دانش بیماری‌شناسی گیاهی
سال ۱۳، جلد ۱، پاییز و زمستان ۱۴۰۲
Plant Pathology Science
Vol. 13(1), 2024
(oISSN:2588-6290, pISSN:2251-9270)
Website: http://yujs.yu.ac.ir/pps/

Applied Article

Application of new information technologies in plant pathology

Seyyedeh Atefeh Hosseini[1]✉, Zahra Anvari[2]
1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. Department of Genetic Engineering and Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

Hosseini, S. A., & Anvari, Z. (2024). Application of new information technologies in plant pathology. *Plant Pathology Science, 13(1),*135-148.

Abstract
Population growth has put significant pressure on the food supply chain, making it even more challenging to ensure that everyone has access to adequate, healthy, and nutritious food. The use of new information technologies based on artificial intelligence in agriculture can play a significant role in increasing the production of healthy plant products and ensuring food security for humans. All plant crops are highly vulnerable to diseases and timely and correct management of diseases is essential to optimize their production. New information technologies such as remote sensing, analysis of plant absorption light spectra, and the use of specialized Internet software for the diagnosis of plant diseases on mobile phones can help in the rapid and accurate diagnosis of diseases, the implementation of a forecasting program and their monitoring to prevent their spread, and the timely implementation of their management methods. The unique applications of these new information technologies in the identification, monitoring and management of plant diseases are described in this article.

Keywords: Artificial intelligence, Forecasting, Remote sensing, Spectrophotometery

✉ Corresponding author: ahosseini@birjand.ac.ir
Received: 2024.05.15; Revised: 2024.10.21; Accepted: 2024.10.27

مقاله کاربردی

کاربردهای فنآوری‌های نوین اطلاعات در بیماری‌شناسی گیاهی

دکتر سیده عاطفه حسینی[1]✉، زهرا انوری[2]

۱-گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲-گروه مهندسی ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

حسینی، س. ع.، انوری، ز. (۱۴۰۲). کاربردهای فنآوری‌های نوین اطلاعات در بیماری‌شناسی گیاهی. *دانش بیماری‌شناسی گیاهی، ۱۳(۱)*،۱۴۸-۱۳۵.

چکیده

رشد جمعیت فشار قابل توجهی بر زنجیره تامین مواد غذایی وارد کرده است و اطمینان از اینکه همه به غذای کافی، سالم و مغذی دسترسی دارند، چالش برانگیزتر شده است. استفاده از فنآوری‌های نوین اطلاعات مبتنی بر هوش مصنوعی در کشاورزی میتواند نقش بسزایی در افزایش تولید محصولهای گیاهی سالم و تامین امنیت غذایی انسانها داشته باشد. همه محصولهای گیاهی به شدت در برابر بیماریها آسیب‌پذیر هستند و مدیریت به موقع و صحیح بیماریها برای بهینه‌سازی تولید آنها ضروری است. فنآوریهای نوین اطلاعات مانند سنجش از دور، تجزیه و تحلیل طیفهای نوری جذبی گیاهان، استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی اینترنتی تشخیص دهنده بیماریهای گیاهی در تلفن‌همراه، می‌توانند به تشخیص سریع و دقیق بیماریها، اجرای یک برنامه پیش‌آگاهی و پایش آنها، برای پیشگیری از شیوع آنها و اجرای به موقع روشهای مدیریتی آنها کمک کنند. کاربردهای منحصر به فرد این فنآوری‌های نوین اطلاعات در شناسایی، پایش و مدیریت بیماریهای گیاهی در این مقاله شرح داده شده‌اند.

واژگان کلیدی: پیش آگاهی، سنجش از دور، طیف‌سنجی‌نوری، هوش مصنوعی

مقدمه

سازمان ملل متحد پیش‌بینی کرده است که جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹/۸ میلیارد نفر و در سال ۲۱۰۰ به ۱۱/۲ میلیارد نفر می‌رسد، بنابراین نیازهای غذایی در حال افزایش اما زمینهای کشاورزی محدود است. خسارت قابل توجه اقتصادی بیماری‌های گیاهی نوظهور در دهه اخیر در سرتاسر جهان گزارش شده است. بنابراین، توجه به استفاده از فنآوریهای نوین جمع‌آوری اطلاعات برای پیش‌آگاهی و پایش بیماریهای گیاهی روز به روز در حال افزایش است.

جدیدترین ابزار این فنآوریها هوش مصنوعی(Artificial Intelligence) است که به عنوان یک نیروی دگرگون کننده ظهور کرده است و با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته و قدرت محاسباتی، جنبه‌های

✉دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۶

مختلف ارائه روشهای پیش‌آگاهی و مراقبت‌های بهداشتی را متحول کرده است. از طرفی علاقه روزافزون به کشاورزی پایدار، لزوم شناسایی هوشمند، دقیق و خودکار بیماریها و آفتهای گیاهی را قبل از وارد آوردن خسارت شدید اقتصادی به محصول مطرح نموده است. بنابراین فنآوریهای مدرن به سرعت توسعه یافته است و استفاده از الگوریتمهای هوش مصنوعی برای شناسایی بیماریهای گیاهی به طور بالقوه می تواند چالشهای مرتبط با فرآیند شناسایی سریع بیماریهای گیاهی را کاهش دهد (Li et al. 2021).

هوش مصنوعی، سنجش از دور(Remote Sensing)، نشانه‌های طیفی و... در شناسایی و پایش بیماری‌های گیاهی در یک دهه اخیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، حسگرها، ربات‌ها، مدل‌ها و... به طور فزاینده‌ای در کشاورزی نوین استفاده می‌شوند. جمعیت رو به رشد انسانی نیز نیاز به تغییر کشاورزی به سمت دیجیتالی شدن برای پاسخگویی به تقاضای غذا و همچنین به حداقل رساندن اثرهای منفی مبارزه شیمیایی بر محیط زیست و سلامت خاک دارد (Walter et al. 2017) . این روشها امکان تشخیص سریع بیماری‌های گیاهی را فراهم کرده‌اند (Buja et al.2021,Chouhan et al. 2020) .

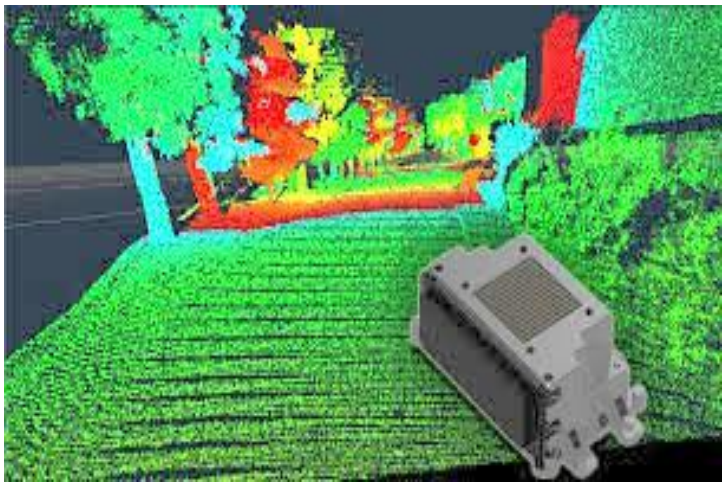
نقش فنآوری اطلاعات در بیماری‌شناسی گیاهی

اپیدمیولوژیست‌ها همواره با حجم زیادی از داده‌های تولید شده و توصیف فرایندهای پیچیده بیوفیزیکی سروکار دارند. با توجه به این تقاضا برای ارتباط و تولید پیام‌های ناشی از فرایندهای پیچیده تعجب‌آور نیست که علاقه طولانی مدت به استفاده از فنآوری اطلاعات (Information technology=IT) در میان اپیدمیولوژیست‌ها وجود داشته باشد. اولین شبیه سازهای رایانه‌ای بیماری‌های گیاهی در اواخر دهه ۱۹۶۰ تولید شدند (Waggoner 1968, Waggoner & Hofall 1969). سنجش از دور مانند بسیاری از رشته‌های دیگر، پیچیدگی استفاده از فنآوری اطلاعات در اپیدمیولوژی بیماری‌های گیاهی همگام با آن رشد کرده است. به عبارتی دیگر پیچیدگی استفاده از فنآوری اطلاعات در ایپدمیولوژی بیماری‌های گیاهی همگام با پیشرفت‌های سخت‌افزار و نرم‌افزار در طی دهه های گذشته به صورت افزایشی بوده است (Clark 2000, Henley 2000). مدیریت موفق بیماریهای گیاهی در کشاورزی در مقیاس متوسط یا بزرگ یا تولید با ارزش بالا (مثل نهالستانها) به برنامه‌های تشخیص سریع آنها، پیش‌آگاهی و اجرای روشهای صحیح، به موقع و سریع حفاظت از گیاهان بستگی دارد. استفاده مناسب از منابع مزرعه(کارگران، ماشین آلات و مواد شیمیایی کشاورزی) می‌تواند تاثیر بسزایی در کاهش هزینه‌ها داشته باشد. روشهای به روز فنآوری اطلاعات در بیماری‌شناسی گیاهی عبارت هستند از:

۱- سنجش از دور بیماریهای گیاهی

چند سیستم سنجش از راه دور وجود دارد که ممکن است برای نظارت بر سلامت گیاه و شناسایی بیماریها استفاده شود. سیستم های مختلف سنجش از راه دور برای ثبت علائم آلودگی (لکه، زردی،

پژمردگی) استفاده شده است. واکنشهای فیزیولوژیکی (محتوای رنگدانه، محتوای آب، و غیره) و تغییرات ساختاری (ساختار تاج گیاه، ساختار برگ ها، و غیره) توسط بیماریها و آفتهای گیاهی برای شناسایی و نظارت موثرتر این تهدیدها ایجاد شده است (Hahn 2009, Sankaran et al. 2010, Mahlein 2013) . سیستم‌های طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک، سیستم‌های فلورسانس و حرارتی، رادارهای دهانه مصنوعی، سیستم‌های تشخیص نور و تجهیزات محدوده (شکل ۱) ،سه نوع اصلی سیستم‌های سنجش از دور بیماری‌های گیاهی هستند. سنسورهای تشخیص دهنده طول موج های کوتاه تر از طیف مرئی، مانند: پرتوهای گاما، اشعه ایکس، اشعه ماوراء بنفش نیز برای تشخیص گیاهان بیمار نیز استفاده می‌شوند(شکل ۲). این حسگرها معمولاً برای تشخیص بیماری‌های گیاهی در محیطهای بسته استفاده می‌شوند، به ویژه



شکل۱. استفاده از سیستم‌های تشخیص نور(Lidar) در تشخیص بیماریها و آفتهای گیاهی
Figure 1. Use of Lidar system in plant diseases and pests diagnosis.

شکل ۲. مدیریت بیماری های گیاهی با کمک نور فرابنفش UV
Figure 2. Plant diseae management using UV

در گیاهان خوراکی که خام خورده می‌شوند، مانند سبزیجات و میوه‌های گلخانه‌ای، اجـرای سـامانه‌هـای سنجش از دور در پایش بیماریهای گیاهی ضروری است. بسیاری از صفتهای شاخص سنجش از دور بـرای شناسایی بیماری‌های گیاهی و نقشه‌برداری از پراکندگی گیاهی تعیـین شـده‌انـد (Zhang et al. 2019) . علاوه بر این، عکسهای هوایی بـه عنـوان بخشـی از روش سـنجش از راه دور، یـک روش سـریع و نسـبتاً اقتصادی برای شناسایی خصوصیات بیوفیزیکی و بیوشیمیایی پوشش گیاهی در مناطق وسیع کشاورزی و منـابع طبیعـی اسـت و نقـش مهمـی را در تهیـه دادههـای لازم بـرای شناسـایی منـاطق و الگوهـای انتشاربیماریهای گیاهی و مدل‌سازی آنها ایفا می‌کند و با ارائه دادههای ضروری برای اسـتفاده از زمـین و برنامه‌ریزی چند بعدی، به ویژه در مناطقی که نقشه‌های دقیق ندارند، به عنوان یک منبع ارزشمند عمـل می‌کنند (Leeuw et al. 2014, Ngie et al. 2014) .

تحولات فعلی دراستفاده از امواج رادیویی که امروز اتفاق افتاده است در آینده منجر به فنآوری های کشاورزی سازگار با محیط زیست خواهد شد. به طور خاص تر، استفاه از امواج رادیویی به کشاورزان در کشورهای در حال توسعه کمک می‌کند تا بازدهی خود را افزایش دهند و در عین حال هزینه‌های نیروی کار و مواد خود را کاهش دهند. تضمین پایداری و افزایش سودآوری و در عین حال به حداقل رساندن اثرات منفی بر محیط اطراف، پایداری را بهبود می‌بخشد. بنابراین توصیه می‌شود کشاورزان روی حسگرها و نرم‌افزارهای باکیفیت سرمایه‌گذاری کنند که بتواند رطوبت خاک، سطوح مواد مغذی و سایر عوامل مهم را به دقت اندازه‌گیری کند. علاوه بر این، کشاورزان باید با محققان کشاورزی و عوامل ترویج همکاری کنند تا اطمینان حاصل کنند که آنها از به روزترین و مؤثرترین تکنیکهای کشاورزی دقیق استفاده می‌کنند. کشاورزان با گنجاندن رتبه‌بندی کشاورزی دقیق در شیوههای کشاورزی خود، می‌توانند عملکرد را افزایش دهند، هزینه‌ها را کاهش دهند.

سنجش از دور می‌تواند آفتها و بیماری‌ها که طیف وسیعی از علائم و آسیب به گیاهان را ایجاد می‌کنند تشخیص دهد. همچنین می توان با بررسی فعل و انفعالات بین بیمارگر ها و میزبان ها مشاهده کرد (Zhang et al. 2019) . کشف بیماری ها در مزارع کشاورزی بر بهره‌وری کشاورزی تأثیر می‌گذارد و نظارت مداوم بر کالاهای کشاورزی را برای انواع بیماریها به منظور جلوگیری از تلف شدن محصول ضروری می‌کند. پایش بیماریهای گیاهی و مدیریت آفتها نیازمند رویکردهای مختلفی است که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. اینترنت اشیا یک عامل مهم و آینده برای صنعت کشاورزی در عصر اینترنت و دستگاه های متصل است. فنآوری متصل به اینترنت یا Internet of Thing (IoT) برای بخش های کشاورزی با نظارت میدانی بلادرنگ توسط کشاورزی هوشمند فعال می‌شود و در نتیجه کل سیستم کشاورزی را بهبود می بخشد. در نتیجه، بسیاری از فنآوری‌ها به طور فزاینده‌ای برای مبارزه با بیماری‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ترکیبی از تکنیک‌های علوم کامپیوتر مانند یادگیری ماشینی و تجزیه

و تحلیل داده‌ها، با دستگاه‌های IoT این پتانسیل را دارد که روش‌های تشخیص و پیشگیری از بیماری‌های گیاهی را متحول کند. با نظارت مداوم بر سلامت گیاهان، دستگاههای اینترنت اشیاء می‌توانند علائم اولیه بیماریها را شناسایی کرده و به کشاورزان هشدار دهند و آنها را قادر به انجام سریع اقدام کنند. علاوه بر این، استفاده از تجزیه و تحلیل دادههای بیشتر می تواند به محققان در شناسایی الگوها و توسعه مدل های پیش‌بینی کمک کند، که در نهایت می‌تواند به استراتژیهای پیشگیری موثرتر بیماری منجر شود.

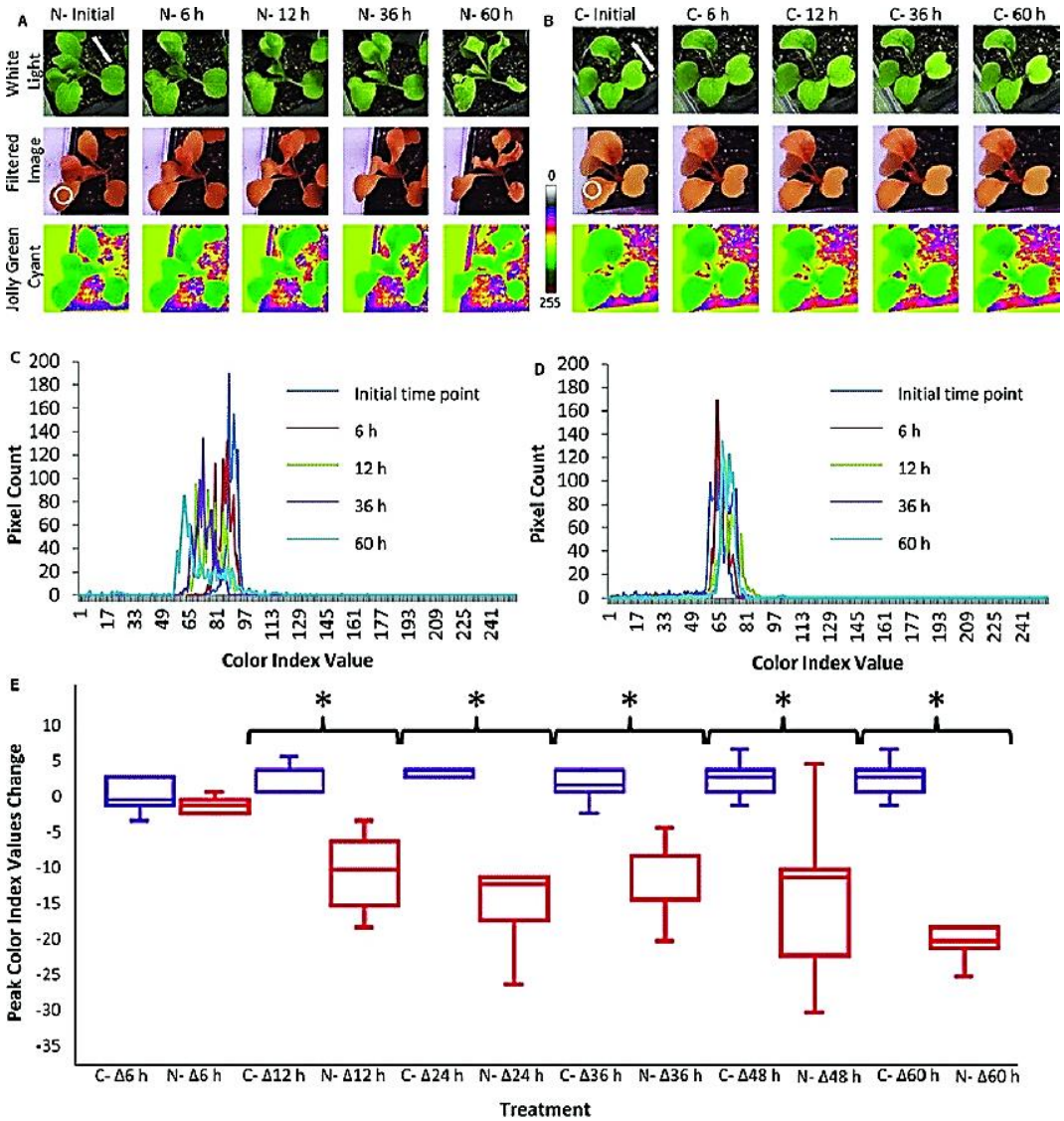
۲- نرم‌افزارهای تخصصی تلفن‌همراه برای شناسایی بیماریهای گیاهی

استفاده از برنامه های کاربردی تلفن همراه برای تشخیص زودهنگام بیماریها است. تنها راه برای کشاورزان برای ارسال گزارش به برنامه، ارائه اطلاعاتی است که نشان می دهد یک محصول خاص بیمار شده است. همراه با نمایش مکان محصول بیمار روی نقشه، سیستم برای اطلاع‌رسانی به تمام کشاورزان که محصولات آنها نیاز به نظارت دارند هماهنگ می‌شود و روشی برای مدیریت برای جلوگیری از گسترش بیماری به مناطق دیگر ارائه می‌دهد. بیشتر برنامه‌های توسعه یافته روی مستندسازی بیماریها و آفتها متمرکز شده‌اند. این برنامه‌ها دارای تکنولوژی پیشرفته و تاکتیک‌های موثر در تشخیص آفتها و بیماری‌ها هستند برای مثال: با کمک یک نرم افزار و یک هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد)، آفتی که در سطح زیرین برگها ظاهر می شود، در باغها شناسایی شده است (Chen et al. 2020) .به منظور استفاده از این برنامه باید از جز آسیب دیده گیاه توسط تلفن همراه عکس گرفته شود در طول پیش پردازش، یک الگوریتم داخلی تصویر را بررسی می‌کند. رنگ تصویر را می‌توان طوری تنظیم کرد که ثابت و همگن باشد . (Mendes et al. 2020). سپس بافت آلوده برداشته شده و با مدل تصویری حشره یا بیماری مربوطه مقایسه می‌شود. علاوه بر نام آفت و بیماری، کاربر همچنین یاد خواهد گرفت که چه چیزی باعث بیماری شده است، چگونه می‌تواند آن را درمان کند وچگونه می‌توان از آن پیشگیری کند (Ouhami 2021) . نرم افزار تلفنهای هوشمند متصل به پهپاد مانند شکل شماره سه همچنین به کشاورزان کمک می‌کند تا منبع بیماریها را شناسایی کنند (Mrisho et al. 2020).

شکل ۳. شناسایی بیماریها و آفتها گیاهی با کمک نرم‌افزار و یک پهپاد.
Figure 3. Disease and pest diagnosis using software and drone.

۳- تشخیص بیماریها با استفاده از نشانه‌های طیف نوری جذبی گیاهان

مقدار نور، گرما یا سایر تشعشعات الکترومغناطیسی بازتاب شده از یک سطح به عنوان بازتاب آن شناخته می شود و به صورت کسری از انرژی فرودی است که به صورت نور منعکس شده برمی گردد و با طول موج تغییر می کند. جذب انرژی تشعشعی ناشی از شیمی برگ، پراکندگی نور به دلیل ساختارهای سلولی سطحی و داخلی برگها و جذب انرژی تابشی ناشی از محتوای آب، پروتئین یا کربن برگها چنانچه در شکل ۴ دیده می‌شود، همگی عواملی هستند که در این مورد نقش دارند (Akbar 2020).



شکل ۴. روش شناسایی بیماریهای گیاهی با استفاده از مقایسه طیف نوری گیاهان سالم و بیمار.

Figure 4. Method of identification of plant diseases using comparison of light spectrum of healthy and diseased plants.

فعل و انفعالات مختلف(مانند حضور بیمارگرها) می‌توانند بر بازتاب برگ در دامنه‌های مختلف طول موج تأثیر گذارند. گیاه سالم معمولا طیف مرئی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر)، مادون قرمز نزدیک(NIR ، ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر) و موج کوتاهتر از مادون قرمز(SWIR ، ۱۱۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) دارد. محققان برای تعیین نشانه‌های طیفی خاص هر بیماری، مانند شاخص طیفی و تحلیل همبستگی آنها با شدت بیماری روی آورده‌اند (Furlanetto et al. 2021 , Eberlein et al. 2020) . بنابراین تغییرات در سلامت گیاه را می‌توان با استفاده از تصویربرداری فراطیفی یا حسگرهای غیر تصویربرداری تشخیص داد (Guo et al. 2021). ویژگیهای بیوفیزیکی و متابولیکی بافت گیاهی باعث ایجاد تغییرات در بازتاب می شود. تنش گیاهی باعث ایجاد تغییراتی در رنگدانه، پاسخ حساسیت مفرط و از هم پاشیدگی دیواره سلولی می شود که همه اینها بر کیفیت بصری و بازتاب برگها تأثیر می‌گذارند (Mandi 2016) .دوربین موبایل ممکن است برای شناسایی آفتها و بیماریها با گرفتن عکس از محصولات آلوده استفاده شود. دوربین می تواند عکس بگیرد، الگوریتمی را روی آن اجرا کند و تشخیص دهد که آیا گیاه بر اساس نحوه انعکاس نور، در پارامترهای مشخص شده آلوده است یا خیر. در یک تصویر پرسپکتیوی، بازتاب (یا عبور) هر باند طیفی به طور مستقل برای هر پیکسل اندازه گیری می‌شود. یک حسگر طیف‌سنجی نقطه‌ای این اطلاعات را بدون هیچ زمینه جغرافیایی ثبت می‌کند و یک علامت طیفی (یا نمایه طیفی) ایجاد می‌کند (Park et al. 2020) .با استفاده از بازتاب طیف‌سنجی و مدل‌های تشخیص خطی، بر اساس تغییرات در بازتاب مادون قرمز برگ‌های بیمار، به دقت بالایی (۸۵-۹۳ درصد) در تشخیص گیاهان آلوده از گیاهان سالم می‌توان دست یافت. فنآوری‌های نوآورانه مانند روش‌های تشخیص خودکار تصویر، نوید انقلابی در شیوه‌های نظارت را با ایجاد پوشش گسترده‌تر می‌دهند، در نتیجه، این پیشرفت‌ها می‌توانند بینش عمیق‌تری در مورد پویایی جمعیت، توزیع‌ها و تعاملات آفتها و بیماری‌ها ارائه دهند (van Klink et al. 2022).

چالش‌های پیاده‌سازی فنآوری‌های جدید در بیماری‌شناسی گیاهی

فنآوری های کلان داده می‌تواند تحت تاثیرات منفی همچون احتمال جعل، هک دادهها، دستکاری و حمله سایبری به اطلاعات شخصی قرار بگیرد. بنابراین، اطمینان از ایمنی این دادهها در هنگام استقرار اینترنت اشیا یک مشکل قابل توجه است (Asghari et al. 2019) .مسائل مهم دیگر نیز شامل صحت و تنوع دادهها و همچنین کیفیت، دقت و کاربرد آن است. هیچ اطلاعات اشتباهی در دادهها نباید وجود داشته باشد و سازماندهی دادهها چالش برانگیز است زیرا ممکن است سازماندهی شده، نیمه ساختاریافته یا بدون ساختار باشد (Ardagna et al. 2018) .همچنین انتخاب یک روش مناسب برای تجسم دادهها، مانند نمودارهای دوبعدی و سه‌بعدی، برای برجسته کردن نتایج به دست آمده از دادهها، مهم است. مقدار دادههایی که باید تجزیه و تحلیل شوند عامل دیگری است که تعیین می‌کند آیا فرآیند استخراج دادهها

برای تصمیم‌گیری مقرون به صرفه است یا خیر. مهندسان و محققان از سراسر جهان چارچوب‌ها و معماری‌های مختلفی را برای استقرار فنآوری‌های محاسباتی اینترنت اشیا و داده‌های بزرگ در حوزه کشاورزی با پیش‌بینی کمبود جهانی غذا ایجاد کرده اند. سیستم‌های منبع باز بسیاری وجود دارد، اما هنوز تقاضای زیادی برای بهبود از نظر حفظ حریم خصوصی داده‌ها، مالکیت، مسئولیت و امنیت وجود دارد (Alam et al. 2017) . از طرفی دیگر حتی برای نظارت و کنترل یک مزرعه کشاورزی نسبتاً متوسط، سرمایه‌گذاری اولیه در فنآوری قابل توجه است و کشاورزی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا به تکنسینهای آموزش دیده نیز نیاز دارد. متخصصان برای بهبود ویژگیها، تغییر کدها و ارائه دادههای مورد نیاز، تجزیه و تحلیل تصویر و سیستم‌های مبتنی بر تصویربرداری فراطیفی به خوبی عمل کرده‌اند، اما هنوز راه‌حل‌های ماهرانه و همچنین اهدافی برای دستیابی وجود دارد (Mahlein et al. 2018) .برای مقابله با مشکلات قریب الوقوع، روشهای دقیق تر حفاظت از گیاهان و دسته‌بندی بیماریها به شدت مورد نیاز است. بنابراین، برای شناسایی زودهنگام و پیشگیری و حفاظت از گیاه نیاز به توسعه سیستم‌های تجزیه و تحلیل، داده‌های قابل اعتماد برای رسیدگی به حاشیه‌نویسی‌های تصویری و برچسب‌گذاری اولیه داده‌های گیاهی دارد (Kuska & Mahlein 2018) .

علیرغم پیشرفتهای قابل توجهی که در چند دهه اخیر در استفاده از فنآوریهای نوین در تشخیص و پایش بیماریها و آفتهای گیاهی و استفاده از رباتها (شکل ۵) برای مدیریت آنها به دست آمده است، هنوز موانعی در پیاده‌سازی آنها وجود دارد. اولین مشکل، یافتن و از بین بردن آفتها و بیماریهای گیاهی قبل از ایجاد خسارت زیاد است. نظارت سنجش از دور قابل اعتماد بیماری ها و آفتها گیاهی معمولاً پس از آشکار شدن کامل علائم حاصل می‌شود که ممکن است برای جلوگیری از آسیب بیشتر دیر باشد (Li et al. 2015) . مشکل دوم یافتن منبع یک بیماری یا آفت خاص در زمینه تنظیمات مزرعه در دنیای واقعی است، زمانی که چندین نوع تنش محصول ممکن است همزمان وجود داشته باشد (Yuan et al. 2014) .

شکل ۵. استفاده از ربات در مدیریت بیماریهای گیاهی در گلخانه.

Figure 5. The use of robot in the management of plant diseases in the greenhouse.

نتیجه‌گیری

در طول چند دهه گذشته، به لطف رشد بخش فنآوری اطلاعات در صنعت، نوسازی کشاورزی تغییرات قابل توجهی ایجاد شده است. ادغام تحولات صنعتی در یک سیستم تولید کشاورزی پایدار به ویژه در تحقیقات کشاورزی مفید بوده است. زمانی که کشوری پایگاه دادههای کشاورزی قابل توجهی داشته باشد، از نظر اجتماعی و اقتصادی توسعه یافته تلقی می شود. یکی از دشوارترین اقدامات، یعنی اتصال خودکار کشاورزی با سیستم‌های رباتیک هوشمند، به دلیل طیف گستردهای از کاربردهای بالقوه و تجاری، توجه محققان را به خود جلب کرده از امکانات فنآوری اطلاعات می‌توانیم در گیاه‌پزشکی برای کاهش برخی عملیاتهای کشاورزی زمان بر و پرهزینه، همچنین مراقبت از راه دور از مزرعه و گیاهان و همچنین کشف سم‌ها و کودهای جدید برای هر گیاه به طور منحصر به فرد و همچنین شناسایی علائم بیماری‌های گیاهی استفاده کنیم. همچنین می‌توانیم خطا های تجویز اشتباه سموم و کودها را کاهش دهیم و به صرفه‌جویی نهادهها و منابع کمک شایانی کنیم. استفاده از هوش مصنوعی، هواپیماهای بدون سرنشین و سایر وسایل هوایی، دوران انقلابی جدیدی را در کشاورزی دیجیتال آغاز کرده است، همچنین فرصت‌هایی را برای تکنیک‌های کشاورزی دقیق از جمله جستجوی محصول، پایش محصولات و مدیریت به موقع علف‌های هرز، بیماری‌ها و آفتها فراهم کرده است. این فنآوریهای نوین به کشاورزان این امکان را می‌دهند تا با نظارت بی‌درنگ، مداخلات دقیق، و بینش‌های مبتنی بر داده‌ها و تقویت سلامت محصول، تولید غذا را افزایش دهند.

منابع References

1. Akbar S. (2020). Handbook of 200 Medicinal Plants: A Com prehensive Review of Their Traditional Medical Uses and Scientific Justifications. *Springer: Cham, Switzerland.* DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16807-0.

2. Alam F., Mehmood R., Katib I., Albogami N.N., Albeshri A ., Ardagna D., Cappiello C., Samá W., & Vitali M. (2018). Context aware data quality assessment for big data. *Future Generation Computer Systems 89*, 548–562. DOI: https://doi.org/10.1016/j.future.2018.07.014.

3. Asghari P., Rahmani A.M., & Seyyed Javadi H.H. (2019). Internet of things applications: a systematic review. *Computer Net works 148*: 241–261.

4. Buja I., Sabella E., Monteduro A.G., Chiriacò M.S., de Bel lis L., Luvisi A., Maruccio G. (2021). Advances in plant dis ease detection and monitoring: from traditional assays to in-field diagnostics. *Senso 21* (6): 2129. DOI: https://doi org/10.3390/s21062129.

5. Chen C.J., Huang Y.Y., Li Y.S., Chang C.Y., Huang Y.M. (2020). An AIoT based smart agricultural system for pests detec tion. *IEEE Access 8*: 180750–180761. DOI: http://dx.doi. org/10.1109/ACCESS.2020.302489.

6. Chouhan S.S., Uday., Singh P., Jain S. (2020). Applications of computer vision in plant pathology: a survey. *Archives of Computational Methods in Engineering* 27: 611–632. DOI: https://doi.org/10.1007/s11831-019-09324-0.

7. Clarke, W.S. (2000) Problems of communication and technology transfer in crop protection': A practitioner's pepective. Proceedings of the BCPC Conference – *Pests & Diseases 2000*, 1185-1192, BCPC Publications, Farnham, UK.

8. Eberlein J., Davenport B., Nguyen T.T., Victorino F., Jhun K., van der Heide V., Kuleshov M., Ma'ayan A., Kedl R., Ho mann D. (2020). Chemokine signatures of pathogen-specific T cells I: effector T cells. *Journal of Immunology 205: 2169–2187*. DOI: https://doi.org/10.4049/jimmunol.2000253.

9. Furlanetto R.H., Nanni M.R., Mizuno M.S., Crusiol L.G.T., da Silva C.R. (2021). Identification and classification of Asian soybean rust using leaf-based hype pectral reflectance. *In ternational Journal of Remote Sensing* 42: 4177–4198. DOI: https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1890855.

10. Guo Y., Chen S., Wu Z., Wang S., Robin B.C., Senthilnath J., Cunha M., & Fu Y.H. (2021). Integrating spectral and textural information for monitoring the growth of pear trees using optical images from the UAV platform. Remote *Sensing* 13: 1795.DOI: https://doi.org/10.3390/ 13091795.

11. Hahn F. (2009). Actual pathogen detection: senso and algo rithms – a review. *Algorithms* 2: 301–338. DOI: https://doi. org/10.3390/a2010301.

12. Kuska M.T., Mahlein A.-K. (2018). Aiming at decision making in plant disease protection and phenotyping by the use of optical senso. *European Journal of Plant Pathology*152 (4): 987–992. DOI: https://doi.org/10.1007/s10658-018-1464-1.

13. Leeuw D.J., Vrieling A., Shee A., Atzberger C., Hadgu K.M., Biradar C.M., Keah H., & Turvey C. (2014). the potential and uptake of remote sensing in insurance: a review. *Remote Sensing* 6: 10888–10912. DOI: https://doi.org/10.3390/ 61110888.

14. Li H., Zhao C., Yang G., & Feng H. (2015). Variations in crop variables within wheat canopies and responses of canopy spectral characteristics and derived vegetation indices to different vertical leaf laye and spikes. *Remote Sensing of Environment* 169: 358–374. DOI: https://doi.org/10.1016/j. e.2015.08.021.

15. Li L., Zhang S., Wang B. (2021). Plant disease detection and classification by deep learning – a review. *IEEE Access* 9: 56683–56698. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS. 2021.3069646

16. Luvisi, A.; Panattoni, A.; Bandinelli, R.; Rinaldelli, E.; Pagano, M.; Triolo, E. (2012). Ultra-high frequency transponde in grapevine*: A tool for traceability of plants and treatments in viticulture. Biosyst. Eng*. 113, 129–139.

17. Mahlein A., Rumpf T., Welke P., Dehne H., Plümer L., Steiner U., Oerke E. (2013). Development of spectral indices for de tecting and identifying plant diseases. *Remote Sensing of Environment* 128: 21–30. DOI: https://doi.org/10.1016/j. e.2012.09.019.

18. Mahlein A.K., Kuska M., Behmann J., Polder G., Walter A. (2018). Hyper-spectral senso and imaging technologies in phytopathology: *state of the art. Annual Review of Phytpathology* 56 (1): 535–558. DOI: https://doi.org/10.1146/ annurev-phyto-080417-050100.

19. Mandi S.S. (2016). Natural UV Radiation in Enhancing Survival Value and Quality of Plants. *Springer*, New Delhi, India. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-81-322-2767-0.

20. Mendes J., Pinho T.M., dos Santos F.N., Sousa J.J., Peres E., Boaventura-Cunha J., Cunha M., & Morais R. (2020). Smart phone applications targeting precision agriculture practices – a systematic review. Agronomy 10: 855. DOI: https://doi. org/10.3390/agronomy10060855.

21. Moshou D., Bravo C., Oberti R., West J.S., Ramon H., Vougiou kas S., Bochtis D. (2011). *Intelligent multi-sensor system for the detection and treatment of fungal diseases in arable crops. Biosystems Engineering* 108: 311–321. DOI: https:// doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.01.003.

22. Mrisho L.M., Mbilinyi N.A., Ndalahwa M., Ramcharan A.M., Kehs A.K., McCloskey P.C., Murithi H., Hughes D.P., & Legg J.P. (2020). Accuracy of a smartphone-based object detection model, PlantVillage Nuru, in identifying the foliar symp toms of the viral diseases of cassava – CMD and CBSD. *Frontie in Plant Science* 11: 590889. DOI: https://doi. org/10.3389/fpls.2020.590889.

23. Ngie A., Abutaleb K., Ahmed F., Darwish A., & Ahmed M. (2014). Assessment of urban heat island using satellite remotely sensed imagery: a review. South *African Geographical Journal* 96 (2): 198–214. DOI: https://doi.org/10.1080/03736245.2014.924864.

24. Ouhami M., Hafiane A., Es-Saady Y., El Hajji M., & Canals R. (2021). Computer vision, IoT and data fusion for crop dis ease detection using machine learning: a survey

and ongo ing research. Remote Sensing 13: 2486. DOI: https://doi. org/10.3390/13132486.

25. Park Y., Jin S., Noda I., Jung Y.M. (2020). Emerging developments in two-dimensional correlation spectroscopy (2D-COS). *Journal of Molecular Structure* 1217: 128405. DOI: https:// doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128405.

26. Rehman T.U., Mahmud M.S., Chang Y.K., Jin J., Shin J. (2019). Current and future applications of statistical machine learn ing algorithms for agricultural machine vision systems. *Compute and Electronics in Agriculture* 156: 585–605. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.006.

27. Roldán J.J., del Cerro J., Garzón-Ramos D., Garcia-Aunon P., Garzón M., de León J., & Barrientos A. (2018). *Robots in agri culture: state of art and practical experiences.* p. 67–90. In: "Service Robots". IntechOpen. DOI: http://doi.org/10.5772/ intechopen.69874.

28. Sabrol H., & Kumar S. (2015). Recent studies of image and soft computing techniques for plant disease recognition and classification. *International Journal of Computer Applica tions* 126 (1): 44–55. DOI: http://dx.doi.org/10.5120/ijca2015905982.

29. Sankaran S., Mishra A., Ehsani R., & Davis C. (2010). A review of advanced techniques for detecting plant diseases. A review of advanced techniques for detecting plant diseases. *Com pute and Electronics in Agriculture* 72 (1): 1–13. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.02.007.

30. Shibusawa S. (2001). Precision farming approaches to small farm agriculture. *IFAC Proceedings Volumes* 34 (2): 22–27. DOI: https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)34099-5.

31. van Klink, R., August, T., Bas, Y., Bodesheim, P., Bonn, A., Fos søy, F., Høye, T.T., Jongejans, E., Menz, M.H.M., Miraldo, A., Roslin, T., Roy, H.E., Ruczyński, I., Schigel, D., Schäffler, L., Sheard, J.K., Svenningsen, C., Tschan, G.F., Wäldchen, J., Zizka, V.M.A., Åström, J., & Bowler, D.E. (2022). Emerging technologies revolutionise insect ecology and monitoring. *Trends in Ecology & Evolution* 37 (10): 872–885. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.06.001.

32. Waggoner, P.E. (1968) Weather and the rise and fall of fungi, in Biometeorology (ed. W P Lowry) *Oregon State Univeity Press*, Corvallis,Pp.45-60.

33. Waggoner, P.E., & Hofall, J.G. (1969) EPIDEM, a simulator of plant disease written for computer. *Connecticut Agricultural Experimental Station Bulletin*, 698, 80 pp.

34. Walter A., Finger R., Huber R., Buchmann N. (2017). Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *PNAS 114* (24): 6148–6150. DOI: https://doi.org/10.1073/ pnas.1707462114

35. Yuan L., Zhang J., Shi Y., Nie C., Wei L., Wang J. (2014). Damage mapping of powdery mildew in winter wheat with high--resolution satellite image. Remote Sensing 6: 3611–3623. DOI: https://doi.org/10.3390/ 6053611.

36. Zhang J., Huang Y., Pu R., Gonzalez-Moreno P., Yuan L., Wu K., & Huang W. (2019). Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: a review. Compute and Electronics in Agriculture 165: 104943. DOI: https:// doi.org/10.1016/j.compag.2019.104943.