



نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد نهم، شماره سوم، پاییز ۹۵
۶۷-۸۶
<http://ejcp.gau.ac.ir>



ارزیابی ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور در توده‌های مختلف گلرنگ تحت سطوح مختلف کود نیتروژن

افسانه معصومی پور^{۱*}، بنیامین ترابی^۲ و اصغر رحیمی^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، آستادیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲دانشیار گروه زراعت دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲

چکیده

سابقه و هدف: همبستگی نزدیکی بین مقدار تشعشع دریافتی توسط گیاه و رشد آن وجود دارد. کارایی دریافت و جذب تشعشع خورشیدی تا حد زیادی تابع شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور و همچنین کارایی مصرف نور می‌باشد. به منظور بررسی ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور در ارقام مختلف گلرنگ در سطوح مختلف کود نیتروژن، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار اجراء شد. فاکتورهای آزمایش شامل کود نیتروژن به‌عنوان عامل اصلی در پنج سطح (شاهد، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ۴ توده گلرنگ (محلی اصفهان، گلدشت، صفه و نایین) به‌عنوان عامل فرعی بودند. در طول دوره آزمایش همزمان با اندازه‌گیری تشعشع بالا و پایین پوشش گیاهی، ۸ نوبت نمونه برداری جهت تعیین صفات مختلفی نظیر شاخص سطح برگ، و ماده خشک تولیدی انجام شد و بر اساس آن ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور (RUE) تعیین گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ضریب خاموشی نور تحت تاثیر کود قرار نگرفت، اما مقایسه ضریب خاموشی در ارقام مختلف نشان داد که توده گلدشت با توده محلی اصفهان و صفه تفاوت معنی‌داری داشته، و میزان آن برای توده‌های محلی اصفهان، گلدشت، نایین و صفه به ترتیب برابر با ۰/۴۶، ۰/۵۴، ۰/۴۸ و ۰/۴۶ برآورد شد. کارایی

*نویسنده مسئول: afsane.masomipour@gmail.com

افسانه معصومی پور و همکاران

مصرف نور تحت تأثیر کود نیتروژن قرارگرفت، به طوری که در ارقام محلی اصفهان، گلدشت و صفه میزان RUE در سطوح کودی ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم اختلاف معنی‌داری با سطح شاهد داشت و در توده نایین میزان آن در سطح ۲۰۰ کیلوگرم، تفاوت معنی‌داری را با سطح شاهد نشان داد. میزان RUE برآورد شده در توده‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، و مقدار آن برای توده‌های محلی اصفهان، گلدشت، نایین و صفه به ترتیب برابر ۴/۴۵، ۴/۱۹، ۴/۶۲ و ۴/۳۵ گرم بر مگاژول برآورد شد. همچنین حداکثر شاخص سطح برگ در همه توده‌ها از سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به بالا اختلاف معنی‌داری را با سطح شاهد نشان دادند.

نتیجه‌گیری: در این آزمایش با افزایش سطح کود میزان شاخص سطح برگ به طور قابل توجهی افزایش یافت. افزایش شاخص سطح برگ باعث شد که کارایی مصرف نور تحت تأثیر نیتروژن قرار بگیرد و به طور کلی بالاترین کارایی مصرف نور در سطح ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم بدست آمد. به نظر می‌رسد مناسب‌ترین توده در کارایی استفاده از نور در بین توده‌های فوق، توده نایین باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی، کارایی مصرف نور، گلرنگ، نیتروژن.

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) امروزه به عنوان یک گیاه دانه روغنی مورد کشت قرار می گیرد. این گیاه بومی ایران بوده و از اهمیت خاصی برای تامین نیازهای روغنی و دارویی کشور برخوردار است و از نظر اکولوژیک با بسیاری از اراضی زراعی کشور که عمدتاً در مناطق خشک قرار دارند سازگاری خوبی دارد. از این جهت چشم انداز روشنی برای گسترش کشت آن انتظار می رود (۴). از سطح زیر کشت گلرنگ در ایران اطلاع دقیقی در دسترس نیست. ظاهراً سطح زیر کشت آن طی سال‌های گذشته کمتر از ۱۰۰۰ هکتار با میانگین عملکرد دانه حداکثر ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (۲۴).

در شرایطی که کمبود آب و مواد غذایی وجود نداشته باشد و در غیاب مشکل آفات و بیماری‌ها، تولیدات گیاهی اغلب یک رابطه خطی با مقدار تابش تجمعی دریافتی دارند و تابش فعال فتوسنتزی جذب شده، مهمترین عامل رشد گیاه خواهد بود (۱۶). کارایی دریافت و جذب تشعشع خورشیدی تا حد زیادی تابع شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی نور و همچنین کارایی مصرف نور می باشد (۲۰). یکی از پیش شرط‌های لازم برای دستیابی به عملکرد بالا تامین شرایط مطلوب جهت استفاده از تشعشع به منظور تولید مواد فتوسنتزی در بالاترین حد کارایی آن است (۱۸). استفاده از ارقام کارآمد در بهره‌برداری از منابع بویژه تشعشع خورشیدی یکی از مهمترین راهکارها برای پایداری در نظام‌های زراعی می باشد (۳).

کارایی مصرف نور، گرم ماده خشک تولید شده به ازای هر مگاژول انرژی خورشیدی دریافت شده می باشد و اغلب به صورت شیب رگرسیون خطی ماده خشک تجمعی در مقابل تابش جذب شده تجمعی محاسبه می شود (۲۶). دریافت و تبدیل تشعشع توسط ویژگی‌های پوشش گیاهی تحت تاثیر قرار می گیرد، ساختار پوشش گیاهی از طریق میزان شاخص سطح برگ و آرایش آنها، در میزان نور خورشیدی که در یک جامعه گیاهی نفوذ می کند مؤثر است (۵). ضریب خاموشی نور^۱ (K) یا استهلاك نور مفهومی است که بیانگر میزان نفوذ نور در داخل پوشش گیاهی گیاه می باشد (۱۷) و عبارت است از شیب منحنی نسبت نور عبور کرده از پوشش گیاهی در مقابل شاخص سطح برگ، که با رگرسیون گیری لگاریتمی از نسبت نور عبور یافته از پوشش گیاهی نسبت به شاخص سطح برگ به دست می آید (۳۰).

1- Light extinction coefficient

ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور هر دو از پارامترهای کلیدی در بسیاری از مدل‌های رشد گیاهان به‌شمار می‌روند، تعدادی از مدل‌ها با استفاده از مفهوم کارایی مصرف نور، رشد و عملکرد گیاهان زراعی را در شرایط محیطی مختلف شبیه‌سازی می‌کنند (۲۱). درصد نفوذ نور، کارایی مصرف نور، تسهیم ماده خشک، شاخص سطح برگ و آهنگ رشد گیاه، تحت تاثیر نیتروژن قرار می‌گیرند (۲۹).

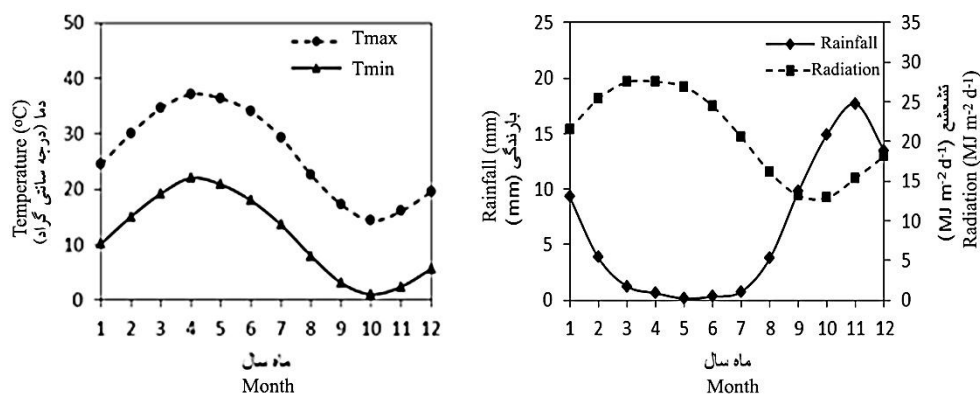
نیتروژن یکی از عناصر غذایی پر مصرف در گیاهان است که موجب توسعه سطح برگ‌ها شده و سطح دریافت‌کننده نور خورشید را افزایش می‌دهد در نتیجه موجب افزایش کارایی مصرف نور می‌شود. وانگ و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه روی گیاه گندم گزارش کردند با افزایش نیتروژن خاک، توسعه سطح برگ افزایش یافته و در نتیجه نفوذ نور به درون سایه انداز و کارایی مصرف نور زیاد شد که این عامل باعث افزایش سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و دوام شاخص سطح برگ گردید و در نهایت منجر به افزایش عملکرد دانه شد (۳۱). همچنین کوچکی و همکاران (۱۹۹۷) اظهار کردند افزایش نیتروژن کارایی مصرف نور را افزایش می‌دهد زیرا نیتروژن زیاد سبب افزایش نقطه اشباع نور می‌شود و گیاه بیشتر از نور استفاده می‌کند (۱۵). سدراس (۱۹۹۶) در یک بررسی با حذف جوانه‌ی گل در پنبه نتیجه گرفت که این عمل باعث کاهش میزان تخلیه نیتروژن برگ و طولانی شدن دوره رشد شده و کارایی مصرف نور ۲۰ تا ۳۷ درصد در مقایسه با گیاهان سالم افزایش یافت. تفاوت بین RUE کانوپی سالم و کانوپی آسیب دیده با تغییرات ساختار کانوپی مرتبط بود و توزیع نور در داخل پوشش گیاهی را تغییر داد. این تغییرات ساختاری، ضریب خاموشی را در گیاهان آسیب دیده ۱۰ تا ۲۰ درصد کمتر از گیاهان سالم نشان داد و همبستگی مثبتی بین عکس کارایی استفاده از نور و ضریب خاموشی نور وجود داشت (۲۳). براساس اظهارات خواجه‌پور (۲۰۱۰) برای حصول عملکردهایی حدود ۲/۵ تا ۳ تن در هکتار دانه در گیاه گلرنگ تحت شرایط آبی حدود ۵۵ تا ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن مورد نیاز است (۱۳). این تحقیق با هدف ارزیابی میزان تاثیر سطوح مختلف کود نیتروژن بر ضریب خاموشی و کارایی استفاده از نور در چهار توده گلرنگ در شرایط آب و هوایی رفسنجان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان واقع در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۳ دقیقه و

نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد نهم (۳)، ۱۳۹۵

طول جغرافیایی ۵۶ درجه با ارتفاع ۱۵۲۰ متر از سطح دریا طی سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ انجام شد. شرایط آب و هوایی بلندمدت (متوسط بارندگی، تشعشع ورودی، دمای حداکثر و حداقل) مربوط به سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۸۹ شهرستان رفسنجان در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تشعشع و دمای هوا از دی‌ماه روند افزایشی داشته و در تیرماه به حداکثر خود می‌رسند. حداکثر تشعشع در ماه‌های خرداد و تیر به حدود ۲۸ مگاژول بر مترمربع در روز و حداقل آن به حدود ۱۳ مگاژول در مترمربع در روز می‌رسد.



شکل ۱- شرایط آب و هوایی بلندمدت (بارندگی، تشعشع، دمای حداکثر و دمای حداقل) در رفسنجان.

Figure 1. Long-term weather conditions (kain fall, radiation, maximum and minimum temperature) in Rafsanjan.

قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول ۱).

فاکتورهای آزمایش شامل کود نیتروژن به عنوان عامل اصلی در ۵ سطح صفر (شاهد)، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، و ۴ توده گلرنگ (گلدشت، محلی اصفهان، صنفه و نایین) به‌عنوان عامل فرعی بودند. تعیین میزان کود مصرفی براساس آزمایش خاک و همچنین نیاز کودی گیاه صورت گرفت. پس از انجام عملیات شخم و دیسک، کرت‌بندی صورت گرفت. کرت‌های به طول ۳ و عرض ۳/۵ متر ایجاد و کاشت در خطوطی با فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر و با تراکم ۵۰ بوته در متر مربع انجام شد. در داخل هر کرت ۸ خط کاشت ایجاد، به گونه‌ای که از هر توده دو خط

افسانه معصومی پور و همکاران

در طرفین پشته‌ها کشت شد. کود نیتروژن برای هر سطح در ۳ مرحله (چهار برگی، ساقه رفتن و گلدهی) به صورت سرک اعمال گردید و بعد از هر نوبت کود دهی آبیاری صورت گرفت.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش.

Table 1. Results of soil analysis in the experiment location.

فاکتور اندازه‌گیری شده (Factor)	واحد (Unit)	مقدار (Amount)
اسیدیته (PH)	-	7.8
هدایت الکتریکی (EC)	میلی موس بر سانتی متر (mmhos/sm)	6.5
فسفر قابل جذب (P)	پی پی ام (ppm)	12
پتاسیم قابل جذب (K)	پی پی ام (ppm)	381
کربن آلی (C)	درصد (%)	0.93
شن (Sand)	درصد (%)	55
رس (Clay)	درصد (%)	25.4
سیلت (Silt)	درصد (%)	19.6
نیتروژن (N)	درصد (%)	0.1

برای اندازه‌گیری میزان تشعشع فعال فتوسنتزی دریافتی توسط جامعه گیاهی و میزان تشعشع فعال فتوسنتزی در بالای جامعه گیاهی، از دستگاه تشعشع سنج مدل ال - پی ۸۰ استفاده شد. این دستگاه دارای یک حسگر ۸۶ سانتی متری است و ۸۰ سنسور به فاصله ۱ سانتی متر از هم در آن قرار دارد که تابش فعال فتوسنتزی را در واحد میکرومول فوتون بر متر مربع در ثانیه ثبت می‌کنند. اندازه‌گیری‌ها در طول فصل رشد و در ظهر خورشیدی از ساعت ۱۴-۱۱/۳۰ انجام شد. بدین صورت که دستگاه یک بار در بالای جامعه گیاهی و سه بار در زیر جامعه گیاهی به صورت مورب قرار گرفت تا حسگر بین دو ردیف مجاور تقسیم و سایه اندازی جامعه گیاهی در طرفین ردیف کاشت به دقت اندازه‌گیری شود. متوسط این سه قرائت جهت تعیین و محاسبه میزان تشعشع دریافتی در زیر جامعه گیاهی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری میزان تشعشع در بالا و زیر تاج پوشش در این آزمایش با حذف تشعشع مستقیم توسط سایه‌دهی مصنوعی انجام شد، زیرا همانطور که سینکلر و هوری (۱۹۸۹) اظهار کردند جزء غیر مستقیم تشعشع خورشیدی دارای توزیع یکنواخت‌تری نسبت به تشعشع مستقیم

1. AccuPAR, LP 80

است (۲۵). همزمان با اندازه‌گیری تشعشع دریافتی، شاخص سطح برگ هم اندازه‌گیری شد. در این تحقیق صفات سطح برگ، نسبت دریافت تشعشع و وزن خشک از ۴۰ روز پس از کاشت هر ۱۰ روز یکبار، و تا مراحل نزدیک گلدهی به صورت هفتگی اندازه‌گیری شدند. همزمان با اندازه‌گیری PAR دریافتی با انتخاب ۷-۱۰ بوته، نمونه‌برداری از تکرارهای هر تیمار صورت گرفت و با جدا کردن برگ‌ها از بوته‌ها، سطح برگ‌ها توسط دستگاه سطح برگ سنج مدل Delta T Device, Cambridge, UK اندازه‌گیری شدند. برگ‌ها و سایر اندام‌های هوایی در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت درون آون قرار گرفتند و سپس وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ در طی زمان (روز) از مدل بتا استفاده شد (۳۳):

$$LAI = LAI_{\max} \left[\left(\frac{t_e - t}{t_e - t_m} \right) \left(\frac{t - t_b}{t_m - t_b} \right)^{\frac{t_m - t_b}{t_e - t_m}} \right]^{\delta} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن LAI_{\max} حداکثر شاخص سطح برگ، t روز پس از کاشت، t_b زمان شروع رشد برگ، t_m زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ، t_e زمان پایان رشد برگ که در آن شاخص سطح برگ صفر می‌باشد و δ یک ضریب ثابت در مدل می‌باشد. ضریب خاموشی از معادله مانسی-سایکی^۱ به دست آمد:

$$F = 1 - \exp(-KPAR \times LAI) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله F نسبت دریافت تابش (نسبت تشعشع در بالای کانوپی به زیر کانوپی)، $KPAR$ ضریب خاموشی بر پایه تابش فعال فتوسنتزی و LAI شاخص سطح برگ می‌باشد. کارایی مصرف نور از برازش رابطه خطی ($y=a+bX$) بین تشعشع تجمعی دریافت شده و ماده خشک تجمعی از کاشت تا رسیدگی، به صورت شیب خط حاصله محاسبه شد. در این معادله b کارایی مصرف نور (گرم برمگاژول) و a عرض از مبدا می‌باشد (۲۷). میزان تشعشع تجمعی بر اساس برنامه $int-PAR$ بدست آمد (۲۸). این برنامه با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ روزانه و ضریب خاموشی گیاه، میزان تشعشع تجمعی را محاسبه نمود، بدین صورت که مقدار تشعشع دریافت شده روزانه، از حاصل ضرب تشعشع خورشیدی روزانه و نسبت تشعشع دریافت شده (F)

1- Monsi-Saeki

2- Leaf Area Index

محاسبه، و تشعشع تجمعی از جمع تشعشع خورشیدی دریافت شده‌ی هر روز با مجموع تشعشع دریافتی روزهای قبل به دست آمد. تجزیه و تحلیل صفات مورد ارزیابی با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱، و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از حد بالا و پایین با حدود اطمینان ۹۵ درصد صورت گرفت. از نرم‌افزار Excel برای ترسیم شکل‌ها استفاده شد.

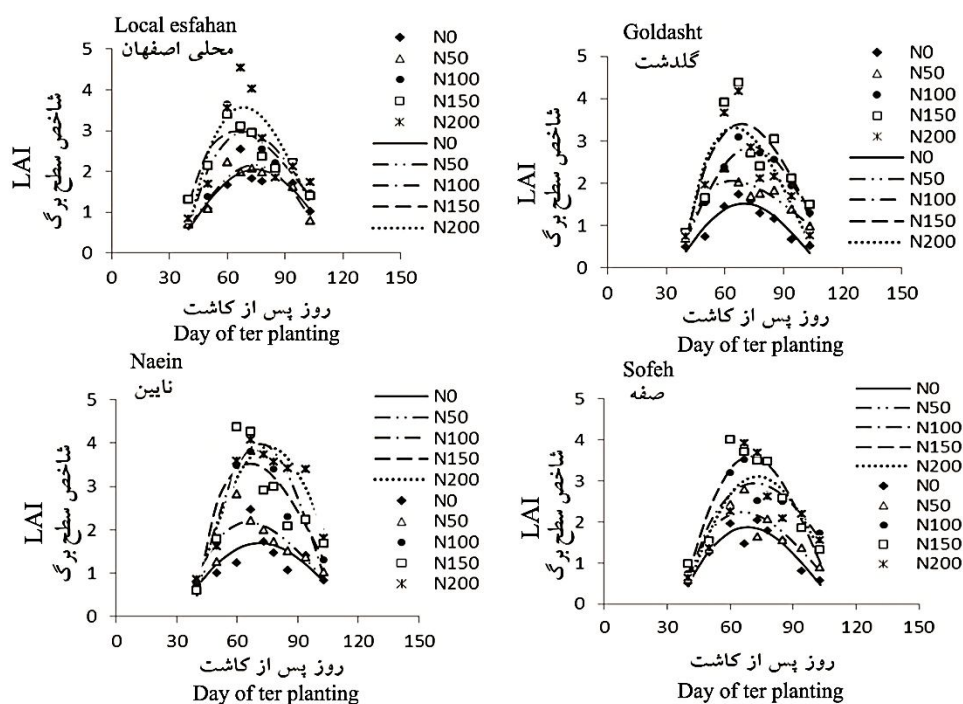
نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: در شکل ۲ روند تغییرات سطح برگ توده‌های مختلف گلرنگ در سطوح مختلف کود نیتروژن، در طول فصل رشد نشان داده شده است. در مراحل اولیه رشد به دلیل پایین بودن شاخص سطح برگ، سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر اندک بوده و همه برگ‌ها نور کافی برای رشد را دریافت می‌کنند در نتیجه شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد. این الگوی نمایی با بسته شدن تدریجی کانوپی به الگوی خطی تبدیل شد و گیاه در زمان گلدهی به حداکثر میزان شاخص سطح برگ رسید و سپس به دلیل سایه‌اندازی، پیری و ریزش برگ‌ها شاخص سطح برگ سیر نزولی گرفت. ژاگارد و کلارک (۲۰۰۰) نیز با مطالعه روی گیاه چغندر قند اظهار داشتند که منحنی رشد برگ به صورت لگاریتمی است که در اواسط فصل رشد به حداکثر خود می‌رسد و سپس با از بین رفتن برگ‌های پیر کاهش می‌یابد و سطح برگ از بین رفته با سطح برگ جدید ساخته شده کاملاً جبران نمی‌شود. نامبردگان همچنین دریافتند که الگوی رشد برای همه ژنوتیپ‌ها و سال‌های مختلف نسبتاً مشابه می‌باشد (۱۱).

نتایج آزمایش نشان داد که حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) در سطوح مختلف کود نیتروژن تفاوت معنی‌داری با هم داشتند و میزان آن در ۶۳ تا ۷۵ روز پس از کاشت، یعنی در حدود اوایل خرداد و مصادف با مرحله‌ی گلدهی به حداکثر خود رسید. حداکثر شاخص سطح برگ در همه توده‌ها از سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به بالا با شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. برای توده محلی اصفهان حداکثر شاخص سطح برگ در سطوح کودی شاهد، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم به ترتیب برابر ۲/۰۵، ۲/۱۶، ۲/۹۷، ۲/۹۷ و ۳/۵۷، برای توده گلدشت ۱/۵۲، ۲/۰۵، ۲/۸۵، ۳/۴۰ و ۳/۳۱، برای توده نایین ۱/۶۹، ۲/۱۷، ۳/۹۷، ۳/۵۲ و ۳/۹۱، و برای توده صفه برابر ۱/۸۷، ۲/۲۳، ۲/۹۴، ۳/۶۰ و ۳/۱۱ بدست آمد (جدول ۲). شاخص سطح برگ با افزایش سطح کود نیتروژن افزایش پیدا کرد به گونه‌ای که در توده محلی اصفهان و نایین با افزایش کود تا سطح ۲۰۰ کیلوگرم شاخص سطح

نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد نهم (۳)، ۱۳۹۵

برگ به ترتیب به اندازه ۱/۵۲ و ۲/۲۸ نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد و در توده صغه و گلدشت با افزایش کود تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم شاخص سطح برگ به ترتیب به اندازه ۱/۷۳ و ۱/۸۸ نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. نیتروژن باعث بهبود رشد رویشی گیاهان شده و سطح برگ را افزایش می‌دهد (۳۱).



شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد در توده‌ها و سطوح مختلف کود نیتروژن.

Figure 2. Trend of changes in leaf area index during the growth season in different cultivars and different levels of N fertilizer.

بنابراین با افزایش کاربرد کود نیتروژن، گیاهان دسترسی بیشتری به این عنصر داشته و شاخص سطح برگ خود را به دلیل تحریک رشد رویشی افزایش دادند. بنابر گزارش کریمیان کلیشادریخی و همکاران (۲۰۰۹) نیتروژن شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ را افزایش داده و زرد شدن و پیری برگها را به تاخیر می‌اندازد و همبستگی مثبتی بین کود نیتروژن و LAI وجود دارد (۱۲). طریق الاسلامی و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای روی ذرت دانه‌ای گزارش کردند که با افزایش مصرف کود

نیترژن از ۸۰ به ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار شاخص سطح برگ به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت (۲۹).

سایر پارامترهای مدل در سطوح مختلف کود، اختلاف معنی‌داری را با هم نشان ندادند. بدین ترتیب که زمان شروع رشد برگ (t_b) برای توده محلی اصفهان بین ۲۶/۱ تا ۳۷/۷، برای توده گلدشت بین ۳۲/۴ تا ۳۸/۶، برای توده نایین بین ۲۷/۷ تا ۳۹/۱ و برای توده صغه این زمان بین ۳۴/۱ تا ۳۷/۵ روز متغیر بود (جدول ۲). زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ (t_m) برای توده محلی اصفهان بین ۶۴/۶ تا ۷۴/۵، برای توده گلدشت بین ۶۳/۵ تا ۷۳/۵، برای توده نایین بین ۶۵/۴ تا ۷۵/۴ و در توده صغه بین ۶۵/۷ تا ۷۳/۱ روز متغیر بود (جدول ۲). بین سطوح مختلف کود از لحاظ زمان پایان رشد برگ (t_e) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و برای توده محلی اصفهان این زمان بین ۱۱۸/۱ تا ۱۲۹/۹، در توده گلدشت بین ۱۱۲/۱ تا ۱۳۴/۶، برای توده نایین بین ۱۱۱/۷ تا ۱۲۴/۴ و در توده صغه بین ۱۱۳/۵ تا ۱۲۸/۰ روز متغیر بود (جدول ۲). دلیل عدم اختلاف در این پارامترها را می‌توان شرایط محیطی، اعم از طول روز و درجه حرارت یکسان و همچنین نمونه برداری همزمان همه تیمارها عنوان کرد. خطیب و همکاران (۲۰۱۴) نیز در مطالعه خود روی گیاه گلرنگ در تاریخ کاشت‌های مختلف گزارش کردند که زمان شروع رشد برگ (t_b)، زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ (t_m) و زمان پایان رشد برگ (t_e) بین هر تاریخ کاشت اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند (۱۴).

ضریب خاموشی: رابطه بین نسبت تشعشع دریافت شده و شاخص سطح برگ در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش شاخص سطح برگ نسبت دریافت نور افزایش می‌یابد. ضریب خاموشی شیب منحنی نسبت نور عبور کرده از پوشش گیاهی در مقابل شاخص سطح برگ است. نتایج آزمایش نشان داد که میزان ضریب خاموشی بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی بین سطوح مختلف کود نیترژن اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. بدین ترتیب که برای توده محلی اصفهان میزان ضریب خاموشی در سطوح مختلف کودی در محدوده‌ی ۰/۴۱ تا ۰/۵۱، برای توده گلدشت بین ۰/۵۰ تا ۰/۶۵، برای توده نایین بین ۰/۴۴ تا ۰/۵۷، و برای توده صغه بین ۰/۴۰ تا ۰/۵۳ محاسبه شد (جدول ۴). بالاترین ضریب خاموشی نور (۰/۶۵) در توده گلدشت و در تیمار کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. اما مقایسه ضریب خاموشی در ارقام مختلف نشان داد که توده گلدشت با محلی اصفهان و صغه تفاوت معنی‌داری داشته، و این میزان برای توده‌های محلی اصفهان، گلدشت، نایین و صغه به ترتیب برابر با ۰/۴۶، ۰/۵۴، ۰/۴۸ و ۰/۴۶ برآورد شد (جدول ۳).

جدول ۲- تخمین ضرایب مدل با شامل حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max})، زمان شروع رشد برگ (t_b)، زمان پایان رشد برگ (t_e) و ضریب ثابت (δ) برای ارقام گلزیگ تحت سطح کودی مختلف در نظر گرفته شد. CL حدود اطمینان ۹۵ درصد تخمین پارامترها است.

Tabel 2. Estimation of β model including maximum leaf area index (LAI_{max}), the time of the beginning of leaf growth (t_b), the time of occurrence of the maximum leaf area index (t_m), the time of end of leaf growth (t_e) and constant coefficient (δ) for safflower cultivars under different levels of fertilizer. δ was fixed. CL is confidence limit %95 of estimates.

نوعه (Cultivar)	کود (Fertilizer) (kg/ha)	LAI_{max} (CL)	t_b (CL)	t_m (CL)	t_e (CL)	δ
محلی اصفهان (Local Estfahan)	0	2.05 (1.63; 2.47)	29.6 (-13.5; 79.8)	74.5 (61.9; 87.1)	122.8 (91.2; 154.4)	(1.5)
	50	2.16 (1.86; 2.55)	26.1 (-11.9; 64.1)	73.8 (65.5; 82.1)	116.8 (101.6; 132.1)	(1.5)
	100	2.97 (2.48; 3.66)	37.2 (22.1; 52.2)	69.6 (55.9; 83.3)	124.5 (88.3; 160.6)	(1.5)
	150	2.97 (2.50; 3.44)	36.4 (23.0; 49.8)	64.6 (52.2; 77.0)	129.9 (95.6; 164.1)	(1.5)
200	3.57 (2.52; 4.62)	37.7 (22.1; 53.3)	68.3 (52.7; 83.9)	118.1 (85.6; 156.5)	(1.5)	
گلدشت (Goldashti)	0	1.52 (1.26; 1.77)	33.3 (11.8; 54.8)	69.6 (60.6; 78.6)	112.1 (98.3; 125.9)	(1.5)
	50	2.05 (1.77; 2.42)	38.6 (33.7; 43.6)	63.5 (53.2; 73.8)	134.6 (101.9; 167.3)	(1.5)
	100	2.85 (2.41; 3.08)	32.4 (20.3; 44.6)	73.5 (69.1; 77.9)	118.4 (109.2; 127.6)	(1.5)
	150	3.40 (2.40; 4.39)	37.7 (21.9; 53.4)	68.4 (52.1; 84.7)	120.9 (83.3; 158.4)	(1.5)
200	3.31 (2.39; 4.13)	38.3 (28.9; 47.6)	64.6 (52.3; 76.9)	112.2 (91.3; 133.2)	(1.5)	
نابین (Naein)	0	1.69 (1.33; 2.25)	27.7 (15.3; 40.2)	71.2 (46.3; 96.1)	128.8 (65.8; 179.7)	(1.5)
	50	2.17 (1.64; 2.89)	38.0 (26.8; 49.1)	65.3 (49.8; 80.8)	124.4 (86.1; 162.7)	(1.5)
	100	3.97 (2.85; 5.10)	36.4 (12.2; 60.6)	71.3 (58.6; 84.1)	111.7 (91.1; 132.3)	(1.5)
	150	3.52 (2.51; 4.53)	39.1 (31.7; 46.5)	66.6 (50.8; 82.0)	121.5 (84.4; 158.7)	(1.5)
200	3.91 (3.44; 4.47)	33.5 (13.6; 53.5)	75.4 (67.9; 82.9)	120.9 (102.4; 139.5)	(1.5)	
صفت (Sofeh)	0	1.87 (1.56; 2.18)	34.4 (16.8; 52.0)	68.4 (59.4; 77.4)	113.5 (98.7; 128.3)	(1.5)
	50	2.23 (1.73; 2.74)	37.6 (25.6; 49.6)	65.7 (51.9; 79.4)	121.1 (90.6; 151.6)	(1.5)
	100	2.94 (2.29; 3.59)	36.9 (21.3; 52.6)	71.6 (58.7; 84.5)	128.4 (88.0; 168.0)	(1.5)
	150	3.60 (2.91; 4.29)	35.5 (17.8; 52.2)	69.8 (59.9; 79.7)	114.1 (96.9; 131.2)	(1.5)
200	3.11 (2.24; 3.97)	36.3 (11.9; 60.6)	73.1 (59.4; 86.7)	118.8 (88.3; 149.2)	(1.5)	

ضریب خاموشی (K) در هر پوشش گیاهی تحت تاثیر آرایش برگ‌هاست که عمدتاً شامل زاویه برگ‌ها و چگونگی تجمع برگ‌ها در داخل جامعه گیاهی می‌باشد (۸). در این مطالعه میزان ضریب خاموشی در توده‌های مختلف با هم متفاوت بود به نحوی که بالاترین میزان مربوط به توده گلدشت، و برابر (۰/۵۴) برآورد شد. اختلاف بین ضریب خاموشی توده‌های فوق می‌تواند به علت اختلاف در ساختار تاج پوشش بخصوص آرایش برگ‌ها و زاویه آنها (۷) و همچنین تعداد شاخه در ارقام مختلف باشد. احمدی و همکاران (۲۰۱۱) اظهار داشتند در یک جامعه گیاهی میزان K بسته به ژنوتیپ گیاه می‌تواند متغیر باشد، هر چه برگ‌ها عمودی‌تر باشند میزان ضریب خاموشی کمتر خواهد بود (۱). روبرتسون و همکاران (۲۰۰۱) در مطالعه ۹ رقم لوبیا مشاهده کردند که ضریب خاموشی نور بین ارقام از ۰/۵۵ تا ۰/۹ با هم تفاوت می‌کرد (۲۲). اما ضریب خاموشی در سطوح مختلف کود تفاوت معنی‌داری را نشان نداد و این خلاف نتایج سدراس (۱۹۹۶) بود که اظهار داشتند کاربرد نیتروژن در گیاه پنبه باعث تغییر ساختار پوشش گیاهی شده و میزان ضریب خاموشی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۲۳). در این آزمایش احتمالاً افزایش سطح کود تغییری در زاویه و توزیع برگ‌ها ایجاد نکرده و این دو عامل که از عوامل اصلی در تعیین ضریب خاموشی هستند ثابت بوده و در نهایت، سبب عدم اختلاف ضریب خاموشی در سطوح مختلف کود شد.

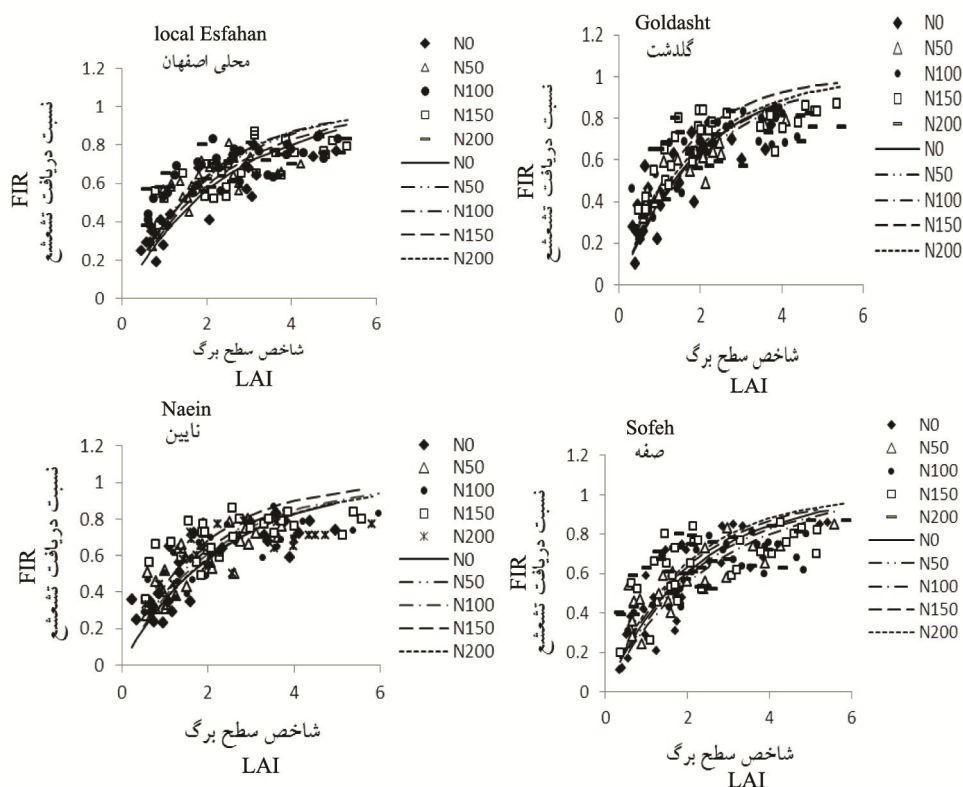
جدول ۳- تخمین ضریب خاموشی (K) از معادله $F = 1 - \exp(-KPAR \times LAI)$ بین توده‌های گلرنگ.

Table 3. Estimation of value of extinction coefficient (K) using $F = 1 - \exp(-KPAR \times LAI)$ between safflower cultivars.

توده (Cultivar)	n	K ±se	RMSE
محلی اصفهان (Local Esfahan)	8	0.46 ± 0.017	0.120
گلدشت (Goldasht)	8	0.54 ± 0.018	0.137
نابین (Naein)	8	0.48 ± 0.017	0.126
صفه (Sofeh)	8	0.46 ± 0.017	0.120

n تعداد نمونه و RMSE جذر میانگین مربعات خطا می‌باشد.

Sample number (n) and RMSE is root mean squares error.



شکل ۳- رابطه بین نسبت تشعشع دریافت شده و شاخص سطح برگ در توده‌ها و سطوح کودی مختلف.

Figure 3. The relation between interception radiation ratio and leaf area index in cultivars and different levels of a fertilizer.

کارایی مصرف نور: رگرسیون خطی ساده به خوبی روابط بین تشعشع دریافت شده تجمعی و ماده خشک تجمعی از کاشت تا رسیدگی در سطوح کودی مختلف را با مقادیر ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸۷ و در توده‌های مختلف با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۳ توجیه کرد. مقادیر کارایی مصرف نور برای توده‌های گلرنگ در سطوح مختلف کود نیتروژن در جدول ۵ نشان داده شده است. مقدار RUE محاسبه شده در سطوح کودی مختلف تفاوت معنی‌داری را با هم نشان داد، به طوری که در توده‌های محلی اصفهان، گلدشت و صفه، میزان RUE از سطح کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به بعد اختلاف معنی‌داری با سطح شاهد داشتند و در توده ناین میزان RUE در سطح ۲۰۰ کیلوگرم تفاوت معناداری با سطح شاهد را نشان داد.

جدول ۴- تخمین مقدار ضریب خاموشی (K) از معادله $F=1-\exp(-KPAR \times LAI)$ در سطوح مختلف کود.

Table 4. Estimation of value of extinction coefficient (K) using $F=1-\exp(-KPAR \times LAI)$ under different levels of fertilizer.

توده (Cultivar)	کود (Fertilizer) (kg/ha)	n	K \pm se	RMSE
محلی اصفهان (Local Esfahan)	0	8	0.41 \pm 0.029	0.105
	50	8	0.48 \pm 0.032	0.110
	100	8	0.51 \pm 0.042	0.130
	150	8	0.44 \pm 0.028	0.110
	200	8	0.50 \pm 0.045	0.140
گلدشت (Goldasht)	0	8	0.52 \pm 0.038	0.117
	50	8	0.50 \pm 0.026	0.80
	100	8	0.51 \pm 0.038	0.120
	150	8	0.65 \pm 0.047	0.114
	200	8	0.55 \pm 0.050	0.146
نابین (Naein)	0	8	0.44 \pm 0.037	0.125
	50	8	0.50 \pm 0.033	0.115
	100	8	0.47 \pm 0.032	0.119
	150	8	0.57 \pm 0.049	0.137
	200	8	0.44 \pm 0.036	0.128
صفه (Sofeh)	0	8	0.47 \pm 0.038	0.131
	50	8	0.44 \pm 0.035	0.122
	100	8	0.40 \pm 0.028	0.120
	150	8	0.51 \pm 0.045	0.149
	200	8	0.53 \pm 0.046	0.149

n تعداد نمونه و RMSE جذر میانگین مربعات خطا می باشد.

Sample number (n) and RMSE is root mean squares error.

میزان RUE در سطوح کودی شاهد، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم برای توده محلی اصفهان به ترتیب برابر ۳/۵۲، ۴/۱۲، ۴/۸۳، ۵/۰۰ و ۴/۹۷، برای توده گلدشت برابر ۳/۴۱، ۳/۸۹، ۴/۴۶، ۴/۷۴ و ۴/۸۸ برای توده صفه برابر ۳/۳۹، ۴/۱۰، ۴/۴۷، ۴/۹۲ و ۴/۷۷ و برای توده نابین برابر ۳/۴۴، ۴/۰۹، ۴/۴۷، ۴/۵۳ و ۵/۰۶ گرم بر مگاژول برآورد شد و در مجموع بالاترین میزان RUE (۵/۰۶) گرم بر مگاژول) در توده نابین و در سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. محققین زیادی (۲ و ۶) گزارش کرده اند که اثر نیتروژن بر RUE در گیاهان مختلف، معنی دار بوده است. همان طوری که در مورد LAI ذکر شد، کاربرد نیتروژن به طور معنی داری باعث افزایش LAI شد. LAI بیشتر به مفهوم دریافت و جذب بیشتر تشعشع خورشیدی رسیده به کانوپی می باشد که نتیجه آن نیز افزایش RUE است (۱۲). هال و همکاران (۱۹۹۴) با کاربرد کود نیتروژن در گیاه آفتابگردان نتیجه گرفتند که میزان RUE افزایش پیدا کرد (۹). حسینی و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان دادند با افزایش سطح کود در گندم

نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد نهم (۳)، ۱۳۹۵

میزان RUE افزایش یافت (۱۰). کمبود کود نیتروژن سبب می‌شود نیتروژن در سطح برگ بیشتری توزیع شود که کاهش نیتروژن برگ را به دنبال دارد و این کاهش می‌تواند کارایی مصرف نور را کاهش دهد (۳۳). در شکل ۴ رابطه بین وزن خشک کل و تشعشع تجمعی دریافتی در توده‌های مختلف نشان داده شده است. میزان RUE در توده‌های مختلف تفاوت معنی‌داری را با هم نشان نداد و میزان آن برای توده‌های محلی اصفهان، گلدشت، ناین و صفه به ترتیب برابر ۴/۶۲، ۴/۱۹، ۴/۴۵ و ۴/۳۵ گرم بر مگاژول برآورد شد (جدول ۶). پارسا و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی روی ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری در کارایی مصرف نور و ضریب خاموشی نور بین ژنوتیپ‌های مختلف وجود ندارد (۲۰). همچنین اوسترام و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای روی ارقام مختلف ارزن مرواریدی نتیجه گرفتند که کارایی مصرف نور بین ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند و دلیل آن را عدم تفاوت ژنوتیپی در ضریب خاموشی نور بین این ارقام بیان کردند که باعث شد میزان کارایی مصرف نور نیز در ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری با هم نداشته باشند (۱۹).

جدول ۶- ضرایب معادله $(y=a+bx)$ بین ماده خشک تجمعی (گرم در مترمربع) و تشعشع دریافت شده تجمعی (مگاژول در مترمربع) در توده‌های مختلف.

Table 6. Equation coefficients ($y=a+bX$) between cumulative dry matter (gr/m^2) and intercepted radiation (MJ/m^2) in different cultivars.

توده (Cultivar)	n	a±se	b±se	RMSE	R ²
محلی اصفهان (Local Esfahan)	8	-560.8 ± 72.4	4.45 ± 0.18	167.90	0.89
گلدشت (Goldasht)	8	-473.4 ± 73.4	4.19 ± 0.17	187.89	0.86
ناین (Naein)	8	-552.8 ± 76.9	4.62 ± 0.19	191.94	0.89
صفه (Sofeh)	8	-445.8 ± 69.9	4.35 ± 0.18	172.35	0.84

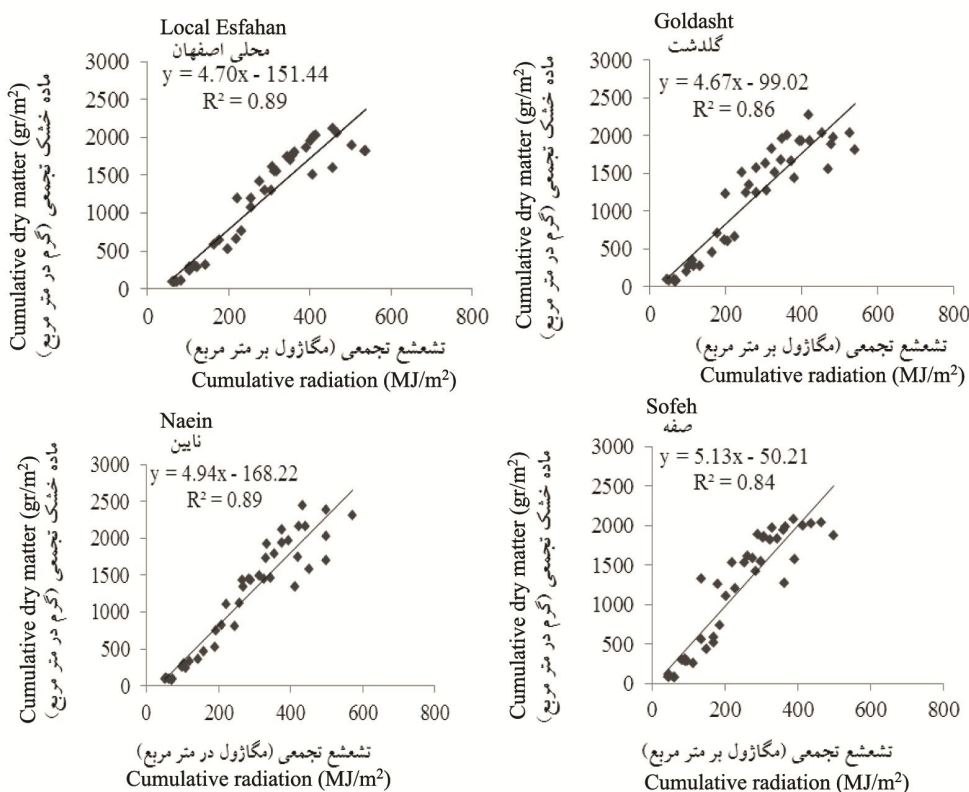
n تعداد نمونه، b شیب خط (کارایی مصرف نور گرم بر مگاژول)، RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R² ضریب تبیین هستند. Sample number (n), line slope (b), root mean squares error (RMSE) and Correlation coefficient (R²).

جدول ۵- ضرایب معادله ($y=a+bX$) بین ماده خشک تجمعی (گرم در متر مربع) و تشعشع دریافت شده تجمعی (مگاژول در متر مربع) ارقام در سطوح مختلف کود نیتروژن.

Table 5. Equation coefficients ($y=a+bX$) between cumulative dry matter (gr/m^2) and intercepted radiation (MJ/m^2) of cultivars in different levels of N fertilizer.

توده (Cultivar)	کود (Fertilizer) (kg/ha)	n	a \pm se	b \pm se	RMSE	R ²
محلی اصفهان (Local Esfahan)	0	8	-358.3 \pm 81.1	3.52 \pm 0.26	73.83	0.96
	50	8	-477.1 \pm 194.4	4.12 \pm 0.53	184.06	0.90
	100	8	-641.9 \pm 175.5	4.83 \pm 0.40	180.18	0.95
	150	8	-775.9 \pm 131.8	5.00 \pm 0.30	122.10	0.97
	200	8	-647.0 \pm 110.7	4.97 \pm 0.26	111.49	0.98
گلدشت (Goldasht)	0	8	-162.7 \pm 88.4	3.41 \pm 0.22	93.93	0.94
	50	8	-354.2 \pm 223.3	3.89 \pm 0.60	230.10	0.87
	100	8	-512.8 \pm 155.1	4.46 \pm 0.35	158.55	0.96
	150	8	-739.1 \pm 173.6	4.74 \pm 0.25	166.47	0.96
	200	8	-605.7 \pm 223.9	4.88 \pm 0.30	194.70	0.95
نابین (Naein)	0	8	-351.6 \pm 126.6	3.44 \pm 0.35	118.41	0.91
	50	8	-440.4 \pm 164.8	4.09 \pm 0.43	169.83	0.93
	100	8	-422.9 \pm 209.3	4.47 \pm 0.50	231.10	0.92
	150	8	-480.0 \pm 209.8	4.53 \pm 0.45	226.70	0.94
	200	8	-660.4 \pm 136.2	5.06 \pm 0.31	144.49	0.97
صفه (Sofeh)	0	8	-189.6 \pm 95.3	3.39 \pm 0.24	98.29	0.94
	50	8	-435.7 \pm 161.8	4.10 \pm 0.47	154.17	0.92
	100	8	-394.4 \pm 174.7	4.47 \pm 0.48	194.74	0.93
	150	8	-435.7 \pm 123.6	4.92 \pm 0.26	109.53	0.98
	200	8	-490.4 \pm 118.7	4.77 \pm 0.26	165.61	0.96

n تعداد نمونه، b شیب خط (کارایی مصرف نور گرم بر مگاژول)، RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R² ضریب تبیین هستند.
Sample number (n), line slope (b), root mean squares error (RMSE) and Correlation coefficient (R²)



شکل ۴- رابطه بین وزن خشک تجمعی و تشعشع تجمعی دریافتی در توده‌های مختلف گلرنگ.

Figure 4. The relation between cumulative dry weight and intercepted cumulative radiation in different cultivars of safflower.

نتیجه‌گیری

در این آزمایش با افزایش سطح کود شاخص سطح برگ توده‌های گلرنگ افزایش یافت و این عمل باعث افزایش کارایی مصرف نور توسط گیاه شد. به طوری که در همه ارقام میزان حداکثر شاخص سطح برگ از تیمار کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به بالا تفاوت معنی‌داری با شاهد را نشان دادند. بالاترین میزان ضریب خاموشی (۰/۵۴) در توده گلدشت به دست آمد، که دلیل آن را می‌توان به تفاوت در زوایه و توزیع برگ‌ها و همچنین تفاوت در تعداد شاخه در ارقام مختلف این گیاه نسبت داد. RUE در توده‌های محلی اصفهان، گلدشت و صفه در سطوح کودی ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری را با سطح شاهد نشان داد و توده نابین میزان آن در سطح ۲۰۰ کیلوگرم در

هکتار تفاوت معنی داری با سطح شاهد داشت و بالاترین میزان RUE (۵/۰۶) نیز مربوط به توده نایین در سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در این آزمایش کارایی مصرف نور در ارقام مختلف تفاوت معنی داری با هم نداشتند. نظر به اهمیت فوق العاده ضریب خاموشی نور و کارایی مصرف نور در مدل‌های شبیه‌سازی رشد و همچنین با توجه به تغییر پذیری ضرائب مذکور در شرایط مدیریتی متنوع نظیر استفاده از ارقام مناسب، ضروری است آزمایشات دیگری در سال‌ها و مناطق مختلف با شرایط مدیریتی متفاوت اجرا گردد تا طیف وسیعی از ضرائب مذکور جهت استفاده در مطالعات مدل‌سازی در اختیار قرار گیرد.

منابع

1. Ahmadi, A., DabbaghMohammadi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R., Janmohammadi, H., and Nami, F. 2011. Investigation of light status in sole cropping and intercropping of barley and vetch and its relationship with forage Yield. *J. Agri. Sci.*, 20: 2.53-65
2. Allen, B.C., Rodny, E W., Mcgarvey, R.C., Coyle, R. and Coleman, M. D. 2004. Radiation-use efficiency and gas exchange responses to water and nutrient availability in irrigated and fertilized stands of sweetgum and sycamore. *Tree Physiol.* 25: 191-200.
3. Asgharipour, M.R., Rashed, M.H., and Rafie, M. 2006. The effect of plant density and nitrogen fertilizer on light interception and dry matter yield in champ (*cannabis sativa* L.). *Agric. Sci. Nat. Res.*, 4: 2.122. 132.
4. Baybordi, A. 2007. Safflower Plant Nutrition. Publications Parivar. Tabrez. Press 80p. (In Persian)
5. Birch, C.J., Hammer, G.L., and Rickert, G. 2005. Dry matter accumulation and distribution in five cultivars of maize (*Zea mays*): relationships and procedures for use in crop modelling. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 513-527.
6. Dwyer, L., Stewart, R., Hamilton, I., and Honwing, L. 1992. Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. *Agron. J.* 84: 430-438.
7. Goudriaan, J. 1988. The bare bones of leaf-angle distribution in radiation models for canopy photosynthesis and energy exchange. *Agric. Forest Meteorol.* 34: 155-169.
8. Graham, D.L., Steiner, J.L. and Wicse, A.F. 1998. Light absorption and competition in mix sorghum pigweed communities. *Agron. J.* 80: 415-418.
9. Hall, A.J., Connor, D.J., and Sadras, V.O. 1994. Radiation-use efficiency of sunflower crops: effects of specific leaf nitrogen and ontogeny. *Field Crops Res.* 41: 65-77.

10. Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., Kalate, M., and Zaed, M. 2014. The effect of nitrogen fertilizer on extinction coefficient and radiation use efficiency in wheat cultivars. *Iranian J. Field Crops Res.*, 12(1): 44-52.
11. Jaggard, K. and Clark, C. 2000. Growth of sugar beet crops in 1999. *British Sugar Beet. A Review. Crop Sci.* 68(1): 6-11.
12. Karimian, M., Koocheki, A. and Nassiri Mahallati, M. 2009. Influence of nitrogen and plant density on light absorption and radiation use efficiency in two spring rapeseed cultivars. *Iranian J. Field Crops Res.*, 7(1):163-172.
13. Khajehpoor, M.R. 2010. *Industrial Plants*. Isfahan University of Technology Press, 565p. (In Persian)
14. Khatib, F. 2014. Effect of sowing data on growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in Rafsanjan. M.Sc. Thesis. Vali-E-Asr University of Rafsanjan. 87p. (In Persian)
15. Koocheki, A., Rashed-Mohasel, M., Nassiri Mahallati, M., and Sadrabadi, R. 1997. *Physiological principles of growth and development of crops*. Astan Qods Razavi, Press, 404p. (In Persian)
16. Lecoer, J., and Ney, B. 2002. Change with time in potential radiation use efficiency in field pea. *Eur. J. Agron.* 19: 91-105.
17. Major, D.J., and Otegu, B.W. 1996. Leaf area light interception and development in maize radiation use efficiency. *Agron. J.* 83: 37-40.
18. Muchow, R.C., Robertson, M.J., and Pengelly, B.C. 1991. Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. *Field Crops Res.*, 32: 1-16.
19. Oosterom, E.J., O'Leary, G.J., Carberry, P.S., and Craufuld, P.Q. 2002. Simulating growth, development, and yield of tillering pearl millet. III. Biomass accumulation and partitioning. *Field Crops Res.* 79: 85-106.
20. Parsa, S., Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M., and Ghaemi, A. 2007. Seasonal variation of radiation interception and radiation use efficiency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Iranian J. Field Crops Res.*, 5(2): 1-10.
21. Richter, G.M., Jaggard, K.W., and Mitchell, R.A.C. 2001. Modelling radiation interception and radiation use efficiency for sugar beet under variable climatic stress. *Agric. Forest Meteorol.* 109: 13-25.
22. Robertson, M.J., Slilim, S., Chauhan, Y.S., and Ranganathan, R. 2001. Predicting growth and development of pigeon pea: Biomass accumulation and partitioning. *Field Crops Res.* 70: 89-100.
23. Sadras, V.O. 1996. Cotton responses to simulated insect damage: Radiation-use efficiency, canopy architecture and leaf nitrogen as affected by loss of reproductive organs. *Field Crops Res.*, 48: 199-208.
24. Samadifirozabadi, B., and Yazdani, F. 2012. Effect of Sowing Date on Seed and Oil Yields of Four Safflower Cultivars in Varamin Region of Iran. *Seed Plant Prod J.* 2: 4.459-470.

25. Sinclair, T.R., and Horie, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A Review. *Crop Sci.* 29: 90-98.
26. Sinclair, T.R. and Muchow, C.R. 1999. Radiation use efficiency. *Adv Agron.* 65: 215-265.
27. Soltani, A., Robertson, M.J., Mohammad-Nejad, Y., and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crops Res.* 99: 14-23.
28. Soltani, A. and Maddah, V. 2010. Simple application for education and research in agriculture. Shahid Beheshti University, Press, 74p. (In Persian)
29. Taregholeslami, M., Zarghami, R., Mashhadi, M., and oweisi, M. 2012. Effect of nitrogen fertilizer and water deficit stress on physiological indices of corn (*Zea mays* L.). *Iranian J. Agron. Plant Breeding*, 8: 12.161-174.
30. Villalobos, F.J., Testi, L., Hidalgo, J., Pastor, M., and Orgaz, F. 2006. Modelling potential growth and yield of olive (*Olea europea* L.) canopies. *Eur. J. Agron.* 24: 296-303.
31. Wang, D.J., Lin, J.H., Sun, R.J., Xia, L.Z., and Lian, G. 2003. Optimum nitrogen rate for a high productive rice wheat system and its impact on the groundwater in the Taihu Lake area. *Acta Pedologica Sinica.* 40: 3.426-432.
32. Yin, X., Gouadrian, J., Latinga, E.A., Vos, J. and Spiertz, J.H. 2003. A flexible sigmoid growth functions of determinate growth. *Ann. Bot.*, 91: 361-371.
33. Zahed, M., Galeshi, S., Latifi, N., Soltani, A., Kalate, M., and Hosseini, R. 2013. The effect of nitrogen plant density on extinction coefficient and radiation use efficiency in old and new genotypes of safflower. *Iranian J. Field Crops Res.*, 11: 3.506-514.