مجله ترویجی میوه‌های نیمه‌گرمسیری، جلد ۵، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴

برآورد ساده سطح برگ مرکبات: راهکاری نوین برای مدیریت باغ

ابوذر ابوذری [۱]، یحیی تاجور [۲]، بابک عدولی [۳]*

[۱] بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

[۲،۳] گروه فناوری و مدیریت تولید، پژوهشکده مرکبات و میوه های نیمه گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران

[*] نویسنده مسئول: Sh.abouzari@ gmail.com

چکیده

اندازه‌گیری سطح برگ به دلیل اهمیت آن در ارزیابی رشد و توسعه گیاه، نقشی اساسی دارد. روش‌های مرسوم اندازه‌گیری سطح برگ، غالباً پرهزینه و زمان‌بر بوده و از همه مهم‌تر، مستلزم جداسازی برگ از درخت و در نتیجه آسیب به بافت گیاهی است. این امر، امکان پایش‌های مکرر و غیرتخریبی را با دشواری مواجه می‌سازد. در این راستا، پژوهش‌های اخیر بر توسعه روش‌های غیرتخریبی و مقرون‌به‌صرفه متمرکز شده‌اند که به درخت آسیبی وارد نسازند. یکی از مؤثرترین و کاربردی‌ترین این رویکردها که امروزه در کشورهای پیشرو نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد، بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی است. این روش مبتنی بر اندازه‌گیری متغیرهای ساده و قابل‌دسترس برگ نظیر طول و عرض آن است. با استفاده از فرمول‌های ریاضی توسعه‌یافته، می‌توان برآورد دقیق و قابل‌اعتمادی از سطح برگ به دست آورد، بدون آنکه نیازی به چیدن برگ‌ها باشد.

در پژوهشی که طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ با جمع‌آوری اطلاعات از بیش از ۱۴۰۰۰ برگ از ۷ رقم مختلف جنس مرکبات در پژوهشکده تحقیقات مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری رامسر (ایستگاه تحقیقات کترا) به انجام رسید، مدل‌های خطی ساده‌ای معرفی گردید که بر پایه حاصل‌ضرب طول و عرض برگ بنا شده‌اند. نتایج این تحقیق بادقت بیش از ۹۷ درصد، ابزاری عملی و ارزشمند را در اختیار کشاورزان، کارشناسان و پژوهشگران قرار می‌دهد تا به طور مداوم صرفاً با اندازه‌گیری طول و عرض برگ و محاسبه سطح برگ بتوانند تصمیمات مدیریتی اثربخشی در خصوص آبیاری، تغذیه و سایر عملیات باغداری اتخاذ نموده و با ارتقاء بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها، به تولیدی پایدارتر و با کیفیت‌تر دست یابند.

کلمات کلیدی: بهره‌وری، سطح برگ، غیرتخریبی، مرکبات، مدیریت باغ، مدل ساده ریاضی

استناد: ابوذری، ابوذر؛ تاجور، یحیی؛ و عدولی، بابک (۱۴۰۴). برآورد ساده سطح برگ مرکبات: راهکاری نوین برای مدیریت باغ. *مجله ترویجی میوه‌های نیمه‌گرمسیری*، ۵ (۱)، ۷-۱.

ناشر: پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی.

بیان مسئله

کشاورزی امروز، بیش از هر زمان دیگری به دانش و اطلاعات دقیق برای مدیریت بهینه نیازمند است. یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی که می‌تواند وضعیت سلامت و پتانسیل تولید درخت را نشان دهد، سطح برگ درخت است. برگ‌ها کارخانه تولید غذای درخت هستند. آن‌ها با جذب نور خورشید، فرایند فتوسنتز را انجام می‌دهند و مواد غذایی لازم برای رشد، گلدهی، تشکیل میوه و توسعه ریشه را فراهم می‌کنند. مقدار و کیفیت برگ‌ها، مستقیماً بر میزان جذب نور، بهره‌وری مصرف آب (از طریق تعرق کنترل شده)، و جذب مواد غذایی از خاک تأثیر می‌گذارد (تئوبالدلی و همکاران، ۲۰۱۹). سطح برگ یک شاخص کلیدی برای ارزیابی وضعیت فیزیولوژی و سلامت عمومی درخت است. پس، هرچه اطلاعات دقیق‌تری از سطح برگ درختان داشته باشیم، تصمیم‌های بهتر و علمی‌تری برای مدیریت باغ می‌توان اتخاذ کرد (بهاتلا و لال، ۲۰۲۳).

تکنیک‌های اندازه‌گیری غیرمخرب سطح برگ، چندین مزیت مهم نسبت به روش‌های مخرب دارند. ۱- امکان اندازه‌گیری‌های مکرر را در همان گیاه بدون ایجاد آسیب فراهم می‌کنند و محققان را قادر می‌سازند تا تغییرات سطح برگ را در طول زمان تحت‌نظر بگیرند. به عبارتی ساده‌تر این روش‌ها پایش غیرتهاجمی سطح برگ را ممکن می‌سازند. این بدان معنی است که می‌توان اندازه‌گیری‌ها را بدون لمس فیزیکی یا اختلال در گیاه انجام داد (سانتانا و همکاران ۲۰۱۸؛ اگوچی و همکاران ۲۰۱۸). ۲- این تکنیک‌ها در مقایسه با روش‌های مخرب، نیروی کار کمتر و زمان محدودتری نیاز داشته و استفاده از آن‌ها را برای مطالعات در مقیاس بزرگ یا کاربردهای میدانی مناسب می‌کنند. این روش‌ها اغلب در مقایسه با روش‌های مخرب مقرون‌به‌صرفه‌تر و کاربرپسندتر هستند. ۳- تکنیک‌های غیرمخرب اندازه‌گیری‌های دقیق و قابل اطمینانی را فراهم می‌کنند و اعتبار داده‌های جمع‌آوری شده را تضمین می‌کنند (خان و همکاران، ۲۰۱۶).

بااین‌حال، تکنیک‌های اندازه‌گیری غیرمخرب مساحت برگ مجموعه‌ای از چالش‌های خاص خود را دارند (تئوبالدلی و همکاران، ۲۰۱۹). تکنیک‌های غیرمخرب ممکن است تحت تأثیر عواملی مانند جهت برگ، شکل برگ و ویژگی‌های سطح برگ قرار گیرند که می‌تواند بر دقت اندازه‌گیری‌ها تأثیر بگذارد (دماریا و همکاران، ۲۰۱۸). کالیبراسیون برای اطمینان از اندازه‌گیری‌های دقیق و سازگار ضروری است، در حالی که اعتبارسنجی برای ارزیابی دقت و قابلیت اطمینان اندازه‌گیری‌ها در مقایسه با روش‌های مخرب مهم است. با این وجود مزیت‌های روش‌های غیرمخرب سبب گردیده این تکنیک‌ها جایگزین ارزشمندی برای روش‌های مخرب سنتی محسوب می شوند.

روش‌های سنتی اندازه‌گیری سطح برگ، معمولاً سخت، زمان‌بر و نیازمند تجهیزات گران‌قیمت آزمایشگاهی نظیر دستگاه‌های سطح‌سنج برگ یا تجزیه و تحلیل تصاویر می‌باشد. این محدودیت‌ها باعث می‌شود نتوان به طور مداوم و برای تعداد زیادی از درختان، سطح برگ را پایش نمود (فالوو و همکاران ۲۰۰۸؛ سانتانا و همکاران، ۲۰۱۸). اما پژوهش جدیدی که در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری رامسر انجام شده است، راهکاری ساده و مؤثر برای غلبه بر این چالش‌ها ارائه گردید که در این مقاله به کاربرد عملی استفاده از نتایج آن پرداخته می‌شود.

معرفی دستاورد

بر اساس نتایج پژوهشی که مبتنی بر داده‌های دقیق مورفولوژیکی برگ هفت رقم مرکبات طی سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳ در ایستگاه تحقیقات کترا وابسته به پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری رامسر (ایران) انجام شد، بهترین مدل محاسبه سطح برگ برای هر رقم معرفی گردید (جدول ۱). برای استفاده از این مدل‌ها، بهره‌بردار ابتدا تعداد محدودی برگ از درخت مورد نظر را انتخاب می‌نماید. در قدم بعدی طول و عرض هر برگ را که در این فرمول‌ها به‌ترتیب با L و W نشان داده شده را با استفاده از کولیس یا خط‌کش (بر حسب سانتی‌متر) اندازه گرفته و سپس حاصل‌ضرب آن‌ها را محاسبه می‌کند. مقادیر محاسبه شده را در مدل رگرسیونی رقم موردنظر (جدول ۱) جاگذاری نموده و در نهایت سطح تخمینی برگ بر اساس حاصل‌ضرب طول در عرض محاسبه می‌شود (مندوزا دگویس و همکاران، ۲۰۰۸). برای اطمینان کامل از دقت مدل در باغ مورد نظر، توصیه بر این است که یک‌بار فرایند ساده اعتبارسنجی محلی انجام شود (مازینی و همکاران، ۲۰۱۰). بدین منظور:
۱- تعداد محدودی برگ (مثلاً ۵۰ تا ۱۰۰ برگ) از رقم مورد بررسی در باغ انتخاب شود (انتخاب تصادفی تعدادی برگ سالم و بالغ از قسمت‌های مختلف تاج درختان مورد نظر در جهت و ارتفاع متفاوت). با توجه به اینکه این نمونه‌برداری تنها یک‌بار انجام می‌شود و امکان تکرار آن محدود است، انتخاب تعداد بالاتر برگ‌ها کمک می‌کند تا نماینده بهتری از تنوع اندازه برگ‌ها در سطح درخت تهیه نمود. به‌علاوه، افزایش تعداد نمونه‌ها می‌تواند پایداری و دقت مدل رگرسیونی را بهبود بخشد. ۲- ابعاد و حاصل‌ضرب طول و عرض هر برگ محاسبه شود. ۳- در گام بعدی سطح واقعی این برگ‌ها را صرفاً یک بار با استفاده از یک دستگاه سطح‌سنج (اگر در مراکز تحقیقاتی یا دانشگاهی منطقه موجود باشد) یا حتی با روش‌های جایگزین مانند استفاده از نرم‌افزارهای پردازش تصویر مانند ImageJ که به آسانی قابل دانلود بر روی گوشی همراه می‌باشد محاسبه می‌گردد. نکته بسیار مهم این است که برای استفاده از نرم‌افزارهای پردازش تصویر هنگام عکس‌برداری از برگ‌ها، حتماً یک مقیاس مشخص (مثل یک خط‌کش) در تصویر قرار داده شود تا نرم‌افزار بتواند اندازه‌ها را دقیقاً محاسبه کند. ٤- در نهایت میانگین سطح واقعی برگ‌ها با میانگین سطح تخمینی برگ‌ها (با استفاده از مدل رگرسیونی ارائه شده در جدول شماره ۱) مقایسه می‌شود. نتایج این مقایسه در دو حالت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد:

الف- اگر میانگین سطح برگ‌ها به هم نزدیک بودند (حداکثر تفاوت۵ درصد)، مدل در باغ موردنظر خوب عمل می‌کند.[1]
ب- اگر تفاوت قابل‌توجهی وجود داشت، می‌توان یک ضریب تصحیح محلی برای مدل در باغ محاسبه نمود. این ضریب می‌تواند نسبت میانگین سطح واقعی به میانگین سطح تخمینی باشد. سپس در ارزیابی‌های آتی هر بار که سطح برگ با مدل تخمین زده شود، در این ضریب تصحیح ضرب می‌شود تا عدد دقیق‌تری به دست آید (گائو و همکاران، ۲۰۲۳ و اگوچی و همکاران، ۲۰۱۸).

[1] این محاسبه بر اساس فرمول استاندارد خطای نسبی (Relative Error) انجام می‌شود. این روش ساده و کاربردی است و به ویژه در اعتبارسنجی مدل‌های تخمینی مانند آنچه در مقاله توصیف شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آستانه‌ها بر پایه مطالعات اعتبارسنجی مدل‌ها در گیاهان مختلف تعیین شده، جایی که درصد خطاهای زیر ۵ درصد به عنوان معیار دقت بالا در نظر گرفته می‌شود. فرمول به شرح زیر است:
درصد تفاوت = |(میانگین سطح واقعی – میانگین سطح تخمینی) / میانگین سطح واقعی| × ۱۰۰

جدول ۱- نام رقم و معادلات رگرسیونی منتخب برای آن‌ها

نام رقم	معادله رگرسیونی	معادله اعتبارسنجی
نارنگی کلمانتین	$y = 0.6611(L\times W) - 0.2037$	$y = 1.0413(L\times W) - 0.3133$
پرتقال جیرفتی	$y = 0.6593(L\times W) - 0.4738$	$y = 0.9864(L\times W) + 0.1961$
نارنگی پیج	$y = 0.6589(L\times W) - 0.118$	$y = 0.9494(L\times W) - 0.026$
لیموترش پرشین لایم	$y = 0.6723(L\times W) + 0.1$	$y = 0.9832(L\times W) + 0.3422$
پرتقال تامسون	$y = 0.6588(L\times W) - 0.1413$	$y = 0.9913(L\times W) + 0.1224$
نارنگی انشو	$y = 0.6339(L\times W) + 0.1209$	$y = 0.9594(L\times W) + 0.802$
پرتقال والنسیا	$y = 0.6626(L\times W) - 0.2793$	$y = 0.9727(L\times W) + 0.6791$

*Y سطح تخمینی برگ، L طول برگ، W عرض برگ

با توجه به کارایی این روش در تخمین سطح برگ و امکان استفاده از آن برای تصمیم‌گیری‌های کلیدی در عملیات روزمره باغداری و به بهبود بهره‌وری و پایداری تولید ، به برخی از مزایای کاربردی این نتایج در ذیل اشاره می‌شود:

- بهینه‌سازی برنامه آبیاری

سطح برگ و گستره تاج‌پوشش درخت، از عوامل موثر بر تبخیر و تعرق و در نتیجه نیاز آبی روزانه یا فصلی درخت به شمار می‌روند. به عنوان مثال، در صورت برآورد میانگین سطح برگ در دو بخش مختلف باغ (مثلاً ۲۵ و ۱۶ سانتی‌متر مربع)، این اختلاف می‌تواند نشانه‌ای از تفاوت در وضعیت رشد و سلامت درختان باشد. با این حال، لازم به تأکید است که برآورد نیاز آبی نباید صرفاً بر مبنای میانگین سطح برگ صورت گیرد، بلکه باید مجموع سطح کل برگ، ساختار تاج‌پوشش و دیگر شرایط اقلیمی و زیستی نیز لحاظ شوند. بنابراین، استفاده از اطلاعات سطح برگ به عنوان یک شاخص اولیه، می‌تواند در طراحی دقیق‌تر برنامه آبیاری و جلوگیری از تنش آبی یا آبیاری بیش از حد مؤثر واقع شود.

- مدیریت تغذیه و کوددهی

رشد رویشی قوی و توسعه مناسب سطح برگ، نشان‌دهنده سلامت سیستم ریشه و دسترسی کافی درخت به عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در خاک است. مثال عملی: اگر پس از اجرای برنامه کوددهی، با استفاده از این روش مشاهده شود که میانگین سطح برگ نمونه‌ها در درختان موردنظر (مثلاً ۱۸ سانتی‌متر مربع) کمتر از حد انتظار یا کمتر از سال‌های گذشته است، این امر می‌تواند نشانه‌ای از عدم جذب کافی مواد غذایی یا کمبود یک عنصر خاص باشد. در این صورت ممکن است به بازنگری در نوع، میزان یا زمان کوددهی نیاز باشد تا رشد برگ‌ها بهبود یابد.

- تصمیم‌گیری در خصوص هرس

هرس یکی از ابزارهای تنظیم‌کننده تعادل بین رشد رویشی و زایشی و منجر به بهبود کیفیت نورگیری در تاج درخت خواهد شد. مثال عملی: فرض شود که باغدار تصمیم دارد نوع جدیدی از هرس توصیه شده را بر روی تعدادی از درختان اعمال نماید. قبل از هرس، میانگین سطح برگ نمونه‌های گرفته شده از این درختان با استفاده از مدل رگرسیونی پیشنهادی (مثلاً ۲۵ سانتی‌متر مربع) برآورد شود. پس از هرس، مجدداً از همان درختان نمونه‌برداری کرده و میانگین سطح برگ اندازه‌گیری شود. اگر میانگین سطح برگ به میزان قابل‌توجهی کاهش یابد (مثلاً به ۱۵ سانتی‌متر مربع)، این امر بیانگر این است که هرس

موردنظر شدید بوده و ممکن است بر پتانسیل فتوسنتزی درخت تأثیر منفی بگذارد. با مقایسه این ارقام، می‌توان تأثیر هرس بر میانگین سطح برگ را ارزیابی کرده و بهترین راهکار را متناسب با اهداف خود انتخاب نمود.

- ارزیابی سلامت درخت و اثر تنش‌های محیطی

استفاده از مدل‌های ارزیابی سطح برگ به‌عنوان ابزاری کمی و علمی، می‌تواند به‌طور مؤثر در پایش سلامت و رشد درختان باغی مورد استفاده قرار گیرد. این ابزار به مروجان و باغداران امکان می‌دهد تا در بازدیدهای میدانی، وضعیت رشد رویشی درختان را در بخش‌های مختلف یک باغ یا بین باغ‌های متفاوت، به‌صورت سریع و دقیق ارزیابی کنند. کاهش یا توقف رشد برگ‌ها، یا کوچک‌تر بودن اندازه آن‌ها نسبت به میانگین معمول فصل، می‌تواند نشان‌دهنده بروز تنش‌های زیستی (مانند آفات و بیماری‌ها) یا غیرزیستی (مانند خشکی، شوری و سرمازدگی) باشد. به‌عنوان مثال، در طول یک فصل خشک، اگر میانگین سطح برگ در نمونه‌برداری‌های منظم از ۲۲ سانتی‌متر مربع به ۱۷ سانتی‌متر مربع کاهش یابد، این کاهش می‌تواند به‌عنوان یک هشدار اولیه در خصوص قرار گرفتن درختان در معرض تنش خشکی تعبیر شود. چنین داده‌هایی، امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد را برای باغدار فراهم کرده و موجب می‌شود اقدامات مدیریتی و اصلاحی (مانند تنظیم دور آبیاری یا تأمین رطوبت) پیش از گسترش خسارت انجام پذیرد. در نهایت، این مدل‌ها با فراهم‌سازی داده‌های قابل تحلیل و قابل اتکا، پایه‌ای علمی برای ارائه مشاوره‌های زراعی دقیق‌تر فراهم می‌کنند و نقش مهمی در مدیریت هوشمند باغ ایفا می‌نمایند.

- کمک به انتخاب رقم و پایه مناسب

در زمان احداث باغ جدید یا توسعه باغ‌ها فعلی، انتخاب ارقام و پایه‌های سازگار با شرایط اقلیمی و خاکی منطقه اهمیت فراوانی دارد. پایش رشد رویشی و تخمین سطح برگ ارقام و پایه‌های مختلف در شرایط میدانی باغ، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص سازگاری آن‌ها در اختیار باغدار قرار داده و به انتخاب‌های آگاهانه‌تر و افزایش پتانسیل تولید در بلندمدت منجر شود. مثال عملی: باغدار در نظر دارد یک رقم جدید پرتقال را در باغ خود کشت نموده و بهترین پایه را برای آن انتخاب نماید. می‌توان چند نهال از رقم موردنظر را روی پایه‌های مختلف (مثلاً نارنج و سیترومِلو) پیوند زده و در یک بخش کوچک از باغ بکارد. با پایش منظم و تخمین میانگین سطح برگ نمونه‌ها در هر کدام از این ترکیب‌ها طی یک یا دو سال اول، مشاهده می‌شود که به طور مثال نهال‌های روی پایه سیترومِلو به طور مداوم میانگین سطح برگ بالاتری (مثلاً ۲۰ سانتی‌متر مربع) نسبت به نهال‌های روی پایه نارنج (مثلاً ۱۵ سانتی‌متر مربع) دارند. با لحاظ نمودن سایر عوامل تاثیرگذار، این ارزیابی نشان می‌دهد که پایه سیترومِلو سازگاری بهتری با رقم و شرایط باغ وی داشته و به او کمک می‌کند تا برای کشت در مقیاس بزرگ‌تر، پایه مناسب‌تری را انتخاب نماید.

علاوه بر استفاده مستقیم این روش توسط بهره‌برداران، مدل‌های غیرتخریبی برآورد سطح برگ مرکبات که در این پژوهش توسعه یافته‌اند، می‌توانند به‌عنوان ابزاری برای فعالیت مروجان مورداستفاده قرار گیرند. در ذیل به برخی از کاربردهای کلیدی این مدل‌ها برای کارشناسان ترویج اشاره می شود:

- توانمندسازی باغداران و افزایش مشارکت آن‌ها در مدیریت علمی باغ

یکی از مهم‌ترین وظایف مروجان، تبدیل دانش پیچیده تحقیقاتی به زبان ساده و قابل‌فهم برای کشاورزان است. روش برآورد سطح برگ با استفاده از طول و عرض، به دلیل سادگی مفهوم و اندازه‌گیری، به‌راحتی قابل‌انتقال به کشاورزان است. مروج می‌تواند در جلسه ترویجی یا بازدیدهای انفرادی، نحوه اندازه‌گیری با خط‌کش یا کولیس و مفهوم ساده رابطه بین ابعاد و سطح برگ را به کشاورزان آموزش دهد. با ارائه یک جدول ساده که ضرایب یا حتی مستقیماً سطح تخمینی برگ را بر اساس

طول و عرض برای ارقام رایج منطقه نمایش می‌دهد، می‌توان این ابزار را در اختیار کشاورز قرار داد تا بتواند پایش اولیه باغش را انجام دهد.

- ارزیابی اثر عملیات زراعی و توصیه‌های فنی

کارشناسان می‌توانند از این مدل‌ها برای ارزیابی کمّی تأثیر توصیه‌هایی ترویجی استفاده کنند. مثلاً، اگر برنامه تغذیه‌ای جدیدی برای یک باغ توصیه شده باشد، می‌توان با پایش سطح برگ درختان قبل و مدتی بعد از اجرای برنامه، تأثیر آن را بر رشد رویشی ارزیابی نمود. هم‌چنین برای ارزیابی اثربخشی روش‌های مختلف آبیاری، هرس یا کنترل آفات و بیماری‌ها بر سلامت و رشد برگ‌ها می‌توان از این روش استفاده کرد. حتی می‌توان از این اطلاعات برای تخمین شاخص سطح برگ (LAI) در سطح باغ استفاده کرده و آن را در نرم‌افزارهای مدیریت آبیاری برای محاسبه دقیق‌تر نیاز آبی به کار برد.

- همکاری در اعتبارسنجی محلی و بومی‌سازی مدل‌ها

همان‌طور که توضیح داده شد، دقت مدل‌ها ممکن است در شرایط محیطی کاملاً متفاوت، نیاز به اعتبارسنجی و شاید یک تنظیم کوچک (کالیبراسیون محلی) داشته باشد. مروج به‌عنوان کارشناس در هر منطقه، بهترین فرد برای کمک به کشاورزان در انجام این مرحله است. می‌توان با جمع‌آوری نمونه‌های برگ از باغ‌های مختلف منطقه خود، سطح واقعی آن‌ها را اندازه گرفته و با مقایسه آن با مقادیر تخمینی مدل، دقت مدل را برای آن منطقه مشخص ارزیابی نماید. در صورت نیاز، می‌توان با کمک پژوهشگران، ضرایب تصحیح محلی را تعیین کرده و در اختیار کشاورزان منطقه قرار دهد. این کار به افزایش اطمینان از کاربرد مدل در سطح گسترده‌تر کمک می‌کند.

- مبنایی برای جمع‌آوری داده‌های میدانی

استفاده گسترده از این روش توسط مروجان و کشاورزان، می‌تواند منجر به جمع‌آوری حجم بالایی از داده‌های میدانی در خصوص ابعاد و سطح برگ ارقام مختلف مرکبات در شرایط متنوع محیطی شود. این داده‌ها بسیار ارزشمند هستند و می‌توانند به پژوهشگران در بهبود و بومی‌سازی هرچه بیشتر مدل‌ها در آینده کمک کنند. یک مروج می‌تواند در این زمینه نقش هماهنگ‌کننده جمع‌آوری داده را ایفا نماید.

توصیه ترویجی

پایش سطح برگ کمک موثری برای مدیریت بهینه باغ و افزایش بهره‌وری می‌باشد. با اندازه‌گیری تنها دو بُعد برگ، یعنی طول و عرض آن به‌وسیله خط‌کش و استفاده از معادلاتی که برای هر رقم محاسبه شده، می‌توان سطح برگ را با دقتی بیش از ۹۷٪ تخمین زد. برای افزایش دقت اندازه‌گیری، بهتر است از برگ‌های نمونه‌برداری شده از قسمت‌های مختلف تاج درخت استفاده شود. هم‌چنین بهتر است اندازه‌گیری سطح برگ در فواصل زمانی منظم (مثلاً هر دو هفته یکبار) انجام شود تا تغییرات آن به خوبی رصد گردد. این روش غیرتخریبی، کم‌هزینه و کاربردی است و در بهینه‌سازی مدیریت باغ از جمله آبیاری، تغذیه، هرس و تشخیص زودهنگام تنش‌های گیاهی نقش مؤثری دارد. در این بین مشاوره با مروجین کشاورزی می‌توانند نقش محوری در انتقال و بومی‌سازی یافته‌های تحقیقاتی برای بهره‌برداران نهایی، ایفا نمایند. استفاده صحیح از مدل‌های ارائه شده، می‌تواند اثربخشی فعالیت‌های ترویجی را افزایش داده، به کشاورز در مدیریت دقیق‌تر و علمی‌تر باغ یاری رسانده و سبب شود مروجان گام مهمی در جهت توسعه کشاورزی پایدار و داده‌محور در منطقه تحت نظارت خود بردارند.

فهرست منابع

Bhatla, S. C. & Lal, M. A. 2023. Plant physiology, development and metabolism, Springer nature.

De Maria, S., Rita, A., Trotta, V. & Rivelli, A. R. 2018. Assessment of a non-destructive method to estimate the leaf area of *armoracia rusticana*. Acta physiologiae plantarum, 40, 213.

Fallovo, C., Cristofori, V., De-Gyves, E. M., Rivera, C. M., Rea, R., Fanasca, S., Bignami, C., Sassine, Y. & Rouphael, Y. 2008. Leaf area estimation model for small fruits from linear measurements. Hortscience, 43, 2263-2267.

Gao, J., Huang, W., Gielis, J. & Shi, P. 2023. Plant morphology and function, geometric morphometrics, and modelling: decoding the mathematical secrets of plants. Plants, 12, 3724.

Khan, F., Banday, F., Narayan, S., Khan, F. & Bhat, S. 2016. Use of models as non-destructive method for leaf area estimation in horticultural crops. International journal of applied, 4, 1.

Mazzini, R. B., Ribeiro, R. V. & Pio, R. M. 2010. A simple and non-destructive model for individual leaf area estimation in citrus. Fruits, 6 ,269-275,5.

Mendoza-De Gyves, E., Cristofori, V., Fallovo, C., Rouphael, Y. & Bignami, C. 2008. Accurate and rapid technique for leaf area measurement in medlar (*Mespilus germanica* L.). Advances in horticultural science, 223-226.

Oguchi, R., Onoda, Y., Terashima, I. & Tholen, D. 2018. Leaf anatomy and function. The leaf: a platform for performing photosynthesis, 97-139.

Santana, H. A., Rezende, B. R., Santos, W. V. D. & Silva, A. R. D. 2018. Models for prediction of individual leaf area of forage legumes .Revista Ceres, 65, 204-209.

Teobaldelli, M., Rouphael, Y., Fascella, G., Cristofori, V., Rivera, C. M. & Basile, B. 2019. Developing an accurate and fast non-destructive single leaf area model for loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl) cultivars. Plants, 8 ,230.