فناوری دورسنجی و کاربردهای آن در کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی

Remote sensing technology and its applications in management of plant pests and diseases

اعظم طاهری شهرستانی[1*] و سمیه سفیدگر شاکلایی[1]

دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۶ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱

چکیده

با توجه به رشد روزافزون جمعیت، کاهش ضایعات کشاورزی ناشی از آسیب آفات و بیماری‌های گیاهی، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، استفاده از روش‌های پیش‌آگاهی مناسب، گامی مؤثر در حفاظت به هنگام محصولات کشاورزی و همچنین کاهش مصرف سموم شیمیایی می‌باشد. در سال‌های اخیر، پیشرفت در زمینه تکنیک‌های سنجش از دور باعث شده تا این علم نقش بسیار مهمی در مدیریت آفات و بیماری‌های گیاهی ایفا نماید. دورسنجی می‌تواند به شناسایی، تشخیص و کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی، همچنین استرس ناشی از کمبود آب یا مواد مغذی کمک نماید. با ترکیب داده‌های دورسنجی و دانش کشاورزی می‌توان با ارایه هشدار زود هنگام و انجام اقدامات مناسب در مراحل اولیه، از تأثیر بیماری یا آفت بر محصولات جلوگیری نمود. این فناوری با ارائه داده‌های دقیق و کارآمد، نقش مهمی در مدیریت آفات و بیماری‌های گیاهی داشته و به شناسایی زود هنگام مناطق آلوده، پایش مستمر سلامت گیاهان و کاهش استفاده از سموم شیمیایی مضر کمک می‌کند. در این مقاله اهمیت دورسنجی در کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی و نمونه‌هایی از دورسنجی برای پایش آن‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: دورسنجی، بیماری گیاهی، آفت، سنسور، طول موج

مقدمه

سنجش از دور، فناوری نوینی در گیاه‌پزشکی است که منجر به تشخیص سریع و دقیق محل آلودگی شده و نقش شایانی در مبارزه مؤثر علیه آفات و بیماری‌های گیاهی ایفا می‌کند (زرقانی و همکاران، ۱۴۰۰). این روش مهم‌ترین ابزار تشخیص پیش از موعد بیماری‌های گیاهی است و معمولاً در مقایسه با روش‌های تشخیصی قدیمی، وجود یک عارضه را سریع‌تر مورد شناسایی قرار می‌دهد (Moran *et al.*, 1997). در گذشته، عکس‌های هوایی تکنیک‌های اصلی مورد استفاده در سنجش از راه دور برای تشخیص بیماری‌های گیاهی بوده است، اما به دلیل هزینه بالای تولید، این عکس‌ها دیگر در مطالعات پاتولوژیک گیاهان به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفته است.

مبنای نظری کاربردهای دورسنجی در ارزیابی بیماری‌های محصولات زراعی این است که بیماری‌ها باعث ایجاد برخی تغییرات فیزیولوژیکی و آسیب شدید به بافت‌های گیاهی می‌شوند. همچنین آسیب‌های ناشی از حشرات آفت، در فتوسنتز و ساختار گیاه اختلال ایجاد کرده و متعاقباً بر میزان انرژی نور تأثیر گذاشته و ویژگی بازتابی گیاه را تغییر می‌دهند (Hatfield and Pinter, 1993). این تغییرات به‌عنوان یک تغییر قابل توجه در الگوی طیفی گیاهی مشخص می‌شود. بنابراین، به‌عنوان اولین گام، تعیین ویژگی‌های بازتاب طیفی در مورد گیاهان آلوده و سالم مورد نیاز است. در مرحله دوم، این ویژگی‌ها برای تشخیص پیش از وقوع آلودگی احتمالی آینده استفاده می‌شود. مطالعات زیادی در مورد توانایی فناوری دورسنجی در تشخیص و شناسایی بیماری‌های گیاهی انجام شده است (Abdel *et al.*, 2017؛ Hillnhutter *et al.*, 2011؛ Mahlein *et al.*, 2010, 2012).

اطلاع از سطح آسیب حشرات، آلودگی علف‌های هرز و بیماری‌های گیاهی می‌تواند چشم‌انداز روشنی را برای

۱- کارشناس آزمایشگاه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

نویسنده مسئول مکاتبات: azamtaheri98@gmail.com ،azamtaheri98@yahoo.com

تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌های مدیریتی آشکار کند. فناوری سنجش از دور، داده کمکی برای برنامه‌های مختلف مدیریت آفات، نقشه‌برداری و پیش‌بینی الگوهای شیوع فراهم می‌آورد. پایش دقیق و کارآمد جمعیت حشرات نکته کلیدی برای کنترل مؤثر آفات است. پیش‌بینی‌ها و هشدارهای اولیه مبتنی بر روش‌های بیوفیزیکی، زمان را برای مدیریت حملات قریب‌الوقوع آفات فراهم می‌کند و در نتیجه می‌تواند کنترل آفات را بهینه کرده، از دست دادن محصول را کاهش داده و هزینه‌های اصلاحی را به حداقل برساند. سنجش از دور قدرت تفکیک مکانی و زمانی را در مقایسه با روش‌های سنتی پایش آفات مانند تله‌های فرمونی جنسی برای پایش انتخابی گونه‌ها، تله‌های نوری برای گونه‌های مختلف و تله‌های مکش بلند مدت چند مکانی برای تشخیص الگوهای مهاجرت آفات (حشرات) را ارتقا داده است. علاوه بر این، ادغام سنجش از دور و سایر فناوری‌ها، موجب تقویت این تکنولوژی در شناسایی و نقشه‌برداری هجوم حشرات شده است. برای مثال، فیلمبرداری و تصویربرداری‌های هوایی با GIS و GPS ادغام می‌شود تا نقشه مکانی هجوم حشرات در یک منطقه وسیع کشاورزی، مرتعی و جنگلی را ارتقاء دهد (Abd El-Ghany *et al.*, 2020).

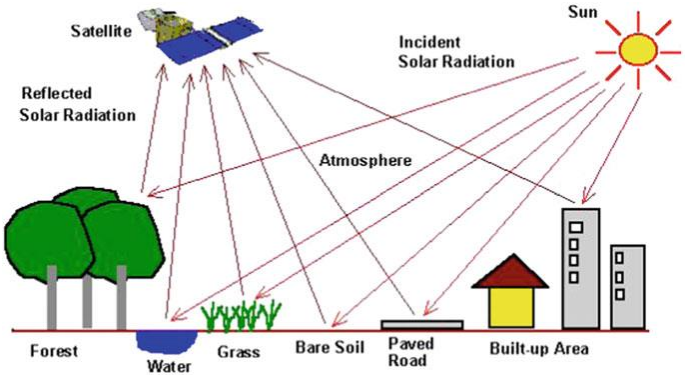
دورسنجی می‌تواند به شناسایی، تشخیص و کنترل بیماری‌های گیاهی، استرس ناشی از کمبود آب یا مواد مغذی و همچنین حفاظت گیاهان از هرگونه حمله احتمالی باکتری، قارچ یا آفات کمک کند. داده‌های دورسنجی را می‌توان با دانش کشاورزی ترکیب کرد تا شناسایی پیش از موعد بیماری گیاهی انجام گرفته و با انجام اقدامات مناسب در مراحل اولیه از آسیب به محصول جلوگیری نمود. در واقع در اثر آسیب به گیاه، غلظت کلروفیل کاهش می‌یابد و با دورسنجی می‌توانیم غلظت کلروفیل کاهش یافته را تشخیص دهیم. علاوه بر از بین رفتن کلروفیل، بیماری‌ها و آفات می‌توانند باعث از بین رفتن کامل برگ‌های گیاه شوند. این امر منجر به کاهش سطح کل برگ و در نهایت، کاهش توانایی فتوسنتز گیاه می‌گردد. با تعریف شاخص سطح برگ برای گونه‌های گیاهی، امکان شناسایی حمله آفت و بیماری در مراحل اولیه و آموزش کشاورزان برای انجام اقدامات مناسب وجود دارد. بسیاری از محققان به مطالعه کاربرد فناوری‌های دورسنجی در تشخیص بیماری‌های گیاهی پرداخته‌اند (Abdel *et al.*, 2017؛ Deleon *et al.*, 2017؛ Piou and Prévost, 2013؛ Jiang *et al.*, 2008؛ Hillnhutter *et al.*, 2011؛ Mahlein *et al.*, 2010, 2012).

مفهوم و اصول دورسنجی

سنجش از دور، علم و هنر اخذ اطلاعات قابل اعتماد درباره یک شیء، منطقه یا پدیده بدون تماس مستقیم با منطقه یا پدیده مورد مطالعه از طریق پردازش و آنالیز داده‌های اخذ شده توسط یک دستگاه یا سنجنده است (کشتکار و نعمت‌اللهی، ۱۳۹۶)

تمایز و شناسایی ویژگی‌ها یا اشیاء سطح، مستلزم تشخیص و ثبت انرژی تابشی تولید شده یا منعکس شده توسط مواد یا اشیاء روی سطح است (شکل ۱). اجسام گوناگون بسته به مقادیر مختلف از انرژی در باندهای متفاوت طیف الکترومغناطیسی، با آن مواجه هستند. این امر به ویژگی ماده (شیمیایی، ساختاری و فیزیکی)، زاویه تابش، شدت، زبری سطح و طول موج انرژی تابشی بستگی دارد. طیف تابش الکترومغناطیسی از طول موج کوچک تا بلند متغیر است. به‌عنوان یک مجری، چشم انسان تنها بخش نسبتاً کوچکی از طیف را (از ۰/۴ تا ۰/۷ نانومتر) در محدوده مرئی آزمایش می‌کند. ناحیه بین ۰/۴ تا ۵ نانومتر را می‌توان به‌عنوان طول موج بازتاب شده تفسیر کرد (Aggarwal, 2004).

اخذ اطلاعات در سنجش از دور با ثبت، اندازه‌گیری و تفسیر انرژی امواج الکترومغناطیس صورت می‌گیرد. عمده‌ترین طول موج کاربردی در سنجش از دور محدوده‌های نور مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه، مادون قرمز حرارتی و باند ماکروویو است. با پیشرفت تکنولوژی تعداد و قابلیت سنجنده‌های سنجش از دوری، به مرور زمان بهبود یافته است (صادقی و طریقی، ۱۳۹۶).



شکل ۱- مراحل فرآیند دور سنجی (منبع: https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/optical.htm)

Fig. 1. Steps of remote sensing process (Source https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/optical.htm)

کاربردها و مزایای دورسنجی

استفاده از سنجش از دور جهت پایش و مدیریت آفات و بیماری‌های گیاهی در مراتع، جنگل‌ها و اراضی کشاورزی می‌تواند به اشکال و اهداف مختلفی انجام شود. برخی از کاربردهای این روش عبارتند از (شریعتی‌نیا و کشتکار، ۱۴۰۲):

۱- تشخیص آفات و بیماری‌ها: با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور، می‌توان آفات و بیماری‌های گیاهی را در مزارع، مراتع و جنگل‌ها شناسایی کرد. با تحلیل این تصاویر و استفاده از الگوریتم‌ها و روش‌های هوش مصنوعی، می‌توان درختان یا مزارعی را که در معرض خطر هستند، شناسایی و واکنش‌های مؤثری را اتخاذ کرد.

۲- پایش و پیش‌بینی علائم آفت و بیماری: با استفاده از روش‌های سنجش از دور، می‌توان تغییرات زمینی و علائم آفات و بیماری‌ها را پیش‌بینی کرد. به‌عنوان مثال، با تحلیل تغییرات در خصوصیات طیفی اراضی، می‌توان متوجه شد که یک منطقه در معرض خطر آفت یا بیماری قرار دارد و در نتیجه اقدامات احتیاطی برای جلوگیری از گسترش آن را انجام داد.

۳- مکان‌یابی مناطق آلوده: با استفاده از سنجش از دور، می‌توان مناطق مبتلا به آفت یا بیماری را شناسایی نمود. این اطلاعات می‌تواند به کشاورزان و مدیران مربوطه کمک کند تا اقدامات لازم را برای کنترل و پیشگیری از گسترش آفت یا بیماری در این مناطق انجام دهند.

۴- تعیین سطح آسیب: با استفاده از سنجش از دور، می‌توان سطح آسیب را که توسط آفات و بیماری‌ها به گیاهان در مراتع، جنگل‌ها و اراضی کشاورزی وارد شده است، تعیین کرد. این اطلاعات می‌تواند به مدیران کمک کند تا سطح آسیب را بررسی و اقدامات مناسب را برای جلوگیری و کاهش گسترش آن انجام دهند.

تکنولوژی سنجش از دور به‌عنوان یک ابزار مؤثر به‌خوبی می‌تواند به دانشمندان و کشاورزان در درک بهتر شرایط کمک کند. به همین دلیل استفاده از این تکنولوژی در مطالعات مربوط به آفات و بیماری‌های گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار است. از جمله مزایای این روش عبارتند از (شریعتی نیا و کشتکار، ۱۴۰۲):

۱- دسترسی به مناطق دسترسی‌ناپذیر: استفاده از سنجش از دور امکان دست‌یابی به مناطقی که به راحتی قابل دسترسی نیستند را فراهم می‌کند. این شامل مناطق مرتفع و کوهستانی، جنگل‌ها و مراتع بزرگ و مناطقی با شرایط جوی نامساعد می‌شود. این امکان باعث می‌شود تا به‌طور مؤثرتری بتوان آفات و بیماری‌های گیاهی را پایش کرد و برنامه‌های مدیریتی انجام داد.

۲- سرعت و کارایی: با استفاده از سنجش از دور، می‌توان به سرعت و به‌طور همزمان بر روی سطح گسترده‌ای از زمین مشاهده و آنالیز انجام داد. این روش سرعت و کارایی بالایی دارد و به بررسی دقیق آفات و بیماری‌های گیاهی کمک می‌کند.

۳- پایش و پیشگیری: با استفاده از سنجش از دور، می‌توان به‌صورت مداوم و مکرر پیشرفت آفات و بیماری‌های گیاهی را مشاهده کرد. این اطلاعات می‌تواند به مدیران و کشاورزان کمک کند تا بتوانند آفات و بیماری‌ها را در مراحل اولیه آلودگی شناسایی و مدیریت کرده و از گسترش آن‌ها جلوگیری نمایند.

۴- دقت بالا: استفاده از سنجش از دور با استفاده از تصاویر با رزولوشن بالا می‌تواند دقت بالایی در تشخیص و شناسایی آفات و بیماری‌های گیاهی فراهم کند. این روش می‌تواند تغییرات زمینی و علائم آفت و بیماری را با دقت و صحت بالا مشاهده کند.

۵- اتصال به داده‌های جغرافیایی: سنجش از دور به متخصصین اجازه می‌دهد تا داده‌های به‌دست آمده را با داده‌های جغرافیایی و دیگر اطلاعات مرتبط مانند عوامل محیطی (پارامترهای اقلیمی، توپوگرافی و غیره) و یا میزان تولید محصول ارتباط دهند. این ارتباطات می‌توانند به بررسی و تحلیل دقیق‌تری از حضور آفات و بیماری‌های گیاهی کمک کنند.

۶- کاهش استفاده از مواد شیمیایی مضر: با استفاده از سنجش از دور و استفاده از روش‌های هوش مصنوعی می‌توان پیش‌بینی کرد که کدام مناطق بیشترین خطر آفت و بیماری را دارند. این امکان باعث می‌شود تا مدیران بتوانند به‌طور هدفمندتر از مواد شیمیایی مضر برای کنترل آفات و بیماری‌ها استفاده کنند و در نتیجه آسیب به محیط زیست کاهش یابد.

تکنیک‌های دورسنجی بر اساس سنسورهای مختلف

بر اساس حسگرها، دو گروه از تکنیک‌های دورسنجی در پایش آفات و بیماری‌های گیاهی به‌کار می‌روند (Gogoi *et al.*, 2018).

۱- روش‌های تصویربرداری عبارتند از الف) دوربین RGB، ب) تصویربرداری چند طیفی، ج) تصویربرداری فراطیفی، د) تصویربرداری حرارتی و ه) تصویربرداری فلورسانس.

مطالعات متعدد با استفاده از تصویربرداری فراطیفی بیان کردند که وضوح فضایی بالا برای جلوگیری از سیگنال‌های طیفی مختلط بسیار مهم است (Mahlein *et al.*, 2012؛ Bravo *et al.*, 2003؛ West *et al.*, 2010). این تحقیقات بر روی تشخیص میدانی (Bravo *et al.*, 2003؛ West *et al.*, 2010) و تشخیص آزمایشگاهی (Mahlein *et al.*, 2012) بیماری قارچی-گیاهی متمرکز بود. در این مطالعات امکان تشخیص و تمایز بیماری‌های گیاهی و در برخی موارد در مراحل اولیه قبل از اینکه با چشم انسان قابل مشاهده باشند وجود داشت (جدول ۱ و ۲) (Rumpf *et al.*, 2010)).

۲- روش‌های غیرتصویری عباتند از الف) طیف‌سنجی VIS و IR و ب) طیف‌سنجی فلورسانس.

حفاظت از محصولات کشاورزی در برابر بیماری‌های گیاهی اهمیت زیادی دارد. پژوهش‌های علمی در زمینه‌های کشاورزی با چالش‌های جدیدی مواجه هستند و راهکارهای پایدار و دوست‌دار محیط زیست به‌طور فزاینده‌ای مورد نیاز است. شناسایی دقیق نقاط اولیه بیماری برای اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی ضروری است. در این زمینه، حسگرهای نوری می‌توانند تشخیص دقیق و عینی بیماری‌های گیاهی را فراهم کنند (Kuska and Mahlein, 2018).

اثر طیفی

بازتاب طیفی، به‌عنوان تابعی از طول موج، نسبت انرژی منعکس شده به انرژی وارده است. هر ماده روی سطح زمین دارای خواص طیفی متفاوتی است. مواد سطحی مختلف حالات متفاوتی از بازتاب طیفی را نشان می‌دهند (شکل ۲) (Aggarwal, 2004). برگ‌ها دارای بازتاب کم در نور مرئی (۰/۴ -۰/۷ نانومتر) و بازتاب زیاد در مادون قرمز نزدیک (۰/۷-۱/۱ نانومتر) و بازتاب کم در مادون قرمز وسط و دور (۱/۲ نانومتر) هستند. با بالغ شدن برگ‌ها، بازتاب در برگ‌های انفرادی افزایش می‌یابد؛ با این حال، تغییرات به طول موج بستگی دارد. این تغییرات از تفاوت در کیفیت آب داخل سلولی و کلروفیل ناشی می‌شود. همچنین در اثر زخم‌ها و کاهش محتوای کلروفیل ناشی از یک بیماری، بازتاب افزایش می‌یابد. تنش آبی، با کاهش محتوای آب داخلی سبب افزایش بازتاب برگ می‌گردد. اطلاعات جمع‌آوری شده از برگ‌های انفرادی، مجموعه‌ای از اطلاعات در مورد فرآیند تغییرات صورت گرفته در یک گیاه را ارائه می‌دهد؛ با این حال، باید بتوان این اطلاعات را به سطح سایبان یا مزرعه تعمیم داد تا نتایج، کاربردی و قابل استفاده باشند. برگ‌های

گیاهان سبز بیشتر نور آبی و قرمز را جذب می‌کنند؛ تا از آن در فرآیند فتوسنتز استفاده کنند و بیشتر نور سبز از برگ منعکس می‌شود. محتوای آب مهمترین عاملی است که بر الگوی بازتاب طیفی تأثیر می‌گذارد. وجود محتوای بیشتر آب در برگ گیاه منجر به کاهش بازتاب آن در محدوده موج کوتاه مادون قرمز می‌شود (Gogoi *et al.*, 2018).

جدول ۱- نمونه‌هایی از مطالعات تشخیصی بیماری‌های گیاهی توسط حسگرهای نوری مختلف (Mahlein, 2016)

Table 1. Examples of studies on plant disease detection by different optical sensors (Mahlein, 2016)

Reference مراجع	Disease/Pathogen بیماری/بیمارگر	Crop محصول	Sensor حسگر
Camargo and Smith (2009)	Bacterial angular (*Xanthomonas campestris*), Ascochyta blight (*Ascochyta gossypii*)	Cotton پنبه	RGB
Neumann *et al.*, (2014)	Cercospora leaf spot (*Cercospora beticola*), sugarbeet rust (*Uromyces betae*)	Sugar beet چغندر قند	
Bock *et al.*, (2008)	Citrus canker (*X. axonopodis*)	Grapefruit گریپ فروت	
Wijekoon *et al.*, (2008)	Anthracnose (*Colletotrichum destructivum*)	Tobacco توتون	
Kuska *et al.*, (2015)	Net blotch (*Pyrenophora teres*), brown rust (*Puccinia hordei*),	Maize جو	حسگرهای طیفی Spectral sensors
Kuska *et al.*, (2015); Moshou *et al.*, (2004)	Head blight (*Fusarium graminearum*), yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*)	Wheat گندم	
Mahlein *et al.*, (2010); Hillnhutter *et al.*, 2011)	Cercospora leaf spot (*C. beticola*), sugarbeet rust (*U. betae*)	Sugar beet چغندر قند	
Wang *et al.*, (2008)	Late blight (*Phytophthora infestans*)	Tomato گوجه‌فرنگی	
Polder *et al.*, (2014)	Tulip breaking virus (TBV)	Tulip لاله	
Apan *et al.*, (2004)	Orange rust (*Puccinia kuehnii*)	Sugar cane نیشکر	
Chaerle *et al.*, (2004)	Cercospora leaf spot (C. beticola)	Sugar beet چغندر قند	حرارتی Thermal imaging
Berdugo *et al.*, (2014); Oerke *et al.*, (2006)	Downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*), powdery mildew (*Podosphaera xanthii*)	Cucumber خیار	
Oerke *et al.*, (2011)	Apple scab (*V. inequalis*)	Apple سیب	
Burling *et al.*, (2011)	Leaf rust (*Puccinia triticina*), powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*)	Wheat گندم	تصویربرداری
Chaerle *et al.*, (2007); Konanz *et al.*, 2014)	Cercospora leaf spot (*C. beticola*)	Sugar beet چغندر قند	فلورسنس Fluorescence imaging
Rousseau *et al.*, (2013)	Common bacterial blight (*Xanthomonas fuscans* sub sp. *fuscans*)	Bean لوبیا	

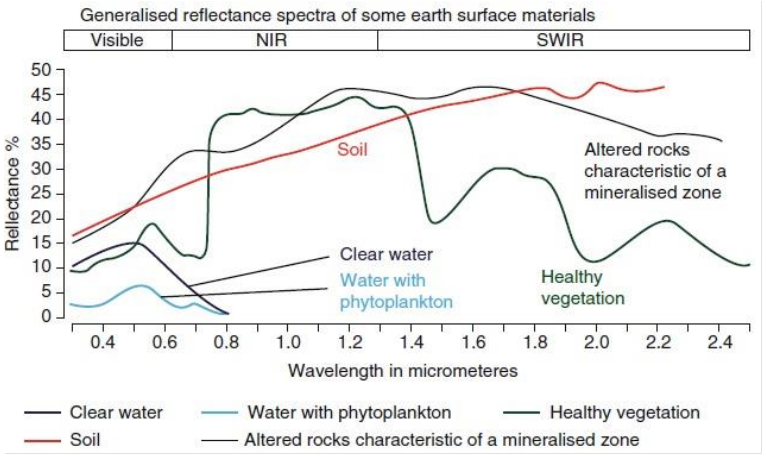
جدول ۲ - طول موج‌های خاص برای شناسایی آلودگی‌های مختلف (Yones *et al.*, 2019b)

Table 2. The specific wavelengths to identify the different infections (Yones *et al.*, 2019b)

Wavelength (nm) طول موج (نانومتر)	Sample	نمونه
(548–557 nm) /(701–1387 nm)	Healthy young leaves	برگ‌های جوان سالم
(1574–1597 nm) /(1749–1775 nm)	Healthy old leaves	برگ‌های پیر سالم
(542–559 nm) /(1580–1592 nm) /(1751–1763 nm)	Infected young leaves (cotton leaf worm)	برگ‌های جوان آلوده (کرم برگ پنبه)
(350–698 nm) /(1944–2500 nm)	Infected old leaves (cotton leaf worm)	برگ‌های پیر آلوده (کرم برگ پنبه)
(1563–1567 nm) /(1785–1833 nm)	Infected young leaves (aphid)	برگ‌های جوان آلوده (شته)
(1569–1580 nm) /(1764–1781 nm)	Infected old leaves (aphid)	برگ‌های پیر آلوده (شته)
(1575–1579 nm) /(1764–1769 nm)	Infected young leaves (whitefly)	برگ‌های جوان آلوده (سفیدبالک)
(1782–1814 nm)	Infected old leaves (whitefly)	برگ‌های پیر آلوده (سفیدبالک)

ویژگی‌های طیفی پوشش گیاهی توسط ساهو و همکاران (۲۰۱۵)، مورد بحث قرار گرفت که بر اساس ماهیت بیوشیمیایی و بیوفیزیکی و ویژگی‌هایی مانند زیست‌توده پیر شده، شاخص سطح برگ، میزان رطوبت و رنگدانه و ساختار تعیین می‌شوند. در ناحیه نور مرئی (۰/۴ تا ۰/۷ نانومتر)، رنگدانه‌هایی که نور اصلی را جذب می‌کنند، کلروفیل a و b،

زانتوفیل‌ها، کاروتنوئیدها و پلی فنول‌ها هستند. کلروفیل a، بیشترین جذب را در مناطق ۰/۴۱-۰/۴۳ و ۰/۶-۰/۶۹ نانومتر نشان می‌دهد در حالی‌که کلروفیل b دارای حداکثر جذب در محدوده ۰/۴۵-۰/۴۷ نانومتر می‌باشد. این جذب قوی باندها، یک پیک (نقطه اوج) بازتاب را در منطقه سبز در حدود ۰/۵۵ نانومتر القا می‌کنند. در نزدیکی منطقه مادون قرمز (۱/۳- ۰/۷ نانومتر :NIR)، بازتاب و انتقال به بیشترین حد خود می‌رسد و مقادیر جذب بسیار پایین است. این امر ناشی از انتشار داخلی در سلول، هوا و آب داخل برگ است. در موج کوتاه مادون قرمز (۲/۵ – ۱/۳ نانومتر: SWIR)، خواص برگ تحت تأثیر سایر ترکیبات برگی و آب قرار می‌گیرد. باندهای اصلی جذب در ۱/۴۵، ۱/۹۴ و ۲/۷ نانومتر و سایر فرآیندها در ۰/۹۶، ۱/۱۲، ۱/۵۴، ۱/۶۷ و ۲/۲ نانومتر قرار می‌گیرند (Sahoo *et al.*, 2015). تغییرات در بازتاب از تغییرات در خواص بیوفیزیکی و بیوشیمیایی بافت گیاهی ناشی می‌شود (Khdery *et al.*, 2019؛ Gamal *et al.*, 2020). زمانی که گیاه تحت تنش است، کاهش تولید کلروفیل سبب جذب کمتر سلول‌های پالیزید در نوارهای آبی و قرمز می‌شود. بنابراین همراه با باند سبز، باندهای قرمز و آبی نیز منعکس می‌گردد. بنابراین، در پوشش گیاهی تحت فشار، رنگ زرد یا قهوه‌ای ایجاد می‌شود. همچنین این امر سبب ایجاد لکه‌های تیره در عکس می‌گردد (Gogoi *et al.*, 2018). اساساً ناحیه قابل مشاهده از ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر مربوط به ترکیب رنگدانه است در حالی‌که در منطقه NIR از ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر مربوط به محتوای آب، صفات و ساختار برگ و نفوذ مرتبط می‌باشد (Blackburn and Steele 1999؛ Gitelson *et al.*, 2001).



شکل ۲- اثر طیفی آب، پوشش گیاهی و خاک (منبع: http://www.rsacl.co.uk/ images/base2.jpg)

Fig. 2. Spectral signatures of water, vegetation and soil (Source: http://www.rsacl.co.uk/images/base2.jpg)

مدیریت دقیق آفات (PPM: Precision Pest Management) می‌تواند به کاهش خطرات ناشی از کاربرد بیش از حد آفت‌کش‌ها کمک کند. PPM، می‌تواند به‌عنوان کاربرد مقدار مناسب آفت‌کش در مکان مناسب در مزرعه و در زمان مناسب تعریف شود (Strickland *et al.*, 1998). دو مرحله اصلی PPM عبارتند از الف: استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور (عمدتاً تصاویر هوایی) برای به‌دست آوردن اطلاعات خاص سایت، و ب: ارائه راه‌حل‌های محلی با استفاده از کاربردهای با نرخ متغیر (Iost Filho *et al.*, 2020). مرحله اول، از روش‌های سنجش مورد بحث در بخش حسگرها استفاده می‌کند. دوربین‌های RGB به‌طور گسترده برای بیماری‌ها و آفات قابل تشخیص بصری استفاده می‌شوند که در آن‌ها رنگ برگ به دلیل کاهش رنگدانه‌های جاذب نور تغییر می‌کند و در نتیجه بازتاب در باندهای خاصی از ناحیه مرئی افزایش می‌یابد (Sugiura *et al.*, 2016). حسگرهای چندطیفی زمانی مناسب هستند که بیماری با کاهش بازتاب ناحیه مادون‌قرمز، بر سرعت فتوسنتز تأثیر گذاشته و زیست‌توده سبز قابل تشخیص را کاهش دهد (Albetis *et al.*, 2017).

حسگرهای فراطیفی معمولاً زمانی استفاده می‌شوند که تخریب رنگدانه‌ها و تغییرات ساختاری رخ می‌دهد (Calderón *et al.*, 2013؛ López-López *et al.*, 2016). علاوه بر این، تصویربرداری فراطیفی فرصت‌های بهتری را برای تشخیص زود هنگام و حتی تمایز نوع بیماری نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهد. تغییرات در ساختار

برگ و ترکیب شیمیایی بافت‌ها در اثر بیماری به نوعی مختص پاتوژن است. از این‌رو، اثر طیفی برگ هنگام آلوده شدن به پاتوژن‌های مختلف متفاوت است. در نتیجه، دنبال کردن نشانه‌ها می‌تواند به پاتوژن اصلی منتهی شود. مطالعات متعدد ثابت کرد که اسکن فراطیفی می‌تواند عفونت‌های قارچی مختلف را تشخیص دهد (Mahlein, 2016). از سوی دیگر، دوربین‌های حرارتی فقط می‌توانند گیاهانی را که به هر دلیلی از جمله بیماری، دمای بالاتری دارند، تمایز دهند (Calderón *et al*., 2015). گاهی اوقات، چندین داده از حسگرهای مختلف به‌طور هماهنگ پردازش می‌شوند تا حداکثر داده‌ها به‌دست آید. به‌عنوان مثال، در یک مطالعه، از دوربین‌های مرئی، مادون‌قرمز و حرارتی برای تشخیص بیماری میوه سبز (گرینینگ) در مرکبات استفاده شد (Sankaran *et al*., 2013).

مطالعات موردی

در مطالعه‌ای از داده‌های طیفی گرفته شده با سنجنده‌های نصب شده در داخل گلخانه برای ارزیابی کیفیت محصولاتی مانند فلفل دلمه‌ای و خیار استفاده شد. این داده‌ها برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی مختلف مانند رنگ، اندازه و محتوای کلروفیل محصولات به‌کار گرفته شدند. سپس این داده‌ها با نتایج آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی روی محصولات مقایسه شدند. نتایج نشان داد که داده‌های طیفی می‌توانند با دقت بالایی ویژگی‌های کیفی محصولات گلخانه‌ای را پیش‌بینی کنند. این مطالعه نشان داد که استفاده از سنجش از دور می‌تواند به بهبود مدیریت کیفیت محصولات در گلخانه‌ها کمک کند (Zhang *et al*., 2016).

در مطالعه‌ای روشی برای شناسایی قارچ *B. cinerea* توصیف شد و اثرهای طیفی جدایه‌ها و همچنین جنس‌های مختلف این قارچ تعیین گردید. در این تحقیق، یک الگوی طیفی منحصر به فرد در هر دو سطح جنس و جدایه، مورد بررسی قرار گرفت. موج کوتاه مادون قرمز II (۲۰۵۵-۲۳۱۵ نانومتر) بهترین تمایز را بین نمونه‌های قارچی مشاهده شده ارائه کرد. علاوه بر این، در تجزیه و تحلیل طیفی داده‌ها، تفاوت معنی‌داری بین جنس‌های قارچی و همچنین جدایه‌های *B. cinerea* مشاهده شد، در حالی‌که نتایج شباهت بالایی را در بین تکرارهای همان جدایه مورد بررسی از *B. cinerea* نشان داد. نتایج هر آزمون طیفی به‌صورت قابل تکرار و بدون صرف هزینه گران جهت آماده‌سازی و اندازه‌گیری نمونه به دست آمد. این رویکرد نوآورانه امکان شناسایی، تمایز و طبقه‌بندی قارچ‌ها را به‌سرعت و ارزان در سطح جنس، گونه و جدایه فراهم می‌کند (Aboelghar and Abdel Wahab, 2013).

با استفاده از تصاویر چندطیفی گرفته شده از پهپادها، بیماری میوه سبز در باغات مرکبات مورد شناسایی قرار گرفت. در این مطالعه، از شاخص‌های مرتبط با بازتاب نور سبز و مادون‌قرمز برای شناسایی درختان بیمار استفاده شد. داده‌های زمینی نیز برای ارزیابی و تأیید نتایج به کار گرفته شدند. نتایج نشان داد که تصاویر چندطیفی قادر به تشخیص درختان مبتلا به بیماری مذکور با دقت بیش از ۸۵ درصد بودند. این مطالعه نشان داد که سنجش از دور چندطیفی می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای پایش و مدیریت بیماری‌ها در باغات مرکبات استفاده شود (Sankaran *et al*., 2013).

در پژوهشی دیگر تصویربرداری فراطیفی به‌عنوان یک ابزار غیرتهاجمی برای تشخیص بیماری‌های گیاهی به‌کار گرفته شد. با استفاده از طیف‌سنج خطی تصویربرداری فراطیفی با وضوح ۲/۸ نانومتر و ۰/۱۹ میلیمتر، بازتاب طیفی برگ‌های چغندر قند مبتلا به بیماری‌هایی مانند لکه برگی سرکوسپورایی، سفیدک پودری و زنگ برگ بررسی شد. در شرایط کنترل‌شده، نمونه‌های برگ در مراحل مختلف بیماری بررسی و تغییرات مورفولوژیکی با میکروسکوپ نوری تحلیل شد. نقشه‌برداری پیکسل به پیکسل از بازتاب طیفی در محدوده مرئی و نزدیک به مادون‌قرمز برای شناسایی علائم بیماری انجام شد. نتایج نشان داد که پاتوژن‌ها، امضاهای طیفی خاصی ایجاد می‌کنند که بسته به مرحله بیماری و ناحیه تأثیرپذیر تغییر می‌کند. تصویربرداری فراطیفی توانست به‌طور دقیق علائم بیماری را تشخیص و تمایز دهد. این فناوری بهبود قابل توجهی در حساسیت و اختصاص یافتگی روش‌های فراطیفی برای تشخیص بیماری‌های گیاهی ارائه داد (Mahlein *et al*., 2012).

میزان آسیب کنه تارتن دولکه‌ای با استفاده از تصویربرداری طیفی در برگ‌های فلفل (*Capsicum annuum*) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) (Herrmann *et al*., 2017) و در پنبه کشت‌شده در گلخانه (Martin and Latheef, 2017) ارزیابی

شد. هرمان و همکاران (۲۰۱۷) داده‌های فراطیفی (۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر) و چندطیفی (پنج باند مشترک) را تجزیه و تحلیل کردند. این تجزیه و تحلیل‌ها منجر به موفقیت ۱۰۰ درصد و ۹۵ درصد در شناسایی آسیب‌های اولیه با داده‌های فراطیفی منعکس شده از برگ‌های فلفل و لوبیا و موفقیت ۹۲ درصدی با داده‌های چندطیفی منعکس شده از برگ‌های فلفل شد (Herrmann *et al.*, 2017).

در مطالعه دیگری، آلودگی‌های مختلف (شته، مگس سفید، کرم برگ پنبه) روی برگ‌های چغندرقند (پیر و جوان) با استفاده از طیف رادیومتر Field ASD در مصر متمایز گردید. برای همه برگ‌های جوان و پیر، طرح کلی طیفی از بازتاب شناسایی شد. نتایج نشان داد که محدوده‌های مادون‌قرمز نزدیک (NIR) و آبی بهترین محدوده برای شناسایی سه آلودگی طیفی در برگ‌های جوان بودند و این محدوده‌ها به‌عنوان بهترین مناطق برای تعریف طیف اعلام شدند. داده‌ها نشان دادند که امکان استفاده بالقوه از روش‌های دورسنجی در شناسایی آفات وجود داشته و این روش‌ها کنترل و مدیریت اختصاصی آفت در یک نقطه را ممکن می‌سازند (Yones *et al.*, 2019a).

در مطالعه‌ای از سیستم سنجش از دور فوق طیفی مستقر بر روی زمین برای شناسایی آسیب‌های جیرجیرک‌ها در مزارع پنبه استفاده شد. یک رادیومتر فوق طیفی با دامنه طیفی ۲۵۰-۳۵۰ نانومتر برای برآورد کلروفیل و محتوای نسبی آب در گیاهان منتخب استفاده شد. اندازه‌گیری‌های بازتابش از گیاهان سالم و گیاهان آلوده به جیرجیرک نشان دهنده تفاوت‌های معنادار در نواحی نزدیک به مادون قرمز (NIR) و مناطق مرئی (VIS) بود. رنگدانه کلروفیل A کاهش معناداری نسبت به رنگدانه کلروفیل B در گیاهان آلوده نشان می‌دهد (Prabhakar *et el.*, 2011).

در مطالعه دیگری، رویکرد جدیدی برای استفاده از تکنیک فراطیفی جهت شناسایی گیاه پنبه آلوده با کرم سرخ غوزه *Pectinophora gossypiella* (PBW) بدون تلفات غوزه به‌کار برده شد. مطالعات با هدف شناسایی طیف بازتاب گیاهان پنبه با آلوده شده با PBW شناخته شده، صورت گرفت و به شناسایی طول موج‌های نوری ناشی از آسیب با PBW انجامید. اندازه‌گیری‌های طیفی با استفاده از طیف سنج ASD در محدوده طیفی ۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر انجام شد. مطالعه نشان داد که تهاجم PBW و سطح آن را با استفاده از داده‌های فراطیفی می‌توان شناسایی کرد و این امر می‌تواند در پایش بیماری و پیش‌بینی‌ها مورد استفاده قرار گیرد. مقایسه بازتاب غوزه‌های سالم و آلوده پنبه نشان داد که میانگین بازتاب طیفی (۱۰۰۰ نانومتر) در محدوده مادون قرمز، بازتاب طیفی نسبتاً کم (۱۶۵۰ نانومتر) و حداقل بازتاب طیفی محدوده (۲۲۰۰ نانومتر) بوده است (Yones *et al.*, 2019b).

در مطالعه‌ای از تصاویر هوایی به‌دست آمده از پهپادها برای ارزیابی تنش آبی در تاکستان‌ها استفاده شد. این تصاویر برای اندازه‌گیری دمای سطح برگ‌ها و تعیین مناطق تحت تنش آبی به‌کار گرفته شدند. علاوه بر این، داده‌های هواشناسی محلی برای تحلیل دقیق‌تر ترکیب شدند. نتایج نشان داد که تصاویر حرارتی می‌توانند به‌طور مؤثری مناطق تحت تنش آبی را در تاکستان‌ها شناسایی کنند. این اطلاعات به کشاورزان کمک کرد تا برنامه‌های آبیاری را بهینه‌سازی کرده و مصرف آب را کاهش دهند (Bellvert *et al.*, 2014).

قابلیت تصویربرداری اسکن خطی فراطیفی (۴۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر) برای تخمین متغیرهای محصول در اسفناج کشت شده در گلخانه بررسی شد. ترکیبی از تنش آب و نیتروژن برای تخمین متغیرهایی که کاملاً مربوط به شاخص سطح برگ و شکل هندسی سایبان بودند، استفاده شد. دو روش فشرده‌سازی داده‌ها اعمال گردید: طیف‌های میانگین سایبان و استخراج فراطیف‌نگاری. مورد دوم یک تکنیک استخراج و فشرده‌سازی داده‌ها است که تعداد زیادی از تصاویر فراطیفی را مدیریت و در عین حال اطلاعات مکانی را حفظ می‌کند. مدل‌های تحلیل داده‌های چند متغیره در تخمین متغیرها عملکرد خوبی داشتند (Corti *et al.*, 2017). سنجش از دور پتانسیل بالایی در ارائه داده‌های مورد نیاز برای مدیریت مواد مغذی و رفع موانع موجود در مدیریت خاص مکان نشان داده است. مانند سایر تکنیک‌های سنجش از دور، تخمین و مدیریت وضعیت مواد مغذی عمدتاً مبتنی بر بازتاب طیفی گیاه است. اکثر مطالعات سعی کرده‌اند محتوای نیتروژن را در سطح سایبان با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی تخمین بزنند (Osco *et al.*, 2019a,b). در مقابل، به‌عنوان یک رویکرد جدید، برخی مطالعات از باندها و طول موج‌ها به‌صورت جداگانه به‌عنوان متغیری برای پیش‌بینی وضعیت

مواد مغذی، به‌ویژه نیتروژن، استفاده کرده‌اند (Moghimi *et al*., 2020؛ Omidi *et al*., 2020). مطالعات نشان داد که محتوای نیتروژن برگ می‌تواند تا ۷۶ درصد تغییر عملکرد در باغ‌های بادام را طی دو یا سه سال توضیح دهد (Zarate-Valdez *et al*., 2015).

نتیجه گیری

فناوری دورسنجی ابزار قدرتمندی است که در مدیریت آفات و بیماری‌های گیاهی استفاده می‌شود. تشخیص زود هنگام بیماری و پایش سلامت گیاهی ابزاری حیاتی برای کاهش شیوع بیماری‌ها می‌باشد. دورسنجی به دلیل اهمیت زیادی که در تشخیص زود هنگام بیماری گیاهان دارد، یکی از پیشرفت‌های علم مدرن در پایش عوامل بیماریزای گیاهی است. تکنیک‌های دورسنجی، ابزار بسیار مفیدی برای اعتلای نتایج تشخیصی خواهند بود. رابطه قوی بین نتایج تحلیلی دورسنجی و بیماری‌شناسی گیاه، شواهدی از ارزش بازتاب ابرطیفی داده‌ها برای ارزیابی‌های سریع وضعیت سلامت گیاه و عاری از آلودگی را ارائه می‌دهد. با این حال، چالش‌هایی نیز در استفاده از این فناوری‌ها وجود دارد. از جمله این چالش‌ها می‌توان به هزینه‌های بالا و نیاز به بهبود کیفیت داده‌های خروجی اشاره کرد. پیشرفت‌های اخیر در طراحی و توسعه سیستم‌های حسگر از دور می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت داده‌ها کمک کند، اما نیاز به تحقیقات و توسعه بیشتر در این زمینه همچنان وجود دارد. به‌علاوه، هماهنگی و ادغام فناوری‌های مختلف مانند حسگرهای چندطیفی، رادارها و سیستم‌های GIS می‌تواند به بهبود نتایج و کارایی این فناوری‌ها کمک کند. در مجموع، چنین فناوری‌های نوآورانه‌ای، ابزاری بی‌نظیر برای سالم‌تر کردن و پایدار کردن کشاورزی و کاهش استفاده غیرضروری از آفت‌کش‌ها جهت بالابردن ایمنی محصولات بوده و پتانسیل زیادی برای استفاده در کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی دارد.

منابع References

زرقانی، ا.، فرآشیانی، م ا. و امینی، س. ۱۴۰۱. روش‌های مختلف پایش آفات و بیماری‌ها در عرصه‌های جنگلی و مرتعی. طبیعت ایران ۷ (۱): ۴۴-۳۳.

صادقی، و. و طریقی، ج. ۱۳۹۶. کاربرد فناوری سنجش از دور زمینی، هوایی و ماهواره‌ای در صنعت کشاورزی. پنجمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین‌المللی کشاورزی ارگانیک و مرسوم، اردبیل.

کشتکار، ح. و نعمت اللهی، م. ۱۳۹۶. کاربرد سنجش از دور در علوم طبیعی. انتشارات نونگارش نوین. تهران. ۲۵۰ صفحه.

شریعتی نیا، ل. و کشتکار، ح. ۱۴۰۲. کاربرد سنجش از دور در پایش آفات و بیماری‌های گیاهی. نشریه دانشجویی زیست سپهر ۱۶ (۲): ۱۸-۳۱.

Abdel, W.H., Aboelghar, M., Ali, A.M. and Yones, M. 2017. Spectral and molecular studies on gray mold in strawberry. Asian Journal of Plant Pathology 11(4): 167-173.

Abd El-Ghany, N.M., Abd El-Aziz, S.E. and Marei, S.S. 2020. A review: application of remote sensing as a promising strategy for insect pests and diseases management. Environmental Science and Pollution Research 27: 33503-33515. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09517-2.

Aboelghar, M. and Abdel Wahab, H. 2013. Spectral footprint of *Botrytis cinerea*, a novel way for fungal characterization. Advances in Bioscience and Biotechnology 4: 374-382. doi:10.4236/abb.2013.43050.

Albetis, J., Duthoit, S., Guttler, F., Jacquin, A., Goulard, M., Poilvé, H., Féret, J.B. and Dedieu, G. 2017. Detection of *Flavescence dorée* grapevine disease using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) multispectral imagery. Remote Sensing 9(4): 308. https://doi.org/10.3390/rs9040308.

Aggarwal, S. 2004. Principles of remote sensing. Proceedings of Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology, India. Pp. 23–38.

Apan, A., Held, A., Phinn, S. and Markley, J. 2004. Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1Hyperion hyperspectral imagery. International Journal of Remote Sensing 25: 489-498.

Bellvert, J., Zarco-Tejada, P.J., Girona, J. and Fereres, E. 2014. Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir'vineyard: Comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. Precision Agriculture 15(4): 361-376. https://doi.org/10.1007/s11119-013-9334-5.

Berdugo, C.A., Zito, R., Paulus, S. and Mahlein, A.K. 2014. Fusion of sensor data for the detection and differentiation of plant diseases in cucumber. Plant Pathology 63: 1344-1356. https://doi.org/10.1111/ppa.12219.

Blackburn, G.A. and Steele, C.M. 1999. Towards the remote sensing of matorral vegetation physiology: relationships between spectral reflectance, pigment and biophysical characteristics of semi-arid bush land canopies. Remote Sensing of Environment 70: 278–292.

Bock, C.H., Parker, P.E, Cook, A.Z. and Gottwald, T.R. 2008. Visual rating and the use of image analysis for assessing different symptoms of citrus canker on grapefruit leaves. Plant Disease 92: 530-541. https://doi.org/10.1094/pdis-92-4-0530.

Bravo, C., Moshou, D., West, J., McCartney, A. and Ramon, H. 2003. Early disease detection in wheat fields using spectral reflectance. Biosystems Engineering 84: 137-145. https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00269-6.

Burling, K., Hunsche, M. and Noga, G. 2011. Use of blue-green and chlorophyll fluorescence measurements for differentiation between nitrogen deficiency and pathogen infection in wheat. Journal of Plant Physiology 168: 1641-1648.

Calderón, R., Navas-Cortés, J.A., Lucena, C. and Zarco-Tejada, P.J. 2013. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of *Verticillium* wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. Remote Sensing of Environment 139: 231-245.

Calderón, R., Navas-Cortés, J.A. and Zarco-Tejada, P.J. 2015. Early detection and quantification of *Verticillium* wilt in olive using hyperspectral and thermal imagery over large areas. Remote Sensing 7(5): 5584-5610. https://doi.org/10.3390/rs70505584.

Camargo, A. and Smith, J.S. 2009. Image pattern classification for the identification of disease causing agents in plants. Computers and Electronics in Agriculture 66: 121-125.

Chaerle, L., Lenk, S., Hagenbeek, D., Buschmann, C. and Straeten, D.V.D. 2004. Multicolor fluorescence imaging for early detection of the hypersensitive reaction to tobacco mosaic virus. Journal of Plant Physiology 164: 253-262.

Chaerle, L., Hagenbeek, D., De Bruyne, E. and Van der Straeten, D. 2007. Chlorophyll fluorescence imaging for disease-resistance screening of sugar beet. Plant Cell, Tissue and Organ culture 91: 97-106.

Corti, M., Gallina, P.M., Cavalli, D. and Cabassi, G. 2017. Hyperspectral imaging of spinach canopy under combined water and nitrogen stress to estimate biomass, water, and nitrogen content. Biosystems Engineering 158: 38-50.

Deleon, L., Brewer, M.J., Esquivel, I.L. and Halcomb, J. 2017. Use of a geographic information system to produce pest monitoring maps for south Texas cotton and sorghum land managers. Crop Protection 101: 50-57. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.016.

Gamal, E., Khdery, G., Morsy, A., El-Sayed, M., Hashim, A. and Saleh, H. 2020. Using GIS based modelling to aid conservation of two endangered plant species (*Ebenus Armitagei* and *Periploca Angustifolia*) at Wadi Al-Afreet, Egypt. Remote Sensing Applications: Society and Environment 19: 100336.

Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N. and Chivkunova, O.B. 2001. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plants leaves. Photochemistry and Photobiology 74: 38-45.

Gogoi, N.K., Deka, B. and Bora, L.C. 2018. Remote sensing and its use in detection and monitoring plant diseases: a review. Agricultural Reviews 39(4): 307-313. doi:10.18805/ag.R-1835.

Hatfield, J.L. and Pinter, P.J. 1993. Remote sensing for crop protection. Crop Protection 12: 403–413.

Herrmann, I., Berenstein, M., Paz-Kagan, T., Sade, A. and Karnieli, A. 2017. Spectral assessment of two-spotted spider mite damage levels in the leaves of greenhouse-grown pepper and bean. Biosystems Engineering 157: 72-85. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.02.008.

Hillnhutter, C., Mahlein, A.K., Sikora, R.A. and Oerke, E.C. 2011. Remote sensing to detect plant stress induced by *Heterodera schachtii* and *Rhizoctonia solani* in sugar beet fields. Field Crops Research 122: 70–77. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.02.007.

Iost Filho, F.H., Heldens, W.B., Kong, Z. and de Lange, E.S. 2020. Drones: innovative technology for use in precision pest management. Journal of Economic Entomology 113(1): 1-25. https://doi.org/10.1093/jee/toz268.

Jiang, J.A., Tseng, C.L., Lu, F.M., Yang, E.C., Wu, Z.S. and Chen, C.P. 2008. A GSM-based remote wireless automatic monitoring system for field information: a case study for ecological monitoring of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel). Computer and Electronics in Agriculture 62: 243-259. https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.01.005.

Khdery, G., Frag, E. and Arafat, S. 2019. Natural vegetation cover discrimination using hyperspectral data in Wadi Hagul, Egypt. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science 22: 253-262.

Konanz, S., Kocsanyi, L. and Buschmann, C. 2014. Advanced multi-color fluorescence imaging system for detection of biotic and abiotic stresses in leaves. Agriculture 4: 79-95.

Kuska, M., Wahabzada, M., Leucker, M., Dehne, H. W., Kersting, K., Oerke, E.C., Steiner, U. and Mahlein, A. K. 2015. Hyperspectral phenotyping on microscopic scale – towards automated characterization of plant-pathogen interactions. Plant Methods 11: 28. https://doi.org/10.1186/s13007-015-0073-7.

Kuska, M.T. and Mahlein, A.K. 2018. Aiming at decision making in plant disease protection and phenotyping by the use of optical sensors. European Journal of Plant Pathology 152(4): 987-992.

López-López, M., Calderón, R., González-Dugo, V., Zarco-Tejada, P. and Fereres, E. 2016. Early detection and quantification of almond red leaf blotch using high-resolution hyperspectral and thermal imagery. Remote Sensing 8(4): 276. https://doi.org/10.3390/rs8040276.

Mahlein, A.K. 2016. Plant disease detection by imaging sensors-Parrels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. Plant Disease 100: 241-251. https://doi.org/10.1094/pdis-03-15-0340-fe.

Mahlein, A.K., Steiner, U., Dehne, H.W. and Oerke, E.C. 2010. Spectral signatures of sugar beet leaves for the detection and differentiation of diseases. Precision Agriculture 11: 413-431.

Mahlein, A.K., Steiner, U., Hillnhütter, C., Dehne, H.W. and Oerke, E.C. 2012. Hyperspectral imaging for small-scale analysis of symptoms caused by different sugar beet disease. Plant Methods 8: 3. https://doi.org/10.1186/1746-4811-8-3.

Martin, D.E. and Latheef, M.A. 2017. Remote sensing evaluation of two-spotted spider mite damage on greenhouse cotton. Journal of Visualized Experiments 122: e54314.

Moghimi, A., Pourreza, A., Zuniga-Ramirez, G., Williams, L.E. and Fidelibus, M.W. 2020. A novel machine learning approach to estimate grapevine leaf nitrogen concentration using aerial multispectral imagery. Remote Sensing 12(21): 3515. https://doi.org/10.3390/rs12213515.

Moran, M.S., Inoue, Y. and Barnes, E.M. 1997. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. Remote Sensing of Environment 61: 319-346.

Moshou, D., Bravo, C., West, J., Wahlen, S., McCartney, A. and Ramon, H. 2004. Automatic detection of 'yellow rust' in wheat using reflectance measurements and neural networks. Computers and Electronics in Agriculture 44: 173-188.

Neumann, M., Hallau, L., Klatt, B., Kersting, K. and Bauckhagem C. 2014. Erosion band features for cell phone image based plant disease classification. Proceeding of the 22nd International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Stockholm, Sweden. pp: 3315-3320.

Oerke, E.C., Frohling, P. and Steiner, U. 2011. Thermographic assessment of scab disease on apple leaves. Precision Agriculture 12: 699-715.

Omidi, R., Moghimi, A., Pourreza, A., El-Hadedy, M. and Salah Eddin, A. 2020. Ensemble hyperspectral band selection for detecting nitrogen status in grape leaves. 19th IEEE International Conference on Machine Learning and Application (ICMLA). http://dx.doi.org/10.1109/ICMLA51294.2020.00054.

Osco, L.P., Ramos, A.P.M., Moriya, É.A.S., de Souza, M., Junior, J.M., Matsubara, E.T., Imai, N.N. and Creste, J.E. 2019a. Improvement of leaf nitrogen content inference in Valencia-orange trees applying spectral analysis algorithms in UAV mounted-sensor images. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 83: 101907. https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101907.

Osco, L.P., Marques Ramos, A.P., Roberto Pereira, D., Akemi Saito Moriya, É., Nobuhiro Imai, N., Takashi Matsubara, E., Estrabis, N., de Souza, M., Marcato Junior, J., Gonçalves, W. N., Li, J., Liesenberg, V. and Creste, J.E. 2019b. Predicting canopy nitrogen content in citrus-trees using random forest algorithm associated to spectral vegetation indices from UAV-Imagery. Remote Sensing 11(24): 2925. https://doi.org/10.3390/rs11242925.

Piou, C. and Prévost, E. 2013. Contrasting effects of climate change in continental vs. oceanic environments on population persistence and microevolution of Atlantic salmon. Global Change Biology Bioenergy 19: 711-723. https://doi.org/10.1111/gcb.12085.

Polder, G., van der Heijden, G.W.A.M., van Doorn, J. and Baltissen, T.A.H.M.C. 2014. Automatic detection of tulip breaking virus (TBV) in tulip fields using machine vision. Bio systems Engineering 117: 35-42. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.05.010.

Prabhakar, M., Prasad, Y.G., Thirupathi, M., Sreedevi, G., Dharajothi, B. and Venkateswarlu, B. 2011. Use of ground based hyperspectral remote sensing for detection of stress in cotton caused by leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae). Computers and Electronics in Agriculture 79: 189-198. https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.09.012.

Rousseau, C., Belin, E., Bove, E., Rousseau, D., Fabre, F., Berruyer, R., Guillaumes, J., Manceau, C., Jaques, M. A. and Boureau, T. 2013. High throughput quantitative phenotyping of plant resistance

using chlorophyll fluorescence image analysis. Plant Methods 9: 17. https://doi.org/10.1186/1746-4811-9-17.

Rumpf, T., Mahlein, A.K., Steiner, U., Oerke, E.C., Dehne, H.W. and Plümer, L. 2010. Early detection and classification of plant diseases with support vector machines based on hyperspectral reflectance. Computers and Electronics in Agriculture 74: 91-99. https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.06.009.

Sahoo, R.N., Ray, S.S. and Manjunath, K.R. 2015. Hyperspectral remote sensing of agriculture. Current Science 108: 848-859.

Sankaran, S., Maja, J., Buchanon, S. and Ehsani, R. 2013. Huanglongbing (citrus greening) detection using visible, near infrared and thermal imaging techniques. Sensors 13 (2): 2117-2130. https://doi.org/10.3390/s130202117.

Strickland, R.M., Ess, D.R. and Parsons, S.D. 1998. Precision farming and precision pest management: the power of new crop production technologies. Journal of Nematology 30(4): 431-435.

Sugiura, R., Tsuda, S., Tamiya, S., Itoh, A., Nishiwaki, K., Murakami, N., Shibuya, Y., Hirafuji, M. and Nuske, S. 2016. Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle. Biosystems Engineering 148: 1-10. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.04.010.

Wang, X., Zhang, M., Zhu, J. and Geng, S. 2008. Spectral prediction of *Phytophthora infestans* infection on tomatoes using artificial neural network (ANN). International Journal of Remote Sensing 29: 1693-1706. http://dx.doi.org/10.1080/01431160701281007.

West, S.J., Bravo, C., Oberti, R., Moshou, D., Ramon, H. and McCartney, H.A. 2010. Detection of fungal diseases optically and pathogen inoculum by air sampling. Pp. 135-150. In: Oerke, E.C., Gerhards, R., Menz, G. and Sikora, R.A. (eds.). Precision crop protection-the challenge and use of heterogeneity. Springer, Dordrecht.

Wijekoon, C.P., Goodwin, P.H. and Hsiang, T. 2008. Quantifying fungal infection of plant leaves by digital image analysis using Scion Image software. Journal of Microbiological Methods 27: 94-101. http://dx.doi.org/10.1016/j.mimet.2008.03.008.

Yones, M.S., Aboelghar, M., Khdery, G.A., Dahi, H.F. and Sowilem, M. 2019a. Spectral signature for detecting pest infestation of some cultivated plants in the northern west coast of Egypt. Egyptian Academic Journal of Biological Science 12: 73-38.

Yones, M.S., Aboelghar, M., Khdery, G.A., Farag, E., Ali, A.M., Salem, N.H. and Ma'mon, S. 2019b. Spectral measurements for monitoring of sugar beet infestation and its relation with production. Asian Journal of Agriculture and Biology 7(3): 386-395.

Yones, M.S., Khdery, G.A., Dahi, H.F., Farg, E., Arafat, S.M. and Gamil, W.E. 2019c. Early detection of pink boll worm *Pectinophora gossypiella* (Saunders) using remote sensing technologies. Proc. SPIE 11149, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXI, 111491C (21 October).

Zarate-Valdez, J.L., Muhammad, S., Saa, S., Lampinen, B.D. and Brown, P.H. 2015. Light interception, leaf nitrogen and yield prediction in almonds: a case study. European Journal of Agronomy 66: 1-7. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.02.004.

Zhang, X., Li, P. and Jiang, Z. 2016. Evaluation of spectral indices for assessing tomato leaf chlorophyll content. Precision Agriculture 17(2): 225-243.

Remote sensing technology and its applications in management of plant pests and diseases

A. Taheri Shahrestani[1*] and S. Sefidgar Shakolaie[1]

Received: 26 Dec., 2024 Accepted: 11 Mar., 2025

ABSTRACT

Given the increasing population growth, reducing agricultural losses caused by pests and plant diseases has great importance. In this regard, using appropriate preventive methods is an effective step in timely protection of agricultural products and also reducing the use of chemical pesticides. In recent years, advances in remote sensing techniques have made this science play a very important role in plant pest and disease management. Remote sensing can help identifying, diagnosing, and controlling plant pests and diseases, as well as stress caused by water or nutrient deficiencies. By combining remote sensing data and agricultural knowledge, it is possible to prevent the impact of a disease or pest on crops by providing early warning and taking appropriate measures at an early stage. This technology plays an important role in the management of plant pests and diseases by providing accurate and efficient data, and helps in early identification of infected areas, continuous monitoring of plant health, and reducing the use of harmful chemical pesticides. This article discusses the importance of remote sensing in controlling plant pests and diseases and examples of remote sensing for their monitoring.

Key words: Remote sensing, plant disease, pest, sensor, wavelength

1. Laboratory Expert, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Guilan, Iran

Corresponding author: azamtaheri98@yahoo.com ،azamtaheri98@gmail.com