



# توسعه سامانه هوشمند مبتنی بر تلفن همراه برای تحلیل کمی و فنوتایپینگ برگ با استفاده از پردازش تصویر

لیلا فهمیده<sup>۱\*</sup>، شهاب‌الدین نمازی‌خواه<sup>۲</sup>

۱ دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## چکیده

اندازه‌گیری و تحلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی برگ یکی از مولفه‌های اساسی در کشاورزی، بیولوژی و فنوتایپینگ گیاهی است. روش‌های سنتی اندازه‌گیری سطح برگ شامل برداشت فیزیکی برگ‌ها و استفاده از Leaf Area Meterها با وجود دقت مناسب، معمولاً زمان‌بر و پرهزینه هستند. دستگاه و نرم‌افزاری که در این مقاله معرفی می‌شود با استفاده از پایه استاندارد برای گرفتن تصویر و ارسال مستقیم تصویر به نرم‌افزار، به‌طور خودکار تحلیل‌های چندوجهی را انجام می‌دهد. دستگاه طراحی‌شده در این پژوهش شامل یک استند ثابت تصویربرداری بود که به‌منظور ثبت تصاویر یکنواخت و تکرارپذیر از برگ‌ها توسعه داده شد. تصویربرداری با استفاده از دوربین تلفن همراه هوشمند انجام شد.

## مقدمه

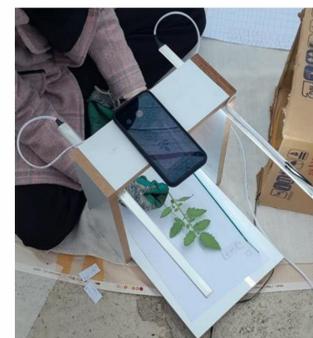
اندازه‌گیری و تحلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی برگ یکی از مولفه‌های اساسی در کشاورزی، بیولوژی و فنوتایپینگ گیاهی است. سطح برگ به‌عنوان یک شاخص کلیدی در تعیین فعالیت‌های فتوسنتزی، تبادل گازی، و بازده محصول مورد توجه قرار دارد و به‌طور مستقیم با فرآیندهای رشد، توسعه و پاسخ به تنش‌های محیطی مرتبط است. اندازه‌گیری دقیق سطح برگ و ویژگی‌های دیگر مانند ساختار رگ‌برگ و شکل هندسی برگ، معمولاً به‌صورت غیرمخرب و در حجم بالا چالش‌برانگیز است. روش‌های سنتی اندازه‌گیری سطح برگ شامل برداشت فیزیکی برگ‌ها و استفاده از Leaf Area Meterها یا روش‌های وزنی است که با وجود دقت مناسب، معمولاً زمان‌بر و پرهزینه هستند. دستگاه و نرم‌افزاری که در این مقاله معرفی می‌شود با استفاده از پایه استاندارد برای گرفتن تصویر و ارسال مستقیم تصویر به نرم‌افزار، به‌طور خودکار تحلیل‌های چندوجهی را انجام می‌دهد. این سیستم قادر است نه‌تنها مساحت برگ و تفکیک رنگ‌ها را استخراج کند، بلکه ویژگی‌های پیچیده‌ای مانند رگ‌برگ‌ها، شاخص‌های شکل (Perimeter, Circularity, Solidity, Shape Index) و ویژگی‌های توپولوژیکی شبکه رگ‌برگ را نیز محاسبه نماید.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۴۰۴ انجام شد. در این مطالعه، نمونه‌های گیاهی شامل برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته از گیاهان زراعی، باغی و جنگلی مورد استفاده قرار گرفتند.

### دستگاه تصویربرداری برگ

دستگاه طراحی‌شده در این پژوهش شامل یک استند ثابت تصویربرداری به همراه دوربین تلفن همراه هوشمند (با دوربین دیجیتال حداقل ۱۲ مگاپیکسل، فوکوس خودکار و قابلیت ثبت تصاویر با رزولوشن ثابت) بود (شکل ۱).



شکل ۱ - نمونه استند در حال استفاده

### نرم‌افزار و کتابخانه‌ها

نرم‌افزار تحلیل تصاویر برگ با زبان برنامه‌نویسی C# توسعه داده شد. برای پردازش تصویر از کتابخانه OpenCV نسخه NET استفاده گردید. این کتابخانه مجموعه‌ای جامع از الگوریتم‌های استاندارد پردازش تصویر و بینایی ماشین را فراهم می‌کند. فرآیند اجرای پردازش به شکل زیر می‌باشد:

۰.۱ فرآیند تصویربرداری  
برای تصویربرداری، هر برگ به‌صورت صاف و بدون تاخوردگی روی صفحه سفید استند قرار داده شد. دوربین تلفن همراه در جایگاه مخصوص خود روی استند ثابت شد تا زاویه و فاصله تصویربرداری برای تمام نمونه‌ها یکسان باشد. پس از تنظیم فوکوس، تصویر از برگ گرفته شد و به‌صورت خودکار به نرم‌افزار تحلیل منتقل گردید. هر برگ حداقل یک تصویر ثبت‌شده داشت و در صورت نیاز تصاویر تکراری برای ارزیابی تکرارپذیری ثبت شدند.

۰.۲ پیش‌پردازش تصاویر  
تصاویر خام ابتدا به نرم‌افزار وارد شدند و مراحل پیش‌پردازش به‌صورت خودکار انجام شد. این مراحل شامل تبدیل فضای رنگی از RGB به HSV کاهش نویز با استفاده از فیلتر Gaussian و بهبود کنتراست تصویر خاکستری با Histogram Equalization بود. هدف از این مراحل افزایش دقت جداسازی برگ، استخراج رنگ‌ها و تشخیص ساختارهای ریز مانند رگ‌برگ‌ها بود.

۰.۳ جداسازی برگ از پس‌زمینه  
جداسازی برگ با استفاده از فضای رنگی HSV انجام شد. با تعریف آستانه‌های رنگی مناسب برای محدوده رنگ سبز، یک ماسک باینری اولیه از ناحیه برگ ایجاد گردید. سپس عملیات مورفولوژیک شامل closing و filling holes برای حذف حفره‌های داخلی و صاف‌سازی مرزهای برگ اعمال شد.

## نتایج و بحث

نتایج نشان داد که سامانه پیشنهادی با وجود سادگی سخت‌افزاری، توانایی تولید داده‌های تصویری قابل اعتماد برای تحلیل‌های بعدی را دارد (شکل ۲).



شکل ۲ - از راست به چپ به ترتیب: پیش‌پردازش استخراج لبه‌های تصویر برگ - خروجی جهت تصفیه تصویر برای استخراج صفات - نمونه گزارش بخش اندازه‌گیری سطح برگ و تشخیص رنگ‌های موجود آن.

در مقایسه با نرم‌افزارها و اپلیکیشن‌های متداول که عمدتاً به برآورد سطح برگ محدود می‌شوند، سامانه حاضر قابلیت استخراج هم‌زمان صفات مورفولوژیکی پیشرفته و ویژگی‌های مرتبط با شبکه رگ‌برگ‌ها را ارائه می‌دهد. در مجموع سامانه طراحی‌شده امکان تصویربرداری یکنواخت از برگ با استفاده از تلفن همراه و استخراج خودکار صفات مورفولوژیکی را با دقت و تکرارپذیری مناسب فراهم می‌کند. صفات شکلی شامل سطح، محیط، گردی و صلبیت برگ بدون نیاز به مداخله کاربر و با قابلیت تکرار استخراج شدند.

علاوه بر این، هزینه پایین تجهیزات و خودکار بودن فرآیند تحلیل تصویر، این سامانه را به گزینه‌ای مناسب برای مطالعات فنوتایپینگ با توان عملیاتی بالا تبدیل می‌کند. این ویژگی‌ها نشان‌دهنده برتری نسبی سامانه پیشنهادی نسبت به روش‌های رایج موجود است.

## منابع

Paturkar, A., Sen Gupta, G. & Bailey, D. Plant trait measurement in 3D for growth monitoring. *Plant Methods* 18, 59 (2022). <https://doi.org/10.1186/s13007-022-00889-9>  
Müller-Linow, M., Wilhelm, J., Briese, C. et al. Plant Screen Mobile: an open-source mobile device app for plant trait analysis. *Plant Methods* 15, 2 (2019). <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0386-z>  
Schrader J, Pillar G, Krefit H. Leaf-IT: An Android application for measuring leaf area. *Ecol Evol.* 2017; 7: 9731–9738. <https://doi.org/10.1002/ece3.3485>  
Omari, Mohammad & Lee, Jayoung & Faqeerzada, Akbar & Park, Eunsoo & Cho, Byoung-Kwan. (2020). Digital image-based plant phenotyping: a review. *10.7744/kjoas.20200004*.  
Cheng Li, Ranjeeta Adhikari, Yuan Yao, Alexander G. Miller, Kirby Kalbaugh, Daoliang Li, Krishna Nemali, Measuring plant growth characteristics using smartphone based image analysis technique in controlled environment agriculture, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 168, 2020