مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

صفحه‌های ۱۳-۱

تخمین مقدار ماده خشک با استفاده از شاخص سطح برگ

پیمان دانش‌کارآراسته[۱]، سعید ستوده‌نیا[۲]، عباس ستوده‌نیا[۳]*، عباس کاویانی[۴]

۱ و ۳. دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

۲. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

۴. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴

چکیده

مقدار مادهٔ خشک تولیدی یکی از شاخص‌های مهم برآورد میزان تولید محصول از واحد سطح یا به ازای واحد حجم آب مصرفی است. شاخص سطح برگ از جمله متداول‌ترین پارامترهایی است که برای تخمین میزان مصرف آب گیاه و تولید محصول به‌کار می‌رود. در این پژوهش تلاش شده است تا با استفاده از دستگاه AccuPAR-LP80 شاخص سطح برگ بدون نیاز به از بین بردن گیاه تخمین زده شود. این پژوهش در کشت و صنعت مگسال در قزوین برای تولید رابطه‌ای در تخمین مادهٔ خشک با استفاده از شاخص سطح برگ چغندرقند، ذرت و یونجه انجام پذیرفت. شاخص سطح برگ این گیاهان به روش غیرتخریبی و با استفاده از دستگاه AccuPAR-LP80 کالیبره‌شده تعیین شد. ارزیابی‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین انطباق شاخص سطح برگ با استفاده از این دستگاه به‌ترتیب مربوط به ذرت و یونجه با ضرایب تبیین ۰/۹۶ و ۰/۸۸ بود. علاوه‌بر این، مادهٔ خشک تولیدی به‌صورت تابعی خطی از شاخص جزء جذب‌شدهٔ تابش فتوسنتز فعال (APAR) تعیین شد. در ارزیابی‌های آماری، مزارع چغندرقند و یونجه به‌ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۹۶ و ۰/۹۰ و شاخص RMSE به‌ترتیب ۲/۸۵ و ۳/۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین و کمترین انطباق با مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان داد.

کلیدواژه‌ها: اسکنر گیاهی، شاخص سطح برگ، قزوین، مادهٔ خشک، مگسال

* نویسنده مسئول

Email: absotoodehniako@yahoo.com

www.SID.ir

مقدمه

روند رشد جمعیت جهان، در تأمین غـذا دغدغـهٔ بزرگـی را برای محققان بخش کشاورزی بـه‌وجـود آورده اسـت، زیـرا بیش از ۷۰ درصد از سهم غذای انسـان بـه‌طـور مسـتقیم یـا غیرمستقیم از مزارع کشاورزی تأمین مـی‌شـود و آب نهـادهٔ کشاورزی‌ای است که اصلی‌تـرین نقـش را در تولیـد بـازی می‌کند. نقش این مادهٔ حیاتی به‌قدری پررنگ است که حدود ۷۵ درصـد آب‌هـای شـیرین جهـان و بـیش از ۹۳ درصـد آب‌های شیرین در ایران برای مصـرف در اراضـی زراعـی و بـاغی و بـرای تولیـد محصـول اسـتفاده مـی‌شـود (۵). شاخص‌های گیاهی از قبیل شـاخص سـطح بـرگ (LAI) از جمله عوامل مؤثر بر میـزان تولیـد محسـوب، بـه‌خصـوص گیاهان علوفه‌ای محسوب می‌شود (۱۴). این شـاخص یکـی از پارامترهای مهم هیدرولوژیکی و اگروهیدرولوژیکی اسـت که برای کمّی‌کردن پوشش گیاهی، تولید محصـول، تبخیـر و تعرق، نیاز آبیاری و بسیاری از اجـزای بـیلان آب ضـروری اسـت (۳). افـزایش مقـدار شـاخص سـطح بـرگ در واقـع به‌معنای گسترش سطح برگ است. این امر فاکتوری کلیـدی در دریافت تشعشع خورشیدی و تبادل آب و انرژی در گیـاه به‌حساب می‌آید (۸).

معمـولاً انـدازه‌گیـری LAI بـه دو روش مسـتقیم و غیرمستقیم انجام می‌شود (۱۳). روش‌های مستقیم یا تخریبی تعیین LAI شامل جداسازی و شمارش برگ‌های گیاه اسـت (۱۰). روش‌های غیرمستقیم تعیـین سـطح بـرگ بـر اسـاس استخراج ارتباط سطح برگ و دیگر پارامترهای گیاهی استوار است (۱۴).

نتیجهٔ تحقیقی در گرگان، آکیوپار بـا ضـریب تبیـن ۰/۷ شاخص سطح برگ را در هفت رقم گندم تخمین زده است. مطالعـهٔ مشـابهی روی ذرت نشـان داد کـه آکیوپـار مقـدار شاخص سطح برگ را در بازهٔ تبیین ۰/۸۹ تا ۰/۹۸ و با دقت قابل‌قبول برآورد کرد (۲). بررسی ارتباط عملکرد هشت رقم سویا و شاخص سطح بـرگ در گرگـان نتیجـه‌ای بـرخلاف انتظار داشت: با کاهش شاخص سـطح بـرگ مقـادیر تولیـد محصول افزایش یافت. علت این امر نیز طـولانی‌بـودن دورهٔ رویشی و ریزش شدید برگ‌ها در دورهٔ زایشـی اعـلام شـده است (۷).

مدل گیاهی VSM در برآورد عملکرد بـرنج در مؤسسـهٔ تحقیقات برنج استفاده شد. شاخص سطح بـرگ تخمـین‌زده شده با تصاویر سـنجندهٔ Landsat TM، نسـبت بـه تصـاویر MODIS، در پیش‌بینی عملکرد این محصـول بـا اسـتفاده از مدل VSM دقت بالاتری داشت (۶).

در این پژوهش که در کشت و صنعت مگسال در اسـتان قزوین انجام شده است، هدف اصـلی تولیـد رابطـه‌ای بـرای تخمین عملکرد سه محصول ذرت، چغندرقنـد و یونجـه بـا استفاده از شاخص سطح برگ گیاهان است. در همین راستا، مقادیر شاخص سطح بـرگ بـا اسـتفاده از دسـتگاه آکیوپـار واسنجی‌شده با داده‌های مزرعه‌ای تخمین زده شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در کشت و صنعت مگسال واقع در جنوب شهر محمدیه شهرستان قزوین با موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجـه و ۹ دقیقهٔ شمالی و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقهٔ شـرقی انجـام گرفتـه است (شکل ۱). اقلیم منطقهٔ مورد مطالعه به تبعیـت از اقلـیم شهرستان قزوین و بر اساس اقلیم نمای آمبرژه منطقهٔ خشک سـرد و متوسـط بارنـدگی در محـدودهٔ مـورد مطالعـه ۲۹۸ میلی‌متر در سال است. بافت خاک غالـب کشـت و صـنعت لوم شنی است.

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در چارچوب استاندارد ۰/۵×۰/۵ متر انجام شد. اندازه‌گیری در نـوزده تـاریخ و در هر تاریخ با پنج تکـرار (پـنج نقطـه از هـر مزرعـه) انجـام پذیرفت. تلاش شد تا نقـاط انتخـابی بـرای نمونـه‌بـرداری معرف مزارع سه‌گانه باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. اطلاعات مدیریت زراعی در هر یک از مزارع

محصول	دور آبیاری (روز)	عملکرد (تن بر هکتار)	زمان کاشت	زمان برداشت
ذرت علوفه‌ای	۸–۷	۶۵/۸	اوایل مرداد	اواخر مهر
چغندرقند	۸–۷	۹۷/۵	اواسط خرداد	اواسط آبان
یونجه	متغیر	۱۳/۵	تمامی ماه	هر چهار هفته

پس از پرتاب چارچوب استاندارد، مقادیر PAR[1] بالا و پایین گیاه با استفاده از دستگاه آکیوپار LP-80 تعیین شد. از آنجا که دستگاه آکیوپار LP-80 به میزان نور دریافتی خورشید حساس است، تمامی قرائت‌ها هنگامی انجام شد که آسمان صاف و کاملاً آفتابی بود. APAR (PAR جذب‌شده در فرایند فتوسنتز گیاه) پارامتری ارزش‌مند در تخمین عملکرد گیاه و تعیین دی‌اکسید کربن مصرفی است و با رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود (۱۱).

$$\mathrm{APAR} = \mathrm{PAR}^{\uparrow} - \mathrm{PAR}^{\downarrow} \qquad (۱)$$

در این رابطه APAR جزئی از تابش فعال فتوسنتزی جذب شدهٔ گیاه (μ mol m^{-2} s^{-1})، $PAR^{\uparrow}$ پار بالا یا پار رسیده به سطح برگ و $PAR^{\downarrow}$ پار پایین یا پار رسیده به زیر گیاه است.

مقدار شاخص سطح برگ بر اساس رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود (۱۱).

$$LAI = \frac{[(1-\frac{1}{2k})f_b - 1]\ln\frac{PAR^{\uparrow}}{PAR^{\downarrow}}}{A(1-0.47f_b)} \qquad (۲)$$

در این رابطه LAI شاخص سطح برگ (m^2 m^{-2})، f_b کسر تشعشعی خورشید (درصد)، k پارامتر رصدکنندهٔ تغییرات مکانی خورشید در آسمان و A قابلیت جذب برگ است.

پس از اینکه عملیات داده‌برداری با دستگاه آکیوپار به اتمام رسید، همهٔ گیاهانِ در چارچوب استاندارد، با دقت از طوقه جدا شدند و برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ به روش تخریبی و در نهایت تعیین مقدار مادهٔ خشک تولیدی در کیسه‌های پلاستیکی سیاه‌رنگ قرارگرفتند و در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان قزوین انتقال یافتند. نخست، گیاه به‌صورت تر وزن شد. سپس، مقدار شاخص سطح برگ با استفاده از اسکنر سنجش سطح برگ[2] اندازه‌گیری شد. با قراردادن گیاه در آون در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد و پس از ۴۸ ساعت مقدار وزن خشک گیاه با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شد. وزن اندام زمینی و هوایی سه گیاه ذرت، چغندرقند و یونجه تعیین شد و رابطهٔ وزن یا عملکرد گیاه با APAR (رابطهٔ ۳) به‌دست آمد. در گیاه یونجه و ذرت علوفه‌ای تعیین عملکرد اندام هوایی و در گیاه چغندرقند عملکرد اندام زمینی مهم است. عملکرد اندام زمینی- شامل ریشهٔ گیاه چغندرقند و دانه‌های ذرت- باید در انتهای فصل رشد و موقع برداشت گیاهان صورت گیرد، اما می‌توان تا رسیدن محصول از عملکرد اندام هوایی گیاه مثل ساقه و برگ استفاده کرد. رابطهٔ (۳) تخمین میزان عملکرد گیاهان زراعی را به‌دست می‌دهد که مقدار تولید را به APAR وابسته می‌سازد (۹).

$$B_{act} = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon(t) * AcAPAR \qquad (۳)$$

1. Photosynthetically Active Radiation

2. delta device

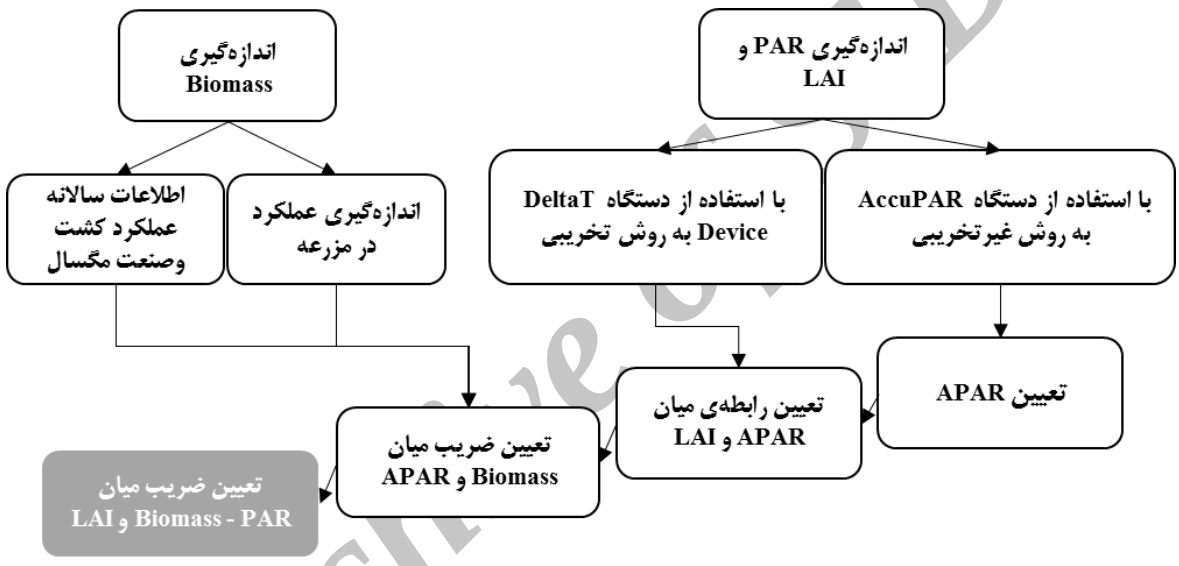
Archive of SID
www.SID.ir

در ایـن رابطـه، AcAPAR عبـارت اسـت از APAR تجمعی (μ mol m^{-2} s^{-1})، ε ضریب، B_{act} عملکـرد واقعـی (Kg ha-1) و n زمان (ماه). مقادیر APAR به‌صورت تابعی از شاخص سطح برگ تعیین می‌شود و از آنجـا کـه یـافتن مقادیر عملکرد محصول به مقادیر APAR وابسته است، بـا جایگذاری این دو تابع و تعیین ضریب کالیبره‌کردن به‌طـور مستقیم با اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از طریق دسـتگاه آکیوپار در همان لحظه و با اسـتفاده از رابطـهٔ (۴) تخمـین عملکرد محصول فراهم می‌آید (شکل ۲).

(۴)

$$\left.\begin{array}{c} B_{act}=\sum_{i=1}^{n}\varepsilon(t)*AcAPAR_i \\ APAR=f(LAI) \end{array}\right\rangle$$

$$B_{act}=\sum_{i=1}^{n}\varepsilon(t)*AcLAI$$



شکل ۲. نمودار روند انجام پژوهش

با توجه به اینکه در این پژوهش تلاش شـده اسـت تـا دستگاه آکیوپار LP-80 با داده‌هـای انـدازه‌گیـری واسـنجی شود و در نهایت تنها با استفاده از داده‌های آکیوپار مقـادیر عملکرد تخمین زده شود، در ارزیابی و صحت‌سنجی نتایج نیاز به استفاده از روش‌های آمـاری احسـاس شـد. در ایـن پژوهش، ضـمن بـه‌کـارگیری از آزمـون T-Test، از دیگـر پارامترهای متداول آماری مانند RMSE، R^2، MAE و بازده مدل (ME) کمک گرفته شد.

نتایج و بحث

مقادیر اندازه‌گیـری‌شـدهٔ APAR، شـاخص سـطح بـرگ و مقدار مادهٔ خشک تولیدی به تفکیک محصول در جـدول ۲ ارائه شده است. با ترسیم مقادیر PAR ثبت‌شده با آکیوپـار، مقادیر PAR بالا بـیش از PAR پـایین تـاج پوشـش گیـاه به‌دست آمد. این امر در مورد تمـامی گیاهـان و در تمـامی زمان‌های اندازه‌گیری مشاهده شد. علت این امر نیز جـذب بخشی از تابش فعـال فتوسـنتز در بـرگ‌هاسـت. شـکل ۳ مقادیر PAR بالا و پایین تـاج پوشـش گیاهـان مختلـف را

www.SID.ir

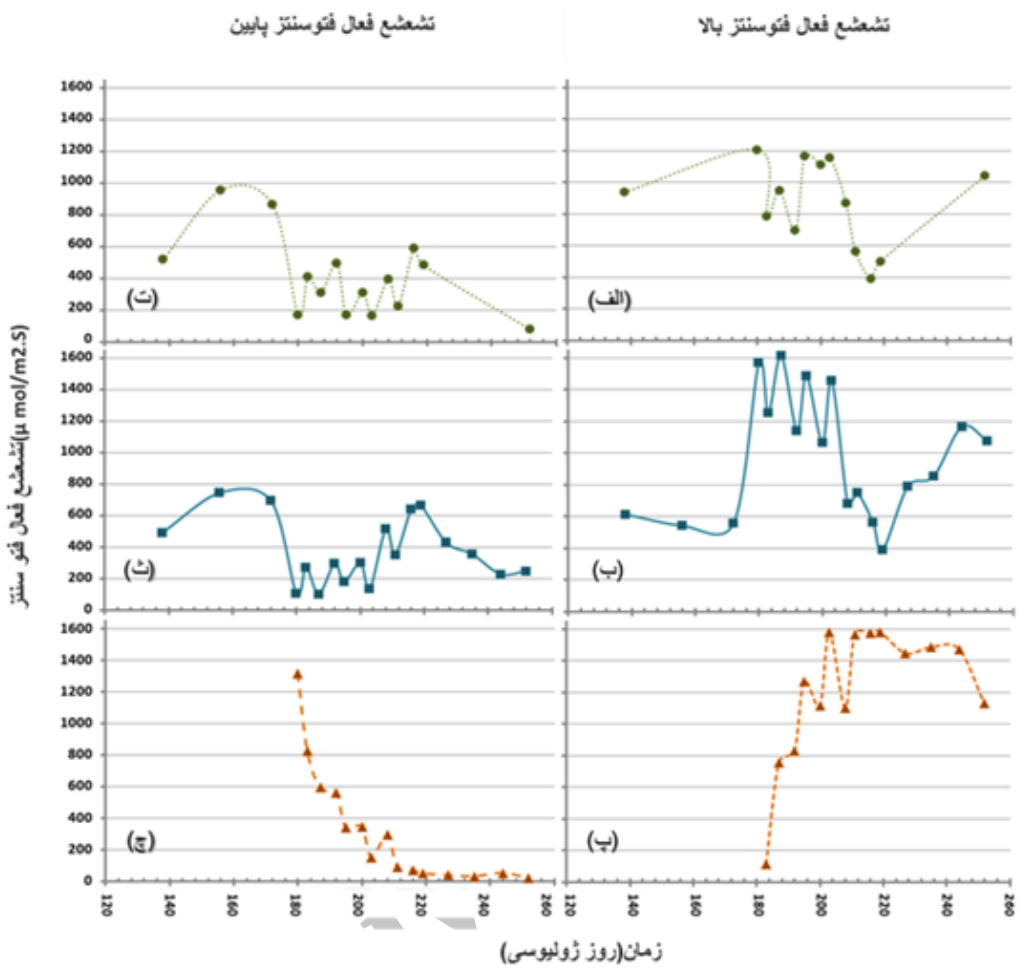
نمایش می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیداست، به‌ترتیب PAR بالا در ذرت بیشترین مقدار را داشت. در چغندرقند نیز بیش از یونجه بود. این امر به‌دلیل ساعت اندازه‌گیری با دستگاه آکیوپار در مزارع مختلف است، به‌گونه‌ای که همواره نخست، اندازه‌گیری PAR در مزرعهٔ یونجه در بازهٔ زمانی ۱۰:۳۰ تا ۱۱:۳۰، در مزرعهٔ چغندرقند در بازهٔ زمانی ۱۱:۳۰ تا ۱۲:۳۰ و در مزرعهٔ ذرت از ساعت ۱۲:۳۰ تا ۱۳:۳۰ صورت می‌گرفت. لذا، با نزدیک‌شدن به زمان حداکثر تابش خورشیدی در ظهر خورشیدی (شرعی)، مقادیر تابش فعال موجود برای فتوسنتز افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۲. مقادیر APAR، شاخص سطح برگ و عملکرد خشک در سه محصول یونجه، ذرت و چغندرقند

تاریخ	یونجه			ذرت			چغندرقند		
	APAR میکرومول بر مترمربع ثانیه	عملکرد کیلوگرم بر مترمربع	LAI	APAR میکرومول بر مترمربع ثانیه	عملکرد کیلوگرم بر مترمربع	LAI	APAR میکرومول بر مترمربع ثانیه	عملکرد کیلوگرم بر مترمربع	LAI
۹۳/۰۴/۳۰	۷۷۸	۰/۳۳	۱/۵۶				۱۲۴۸	۰/۳۶	۲/۱۸
۹۳/۰۵/۰۷	۱۳۷۵	۰/۳۵	۳/۷۸	۶۲۱	۰/۰۹	۰/۷۵	۱۶۷۰	۰/۳۴	۵/۴۰
۹۳/۰۵/۱۵	۱۲۵۷	۰/۵۳	۲/۸۲	۱۳۴۵	۰/۲۶	۲/۳۳	۱۷۱۵	۰/۲۸	۵/۲۵
۹۳/۰۵/۲۳	۱۳۳۱	۰/۴۸	۳/۲۵	۱۶۰۵	۰/۶۰	۳/۳۳	۱۶۶۳	۰/۳۲	۴/۶۷
۹۳/۰۵/۳۱	۱۳۲۱	۰/۳۶	۳/۶۲	۱۷۲۸	۰/۵۲	۴/۶۴	۱۵۸۹	۰/۳۸	۴/۸۸
۹۳/۰۶/۰۸	۷۸۷	۰/۵۷	۲/۰۶				۱۰۹۹	۰/۲۳	۲/۵۸
۹۳/۰۶/۱۶	۹۸۰	۰/۳۶	۲/۱۴				۱۰۵۲	۰/۳۲	۱/۹۸
۹۳/۰۷/۰۹				۱۵۲۲	۵/۱	۵/۷۸			

همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، مقدار PAR پایین با تکمیل‌شدن دورهٔ رشد گیاهان کاهش می‌یابد. این بدان معناست که با تکمیل‌شدن روند رشد تاج، پوشش گیاهان توسعهٔ بیشتری می‌یابد، لذا نور کمتری به محدودهٔ زیر تاج پوشش گیاهان می‌رسد. در خصوص مزرعهٔ یونجه این مقادیر دارای نوسان است. علت افزایش PAR پایین در این مزرعه، برداشت یونجه و رشد مجدد گیاه بوده است. در خصوص چغندرقند نیز طی تکمیل دورهٔ رشد رویشی، به‌تدریج بر میزان توسعهٔ تاج پوشش گیاهان افزوده می‌شود و در انتهای دورهٔ رشد و با نزدیک شدن به زمان برداشت از مقدار آن کاسته می‌شود. همین امر جهش کوچکی را در مقادیر PAR پایین در این گیاه ایجاد می‌کند. در خصوص ذرت و یونجه نیز کاملاً مشهود است که با تکمیل دورهٔ رشد، پوشش به‌قدری متراکم می‌شود که مقادیر PAR دریافتی روی سطح زمین به حداقل ممکن می‌رسد. سرعت بالای رشد ذرت علی‌رغم دیرتر کاشته‌شدن نسبت به دو گیاه دیگر باعث می‌شود که منحنی PAR پایین با افزایش تراکم پوشش گیاهی به‌سرعت کاهش یابد و منحنی هر دو گیاه را قطع کند.

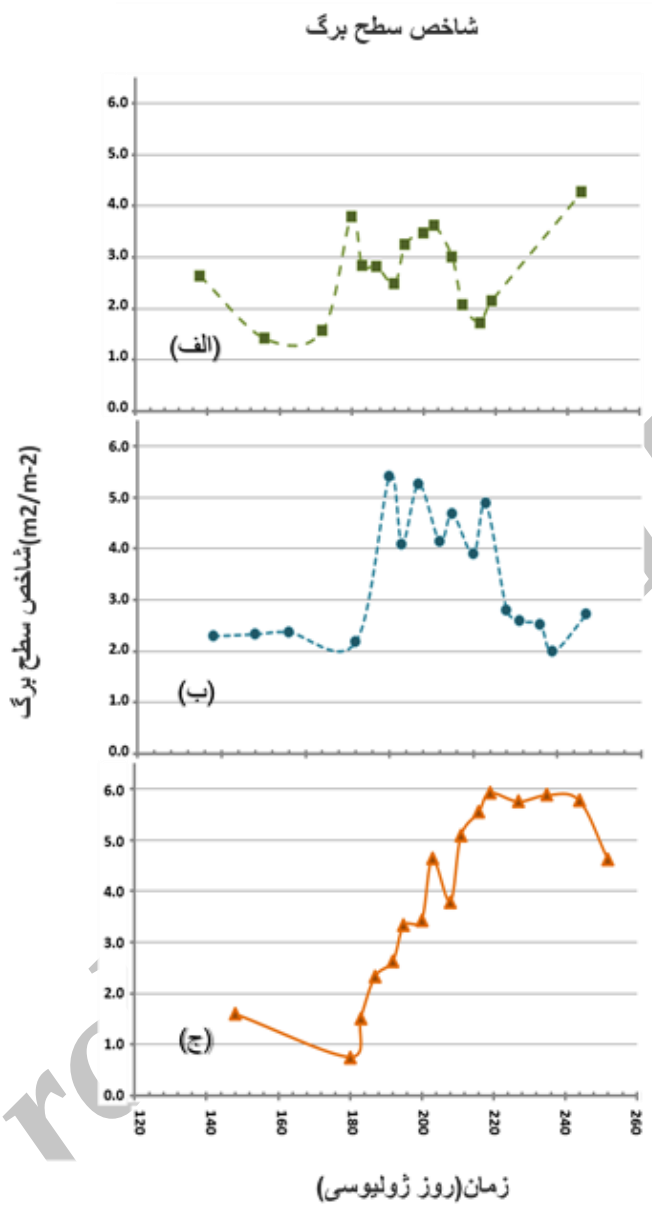
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳. نمودار تغییرات PAR بالا و PAR پایین در سه محصول یونجه (الف و ت)، چغندرقند (ب و ج)، و ذرت (پ و چ)

مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه آکیوپار در شکل ۴ ارائه شده است. مقادیر به‌دست آمده در این پژوهش در هر سه گیاه با داده‌های دیگر محققان انطباق دارد و در بازهٔ مناسبی است (۴، ۱۲). در خصوص یونجه، در طول دورهٔ رشد، مقدار آن افزایش و پس از برداشت مجدداً کاهش می‌یابد و همین روند تکرار شده است. چغندرقند در دوره‌ای از رشد، افزایش در شاخص سطح برگ را بروز می‌دهد. سپس، مقدار آن ثابت می‌شود و به‌تدریج کاهش می‌یابد. از زمان کاشت تا پایان دورهٔ رشد رویشی مقادیر شاخص سطح برگ افزایش نشان داد و مقدار آن ثابت بود. در انتهای دورهٔ رشد و با نزدیک‌شدن به زمان برداشت، برگ‌های تحتانی خشک می‌شود و شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد. علاوه‌بر این، با دقت در نمودار مشاهده می‌شود که در دوره‌ای که انتظار می‌رود شاخص سطح برگ چغندرقند به حداکثر خود برسد و پس از آن ثابت بماند، دچار تغییرات سینوسی شده است. این امر نیز به دلیل کاهش آبیاری و تنش خشکی گیاه چغندرقند به‌وجود می‌آید. در مورد ذرت نیز علی‌رغم اینکه دیرتر از دیگر محصولات کشت شده است، با شیبی تند و به‌صورت صعودی شاخص سطح برگ را افزایش می‌دهد. این روند افزایشی تا انتهای دورهٔ رشد و برداشت حفظ شده است.

www.SID.ir

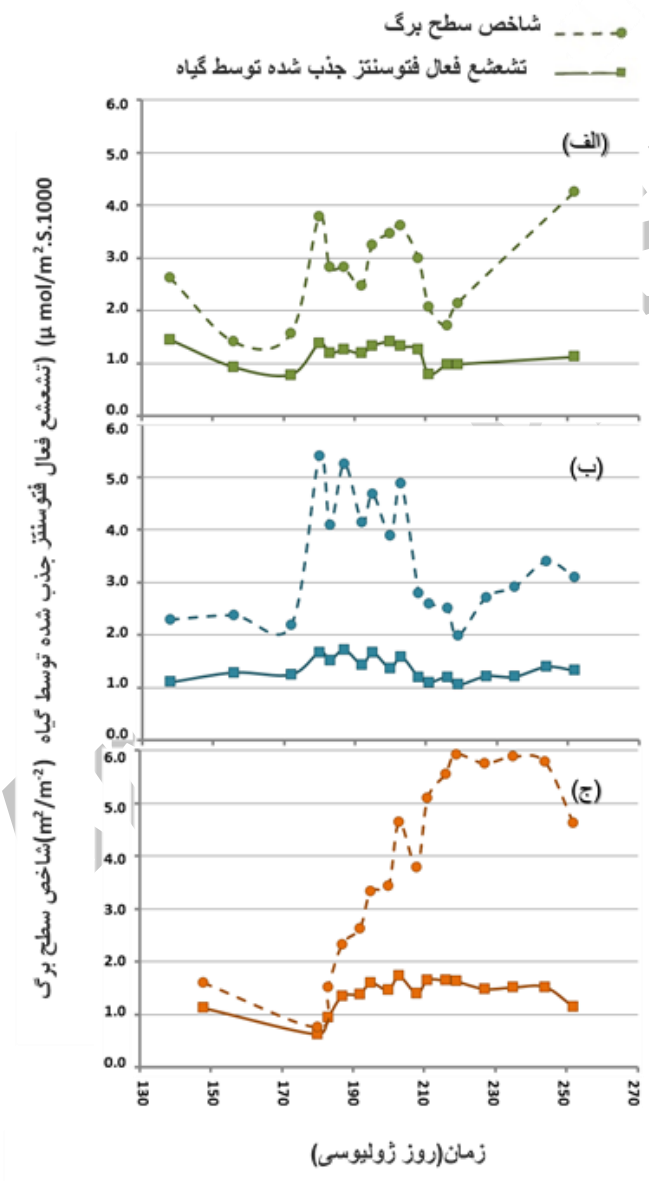


شکل ۴. شاخص سطح برگ اندازه‌گیری‌شده با دستگاه آکیوپار در هر سه محصول یونجه (الف)، چغندرقند (ب) و ذرت (ج) در طول دورهٔ رشد

مقادیر شاخص سطح برگ به‌دست آمده از آکیوپار در مقابل مقادیر اندازه‌گیری‌شده به‌صورت تخریبی در شکل ۵ ترسیم شده است. روند تغییرات مقادیر اندازه‌گیری‌شده با آکیوپار با تغییرات اندازه‌گیری‌شده در هر سه مزرعه مطابقت دارد. از این میان نمودارهای مزارع یونجه و ذرت انطباق بیشتری بروز می‌دهد. در مزرعهٔ چغندرقند نتایج آکیوپار دقت مناسبی نداشت و اختلاف مقادیر اندازه‌گیری‌شده از طریق آکیوپار و داده‌برداری‌های مزرعه‌ای زیاد و حتی تا ۲/۹۲ هم مشاهده شده است. با وجود این، روند تغییرات منحنی‌های تولیدشده از هر دو

www.SID.ir

روش (تخریبی و غیرتخریبی) مشابه است. کوچک‌بودن برگ‌های گیاه و بازبودن زاویهٔ برگ‌های چغندرقند در ابتدای فصل رشد باعث شده است که نتایج روش‌های تخریبی و غیرتخریبی تطابق بیشتری داشته باشد. اما، در میانهٔ فصل رشد که برگ‌های چغندرقند بزرگ‌تر می‌شود و همپوشانی بسیار بالایی ایجاد می‌کند، سایه‌اندازی روی دستگاه باعث ایجاد اختلاف در نتایج دو روش (تخریبی و غیرتخریبی) شده است. تأثیر سایه‌اندازی به حدی است که شاخص سطح برگ غیرتخریبی به‌دست آمده از آکیوپار مقادیر حداکثر را نشان می‌دهد. پژوهش مشابهی در کشت و صنعت هزار جلفای قزوین در خصوص ذرت علوفه‌ای و چغندرقند نتایج شکل ۵ را تأیید می‌کند (۳).



شکل ۵. ترسیم تغییرات شاخص سطح برگ به دو روش تخریبی و غیرتخریبی در برابر زمان در سه محصول یونجه (الف)، چغندرقند (ب) و ذرت (ج)

www.SID.ir

جدول ۳ با هدف ارزیابی داده‌های به‌دست آمده از آکیوپار با مقادیر اندازه‌گیری شده با نمونه‌برداری از مزارع مختلف ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول ۳، استفاده از دستگاه آکیوپار در تخمین مقدار شاخص سطح برگ در هر سه مزرعه توصیه می‌شود. در این میان، بیشترین انطباق داده‌های آکیوپار با داده‌های واقعی برداشت‌شده از مزرعهٔ ذرت است. بالاترین میزان هم‌روندی و کمترین میزان انحراف از داده‌های اندازه‌گیری‌شده در مزرعه مشاهده می‌شود. استفاده از آکیوپار در مزرعهٔ یونجه کمترین دقت را دارد. البته، مشاهدهٔ نتایج آماری استفاده از این دستگاه در تخمین شاخص سطح برگ در این مزرعه نیز توصیه می‌شود.

جدول ۳. نتایج آماری داده‌های شاخص سطح برگ (بی‌بعد) تخمینی با آکیوپار با مقادیر اندازه‌گیری‌شده با استفاده از روش تخریبی

محصول	R^2 (بی‌بعد)	RMSE (بی‌بعد)	بازده مدل (ME) (درصد)	میانگین مطلق خطا (MAE) (بی‌بعد)
یونجه	۰/۸۷	۰/۹۴	−۰/۲۶	−۰/۵۶
چغندرقند	۰/۹۰	۲/۰۳	−۱۷/۱۲	۱/۷۷
ذرت	۰/۹۶	۰/۱۴	۱	۰/۱۲

برای آزمون درستی فرض وجود رابطهٔ آماری بین شاخص سطح برگ تخریبی و غیرتخریبی، آنالیز واریانس انجام‌شده و نتایج آن در جدول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود. جدول ۴ به‌منظور آنالیز فرم معادله استفاده شده است. در این جدول فرم معادلات پیش‌بینی‌شده برای هر سه محصول به کمک آزمون F و آزمون Mean Square در سطح ۱ درصد معنادار است. از سوی دیگر، معادلهٔ تولیدشده برای ذرت بیشترین تصدیق را به خود اختصاص داد.

جدول ۴. تجزیهٔ واریانس برازش داده‌های تخریبی و غیرتخریبی در فرم معادله

محصول	Source	DF	SS	R-sq.	MS*	F	P
ذرت	رگرسیون	۱	۱۹۰/۳	٪۹۶/۳۵	۱۹۰/۳۰۰	۵۲۴/۲۴	۰/۰۰۰
	خطا	۱۹	۷/۱۹۹		۰/۳۷۹		
	کل	۲۰	۱۹۷/۴۹۹				
چغندرقند	رگرسیون	۱	۱۲۹/۰۱	٪۹۰/۹۹	۱۲۹	۲۹۳	۰/۰۰۰
	خطا	۲۹	۱۲/۷۷		۰/۴۴		
	کل	۳۰	۱۴۱/۷۸				
یونجه	رگرسیون	۱	۳۶۴/۹۷	٪۸۷/۷۸	۳۶۴/۹۶۶	۲۹۹/۹۶	۰/۰۰۰
	خطا	۳۲	۵۰/۷۹		۱/۵۸۷		
	کل	۳۳	۴۱۵/۷۵				

*Mean Square

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج ارزیابی ضرایب معادلات تولیدشده با استفاده از آزمون T-Test ارزیابی شد (جدول ۵). نتایج این آزمون نیز بیان‌کنندهٔ معناداری در سطح ۱ درصد است و به‌طور کلی فرض وجود رابطه بین شاخص سطح برگ از روش تخریبی با روش غیرتخریبی تأیید می‌شود. از این پس، استفاده از رابطه مذکور در تخمین شاخص سطح برگ در مزرعه با استفاده از دستگاه آکیوپار با دقت بالا و در زمان کوتاه مورد وثوق است و برای هر یک از محصولات مورد توجه در این پژوهش در قالب جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۵. تجزیهٔ واریانس برازش داده‌های تخریبی و غیرتخریبی در ضرایب معادله

محصول	Coef*	SE Coef	T	P	VIF**
ذرت	۰/۹۸۸۱	۰/۰۴۴۱	۲۲/۴۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰
چغندرقند	۰/۴۷۲۷	۰/۰۲۷۶	۱۷/۱۲	۰/۰۰۰	۱/۰۰
یونجه	۱/۱۶۷۹	۰/۰۷۷	۱۵/۱۶	۰/۰۰۰	۱/۰۰

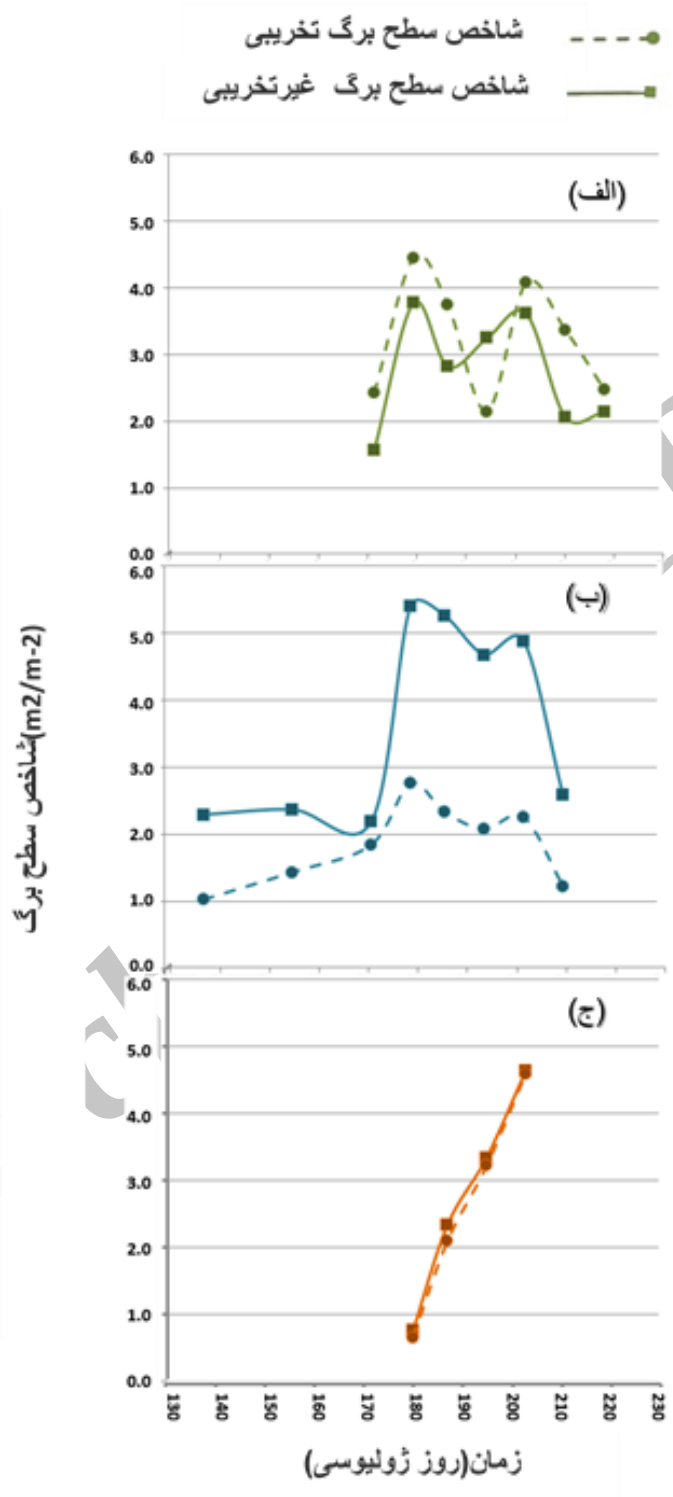
Variance Inflation Factor*

در شکل ۶ روند تغییرات APAR و شاخص سطح برگ هر محصول به‌طور جداگانه ترسیم شده است. روند تغییرات APAR و شاخص سطح برگ در هر سه مزرعه یکسان بود و فرض وجود رابطه‌ای خطی بین این دو پارامتر را تقویت می‌کند. از سوی دیگر، در گیاهانی که با افزایش شاخص سطح برگ در انتهای دورهٔ رشد گیاه مقدار PAR پایین به صفر می‌رسد، مقادیر APAPR و PAR بالا با یکدیگر مساوی می‌شود.

با فرض ثابت‌بودن تغییرات APAR و شاخص سطح برگ در طول دوران رشد گیاه، امکان ساده‌سازی رابطهٔ (۲) در قالب رابطه‌ای خطی فراهم می‌آید. این فرضیه با توجه به روند تغییرات نمودارهای شکل ۶ و ارتباط مستقیم مقادیر APAR با مقادیر PAR بالا و پایین تاج پوشش دور از ذهن نیست. ارزیابی آماری مقادیر APAR به‌دست آمده از طریق دستگاه آکیوپار و مقادیر تخمین‌زده شده در محصولات مختلف در جدول ۷ ارائه شده است. بر اساس آنالیزهای آماری صورت‌گرفته در این جدول، فرض وجود رابطهٔ خطی تأیید شد و استفاده از شاخص سطح برگ را در محاسبهٔ APAR تقویت می‌کند. معادلات خطی هر یک از محصولات در محاسبهٔ APAR با استفاده از شاخص سطح برگ در جدول ۷ آمده است.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس رابطهٔ بین مقدار تولید مادهٔ خشک براساس APAR (جدول ۷) نشان می‌دهد که چغندرقند بیشترین دقت را در برآورد میزان تولید مادهٔ خشک بر اساس APAR داراست. از آنجا که نتایج حاصل از این پژوهش را محققان دیگر نیز تأیید کرده‌اند (۳)، استفاده از روابط این پژوهش در تخمین مقدار مادهٔ خشک تولیدی در سطح دشت قزوین و برای هر سه محصول تأیید می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۶. روند تغییرات APAR و شاخص سطح برگ در یونجه (الف)، چغندرقند (ب) و ذرت (ج) در طول دورهٔ رشد

www.SID.ir

جدول ۷. روابط برآورد شاخص سطح برگ، APAR و عملکرد سه محصول یونجه، ذرت و چغندرقند

ردیف	محصول	رابطه	RMSE	R^2
		رابطهٔ بین شاخص سطح برگ تخریبی و غیرتخریبی		
۱	ذرت	LAIAccuPAR = 0.9881 LAIDirect	۰/۱۲	۰/۹۶
۲	یونجه	LAIAccuPAR =1.1679 LAIDirect	۰/۷۸	۰/۸۸
۳	چغندرقند	LAIAccuPAR = 0.4727 LAIDirect	۰/۳۲	۰/۹۱
		رابطهٔ بین APAR و شاخص سطح برگ		
۱	ذرت	APAR = 314.1 LAI	۰/۶۳ میکرومول بر مترمربع.ثانیه	۰/۹۲
۲	یونجه	APAR=406.1 LAI	۰/۲۴ میکرومول بر مترمربع.ثانیه	۰/۹۵
۳	چغندرقند	APAR=377.5 LAI	۰/۲۳ میکرومول بر مترمربع.ثانیه	۰/۹۷
		رابطهٔ بین APAR و مادهٔ خشک تولیدی		
۱	ذرت	Bact=0.00294 APAR	۳/۱ کیلوگرم بر مترمربع	۰/۹۴
۲	یونجه	Bact=0.00363 APAR	۳/۳ کیلوگرم بر مترمربع	۰/۹۰
۳	چغندرقند	Bact=0.00217 APAR	۲/۸۵ کیلوگرم بر مترمربع	۰/۹۶

نتیجه‌گیری

تخمین مقدار مادهٔ خشک تولیدی یکی از پارامترهای بسیار مهم در مدیریت مزرعه و برنامه‌ریزی‌های کلان در مناطق وسیع به‌حساب می‌آید که تلاش می‌شود تا با استفاده از تکنیک‌های مختلف با دقت بالا تخمین زده شود. در این میان، شاخص سطح برگ از جمله عوامل مؤثر در برآورد مقدار مادهٔ خشک تولیدی، به‌خصوص در گیاهان علوفه‌ای، شناخته شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که امکان استفاده از دستگاه AccuPAR-LP80 در تخمین سریع و بدون نیاز به قطع گیاه در مزارع ذرت و چغندرقند از دقت خوبی برخوردار است و به کمک همین روش امکان تخمین مقدار مادهٔ خشک تولیدشده در این دو محصول با دقت قابل‌قبول وجود دارد و توصیه می‌شود.

منابع

۱. احمدی ج.، خطیبی م.، امیرشکاری ح. و امینی‌دهقی م. (۱۳۹۰) ارزیابی شاخص‌های مورفو-فیزیولوژیک مؤثر بر عملکرد ارقام گندم بهاره با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. دانش زراعت. ۴: ۵۵-۶۶.

۲. بخشنده ا، سلطانی ا. و غدیریان ر. (۱۳۹۰) اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه AccuPAR در گندم. مجلهٔ پژوهش‌های تولید گیاهی.۴: ۹۷-۱۰۱.

۳. بادیه‌نشین ع.ر.، نوری ح. و وظیفه‌دوست م. (۱۳۹۳) واسنجی معادلات برآورد شاخص سطح برگ محصولات ذرت و چغندرقند با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجندهٔ مودیس (شبکهٔ آبیاری قزوین). تحقیقات آب و خاک ایران. (۲)۴۵: ۱۵۵-۱۶۵.

Archive of SID
www.SID.ir

۴. دانش‌کار آراسته پ. (۱۳۹۰) بررسی و تخمین راندمان آبیاری در شبکهٔ آبیاری سطحی دشت قزوین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. گزارش طرح تحقیقاتی. شرکت مدیریت منابع آب وزارت نیرو. ۱۴۵ ص.

۵. سلطانی غ. (۱۳۹۱) بررسی تطبیقی الگوی مصرف و مدیریت تقاضای آب کشاورزی در کشورهای منطقهٔ منا (خاورمیانه و شمال آفریقا). تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۴(۲): ۱-۲۵.

۶. مختاری ش.، پیرمرادیان ن.، وظیفه‌دوست م. و دواتگر ن. (۱۳۹۱) افزایش دقت برآورد منطقه‌ای عملکرد برنج با ارتقای قدرت تفکیک مکانی داده‌های ماهواره‌ای شاخص سطح برگ در مدل گیاهی VSM. تحقیقات غلات. ۳: ۲۰۹-۲۲۱.

۷. ملک م.م.، گالشی س.، زینلی ا.، عجک نوروزی ح. و ملک م. (۱۳۹۱) بررسی اثر شاخص سطح برگ، مادهٔ خشک و سرعت رشد محصول بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سویا. مجلهٔ الکترونیکی تولید گیاهان زراعی.۴: ۱-۱۷.

۸. میرهاشمی س.م. و بنایان اول م. (۱۳۹۱) شبیه‌سازی شاخص سطح برگ و عملکرد کلزا تحت شرایط تنش آب در اقلیم نیمه‌خشک. آب و خاک. (۲)۲۶: ۳۹۲-۴۰۳.

9. AHAS user's Guide, Version 1.3

10. Breda N. (2003) Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. Experimental Botany. 54(392): 2403-2417.

11. Decagon Devices Inc. (2013) Decagon AccuPAR Ceptometer Operating Manual. Decagon Devices Incorporation. Pullman. WA.P:3. 98 p.

12. Facchi A., Baroni G. and Boschetti Gandolfi M. (2010) Comparing optical and direct methods for leaf area index determination in a maize crop. Agricultural Engineering. 1: 33-40.

13. Gower S.T., Kucharik C.J. and Norman J.M. (1999) Direct and indirect estimation of leaf area index, FAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. Remote sensing of environment. 70: 29–51.

14. Jonckheere I., Fleck S., Nackaerts K., Muys B., Coppin P., Weis M. and Baret F. (2004) Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. Agricultural and Forest Meteorology 121: 19–35.

Archive of SID

www.SID.ir