



## تأثیر کود نیتروژن بر دریافت و کارایی استفاده از تابش در دو رقم کلزای بهاره

سید عطاله سیادت<sup>۱\*</sup>، ابوالفضل درخشان<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲

## چکیده

زیست‌توده گیاهی بالای سطح زمین را می‌توان به صورت حاصل ضرب تابش تجمعی دریافت شده (IPAR) توسط سایه‌انداز گیاهی و کارایی استفاده از تابش (RUE) بیان نمود. در این مطالعه تأثیر تیمارهای مصرف نیتروژن (N) بر IPAR و RUE دو رقم کلزای بهاره (Hyola 401 و دلگان) بررسی شد. آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. میزان مصرف N در هفت سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان عامل اصلی و نوع رقم کلزا در دو سطح به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که پاسخ زیست‌توده بالای سطح زمین به فراهمی N در هر دو رقم کلزای مطالعه شده به تغییر هردوی IPAR و RUE مربوط بود. کل IPAR تجمعی در طی دوره رشد در دو رقم Hyola 401 و دلگان در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار به ترتیب در حدود ۲۷ و ۳۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. در هر دو رقم کلزا، IPAR به شدت به LAI و LAD وابسته بود. به این معنی که، مصرف N با افزایش LAI و LAD منجر به افزایش IPAR شد. مصرف N تأثیری بر ضریب استهلاک نوری (K) سایه‌انداز گیاهی نداشت و این ضریب برای رقم Hyola 401 معادل  $0/65 (\pm 0/02)$  و برای رقم دلگان معادل  $0/73 (\pm 0/02)$  برآورد شد. بسته به فراهمی N، برآورد RUE برای رقم دلگان بین  $2/02$  (تیمار شاهد) تا  $3/25$  گرم بر مگاژول (۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار) و برای رقم Hyola 401 بین  $1/86$  (تیمار شاهد) تا  $3/62$  گرم بر مگاژول (۳۰۰ کیلوگرم N در هکتار) متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: دوام سطح برگ، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، ضریب استهلاک نور، کسر تابش دریافت شده

## مقدمه

طول دوره رشد گیاه زراعی، کل تابش خورشیدی رسیده (IGR<sup>۱</sup>) و کسر تابش دریافت شده توسط سایه‌انداز گیاهی در هر روز (FIR<sup>۲</sup>) بستگی دارد (Sandana et al., 2012). طول چرخه رشد گیاه زراعی تحت کنترل ژنوتیپ و عوامل محیطی (به طور عمده دما و دوره نوری) است (Soltani et al., 2006). در واقع، محدودیت‌های خاک مانند کمبود عناصر غذایی تأثیر جزئی بر طول چرخه رشد گیاه زراعی نشان داده‌اند (Abeledo et al., 2003; Sandana and Pinochet, 2011). شدت تابش خورشیدی در یک منطقه به نسبت ثابت است و از آن می‌توان به عنوان منبعی نام برد که به طور کارآمدتری نسبت به سایر منابع مصرفی بر تولید گیاهان زراعی تأثیرگذار است. تشعشع رسیده به بالای سایه‌انداز یا به جامعه گیاهی برخورد کرده و توسط آن دریافت می‌شود و یا از آن عبور کرده و به سطح زمین می‌رسد. تشعشع دریافت شده نیز یا توسط سایه‌انداز گیاهی جذب می‌شود یا به آن برخورد کرده و منعکس می‌شود. FIR به شاخص سطح برگ (LAI) و ضریب استهلاک نوری (K)<sup>۳</sup> سایه‌انداز گیاهی بستگی دارد (Massignam et al., 2009). مطالعات متعدد در مورد گیاهان زراعی

تجمع زیست‌توده گیاه زراعی به طور مستقیم به میزان تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده (IPAR<sup>۴</sup>) توسط سایه‌انداز گیاهی در طی دوره رشد وابسته است (Sandana et al., 2012). شیب این رابطه نشان‌دهنده کارایی استفاده از تابش (RUE<sup>۵</sup>) است که به عنوان زیست‌توده تولیدشده در واحد کل IPAR یا کل تابش خورشیدی دریافت شده (IR<sup>۶</sup>) تعریف می‌شود (Sinclair and Muchow, 1999). بنابراین، زیست‌توده بالای سطح زمین (گرم در متر مربع) را می‌توان به صورت حاصل ضرب IR تجمعی (یا IPAR تجمعی) در طول چرخه رشد گیاه زراعی (مگاژول بر متر مربع) و RUE (گرم بر مگاژول) بیان نمود (Sandana and Pinochet, 2011). مقدار IR به

۱- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲- دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

\*- نویسنده مسئول: (Email: seyedatiasadat@asnrukh.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v17i2.72882

3- Intercepted photosynthetically active radiation

4- Radiation use efficiency

5- Intercepted solar radiation

6- Incident solar (global) radiation

7- Fraction of intercepted radiation

8- Light extinction coefficient

## مواد و روش‌ها

**آزمایش مزرعه‌ای:** این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در شهر ملائانی اجرا شد. شهر ملائانی در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۳ متر از سطح دریا واقع شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. میزان مصرف N در هفت سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل اصلی و نوع رقم کلزا در دو سطح (Hyola 401 و دلگان) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. Hyola 401 یک هیبرید وارداتی از کشور استرالیا است و دلگان رقمی آزاد گرده‌افشان است که برای کشت در مناطق گرم جنوب کشور اصلاح شده است. این دو رقم کلزای بهاره تفاوت‌های کوچک‌تری از نظر حداکثر سرعت ذاتی نمو، ضریب حساسیت به فتوپریود و فتوپریود بحرانی و تفاوت‌های بزرگ‌تری از نظر شاخص برداشت، عملکرد دانه و خصوصیات مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته و پتانسیل تولید گره (برگ حقیقی) روی ساقه اصلی دارند. با توجه به اینکه نوع پاسخ به طول روز در هر دو رقم از نوع روزبلند کمی است و هر دو رقم فتوپریود بحرانی کوچکی دارند جزء ارقام زودرس طبقه‌بندی می‌شوند و از این رو برای کشت پاییزه در شرایط خوزستان مناسب می‌باشند. انتخاب این دو رقم بر مبنای مطابقت بیشتر نیازهای اکولوژیک هر یک از مراحل نمو فنولوژیک آن‌ها با شرایط محیطی خوزستان در کشت پاییزه (پاییز و زمستان و اوایل بهار) صورت پذیرفت تا هر دو رقم قادر باشند پتانسیل تولید خود را در تاریخ کاشت انتخاب‌شده نشان دهند. بعد از انجام شخم، کود پایه مورد نیاز (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم) برحسب نتایج تجزیه مواد غذایی خاک مصرف شد (جدول ۱). آماده‌سازی زمین با دو مرتبه دیسک عمود بر هم، ایجاد نهر و تسطیح کرت‌ها تکمیل شد. سپس، دو رقم کلزا با تراکم ۲۵۰ بذر در متر مربع در تاریخ ۲۷ آبان در کرت‌های فرعی به طول ۲/۵ متر و عرض ۳ متر کشت شد. در هر تکرار آزمایش، بین کرت‌های فرعی یک متر و بین کرت‌های اصلی دو متر فاصله در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت کلزا معادل ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و کاشت بذرها با دست در عمق یک سانتی‌متری خاک در یک بستر بذر مسطح صورت گرفت. پس از سبز شدن و استقرار گیاهچه، بوته‌های اضافی تنک و تراکم کرت‌ها معادل ۸۰ بوته در متر مربع تنظیم شد. کود N (از منبع اوره) مورد نیاز برای هر یک از سطوح فاکتور کودی به چهار بخش تقسیم و یک بخش از آن در مرحله ۳-۲ برگی (۳ دی)، دو بخش از آن قبل از شروع ساقه رفتن (۲۵ دی) و یک بخش در مرحله شروع گلدهی

مختلف نشان داده است که کمبود نیتروژن (N) (Salvagiotti and Sandana, 2009; Miralles, 2008)، فسفر (P) (Santana, 2012; et al., 2008) یا گوگرد (S) (Valle et al., 2009) میزان IR را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد. پاسخ IR به کمبود عناصر غذایی به‌طور عمده به تغییرات LAI مربوط می‌شود و تأثیر سطوح مختلف مصرف عناصر غذایی بر K اندک است و به‌طور معمول از آن صرف‌نظر می‌شود (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006; Salvagiotti and Miralles, 2008).

میزان RUE به ویژگی‌های گیاهی مانند ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها و کارایی تبدیل ماده خشک بستگی دارد (Soltani et al., 2006). بنابراین، عوامل تنش مانند خشکی و دماهای پایین (Jamieson et al., 1995)، فشار بخار (Kemanian et al., 2004)، دسترسی به عناصر غذایی (Plenet et al., 2000) و ترکیب بیوشیمیایی دانه‌ها (Soltani et al., 2006) می‌تواند میزان RUE را تحت تأثیر قرار دهند. در میان همه عناصر غذایی، N بیشترین تأثیر را بر میزان RUE دارد (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006). سینکلر و هوری (Sinclair and Horie, 1989) نشان دادند که محتوای N برگ در واحد سطح برگ (یا N ویژه برگ) میزان RUE را در گیاهان زراعی مختلف تحت تأثیر قرار داد و این رابطه در میان گونه‌ها متفاوت بود. از آنجایی که RUE در محتوای بالای N برگ به اشباع می‌رسد و با کاهش محتوای N برگ به‌طور خطی کاهش می‌یابد (Sinclair and Horie, 1989)، افزایش مصرف N تا زمانی که N ویژه برگ به حد اشباع برسد، با افزایش RUE همراه است. با این حال، کاهش میزان RUE ممکن است در سطوح مصرف بسیار زیاد N رخ دهد (Olesen et al., 2000). مساینم و همکاران (Massignam et al., 2009) گزارش کردند که کاهش فراهمی N در ذرت و آفتابگردان از طریق کاهش هردوی FIR و RUE منجر به کاهش تولید ماده خشک شد. کاهش FIR به دلیل تأثیر فراهمی N بر LAI و کاهش RUE به دلیل کاهش N ویژه برگ بود (Massignam et al., 2009).

یکی از جنبه‌های بهبود بهره‌وری گیاه زراعی در چند دهه گذشته افزایش مصرف کودهای نیتروژن دار بوده است (Massignam et al., 2009). کاربرد N یکی از ورودی‌های کلیدی برای تولید محصول است که پتانسیل تولید کل ماده خشک گیاهی را از طریق تأثیر بر RUE، IPAR و یا هر دو تعیین می‌کند (Zhou et al., 2017). هدف از اجرای این آزمایش ارزیابی مقایسه‌ای دو رقم کلزای بهاره (Hyola 401 و دلگان) از نظر تأثیر میزان مصرف N بر دو عامل اکوفیزیولوژیک تعیین‌کننده تولید زیست‌توده یعنی IPAR و RUE بود.

و جین دستی حذف شدند. هیچ اثری از علائم بیماری‌های گیاهی در مزرعه وجود نداشت. علاوه بر این، به دلیل وجود نی ( *Phragmites australis* ) در حاشیه مزرعه و میزبانی آن هیچ خسارتی از شته مومی کلم (*Brevicoryne brassicae*) مشاهده نشد.

(۱۵ بهمن) به روش نواری به خاک اضافه شد. آزمایش در شرایط آبیاری بهینه انجام شد، به طوری که در طی دوره رشد گیاه از وقوع کمبود یا بیش بود آب در کرت‌های آزمایشی ممانعت شد. همچنین، آزمایش در شرایط عاری از تنش‌های زیستی حفظ شد. برای این منظور، علف‌های هرز در ابتدای فصل رشد گیاه زراعی در چند نوبت با

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil at the experiment site

نیتروژن	فسفر	پتاسیم	هدایت الکتریکی	سیلت	رس	شن
Nitrogen (%)	Phosphorus (mg kg <sup>-1</sup> )	Potassium (mg kg <sup>-1</sup> )	Electric conductivity (dS m <sup>-1</sup> )	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)
0.03	20.31	124.00	6.30	34	48	18

آزمایش اندازه‌گیری شد. میزان تابش خورشیدی رسیده در هر روز (DIGR) با استفاده از برنامه SRAD محاسبه گردید (Soltani *et al.*, 2006). این برنامه شدت تابش خورشیدی روزانه را با استفاده از ساعات آفتابی و تابش برون زمین محاسبه می‌کند.

**تجزیه داده‌ها:** شاخص سطح برگ (LAI) کلزا در روزهای پس از کاشت (t) برای هر رقم در هر سطح از مصرف N با استفاده از مدل بتا (معادله ۲) پیش‌بینی شد (Yin *et al.*, 2003):

$$LAI = LAI_{max} \times \left[ \left( \frac{t_e - t}{t_e - t_m} \right) \times \left( \frac{t}{t_m} \right)^{\frac{t_m}{t_e - t_m}} \right]^{\delta} \quad (2)$$

که در این رابطه  $LAI_{max}$ ، شاخص سطح برگ بیشینه؛  $t_m$ ، زمان وقوع  $LAI_{max}$  و  $t_e$ ، زمانی که LAI صفر می‌شود را نشان می‌دهد. دوام سطح برگ (LAD) با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد (Watson, 1947):

$$LAD = \sum \left[ \left( \frac{LAI_1 + LAI_2}{2} \right) \times (t_2 - t_1) \right] \quad (3)$$

که در این رابطه  $t_1$  و  $t_2$  روزهای پس از کاشت در دو مرحله نمونه‌برداری متوالی و  $LAI_1$  و  $LAI_2$  میزان شاخص سطح برگ در آن دو مرحله نمونه‌برداری هستند. در هر رقم، تغییرات مقادیر محاسبه شده LAD در پاسخ به افزایش مصرف N با استفاده از یک رابطه کوآدراتیک توصیف شد. سرعت رشد محصول (CGR) برای هر رقم در هر سطح از مصرف N به عنوان شیب رگرسیون خطی بین میزان زیست‌توده گیاه زراعی در نمونه‌برداری‌های مربوط به فاز خطی رشد (داده‌های مربوط به نمونه‌برداری‌های تخریبی چهارم تا دهم) و زمان تجمع برآورد شد (Sandana *et al.*, 2012). ضریب استهلاک نوری (K) برای هر رقم با برازش معادله ۴ به داده‌های FIR مشاهده شده (معادله ۱) و LAI مشاهده شده از ابتدای دوره رشد تا زمان بسته شدن کامل سایه‌انداز برآورد شد (Justes *et al.*, 2000):

$$FIR = 1 - \exp(-K \times LAI) \quad (4)$$

برای تعیین شاخص‌های رشد گیاه زراعی، ۱۲ مرحله نمونه‌برداری تخریبی به فاصله ۷ تا ۱۰ روز در طول فصل رشد کلزا انجام شد. در هر مرحله، با رعایت اثر حاشیه‌ای ۵ بوته از هر کرت آزمایشی برداشت شد. بلافاصله پس از نمونه‌برداری، تعداد برگ‌های سبز و برگ‌های زرد و افتاده روی ساقه اصلی هر یک از بوته‌ها شمارش و پهنک برگ‌های سبز از دم‌برگ آن جدا شد و سپس سطح پهنک برگ‌ها با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (مدل WINAREA-UT-11) تعیین گردید. در مرحله رشد رویشی، وزن برگ و ساقه (ساقه + دم‌برگ) به طور جداگانه پس از خشک شدن در آونی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت اندازه‌گیری شد. پس از ظهور گل‌آذین، وزن خشک خورجین‌ها و دانه خورجین‌ها نیز به طور جداگانه پس از خشک شدن توزین شد. همچنین، پیش از هر مرحله نمونه‌برداری میزان دریافت تابش با استفاده از دستگاه لوکس‌متر (مدل LX-103 Light Meter) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، یک اندازه‌گیری شدت تابش در بالای سایه‌انداز، چهار اندازه‌گیری در زیر سایه‌انداز (۲ اندازه‌گیری بین ردیف‌های کاشت و ۲ اندازه‌گیری روی ردیف‌های کاشت) و اندازه‌گیری دیگری در بالای سایه‌انداز انجام گرفت. میزان تابش رسیده به کف و بالای سایه‌انداز با میانگین‌گیری از اندازه‌گیری‌ها محاسبه و مقادیر مشاهده شده کسر تابش دریافت شده (FIR) در هر کرت با استفاده از معادله ۱ تعیین شد:

$$FIR = 1 - \left( \frac{LBC}{LAC} \right) \quad (1)$$

که در این معادله  $LBC^1$ ، تابش رسیده به پایین سایه‌انداز و  $LAC^2$ ، تابش رسیده به بالای سایه‌انداز است. حساسیت لوکس‌متر مشابه چشم انسان می‌باشد، بنابراین FIR مشاهده شده با این دستگاه مشابه با اندازه‌گیری PAR است (Soltani *et al.*, 2006). دماهای حداقل و حداکثر و تعداد ساعات آفتابی در یک ایستگاه هواشناسی استاندارد (کشت و صنعت دهخدا) واقع در چند کیلومتری محل اجرای

1- Light beneath canopy

2- Light above canopy

اطمینان ۹۵ درصد در برنامه Excel 2007 انجام شد. برای رسم گرافها نیز از نرم افزار SAS و رویه Sgplot استفاده شد.

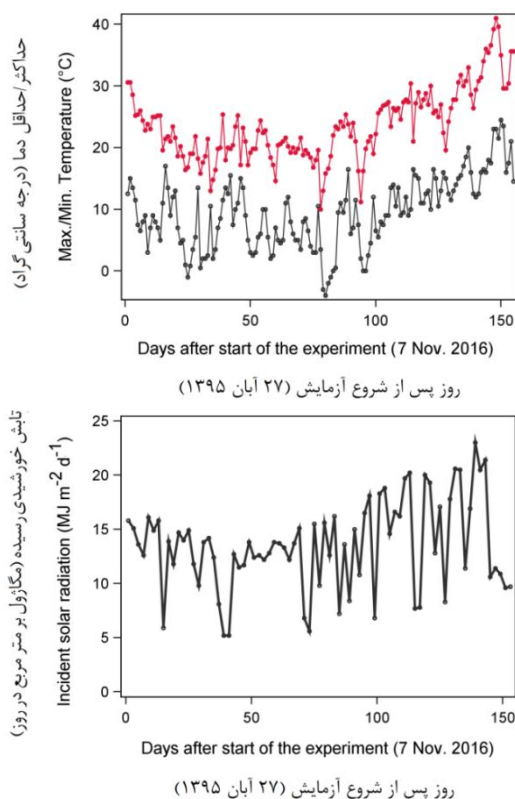
### نتایج و بحث

متوسط دمای روزانه در طی دوره کاشت تا شروع مرحله گلدهی بر روی ساقه اصلی هر دو رقم کلزا (حدود ۸۵ روز پس از کاشت) از ۵/۰ تا ۲۲/۸ (به طور متوسط ۱۳/۶) درجه سانتی گراد و تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در هر روز (DIGR) بین ۵/۲ و ۱۶/۳ (به طور متوسط ۱۲/۰) مگاژول بر متر مربع در روز متغیر بود. متوسط دمای روزانه از گلدهی تا رسیدگی هر دو رقم (۱۵۵ روز پس از کاشت) از ۶/۶ تا ۳۲/۰ (به طور متوسط ۲۰/۱) درجه سانتی گراد و DIGR از ۶/۵ تا ۲۵/۸ (به طور متوسط ۱۵/۷) مگاژول بر متر مربع در روز متغیر بود. همچنین، کل تابش خورشیدی تجمعی رسیده به سطح زمین در طی چرخه رشد (CIGR) هر دو رقم کلزا معادل ۲۱۱۲/۲ مگاژول بر متر مربع بود (شکل ۱). از آنجایی که در حدود ۵۰ درصد از کل تابش خورشیدی که به سطح زمین می رسد در محدوده ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر قرار دارد، مجموع PAR رسیده به بالای سایه انداز گیاهی معادل ۱۰۵۶/۱ مگاژول بر متر مربع تعیین شد.

کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده در طول دوره رشد گیاه زراعی (IPAR) برای هر رقم و سطح مصرف N با استفاده از معادله ۵ محاسبه شد (Soltani et al., 2006):

$$IPAR = CIGR \times 0.5 \times FIR \quad (5)$$

که در این معادله CIGR، کل تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در طی چرخه رشد و ۰/۵، ضریبی برای تبدیل کل تابش خورشیدی رسیده به تابش فعال فتوسنتزی (PAR) است. FIR همان ۵ همان FIR مشاهده شده است (معادله ۱) که از ابتدا تا انتهای فصل رشد اندازه گیری و تعیین شده است. در نهایت، کارایی استفاده از تابش (RUE) برای هر رقم در هر سطح مصرف N به عنوان شیب رگرسیون خطی بین زیست توده بالای سطح زمین در هر تاریخ نمونه برداری و IPAR تجمعی در آن تاریخ تعیین شد. از آنجایی که برآورد عرض از مبدأ خط رگرسیونی برای هیچ یک از سطوح مصرف N معنی دار نبود، این پارامتر حذف و رابطه  $y=ax$  به این داده ها برازش داده شد. روابط رگرسیونی توصیف شده در بالا با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه 9.3) و رویه nlin به میانگین داده های هر تیمار آزمایشی برازش داده شد و مقایسه بین دو رقم و سطوح مصرف N بر اساس مقادیر خطای استاندارد برآورد پارامترها و با تعیین حدود

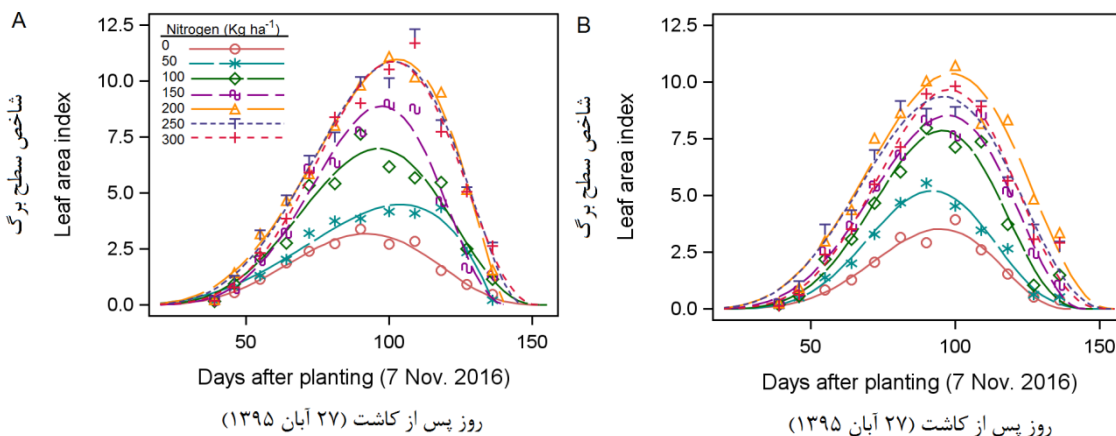


شکل ۱- دماهای حداقل و حداکثر روزانه و تابش خورشیدی رسیده در هر روز در طی چرخه رشد کلزا

Figure 1- Daily minimum and maximum temperatures and daily incident solar radiation during the growing cycle of canola

نظر برآورد  $LAI_{max}$  مشاهده نشد. برآورد  $LAI_{max}$  رقم Hyola 401 در این سطوح کودی به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد ( $3/11 \pm 0/11$ ) یا مصرف ۵۰ ( $4/49 \pm 0/20$ )، ۱۰۰ ( $6/98 \pm 0/35$ ) و ۱۵۰ کیلوگرم N در هکتار ( $8/89 \pm 0/48$ ) بود. در رقم دلگان، برآورد  $LAI_{max}$  تیمار شاهد ( $3/53 \pm 0/20$ ) به‌طور معنی‌داری کمتر از برآورد آن برای شرایط مصرف ۵۰ کیلوگرم N در هکتار ( $5/22 \pm 0/19$ ) و برای این تیمار نیز به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر سطوح مصرف N بود. هرچند که در این رقم نیز افزایش مصرف N به افزایش  $LAI$  منجر شد، اما مقادیر خطای استاندارد برآوردها نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان سطوح مصرف ۱۰۰ ( $7/87 \pm 0/43$ )، ۱۵۰ ( $8/53 \pm 0/33$ ) و ۲۵۰ ( $8/53 \pm 0/33$ ) کیلوگرم N در هکتار از نظر برآورد  $LAI_{max}$  وجود نداشت. علاوه بر این، بین دو رقم کلزای مطالعه شده در هیچ سطحی از مصرف N تفاوت معنی‌داری از نظر برآورد  $LAI_{max}$  مشاهده نشد (شکل ۲).

برازش مدل بتا (معادله ۲) به تغییرات  $LAI$  دو رقم کلزای بهاره در روزهای پس از کاشت برای سطوح مختلف مصرف N در شکل ۲ ارائه شده است. بدون در نظر گرفتن مقدار مصرف N،  $LAI$  هر دو رقم با رشد گیاه و توسعه سطح برگ آن افزایش یافت و در مدت‌زمان کوتاهی پس از شروع گلدهی بر روی ساقه اصلی به حداکثر رسید (در حدود ۹۶ روز پس از کاشت در رقم دلگان و در حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت در رقم Hyola 401) و پس از آن تا زمان رسیدگی (حدود ۱۵۵ روز پس از کاشت) به دلیل پیری و ریزش برگ‌ها روندی نزولی نشان داد (شکل ۲). میزان مصرف N به‌طور معنی‌داری  $LAI_{max}$  هر دو رقم کلزای بهاره را تحت تأثیر قرار داد ( $P < 0.05$ ). در هر دو رقم کلزای مطالعه شده، میان سطوح مصرف ۲۰۰ ( $10/37 \pm 0/43$ ) برای رقم دلگان و  $10/97 \pm 0/24$  (برای رقم Hyola 401)،  $9/36 \pm 0/42$  برای رقم دلگان و  $10/87 \pm 0/48$  برای رقم Hyola 401) و  $300$  کیلوگرم N خالص در هکتار ( $9/67 \pm 0/40$ ) برای رقم دلگان و  $10/89 \pm 0/39$  (برای رقم Hyola 401) اختلاف معنی‌داری از

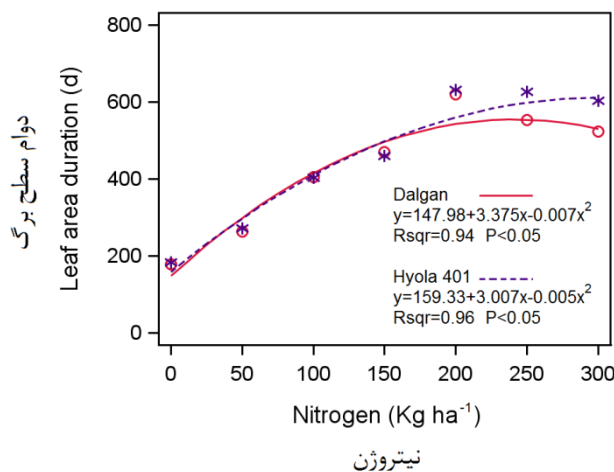


شکل ۲- تغییرات شاخص سطح برگ دو رقم کلزای بهاره Hyola 401 (A) و دلگان (B) در روزهای پس از کاشت در پاسخ به مصرف سطوح مختلف نیتروژن

Figure 2- Changes in leaf area index of two spring canola cultivars Hyola 401 (A) and Dalgan (B) in the days after planting in response to different levels of nitrogen consumption

در LAD در پاسخ به افزایش مصرف N افزایش یافت اما در رقم دلگان حداکثر LAD ( $554/79$  روز) با مصرف  $241/07$  کیلوگرم N در هکتار به‌دست آمد و مقادیر N بیشتر از این حد منجر به کاهش LAD شد، درحالی‌که حداکثر LAD رقم Hyola 401 ( $611/43$  روز) با مصرف  $300/70$  کیلوگرم N در هکتار به‌دست آمد (شکل ۳).

رابطه کوآدراتیک به‌ترتیب در حدود ۹۶ و ۹۴ درصد از تغییرات LAD دو رقم کلزای Hyola 401 و دلگان در پاسخ به افزایش مصرف N را توجیه کرد (شکل ۳). بر اساس این رابطه، LAD رقم دلگان و Hyola 401 در شرایط بدون مصرف کود به‌ترتیب معادل  $147/98$  ( $20/76 \pm$ ) و  $159/33$  ( $29/09 \pm$ ) برآورد شد که از این نظر بین دو رقم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در هر دو رقم کلزای،

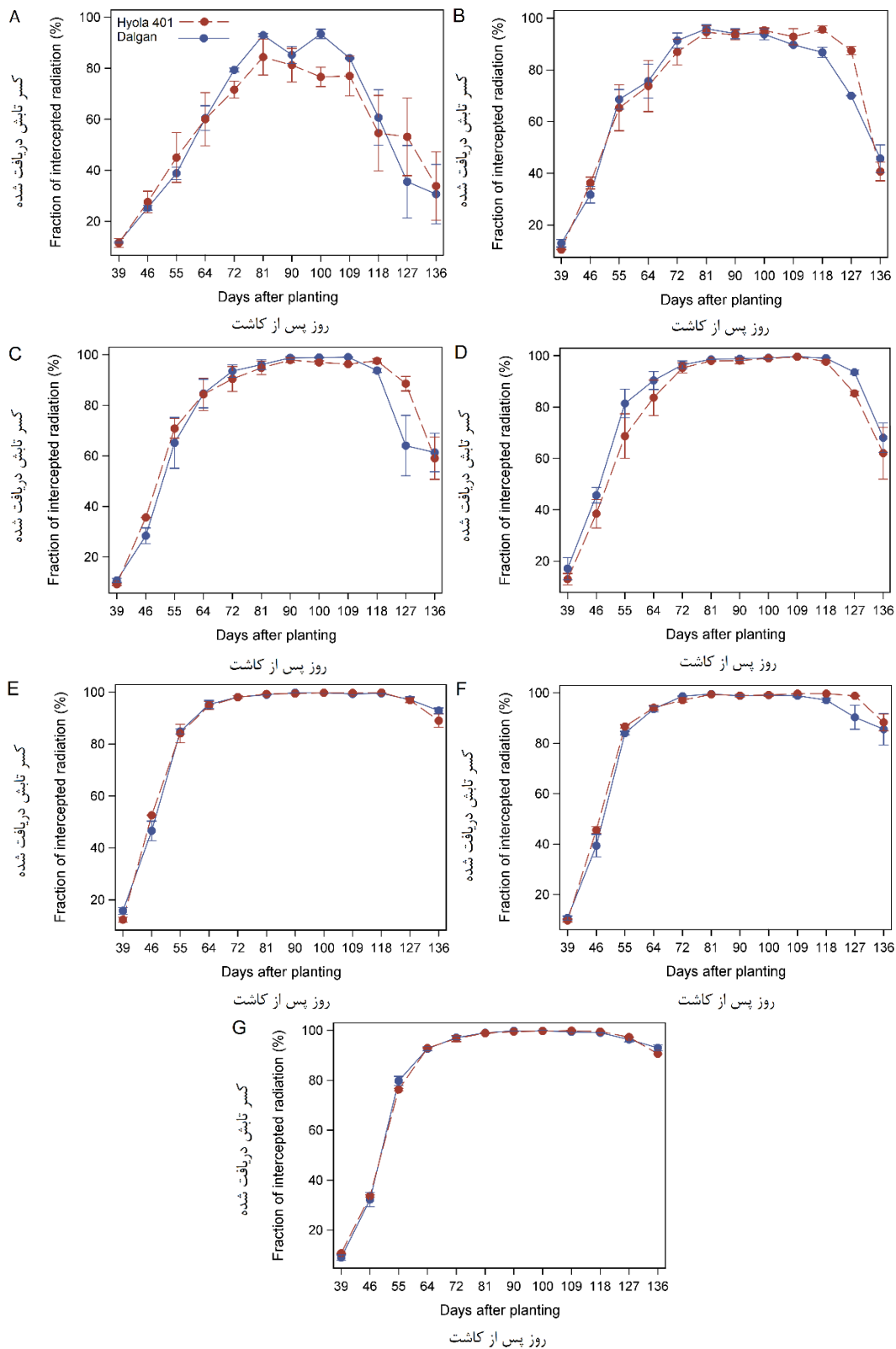


شکل ۳- تغییرات دوام سطح برگ دو رقم کلزای بهاره Hyola 401 و دلگان در پاسخ به افزایش مصرف نیتروژن  
Figure 3- Changes in leaf area duration of two spring canola cultivars Hyola 401 and Dalgan in response to increasing nitrogen consumption

معادل  $0/65 (\pm 0/02)$  و برای رقم دلگان معادل  $0/73 (\pm 0/02)$  برآورد شد.

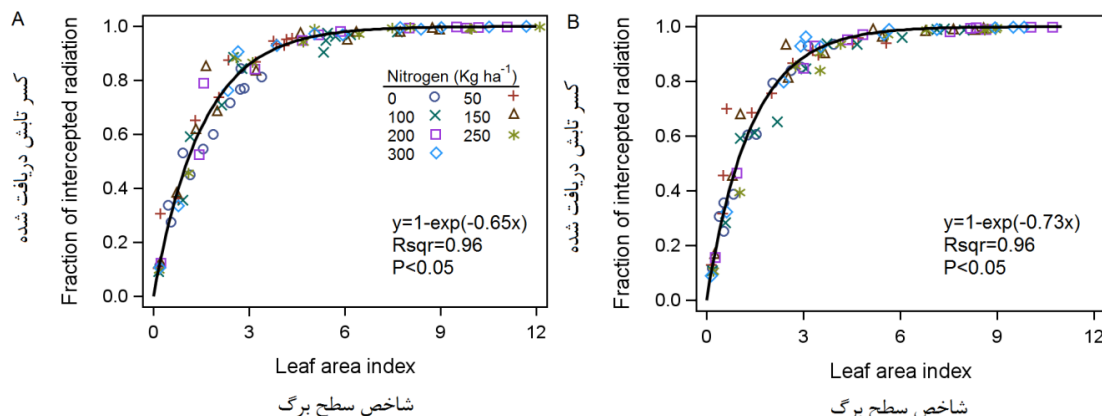
رابطه بین کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده در طول دوره رشد گیاه زراعی (IPAR) با  $LAI_{max}$  و LAD در هر دو رقم کلزای مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است. در هر دو رقم، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین IPAR و  $LAI_{max}$  ( $r=90$ ) برای رقم Hyola 401 ( $r=0.98$  برای رقم دلگان) و بین IPAR و LAD ( $r=92$ ) برای رقم Hyola 401 ( $r=0.99$  برای رقم دلگان) وجود داشت. بنابراین، در هر دو رقم IPAR به شدت به  $LAI_{max}$  و LAD وابسته بود. به این معنی که، مصرف N با افزایش  $LAI_{max}$  و LAD منجر به افزایش IPAR شده است. بسته به میزان مصرف N، زیست‌توده بالای سطح زمین در رقم Hyola 401 بین ۹۳۲ تا ۲۱۹۲ گرم در متر مربع و در رقم دلگان بین ۸۵۳ تا ۱۸۱۱ گرم در متر مربع متغیر بود. زیست‌توده بالای سطح زمین در هر دو رقم کلزای بهاره به شدت به سرعت رشد محصول (CGR) وابسته بود (شکل ۷A). در هر دو رقم کمترین میزان CGR در شرایط بدون مصرف کود ( $15/68$  گرم بر متر مربع در روز برای رقم Hyola 401 و  $15/58$  گرم بر متر مربع در روز برای رقم دلگان) و بیشترین میزان آن در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار (به ترتیب  $34/93$  و  $32/07$  گرم بر متر مربع در روز برای رقم Hyola 401 و دلگان) مشاهده شد. علاوه بر این، CGR به شدت به IPAR بستگی داشت (شکل ۷B).

مقادیر اندازه‌گیری شده کسر تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده (FIR) توسط سایه‌انداز دو رقم کلزا در روزهای پس از کاشت برای تیمارهای مختلف مصرف N در شکل ۴ ارائه شده است. روند کلی دریافت تابش توسط سایه‌انداز گیاهی در هر دو رقم مورد مطالعه در شرایط مصرف سطح معینی از N تقریباً مشابه بود. بدون در نظر گرفتن نوع رقم، تأثیر مصرف N بر میزان دریافت تابش در همه تاریخ‌های نمونه‌برداری به استثنای نمونه‌برداری اول (۳۹ روز پس از کاشت) معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ )، به طوری که مصرف مقادیر بالاتر N منجر به دریافت بیشتر PAR توسط سایه‌انداز گیاهی هر دو رقم شد. بیشترین درصد دریافت تابش در شرایط بدون مصرف کود پس از ۸۱ روز از کاشت مشاهده شد که این میزان به طور معنی‌داری کوچک‌تر از FIR مشاهده شده در سایر سطوح مصرف N بود. علاوه بر تکمیل کندتر پوشش سایه‌انداز و دریافت کمتر تابش در دوره ابتدایی رشد در شرایط مصرف سطوح کمتر N، در دوره انتهایی رشد نیز FIR در این تیمارها سریع‌تر و به میزان بیشتری کاهش یافت (شکل ۴). همبستگی مثبت و معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بین FIR و LAI در هر دو رقم کلزای Hyola 401 ( $r=0.73$ ) و دلگان ( $r=0.76$ ) وجود داشت. تأثیر تیمارهای N بر FIR به طور عمده مربوط به تغییر LAI بود و از این رو رابطه بین FIR و LAI برای هر رقم با استفاده از یک رابطه واحد توصیف شد (شکل ۵). بر این اساس، K برای رقم Hyola 401

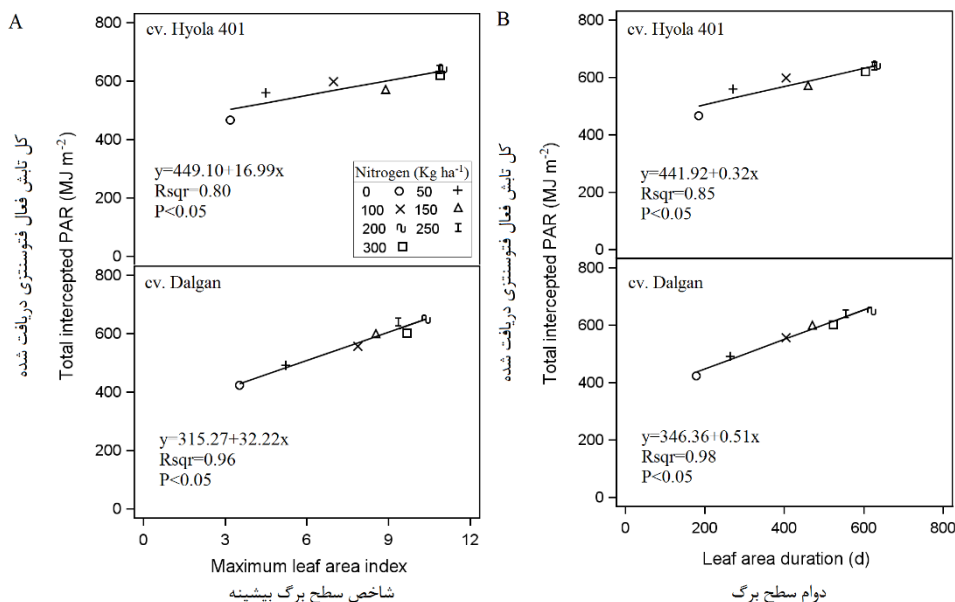


شکل ۴- کسر تابش دریافت شده در روزهای پس از کاشت برای دو رقم کلزا در تیمارهای مصرف صفر (A)، ۵۰ (B)، ۱۰۰ (C)، ۱۵۰ (D)، ۲۰۰ (E)، ۲۵۰ (F) و ۳۰۰ (G) کیلوگرم نیتروژن در هکتار

Figure 4- Fraction of intercepted radiation in the days after planting for two canola cultivars in treatments of consumption of 0 (A), 50 (B), 100 (C), 150 (D), 200 (E), 250 (F) and 300 (G) kg nitrogen ha<sup>-1</sup>



شکل ۵- رابطه بین کسر تابش دریافت شده و شاخص سطح برگ کلزای رقم Hyola 401 (A) و دلگان (B) در تیمارهای مختلف مصرف نیتروژن  
 Figure 5- Relationship between the fraction of intercepted radiation and the leaf area index of canola cvs. Hyola 401 (A) and Dalgan (B) in different treatments of nitrogen consumption

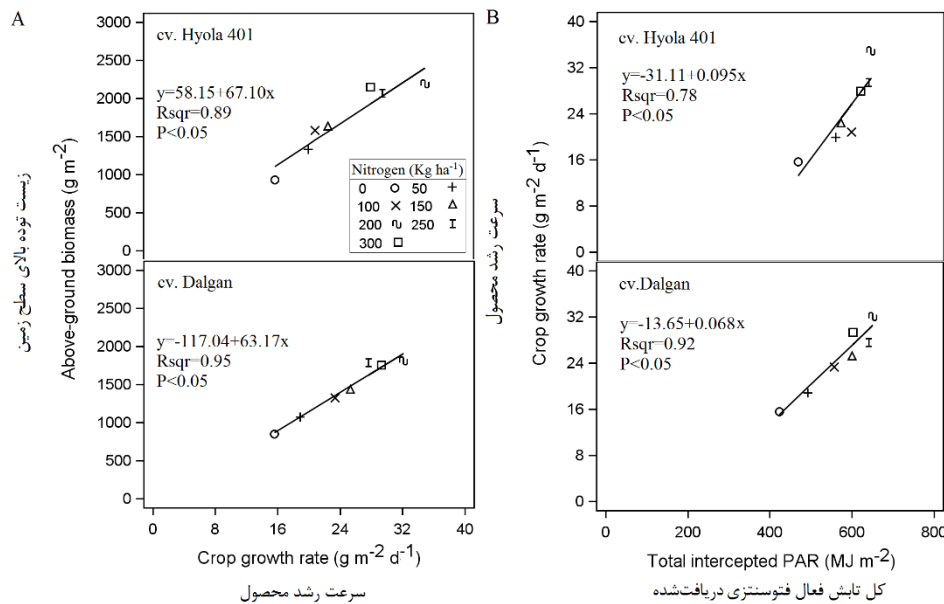


شکل ۶- رابطه بین کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده با شاخص سطح برگ بیشینه (A) و دوام سطح برگ (B) در دو رقم کلزای مطالعه شده  
 Figure 6- Relationship between the total intercepted photosynthetically active radiation and (A) maximum leaf area index and (B) leaf area duration for two canola cultivars

بود. بسته به میزان مصرف N، برآورد RUE برای رقم دلگان بین ۲/۰۲ تا ۳/۲۵ گرم بر مگاژول و برای رقم Hyola 401 بین ۱/۸۶ تا ۳/۶۲ گرم بر مگاژول متغیر بود (شکل ۸). با این حال، بین دو رقم کلزای مورد مطالعه تنها در شرایط مصرف ۳۰۰ کیلوگرم N در هکتار اختلاف معنی داری از نظر برآورد RUE وجود داشت. در رقم Hyola 401، افزایش مصرف N تا سطح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش معنی دار RUE شد اما میان سطوح مصرف ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم N در هکتار تفاوت معنی داری از این نظر وجود نداشت.

صرف نظر از میزان مصرف N، تجمع زیست توده بالای سطح زمین به شدت و به طور معنی داری ( $P < 0.01$ ) به IPAR تجمعی توسط گیاه زراعی در طول چرخه رشد وابسته بود (شکل ۸). کل IPAR تجمعی در طی دوره رشد در دو رقم Hyola 401 و دلگان در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار به ترتیب در حدود ۲۷ و ۳۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. با این حال، افزایش زیست توده بالای سطح زمین در این تیمار نسبت به شرایط عدم مصرف N در رقم Hyola 401 در حدود ۵۹ درصد و در رقم دلگان در حدود ۵۳ درصد





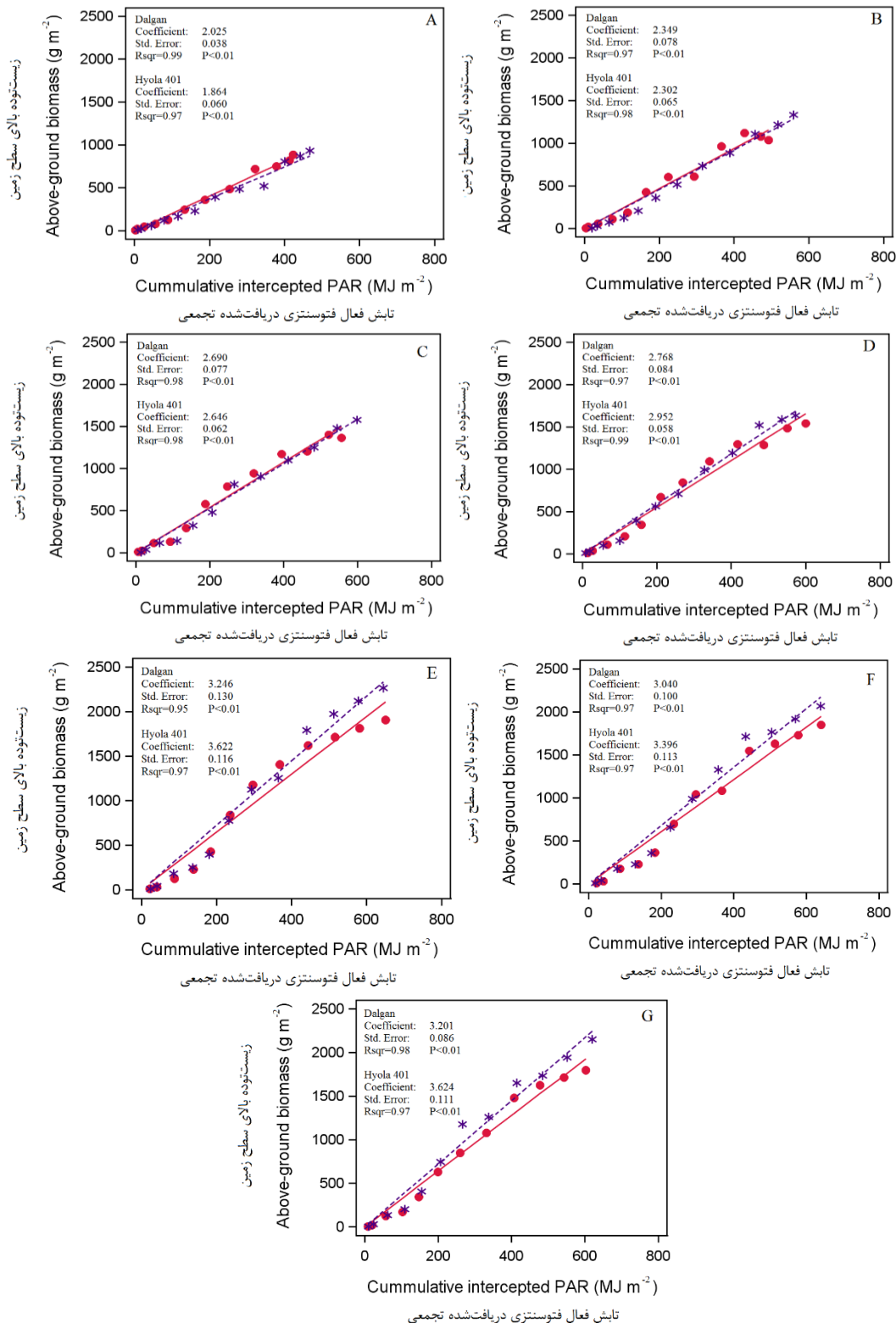
شکل ۷- رابطه بین زیست توده بالای سطح زمین و سرعت رشد محصول (A) و بین سرعت رشد محصول و کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده (B) در دو رقم کلزای مورد مطالعه

Figure 7- Relationship between above-ground biomass and crop growth rate (A), and between crop growth rate and the total intercepted photosynthetically active radiation (B) for two canola cultivars

نسبت دادند که مطابق با ساختار کلی مدل‌های رشد کلزا مانند Ceres (Jeuffroy and Azodyn) و (Gabrielle *et al.*, 1998) Rape (Recous, 1999) است. مندم (Mendham, 1995) کاهش LAI در پاسخ به کمبود N در کلزای زمستانه را با تغییر فیلولرون، کاهش اندازه پهنک برگ‌ها و سرعت بالاتر از دست رفتن برگ‌های مسن توضیح داد. در این مطالعه، سرعت ظهور برگ در شرایط کمبود N به‌طور مشخصی کاهش یافت و زمان وقوع مراحل نمو فنولوژیک تا حدودی به تأخیر افتاد اما بوته‌های رشد یافته در این شرایط سریع‌تر به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند (داده‌ها نشان داده نشده است). همچنین، کمبود شدید N منجر به کاهش چشمگیر سطح پهنک برگ‌ها گردید (شکل ۲)، اما ضخامت برگ‌ها در این شرایط اندکی بیشتر شد (داده‌ها نشان داده نشده است). افزایش سطح ویژه برگ (SLA) به موازات افزایش LAI در پاسخ به افزایش مصرف N توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Ratjen and Kage, 2013; Sieling *et al.*, 2016). سرعت از دست رفتن برگ‌های مسن از ویژگی‌های ژنوتیپ بوده و به‌طور مستقیم توسط عوامل محیطی مثل دما، سایه‌اندازی برگ‌ها و فراهمی N تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Mendham, 1995; Colnenne *et al.*, 2002).

در رقم دلگان بیشترین میزان RUE مربوط به سطح مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار بود که با سطوح مصرف پایین‌تر N تفاوت معنی‌داری داشت اما اختلاف آن با سطوح بالاتر مصرف N معنی‌دار نبود. در این رقم برخلاف رقم Hyola 401 اختلاف معنی‌داری بین سطوح مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم N در هکتار و همچنین بین سطوح مصرف ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم N در هکتار از نظر میزان RUE وجود نداشت (شکل ۸).

نتایج ما نشان داد که پاسخ زیست‌توده بالای سطح زمین به فراهمی N در هر دو رقم کلزای مطالعه شده به تغییر هر دو صفت IPAR و RUE مربوط بود. پاسخ‌های IPAR نتیجه تأثیر تیمارهای N بر FIR در طی چرخه رشد گیاه زراعی بود. مشابه با نتایج به‌دست‌آمده در اینجا، میوارین و پالتون-ساینیو (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006) گزارش کردند که FIR ارقام غله قدیمی و مدرن (گندم، جو و یولاف) در تیمار شاهد در حدود ۲۲ تا ۳۸ درصد نسبت به شرایط مصرف ۹۰ کیلوگرم N در هکتار کمتر بود. کاهش FIR به‌طور عمده به پاسخ‌های LAI و LAD مربوط بود. کلنن و همکاران (Colnenne *et al.*, 2002) نیز پیامدهای ناشی از کمبود N بر تولید زیست‌توده را به تأثیر فراهمی این عنصر بر LAI و RUE



شکل ۸- رابطه بین زیست توده بالای سطح زمین و تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده جمعیتی برای دو رقم کلزای Hyola 401 (خط چین) و دلگان (خط ممتد) در سطوح مصرف ۰ (A)، ۵۰ (B)، ۱۰۰ (C)، ۱۵۰ (D)، ۲۰۰ (E)، ۲۵۰ (F) و ۳۰۰ (G) کیلوگرم نیتروژن در هکتار

Figure 8- Relationships between above-ground biomass and cumulative intercepted photosynthetically active radiation of two canola cultivars Hyola 401 (dashed line) and Dalgan (solid line) for consumption levels of 0 (A), 50 (B), 100 (C), 150 (D), 200 (E), 250 (F) and 300 (G) kg nitrogen ha<sup>-1</sup>

گل)، گلدھی و تشکیل خورجین‌ها را در شرایط مصرف ۲۷۰ کیلوگرم N در هکتار به ترتیب ۲/۶۹، ۳/۹۰ و ۳/۴۰ گرم بر مگاژول PAR گزارش کردند که نسبت به تیمار شاهد به طور متوسط در حدود ۳۷ درصد بیشتر بود. مندم و همکاران (Mendham *et al.*, 1995) میزان RUE کلزای بهاره را ۳/۳۳ گرم بر مگاژول PAR گزارش کردند که نزدیک به نتایج به دست آمده در این مطالعه است. سینکلر و هوری (Sinclair and Horie, 1989) نشان دادند که LAI تنها اثری جزئی بر RUE دارد. وقتی LAI کم باشد مقادیر RUE نیز پایین است زیرا بیشتر برگ‌ها در شرایط اشباع نوری هستند. بنابراین، برگ‌های در معرض نور ممکن است کارایی کمتری از برگ‌های در سایه داشته باشند (Sinclair and Horie, 1989). کمانیان و همکاران (Kemanian *et al.*, 2004) نشان دادند که کاهش N موجود در برگ‌ها منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی آن‌ها و در نتیجه کاهش RUE شد. میوارین و پالتون-ساینیو (Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006) نیز کاهش RUE در شرایط کمبود N را به دلیل کاهش محتوای نیتروژن برگ گزارش کردند. بنابراین، کاهش RUE در شرایط کمبود نیتروژن در دو رقم مطالعه شده به طور محتمل به دلیل کاهش محتوای نیتروژن برگ و در نتیجه کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی بوده است و کاهش SLA در این شرایط می‌توانسته تا حدودی به حفظ ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها کمک کند.

### نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این مطالعه نشان داد که پاسخ زیست‌توده بالای سطح زمین در دو رقم کلزای مطالعه شده به تفاوت سرعت رشد محصول در شرایط فراهمی مقادیر مختلف N مربوط بود. تابش تجمعی دریافت شده در طی دوره رشد و کارایی استفاده از تابش دو صفت فیزیولوژیکی بود که پاسخ‌های زیست‌توده بالای سطح زمین در این دو رقم را توضیح داد. در هر دو رقم کلزای مطالعه شده، ضریب K تحت تأثیر فراهمی N قرار نگرفت که نشان می‌دهد پاسخ‌های IPAR نتیجه تغییرات LAI و LAD در طی دوره رشد بود. دو رقم کلزای بهاره مورد ارزیابی تیپ رشدی مشابهی داشتند و بین آن دو از نظر عوامل اکوفیزیولوژیک تعیین‌کننده تولید زیست‌توده تفاوت اندکی وجود داشت.

در هر دو رقم کلزای مطالعه شده فراهمی N تأثیری بر K نداشت که با گزارش‌های منتشر شده در مورد وابستگی FIR و IPAR به توسعه LAI در شرایط مصرف سطوح مختلف N در کلزای زمستانه (Dreccer *et al.*, 2000; Colnenne *et al.*, 2002) و گیاهان زراعی دیگری مانند آفتابگردان (Massignam *et al.*, 2009)، گندم (Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006; Salvagiotti and Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006; Sieling *et al.*, 2016)، جو (Miralles, 2008; Sieling *et al.*, 2016)، ذرت (Peltonen-Sainio, 2006; Sieling *et al.*, 2016; Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006)، یولاف (Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006) و گلرنگ (Masomipour *et al.*, 2016) مطابقت دارد. کلنن و همکاران (Colnenne *et al.*, 2002) ضریب K برای کلزای زمستانه در پاسخ به سطوح مختلف مصرف N را معادل ۰/۷۵ برآورد کردند که نزدیک به برآورد این ضریب برای دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده در اینجا است (۰/۶۵ برای رقم Hyola 401 و ۰/۷۳ برای رقم دلگان). سیلینگ و همکاران (Sieling *et al.*, 2016) ضریب K را برای گندم و جو پاییزه در تمام چرخه رشد و سطوح مختلف مصرف N ثابت و معادل ۰/۷۵ در نظر گرفتند. به نظر می‌رسد ضریب K نه فقط در مورد فراهمی مقادیر مختلف N (Justes *et al.*, 2000; Muirinen and Peltonen-Sainio, 2006) بلکه در پاسخ به عوامل دیگری مانند کمبود فسفر (Sandana and Pinochet, 2011; Sandana *et al.*, 2012) محدودیت‌های خاک (Salvagiotti and Miralles, 2008; Valle *et al.*, 2009)، تاریخ کاشت (Bassu *et al.*, 2011) و تراکم گیاهی (Ayaz *et al.*, 2004) نیز پارامتر بسیار باثباتی باشد. با این حال، در برخی گیاهان این ضریب ممکن است در طی چرخه رشد و بسته به نوع مدیریت زراعی تغییر کند زیرا تراکم سایه‌انداز و در نتیجه توزیع برگ‌ها به‌ویژه در سایه‌اندازهای تنک در طی نمو تغییر می‌کند و شرایط تابش نیز جذب تابش در واحد سطح برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ratjen and Kage, 2013).

در این مطالعه میزان RUE در شرایط محدودیت N به شدت کاهش یافت. سیلینگ و همکاران (Sieling *et al.*, 2016) نیز گزارش کردند که RUE گندم و جو زمستانه در شرایط عدم مصرف کود به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت، اما تفاوت میان سطوح بالای مصرف N ناچیز بود. جاستز و همکاران (Justes *et al.*, 2000) RUE کلزای زمستانه برای مراحل نموی آغازش گل (ظهور جوانه

### References

1. Abeledo, G., Calderini, D., and Slafer, G. 2003. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica* 133 (3): 291-298.
2. Ayaz, S., McKenzie, B., McNeil, D., and Hill, G. 2004. Light interception and utilization of four grain legumes sown at different populations and depths. *The Journal of Agricultural Science* 142 (3): 297-308.
3. Bassu, S., Giunta, F., and Motzo, R. 2011. Effects of sowing date and cultivar on radiation use efficiency in durum wheat. *Crop and Pasture Science* 62 (1): 39-47.

4. Colnenne, C., Meynard, L. M., Roche, R., and Reau, R. 2002. Effects of nitrogen deficiencies on autumnal growth of oilseed rape. *European Journal of Agronomy* 17 (1): 11-28.
5. Dreccer, F., Schapendonk, A. H. C. M., Slafer, G. A., and Rabbinge, R. 2000. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilization efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. *Plant and Soil* 220 (1-2): 189-205.
6. Gabrielle, B., Denoroy, P., Gosse, G., Justes, E., and Andersen, M. N. 1998. Development and evaluation of a CERES-type model for winter oilseed rape. *Field Crops Research* 57 (1): 95-111.
7. Jamieson, P. D., Martin, R. J., Francis, G. S., and Wilson, D. R. 1995. Drought effects on biomass production and radiation-use efficiency in barley. *Field Crops Research* 43 (2-3): 77-86.
8. Jeuffroy, M. H., and Recous, S. 1999. Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *European Journal of Agronomy* 10 (2): 121-144.
9. Justes, E., Denoroy, P., Gabrielle, B., and Gosse, G. 2000. Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of winter oilseed rape. *European Journal of Agronomy* 13 (2-3): 165-177.
10. Kemanian, A. R., Stöckle, C. O., and Huggins, D. R. 2004. Variability of Barley Radiation-Use Efficiency. *Crop Science* 44 (5): 1662-1672.
11. Masomipour, A., Torabi, B., and Rahimi, A. 2016. Studing extinction coefficient and radiation use efficiency in different cultivars of Safflower under different levels of Nitrogen (N) fertilizer. *Electronic Journal of Crop Production* 9 (3): 67-86. (in Persian with English abstract).
12. Massignam, A., Chapman, S., Hammer, G., and Fukai, S. 2009. Physiological determinants of maize and sunflower grain yield as affected by nitrogen supply. *Field Crops Research* 113 (3): 256-267.
13. Mendham, N. J. 1995. Physiological basis of seed yield and quality in oilseed rape. *Proceedings of the Ninth International Rapeseed Congress*, Cambridge.
14. Mendham, N. J., Russell, J., and Jarosz, N. K. 1990. Response to sowing time of three contrasting Australian cultivars of oilseed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science* 114 (3): 275-283.
15. Muurinen, S., and Peltonen-Sainio, P. 2006. Radiation-use efficiency of modern and old spring cereal cultivars and its response to nitrogen in northern growing conditions. *Field Crops Research* 96 (2-3): 363-373.
16. Olesen, J. E., Jorgensen, L. N., and Mortensen, J. V. 2000. Irrigation strategy, nitrogen application and fungicide control in winter wheat on a sandy soil. II. Radiation interception and conversion. *The Journal of Agricultural Science* 134 (1): 13-23.
17. Plenet, D., Mollier, A., and Pellerin, S. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II. Radiation use efficiency, biomass accumulation and yield components. *Plant and Soil* 224 (2): 259-272.
18. Ratjen, A. M., and Kage, H. 2013. Is mutual shading a decisive factor for differences in overall canopy specific leaf area of winter wheat crops? *Field Crops Research* 149: 338-346.
19. Salvagiotti, F., and Miralles, D. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy* 28 (3): 282-290.
20. Sandana, P., and Pinochet, D. 2011. Ecophysiological determinants of biomass and grain yield of wheat under P deficiency. *Field Crops Research* 120 (2): 311-319.
21. Sandana, P., Ramírez, M., and Pinochet, D. 2012. Radiation interception and radiation use efficiency of wheat and pea under different P availabilities. *Field Crops Research* 127: 44-50.
22. Sieling, K., Böttcher, U., and Kage, H. 2016. Dry matter partitioning and canopy traits in wheat and barley under varying N supply. *European Journal of Agronomy* 74: 1-8.
23. Sinclair, T. R., and Horie, T. 1989: Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. *Crop Science* 29 (1): 90-98.
24. Sinclair, T. R., and Muchow, R. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy* 65: 215-265.
25. Soltani, A., Robertson, M. J., Rahemi-Karizaki, A., Poorreza, J., and Zarei, H. 2006. Modeling Biomass Accumulation and Partitioning in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 192 (5): 379-389.
26. Valle, S., Carrasco, J., Pinochet, D., and Calderini, D. 2009. Al toxicity effects on radiation interception and radiation use efficiency of Al-tolerant and Al-sensitive wheat cultivars under field conditions. *Field Crops Research* 114 (3): 343-350.
27. Watson, D. J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops I. Variation in NAR and LAR between species and varieties and within and between years. *Annals of Botany* 11 (1): 41-46.
28. Yin, X., Goudriaan, J., Lantinga, E. A., Vos, J., and Spiertz, H. J. 2003. A flexible sigmoid function of determinate growth. *Annals of Botany* 91 (3): 361-71.
29. Zhou, Z., Plauborg, F., Kristensen, K., and Andersen, M. N. 2017. Dry matter production, radiation interception and radiation use efficiency of potato in response to temperature and nitrogen application regimes. *Agricultural and Forest Meteorology* 232: 595-605.



## Effect of Nitrogen Fertilizer on the Radiation Interception and Utilization Efficiency of two Spring Rapeseed Cultivars

S. A. Siadat<sup>1\*</sup>, A. Derakhshan<sup>2</sup>

Received: 21-05-2018

Accepted: 13-11-2018

**Introduction:** Crop biomass accumulation is directly related to the amount of photosynthetically active intercepted radiation by the canopy during the crop's cycle. The slope of this relationship represents the radiation use efficiency (RUE), defined as crop biomass produced per unit of total solar or photosynthetically active intercepted radiation (IPAR). Therefore, above-ground biomass ( $\text{g m}^{-2}$ ) can be expressed as a product of the cumulative IPAR ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) during the crop cycle and RUE ( $\text{g MJ}^{-1}$ ). The amount of IPAR depends on the length of the crop cycle over which radiation is accumulated, the fraction of intercepted radiation (FIR) by the canopy each day and the total incident solar radiation. The length of crop cycle is affected by the genotype and/or environmental factors mainly temperature and photoperiod. Indeed, soil constraints such as nutritional deficiencies have shown minor impacts on the crop cycle. FIR depends on the leaf area index (LAI) and the canopy light extinction coefficient (k). Several studies on different crops have shown that IPAR is negatively affected by nitrogen (N) deficiency. RUE is affected by the crop species, environmental conditions and also by management factors such as crop nutritional status. Over the past few decades, one of the aspects of improving crop productivity has been increasing N fertilizer utilization. Nitrogen application is one of the key inputs for crop production that determines the potential of total crops dry matter production through its effect on IPAR, RUE, and/or both. The aim of the present study was to comparatively evaluate in two rapeseed cultivars their responses on IPAR, RUE and related traits under different N availabilities at field conditions.

**Materials and Methods:** In this study, the effects of N utilization on IPAR and RUE of two spring rapeseed cultivars (Hyola 401 and Dalgan) were investigated. Field experiment was conducted as a split plot in a randomized complete block design with three replications at Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. N consumption in seven levels of 0, 50, 100, 150, 200, 250 and 300  $\text{kg ha}^{-1}$  was considered as the main factor and the type of rapeseed cultivar in two levels as the sub-factor.

**Results and Discussion:** The results showed that the response of the above-ground biomass to N supply in both of the studied rapeseed cultivars was related to the change in both IPAR and RUE. The total accumulated IPAR during the growing season under of consumption of 200  $\text{kg N ha}^{-1}$  was about 27 and 35% higher than those of the control treatments in the cultivars Hyola 401 and Dalgan, respectively. In both rapeseed cultivars, IPAR was strongly dependent on LAI and LAD. This means that N utilization with increasing LAI and LAD resulted in an increase in IPAR. Reduction of LAI in response to N deficiency can be explained by (1) changing the phyllochron, (2) decreasing leaf blade area, and (3) the higher rate of loss of old leaves. Utilization of N had no effect on the light extinction coefficient (K) of crop canopy, and this coefficient was estimated to be 0.65 ( $\pm 0.02$ ) in the cultivar Hyola 401 and 0.73 ( $\pm 0.02$ ) in the cultivar Dalgan. Depending on N level, the above-ground biomass varied from 932 to 2192  $\text{g m}^{-2}$  in the cultivar Hyola 401 and between 853 and 1811  $\text{g m}^{-2}$  in the cultivar Dalgan. Depending on the availability of N, the RUE varied between 2.02 (control treatment) and 3.25  $\text{g MJ}^{-1}$  (200  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) for the cultivar Dalgan and between 1.86 (control treatment) and 3.62  $\text{g MJ}^{-1}$  (300  $\text{kg N ha}^{-1}$ ) for the cultivar Hyola 401. Reducing RUE in N-limit treatments may be due to reduced leaves nitrogen content, which reduces their photosynthetic capacity.

**Conclusions:** The results of this study showed that the above-ground biomass production by two rapeseed cultivars was related to differences in their growth rates in response to the applying different amounts of N. The physiological traits that explained above-ground biomass responses of both cultivars were the cumulative intercepted radiation during the crop cycle and radiations use efficiency. In both rapeseed cultivars, the K coefficient was not affected by N utilization, which indicates that IPAR responses were the result of changes in LAI and LAD during the crop cycle affecting the fraction of intercepted radiation by the crop.

**Keywords:** CGR, Fraction of intercepted radiation, LAD, LAI, Light extinction coefficient

1- Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

2- Ph.D. in Agronomy, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

(\*- Corresponding Author Email: seyedatiasadat@asnruk.ac.ir)