شناسایی سریع محصول آلوده به سم آفت‌کش با روش‌های نوین فناوری آزمون غیرمخرب

بهاره جمشیدی

استادیار؛ مکانیک بیوسیستم، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ کرج؛ ایران.
b.jamshidi@areeo.ac.ir

چکیده

آفت‌کش‌ها یا سموم شیمیایی که برای کنترل آفت‌ها و بیماریهای گیاهی استفاده میشوند، اگر چه سبب افزایش کارایی تولید محصول هستند، می‌توانند محیط زیست و مواد غذایی را آلوده کنند. استفاده بیش از حد و نادرست آفت‌کش‌ها در طول تولید، عدم توجه به دوره کارنس سموم، برداشت زودهنگام محصولات سم‌پاشی‌شده و ارائه آنها به بازار، و فروش این محصولات بلافاصله یا در مدت زمان کوتاهی پس از سم‌پاشی، منجر به افزایش باقی‌مانده سموم در آنها از حد مجاز می‌شود که مخاطرات جدی برای سلامت و ایمنی مصرف‌کننده در پی دارد. به منظور حفظ سلامت عمومی، شناسایی و تعیین آلودگی محصولات کشاورزی (به ویژه میوه‌ها و سبزی‌ها) به سموم آفت‌کش بسیار ضروری است. در حال حاضر برای اندازه‌گیری غلظت باقی‌مانده سموم، از روش‌های مخرب مختلفی استفاده می‌شود که بسیار پرهزینه و زمان‌بر هستند و نیاز به نیروی متخصص و آموزش‌دیده و آزمایشگاه‌های پیشرفته دارند. بنابراین، توسعه یک روش غیرمخرب سریع، ساده، کم‌هزینه، ناآلاینده و قابل اعتماد به منظور تشخیص باقی‌مانده سموم آفت‌کش بسیار ضروری است. در این مقاله، ضمن ارائه پیشرفت‌های نوین در فناوری آزمون غیرمخرب که می‌توانند برای شناسایی سریع محصول آلوده به سموم شیمیایی استفاده شوند، به معرفی سامانه نوین و قابل حمل طراحی شده برای این منظور مبتنی بر روش اپتیکی اسپکتروسکوپی فروسرخ نزدیک پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: اسپکتروسکوپی، باقی‌مانده سم، تصویربرداری ابرطیفی، فناوری آزمون غیرمخرب، فروسرخ نزدیک.

۱- مقدمه

فناوری آزمون غیرمخرب[1] (NDT) که فرایند ارزیابی، بازرسی و آزمون به منظور کنترل کیفیت و ایمنی مواد، محصولات، ترکیبات، قطعات و یا سازه‌ها و سامانه‌ها را شامل می‌شود؛ می‌تواند افزون بر تعیین یا تشخیص برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، ناپیوستگی‌ها یا تغییرات ساختاری و تفاوت در ویژگی‌ها را بدون تخریب یا آسیب رسانی به نمونه موردبررسی، شناسایی کند. با پیشرفت دانش مهندسی، فناوری NDT توسعه قابل‌توجهی در حوزه‌های مختلف علم و صنعت داشته و کاربرد آن به منظور رفع مشکلات و چالش‌های اساسی در زمینه کیفیت‌سنجی مواد و محصولات بسیار مورد توجه جوامع علمی و دولت‌ها قرار گرفته است.

یکی از مسایل اصلی که به ویژه در سال‌های اخیر سبب نگرانی‌های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی دولت‌ها شده است، آلودگی محصولات کشاورزی به سموم شیمیایی ازبین‌برنده آفت‌های گیاهی (آفت‌کش‌ها) است که به طور مستقیم روی سلامت مصرف‌کننده تاثیر دارد. سم‌پاشی‌های مکرر، استفاده نابجا و بیش از حد آفت‌کش‌ها، به‌کارگیری سموم غیر مجاز، عدم توجه به دوره کارنس سموم، برداشت زودهنگام محصولات سم‌پاشی‌شده و ارائه آنها به بازار، و مصرف این محصولات در مدت زمان کوتاهی پس از سم‌پاشی، منجر به افزایش باقی‌مانده سموم از حد مجاز[2] (MRL)، در آنها می‌شود که مخاطرات جدی برای مصرف‌کننده در پی دارد و سبب بروز بیماری‌های مختلف و خطرناک مانند انواع سرطان می‌شود. از این رو، شناسایی و تعیین باقی‌مانده سموم در محصولات کشاورزی (به ویژه میوه‌ها و سبزی‌ها که مصرف تازه‌خوری دارند) در راستای تضمین سلامت و ایمنی آنها بسیار حائز اهمیت است. در حال حاضر برای تعیین و اندازه‌گیری باقی‌مانده سموم، از روش‌های مخرب درون‌آزمایشگاهی و مشکلی استفاده می‌شود که بسیار پرهزینه و زمان‌بر هستند و ضمن نیاز به تجهیزات گران‌قیمت و نیروهای متخصص و آموزش‌دیده، به دلیل تخریب نمونه سالم، سبب افزایش ضایعات نیز می‌شوند. از سوی دیگر، در این روش‌ها تنها تعداد محدودی نمونه به

1 Non-destrucive Testing

2 Maximum Residue Limits

www.SID.ir

عنوان نماینده یک دسته محصول مورد ارزیابی قرار گرفته و نتیجه به کل دسته تعمیم داده می‌شود. با توجه به پیشرفت علم و فناوری و ظهور روش‌های نوین در فناوری NDT برای آنالیز مواد، توسعه یک روش ساده، سریع، کم‌هزینه و ناآلاینده به منظور ارزیابی غیرمخرب ایمنی محصولات از نظر آلودگی به سموم آفت‌کش (با امکان بررسی تک‌تک نمونه‌ها) و قابلیت کاربرد در هر محلی (مستقیماً در مزرعه، باغ، گلخانه یا میادین تره‌بار) بسیار حائز اهمیت است [1,2].

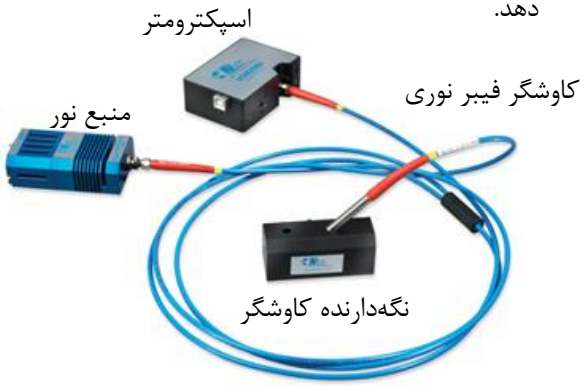
از بین روش‌های غیرمخرب، روش‌های نوین اپتیکی مبتنی بر طیف‌سنجی یا اسپکتروسکوپی، توانایی نمایش جزئیات ترکیبی و غذایی مواد و اندازه‌گیری ترکیبات مواد بیولوژیکی را دارا هستند و کاربرد ویژه‌ای در آنالیزهای کمّی و کیفی مواد غذایی به ویژه کیفیت‌سنجی محصولات کشاورزی پیدا کرده‌اند. با این حال کاربرد این روش‌ها در تعیین میزان باقی‌مانده سموم محصولات کشاورزی و غذایی و ایمنی‌سنجی آنها به تازگی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این مقاله، ضمن معرفی دو روش اسپکتروسکوپی فروسرخ نزدیک[1] (NIR) و تصویربرداری ابرطیفی[2] به عنوان دو روش اپتیکی مهم در فناوری NDT که توانایی آنها برای تشخیص سریع باقی‌مانده سموم سطحی و نفوذکرده به بافت برخی محصولات مورد تایید قرار گرفته است، به توضیح مشخصات و نحوه کار سامانه نوین و پرتابل طراحی‌شده برای این منظور مبتنی بر روش اسپکتروسکوپی مرئی/فروسرخ نزدیک (Vis/NIR) پرداخته شده است

۲- اسپکتروسکوپی NIR

اسپکتروسکوپی NIR اغلب بر اساس طیفی‌های جذبی و در مورد برهم‌کنش تابش NIR با ماده بحث می‌کند. تابش NIR، بخشی از تابش فروسرخ (IR) است که در محدوده طول موجی ۲۵۰۰-۷۸۰ nm از طیف الکترومغناطیس، بلافاصله بعد از ناحیه مرئی قرار دارد. طیف NIR یک ترکیب می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد ساختار مولکولی و طبیعت شیمیایی ماده ارائه کند. به گونه‌ای که، انرژی هر پیکی که روی طیف ظاهر می‌شود با فرکانس ارتعاشی قسمتی از مولکول مطابق است.

2 Near-Infrared
3 Hyperspectral Imaging

طیف‌های NIR شامل اطلاعات فراوانی هستند ولی همیشه استخراج داده‌ها به طور مستقیم از طیف ممکن نیست. هم‌چنین، طیف‌های NIR ممکن است به دلیل اثر پراکندگی، ناهمگن‌بودن بافت، نویز دستگاهی، اثرهای محیطی و غیره پیچیده‌تر شوند. بنابراین، روش‌های آماری چندمتغیره (شیمی‌سنجی[3]) برای استخراج اطلاعات مفید از یک طیف NIR نیاز هستند. بنابراین در روش اسپکتروسکوپی NIR، از مدل‌سازی‌های چندمتغیره خطی یا غیر خطی به منظور بررسی امکان تخمین و پیش‌بینی یک ترکیب یا ویژگی درونی محصول با ایجاد یک برازش قابل اعتماد بین اطلاعات طیفی استخراج‌شده و غلظت ترکیب یا مقادیر ویژگی موردنظر که با روش‌های مرجع قابل اندازه‌گیری هستند، استفاده می‌شود. هم‌چنین، از مدل‌های طبقه‌بند چندمتغیره خطی یا غیرخطی می‌توان برای بررسی توانایی روش در آنالیزهای کیفی محصول بر پایه اطلاعات طیفی بهره برد [3,4]. تجهیزات موردنیاز اسپکتروسکوپی NIR برای دریافت اطلاعات از یک نمونه جامد بدون نیاز به نمونه‌گیری شامل منبع نور، اسپکترومتر[4] (تکفام‌ساز[5] و آشکارساز[6]) و فیبر نوری[7] است. شکل ۱ نمونه‌ای از تجهیزات اسپکتروسکوپی NIR را که می‌تواند برای دریافت اطلاعات طیفی از درون یک نمونه جامد مانند محصول کشاورزی استفاده شود، نشان می دهد.



شکل (۱) نمونه‌ای از تجهیزات موردنیاز اسپکتروسکوپی NIR

در سال‌های اخیر، اسپکتروسکوپی NIR نسبت به سایر روش‌های اپتیکی و غیراپتیکی به دلیل دارابودن مزایایی از قبیل عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه، هزینهٔ نسبتاً پایین، سازگاری بیش‌تر با شرایط زیست- محیطی و سهولت

4 Chemometrics
5 Spectrometer
6 Monochromator
7 Detector
8 Optical Fiber

www.SID.ir

به‌کارگیری در سامانه‌های درجه‌بندی و کنترل فرایند به منظور کیفیت‌سنجی محصولات کشاورزی و غذایی کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. از سوی دیگر، پیشرفت‌های اخیر فناوری در طراحی سخت‌افزار و روش‌های جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده، توانمندی این روش را دو چندان کرده است [5,6]. با این حال، تاکنون پژوهش‌های اندکی در خصوص کاربرد این روش برای تخمین باقی‌مانده سموم در محصولات کشاورزی بدون تخریب محصول (به ویژه در میوه‌ها و سبزی‌ها که مصرف تازه‌خوری دارند)، انجام شده ولی نتایج همه این پژوهش‌ها حاکی از توانمندی روش اسپکتروسکوپی NIR در شناسایی وجود باقی‌مانده سم در محصول بوده است [7,8,9,10,11,12,13]. از این رو، انتظار می‌رود که در آینده‌ای نزدیک این روش به منظور ارزیابی باقی‌مانده سموم در محصولات به جای روش‌های آزمایشگاهی زمان‌بر و پرهزینه‌ای که هم‌اکنون برای این منظور به‌کار می‌روند از قبیل کروماتوگرافی گازی[1] (GC)، کروماتوگرافی مایع[2] (HPLC)، طیف‌سنجی جرمی[3] (MSD)، ترکیب کروماتوگرافی گازی یا مایع با طیف‌سنجی جرمی (GC/MS, LC/MS)، استفاده شود.

شکل ۲ نمونه‌ای از طیف‌های Vis/NIR خیارهای سالم و آلوده به غلظت‌های مختلف سم دیازینون[4] را نشان می‌دهد. تفاوت‌های بارز این طیف‌ها در هر دو ناحیه طیف مرئی و NIR، اساس طراحی سامانه‌ای پرتابل برای تشخیص و تعیین غیرمخرب باقی‌مانده سم در محصول بوده که در بند ۴ مقاله به معرفی آن پرداخته شده است. مطابق شکل ۲، هرچه غلظت سم در محصول افزایش می یابد (از فاقد سم (AP) به دارای سم با غلظت‌های رو به افزایش (به ترتیب PP1 ، PP2 و PP3))، از مقدار جذب در ناحیه مرئی کاسته و به مقدار جذب در ناحیه NIR افزوده می‌شود.

۳- تصویربرداری ابرطیفی

تصویربرداری ابرطیفی به عنوان یکی از فناوری‌های تصویربرداری اپتیکی که در سال‌های اخیر رایج شده‌اند، در کاربردهای کشاورزی و غذایی به طور گسترده استفاده شده است. این روش یک ابزار بسیار قوی برای جمع‌آوری اطلاعات طیفی و مکانی از یک شیء یا محصول در طول موج‌های پیوسته روی یک محدوده طیفی گسترده است. تصویربرداری ابرطیفی که ترکیبی از فناوری تصویربرداری و اسپکتروسکوپی است، می‌تواند ویژگی‌های ظاهری محصول را از تصویر استخراج و ویژگی‌های شیمیایی آن را به کمک آنالیزهای طیفی ارائه کند. تصاویر دریافت‌شده سه‌بعدی هستند و ابرمکعب نامیده می‌شوند به طوری‌که یک بعد مربوط به اطلاعات طیفی و دو بعد دیگر مربوط به اطلاعات مکانی است. همانند روش اسپکتروسکوپی NIR، از روش‌های شیمی‌سنجی به همراه پردازش تصویر برای دستیابی به اطلاعات مفید تصاویر ابرطیفی یک نمونه استفاده می‌شود. تجهیزات موردنیاز در تصویربرداری ابرطیفی معمولاً شامل منبع نور، اسپکتروگراف و لنز، و دوربین مناسب برای دریافت تصویر در طول‌موج‌های بازه تابشی موردنظر است.

تاکنون، پژوهش‌های اندکی که در خصوص کاربرد فناوری تصویربرداری ابرطیفی برای تخمین باقی‌مانده سموم در محصولات کشاورزی بدون تخریب محصول انجام شده، توانمندی آن را در شناسایی باقی‌مانده سم در سطح محصول تایید کرده‌است [14,15].

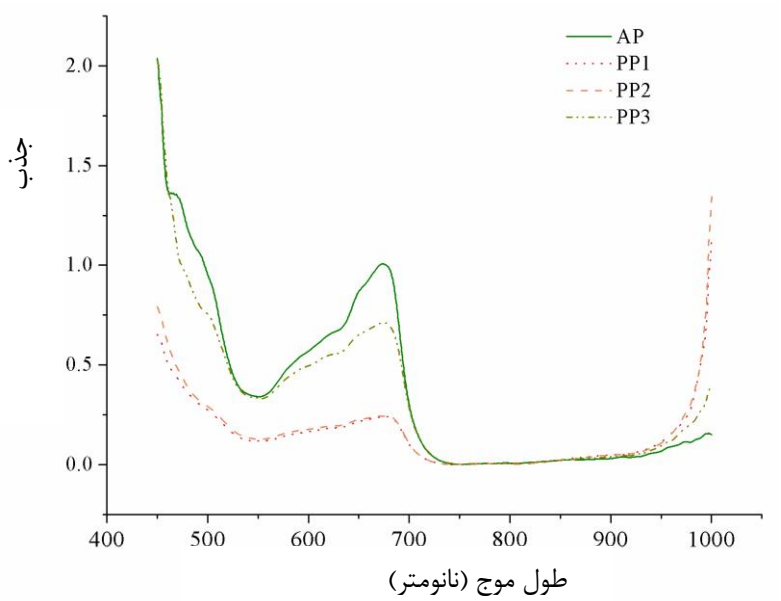
شکل ۳ شماتیکی از چیدمان تصویربرداری ابرطیفی Vis/NIR را نشان می‌دهد که برای تشخیص سم دیکلروووس[5] روی سطح پرتقال ناول استفاده شده است[14]. شکل ۴ نیز دیاگرامی از استخراج داده‌های طیفی از تصاویر ابرطیفی Vis/NIR برگ‌های توت را به همراه طیف‌های بازتاب آنها و با هدف تشخیص باقی‌مانده سم کلرپیریفوس[6]، نشان می‌دهد [15].

با توجه به گران‌قیمت بودن تجهیزات تصویربرداری ابرطیفی همچنین حجم بالای اطلاعات و لزوم پردازش‌های سنگین در این روش، کاربرد این تصاویر بیش‌تر تحقیقاتی بوده و برای طراحی سامانه‌های پرتابل مناسب نیست.

[1] Gas Chromatography
[2] Liquid Chromatography
[3] Mass Spectrometry
[4] Diazinon

[1] Dichlorvos
[2] Chlorpyrifos

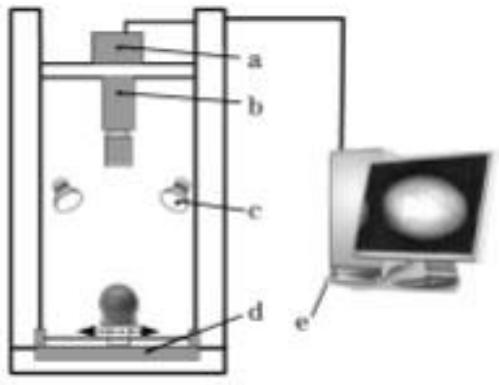
www.SID.ir



شکل (۲) میانگین طیف‌های Vis/NIR جذبی نمونه‌های خیار فاقد و دارای سم با غلظت‌های متفاوت

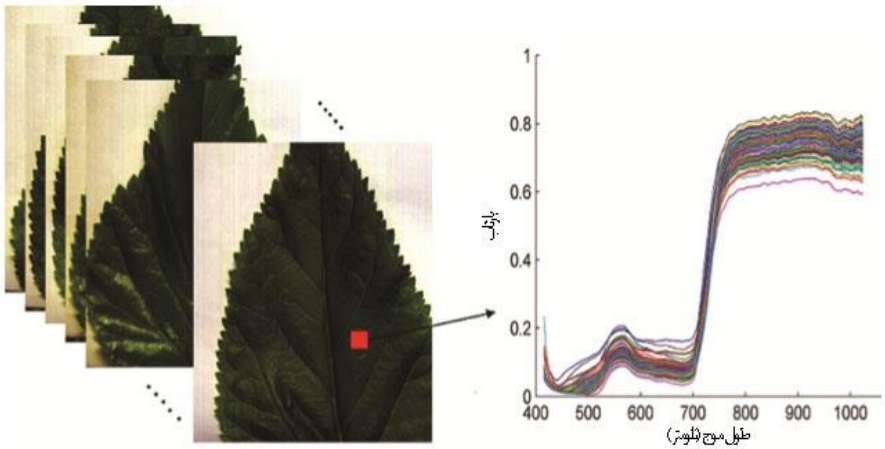
۴- سامانه نوین تشخیص سریع و غیرمخرب باقی‌مانده سموم

سامانه اپتیکی طراحی و ارائه‌شده برای تشخیص و تعیین سریع و غیرمخرب باقی‌مانده سموم در محصولات کشاورزی (شکل ۵) مبتنی بر روش اسپکتروسکوپی Vis/NIR (با طراحی چیدمان اپتیکی مناسب برای دریافت اطلاعات طیفی از درون محصول با دقت و حساسیت بالا) و به‌کارگیری روش‌های شیمی‌سنجی مناسب به منظور پیش‌پردازش‌های طیفی ترکیبی (برای هموارسازی و حذف نویز، نرمال‌سازی و حذف اثرات فیزیکی طیف‌ها ناشی از پخش نور، اندازه محصول و غیره همچنین افزایش قدرت تفکیک طیفی برای دستیابی به اطلاعات جزئی بیش‌تر) و مدل‌سازی‌های چندمتغیره خطی به منظور پیش‌بینی مقدار باقی‌مانده و الگوریتم‌های بازشناسی الگو برای طبقه‌بندی نمونه‌های آلوده از سالم (بر اساس دارا بودن یا نبودن باقی‌مانده سم طبق حد مجاز (MRL)) است. هسته اصلی نرم‌افزار این سامانه نیز مبتنی بر مدل‌های تدوین‌شده برای شناسایی و تعیین مقدار سم عمل کرده و نتایج بررسی را در بخش رابط گرافیکی کاربر نمایش می‌دهد.

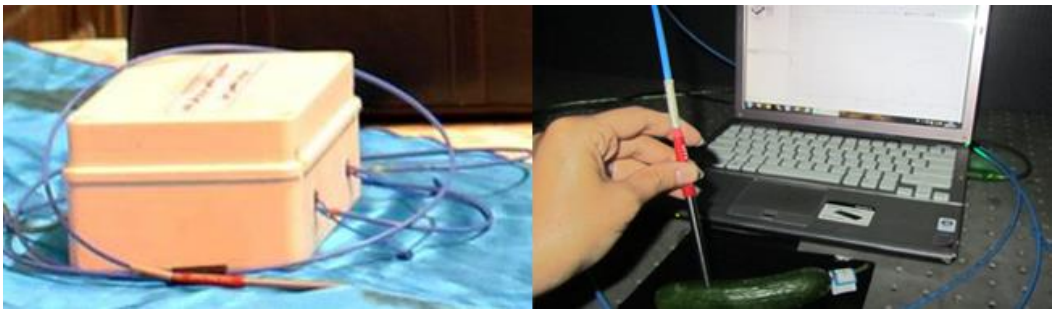


شکل (۳) شماتیکی از چیدمان تصویربرداری ابرطیفی Vis/NIR (a: دوربین CMOS، b: اسپکتروگراف و لنز، c: منابع نور هالوژن، d: تسمه نقاله، e: رایانه) [14]

www.SID.ir



شکل (۴) دیاگرام استخراج داده‌های طیفی و منحنی طیف بازتاب Vis/NIR برگ‌های توت [15]



شکل (۵) سامانه اپتیکی طراحی شده برای تشخیص و تعیین سریع و غیرمخرب باقی‌مانده سم در محصول مبتنی بر روش اسپکتروسکوپی Vis/NIR

۴-۱- بخش‌های اصلی سامانه

سامانه پرتابل طراحی‌شده ترکیب سخت‌افزار و نرم‌افزار و شامل سه بخش اساسی است:

الف- بخش سنجش طیفی و اسپکتروسکوپی Vis/NIR شامل مجموعه منبع نور، تکفام‌ساز، آشکارساز و فیبرهای نوری در بدنه اصلی سامانه به صورت یک مجموعه واحد با چیدمان مناسب (برای جلوگیری از ایجاد اثرات ناخواسته شامل نویزهای دستگاهی و حرارتی) برای سنجش طیفی از نواحی مختلف محصول به منظور دریافت اطلاعات درونی و نفوذکرده به آن، بدون تاثیرپذیری از بازتاب‌های سطحی، طراحی شده است. انتخاب اجزای این بخش و طراحی چیدمان قرارگیری آنها به گونه‌ای انجام شده که سامانه دارای ابعاد کم بوده و ضمن سبک و پرتابل بودن، توانایی دریافت اطلاعات طیفی درونی محصول را بدون هیچ‌گونه تماس یا آسیب‌رسانی به آن داشته باشد و واسنجی اولیه آن به منظور حذف اثرات نور محیطی به راحتی امکان‌پذیر باشد.

ب- مدل‌های تشخیص و تعیین باقی‌مانده سم از دیگر بخش‌های اصلی این سامانه هستند که برای یک جامعه آماری کامل از نمونه‌ها با غلظت‌های مختلف سم و بر اساس مقادیر اندازه‌گیری‌شده به روش‌های مرسوم شیمیایی، تدوین و اعتبارسنجی شده‌اند. برای این منظور بررسی فیزیکی طیف‌های Vis/NIR نمونه‌ها و سم به منظور تعیین نواحی موثر در تشخیص، انجام و بهترین شیوه ترکیبی پیش‌پردازش برای دستیابی به مدل‌های دقیق، مدل طبقه‌بندی نمونه‌های آلوده از سالم مبتنی بر اطلاعات طیفی Vis/NIR آنها و بر اساس دارا بودن یا نبودن باقی‌مانده (بیش‌تر یا کم‌تر بودن مقدار سم از حد مجاز MRL) با کم‌ترین خطای استاندارد و بیش‌ترین دقت طبقه‌بندی به دست آمد. هم‌چنین، بهترین مدل پیش‌بینی‌کننده مقدار باقی‌مانده سم مبتنی بر اطلاعات طیفی Vis/NIR محصول و مقدار سم اندازه‌گیری‌شده به روش مرجع مرسوم نیز تعیین شد.

ج- نرم‌افزار سامانه دارای یک هسته اصلی است که مبتنی بر مدل‌های طبقه‌بندی و پیش‌بینی‌کننده

www.SID.ir

تدوین‌شده، به گونه‌ای نوشته شده که ضمن انجام محاسبات طیفی لازم، تعیین محدوده طیفی، تبدیل اطلاعات بازتاب درونی به جذب (متناسب با غلظت ترکیبات درونی)، میانگین‌گیری طیف‌ها، پیش‌پردازش‌های لازم مبتنی بر بهترین مدل‌های تدوین‌شده را انجام می‌دهد و نتیجه بررسی به همراه طیف‌های اخذ شده و طیف شاخص هر نمونه در بخش رابط گرافیکی کاربر قابل مشاهده است. شکل ۶، نمایشی از ارائه نتیجه بررسی نمونه‌های سالم و آلوده را توسط نرم‌افزار سامانه نشان می‌دهد.

۴-۲- ارزیابی سامانه

مجموعه این سامانه با مطالعه موردی روی سم دیازینون در محصول خیار برای کنترل سریع و غیرمخرب ایمنی نمونه‌های خیار بر اساس دارا بودن یا نبودن باقی‌مانده سم و تعیین مقدار آن سازگار و با اندازه‌گیری‌های مرجع یک مرکز دارای مجوز تعیین باقی‌مانده سموم با روش‌های دستگاهی مرسوم، واسنجی شده است. بر اساس نتایج ارزیابی عملکرد، دقت کل سامانه در شناسایی طبقه نمونه‌ها (سالم یا آلوده) ۹۲/۳۱ درصد بود. طبق نتایج آزمون t زوجی ارائه شده در جدول (۱)، بین مقدارهای پیش‌بینی‌شده سم با سامانه و اندازه‌گیری‌شده با دستگاه GC (روش آزمایشگاهی مرسوم)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود نداشت ($P > ۰/۰۵$). از این رو و با توجه به این‌که ماتریس محصول خیار مشابه حداقل ۵۰ محصول دیگر است و به دلیل قابلیت‌های روش اندازه‌گیری اپتیکی به‌کارگرفته‌شده و نرم‌افزار طراحی‌شده، سامانه مذکور قابل تعمیم برای تشخیص سایر سموم در محصولات کشاورزی (که امکان تدوین مدل‌های مناسب آنها وجود داشته باشد) است.

۴-۳- مزایای سامانه

سامانه پرتابل طراحی‌شده قادر است بدون نیاز به عصاره‌گیری و هیچ‌گونه آسیب‌رسانی به محصول (به صورت کاملاً غیرمخرب) به سادگی توسط افراد غیر متخصص حتی در خارج از آزمایشگاه (مستقیما در مزارع، گلخانه‌ها، میادین تره‌بار و غیره) به منظور تشخیص و تعیین سریع باقی‌مانده سم در محصولات کشاورزی به کار گرفته شود (زمان لازم برای بررسی، کسری از ثانیه است). با توجه به سریع و غیرمخرب بودن اندازه‌گیری با سامانه طراحی‌شده، این سامانه می‌تواند برای بررسی تعداد زیادی نمونه (محصول) در زمان بسیار کوتاه به کار گرفته شود و به دلیل پایین بودن هزینه سیستم نسبت به روش‌ها و دستگاه‌هایی که هم‌اکنون برای اندازه‌گیری باقی‌مانده سموم استفاده می‌شوند، سامانه طراحی‌شده کاملاً از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.

جدول (۱) نتایج آزمون t زوجی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده با سامانه طراحی‌شده و اندازه‌گیری‌شده با دستگاه GC

	میانگین	انحراف استاندارد (SD)	خطای استاندارد میانگین
مقدار پیش‌بینی‌شده با سامانه طراحی‌شده (ppm)	۸/۳۹	۹/۳۲	۲/۲۶
مقدار اندازه‌گیری‌شده با روش مرجع (ppm)	۷/۳۶	۶/۰۹	۱/۴۸
اختلاف (ppm)	۱/۰۳	۴/۶۷	۱/۱۳
مقدار احتمال (P) =۰/۳۷۵			

www.SID.ir

شکل (۶) نتیجه بررسی یک نمونه خیار آلوده (بالا) و یک نمونه خیار سالم (پایین) توسط سامانه و نرم‌افزار طراحی‌شده آن

۵- نتیجه‌گیری

روش‌های نوین اپتیکی در فناوری آزمون غیرمخرب شامل اسپکتروسکوپی NIR و تصویربرداری ابرطیفی می‌توانند به منظور اندازه‌گیری سریع و غیرمخرب باقی‌مانده سموم در محصول استفاده شوند که اسپکتروسکوپی NIR نسبت به تصویربرداری ابرطیفی بسیار مقرون‌به صرفه، کاربردی‌تر و استفاده از آن برای طراحی سامانه‌های پرتابل یا برخط عملی‌تر است. سامانه اپتیکی پرتابل طراحی شده مبتنی بر روش اسپکتروسکوپی Vis/NIR که برای کنترل سریع و غیرمخرب ایمنی نمونه‌های خیار بر اساس دارا بودن یا نبودن باقی‌مانده سم و تعیین مقدار آن سازگار شده، قادر به شناسایی و تفکیک محصولات فاقد و دارای باقی‌مانده سم با دقت بالای ۹۰ درصد است. به این ترتیب، سامانه مذکور می‌تواند به منظور غربالگری اولیه محصول بر اساس دارا بودن یا نبودن باقیمانده سم به صورت سریع و غیرمخرب در هر محلی به کار گرفته شود.

۶- منابع

[1] جمشیدی، ب.؛ مهاجرانی، ع.؛ مینایی، س.؛ جمشیدی، ج.؛ شریفی، ا. (۱۳۹۲) بررسی فیزیکی توانایی اسپکتروسکوپی Vis/NIR برای تشخیص سریع و غیرمخرب باقی‌مانده سموم در محصولات کشاورزی. مجموعه مقالات بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، شیراز، جلد ۲۰، ص ۱۲۸-۱۲۵.

[2] جمشیدی، ب.؛ مهاجرانی، ع.؛ جمشیدی، ج.؛ مینایی، س.؛ شریفی، ا. (۱۳۹۳) اندازه‌گیری غیرمخرب باقی‌مانده سموم در محصولات کشاورزی با اسپکتروسکوپی Vis/NIR و روش‌های شیمی‌سنجی. مجموعه مقالات بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، تهران، جلد ۲۱، ص ۷۶-۷۳.

[3] جمشیدی، ب.؛ مینایی، س.؛ مهاجرانی، ع.؛ قاسمیان، ح. (۱۳۹۳) بررسی اثر پیش‌پردازش‌های مختلف طیفی بر پیش‌بینی غیرمخرب کیفیت پرتقال با اسپکتروفتومتری فروسرخ نزدیک (NIRS). مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۱۵، شماره ۲، ص ۴۴-۲۷.

[4] جمشیدی، ب.؛ مینایی، س.؛ مهاجرانی، ع؛ قاسمیان، ح. (۱۳۹۴) بازشناسی الگوی اسپکتروسکوپی فروسرخ نزدیک برای تفکیک غیرمخرب پرتقال‌ها بر اساس شاخص مزه. نشریه ماشین‌های کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱، ص ۱۱۰-۱۰۱.

[5] Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E., Ghassemian, H. (2012). Reflectance Vis/NIR spectroscopy for nondestructive taste characterization of Valencia oranges. Computers and Electronics in Agriculture, 85, 64-69.

www.SID.ir

[11] Saranwong, S., Kawano, S. (2005). Rapid determination of fungicide contaminated on tomato surfaces using the DESIR-NIR: A system for ppm-order concentration. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 13, 169-175.
[12] Teye, E., Huang, X., 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), 1-8.
[13] Xue, L., Cai, J., Li, Jing. Liu, M. (2012). Application of particle swarm optimization (PSO) algorithm to determine dichlorvos residue on the surface of navel orange with Vis-NIR spectroscopy. Procedia Engineering, 29, 4124-4128.
[14] Li, J., Xue, L., Liu, M., Wang, X., Luo, C. (2010). Hyperspectral imaging technology for determination of dichlorvos residue on the surface of navel orange. Chinese Optics Letters, 8(11), 1050-1052.
[15] Sun, J., Jiang, S., Zhang, M., Mao, H., Wu, X., Li, Q. (2016). Detection of pesticide residues in mulberry leaves using Vis-NIR hyperspectral imaging technology. Journal of Residuals Science and Technology, 13, S125-S131.
[6] Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E., Ghassemian, H. (2014). Prediction of soluble solids in oranges using visible/near-infrared spectroscopy: Effect of peel. International Journal of Food Properties, 17, 1460-1468.
[7] Jamshidi, B., Mohajerani, E., Jamshidi, J. (2016). Developing a Vis/NIR spectroscopic system for fast and non-destructive pesticide residue monitoring in agricultural product. Measurement, 89, 1-6.
[8] Jamshidi, B., Mohajerani, E., Jamshidi, J., Minaei, S., Sharifi, A. (2015). Non-destructive detection of pesticide residues in cucumber using visible/near-infrared spectroscopy. Food Additives & Contaminants-Part A, 32(6), 857-863.
[9] Salguero-Chaparro, L., Gaitán-Jurado, A. J., Ortiz-Somovilla, V., Peña-Rodríguez, F. (2013). Feasibility of using NIR spectroscopy to detect herbicide residues in intact olives. Food Control, 30, 504-509.
[10] Sánchez, M.T., Flores-Rojas, K., Guerrero, J. E., Garrido-Varo, A., Pérez-Marín, D. (2010). Measurement of pesticide residues in peppers by near-infrared reflectance spectroscopy. Pest Management Science, 66, 580-586.

Rapid detection of pesticide-contaminated product using novel methods of NDT Technology

Bahareh Jamshidi
Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. b.jamshidi@areeo.ac.ir

Abstract
Although pesticides which are used to control plant pests and diseases increase the productivity, they have the potential to contaminate the environment and foods. By using pesticides excessively or incorrectly during production, ignoring the degradation period of pesticides and early harvesting, transferring to the market and selling the products immediately or a few days after spraying, the pesticides residue will exceed the maximum residue limits, thus indicating a potential risk to consumer health and safety. To ensure public health, it is essential to detect and determine pesticides contamination of agricultural products especially fruits and vegetables. Currently, several different destructive technologies are used to determine the concentration of pesticides residue which are destructive, have a highly time-consuming sample preparation, are very expensive, and require well-trained personnel and advanced laboratories. Therefore, development of a non-destructive, fast, simple, low-cost, environmentally friendly and reliable detection technique of pesticides residue is imperative. In this paper, some advances in non-destructive testing technology which can use for rapid detection of pesticides-contaminated product are presented and a novel portable system designed based on visible/near-infrared spectroscopy is introduced for this end.

Keywords: Hyperspectral Imaging, NDT Technology, NIR, Pesticide Residue, Spectroscopy.

www.SID.ir