وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی:

روش‌ها و فناوری‌های تشخیص سریع و غیرمخرب انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه

بهاره جمشیدی و حسین فرازمند

AERI

سال انتشار: ۱۴۰۲

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، کدپستی: ۳۱۳۵۹۱۳۵۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir(بخش انتشارات الکترونیکی)

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریهٔ فنی:

روش‌ها و فناوری‌های تشخیص سریع و غیرمخرب انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه

تهیه و تدوین

بهاره جمشیدی و حسین فرازمند

اعضای هیئت علمی به‌ترتیب مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مؤسسهٔ تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور

سال انتشار
۱۴۰۲

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نوع نوشتار: نشریهٔ فنی
عنوان نوشتار: روش‌ها و فناوری‌های تشخیص سریع و غیرمخرب انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه
نگارندگان: بهاره جمشیدی و حسین فرازمند
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
صفحه‌آرا: شبنم جباری
طراح جلد: سمیه وطن‌دوست
ناشر: مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۲

مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ٦٤١٤٣ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۲/۰٦/۱۳

مخاطبان نشریه:

سـازندگان و تولیدکنندگان تجهیزات و ابزار دقیق، تولیدکنندگان و صـادرکنندگان انار، کارشناسان پهنه

هدف‌های آموزش:

شما خوانندگان گرامی در این نشریهٔ فنی با:

- آفت کرم گلوگاه انار و خسارت‌های ناشی از آن
- روش‌های پیشگیری و کنترل آفت کرم گلوگاه انار
- روش‌های مرسوم تشخیص انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه
- روش‌ها و فناوری‌های تشخیص سریع و غیرمخرب انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
۱- مقدمه	۱
۲- آفت کرم گلوگاه انار و خسارت‌های ناشی از آن	۲
۳- روش‌های پیشگیری و کنترل آفت کرم گلوگاه انار	۴
٤- روش‌های مرسوم تشخیص انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه	۵
۵- روش‌ها و فناوری‌های تشخیص سریع و غیرمخرب انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه	۹
۵-۱- تصویربرداری پرتو ایکس (X)	۹
۵-۲- تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI)	۱۳
۵-۳- طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIR)	۱۵
٦- نتیجه‌گیری و پیشنهادها	۲۰
فهرست منابع	۲۱

۱- مقدمه

انار (*Punica granatum*) یکی از محصولات مهم و استراتژیک کشور ایران است. عمدۀ انار ایران در استان‌های فارس، مرکزی، یزد، سمنان، خراسان رضوی و اصفهان تولید می‌شود. طبق آمارنامۀ کشاورزی، تولید این محصول در ایران در سال ۱۴۰۰ حدود ۱٫۱۶ میلیون تن بوده است (بی‌نام، ۱۴۰۱).

با توجه به مرغوبیت ویژه و ارگانیک‌بودن انار ایران، صادرات این محصول موقعیت بسیار خوبی در دنیا دارد. با این حال، درصد تغییرات وزنی و ارزشی انارهای صادراتی در سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۲۳٫۴- و ۵۴- بوده است (عبادزاده و همکاران، ۱۴۰۰). به منظور ارتقای جایگاه صادراتی انار لازم است شرایط مناسب‌تر تولید، بسته‌بندی، انبارداری، بازاریابی و بازاررسانی این محصول فراهم شود تا با ارائۀ محصولی یک‌دست و مطابق با استانداردهای بین‌المللی و بدون هیچ‌گونه آفت و بیماری، بتوان افزون بر بازارهای موجود در دیگر بازارهای بین‌المللی نیز وارد شد (شاکری، ۱۳۸۷؛ جمشیدی، ۱۳۹۷الف).

یکی از مهم‌ترین مشکلات در مناطق انارکاری، وجود آفت مهم کرم گلوگاه انار (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lep.: Pyrallidae)) است. با توجه به این‌که وجود این آفت از اصلی‌ترین عوامل محدودکنندۀ تولید و صادرات انار در ایران است، کنترل غیر شیمیایی و تشخیص آن بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

آفت کرم گلوگاه انار در مراحل اولیه، قابل تشخیص نیست و به عنوان آفتی پنهان بدون ایجاد نشانه‌های ظاهری در میوه به حساب می‌آید. بنابراین، انارهای دارای آلودگی پنهان ممکن است شناسایی نشوند و در دورۀ انبارداری به میوه‌های سالم اطراف نیز آسیب برسانند. وجود آلودگی پنهان در انار چالشی اساسی برای صادرات است (جمشیدی، ۱۳۹۷الف). از این رو، توسعه و کاربرد روش‌ها و فناوری‌های نوین و پیشرفته برای تشخیص سریع انارهای آلوده به کرم گلوگاه به‌ویژه در مراحل اولیۀ رشد آفت بسیار اهمیت دارد.

هدف از این نوشتار، معرفی روش‌ها و فناوری‌های تشخیص سریع و غیرمخرب انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه و بیان مزایا و معایب آن‌ها به منظور آگاهی بهره‌برداران است. امید است مطالب این نشریه به توسعه و کاربرد روش‌ها و فناوری‌های مناسب با قابلیت تشخیص سریع و غیرمخرب انارهای آلوده به این آفت در مراحل اولیهٔ رشد لاروی و بدون نشانه‌های ظاهری با هدف تضمین کیفیت و سلامت محصول و ارتقای جایگاه صادراتی انار و ارزآوری کمک کند.

۲- آفت کرم گلوگاه انار و خسارت‌های ناشی از آن

کرم گلوگاه مهم‌ترین آفت انار در خاورمیانه و به‌ویژه ایران است. این آفت به میوه‌ها در مراحل پیش از برداشت و پس از برداشت حمله می‌کند و ضمن تغذیه از میوه و کاهش کمّی و کیفی محصول، سبب بروز مشکلاتی در انبارداری و به‌ویژه صادرات انار و کاهش قابل توجهی در بازارپسندی آن می‌شود. در مورد میزان خسارت کرم گلوگاه انار آمار و ارقام متفاوتی ارائه و میزان خسارت در ارقام مختلف انار بین ۱۵ تا ۹۰ درصد گزارش شده است. این آفت به طور متوسط، سالیانه ۴۰-۳۰ درصد محصول انار را در مراحل سردرختی و انبار، ضایع و غیر قابل مصرف می‌کند (جمشیدی، ۱۳۹۷الف).

در حال حاضر پوسیدگی میوهٔ انار در انبار یا در مراحل بازاررسانی، مهم‌ترین مشکل انبارداری و مانع عمدهٔ صادرات انار محسوب می‌شود. بیش از ۲۵ گونه و جنس قارچ یا باکتری به عنوان عامل پوسیدگی و ترشیدگی میوهٔ انار از سراسر جهان گزارش شده است. گونه‌های مختلف از قارچ‌های *آسپرژیلوس* (*Aspergillus* spp.) به‌ویژه گونهٔ *A. niger* و *پنیسیلیوم* (*Penicillium* spp.) مهم‌ترین این بیمارگرها هستند. پوسیدگی به‌طور عمده از باغ شروع می‌شود و شب‌پرهٔ کرم گلوگاه انار، نقش کلیدی در انتقال قارچ‌های بیمارگر و سایر پاتوژن‌ها به درون میوهٔ انار و شروع آلودگی دارد. آفت کرم گلوگاه انار، ۴ نسل دارد. لاروهای سنین مختلف کرم گلوگاه انار، زمستان را در داخل میوه‌های آلوده می‌گذرانند، میوه‌هایی که زیر درخت‌ها ریخته شده‌اند یا روی درخت باقی مانده‌اند یا در انبارها ذخیره شده‌اند. لاروها در این میوه‌ها تبدیل به شفیره می‌شوند. شب‌پره‌های نسل زمستان‌گذران پس از خروج از

پوستهٔ شفیرگی در طبیعت ظاهر می‌شوند. شب‌پره‌هایی که در زمان گل ظاهر می‌شوند، روی پرچم گل‌های انار و شب‌پره‌های نسل‌های بعدی روی پرچم‌های میوهٔ انار تخم‌ریزی می‌کنند و ضمن آلودگی گل‌ها و میوه‌های انار موجب ریزش بیش‌تر آن‌ها می‌شوند. لاروهای سن اول پس از تفریخ، از سطح داخلی کاسبرگ تغذیه می‌کنند و از اواخر سن دوم یا اوایل سن سوم لاروی با ایجاد سوراخ در محوطهٔ داخلی تاج یا گلوگاه به داخل میوه راه می‌یابند و ایجاد آلودگی می‌کنند. آلودگی ایجادشده توسط لاروهای کرم گلوگاه انار به‌ویژه لاروهای سن دو و سه، به دلیل تغذیهٔ آن‌ها از بخش‌های درونی میوه است و معمولاً نشانهٔ ظاهری روی انار دیده نمی‌شود. این مسئله سبب نفوذ قارچ‌های بیمارگر و دیگر پاتوژن‌ها به درون میوه می‌شود که آن را نه تنها برای مصرف تازه‌خوری بلکه برای استفاده در صنعت فراوری تبدیل به محصولی نامناسب و غیرقابل قبول می‌کند (گسیلی و همکاران، ۱۳۸۵؛ شاکری، ۱۳۸۷؛ فرازمند، ۱۳۹۱؛ فرازمند، ۱۳۹۵).

شکل ۱، نسل‌های آفت کرم گلوگاه انار را نشان می‌دهد.

تخم حشره روی میلهٔ پرچم

لارو کرم گلوگاه انار

شفیرهٔ کرم گلوگاه انار

شب‌پرهٔ کرم گلوگاه انار

شکل ۱- نسل‌های مختلف کرم گلوگاه انار

تشخیص آلودگی در میوه‌هایی که در زمان برداشت بر اثر نسل آخر شب‌پره یا نسل دوم (در سنین اولیهٔ لاروی) مورد حمله قرار می‌گیرند، به دلیل تفریخ‌نشدن تخم و واردشدن لاروهای سن یک به درون میوه، مشکل است. از سوی دیگر، گاهی لاروهای سنین بالاتر در میوه وجود دارد اما هیچ‌گونه نشانهٔ ظاهری مبنی بر آلوده‌بودن میوه نمایان نمی‌شود و به این ترتیب تعدادی از این میوه‌ها به عنوان میوهٔ سالم وارد انبار می‌شوند یا در بسته‌های

صادراتی قرار می‌گیرند و بعد از مدتی کوتاه آثار پوسیدگی در این میوه‌ها آشکار و کانون‌های اولیهٔ آلودگی تشکیل می‌شود و باعث خواهد شد میوه‌های مجاور نیز آلوده شوند.

۳- روش‌های پیشگیری و کنترل آفت کرم گلوگاه انار

کرم گلوگاه انار بخشی از باغداری انار است. حذف کامل این آفت امکان‌پذیر نیست. این در حالی است که با یک برنامهٔ جامع مدیریتی و استفاده از روش‌های پیشگیری و کنترل یا درپیش‌گرفتن عملیات هماهنگی که باید از پیش از کاشت درخت گیاه شروع و تا پس از برداشت ادامه یابد، می‌توان خسارات ناشی از این آفت را کاهش داد و محصول سالم‌تری تولید کرد. برخی از روش‌های پیشگیرانه در مراحل کاشت و داشت درختان انار که به کاهش خسارت ناشی از آفت کرم گلوگاه کمک می‌کند (امامی، ۱۳۹۵؛ فرازمند، ۱۳۹۱؛ فرازمند، ۱۳۹۵) عبارت‌اند از:

- انتخاب رقم مناسب با حساسیت کم‌تر به خسارت آفت کرم گلوگاه.
- خودداری از کاشت مخلوط درختان انار با دیگر درختان میوهٔ میزبان آفت کرم گلوگاه.
- کاشت صحیح نهال به‌گونه‌ای که طوقهٔ آن بالاتر از خاک باشد و در هنگام آبیاری، طوقه با آب در تماس نباشد.
- رعایت فاصلهٔ مناسب کاشت بین درختان.
- آبیاری منظم و کافی متناسب با بافت خاک و نیاز آبی گیاه به‌ویژه در ماه‌های گرم سال.
- تغذیهٔ بهینه درختان بر اساس آزمون‌های خاک و برگ.
- هرس زمستانه و هرس سبز درختان.
- نگه‌داری پوشش سبز در کف باغ و کاشت گیاهان گل‌دار و شهدزا در باغ برای حفظ زنبورهای تریکوگراما و دیگر دشمنان طبیعی.

- رعایت بهداشت باغ و کنترل دیگر آفات و بیماری‌های درخت انار و کنترل علف‌های هرز.

در خصوص کنترل کرم گلوگاه انار، به دلیل ویژگی‌های زیستی آفت و فعالیت پنهان لاروهای آن که عموماً استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی را ناممکن می‌کند، بیش‌تر روش‌های کنترل توصیه‌شده غیر شیمیایی و مبتنی بر روش‌های زراعی و مکانیکی است. برخی از روش‌های کنترل و مبارزه غیر شیمیایی با آفت کرم گلوگاه انار (شیخ‌علی و همکاران، ۱۳۸۸؛ فرازمند، ۱۳۹۱؛ فرازمند، ۱۳۹۵؛ مذهب و همکاران، ۱۳۹۳) عبارت‌اند از:

- جمع‌آوری انارهای آلوده در فصل زمستان و در مرحله داشت و برداشت.
- پرچم‌زدایی یا حذف پرچم‌ها با استفاده از ابزار پرچم‌زدای انار.
- پوشش‌گذاری میوهٔ انار.
- مبارزهٔ زیستی با کاربرد زنبورهای پارازیتوئید تریکوگراما.
- استفاده از جلب‌کننده‌ها و دورکننده‌ها مانند فرمون جنسی، کائولین، ترکیبات گوگردی و گیاه‌پایه.

باید توجه داشت که هیچ‌یک از این روش‌ها به تنهایی قادر به کنترل آفت نیست و کنترل منطقی و اثربخش کرم گلوگاه انار تنها در قالب کنترل تلفیقی می‌تواند امکان‌پذیر باشد (فرازمند، ۱۳۹۵). بنابراین، ایجاد سایت‌های جامع الگویی انار در مناطق مختلف انارکاری و آموزش مستمر انارکاران در خصوص روش‌های مدیریت تلفیقی می‌تواند در کنترل این آفت و کاهش خسارت ناشی از آن بسیار مؤثر واقع شود.

٤- روش‌های مرسوم تشخیص انارهای آلوده به کرم گلوگاه

با وجود معرفی روش‌های غیر شیمیایی کنترل آفت کرم گلوگاه انار و برخلاف استفاده از روش‌های مبارزه با این آفت به‌ویژه پرچم‌زادیی که از الزامات انارهای صادراتی است و امکان وجود تخم شب‌پرهٔ کرم گلوگاه را در تاج انار به حداقل می‌رساند (گسیلی و همکاران،

۱۳۸۵)، هم‌چنان مشکل وجود آفت و آلودگی‌های ناشی از آن (مربوط به نسل‌های دیگر آفت) بدون هیچ‌گونه نشانهٔ ظاهری در انارهای صادراتی مشاهده می‌شود.

پیش‌تر گفته شد که این آفت در مراحل اولیه قابل تشخیص نیست و به عنوان آفتی پنهان بدون ایجاد نشانه‌های ظاهری در میوه به حساب می‌آید. از اولین نشانه‌های ظاهری انار که نشان از آلودگی آن به آفت کرم گلوگاه دارد، وجود لکهٔ سیاه در اطراف گلوگاه است. به تدریج فعالیت لارو این آفت موجب لهیدگی، ترشیدگی، سیاه‌شدن رنگ میوه و ایجاد ضایعات این محصول می‌شود. شکل ۲ نشانه‌های آلودگی و خسارت کرم گلوگاه انار را نشان می‌دهد. باغداران انار به طور معمول بر اساس تجربه و بررسی چشمی انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه را تشخیص می‌دهند که البته روشی زمان‌بر و غیر دقیق است. این روش در مراحل اولیهٔ رشد آفت که نشانه‌های ظاهری در میوه دیده نمی‌شود، روشی نامطمئن است. شکل ۳ یک انار آلوده به آفت کرم گلوگاه را با کم‌ترین نشانه‌های ظاهری روی میوه نشان می‌دهد که باغدار آن را تشخیص داده است.

روش مرسوم دیگر استفاده از پمپ باد است (شکل ۴) که پیش از صدور محصول در برخی مناطق برای تشخیص انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه به‌کار گرفته می‌شود که نشانه‌های ظاهری آلودگی را ندارند.

شکل ۲- نشانه‌های آلودگی و خسارت آفت کرم گلوگاه انار

شکل ۳- تشخیص انار آلوده به آفت کرم گلوگاه با نشانهٔ ظاهری کم توسط باغدار

شکل ٤- استفاده از پمپ باد برای تشخیص انارهای آلوده به کرم گلوگاه

در روش پمپ باد، باد تحت فشار به داخل تاج یا گلوگاه انار پمپ می‌شود. ترکیدن میوه در اثر ورود باد تحت فشار از محل تاج انار نشانهٔ وجود منفذ ناشی از ورود آفت در آن محل و آلوده‌بودن آن به آفت کرم گلوگاه است. این روش اگرچه می‌تواند تا حدی در شناسایی و حذف انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه مؤثر باشد ولی در مراحل اولیهٔ رشد آفت روشی است با دقت کم، مشکل، وقت‌گیر، تخریبی و نامطمئن.

به طور کلی روش‌های مرسوم تشخیص انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه کارآیی لازم را ندارند به طوری‌که خسارات ناشی از این آفت هم‌چنان سبب بروز مشکلاتی در انبارداری و به‌ویژه صادرات انار و کاهش قابل توجهی در بازارپسندی این محصول می‌شود. بنابراین، و به دلیل الزامات دستورالعمل بسته‌بندی صادراتی انار مبنی براین‌که میزان انارهای آفت‌زده بیش از ۳ درصد نباشد (گسیلی و همکاران، ۱۳۸۵)، ابداع روش یا ابزاری برای تشخیص

سریع انارهای آلوده از سالم، به‌ویژه در مراحل اولیهٔ رشد آفت که هیچ‌گونه نشانهٔ ظاهری وجود ندارد، به شدت احساس می‌شود و حائز اهمیت است. در این راستا، شناسایی سریع، غیرمخرب و ناآلاینده‌بودن روش‌ها یا فناوری‌های پیشنهادی به منظور تشخیص کرم گلوگاه انار یا خسارت ناشی از آن در مرحلهٔ انبارداری یا صادرات محصول و در راستای تضمین کیفیت این میوه بسیار بااهمیت است.

۵- روش‌ها و فناوری‌های تشخیص سریع و غیرمخرب انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه

در خصوص تشخیص غیرمخرب آفت کرم گلوگاه انار و خسارت‌های درونی ناشی از حملهٔ آن در میوه اگرچه هنوز روش و ابزاری به صورت تجاری معرفی و ارائه نشده است، ولی کاربرد برخی روش‌ها و فناوری‌های غیرمخرب برای این منظور امکان‌سنجی و توانمندی تعدادی از آن‌ها تایید شده است که البته هر یک از آن‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارد. در این بخش، روش‌ها و فناوری‌های غیرمخربی معرفی می‌شوند که توانایی آن‌ها برای تشخیص آفت کرم گلوگاه انار یا آلودگی و خسارت ناشی از آن بررسی و تایید شده است.

۵-۱- تصویربرداری پرتو ایکس[1] (X)

تصویربرداری پرتو X یکی از روش‌های غیرمخرب است که بیش‌تر در تجهیزات تصویربرداری پزشکی به منظور تشخیص بیماری‌ها و پیشرفت آن‌ها برای برنامه‌ریزی دورهٔ درمان بیماری و نیز به منظور تشخیص آسیب‌ها، ناهنجاری‌های ساختاری، و اجسام خارجی کاربرد دارد. تجهیزات تصویربرداری پزشکی با پرتو X منبعی برای تولید پرتو X دارند. هنگامی‌که پرتو X در حال عبور از بدن است، در مقادیر مختلف توسط بافت‌های مختلف بدن جذب و به این ترتیب تصاویری از استخوان‌ها و اندام‌ها ایجاد می‌شود. بافت‌های با تراکم بیش‌تر تصویر سفیدتری نسبت به بافت‌های دیگر در پس‌زمینهٔ سیاه ایجاد می‌کنند.

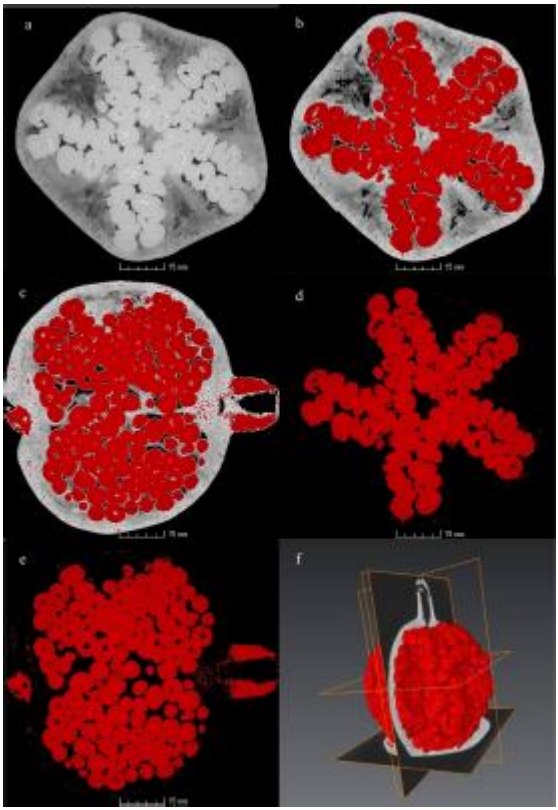
1- X-ray Imaging

از پرکاربردترین تصویربرداری‌های پرتو X، رادیوگرافی[1] و از مهم‌ترین تجهیزات تصویربرداری پرتو X، توموگرافی کامپیوتری پرتو X[2] یا اصطلاحاً سی‌تی اسکن (CT) است که امکان ایجاد تصاویر سه‌بعدی را از استخوان‌ها و اندام‌ها فراهم می‌کند.

امروزه کاربرد تصویربرداری پرتو X برای تشخیص عیوب و بررسی ساختار درونی برخی میوه‌ها از جمله انار مورد توجه قرار گرفته ولی توجه اندکی به کاربرد این روش در خصوص تهاجم حشرات به میوه‌ها و محصولات کشاورزی شده است. این روش اگرچه می‌تواند نتایج قابل قبولی از تعیین کیفیت و احتمالاً تشخیص حشرات درون میوه‌ها ارائه دهد ولی کاربرد آن در تجهیزاتی که قابل استفاده در خطوط بازرسی و کنترل فرایند درخط/برخط محصول باشد، عملی و اقتصادی نیست.

در این راستا، کاربرد روش توموگرافی کامپیوتری پرتو X به منظور بررسی غیرمخرب ساختار درونی و درصد بخش خوراکی به غیرخوراکی انار، امکان‌سنجی و توانایی آن برای تشخیص وجود مواد ناشناخته با تراکم متفاوت نسبت به بافت میوه از قبیل لارو حشرات، آلودگی ناشی از بیماری و آسیب‌های فیزیولوژیکی درونی انار تایید شده است. شکل ۵ مراحل پردازش تصویر برای توموگرام‌های کامپیوتری پرتو X از نمونه‌های انار را از مرحلهٔ فیلترینگ تا بازسازی مدل سه‌بعدی با چیدن برش‌های شناور بخش خوراکی میوه در امتداد سه محور نشان می‌دهد (Magwaza and Opara, 2014).

1- Raidography
2- X-ray Computed Tomography

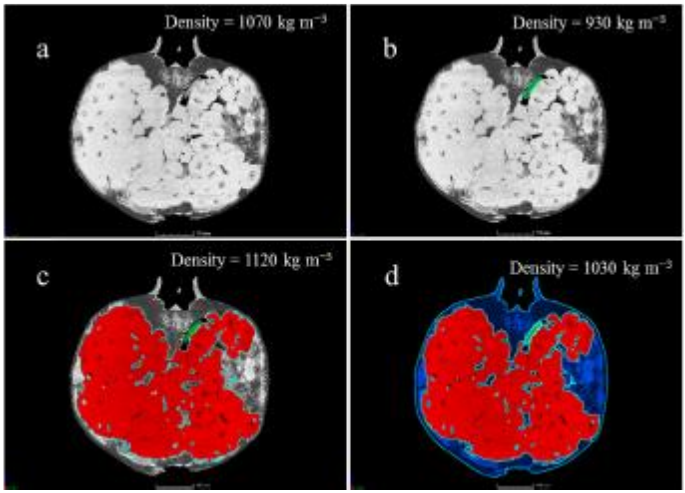


شکل ۵- مراحل پردازش تصویر نمونهٔ انار با توموگرافی کامپیوتری پرتو X

کاربرد میکرو توموگرافی کامپیوتری پرتو X[1] (µCT) برای تشخیص آسیب‌های درونی ناشی از آفت شب‌پرهٔ کاذب سیب[2]، *Thaumatotibia leucotreta* (Meyrick), (Lep.: Tortricidae) ، و بیماری پوسیدگی آلترناریایی میوه[3] در انار نیز بررسی و توانایی آن در این خصوص تایید شده است. شکل ۶ مراحل تجزیه و تحلیل تصویر را با استفاده از میکرو توموگرافی کامپیوتری پرتو X شامل تصویر خام، بخش‌بندی لارو آفت، بخش‌بندی و تعیین

1- Microfocus X-ray Computed Tomography
2- False Codling Moth
3- Alternaria Fruit Rot (Black Heart) Disease

سطح قسمت خوراکی، و تعیین سطح قسمت اسفنجی انار نشان می‌دهد (Arendse *et al.*, 2016).



شکل ٦- مراحل پردازش تصویر نمونهٔ انار دارای لارو آفت شب‌پرهٔ کاذب سیب با میکرو توموگرافی کامپیوتری پرتو X

به نظر می‌رسد تصویربرداری پرتو X می‌تواند نتایج خوبی به منظور تشخیص حضور لارو حشرات و آسیب‌ها و هجوم بیماری درون محصول را فراهم کند، اما کاربرد این روش نیاز به زمان زیاد برای اجرای آزمون و جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌ها دارد. از سوی دیگر، این روش پرهزینه است و از این رو، کاربرد آن به دلیل زمان‌بر و پرهزینه‌بودن و نیز نبود امکان استفاده در مبادی صادرات یا خطوط کنترل کیفیت، اقتصادی و عملی نیست. نسبت به دیگر روش‌های غیرمخرب، تصویربرداری پرتو X پرهزینه، پیچیده و دارای تجهیزات بسیار بزرگ است و می‌تواند ایمنی کاربر را به خطر اندازد (Kotwaliwale *et al.*, 2014; Arendse *et al.*, 2016, 2018; Adedeji *et al.*, 2020; Okere *et al.*, 2022). از سوی دیگر، محدودیت‌های قانونی در استفاده از پرتو خطرناک X را نباید نادیده گرفت، پرتوی که سبب برانگیختگی هسته و شکستن مولکول در محصول پرتودهی‌شده می‌شود و اکسیدهای خطرناک را در نمونه‌های آب‌دار مانند میوه‌ها تولید می‌کند. توجه‌نکردن

به این مسائل می‌تواند این روش را به روشی مخرب و آلاینده با آثار تخریبی پنهان تبدیل کند و عوارض جبران‌ناپذیری در خصوص سلامت مصرف‌کنندگان به بار آورد.

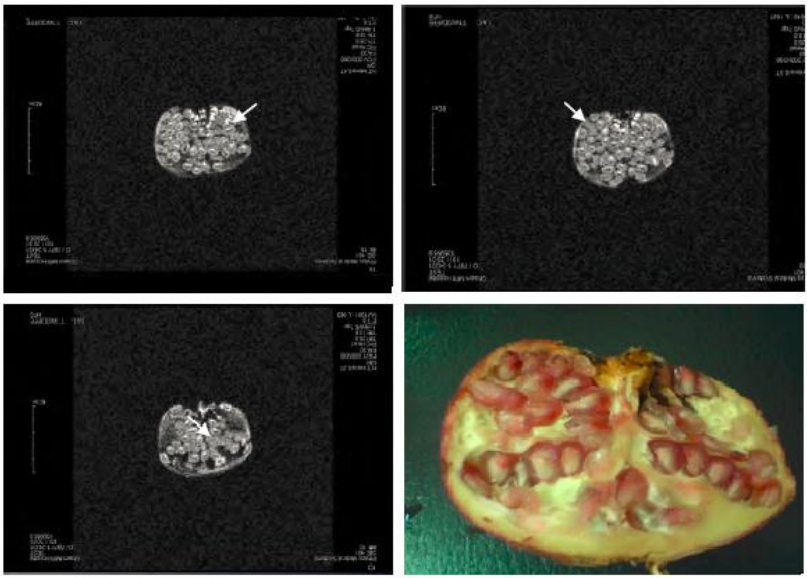
۵-۲- تصویربرداری رزونانس مغناطیسی[1] (MRI)

تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI) روش تشخیصی غیرمخرب در پزشکی و دام‌پزشکی است و اساس کار آن بر پایهٔ تشدید یا رزونانس مغناطیسی هسته[2] تعریف می‌شود و با تجهیزات پیشرفتهٔ MRI اجرا می‌شود. در این روش، از یک میدان مغناطیسی به همراه امواج رادیویی برای ایجاد تصاویری دقیق از اعضای بدن استفاده می‌شود که به تشخیص بیماری و درمان آن با مشاهدهٔ ضایعه‌ها، عوارض و اختلالات احتمالی موجود در هر قسمت از بدن کمک می‌کند. به طور کلی در این روش، یک میدان مغناطیسی قوی در اطراف بدن ایجاد و سپس امواج رادیویی به سمت بدن هدایت می‌شود. بدن بیمار به دلیل داشتن آب، مملو از اتم‌های هیدروژن است که تابش امواج رادیویی آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به گونه‌ای‌که با تابش امواج رادیویی به بدن، هستهٔ اتم‌های هیدروژن همگی در موقعیت متفاوتی قرار می‌گیرند و پس از قطع تابش دوباره به حالت اول باز می‌گردند و از خود امواج رادیویی ساطع می‌کنند که توسط گیرنده‌های دستگاه دریافت و به کامپیوتر فوق تخصصی دستگاه با توان محاسباتی زیاد برای ایجاد تصاویر دو یا سه‌بعدی ارسال می‌شود. در تصاویر MRI، بافت‌هایی که کم‌ترین اتم‌های هیدروژن را دارند (مانند استخوان‌ها) تیره و بافت‌های دارای اتم‌های هیدروژن زیاد (مانند بافت چربی) روشن‌تر دیده می‌شوند.

از روش MRI برای تشخیص کیفیت و عیوب درونی برخی میوه‌ها استفاده شده است. این روش اگرچه قادر به تولید تصاویر با وضوح زیاد از ساختار درونی میوه‌ها است ولی هزینه زیاد تجهیزات و سرعت اندازه‌گیری پایین از معایب این روش به حساب می‌آید (Zerbini, 2006; Jamshidi *et al.*, 2019).

1- Magnetic Resonance Imaging
2- Nuclear Magnetic Resonance

از روش MRI با موفقیت برای تشخیص بیماری پوسیدگی آلترناریایی میوهٔ انار (Zhang and McCarthy, 2012) و نیز مطالعهٔ تغییرات در مراحل رسیدگی و تشخیص آسیب‌های درونی انار (Khoshroo *et al.*, 2009) استفاده شده است، و از این رو کاربرد آن برای تشخیص خسارت ناشی از حملهٔ حشرات در میوهٔ انار نیز پیشنهاد شده است. در این راستا، کاربرد روش MRI به طور ویژه برای تشخیص غیرمخرب کرم گلوگاه انار بررسی و تایید شده است که این روش توانایی خوبی در تشخیص عارضهٔ کرم گلوگاه انار در مراحل اولیه دارد. این عارضه در تصویرهای MRI به صورت سفید دیده می‌شود، چون در اثر فعالیت لارو بافت محل لهیده و تخریب می‌شود و آب بیش‌تری نسبت به اطراف دارد. شکل ۷ تصویرهای MRI میوهٔ انار آلوده به آفت کرم گلوگاه را نشان می‌دهد (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۷- تصویرهای MRI میوهٔ انار آلوده به آفت کرم گلوگاه

به نظر می‌رسد روش‌های مبتنی بر NMR می‌توانند نتایج خوبی در تشخیص میوه‌های سالم از میوه‌های آسیب‌دیده ارائه دهند ولی حساسیت آن‌ها نسبت به روش‌های شیمیایی کم‌تر است. به دلیل پیچیدگی، دارا بودن پتانسیل به خطر انداختن سلامتی، پرهزینه‌بودن و زمان‌بربودن این روش‌ها، به‌کارگیری آن‌ها در مبادی صادرات یا خطوط درخط/برخط کنترل کیفیت محصول به منظور تشخیص سریع و دقیق محصول آفت‌زده از سالم نه عملی است، نه اقتصادی و نه منطقی (Adedeji *et al.*, 2020; Arendse *et al.*, 2018; Jamshidi *et al.*, 2019; Okere *et al.*, 2022).

۵-۳- طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک[1] (NIR)

طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIR) روش تشخیصی غیرمخرب مبتنی بر اصول اپتیکی است. این روش، در مقایسه با روش‌های غیرمخرب دیگر مانند NMR و تصویربرداری پرتو X و MRI که تنها قادر به نمایش ساختار درونی مواد هستند، با اندازه‌گیری‌های بازتاب یا عبور تابش NIR از یک مادهٔ بیولوژیک، توانایی نمایش جزئیات ترکیبی و غذایی آن و اندازه‌گیری ترکیبات درونی ماده را دارد (جمشیدی، ۱۳۹۷الف).

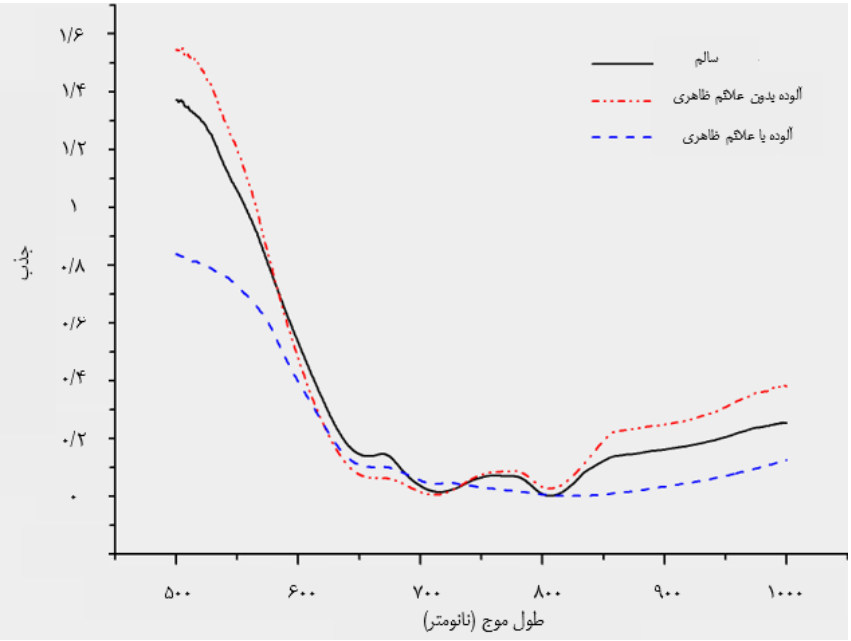
ناحیهٔ NIR از طیف الکترومغناطیس، محدودهٔ طول موجی ۷۸۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر را شامل می‌شود. هنگامی‌که تابش NIR به مادهٔ بیولوژیک مانند میوه برخورد می‌کند، تنها فرکانس‌های مشخصی از تابش که با فرکانس‌های ارتعاشی مولکول هم‌آهنگ هستند، جذب مولکول می‌شوند و نوعی طیف جذبی قابل دستیابی است. ناحیه‌های جذب تابش NIR، می‌تواند به دلیل اورتون‌ها و شیوه‌های ترکیبی ارتعاش‌های اصلی گروه‌های عاملی O–H، C–H، N–H، S–H، و C=O باشد که در ترکیبات شیمیایی یک مادهٔ بیولوژیک وجود دارند. بنابراین، از اطلاعات طیف جذبی مادهٔ بیولوژیک در ناحیهٔ NIR می‌توان غلظت برخی ترکیبات شیمیایی آن یا ترکیبات خارجی واردشده به آن را تخمین زد. به دلیل پیچیدگی‌های زیاد طیف نمونهٔ بیولوژیک، نسبت دادن نواحی جذب به گروه‌های عاملی یا ترکیب‌های

1- Near-infrared Spectroscopy

شیمیایی و استخراج داده‌ها از یک طیف کار ساده‌ای نیست و نیازمند استفاده از روش‌های شیمی‌سنجی است (جمشیدی، ۱۳۹۱).

در طیف‌سنجی NIR یک منبع نور، تابش NIR را تولید می‌کند. پس از آن، بازتاب یا عبور تابش NIR از نمونه با طیف‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. استفاده از فیبرهای نوری امکان طیف‌سنجی غیرمخرب از نمونه‌های جامد مانند میوه‌ها را فراهم می‌کند. این روش به آماده‌سازی نمونه نیاز ندارد و به دلیل هزینهٔ نسبتاً پایین و سازگاری بیش‌تر با شرایط زیست–محیطی، نسبت به دیگر روش‌های غیرمخرب، و نیز به‌دلیل سهولت به‌کارگیری در سامانه‌های قابل حمل و دستی یا استفاده در سامانه‌های درجه‌بندی و کنترل فرایند به‌ویژه به منظور ارزیابی کیفیت درونی محصولات کشاورزی و غذایی بسیار مورد توجه پژوهشگران و صنعتگران قرار گرفته است (Jamshidi, 2020). هم‌اکنون سامانه‌های طیف‌سنجی NIR برای ارزیابی برخی ویژگی‌های کیفی درونی محصولات کشاورزی و غذایی به صورت تجاری موجود هستند.

تاکنون از طیف‌سنجی NIR و طیف‌سنجی مرئی/فروسرخ نزدیک (Vis/NIR) به‌طور گسترده‌ای برای کیفیت‌سنجی درونی، ایمنی‌سنجی و پیش‌بینی ترکیبات شیمیایی میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده شده است (Jamshidi and Yazdanfar, 2022; Jamshidi *et al.*, 2014; Jamshidi *et al.*, 2016). توانایی این روش در تشخیص حشرات، لاروها و خسارت‌های پنهان ناشی از حمله آن‌ها در برخی محصولات کشاورزی (Adedeji *et al.*, 2020; Moscetti *et al.*, 2014; Okere *et al.*, 2022) بررسی شده است. توانایی طیف‌سنجی Vis/NIR در مورد انار و به طور ویژه برای تشخیص خسارت ناشی از آفت کرم گلوگاه نیز بررسی و تایید شده است (Khodabakhshian *et al.*, 2016; Jamshidi *et al.*, 2019). تفاوت طیف‌های جذبی انارهای سالم و انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه، در شکل ۸ قابل مشاهده است (جمشیدی، ۱۳۹۷الف). این تفاوت بیش‌تر در ابتدای ناحیهٔ مرئی، ابتدای ناحیهٔ NIR و نواحی پس از ۸۳۰ نانومتر محسوس است که می‌تواند مبنای تشخیص انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه باشد. بر این اساس، سامانه‌ای نیز برای شناسایی سریع و غیرمخرب تهاجم کرم گلوگاه به انارها در طول فعالیت پنهان لاروها طراحی شده است.



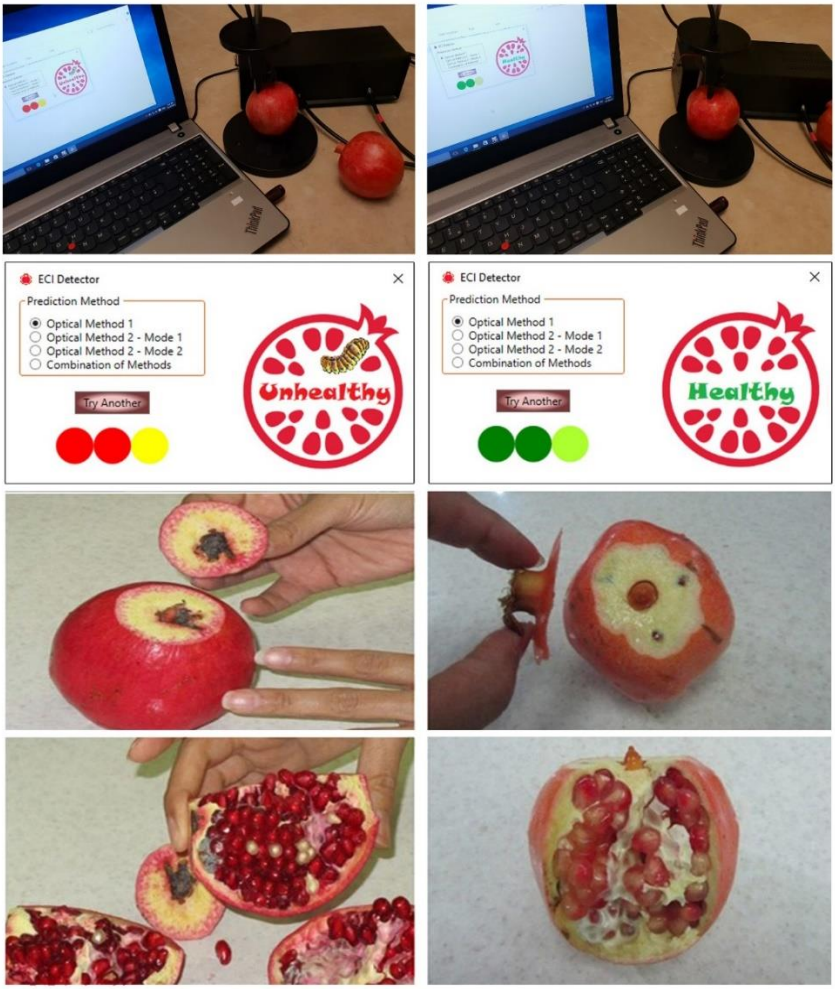
شکل ۸- طیف‌های جذبی انارهای سالم، آلوده بدون نشانه‌های ظاهری، و آلوده با نشانه‌های ظاهری

این فناوری پرتابل برای تشخیص انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه (رقم ملس ساوه) واسنجی و اعتبارسنجی شده است و می‌تواند انارهای سالم را از انارهای آلوده به کرم گلوگاه بدون نشانه‌های ظاهری (در مرحلهٔ فعالیت پنهان لاروها) با حداقل صحت ۷۷ درصد و نیز انارهای سالم را از آلوده به آفت با نشانه‌های ظاهری (در مرحلهٔ پیشرفتهٔ آلودگی تا سطح محصول) با ۱۰۰ درصد صحت تشخیص دهد. در این سامانه از دو شیوهٔ اپتیکی کارآمد استفاده شده است. شیوهٔ اول مبتنی بر طیف‌سنجی است و در شیوهٔ دوم از دو دیود لیزری استفاده شده است که انتخاب طول موج آن‌ها بر پایهٔ نتایج طیف‌سنجی است (یکی در ناحیهٔ مرئی و دیگری در ابتدای ناحیهٔ NIR). سامانهٔ طراحی‌شده شامل یک بخش سنجش اپتیکی، مدل‌های توسعه‌یافته برای شناسایی انارهای سالم از انارهای آلوده (با نشانه‌های ظاهری و بدون نشانه‌های ظاهری)، و نرم‌افزار سامانه به صورت رابط گرافیکی کاربر است. بخش

سنجش اپتیکی خود شامل پایه‌ای قابل‌تنظیم برای نگه‌داشتن میوهٔ انار، دیودهای لیزری و کاوشگر فیبر نوری، منبع نور و طیف‌سنج است. دیودهای لیزری به طور عمودی در راستای تاج انار قرار دارند و کاوشگر فیبر نوری قادر به جابه‌جایی گرداگرد تاج انار است. در شیوهٔ اپتیکی اول از منبع نور و در شیوهٔ اپتیکی دوم از دیودهای لیزری به جای منبع نور استفاده می‌شود. بازتاب درونی میوه در ناحیهٔ اطراف تاج انار و در هر یک از شیوه‌های انتخابی، از طریق یکی از شاخه‌های کاوشگر فیبر نوری به طیف‌سنج/آشکارساز ارسال می‌شود. در شیوهٔ اپتیکی اول، تابش منبع نور از طریق شاخهٔ دیگر کاوشگر فیبر نوری به میوه تابانده می‌شود. نتایج بررسی‌های سلامت محصول در نرم‌افزار سامانه نمایش داده می‌شود. امکان انتخاب هر یک از شیوه‌های اپتیکی، انتخاب هر یک از دیودهای لیزری به‌کارگرفته‌شده در شیوهٔ اپتیکی دوم، و امکان تلفیق نتیجهٔ بررسی هر دو شیوه توسط نرم‌افزار سامانه و به منظور ارزیابی دقیق‌تر نمونه فراهم است. در حالت انتخاب ترکیب نتایج بررسی توسط هر یک از شیوه‌های اپتیکی در سامانه، درصد تشخیص درست محصول سالم و آلوده (با نشانه‌های ظاهری و بدون نشانه‌های ظاهری) قابل افزایش است (حداقل صحت ۹۰ درصد). سرعت تشخیص، تخریب‌نشدن محصول، راحتی کاربرد و ناآلاینده‌بودن از دیگر مزایای این سامانه است. شکل ۹، سامانهٔ اپتیکی را در حالتی نشان می‌دهد که شیوهٔ طیف‌سنجی Vis/NIR برای ارزیابی انارها انتخاب شده است؛ این شکل هم‌چنین نتایج نرم‌افزار سامانه را برای یک نمونهٔ سالم (سمت راست) و یک نمونهٔ آلوده بدون نشانه‌های ظاهری (سمت چپ)، نشان می‌دهد.

با توجه به سازگاری این فناوری برای تشخیص سریع و غیرمخرب سالم یا آلوده‌بودن یکی از مهم‌ترین ارقام صادراتی انار، ملس ساوه (که حذف پرچم‌ها در آن یکی از الزامات استانداردی است)، کاربرد سامانه برای این رقم و به منظور تشخیص آفت در مرحلهٔ لاروی (لاروهای اواخر سن دو و اوایل سن سه) و خسارت‌های پنهان درونی ناشی از آن‌ها بدون ظهور نشانه‌های آلودگی روی میوه، با در نظر گرفتن ملاحظات ویژه می‌تواند مؤثر باشد. از دانش فنی این سامانه می‌توان برای توسعه و ساخت سامانه‌های قابل نصب و به‌کارگیری

در سامانه‌های درخط/برخط به منظور تشخیص سریع آلودگی به کرم گلوگاه انار یا تعیین خسارت ناشی از آن در مرحلهٔ انبارداری یا صادرات محصول استفاده کرد.



شکل ۹- سامانهٔ اپتیکی تشخیص سریع و غیرمخرب انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه

تصویربرداری ابرطیفی[1] در ناحیه NIR یا Vis/NIR نیز از دیگر روش‌های غیرمخرب اپتیکی است که با دارا بودن اطلاعات طیفی و مکانی تصویر، قابلیت خوبی برای ارزیابی کیفیت و عیوب درونی محصولات کشاورزی نشان داده است، از این روش تاکنون برای تشخیص برخی محصولات تخریب‌شده در اثر حملهٔ حشرات (Huang *et al.*, 2013) استفاده شده است. این روش، ترکیبی از فناوری‌های طیف‌سنجی و تصویربرداری است که در آن اطلاعات طیفی و مکانی از یک شیء یا محصول در طول موج‌های پیوسته روی یک محدوده طیفی گسترده جمع‌آوری و تحلیل می‌شود. بنابراین، تصویربرداری ابرطیفی می‌تواند ویژگی‌های ظاهری محصول را از تصویر استخراج و ویژگی‌های شیمیایی آن را به کمک تحلیل‌های طیفی ارائه کند. تصویرهای دریافت‌شده سه‌بعدی هستند، یک بعد مربوط به اطلاعات طیفی و دو بعد دیگر مربوط به اطلاعات مکانی است و برای دستیابی به اطلاعات مفید تصویرهای ابرطیفی از روش‌های شیمی‌سنجی به همراه پردازش تصویر استفاده می‌شود. تجهیزات موردنیاز در تصویربرداری ابرطیفی معمولاً شامل منبع نور، طیف‌نگار و لنز، و دوربین مناسب برای دریافت تصویر در طول‌موج‌های بازهٔ تابشی موردنظر است (جمشیدی، ۱۳۹۷ب). این روش، به دلیل هزینهٔ زیاد تجهیزات و حجیم‌بودن تصویرهای ابرطیفی (Adedeji *et al.*, 2020; Okere *et al.*, 2022) در حال حاضر برای کاربردهای درخط/برخط با سرعت بالا مناسب نیست و کاربرد آن بیش‌تر جنبهٔ پژوهشی دارد.

٦- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به منظور حفظ کیفیت و ارتقای جایگاه صادراتی انار و ارزآوری، تشخیص انارهای آلوده به کرم گلوگاه (که از مهم‌ترین آفات انار است و در مراحل اولیهٔ رشد لاروی نشانه‌های ظاهری در میوه ایجاد نمی‌کند)، بسیار بااهمیت است. از سوی دیگر، اگر انارهای دارای آلودگی پنهان آفت کرم گلوگاه شناسایی و از انارهای سالم جدا نشوند، می‌توانند به سلامت میوه‌های سالم اطراف خود به‌هنگام حمل‌ونقل یا انبارداری آسیب وارد کنند و خسارت بیش‌تر به‌بار آورند. روش‌های مرسوم تشخیص انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه دقت و

1- Hyperspectral Imaging

کارآیی لازم را به‌ویژه در مراحل اولیهٔ رشد لاروی ندارند. توسعهٔ روش‌ها و فناوری‌های تشخیصی نوین و پیشرفته برای شناسایی انارهای آلوده به کرم گلوگاه یا خسارت ناشی از آن در مرحلهٔ انبارداری یا صادرات محصول بسیار بااهمیت است. معرفی روش‌ها و فناوری‌هایی که توانایی آن‌ها در تشخیص سریع و غیرمخرب انارهای آلوده تایید شده است، می‌تواند نقش مهمی در انتخاب روش‌ها یا فناوری‌های مناسب برای کاربرد یا توسعه و تجاری‌سازی آن‌ها داشته باشد. در این خصوص، روش‌ها و فناوری‌های مبتنی بر طیف‌سنجی NIR به وضوح می‌توانند کارآمدتر از روش‌های مبتنی بر تصویربرداری پرتو X و رزونانس مغناطیسی عمل کنند، زیرا ایمن هستند، تجهیزات آن‌ها بسیار ارزان‌تر و در مقیاس کوچک‌تر در دسترس است، و پیچیدگی‌های محاسباتی روش‌های بیان‌شده را ندارند. بنابراین، کاربرد آن‌ها ساده‌تر و بسیار سریع‌تر است و برای به‌کارگیری در کاربردهای درخط/برخط و خطوط کنترل کیفیت مناسب هستند. با این حال، کاربرد و توسعهٔ این روش‌ها و فناوری‌ها نیز مستلزم در نظر گرفتن ملاحظاتی است که باید مورد توجه سازندگان و صنعتگران مرتبط قرار گیرد تا ضمن دستیابی به کارآیی مطلوب، به توسعه و تجاری‌سازی سریع‌تر آن‌ها کمک کند.

فهرست منابع

امامی، م.س. ۱۳۹۵. اصول مدیریت کرم گلوگاه انار. نشریهٔ ترویجی. سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان، مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی. چاپ اول. شماره ثبت: ۶/۵۸۵ ۱۶ صفحه

امامی، م.س.، بشارت‌نژاد، م.ح.، کریم‌زاده اصفهانی، ج.، سامی، آ. و نوروزی، ع. ۱۴۰۲. تاثیر کنترل تلفیقی کرم گلوگاه لنار در کاهش خسارت آفت و افزایش عملکرد لنار در استان‌های اصفهان و قم. تحقیقات آفات گیاهی. سال سیزدهم، شماره ۱. صفحات ۷۳-۶۹.

بی‌نام. ۱۴۰۱. آمارنامهٔ کشاورزی سال ۱۴۰۰ جلد سوم: گزارش محصولات باغبانی و گلخانه‌ای. چاپ اول. وزارت جهادکشاورزی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۳۲۸ صفحه.

جمشیدی، ب. ۱۳۹۱. تشخیص و تفکیک غیر مخرب مزه پرتقال با اسپکتروسکوپی مرئی/فروسرخ نزدیک (Vis/NIR). رسالۀ دکتری تخصصی، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۶۳ صفحه.

جمشیدی، ب. ۱۳۹۷الف. طراحی و توسعه سامانه اپتیکی تشخیص غیرمخرب انارهای آلوده به آفت کرم گلوگاه. گزارش پژوهشی. مؤسسۀ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شمارۀ ثبت: ۵۴۷۸۱. ۶۴ صفحه.

جمشیدی، ب. ۱۳۹۷ب. شناسایی سریع محصول آلوده به سم آفت‌کش با روش‌های نوین فناوری آزمون غیرمخرب. فناوری آزمون‌های غیرمخرب. دوره دوم، شماره دوم. صفحات ۶۵-۵۸.

شاکری، م. ۱۳۸۷. اصول فنی برداشت و مسایل پس از برداشت انار. مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی. چاپ اول. شماره نشریه ۱۲۱. ۲۰ صفحه.

شیخ‌علی، ت.، فرازمند، ح.، و وفایی شوشتری، ر. ۱۳۸۸. تاثیر روش حذف پرچم در کاهش خسارت کرم گلوگاه انار (Lep., Pyralidae) *Ectomyelois ceratoniae* Zeller در منطقه ساوه. تحقیقات حشره‌شناسی. جلد ۱، شماره ۲، صفحات ۱۶۷-۱۵۹.

عبادزاده، ح.ر.، احمدی، ک.، محمدنیا افروزی، ش.، عباس‌طاقانی، ر.، حسین‌پور، ر.، یاری، ش. و کلانتری، م. ۱۴۰۰. آمارنامۀ کشاورزی سال ۱۳۹۹ جلد دوم. چاپ اول. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۴۶۳ صفحه.

فاطمی، ح.، عزیزی، م.، صفاییان لایین، ق. و زارع، ه. ۱۳۹۰ (مهرماه). استفاده از روش غیرتخریبی MIR در تشخیص کرم گلوگاه در انار. همایش ملی انار، فردوس. صفحات ۶۵۱-۶۴۷.

فرازمند، ح. ۱۳۹۱. مدیریت تلفیقی کرم گلوگاه انار در کشور. گزارش پژوهشی، مؤسسۀ تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور. شمارۀ ثبت: ۴۱۹۵۱. ۲۰۹ صفحه.

فرازمند، ح. ۱۳۹۵. مطالعه روش‌های کاربردی کاهش خسارت کرم گلوگاه انار. گزارش پژوهشی، مؤسسۀ تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور. شمارۀ ثبت: ۵۰۵۰۶. ۲۲۱ صفحه.

گسیلی، ع.، قاسم‌خانی، س.، و موسی‌پور، س. ۱۳۸۵. دستورالعمل بسته‌بندی صادراتی انار. گزارش پروژه تحقیقاتی دفتر توسعه طراحی و ترویج امور بسته‌بندی، سازمان توسعهٔ تجارت ایران، وزارت بازرگانی. ۳۶ صفحه.

مذهب، س.، فرازمند، ح. وفایی شوشتری، ر. و امامی، م.س. ۱۳۹۳. مطالعه تاثیر کاربرد کائولین و پرچم‌زدایی در کاهش خسارت کرم گلوگاه لنار، *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lep.: Pyralidae). تحقیقات حشره‌شناسی. سال ششم، شماره ۲ (پیاپی ۲۲). صفحات ۱۹۰-۱۸۳.

Adedeji, A.A., Ekramirad, N., Rady, A., Hamidisepehr, A., Donohue, K.D., Villanueva, R.T., Parrish, C.A. 3 and Li, M. 2020. Non-destructive technologies for detecting insect infestation in fruits and vegetables under postharvest conditions: A critical review. Foods. 9, 927.

Arendse, E., Fawole, O.A., Magwaza, L.S. and Opara, U.L. 2016. Estimation of the density of pomegranate fruit and their fractions using X-ray computed tomography calibrated with polymeric materials. Biosyst. Eng. 148, 148–156.

Arendse, E., Fawole, O.A., Magwaza, L.S. and Opara, U.L. 2018. Non-destructive prediction of internal and external quality attributes of fruit with thick rind: A review. J. Food Eng. 217, 11–23.

Huang, M., Wan, X., Zhang, M. and Zhu, Q. 2013. Detection of insect-damaged vegetable soybeans using hyperspectral transmittance image. J. Food Eng. 116, 45–49.

Jamshidi, B. 2020. Ability of near-infrared spectroscopy for non-destructive detection of internal insect infestation in fruits: Meta-analysis of spectral ranges and optical measurement modes. Spectrochimica Acta Part A. 225, 117479.

Jamshidi, B. and Yazdanfar, N. 2022. Development of a spectroscopic approach for non-destructive and rapid screening of cucumbers based on maximum limit of nitrate accumulation. J. Food Compos. Anal. 110, 104513. 1-9.

Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E. and Ghassemian, H. 2014. Prediction of soluble solids in oranges using visible/near-infrared spectroscopy: Effect of peel. Int. J. Food Prop. 17, 1460-1468.

Jamshidi, B., Mohajerani, E. and Jamshidi, J. 2016. Developing a Vis/NIR spectroscopic system for fast and non-destructive pesticide residue monitoring in agricultural product. Measurement. 89, 1-6.

Jamshidi, B., Mohajerani, E., Farazmand, H., Mahmoudi, A. and Hemmati, A. 2019. Pattern recognition-based optical technique for non-destructive detection of *Ectomyelois ceratoniae* infestation in pomegranates during hidden activity of the larvae. Spectrochimica Acta Part A. 206, 552–557.

Khodabakhshian, R., Emadi, B., Khojastehpour, M. and Golzarian, M.R. 2016. Carob moth, *Ectomyelois ceratoniae*, detection in pomegranate using visible/near infrared spectroscopy. Comput. Electron. Agric. 129, 9–14.

Khoshroo, A., Keyhani, A., Zoroofi, R.A., Rafiee, S., Zamani, Z. and Alsharif, M.R. 2009. Classification of pomegranate fruit using texture analysis of MR images. Agric. Eng. Int.: CIGR E-J. Manuscript 1182, Vol. XI.

Kotwaliwale, N., Singh, K., Kalne, A., Jha, S.N., Seth, N. and Kar, A. 2014. X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. J. Food Sci. Tech. 51, 1–15.

Magwaza, L. and Opara, U. 2014. Investigating non-destructive quantification and characterization of pomegranate fruit internal structure using X-ray computed tomography. Postharvest Biol. Tech. 95, 1–6.

Moscetti, R., Haff, R.P., Saranwong, S., Monarca, D., Cecchini, M. and Massantini, R. 2014. Nondestructive detection of insect infested chestnuts based on NIR spectroscopy. Postharvest Biol. Tech. 87, 88–94.

Okere, E.E., Arendse, E., Tsige, A.A., Perold, W.J. and Opara, U.L. 2022. Pomegranate quality evaluation using non-destructive approaches: A review. Agric. 12, 2034.

Zerbini, P.E. 2006. Emerging technologies for nondestructive quality evaluation of fruit, J. Fruit Ornam. Plant Res. 14(2), 13–23.

Zhang, L. and McCarthy, M.J. 2012. Black heart characterization and detection in pomegranate using NMR relaxometry and MR imaging. Postharvest Biol. Technol. 67, 96–101.