نشریه هواشناسی کشاورزی
جلد ۱، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۲، ص.۱۰-۱

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 1, No. 2, Autumn &Winter. 2013, p. 1-10

برآورد تابش خورشیدی ساعتی رسیده به گیاه گندم

آرتمیس رودری[۱]، شاهرخ زندپارسا[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۹

چکیده

شاخص سطح برگ (LAI) و ضریب خاموشی (K) گیاه گندم از عوامل مهم در برآورد تابش خورشیدی رسیده به آن می‌باشند. ضریب خاموشی گندم در تحقیقات زیادی در مقیاس روزانه اندازه‌گیری شده که در بازه‌های زمانی کوچکتر قابل استفاده نیست. همچنین زاویه تابش خورشید در ساعات مختلف روز متغیر بوده و می‌بایست جهت برآورد مناسبی از رشد و عملکرد گیاه گندم، تغییرات آن را به همراه ضریب خاموشی در مقیاس ساعتی (SH) در مدل‌ها در نظر گرفت. به منظور برآورد SH، آزمایشی مزرعه‌ای در سه تکرار در زمستان ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۹ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری تابش رسیده به سطح زمین از اختلاف تابش‌سنج موجود در ایستگاه هواشناسی و تابش‌سنج لوله‌ای قرار داده شده در زیر پوشش گیاهی استفاده شد. نتایج نشان داد که LAI با رشد گیاه افزایش می‌یابد و حداکثر آن در ۱۷۴روز بعد از کاشت برابر ۴/۸۹ بوده و به مدت ۲۱ روز مقدار آن ثابت می‌ماند. تابش خورشیدی ساعتی رسیده به گیاه گندم با استفاده از اختلاف بین تابش خورشیدی در بالای پوشش گیاهی و سطح زمین اندازه‌گیری و با یک معادله نمایی بر اساس LAI، SH و زاویه ارتفاع خورشیدی برآورد گردید. مقادیر حداقل و حداکثر SH در محدوده‌ی LAI از ۱/۸ تا مقدار حداکثر آن، به ترتیب برابر ۰/۰۶۴ و ۰/۴۱ برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: تابش خورشیدی دریافتی، شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی، گندم

مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت کره زمین، نیاز به افزایش عملکرد گیاهان زراعی در جهت تأمین مواد غذایی، برنامه‌های وسیع و دامنه‌داری را طلب می‌کند. غلات یکی از مهمترین تولیدات غذایی برای انسان می‌باشد و در این بین گندم بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. گندم به دلیل ارزش غذایی و طیف وسیع سازگاری به شرایط متفاوت آب و هوایی، در مساحت وسیعی از زمین‌های کشاورزی دنیا کشت می‌شود (امام، ۱۳۸۶). با توجه به محدودیت‌های منابع آبی و خاکی و شرایط اقتصادی موجود در بکارگیری سطوح وسیع‌تری برای تولید محصولات زراعی، استفاده از مواد و روش‌های افزایش عملکرد در واحد سطح (با توجه به محدودیت‌های ذکر شده)، مورد نظر می‌باشد.

تابش خورشیدی منبع انرژی برای کره زمین و موجودات زنده آن است. تولیدات کشاورزی در واقع نوعی بهره‌برداری از انرژی خورشیدی می‌باشد. تابش از لحاظ شدت و مدت برای رشد و فتوسنتز گیاه ضروری است. لازم به ذکر است که حدود ۵۰٪ تابش دریافت شده‌ی خورشید (در طول موج‌های۷۰۰-۴۰۰ نانومتر) در دستگاه فتوسنتزی گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این جزء را تابش فعال فتوسنتزی

[۱] دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
[۲] دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(* نویسنده مسئول: Zandparsa@yahoo.com)

(PAR)[1] گویند. مقدار فتوسنتز به میزان قابلیت دریافت تابش فعال فتوسنتزی گیاه بستگی دارد که خود تابعی از شاخص سطح برگ می‌باشد. توزیع تابش به وسیله عوامل چندی نظیر آرایش هندسی برگ‌ها، تراکم گیاهی، ارتفاع گیاه و زاویه تابش خورشید تعیین می‌شود.

از مشخصه‌های مهم جهت برآورد تابش خورشیدی رسیده به گیاه، شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی[2](K) است. این ضریب بدون بعد بوده و تحت تأثیر زاویه، اندازه، شکل، ضخامت، لایه‌بندی عمودی سطح برگ و ویژگی‌های سطح برگ می‌باشد. ضریب K کمتر از ۱ بیانگر برگ‌های عمودی‌تر و K بزرگتر از ۱ نشان‌دهنده برگ‌های افقی یا پخش منظم آن‌ها است (جانز، ۱۹۹۲). کاهش مقدار ضریب خاموشی با افزایش نفوذ نور به داخل پوشش گیاهی و در نتیجه برخورد نور به تعداد برگ‌های بیشتر، موجب افزایش سرعت تبادل کربن می‌شود (کینیری و همکاران، ۲۰۰۴). ضریب خاموشی با توجه به نوع گیاه و ویژگی‌های هر گیاه متفاوت است. به طور مثال تورن و همکاران (۱۹۸۸) در گیاه گندم زمستانه بین آشکار شدن اولین برگ و ظاهر شدن برگ پرچم گیاه مقدار میانگین ضریب خاموشی روزانه را ۰/۴۶ و بعد از مرحله گلدهی مقدار آن را ۰/۵ برآورد کردند. مداح یزدی و همکاران (۱۳۸۷) مقدار این ضریب را بر اساس تابش فعال فتوسنتزی برای رقم‌های گندم تجن و زاگرس به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۶۸ و بر اساس کل تابش خورشیدی به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۵۱ به دست آوردند. این مقدار اندازه‌گیری شده برای گندم نسبت به مقادیر ضرایب خاموشی گزارش شده بر اساس تابش فعال فتوسنتزی توسط اوکانل و همکاران (۲۰۰۴)، K=۰/۸۲ و کینیری و همکاران (۱۹۸۹) حدود ۰/۷۳ پایین‌تر بود. به طور کلی مقادیر مختلفی برای ضریب خاموشی روزانه گیاه گندم در پژوهش‌های پیشین معرفی شده که در محدوده ۱-۰/۴۴ قرار دارند (گالاگر و بیسکوئی، ۱۹۸۷؛ سیدیکو و همکاران، ۱۹۸۹؛ گرگوری و همکاران، ۱۹۹۲؛ یونوسا و همکاران، ۱۹۹۳؛ گرگوری و اشتهام، ۱۹۹۶).

در اکثر تحقیقات مقادیر تابش به صورت روزانه اندازه‌گیری شده‌است. بنابراین در بازه‌های زمانی کوچکتر مقادیر ضریب خاموشی قابل استفاده نمی‌باشد. همچنین با توجه به متغیر بودن زاویه تابش خورشید در طول روز برای ارائه مدل قابل قبولی برای رشد گندم، لازم است تابش خورشیدی رسیده به گیاه در بازه‌های زمانی ساعتی در مراحل رشد گیاه در منطقه مورد مطالعه برآورد شود. در همین زمینه ریکاردو و همکاران (۲۰۰۷) به ارزیابی مدل تابش رسیده به باغات میوه در دو مقیاس ساعتی و روزانه پرداختند. در پژوهش آن‌ها در مقیاس ساعتی، میانگین خطای مطلق MAE=٪۱۰/۰۸ و شاخص تطابق d=۰/۹۴ و در مقیاس زمانی روزانه MAE= ٪۴/۴۷ و d =۰/۹۸ به دست آمد. نتایج آن‌ها نشان داد مدل به کار برده شده برای مقادیر محاسبه شده به صورت روزانه کارایی بهتری دارد.

زندپارسا و همکاران (۲۰۰۶) نسبت دریافت تابش مستقیم خورشیدی رسیده به سطح خاک را برای گیاه ذرت در زوایای مختلف تابش و در ساعات مختلف روز با استفاده از معادله ارائه شده دانکن و همکاران (۱۹۶۷) به شرح معادله ۱ برآورد کردند و مقدار ضریب خاموشی در مقیاس ساعتی (SH) را برای این گیاه با توجه به تحقیقات سینکلر و هوری (۱۹۸۹) برابر ۰/۵ در نظر گرفتند.

$$Rs_t = Rs \times e^{(\frac{-LAI \times SH}{\sin(\alpha_s)})} \qquad (۱)$$

که در آن αs زاویه ارتفاع خورشیدی ، R_s و Rs_t به ترتیب مقدار تابش خورشیدی و مقدار برآورد شده تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در زمان t می‌باشد.

مهبد و همکاران (۲۰۱۳) با تعیین تابش خورشیدی دریافت شده در هر ساعت برای گندم، اقدام به محاسبه بهره‌وری تابش در مقادیر مختلف آب آبیاری و کود نیتروژن نمودند. آنها در پژوهش خود از معادله (۱) استفاده نموده و مقدار SH را برابر ۰/۴۱منظور کردند.

در این مطالعه ضریب خاموشی ساعتی گیاه گندم با استفاده از اندازه‌گیری‌های ساعتی تابش خورشیدی رسیده به آن در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

---

[1] Photosentically Active Radiation
[2] Light extinction coefficient

مواد و روش‌ها

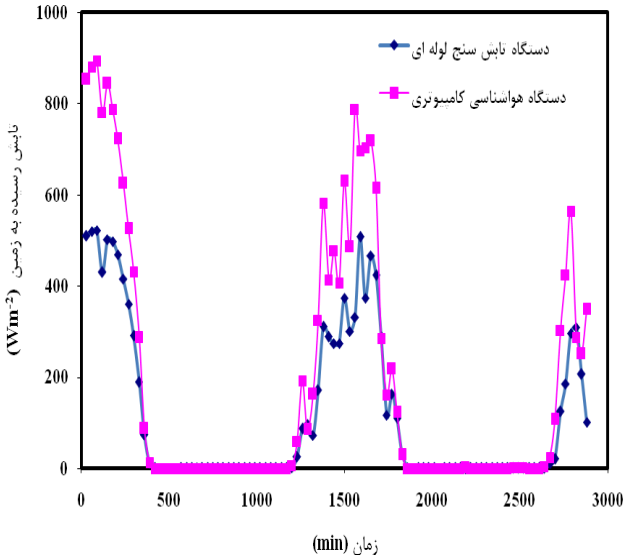
به منظور برآورد ساعتی تابش خورشیدی رسیده به گیاه گندم، آزمایشی مزرعه‌ای در سه تکرار در زمستان ۱۳۸۸ و بهار ۱۳۸۹در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع متوسط از سطح دریا به ترتیب ´۰۲ و °۵۲ شرقی و ´۵۶ و °۲۹ شمالی و ۱۸۱۰متر) انجام شد. گیاه مورد نظر گندم زمستانه رقم شیراز بوده که در تاریخ ۱۳۸۸/۸/۱۸ و به مساحت ۵۰۰۰ متر مربع کشت شد. تراکم کشت۲۵۰ $kg\ ha^{-1}$، فاصله‌ی بین خطوط کشت ۰/۱۲۵ متر، مقدار کل کود نیتروژن و آب آبیاری داده شده به کرت در طول دوره رشد گندم به ترتیب برابر ۱۴۶ $kg\ ha^{-1}$ و ۴۰۰ میلی‌متر بود. به منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و تابش رسیده به گیاه، ۳ محل به ابعاد ۰/۳ × ۱ متر مربع در نظر گرفته شد. علت انتخاب این اندازه برای محل‌های اندازه‌گیری، طول دستگاه سنجش تابش خورشیدی است. مقدار تابش خورشیدی در زیر پوشش گیاهی، با دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای[1] (مدلDELTA-T–TSL-AN-4-1) اندازه‌گیری شد. این دستگاه می‌توانست داده‌ها را در بازه‌های ۱۰ ثانیه‌ای ثبت کند. همچنین مقادیر نقطه‌ای تابش خورشیدی رسیده به بالای کانوپی با استفاده از تابش‌سنج خودکار (مدل MM900/950 ساخت کشور انگلستان) موجود در ایستگاه هواشناسی دانشکده ثبت می‌شد. برای محاسبه تابش رسیده به سطح برگ گیاه، ابتدا می‌بایست دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای نسبت به ایستگاه هواشناسی واسنجی شود. با استفاده از دستگاه هواشناسی رایانه‌ای موجود در ایستگاه هواشناسی دانشکده، واسنجی دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای صورت گرفت. به این صورت که تابش‌سنج در مجاورت دستگاه هواشناسی در ارتفاع ۲ متری به مدت ۴۸ ساعت نصب شد و بین داده‌های تابش ثبت شده در دستگاه هواشناسی خودکار و تابش‌سنج لوله‌ای رابطه رگرسیونی برقرار گردید.

دستگاه تابش‌سنج موجود در ایستگاه هواشناسی داده‌ها را در بازه‌های زمانی نیم ساعتی ثبت می‌کرد. بنابراین میانگین هر ۱۸۰ داده‌ی تابش ثبت شده توسط دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای جهت واسنجی با ایستگاه هواشناسی محاسبه شد. شکل ۱ تغییرات داده‌های تابش ثبت شده توسط هر دو دستگاه نسبت به زمان و شکل ۲ رابطه بین داده‌های ثبت شده توسط دستگاه هواشناسی خودکار و تابش‌سنج لوله‌ای را نشان می‌دهد.

معادله واسنجی دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای با توجه به شکل ۲ به صورت معادله ۲ می‌باشد.

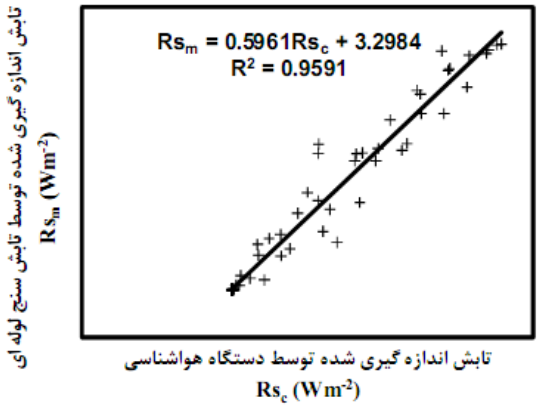
$$Rs_m = 0.596 Rs_c + 3.298 \qquad (۲)$$

که در آن Rs_m تابش خورشیدی اندازه‌گیری شده با دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای و Rs_c تابش اندازه‌گیری شده توسط دستگاه هواشناسی است. جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از اندازه‌گیری طول و عرض برگ گیاه و دستگاه مساحت‌سنج برگ (مدل DELTA-T، ساخت کشور انگلستان) استفاده گردید. به این ترتیب که طول و عرض کل برگ‌های گیاه به وسیله خط‌کش در طول دوره رشد گندم در همه‌ی تکرارها اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- تغییرات تابش خورشیدی در ایستگاه هواشناسی و تابش‌سنج لوله‌ای در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۱۸

[1] Tube Solarimeter



شکل ۲- واسنجی دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای و ایستگاه هواشناسی برای اندازه‌گیری تابش خورشیدی

با توجه اندازه کرت مورد نظر (۰/۳ مترمربع) و دشوار بودن اندازه‌گیری طول و عرض تمام برگ‌های گندم موجود در آن به کمک خط‌کش، یک سطح ۰/۳×۰/۲ مترمربعی در همان کرت علامت‌گذاری گردید و در طول فصل رشد گیاه، اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در آن صورت گرفت. با اندازه‌گیری مساحت (A) و حاصل‌ضرب عرض و طول (L×W) هر برگ از حدود ۲۵-۲۰ نمونه از گیاهان اطراف محدوده‌ی علامت‌گذاری شده، ضرایب معادله ۳ به شرح زیر در هر بازه زمانی واسنجی می شود.

$$A = a + b(L \times W) \qquad (۳)$$

که در آن a و b ضرایب ثابت معادله هستند.

با اندازه‌گیری طول و عرض هر برگ، مساحت آن مطابق معادله (۳) محاسبه و از مجموع آن‌ها، مقدار سطح برگ‌های کل گیاه در مساحت ۰/۰۶ مترمربعی در هر دوره رشد به دست می‌آید. اندازه‌گیری‌ها در بازه‌های زمانی ۷-۴ روزه صورت گرفت.

زاویه ارتفاع خورشیدی در طول روز در ساعات مختلف متفاوت بوده و مقدار آن با استفاده از معادله ۴ محاسبه می‌شود.

$$\sin\alpha_s = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\times\cos(0.2618\times(t-12)) \qquad (۴)$$

که در آن α_s زاویه ارتفاع خورشیدی (rad)، φ عرض جغرافیایی (rad)، δ میل خورشیدی (rad) و t زمان رسمی بر حسب ساعت است. مقدار δ با استفاده از معادله ۵ محاسبه می‌شود.

$$\delta = 0.409\sin(\frac{2\pi}{360}j - 1.39) \qquad (۵)$$

که در آن j شماره روز از ابتدای سال ژولیوسی است.

در این پژوهش برای به دست آوردن ضریب خاموشی در بازه‌های ساعتی از معادله‌ی ۶ استفاده شد (دانکن و همکاران، ۱۹۶۷).

$$F(t) = 1 - e^{(\frac{-LAI\times SH}{\sin(\alpha_s)})} \qquad (۶)$$

که در آن F(t) نسبت جذب تابش خورشیدی رسیده به گیاه، LAI شاخص سطح برگ، SH ضریب خاموشی ساعتی و α_s زاویه ارتفاع خورشیدی است. در این معادله مقدار F(t) با استفاده از معادله‌ی ۷ محاسبه می‌شود.

$$F(t) = \frac{Rs_L}{Rs} \qquad (۷)$$

که در آن Rs_L بیانگر تابش رسیده به پوشش گیاه و Rs تابش رسیده به بالای پوشش گیاه است. مقدار Rs_L با استفاده از معادله ۸ به دست می‌آید.

$$R_{SL} = R_S - R_L \qquad (۸)$$

که در آن Rs_L مقدار تابش اندازه‌گیری شده در زیر سایه‌انداز گیاه بوده که بوسیله تابش‌سنج لوله‌ای اندازه‌گیری شده است. بنابراین با داشتن نسبت دریافت تابش، شاخص سطح برگ و زاویه میل خورشیدی در ساعات مختلف با استفاده از معادله ۶ می‌توان ضریب خاموشی گیاه گندم را در بازه ساعتی در طی فصل رشد به دست آورد. برای محاسبه این پارامتر از گزینه Solver در برنامه اکسل استفاده گردید. هم‌چنین در انجام این پژوهش از سه آزمون آماری ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و آزمون تطابق (d) استفاده شده است (معادلات ۹ الی ۱۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \qquad (۹)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - P)(O_i - \overline{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - P)^2 \sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2}} \right)^2 \quad (۱۰)$$

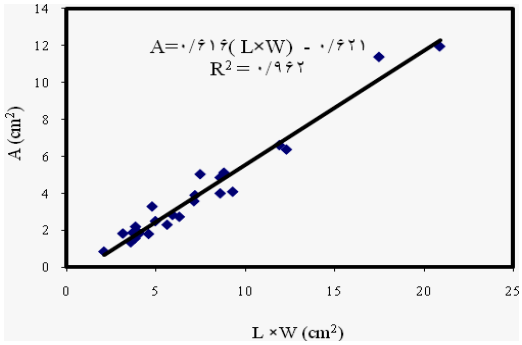
$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - \overline{O}| + |O_i - \overline{O}|)^2} \quad (۱۱)$$

که در آن‌ها P_i و O_i به ترتیب مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده، n تعداد جفت داده‌ها، $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و P میانگین مقادیر برآورد شده است.

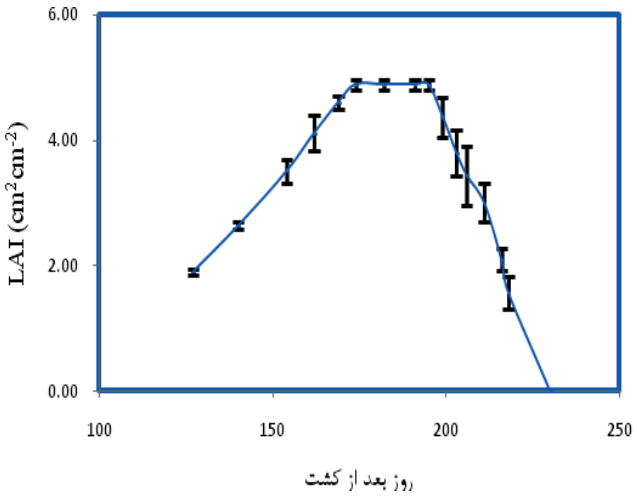
نتایج و بحث

شکل ۳ رابطه بین سطح (A) و طول × عرض برگ گندم را در ۱۱۸روز بعد از کشت نشان می‌دهد. با استفاده از معادله‌های به دست آمده از این شکل و معادلات حاصله در زمان‌های دیگر، شاخص سطح برگ گیاه گندم محاسبه شد. جدول ۱ و شکل ۴، تغییرات شاخص سطح برگ گیاه گندم را در هر سه تکرار در طول دوره‌ی رشد نشان می‌دهد. همانطورکه در شکل ۴ دیده می‌شود، در ۱۷۴روز بعد از کشت، شاخص سطح برگ گندم به حداکثر خود، برابر ۴/۸۹±۰/۰۸ می‌رسد و به مدت ۲۱ روز مقدار آن ثابت مانده و پس از آن تا انتهای دوره‌ی رشد، شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد.

برای اندازه‌گیری تابش رسیده به پوشش گیاهی، دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای نسبت به ایستگاه هواشناسی واسنجی شد و نسبت‌های تابش دریافتی گیاه در طول دوره‌ی رشد در هر سه تکرار محاسبه گردید. شکل ۵ تغییرات نسبت تابش دریافتی گیاه در روزهای مختلف رشد را در بازه‌های نیم ساعتی برای هر سه تکرار مورد آزمایش نشان می‌دهد. در ساعت‌های ابتدایی روز با توجه به مایل بودن زاویه تابش خورشیدی، نور رسیده به زیر پوشش گیاه کم بوده و اکثر نور توسط برگ‌های گیاه دریافت می‌شود. بنابراین مقادیر نسبت تابش‌های دریافتی بالا است. ولی با گذشت زمان و نزدیک شدن به ظهر، خورشید تقریباً حالت عمود بر سطح زمین پیدا کرده و در نتیجه سایه به کمترین مقدار خود رسیده و تابش رسیده به زیر گیاه افزایش می‌یابد. در نتیجه کمترین مقادیر نسبت تابش‌های دریافتی در ظهر به دست می‌آید. در ساعت‌های انتهایی روز نیز، روند ابتدای روز وجود دارد و مجدداً نسبت تابش دریافتی گیاه افزایش می‌یابد.



شکل ۳- رابطه بین سطح (A) وحاصل‌ضرب طول و عرض (L×W) برگ گندم در ۱۱۸ روز بعد از کشت

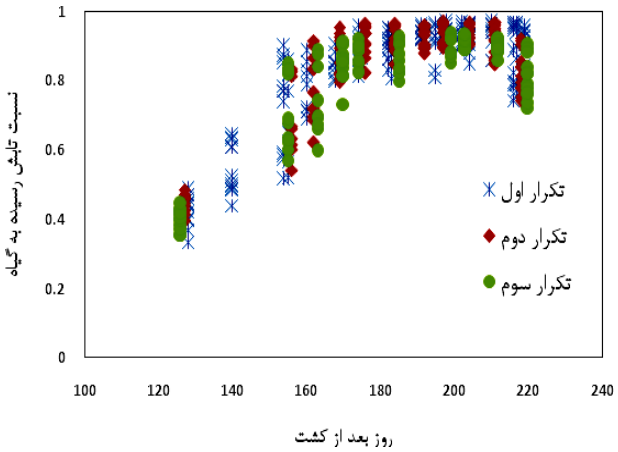


شکل ۴- تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) گندم در کل دوره رشد در سه تکرار

جدول ۱- مقادیر شاخص سطح برگ گندم در طول دوره رشد در تکرارهای اول تا سوم

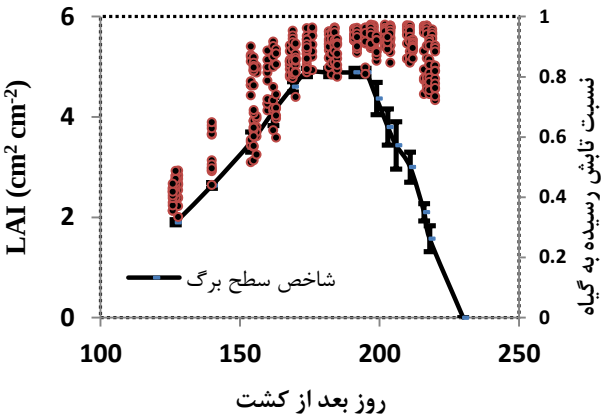
روز بعد از کشت	LAI				
	تکرار ۱	تکرار ۲	تکرار ۳	میانگین	انحراف معیار
۱۲۷	۱/۸۵	۱/۹۰	۱/۹۵	۱/۹۰	۰/۰۵
۱۴۰	۲/۷۰	۲/۶۰	۲/۶۰	۲/۶۳	۰/۰۶
۱۵۴	۳/۷۰	۳/۳۰	۳/۵۰	۳/۵۰	۰/۲۰
۱۶۲	۴/۴۳	۳/۹۰	۴/۰۰	۴/۱۱	۰/۲۸
۱۶۹	۴/۷۰	۴/۵۰	۴/۶۰	۴/۶۰	۰/۱۰
۱۷۴	۴/۹۶	۴/۸۰	۴/۹۰	۴/۸۹	۰/۰۸
۱۸۲	۴/۹۶	۴/۸۰	۴/۹۰	۴/۸۹	۰/۰۸
۱۹۱	۴/۹۶	۴/۸۰	۴/۹۰	۴/۸۹	۰/۰۸
۱۹۵	۴/۹۶	۴/۸۰	۴/۹۰	۴/۸۹	۰/۰۸
۱۹۹	۴/۵۰	۴/۰۰	۴/۶۰	۴/۳۷	۰/۳۲
۲۰۳	۴/۱۰	۳/۴۰	۳/۹۰	۳/۸۰	۰/۳۶
۲۰۶	۳/۸۰	۲/۹۰	۳/۶۰	۳/۴۳	۰/۴۷
۲۱۱	۳/۳۰	۲/۷۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۰/۳۰
۲۱۶	۲/۳۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۱۰	۰/۱۷
۲۱۸	۱/۸۲	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۵۷	۰/۲۶
۲۳۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود در روزهای ابتدایی، مقادیر تابش‌های دریافتی کوچک بوده و همزمان با رشد گیاه، افزایش می‌یابند. با توجه به این‌که در ابتدای دوره رشد، برگ‌ها گسترش زیادی نیافته‌اند بنابراین، سطح سایه‌انداز برگی کم بوده و مقدار بیشتری از تابش خورشیدی به دستگاه تابش‌سنج در زیر گیاه رسیده است. در نتیجه مقادیر تابش دریافتی توسط برگ‌ها کم می‌باشد، ولی با رشد و گسترش برگ‌ها، سطح سایه‌انداز نیز بیشتر شده و مقدار بیشتری از تابش خورشیدی توسط برگ‌ها دریافت می‌گردد. در انتهای دوره رشد با خشک شدن قسمتی از سطح سبز برگ‌ها، نسبت تابش‌های دریافتی توسط گیاه مقادیر زیادی است.



شکل۵- مقادیر نسبت تابش دریافتی گیاه در روزهای مختلف رشد در همه تکرارها

در این مرحله از رشد، مساحت سبز برگ کاهش یافته و قسمتی از سطح برگ خشک شده است و به دلیل این‌که کل برگ، تابش خورشیدی را دریافت می‌کند بنابراین، قسمت‌های خشک شده‌ی آن نیز در کنار سطح سبز برگ بر روی دستگاه، سایه می‌اندازند. همچنین خوشه‌های گیاه نیز به دلیل سنگینی بر روی دستگاه خم شده و نقش سایه‌انداز را ایفا می‌کنند. به همین دلیل است که در مرحله‌ی بعد از حداکثر شدن شاخص سطح برگ، مقادیر تابش‌های دریافتی بالا هستند. با این وجود مقادیر آن کمتر از مقادیر میانه‌ی رشد می‌باشد. در مقایسه مقادیر نسبت تابش‌های دریافتی به تابش بالای سایه‌انداز با شاخص سطح برگ می‌توان گفت که با افزایش شاخص سطح برگ، این مقادیر افزایش یافته و در زمان ثابت شدن شاخص سطح برگ تا انتهای دوره رشد این مقادیر تقریباً روند ثابتی دارند (شکل ۶). پس از محاسبه نسبت تابش دریافتی، با داشتن مقادیر شاخص سطح برگ و زاویه تابش خورشیدی می‌توان مقدار ضریب خاموشی ساعتی را با استفاده از معادله ۶ به دست آورد. در اینجا بایستی به این نکته توجه داشت که تا زمان حداکثر شدن شاخص سطح برگ، به علت سبز بودن برگ‌ها، کل تابش خورشیدی توسط برگ‌های سبز دریافت می‌شود، در نتیجه از معادله ۶ برای محاسبه‌ی SH می‌توان استفاده کرد.



شکل۶ – مقادیر نسبت تابش دریافتی و شاخص سطح (LAI) برگ در همه تکرارها

ولی در مرحله‌ی بعد از حداکثر شدن شاخص سطح برگ، قسمتی از سطح برگ خشک شده و از بین نرفته است. بنابراین تابش خورشیدی رسیده به برگ، توسط کل آن یعنی هر دو قسمت خشک و سبز، دریافت می‌شود. در واقع در این دوره از رشد نمی‌توان، تابش خورشیدی دریافتی سطح سبز برگ را از قسمت خشک آن جدا کرد. نسبت تابش دریافتی اندازه‌گیری شده در این دوره $F(t_t)$ بوده که مربوط به کل برگ است. به همین دلیل برای برآورد مناسبی از تابش رسیده به سطح زمین بایستی شاخص سطح برگ را در مرحله‌ی بعد از حداکثر شدن آن اصلاح نمود. معادله‌ی ۱۲ شکل اصلاح شده‌ی این شاخص در این مرحله از رشد بوده که مساحت هر دو قسمت خشک و سبز برگ را در کنار هم در نظر می‌گیرد. در این دوره معادله ۶ به معادله ۱۳ تبدیل می‌شود.

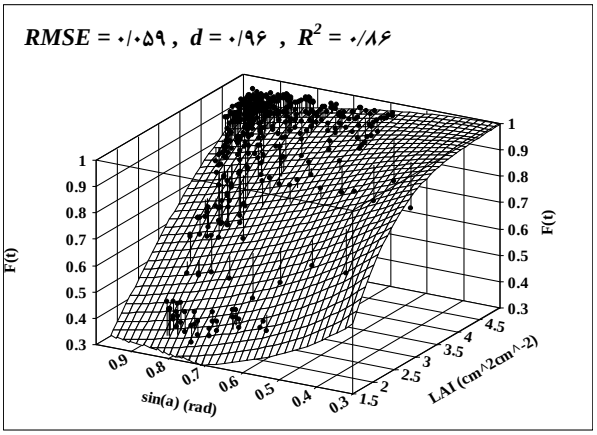
$$LAI = LAI_i + a(LAI_m - LAI_i) \quad t > t_m \qquad (۱۲)$$

$$F(t_t) = 1 - e^{\left(\frac{-((LAI_i + a(LAI_m - LAI_i)) \times SH}{\sin(\alpha_s)}\right)} \qquad t>tm \qquad (۱۳)$$

که در آن‌ها t تعداد روز بعد از کاشت، t_m تعداد روز بعد از کاشت در زمان رسیدن شاخص سطح برگ به مقدار حداکثر (LAI_m)، LAI_i شاخص سطح برگ سبز در هر روز و $F(t_t)$ نسبت تابش دریافتی کل برگ (سطح خشک و سبز) در مرحله‌ی بعد از حداکثر شدن LAI می‌باشد. ضریب a معادل نسبت مساحت خشک برگ به مساحت برگ در حالت مرطوب بوده که در اثر خشک شدن جمع شده است و مقدار آن با استفاده از نسبت داده‌های تابش اندازه‌گیری شده رسیده به زمین به کل تابش خورشیدی، برآورد می‌شود. ذکر این نکته در اینجا ضروری است که برای محاسبه‌ی تابش دریافتی توسط سطح سبز برگ در هر مرحله از رشد، معادله‌ی ۶ کاربرد داشته و حتماً می‌بایست از شاخص سطح برگ سبز استفاده شود. با توجه به روند مقادیر F(t) در طول دوره رشد به نظر می‌رسد که مقادیر SH تابعی از شاخص سطح برگ سبز بوده و در طول دوره رشد متغیر است به این ترتیب که در ابتدای دوره رشد مقدار آن افزایش یافته و در مرحله‌ی حداکثر شدن شاخص سطح برگ تا انتهای دوره‌ی رشد مقدار آن ثابت و حداکثر می‌شود. رابطه بین SH و LAI را می‌توان به صورت معادله ۱۴ تعریف کرد.

$$SH = SH_{in} + \frac{LAI_i}{LAI_m}(SH_{\max} - SH_{in}) \quad 1.8 \le \mathrm{LAI_i} \le LAI_m \qquad (۱۴)$$

که در آن SH_{in} ضریب خاموشی ساعتی اولیه و SH_{max} ضریب خاموشی ساعتی حداکثر می‌باشد. زمانی‌که شاخص سطح برگ کمتر از ۱/۸ باشد با توجه به کوتاه بودن ارتفاع بوته و پراکندگی برگ‌ها در اطراف آن، نمی‌توان از دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای برای اندازه‌گیری تابش رسیده به زیر گیاه استفاده کرد که این موضوع یکی از معایب اندازه‌گیری با این دستگاه به شمار می‌رود. بنابراین در صورت استفاده از دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای برای LAIi < ۱/۸ پیشنهاد می‌شود، مقدار SH_{in} مورد استفاده قرار گیرد. همچنین برای زمان بعد از حداکثر شدن شاخص سطح برگ مقدار SH برابر SH_{max} می‌باشد. حال با در نظر گرفتن یک مقدار فرضی برای a، SH_{in} و SH_{max} مقادیر F(t) با استفاده از معادلات ۶، ۱۳ و ۱۴برآورد شده و با استفاده از گزینه Solver در برنامه اکسل مقادیر واقعی این پارامترها به دست آمده است. شکل ۷ مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده‌ی F(t) را در یک فضای سه بعدی در همه‌ی تکرارها نشان می‌دهد. در این شکل می‌توان تأثیر همزمان شاخص سطح برگ و زاویه میل خورشیدی را بر روی نسبت تابش دریافتی مشاهده کرد. همچنین آزمون‌های آماری RMSE، d و R^2 نیز بر روی داده‌ها انجام شد که نتایج را می‌توان در این شکل مشاهده کرد.



شکل۷- مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده‌ی نسبت تابش خورشیدی دریافتی گیاه گندم [F(t)]در مقادیر مختلف شاخص سطح برگ (LAI) و سینوس زاویه تابش [sin(α)].

همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود خطای موجود بین داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده بسیار پایین بوده و داده‌ها از تطابق خوبی نسبت به هم برخوردارند. بنابراین به نظر می‌رسد تابش ساعتی خورشیدی رسیده به گیاه گندم، با خطای کمتر از ۰/۰۶ به خوبی برآورد شده است. مقادیر برآورد شده‌ی ضرایب معادلات ۵ و ۱۲ به صورت SH_{in}= ۰/۰۶۴، SH_{max} = ۰/۴۱ و a = ۰/۸۵ می‌باشد.

با بررسی منابع، به پژوهشی در ارتباط با برآورد تابش دریافتی ساعتی گیاه گندم دسترسی پیدا نشد و همه موارد در ارتباط با تابش دریافتی روزانه بودند. پس از به دست آوردن ضریب خاموشی ساعتی با استفاده از داده‌های شاخص سطح برگ و نسبت تابش دریافتی، ضریب خاموشی روزانه برآورد گردید. مطابق معادله ۱۵، نسبت تابش خورشیدی دریافتی به تابش خورشیدی بالای سایه انداز برآورد گردید.

$$\frac{Rs_{td}}{Rs_{d}} = e^{-LAI \times k} \qquad (۱۵)$$

که در آن Rs_{td} و Rs_{d} به ترتیب تابش خورشیدی دریافتی روزانه و تابش خورشیدی روزانه در بالای سایه انداز و k ضریب خاموشی روزانه می‌باشد.

در این پژوهش مقدار k در معادله ۱۵ برابر ۰/۵۱ به دست آمد. مداح یزدی و همکاران (۱۳۸۷) مقدار ضریب خاموشی روزانه برای گندم رقم زاگرس در شمال ایران را برابر ۰/۵۱ و تورنی و همکاران (۱۹۸۸) مقدار آن را در زمان آشکار شدن اولین برگ تا ظاهر شدن پرچم گیاه ۰/۴۶ و پس از مرحله گلدهی ۰/۵ اندازه‌گیری کردند. به طور کلی در تحقیقات پیشین این ضریب در محدوده ۱ تا ۰/۴۰ اندازه‌گیری شده بود.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت گیاه گندم جهت تأمین نیازهای غذایی جامعه بشری، استفاده از روش‌های افزایش عملکرد در واحد سطح اهمیت فراوانی دارد. در این راستا نور خورشید رسیده به گیاه نقش ویژه‌ای در رشد آن دارد. با بررسی تحقیقات پیشین، مقادیر تابش رسیده به گیاه گندم به صورت روزانه برآورد شده بود. بنابراین در بازه‌های زمانی کوچکتر، به علت متغیر بودن زاویه تابش خورشیدی در طول روز، تابش خورشیدی رسیده به گیاه در بازه‌های زمانی ساعتی در مراحل مختلف رشد وابسته به ساعت روز و شاخص سطح برگ می‌باشد. شاخص سطح برگ گندم تا ۱۷۴ روز بعد از کشت، افزایش می‌یافت و حداکثر به ۰/۰۸۱ ± ۴/۸۹ رسید و تا ۲۱ روز بعد، مقدار ثابتی داشته و پس از آن کاهش یافت. پس از رسم مقادیر نسبت تابش دریافتی به تابش بالای سایه‌انداز در طول دوره رشد، دیده شد که این مقادیر تا جایی که شاخص سطح برگ افزایش می‌یافت، روند افزایشی داشته و از مرحله ثابت شدن شاخص سطح برگ تا انتهای رشد تقریباً روند ثابتی داشت. در مرحله انتهایی رشد با اینکه قسمت‌هایی از سطح برگ‌ها خشک شده بود، مقادیر تابش رسیده به دستگاه تابش‌سنج لوله‌ای کم بوده و مقدار زیادی از آن توسط برگ‌های خشک گیاه دریافت شده بود. جهت اندازه‌گیری تابش رسیده به سطح زمین از اختلاف تابش‌سنج موجود در ایستگاه هواشناسی و تابش‌سنج لوله‌ای قرار داده شده در زیر پوشش گیاهی استفاده شد. برای برآورد تابش ساعتی رسیده به گیاه از پارامتر ضریب خاموشی ساعتی (SH) استفاده شد. با توجه به این‌که ضریب خاموشی ساعتی (SH) تابعی از شاخص سطح برگ (LAI) بود، بنابراین در محدوده‌ی زمانی، حداقل LAI برای نصب تابش‌سنج لوله ای (۱/۸) و حداکثر آن برای برآورد SH، از معادله‌ی ۱۴ استفاده گردید. در مرحله ابتدایی رشد که شاخص سطح برگ کمتر از ۱/۸ بود، از مقدار حداقل SH برابر۰/۰۶۴ و در مرحله‌ی بعد از حداکثر شدن شاخص سطح برگ نیز از SH ثابت و برابر ۰/۴۱استفاده شد. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که تابش ساعتی

خورشیدی رسیده به گیاه گندم، با خطای کمتر از ۶٪ به خوبی برآورد شده است. پس از به دست آوردن ضریب خاموشی ساعتی، ضریب خاموشی روزانه محاسبه و مقدار آن برابر ۰/۵۱ برآورد گردید، که در محدوده گزارش شده برای این گیاه در تحقیقات پیشین یعنی ۱-۰/۴ قرار داشت.

منابع

امام، ی. ۱۳۸۶. زراعت غلات. چاپ سوم، انتشارات دانشگاه شیراز، ۱۹۰صفحه.

مداح یزدی، و.، سلطانی، ا.، کامکار، ب.، زینلی، ا. ۱۳۸۷. فیزیولوژی مقایسه‌ای گندم و نخود: شاخص سطح برگ، دریافت و استفاده از تابش و توزیع ماده خشک به برگ ها. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵:(۴).

Duncan, W. G., Loomis, R. S., Williames, W. A., Hanau, R. 1967. A model for simulating in plant communities. Hilgardia, 38(2): 181-205.

Gallagher, J. N., Biscoe, P. V. 1987. Radiation adsorption, growth and yield of cereals. J. Agric. Sci., Camb., 91(19): 47-60.

Gregory, P. J., Tennant, D., Belford, R. K. 1992. Root and shoot growth, and water and light use efficiency of barley and wheat crops grown on a shallow duplex soil in a mediterranean-type environment. Aust. J. Agric. Res., 43(3): 555-573.

Gregory, P. J., Eastham, J. 1996. Growth of shoots and roots, and interception of radiation by wheat and lupin crops on a shallow, duplex soil in response to time of sowing. Aust. J. Agric. Res., 47(3): 427-447.

Jones, H. G. 1992. Plants and Microclimate, 2nd edition. A quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge University Press, 433 p.

Kiniry, J. R., Simpson, C. E., Schubert, A. M., Reed, J. D. 2004. Peanut leaf Area index, light interception, radiation use efficiency, and harvest index at three sites in Texas. Field Crops Res., 91(2): 297-306.

Kiniry, J. R., Jones, C. A., O'toole, J. C., Blanchet, R., Cabelguenne, M., Spanel, D. A. 1989. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. Field Crops Res., 20(1): 51-64.

Mahbod, M., Zand-Parsa, Sh., Sepaskhah, A. R. 2013. Influences of air temperature, irrigation regimes and nitrogen application rates on radiation use efficiency of winter wheat. Arch. Agron. Soil Sci., 60(1): 49–66.

O'connell, M. G., Leary, G. J., Whitfield, D. M., Conner, D. J. 2004. Interception of photosynthetically active radiation and radiation-use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. Field crops Res., 85(2-3): 111-124.

Siddique, K. H. M., Belford, R. K., Perry, M. W., Tennant, D. 1989. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. Aust. J. Agric. Res., 40(3): 473-487.

Sinclair, T. R., Hoare, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. Crop Sci., 29(1): 90-98.

Ricardo, A., Claudio, O. S., Mattew, D. W. 2007. A simple approach to modeling radiation interception by fruit tree orhard. Agric Forest Meterol., 142(1): 12-24.

Thorne, G. N., Pearman, I., Day, W., Todd, A. D. 1988. Estimation of radiation interception by winter wheat from measurements of leaf area. J. Agric Sci., 110(1): 101-108.

Yunusa, I. A. M., Siddique, K. H. M., Belford, R. K., Karimi, M. M. 1993. Effect of canopy structure on efficiency of radiation interception and use in spring wheat cultivars during the preanthesis period in a Mediterranean-type environment. Field Crops Res., 35(2): 113-122.

Zand-Parsa, Sh., Sepaskhah, A. R., Ronaghi, A. 2006. Development and evaluation of integrated water and nitrogen model for maize. Agric. Water Manage., 81(3): 227-235.

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 1, No. 2, Autumn &Winter. 2013, p. 1-10

نشریه هواشناسی کشاورزی
جلد ۱، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۲، ص.۱۰-۱

Prediction of hourly intercepted solar radiation of wheat

A. Roodari[1], Sh. Zand-Parsa[2]*

Received: 7 August 2013
Accepted: 8 February 2014

Abstract

Leaf area index (*LAI*) and extinction coefficient (*K*) of wheat are the important parameters for estimation of intercepted solar radiation *(Rs_L).* Wheat daily intercepted solar radiation has been measured in many researches, but they are not suitable for using on shorter time increments. The beam angle of solar radiance differed on different hour in day and it must be considered for estimation of hourly Rs_L (*SH*) for crop growth models. For estimation of hourly Rs_L of wheat, an experiment was conducted in fields of Agricultural College at Shiraz University in winter 2009 and spring 2010. The values of hourly $Rs_{L,}$ was measured using the difference between the values of measured solar radiation at upper and under the canopy. The results showed that the crop *LAI* increased after planting and reached maximum (4.89) on 174 days after planting and remained constant for 21 days. The values of wheat intercepted solar radiation was predicted using a method presented by other investigators and the minimum and maximum values of *SH* were estimated 0.064 and 0.41 when the values of *LAI* were 1.8 and 4.89, respectively

Keywords: Extinction coefficient, Intercepted solar radiation, Leaf area index, Wheat

[1] Former graduate student, Water Engineering Department, Agricultural College, Shiraz University
[2] Associate Prof., Water Engineering Department, Agricultural College, Shiraz University
(*Corresponding author email address: Zandparsa@yahoo.com)