



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزبولوژی گیاهان"

دوره اول، شماره دوم، تابستان ۹۳

<http://arpe.gonbad.ac.ir>

بر آورد ضریب خاموشی و کار آیی مصرف نور در باقلا (*Vicia faba L.*)

عبدالخلیل حسن زاده^۱، *علی راحمی کاریزکی^۲، علی نخزری مقدم^۲ و عباس بیابانی^۲
دانشجوی کارشناسی ارشد رشته کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه گنبد کاووس، ^۱استادیار گروه تولیدات گیاهی،
دانشگاه گنبد کاووس، ^۲دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه گنبد کاووس
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۸

چکیده

هدف از این مطالعه به دست آوردن مقادیر ضریب خاموشی (K_s) و کار آیی مصرف نور (RUE) در باقلا در شرایط مطلوب زراعی و همچنین ارزیابی پایداری این پارامترها تحت شرایط مختلف تاریخ کاشت و تراکم بوته بود. به این منظور، آزمایشی روی باقلا رقم برکت، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل تاریخ کاشت (در سه سطح شامل هفت و آذر ۲۴ و ۱۷ دی) و تراکم بوته (در چهار سطح شامل هشت، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ بوته در مترمربع)، با چهار تکرار در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس انجام شد. شاخص سطح برگ، دریافت تشعشع و میزان تجمع ماده خشک از سبز شدن تا رسیدگی اندازه‌گیری شدند. در این تحقیق بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۷۱) از تاریخ کاشت اول و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بدست آمد. متوسط مقدار K_s و RUE به ترتیب ۰/۷۵ و ۲/۴۴ بود. مقادیر K_{PAR} به دست آمده برای تیمارهای تاریخ کاشت و تراکم تفاوت معنی‌داری با هم داشتند اما اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم معنی‌دار نبود. با افزایش هر واحد تراکم، K_{PAR} به مقدار ۱/۲۵ کاهش یافت. در هر تاریخ کاشت، تراکم گیاهی اثری بر RUE نداشت، اما تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت مختلف مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: ضریب خاموشی، کار آیی مصرف نور، تراکم، باقلا

*مسئول مکاتبه: alirahemi@yahoo.com

مقدمه

تولید ماده خشک به شاخص سطح برگ^۱ (LAI)، مقدار تشعشع دریافت شده در طول دوره رشد و کارایی گیاه در تبدیل تشعشع دریافت شده وابسته است (Yano *et al.*, 2007; Ouzuni Douji *et al.*, 2008). شاخص سطح برگ، بیانگر نسبت سطح برگ (فقط یک طرف) به سطح زمین اشغال شده توسط محصول است. در مراحل اولیه رشد، جذب و دریافت نور تا حد زیادی به سرعت گسترش برگها بستگی دارد. علاوه بر این، اندازه و دوام سطح برگ، سرعت و طول مدت تجمع ماده خشک در گیاه را تعیین می کند (Bakhshandeh *et al.*, 2011; Carretero *et al.*, 2010). توسعه و گسترش سطح برگ در گیاهان زراعی به عوامل مختلفی مانند دما، تراکم بوته در واحد سطح، میزان مواد غذایی در دسترس، خصوصیات ریخت‌شناسی ژنوتیپها و سال زراعی (به دلیل متنوع بودن عوامل محیطی) بستگی دارد که این عوامل باعث به وجود آمدن تفاوت‌هایی در شاخص سطح برگ می‌گردند (Ouzuni Douji *et al.*, 2008; Daur *et al.*, 2008).

شاخص سطح برگ به همراه آرایش و زاویه برگها در تک بوته، تعیین کننده میزان نفوذ نور به داخل پوشش گیاهی و کف کانوپی است (Kiniry *et al.*, 2005; Carretero *et al.*, 2010). قدک ساز و همکاران (Ghadaksaz *et al.*, 2011) با مطالعه‌ی تراکم (۴۵، ۵۵ و ۶۵ بوته در متر مربع) و ارقام مختلف (زهره، شامی و جزایری) در گیاه باقلا بیان کردند که گیاه باقلا در تراکم‌های بالاتر نسبت به تراکم‌های پایین‌تر، سریع‌تر به حداکثر شاخص سطح برگ می‌رسد، بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به رقم زهره بود که طی مراحل اوایل گل‌دهی و نمو غلاف، دیده شد. تشعشع خورشیدی نقش حیاتی در فتوسنتز ایفا می‌کند. در بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تخمین تولید روزانه بیوماس (ماده خشک) به صورت حاصل ضرب تشعشع خورشیدی (مگاژول بر متر مربع بر روز)، مقدار تشعشع دریافت شده توسط محصول و کارایی تبدیل تشعشع دریافت شده به بیوماس (گرم بر مگاژول) یا کارایی استفاده از تشعشع محاسبه می‌شود (Khan *et al.*, 2010; Rahemi Karizaki *et al.*, 2008).

ضریب خاموشی نور^۲ (K) را می‌توان به صورت مساحت سایه ایجاد شده توسط برگ به مساحت خود برگ تفسیر کرد. برای یک برگ افقی که روی سطح خاک سایه انداخته است، صرف نظر از این که نور از چه جهتی بتابد، مقدار K برابر یک می‌باشد. در وضعیت‌هایی که برگ افقی نباشد، سایه ایجاد شده توسط برگ روی زمین با مساحت خود برگ، برابر نخواهد بود؛ بلکه متناسب با آن است (Rahemi Karizaki, 2011). میزان تشعشع جذب شده توسط محصول، بهره‌وری و استفاده از آن تعیین کننده مقدار ضریب خاموشی است (Ruiz and Bertero, 2008; Confalon *et al.*, 2010).

1- Leaf Area Index

2- The Light Extinction Coefficient

رشد و عملکرد نهایی محصولات زراعی به‌طور عمده به بهره‌وری و استفاده از منابع رشد یعنی آب، مواد غذایی و نور بستگی دارد. از آن‌جا که میزان آب و مواد غذایی محدود است. رشد و بازده نهایی محصولات کشاورزی، وابسته به استفاده از تشعشعات فعال فتوسنتزی است (Yahuza, 2011). اشتوتزل و افهمر (Stutzel and Aufhammer, 1991) میزان K در باقلا را بین ۰/۷۴-۰/۹۹ گزارش نمودند؛ اما کنفالن و همکاران (Confalon *et al.*, 2010) میزان K را برای باقلا ۰/۶۳-۰/۸۱ گزارش کردند.

مقدار ماده خشک تولید شده بر حسب گرم به ازای هر مگاژول تشعشع خورشیدی دریافت شده در طول دوره فصل رشد، کارایی مصرف نور (RUE) نامیده می‌شود (Evangelos *et al.*, 2012). در شرایط مطلوب زراعی، یک رابطه خطی بین ماده خشک تجمعی و تشعشع دریافت شده وجود دارد که شیب این رابطه خطی، کارایی مصرف نور است (Zhang *et al.*, 2009).
راحی کاریزیکی و همکاران (Rahemi Karizaki *et al.*, 2008) طی مطالعه‌ای بر روی گیاه نخود در شرایط مطلوب زراعی، متوسط مقدار RUE را یک گرم بر مگاژول گزارش کردند. ایشان همچنین بیان داشتند که مقدار RUE در طول دوره رشد تا رسیدگی ثابت می‌ماند. کارایی مصرف نور در مورد لوبیا چشم بلبلی مقادیر ۱/۰۵-۲/۹۵ (Marcelis *et al.*, 1998) و ۱/۰۵-۲/۹۵ (Idinoba *et al.*, 2002; Marcelis *et al.*, 1998)، ماش ۰/۹۴ (Marcelis *et al.*, 1998) و لوبیای معمولی ۱/۶ گرم بر مگاژول (Coulson, 1985) گزارش شده است. در رابطه با RUE در باقلا اطلاعات اندکی وجود دارد، میزان RUE را در باقلا، (Silim and Saxena, 1993) ۱/۰۳، (Madeira *et al.*, 1988) ۱/۴۵، (Husain *et al.*, 1988) حدود ۱/۴-۱/۳ و (Fasheun and Dennett, 1982) ۲/۰۴ گرم بر مگاژول گزارش کردند. کنفالن و همکاران (Confalon *et al.*, 2010) نیز طی مطالعه‌ای روی باقلا RUE را حدود ۱/۶۸-۰/۹۸ و مینگواز و همکاران (Minguez *et al.*, 1993)، ۱/۷۹ گرم بر مگاژول گزارش نمودند. با توجه به این‌که اطلاعات اندکی در خصوص ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور در گیاه باقلا وجود دارد، هدف از این مطالعه به‌دست آوردن K و RUE تحت شرایط زراعی دیم (محدود نبودن عناصر غذایی، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز) و ارزیابی پایداری این پارامترها تحت شرایط مختلف تاریخ کاشت و تراکم بود. همچنین از نتایج به‌دست آمده می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو باقلا استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در شرایط دیم و عاری از آفات، علف‌های هرز و بیماری‌ها اجرا شد. گنبد کاووس در ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع ۴۵ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. آب و هوای آن معتدل و مرطوب است و میانگین بارش سالانه حدود ۴۶۵/۹ میلی‌متر است. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد. سپس، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد، که بر اساس نتایج به‌دست آمده بافت خاک لوم رسی سیلتی بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل با دو فاکتور تاریخ کاشت در سه سطح (هفت آذر، ۲۴ آذر و ۱۷ دی) و تراکم کاشت در چهار سطح (هشت، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ بوته در مترمربع) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. برای ایجاد تراکم‌های مختلف، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر برای تراکم هشت بوته در متر مربع، ۱۶/۶۶ سانتی‌متر برای تراکم ۱۲ بوته در مترمربع، ۱۲/۵ سانتی‌متر برای تراکم ۱۶ بوته در مترمربع و ۱۰ سانتی‌متر برای تراکم ۲۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. زمین مورد نظر در سال قبل از آزمایش تحت کشت گندم بود. میزان کود توصیه شده در زمان کاشت، ۲۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار بود. بذور قبل از کاشت با سم کاربوکسی تیرام به‌میزان دو در هزار ضد عفونی شد و در عمق ۵ سانتی‌متری کشت شدند. پس از سبز شدن بذور، در مرحله چهار تا شش برگی تنک کردن بوته‌ها انجام شد. عملیات برداشت به‌منظور محاسبه عملکرد دانه پس از حذف حاشیه‌ها از سطحی معادل سه مترمربع انجام شد. مشکل علف‌های هرز هنگام سبز شدن وجود نداشت و پس از آن نیز به‌صورت هفتگی عملیات وجین به‌صورت دستی انجام شد. در این تحقیق صفات مربوط به سطح برگ، نسبت دریافت تشعشع، مراحل فنولوژیک، نسبت پوشش گیاهی، وزن خشک و ارتفاع بوته در طول فصل رشد محاسبه شد.

تمام اندازه‌گیری‌ها از پنج نمونه گیاهی که از یک نمونه بزرگ‌تر ۱۰ تایی (برای هر کرت) انتخاب شده بودند، صورت گرفت. به‌این طریق که ۲۰ نمونه با حذف حاشیه انتخاب، سپس ۱۰ نمونه به آزمایشگاه منتقل شد و در آزمایشگاه از این ۱۰ نمونه، پنج نمونه متوسط انتخاب شد. سنجش سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج مدل DELTA-T صورت گرفت و در هر مرحله، سطح برگ ۱۰ بوته اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک در هر نمونه‌برداری، برگ‌های سبز، برگ‌های زرد و ریزش یافته، ساقه‌ها، دانه‌ها و پوسته غلاف‌ها به‌صورت جداگانه در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت درون آون قرار گرفتند. سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

برای سنجش نسبت تشعشع دریافتی از کوادرات با ابعاد 0.5×0.5 متر مربع استفاده شد. برای این منظور، در هر نمونه برداری کوادرات به صورت مستقیم در بالای پوشش گیاهی طوری قرار می گرفت که پایه های آن بین ردیف های کاشت قرار داشت. سپس تعداد مربعات داخل کوادرات را شمارش کرده تا از این طریق نسبت پوشش گیاهی ایجاد شده به دست آید.

جدول ۱- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

مقدار	مشخصه
۴۷/۳	گوگرد (قسمت در میلیون)
۱/۱	هدایت الکتریکی (دسی ژیمینس بر متر)
۷/۶	اسدیته گل اشباع
۱۰/۵	درصد مواد خنثی شونده
۱/۱۶	کربن آلی (درصد)
۱۲/۳	فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون)
۴۱۴	پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون)
۳۰	رس (درصد)
۶۲	لای (درصد)
۸	ماسه (درصد)

برای محاسبه تشعشع فعال خورشیدی دریافت شده روزانه از برنامه RLY-calc استفاده شد (Soltani and Yazdi, 2009). این برنامه از چهار صفحه جداگانه تشکیل شده است. برای راه اندازی این برنامه و محاسبه مقادیر شاخص سطح برگ و تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده روزانه و فصلی به مقادیر شاخص سطح برگ اندازه گیری شده در زمان های متعدد در طول فصل رشد و آمار هواشناسی نیاز است.

تغییرات شاخص سطح برگ به منظور توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ نسبت به روزهای پس از کاشت از معادله لجستیک زیر استفاده شد که بهترین برازش را نسبت به نقاط اندازه گیری شده نشان داد:

$$LAI = ((a \times \exp((-a) \times (dap - b) \times c))) / (1 + \exp((-a) \times (dap - b)))^2 \quad (1) \text{ معادله}$$

در این معادله LAI شاخص سطح برگ، dap^1 روز پس از کاشت و a ، b و c ضرایب معادله می باشند (Yin et al., 2003).

ضریب خاموشی (K): برای تعیین ضریب خاموشی از معادله زیر استفاده شد.

$$y = 1 - \exp(-k_{PAR} \times LAI) \quad (2) \text{ معادله}$$

1 - Day after planting

در این معادله Y نسبت پوشش گیاهی، K_{PAR} ضریب خاموشی بر پایه تشعشع فعال فتوسنتزی و LAI شاخص سطح برگ می‌باشد. ضریب خاموشی به‌دست آمده بر پایه تشعشع فعال فتوسنتزی است (K_{PAR}) که با استفاده از رابطه تجربی (Sinclair and Horie, 1989) به ضریب خاموشی بر پایه کل تشعشع خورشیدی (K_S) قابل تبدیل است:

$$K_S = 0.75K_{PAR} \quad \text{معادله (۳)}$$

الگوی تجمع ماده خشک برای توصیف وزن خشک در طول زمان از یک معادله‌ی لجستیک استفاده شد که زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر ماده خشک و میزان حداکثر ماده خشک تولیدی را نیز نشان می‌دهد:

$$Y = DM_{max} / (1 + \exp(-a * (dap - b))) \quad \text{معادله (۴)}$$

در معادله لجستیک a ضریب معادله، b مدت زمانی که در آن تجمع ماده خشک به ۵۰ درصد حداکثر خود می‌رسد و DM_{max} حداکثر ماده خشک تولید شده (گرم در مترمربع)، dap روز پس از کاشت و Y تجمع ماده خشک است (Yin *et al.*, 2003). در طول دوره این آزمایش دمای حداکثر و حداقل روزانه، ساعت‌های آفتابی و بارندگی اندازه‌گیری شد. محاسبه‌های آماری مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار SAS (Soltani, 2007) انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح پنج درصد استفاده گردید.

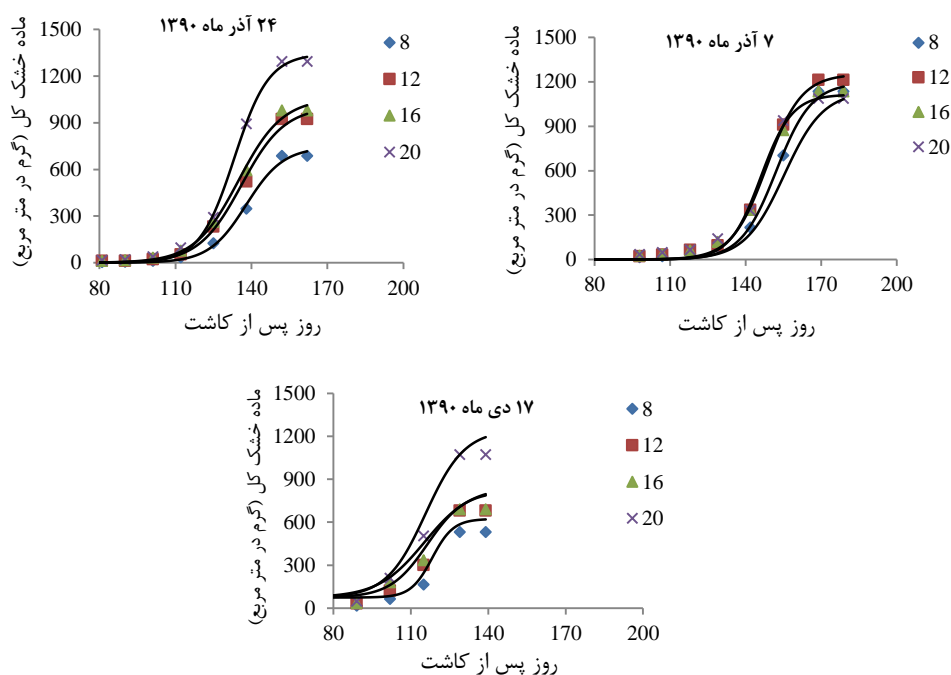
نتایج و بحث

میانگین حداکثر دما از کاشت تا رسیدگی کامل بین ۹/۳۴ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دما بین ۱۵/۱ تا ۵/۵ درجه سانتی‌گراد بود. میزان تشعشع خورشیدی بین ۸/۳۲ تا ۲۱/۸۲ مگاژول بر مترمربع بر روز و میزان بارندگی ماهیانه نیز در طی مرحله کاشت تا رسیدگی کامل بین ۱۲۴/۶-۳۰/۴ میلی‌متر بود.

الگوی تجمع ماده خشک در استفاده از معادله لجستیک (معادله ۴) که با هدف محاسبه زمان حصول ۵۰ درصد عملکرد ماده خشک و حداکثر ماده خشک تولیدی استفاده شد، توصیف خوبی از تجمع ماده خشک به‌دست آمد. به‌طوری که مقادیر ضرایب تبیین همگی ۰/۹۹ بودند. اختلاف تراکم‌ها از نظر مدت زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر خود در تاریخ کاشت اول (هفت آذر) در سطح پنج درصد معنی‌دار بود ولی در تاریخ کاشت دوم (۲۴ آذر) و سوم (۱۷ دی) اختلاف معنی‌داری بین تراکم‌های مختلف دیده نشد (داده‌ها نشان داده نشده است). شکل یک بیانگر تغییرات تجمع ماده خشک در مقابل زمان در تاریخ‌های کاشت و تراکم‌های مختلف کاشت است که در تاریخ‌های کاشت مختلف این اختلاف معنی‌دار بوده و با تأخیر در کاشت، زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر ماده خشک کاهش یافت. به‌طوری که در تاریخ کاشت سوم نسبت به تاریخ کاشت اول از تراکم اول تا چهارم زمان حصول ۵۰ درصد تجمع ماده خشک به‌ترتیب ۲۲، ۲۱، ۲۵ و ۲۰ درصد کاهش یافت.

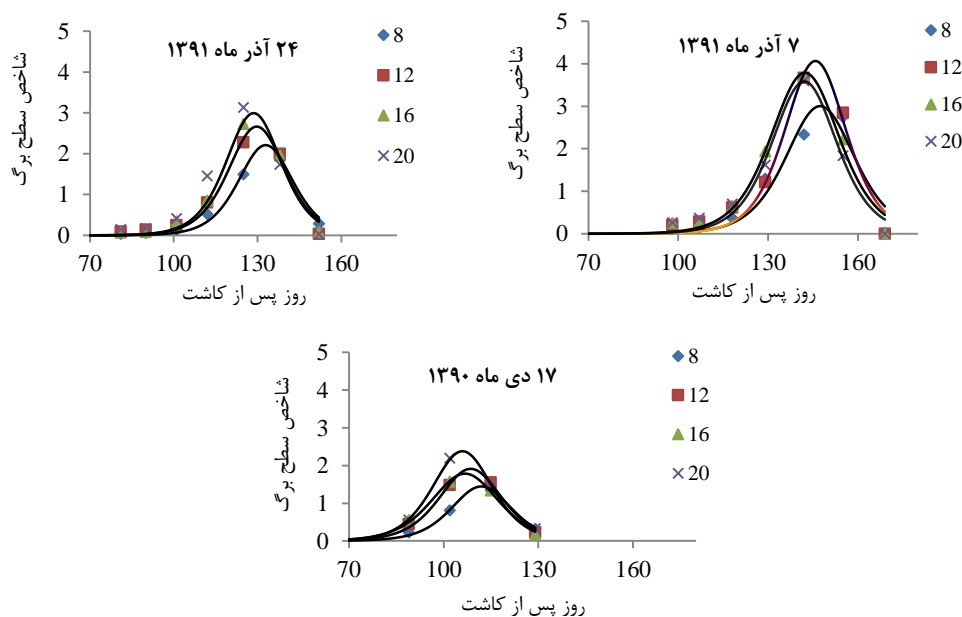
با بررسی حداکثر ماده خشک تولیدی، مشاهده شد که با افزایش تراکم اختلاف معنی‌داری در میزان ماده خشک تولیدی در تاریخ کاشت اول مشاهده نشد ولی در تاریخ کاشت دوم و سوم اختلاف معنی‌داری بین تراکم‌های مختلف در سطح پنج درصد بدست آمد. همچنین بین تاریخ کاشت‌های مختلف نیز اختلاف معنی‌داری در مقدار ماده خشک تولیدی ثبت شد به گونه‌ای که با تأخیر در تاریخ کاشت میزان، حداکثر ماده خشک تولیدی در تاریخ کاشت سوم و در تراکم‌های اول تا چهارم به‌میزان ۵۳، ۴۰، ۳۱ و ۵ درصد نسبت به تاریخ کاشت اول کاهش نشان داد.

به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که افزایش تراکم به‌علت افزایش شاخص سطح برگ، زمان رسیدن به پوشش کامل زمین و ۵۰ درصد تجمع ماده خشک را کاهش داده و حداکثر تجمع ماده خشک افزایش می‌یابد. تأخیر در کاشت سبب می‌شود که محصول با تنش گرمایی آخر فصل رشد مواجه شود. با افزایش دما، سرعت رشد محصول افزایش یافته در نتیجه زمان رسیدن به پوشش کامل و ۵۰ درصد تجمع ماده خشک کاهش می‌یابد. در این حالت به‌علت افزایش سرعت رشد، کوتاه شدن طول دوره رشد و تولید کمتر مواد فتوسنتزی در گیاه، حداکثر تجمع ماده خشک در گیاه کاهش می‌یابد.



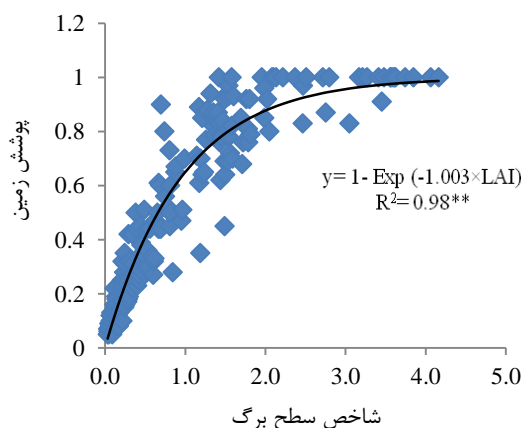
شکل ۱- تغییرات تجمع ماده خشک در طول زمان در تاریخ کاشت‌ها و تراکم‌های مختلف کاشت (۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ بوته در متر مربع).

تغییرات شاخص سطح برگ روند تغییرات شاخص سطح برگ در شکل دو برای تراکم‌ها و تاریخ کاشت‌های مختلف نشان داده شده است. در این تحقیق با افزایش تراکم بوته در هر تاریخ کاشت شاخص سطح برگ سیر صعودی داشت. در تاریخ کاشت اول با افزایش تراکم از هشت به ۲۰ بوته در متر مربع شاخص سطح برگ از ۲/۷۴ به ۳/۷۱ در مرحله غلاف‌دهی رسید. همچنین، در تراکم هشت بوته در متر مربع حداکثر شاخص سطح برگ از ۲/۷۴، ۱/۹۷ و ۱/۳۷ در تاریخ کاشت‌های اول تا سوم به ۳/۷۱، ۳/۲۱ و ۲/۱۹ افزایش یافت ولی تأخیر در کاشت باعث کاهش در حداکثر شاخص سطح برگ شد، به طوری که شاخص سطح برگ در تراکم‌های اول تا چهارم تاریخ کاشت اول به ترتیب از ۲/۷۴، ۳/۶۱، ۳/۷۱، ۳/۶۱ به ۱/۳۷، ۱/۵۴، ۱/۳۳ و ۲/۱۹ در تاریخ کاشت سوم کاهش یافت (داده‌ها نشان داده نشده است). در این تحقیق حداکثر شاخص سطح برگ (۳/۷۱)، در تاریخ کاشت هفت آذر ماه در تراکم ۲۰ بوته در متر مربع مشاهده شد. در هر دو حالت، افزایش تراکم و تأخیر در کاشت، زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ کاهش یافته است. در تراکم بالا به علت افزایش تعداد بوته، تعداد برگ زیاد شده و منجر به افزایش شاخص سطح برگ شده، در نتیجه زمان رسیدن به حداکثر آن هم کاهش یافت. قدک ساز و همکاران (Ghadaksaz *et al.*, 2011) طی مطالعه‌ای روی باقلا بیان کردند که تراکم‌های بالا نسبت به تراکم‌های پایین، سریع‌تر به حداکثر شاخص سطح برگ می‌رسند.

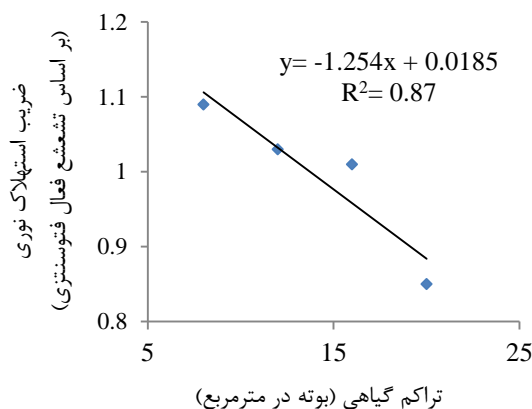


شکل ۲- تغییرات شاخص سطح برگ در طول زمان در تاریخ کاشت‌ها و تراکم‌های مختلف کاشت (۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ بوته در متر مربع).

ضریب خاموشی (K): معادله ۲ به خوبی تغییرات پوشش گیاهی را در مقابل LAI توجیه کرد. مقدار R^2 برابر با ۰/۹۸ بود. K_{PAR} برابر $۱/۰۳ \pm ۰/۰۳۴$ محاسبه شد، که در نتیجه ضریب خاموشی برای کل تشعشع خورشیدی (K_s) برابر ۰/۷۵ بود. مقدار K_{PAR} در این آزمایش با حداکثر مقدار گزارش شده توسط اشتول و افهمر (Stutzel and Aufhammer, 1991)، $K_{PAR}=۰/۹۹$ مطابقت دارد، اما با حداکثر مقدار $K_{PAR}=۰/۸۱$ که توسط کنفالن (Confalon *et al.*, 2010) گزارش شده است، مطابقت نداشت. مقادیر K_{PAR} به دست آمده برای تیمارهای تاریخ کاشت و تراکم تفاوت معنی داری با هم داشتند، اما اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم معنی دار نبود. با تأخیر در کاشت K_{PAR} به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. هر چند که تفاوت معنی داری مشاهده نشد. این تغییرات احتمالاً به دلیل تغییر در زاویه خورشیدی، ابری بودن آسمان و یا تغییر در تراکم بوته (پوشش گیاهی متنوع) از طریق تأثیر بر زاویه، ضخامت و اندازه برگ طی تاریخ کاشت‌های مختلف بر مقدار K_{PAR} و K_s بوده است. شکل ۴ یک رابطه خطی منفی و معنی داری بین K_{PAR} و تراکم گیاهی نشان می‌دهد. به طوری که این رابطه ۸۷ درصد تغییرات K_{PAR} را توجیه کرد. بر اساس این تابع، با افزایش هر واحد تراکم K_{PAR} ، به مقدار ۱/۲۵ کاهش یافت. تغییر در K_{PAR} با تغییر در زاویه خورشیدی با مطالعات راحمی کاریزکی و همکاران (Rahemi Karizaki *et al.*, 2008) روی نخود مطابقت دارد. بنابراین، با توجه به این موضوع می‌توان گفت که برای رقم برکت باقلا $K_s=۰/۷۵$ برای اهداف عملی قابل استفاده است. اما برای سایر اهداف، تعریف دقیق K_s براساس رابطه آن با زاویه تابش و تراکم گیاهی لازم خواهد بود.

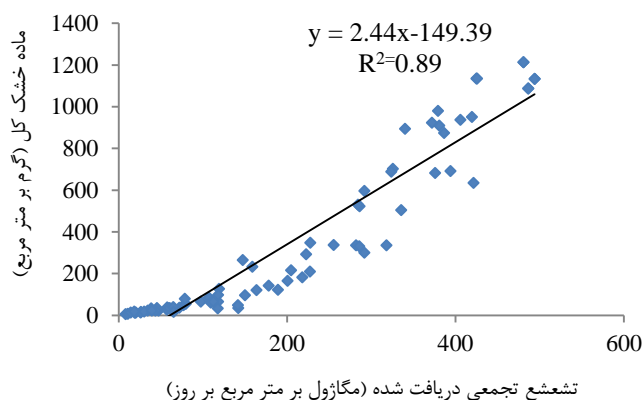


شکل ۳- رابطه بین نسبت پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده در مقابل شاخص سطح برگ (LAI).



شکل ۴- رابطه بین ضریب خاموشی (KPAR) و تراکم گیاه

کارایی استفاده از تشعشع (RUE). مدل رگرسیون خطی ساده رابطه بین تشعشع دریافتی و بیوماس جمعی از کاشت تا رسیدگی را با ضرایب تبیین (R^2) بالاتر از ۰/۹۵ به خوبی توصیف نمود. RUE بین ۲/۰۳ و ۲/۸۳ (متوسط ۲/۴۴) گرم بر مگاژول متغیر بود. در هر تاریخ کاشت، تراکم گیاهی اثری بر RUE نداشت. با برازش مدل رگرسیون خطی ساده برای داده‌های هر تاریخ کاشت، مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری بین تاریخ کاشت‌ها وجود داشت. این تفاوت احتمالاً به میانگین دما از کاشت تا رسیدگی مربوط بوده است (شکل ۵). مقادیر RUE حاصل از این پژوهش بر منحنی واکنش RUE به دما که توسط رحیمی کاریزی و همکاران (Rahemi Karizaki *et al.*, 2008) بر روی نخود محاسبه شد مطابقت نداشت، اما مقدار RUE به دست آمده در این مطالعه با مقدار حداکثر ۲/۰۴ گرم بر مگاژول که توسط فاشن و دنت (Fasheun and Dennett, 1982) گزارش شده بود مطابقت داشت و از مقدار گزارش شده توسط سایر محققین (Silim and Saxena, 1993) و (Madeira *et al.*, 1988) ۱/۴۵ به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر بود.



شکل ۵- رابطه بین ماده خشک کل و تثعشع ءجمعی دریاقت شده، شیب خط نشان دهنده کارآیی استفاده از تثعشع (گرم بر مگاژول) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد با افزایش تراکم بوته، حداکثر شاخص سطح برگ افزایش و زمان وقوع آن کاهش یافت. تأخیر در کاشت از طریق کوتاه کردن طول دوره رشد و تسریع در نمو باعث کاهش هر دو متغیر شد. در این تحقیق حداکثر شاخص سطح برگ با ۳/۷۱ از تاریخ کاشت هفت آذر ماه (تاریخ کاشت اول) و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع بدست آمد. از روابط منتج شده می‌توان برای مدل‌سازی سطح برگ استفاده کرد. در مورد الگوی تجمع ماده خشک، افزایش تراکم به دلیل افزایش شاخص سطح برگ و دریافت تثعشع، زمان رسیدن به ۵۰ درصد تجمع ماده خشک را کاهش و حداکثر تجمع ماده خشک را افزایش داد. تأخیر در کاشت سبب شد که محصول با تنش گرمایی آخر فصل رشد مواجه شود. با افزایش دما سرعت رشد محصول افزایش یافت و زمان رسیدن به پوشش کامل و ۵۰ درصد تجمع ماده خشک کاهش یافت. ضریب خاموشی (برای تثعشع فعال فتوسنتزی) برابر 0.34 ± 0.03 محاسبه شد که در نتیجه ضریب خاموشی برای کل تثعشع خورشیدی (K_s) برابر ۰/۷۵ بود. کارآیی استفاده از تثعشع (RUE) بین ۲/۸۳ - ۲/۰۳ گرم بر مگاژول متغیر بود (داده‌ها نشان داده نشده است). در هر تاریخ کاشت، تراکم گیاهی اثری بر RUE نداشت. همچنین با برآزش مدل رگرسیون خطی ساده برای داده‌های هر تاریخ کاشت، مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری بین تاریخ کاشت‌ها وجود داشت.

منابع

- Bakhshandeh E., Soltani A., Ghadiryan R. 2011. Leaf area index measurement by AccuPAR instrument in wheat. *Journal of Plant Production*, 18(4):97- 102. (In Persian).
- Carretero R., Serrago R.A., Bancal M.O., Perello A.E, Miralles D.J. 2010. Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crops Research*, 116: 184-195.
- Confalon A., Lizaso J., Ruiz-nogueira B., Lopez-cedron F.X., Sau F. 2010. Growth, par use efficiency, and yield components of field-grown *Vicia faba* under different temperature and photoperiod regimes. *Filed Crop Research*, 115: 140-148.
- Coulson C.L. 1985. Radiant energy conversion in three cultivars of *Phaseolus vulgaris*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35: 21–29.
- Daur I., Sepetoglu H., Marwarth K.B., Hassan G., Khan I.A. 2008. Effect of different levels of nitrogen on dry matter and grain yield of faba bean. *Pakistan Journal of Botany*, 40(6):2453-2459.
- Evangelos D.G., Derrick M.O., Bruce A.R. 2012. Radiation use efficiency of cotton in contrasting environments. *American Journal of Plant Science*, 3: 649-654.
- Fasheun A., Dennett M.D., 1982. Interception of radiation and growth efficiency in field beans (*Vicia faba* L.). *Agricultural Meteorology*, 26: 221–229.
- Ghadaksaz S., Saki Nejad T., Shokohfar A.R. 2011. Assessment characteristics morphophysiology of plant varieties horse Bean (*Vicia faba* L.) in different plant densities. *Life Science Journal*, 8(3): 40- 42.
- Husain M.M., Hill G.D., Gallager J.N. 1988. The response of field beans (*Vicia faba* L.) to irrigation and sowing date. II: Growth and development in relation to yield. *Journal of Agricultural Science*, 111: 233–254.
- Idinoba M.E., Idinoba P.A., Gbadegesin A.S. 2002. Radiation interception and its efficiency for dry matter production in three crop species in the transitional humid zone of Nigeria. *Agronomie*, 22: 273-281.
- Khan H.R., Paull J.G., Siddique KH.M., Stoddard F.L. 2010. Faba bean breeding for drought-affected environments. A physiological and agronomic perspective. *Field Crops Research*, 115: 279-286.
- Kiniry J.R., Simpson C.E., Schubert A.M., Reed J.D. 2005. Peanut leaf area index, light interception, radiation use efficiency and harvest index at three sites in Texas. *Field Crops Research*, 91: 297-306.

- Madeira A.C., Clark J.A., Rossall S. 1988. Growth, light interception and disease in field bean (*Vicia faba* L.): The effect of late infection by *Ascochyta fabae*. *Annals of Applied Biology*, 112: 585–595.
- Marcelis L.F.M., Heuvelink E., Goudriaan J. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: A review. *Scientia Horticulture*, 74: 83–111.
- Minguez M.I., Ruiz-Nogueira B., Sau F. 1993. Faba bean productivity and optimum canopy development under a Mediterranean climate. *Field Crops Research*, 33: 435–447.
- Monsi M., Saeki T., 1953. Uber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Journal of Japanese Botany*, 14: 22-52.
- Ouzuni Douji A.A., Esfahani M., Samizadeh Lahiji H.A., Rabiei M. 2008. Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous flowers and petalled flowers rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Science*, 9: 400–328. (In Persian).
- Rahemi Karizaki A. 2011. Investigation the changes of physiological and morphological traits associated with wheat (*Triticum aestivum* L.) yield, Ph.D Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 104p. (In Persian).
- Rahemi Karizaki A., Soltani A., Purreza J., Zainali E. 2008. Estimation of extinction coefficient and radiation use efficiency in field-grown chickpea. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(15): 211-221.
- Ruiz R.A., Bertero H.D, 2008. Light interception and radiation use efficiency in temperate quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars. *European Journal of Agronomy*, 29: 144-152.
- Silim S.N., Saxena M.C. 1993. Yield and water use efficiency of faba bean sown at two row spacings and seed densities. *Experimental Agriculture*, 29: 173–181.
- Sinclair T.R., Horie T. 1989. Leaf nitrogen, phenology, and crop radiation use efficiency: a Review. *Crop Sciences*, 29: 90- 98.
- Soltani A. 2007. Using the SAS software the Statistical Analysis. Mashhad University Jihad Publications, 166p. (In Persian).
- Soltani A., Yazdi V. 2009. Simple applications for teaching and research in agriculture. NIAC Press. (In Persian).
- Stutzel H., Aufhammer W. 1991. Light interception and utilization in determinate and indeterminate cultivars of *Vicia faba* under contrasting plant distributions and population densities. *Journal of Agricultural Science*, 116: 395-407.
- Yahuza I. 2011. Review of radiation interception and radiation use efficiency in intercropping in relation to the analysis of wheat/faba bean intercropping system. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 1(5): 1- 15.

- 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.
- Yin X., Gouadrian J., Latinga E.A., Vos J., Spiertz J.H. 2003. A flexible sigmoid growth function of determinate growth. *Annal Botany*, 91: 361-371.
- Zhang Y., Tang Q., Zou Y., li D., Qin J., Yang S., Chen L., Xia B., Peng S. 2009. Yield potential and radiation use efficiency of super hybrid rice grown under subtropical conditions. *Field Crops Research*, 114: 91-98.