

نقش پدافند غیرعامل در تشخیص به موقع تهدیدات اگروتروریستی با استفاده از ابزارهای نانوتکنولوژی

آناهیتا شریعت^۱

چکیده

مهم‌ترین رکن پدافند غیرعامل در حوزه کشاورزی، آمادگی در برابر حملات اگروتروریستی و شناسایی زودهنگام عوامل خطر می‌باشد. پدافند غیرعامل با اصلاح ساختار علاوه بر حفاظت و بهره‌برداری اثربخش از منابع و نهاده‌های موجود، کشاورزی پایدار را به دنبال دارد. تاکنون روش‌هایی که برای شناسایی تهدیدات زیستی در بخش کشاورزی در کشور استفاده شده است مبتنی بر روش‌های آزمایشگاهی بوده که علاوه بر عدم دقت و حساسیت کافی، نیاز به صرف زمان بالایی داشته است. در سال‌های اخیر ذرات نانو، نقاط کوانتومی، پلتفرم‌های نانوساختار، ابزارهای نانو تصویربرداری و تعیین توالی دی‌ان‌ا نانومفند به‌عنوان ابزارهای بسیار دقیق برای تشخیص سریع عوامل بیولوژیکی خاص عرضه شده‌اند که می‌توانند با دقت و سرعت بالا پاتوژن‌ها را تشخیص داده و برای نظارت و حفاظت از محصولات کشاورزی و منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرند. هدف از پژوهش حاضر این است که نشان دهد چگونه می‌توان از پدافند غیرعامل به‌عنوان شاخصی برای تأکید بر افزایش توان پیشگیری، تشخیص و کشف، واکنش و بازیابی کشاورزی و منابع طبیعی در برابر اقدامات اگروتروریستی استفاده نمود. این پژوهش توصیفی، تحلیلی و از نظر نوع، کاربردی بوده است و جامعه نمونه بر اساس فرمول کوکران شامل ۹۰ نفر از اساتید و دانشجویان حوزه کشاورزی و منابع طبیعی بوده است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پدافند غیرعامل می‌تواند با تغییر رویکرد از روش‌های سنتی به فناوری‌های نوین و استفاده از نانوبیوتکنولوژی منجر به تشخیص به موقع تهدیدات اگروتروریستی گردد.

واژگان کلیدی:

اگروتروریسم، پدافند زیستی، تهدید زیستی، جنگ زیستی، فن‌آوری‌های نوین

جستار گشایی

تا چند دهه گذشته، معنای امنیت، حول محور امنیت نظامی و توانایی قدرت نظامی و تسلیحاتی بود، درحالی که در سالیان اخیر امنیت، دیگر منحصر به یک بعد نبوده و دارای ابعاد گوناگون است که یکی از این ابعاد امنیت محصولات کشاورزی و منابع طبیعی می باشد. بدیهی است که با نگاهی گذرا به ماهیت درهم تنیده بحران های اساسی (تروریسم، مهاجرت گسترده، کمبود غذا، آب و انرژی، ناآرامی های سیاسی، تغییرات آب و هوایی، بلایای طبیعی، شیوع بیماری و...) و تعامل بین آنها مشخص می گردد که امنیت کشاورزی و به دنبال آن امنیت غذایی، به نوبه خود حائز اهمیت می باشد و تهدیدات ناشی از این بعد دارای آثار و پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم بسیار گسترده می باشد که در صورت عدم آمادگی کشور در سطوح مختلف، صدمات و لطمات جبران ناپذیری به منافع ملی وارد خواهد شد. متأسفانه در کشورهای جهان سوم، امنیت محصولات کشاورزی، آن چنان که باید مورد توجه و تأکید مسئولین و دستگاه های دولتی قرار نمی گیرد و در صورت وقوع چنین تهدیداتی، بدون تردید سطوح مختلفی از جامعه و حکومت درگیر خواهند شد. تحقیق پیش رو در راستای پاسخ به این سؤال است که مؤثرترین فناوری برای کنترل تهدیدات زیستی در بخش کشاورزی و منابع طبیعی کدام است و چگونه می توانیم به سرعت خود را از وضعیت موجود رها نماییم. از آنجائی که اقدامات پدافند غیرعامل نقش مؤثر و اجتناب ناپذیری در هر یک از مؤلفه های امنیت ملی (حفظ جان مردم، حفظ تمامیت ارضی، حفظ سیستم اقتصادی و سیاسی، حفظ استقلال و حاکمیت کشور) ایفاء می نماید، هدف از ارائه این نوشتار ایجاد آگاهی در مدیران و مقامات وزارت جهاد کشاورزی به منظور پیش بینی و برنامه ریزی مقابله با تهدیدات آگروتوروریستی می باشد. در این تحقیق با استفاده از مطالعه اسناد و سوابق علمی مرتبط و نظرات خبرگان آشنا و مرتبط با زمینه تحقیق، مؤثرترین فناوری شناسایی گردید.

این پژوهش با داشتن یک رویکرد علی، از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت گردآوری اطلاعات از نوع توصیفی است. فرضیه این پژوهش آن بود که پدافند غیرعامل بر افزایش اثر بازدارندگی تهدیدات زیستی، مؤثر است و محقق به دنبال اثبات این فرضیه است که با به کارگیری و پیاده سازی اصول پدافند غیرعامل در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، توان پیشگیری، تشخیص و کشف، واکنش و بازیابی منابع کشاورزی در برابر اقدامات آگروتوروریستی افزایش می یابد. در حقیقت هر یک از سؤالات پرسشنامه، یک راهکار محسوب می گردد که از میزان تأثیر آن بر بازدارندگی حملات آگروتوروریستی از نظر کارشناسان و متخصصان بررسی شده است.

روش گردآوری اطلاعات در این پژوهش، به دو دسته کتابخانه ای (اسناد و مدارک و پویش های اینترنتی) و میدانی (پرسشنامه) تقسیم می شود. در خصوص گردآوری اطلاعات مربوط به ادبیات موضوع و پیشینه

پژوهش از روش‌های کتابخانه‌ای و جهت جمع‌آوری اطلاعات برای تأیید یا رد فرضیه‌های پژوهش از روش میدانی (پرسشنامه) استفاده شده است. روایی پرسشنامه از طریق صوری و تأیید اساتید محاسبه شده است. روایی اسناد و مدارک نیز از طریق مطالعات میدانی مورد تأیید و به‌روز به دست آمد. سؤال‌های پرسشنامه به گونه‌ای طراحی گردید که از طریق آن دانش، علایق، نگرش و عقاید فرد را مورد ارزیابی قرار دهد. به‌منظور تأیید روایی و پایایی سؤالات طرح شده در پرسشنامه مراحل زیر انجام گرفت: مرحله اول: با توجه به مبانی و اصول اولیه مطرح در مدیریت پدافند غیرعامل، تعدادی سؤال در حوزه سازوکارهای مقابله با آگروتوریسم، که به نظر محقق مهم و اساسی بود، طرح گردید (تعداد ۳۰ سؤال). مرحله دوم: به‌منظور تعیین میزان روایی و پایایی مطرح شده، کلیه سؤالات طرح شده در بخش نخست، به متخصصین این حوزه ارائه گردید تا از میان آن‌ها، سؤالات برگزیده را جداسازی نمایند. نهایتاً ۱۰ سؤال انتخاب گردید که همگی سؤالات مطرح شده به لحاظ روایی و پایایی مورد تأیید متخصصین قرار گرفت. مرحله سوم: سؤالات مطرح شده در قالب پرسشنامه بر مبنای مقیاس لیکرت پنج گزینه‌ای، یعنی میزان اهمیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به‌منظور نظرسنجی در اختیار متخصصین و کارشناسان قرار گرفت.

تاریخچه استفاده از عوامل زیستی به سالیان دور باز می‌گردد. در جدول ۱ به تعدادی از عوامل بیولوژیکی به کار گرفته شده طبق تعریف مرکز کنترل بیماری‌ها در ایالات متحده آمریکا (Center for disease control, CDC) اشاره شده است.

جدول ۱- عوامل بیولوژیکی و احتمالاً سلاح‌های بیولوژیکی مهم طبق تعریف مرکز کنترل بیماری‌ها (Barras and Greub, 2014)

رویداد	سال
هیتی‌ها قوچ‌های آلوده به تولارمی را به سمت دشمنان خود می‌فرستادند.	قرن ۱۴ قبل از میلاد
به گفته هرودوت، تیراندازان سکایی (Scythian) تیرهای خود را با فروبردن در اجساد فاسد شده، آلوده می‌کردند.	قرن چهارم قبل از میلاد
بارباروسا (Barbarossa) چاه‌های آب را با اجساد انسان مسموم می‌کردند (ایتالیا)	۱۱۵۵
مغولان اجساد قربانیان طاعون را از دیوارهای شهر محاصره شده کافا (کریمه) به داخل شهر پرتاب نمودند.	۱۳۴۶
ارتش لیتوانی، کود تهیه شده از اجساد قربانیان آلوده به امراض را به شهر کارولشتاین (بوهیمیا) پرتاب نمود.	۱۴۲۲
اسپانیایی‌ها با آلوده کردن شراب فرانسوی‌ها با خون مبتلایان به جزام با آن‌ها مبارزه کردند.	۱۴۹۵
ارتش لهستان تیرهای آلوده به بزاق سگ‌های هار را به سمت دشمنان خود شلیک نمود.	۱۶۵۰

سال	رویداد
۱۷۱۰	ارتش روسیه اجساد مبتلا به طاعون را بر روی سربازان سوئدی در ریوال (استونی) پرتاب نمود.
۱۷۶۳	افسران انگلیسی پتوهای جمع‌آوری شده از بیمارستان مبتلایان به آبله را بین سرخپوستان آمریکایی تقسیم نمودند.
۱۷۹۷	ارتش‌های ناپلئون دشت‌های اطراف مانتوآ (ایتالیا) را غرقاب نمودند تا گسترش مالاریا در بین دشمنان افزایش یابد.
۱۸۶۳	هم‌پیمانان در طول جنگ داخلی آمریکا، لباس‌های آلوده به تب زرد و آبله را به سربازان اتحادیه فروختند

در سال ۱۹۱۸ ژاپن مرکزی برای تولید سلاح‌های زیستی در ارتش خود دایر نمود و آزمایش‌ها را روی اسرای جنگی انجام داد. مسئول این برنامه ژنرال ایشی بود که تا سال ۱۹۴۵ به این برنامه ادامه داد. مطالعات انجام‌شده روی حدود هزار نفر از قربانیان این آزمایش‌ها نشان داد که اغلب آن‌ها در معرض آنتراکس (سیاه‌زخم) بوده‌اند. تخمین زده می‌شود که سه هزار نفر دیگر از زندانیان جنگی و افراد غیرنظامی در این تأسیسات کشته شده‌اند. در اواخر آوریل ۱۹۷۹ شیوع سیاه‌زخم ریوی در شهر کوچک اسوردلوسک شوروی گزارش شد که علت آن نشت ذرات آنتراکس از تأسیسات شماره ۱۹ مرکز تسلیحات بیولوژیک ارتش شوروی بوده است. در این حادثه ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ نفر انسان کشته و تعداد زیادی احشام تلف شدند. تخمین زده می‌شود که در دهه ۸۰، حدود ۶۰ هزار نفر در برنامه تسلیحات زیستی شوروی شاغل بوده‌اند (Barras and Greub, 2014). عراق نیز به‌عنوان یکی از اعضای امضاکننده کنوانسیون خلع سلاح‌های بیولوژیک در سال ۱۹۹۱ پذیرفت که به تحقیق در زمینه تولید سلاح‌های بیولوژیک از طریق عامل سیاه‌زخم، سم بوتولیسم و عامل طاعون مشغول بوده است. بعداً معلوم شد که عراق روی تولید آفلاتوکسین‌ها، زنگ سیاه گندم و سم ریسین نیز کار می‌کرده است. در دسامبر ۱۹۹۰ عراقی‌ها یک صد بمب با سم بوتولینیوم، ۵۰ عدد با آنتراکس، ۱۶ بمب با آفلاتوکسین، ۱۳ کلاهک با بوتولینیوم، ۱۰ قبضه با آنتراکس و ۲ قبضه با آفلاتوکسین ساخته بودند. عراق ۹۰۰۰۰ لیتر کنسانتره سم بوتولینیوم، ۸۳۰۰ لیتر کنسانتره آنتراکس و ۲۲۰۰ لیتر آفلاتوکسین تولید کرده بود (Cordesman, 1998). مثال‌های ذکرشده تنها چند مورد از فعالیت‌های بیوتروریستی از میان صدها گزارش در این زمینه می‌باشد. در جدول ۲ تعدادی از عوامل بیولوژیکی که احتمالاً به‌عنوان سلاح‌های بیولوژیک استفاده شده‌اند، اشاره شده است.

جدول ۲. عوامل بیولوژیکی که احتمالاً به عنوان سلاح‌های بیولوژیک استفاده شده‌اند طبق تعریف CDC (Frischknecht, 2003).

بیماری	پاتوژن	زمان شیوع
گروه (A) خطرات عمده بهداشت عمومی		
سیاه‌زخم	<i>Bacillus anthracis</i>	جنگ جهانی اول، جنگ جهانی دوم، اتحاد جماهیر شوروی ۱۹۷۹، ژاپن، ۱۹۹۵، ایالات متحده ۲۰۰۱
بوتولیسم	<i>Clostridium botulinum</i>	
تب خونریزی دهنده	ویروس ماریبورگ، ویروس ابولا، ویروس‌های آرن	برنامه سلاح‌های زیستی شوروی
طاعون	<i>Yersinia pestis</i>	اروپای قرن چهاردهم، جنگ جهانی دوم
آبله	<i>Variola major</i>	قرن هجدهم آمریکای شمالی
تولارمی	<i>Francisella tularensis</i>	جنگ جهانی دوم
دسته (B) خطرات بهداشت عمومی		
بروسلوز	<i>Brucella</i>	
وبا	<i>Vibrio cholerae</i>	جنگ جهانی دوم
انسفالیت	آلفا ویروس‌ها	جنگ جهانی دوم
مسمومیت غذایی	گونه‌های سالمونلا، گونه‌های شیکلا	جنگ جهانی دوم، ایالات متحده آمریکا، دهه ۱۹۹۰
غده‌ها	<i>Burkholderia mallei</i>	جنگ جهانی اول، جنگ جهانی دوم
سایتیاکوز (Psittacosis)	<i>Chlamydia psittaci</i>	
تب کبوتر	<i>Coxiella burnetii</i>	
تیفوس	<i>Rickettsia prowazekii</i>	جنگ جهانی دوم
انواع علائم سمیت	باکتری‌های مختلف	جنگ جهانی دوم

- در این جدول فقط به تعدادی از بیماری‌ها اشاره شده است. لازم به ذکر است که دسته C عوامل بیماری‌زا در این جدول ذکر نشده‌اند. عوامل طبقه C شامل عوامل بیماری‌زا و پاتوژن‌های در حال ظهور هستند که با مهندسی ژنتیک شدت بیماری‌زایی و یا قدرت انتقال آن‌ها افزایش می‌یابد. عوامل گروه C برای مثال، هانتاویروس، ویروس Nipah، ویروس انسفالیت منتقله از طریق کنه، ویروس تب زرد و باکتری‌های مقاوم به چند دارو هستند.

مفاهیم و مبانی نظری

تروریسم: در لغت‌نامه روابط بین‌الملل تروریسم به فعالیت‌های بازیگران دولتی و غیردولتی که شیوه‌ها و تمهیدات خشن را در اعمال خود برای رسیدن به اهداف سیاسی به کار می‌برند، اطلاق می‌شود (Evans and Newnham, 1998). بنابراین می‌توان گفت که ترور به معنی حذف حریف سیاسی به هر قیمت ممکن است.

بیوتروریسم: عبارت است از ایجاد ترس و وحشت، با بهره‌گیری از عوامل زیست‌شناختی مختلف یا به عبارتی سوءاستفاده از عوامل بیولوژیک یا مواد حاصل از آن‌ها، اگرچه واژه بیوتروریسم به معنی ارباب وهم به مفهوم جنگ بیولوژیک نیز استفاده می‌گردد (مهدوی‌زاده و خلف‌زاده، ۱۳۹۸).

آگروتوریسم: آگروتوریسم زیرمجموعه بیوتروریسم است. آگرو به معنی کشاورزی و ترور به معنای ترس زیاد و در اصطلاح سیاست به معنای کشتن و از بین بردن مخالفان و ایجاد رعب و وحشت میان مردم معنی شده است (عمید، ۱۳۹۰). آگروتوریسم به معنی آن است فرد یا گروهی با انتشار عمدی انواعی از عوامل بیماری‌زا (باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها) که عمدتاً در آزمایشگاه‌های سری ژنتیک کشورهای متخاصم با دست‌کاری در ساختار ژنوم میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌شود، منجر به تهدید امنیت غذایی و تزلزل اقتصادی کشور موردنظر می‌گردد. در ایران نگرانی در مورد استفاده از عوامل بیماری‌زای آگروتوریستی در اواخر دهه ۱۹۸۰ زمانی آغاز شد که شواهد و مدارکی مبنی بر استفاده از عوامل قارچی بیماری‌زا توسط عراقی‌ها، علیه محصولات زراعی ایران کشف شد که نشان می‌داد عناصر جاسوسی از سویه‌های قارچ اسپریلوس مولد سم افلاتوکسین و قارچ‌های *Tilletia caries* و *T. tritici* عامل سیاهک پنهان‌گندم، در مزارع ایران استفاده نمودند (Suffert et al., 2009). آگروتوریسم، تهدیدی چندجانبه است که طیف وسیعی از عوامل و انگیزه‌ها را شامل می‌شود و لازم است در مقابل آن اقدامات مختلف و برنامه‌های استراتژیک پیاده گردد. معمولاً برای دام‌ها، عکس‌العمل کشورها در برابر عوامل بیماری‌زای خارجی شامل قرنطینه، کشتار جمعی، سوزاندن یا دفن میلیون‌ها جسد به همراه ضررهای سرسام‌آور مالی است، این دقیقاً همان چیزی است که تروریست‌ها به دنبال آن هستند (شریعت، ۱۴۰۰). پیامدهای چنین حمله‌ای می‌تواند خسارت دائمی به اقتصاد روستایی و کاهش اعتماد عمومی به دولت وارد کند. اگر بیماری جزو بیماری‌های مشترک انسان و دام باشد، خانواده‌ها نیز در معرض خطر خواهند بود که این موارد تروریست‌ها را، ترغیب و تشویق می‌کند. معمولاً حیوانات اهلی توان مقاومت طبیعی در برابر عامل بیماری‌زای خارجی را ندارند و در نتیجه عامل بیماری‌زا به سرعت گسترش می‌یابد (مهدوی‌زاده و خلف‌زاده، ۱۳۹۸).

تهدید زیستی: هر نشانه، رویداد یا حادثه طبیعی یا غیرطبیعی با استفاده از عوامل زیستی که موجب تضعیف و نابودی سرمایه‌های انسانی و یا آسیب‌های اقتصادی از طریق تخریب و نابودی سرمایه‌های ملی

زیستی در کشور گردد، تهدید زیستی محسوب می‌گردد (Radosavljevic, 2018).

جنگ زیستی: استفاده آشکار یا پنهان از تسلیحات زیستی علیه منابع انسانی و یا زیرساخت‌های اقتصادی که توسط یک کشور متخاصم و با هدف وارد نمودن ضربه نظامی، از بین بردن مقاومت، تحمیل خسارات اقتصادی و خدشه‌دار نمودن امنیت ملی کشور انجام می‌گیرد (Paterson, 2006).

پدافند: واژه «پد» به معنای دفاع، جلوگیری یا محافظت و واژه «آفند» به معنای حمله، یورش و تهاجم می‌باشد (عمید، ۱۳۹۰). به این ترتیب پدافند به معنای دفاع در مقابل حمله خواهد بود، این دفاع به دو صورت تعریف شده است: ۱- پدافند عامل: به معنای دفاع مسلحانه و نظامی از کشور ۲- پدافند غیرعامل: به معنای دفاع و محافظت غیرنظامی از کشور (همنی و مینایی، ۱۳۹۸).

پدافند زیستی: مجموعه‌ای از اقدامات شامل رصد و پایش، آشکارسازی، هشداردهی، تشخیص، تصمیم و عملیات، کنترل، حفاظت و پیشگیری امداد و نجات، بازیابی و باز توانی منابع، محدودسازی و رفع آلودگی در برابر تهدیدات زیستی که موجب حفاظت از سرمایه‌های ملی در برابر تهدیدات زیستی و کاهش آثار و عواقب ناشی از آن‌ها می‌گردد (شعبانی‌نژاد و همکاران، ۱۴۰۰).

بسیاری از کشورها در حالت عادی توانایی کنترل، تشخیص و مقابله با بسیاری از بیماری‌ها را دارند ولی در برابر شیوع عمدی یک بیماری جدید و یا شیوع هم‌زمان چندین بیماری مستأصل می‌شوند. در چنین شرایطی واکنش عمومی به حمله تروریستی می‌تواند ضررهای مالی را بیشتر کند (Radosavljevic, 2019). طبق گزارش سازمان ملل متحد، در سال ۲۰۲۰ رقمی بالغ بر یک میلیارد نفر از جمعیت جهان دچار فقر غذایی هستند، شمار افراد زیر خط فقر (از نظر تأمین انرژی مورد نیاز روزانه بدن روز به روز در حال افزایش است و این بدان معناست که تأمین مایحتاج انسان، نیازمند توجه ویژه متخصصین و سیاست‌مداران امروز جهان به توسعه پایدار و همه‌جانبه صنعت کشاورزی است. حال با وجود این همه کاستی‌ها، شیوع عمدی عوامل بیماری‌زا، توسط کشورهای متخاصم را نیز باید در نظر گرفت که به شدت در سطح بین‌المللی روبه گسترش است، در حالی که شناسایی و کنترل عوامل بیماری‌زا هنوز محدود است (Pramanik et al., 2020).

استفاده از فناوری‌های نوین در تشخیص آفات و بیماری‌های گیاهی

خسارت طبیعی برآورد شده ناشی از آفات و حشرات در سراسر جهان ۱۴ درصد، بیماری‌های گیاهی ۱۳ درصد و علف‌های هرز ۱۳ درصد تخمین زده شده است که ارزش این تلفات ۲۰۰۰ میلیارد دلار در سال برآورد شده است (Lenteren et al., 1999). عوامل بیماری‌زا به دلیل ایجاد شرایط استرس مزمن، رشد و بهره‌وری گیاه را کاهش می‌دهند و از طرفی روش‌های تشخیص دقیق بیماری نیز هزینه‌بردار است (باقری و رفعت‌نژاد، ۱۳۹۹). تاکنون طرح‌های مختلفی برای تولید محصولات این در محیط‌های مختلف با دستگاه‌های محافظ و شیوه‌های مختلف مدیریتی ارائه و اجرا شده است.

باین حال، حفاظت از محصول کلید تولید پایدار، به ویژه در شرایط نامساعد محیطی است. سال هاست که روش های سنتی تشخیص مولکولی به طور گسترده در آزمایشگاه های سراسر جهان برای شناسایی موجودات بیماری زای گیاهی با درجه حساسیت بالا استفاده می شود باین حال، اکثر این روش ها را نمی توان در عرصه و یا در کشورهای در حال توسعه که درآمد کمی دارند، استفاده نمود. علاوه بر این، قیمت بالا و نیمه عمر مفید برخی از معرف های زیست شناسی مولکولی، مانند آنزیم ها و آغازگرها، استفاده از روش های مولکولی سنتی در کشورهای در حال توسعه را محدود می کند. فناوری نانو ممکن است در برابر بسیاری از مشکلات کشاورزی مانند کنترل بیماری های گیاهی راه حل های واقعی داشته باشد. مواد مبتنی بر نانو، باعث افزایش کارایی قارچ کش ها و آفت کش ها می شود و اجازه می دهد فقط از دوزهای جزئی استفاده شود (Abd-El Salam, 2013). علاوه بر این، نانو تشخیص^۱ و ریزسیالی^۲، ابزارهای جدیدی را برای تسهیل و تسریع در آماده سازی نمونه ارائه می دهند. تشخیص سریع عوامل بیماری زای گیاهی با استفاده از کیت های مبتنی بر نانو، نانوحسگر، نانو بیوسنسورها، نانو بارکد و سایر سیستم های تشخیصی قابل حمل، کمک قابل توجهی در مدیریت بیماری های مختلف گیاهی در کشاورزی و صنایع غذایی خواهند کرد. در این تحقیق کاربرد فناوری نانو در آسیب شناسی گیاهان شامل استفاده از سیستم های واکنش زنجیره ای پلیمرز قابل حمل (PCR)، ابزارهای توالی یابی نانومنفذ، کیت تشخیصی نانو، نانوذرات طلا، نقاط کوانتومی (QD)، نانو بارکدها و نانوحسگرها توصیف می شود. در حقیقت نانو تشخیص و نانو فیتوپاتولوژی^۳ گسترش و ادغام روش های مولکولی در مقیاس نانو هستند که یک فناوری نویدبخش برای شناسایی عوامل بیماری زا محسوب می شود. شناسایی نانو مولکولی، کاربرد فناوری نانو برای تشخیص بیماری های گیاهی است و می توان آن را واژه "نانو تشخیصی" نامید (Jain, 2003). به طور خاص، چندین نانو دستگاه و نانوسیستم برای تعیین توالی مولکول های DNA استفاده می شود. سنجش با استفاده از دستگاه های اندازه نانو برای بررسی توالی DNA و تشخیص بیماری، سریع تر، انعطاف پذیرتر و حساس تر می باشد. شایان ذکر است که تکنیک های جدید تشخیص، شامل نانوحسگرهایی برای شناسایی عوامل بیماری زا، سنگ بنای این روند خواهد بود (Yalcin and Otles, 2010). در طول سال های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، متخصصان گیاهی برای تشخیص بیماری های گیاهی به ارزیابی بصری تکیه می نمودند. شناسایی عوامل بیماری زای گیاهی از طریق تکنیک های متداول ممکن است چند روز طول بکشد. بنابراین محققان به ابزارهای تشخیص سریع نیاز دارند که بتوانند، در عرض چند ساعت نتایج را ارائه دهند. برای توسعه چنین ابزارهای تشخیصی، متخصصین گیاهی دائماً با فناوری نانو کار نموده اند. محققان

1. Nanodiagnosis

2. nanodiagnostic and microfluidics

3. nano-phytopathology

نانو و فیتوپاتولوژی در تلاش هستند تا یک سنجش آسان را ایجاد کنند که قابل حرکت و دقیق باشد و نیازی به هیچ روش دشواری نداشته باشد، به طوری که کشاورزان بتوانند خود از آزمایشگاه سیار برای تشخیص بیماری‌های خاص استفاده کنند (Abd-Elsalam, 2013).

فناوری نانو توسعه سیستم‌های آزمایشگاهی روی تراشه را برای تشخیص سمیت در آب‌ها، مشاهده مواد مغذی در آب آبیاری و کنترل کیفیت در تولید مواد غذایی هدایت می‌کند. نانو فیتوپاتولوژی یک علم پیشرفته است که از فناوری نانو برای تشخیص و کنترل بیماری‌های گیاهی و عوامل بیماری‌زای آن‌ها در مراحل اولیه، پیش از همه‌گیری بیماری استفاده نموده و حفاظت محصول را مدیریت می‌کند. یک گیاه‌پزشک امروزی، تلاش می‌کند تا دانش خود را در زمینه نانو فیتوپاتولوژی به کار گیرد تا بتواند عوامل کنترل‌کننده بیماری‌های گیاهی را درک کرده و اندازه‌گیری‌های تشخیصی سازگار با محیط‌زیست را توسعه داده و ارزیابی کند. تکنیک‌های نانو مولکولی مدرن برای پایش یا درک ژنتیک جمعیت عوامل بیماری‌زا، تداخلات میکروب‌های گیاهی و انتقال ژن بین عوامل بیماری‌زا و حتی میزبان استفاده می‌شود. علاوه بر این، نانوذرات مانند نانو ذرات سیلیس-نقره به تازگی به عنوان عوامل ضد میکروبی و ضد قارچی استفاده شده است. علاوه بر این، از نانو مواد می‌توان برای تشخیص و سم‌زدایی مایکوتوکسین‌ها، افزایش مقاومت گیاهان، پیش‌بینی بیماری‌های گیاهی و تشخیص نانو مولکولی عوامل بیماری‌زای گیاه استفاده کرد. کاربردهای بالقوه نانو فیتوپاتولوژی در جدول ۳ نشان داده شده است (Ferone et al., 2020; Walper et al., 2018).

جدول ۳- کاربردهای فناوری نانو در آسیب‌شناسی گیاهان: (الف) کنترل بیماری‌های گیاهی و (ب) تشخیص عوامل بیماری‌زای گیاهی.

کاربرد فناوری نانو		
کنترل بیماری‌های گیاهی		تشخیص عوامل بیماری‌زای گیاهی
عوامل ضد میکروبی	تشخیص و سم‌زدایی مایکوتوکسین	نقاط کوانتومی
عوامل ضد قارچی	سیستم‌های تحویل نانو	نانوذرات طلا
افزایش مقاومت گیاهان	سیلیکا-نقره با اندازه نانو	نانوحسگرها
پیش‌بینی بیماری‌های گیاهی		بارکد زیستی دی‌ان‌ا

فناوری‌های تجهیزات قابل حمل برای شناسایی بیماری‌های گیاهی نظیر سیستم‌های قابل حمل PCR، نه تنها به گیاه‌پزشکان اجازه می‌دهد تا آزمایشات مؤثرتر و قابل پیش‌بینی‌تری داشته باشند، بلکه ابزارهای ژنومی را در عرصه نیز فراهم می‌نماید. Palm PCR، ساخت شرکت Ahram Biosystems کره، یک چرخه حرارتی قابل مدیریت است که برای استفاده آسان، دقت و کارایی بالا طراحی شده است (شکل ۱). این

دستگاه، علیرغم اندازه کوچک، برای انواع مختلف نمونه گیاهی کاربرد داشته و بسیار منظم و سریع DNA ژنومی را تکثیر می‌نماید (Monis and Giglio, 2006). سیستم پرتابل (قابل حمل)، روشی بسیار کاربردی و کاربرپسند برای انجام انواع مختلف آزمایشات PCR را ارائه می‌دهد. در مقایسه با سایر سیستم‌های آزمایش تشخیصی، دستگاه "Twista quantitative and portable real-time fluorometer" یک دستگاه سفارشی است که برای بررسی واکنش‌های تکثیر نوترکیب پلیمرز ساخته شده است و در حقیقت یک تحول جدید در تشخیص DNA (با توجه به سرعت، قابلیت حمل و سهولت استفاده، حساسیت بالا) محسوب می‌شود (شکل ۲). در مقایسه با روش‌های میکروبیولوژی سنتی که نیاز به ساعت‌ها زمان دارند، این دستگاه Twista به سرعت عامل بیماری‌زا را شناسایی می‌نماید.

توالی‌یاب ژنوم قابل حمل^۱ (سیستم توالی‌یابی نانومنفذ^۲)

بسیاری از شرکت‌ها در حال بررسی ایده استفاده از فناوری نانو منفذ هستند. دو چالش اصلی وجود دارد که باید در هر توالی نانو منفذ مورد توجه قرار گیرد: (۱) نحوه تشخیص نوکلئوتیدها در حین عبور از نانو منافذ و (۲) چگونگی کنترل سرعت عبور رشته DNA در حین عبور از نانو منافذ. صرف نظر از این چالش‌ها، پلتفرم توالی‌یابی نانومنفذ، ساده تصور می‌شود، زیرا خوانش‌های تئوریک بسیار وقت گیر را با مقدار کمی اسید نوکلئیک انجام می‌دهد. تجزیه و تحلیل الکترونیکی مستقیم، زمانی که DNA از نانومنفذ پروتئینی عبور می‌کند، انجام می‌شود. نانو منفذ از جنس پروتئین بوده و در غشای دولایه پلیمری در بالای یک چاهک (Microwell) قرار می‌گیرد. هر ماکرول دارای یک تراشه حسگر است که جریان یونی را هنگام عبور تک مولکول از نانو منفذ اندازه‌گیری می‌کند. شرکت Oxford Nanopore Technologies در سال ۲۰۱۴ توانست با هزینه ۱۵۰۰ میلیارد دلار سیستم توالی‌یابی نانومنفذ را راه‌اندازی نموده که در عرض ۱۵ دقیقه نقشه ژنومی را توالی‌یابی نماید. در شکل ۳ توالی سنج ژنوم قابل حمل MinION نشان داده شده است. پلتفرم Nanopore که در تجهیزات تشخیصی فعلی استفاده می‌شود، می‌تواند به جای صرف ساعت‌ها زمان، کل ژنوم را در چند دقیقه تجزیه و تحلیل کند. از فناوری نانو می‌توان در تحقیقات علوم گیاهی به‌منظور تجزیه و تحلیل ژنومیک گیاهان، عملکرد ژن‌ها و تشخیص عوامل بیماری‌زا و همچنین بهبود گونه‌های گیاهی استفاده کرد (Ozsolak, 2012).

1. Portable genome sequencer
2. nanopore sequencing system



شکل ۲- دستگاه قابل حمل ریل تایم فلوریمتر (portable real-time fluorometer) ساخت

شرکت Twist کشور انگلستان، این دستگاه برای تشخیص بیماری‌های مربوط به دام در کشورهای در حال توسعه است که مزارع و آزمایشگاه بافاصله زیادی از یکدیگر قرار دارند.



شکل ۴- کیت تشخیصی عفونت‌های مایکوپلاسما ساخت شرکت Agilent Technology کشور آمریکا. این کیت قادر به تشخیص ۸ مورد از رایج‌ترین عوامل است: *M. fermentans* *M. arginini* *M. M. pirum* *M. hyorhinis* *M. hominis* *A. laylawi* و *M. orale salivarium*.



شکل ۱- دستگاه قابل حمل Palm PCR G1-12

ساخت شرکت Ahram Biosystems کشور کره، دارای سه سطح سرعت PCR شامل: سریع، آهسته و توربو سریع می‌باشد. محدوده دینامیکی در حالت آهسته تا ۲ کیلوبایت بر ثانیه افزایش می‌یابد و تکثیر PCR در حالت توربو سریع تا ۱۸-۲۱ دقیقه در ۳۰ سیکل افزایش می‌یابد.



شکل ۳- دستگاه MinION. توالی‌یاب پرتابل ساخت شرکت Oxford Nanopore Technologies کشور انگلستان این دستگاه قابل حمل بوده و وزن آن ۴۵۰ گرم می‌باشد و برای خوانش توالی‌های DNA یا RNA از سائز بسیار کوچک تا بیش از 4 Mb می‌باشد.

کیت تشخیص نانو

گیاه‌پزشکان در حال برنامه‌ریزی برای داشتن یک آزمایشگاه سیار به اندازه یک کیف هستند. به این ترتیب که دستگاه‌های پیچیده اندازه‌گیری، معرف‌ها، منبع تغذیه انرژی و سایر ابزارهای مورد نیاز که هم‌اکنون فضای زیادی را در آزمایشگاه اشغال نموده‌اند، در ابعاد کوچک‌تر ساخته به گونه‌ای که در یک کیف کوچک جا شوند (Pimentel, 2009). چنین کیتی که در ابعاد یک کیف است به راحتی توسط کاربر به مزرعه منتقل شده و می‌تواند عوامل بیماری‌زا را با سرعت و دقت بالا شناسایی نماید. چنین کیتی به

متخصصان این امکان را می‌دهد که علاوه بر کمک به کشاورزان از شیوع بیماری‌های همه‌گیر جلوگیری نمایند (به‌عنوان مثال شکل ۴). به‌عنوان مثال، یک مایکوحسگر^۱ چهارتایی می‌تواند مایکوتوکسین‌های ZEA، DON، T-2/HT و FB1/FB2 را در یک برگ مانند ذرت، گندم و جو دوسر شناسایی نماید. این پروتکل سنجش ایمنی، سریع، ارزان، آسان و برای غربالگری سریع مایکوتوکسین‌ها در غلات مناسب است. (Pimentel, 2009)

تکثیر هم‌دمای وابسته به حلقه^۲

یک روش ساده، مقرون‌به‌صرفه و سریع برای تشخیص محل خاصی از DNA ژنومی با استفاده از شش آغازگر الیگونوکلوئیدی با هشت محل اتصال است که به‌طور اختصاصی به جایگاه‌های مشخصی از ژنوم هدف متصل می‌شود. ژن و DNA پلیمراز گرمادوست از *Geobacillus stearothermophilus* برای تکثیر DNA استفاده می‌شود. برای شناسایی نیز ابزارهای تشخیص مختلفی از جمله نشان‌دار نمودن با نانوذرات طلا و یا کدگذاری نوری چندرنگ استفاده می‌شود. این روش، پتانسیل شناسایی زودهنگام عوامل بیماری‌زای گیاهی را در عرصه (به‌عنوان مثال در مزرعه) دارد و یا مدل‌هایی را برای پیش‌بینی زمان و مکان شروع بیماری‌زایی در عرصه، ارائه می‌دهد. به‌عنوان مثال شناسایی *Fusarium graminearum* با استفاده از روش LAMP-PCR DNA یک روش آسان، تجاری و سریع با استفاده از شش آغازگر الیگو با هشت محل اتصال هیبریداسیون و یک دی‌ان‌ا پلیمراز گرمادوست *G. stearothermophilus* است. بنابراین، در تکنیک LAMP، شناسایی می‌تواند بدون بررسی محصول تکثیرشده DNA در حین یا بعد از تکثیر انجام داد. عمده‌تاً، انتظار می‌رود که واکنش‌های مثبت فلورسانس سبز روشن را نشان دهند، درحالی‌که واکنش منفی نارنجی روشن باقی می‌ماند. این نتیجه مورد انتظار هنگامی است که رنگ SYBR Green I اضافه می‌شود، بدین معنی که رشته‌های تکثیرشده با چشم غیرمسلح یا تحت نور فرابنفش دیده می‌شوند. این روش برای تشخیص قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی و میکروارگانیسم‌های ریزوسفری مانند *Phytophthora sojae*، *P. ramorum* و *P. kernoviae*، *Aspergillus flavus* و *A. parasiticus*، و *Fusarium* استفاده می‌شود (Denschlag et al., 2012).

نانوذرات طلا به‌عنوان حسگر زیستی

نانوذرات به خاطر خصوصیات ساختاری، اپتیکی، الکترونیکی و کاتالیستی منحصربه‌فردشان توجه زیادی را جلب کرده‌اند و به دلیل این خصوصیات، در فناوری به‌عنوان کاتالیست‌ها، حسگرها، تجهیزات نانوالکترونیکی و بیوحسگرها کاربرد دارند. در این بین نانوذرات طلا و نقره به علت اینکه طیف جذبی‌شان در ناحیه مرئی قرار دارد حائز اهمیت می‌باشند و با ترکیب نانوذرات طلا و نقره می‌توان طیف جذبی آنها

1. mycosensor

2. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP-PCR)

را برای کاربردهای موردنظر بهینه کرد. از طرفی این ذرات به دلیل دارا بودن اندازه نانو و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قابل تغییر و تنظیم (ازجمله خواص الکتریکی، الکتروشیمیایی، نوری و مغناطیسی گزینه خوبی برای جایگزینی با دیگر مولکول‌های رنگی رایج به‌عنوان نشانگر در تشخیص مولکولی هستند. نانوذرات در نقش نشانگر، حساسیت، سرعت و انعطاف‌پذیری آزمون‌های بیولوژیکی را جهت اندازه‌گیری حضور یا فعالیت مواد افزایش می‌دهند. همچنین از این نانوذرات می‌توان در ردیابی DNA، پروتئین، متابولیت‌ها و عوامل بیماری‌زا مانند ویروس و باکتری استفاده کرد. تشخیص زودهنگام و حساس‌تر بیماری‌های گیاهی (Rai and Ingle, 2012) نیز از دیگر کاربردهای مهم این نانوذرات است. در مطالعات اخیر، نانو بیوسنسورهای متعددی برای تشخیص مولکولی عوامل بیماری‌زای قابل انتقال از مواد غذایی و عوامل آگروتوروسم بررسی شده است. این روش‌های تشخیص شامل نانوسیم‌های پلیمری رسانا، نانولوله‌های کربنی، نانوپور سیلیکونی و نانوذرات طلا است (Wang et al., 2010).

نقاط کوانتومی (QD)

نقاط کوانتومی، نانوذرات نیمه‌هادی هستند که با تحریک توسط یک منبع نور تحریک شده، نور می‌تابانند. علاوه بر این، نقاط کوانتومی مواد رنگی معدنی هستند که مزایای عمده‌ای نسبت به مواد رنگی آلی و سنتی به‌عنوان نشانگر اسیدهای نوکلئیک یا پروتئین‌ها برای تشخیص بصری دارند. میکوستنر نانو مواد نیمه‌رسانا، برای اولین بار در مخمرهای تک‌سلولی گزارش شد که نشان داد قادر به تولید بلورهای سولفید کادمیوم (CdS) در پاسخ به تنش نمک کادمیوم هستند. میکروب‌های مختلف نیز برای بیوسنسور CdS استفاده شده است. با این حال، مطالعات کمی بر روی خواص درخشندگی آن متمرکز شده است (Kumar et al., 2007).

نانو بارکدها

بارکد زیستی DNA (b-DNA): روش بارکد زیستی یک روش فوق حساس برای تقویت و تشخیص پروتئین‌ها یا اسیدهای نوکلئیک است. در این آزمایشات از الیگونوکلوئید تغییر یافته با نانوذرات طلای مغناطیسی به‌منظور تکثیر سیگنال و جداسازی پروتئین هدف از نمونه استفاده می‌شود. نسبت بزرگ b-DNA به عامل تهدید منجر به تکثیر سیگنال به میزان قابل توجهی می‌شود. همچنین با تشخیص سریع اهداف پروتئینی متعدد در غلظت‌های پایین و اسیدهای نوکلئیک در شرایط مطلوب، همراه است. روش بارکد زیستی منحصربه‌فرد است و یک جایگزین بالقوه برای روش PCR محسوب می‌شود (Nam et al., 2004).

پلتفرم نانوساختار برای تشخیص مایکوتوکسین

بستر نانوساختار که برای تشخیص و سم‌زدایی مایکوتوکسین‌ها به کار می‌رود متشکل از متابولیت‌های ثانویه‌ای است که توسط قارچ‌های رشته‌ای بیماری‌زا تولید می‌شوند و باعث بیماری و مرگ در انسان و

سایر حیوانات می‌شوند. مایکوتوکسیکوزها، بیماری‌هایی هستند که در اثر مصرف مایکوتوکسین‌ها توسط انسان و حیوانات، بیشتر از طریق مصرف غذای آلوده ایجاد می‌شوند. آن‌ها می‌توانند اثرات بیولوژیکی مختلف، از جمله سرطان‌زایی، جهش‌زایی، استروژنیک، ایمونوتوکسیک، نفراوتوکسیک و نوروتوکسیک را القا کنند. نقش اصلی نانوحسگرها کاهش زمان شناسایی پاتوژن‌های قارچی است (Bhattacharya et al., 2007). نانوحسگرها را می‌توان مستقیماً در مواد بسته‌بندی قرار داد، جایی که به‌عنوان بینی الکترونیکی عمل می‌کنند و می‌توانند مواد شیمیایی آزادشده در هنگام فساد غذا را تشخیص دهند. برخی از نانوحسگرها بر اساس دستگاه‌های میکروسیال ساخته شده‌اند و می‌توان از آن‌ها برای تشخیص ماهیت عوامل بیماری‌زا در زمان کوتاه و با حساسیت بالا استفاده کرد. اخیراً یک دستگاه متحرک ساخته شده است که می‌تواند هم‌زمان سموم مختلف باکتریایی، قارچی و عوامل بیماری‌زا را در غذای ذخیره شده شناسایی کند. بدیهی است حسگرهای زیستی می‌توانند جایگزین تکنیک‌های متداول تشخیص مایکوتوکسین‌ها و عوامل بیماری‌زا در غذا باشند (Parida and Paban Kumar Dash, 2020).

نانوحسگرها و پیش‌بینی بیماری‌های گیاهی

پیش‌بینی بیماری‌های گیاهی یک روش مدیریتی است که برای پیش‌بینی احتمال وقوع و یا شدت بیماری‌های گیاهی و کمک به کشاورزان، برای تصمیم‌گیری مقرون‌به‌صرفه نحوه کنترل بیماری‌ها استفاده می‌شود. در حال حاضر تحقیقات با استفاده از نانوحسگرها برای بهبود روش‌های شناسایی بیماری‌ها در سیستم‌های زراعی انجام می‌شود. بسیاری از شرکت‌های الکترونیکی، استفاده از پلیمرهای رسانای الکتریکی مانند پلی آنیلین، پلی تیوفن (polythiophene) و پلی پیرول (polypyrrole) را مورد بررسی قرار داده‌اند. این پلیمرها همچنین می‌توانند برای ساخت سنسورهایی استفاده شوند که می‌توانند با سیگنال‌های مولکولی با شدت بسیار کم، فساد و عوامل بیماری‌زا را در عرض چند دقیقه تشخیص دهند (Walper et al., 2018). نانوحسگر زیستی، پتانسیل افزایش حساسیت را دارد، بنابراین زمان پاسخگویی به میزان قابل توجهی برای کشف مشکلات احتمالی بیماری، کاهش می‌یابد. چنین نانوحسگرهایی برای شناسایی و تعیین مقدار کمی آلاینده‌ها مانند ویروس، باکتری، قارچ، سموم و سایر مواد زیستی خطرناک در سیستم کشاورزی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، این حسگرهای زیستی ممکن است تأثیر زیادی بر روش‌های دقیق کشاورزی داشته باشند. نانوحسگرها را می‌توان برای نظارت بر بیماری‌ها در زمان واقعی به GPS متصل کرد و در سراسر زمین برای نظارت بر شرایط خاک و سلامت محصول استفاده کرد. نانوحسگرها به ما این امکان را می‌دهند که بیماری‌های گیاهی را قبل از بروز علائم قابل مشاهده شناسایی کرده و در نتیجه کنترل آن‌ها را تسهیل کنیم. چنین ابزارهایی با ارائه دقیق داده‌ها، به تولید محصولات کشاورزی کمک می‌کند و به تولیدکنندگان کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری بگیرند (Walper et al., 2018).

نانو بیوسنسور، ترکیبی از زیست‌شناسی و فناوری نانو است. این حسگرها از حساسیت بالایی برخوردارند و بنابراین زمان پاسخگویی به میزان قابل‌توجهی را کاهش می‌دهند تا مشکلات احتمالی بیماری در محصولات را شناسایی کنند و بنابراین می‌توانند به افزایش تولید و افزایش ایمنی غذا در کشاورزی کمک کنند. برای شناسایی عوامل بیماری‌زا و سموم در غذا، فیبر نوری حسگر معمولاً از پروب‌های مخروطی پوشیده با آنتی‌بادی ساخته شده است. روشی برای تعیین سریع اشرفیاکلی با استفاده از سیستم تزریق جریان ایجاد شده است. اندازه‌گیری الکتروشیمیایی $K_3Fe(CN)_6$ ، که به دلیل متابولیسم میکروبی، کاهش می‌یابد، امکان تعیین کمی باکتری‌ها و قارچ‌ها را در ۲۰ دقیقه فراهم می‌آورد. در تحقیق دیگری با استفاده از خواص نوری نانوذرات نقره، برهم‌کنش بین نانوذرات نقره و علف‌کش سولفورازون-اتیل موردبررسی قرار گرفت (Yeh et al., 2019). آن‌ها دریافتند که نانوذرات نقره به افزایش غلظت علف‌کش در محلول حساس است و باعث تغییر رنگ نانوذرات از زرد تا نارنجی، قرمز و در نهایت بنفش می‌شود. تصویربرداری نانو تولید

تصویربرداری تشخیصی به مجموعه وسیعی از فناوری‌هایی که برای بررسی بافت‌های داخل یا خارج گیاهی به‌منظور تشخیص عوامل بیماری‌زای مختلف گیاهی استفاده می‌شود، اشاره دارد. استفاده سریع از فناوری‌های تصویربرداری تشخیصی، محدوده شناسایی بیماری‌های گیاهی را گسترش می‌نماید. با استفاده از این تکنیک‌ها، گیاه‌پزشکان سریع‌تر و دقیق‌تر بیماری‌های گیاهی را شناسایی می‌نمایند. فناوری نانو به ما این امکان را می‌دهد تا خصوصیات شیمیایی و فیزیکی مواد را به‌طور دقیق تنظیم و کنترل کنیم تا بر نگرانی‌های مربوط به سمیت، ویژگی بافت و قدرت سیگنال غلبه کنیم. در محدوده اندازه مزوسکوپی با قطر ۵۱۰۰ نانومتر، نانوذرات دارای سطوح وسیع و گروه‌های عملکردی برای اتصال به ابزارهای تشخیص هستند (Nie, 2013). بنابراین، پیشرفت در مقیاس نانو نقش کلیدی در افزایش مداوم قابلیت‌های تصویربرداری تشخیصی ما در سال‌های آینده ایفا خواهد کرد. به‌عنوان مثال، از تکنیک‌های پرتو الکترونی و فوتولیتوگرافی برای ساخت توپوگرافی‌هایی که ویژگی‌های سطح برگ و همچنین سیستم آوندی داخلی گیاهان را تقلید می‌کنند، استفاده شده است. همچنین از فناوری‌های نانو تصویربرداری برای مطالعه نحوه حمله و گسترش باکتری‌ها و قارچ‌ها در برگ استفاده شده است (Tripathi et al., 2018).

تجهیزات تشخیصی قابل‌حمل، سنسور DNA مبتنی بر نانوذرات زیستی و QD کاربردهای بالقوه‌ای در تشخیص متعدد عوامل بیماری‌زای گیاهی و قارچ‌های سمی دارد (Gonzalez-Melendi et al., 2007). این کیت‌های تشخیصی مبتنی بر نانو نه تنها سرعت تشخیص پاتوژن را افزایش می‌دهند بلکه دقت تشخیص را نیز افزایش می‌دهند. علاوه بر این، ترکیب فناوری نانو با سیستم‌های ریزسیال به‌طور مؤثری در آسیب‌شناسی مولکولی گیاهان کاربرد دارد و می‌تواند برای تشخیص عوامل بیماری‌زا و سموم خاص به

کار برده شود. یک مثال خوب میکرو PCR است که می تواند ۴۰ چرخه PCR را در کمتر از ۶ دقیقه انجام دهد. در آینده ای نزدیک می توان از دستگاه های مقیاس نانو با ویژگی های جدید برای ساخت سیستم های کشاورزی هوشمند استفاده کرد. به عنوان مثال، می توان از این نانو دستگاه ها برای شناسایی وضعیت سلامت گیاه قبل از بروز بیماری استفاده کرد (Walper et al., 2018). چنین دستگاه هایی ممکن است قادر به پاسخگویی به شرایط خاص، شناسایی مشکل و انجام اقدامات مناسب برای مدیریت بیماری باشند. به این ترتیب، دستگاه های نانو هوشمند هم به عنوان یک سیستم محافظتی و هم برای هشدار اولیه عمل خواهند کرد. چشم اندازهای آتی در تشخیص بیماری های گیاهی در کوچک سازی فناوری تراشه زیستی در مقیاس نانو ادامه خواهد یافت. نانوفیتوپاتولوژی می تواند به عنوان ابزاری برای درک تداخلات بیماری زای گیاهی مورد استفاده قرار گیرد و روش های جدیدی را برای حفاظت از محصولات ارائه دهد. جامعه آماری تحقیق ۹۵ نفر شامل اعضای هیئت علمی، محققین و صاحب نظران، دانشجویان دکتری و کارشناسی ارشد و فارغ التحصیلان رشته های کشاورزی و منابع طبیعی در موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه مازندران و دانشگاه زابل و رشته علوم گیاهی دانشگاه الزهرا که آشنا به اصول پدافند غیرعامل بودند، تشکیل گردید.

جامعه آماری حاضر از طبقات و بخش های مختلفی تشکیل شده است و تعداد نمونه به روش تصادفی طبقاتی ساده و با استفاده از فرمول کوکران محاسبه گردید و حجم نمونه ۱۰۸ نفر برآورد شد که محقق از نمونه گیری در دسترس استفاده نمود.

$$N = 95 = \text{جامعه آماری}$$

$$n = \text{حجم جامعه نمونه}$$

$$\delta^2 = 1/19 = \text{واریانس جامعه آماری}$$

$$Z_{\alpha/2} = \text{آمار توزیع استاندارد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ است}$$

$$D = 0.05 = \text{میزان دقت در رد فرض صفر}$$

$$n = \frac{N(Z_{\alpha/2})^2 \delta^2}{(N-1)D^2 + \delta^2(Z_{\alpha/2})^2} = \frac{95 \times (1.96)^2 \times 1.19}{94 \times (0.05)^2 + 1.19 \times (1.96)^2} = 90$$

جدول ۴- جامعه آماری و جامعه نمونه

نام مرکز	تعداد متخصصین	حجم نمونه
اساتید، دانشجویان دکتری و جمعی از فارغ التحصیلان کشاورزی دانشگاه مازندران	۲۵	۲۴
اعضای هیئت علمی و محققین موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور	۱۹	۱۸
اساتید و دانشجویان دکتری کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس	۳۲	۳۰

نام مرکز	تعداد متخصصین	حجم نمونه
اساتید و دانشجویان دکتری دانشگاه الزهرا	۱۰	۹
اساتید و دانشجویان دکتری کشاورزی دانشگاه زابل	۹	۹
جمع کل	۹۵	۹۰

جدول ۵- تأثیرپذیری مؤلفه‌های مختلف بر میزان بازدارندگی حملات آگروتوریستی در راستای ملاحظات پدافند غیرعامل

مؤلفه	هر یک از مؤلفه‌های زیر در راستای ملاحظات پدافند غیرعامل به چه میزان در برابر حملات آگروتوریستی نقش بازدارنده دارد؟	دیدگاه ارزیابی کنندگان				
		درجات ارزیابی				
		خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
۱	تغییر رویکرد روش‌های سنتی ژنتیک گیاهی به سمت استفاده از تکنولوژی‌های مدرن (نانوبیوتکنولوژی)	۶۰	۲۳	۶	۱	۰
		۷/۶۶	۶/۲۵	۷/۶	۱/۱	۰/۰
۲	دستیابی به دانش نانوتکنولوژی در داخل کشور و بومی‌سازی آن	۵۵	۲۱	۱۳	۰	۱
		۱/۶۱	۳/۲۳	۱۴/۴	۰/۰	۱/۱
۳	ارتقای جایگاه پدافند غیرعامل در ساختار تشکیلاتی وزارت جهاد کشاورزی	۵۰	۲۱	۱۹	۰	۰
		۶/۵۵	۳/۲۳	۲۱/۱	۰/۰	۰/۰
۴	نقش وزارت جهاد کشاورزی در ساختار دفاع بیولوژیک	۳۹	۲۴	۱۹	۶	۲
		۳/۴۳	۷/۲۶	۱/۲۱	۷/۶	۲/۲
۵	اختصاص ردیف مستقل بودجه در خصوص مجوز نمودن آزمایشگاه‌های پدافند غیرعامل کشاورزی	۵۳	۲۵	۱۱	۱	۰
		۹/۵۸	۸/۲۷	۲/۱۲	۱/۱	۰/۰
۶	تدوین سیاست‌های کلان به‌منظور افزایش توان پیشگیری و مقابله با حملات آگروتوریستی	۵۹	۱۹	۱۰	۲	۰
		۶/۶۵	۱/۲۱	۱/۱۱	۲/۲	۰/۰
۷	تدوین سیاست‌های کلان به‌منظور مدیریت بحران بعد از وقوع حملات آگروتوریستی	۳۸	۳۵	۱۲	۵	۰
		۲/۴۲	۹/۳۸	۳/۱۳	۵/۶	۰/۰
۸	شناخت آسیب‌پذیری‌های داخلی مرتبط با بخش کشاورزی و منابع طبیعی	۱۹	۳۲	۲۸	۹	۲
		۱/۲۱	۶/۳۵	۱/۳۱	۰/۱۰	۲/۲
۹	ارتقای آموزش در زمینه مدیریت بحران‌های زیستی	۴۳	۲۳	۲۰	۴	۰
		۸/۴۷	۶/۲۵	۲/۲۲	۴/۴	۰/۰
۱۰	نقش وزارت جهاد کشاورزی در پایداری ملی	۲۸	۲۹	۱۹	۱۳	۱
		۱/۳۱	۲/۳۲	۱/۲۱	۴/۱۴	۱/۱

میانگین	دیدگاه ارزیابی کنندگان					هر یک از مؤلفه‌های زیر در راستای ملاحظات پدافند غیرعامل به چه میزان در برابر حملات اگروتورویستی نقش بازدارنده دارد؟	مؤلفه
	درجات ارزیابی						
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم		
	۴۴	۲۵	۱۶	۴	۱	میانگین فراوانی	
	۳/۴۹	۰/۲۸	۴/۱۷	۶/۴	۰/۷	درصد متوسط	

جدول ۶- تجزیه و تحلیل تأثیرگذاری شاخصه‌های مؤثر بر افزایش بازدارندگی فریدمن (Friedman Test)

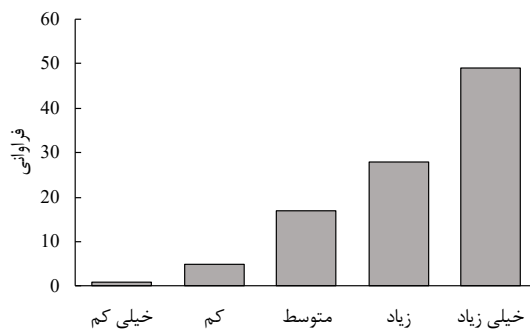
عامل	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
میانگین رتبه	۶۲/۶	۱۴/۶	۹۴/۵	۱۸/۵	۶/۱۳	۳۹/۶	۲۷/۵	۶۴/۳	۴۲/۵	۴/۲۶
Chi-Square	۴/۱۱۰		N		۹۰					
.Asymp. Sig.	۰۰۰/۰		df		۹					

نتایج اطلاعات جمع‌آوری شده به‌وسیله پرسشنامه در جدول ۵ نشان داده شده است که نمایانگر نقطه نظرات اعضای نمونه آماری در رابطه با تأثیرگذاری شاخصه‌های پرسشنامه بر بازدارندگی حملات آگروتورویستی است. آزمون فریدمن با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 24 تجزیه و تحلیل گردید که نتایج آن در جدول ۶ آمده است. داده‌های آزمون فریدمن نشان داد که ارزش χ^2 دو مشاهده شده در درجه آزادی ۹ معنی‌دار است. در نتیجه بین میانگین‌های رتبه‌ای تفاوت‌های معنی‌دار وجود دارد. به‌طوری‌که سؤال اول (تغییر رویکرد روش‌های سنتی ژنتیک گیاهی به سمت استفاده از تکنولوژی‌های مدرن (نانوبیوتکنولوژی) با بالاترین ارزش میانگین رتبه‌ای (۶/۶۲) و سؤال ۶ (تدوین سیاست‌های کلان به‌منظور افزایش توان پیشگیری و مقابله با حملات آگروتورویستی) با میانگین رتبه‌ای (۶/۳۹) بعد از سؤال اول بیشترین میانگین رتبه‌ای را به خود اختصاص داد. پایین‌ترین ارزش میانگین رتبه‌ای نیز مربوط به سؤال ۸ (شناخت آسیب‌پذیری‌های داخلی مرتبط با بخش کشاورزی و منابع طبیعی) با میانگین رتبه‌ای (۳/۶۴) بود. ارزش میانگین سایر سؤالات نیز در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۷- توزیع فراوانی فرضیه پژوهش

طبقه	فراوانی	درصد فراوانی	درصد فراوانی تراکمی
خیلی کم	۰/۶	۷/۰	۰/۷
کم	۰/۴۱	۶/۴	۵/۲
متوسط	۰/۱۵۷	۴/۱۷	۲۲/۷

طبقه	فراواني	درصد فراواني	درصد فراواني تراكمي
زياد	۰/۲۵۲	۰/۲۸	۵۰/۷
خيلى زياد	۰/۴۴۴	۳/۴۹	۱۰۰/۰
جمع	۰/۹۰۰	۱۰۰/۰	



شکل ۵- توزیع فراوانی فرضیه پژوهش

جدول ۸- شاخصه‌های فراوانی فرضیه پژوهش

میانگین	میانه	م	واریانس	چولگی	خطای استاندارد چولگی	کشی‌دگی	کشی‌دگی خطای استاندارد	دامنه	کمترین	بیشترین	جمع
۲۱/۴	۴	۵	۱/۲۴	۹۶/۰۰	۰/۸/۰	۱۴/۰	۱۶/۰	۴	۱	۵	۳,۷۸۷

جدول ۹- آزمون خی دو فرضیه پژوهش

فرضیه پژوهش	کای اسکور	درجه آزادی	معنی‌داری
تأثیر گذاری پدافند غیرعامل بر افزایش اثر بازدارندگی تهدیدات زیستی با تدوین سیاست‌های کلان و تغییر رویکرد از روش‌های سنتی ژنتیک گیاهی به سمت استفاده از تکنولوژی نانو	۶۹۴/۴	۴	<۰,۰۰۰

شاخصه‌های آماری فرضیه پژوهش در جدول ۹ نشان داده شده است و بیانگر آن است که میانگین، میانه، مد و واریانس توزیع به ترتیب ۴/۲، ۴، ۵ و ۱/۲۴ است. توزیع از چولگی منفی برخوردار است و در نقطه اوج خود نسبت به توزیع نرمال دارای برآمدگی است. کمینه و بیشینه نمرات نیز بین ۱ تا ۵ متغیر است. توزیع مربوط به فراوانی نیز نشان می‌دهد که ۷۷ درصد از پاسخ‌دهندگان به پرسشنامه در حد زیاد

و خیلی زیاد نسبت به محتوای فرضیه نظر مساعدی دارند یا به عبارتی معتقدند که پدافند غیرعامل می‌تواند با تغییر رویکرد به سمت تکنولوژی‌های نوین اثر بازدارندگی در برابر حملات آگروتوروریستی داشته باشد. در جدول ۸ معنی‌داری پاسخ جامعه نمونه آماری (خی دو) در رابطه با فرضیه پژوهش نشان داده شده است. داده‌های آزمون خی دو نشان می‌دهد که ارزش کای اسکور مشاهده شده (۶۹۴/۴) با درجه آزادی ۴ معنی‌دار است، در نتیجه استنباط می‌شود که ارزش مشاهده شده معنی‌دار است یا به عبارتی پدافند غیرعامل اثر بازدارندگی بر حملات آگروتوروریستی دارد.

نتیجه گیری

تحقیق حاضر بیانگر آن بود که ضرورت سؤالات مطرح شده در پرسشنامه، از دیدگاه جامعه آماری و نتایج آزمون فریدمن متفاوت است و به ترتیب اهمیت از بیشترین به کمترین مؤلفه عبارت‌اند از: تغییر رویکرد روش‌های سنتی ژنتیک گیاهی به سمت استفاده از تکنولوژی‌های مدرن (نانوبیوتکنولوژی) تدوین سیاست‌های کلان به منظور افزایش توان پیشگیری و مقابله با حملات آگروتوروریستی دستیابی به دانش نانوتکنولوژی در داخل کشور و بومی‌سازی آن اختصاص ردیف مستقل بودجه در خصوص مجهز نمودن آزمایشگاه‌های پدافند غیرعامل کشاورزی ارتقای جایگاه پدافند غیرعامل در ساختار تشکیلاتی وزارت جهاد کشاورزی ارتقای آموزش در زمینه مدیریت بحران‌های زیستی تدوین سیاست‌های کلان به منظور مدیریت بحران بعد از وقوع حملات آگروتوروریستی نقش وزارت جهاد کشاورزی در ساختار دفاع بیولوژیک نقش وزارت جهاد کشاورزی در پایداری ملی

شناخت آسیب‌پذیری‌های داخلی مرتبط با بخش کشاورزی و منابع طبیعی بیوتورریسم کشاورزی ابعاد گسترده‌ای از جمله زیان‌های هنگفت اقتصادی، عدم تأمین نیازهای غذایی جامعه، از دست دادن اعتماد افراد جامعه نسبت به دولت، هرج و مرج، تضعیف توان مقاومت کشور را دارد. بنابراین به صرفه‌ترین و اثربخش‌ترین رویکرد برای گروه‌های تروریستی و کشورهای متخاصم، استفاده و بهره‌برداری از دانش بیوتورریسم و آگروتورریسم، علیه کشورهای هدف می‌باشد و در صورت غفلت از این مهم، بدون تردید دولت‌ها و جوامع هدف، متحمل شکست سخت و جبران‌ناپذیر به خصوص در بحث تأمین زنجیره غذایی خواهد شد. در نهایت بدون تردید مهم‌ترین رویکرد و توصیه سیاسی، برای مقابله با بحران‌هایی از این قبیل، مدیریت سریع و کارآمد می‌باشد. برنامه‌ریزی دقیق، هدایت صحیح و اصولی نهادهای مسئول، منجر به کاهش ابعاد فاجعه خواهد گردید. درحالی که نداشتن راه کارهای مناسب و عدم اجرای سریع و به موقع سازوکارهای موجود نتایج عکس داشته و در برخی موارد باعث خارج شدن

اوضاع از کنترل می‌شود. بنابراین با سرلوحه قرار دادن این شعار که پیشگیری از وقوع تهدیدات، مهم‌تر از مقابله با آن، بعد از وقوع می‌باشد، می‌توان تا حد زیادی جلوی خسارات و لطمات متصور را گرفت. لذا امید است دولت و مسئولین حوزه امنیتی کشور بیش‌ازپیش به مشکلات و مسائل حوزه کشاورزی و منابع طبیعی توجه داشته باشند و تمهیدات لازم را به عمل آورده و بودجه قابل‌توجهی را برای حصول به نتیجه موردنظر پیش‌بینی نمایند. در خصوص اقدامات آگروتوروریستی و شیوع بیماری‌های گیاهی، اولین قدم برای مدیریت شناسایی صحیح عامل بیماری‌زا است. فناوری‌های فعلی، مانند واکنش زنجیره‌ای پلیمرز کمی (Q-PCR)، به مقدار نمونه نسبتاً زیادی از بافت هدف نیاز دارد و برای تشخیص دقیق عامل بیماری‌زا، متکی به سنجش‌های متعدد است. عیب رایج روش‌های تشخیص سنتی این است که وقت‌گیر هستند و حساسیت بالایی ندارند. در نتیجه، توسعه روش‌های کم‌هزینه برای بهبود دقت و سرعت تشخیص عوامل بیماری‌زای گیاهی موردنیاز است. تجهیزات کیت تشخیصی نانو به‌راحتی می‌توانند عوامل بیماری‌زای احتمالی گیاه را تشخیص دهند، و این امکان را می‌دهد که کارشناسان برای پیشگیری از بیماری‌های همه‌گیر به کشاورزان کمک کنند. از طرفی نانوذرات با هدف قرار دادن عوامل بیماری‌زا می‌توانند در درمان بیماری‌های گیاهی، مفید واقع شوند. برخی از نانوذرات ازجمله نانو اشکال کربن، نقره، سیلیس و آلومینا سیلیکات در کنترل بیماری‌های زراعی استفاده می‌شوند. چنین فناوری دقیقی ممکن است به طراحی یک سیستم مدیریت بیماری یکپارچه کمک کند و با تغییر و بهینه‌سازی محیط، بر عوامل بیماری‌زا، تأثیر منفی بگذارد. از راهکارهای اجرایی پدافند غیرعامل در بازدارندگی تهدیدات زیستی: تدوین و توسعه برنامه مدیریت پایدار کشاورزی، افزایش بودجه نهادها و ارگان‌های مرتبط با تأمین امنیت کشاورزی، تأکید به امر آموزش، فرهنگ‌سازی و افزایش آگاهی عمومی جامعه در ارتباط با اهمیت زیست‌بوم، رصد دائمی مناطق در معرض خطر، استقرار و تقویت نظام‌های مراقبت از بیماری‌های دامی و کشاورزی و سیستم‌های تشخیص به‌موقع و اقدامات پیشگیری، برقراری و گسترش تجهیزات آزمایشگاهی در مناطق مختلف متناسب با تهدیدات آگروتوروریسم است.

قابلیت‌های پدافند غیرعامل در کشاورزی و منابع طبیعی، در مقابل حملات و تهدیدات بیولوژیکی باعث ایجاد بستر مناسب توسعه پایدار و هم‌راستا با سیاست‌های تنش‌زدایی می‌گردد. این روش پایدارترین، ارزان‌ترین روش دفاع برای افزایش آستانه مقاومت ملی و پشتوانه اقتدار ملی می‌باشد. کاهش آسیب‌پذیری نقاط هدف و تأثیر سلاح دشمن به‌عنوان یکی دیگر از شیوه‌های پدافند غیرعامل از طریق مکان‌یابی صحیح، ایجاد موانع و استفاده از عوامل دفاع بیولوژیک صورت می‌گیرد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیش از ۸۳ درصد از جامعه نمونه موافق با تغییر رویکرد به سمت تکنولوژی‌های نوین ازجمله نانوتکنولوژی هستند. این تغییر رویکرد نه تنها کشور را در برابر حملات آگروتوروریستی مقاوم نموده بلکه در سایر

پژوهش‌های علمی نیز تغییرات اساسی ایجاد خواهد نمود و باعث تغییر دیدگاه‌های محققین از سمت ژنتیک کلاسیک به سمت فناوری‌های نوین و بروز شدن پژوهش‌ها خواهد شد. چشم‌اندازهای کاربردی استفاده از فناوری نانوتکنولوژی در خصوص به کارگیری پدافند غیرعامل عبارت‌اند از: (۱) پاسخ سریع در سیستم مدیریت یکپارچه بیماری از طریق سیستم‌های نانوحسگر بیرونی و یا نصب‌شده (به‌طور مثال نصب‌شده در تنه درختان) (۲) پیشرفت حسگرهای زیستی آزمایشگاهی فوق‌سریع برای تشخیص عوامل بیماری‌زای گیاهی در مزرعه و یا پس از برداشت (۳) توسعه نانوسیستم‌های بازیابی برای نمونه‌برداری خاص از خاک، هوا و نمونه‌های گیاهی. (۴) ارائه روش‌های سریع و قابل‌اعتماد نانو تشخیص مایکوتوکسین‌ها و قارچ‌های سمی (۵) تشخیص بقایای آفت‌کش‌ها در غذا و خوراک‌ها.

منابع

- باقری، عبدالرضا و رفعت نژاد، صمد (۱۳۹۹)، تدوین الگوی سنجش امنیت غذایی در جمهوری اسلامی ایران، فصلنامه پدافند غیرعامل و امنیت، دوره هشتم، شماره: ۱، صص ۱۰۷-۱۳۳.
- بهمنی، رضا و مینایی، محمدابراهیم (۱۳۹۸)، مطالعه سامانه‌های تشخیص مولکولی تهدیدهای زیستی مبتنی بر PCR با کاربرد میدانی، نشریه علمی پدافند غیرعامل، دوره دهم، شماره ۲: صص ۹۷-۱۰۵.
- شریعت، ا. (۱۴۰۰)، ضرورت تأسیس شبکه ملی مطالعات پدافند غیرعامل در حوزه منابع طبیعی، نشریه حمایت و حفاظت از جنگل‌های هیرکانی، دوره سوم، شماره ۲: صص ۸-۱.
- شعبانی نژاد، رضا، بالی لاشک، عارف، سلطانی، ایمان و فیاضی، حسین (۱۴۰۰)، اصول پدافند غیرعامل سیستم قدرت در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی، نشریه علمی پدافند غیرعامل، دوره دوازدهم، شماره ۲: صص ۶۵-۸۸.
- عمید، حسن (۱۳۹۰). فرهنگ فارسی عمید، انتشارات امیرکبیر، تهران، ۱۲۸۴ ص.
- مهدوی‌زاده، مهدی و خلف‌زاده، رشید (۱۳۹۸)، نقش پدافند غیرعامل در مقابله با حملات بیوتروریسم در نیروهای مسلح (مطالعه موردی عوامل میکروبی)، فصلنامه پدافند غیرعامل و امنیت، دوره هشتم، شماره ۲۹: صص ۲۷-۴۹.
- Abd-Elsalam, K.A. (2013). *Nanoplatfoms for plant pathogenic fungi management*. Fungal Genome Biol. 2:12-.
- Agrios, G.N. (2005). *Plant pathology*. 5th ed. San Diego (CA): Elsevier-Academic Press; p. 922.
- Barras, V. and Greub, G. (2014). *History of biological warfare and bioterrorism*. Clinical Microbiology and Infection, 20(6), 497-502.
- Bhattacharya, S., Jang, J., Yang, L., Akin, D., Bashir, R. (2007). *Biomems and nanotechnology based approaches for rapid detection of biological entities*. J Rapid Methods Automation Microbiol, 15(1):1-32
- Cordesman, A.H. (1998). *Iraq's past and future biological weapons capabilities*. CSIS Middle East Dynamic Net Assessment, 20006(202), 26 pp.
- DaSilva, E. J. (1999). *Biological warfare, bioterrorism, biodefence and the biological and toxin weapons convention*, Electronic Journal of Biotechnology, 2(3): 4-34.
- Denschlag, C., Vogel, R.F., Niessen, L. (2012). *Hyd5 gene-based detection of the major gushing-inducing Fusarium spp. in a loop-mediated isothermal amplification (LAMP) assay*. International Journal of Food Microbiology, 156(3):189-196.

- Evans, G. and Newnham, R. (1998). **The Dictionary of International Relations**, Penguin Publishing, 640 p.
- Ferone, M., Gowen, A., Fanning, S., & Scannell, A. G. M. (2020). **Microbial detection and identification methods: Bench top assays to omics approaches**. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3106–3129. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12618>
- Frischknecht, F. (2003). **The history of biological warfare human experimentation, modern nightmares and lone madmen in the twentieth century**. *EMBO Report*, 4(suppl \): S47–S52.
- Goluch, E.D., Nam, J.M., Georganopoulou, D.G., Chiesl, T.N., Shaikh, K.A., Ryu, K.S., Barron, A.E., Mirkin, C.A., Liu, C. (2006). **A biobarcode assay for on-chip attomolar-sensitivity protein detection**. *Lab Chip*, 6(10):12931299.
- Gonzalez-Melendi, P., Fernandez-Pacheco, R, Coronado, M.J. (2007). Corredor E, Testillano PS, Risueño MC, Marquina C, Ibarra MR, Rubiales D, Perez-de-Luque A. **Nanoparticles as smart treatment delivery systems in plants: assessment of different techniques of microscopy for their visualisation in plant tissues**. *Annals of Botany*, 101(1):
- Jain, K. (2003). **Nanodiagnosics: application of Nanotechnology (NT) in molecular diagnostics**. *Expert Reviews in Molecular Diagnostics*, 2003;(2):153161.
- Kumar, S., Ansary, A., Ayoobul, A., Absar, A., Khan, M.I. (2007). **Extracellular biosynthesis of CdSe quantum dots by the fungus, *Fusarium oxysporum***. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 3:190-194.
- Lenteren, J.C., Martin, N.A. (1999). **Biological control of whitefly**. In: Albajes, R., Gullino, M.L., Lenteren, J.C., Elad, Y. *Integrated pest and disease management in greenhouse crops*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 202216-.
- Long, C.M., and Marzi, A. (2021). **Biodefence research two decades on: worth the investment?** *The Lancet Infectious Diseases*, 21(8), e222–e233.
- Monis, P.T., Giglio, S. (2006). **Nucleic acid amplification-based techniques for pathogen detection and identification**. *Infect Genet Evol.* 6(1):2-12.
- Nam, J.M., Stoeva, S.I., Mirkin, C.A. (2004). **Bio-bar-code-based DNA detection with PCR-like sensitivity**. *Journal of the American Chemical Society*, 126(19):5932-5933.

- Nie, L. (2013). **Biomedical nanotechnology for optical molecular imaging, diagnostics, and therapeutics**. JSM Nanotechnology and Nanomedicine i. 1(1):1-2.
- Ozsolak, F. (2012). **Third-generation sequencing techniques and applications to drug discovery**. Expert Opinion on Drug Discovery, 7(3):231-243.
- Parida, M.M. and Paban Kumar Dash, J.S. (2020). **Advance detection technologies for select biothreat agents**. Handbook on Biological Warfare Preparedness, 83–102.
- Paterson, R. R. M. (2006). **Fungi and fungal toxins as weapons**, Mycol Res, 110: 1003–1010.
- Pimentel, D. (2009). **Invasive plants: their role in species extinctions and economic losses to agriculture in the USA**. In: Inderjit, editor. Management of invasive weeds, invading nature Springer Series in invasion ecology. Vol Dordrecht: Springer, p. 1-7.
- Pramanik, P., Krishnan, P., Maity, A., Mridha, N., Mukherjee, A., & Rai, V. (2020). **Applications of Nanotechnology in Agriculture**. In Applications of Nanobiotechnology. pp:317-348.
- Radosavljevic, V. (2018). **Primordial and primary levels of biothreat and bioterrorism prevention**, NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology, pp. 95–108.
- Rai, M, Ingle, A. (2012). **Role of nanotechnology in agriculture with special reference to management of insect pests**. Applied Microbiology and Biotechnology, 94(2):287-293.
- Suffert, F., Latxague, É. and Sache, I. (2009). **Plant pathogens as agroterrorist weapons: assessment of the threat for European agriculture and forestry**. Food Security, 1(2), 221–232.
- Tripathi, M., Kumar, S., Kumar, A., Tripathi, P., & Kumar, S. (2018). **Agro-nanotechnology: A Future Technology for Sustainable Agriculture**. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, (7), 196–200.
- Walper, S.A., (2018) Lasarte Aragonés, G., Sapsford, K. E., Brown, C. W., Rowland, C. E., Breger, J.C., & Medintz, I.L. **Detecting Biothreat Agents: From Current Diagnostics to Developing Sensor Technologies**. ACS Sensors, 3(10): 1894–2024. <https://doi.org/10.1021/acssensors.8b00420>

- Wang, J., Zhang, S., Zhang, Y. (2010). **Fabrication of chronocoulometric DNA sensor based on gold nanoparticles/polylysine modified glassy carbon electrode**, *Anal Biochem*, 396(2):304-309.
- Yalcin, B., Otles, S. (2010). **Nanobiosensor and food pathogen interaction mechanisms**. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9:1257-1273.
- Yeh, K.B., Wood, H., Scullion, M., Russell, J. A., Parker, K., Gnade, B.T., ... Mereish, K. (2019). **Molecular Detection of Biological Agents in the Field: Then and Now**. *MSphere*, 4(6), e00695-19.