.
- Lachlan, L. and Victor, O. 2017.** Associations between yield, intercepted radiation and radiation use efficiency in chickpea. *Crop and Pasture Science* 68(2), 140-147. <http://doi.org/10.1071/CP16356>
- Liu, T., Song, F., Liu, S. and Zhu X. 2011.** Canopy structure, light interception and photosynthetic characteristics under different narrow-wide planting patterns in maize at silking stage. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(4), pp.1249-1261. <http://doi.org/10.5424/sjar/20110904-050-11>
- Rajput, A., Rajput, S. S. and Jha, G. 2017.** Physiological parameters leaf area index, crop grow rate, relative growth rate and net assimilation rate of different varieties of rice grown under different planting geometries and depths in SRI. *Internationa Journal of Pure and Applied Bioscience*, 5(1), pp.362- 367 <http://doi.org/10.18782/2320-7051.2472>
- Nikbakht Shahbazi, A. R. 2019.** Investigation of crop evapotranspiration and precipitation changes under climate change RCPs scenarios in Khouzestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(6),

pp.123-139. [In Persian]. <http://doi.org/10.22069/JWSC.2019.14583.2945>

- Rakesh, P., Vijay, P., Madurima, D. and Mahesh, M. R. 2017.** Plant growth analysis. Physiological techniques to analyze the impact of climate change on crop plants. *Crop and Pastur Sciences*, 20(4), pp.6-25. <http://doi.org/10.1071/CP16356>
- Ram, H., Singh, J. P., Bohra, J. S., Rajiv, K., Singh, K. and Sutaliya, J. M. 2014.** Effect of seedlings age and plant spacing on growth, yield, nutrient uptake and economics of rice (*Oryza sativa*) genotypes under system of rice intensification. *Indian Journal of Agronomy*, 59(2), pp.256-26.
- Rosati, A. Metcalf, S. G. and Lampinen, B. D. 2004.** A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. *Annals of Botany*, 38, pp.1-13. <http://doi.org/10.1093/aob/mch081>
- Rosati, A., Marchionni, D., Mantovani, D., Ponti, L. and Famiani, F. 2021.** Intercepted photosynthetically active radiation (PAR) and spatial and temporal distribution of transmitted PAR under high-density and super high-density olive orchards. *Agriculture*, 11(4), pp.351. <http://doi.org/10.3390/agriculture11040351>
- Sinclair, T. R. and Muchow, R.C. 1999.** Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*, 65, pp.215-265. [http://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60914-1](http://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60914-1)
- Saju, S. M., Thavaprakash, N., Sakthivel, N. and Malathi, P. 2019.** Influence of high density planting on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) under modified system of rice intensification. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), pp.3376-3380. <http://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i6a.12903>
- Singh, A. 2019.** Effect of age and number of seedling per hill on growth and yield of black scented rice (*Oryza sativa* L.) variety 'Chakhao poireiton' under manipur condition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(7), pp.126-137. <http://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.807>
- Singh, K., Rathore, R. S., Shishu, P. and Roy, R. 2013.** Effect of age of seedling and spacing on yield, economics, soil health and digestibility of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under system of rice intensification. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 83(5), pp.479-83.
- Singh, S., Kumar, V., Sagar, V., Maurya, M. L. and Khan, A. W. 2017.** Effect of age of seedling and plant spacing on yield and attributing traits of rice varieties under SRI method of rice cultivation. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 38(4), pp.25-34. <http://doi.org/10.22271/phyto.2017.v12.i4c.14686>
- Suryanto, A., Maghfoer, M. D. and Kartinaty, T. 2017.** Radiation use efficiency on the different varieties and the number of seedlings of rice (*Oryza sativa* L.). *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 40(3), pp.536-543. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v40i3.1851>
- Swarna, R., Leela Rani, P., Sreenivas, G., Raji Reddy, D. and Madhavi, A. 2017.** Growth performance and radiation use efficiency of transplanted rice under varied plant densities and nitrogen levels. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), pp.1429-1437. <http://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.156>
- Tsubo, M., Walker, S. and Mukhala, E. 2001.** Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-

"اثر آرایش کاشت و سن گیاهیچه بر عملکرد دانه...، بناری و همکاران، ۱۴۰۲، ۵۴-۴۱"

cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research*, 71, pp.17-29.

[http://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00142-3](http://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00142-3)

Zheng, C., Wang, Y., Yang, D., Xiao, S., Sun, Y., Huang, J. and Peng, S. 2022. Biomass, radiation use efficiency and nitrogen utilization of ratoon rice respond to nitrogen management in central china. *Field Crops Research*, 91, pp.180–190. <http://doi.org/10.3389/fpls.2022.889542>

Effect of planting arrangement and seedling age on grain yield and radiation use efficiency of local and improved rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Khuzestan province, Iran

Banari. M.¹, P. Hassibi² and A. Guilani³

ABSTRACT

Banari. M., P. Hassibi and A. Guilani. 2023. Effect of planting arrangement and seedling age on grain yield and radiation use efficiency of local and improved rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Khuzestan province, Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences**. 25(1): 41-54. (In Persian).

Solar radiation affects crop growth and development. Dry matter production by crops has often a positive relationship with radiation absorption by canopy and radiation use efficiency. Therefore, to evaluate radiation use efficiency of rice cultivars, a field experiment was carried out as split-split-plot arrangements in randomized complete block design with three replications in pilot plots in Qaleh-Tal district of Khuzestan province, Iran, in 2019-2020 and 2020-2021 growing seasons. Three rice cultivars; Champa, Anbouri and Danial were assigned to main plots, three planting arrangement; 15 cm × 15 cm, 15 cm × 20 cm and 15 cm × 30 cm, were randomized in sub-plots and seedling age at three levels; 30, 40 and 50-day old seedlings, in sub-sub-plots. Results showed that highest grain yield (9466 kg.ha⁻¹) was recorded for cv. Danial in the 15 cm × 15 cm planting arrangement of 30-day seedling age treatment. The highest leaf area index (5.8) was achieved for cv. Champa in 30-day seedling age treatment. The highest crop growth rate (33.3 g.m⁻².day⁻¹) observed for cv. Danial in 15 cm × 15 cm planting arrangement and 30-day seedling age treatment. The highest (1.95) and lowest (1.22 g.MJ⁻¹) radiation use efficiency (RUE) were obtained in 30 and 50-day old seedlings, respectively. The increase of seedling age from 30 to 50 days led to increase of light extinction coefficient from 0.06 to 0.10. The results of this experiment showed that 30-day old seedling at 15 cm × 15 cm planting arrangement treatment is more suitable for improving grain yield of rice cultivars in the target areas considering the low light extinction coefficient and high radiation use efficiency.

Key words: Grain yield, Leaf area index, Light extinction coefficient, Radiation use efficiency and Rice

Received: February, 2023 Accepted: June, 2023

1. PhD Student, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Associate Prof., Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (Corresponding author) (Email: p.hassibi@scu.ac.ir)

3. Assistant Prof., Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran