



## 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 دانش کارآراسته<sup>۱</sup>، سعید ستوده‌نیا<sup>۲</sup>، عباس ستوده‌نیا<sup>۳\*</sup>، عباس کاویانی<sup>۴</sup>

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 پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۲۷

#### چکیده

مقدار ماده 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 به کار 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 ماده خشک با استفاده از شاخص سطح برگ چغندر قند، ذرت و یونجه انجام پذیرفت. شاخص سطح برگ این گیاهان به روش غیرتخریبی و با استفاده از دستگاه AccuPAR-LP80 کالیبره شده تعیین شد. ارزیابی‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین انطباق شاخص سطح برگ با استفاده از این دستگاه به ترتیب مربوط به ذرت و یونجه با ضرایب تبیین ۰/۹۶ و ۰/۸۸ بود. علاوه بر این، ماده خشک تولیدی به صورت تابعی خطی از شاخص جزء جذب‌شده تابش فتوسنتز فعال (APAR) تعیین شد. در ارزیابی‌های آماری، مزارع چغندر قند و یونجه به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۹۶ و ۰/۹۰ و شاخص RMSE به ترتیب 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، ماده خشک، مگسال

## مقدمه

روند رشد جمعیت جهان، در تأمین غذا دغدغه بزرگی را برای محققان بخش کشاورزی به وجود آورده است، زیرا بیش از ۷۰ درصد از سهم غذای انسان به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از مزارع کشاورزی تأمین می‌شود و آب نهاده کشاورزی‌ای است که اصلی‌ترین نقش را در تولید بازی می‌کند. نقش این ماده حیاتی به قدری پررنگ است که حدود ۷۵ درصد آب‌های شیرین جهان و بیش از ۹۳ درصد آب‌های شیرین در ایران برای مصرف در اراضی زراعی و باغی و برای تولید محصول استفاده می‌شود (۵).

شاخص‌های گیاهی از قبیل شاخص سطح برگ (LAI) از جمله عوامل مؤثر بر میزان تولید محسوب، به‌خصوص گیاهان علوفه‌ای محسوب می‌شود (۱۴). این شاخص یکی از پارامترهای مهم هیدرولوژیکی و آگروهیدرولوژیکی است که برای کمی کردن پوشش گیاهی، تولید محصول، تبخیر و تعرق، نیاز آبیاری و بسیاری از اجزای بیلان آب ضروری است (۳). افزایش مقدار شاخص سطح برگ در واقع به معنای گسترش سطح برگ است. این امر فاکتوری کلیدی در دریافت تشعشع خورشیدی و تبادل آب و انرژی در گیاه به حساب می‌آید (۸).

معمولاً اندازه‌گیری LAI به دو روش مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شود (۱۳). روش‌های مستقیم یا تخریبی تعیین LAI شامل جداسازی و شمارش برگ‌های گیاه است (۱۰). روش‌های غیرمستقیم تعیین سطح برگ بر اساس استخراج ارتباط سطح برگ و دیگر پارامترهای گیاهی استوار است (۱۴).

نتیجه تحقیقی در گرگان، آکیوپار با ضریب تبیین ۰/۷ شاخص سطح برگ را در هفت رقم گندم تخمین زده است. مطالعه مشابهی روی ذرت نشان داد که آکیوپار مقدار شاخص سطح برگ را در بازه تبیین ۰/۸۹ تا ۰/۹۸ و با دقت قابل قبول برآورد کرد (۲). بررسی ارتباط عملکرد هشت رقم

سویا و شاخص سطح برگ در گرگان نتیجه‌ای برخلاف انتظار داشت: با کاهش شاخص سطح برگ مقادیر تولید محصول افزایش یافت. علت این امر نیز طولانی‌بودن دوره رویشی و ریزش شدید برگ‌ها در دوره زایشی اعلام شده است (۷).

مدل گیاهی VSM در برآورد عملکرد برنج در مؤسسه تحقیقات برنج استفاده شد. شاخص سطح برگ تخمین زده شده با تصاویر سنجنده Landsat TM، نسبت به تصاویر MODIS، در پیش‌بینی عملکرد این محصول با استفاده از مدل VSM دقت بالاتری داشت (۶).

در این پژوهش که در کشت و صنعت مگسال در استان قزوین انجام شده است، هدف اصلی تولید رابطه‌ای برای تخمین عملکرد سه محصول ذرت، چغندرقلند و یونجه با استفاده از شاخص سطح برگ گیاهان است. در همین راستا، مقادیر شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه آکیوپار واسنجی شده 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 درجه و ۹ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی انجام گرفته است (شکل ۱). اقلیم منطقه مورد مطالعه به تبعیت از اقلیم شهرستان قزوین و بر اساس اقلیم نمای آمبرژه منطقه خشک سرد و متوسط بارندگی در محدوده مورد مطالعه ۲۹۸ میلی‌متر در سال است. بافت خاک غالب کشت و صنعت لوم شنی است.

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در چارچوب استاندارد ۰/۵×۰/۵ متر انجام شد. اندازه‌گیری در نوزده تاریخ و در هر تاریخ با پنج تکرار (پنج نقطه از هر مزرعه) انجام پذیرفت. تلاش شد تا نقاط انتخابی برای نمونه‌برداری معرف مزارع سه‌گانه باشد.

## مدیریت آب و آبیاری

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
چغندر قند	۸-۷	۹۷/۵	اواسط خرداد	اواسط آبان
یونجه	متغیر	۱۳/۵	تمامی ماه	هر چهار هفته

اتمام رسید، همه گیاهان در چارچوب استاندارد، با دقت از طوقه جدا شدند و برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ به روش تخریبی و در نهایت تعیین مقدار ماده خشک تولیدی در کیسه‌های پلاستیکی سیاه‌رنگ قرار گرفتند و در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان قزوین انتقال یافتند. نخست، گیاه به صورت تر وزن شد. سپس، مقدار شاخص سطح برگ با استفاده از اسکنر سنجش سطح برگ<sup>۲</sup> اندازه‌گیری شد. با قراردادن گیاه در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و پس از ۴۸ ساعت مقدار وزن خشک گیاه با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شد. وزن اندام زمینی و هوایی سه گیاه ذرت، چغندر قند و یونجه تعیین شد و رابطه وزن یا عملکرد گیاه با APAR (رابطه ۳) به دست آمد. در گیاه یونجه و ذرت علوفه‌ای تعیین عملکرد اندام هوایی و در گیاه چغندر قند عملکرد اندام زمینی مهم است. عملکرد اندام زمینی - شامل ریشه گیاه چغندر قند 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. رابطه (۳) تخمین میزان عملکرد گیاهان زراعی را به دست می‌دهد که مقدار تولید را به APAR وابسته می‌سازد (۹).

$$B_{act} = \sum_{i=1}^n \varepsilon(t) * AcAPAR \quad (3)$$

2. delta device

پس از پرتاب چارچوب استاندارد، مقادیر PAR<sup>۱</sup> 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 جذب شده در فرایند فتوسنتز گیاه) پارامتری ارزش‌مند در تخمین عملکرد گیاه و تعیین دی‌اکسید کربن مصرفی است و با رابطه (۱) محاسبه می‌شود (۱۱).

$$APAR = PAR^{\uparrow} - PAR^{\downarrow} \quad (1)$$

در این رابطه APAR جزئی از تابش فعال فتوسنتزی جذب شده گیاه ( $\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )،  $PAR^{\uparrow}$  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 رابطه (۲) محاسبه می‌شود (۱۱).

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

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

پس از اینکه عملیات داده‌برداری با دستگاه آکیوپار به

1. Photosynthetically Active Radiation

عملکرد محصول فراهم می‌آید (شکل ۲).

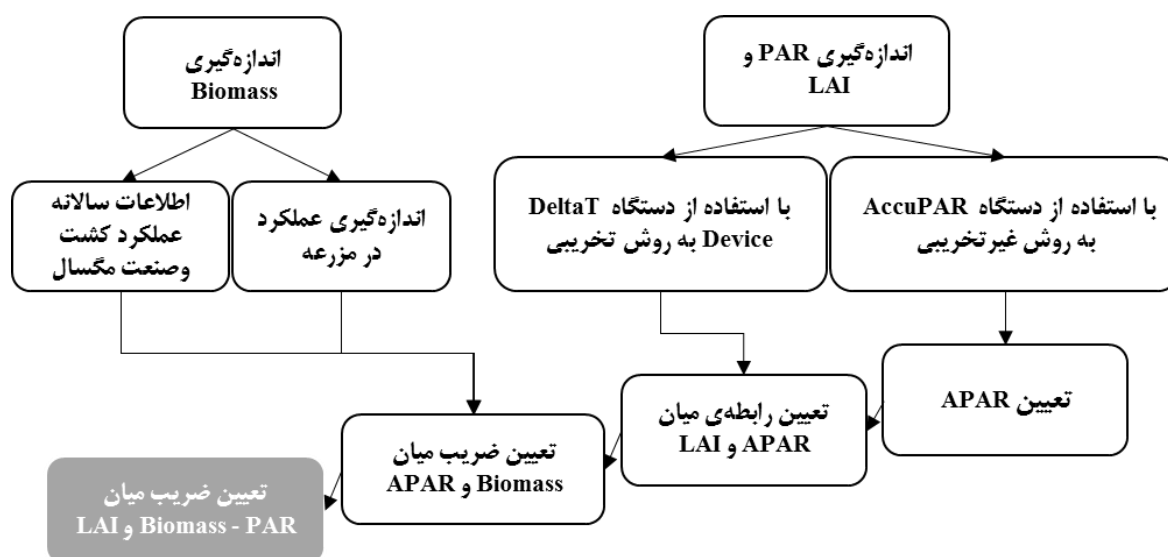
(۴)

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

$$APAR = f(LAI)$$

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

در این رابطه،  $AcAPAR$  عبارت است از  $APAR$  تجمعی ( $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ )،  $\varepsilon$  ضریب،  $B_{act}$  عملکرد واقعی ( $kg ha^{-1}$ ) و  $n$  زمان (ماه). مقادیر  $APAR$  به صورت تابعی از شاخص سطح برگ تعیین می‌شود و از آنجا که یافتن مقادیر عملکرد محصول به مقادیر  $APAR$  وابسته است، با جایگذاری این دو تابع و تعیین ضریب کالیبره کردن به طور مستقیم با اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از طریق دستگاه آکیوپار در همان لحظه و با استفاده از رابطه (۴) تخمین



شکل ۲. نمودار روند انجام پژوهش

### نتایج و بحث

مقادیر اندازه‌گیری شده  $APAR$ ، شاخص سطح برگ و مقدار ماده خشک تولیدی به تفکیک محصول در جدول ۲ ارائه شده است. با ترسیم مقادیر  $PAR$  ثبت شده با آکیوپار، مقادیر  $PAR$  بالا بیش از  $PAR$  پایین تاج پوشش گیاه به دست آمد. این امر در مورد تمامی گیاهان و در تمامی زمان‌های اندازه‌گیری مشاهده شد. علت این امر نیز جذب بخشی از تابش فعال فتوسنتز در برگ‌هاست. شکل ۳ مقادیر  $PAR$  بالا و پایین تاج پوشش گیاهان مختلف را

با توجه به اینکه در این پژوهش تلاش شده است تا دستگاه آکیوپار LP-80 با داده‌های اندازه‌گیری واسنجی شود و در نهایت تنها با استفاده از داده‌های آکیوپار مقادیر عملکرد تخمین زده شود، در ارزیابی و صحت‌سنجی نتایج نیاز به استفاده از روش‌های آماری احساس شد. در این پژوهش، ضمن به‌کارگیری از آزمون T-Test، از دیگر پارامترهای متداول آماری مانند  $RMSE$ ،  $R^2$ ،  $MAE$  و بازده مدل (ME) کمک گرفته شد.

### مدیریت آب و آبیاری

### تخمین مقدار ماده خشک با استفاده از شاخص سطح برگ

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

نمایش می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیداست، به‌ترتیب PAR بالا در ذرت بیشترین مقدار را داشت. در چغندر قند نیز بیش از یونجه بود. این امر به دلیل ساعت اندازه‌گیری با دستگاه آکیوپار در مزارع مختلف است، به‌گونه‌ای که همواره نخست، اندازه‌گیری PAR در مزرعه یونجه در بازه زمانی ۱۰:۳۰ تا ۱۱:۳۰، در مزرعه چغندر قند در بازه زمانی ۱۱:۳۰ تا ۱۲:۳۰ و در مزرعه ذرت از ساعت ۱۲:۳۰ تا ۱۳:۳۰ صورت می‌گرفت. لذا، با نزدیک شدن 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 چغندر قند

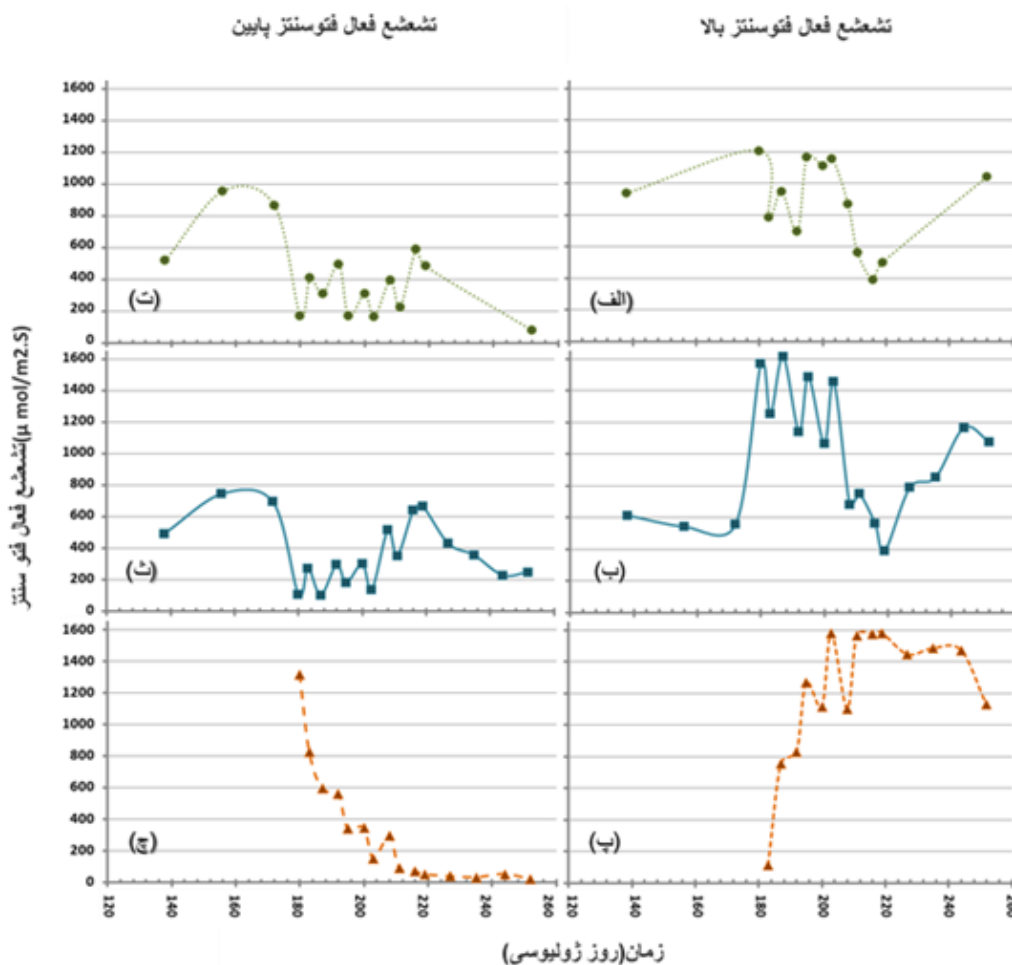
تاریخ	یونجه		ذرت		چغندر قند	
	عملکرد APAR میکرومول بر مترمربع ثانیه	عملکرد APAR میکرومول بر مترمربع ثانیه	عملکرد APAR میکرومول بر مترمربع ثانیه	عملکرد APAR میکرومول بر مترمربع ثانیه	عملکرد APAR میکرومول بر مترمربع ثانیه	عملکرد APAR میکرومول بر مترمربع ثانیه
۹۳/۰۴/۳۰	۷۷۸	۰/۳۳	۱/۵۶	۰/۳۶	۱۲۴۸	۰/۳۶
۹۳/۰۵/۰۷	۱۳۷۵	۰/۳۵	۳/۷۸	۰/۳۴	۱۶۷۰	۰/۳۴
۹۳/۰۵/۱۵	۱۲۵۷	۰/۵۳	۲/۸۲	۰/۲۸	۱۷۱۵	۰/۲۸
۹۳/۰۵/۲۳	۱۳۳۱	۰/۴۸	۳/۲۵	۰/۳۲	۱۶۶۳	۰/۳۲
۹۳/۰۵/۳۱	۱۳۲۱	۰/۳۶	۳/۶۲	۰/۳۸	۱۵۸۹	۰/۳۸
۹۳/۰۶/۰۸	۷۸۷	۰/۵۷	۲/۰۶	۰/۲۳	۱۰۹۹	۰/۲۳
۹۳/۰۶/۱۶	۹۸۰	۰/۳۶	۲/۱۴	۰/۳۲	۱۰۵۲	۰/۳۲
۹۳/۰۷/۰۹			۱۵۲۲	۵/۱	۵/۷۸	

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 دوره رشد، پوشش به قدری متراکم می‌شود که مقادیر PAR دریافتی روی سطح زمین به حداقل ممکن می‌رسد. سرعت بالای رشد ذرت علی‌رغم دیرتر کاشته شدن نسبت به دو گیاه دیگر باعث می‌شود که منحنی PAR پایین با افزایش تراکم پوشش گیاهی به سرعت کاهش یابد و منحنی هر دو گیاه را قطع کند.

همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، مقدار PAR پایین با تکمیل شدن دوره رشد گیاهان کاهش می‌یابد. این بدان معناست که با تکمیل شدن روند رشد تاج، پوشش گیاهان توسعه بیشتری می‌یابد، لذا نور کمتری به محدوده زیر تاج پوشش گیاهان می‌رسد. در خصوص مزرعه یونجه این مقادیر دارای نوسان است. علت افزایش PAR پایین در این مزرعه، برداشت یونجه و رشد مجدد گیاه بوده است. در خصوص چغندر قند نیز طی تکمیل دوره رشد رویشی، به تدریج بر میزان توسعه تاج پوشش گیاهان افزوده می‌شود و در انتهای دوره رشد و با نزدیک شدن به زمان برداشت

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵



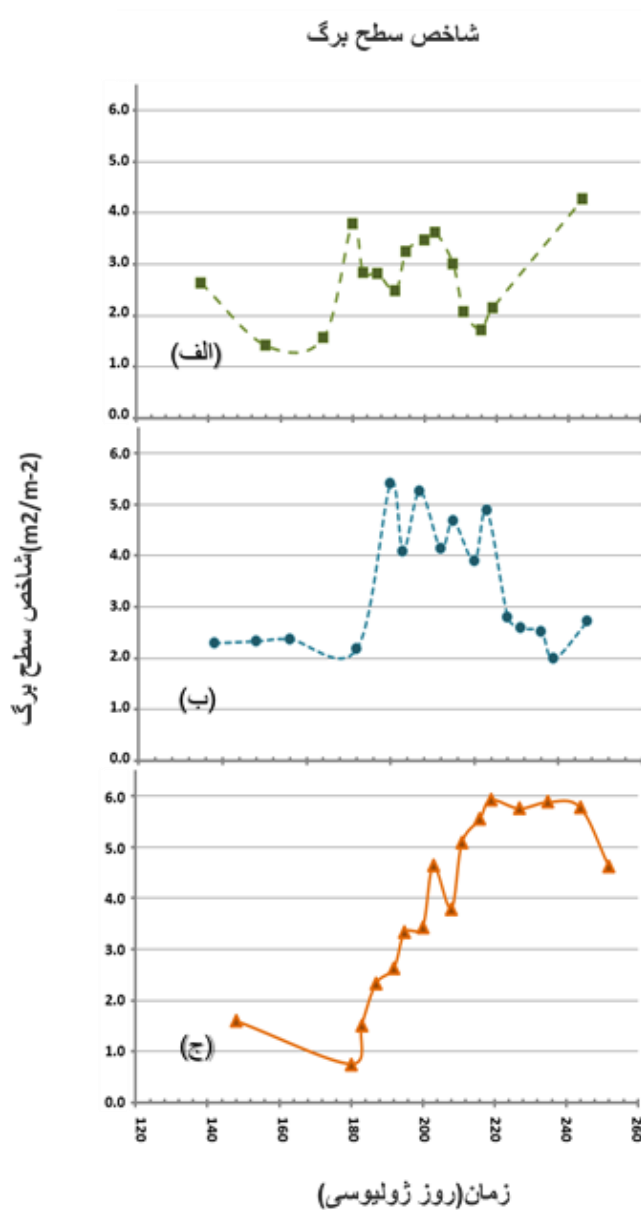
شکل ۳. نمودار تغییرات PAR بالا و PAR پایین در سه محصول یونجه (الف و ت)، چغندر قند (ب و ج)، و ذرت (پ و چ)

نزدیک شدن به زمان برداشت، برگ‌های تحتانی خشک می‌شود و شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، با دقت در نمودار مشاهده می‌شود که در دوره‌ای که انتظار می‌رود شاخص سطح برگ چغندر قند 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 چغندر قند به وجود می‌آید. در مورد ذرت نیز علی‌رغم اینکه دیرتر از دیگر محصولات کشت شده است، با شیبی تند و به صورت صعودی شاخص سطح برگ را افزایش می‌دهد. این روند افزایشی تا انتهای دوره رشد و برداشت حفظ شده است.

مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه آکیوپار در شکل ۴ ارائه شده است. مقادیر به دست آمده در این پژوهش در هر سه گیاه با داده‌های دیگر محققان انطباق دارد و در بازه مناسبی است (۴، ۱۲). در خصوص یونجه، در طول دوره رشد، مقدار آن افزایش و پس از برداشت مجدداً کاهش می‌یابد و همین روند تکرار شده است. چغندر قند در دوره‌ای از رشد، افزایش در شاخص سطح برگ را بروز می‌دهد. سپس، مقدار آن ثابت می‌شود و به تدریج کاهش می‌یابد. از زمان کاشت تا پایان دوره رشد رویشی مقادیر شاخص سطح برگ افزایش نشان داد و مقدار آن ثابت بود. در انتهای دوره رشد و با

## مدیریت آب و آبیاری

تخمین مقدار ماده خشک با استفاده از شاخص سطح برگ



شکل ۴. شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده با دستگاه آکیوپار در هر سه محصول یونجه (الف)، چغندر قند (ب) و ذرت (ج) در طول دوره رشد

انطباق بیشتری بروز می‌دهد. در مزرعه چغندر قند نتایج آکیوپار دقت مناسبی نداشت و اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده از طریق آکیوپار و داده‌برداری‌های مزرعه‌ای زیاد و حتی تا ۲/۹۲ هم مشاهده شده است. با وجود این، روند تغییرات منحنی‌های تولید شده از هر دو

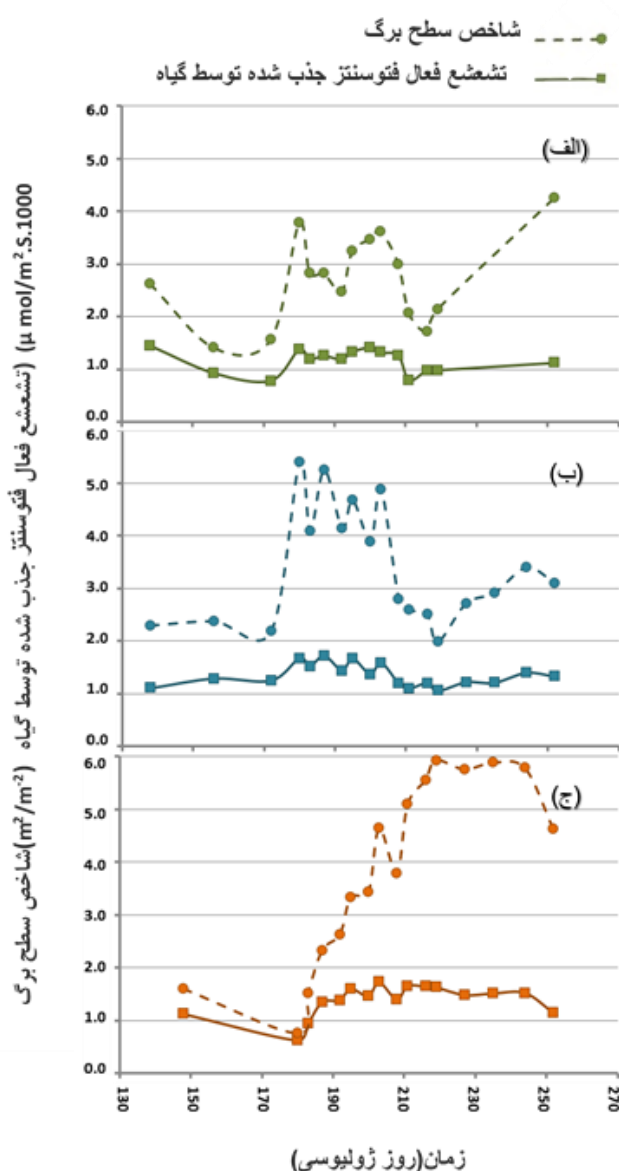
مقادیر شاخص سطح برگ به دست آمده از آکیوپار در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده به صورت تخریبی در شکل ۵ ترسیم شده است. روند تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده با آکیوپار با تغییرات اندازه‌گیری شده در هر سه مزرعه مطابقت دارد. از این میان نمودارهای مزارع یونجه و ذرت

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

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 چغندرقد نتایج شکل ۵ را تأیید می‌کند (۳).

روش (تخریبی و غیرتخریبی) مشابه است. کوچک‌بودن برگ‌های گیاه و بازبودن زاویه برگ‌های چغندرقد در ابتدای فصل رشد باعث شده است که نتایج روش‌های تخریبی و غیرتخریبی تطابق بیشتری داشته باشد. اما، در میانه فصل رشد که برگ‌های چغندرقد بزرگ‌تر می‌شود و همپوشانی بسیار بالایی ایجاد می‌کند، سایه‌اندازی روی



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

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵



### تخمین مقدار ماده خشک با استفاده از شاخص سطح برگ

ذرت است. بالاترین میزان هم‌روندی و کمترین میزان انحراف از داده‌های اندازه‌گیری شده در مزرعه مشاهده می‌شود. استفاده از آکیوپار در مزرعه یونجه کمترین دقت را دارد. البته، مشاهده نتایج آماری استفاده از این دستگاه در تخمین شاخص سطح برگ در این مزرعه نیز توصیه می‌شود.

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 برداشت شده از مزرعه

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

محصول	R <sup>2</sup> (بی‌بعد)	RMSE (بی‌بعد)	بازده مدل (ME) (درصد)	میانگین مطلق خطا (MAE) (بی‌بعد)
یونجه	۰/۸۷	۰/۹۴	-۰/۲۶	-۰/۵۶
چغندر قند	۰/۹۰	۲/۰۳	-۱۷/۱۲	۱/۷۷
ذرت	۰/۹۶	۰/۱۴	۱	۰/۱۲

محصول به کمک آزمون F و آزمون Mean Square در سطح ۱ درصد معنادار است. از سوی دیگر، معادله تولید شده برای ذرت بیشترین تصدیق را به خود اختصاص داد.

برای آزمون درستی فرض وجود رابطه آماری بین شاخص سطح برگ تخریبی و غیرتخریبی، آنالیز واریانس انجام شده و نتایج آن در جدول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود. جدول ۴ به منظور آنالیز فرم معادله استفاده شده است. در این جدول فرم معادلات پیش‌بینی شده برای هر سه

جدول ۴. تجزیه 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				
چغندر قند	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

### مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

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.

نتایج ارزیابی ضرایب معادلات تولیدشده با استفاده از آزمون T-Test ارزیابی شد (جدول ۵). نتایج این آزمون نیز بیان‌کننده 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،

جدول ۵. تجزیه 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
چغندر قند	۰/۴۷۲۷	۰/۰۲۷۶	۱۷/۱۲	۰/۰۰۰	۱/۰۰
یونجه	۱/۱۶۷۹	۰/۰۷۷	۱۵/۱۶	۰/۰۰۰	۱/۰۰

Variance Inflation Factor\*

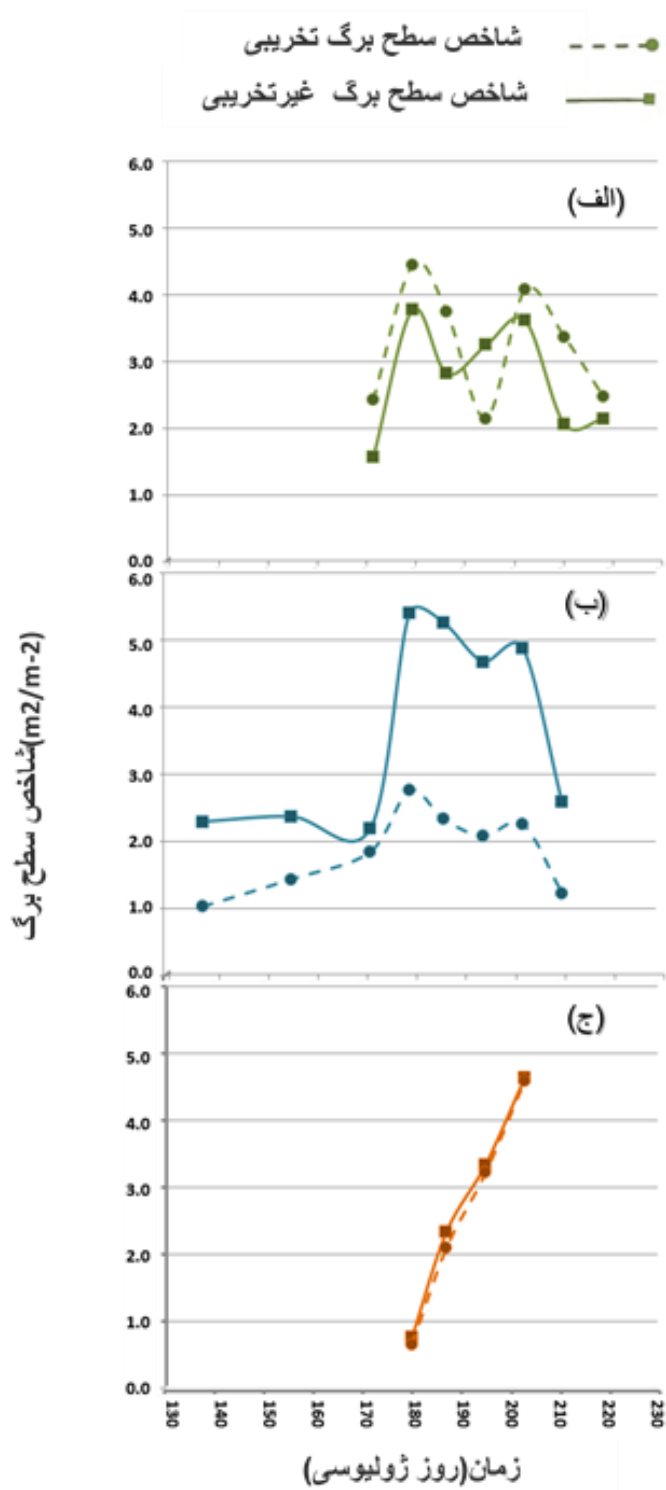
محصولات مختلف در جدول ۷ ارائه شده است. بر اساس آنالیزهای آماری صورت‌گرفته در این جدول، فرض وجود رابطه خطی تأیید شد و استفاده از شاخص سطح برگ را در محاسبه APAR تقویت می‌کند. معادلات خطی هر یک از محصولات در محاسبه APAR با استفاده از شاخص سطح برگ در جدول ۷ آمده است.

نتایج حاصل از آنالیز واریانس رابطه بین مقدار تولید ماده خشک براساس APAR (جدول ۷) نشان می‌دهد که چغندر قند بیشترین دقت را در برآورد میزان تولید ماده 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 ماده خشک تولیدی در سطح دشت قزوین و برای هر سه محصول تأیید می‌شود.

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 دوره رشد گیاه مقدار PAR پایین به صفر می‌رسد، مقادیر APAR و PAR بالا با یکدیگر مساوی می‌شود.

با فرض ثابت بودن تغییرات APAR و شاخص سطح برگ در طول دوران رشد گیاه، امکان ساده‌سازی رابطه (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

تخمین مقدار ماده خشک با استفاده از شاخص سطح برگ



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

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۶ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۵

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

ردیف	محصول	رابطه	RMSE	R <sup>2</sup>
رابطه 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	چغندر قند	LAIAccuPAR = 0.4727 LAIDirect	۰/۳۲	۰/۹۱
رابطه 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	چغندر قند	APAR=377.5 LAI	۰/۲۳ میکرومول بر مترمربع.ثانیه	۰/۹۷
رابطه بین APAR و ماده 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	چغندر قند	Bact=0.00217 APAR	۲/۸۵ کیلوگرم بر مترمربع	۰/۹۶

## نتیجه گیری

تخمین مقدار ماده خشک تولیدی یکی از پارامترهای بسیار مهم در مدیریت مزرعه و برنامه‌ریزی‌های کلان در مناطق وسیع به حساب 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 ماده خشک تولیدی، به خصوص 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 چغندر قند از دقت خوبی برخوردار است و به کمک همین روش امکان تخمین مقدار ماده خشک تولیدشده در این دو محصول با دقت قابل قبول 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. مجله 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 چغندر قند با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مودیس (شبکه آبیاری قزوین). تحقیقات آب و خاک ایران. (۲) ۴۵: ۱۵۵-۱۶۵.

## مدیریت آب و آبیاری

۹. AHAS user's Guide, Version 1.3
۱۰. Breda N. (2003) Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Experimental Botany*. 54(392): 2403-2417.
۱۱. Decagon Devices Inc. (2013) Decagon AccuPAR Ceptometer Operating Manual. Decagon Devices Incorporation. Pullman. WA.P:3. 98 p.
۱۲. 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.
۱۳. 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.
۱۴. 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.
۴. دانش کار آراسته پ. (۱۳۹۰) بررسی و تخمین راندمان آبیاری در شبکه 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 منطقه منا (خاورمیانه و شمال آفریقا). تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۴(۲): ۱-۲۵.
۶. مختاری ش.، پیرمادیان ن.، وظیفه دوست 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.، عجبک نوروزی ح. و ملک م. (۱۳۹۱) بررسی اثر شاخص سطح برگ، ماده خشک و سرعت رشد محصول بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سویا. *مجله 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(۲): ۳۹۲-۴۰۳.