

بررسی تأثیر تاریخ کاشت، تراکم بوته و رقم روی مؤلفه‌های دریافت تشعشع خورشیدی در چغندر قند

الف- دریافت تشعشع خورشیدی و ضریب استهلاک نوری

Effect of sowing date, planting density and cultivar on solar radiation
interception indices in sugar beet

I. Radiation interception and extinction coefficient

سعید صادق‌زاده حمایتی*^۱، علی کاشانی^۲، داریوش فتح‌اله طالقانی^۳، قربان نورمحمدی^۴ و سیدعطاءاله سیادت^۵
تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۰/۹

س. صادق‌زاده حمایتی، ع. کاشانی، د. فتح‌اله طالقانی، ق. نورمحمدی و س. ع. ا. سیادت. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر تاریخ کاشت، تراکم بوته و رقم روی مؤلفه‌های دریافت تشعشع خورشیدی در چغندر قند الف- دریافت تشعشع خورشیدی و ضریب استهلاک نوری. مجله چغندر قند ۲۴(۱): ۲۳-۴۲

چکیده

با هدف بررسی تأثیر تاریخ کاشت، تراکم بوته و رقم بر مؤلفه‌های دریافت تشعشع خورشیدی، این تحقیق طی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کمال‌آباد کرج انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. سطوح تاریخ کاشت به کرت‌های اصلی، تراکم بوته به کرت‌های فرعی و رقم به کرت‌های فرعی فرعی اختصاص داده شد. نتایج نشان داد که میزان تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در دو سال اجرای آزمایش از حدود هشت مگاژول بر مترمربع در روز طی اوایل اردیبهشت آغاز و پس از افزایش به بیش‌ترین مقدار طی خرداد ماه (حدود ۱۷/۷۵-۱۷/۶۱ مگاژول بر مترمربع در روز) به تدریج از مقدار آن کاسته شد. مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده ($iPAR$) در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی‌دار بین سال‌های آزمایش داشت و در سال ۱۳۸۵ (۱۸۱۷/۰۴ مگاژول بر مترمربع) معادل ۸/۱۵ درصد بیش از سال ۱۳۸۴ (۱۶۸۰/۲۲ مگاژول بر مترمربع) بود. رابطه بین میزان دریافت تشعشع (f_i) با شاخص سطح برگ در سال ۱۳۸۴ ($r^2=0.82^{**}$) و در سال ۱۳۸۵ ($r^2=0.64^{*}$) به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج‌درصد معنی‌دار شد و نشان داد که افزایش سطح برگ موجب افزایش $iPAR$ می‌شود. بیش‌ترین نسبت دریافت تشعشع (f_i) مقارن با دهه سوم شهریور ماه در منطقه کرج با شاخص سطح برگ معادل ۳/۵-۲/۵ حاصل شد. کشت در اولین فرصت ممکن

۱- دانش آموخته دکترای دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران* - نویسنده مسئول S.S.Hemayati@yahoo.com

۲- استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۳- استادیار مؤسسه تحقیقات چغندر قند- کرج

۴- استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

۵- استاد دانشگاه شهید چمران - اهواز

تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک‌درصد بر f_i داشت و تاریخ کاشت اولین فرصت ممکن (۱۹۷۴/۵۳) مگاژول) معادل ۲۹/۶۷ درصد بیش‌از کشت دیرهنگام چغندر قند (۱۵۲۲/۷۳ مگاژول) بود. تأثیر تراکم بوته بر f_i معنی‌دار نشد. میانگین ضریب خاموشی تشعشع (K) معادل ۰/۶۰۵ بود. اثر تاریخ کاشت بر K معنی‌دار نشد. افزایش تراکم بوته از ۶/۰ بوته در مترمربع ($K=۰/۷۱۷$) به ۷/۵، ۹/۰ و ۱۰/۵ بوته در مترمربع موجب شد تا K به ترتیب معادل ۱۱/۲، ۱۸/۶ و ۳۲/۹ درصد کاهش یابد. تأثیر معنی‌دار رقم بر K به نحوی بود که در سال ۱۳۸۵، K رقم ۴۲۸ (۰/۳۷۳) به ترتیب معادل ۵۴/۱ و ۷۲/۹ درصد کم‌تر از رقم‌های جلگه و دی‌اس ۴۰۲۷ باشد. بنابراین، کاشت زودهنگام به دلیل افزایش f_i ، افزایش تراکم بوته با کاهش K و از آن‌جا، افزایش نفوذ تشعشع به داخل سایه‌انداز موجب افزایش عملکرد محصول می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، تراکم بوته، چغندر قند، دریافت تشعشع خورشیدی، ضریب استهلاک نوری

مقدمه

دریافت تشعشع خورشید توسط گیاهان و مصرف آن در تولید زیست‌توده گیاهی نشان‌دهنده فرآیندهای بنیادینی است که رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کنترل می‌کند (Purcell et al. 2002). بنابراین از دیرباز، یکی از شیوه‌های ارزیابی کارکرد گیاهان، اندازه‌گیری مقدار نور دریافتی توسط گیاه و محاسبه کارایی تبدیل آن به ماده خشک است (Cadersa and Govinden 1999). تا جایی که از طریق پایش الگوی دریافت تشعشع توسط سایه‌انداز طی دوره رشد، می‌توان کاهش عملکرد ناشی از وقوع تنش‌های محیطی را تبیین کرد (Zanetti et al. 1999).

مطالعات انجام شده در ارتباط با تأثیر متغیرهای اقلیمی روی رشد و عملکرد چغندر قند نشان از تأثیر قابل توجه تعداد ساعات آفتابی (Liniewicz

کشاورزی پایدار، مستلزم دستیابی هم‌زمان به اهداف اقتصادی و محیطی است. از سوی دیگر، نوسانات عوامل آب و هوایی، از جمله دلیل‌های تغییرات عملکرد محصول طی فصل‌ها و مکان‌های مختلف است که موجب پیچیدگی بهینه‌سازی و دستیابی به این اهداف می‌شود (De Koeijer et al. 2003). انتخاب گیاهان ویژه که توانایی بالایی در بهره‌گیری از منابع طبیعی نظیر تشعشع خورشیدی دارند، می‌تواند پایداری سیستم‌های تولید را تا حد زیادی تضمین کند. یکی از این گیاهان، چغندر قند است که جهت تولید ساکارز کشت می‌شود و دارای پتانسیل تولید انرژی (بیواتانول) نیز هست (Rinaldi and Vonella 2006).

صورت پذیرفته در اروپا با استفاده از اطلاعات هواشناسی بین سال‌های ۱۹۶۱-۱۹۹۵ نشان داد که پتانسیل عملکرد چغندر قند در این قاره از شمال به جنوب و از غرب به شرق به واسطه شیب مثبت تشعشع دریافتی افزایش می‌یابد (Pidgeon et al. 2001). نظر به اهمیت انطباق پوشش کامل برگ با وقوع حداکثر دریافت تشعشع در مناطق معتدله (Rinaldi and Vonella 2006)؛ راه‌کار کشت پاییزه چغندر قند در نواحی شمال غربی اروپا عمدتاً جهت استفاده بیش‌تر از نور خورشید و افزایش سطح برگ در اوایل فصل بهار جهت بهره‌مندی از این پتانسیل پیش‌نهاد شده است. کشت بهاره چغندر قند در این مناطق، موجب می‌شود تا حداکثر توسعه سایه‌انداز در ماه‌های مه تا ژوئن (اردیبهشت تا خرداد) روی دهد که این زمان جهت دریافت تشعشع بسیار دیر بوده و فی‌النتیجه موجب کاهش پتانسیل تولید محصول در این مناطق می‌شود (Jaggard and Werker 1999).

زمان موردنیاز برای اینکه گیاه به‌تواند کل نور موجود را دریافت کند به فاصله ردیف و تراکم بوته (Ball et al. 2000) بستگی دارد. بنابراین، جهت به حداکثر رساندن دریافت تشعشع، تراکم بوته و ایجاد فاصله مناسب بین بوته‌ها (بین و داخل ردیف‌های کاشت) مهم و بحرانی محسوب می‌شود. مطالعات نشان داده است که طی تراکم‌های ۷۵ و ۳۷ هزار بوته در هکتار پس از حصول حداکثر پوشش سایه‌انداز چغندر قند به ترتیب ۸۹ و ۷۵ درصد از تشعشع دریافت شد. با یکسان در نظر گرفتن ضریب تبدیل تشعشع دریافتی به ماده خشک (معادل ۱/۶ گرم بر مگاژول)،

(and Wojcik 1991). دریافت تشعشع اول فصل (Scott and Allen 1978; Scott and Jaggard 1993; Kenter et al. 2006). دریافت تشعشع طی آخرفصل (مهر - آبان) (Kenter et al. 2006)، آبیاری (Hamer et al. 1994)، خشکی (Brown et al. 1987) و الگوهای دریافت تشعشع و تبخیر و تعرق (Werker and Jaggard 1998) روی محصول چغندر قند دارد. با وجود آن‌که، از مقدار نور دریافت‌شده به عنوان عمده‌ترین عامل محدودکننده عملکرد چغندر قند در مناطق معتدل یاد شده است (Scott et al. 1973)؛ در عرض‌های جغرافیایی مناطق گرمسیر، با شدت نور زیاد، سایه‌انداز گیاهی در اکثر مواقع روز در حالت اشباع‌نوری قرار دارد و بنابراین، ارتباط بین عملکرد و میزان تشعشع دریافت‌شده، ثابت نخواهد بود. در این مناطق، ارتباط بین تشعشع دریافت شده با عملکرد ضعیف است (Scott and Jaggard 1993) و با به اشباع رسیدن سایه‌انداز چغندر قند، عملکرد تحت تأثیر میزان تعرق نیز قرار می‌گیرد (Werker and Jaggard 1998).

عمده‌ترین محدودیت چغندر قند در دستیابی به عملکرد بالقوه در اروپا، ناتوانی در جذب تشعشع در اوایل فصل رشد گزارش شده است (Scott and Jaggard 1978) که طی شصت سال گذشته، پیشرفت در اصلاح نباتات، زراعت، فیزیولوژی و مکانیزاسیون با افزایش رشد اولیه سایه‌انداز تا حدود زیادی این محدودیت را برطرف ساخته است (Scott and Jaggard, 2000). مطالعات اقلیمی

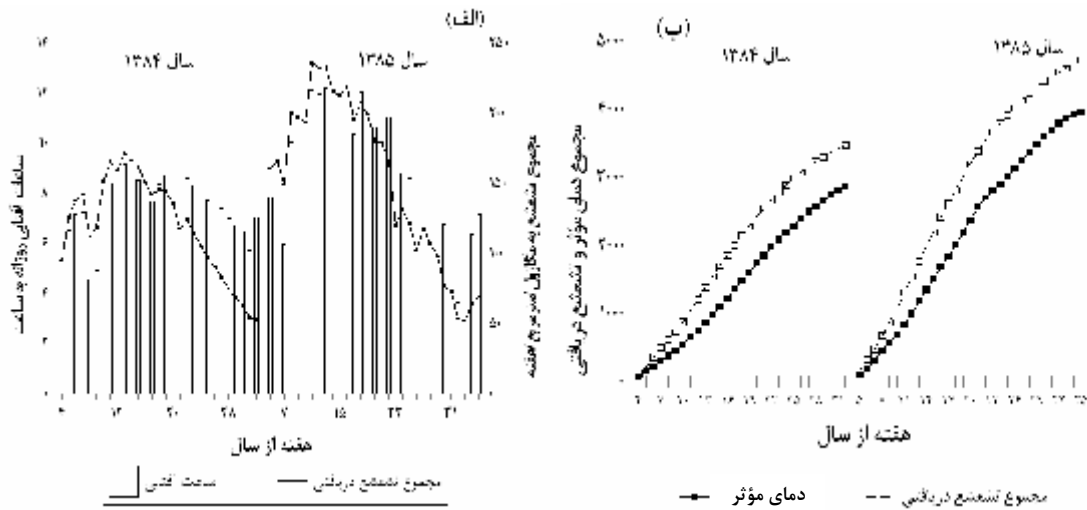
نحوه دریافت *PAR* توسط سایه‌انداز گیاه، یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده فتوسنتز سایه‌انداز و عملکرد گیاه زراعی محسوب می‌شود (Stewart et al. 2003). از سوی دیگر، مطالعه رشد و تجمع زیست‌توده (*Biomass*) در گیاهان زراعی مختلف نشان داده است که تولید زیست‌توده به شاخص سطح برگ (*LAI*) و مقدار تشعشع دریافت‌شده در طول دوره رشد (*fi*) وابسته است (Asseng et al. 2004; Wolf et al. 2007; Yano et al. 2002). در دیگر مطالعات، تشعشع دریافت‌شده با اندازه‌گیری *LAI* (Bonhomme 2000) و در دست داشتن شاخص کارایی دریافت تشعشع یا ضریب استهلاک نوری یا خاموشی تشعشع (*K*) برآورد شده است (Lindquist et al. 2005). مطالعه پیش‌رو با هدف ارزیابی تأثیر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر میزان دریافت تشعشع از طریق تغییرات ضریب خاموشی تشعشع در سه رقم زراعی چغندرقد در منطقه کرج در یک دوره دوساله اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو سال زراعی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مرحوم عبدالرسول مطهری (کمال‌آباد کرج) با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا انجام شد. روند تغییرات هفتگی مؤلفه‌های مهم هواشناسی طی دو سال اجرای آزمایش (۱۳۸۵-۱۳۸۴) در منطقه کرج در شکل ۱ نشان داده شده است.

تفاوت در عملکرد نهایی به‌طور مستقیم به میزان تشعشع دریافت شده ارتباط دارد (Weeden 2000). سایه‌انداز گیاهی در سطوح بالای تراکم (۱۲ و ۲۴ بوته در مترمربع) در مقایسه با تراکم‌های کم (۳ بوته در مترمربع)، در زمان زودتری (اوایل جولای در مقایسه با اوایل اوت) به مرحله پوشش کامل سطح زمین می‌رسد (Clark and Loomis 1978).

مدت زمان دریافت نور توسط گیاه در طول فصل را می‌توان با انتخاب رقم‌هایی با طول دوره رسیدن مطلوب، مدیریت کرد (Purcell et al. 2002). ارزیابی تأثیر تاریخ کاشت بر دریافت تشعشع خورشیدی و تولید محصول چغندرقد در نیوزلند نشان داد که بیش‌ترین عملکرد شکر (۹ تا ۱۵ تن در هکتار) با دریافت ۱۱۶۶ مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی در هر مترمربع به دست می‌آید. در این مطالعه، با کاهش ۳۷ درصدی دریافت نور، عملکرد شکر نیز به شدت کاهش یافت (Martin 1986). کوتاهی فصل رشد، در اثر تأخیر در کاشت، موجب می‌شود که گیاه نتواند به موقع تاج خود را گسترش دهد و از پتانسیل محیطی به خوبی استفاده کند و لذا، قبل از رسیدن به حداکثر رشد رویشی، سرمای پاییزه از سرعت رشد چغندرقد کاسته و منجر به تولید ریشه‌های کوچک‌تر می‌شود (حبیبی و همکاران ۱۳۸۳). بنابراین، استقرار زود هنگام محصول در سطح مزرعه با افزایش سطح برگ و ایجاد امکان دریافت تشعشع در ماه‌های اردیبهشت و خرداد که مصادف با حداکثر تابش خورشیدی است، شرایط دستیابی به عملکرد بالا را فراهم می‌سازد (Fortune et al. 1999).



شکل ۱ روند تغییرات هفتگی (الف) میانگین ساعات آفتابی و مجموع تشعشع تابیده و (ب) مجموع دمای مؤثر و تشعشع دریافتی طی دو سال اجرای آزمایش (۱۳۸۴ و ۱۳۸۵) در منطقه کرج

عملیات زراعی انجام شده در دو سال

اجرای آزمایش در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱ برخی مشخصات مزرعه و عملیات زراعی اجرای آزمایش طی سال‌های ۱۳۸۴-۸۵ (کمال‌آباد-کرج)

سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۸۴	شرح عملیات
یونجه - گندم - آیش	یونجه - یونجه	گیاه زراعی قبلی (تناوب)
مرداد ۱۳۸۴	-	ساب سویلر
مهر ۱۳۸۴	فروردین ۱۳۸۴	افست
آبان ۱۳۸۴	آبان ۱۳۸۳	شخم عمیق
آبان ۱۳۸۴	-	لولر
آبان ۱۳۸۴	-	دیسک سبک
فروردین ۱۳۸۵	فروردین ۱۳۸۴	ایجاد خطوط کاشت
۱۰۰	۲۵۰-۳۰۰	کود فسفره (کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار)
-	۳۰۰	کود نیتروژن (کیلوگرم اوره در هکتار) (تنک و وجین اول)
(۱) ۳ اردیبهشت	(۱) ۲۴ فروردین	تاریخ کاشت
(۲) ۱۱ خرداد	(۲) ۳ خرداد	تاریخ برداشت
۲۸ آبان	هفتم آبان	

هکتار برای سه رقم زراعی چغندر قند به نام‌های منوژرم جلگه، هیبرید ۴۲۸ و DS4027 در دو سال زراعی ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به مورد اجرا قرار گرفت. چارچوب تحقیق به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد.

دو تاریخ کاشت در اولین فرصت ممکن (به ترتیب ۲۴ فروردین و سوم اردیبهشت در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵) و چهل روز بعد (به ترتیب سوم خرداد و ۱۱ خرداد در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵)، در چهار سطح تراکم بوته مورد نظر ۶۰، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ هزار بوته در

مساحی شد. به علت زیادبودن حجم هر نمونه، یک زیرنمونه ۵۰۰ گرمی از هر کدام تهیه و سطح برگ آن اندازه‌گیری و به مجموع برگ‌های سبز تعمیم داده شد. همچنین پس از اندازه‌گیری وزن تر برگ، دم‌برگ، طوقه و ریشه در هر نمونه، یک زیرنمونه ۵۰۰ گرمی تهیه و در آون (HEL10S-Germany) ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده و سپس وزن خشک اندام‌های گیاهی محاسبه و به کل نمونه تعمیم داده شد.

مقدار نور در پایین و بالای سایه‌انداز بین ساعات ۱۱/۰۰ تا ۱۳/۰۰ در طول دوره رشد، با استفاده از دستگاه نورسنج در هشت نوبت اندازه‌گیری شد. برای این منظور از دستگاه Sunscan مدل Delta-T S3S1 استفاده به عمل آمد. در سطح نمونه‌گیری، سه بار نور در پایین سایه‌انداز، اندازه‌گیری و میانگین حاصل به عنوان میزان نور در پایین سایه‌انداز منظور شد و نور ورودی در ارتفاع ۱/۵ متری بالای کرت نیز به عنوان نور بالای سایه‌انداز، مدنظر قرار گرفت.

ضریب خاموشی تشعشع سایه‌انداز (k) براساس رابطه ۱ از اندازه‌گیری PAR انتقال یافته $(TPAR, \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ دریافت شده $(PAR, \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ و LAI (مترمربع برگ بر مترمربع زمین) سبز در زمان نمونه‌برداری برآورد شد (Lindquist et al. 2005):

$$k = \frac{-\ln \frac{TPAR}{PAR}}{LAI} \quad \text{رابطه (۱)}$$

سطوح تاریخ کاشت به کرت‌های اصلی، تراکم بوته به کرت‌های فرعی و رقم به کرت‌های فرعی فرعی اختصاص داده شد. هر کرت فرعی فرعی شامل هشت خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و به طول ۱۰ متر بود. فاصله بین تکرارها یک و نیم متر و فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر بود.

به منظور برآورد تغییرات مؤلفه‌های رشد در سطوح مورد آزمایش شامل تاریخ کاشت، تراکم بوته و رقم تأثیر عوامل زراعی از حدود یک هفته پس از تنک، به صورت نمونه‌گیری از سطح کرت‌های آزمایشی آغاز شد. در طول دوره رویش، به جز برداشت نهایی، پنج بار نمونه‌گیری از هر تاریخ کاشت صورت گرفت. در هر نمونه‌گیری با حذف یک متر از ابتدای هر خط و منظور کردن دو خط از طرفین جهت حذف اثر حاشیه‌ای، نمونه‌گیری به صورت تخریبی از خطوط دوم و سوم (خطوط وسطی) به طول یک متر از هر خط داخل کرت در سه تکرار (در مجموع، مساحت ۳ مترمربع) قبل از ساعت ۱۰ صبح انجام شد. نمونه‌ها بلافاصله در کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفته و پس از ثبت مشخصات به آزمایشگاه شیمی خاک مؤسسه تحقیقات چغندرقد منتقل شدند.

پس از جداسازی پهنک و دم‌برگ نمونه‌ها و حذف برگ‌هایی که بیش از نیمی از سطح آن‌ها زرد یا خشک شده بود، سطح پهنک برگ‌های سبز توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf area meter) (دوربین این دستگاه از نوع RGA مدل ۲۰۰۰ و دستگاه کنترل آن از شرکت ΔT مدل RS232 بود)

که در این رابطه، مقدار عددی A و B برای مناطق شمال غرب تهران به ترتیب معادل $۰/۵۱$ و $۰/۳۵$ ؛ RH ، میانگین رطوبت نسبی روزانه (درصد) و مقدار Q_0 و N بر اساس عرض جغرافیایی منطقه اجرای آزمایش (۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی) برآورد شد.

نتایج و بحث

تابش خورشیدی

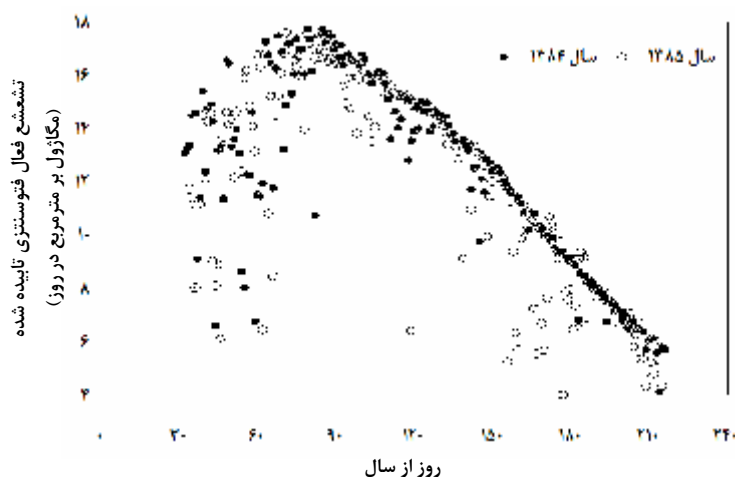
در مطالعه حاضر، میزان تشعشع فعال فتوستنتزی (PAR) در دو سال اجرای آزمایش از حدود هشت مگاژول بر مترمربع در روز در اوایل اردیبهشت ماه آغاز و پس از دستیابی به بیشترین مقدار خود طی خرداد (حدود $۱۷/۷۵-۱۷/۶۱$ مگاژول بر مترمربع در روز) به تدریج از مقدار آن تا پایان فصل رشد کاسته شد (شکل ۲). اختلاف استاندارد روزانه جهت

جهت اندازه‌گیری مجموع تشعشع (مگاژول بر مترمربع در روز) از رابطه ۲ (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۱) استفاده شد.

$$\frac{Q_s}{Q_0} = a + b \frac{n}{N} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، Q_s ، تشعشع خورشید که به زمین برخورد می‌کند (مگاژول بر مترمربع در روز) (رابطه ۳)؛ Q_0 ، میزان تشعشع خورشید در بالای اتمسفر (مگاژول بر مترمربع در روز) (مستخرج از آمار هواشناسی کرج)؛ n ، تعداد ساعات آفتابی مشاهده شده (ساعت)؛ N ، تعداد ساعات آفتابی ممکنه یا طول روز نجومی (ساعت) و a و b ضرایب آنگستروم که به ترتیب برای ایستگاه شمال غرب تهران معادل $۰/۲۸$ و $۰/۴۲$ است.

$$\frac{Q_s}{Q_0} = A \times \exp \left[B \left(\frac{n}{N} - RH \right) \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$



شکل ۲ تشعشع فعال فتوستنتزی تابیده شده در روزهای مختلف سال شمسی در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵

۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ برآورد شد. دامنه پراکنش نقاط برای سال ۱۳۸۴ ($±۱۲/۶۸$ مگاژول بر مترمربع در روز) کم‌تر

تابش تشعشع خورشیدی معادل $۳/۵۶$ و $۳/۹۱$ مگاژول بر مترمربع در روز به ترتیب برای سال‌های

سال‌های آزمایش معنی‌دار بود (جدول ۳) و در سال ۱۳۸۵ (۱۸۱۷/۰۴ مگاژول بر مترمربع) معادل ۸/۱۵ درصد بیش از سال ۱۳۸۴ (۱۶۸۰/۲۲ مگاژول بر مترمربع) بود (جدول ۳). با توجه به ثابت بودن محل اجرای آزمایش (و از آنجا، عرض جغرافیایی) و دوره رشد محصول، به نظر می‌رسد اختلاف در میزان *iPAR* طی

مترمربع) و هم‌چنین بیش‌تر بودن مجموع *iPAR* از ابتدای مهر تا زمان برداشت در سال ۱۳۸۵ (۳۱۶/۴۱ مگاژول بر مترمربع) نسبت به سال ۱۳۸۴ (۲۲۵/۸۸ مگاژول بر مترمربع) نیز می‌تواند مبنای اختلاف در میزان رشد و عملکرد محصول قرار گیرد (Kenter et al. 2006).

از سال ۱۳۸۵ ($\pm 15/31$ مگاژول بر مترمربع در روز) بود. در مجموع، متوسط تابش تشعشع فعال فتوسنتزی برای سال ۱۳۸۴ (۱۲/۰۱ مگاژول بر مترمربع در روز) حدود ۰/۶۹ مگاژول بر مترمربع در روز بیش از سال ۱۳۸۵ (۱۱/۳۲ مگاژول بر مترمربع در روز) برآورد شد (جدول ۲). اختلاف مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده (*iPAR*) در سطح احتمال یک درصد بین دو سال، ناشی از ضریب متفاوت پخش اتمسفر (Ball et al. 2000) و توسعه موفق‌تر سایه‌انداز چغندرقد در سال ۱۳۸۵ باشد. از سوی دیگر، سطوح بالای تشعشع خورشیدی در حدود ۶۵ روز پس از کاشت چغندرقد در سال ۱۳۸۵ (۱۰۱۸/۵۷ مگاژول بر مترمربع) نسبت به سال ۱۳۸۴ (۹۹۶/۸۹ مگاژول بر

جدول ۲ مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی تابیده (*PAR*) و دریافت شده (*iPAR*) برای سه رقم چغندرقد در چهار تراکم

بوته طی دو تاریخ کاشت در دو سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵

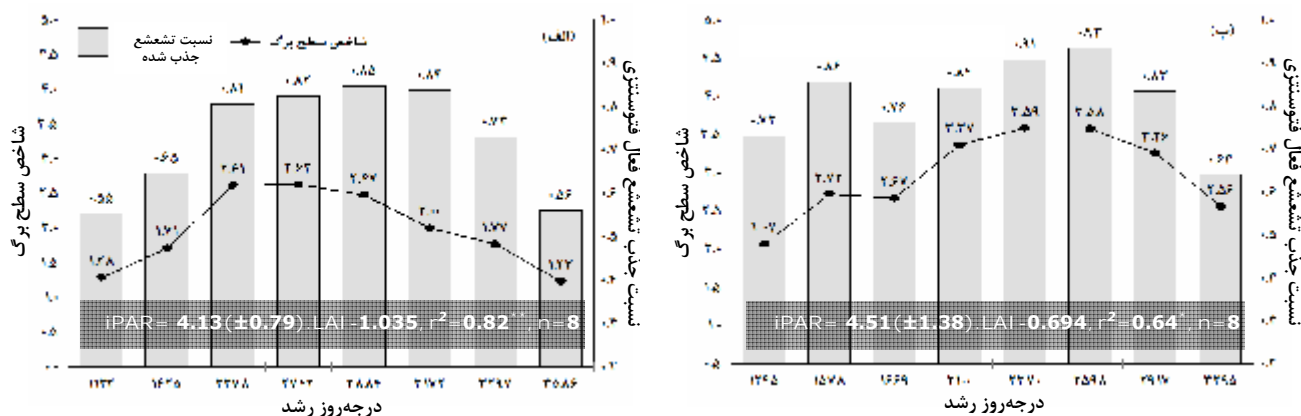
عامل	تشعشع فعال فتوسنتزی (<i>PAR</i>)		
	<i>iPAR</i>	<i>iPAR</i>	<i>PAR</i>
سال	(مگاژول بر مترمربع در فصل)		
۱۳۸۴	۱۶۸۲/۳۱	۹/۳۳	۱۲/۰۱
۱۳۸۵	۱۸۱۹/۱۳	۹/۴۵	۱۱/۳۲
تاریخ کاشت	اولین فرصت ممکن		
چهل روز بعد	۱۹۷۸/۷۰	۹/۶۰	۱۱/۷۸
تراکم بوته	چهل روز بعد		
۶۰ هزاربوته در هکتار	۱۶۶۸/۹۵	۸/۹۴	۱۱/۶۶
۷۵ هزاربوته در هکتار	۱۷۷۱/۶۹	۹/۴۸	۱۱/۶۶
۹۰ هزاربوته در هکتار	۱۷۳۹/۷۰	۹/۳۳	۱۱/۶۶
۱۰۵ هزاربوته در هکتار	۱۸۲۲/۵۵	۹/۸۰	۱۱/۶۶
رقم	جلگه		
۴۲۸	۱۷۵۲/۵۲	۹/۴۱	۱۱/۶۶
دی‌اس ۴۰۲۷	۱۷۸۴/۹۴	۹/۵۸	۱۱/۶۶
میانگین کل	۱۷۱۴/۶۹	۹/۱۷	۱۱/۶۶
	۱۷۵۰/۷۲	۹/۳۹	۱۱/۶۶

دریافت تشعشع خورشیدی

با توجه به رابطه خطی و تنگاتنگ میان پوشش سایه‌انداز و دریافت نور در برخی گیاهان مانند انواع لوبیا و چغندرقد (Steven *et al.*, 1986) در مطالعه حاضر نیز افزایش سطح برگ موجب افزایش دریافت PAR شد. رابطه بین میزان دریافت تشعشع با شاخص سطح برگ در سال ۱۳۸۴ ($r^2=0.82^{**}$) و ۱۳۸۵ ($r^2=0.64^*$) معنی‌دار شد (شکل ۳). بیش‌ترین نسبت دریافت تشعشع (f_i) در سال ۱۳۸۴ (۸۵ درصد) و ۱۳۸۵ (۹۳ درصد) پس از دریافت ۲۸۸۴ و ۲۵۸۹ درجه‌روز رشد (مقارن با دهه سوم شهریور در منطقه کرج) با شاخص سطح برگ معادل ۳/۵-۲/۵ حاصل شد (شکل ۳). این نتایج نشان می‌دهد که دریافت ۹۵ درصد تشعشع تابیده مستلزم LAI بیش از ۳/۵ است. از آنجایی که میزان رشد اولیه برگ تا زمان پوشش کامل سایه‌انداز در چغندرقد به‌طور مستقیم توسط دمای هوا کنترل می‌شود (Scott and Jaggard 1992) و میانگین دما در سال ۱۳۸۴ کم‌تر از سال ۱۳۸۵ بود، بنابراین، امکان توسعه سایه‌انداز و دریافت مؤثر تشعشع در سال ۱۳۸۴ فراهم نشد. ازسوی دیگر، با توجه به اهمیت انطباق پوشش کامل برگ با زمان بیش‌ترین تابش تشعشع در مناطق معتدله (Rinaldi and Vonella 2006)، زمان حداکثر تابش تشعشع در منطقه کرج (خرداد) طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵، مجموع واحد حرارتی دریافت شده به ترتیب معادل ۱۱۴۵-۴۹۵ و ۱۲۴۰-۶۰۶ درجه روز رشد بود که موجب شد تا

شاخص سطح برگ در سال ۱۳۸۵ (۲/۰۷) به نحو قابل ملاحظه‌ای بیش از سال ۱۳۸۴ (۱/۲۸) باشد و از این رو، در سال ۱۳۸۵ امکان دریافت ۷۳ درصد از تشعشع در مقابل ۵۵ درصد در سال ۱۳۸۴ فراهم شود (شکل ۳).

بررسی تأثیر عوامل زراعی بر میزان تشعشع دریافت‌شده ($iPAR$) نشان داد که کشت به‌هنگام تأثیر قطعی و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد بر نسبت تشعشع دریافت‌شده توسط سایه‌انداز چغندرقد دارد (جدول ۳). در مجموع دو سال اجرای آزمایش مقدار $iPAR$ در تاریخ کاشت به‌هنگام (۱۹۷۴/۵۳ مگاژول) معادل ۲۹/۷ درصد بیش از کشت کربه چغندرقد (۱۵۲۲/۷۳ مگاژول) بود (جدول ۳) و هم‌چنین نتایج نشان داد که به ازای هر روز تأخیر کاشت چغندرقد در شرایط این آزمایش، گیاه از دریافت ۰/۷۵ درصد از مجموع PAR بازمی‌ماند. از آنجایی که، عمده‌ترین محدودیت چغندرقد در دستیابی به عملکرد حقیقی، ناتوانی در جذب تشعشع در اوایل فصل رشد تشخیص داده شده است (Scott and Jaggard 1978)، انتظار بر این است که تأخیر در زمان کاشت از طریق عدم گسترش به‌هنگام سایه‌انداز گیاهی و عدم هم‌زمانی LAI حداکثر با بیش‌ترین تابش تشعشع و در نتیجه، تولید ریشه‌های کوچک‌تر شده (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۳) و لذا دستیابی به عملکرد بالا را غیرممکن می‌نماید (Fortune *et al.* 1999).



شکل ۳ شاخص سطح برگ و درصد جذب تشعشع فعال فتوسنتزی طی دوره رشد چغندر قند در سال (الف) ۱۳۸۴ و (ب) ۱۳۸۵

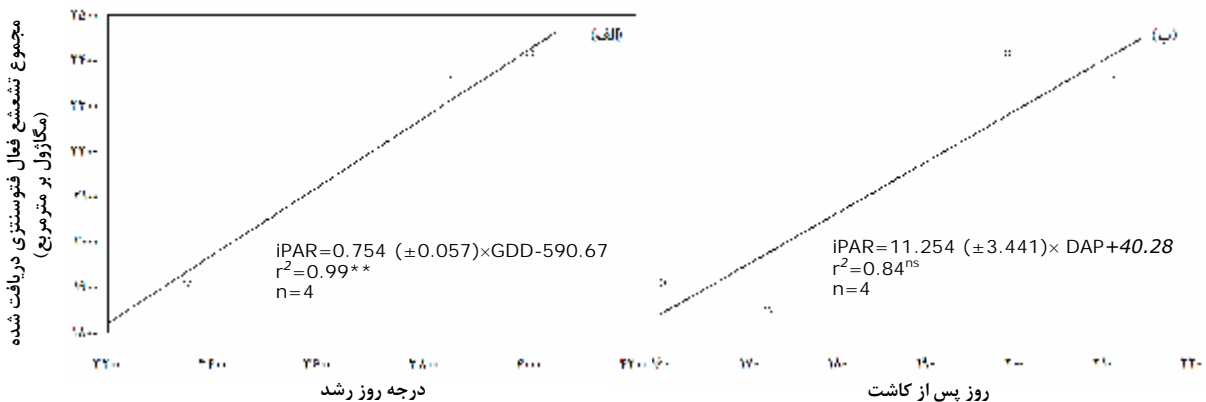
جدول ۳ خلاصه تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین دو ساله (۱۳۸۴ و ۱۳۸۵) مؤلفه‌های دریافت نور و ضریب خاموشی تشعشع در سطوح تاریخ کاشت، تراکم بوته و رقم

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع تشعشع دریافتی (مگاژول)	ضریب خاموشی تشعشع
سال (Y)	۱	۴۴۹۲۵۱**	۲۰۰۰۴۲۳**
سال (تکرار)	۴	۲۰۸	۶۴
تاریخ کاشت (A)	۱	۴۸۹۸۷۷*	۲۴۲۱ ns
اثر متقابل Y*A	۱	۱۰۹۹۱*	۲۶۲۶ ns
اشتباه اصلی (Ea)	۴	۲۰۸	۵۰۸۲۹
تراکم بوته (B)	۳	۱۱۰۵۸۱ ns	۲۳۴۰۷۲**
اثر متقابل Y*B	۳	۱۶۹۹۹**	۵۲۶۶۶ ns
اثر متقابل A*B	۳	۲۲۰۶۶ ns	۱۹۷۰۷ ns
اثر متقابل Y*A*B	۳	۲۰۲۱۲**	۱۰۶۸۱۶*
اشتباه فرعی (Eb)	۲۴	۲۰۸	۲۴۸۲۰
رقم (C)	۲	۳۹۶۰۷ ns	۴۲۵۲۰ ns
اثر متقابل Y*C	۲	۲۳۹۱۴**	۱۱۵۱۹۲ ns
اثر متقابل A*C	۲	۲۶۷۳۵ ns	۱۰۲۶۹ ns
اثر متقابل Y*A*C	۲	۵۲۸۳**	۲۴۸۰ ns
اثر متقابل B*C	۶	۶۲۱۱ ns	۲۶۲۰۵ ns
اثر متقابل Y*B*C	۶	۱۷۲۵۳**	۱۹۲۰۰ ns
اثر متقابل A*B*C	۶	۳۰۹۱۴ ns	۸۲۱۹۶*
اثر متقابل Y*A*B*C	۶	۱۶۵۸۲**	۵۵۳۷۲ ns
اشتباه فرعی فرعی (Ec)	۶۴	۲۰۸	۲۴۸۰۲
ضریب تغییرات (درصد)			
سال ۱۳۸۴		۱۶۸۰ b	۰/۷۴۹ a
سال ۱۳۸۵		۱۸۱۷ a	۰/۴۶۰ b
تاریخ کاشت			
اولین فرصت ممکن		۱۹۷۵ a	۰/۶۶۳ a
چهل روز بعد		۱۵۲۳ b	۰/۶۱۰ a
تراکم بوته			
۶۰ هزار بوته در هکتار		۱۶۶۱ a	۰/۷۱۷ a
۷۵ هزار بوته در هکتار		۱۷۷۲ a	۰/۶۳۷ ab
۹۰ هزار بوته در هکتار		۱۷۴۰ a	۰/۵۸۴ ab
۱۰۵ هزار بوته در هکتار		۱۸۲۳ a	۰/۴۸۱ b
رقم			
جلگه		۱۷۴۶ a	۰/۵۸۱ a
۴۲۸		۱۷۸۵ a	۰/۵۸۶ a
DS4027		۱۷۱۵ a	۰/۶۴۷ a

ns و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد در هر ستون، اعدادی که ضرایب مشابهی دارند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی دار ندارند.

و از شرق به سمت غرب به واسطه کاهش تشعشع دریافتی است (Pidgeon et al. 2001). معالوصف با تکیه بر شواهد موجود، رشد و عملکرد چغندرقد به طور مستقیم نسبتی از مجموع تشعشع دریافت شده توسط سطح برگ گیاه است (Scott and Jagard 1992; Weeden 2000). اهمیت f_i تا حدی است که جهت برآورد عملکرد چغندرقد در مدل‌های زراعی، رشد گیاه از زمان کاشت تا زمانی که گیاه حاوی ۴ درصد قند است توسط مجموع دما و پس از آن، بر پایه مقدار تشعشع دریافتی تخمین زده می‌شود (Spitters et al. 1990).

در مطالعه حاضر، واکنش f_i نسبت به مجموع دمای مؤثر رشد دریافتی (GDD) مثبت و معنی‌دار ($r^2=0.99^{**}$) اما درقبال تعداد روز پس از کاشت غیرمعنی‌دار ($r^2=0.84^{ns}$) شد (شکل ۴) و نشان داد که جهت تعیین اثر تغییرات طول دوره رشد بر میزان f_i بهتر است از واحد حرارتی دریافت شده به جای تعداد روز دوره رشد چغندرقد استفاده شود. کاهش پتانسیل دریافت تشعشع به واسطه کاشت دیرهنگام، می‌تواند تولید بالقوه زیست‌توده و عملکرد شکر را محدود سازد. کما این‌که مطالعات بلندمدت اقلیمی (سال‌های ۱۹۶۱-۱۹۹۵) در اروپا نیز مبین کاهش پتانسیل عملکرد چغندرقد در این قاره از جنوب به سمت شمال



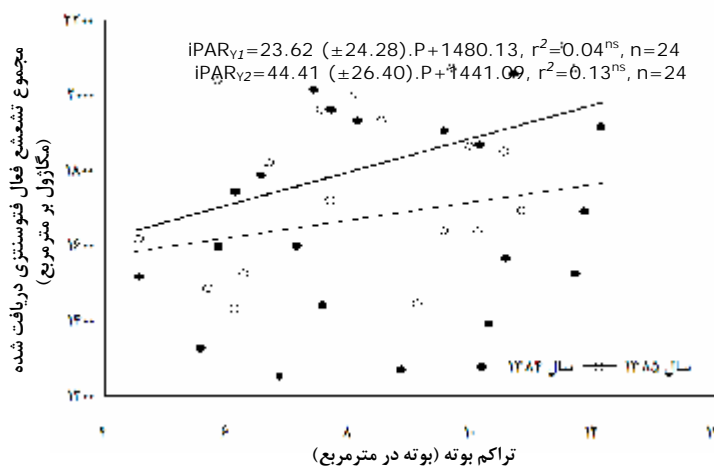
شکل ۴ واکنش مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده ($iPAR$) نسبت به (الف) درجه‌روز رشد (GDD) و (ب) روز پس از کاشت (DAP) چغندرقد

تأثیر معنی‌دار تراکم بوته بر f_i در تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، از تفاوت در واکنش مقدار $iPAR$ نسبت به تغییرات تراکم طی دو سال اجرای آزمایش ناشی شد (جدول ۳ و شکل ۵). بنابراین، می‌توان چنین نتیجه

در مجموع دو سال، تأثیر تراکم بر f_i معنی‌دار نشد (جدول ۳) و ازسوی دیگر، روند تأثیر سطوح واقعی تراکم بوته بر f_i نیز همبستگی خطی مثبت اما، غیرمعنی‌دار با تغییرات PAR نشان داد (شکل ۵). عدم

دریافت تشعشع است را می‌توان با انتخاب رقم‌هایی با طول دوره رسیدن مطلوب مدیریت کرد (Purcell et al., 2002)، اما در آزمایش حاضر، تجربه مرکب داده‌ها، مؤید عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین رقم‌های مورد آزمایش از لحاظ f_i بود (جدول ۳).

گرفت که در چغندر قند نیز مانند ذرت (Westgate et al., 1997) و جو (Kemanian et al., 2004) تغییرات تراکم بوته از طریق تأثیر بر مقدار f_i روی کارایی مصرف تشعشع (e) تأثیر نمی‌گذارد. با وجود اینکه طول زمانی که گیاه در طول فصل، قادر به



شکل ۵ واکنش مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده نسبت سطوح مختلف تراکم

ضریب خاموشی تشعشع (K)

متغیر بود (شکل ۶). میانگین ضریب خاموشی تشعشع در کل آزمایش طی دو سال (۰/۶۰۵، جدول ۳) با مقادیر ۰/۶ (Scott and Jaggard 1993) و ۰/۶۱ (Rover 1994) مطابقت داشت و از ۰/۶۳ (Szeicz 1974) و ۰/۶۸ (Clark and Lommiss 1978) کم‌تر بود. K در سال ۱۳۸۴ (۰/۷۴۹) به نحو معنی‌داری بیش از سال ۱۳۸۵ (۰/۴۶۰) بود (جدول ۳)

شکل ۶ رابطه بین شاخص سطح برگ و نسبت دریافت تشعشع فعال فتوسنتزی (f_i) را در سطوح مورد آزمایش عوامل زراعی و رقم‌های مختلف نشان می‌دهد. مقدار f_i از طریق رابطه‌نمایی با شاخص سطح برگ ارتباط معنی‌دار داشت (دامنه تغییرات ضریب تبیین معادلات برازش بین ۰/۴۶-۰/۶۷

K با توجه به شاخص سطح برگ، مراحل مختلف رشد و شرایط زراعی محصول تغییر می‌کند (Kitamura 1975). در مطالعات مربوط به جنبه‌های اکولوژیکی جمعیت‌های گیاهی نیز نشان داده شده است که تراکم بوته و رقم با تأثیر روی K ، بر اهمیت نسبی رقابت بین و درون گونه‌ای تأثیر می‌گذارند (Day 1986). به‌هرحال، جهت به حداکثر رساندن دریافت تشعشع، ایجاد فاصله مناسب بین بوته‌ها (بین و داخل ردیف‌های کاشت) مهم و بحرانی محسوب می‌شود (Weeden 2000). افزایش تراکم بوته از ۶/۰ بوته در مترمربع ($K=0/717$) به ۷/۵، ۹/۰ و ۱۰/۵ بوته در مترمربع موجب شد تا ضریب خاموشی تشعشع نیز به ترتیب معادل ۱۱/۲، ۱۸/۶ و ۳۲/۹ درصد کاهش یابد (جدول ۳). کاهش معنی‌دار K نشان داد که با افزایش تراکم، نحوه آرایش فضایی برگ‌ها تغییر یافته و ایستاده‌تر می‌شود. این تأثیر به نحوی بود که در دامنه تراکم ۴ تا ۱۴ بوته در مترمربع، به ازای هر بوته اضافی در واحد سطح معادل ۰/۰۶۴ واحد از ضریب خاموشی تشعشع کاسته شد (شکل ۷). از جمله تبعات کاهش K می‌توان به کاهش کارایی سایه‌انداز در دریافت تشعشع در سطوح بالای تراکم اشاره کرد. این تأثیر به نحوی بود که به‌طور نظری، دریافت ۹۵ درصد تشعشع در

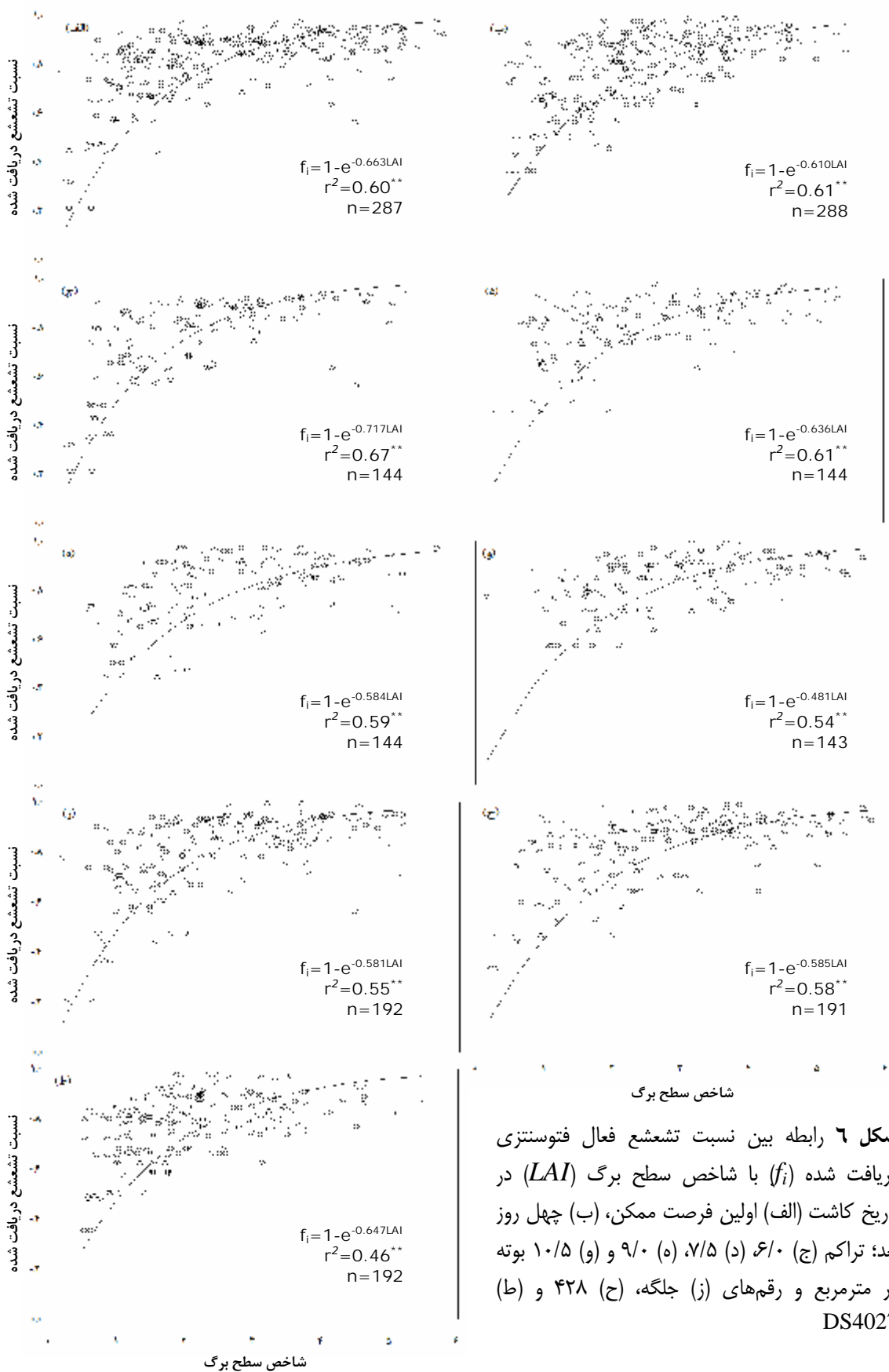
و نشان داد که آرایش فضایی برگ‌ها در سال ۱۳۸۵ نسبت به ۱۳۸۴، عمودی‌تر با پراکنش فشرده‌تر بوده بود. اثر تاریخ کاشت بر K در هر دو سال اجرای آزمایش و تجزیه مرکب داده‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۳). بوته‌های کاشته شده در اولین فرصت ممکن، به ترتیب با شاخص سطح برگ معادل ۲ و ۳ حدود ۷۳ و ۸۶ درصد تشعشع را دریافت و L_5 (شاخص سطح برگی که برای دریافت ۹۵ درصد انرژی تشعشعی موردنیاز است) آن‌ها معادل ۴/۵۲ بود (شکل ۶الف). به تعویق انداختن زمان کاشت به مدت چهل روز موجب شد تا میزان تشعشع دریافت شده در LAI معادل ۲ و ۳ به میزان سه درصد نسبت به تاریخ کاشت اول کاهش یابد و به‌طور نظری معادل ۰/۴۵ بر L_5 بوته‌ها افزوده شود (شکل ۶ب). بنابراین، تأخیر در زمان کاشت گرچه تأثیر معنی‌داری بر K به دنبال نداشت، اما علاوه بر کاهش پتانسیل دریافت تشعشع توسط گیاه موجب کاهش کارایی سایه‌انداز در دریافت تشعشع فعال فتوسنتزی نیز می‌شود.

از بین عوامل زراعی، عامل تراکم بوته و همچنین در یکی از دو سال اجرای آزمایش (۱۳۸۵)، عامل رقم با تأثیر روی این ضریب نشان داد که

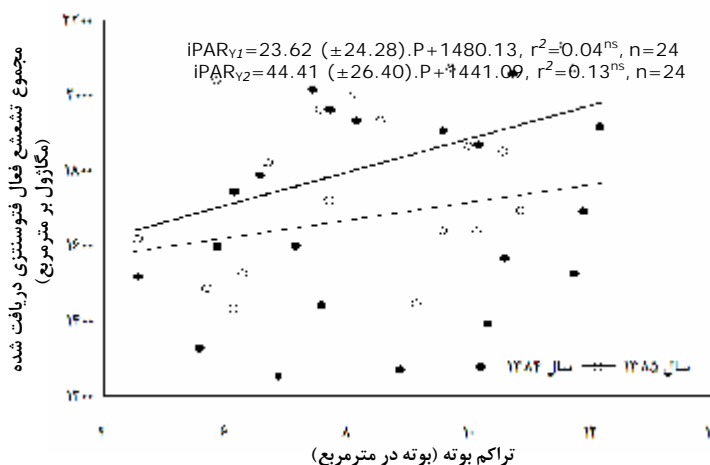
است). این موضوع می‌تواند افزایش دریافت تشعشع پس‌از دستیابی به حداکثر پوشش سایه‌انداز را در سطوح بالای تراکم به دنبال داشته باشد (Weeden, 2000).

تأثیر معنی‌دار رقم بر K به نحوی بود که در سال ۱۳۸۵، ضریب خاموشی تشعشع رقم ۴۲۸ (۰/۳۷۳) به ترتیب معادل ۵۴/۱ و ۷۲/۹ درصد کم‌تر از رقم‌های جلگه و دی‌اس ۴۰۲۷ شد. پایین بودن کارایی دریافت تشعشع در رقم ۴۲۸ موجب شد تا این رقم جهت دریافت ۹۵ درصد تشعشع فعال فتوسنتزی به شاخص سطح برگ معادل ۵/۱۵ در مقایسه با ۴/۴۳ و ۴/۶۴ (به ترتیب برای رقم جلگه و DS4027) نیاز داشته باشد. می‌توان از اختلاف در آرایش فضایی سایه‌انداز رقم‌های مختلف که به‌وسیله ارزش K بیان می‌شود، دلایل اختلاف بین آن‌ها را در کارایی مصرف نور مشخص ساخت (Kiniry et al. 1999).

تراکم ۶/۰ و ۱۰/۵ بوته در مترمربع به ترتیب مستلزم LAI معادل ۴/۱۸ و ۵/۰۵ بود (شکل ۶ج و و). در این مطالعه و با در نظر گرفتن حد پایین و بالای تراکم دیده شد که در شاخص سطح برگ معادل ۲ و ۳ میزان دریافت تشعشع در تراکم ۶/۰ بوته در مترمربع به ترتیب معادل ۷۶ و ۸۹ درصد (شکل ۶ج) و در تراکم ۱۰/۵ بوته در مترمربع، ۷۰ و ۸۴ درصد بود (شکل ۶و). این درحالی است که افزایش تراکم باعث کاهش زمان موردنیاز برای دستیابی به دریافت بیش‌ترین تشعشع و از آنجا، افزایش مجموع کل PAR دریافت شده در طول فصل و تولید زیست‌تودهٔ بیش‌تر در زمان بلوغ گیاه می‌شود (Purcell et al. 2002). در همین ارتباط، جایی که بیش‌ترین LAI در تراکم ۶/۰ بوته در مترمربع (۲/۹۸) پس از دریافت ۲۵۳۵ درجه‌روز رشد ۱۷۴ روز پس از کاشت حاصل شد، این مقدار در تراکم ۱۰/۵ بوته در مترمربع تنها پس از دریافت ۱۷۳۰ درجه‌روز رشد در ۸۹ روز پس از کاشت حاصل شد (نشان داده نشده



شکل ۶ رابطه بین نسبت تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده (f_i) با شاخص سطح برگ (LAI) در تاریخ کاشت (الف) اولین فرصت ممکن، (ب) چهل روز بعد؛ تراکم (ج) ۶/۰ (د) ۷/۵، (ه) ۹/۰ و (و) ۱۰/۵ بوته در مترمربع و رقم‌های (ز) جلگه، (ح) ۴۲۸ و (ط) DS4027



شکل ۵ واکنش مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده نسبت سطوح مختلف تراکم

تأخیر در زمان کاشت گرچه تأثیر معنی‌داری بر K به دنبال نداشت، اما علاوه بر کاهش پتانسیل دریافت تشعشع توسط گیاه موجب کاهش کارایی سایه‌انداز در دریافت تشعشع فعال فتوسنتزی نیز می‌شود. در چغندرقد نیز مانند سایر گیاهان (مانند ذرت و جو) تغییرات تراکم بوته از طریق تأثیر بر مقدار f_i روی عملکرد محصول تأثیر نمی‌گذارد. کاهش معنی‌دار K همراه با افزایش تراکم نیز نشان داد که تراکم بالای بوته با تأثیر بر نحوه آرایش فضایی برگ‌ها، موجب رشد ایستاده‌تر آنها می‌شود. از سوی دیگر، نتایج سال ۱۳۸۵ این امر را نشان می‌دهد که در این سال، مقدار $iPAR$ بیشتر از سال ۱۳۸۴ بود، که این موضوع می‌تواند مبنای نوسانات عملکرد محصول در سال‌های مختلف باشد.

در مجموع، بیشتر بودن مجموع تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده ($iPAR$)، سطوح بالای تشعشع خورشیدی در حدود ۶۵ روز پس از کاشت چغندرقد و همچنین بیش‌تر بودن مجموع $iPAR$ از ابتدای مهر تا زمان برداشت در سال ۱۳۸۵ نسبت به سال ۱۳۸۴ می‌تواند مبنای اختلاف در میزان رشد و عملکرد محصول قرار گیرد. تغییرات ضریب خاموشی تشعشع در دو سال اجرای آزمایش نیز نشان داد که این ویژگی را نمی‌توان به عنوان جزء ثابت مدل‌های رشد در نظر گرفت و احتمال دارد در واکنش نسبت به میزان تشعشع تغییر یابد. از سوی دیگر، رابطه بین میزان دریافت تشعشع با شاخص سطح برگ نشان داد که دریافت ۹۵ درصد تشعشع تابیده در منطقه کرج مستلزم LAI بیش از ۳/۵ است. از نقطه نظر تأثیر عوامل زراعی،

References:**فهرست منابع مورد استفاده:**

- حبیبی، د. نورمحمدی، ق. کریمی آبادچی، م.م. مجیدی هروان، ا و درویش، ف. ۱۳۸۳. اثرات تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد ریشه و عیار چغندر قند. علوم کشاورزی، ۱۰(۱): ۲۲-۳۳.
- Asseng S, Jamieson PD, Kimball B, Pinter P, Sayre K, Bowden JW, Howden SM (2004) Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO₂. *Field Crops Res.* 85: 85-102.
- Ball RA, Purcell LC, Vories ED (2000) Optimizing soybean plant population for a short-season production system in the southern USA. *Crop Sci.* 40: 757-764
- Bonhomme R (2000) Beware of comparing RUE values calculated from PAR vs. solar radiation or observed vs. intercepted radiation. *Field Crop Res.* 68:247-252
- Brown KF, Messem AB, Dunham RJ, Biscoe PV (1987). Effect of drought on growth and water use of sugar beet. *J. Agr. Sci. (Camb.)*. 109: 421-435
- Cadersa Y, Govinden N (1999) Relationship between canopy cover and light interception in potato in a tropical climate. *Food and Agric. Res. Council*, 137-144
- Clark EA, Loomis (1978) Dynamics of leaf growth and development in sugar beets. *J.A.S.S.B.T.* 20 (2): 97-113
- Day W (1986) A simple model to describe variation between years in the early growth of sugar beet. *Field Crops Res.* 14(3): 213-220
- De Koeijer TJ, De Buck AJ, Wossink GAA, Onema J, Renkema JA, Struik PC (2003) Annual variation in weather: its implications for sustainability in the case of optimising nitrogen input in sugar beet. *Europ. J. Agron.* 19: 251-264
- Fortune RA, Burke JI, Kennedy T, O'Sullivan E (1999) Effect of early sowing on the growth, yield and quality of sugar beet. *Crops Res. Centre, Oak Park, No 20, 25p*
- Hamer PJC, Carr MKV, Wright E (1994) Crop production and water use. II. The development and validation of a water-use model for sugar beet. *J. Agric. Sci. Camb.* 123: 15-24
- Jaggard KW, Werker AR (1999) An evaluation of the potential benefits and costs of autumn-sown sugarbeet in NW Europe. *J Agric Sci. Camb.* 132(1): 91-102

- Kemanian AR, Stöckle CO, Huggins DR (2004) Variability of barley radiation-use efficiency. *Crop Sci.* 44:1662–1672
- Kenter C, Hoffmann CM, Märlander B (2006) Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *Europ. J. Agron.* 24(1):62-69
- Kiniry JR, Tischler CR, Van Esbroeck GA (1999) Radiation use efficiency and leaf CO₂ exchange for diverse C₄ grasses. *Biomass and Bioenergy.* 17: 95-112.
- Kitamura T (1975) Studies on utilization of solar energy in sugar beet plants. 1. The relationship between transpiration and photosynthesis with differences in structure of community in sugar beet under field conditions. *Proc. of Sugar Beet Res. Ass.* 17: 211-221
- Lindquist JL, Arkebauer TJ, Walters DT, Cassman KG, Dobermann A (2005) Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agron. J.* 97: 72–78
- Liniewicz K, Wojcik S (1991) Actual sunshine duration and yielding and chemical composition of sugar beet. *Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych.* 396: 101-104
- Martin RJ (1986) Radiation interception and growth of sugar beet at different sowing dates in Canterbury. *New Zealand J. Agric. Res.* 29(3): 381-390
- Pidgeon JD, Werker AR, Jaggard KW, Richter GM, Lister DH, Jones PD (2001) Climatic impact on the productivity of sugar beet in Europe, 1961–1995. *Agric. and Forest Meteor.* 109(1): 27-37
- Purcell LC, Ball RA, Reaper JD, Vories ED (2002) Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Sci.* 42:172-177
- Rinaldi M, Vonella AV (2006) The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrigation in Southern Italy: water and radiation use efficiency. *Field Crops Res.* 95:103-114
- Rover A (1994) Light interception and yield as influenced by leaf area index of sugarbeet. *Zuckerindustrie.* 119(8): 664-670
- Scott RK, Allen EJ (1978) Crop physiological aspects of importance to maximum yields - potatoes and sugar beet. UK, Agriuctural Development and Advisory Service;

- Agricultural Research Council: Maximising yields of crops. Proceedings of a symposium organized jointly by the Agricultural Development and Advisory Service and the Agricultural Research Council, 25-30
- Scott RK, Jaggard KW (1978) Theoretical criteria for maximum yield. *In: Proc. of the 41st Winter Cong. Institut Int. de Recherches, Betteravieres*, pp. 179-198
- Scott RK, Jaggard KW (1992) Crop growth and weather: can yield forecasts be reliable? 55e *Congres d'hiver, Bruxelles, Palais des Congres*, pp. 169-187
- Scott RK, Jaggard KW (1993) Crop physiology. pp. 279-309. *In: D.A. Cooke and R.K. Scott (ed.) The sugar beet crop: Science into Practice. Chapman and Hall, London*
- Scott RK, Jaggard KW (2000) Impact of weather, agronomy and breeding on yields of sugar beet grown in the UK since 1970. *J. Agric. Sci. Camb.*, 134: 341-352
- Scott RK, English SD, Wood DW, Unsworth MH (1973) The yield of sugar beet in relation to weather and length of growing season. *J. Agric. Sci. Camb.*, 81(2):339-347
- Spitters CJT, Kiewiet B, Schiphouwer T (1990) A weather-based yield-forecasting model for sugar beet. *Neth. J. Agric. Sci.* 38:731-735
- Steven MD, Biscoe PV, Jaggard KW, Paruntu J (1986) Foliage cover and radiation interception. *Field Crops Res.* 13:75-87
- Stewart DW, Costa C, Dwyer LM, Smith DL, Hamilton RI, Ma BL (2003) Canopy structure, light interception, and photosynthesis in maize. *Agron. J.* 95:1465
- Szeicz G (1974) Solar radiation in crop canopies. *J. App. Ecol.* 11(3):1117-1156
- Weeden BR (2000) Potential of sugar beet. Atherton Tableland. Rural Industries Research and Development Corporation Pub. No 167
- Werker AR, Jaggard KW (1998) Dependence of sugar beet yield on light interception and evapotranspiration. *Agric. Forest Meteor.* 89:229-240
- Westgate ME, Forcella F, Reicosky DC, Somsen J (1997) Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield. *Field Crops Res.* 49:249-258

- Wolf J, Van Oijen M, Kempenaar C (2002) Analysis of the experimental variability in wheat responses to elevated CO₂ and temperature. *Agric. Eco. Env.* 93: 227-247
- Yano T, Aydin M, Haraguchi T (2007) Impact of climate change on irrigation demand and crop growth in a Mediterranean environment of Turkey. *Sensors*, 7: 2297-2315
- Zanetti P, Delfine S, Alvino A (1999) A mathematical approach for estimating light absorption by a crop from continuous radiation measurements and restricted absorption data. *Comp. Electro. Agric.*, 22: 71-81