کاربرد سنجش از دور در پایش آفات و بیماری‌های گیاهی

لیلا شریعتی‌نیا
دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

حمیدرضا کشتکار
استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
Hkeshtkar@ut.ac.ir

چکیده

پیشرفت‌های اخیر در نوآوری بیشتر و تشخیص بهتر فناوری سنجش از دور، کاربرد فزاینده‌ای در پیشبرد اهداف مختلف حوزه منابع طبیعی و کشاورزی، به‌ویژه در مدیریت آفات و بیماری‌های گیاهی داشته است. توسعه تکنولوژی اطلاعات همراه با رشد کاربردهای توسعه‌یافته‌ی این فناوری در علم تفسیر و تجزیه و تحلیل داده‌ها، مزایای زیادی برای حمایت مطالعات و تحقیقات دارد. در سال‌های اخیر سنجش از دور به یکی از امیدوارکنندترین ابزارهایی تبدیل شده است که به عنوان یک روش جدید و کارا از بررسی انواع پارامترهای محیطی در سطح زمین حمایت می‌کند. با این حال محدودیت‌های فنی و تغییرپذیری تعاملات، استفاده از این فناوری را در زمینه‌های مختلف محدود می‌کند. در این گفتار به بررسی و مرور فناوری نوین سنجش از دور و چگونگی کاربرد آن در پایش آفات و بیماری‌های گیاهی در عرصه‌های طبیعی شامل جنگل‌ها، مراتع و همچنین استفاده آن در اراضی کشاورزی پرداخته شده است. به طور کلی، استفاده از سنجش از دور در مطالعات مربوط به آفات و بیماری‌های گیاهی امکان دسترسی به مناطق دسترسی ناپذیر، سرعت و کارایی بالا، پایش و پیشگیری مستمر، دقت بالا و کاهش استفاده از مواد شیمیایی مضر را فراهم می‌کند.

واژگان کلیدی: شاخص طیفی، تکنولوژی اطلاعات، تحلیل داده، مدیریت اکوسیستم

مقدمه

برخی از حشرات از اندام‌های گیاهی تغذیه می‌کنند و یا به روش‌های دیگری با گیاه همزیستی دارند. لذا حضور این حشرات در طبیعت خطرناک نیست و به عنوان آفت شناخته نمی شوند، زیرا جزئی از زنجیره‌ی غذایی در اکوسیستم هستند. اما زمانیکه جمعیت آنها در یک منطقه زیاد شود، می‌توانند به گیاهان آسیب جدی وارد نمایند و در نتیجه به عنوان آفت شناخته می‌شوند. در اراضی کشاورزی عموما تعدادی اندک از این حشرات نیز تحمل نمی‌شود و به دلیل خسارت به محصولات، به عنوان آفت شناسایی و با آنها مقابله می‌گردد. آفات و بیماری‌های گیاهی اثرات قابل ملاحظه‌ای بر روی گیاهان مرتعی، جنگلی و کشاورزی

و در نتیجه عملکرد این اکوسیستم‌ها دارند. از جمله‌ی این اثرات می‌توان به کاهش قابل توجه تعداد و تنوع گونه‌ها، تخریب زیستگاه‌های حیات وحش، کاهش جذابیت گردشگری، کاهش عملکرد زراعی، و افت قیمت و کاهش درآمد کشاورزان اشاره کرد. آفات و بیماری‌ها می‌توانند باعث کاهش تعداد گیاهان مرتعی و جنگلی شده و همچنین تنوع گونه‌ها را نیز تحت تأثیر قرار دهند. این موضوع می‌تواند به بیابانی شدن زمین‌های مرتعی و نابودی زیستگاه‌های جنگلی نیز منجر شود. بسیاری از آفات و بیماری‌ها به صورت مستقیم یا غیرمستقیم برای حشرات، پرندگان و سایر جانداران تهدیدی بشمار می‌آیند و می‌توانند منجر به تخریب زیستگاه‌های جانوری شوند. از سویی دیگر، وجود آفات و بیماری‌ها در مناطق جنگلی و مرتعی می‌تواند باعث کاهش جذابیت این مناطق برای گردشگران شود. این امر قطعا تأثیر منفی بر رونق صنعت گردشگری و درآمد مناطق مربوطه خواهد داشت. این عوامل همچنین می‌توانند به کاهش عملکرد و عمر مفید گیاهان کشاورزی منجر شوند و با افت قیمت محصولات کشاورزی، درآمد کشاورزان کاهش خواهد یافت. این موضوع می‌تواند رویکردهای مختلف در کاشت و برداشت محصولات کشاورزی و همچنین امنیت غذایی را تحت تأثیر قرار دهد (Kotze et al., ۲۰۲۲).

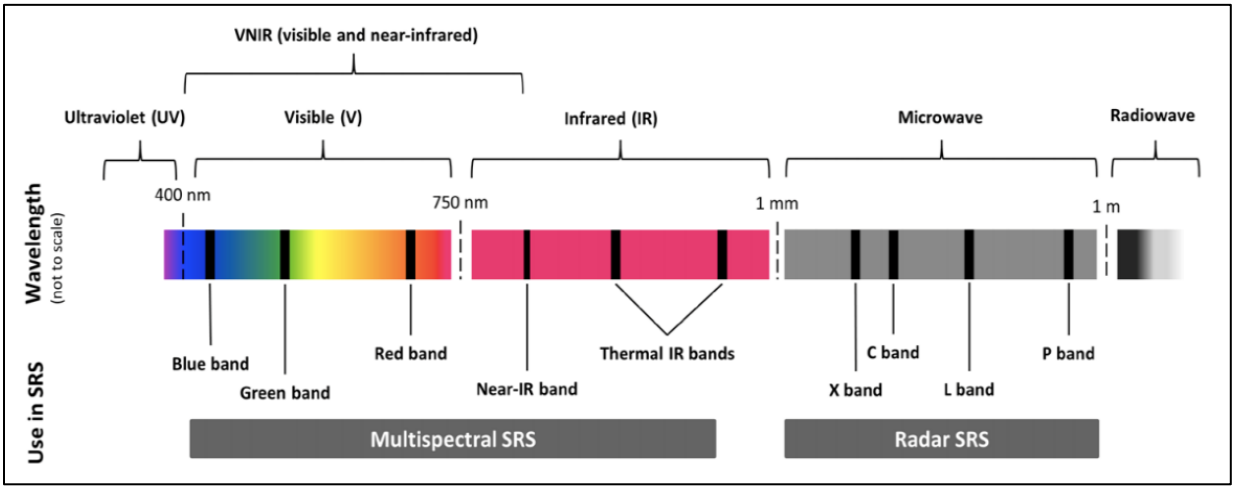
در عصر حاضر، به دنبال افزایش جمعیت و ضرورت تامین نیاز بشر، جوامع انسانی ملزم به استفاده از روش‌های نوین جهت بهره‌گیری از کلیه امکانات تولیدی در عرصه‌های طبیعی و کشاورزی به منظور نیل به تأمین این ضرورت هستند. بستر خاک و پوشش گیاهی به عنوان زمینه اصلی این هدف مهم، نیازمند پایش و نظارت مستمر از لحاظ آفات و بیماری‌ها بوسیله فناوری‌های نوین همچون فناوری سنجش از دور است تا شرایط از لحاظ سلامت عرصه قبل از وقوع خسارت بررسی گردد و با هشدار زودهنگام، مدیریت و مقابله لازم صورت گیرد. همانطور که سنجش از دور در اواسط دهه ۶۰ میلادی به یک علم تبدیل شد، به طور فزاینده‌ای نیز مورد استفاده قرار گرفت. سنجش از دور همراه با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سیستم‌های موقعیت‌یاب جهانی (GPS) رویکردی قدرتمند و پیچیده برای استفاده، توسعه و مدیریت اراضی در سراسر جهان ارائه کرده است (Nan، ۲۰۰۱). فناوری سنجش از دور به دلیل برخورداری از ویژگی‌های ارزشمندی همچون امکان اخذ تصاویر چندزمانه و چندطیفی، قابلیت تفکیک مکانی و رادیومتری مناسب و متنوع، دید وسیع و یکپارچه از منطقه می‌تواند در بسیاری از کاربردهای کشاورزی موثر واقع شود (Sadeghi et al، ۲۰۱۷). به ویژه فناوری سنجش ازدور در کسب اطلاعات دقیق در مورد سطح زمین و سهولت پایش کمک‌کننده است. مثلا حالت‌های مختلف گیاهان در مراحل مختلف فنولوژی شامل دوره رشد اولیه، دوره گلدهی، بذردهی یا میوه‌دهی، و یا مطالعه شرایط استرس گیاه مانند استرس مواد غذایی، حرارتی و خشکی، بیماری و آفت به وسیله ابزارهای سنجش از دور و بدون تماس با آنها با اسکنرهای خطی و سطحی، قابل تشخیص است. اطلاعات محیطی می‌تواند از سنجنده‌های مختلف سنجش از دوری که قابلیت‌ها و توانمندی‌های متفاوتی دارند اخذ و پردازش شوند (Delamini، ۲۰۰۹). مدیریت آفات باید مؤثر، کارآمد و پایدار باشد که با ترکیب ابزارهای مکانیکی، بیولوژیکی و شیمیایی با سایر فناوری‌های حمایتی درسیستم‌های مدیریت یکپارچه آفات (IPM)[1] به بهترین وجه قابل تحقق است (۲۰۲۰

[1] Integrated Pest Management

Oerke،). در این گفتار به بررسی و مرور فناوری نوین سنجش از دور و چگونگی کاربرد آن در پایش آفات و بیماری‌های گیاهی در عرصه‌های طبیعی شامل جنگل‌ها و مراتع و همچنین استفاده آن در اراضی کشاورزی پرداخته شده است.

سنجش از دور

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 اخذشده توسط یک دستگاه یا سنجنده است (کشتکار و نعمت‌اللهی، ۱۳۹۶). 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 (۲۰۱۷ Sadeghi et al.،).



شکل ۱- طیف الکترومغناطیس با باندهای مورد استفاده در سنجش از دور ماهواره‌ای (SRS) (Klein et al.، ۲۰۲۱)

طیف الکترومغناطیس بخش بسیار مهم سنجش از دور بشمار می‌رود. نور مرئی تنها یکی از اشکال مختلف انرژی الکترومغناطیس است. امواج رادیویی، گرمایی، اشعه ماورای بنفش و اشعه X، انواع دیگری از اشکال انرژی الکترومغناطیس هستند (شکل ۱). تمام آنها ذاتا به یکدیگر شبیه هستند و بر اساس اصول تئوری موج تابش می‌کنند. فاصله بین دو قله موج متوالی را "طول موج" می‌گویند که با علامت λ نشان داده می‌شود و تعداد قله‌هایی که در واحد زمان از یک نقطه ثابت در فضا عبور می‌کند فرکانس نامیده می‌شود که با علامت ν نشان داده می‌شود. در سنجش از دور طبقه‌بندی امواج الکترومغناطیس بر اساس موقعیت طول موج در طیف الکترومغناطیس انجام می‌گیرد و متداول‌ترین واحدی که برای اندازه‌گیری طول موج در طیف الکترومغناطیس مورد استفاده قرار می‌گیرد واحد میکرومتر یا نانومتر می‌باشد (Abd El-Ghany al et.، ۲۰۲۰). بخش مرئی آشناترین و پرکاربردترین بخش طیف الکترومغناطیس است که به سه دسته‌ی اصلی، یعنی طیف آبی، طیف سبز و طیف قرمز تقسیم می‌شود. این بخش از طیف بین ۰/۴ تا ۰/۷ میکرومتر است که چشم انسان به آن حساس می‌باشد. بسیاری از

خصوصیات تشعشعات الکترومغناطیسی به سهولت به وسیله تئوری امواج قابل توصیف است. همچنین تئوری دیگری تحت عنوان «تئوری ذرات» وجود دارد که دید بهتری را در خصوص چگونگی فعل و انفعالات انرژی الکترومغناطیس بیان می‌کند. این تئوری بیان می‌دارد که تشعشعات الکترومغناطیس از تعداد زیادی واحدهای مجزا به نام «فوتون» یا «کوانتا» تشکیل یافته است که انرژی یک کوانتوم با طول موج خود نسبت معکوس دارد. هر چقدر طول موج بزرگتر باشد، انرژی یک کوانتوم کمتر خواهد بود. این موضوع به لحاظ آنکه سنجش امواج طبیعی ساطع شده با طول موج بلند (نظیر امواج مایکروویو) از عوارض زمینی بسیار مشکل‌تر از سنجش امواج طبیعی ساطع شده از عوارض زمینی در موج‌های کوتاه‌تر (مانند محدوده طیفی مادون قرمز) است، در سنجش از دور حائز اهمیت کاربردی بسیار است. مقدار کم انرژی تشعشعات طول موج بلند به این معناست که به طور کلی سیستم‌هایی که در طول موج‌های بلند فعالیت می‌نمایند لازم است مناطق وسیعی از زمین را در هر لحظه از زمان به منظور دریافت یک سیگنال آشکار انرژی ببینند (Liang et al., ۲۰۱۹).

ماهواره‌های زیادی وظیفه تصویربرداری از سطح زمین را بر عهده دارند. این ماهواره‌ها عموما برای اهداف خاص طراحی و به فضا پرتاب شده‌اند. لذا هر کدام از این ماهواره‌ها از توانمندی‌های منحصر به فردی برخوردارند. برخی از این ماهواره‌ها در مطالعات مربوط به تشخیص و پایش آفات و بیماری‌های گیاهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در جدول ۱ تعدادی از این ماهواره‌ها معرفی شده‌اند.

جدول ۱- ماهواره‌های مورد استفاده در پایش آفات و بیماری‌های گیاهی (Kumawat et al.،۲۰۲۳)

نام ماهواره	سنسور (رزولوشن مکانی)	رزولوشن زمانی	کاربرد
Landsat	OLI, TIRS (30-100 m)	۱۶ روز	بیومس و شناسایی تلفات محصول
SPOT	HRV-HRVIR (20 m)	۲-۶ روز	سلامت گیاه
Radar SAT	C-band SAR (30 m)	۱-۶ روز	پیشرفت محصول
IKONOS	OSA (3 m)	۳ روز	کمبود نیتروژن و مدیریت مواد مغذی
EO-1	Hyperion (30 m)	۱۶ روز	غربالگری بیماری
QuickBird	MS* (2.44 m)	۱-۴ روز	شناسایی بیماری
Radarsat	C-band SAR (1–100 m)	۳ روز	شاخص سطح برگ و انباشت بیومس
Rapid Eye	MS (6.5 m)	۱-۶روز	کلروفیل و شاخص سطح برگ
GeoEye-1	MS (1.65 m)	۲-۸ روز	نظارت بر مواد مغذی و سلامت گیاه
Pleiades	MS (2 m)	۱ روز	شاخص سطح برگ

Worldview-3	SS (1.24 m)	کمتر از ۱ روز	مدیریت علف های هرز
Sentinel-2	MSI (10-60 m)	۲–۵ روز	عملکرد گیاهان و مدیریت نیتروژن
FORMOSAT2	MS (2 m)	۱–۵ روز	وضعیت نیتروژن و شاخص سطح برگ
KOMPSAT-3	MS (2.2-5.5 m)	۱/۴ روز	استرس گیاهی

* Multispectral detector

کاربردهای سنجش از دور در مدیریت آفات و بیماری‌های گیاهی

سطح آسیب آفات بر گیاهان معمولا به صورت رسوبات کپک دودی تولیدشده توسط حشرات مولد عسلک، برگ‌زدایی گیاه، تغییر رنگ و اعوجاج هندسی شکل گیاه قابل تشخیص است. سنجش از دور، فناوری نوینی در گیاه‌پزشکی است که به تشخیص سریع و دقیق محل آلودگی برای مبارزه مؤثر کمک می‌کند. مهم‌ترین کاربرد این روش در پایش، ارزیابی وسعت عرصه آسیب‌دیده یا خسارت‌های تحمیل شده است (Zarghani et al.، ۱۴۰۰). 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 به طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفته است.

اطلاع از سطح آسیب حشرات، آلودگی علف‌های هرز و بیماری‌های گیاهی می‌تواند چشم‌انداز روشنی را برای تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌های مدیریتی آشکار کند. فناوری سنجش از دور، داده‌کمکی را در سیستم‌های پشتیبانی تصمیم برای برنامه‌های مختلف مدیریت آفات، نقشه‌برداری و پیش‌بینی الگوهای شیوع فراهم می‌آورد. پایش دقیق و کارآمد جمعیت حشرات نکته کلیدی برای بهبود کنترل 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 رساند. 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 بلندمدت چندمکانی برای تشخیص الگوهای مهاجرت آفات (حشرات) را بهبود 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 GPS و GIS ادغام می‌شود تا نقشه مکانی هجوم حشرات در یک منطقه وسیع کشاورزی، مرتعی و جنگلی را ارتقاء دهد (Abd El-Ghany et al.، ۲۰۲۰).

کار با تصاویر ماهواره‌ای برای تشخیص اثرات آفات و بیماری‌ها بر روی گیاهان یک روش پیشرفته است که به محققین، اکولوژیست‌ها و کشاورزان کمک می‌کند تا مشکلات گیاهی را سریعتر تشخیص داده و اقدامات لازم را برای مدیریت و کنترل آنها انجام دهند. برخی از تکنیک‌های مورد استفاده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای عبارتند از (Zhang et al.,۲۰۱۹):

الف) تحلیل طیفی: در این روش از طیف‌سنجی بر روی تصاویری که می‌توانند توسط ماهواره‌ها، پهپادها و یا اسپکترومترها برداشت شده باشند، استفاده می‌شود. با مقایسه طیف‌های مربوط به گیاهان سالم و گیاهان آسیب‌دیده می‌توان آن دسته از طیف‌هایی که به اثرات آفت یا بیماری بر روی گیاه حساسیت دارند را تشخیص داده و در مطالعات مورد استفاده قرار داد. این تکنیک می‌تواند به صورت پهنه‌بندی شده انجام شود، به طوری که آفت یا بیماری را روی کل مزرعه، مرتع یا جنگل بررسی کرد.

ب) محاسبات تصویری: در بسیاری از موارد استفاده از باندهای اصلی برای رسیدن به هدف و استخراج اطلاعات کافی نیستند. لذا محققین سنجش از دور پردازش‌هایی را بر روی دو یا چند باند اصلی انجام می‌دهند و نتیجه آن یک باند جدید است که شاخص[۲] نامیده می‌شود. برخی از این شاخص ها برای تشخیص آفات و بیماری‌های گیاهی نیز مورد استفاده قرار می گیرند که برخی از آنها در جدول ۲ نمایش داده شده است. ماهلین[۳] و همکاران (۲۰۱۲) در یک مطالعه به ارزیابی شاخص‌های طیفی بیماری‌های گیاهی[۴] در چغندرقند براساس طول موج‌های مشخص و مهم جهت شناسایی بیماری‌های گیاهی پرداختند. در این مطالعه چهار شاخص طیفی بیماری‌های گیاهی شامل شاخص سلامت (HI)، شاخص بیماری لکه‌برگی سرکوسپورایی(CLS)، شاخص بیماری زنگ چغندرقند(SBRI) و شاخص کپک پودری (PMI) مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت هر چهار شاخص، جزئیات و حساسیت مناسبی برای تشخیص و شناسایی بیماری‌های گیاهی نشان دادند (شکل ۲).

ج) شناسایی الگو و بافت: محققین سنجش از دور می‌توانند بر اساس تشخیص الگو و یا بافت در تصاویر ماهواره‌ای، حضور عامل استرس‌زا مانند آفت و بیماری را تشخیص دهند. با تحلیل و مقایسه الگوهای موجود در تصاویر، الگوهای خاص که به آفت یا بیماری مرتبط هستند، قابل تشخیص می‌شوند. همچنین می‌توان اطلاعات مفیدی از ویژگی‌های فیزیکی و ظاهری گیاهان سالم و آفت‌زده استخراج نمود.

د) الگوریتم‌های تشخیصی: از الگوریتم‌های تشخیصی مانند یادگیری عمیق می‌توان برای تشخیص اثرات آفات و بیماری‌ها بر روی گیاهان استفاده کرد. با استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق و مجموعه داده‌های آموزشی بزرگ که از تصاویر قابل استخراج هستند، می‌توان به صورت خودکار و دقیق آفت یا بیماری را بر روی گیاهان شناسایی کرد.

به طور اختصاصی در مورد بیماری های گیاهی، سنجش از دور می‌تواند به عنوان اولین گام در کنترل بیماری مکان‌محور و همچنین برای تشخیص فنوتیپ گیاهان آلوده در واکنش به حمله پاتوژن (بیمارگر) استفاده شود (Oerke، ۲۰۲۰). به طور معمول، پاتوژن‌ها به دلیل کاهش فعالیت فتوسنتزی، منجر به از دست‌رفتن برگ‌ها و یا ناحیه شاخه یا تغییر رنگ برگ می‌شوند. این تغییرات منجر به تفاوت در پاسخ طیف در مناطق مرئی و مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس می‌شود.

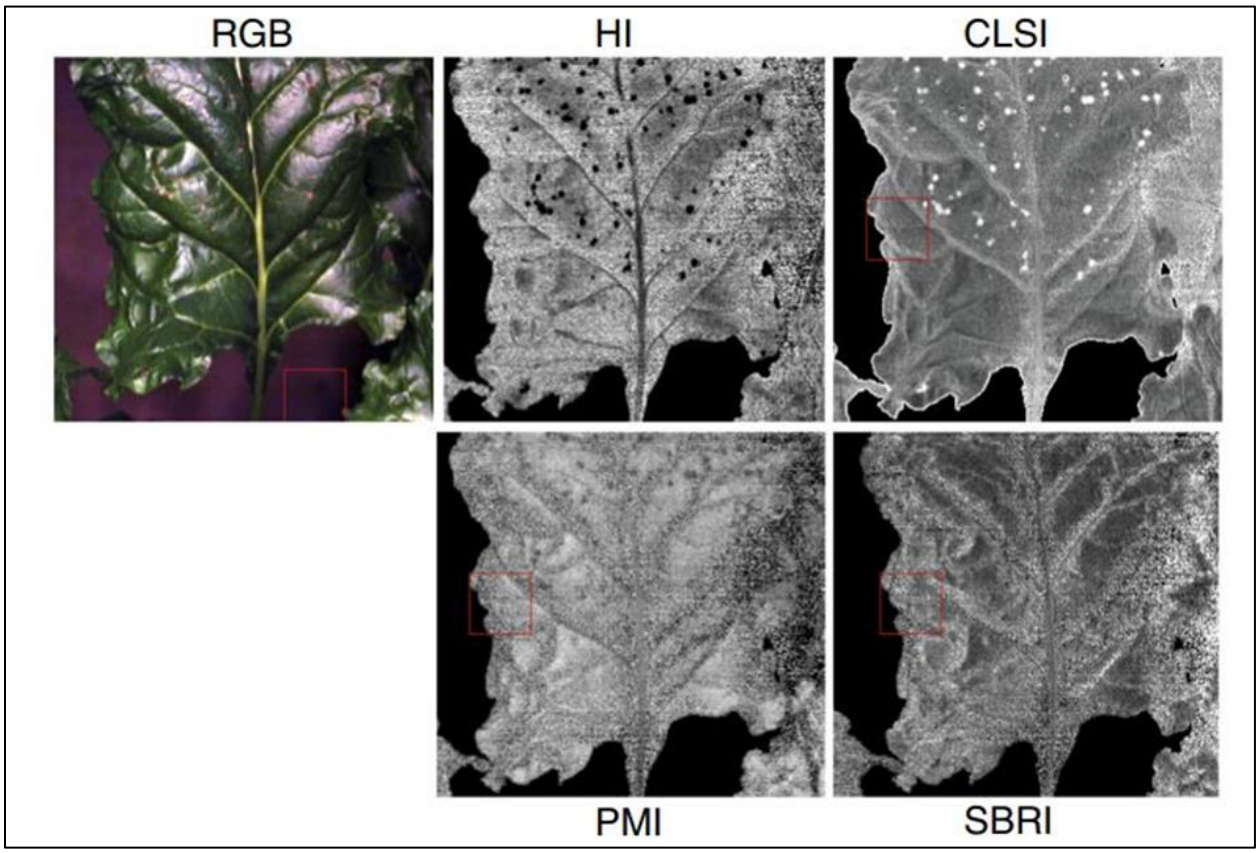
[2] Index
[3] Malein
[4] Spectral disease indices

جدول ۲- برخی از شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در پایش آفات و بیماری‌ها

نام شاخص	نشان اختصاری	فرمول	منبع
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{NIR-R}{NIR+R}$	Nooredini et ، ۱۳۹۶) (al
Normalized Difference Nitrogen Index	NDNI	$\frac{log\frac{1}{R1510}-log\frac{1}{R1680}}{log\frac{1}{R1510}+log\frac{1}{R1680}}$	(Wang et al.، ۲۰۱۶)
Infrared The Normalized Difference Index	NDII	$\frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR}$	(Ashraf et al.، ۲۰۲۳)
Healthy Index	HI	$\frac{GREEN-RED1}{GREEN+RED1}-0.5RED2$	(Ashraf et al.، ۲۰۲۳)
Disease Water Stress Index	DWSI	$\frac{(R802+R547)}{(R1657+R682)}$	Mirzaiy et .، ۱۳۹۸) (al
Leaf Rust Disease Severity Index 1	LRDSI1	$6.9\frac{RED1}{BLUE}-1.2$	(Ashraf et al.، ۲۰۲۳)
Leaf Rust Disease Severity Index 2	LRDSI2	$4.2\frac{RED2}{BLUE}-0.38$	
Structure Intensive Pigment Vegetation Index	SIPI	$\frac{NIR-BLUE}{NIR-RED}$	Wójtowicz .، ۲۰۱۶) (et al
Photochemical Reflectance Index	PRI	$\frac{R531-R570}{R531+R570}$	Kumawat .، ۲۰۲۳) (et al
Red-Edge Chlorophyll Vegetation Index	RECl	$\frac{R750-R800}{R695+R740}-1$	Kumawat .، ۲۰۲۳) (et al
Normalized Difference Red Edge Vegetation Index	NDRE	$\frac{RNIR-Rred\ edge}{RNIR+Rred\ edge}$	Kumawat .، ۲۰۲۳) (et al
Green Normalized Difference Vegetation Index	GNDVI	$\frac{R750-R550}{R750+R550}$	Kumawat .، ۲۰۲۳) (et al
Normalized Difference Water Index	NDWI	$\frac{R857-R1241}{R857+R1241}$	Kumawat .، ۲۰۲۳) (et al
Enhanced Vegetation Index	EVI	$2.5\frac{R_{NIR}-R_{Red}}{R_{NIR}+(6R_{Red}-7.5R_B)}$	Nooredini et ، ۱۳۹۶) (al
Leaf Area Vegetation Index	LAI	leaf area(m2) / ground area(m2)	(Watson.، ۱۹۴۷)

Green Chlorophyll Vegetation Index	GCI	$\frac{R_{NIR}}{R_{Green}} - 1$	(Ali et al.، ۲۰۱۹)

در مطالعات اخیر، پتانسیل تصاویر حرارتی برای تشخیص بیماری‌های گیاهی نشان داده شده است. گیاهان مبتلا به بیماری در مقایسه با گیاهان سالم، دمای بالاتری را نشان می‌دهند، اگرچه علائم بیماری‌زا قابل مشاهده نیستند (Mahlein et al.، ۲۰۱۳; Calderon et al.، ۲۰۱۳; Mahlein، ۲۰۱۶). این مطالعات نشان داده‌اند که دمای یک برگ مبتلا به بیماری، معمولا بالاتر از یک برگ سالم است، بنابراین یک سنسور حرارتی در تشخیص زودهنگام بیماری‌ها قدرتمندتر از سنسورهای مرئی، چندطیفی و فراطیفی[۵] است.



شکل۲- تصویر RGB از یک تصویر فراطیفی از بیماری لکه‌برگی سرکوسپورایی برگ چغندرقند و نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف بر روی همان برگ (Mahlein et al.، ۲۰۱۲)

همچنین برخی مطالعات، قدرت روش‌های مختلف یادگیری ماشین (به عنوان مثال، شبکه‌های عصبی، تصمیم‌گیری درختی) را برای تشخیص و شناسایی پاتوژن‌های گیاهی در مراحل اولیه رشد را نشان داده‌اند (Mohanty et al.، ۲۰۱۶; Barbedo، ۲۰۱۶). ادغام سنجش از دور با روش‌های پیشرفته تحلیل داده، مانند هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، نویدبخش تقویت

[5] Hyperspectral

قابلیت‌های سیستم‌های کمک‌کننده در تصمیم‌گیری است. حوزه‌های بسیاری وجود دارد که هنوز نیازمند بازسازی یا تغییرات اساسی در سیستم های سنجش از دور موجود و همچنین روش‌ها و تکنیک‌ها برای به دست‌آوردن نتایج معنادار از تصاویر هستند (Asharaf et al.، ۲۰۲۳). با این حال، موفقیت این روش‌ها به وجود یک پایگاه عظیم داده از خصوصیات طیفی برگ‌های سالم و بیمار بستگی دارد (Khanal et al.، ۲۰۲۰). جدول ۳ برخی از مهم‌ترین مطالعات مبتنی بر پایش آفات و بیماری‌های گیاهی با فناوری سنجش از دور را ارائه کرده است.

جدول۳- پایش آفات و بیماری با فناوری سنجش از دور

اهداف تحقیق	نوع سکو و سنجنده	نتایج	منبع
آفت گندم	زمینی	همبستگی بالا بین شاخص‌های NDVI ، SIPI با آفت گندم	sadeghi et al.، ۲۰۱۷)
آفت شته خردل	آزمایشگاهی و زمینی	همبستگی بالای شاخص‌های NDVI، RVI، SIPI با آفت شته در پنبه	sadeghi et al.، ۲۰۱۷)
آفت کرم ذرت	هوایی	تشخیص بسیار دقیق آفت کرم ذرت با شاخص SR	sadeghi et al.، ۲۰۱۷)
عفونت قارچ و زنگ‌زدگی برگ گندم	ماهواره‌ای	قابلیت تصاویر ماهواره Bird Quick در تشخیص ناهمگونی در اراضی زیر کشت گندم خصوصا در مراحل پایانی عفونت قارچ قابلیت به نسبت پایینتر در تشخیص عفونت قارچ در مراحل اولیه بیماری	sadeghi et al.، ۲۰۱۷)
بیماری زوال مرکبات	هوایی	صحت بالای الگوریتم طبقه بندی تصاویر چند طیفی و سامانه‌های هوابرد بدون سرنشین	seydipoor et al.، ۱۳۹۶)

تکنولوژی‌های نوین سنجش از دوری در شناخت آفات و بیماری‌ها

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های سنجش از دوری باعث شده تا این علم نقش بسیار مهمی در مدیریت آفات ایفا کرده باشد. از جمله‌ی این پیشرفت‌ها، حضور سنجش از دور Benchtop است که به یک ابزار کاربردی در رده‌بندی (سیستماتیک)، رفتارشناسی و فیزیولوژی حشرات تبدیل شده است (Nansen et al.، ۲۰۱۶).

حسگرهای سنجش از دور به طور گسترده‌ای به عنوان ابزار جدیدی برای شناسایی آفات، تشخیص سطح آلودگی، پیش‌بینی شیوع، و مدیریت آفات استفاده می‌شود (Vanegas et al.، ۲۰۱۸). از جمله‌ی این حسگرها و دستگاه‌ها می‌توان به دستگاه‌های

اپتیکال و الکترواپتیکال مانند فیلمبرداری، شناسایی فرکانس رادیویی (RFID)، تله‌متری (دورسنجی) رادیویی، رادیوگرافی اشعه ایکس، تصویربرداری حرارتی، انواع رادار اشاره کرد. سنجش از دور هوابرد نتایج قابل قبولی در تشخیص هجوم حشرات، نشان داده است. به عنوان مثال، تشخیص هجوم حشرات در باغات مرکبات با استفاده از عکسبرداری هوایی مادون قرمز رنگی (CIR) و یا استفاده از فیلمبرداری چندطیفی برای کشف مشکلات پوسته سیاه مرکبات و آفتی به نام Coccus hesperidum در آن و همچنین آلودگی مگس سفید در پنبه استفاده شد.

رادار حشره‌شناسی[۶]، از انواع دستگاه های سنجش از دور کارآمد است که برای نظارت بر فراوانی و پراکندگی آفات جنگلی و کشاورزی و پیش‌بینی رفتار حشرات مهاجر استفاده می‌شود. برخی از مزایای این نوع رادار عبارتند از (الف) ظرفیت منحصر به فرد آن برای شناسایی حشرات به طور همزمان در دامنه‌ای از ارتفاعات که می‌تواند به بیش از یک کیلومتر از سطح زمین برسد و (ب) حجم نمونه‌برداری زیادی که نسبت به روش‌های نمونه‌برداری سنتی ارائه می‌کند (Chapman et al.، ۲۰۰۲). این سیستم همچنین، فرصتی بی‌نظیر برای بررسی جنبه‌های رفتار مهاجرت حشرات، مانند جهت‌گیری در مهاجران بلند پرواز فراهم می‌کند. ظرفیت متمایز رادار برای نظارت بر حشرات شب‌پرواز باعث شده است به طور گسترده در تحقیقات مهاجرت حشرات مورد استفاده قرار گیرد. انواع مختلفی از رادارهای حشره‌شناسی وجود دارد که رادار حشره‌شناسی هوابرد، رادار ردیابی حشره‌شناسی و رادار عمودی (VLR) از جمله‌ی آنها هستند (Abd El-Ghany et al.، ۲۰۲۰).

جمع‌بندی

استفاده از سنجش از دور جهت پایش و مدیریت آفات و بیماری‌های گیاهی در مراتع، جنگل‌ها و اراضی کشاورزی می‌تواند به شکل‌های مختلفی انجام شود. برخی از این روش‌ها به اختصار عبارتند از:

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 موثری را اتخاذ کرد.

۲- پایش و پیش بینی علائم آفت و بیماری: با استفاده از روش‌های سنجش از دور، می‌توان تغییرات زمینی و علائم آفات و بیماری‌ها را پیش بینی کرد. به عنوان 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 مناطقی را که به آفت یا بیماری مبتلا هستند شناسایی کرد. 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.

---

[6] Vertical-Looking Radar

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.

به همین دلیل تکنولوژی سنجش از دور به عنوان یک ابزار موثر به خوبی 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 دلایل اهمیت این تکنولوژی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

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 به طور موثرتری 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 به طور همزمان بر روی سطح گسترده‌ای از زمین مشاهده و آنالیز انجام داد. این روش سرعت و کارایی بالایی دارد و به دقت بررسی آفات و بیماری‌های گیاهی کمک می‌کند.

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

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 به دست‌آمده را با داده‌های جغرافیایی و دیگر اطلاعات مرتبط مانند عوامل محیطی (پارامترهای اقلیمی، توپوگرافی و ...) 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 به طور هدفمندتر از مواد شیمیایی مضر برای کنترل آفات و بیماری‌ها استفاده کنند و در نتیجه آسیب به محیط زیست کاهش یابد.

به طور خلاصه، استفاده از سنجش از دور در بحث آفات و بیماری‌های گیاهی امکان دسترسی به مناطق دسترسی ناپذیر، سرعت و کارایی بالا، پایش و پیشگیری مستمر، دقت بالا، قابلیت انتقال داده و کاهش استفاده از مواد شیمیایی مضر را فراهم می‌کند.

منابع

بیهمتا, ندا, سفیانیان, علیرضا, فاخران, سیما, پورمنافی, سعید. تلفیق الگوریتم CART و شاخص‌های پوشش گیاهی در تهیه نقشه اراضی جنگلی مانگرو با استفاده از تصویر لندست ۸. پژوهش و توسعه جنگل. ۱۳۹۸; ۵(۴)

تیموری حسن، تیموری حسین. کاربرد فناوری سنجش از دور ماهواره ای در کشاورزی دقیق. ۱۳۹۵.

زرقانی, ابراهیم, فرآشیانی, محمد ابراهیم, امینی, سودابه. روش‌های مختلف پایش آفات و بیماری‌ها در عرصه‌های جنگلی و مرتعی. طبیعت ایران, ۱۴۰۱; ۷(۱): ۳۳-۴۴.

صادقی، وحید، طریقی، جواد. کاربرد فناوری سنجش از دور زمینی، هوایی و ماهواره ای در صنعت کشاورزی، پنجمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین المللی کشاورزی ارگانیک و مرسوم،اردبیل. ۱۳۹۶.

صیدی‌پور عرفان، صمدزادگان فرهاد، دادرس جوان فرزانه، عسکری امید. تشخیص بیماری زوال مرکبات با استفاده از سامانه بدون سرنشین هوایی مجهز به دوربین چندطیفی. مهندسی فناوری اطلاعات مکانی۱۳۹۷؛۶(۳):۳۱-۴۹.

کشتکار، حمیدرضا، نعمت اللهی، محمدجواد. کاربرد سنجش از دور در علوم طبیعی. انتشارات نونگارش نوین. ۱۳۹۶.

نورالدینی, سید احمدرضا, بنیاد, امیراسلام. بررسی کارآیی روش‌های تصحیح اثر اتمسفر در برآورد تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های گیلان با استفاده از شاخص‌های گیاهی حاصل از لندست ۸. نشریه سنجش از دور و GIS ایران, ۱۳۹۶; ۹(۱): ۹۳-۱۱۰.

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

Ali A, Martelli R, Lupia F, Barbanti L. Assessing Multiple Years' Spatial Variability of Crop Yields Using Satellite Vegetation Indices. Remote Sensing 2019;11(20):2384.

Ashraf A, Ahmad L, Ferooz K, Ramzan S, Ashraf I, Khan J. N, et al. Remote Sensing as a Management and Monitoring Tool for Agriculture: Potential Applications. Int. J. Environ. Clim. Change, vol. 13, no. 8, pp. 324-343, 2023; Article no. IJECC.100243.

Barbedo, J.G.A. A review on the main challenges in automatic plant disease identification based on visible range images. Biosyst. Eng. 2016, 144, 52–60.

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

Chapman J. W, Smith A. D, Woiwod I. P, Reynolds D. R, Riley J. R. Development of vertical-looking radar technology for monitoring insect migration. Computers and Electronics in Agriculture,2002, 35.2-3: 95-110.

Dlamini WM. Characterization of the July 2007 Swaziland fire disaster using satellite remote sensing and GIS. Applied Geography. 2009 Jul 1; 29(3): 299-307.

Duarte A, Borralho N, Cabral P, Caetano M. Recent Advances in Forest Insect Pests and Diseases Monitoring Using UAV-Based Data: A Systematic Review. Forests. 2022; 13(6):911.

Gong P, Pu R, Biging GS, Larrieu MR. Estimation of forest leaf area index using vegetation indices derived from Hyperion hyperspectral data. IEEE transactions on geoscience and remote sensing. 2003 Jun; 41(6): 1355-62.

Huete AR. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote sensing of environment. 1988, Aug1; 25(3):295-309.

Hunt Jr E. R, Everitt J. H, Ritchie J. C, Moran M. S, Booth D. T, Anderson G. L. et al. "Applications and research using remote sensing for rangeland management." Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2003; 69(6):675-693.

Liang S, Wang D, He T, Yu Y. Remote sensing of earth's energy budget: synthesis and review, International Journal of Digital Earth. 2019; 12(7):737-780.

Khanal S, Kc K, Fulton JP, Shearer S, Ozkan E. Remote sensing in agriculture—accomplishments, limitations, and opportunities. Remote Sensing. 2020 Nov 19;12(22):3783.

Klein I, Oppelt N, Kuenzer C. Application of Remote Sensing Data for Locust Research and Management—A Review. Insects. 2021; 12, 233.

Kotze DJ, Lowe EC, MacIvor JS. Urban Forest invertebrates: how they shape and respond to the urban environment. Urban Ecosyst. 2022; 25:1589–1609.

Kumawat RK, Tiwari G, Ramakrishnan RS, Bhayal D, Debnath S, Thakur S, Bhayal L. Remote Sensing Related Tools and their Spectral Indices Applications for Crop Management in Precision Agriculture. International Journal of Environment and Climate Change. 2023 Feb 6;13(1):171-88.

Mahlein A.K, Rumpf T, Welke P, Dehne H.W, Plümer L, Steiner U, Oerke E.C. Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. Remote Sens. Environ. 2013, 128, 21-30.

Mahlein, A. K. Plant disease detection by imaging sensors–parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. Plant disease. 2016;100(2): 241-251.

Mohanty S.P, Hughes D.P, Salathé M. Using deep learning for image-based plant disease detection. Front. Plant Sci. 2016, 7, 1–10.

Nan Z. B. Remote sensing application to grassland monitoring. 2011.

Nansen C, Elliott N. Remote sensing and reflectance profiling in entomology. Annual Review of Entomology, 2016, 61: 139-158.

Oerke EC. Remote sensing of diseases. Annual review of phytopathology. 2020 Aug 25; 58:225-52.

Rondeaux G, Steven M, Baret F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. Remote sensing of environment. 1996 Feb 1;55(2):95-107.

Tucker CJ. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote sensing of Environment. 1979 May 1;8(2):127-50.

Vanegas F, Bratanov D, Powell K, Weiss J, Gonzalez F. A Novel Methodology for Improving Plant Pest Surveillance in Vineyards and Crops Using UAV-Based Hyperspectral and Spatial Data. Sensors 2018, 18, 260.

Wang Z, Ma Y, Zhang Y, Shang J. Review of Remote Sensing Applications in Grassland Monitoring. Remote Sens. 2022; 14, 2903.

Wang L, Wei Y. Revised normalized difference nitrogen index (NDNI) for estimating canopy nitrogen concentration in wetlands. Optik. 2016 Oct 1;127(19):7676-88.

Watson D. J. Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops: I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties, and within and between Years, Annals of Botany. 1947; 11 (1): 41–76.

Wójtowicz M, Wójtowicz A, Piekarczyk J. Application of remote sensing methods in agriculture. Communications in biometry and crop science. 2016 Jan;11(1):31-50.

Zhang J, Huang Y, Pu R, Gonzalez-Moreno P, Yuan L, Wu K, Huang W. Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review. Computers and Electronics in Agriculture. 2019; 165: 104943.