مجله ایمنی زیستی
دوره ۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰
I SSN ۲۷۱۶-۹۸۰۴ الکترونیکی، I SSN ۲۷۱۷-۰۶۳۲ چاپی

فناوری‌های پیشرفته تشخیص بیماری‌های گیاهی

نوع مقاله: مروری 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0

فرزاد آزادشهرکی*[۱]، محبوبه شاهرخی[۲]، کسری شریفی[۳] و گیتا حسینی [۴]

۱- استادیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- کارشناس ارشد دبیر زیست‌شناسی، دبیرستان استعدادهای درخشان فرزانگان ۴، البرز، ایران
۳- استادیار مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- کارشناس ارشد مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
farzad_shahrekian@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۴
صفحه ۴۶-۲۷

چکیده

عدم تشخیص زود هنگام وقوع بیماری‌های گیاهی منجربه استفاده بیشتر از آفت‌کش‌های شیمیایی و کاهش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی می‌شود. تشخیص سریع، دقیق، ارزان و زودهنگام بیماری‌های گیاهی، به‌ویژه آن‌هایی‌که بدون علایم اولیه گسترش می‌یابند، در کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی و ارتقاء کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی مؤثر است. در این مقاله روش‌های پیشرفته تشخیص بیماری‌های گیاهی مبتنی‌بر فناوری نانو، فناوری‌های غیرتخریبی بر اساس طیف‌سنجی و بویایی الکترونیکی تشریح شده است. بسیاری از این فناوری‌ها امکان تشخیص بسیاری از بیماری‌ها را قبل از بروز علائم ظاهری فراهم کرده که با اقدامات کنترلی و جلوگیری از توسعه بیماری، علاوه‌بر کاهش هزینه کنترل بیماری، توسعه پایدار کشاورزی و حفظ محیط زیست و سلامت مصرف‌کننده را نیز به‌دنبال خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: بیماری‌های گیاهی، بویایی الکترونیکی، طیف‌سنجی، روش‌های غیرتخریبی، نانوتکنولوژی.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]
[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

مقدمه

سالانه میلیون‌ها لیتر از آفت‌کش‌های شیمیایی در سراسر جهان به‌منظور کنترل آفات، بیمارگرها و علف‌های هرز در بخش کشاورزی استفاده می‌شود (Mojarradi et al. 2015; Rezaei et al. 2020). استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی در کشاورزی مدرن باعث افزایش عملکرد معنی‌دار تولید محصولات کشاورزی شده است ولی این امر افزایش معنی‌دار تجمع مواد شیمیایی در مواد غذایی و محیط زیست از جمله آلودگی آب، تخریب لایه ازون، نابودی جنگل‌ها، فرسایش شدید خاک و افزایش شدید درجه حرارت در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای را به دنبال داشته است. از اثرات منفی آفت‌کش‌های شیمیایی بر سلامت انسان می‌توان انواع سرطان‌ها، بیماری‌های عصبی، دیابت، بیماری‌های تنفسی، نارسایی‌ها، بیماری‌های جنینی و مشکلات تنفسی را نام برد. با توجه به افزایش جمعیت در جهان، نیاز به تولیدات کشاورزی و مواد غذایی روز به روز افزایش یافته و به‌دلیل محدودیت نهاده‌ها، سیستم‌های کشاورزی سنتی جای خود را به کشاورزی صنعتی، کشت در محیط‌های کنترل شده و گلخانه‌ای داده است. گلخانه به‌دلیل بسته بودن محیط و وجود رطوبت بالا، محل مناسبی برای رشد انواع قارچ‌ها و باکتری‌ها است و به همین دلیل انواع مختلفی از آفت‌کش‌ها و گاه با غلظتی بالاتر از مقدار توصیه‌شده در گلخانه‌ها مصرف می‌شود. سم‌پاشی‌های مکرر در گلخانه‌ها، برداشت بلافاصله محصول پس از سم‌پاشی و امکان باقی ماندن مقادیر زیادی از آفت‌کش‌ها در محصولات گلخانه‌ای، سلامت مصرف‌کنندگان را بیش از پیش به‌خطر می‌اندازد. همچنین بر اساس شرایط محیطی گلخانه، امکان تماس کشاورز و کارگر با آفت‌کش بیشتر شده و احتمال افزایش ابتلا به انواع بیماری برای آنها افزایش می‌یابد (Andersson et al. 2014; Philippe et al. 2021). ضایعات محصولات کشاورزی بستگی زیادی به شرایط تولید داشته و بروز و شیوع آفات و بیماری‌های گیاهی در مرحله تولید منجربه افزایش ضایعات محصولات کشاورزی و تهدید امنیت غذایی می‌شود. از طرفی مقررات و استانداردهای بین المللی نیز بر مصرف حداقلی آفت‌کش‌های شیمیایی در کنترل آفات و بیمارگرها تاکید داشته تا میزان باقیمانده آفت‌کش‌ها در محصولات کشاورزی بر اساس این استانداردهای کشور مقصد کاهش یافته و صادرات محصولات کشاورزی با مشکل مواجه نشود. متأسفانه در برخی از بیماری‌های گیاهی، علائم اولیه بیماری

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

چند روز و حتی چند هفته پس از بروزآلودگی اولیه ظاهر می‌شود که پیشرفت بیماری را به‌صورت غیرقابل پایش به همراه دارد (Grover. 2013; Nehra et al. 2021). اولین رویکرد در کنترل شیوع بیماری‌ها، اجرای فعالیت‌های مراقبتی و قرنطینه، تفسیر علائم ظاهری بیماری و مطالعه ویژگی‌های مرفولوژیکی عامل بیماری‌زا از طریق رشد آنها در محیط‌های کشت خاص (در صورت قابل کشت بودن) یا مشاهده از طریق روش‌های میکروسکوپی است. علی‌رغم سادگی و هزینه کم روش‌های کنترلی اشاره شده، این روش‌ها قابلیت اطمینان و دامنه کاربرد کمی دارند. علاوه‌بر این، ممکن است عامل بیماری‌زا در محیط درون‌شیشه (*in vitro*) قابل کشت نباشد یا مشاهده آن با میکروسکوپ آسان نباشد. استفاده از فناوری‌های مبتنی‌بر اسیدنوکلئیک به‌دلیل سرعت و دقت تشخیص و امکان بررسی تعداد زیاد نمونه در زمان کم می‌تواند در برخی موارد جایگزین روش‌های سنتی تشخیص بیماری شود (López et al. 2005). به‌صورت کلاسیک، علاوه‌بر روش‌های آنالیز مولکولی، روش‌های سرولوژیک (serological methods) نیز به‌دلیل توان بالای عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند (López et al. 2003; Alvarez et al. 2004).

در جدول ۱ فهرستی از روش‌های رایج و مستقیم (روش‌هایی که قادر به شناسایی خصوصیات خود عامل بیماری‌زا است) همراه با ویژگی‌های اصلی آنها به‌صورت خلاصه آورده شده است. روش‌های مستقیم علی‌رغم داشتن مزایایی از قبیل حساسیت، اعتبار و قابلیت تکرار نتایج، نیاز به زمان طولانی برای اجرا و دریافت پاسخ، ابزار، تجهیزات و مواد شیمیایی مختلف، نیروی متخصص و هزینه بالادارند و همچنین احتمال تشخیص دیرهنگام بیماری در این روش‌ها وجود دارد (Fang and Ramasamy, 2015; Dincer et al. 2015; Zarei. 2017). به‌منظور کاهش زیان‌های ناشی از بیماری، جلوگیری از شیوع و بروز گونه جدید و کاهش استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی، پایش گیاهان میزبان از نظر آلودگی به عوامل بیماری‌زا و مدیریت این عوامل در مراحل مختلف پیشرفت بیماری، ضروری است. از این‌رو، در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در زمینه تشخیص زودهنگام عوامل بیماری‌زای گیاهی و توسعه روش‌ها و ابزاری که به‌طور همزمان بتواند چندین عامل بیماری‌زا را شناسایی کند، انجام شده است. این فناوری‌ها دارای سرعت پاسخ مناسب بوده و تجزیه و تحلیل نتایج در آنها ساده است (Xie and He, 2016;

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

.(Akgonullu et al. 2021

جدول ۱- روش‌های رایج تشخیص بیماری‌های گیاهی و مزایا و معایب این روش‌ها (Fang and Ramasamy, 2015; Dincer et al. 2015; Zarei. 2017).

روش	حد تشخیص (LOD) بر اساس واحد تشکیل کلنی بر میلی‌لیتر (CFU/mL)	مزایا	محدودیت‌ها
واکنش زنجیره‌ای پلیمراز (PCR)	$۱۰^{۳}$-$۱۰^{۴}$	تکنولوژی جا افتاده و رایج، قابل حمل، کارکرد آسان	اثربخشی به استخراج دی.ان.اِ فعالیت پلیمراز، غلظت بافر PCR و دئوکسی نوکلئوتید تری فسفات(dNTP) وابسته است.
دو رگ‌گیری فلورسانس درجا (FISH)	$۱۰^{۳}$	حساسیت بالا	اتوفلورسانس (نیاز به مواد فلورسنت)، فتوبلیچینگ
الایزا (ELISA)	$۱۰^{۵}$-$۱۰^{۶}$	هزینه کم، تغییر رنگ ظاهری می‌تواند در تشخیص کمک کند.	حساسیت کم برای باکتری و نژادهای مختلف ویروس
ایمونوفلورسنس (IF)	$۱۰^{۳}$	حساسیت بالا، توزیع مولکول هدف قابل مشاهده شدن است.	فتوبلیچینگ
فلوسایتومتری (FCM)	$۱۰^{۴}$	اندازه‌گیری هم‌زمان چندین ویژگی یک سلول از جمله اندازه، پیچیدگی سیتوپلاسمی، محتوی دی.ان.اِ و آر.ان.اِ، تشخیص سریع	هزینه بالا، وجود اطلاعات زیاد ناخواسته

امکان بررسی تعداد زیاد نمونه گیاهی به‌طور هم‌زمان در این روش‌ها، می‌تواند مجموع هزینه‌های پایش سلامت محصولات در مزرعه را کاهش دهد. توسعه روش‌های مولکولی برخط در مزرعه (on-field) می‌تواند به‌طور معنی‌داری زمان تصمیم‌گیری و احتمال انتقال عوامل بیماری‌زا به سایر گیاهان یا مناطق غیر آلوده را کاهش دهد (Xie et al. 2015; Ghanei et al. 2018).

توسعه انواع حسگرها و یا چیدمان‌هایی از حسگرها، استفاده از فناوری‌های سریع، ارزان و دارای قابلیت استفاده آسان را در تشخیص عوامل بیماری‌زای گیاهی به‌همراه داشته و منجر به تشخیص بدون برچسب (label-free detection) عوامل بیماری‌زا در گیاهان شده است. از ویژگی این فناوری‌ها می‌توان به حساسیت بالای تشخیص و نیاز نداشتن به نیروی ماهر اشاره کرد. بسیاری از روش‌های تشخیص بیولوژیکی شامل برچسب‌زدن پروتئین‌ها و سایر مولکول‌ها هستند که به‌طور معمول از طریق گونه‌های رادیواکتیو، نقاط کوانتومی، یا آنزیم‌ها نشانگرهای فلورسنت

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

هستند (Waggoner and Craighead, 2007; Hempen and Karst, 2006; Umapathi et al. 2022).

روش‌های برچسب‌گذاری همراه با سنجه‌های زیستی چندگانه به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند تا مجموعه‌ای از مولکول را شناسایی کنند. روش‌های تشخیص با برچسب‌زنی نیازمند صرف وقت و هزینه برای برچسب‌زنی مولکول هستند و دقت آنها نیز بسته به عواملی چون دقت تجهیزات و ابزار اندازه‌گیری، کیفیت مواد مورد استفاده و مهارت کارشناسان اندازه‌گیری متفاوت است که سبب می‌شود تمایل به سیستم‌های مختلف تشخیص بدون برچسب،که به اندازه روش‌های برچسب‌زنی یا بیشتر از آنها حساس باشند، بیشتر شود (Hempen and Karst, 2006).

در این مقاله به معرفی روش‌های سریع و نوین تشخیص بیماری‌های گیاهی که اغلب نیاز به آنالیز نمونه نداشته و در پاره‌ای از موارد که به فناوری‌های غیرتخریبی موسومند، پرداخته شده است. همراه با معرفی هر فناوری و بیان مزایا و معایب آن، مثال یا مثال‌هایی از پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با استفاده از این فناوری‌ها در تشخیص بیماری‌های گیاهی آورده شده است. فناوری‌های معرفی شده در این مقاله غالباً مبتنی‌بر فناوری نانو، روش‌های غیرتخریبی طیف‌سنجی، یا بویایی الکترونیکی هستند.

فناوری‌های نوین تشخیص بیماری‌های گیاهی

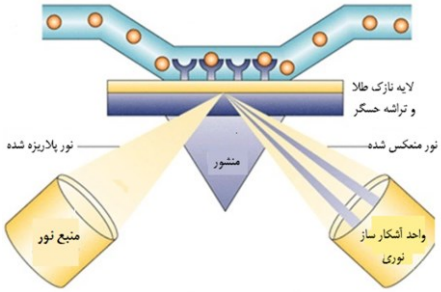
تشدید پلاسمون سطحی (surface plasmon resonance, SPR)

به نوسانات منسجم الکترون‌های آزاد یک محیط پلاسمایی، پلاسمون گفته می‌شود و در صورتی‌که پلاسمون‌ها در سطح مشترک یک فلز و دی الکتریک ایجاد شوند، به آنها پلاسمون سطحی (SPR) گفته می‌شود که پس از تابش امواج الکترومغناطیس، در سطح میان فلز و دی‌الکتریک ایجاد می‌شوند. پلاسمون‌های سطحی به تغییرات ضریب شکست سطح فلز حساس هستند و از این پدیده به‌عنوان حسگر نوری در آشکارسازی استفاده می‌شود. پدیده SPR به‌دلیل تعامل تابش الکترومغناطیس و دریای الکترونی داخل فلز ایجاد می‌شود. در این فرآیند امواج الکترومغناطیس، در شرایط خاصی اثرات تشدیدی در دریای الکترونی ایجاد می‌کنند. تغییر شرایط فیزیکی سطح، اثر قابل توجهی بر این تشدید دارد و آشکارسازی این تغییرات اساس کار حسگرهای SPR است. فناوری تشدید پلاسمون سطحی یکی از فناوری‌های پیشرفته تشخیص بدون برچسب و بلادرنگ (real-

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

time) در زمینه بیوشیمیایی است (Chen et al. 2010; Hoseinian et al. 2016). در فناوری تشدید پلاسمون سطحی، تغییرات شاخص انکسار نور ناشی از واکنش بین آنالیت موجود در محلول و لیگاند، توسط حسگر پایش می‌شود. در این فناوری به‌طور معمول از یک لایه فلزی نازک (اغلب از نانوسیم‌های طلا) استفاده می‌شود (شکل ۱) (Hou and Cronin, 2013; Wang et al. 2022).



شکل ۱- اجزاء فناوری تشدید پلاسمون سطحی در تشخیص آنتی‌بادی بیماری گیاهی (Hou and Cronin, 2013).

در رابطه با استفاده از این فناوری در تشخیص بیماری‌های گیاهی می‌توان به استفاده از نانوسیم های طلا در SPR برای تشخیص آنتی‌بادی اختصاصی ویروس‌های موزاییک سیمبیدیوم (cymbidium mosaic virus) و لکه حلقوی ادونتوگلاسوم (odontoglossum ringspot virus)، به‌ترتیب با توانایی ردیابی غلظت $48\ pgmL^{-1}$ و $42\ pgmL^{-1}$ از این دو ویروس که بسیار پایین‌تر از کمترین غلظت ویروس ($1200\ pgmL^{-1}$) در روش‌های مبتنی‌بر ELISA است، اشاره کرد. همچنین از این روش در ردیابی بیماری قارچی سیگاتو سیاه موز (black sigatoka) با عامل *Pseudocercospora fijiensis* با توانایی تشخیص $39-122\ \mu gmL^{-1}$ که در مقایسه با روش‌های رایج سریعتر و دقیق‌تر است استفاده شده است (Luna-Moreno et al. 2019). از مزایای SPR در تشخیص بیماری‌های گیاهی، علاوه‌بر عدم نیاز به برچسب‌زنی، می‌توان به حساسیت بالا به ماده مورد سنجش در حد پیکوگرم بر میلی‌لیتر، زمان بسیار کوتاه اندازه‌گیری و امکان چندین بار اندازه‌گیری با یکبار پوشش آنتی‌بادی اشاره کرد (Cooper. 2003; Ramachandran et al. 2005).

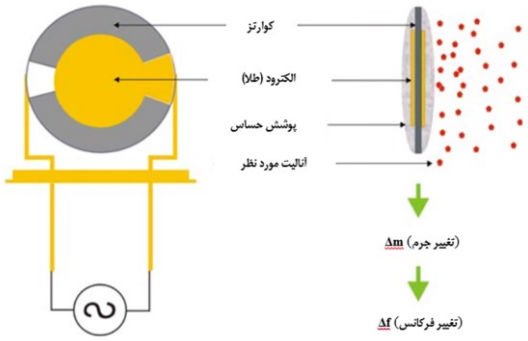
میکروبالانس کریستال کوارتز (quartz crystal microbalance, QMC)

یکی از روش‌های سنجش تغییرات در لایه تشخیص ایموبولیزه شده در اثر اتصال به مولکول

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

هدف، استفاده از میکروبالانس کریستال کوارتز (QMC) است. تغییرات فرکانس یک کریستال کوارتز که با جذب جرمی در حد نانوگرم ایجاد می‌شود می‌تواند برای اندازه‌گیری جرم‌های در حد نانوگرم در زمان جذب مولکول مورد استفاده قرار گیرد. مبنای حسگرهای جرمی، ایجاد پیام خاص در اثر تغییر جرم است. یک حسگر QMC در واقع یک قطعه پیزوالکتریک که هسته اصلی آن یک دیسک کوارتز (به‌طور معمول یک صفحه دایره‌ای شکل) است و دو الکترود از جنس طلا یا نقره روی آن نشانده شده و گیرنده زیستی (پوشش حساس) بر روی این الکترودها قرار داده شده است (شکل ۲) (Stambaugh et al. 2018).



شکل ۲- طرح‌واره استفاده از میکروبالانس کریستال کوارتز (Stambaugh et al. 2018).

از QMC به‌عنوان یک روش بسیار حساس موازنه جرمی، برای تشخیص بیماری ویروسی پیسک زرد ذرت (MCMV) به‌صورت تغییر در فرکانس تشدید کریستال در هنگام تغییر جرم ماده استفاده و نتیجه آن رضایت‌بخش و در حد ELISA (حد تشخیص $۲۵۰\ ngL^{-1}$) بوده است. از مزایای استفاده از QMC نسبت به ELISA در تشخیص MCMV می‌توان به سادگی کار، هزینه کم، سرعت و قابلیت اندازه‌گیری بلادرنگ اشاره کرد (Akgonullu et al. 2022).

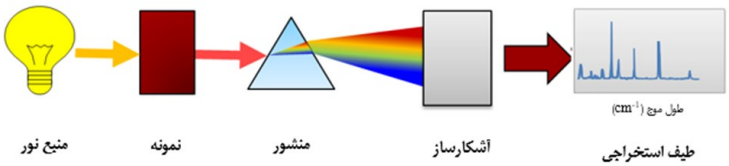
طیف‌سنجی رامان (raman spectroscopy, RS) و طیف‌سنجی رامان ارتقاء یافته سطحی (surface enhanced raman scattering, SERS)

از دیگر روش‌های پیشرفته تشخیص سریع بیماری‌های گیاهی می‌توان به پراکندگی/ طیف‌سنجی رامان و پراکندگی/ طیف‌سنجی رامان ارتقاء یافته سطحی (SERS) اشاره کرد. در

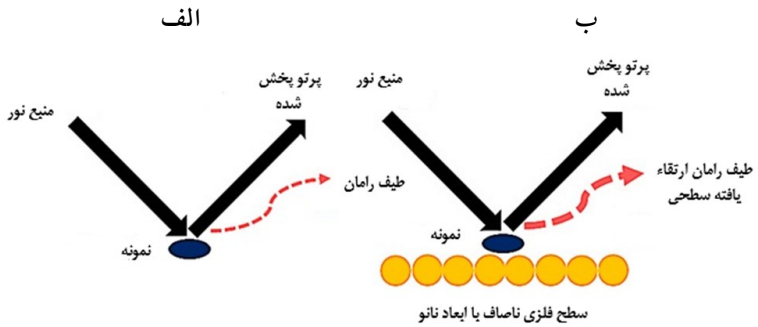
[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

طیف‌سنجی رامان، پرتو نور توسط ماده پراکنده می‌شود و این پراکنده شدن نور منجربه تغییر طول موج نور می‌شود. بررسی نور پراکنده‌شده اساس کار طیف‌سنجی رامان بوده و از این طریق می‌توان درباره ترکیبات ماده‌ای که نور به آن می‌تابد اطلاعاتی به‌دست آورد. پیام‌هایی که در طیف‌سنجی رامان به‌دست می‌آیند، پیام‌های ضعیفی هستند، به‌ویژه اگر از نور مرئی به‌عنوان منبع استفاده شود. یکی از روش‌های تقویت پیام رامان استفاده از SERS است. در تکنیک SERS به کمک یک سطح فلزی (طلا یا نقره) که دارای سطوح ناصاف به ابعاد نانو است، میدان نوری تقویت می‌شود. در شکل ۳ طرح‌واره و اجزاء طیف‌سنجی رامان و در شکل ۴ تفاوت طیف‌سنجی رامان با طیف‌سنجی رامان ارتقاءیافته سطحی آورده شده است (Zheng and He, 2014).



شکل ۳- طرح‌واره طیف‌سنجی رامان (Zheng and He, 2014).



شکل ۴- تفاوت طیف‌سنجی رامان (الف) با طیف‌سنجی ارتقاء یافته سطحی (ب) (Zheng and He, 2014).

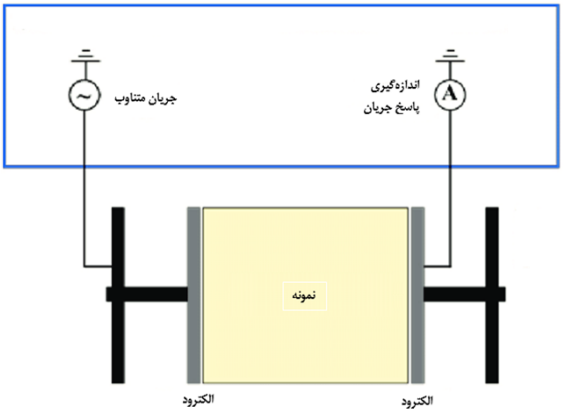
از SERS برای تشخیص سریع مایکوتوکسین تولیدشده توسط عامل بیماری لکه‌موجی گلابی با LOD برابر ۱/۳۰ µg/L استفاده شد. مقایسه این روش با روش مرسوم کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) حاکی از دقت، حساسیت و سرعت بالا و حساسیت بیشتر آن به میزان توکسین تولید شده توسط آلترناریا بود (Pan et al. 2018). سنجش و پایش این مولکول‌ها در محصولات کشاورزی با استفاده از روش‌های معمول هزینه‌بر و زمان‌بر است (Weng et al. 2021).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (electrochemical impedance spectroscopy, EIS)

روش دیگر غیرتخریبی مورد استفاده در علوم گیاهی برای تشخیص ویروس یا عوامل بیماری‌زای دیگر، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) است. EIS یکی از کارآمدترین روش‌ها در مطالعه خوردگی مواد است و برای پایش و اندازه‌گیری سرعت خوردگی و مکانیزم واکنش‌ها استفاده می‌شود. EIS به‌طور معمول با اعمال یک پیام جریان متناوب (AC) بر روی یک سیستم الکتروشیمیایی و سپس اندازه‌گیری پاسخ جریان انجام می‌شود (شکل ۵). برای استفاده از این روش، به یک سلول‌خوردگی با ابعاد هندسی مشخص که شامل یک الکترود مرجع بوده و همچنین تجهیزاتی که توانایی اندازه‌گیری و ضبط پاسخ الکتریکی سلول الکتروشیمیایی در دامنه وسیعی از فرکانس‌های AC اعمالی را داشته باشد، نیاز است (Magar et al. 2021).



شکل ۵- طرح‌واره چیدمان طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (Magar et al. 2021).

علاوه‌بر سادگی و حساسیت بالای EIS، این روش به‌دلیل توانایی دریافت پاسخ سریع و داده برداری با ابزار قابل حمل و بدون تخریب نمونه برای ردیابی بیمارگر در مزرعه مناسب است (Khater et al. 2019). در رابطه با استفاده از EIS در تشخیص عوامل بیماری‌زا می‌توان به حسگر زیستی هیبریداسیون دی.ان.اِ مبتنی‌بر الکترودهای کربنی صفحه‌ای (screen printed carbon electrodes) اصلاح‌شده با نانوذرات طلا در تشخیص ویروس تریستزای مرکبات اشاره کرد (Khater et al. 2019). این فناوری همچنین برای تشخیص ویروس آبله آلو (plum pox) با LOD

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

معادل $۱۰pg/mL^{-1}$ – $۲۰۰pg/mL^{-1}$ نیز استفاده شده است (Jarocka et al. 2011). از روش EIS علاوه‌بر تشخیص برخی بیماری‌های ویروسی در تشخیص بیماری‌های باکتریایی نیز استفاده شده است که می‌توان به تشخیص *Xylella fastidiosa* در باغ‌های زیتون اشاره کرد (Chiriacò et al. 2018).

طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (near infrared spectroscopy, NIRS)

از دیگر فناوری‌های غیرتخریبی و محبوب مورد استفاده در تشخیص ویژگی‌های درونی گیاهی می‌توان به طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIRS) اشاره کرد. تابش فروسرخ نزدیک بخشی از تابش فروسرخ و در محدوده nm ۷۸۰-۲۵۰۰ است. در طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک، محصول توسط تابش فروسرخ نزدیک پرتودهی شده و بسته به ماده شیمیایی نمونه و خواص فیزیکی آن، پرتو منعکس، جذب یا منتقل شده و پرتو عبوری یا انعکاسی اندازه‌گیری می‌شود. این تغییرات به ترکیب شیمیایی محصول و ساختار میکروسکوپی آن وابسته است (Nicolai et al. 2007).

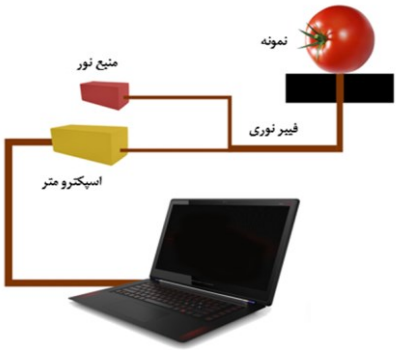
هسته، میتوکندری، وزیکول‌ها، غشاها و دیواره‌های سلولی نقش اساسی در پخش امواج فروسرخ نزدیک توسط بافت گیاهی دارند و فرآیند جذب این پرتوها معمولا توسط پیوندهای C-H، O-H و N-H در ترکیبات عمده گیاه انجام می‌شود (Cen and He, 2007; Nicolai et al. 2014).

انرژی فوتون‌های فروسرخ (۱۵-۱ Kcal/mol) به اندازه‌ای نیست که بتواند موجب برانگیختگی الکترون‌ها شود ولی ممکن است سبب ارتعاش اتم‌ها و گروه‌های دارای پیوند کووالانسی شود. هنگام تابش پرتو فروسرخ به یک مولکول، مولکول به تراز بالاتری از انرژی برانگیخته می‌شود و فقط فرکانس‌های مشخصی از تابش که با فرکانس ارتعاش مولکول هماهنگ هستند جذب مولکول می‌شوند و نوعی طیف جذبی به‌دست می‌آید که منعکس‌کننده ساختار مولکولی آنها است. پس طیف‌های فروسرخ از طریق مقایسه با طیف‌های مربوط به نمونه‌های شناخته‌شده برای شناسایی ترکیبات، مانند انگشت‌نگاری کاربرد دارند (Javanbakht et al. 2008). در NIRS به‌طور معمول از فیبرهای نوری مخصوص برای انتقال اطلاعات درونی ماده آلی استفاده می‌شود. استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک در تشخیص ویژگی‌های یک گیاه به‌طور معمول با تکنیک‌های شیمی‌سنجی (روش‌های پیشرفته

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

آماری در طیف‌سنجی که توسط آن داده‌های مزاحم حذف و داده‌های اصلی حفظ می‌شوند)، همراه است و استفاده توام طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک و شیمی‌سنجی منجر به ایجاد ابزاری موثر در تعیین ویژگی‌های متنوعی در بسیاری از زمینه‌ها شده است (Teye et al. 2013; Azadshahraki et al. 2018). در شکل ۶ طرح‌واره‌ای از چیدمان NIRS آورده شده است (Sharifi and Azadshahraki, 2021). در رابطه با استفاده از NIRS در تشخیص بیماری‌های گیاهی می‌توان به تشخیص بیماری لکه‌موجی گوجه فرنگی توسط نگارندگان اشاره کرد. در این پژوهش که از طیف‌سنجی مرئی/فروسرخ نزدیک (visible/near-infrared spectroscopy) همراه با شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای تدوین مدل و تشخیص الگو استفاده شد، نتایج حاکی از دقت بسیار بالای این روش (۱۰۰-۹۳ درصد) در تشخیص بیماری لکه‌موجی و نوع عامل با دقت ۱۰۰٪ -۹۳٪ بود. نتایج همچنین نشان داد در تشخیص این بیماری توسط طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک، گیاهان آلوده به گونه *Alternari solani* بدون هیچ خطایی شناسایی شدند (Azadshahraki et al. 2022).



شکل ۶- اجزاء و چیدمان آنها در طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (Sharifi and Azadshahraki, 2021).

ماشین بینایی (machine vision)

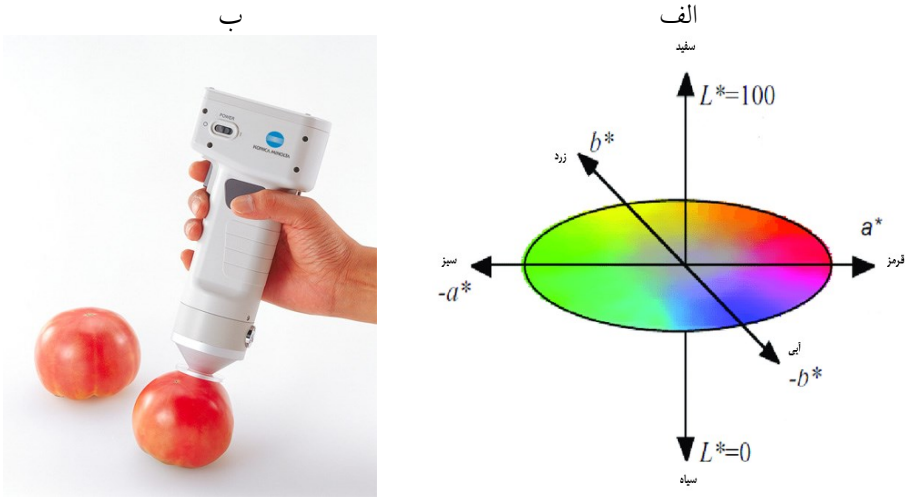
یکی از روش‌های رایج و معمول مورد استفاده در ارزیابی محصولات کشاورزی روش ماشین بینایی است. سیستم ماشین بینایی شامل یک دوربین دیجیتال است که به یک کامپیوتر و نرم‌افزار پردازش تصویر (image processing) متصل است. یک تصویر دیجیتال شامل سه حالت رنگی متعلق به باندهای قرمز، سبز و آبی (RGB)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

است. برای تشخیص یک شئ (میوه، برگ، ساقه، کبودی و لکه) پیکسل‌های آن در تصویر باید بر اساس یک ویژگی مشخص دسته‌بندی شوند که ساده‌ترین راه استفاده از باندهای قرمز، سبز یا آبی است. به‌طور معمول در ماشین بینایی فضای رنگی RGB به فضای رنگی *L، *a و *b (فضارنگ CIELAB) منتقل می‌شود یا مؤلفه‌های رنگ (*L، *a و *b) توسط ابزار مخصوص رنگ‌سنجی (colorimeter) اندازه‌گیری می‌شوند. فضارنگ CIELAB را می‌توان به‌صورت یک فضای سه‌بعدی درنظر گرفت که موقعیت هر رنگ در این فضا، با مختصات رنگی آن یعنی *L، *a و *b مشخص می‌شود. در این سیستم، *L محور مشخص‌کننده روشنایی، از سیاه تا سفید، بین ۰ (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید)، *a محور بیان‌کننده رنگ از سبز تا قرمز و *b بیانگر رنگ از آبی تا زرد است. محورهای *a و *b محدودیت ویژه عددی ندارند (Hunt. 2001; Azadshahraki and Kafashan, 2018).

در شکل ۷ فضا رنگ سه‌بعدی CIELAB و محورهای آن به‌همراه تصویر یک رنگ‌سنج آورده شده است (Azadshahraki and Kafashan, 2018). در رابطه با استفاده از ماشین بینایی در تشخیص بیماری‌های گیاهی به‌همراه روش‌های مختلف مدل‌سازی می‌توان به تشخیص بلاست برنج با دقت تشخیص ۹۸٪-۹۴٪ (Askari Asli – Ardeh et al. 2020) و بیماری آتشک در لیلیوم با دقت ۹۷٪-۸۵٪ (Biab et al. 2019) اشاره کرد.



شکل ۷ – فضا رنگ سه‌بعدی CIELAB و محورهای *L، *a و *b (الف) و رنگ‌سنج (ب) (Azadshahraki and Kafashan, 2018).

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

تصویربرداری ابرطیفی و چندطیفی (multispectral and hyperspectral imaging)

تصویربرداری ابرطیفی و چندطیفی یکی دیگر از فناوری‌های ارزیابی ویژگی‌های درونی و تشخیص بیماری در گیاهان است. در این فناوری‌ها از ترکیب اطلاعات طیف‌سنجی نقطه‌ای (point spectroscopy) و ماشین بینایی بهره برده می‌شود. در تصویربرداری چندطیفی تصاویر در چند طول موج به‌دست می‌آید در حالی‌که، در تکنیک ابرطیفی تصویربرداری با تعداد طول موج‌های زیاد انجام می‌پذیرد. رایج‌ترین تکنیک در میان این تکنیک‌ها، تکنیک تصویربرداری انعکاسی ابرطیفی است (hyperspectral reflectance imaging) و در دامنه طیفی VIS/NIR (۱۰۰۰-۴۰۰ نانومتر) یا فروسرخ موج کوتاه (۲۵۰۰-۱۰۰۰ نانومتر) در تشخیص نابسامانی‌های فیزیولوژیکی، انواع بیماری، آلودگی و خواص کیفی میوه و سبزیجات کاربرد دارد (Wu and Sun, 2013).

در رابطه با استفاده از این فناوری می‌توان به تشخیص لکه‌موجی در بادمجان با دقت ٪۸۸/۵ (Xie and He, 2016)، گوجه‌فرنگی با دقت ٪۱۰۰- ۹۷٪ و سیب‌زمینی با دقت ٪۹۵-٪۸۹ اشاره کرد.

سیستم‌های بویایی الکترونیکی یا بینی‌های الکترونیکی (electronic olfaction system or electronic nose)

از آنالیز ترکیبات آلی فرار (volatile organic compounds) می‌توان به‌عنوان روشی غیرمستقیم برای تشخیص عوامل بیماری‌زای گیاهی استفاده کرد. ترکیبات آلی فرار گیاهی به‌عنوان بیومولکول‌ها و متابولیت‌هایی با فشار بخار بالا، نقطه جوش پایین و وزن مولکولی کم هستند. گیاهان ترکیبات آلی فرار مختلفی منتشر می‌کنند که در انجام انواع فعالیت‌های گیاه از جمله رشد و نمو، مکانیزم‌های دفاعی و حیاتی شرکت می‌کنند. آلودگی‌ها و عفونت‌های ناشی از عوامل بیماری‌زا می‌تواند منجر به انتشار ترکیبات آلی فرار خاصی شود که نشان‌دهنده آسیب به سلامت فیزیولوژیکی گیاه بوده و می‌تواند برای پایش غیرتخریبی بیماری در گیاه به‌کار برده شود. بنابراین شناسایی مشخصات ترکیبات آلی فرار گیاه می‌تواند به‌عنوان فناوری سریع و غیرتخریبی برای تشخیص عوامل بیماری‌زای گیاهی، بدون نیاز به معرف‌های شیمیایی و با دقت بالا به کار رود (De Lacy Costello et al. 2001; Cellini et al. 2016; Spadafora. 2016). به‌طور معمول، ترکیبات آلی فرار در گیاهان توسط روش‌های

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

مبتنی‌بر کروماتوگرافی گازی-اسپکترومتری جرمی (GC–MS) سنجیده می‌شوند که استفاده از این روش‌ها به‌طور معمول پیچیده، وقت‌گیر و پرهزینه بوده و نیازمند تجهیزات و آموزش‌های تخصصی برای استفاده صحیح هستند. در میان روش‌های سریع و مناسب ارزیابی عوامل بیماری‌زای در گیاهان توسط ترکیبات آلی فرار، می‌توان به بینی های الکترونیکی یا سیستم‌های بویایی الکترونیکی (E-Nose; EOS) اشاره کرد. استفاده از بینی الکترونیکی در مقایسه با GC–MS علاوه‌بر غیرتخریبی بودن، سریع‌تر و ارزان‌تر است. این سیستم غالباً شامل آرایه‌ای از حسگرهای شیمیایی-الکترونیکی و یک سیستم محاسباتی است. گازها یا مواد فرّار پس از برخورد با حسگرهای گازی منجر به ایجاد یک پاسخ فیزیکی یا شیمیایی در حسگر می‌شوند که برای پردازش و دریافت اطلاعات به یک پیام الکتریکی تبدیل می‌شوند. برای این که حسگرها بتوانند گازهای مختلف را ازهم تشخیص دهند به یک شبکه از حسگرها نیاز است. این روش باید این قابلیت را داشته باشد تا مانند بینی انسان به مقدارِ کم گاز، حساس بوده و به تغییرات دما، رطوبت و سایر شرایط محیطی وابسته نباشد (Ewen. 2004; Wilson and Baietto, 2009). یک سیستم بینی الکترونیکی حداقل دارای چهار بخش شامل شبکه حسگرهای گاز (gas sensor)، بخش تحویل گاز یا ماده فرّار (volatile delivery system) ، بخش کنترل و استخراج داده (control system and data acquisition) و بخش پردازش (processing system) است (Wilson. 2013; Azadshahraki. 2016).

ویژگی فیزیکی یا شیمیایی حسگرهای نصب‌شده در شبکه حسگرهای گاز، در حضور ماده موردنظر تغییر کرده و به پیام الکتریکی تبدیل می‌شود. در بینی الکتریکی، انواع حسگرها می‌تواند به کار رود که حسگر گازی نیمه‌رسانای اکسید فلزی (metal oxide semiconductor)، حسگر کریستال کوارتز میکروبالانس (quartz crystal microbalance)، حسگر موج صوتی سطحی (surface acoustic wave)، مبدل اثر میدانی نیمه‌رسانای اکسید فلز (metal-oxide-semiconductor field effect transistor)، پلیمرهای رسانا (conductive polymers) و فیبرهای نوری (optical fibers) از این جمله‌اند. یکی از رایج‌ترین حسگرها در این سامانه، حسگرهای MOX هستند که از مواد نیمه رسانا مانند اکسید قلع (SnO_2)، اکسید روی (ZnO) و اکسید تیتانیوم (TiO_2) ساخته شده‌اند. اصول کلی این حسگرها براساس تغییر قابلیت

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

رسانایی مواد به‌کار رفته در آن است (Rodrigues et al. 2010).

بخش تحویل گاز یا ماده فرّار وظیفه انتقال ماده فرار به حسگر را داشته و ممکن است نوعی سازوکار تمیزکنندگی برای محفظه حسگرها نیز در آن در نظر گرفته شده باشد تا در هر بار اندازه‌گیری، شرایط محیطی حسگرها به حالت اولیه برگردد و از تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها اطمینان حاصل شود. بخش کنترل شامل سوپاپ‌ها و پمپ‌های هوا و بخش استخراج داده شامل کارت حافظه و میکروکنترلر است. بخش پردازش در بیشتر موارد شامل یک کامپیوتر مجهز به نرم‌افزارهای ویژه است که داده‌های به‌دست آمده از حسگرها را پردازش می‌کند. در این مرحله ممکن است از روش‌های ویژه پیش‌پردازش استفاده کرد که این روش‌ها با حذف اطلاعات غیرمفید و ناخواسته و استفاده از روش‌های ریاضی به‌ویژه، حجم اطلاعات را کاهش داده و منجر به استخراج اطلاعات مفید یا مؤثر می‌شوند. از جمله روش‌های ریاضی برای استفاده از داده‌ها و تشخیص الگو می‌توان به شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌تنهایی یا همراه با تجزیه شاخص‌های اصلی (PCA-ANN)، اشاره کرد. تجزیه شاخص‌های اصلی (principal component analysis: PCA) روشی برای کاهش حجم داده‌ها است.

از معایب این روش، می‌توان به دشواری استفاده از آن در مزرعه به‌دلیل تداخل هوای اتمسفر در گازهای مورد اندازه‌گیری و کاهش دقت اندازه‌گیری اشاره داشت (Laothawornkitkul. 2008; Nicolai et al. 2014). در شکل ۸ اجزاء و طرح‌واره یک سیستم بویایی الکترونیکی آورده شده است (Mamat et al. 2011).

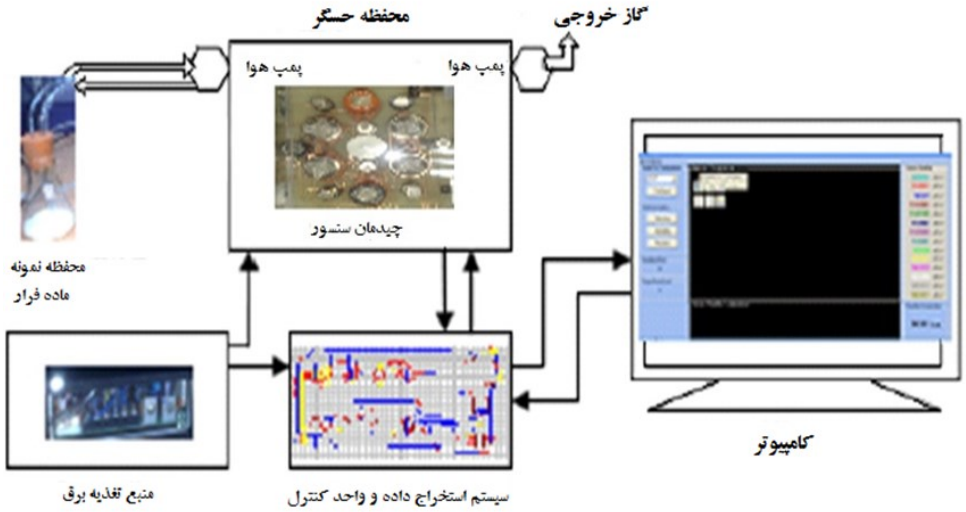
در زمینه استفاده از بینی الکترونیکی در تشخیص بیماری‌های گیاهی می‌توان به تشخیص گیاهان استبرق (علف شیر) آلوده به شته اشاره کرد. در این پژوهش ظرفیت تمایز بین گیاهان سالم و آلوده طی ۴۸ تا ۷۲ ساعت پس از حمله ۹۰٪-۱۰۰٪ بود که نسبت به سایر روش‌های تشخیص تغییرات VOC (volatile organic compounds) در تشخیص این عامل، سه الی چهار روز سریعتر بود (Sharma et al. 2019).

در پژوهشی دیگر از یک آرایه بیوحسگرها برای تشخیص VOCهای آزاد شده در درختان آلوده به بیماری میوه سبز مرکبات، قبل از بروز علائم ظاهری استفاده شد. دقت استفاده از این فناوری با استفاده از روش‌های مختلف مدل‌سازی ریاضی مناسب گزارش شد ولی هچنان استفاده از این

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

فناوری در باغ به‌صورت بلادرنگ دارای مشکلاتی بود (Chalupowicz et al. 2020).



شکل ۸- اجزاء یک سیستم بویایی الکترونیکی (Mamat et al. 2011).

نتیجه‌گیری

امروزه ورود فناوری نانو، علم فیزیک و هوش مصنوعی به کشاورزی منجربه توسعه روش‌های جدید و خلاقانه‌ای در تشخیص بیماری‌های گیاهی شده است که برخی از آنها قادر به تشخیص زودهنگام و پیش از بروز علائم ظاهری بیماری‌ها هستند. در اغلب این فناوری‌ها به روش‌های پیشرفته ریاضی برای تدوین مدل‌های تشخیص و پردازش داده‌ها نیاز است. استفاده از این فناوری‌ها هنوز با چالش‌هایی روبرو بوده و برای استفاده از آنها در مزرعه یا باغ به اصلاحات زیادی در این فناوری‌ها نیاز است.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

References فهرست منابع

Akgonullu S, Ozgur E, Denizli A. 2022. Recent advances in quartz crystal microbalance biosensors based on the molecular imprinting technique for disease-related biomarkers. Chemosensors. 10(3): 106.

Alvarez AM. 2004. Integrated approaches for detection of plant pathogenic bacteria and diagnosis of bacterial diseases. Annu. Rev. Phytopathol. 42: 339-366.

Andersson H, Tago D, Treich N. 2014. Pesticides and health: A review of evidence on health effects, valuation of risks, and benefit- cost analysis. Preference Measurement in Health.

Askari Asli -Ardeh E, Larijani MR, Loni R. 2020. Diagnosis of rice blast disease in different environmental conditions using image processing technique. Journal of food Science and Technology. 100 (17): 17-28. (In Farsi with English abstract).

Azadshahraki F. 2016. Quality assessment of some Iranian grape cultivars using non-destructive near-infrared (NIR) spectroscopy. Thesis for the degree of doctor of philosophy in horticultural science, postharvest physiology and technology. Tehran University. Iran. (In Farsi with English abstract).

Azadshahraki F, Jamshidi B, Sharabiani VR. 2018. Non-destructive determination of vitamin C and lycopene contents of intact cv. Newton tomatoes using NIR spectroscopy. Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences. 28 (4): 389-397.

Azadshahraki F, Kafashan J. 2018. Qualitative characteristics of horticultural products and their measurement methods. Agricultural Research, Education and Extension Organization Press. (In Farsi with English abstract).

Azadshahraki F, Sharifi K, Jamshidi B, Karimzadeh R, Naderi H. 2022. Diagnosis of early blight disease in tomato plant based on visible/near-infrared spectroscopy and principal components analysis-artificial neural network prior to visual disease symptoms. Journal of Agricultural Machinery. 12(1): 81-94.

Biabi H, Mehdizadeh SA, Salmi MS. 2019. Development of an intelligent system for diagnosis of the Botrytis Elliptica disease in the Lilium plant using image processing. Iranian Journal of Biosystem Engineering. 50(3): 535-546. (In Farsi with English abstract).

Cardoso RM, Pereira TS, Facure MH, dos Santos DM, Mercante LA, Mattoso LH, Correa, DS. 2021. Current progress in plant pathogen detection enabled by nanomaterials-based (bio) sensors. Sensors and Actuators Reports. 100068.

Cen H, He Y. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. Trends in Food Science & Technology 18 (2): 72-83.

Cellini A, Biondi E, Blasioli S, Rocchi L, Farneti B, Braschi I, Spinelli F. 2016. Early detection of bacterial diseases in apple plants by analysis of volatile organic compounds profiles and use of electronic nose. Annals of Applied Biology. 168(3): 409-420.

Chalupowicz D, Veltman B, Droby S, Eltzov E. 2020. Evaluating the use of biosensors for monitoring of Penicillium digitatum infection in citrus fruit. Sensors and Actuators B: Chemical. 311: 127896.

Chiriacò MS, Luvisi A, Primiceri E, Sabella E, De Bellis L, Maruccio G. 2018. Development of a lab-on-a-chip method for rapid assay of Xylella fastidiosa subsp. pauca strain CoDiRO. Scientific Reports. 8(1): 1-8.

Chen H, Ming T, Zhao L, Wang F, Sun LD, Wang J, Yan CH. 2010. Plasmon–molecule interactions. Nano Today. 5(5): 494-505.

Cooper MA. 2003. Label-free screening of bio-molecular interactions. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 377(5): 834-842.

Dincer C, Bruch R, Kling A, Dittrich PS, Urban GA. 2017. Multiplexed point-of-care testing–xPOCT. Trends in Biotechnology. 35(8): 728-742.

De Lacy Costello BPJ, Evans P, Ewen RJ, Gunson HE, Jones PR, Ratcliffe NM, Spencer- Phillips PT. 2001. Gas chromatography–mass spectrometry analyses of volatile organic compounds from potato tubers inoculated with Phytophthora infestans or Fusarium coeruleum. Plant Pathology. 50(4): 489-496.

Ewen RJ, Jones PR, Ratcliffe NM, Spencer-Phillips PT. 2004. Identification by gas chromatography-mass spectrometry of the volatile organic compounds emitted from the wood-rotting fungi Serpula

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

lacrymans and Coniophora puteana, and from Pinus sylvestris timber. Mycological Research. 108(7): 806-814.

Fang Y, Ramasamy RP. 2015. Current and prospective methods for plant disease detection. Biosensors. 5(3): 537-561.

Ghanei Ghooshkhaneh N, Golzarian MR, Mamarabadi M. 2018. Detection and classification of citrus green mold caused by Penicillium digitatum using multispectral imaging. Journal of the Science of Food and Agriculture. 98 (9): 3542-3550.

Grover S. 2013. Exploring motivations and perceptions of small-scale Farmers: considerations for sustainable agriculture in east central Indiana. Ph.D. Dissertation. Ball State University. Muncie.

Hempen C, Karst U. 2006. Labeling strategies for bioassays. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 384(3): 572-583.

Hoseinian M, Hoseinian M, Khoshnevis S, Kashanian F. 2016. Ultra-sensitive surface plasmon resonance fiber optic sensors based on gold nanoparticles. Iranian Journal of Physics Research. 15(4): 441-446. (In Farsi with English abstract).

Hou W, Cronin SB. 2013. A review of surface plasmon resonance- enhanced photocatalysis. Advanced Functional Materials. 23(13): 1612-1619.

Hunt RWG. 2001. Modern concepts of color and appearance-Asim Kumar Roy Choudhury. Science Publishers Inc. Enfield. New Hampshire. USA. 326 pages.

Jarocka U, Wąsowicz M, Radecka H, Malinowski T, Michalczuk L, Radecki J. 2011. Impedimetric immunosensor for detection of plum pox virus in plant extracts. Electroanalysis. 23(9): 2197-2204.

Javanbakht M, Ganjali M, Noroozi P. 2008. Infrared spectroscopy fundamentals and application. Tehran University Press. 204pp. (In Farsi with English abstract).

Khater M, De La Escosura-Muñiz A, Quesada-González D, Merkoçi A. 2019. Electrochemical detection of plant virus using gold nanoparticle-modified electrodes. Analytica Chimica Acta. 1046: 123-131.

Laothawornkitkul J, Moore JP, Taylor JE, Possell M, Gibson TD, Hewitt CN, Paul ND. 2008. Discrimination of plant volatile signatures by an electronic nose: a potential technology for plant pest and disease monitoring. Environmental Science and Technology. 42(22): 8433-8439.

López MM, Bertolini E, Olmos A, Caruso P, Gorris MT, Llop P, Cambra M. 2003. Innovative tools for detection of plant pathogenic viruses and bacteria. International Microbiology. 6(4), 233-243.

López MM, Bertolini E, Caruso P, Penyalver R, Marco-Noales E, Gorris MT, Llop P. 2005. Advantages of an integrated approach for diagnosis of quarantine pathogenic bacteria in plant material. Phytopathol. Pol. 35: 49-56.

Luna-Moreno D, Sánchez-Álvarez A, Islas-Flores I, Canto-Canche B, Carrillo-Pech M, Villarreal-Chiu JF, Rodríguez-Delgado M. 2019. Early detection of the fungal banana black Sigatoka pathogen Pseudocercospora fijiensis by an SPR immunosensor method. Sensors. 19(3): 465.

Magar HS, Hassan RY, Mulchandani A. 2021. Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS): Principles, Construction, and Biosensing Applications. Sensors. 21(19): 6578.

Mamat M, Samad SA, Hannan, MA 2011. An electronic nose for reliable measurement and correct classification of beverages. Sensors. 11(6): 6435-6453.

Mojarradi GhR, Golbaz Sh, Atai H. 2015. Analysis of deterrent and facilitating factors on organic farming adoption as perceived by Zanjan Jihad Agricultural Experts viewpoint. Iran Agricultural Extension and Education Journal. 2(10): 1-16. (In Farsi with English abstract).

Nehra M, Dilbaghi N, Marrazza G, Kaushik A, Sonne C, Kim KH, Kumar S. 2021. Emerging nanobiotechnology in agriculture for the management of pesticide residues. Journal of Hazardous Materials. 401: 123369.

Nicolai BM, Beullens K, Bobelyn E, Peirs A, Saeys W, Theron KI, Lammertyn J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. Postharvest Biology and Technology. 46 (2): 99-118.

Nicolai, BM, Defraeye T, De Ketelaere B, Herremans E, Hertog ML, Saeys W, Torricelli A. 2014. Nondestructive Measurement of Fruit and Vegetable Quality. Food Science Technology. 5: 285- 312.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

Pan TT, Sun DW, Pu H, Wei Q. 2018. Simple approach for the rapid detection of alternariol in pear fruit by surface-enhanced Raman scattering with pyridine-modified silver nanoparticles. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 66(9): 2180-2187.
Philippe V, Neveen A, Marwa A, Basel AYA. 2021. Occurrence of pesticide residues in fruits and vegetables for the Eastern Mediterranean Region and potential impact on public health. Food Control. 119: 107457.
Ramachandran N, Larson DN, Stark PR, Hainsworth E, LaBaer J. 2005. Emerging tools for real- time label- free detection of interactions on functional protein microarrays. The FEBS Journal. 272(21): 5412-5425.
Rezaei R Safa L, Ganjkhanloo MM. 2020. Understanding farmers' ecological conservation behavior regarding the use of integrated pest management-an application of the technology acceptance model. Global Ecology and Conservation. 22: e00941.
Rodriguez J, Duran C, Reyes A. 2010. Electronic nose for quality control of Colombian coffee through the detection of defects in "cup tests". Sensors. 10: 36-46.
Russell-Green S, Cotton J, Brumby S. 2020. Research engagement changes attitudes and behaviours towards agrichemical safety in Australian farmers. Safety. 6(1): 16.
Sharifi K, Azadshahraki F. 2021. Non-destructively detection of early blight of greenhouse tomato by near-infrared spectroscopy. Research final Report. Agricultural Research, Education & Extension Organization. Iran. 60308 10-13. (In Farsi with English abstract).
Sharma R, Zhou M, Hunter MD, Fan X. 2019. Rapid in situ analysis of plant emission for disease diagnosis using a portable gas chromatography device. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 67(26): 7530-7537.
Spadafora ND, Paramithiotis S, Drosinos EH, Cammarisano L, Rogers HJ, Müller CT. 2016. Detection of Listeria monocytogenes in cut melon fruit using analysis of volatile organic compounds. Food Microbiology. 54: 52-59.
Stambaugh C, Shakeel H, Kalteyer D, Abbott P, Pomeroy J. 2018. Traceability of frequency based mass measurements using a quartz crystal microbalance. Journal of Physics. 1065: 4.
Teye E, Huang XY, Afoakwa N. 2013. Review on the potential use of near infrared spectroscopy (NIRS) for the measurement of chemical residues in food. American Journal of Food Science and Technology. 1: 1-8.
Umapathi R, Park B, Sonwal S, Rani GM, Cho Y, Huh YS. 2022. Advances in optical-sensing strategies for the on-site detection of pesticides in agricultural foods. Trends in Food Science and Technology. 119: 69-89.
Waggoner PS, Craighead HG. 2007. Micro-and nanomechanical sensors for environmental, chemical, and biological detection. Lab on a Chip. 7(10): 1238-1255.
Wang K, Wang Y, Li, Q, Liu, Z, Liu, S. 2022. A fluorescence and localized surface plasmon resonance dual-readout sensing strategy for detection of acetamiprid and organophosphorus pesticides. Sensors and Actuators B: Chemical. 351: 130977.
Weng S, Hu X, Wang J, Tang L, Li P, Zheng S, Zheng L, Huang L, Xin Z. 2021. Advanced application of Raman spectroscopy and surface-enhanced Raman spectroscopy in plant disease diagnostics: a review. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 69(10): 2950-2964.
Wilson AD, Baietto M. 2009. Applications and advances in electronic-nose technologies. Sensors. 9(7): 5099-5148.
Wilson AD. 2013. Diverse applications of electronic-nose technologies in agriculture and forestry. Sensors. 13(2): 2295-2348.
Wu D, Sun DW. 2013. Color measurements by computer vision for food quality control—a review. Trends in Food Science and Technology. 29:5–20.
Xie C, Shao Y, Li X, He Y. 2015. Detection of early blight and late blight diseases on tomato leaves using hyperspectral imaging. Scientific Reports. 5: 16564.
Xie C, He Y. 2016. Spectrum and image texture features analysis for early blight disease detection on eggplant leaves. Sensors. 16 (5): 676.
Zarei M. 2017. Advances in point-of-care technologies for molecular diagnostics. Biosensors and Bioelectronics. 98: 494-506.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]

Zheng J, He L. 2014. Surface- enhanced Raman spectroscopy for the chemical analysis of food. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 13(3): 317-328.

Advanced Technologies of Plant Disease Diagnosis

Farzad Azadshahraki[*1], Mahboobeh Shahrokhi[2], Kasra Sharifi[3], Gita Hosseini[4]

1- Assistant professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREO), Karaj, Iran.

2- MSc. Biology Teacher, Farzanegan Development of Exceptional Talents High School, Alborz, Iran.

3- Assistant professor, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

4- MSc. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

farzad_shahrekian@yahoo.com

Abstract

Failure to early diagnosis of plant diseases increases the use of chemical pesticides and reduces the quantity and quality of agricultural products. Rapid, accurate, low cost and early diagnosis of plant diseases, especially those that spread without early symptoms, is effective in reducing the use of chemical pesticides and improving the quantity and quality of agricultural products. In this paper advanced method of plant disease diagnosis based on nanotechnology, nondestructive techniques of spectroscopy and electronic olfaction system is described. Some of these technologies make it possible to diagnose many diseases before the onset of symptoms, which by controlling and preventing the development of the disease, in addition to reducing the cost of disease control, sustainable agricultural, environmental protection and consumer health will also follow.

Keywords: Plant Disease, Spectroscopy, Nondestructive Method, Electronic Olfaction System, Nanotechnology.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-07-03]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1400.14.4.7.0]