

## کاربرد نانویوتکنولوژی در پاکسازی و امحای بقایای آفت کش ها در

### راستای مدیریت پسماند و توسعه پایدار محیط زیست

سید مجید لوح موسوی

گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

حسین حیدری شریف آباد\*

گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

علی محمدی ترکاشوند

گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

قربان نورمحمدی

گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

بابک دلخوش

گروه زراعت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۳۰

#### چکیده

استفاده از آفت کش ها به منظور بهبود کیفیت و عملکرد محصول و الزامهای تجاری لازم است. اما، استفاده کردن پیوسته جهانی از آفت کش ها، خطرات جدی برای سلامت انسان و محیط زیست ایجاد می کند. این موضوع سبب افزایش نیاز فوری به توسعه دادن فرمول های آفت کشی به کمک روش نانو بیوتکنولوژی می گردد که آن دارای خطر، عوارض جانبی پایین و کارایی بالا است. امروزه نانوتکنولوژی در زمینه های مختلف مانند هوا - فضا، صنایع مختلف اعم از غذایی، نظامی، پزشکی داروسازی، شیمیایی، حشره کش ها و غیره، پیشرفت چشمگیری داشته است. در این پژوهش، خطرات مربوط به آفت کش های معمولی و همچنین نانو آفت کش ها به طور خلاصه بررسی شده است. همچنین، هنوز مدیریت نمودن بقایای آفت کش ها به عنوان یک چالش جهانی می باشد. آلودگی آب و خاک با آفت کش ها تأثیر نامطلوبی بر بهره وری کشاورزی و همچنین، امنیت غذایی دارد. بنابراین، تهدیدی جدی برای موجودات زنده است. باقیمانده آفت کش ها در اکوسیستم ممکن است با چندین فرآیند فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی، مانند تخریب برپایه میکروبی و فرآیندهای اکسیداسیون توسعه یافته، درمان شوند. بنابراین، با در نظر گرفتن این مسائل، تکنیک های موجود و هم در حال ظهور را برای مدیریت بقایای آفت کش ها و خطرات زیست محیطی بررسی می کنیم. این روش ها می توانند راه حلی پایدار برای احیای نمودن منابع آب/خاک کدر شده ارائه دهند. همچنین، رویکردهای تحقیقاتی توسعه یافته به منظور بررسی جایگزین های بیوتکنولوژیکی برای آفت کش های معمولی همراه با چشم اندازهای به آینده مورد بحث قرار گرفته و تکنیک های کاهش دادن مضرات این آفت کش ها توصیه می شوند.

کلیدواژگان: نانویوتکنولوژی، محیط زیست، آفت کش ها، ارزیابی ریسک، مدیریت پسماند.

## مقدمه

معیارهای کلیدی برای سیستم‌های کشاورزی، میزان بهره‌وری، رفاه اجتماعی، تاثیرات زیست محیطی و دوام اقتصادی است. استفاده از سموم دفع آفات و کودها در کل مزارع کشاورزی برای افزایش بازده محصولات و تولید مواد غذایی و ایجاد تعادل در تقاضا از سوی جمعیت انسانی به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. آفت‌کش‌ها ترکیباتی هستند که در کشاورزی برای محافظت از گیاهان در برابر آفات، قارچ‌ها، جونندگان و علف‌های هرز و برای تقویت رشد گیاه ضروری هستند [۱]. در اوایل دهه‌ی ۱۹۴۰، تعداد زیادی از آفت‌کش‌ها بدون توجه نمودن به معضلات زیست محیطی و همچنین، بهداشتی که در نتیجه‌ی استفاده‌ی وسیع از آن‌ها ایجاد می‌گردد، گسترش یافتند. در حالی که با گذر زمان گزارش‌های زیادی مبنی بر مسمومیت گیاهان و سایر گونه‌های غیرهدف به علت بقایای باقیمانده برخی از آفت‌کش‌ها، که اثرات آن‌ها حتی تا ده سال بعد از بکاربردن سم نیز در محیط باقی می‌ماند، ارائه شد. انسان‌ها نیز مانند سایر موجودات غیرهدف، در معرض خطرات ایجاد شده از جمع شدن آفت‌کش‌های پایا در زنجیره‌های مواد غذایی قرار دارند. این مساله به‌صورت نگران‌کننده‌ای در حال‌افزایش بوده و سازمان‌های بین‌المللی نظیر USEPA، WHO و FAO آن را به دقت مورد بررسی قرار می‌دهند. آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA)، وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA)، سازمان غذا و داروی ایالات متحده، کنوانسیون استکهلم و برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (UNEP) آفت‌کش‌ها را تنظیم می‌کنند [۲]. علاوه بر این استفاده مکرر و فراوان مقادیر بالای آفت‌کش‌ها باعث بروز مقاومت در آن‌ها شده است [۳-۵]. در کشاورزی به‌طور معمول، عمدتاً برای از بین بردن آفات شامل علف‌های هرز، حشرات و عوامل بیماری‌زا از سموم آفت‌کش استفاده می‌شود.

رویکرد استفاده نمودن از یک علف‌کش ویژه به‌منظور از بین بردن به‌طور هم‌زمان چندین گونه‌ی مختلف علف هرز در اراضی کشاورزی سبب کنترل و مدیریت ضعیف به‌کاربردن علف‌کش و بروز مقاومت در علف‌های هرز نسبت به علف‌کش می‌شود. قرار گرفتن پی در پی علف‌های هرز در معرض یک علف‌کش ویژه طی یک فصل کشاورزی و علف‌کشی متفاوت در فصل کشاورزی بعد سبب ایجاد مقاومت در علف‌های هرز و همچنین، غیرقابل کنترل شدن آن‌ها به وسیله‌ی سموم شیمیایی می‌گردد. دامنه تاثیرگذاری علف‌کش‌های امروزی در سلول‌های گیاهی شامل تخریب کردن ساختار و کارکرد کلروپالستها، جلوگیری کردن از سنتز زیستی (بیوسنتز) لیپیدها، سبب اختلال در تقسیم سلولی از طریق برهم‌زدن توالی میتوزی و جلوگیری نمودن از شروع تقسیم میتوز، جلوگیری از سنتز زیستی سلولز و تنظیم رشد سلولی القا شده به‌وسیله‌ی اکسین، است. جذب کردن ریشه‌ای علف‌کش‌ها در مقایسه با جذب برگی آن‌ها فرآیندی بسیار ساده‌تر است. ریشه‌ها همانند برگ‌ها دارای لایه اپیدرم نیستند، اگرچه ریشه‌های بالغ به وسیله‌ی لایه‌های چوب‌پنبه‌ای پوشیده شده‌اند. بنابراین، بر سر راه جذب کردن علف‌کش‌ها موانع کمتری از طریق ریشه‌های علف هرز وجود دارد. از آنجایی که ریشه‌های گیاهان اساساً چربی‌دوست هستند، بنابراین، علف‌کش‌های لیپیدی به‌راحتی می‌توانند از طریق ریشه‌ها جذب گیاه گردند. هر چند تاکنون، سازوکارهای مولکولی مربوط به علف‌کش‌ها به‌طور کامل شناخته نشده است، با این حال، در حدود ۶۰ درصد از علف‌کش‌های امروزی سبب بروز اختلال در سیستم انتقال الکترون نوری کلروپلاست می‌گردد. اطلاع داشتن از ویژگی‌های مولکولی قسمت‌های زیرزمینی گیاه، جهت دست یافتن به یک دامنه اثر جدید و گسترش مولکول‌های پذیرنده‌ای که دارای پیوندهای ویژه‌ای با نانومولکول‌های علف‌کشی

نظیر نانولوله‌های کربنی هستند، سبب از بین بردن اندام‌های تکثیری زیرزمینی زنده و غیرزنده علف‌های هرز می‌شود [۶].

روش تحقیق از نظر هدف، تحقیقی و توسعه‌ای و از نظر رویکرد توصیفی - کاربردی می‌باشد. هدف کلی این تحقیق، کاربردهای زیست محیطی نانوبیوتکنولوژی برای مدیریت و امحای بقایای آفت‌کش‌ها است، تحقیق در این زمینه به صورت کتابخانه‌ای بوده و جامعه آماری و ابزار جمع‌آوری اطلاعات محقق این پژوهش مجموعه مقالات و کتاب‌های نوشته شده در این زمینه در داخل و خارج کشور می‌باشد. در این تحقیق به بررسی آفت‌کش‌های معمولی، نانو، مضرات و کاربردهای نانوبیوتکنولوژی در مدیریت آفت‌کش‌ها پرداخته می‌شود.

### - بیان مساله و مفاهیم پژوهش :

یکی از روش‌های کنترل نمودن مقاومت نسبت به آفت‌کشها در آفات گیاهی و ناقلین بیماری‌ها استفاده کردن از مبارزه تلفیقی می‌باشد که در آن فقط از مواد شیمیایی استفاده نمی‌شود بلکه از روش‌های مختلف شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیکی و محیطی برای مبارزه با آفات استفاده می‌شود تا اثرات سوء وارد شده بر محیط زیست کاهش یابد و همچنین، شدت بروز مقاومت آفاتها به آفت‌کش‌ها کمتر شود [۲]. یکی دیگر از روش‌های کم کردن آسیب به محیط زیست و افزایش دادن میزان اثربخشی آفت‌کش‌ها بر آفات هدف، استفاده از فرمولاسیونهای مناسب می‌باشد. روش میکروکپسول یکی از روش‌های تقریباً موفق در این زمینه می‌باشد که آفت‌کش را در کپسول‌هایی از جنس‌های مختلف با ابعاد بسیار کوچک قرار می‌دهند. این تکنیک سبب جذب آسان‌تر و سریع‌تر و همچنین، بیشتر آن در آفت هدف شده در عین حال با کم شدن مقدار مصرف و نیز محافظت کردن از تماس با محیط سبب افزایش اثر بر آفات و کاهش مخاطره‌های زیست محیطی می‌گردد [۷]. همچنین، برای غلبه بر این مشکلات مدیریت آفات به سمت توسعه فرمول‌های به کمک فناوری نانو حرکت کرده است که شامل فرمول‌های نانو آفت‌کش‌ها می‌شود که دارای عوارض جانبی کمتری هستند [۸]. واژه نانو تکنولوژی در ابتدا به وسیله فاینمن ریچارد<sup>۲</sup> در سال ۱۹۵۹ استفاده گردید ولی در سال ۱۹۷۴ دانشمند ژاپنی<sup>۳</sup> از این واژه در دانشگاه توکیو به‌طور رسمی استفاده کرد و کتاب او در سال ۱۹۸۶ با نام "موتورهای تولید: عنصر نانوتکنولوژی" چاپ شد و در مورد نانوبیوتکنولوژی اطلاعات مناسبی ارائه نمود. نانوتکنولوژی دارای چهار زمینه مواد نانو، نانو دارو، اندازه‌گیری نانو و ذرات نانو است. واژه نانو از واژه یونانی به معنی کوچک گرفته شده است و از نظر تکنیکی  $10^{-9}$  گفته می‌شود. اندازه‌های معادل ذرات نانوی استفاده شده در نانو تکنولوژی دارای ابعادی بین ۰.۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشند. ذرات نانو را می‌توان یا به روش درستکاری کردن با دست یا با کوچک کردن ذرات بزرگ مولکول‌ها به منظور تولید ذرات و ساختارهای نانو ایجاد نمود. برخی از استفاده‌های نانوتکنولوژی عبارتند از: آزادسازی و رهاسازی کنترل شده خوشبوکننده‌ها، احیاء بیولوژیکی محیط زیست آلوده، مواد ضد قارچ و مواد ضد میکروب روی پارچه و لیاف، مصارف بهداشتی و پزشکی، هوا-فضا، نظامی، دارویی و صنعتی. معمولاً مواد نانو در طی فرایندهای شیمیایی ساخته می‌شوند. فناوری نانو دارای فواید و موارد استفاده‌ی وسیعی در بخش

کشاورزی بویژه مدیریت آفت‌کش‌ها دارد. استفاده از نانوکپسول‌ها برای آزادسازی کنترل شده آفت‌کش‌ها و همچنین، مدیریت کارآمد آفات و ناقلین عوامل بیماریزا، بکارگیری نانوحسگرها جهت ردیابی آفات و موارد بی‌شمار دیگر مفید می‌باشد [۷].

نانوسیلیکا یک آفتکش بیولوژیکی نانوی جدید بوده و سیلیکا در زمین فراوان وجود دارد. سیلیکای طبیعی شامل: ماسه کوارتز، صخره‌ها و رس به‌عنوان مواد خام ساختمان‌سازی بکار گرفته می‌شوند. برای تولید سیلیکاژن و سایر فرآورده‌های مرتبط با سیلیکا، مواد خام ذکر شده با مواد شیمیایی ترکیب می‌شوند. از این مواد در ارتباطات اپتیکی، میکروالکترونیک، تکنولوژی لایه نازک و همچنین در داروسازی به‌منظور تولید داروهای ضد سرطان استفاده می‌شود [۹، ۱۰].

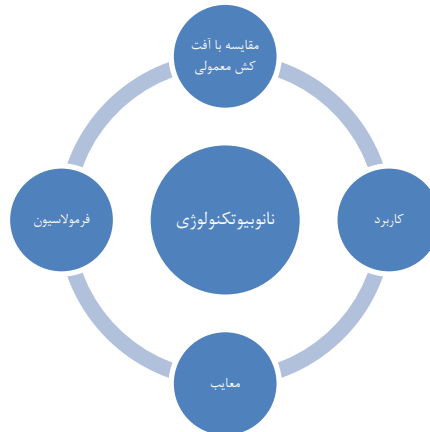
حشره‌کش‌های نانو فتوکاتالیست یکی از تکنولوژی‌های مناسب در زمینه کم کردن اثرهای مخرب زیست محیطی آفت‌کش‌ها، تولید کردن انواع متفاوت تجزیه‌پذیر آن‌ها به کمک روش نانوتکنولوژی است. یکی از این تکنیک‌ها استفاده کردن از ذرات نانو بوده که تجزیه‌پذیری نوری مواد آلاینده را افزایش می‌دهند، می‌باشد. به‌عنوان مثال ذرات نانو تیتانیا مثل  $TiO_2$  یکی از پراستفاده‌ترین ترکیبات فتوکاتالیست می‌باشد که ارزان، پایدار، غیرسمی و مؤثر می‌باشد. در میان فوتوکاتالیست‌های مختلفی که مورد بررسی قرار گرفته‌اند، نانوساختارهای  $TiO_2$  و  $ZnO$  به دلیل توانایی آن‌ها برای عملکرد در دما و فشار اتاق و نیاز به انرژی کم فوتون بهتر بوده‌اند [۱۱-۱۳]. علاوه بر این، این نانوکاتالیست‌ها برای واکنش‌های کاتالیزوری نیازی به واکنش‌های شیمیایی ندارند و فقط به اکسیژن هوای محیط نیاز دارند. واکنش کاتالیزوری شامل بقایای آفت‌کش‌هایی است که به سطح نانوکاتالیست‌ها جذب می‌شوند و به دنبال آن شکسته شدن پیوندهای شیمیایی و تشکیل محصولات تخریب صورت می‌گیرد. کارایی تجزیه نوری به ظرفیت جذب کاتالیزور برای آفت‌کش و عملکرد کوانتومی مبتنی بر گونه‌های اکسیژن فعال نانوکاتالیست بستگی دارد [۱۴].

در مورد پیشینه تحقیق می‌توان به این تحقیقات اشاره کرد: فرضی و همکاران طی تحقیقی به مدل‌سازی مدیریت پسماند خشک غرفه‌های بازیافت با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و استنتاج منطق فازی در مناطق غربی شهر تهران پرداختند [۱۰۵]. ساسانی و همکاران نیز در پی بررسی نقش مؤلفه‌های شناسایی شده بر مدیریت منابع انسانی سبز و زنجیره تامین سبز با رویکرد کاهش آلاینده‌های زیست محیطی در صنعت ایران خودرو تحقیقی را انجام دادند [۱۰۶]. ترابی و همکاران نیز در تحقیقی به دنبال شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی مکان دفن زباله و نیروگاه زباله‌سوز و تاثیر آن بر محیط زیست شهری با روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی می‌باشند [۱۰۷].

تکنولوژی نانوکپسول یکی از روش‌های تولید فرمولاسیون حشره‌کش بوده که شامل مولکول‌های حشره‌کش با اندازه درمقیاس نانو می‌باشند که سبب جذب سریع‌تر و آسان‌تر آفت‌کش به داخل بافت آفت و گیاه می‌شود. مکانیسم عمل نانوکپسول‌ها شامل فشاراسمزی، انتشار، انحلال، تجزیه بیولوژیکی می‌باشد. لوله‌های نانو حاوی حشره‌کش وقتی به بافت گیاه می‌چسبند مواد داخل خود را به بدن حشراتی که در تماس با آن‌ها قرار می‌گیرند منتقل می‌کنند. استفاده بیش از حد از آفت‌کش‌های معمولی برای موجودات زنده خطرناک است و به اکوسیستم‌های طبیعی آسیب می‌رساند [۱۵]. بنابراین، با توجه به هزینه ناشی از مصرف نمودن مقادیر فراوان آفت‌کش‌های معمولی در طبیعت، مشکلات زیست محیطی و نیز مشکلات ناشی از مقاومت کردن آفات‌ها به این آفت‌کش‌ها، تحقیق نمودن پیرامون

آفت‌کش‌های نانو به عنوان یک ضرورت مطرح می‌شود. این مقاله به بررسی ضرورت‌ها، چالش‌های پیش روی تولید و روش‌های موجود و همچنین، استفاده از آفت‌کش‌های نانو می‌پردازد. در این مقاله به سوالات زیر پاسخ داده شده و شکل (۱) مدل تحقیق را نشان می‌دهد.

- خطرات ناشی از آفت‌کش‌های مصنوعی معمولی و نانوافت‌کش‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست چیست؟
- به چه صورت می‌توان با نانوبیوتکنولوژی بقایای آفت‌کش‌ها را مدیریت نمود؟
- سرنوشت نانوفرمولاسیون‌ها در محیط چگونه است؟
- کاربردهای نانوبیوتکنولوژی در آفت‌کش‌ها چیست؟



شکل ۱: مدل تحقیق

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق، کشور ایران است. همسایگان ایران ارمنستان و آذربایجان در شمال غربی، ترکمنستان در شمال شرقی، عراق و ترکیه در غرب، افغانستان و پاکستان در شرق می‌باشند. ایران بعد از عربستان سعودی دومین کشور بزرگ در خاورمیانه است. این کشور مساحتی برابر با ۱,۶۴۸,۰۰۰ کیلومتر مربع دارد. ایران کشوری تقریباً مثلثی شکل است که طولانی‌ترین ضلع آن از مرز ترکیه در شمال غربی تا مرز پاکستان در جنوب شرقی کشیده شده است و ۲,۵۰۰ کیلومتر طول دارد. بیش از نیمی از مرز بین‌المللی ایران به طول ۴,۴۳۰ کیلومتر ساحلی است و شامل ۷۴۰ کیلومتر مرز در حاشیه دریای خزر در شمال و ۱,۷۰۰ کیلومتر مرز در خلیج فارس و دریای عمان در جنوب می‌باشد. ایران به عنوان یکی از کشورهای پرکوه جهان دو رشته کوه اصلی دارد. البرز که بلندترین قله را در آسیا دارد (قله دماوند با ارتفاع ۵۶۷۱ متر بالاتر از سطح دریا) و در غرب رشته کوه‌های هیمالیا قرار گرفته است و زاگرس که با بیش از ۱,۶۰۰ کیلومتر طول از شمال غربی تا جنوب شرقی کشور کشیده شده است. این دو رشته کوه بیش از ۲,۳۰۰ متر ارتفاع دارند و مقدار قابل توجهی رطوبت را که از دریای خزر به جنوب یا از دریای مدیترانه به شرق می‌رود از محیط می‌گیرند. رشته کوه‌های محلی دیگری نیز در ایران وجود دارد که در حاشیه‌های آن‌ها آبگیرهایی وجود دارد که به عنوان فلات مرکزی شناخته می‌شوند. این آبگیرها عبارتند از دشت کویر، صحرایی بسیار بزرگ و پوشیده از نمک در شمال مرکزی ایران و کویر لوت، صحرایی پوشیده از ماسه و سنگریزه در جنوب شرقی کشور. واحه‌های آبخیزی در این مناطق وجود دارد که نمونه‌های واقعی و زنده عزم ایرانیان قدیم برای بقا و زندگی بخشیدن به مناطق خشک و بی‌آب است. جغرافیای ایران شاهد چندین رودخانه است، اما تقریباً همه آن‌ها نسبتاً کوچک و کم‌عمق هستند که برای

کشتیرانی مناسب نمی‌باشند. تنها رودخانه‌ای که در ایران امکان کشتیرانی در آن وجود دارد، رود کارون است که از شهر اهواز در جنوب غربی ایران می‌گذرد و به خلیج فارس می‌ریزد. اکثر رودخانه‌ها از کوه‌ها سرچشمه می‌گیرد و در داخل آبیگرها فرو می‌ریزند. تقریباً یک سوم کل سرزمین ایران قابل کشت است و فقط ۱۰.۴ درصد آن تحت کشت و زرع می‌باشد. ۶ درصد دیگر از کل زمین‌های کشور برای چرای دام‌ها استفاده می‌شوند. مناطق جنگلی در دهه‌های اخیر کمی کاهش داشته و ۴.۳ درصد از کل کشور را به خود اختصاص می‌دهند.

جمعیت ایران در سال ۱۳۹۸ در حدود ۸۳,۰۰۰,۰۰۰ نفر تخمین زده شده است. این عدد نسبت به ۴۴ سال پیش از آن که معادل ۳۳,۳۷۹,۰۰۰ نفر بوده بیش از دو برابر شده است. بین سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۷، نرخ رشد جمعیت سالانه ایران بیش از ۳ درصد بوده است. در میانه اولین دهه پس از انقلاب در ایران و بعد از برنامه گسترده دولت در کنترل جمعیت، شروع به کاهش کرد. در سال ۱۳۷۹، نرخ رشد جمعیت ۰.۷ درصد در سال کاهش یافت. در سال ۱۳۸۵، نرخ رشد جمعیت به ۱.۳ درصد رسید و از سال ۱۳۹۴ به بعد نیز دولت در تلاش است تا مردم را به افزایش جمعیت ترغیب کند. در سال ۱۳۹۵، تقریباً ۷۴ درصد جمعیت ایران در مناطق شهری و بقیه در مناطق حومه شهر زندگی می‌کردند. این امر نشان‌دهنده مهاجرت عظیم به شهرها در سال‌های اخیر می‌باشد. جمعیت ایران از گروه‌های قومی متعددی تشکیل شده است. پارس‌ها (قوم فارس) ۶۰ درصد جمعیت، آذری‌ها ۲۵ درصد جمعیت، کردها ۵ درصد و لرها ۲ درصد جمعیت ایران را تشکیل می‌دهند. باقی جمعیت شامل اقلیت‌های عرب، ارمنی، آشوری، بلوچی و ... می‌شود. دین اکثر مردم کشور فارغ از قوم یا زبان آن، اسلام است.



شکل (۴): نقشه ایران (منبع: گیتاشناسی)

## یافته‌ها

در این بخش با استفاده از مطالعات و پژوهش‌های انجام شده به بررسی سوالات پژوهش می‌پردازیم.

### ارزیابی خطر آفت‌کش‌های مصنوعی معمولی با توجه به سلامت انسان و محیط‌زیست

آفت‌کش‌ها ممکن است یک ماده شیمیایی مانند ۲،۴-دی کلرو فنوکسی استیک اسید، آترازین و اندوسولفان یا یک عامل بیولوژیکی مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها، دفع آفات و علف‌های هرز باشند. در مقابل، کودها با عناصر کمیاب مانند روی، بور، منگنز، آهن، مس و کلر تغذیه گیاه را تقویت می‌کنند. علی‌رغم محبوبیت و استفاده گسترده از آفت‌کش‌ها برای افزایش تولید محصول، این مواد شیمیایی کشاورزی تأثیر منفی بر میکروارگانیسم‌های دوستدار محصول در محیط دارند [۱۶]. علاوه بر این، بعضی افراد به دلایل شغلی مانند کارگران کشاورزی، نابود کننده‌های آفات خانگی، و کارگران در معرض آفت‌کش‌ها قرار می‌گیرند، که این نیز یک نگرانی جدی است زیرا قرار گرفتن در معرض آفت‌کش‌ها خطرات جدی، برای سلامت این کارگران در کوتاه‌مدت و بلندمدت به همراه دارد [۱۷]. در کشورهای در حال توسعه، وضعیت، بخصوص به دلیل استفاده از ترکیبات بسیار سمی که قبلاً در جهان غرب محدود یا ممنوع شده‌اند، بحرانی است. فراتر از خطرات شدید برای سلامتی انسان، تأثیر منفی آفت‌کش‌ها بر حیات وحش و اکوسیستم‌ها نیز در حال افزایش است [۱۸]. بنابراین استفاده فراوان از آفت‌کش‌ها اگر چه سبب زیاد شدن تولید محصولات کشاورزی شد اما استفاده فراوان از آن‌ها سبب زیاد شدن غلظت آن‌ها در آب و خاک و همچنین، بدن موجودات زنده غیرهدف شده است به طوری که گاهی ممکن است این مقادیر از حداکثر مجاز بالاتر شود [۱۹-۲۱]. جدول (۱) خلاصه‌ای از متداول‌ترین بقایای آفت‌کش‌های شناسایی شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱: خلاصه‌ای از متداول‌ترین بقایای آفت‌کش‌های شناسایی شده در نمونه‌های غذا [۲۲-۲۸].

منابع	حد	محدودیت	تکنیک استخراج	بقایای آفت‌کش‌های	مهم‌ترین آفت‌کش‌ها
	تشخیص	کمیت		یافت شده	
	(µg/L)	یا (µg/L)		یا (µg/L)	
	یا (µg/Kg)			(µg/Kg)	
<b>عسل</b>					
[۲۲]	۵	۱۰	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال UHPLC-MS/MS	۲۹	تری کلروفون (دی متیل ۲،۲،۲-تری کلرو-۱-هیدروکسی اتیل) فسفونات)
<b>آرد گندم</b>					
[۲۳]	۰/۴۸	۱۰	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال UHPLC-MS/MS	۵.۲±۸.۱۰	دلتمترین
[۲۳]	۰/۰۱	۱۰	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال UHPLC-MS/MS	۸.۶۴±۷.۶۷۸	پیریمیفسوس متیل
<b>موز</b>					
[۲۴]	۵	۱۰	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال UHPLC-MS/MS	۱۷.۵±۰.۱۳	ایمیداکلوپرید

[۲۴]	۵	۱۰	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال -UHPLC MS/MS	۶۵.۳±۰.۲۴	کاربن‌دازیم
[۲۴]	۵	۱۰	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال -UHPLC MS/MS	۱۲.۴±۰.۳۱	بوسکالید
<b>آب پرتقال</b>					
[۲۵]	۳	۶/۲	روش استخراج QuEChERS بافر با استفاده از استونتریل اسیدی و استات سدیم	۲۰/۴	بوپروفزین
[۲۵]	۳	۷/۶	روش استخراج QuEChERS بافر با استفاده از استونتریل اسیدی و استات سدیم	۲.۹-۸.۲۸	کاربن‌دازیم
<b>گلایبی</b>					
[۲۶]	-	۲/۵	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال -UHPLC MS/MS	۵.۲۹-۷.۳	استامپیرید
[۲۶]	-	۲/۵	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال -UHPLC MS/MS	۵.۵۹-۶.۳	کلوران ترانلیپیرول
[۲۶]	-	۲/۵	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال -UHPLC MS/MS	۷.۳۳	کاربن‌دازیم
[۲۶]	-	۲/۵	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال -UHPLC MS/MS	۴۹۲	پیریمتانیل
[۲۶]	-	۲/۵	روش QuEChERS اصلاح شده به دنبال -UHPLC MS/MS	۱۴۲۷	تیابندازول
<b>آب انگور</b>					
[۲۷]	۲/۸۰	-	استخراج فاز جامد و کروماتوگرافی گازی مستقیم با تشخیص نیتروژن و فسفر	۹۲۶±۱۹	اتوپروفوس
[۲۷]	۴/۰۴	-	استخراج فاز جامد و کروماتوگرافی گازی مستقیم با تشخیص نیتروژن و فسفر	۱۳۵۰±۴۳	دیزاینون
[۲۷]	۲/۵۲	-	استخراج فاز جامد و کروماتوگرافی گازی مستقیم با تشخیص نیتروژن و فسفر	۱۲۸۰±۳۱	کلرپیریفوس متیل
[۲۷]	۲/۲۷	-	استخراج فاز جامد و کروماتوگرافی گازی مستقیم با تشخیص نیتروژن و فسفر	۱۰۶۰±۱۶	مالاتیون
<b>سیب‌ها</b>					
[۲۸]	-	۱۰	روش کروماتوگرافی گازی	۳۲۰-۱۰	بوسکالید
[۲۸]	-	۱۰	روش کروماتوگرافی گازی	۳۴۰-۱۰	سیپرودینیل
[۲۸]	-	۱۰	روش کروماتوگرافی گازی	۳۰۰-۱۰	فلوسیلازول
[۲۸]	-	۲۰	روش کروماتوگرافی گازی	۳۰۰۰-۲۰	کاپتان

QuEChERS: سریع، آسان، ارزان، موثر، ناهموار و ایمن

MS: طیف سنجی جرمی

UHPLC: کروماتوگرافی مایع فوق العاده با کارایی بالا

قرار گرفتن در معرض آفت‌کش‌ها باعث آلودگی خاک [۲۹]، آلودگی آب [۳۰] و تخریب عملکرد فیزیولوژیکی بلندمدت گونه‌های زیستی، به عنوان مثال زنبورها [۳۱] می‌شود. قرار گرفتن انسان در معرض آفت‌کش‌ها از طریق مسیرهای مستقیم یا غیرمستقیم منجر به مشکلات سلامتی متعددی از جمله خس خس آلرژیک [۳۲]، اختلالات عصبی [۳۳]، سرطان [۳۴]، چاقی و بیماری‌های غدد درون ریز [۳۵] می‌شود. استفاده بی‌رویه از آفت‌کش‌ها نیز اثرات خطرناکی بر حیات وحش دارد [۳۶].

### تکنولوژی نانو

از تکنولوژی نانو می‌توان برای تولید نمودن حشره‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و مواد دورکننده حشرات جدید استفاده نمود. فناوری‌های نانو از پتانسیل تأثیرگذاری عمیق بر محیط زیست برخوردار هستند. ذرات در مقیاس نانو ظهور نسل جدیدی از فناوری‌ها را نوید می‌دهند. که می‌توانند یک روش مقرون به صرفه را جهت غلبه کردن بر تعدادی از خطرناک‌ترین معضلات زیست محیطی فراهم نمایند. اخیراً پیشرفت سریعی در کاربرد نانوتکنولوژی در کشاورزی صورت گرفته است که باعث کاهش مقدار مطلق مواد فعال مورد نیاز برای حفاظت از گیاهان، به حداقل رساندن اتلاف عناصر غذایی در کوددهی و افزایش عملکرد محصول از طریق مدیریت بهینه مواد مغذی شده است [۳۷]. تهیه فرمولاسیون نانوی آفت‌کش‌ها را می‌توان به‌عنوان یک انقلاب در مبارزه کردن با آفات کشاورزی و ناقلین بیماریها در نظر گرفت. یکی از مزیت‌های فرمولاسیون‌های نانوی آفت‌کش‌ها این است محافظت مؤثری از محصول با کاهش مقدار مواد موثره مناسب نسبت به آفت‌کش‌های معمولی در برابر آفات یا بیماری‌ها ارائه می‌کنند. این موضوع صرف نظر از نگرانی درباره اثرات سمی بر پستانداران با مصرف کمتر مواد موثره سبب اثرات سوء کمتری بر محیط زیست نیز می‌شود. تکنیک‌هایی که ممکن است سبب کاهش بیشتر در مصرف مواد موثره در فرمولاسیون نانوی آفت‌کش‌ها شود را می‌توان به دو صورت ۱ - یافتن فرمولاسیون با مواد و تکنیک‌های متفاوت به منظور اثربخشی بیشتر ۲ - اضافه کردن موادی مثل سنیرژیست‌ها به فرمولاسیون آفت‌کش‌های نانو عملیاتی کرد. در روش اخیر فرمولاسیون حاوی لایه‌های متفاوت آفت‌کش و سنیرژیست‌ها می‌توانند مقادیر مواد مؤثره لازم برای تأثیر مناسب بر آفات را در فرمولاسیون حشره‌کش را کاهش بیشتری داده شود. از میان ترکیبات نانو، مواد معدنی مثل  $TiO_2$  و  $SiO_2$  که در ساختار نانو استفاده شده‌اند بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. این مواد قابلیت حل در آب را نداشته بنابراین در مقایسه با  $ZnO$  که در آب حل می‌گردد دارای سمیت پایین‌تری می‌باشد. ولی یکی از عناصر مورد نیاز بدن موجودات زنده بوده و بنابراین، سمیت آن برای انسان و دام کمتر به‌نظر می‌رسد [۳۸].

علاوه بر این، نانومواد دارای خواص الکتروشیمیایی و کاتالیزوری فوق‌العاده، فرصت‌های زیادی را از نظر پایش آلودگی محیطی ناشی از آفت‌کش‌ها (مانند قارچ‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها)، [۳۹]، یون‌های فلزات سنگین ( $Pb^{2+}$ ،  $As^{3+}$ ،  $Hg^{2+}$ ، و بسیاری دیگر) [۴۰، ۴۱]. یا سایر آلاینده‌ها [۴۰، ۴۲] ارائه می‌کنند. به دلیل اثرات غیرهدف این آلاینده‌ها (به عنوان مثال، کاهش جمعیت گرده افشان حشرات)، چندین رویکرد تحلیلی برای تشخیص سریع، حساس و انتخابی باقیمانده آفت‌کش‌ها توسعه یافته است نانوتکنولوژی به‌عنوان ابزار مهمی نه تنها برای شناسایی این آلاینده‌ها، بلکه برای اصلاح آن‌ها ظاهر شده است [۴۳]. بنابراین، هدف کلی کشاورزی با کمک نانو، تسهیل تولید کارآمدتر،

خوش‌خیم، پایدار و مقرون به صرفه‌تر محصولات کشاورزی است. برای دستیابی به این اهداف، چندین نانومواد، مانند نانولوله‌های کربن فعال الکتروشیمیایی (CNT)، فولرن‌ها و نانوالیاف، برای توسعه حسگرهای بیوشیمیایی، آنالیز خاک، وسایل نقلیه انتقال آفت‌کش‌ها و مواد مغذی و کاربردهای مدیریت آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۳۷، ۴۰، ۴۴]. به طور خاص، آفت‌کش‌های نانو در مقایسه با آفت‌کش‌های معمولی، قابلیت پخش، حلالیت و پایداری بهتری دارند [۳۷]. تعدادی از گروه‌های میکروارگانیزم مثل قارچ‌ها و باکتری‌ها به‌طور معمول در مبارزه بیولوژیک بر علیه حشرات به‌کار می‌روند. با استفاده از نانوتکنولوژی می‌توان ورود این عوامل به بدن حشرات را آسان نمود [۴۵].

ذرات نانوی حشره‌کش ایمیداکلوپرید که با کیتوسان و آلچینات سدیم با تکنیک لایه به لایه (LbL) تولید می‌شود دارای خاصیت تجزیه‌پذیری بالاتری نسبت به ایمیداکلوپرید معمولی بود [۲]. کلروفناپیریک بر علیه بسیاری از حشرات و کنه‌ها به ویژه آن‌هایی که به حشره‌کش‌های کاربامات، ارگانوفسفات و پیروتروئید مقاوم هستند کاربرد دارد. این ماده در واقع یک پیش حشره‌کش بوده که در اثر تجزیه شدن در معده حشره تبدیل به حشره‌کش اصلی می‌گردد. نحوه اثر این حشره‌کش ایجاد کردن اختلال در جریان انتقال پروتون در غشاء میتوکندری و مهار تولید ATP از ADP و در نتیجه سبب مرگ سلولی می‌گردد. به دلیل این‌که کلروفناپیر بر مایت‌های شکارچی اثر نکرده و اثرات نسبتاً کم سوء بر محیط می‌گذارند گزینه بسیار خوبی برای ایجاد فرمولاسیون نانو می‌باشد. در حشره‌کش کلروفناپیر، ویژگی سطحی  $Ag/TiO_2$  به‌وسیله استتاریک اسید از حالت آبدوست به آبگریز تغییر داده شد و با اضافه کردن مواد مناسب فرمولاسیون حشره‌کش نانوی کلروفناپیر تولید شد. این نوع حشره‌کش در تاریکی کاملاً پایدار ولی در مقابل نور و به‌ویژه اشعه UV حدود ۸ برابر نسبت به حشره‌کش اصلی ناپایدارتر است. این‌گونه فرمولاسیون‌ها ضمن حفظ کردن اثربخشی کوتاه مدت حشره‌کش از تجمع پیدا کردن آن در محیطزیست و همچنین، اثرات مخرب آن می‌کاهد [۴۶]. فرمولاسیون نانوی عصاره، استخراج شده از گیاهان بوده و یکی از روش‌های در کنترل کردن آفات به‌خصوص گونه‌های مقاوم به آفت‌کش‌های معمول می‌باشد. لایه بسیار نازک تشکیل شده از فرمولاسیون نانوی مواد مؤثره گیاهان ریحان پرمو، سنبل هندی و خس خس سبب اثرات دورکنندگی طولانی مدت‌تر شده است [۴۷]. در مطالعه دیگری نشان داده شد ذرات نانوی نقره عصاره گیاه دارای اثرات بسیار خوبی (۵ برابر اثر بیشتر) علیه شپش سر و لارو پشه‌های ناقل مالاریا می‌باشند [۴۸].

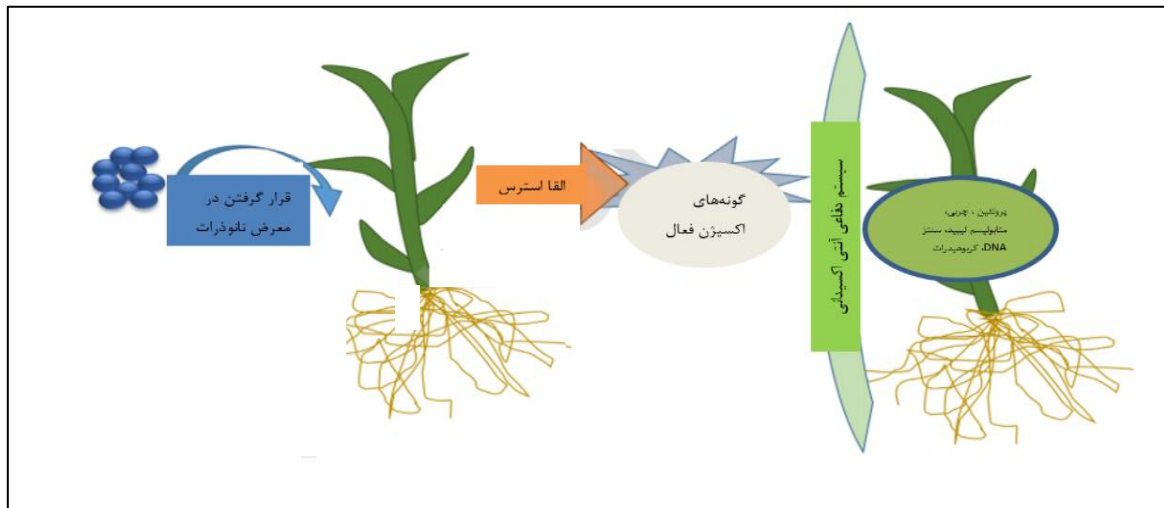
نانوکپسولاسیون مواد فعال همچنین از تخریب زودرس آن‌ها در شرایط محیطی نامطلوب محافظت می‌کند و در نتیجه کارایی آن‌ها را در برابر آفات در مدت زمان طولانی‌تر افزایش می‌دهد. با در نظر گرفتن این، طیف گسترده‌ای از آفت‌کش‌ها فرمول‌های نانو شامل نانوکپسول‌ها، نانوسوسپانسیون‌ها، نانوامولسیون‌ها، نانوکره‌ها، نانورس‌ها و نانوذرات مزوپور توسعه داده شده‌اند [۴۹]. یک نگرانی برای گسترش استفاده کردن از تکنولوژی فرمولاسیون نانو انتقال یافتن مواد آفت‌کش، به جانوران و محیط زندگی آن‌ها می‌باشد. ایجاد کردن مولکول‌های علف‌کشی که توسط نانوذرات پوشیده شده‌اند که قادر به وارد کردن ماده‌ی موثر خود به مولکول گیرنده‌ی ویژه موجود در اندام‌های زیرزمینی علف هرز هستند که سبب وارد شدن مولکول علف‌کش به درون سیستم گیاهی علف هرز و جابه‌جا کردن آن به سمت قسمت‌هایی که از گلیکولیز ذخیره‌ی غذایی ریشه جلوگیری می‌کند خواهد شد. این فرآیند سبب گرسنگی کشیدن علف هرز شده و در نهایت سبب مرگ آن در به علت کمبود مواد غذایی لازم برای رشد و نمو گیاه خواهد شد. ممکن

است که در زمین‌های دیم، به سبب نبود رطوبت کافی در خاک، به‌کاربردن علف‌کش سبب اتلاف آن به صورت بخار شود. به‌دلیل این‌که متخصصین تاکنون قادر به پیش‌بینی زمان دقیق وقوع بارندگی در زمین‌های دیم نیستند، بنابراین نمی‌توان از علف‌کش‌ها قبل از زمان مورد انتظار وقوع بارش استفاده کرد. انتظار می‌رود که رها کردن کنترل شده‌ی علف‌کش‌های کپسول شده می‌تواند به مدیریت نمودن مطلوب رقابت میان علف‌های هرز و گیاهان در زمین‌های دیم کمک نماید. علاوه بر این، نانوامولسیون‌های علف‌کش‌های معمولی (به عنوان مثال، گلایفوسیت) نیز برای دستیابی به بهبود کارایی علف‌های هرز معرفی شده‌اند [۵۰]. علاوه بر این، گزارش شده است که خود نانوذرات فلزی دارای خواص آفت‌کشی هستند که می‌توان از آن برای کنترل حشرات، آفات و بیماری‌های گیاهی استفاده کرد. به عنوان مثال، کارایی نانوذرات مس به عنوان قارچ‌کش برای بیماری‌های درختان میوه و نانوذرات نقره به عنوان عواملی که در برابر عوامل بیماری‌زای قارچی در گیاهان مقاومت می‌کنند، ارزیابی شده است [۱۱]. نانوذرات آهن دارای سطح مقطع گسترده و واکنش‌پذیری سطحی فراوان هستند. تحقیقات نشان داده‌اند که نانوذرات آهن برای دگرگون کردن و غیرسمی نمودن طیف وسیعی از آلاینده‌های زیست محیطی، مانند آفت‌کش‌های آلی کلردار، حلالهای آلی کلردار و بیفنیل‌های چندکلره، بسیار تاثیرگذار و کارآمد هستند. محققان برای افزایش دادن سرعت و افزایش کارایی پالایش محیط زیست از مواد آلوده کننده، نانوذرات اصلاح شده‌ی آهن، تولید نمودند. علیرغم مزایای افزایش حلالیت و بهبود ماندگاری، خطری که نانو آفت‌کش‌ها ممکن است برای محیط اطراف ایجاد کنند هنوز نگران کننده است [۲۹]. نانوکاتالیست‌ها بسته به ظرفیت جذب، می‌توانند راندمان تخریب بالایی را با تابش اشعه ماوراء بنفش یا میکروویو ارائه دهند. زی و همکاران (۲۰۱۴) استفاده از نانوذرات دو فلزی Ni/Fe را برای تخریب دکابرومودی فینیل اتر در خاک سنبله گزارش کردند [۵۱]. نانوذرات Ni/Fe راندمان حذف ۷۲ درصد در دمای محیط و pH ۶.۵ را ارائه می‌کنند.  $MgFe_2O_4$  یک جاذب میکروویو، به عنوان یک گزینه مفید برای تصفیه (PNP) *p*-nitrophenol در خاک از طریق تولید گونه‌های فعال مختلف ( $OH$  و  $O_2^-$ ) در فرآیند کاتالیزوری شناخته شد [۵۲]. مراحل مختلف درمان خاک آلوده در یک محفظه میکروویو شامل تجزیه حرارتی PNP با افزایش دمای خاک، اکسیداسیون کاتالیزوری PNP توسط  $OH$  و  $O_2^-$  گونه‌های ناشی از تفکیک آب و اکسیژن، و محصور کردن مستقیم قطعات PNP و محصولات تجزیه شده آن در خاک از طریق تثبیت حرارتی. گروور و همکاران (۲۰۱۷) افزایش ۴۰ برابری فعالیت فوتوکاتالیستی نانوسیم‌های  $Au-TiO_2$  را در مقایسه با کاتالیزور  $TiO_2-P25$  تجاری موجود در هنگام تخریب قارچ‌کش پروپیکونازول به  $CO_2$  پس از ۳ ساعت قرار گرفتن در معرض نور خورشید گزارش کردند. با این حال، نگرانی اصلی تبدیل آن‌ها به محصولات خطرناک بود.

#### ارزیابی ریسک آفت‌کش‌ها با فرمولاسیون نانو

با افزایش علاقه به توسعه نانو آفت‌کش‌ها، نگرانی‌های متعددی در رابطه با مشخصات ریسک این محصولات جدید مطرح شده است. انتخاب نانوذرات می‌تواند تأثیر مستقیم (مثبت یا منفی) بر رشد گیاه داشته باشد. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای که شامل قرار گرفتن در معرض نانوذرات با گندم بود، هیچ اثری از نانوذرات  $TiO_2$  بر رشد و نمو گندم مشاهده نشد، در حالی که قرار گرفتن در معرض نانوذرات  $Fe_2O_3$  رشد و نمو گندم را افزایش داد [۲۱]. در مطالعه دیگری نشان داده است، استفاده از نانوذرات نقره به‌منظور جوانه‌زنی، رشد و عملکرد بذر را همراه با حفظ کیفیت بذر

افزایش داده است [۵۳]. همچنین، چندین گونه گیاهی هنگامی که در معرض نانوذرات قرار گرفتند، هیچ تغییر فیزیولوژیکی نشان ندادند، اما تغییرات قابل توجهی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش تنظیم پروتئین شوک حرارتی نشان دادند [۵۴]. قرار گرفتن چندین نانومواد مهندسی شده در معرض گیاهان می‌تواند باعث افزایش سطح استرس از طریق تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) شود. این ROS بر سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاهان تأثیر می‌گذارد و در نتیجه بر عملکرد پروتئین و رونویسی، متابولیسم لیپیدها، سنتز DNA و پایداری دو رشته ای و متابولیسم کربوهیدرات تأثیر می‌گذارد (شکل ۲).



شکل ۲: تولید گونه‌های اکسیژن فعال و عملکرد آن [۵۵، ۵۶].

افزایش مقدار ROS می‌تواند بروز چندین تغییر بیولوژیکی را افزایش و باعث مرگ سلولی در گیاهان شود [۵۵، ۵۶]. نانومواد دارای اثرات خاص گونه بر تجمع زیستی آفت‌کش‌ها هستند و می‌توانند جذب آلاینده‌ها را مهار کنند [۵۷]. قرار گرفتن گیاهان ذرت در معرض نانوذرات  $\text{CeO}_2$  و  $\text{ZnO}$  عملکرد محصول را به ترتیب ۳۸ و ۴۹ درصد کاهش می‌دهد [۴۹]. به این ترتیب، تعاملات بین نانومواد و محیط زیست هنوز نیاز به بررسی بیشتر داشته تا به درستی اثرات فیزیولوژیکی، تحلیلی و بیولوژیکی نانومواد بر گیاهان ارزیابی شود [۲۱].

فرمولاسیون نانو برای سلامت انسان چالش برانگیز است. در مقایسه با آفت‌کش‌های معمولی، نانو آفت‌کش‌ها به دلیل اندازه کوچک، بیشتر به بدن موجودات غیر هدف وارد می‌شوند. به‌طور کلی، نانومواد نقره به دلیل فعالیت ضد میکروبی آن‌ها برای فرمولاسیون نانو ارجحیت دارند [۵۸]. با این حال، نانوذرات نقره می‌توانند به راحتی به سد خونی-جفتی نفوذ کرده و اثرات نامطلوب جنینی ایجاد کنند [۵۸]. جدول ۲ خلاصه مطالعات سمیت نانوذرات را که تا به امروز انجام شده است، نشان می‌دهد.

پس از تماس پوستی یا قرار گرفتن در معرض دهان موجودات زنده با نانوذرات، ذرات می‌توانند پس از عبور از چندین مانع بیولوژیکی، سلول‌ها، بافت‌ها یا اندام‌های موجود را مختل کنند. چندین مطالعه جذب و توزیع نانوذرات را در اندام‌های مختلف، مانند سیستم تولید مثل زنان [۵۹]، ریه‌ها [۷۱]، کبد [۶۱] و مغز [۶۶] تایید کرده‌اند.

#### جدول ۲. گزارش‌های منتخب در مورد مشخصات سمیت نانوذرات [۶۰-۷۳].

نانوذرات $TiO_2$	
[۶۰]	کاهش زنده ماندن سلول و افزایش تولید واسطه‌های سمی (مانند گونه‌های فعال اکسیژن) و سیتوکین‌های پاسخ التهابی به دلیل قرار گرفتن در معرض ۲۴ ساعته نانوذرات $TiO_2$ در غلظت $\leq 25$ میکروگرم/میلی‌لیتر
[۶۱]	کاهش سطح گلوکاتایون به دلیل افزایش همزمان در تولید گونه‌های فعال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدی، که باعث آسیب DNA و آپوپتوز در سلول‌های HepG2 می‌شود.
نانو ذرات نقره	
[۵۹]	سمیت آزمایشگاهی ساختارهای نانومیله $Au@Ag$ و انتشار یون $Ag^+$ داخل سلولی به سلول‌های گرانولوزای موش صحرائی
[۶۲]	اثرات سمی حاد دوز و وابسته به زمان در سلول‌های اپیتلیال ریه انسان
[۶۳]	اثرات سمی بالاتر نانوذرات نقره در رتیکولوسیت‌ها (ریزهسته‌ها) و لکوسیت‌ها سلول‌های مغز استخوان نسبت به نانوذرات $TiO_2$
نانو ذرات مس	
[۶۴]	التهاب ریه و سمیت سلولی ناشی از استنشاق نانوذرات $CuO$
[۶۵]	کاهش زنده ماندن در کراتینوسیت‌های انسانی $HaCaT$ و همچنین فیبروبلاست جنینی موش
[۶۶]	کاهش زنده ماندن سلولی به دلیل تولید گونه‌های اکسیژن فعال در آستروسیت‌های کشت‌شده در غلظت‌های پایین نانوذرات $CuO$ (۴.۶ میکروگرم بر میلی‌گرم)
CNTs	
[۶۷]	اختلال عملکرد اندوتلیال و تناوب در بیان ژن/پروتئین درگیر در فیبرینولیز
[۶۸]	تولید بیش از حد $TNF-\alpha$ از طریق ماکروفاژها
نانوذرات پلیمری	
[۶۹]	پتانسیل غیر سمی به جز تولید گونه‌های اکسیژن فعال به دلیل نانوذرات اتیل سلولوز در غلظت بالا
[۷۰]	توزیع سم شناسی تثبیت کننده‌ها در غلظت‌های بالاتر (بیشتر ۱ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) در نانو فرمولاسیون‌های پلیمری
[۷۱]	ایجاد دگرانولاسیون و استرس اکسیداتیو ناشی از حضور سورفاکتانت‌های کاتیونی در نانوذرات پلیمری
ZnO نانوذرات	
[۷۲]	سمیت سلولی و سمیت ژنی از طریق پاسخ استرس اکسیداتیو در فیبروبلاست ریه انسان و همچنین در مگس سرکه ملانوگاستر
[۷۳]	انتشار سیتوکین‌های پیش التهابی از سلول‌های خون انسان به دلیل افزایش استرس نیتروژناتیو و اکسیداتیو

سمیت سلولی و سمیت ژنی نانوذرات نقره بر روی گامت‌های پستانداران با تنوع در پارامترهای مختلف، آزمایش شده است. ارتباط پراکنده نانوذرات نقره با غشاهای پلاسمایی اسپرم نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بالای گامت‌های پدری در برابر سمیت نانومواد است. برخی از مطالعات همچنین افزایش ۱۰ برابری سمیت نانوذرات کوچک ( $\sim 15$  نانومتر) را نسبت به نانوذرات با اندازه بزرگ ( $\sim 50$  نانومتر) تایید کرده‌اند [۷۴]. چندین پارامتر مختلف وجود دارد که می‌تواند سمیت سلولی نانوذرات را در بدن ایجاد کند یا بر آن تأثیر بگذارد، از جمله ساختارهای فیبری، خواص فیزیکوشیمیایی، بار سطحی بالا، تولید گونه‌های رادیکال و آلودگی با عناصر سمی. علاوه بر این، سمیت ترکیبی نانومواد و آفت‌کش‌ها بسیار پیچیده است و هنوز به خوبی درک نشده است. این نانو آفت‌کش‌ها می‌توانند باکتری‌های مفید یا موجودات آبی غیرهدف را همراه با موجودات هدف از بین ببرند [۷۵]. نانوفرمولاسیون‌ها شانس بیشتری برای ماندگاری در خاک، گیاهان و بدنه‌های آبی در مدت زمان طولانی‌تری نسبت به آنالوگ معمولی خود دارند [۳۵]. به دلیل قرار گرفتن

در معرض نانو آفت کش  $Cu(OH)_2$ ، تغییرات قابل توجهی در بیان ژن‌های مربوط به سیستم تولید مثل و سم زدایی گزارش شده است [۷۶].

### مدیریت بقایای آفت‌کش‌ها با نانوتکنولوژی

مدیریت و تصفیه ضایعات کشاورزی یا آفت‌کش‌های باقیمانده همچنان یک موضوع زیست محیطی است. در سال‌های اخیر، پسماندهای کشاورزی به منبعی از مواد خام تجدیدپذیر و/یا وسیله‌ای برای جایگزینی منابع فسیلی تبدیل شده‌اند. به عنوان مثال، کاه گندم و پوسته سویا را می‌توان برای بدست آوردن نانوالیاف با خواص حرارتی خوب استفاده کرد و این نانوالیاف را می‌توان برای تولید کامپوزیت‌ها استفاده کرد [۷۷]. به دلیل استحکام بالا، چگالی کم، سختی بالا و ماهیت تجدیدپذیر، به عنوان جایگزینی برای کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف مصنوعی معمولی مورد توجه قرار می‌گیرند.

امروزه انتخاب نانوکاتالیست‌های سبز و قابل بازیافت (مثلاً نانو ورقه‌های ریشه زردچوبه) یک ایده جدید مبتنی بر نانوتکنولوژی پایدار است که می‌تواند به جلوگیری از احتمال آلودگی محیط‌زیست به دلیل وجود خود نانوذره نیز کمک کند [۷۸]. در مقایسه با فوتوکاتالیست‌های شیمیایی، راه‌حل‌های پایدار از نظر زیست‌محیطی منافع تحقیقاتی قابل توجهی را برای دستیابی به اثربخشی در تخریب آفت‌کش‌ها از طریق تمرکز بر چالش‌های علمی حفاظت از محیط زیست و سلامت انسان به دست آورده‌اند. برای تخریب مؤثر آفت‌کش‌ها از محیط، تکنیک‌های تبدیل متفاوتی مورد نیاز است، از جمله: الف- تبدیل غیرزیستی، چه از نظر شیمیایی یا فتوشیمیایی، از طریق فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته و ب- تبدیل زیستی از طریق تخریب مبتنی بر میکروبی [۷۷]. ماندگاری و سرنوشت آفت‌کش‌ها در محیط را می‌توان از روی داده‌های بیولوژیکی که از مصرف میکروبی برخی از آفت‌کش‌ها، به عنوان مثال، قارچ‌ها یا باکتری‌ها مشاهده می‌شود، ارزیابی کرد. این میکروارگانیسم‌ها در نهایت با تبدیل ترکیبات سمی به ترکیبات غیر سمی به تخریب آفت‌کش‌ها کمک می‌کنند (جدول ۳).

جدول ۳. استراتژی‌های مبتنی بر نانو برای تخریب بقایای آفت‌کش‌های شیمیایی [۷۹-۹۳، ۲۱].

منابع	نتیجه (ها) / اظهارات مرتبط	شرایط عملیاتی اولیه	نانوکاتالیست‌های مرتبط	باقیمانده آفت‌کش (محدوده غلظت)
<b>تخریب فوتوکاتالیستی</b>				
[۷۹]	تخریب کامل مالانئون با استفاده از $WO_3$ ، ۲ درصد وزنی $WO_3/TiO_2$ پس از ۲ ساعت تابش خورشیدی	تابش طبیعی خورشید / بارهای کاتالیزور مختلف (۰/۵ و ۱ گرم در لیتر) pH/ (۴ و ۷)	نانوذرات $WO_3/TiO_2$	مالانئون (۱۲ میلی گرم در لیتر)
[۸۰]	۸۸٪ تخریب و ۸.۶۷٪ کانی سازی دیازینون پس از ۸۸ دقیقه تابش خورشیدی شبیه سازی شده	لامپ زنون ۳۵۰ وات / نانوکاتالیست ۷.۲ گرم در لیتر/ pH ۹.۵	نانوصفحات $TiO_2$ دوپ شده با N	دیازینون (۱.۵ میلی گرم در لیتر)
[۸۱]	راندمان حذف کل کربن آلی عالی به ترتیب ۷.۹۵٪ و ۷.۹۶٪ برای آنرازین و تیونکارب	لامپ UV / دوغاب سرامیکی $TiO_2$ ۱۵ درصد وزنی	سرامیک‌های متخلخل $TiO_2$	آنرازین و تیونکارب (۵ میلی گرم در لیتر)

[۸۲]	تخریب موثر (۲۵٪) آفت کش های انتخابی و افزایش راندمان تخریب با محتوای Ti در خاک رس	لامپ جیوه ۴۰۰ وات / نانوکاتالیست ۱۲۰ میلی گرم	خاک رس های خالص شده با $TiO_2$	۴،۲- دی کلروفنو گزی پروپونیک اسید و ۴،۲- دی کلروفنو زیا استیک اسید (۲۰ میلی گرم در لیتر)
[۸۳]	فعالیت فوتوکاتالیستی نانوسیم ها ۴۰ برابر بهتر از کاتالیزور $P25 - TiO_2$ موجود در بازار است.	لامپ UV و نور خورشید، هر دو با شار $9.2 mW/cm^2$	نانوسیم های $Au - TiO_2$	پروپیکونازول (ppm۵۰)
[۸۴]	تخریب کارآمد (تا ۱۰۰ درصد) آفت کش با افزایش مقدار نانوذرات اکسید روی (تا ۰.۲۵ گرم در لیتر)	لامپ / بارگذاری نانوکاتالیست های مختلف ۰.۲۵ تا ۰.۰۵ گرم در لیتر)	نانو ذرات $ZnO$ ۵۰۰ وات زئون	تیرام (۰.۰۱ گرم در لیتر)
[۸۵]	تشخیص خوب (۶ میلی مولار) و فعالیت فوتوکاتالیستی آنوذرات	لامپ UV ۳۰ وات / نانوکاتالیست ۰.۰۱ گرم	نانوکامپوزیت های $ZnO-Au$	پلی کلرینات d بی فنیل (۰.۱ میلی مولار)
<b>تخریب پلاسما</b>				
[۸۶]	کاهش سطح آزوکسی استروبین، سیپرودینیل، فلودیوکسونیل و پیری پروکسیفن به ترتیب ۶۹، ۴۵، ۷۱ و ۴۶ درصد، پس از ۵ دقیقه درمان پلاسما در ۸۰ کیلوولت	ولتاژهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ کیلوولت (RMS) در الکترودهای سیستم تخلیه سد دی الکتریک (DBD)	هیچ کدام	ترکیبی از آزوکسی استروبین، سیپرودینیل، فلودیوکسونیل و پیری پروکسی فن (هر کدام ۱۰۰ پی پی ام)
[۲۱]	۹.۹۳٪ تخریب گلايفوسیت در ۴۵ دقیقه پس از تصفیه پلاسما تخلیه سد دی الکتریک (۱۸ کیلوولت)، ارائه شده با بازده انرژی بالا (۰.۴۷ گرم کیلووات ساعت در ساعت)	ولتاژهای ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ کیلو ولت در الکترودهای سیستم پلاسما تخلیه سد دی الکتریک (DBD)	هیچ کدام	گلايفوسیت (۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم)
<b>تخریب مبتنی بر میکروپ</b>				
[۸۷]	تخریب ۹۰ درصد آفت کش پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون سویه های اکتینوباکتری	-	استرپتوماپسیس سویه جدا شده از خاک	کلریپریفوس (۲۵ و ۵۰ میلی گرم در لیتر)
[۸۸]	-فعالیت ویژه عالی آنزیم تثبیت شده برای چرخه های متعدد، یعنی ۳.۵۵ میکرومول بر میلی گرم در دقیقه پس از بی حرکتی، ۳.۳۹ میکرومول بر میلی گرم در دقیقه پس از ۱ هفته، و ۳.۳۶ میکرومول بر میلی گرم در دقیقه پس از ۱۲۰ روز.	-	نانوذرات مگنتیت اصلاح شده با دندریمر با پلی آمیدآمین تثبیت شده با گلیسروفسفودی تراز	ارگانوفسف خورده شده (۶۳.۵ میلی مولار)
[۸۹]	-تخریب ۹۹٪ آفت کش در ۱۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد و pH ۷ با سهم نانوذرات آهن (۳۲.۳٪) و نانوذرات آهن تثبیت شده با آنزیم (۵۸.۸٪) در درصد تخریب کلی.	-	نانوذرات آهن تثبیت شده با لاکاز	کلریپریفوس (۵۰ میلی لیتر از ۵۰۰ میلی گرم در لیتر)
[۹۰]	-نرخ تجزیه بالاتر برای حذف ۴،۲-دی کلروفنوکی استیک اسید نسبت به آترازین در حدود ۲ ماه	-	فرهنگ های مخلوط هوازی	آترازین و ۴،۲-دی کلروفنو XY استیک اسید (۱۰۰ میلی گرم در لیتر)

[۱۵]	-تبدیل زیستی نیکوسولفورون، یعنی ۳۰٪ اتلاف پس از ۱۰ روز انکوباسیون	- سودوموناس فلورسانس سویه	۱SG-	نیکوسولفورون (۵۰ و ۱ میلی مولار)
<b>فرآیندهای اکسیداسیون</b>				
[۹۱]	۹۲٪ حذف کل کربن آلی پس از ۸ ساعت و تشکیل محصولات جانبی مانند یون های معدنی، اسیدهای کربوکسیلیک و واسطه های معطر در طول فرآیند الکترو فنتون	سیستم دو الکتروود در راکتور شیشه ای استوانه ای ۲۵۰ میلی لیتری (۶۰ i.d. و ۹۰ میلی متر) $H_2O_2 / [Fe^{+2}]$ (0.1 تا ۰.۳ میلی متر)	کاتالیزور آهن	تیامتوکسام (۳.۲۷ میلی مولار)
[۹۲]	۲۵ درصد تخریب DDT مسن (بیش از ۴۵ سال) در خاک ظرف ۳ روز پس از کاربرد و کمترین اثرات نامطلوب بر گیاهانی مانند جو و کتان.	۴۸ ساعت تکان دادن عمودی در دمای ۲۸ درجه سانتی گراد با آهن صفر ظرفیتی در مقیاس نانو (۱ گرم در لیتر)	آهن صفر ظرفیتی در مقیاس نانو	DDT (۷.۴ میلی گرم بر کیلوگرم)
[۹۳]	افزایش تخریب (از ۲۴ تا ۷۵ درصد در ۲۴۰ دقیقه) آلاینده با افزایش غلظت مولی کبالت (از ۰.۱ به ۱) در کاتالیزور فریت	فراصوت (۱۹ وات) / میلی گرم $CoxFe_{3-x}O_4$ در محلول پراکسی مونو سولفات ۳۰ میلی مولار	نانوذرات $CoxFe_{3-x}O_4$ در ارتباط با پراکسی مونو سولفات	۲- فنیل بنزیمی دازول-۵- سولفونیک اسید (۱.۰ میلی لیتر از ۲.۰ میلی مولار)

جدول ۳ پیشرفت‌های تکنولوژیکی فرآیندهای مختلف برای تخریب آفت‌کش‌ها را خلاصه می‌کند، شرایط آزمایشی و همچنین تخریب آفت‌کش‌ها را که توسط نویسندگان بدست آمده است را برجسته می‌کند.

رویکرد تخریب مبتنی بر میکروب به دلیل پتانسیل تخریب بالا و دوستدار محیط زیست محبوبیت پیدا کرده است [۳۷]. تخریب آفت‌کش‌ها به طور مستقیم با عوامل متعددی مانند ۱- عوامل داخلی مربوط به گونه‌های میکروبی، سازگاری، فعالیت متابولیک و ساختار آفت‌کش‌ها ۲- عوامل محیطی خارجی شامل مواد آلی، pH خاک، دما و شوری مرتبط است. میکروارگانیسم‌های رایج برای تخریب آفت‌کش‌ها عبارتند از: باکتری‌ها (باسیلوس، آکالیژنز و فلاوو باکتریوم)، اکتینومیست‌ها (میکرومونوسپورا، نوکاردیا، اکتینومایسس، استریتومایسس)، قارچ‌ها (قارچ‌های پوسیدگی سفید، اسپریلوس، تری سیلو، و پنی سیلیوم) و جلبک‌ها (جلبک سبز و کلأمیدوموناس) [۵۵، ۵۹].

داس و همکاران (۲۰۱۷) ساخت نانوذرات آهن مغناطیسی تثبیت شده با لاکاز را با روش هم رسوبی برای تجزیه کلرپیریفوس گزارش کردند. نانوذرات آهن باردار شده با آنزیم باعث تخریب ۹۹ درصد کلرپیریفوس در عرض ۱۲ ساعت (در pH ۷ و ۶۰ درجه سانتیگراد) شد و قابلیت استفاده مجدد (به عنوان مثال، ۹۵ درصد فعالیت پس از پنج دوره شستشوی مکرر نانوذرات) را پس از تخریب آفت‌کش نشان داد [۸۹]. مطالعات انجام شده به طور وسیعی خواص شیمیایی زیست محیطی آهن فلزی یا خنثی را اثبات کرده‌اند. به تازگی، محققان اظهار نموده‌اند که نانوذرات آهن تحت عنوان یک تکنیک پالایش کننده نوین از مزایای زیادی، مانند دگرگون نمودن تاثیرگذار طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های زیست محیطی، هزینه‌ی اندک و غیرسمی بودن، برخوردار هستند. نتایج مطالعات آزمایشگاهی اخیر قابلیت نانوذرات آهن را به عنوان عامل‌های احیاکننده و کاتالیزکننده تاثیرگذار به منظور پالایش طیف وسیعی از آلاینده‌های

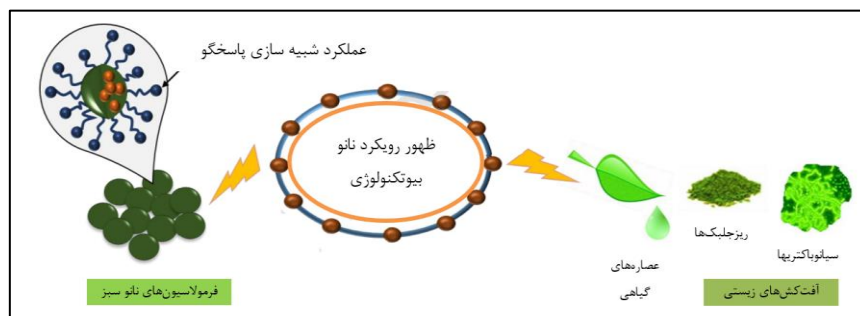
زیست محیطی معمول شامل ترکیبات آلی کلردار و یونهای فلزی، را اثبات کرده‌اند. با استفاده از این روش امکان کلرزدایی سریع و کامل از تمامی آلاینده‌های کلردار موجود در آب و خاک وجود دارد. به عنوان مثال، با بکار بردن نانوذرات پالادیم/آهن در غلظت ۶.۲۵ گرم بر لیتر، توانست میزان ترکیبات کلردار موجود در محلول به زیر محدوده‌ی قابل تشخیص دستگاه کاهش دهد. در تمامی آزمونهای انجام شده استفاده از این روش، اتان فرآورده‌ی عمده‌ی تولیدی بود. به دلیل استفاده کردن از نانوذرات آهن، ظرف مدت ۲۴ ساعت بیشتر از ۹۹ درصد از ترکیبات کلردار موجود در محلول زدوده شدند. بعضی از آفت‌کش‌هایی که در محیط‌های هوایی ماندگار و پایا هستند، تحت شرایط بی‌هوایی (احیاکننده) به آسانی و با سرعت بیشتری تجزیه می‌گردند. یکی از مثالهای کاربرد این روش شامل استفاده از آهن خنثی به عنوان یک ماده‌ی شیمیایی بوده که احیاکننده است. تحت شرایط هوایی، اکسیژن پذیرنده‌ی معمول برای الکترون است، ولی در محیط‌های بی‌هوایی، الکترون آزاد شده از واکنش دادن آهن خنثی با آب می‌تواند به واکنش دادن ترکیبات آروماتیک نیتروژن‌دار و کلردار منجر شود. به نظر می‌رسد که استفاده کردن از باکتری‌های مغناطیسی تکنیکی مفید برای زدودن یونهای فلزی و فلزات سنگین نظیر (جیوه، نقره، مس، سرب، آنتیمون، آهن، روی، آرسنیک، نیکل، آلومینیوم، پالتین، سرب، منگنز و روتینیم) است. فلزات سنگین در حضور یون‌های مغناطیسی مانند سولفید آهن، به درون دیواره‌ی سلولهای باکتریایی وارد شده و سبب مغناطیسی شدن باکتری‌ها شده به حدی که بتوان آن‌ها را با استفاده از متد جداکردن مغناطیسی به سهولت از سوسپانسیون زدود، می‌شوند. تحقیقات مشخص کرده‌اند که بعضی از باکتری‌های خاص قادر به تولید کردن سولفونید آهن که به عنوان جاذب تعدادی از یونهای فلزی عمل می‌کند، می‌باشند. مفهوم جدیدی برای ساخت ذرات نانوکامپوزیت مغناطیسی مزوپروس، پیشنهاد شده است. از این ذرات می‌توان جهت زدودن عوامل مضر موجود در محیط زیست استفاده کرد. این متد دربرگیرنده‌ی استفاده از قالبهای مولکولی برای پوشاندن نانوذرات مغناطیسی به سیله‌ی سیلیکای مزوپروس است [۹۴].

علاوه بر این، ترکیب یون‌های فلزی فعال با میکروب‌ها می‌تواند سرعت تخریب آفت‌کش‌ها را افزایش دهد. رویکرد تخریب زیستی که یک جایگزین اقتصادی، کارآمد و سازگار با محیط زیست است، به طور کامل برای تخریب چندین آفت‌کش توسعه نیافته است. علیرغم در دسترس بودن چندین میکروارگانیسم تخریب کننده آفت‌کش‌ها، ایجاد درک درستی از تخریب زیستی آفت‌کش‌ها و تبدیل زیستی ضروری است [۹۵].

در مقایسه با تخریب شیمیایی معمولی، اکسیداسیون پیشرفته بقایای آفت‌کش‌ها شامل تکنیک‌های بسیار امیدوارکننده ای برای اصلاح خاک و آب آلوده است. این تکنیک‌ها شامل تخریب فوتوکاتالیستی [۹۶]، فرآیندهای اکسیداسیون و تخریب پلاسما [۱۱،۲۱] می‌باشند. تمام فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته می‌توانند منجر به تولید رادیکال‌هایی برای تخریب آفت‌کش‌ها شوند. با این حال، کارایی تولید رادیکال، و در نتیجه عملکرد تخریب آفت‌کش، به مسیر تولید بستگی دارد. علاوه بر این، ماتریس آب نیز می‌تواند عملکرد این فرآیندها را به دلیل وجود یون‌ها، نمک‌ها و مواد آلی تحت تأثیر قرار دهد [۹۷]. علاوه بر این، عملکرد این فرآیندها می‌تواند تحت تأثیر نوع و حالت‌های اکسیداسیون آلاینده‌ها و طول موج منبع تشعشع [۹۸] باشد. اکسیداسیون پلاسما نیز به عنوان یک استراتژی جدید برای تخریب آلاینده‌های آلی معرفی شده است. با این حال، این فرآیند از یک محدودیت عمده از نظر انرژی مورد نیاز برای تولید ترکیبات اکسید کننده رنج می‌برد.

بخش زیادی از تحقیقات مرتبط به فناوری نانو، برپایه تجزیه شدن آفت‌کش‌های پایا به روش تبدیل کردن آن‌ها به ترکیبات سودمند و بی‌خطر مانند آب و مواد معدنی در طی مراحل فرآیند کاتالیز نوری، متمرکز شده است. کاتالیز نوری روشی می‌باشد که به وسیله‌ی نانو اکسیدهای فلزی نیمه‌رسانا بروز می‌یابند و در طی آن نانو اکسیدهای فلزی فوتونهای نور را جذب نموده و واکنش‌های مربوط به اکسیداسیون-احیایی را آغاز می‌نماید که سبب شکسته شدن مولکول‌های آلی پیچیده به اجزای ساده‌تر و کوچک‌تر می‌شوند. استفاده کردن پیوسته از یک علف‌کش ویژه سبب تکامل گونه‌های علف‌هرز مقاوم به علف‌کش شده و سبب تغییر در فلور علف‌های هرز منطقه می‌گردد. علف‌کش آترازین که در سطح جهانی برای کنترل قبل و بعد از رویدن علف‌های هرز که دارای برگ باریک و پهن هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد، از پایداری بالایی (نیمه عمر علف‌کش ۱۲۵ روز) در بعضی از انواع خاک‌ها برخوردار است. بنابراین، سبب آثار زیان‌بار فراوانی بر محیط زیست، همچنین، تنوع زیستی، سلامتی و بهداشت حیوانات و انسان‌ها شده و سبب محدود شدن دامنه‌ی انتخاب نمودن گیاهان به‌منظور استفاده در تناوب کشاورزی نیز می‌شود. به‌کارگرفتن ذرات نقره‌ی اصلاح شده به وسیله‌ی نانو ذرات مغناطیسی که مقاومت مربوط به آن‌ها به وسیله‌ی نانو ذرات کربوکسی متیل سلولز زیاد شده بود، سبب تجزیه‌ی ۸۸ درصد از بقایای باقیمانده علف‌کش آترازین تحت شرایط آزمایشگاهی شد. بنابراین، نانو کاتالیست‌ها برای تخریب نوری آفت‌کش‌ها بسیار مفید هستند و همچنین قابل بازیافت هستند [۸۱]. ادغام فوتوکاتالیست‌های معمولی (به عنوان مثال  $TiO_2$ ) با گرافن / اکسید گرافن به دلیل بهبود عملکرد فوتوکاتالیستی مانند هدایت الکترونیکی، نوترکیب سریع جفت الکترون-حفره و توانایی تخریب فوتوکاتالیستی عالی، به میزان زیادی توجه را به خود جلب کرده است [۶۵].

استفاده از اکسیدان‌ها (به عنوان مثال،  $H_2O_2$  و  $K_2S_2O_8$ ) با کاتالیزور نانو  $TiO_2$  اکسیده شده با گرافن، از تخریب کامل آفت‌کش در ۱۵ دقیقه تحت نور UV پشتیبانی می‌کند. فریت‌های کبالت و روی برای تخریب فوتوکاتالیستی بیسفنول-A به کمک نور خورشید در pH خنثی گزارش شده‌اند [۱۰۱]. در این فرآیند تخریب، رادیکال‌های هیدروکسیل آزاد تحت تابش مستقیم نور خورشید منجر به اکسیداسیون و هیدرولیز بیسفنول-A به همراه ۵۸ درصد کانی‌سازی پس از ۵ ساعت قرار گرفتن در معرض نور خورشید شد. به طور کلی، مطالعات بر دستیابی به حذف کامل یا تقریباً کامل آفت‌کش با راندمان کانی‌سازی خوب تمرکز می‌کنند. علاوه بر این، تلاش‌های تحقیقاتی قابل توجهی با هدف ترکیب فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته با فناوری‌های دیگر، مانند نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس فشار پایین، برای حذف موثر و مؤثر آفت‌کش‌ها انجام شده است [۱۰۲]. در بخش کشاورزی، نانو بیوتکنولوژی به احتمال زیاد توسعه روندهای مدرن در مدیریت آفت‌کش‌ها را تسهیل می‌کند (شکل ۳).



### شکل ۳: ظهور نانو بیوتکنولوژی در بخش کشاورزی با توسعه (الف) فرمولاسیون نانو سبز و (ب) آفت کش های زیستی [۸۴].

یکی از آخرین روندهای تحقیقاتی در حذف آفت کش ها، استفاده از نانو فرمولاسیون های سبز جدید به دلیل پتانسیل آنها برای ارائه ضد قارچ و فعالیت ضد باکتریایی در برابر میکروارگانیسم های پاتوژن همراه با توانایی آنها در از بین بردن بقایای آفت کش ها است. نانو فرمولاسیون اسانس های به دست آمده از گیاهان نیز برای کنترل آفات کشاورزی به دلیل فعالیت های حشره کش و ضد قارچی آنها گزارش شده است [۱۰۲]. نانو فرمولاسیون ها همچنین از اسانس ها در برابر تخریب اکسیداتیو و تبخیر محافظت می کنند.

#### نتیجه گیری

در این بررسی به خطرات مرتبط با آفت کش ها، از جمله موارد معمولی و نانو فرموله پرداخته شده است. تجزیه و تحلیل آفت کش های معمولی و نوظهور از نظر خطر مرتبط با آنها به منظور ارزیابی کردن صحیح اثرات احتمالی آنها بر سلامت انسان و اکوسیستم بسیار مهم است. ما فرآیندهای مختلفی را برای مدیریت بقایای آفت کش ها در نظر گرفتیم تا اثرات زیست محیطی آنها را کاهش دهیم. در این مقاله ظهور نانو بیوتکنولوژی نیز به عنوان وسیله ای برای تلاش برای کاهش استفاده از آفت کش ها برای محیطی ایمن و سبز برجسته شده است. تکنیک های متعددی برای تولید نانو ذرات وجود داشته که بر روی ساختار، ترکیب و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آنها تأثیرگذار می گذارد. تحقیق و توسعه در زمینه نانوتکنولوژی به سرعت در حال انجام است و کاربردهای گسترده ای برای مواد نانو در نظر گرفته می شود. استفاده از نانوذرات در موضوعات مختلف به طور روزافزونی در حال گسترش است و به نظر آینده بسیار نوید بخشی را ترسیم می کند. در بسیاری از موارد این مواد از نظر اثربخشی و اقتصادی از انواع مواد معمولی مشابه بهتر هستند. با توجه به کم بودن تعداد انواع حشره کش های مناسب برای مصارف بهداشتی و مبارزه با ناقلین بیماری هایی مثل مالاریا و به دلیل مقاومت به حشره کش ها در ناقلین، تولید انواع جدید حشره کش ها به کمک نانوتکنولوژی از اهمیت بالایی برخوردار است. با این همه به نظر می رسد به موازات گسترش تحقیق و توسعه در این زمینه، بررسی ملاحظات زیست محیطی و سم شناسی محصولات تولیدی نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

مشخص شده است که آفت کش ها اجزای ضروری در مدیریت فعالیت های کشاورزی می باشند که می توانند برای بهینه سازی کمی و کیفی مورد استفاده قرار گیرند. تاریخچه آفت کش ها گسترده است، از جمله آفت کش های مصنوعی معمولی و نانوفرمولاسیون های اخیر. علیرغم مزایای بالقوه آفت کش های مصنوعی، خطرات آنها برای موجودات زنده و اکوسیستم طبیعی را نمی توان نادیده گرفت. علاوه بر این، اجرای نانو آفت کش ها به دلیل هزینه های بالای تولید، عدم قطعیت های قانونی و چالش های افکار عمومی دشوار است. علاوه بر این، هنوز مسائل زیادی در مورد کاربرد آنها وجود دارد به ویژه باید توجه به سرنوشت آنها در اکوسیستم مورد توجه قرار گیرند. قبل از تجاری سازی هر محصول، انجام یک ارزیابی اولیه از اثرات اجتماعی و زیست محیطی بسیار مهم است. بنابراین، هنوز راه درازی در پیش است تا جایگزین های سازگار با محیط زیست و ایمن آفت کش های مصنوعی به موفقیت تجاری گسترده ای دست یابند. با این حال، اقدامات قابل توجهی بر اساس اولویت برای تصفیه بقایای آفت کش هایی که در محیط زیست وجود

دارد مورد نیاز است. مدیریت موثر بقایای آفت‌کش ممکن است از طریق فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته و تخریب مبتنی بر میکروبی به دست آید. این تکنیک‌ها باید به اندازه کافی برای حذف یا سرکوب اثرات مضر آفت‌کش‌های شیمیایی بدون استفاده از نانومواد موثر باشند. مطالعات بیشتر در مورد سرنوشت زیست محیطی و تجمع زیستی نانوفرمولاسیون‌ها هنوز مورد نیاز است و به محققان اجازه می‌دهد تا روش‌های سازگار با محیط زیست و پایدار را برای جلوگیری از استفاده بیش از حد از آفت‌کش‌ها توسعه دهند. مسیرهای تخریب نوآورانه برای بقایای آفت‌کش‌ها و به دنبال آن مدیریت مناسب محصولات تخریب شده باید برای ارزیابی مزایا و خطرات مرتبط با آن‌ها بررسی شود. تحقیقات نشان داده است حیوانات اهلی مولد و حیوانات خانگی در اثر استفاده نامناسب یا بی‌دقت از فرمولاسیون آفت‌کش‌ها مسموم شده‌اند. بنابراین، نیاز شدیدی به ایجاد برنامه‌های نظارتی برای مهار یا سرکوب مسمومیت‌های حیات وحش و مسمومیت‌های غذایی برای حفاظت مؤثر از گونه‌های آبی و غیر آبی از جمله انسان وجود دارد. بدون شک، نانو آفت‌کش‌ها سرنوشت زیست محیطی آفت‌کش‌های معمولی را تغییر می‌دهند، اما اینکه آیا آن‌ها تأثیرات زیست محیطی کلی آفت‌کش‌ها را کاهش می‌دهند، یک سوال حل نشده است. علاوه بر این، تحقیقات نانو آفت‌کش‌ها هنوز تضمین کیفیت محصولات مبتنی بر نانو را نشان نداده است. تاثیر و کارایی محیطی آن‌ها در شرایط میدان باز هنوز اثبات نشده است. برای مدیریت ریسک مناسب فرمول‌های نانو، علاوه بر کنترل‌های اداری قابل توجه برای اطمینان از یک محل کار سالم و کارآمد، باید از اصل "ایمنی با طراحی" پیروی کرد [۱۰۳]. دوز نانوذرات و مدت زمان قرار گرفتن در معرض باید هنگام ارزیابی آستانه سمیت انسانی در نظر گرفته شود. تلاش‌های تحقیقاتی باید بر روی رفتار و اثرات نانومواد در خاک تحت شرایط مختلف محیطی متمرکز شود. علاوه بر این، برخی از مسائل هنوز باید مورد توجه قرار گیرند، به عنوان مثال، افزایش و کاهش اثرات ترکیب و ساختار شیمیایی نانوفرمولاسیون بر واکنش‌پذیری شیمیایی و بیولوژیکی آفت‌کش‌ها/ آفت‌کش‌های زیستی محصور شده [۱۰۴]. این مطالعات می‌تواند برای پیش‌بینی میزان برهم‌کنش نانوفرمولاسیون‌ها با محیط مفید باشد. مهمترین کاربرد نانوبیوتکنولوژی عبارت است از:

- ۱- کاهش مقدار مطلق مواد فعال مورد نیاز برای حفاظت از گیاهان، برای به حداقل رساندن اتلاف عناصر غذایی در کوددهی و افزایش عملکرد محصول از طریق مدیریت بهینه مواد مغذی.
- ۲- تشخیص سریع، حساس و انتخابی باقیمانده آفت‌کش‌ها.
- ۳- شناسایی سریع و اصلاح این آلاینده‌ها.
- ۴- تسهیل تولید کارآمدتر، خوش‌خیم، پایدار و مقرون به صرفه‌تر محصولات کشاورزی.
- ۵- فرمولاسیون نانوی عصاره، استخراج شده از گیاهان.
- ۶- تعدادی از میکروارگانیسم مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها به‌طور معمول در مبارزه بیولوژیک بر علیه حشرات موثرند. آسان شدن ورود این عوامل با نانوتکنولوژی به بدن حشرات.
- ۷- استفاده از نانوکپسولاسیون مواد فعال به‌منظور محافظت از تخریب زودرس آن‌ها در شرایط محیطی نامطلوب و افزایش کارایی آن‌ها را در برابر آفات در مدت زمان طولانی‌تر.
- ۸- داشتن خواص آفت‌کشی نانوذرات فلزی و استفاده برای کنترل حشرات، آفات و بیماری‌های گیاهی.
- ۹- انتخاب نانوکاتالیست‌های سبز به‌منظور جلوگیری از احتمال آلودگی محیط‌زیست

## منابع

- فرضی دیری، عبدالامیر، جاوید، امیر حسین، غفارزاده، حمید رضا، حسین زاده لطفی، فرهاد. (۱۴۰۱). مدل سازی مدیریت پسماند خشک غرفه های بازیافت با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و استنتاج منطق فازی در مناطق غربی شهر تهران. فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۱۲(۳)، ۱۲۹-۱۴۷.
- ساسانی، گلاره، قربان حسینی، مسعود، قاسمی، مرتضی. (۱۴۰۱). بررسی نقش مؤلفه های شناسایی شده بر مدیریت منابع انسانی سبز و زنجیره تامین سبز با رویکرد کاهش الاینده های زیست محیطی در صنعت ایران خودرو. فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۱۲(۳)، ۵۷۱-۵۸۹.
- ناصرترابی، عرفان، مطهری، سعید، صمدیار، حسن، آزادبخت، بیتا. (۱۴۰۱). شناسایی و اولویت بندی ریسک های محیط زیستی مکان دفن زباله و نیروگاه زباله سوز و تاثیر آن بر محیط زیست شهری با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP). فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۱۲(۲)، ۷۷۴-۷۹۵.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., ۲۰۰۲. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* ۴۱۸, ۶۷۱-۶۷۷
- Guan Ch, Yu J. Dynamics of residues from a novel nano-imidacloprid formulation in soyabean fields. *Crop Protection* ۲۰۱۰; ۲۹(۹): ۹۴۲-۹۴۶
- novel nano-imidacloprid formulation in soyabean Guan Ch, Yu J, Dynamics of residues from a fields. *Crop Protection* ۲۰۱۰; ۲۹(۹): ۹۴۲-۹۴۶
- Hemingway J, Beaty BJ, Rowland M, Scott ThW, Sharp BL. The Innovative Vector Control Consortium: improved control of mosquito-borne diseases. *Trends in Parasitology* ۲۰۰۶; ۲۲(۷): ۳۰۸-۳۱۲
- Enayati AA, Lines J, Hemingway J. Malaria management, past, present and future. *Ann Rev Entomol* ۲۰۱۰; ۵۵: ۵۶۹-۵۹۱
- Enayati A, Lines J, Maharaj R, Hemingway J. Suppressing the vector. In *Shrinking the Malaria Map: A Prospectus on Malaria Elimination*. Feachem RGM, Phillips AA, Targett GA, Editors. The San Francisco: Global Health Group; ۲۰۰۹. p. ۱۴۰-۱۵۴
- Enayati, Ebrahimnejad, & Pedram. Nano pesticides: production, application and environmental considerations. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, ۲۱(۸۶), ۲۹۶-۳۱۱. (in Persian)
- Chauhan, N., Dilbaghi, N., Gopal, M., Kumar, R., Kim, K.H., Kumar, S., ۲۰۱۷. Development of chitosan nanocapsules for the controlled release of hexaconazole. *Int. J. Biol. Macromol.* ۹۷. ۶۲۴-۶۱۶
- Bhattacharyya A, Bhaumik A, Usha Rani P, Mandal S, Timothy T. Nano-particles-A recent approach to insect pest control. *African Journal of Biotechnology* ۲۰۱۰; ۹(۲۴): ۳۴۸۹- ۳۴۹۳
- ;Barik T, Sahu B, Swain V. Nanosilica-from medicine to pest control. *Parasitol Res* ۲۰۰۸. ۲۵۳-۲۵۸ : (۲)۱۰۳
- Mishra, Y. K., & Adelung, R. (۲۰۱۸). ZnO tetrapod materials for functional applications. *Materials Today*, ۲۱(۶), ۶۳۱-۶۵۱
- Cai, J., Zhou, M., Xu, X., Du, X., ۲۰۲۰. Stable boron and cobalt co-doped TiO<sub>2</sub> nanotubes anode for efficient degradation of organic pollutants. *J. Hazard. Mater.* ۳۹۶, ۱۲۲۷۲۳
- .Park, S. J., Das, G. S., Schütt, F., Adelung, R., Mishra, Y. K., Tripathi, K. M., & Kim, T (۲۰۱۹). Visible-light photocatalysis by carbon-nano-onion-functionalized ZnO tetrapods degradation of ۲, ۴-dinitrophenol and a plant-model-based ecological assessment. *NPG Asia Materials*, ۱۱(۱), ۱-۱۳
- ,Souza, L.P. de, Faroni, L.R.D.A., Heleno, F.F., Pinto, F.G., Queiroz, M.E.L.R. de, Prates L.H.F., ۲۰۱۸. Ozone treatment for pesticide removal from carrots: Optimization by response surface methodology. *Food Chem.* ۲۴۳, ۴۳۵-۴۴۱
- ,Carles, C., Bouvier, G., Esquirol, Y., Pouchieu, C., Migault, L., Piel, C., Fabbro-Peray, P Tual, S., Lebailly, P., Baldi, I., ۲۰۱۸. Occupational exposure to pesticides: Development of a job-exposure matrix for use in population-based studies (PESTIPOP). *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* ۲۸۸-۲۸۱, ۲۸

- Largo-Wight, E. (۲۰۱۱). Cultivating healthy places and communities: evidenced-based nature .contact recommendations. *International journal of environmental health research*, ۲۱(۱), ۴۱-۶۱
- .Mandic-Rajcevic, S., Rubino, F. M., Ariano, E., Cottica, D., Negri, S., & Colosio, C. (۲۰۱۹) :Exposure duration and absorbed dose assessment in pesticide-exposed agricultural workers Implications for risk assessment and modeling. *International Journal of Hygiene and Environmental .Health*, ۲۲۲(۳), ۴۹۴-۵۰۲
- Durant, J. L. (۲۰۱۹). Where have all the flowers gone? Honey bee declines and exclusions .from floral resources. *Journal of rural studies*, ۶۵, ۱۶۱-۱۷۱
- & ... ,Arambourou, H., Planelló, R., Llorente, L., Fuertes, I., Barata, C., Delorme, N :Bonnineau, C. (۲۰۱۹). Chironomus riparius exposure to field-collected contaminated sediments from subcellular effect to whole-organism response. *Science of the Total Environment*, ۶۷۱, ۸۷۴- .۸۸۲
- ,Neuwirthová, N., Trojan, M., Svobodová, M., Vašíčková, J., Šimek, Z., Hofman, J., & Bielská L. (۲۰۱۹). Pesticide residues remaining in soils from previous growing season (s)-Can they accumulate in non-target organisms and contaminate the food web?. *Science of the Total .Environment*, ۶۴۶, ۱۰۵۶-۱۰۶۲
- Wang, H., Cao, X., Li, L., Fang, Z., & Li, X. (۲۰۱۸). Augmenting atrazine and hexachlorobenzene degradation under different soil redox conditions in a bioelectrochemistry system and an analysis of the relevant microorganisms. *Ecotoxicology and environmental .safety*, ۱۶۷, ۷۳۵-۷۴۱
- & ,Tette, P. A. S., da Silva Oliveira, F. A., Pereira, E. N. C., Silva, G., de Abreu Glória, M. B Fernandes, C. (۲۰۱۶). Multiclass method for pesticides quantification in honey by means of .modified QuEChERS and UHPLC-MS/MS. *Food Chemistry*, ۲۱۱, ۱۳۰-۱۳۹
- .Bordin, A. B., Minetto, L., do Nascimento Filho, I., Beal, L. L., & Moura, S. (۲۰۱۷) -Determination of pesticide residues in whole wheat flour using modified QuEChERS and LC .MS/MS. *Food Analytical Methods*, ۱۰(۱), ۱-۹
- .Carneiro, R. P., Oliveira, F. A., Madureira, F. D., Silva, G., de Souza, W. R., & Lopes, R. P Development and method validation for determination of ۱۲۸ pesticides in bananas by .(۲۰۱۳) modified QuEChERS and UHPLC-MS/MS analysis. *Food Control*, ۳۳(۲), ۴۱۳-۴۲۳
- .Rizzetti, T. M., Kemmerich, M., Martins, M. L., Prestes, O. D., Adaime, M. B., & Zanella, R Optimization of a QuEChERS based method by means of central composite design for .(۲۰۱۶) pesticide multiresidue determination in orange juice by UHPLC-MS/MS. *Food Chemistry*, ۱۹۶ .۲۵-۳۳
- .Kemmerich, M., Bernardi, G., Prestes, O. D., Adaime, M. B., & Zanella, R. (۲۰۱۸) Comprehensive method validation for the determination of ۱۷۰ pesticide residues in pear employing modified QuEChERS without clean-up and ultra-high performance liquid .chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Food analytical methods*, ۱۱(۲), ۵۵۶-۵۷۷
- Ravelo-Pérez, L. M., Hernández-Borges, J., & Rodríguez-Delgado, M. A. (۲۰۰۸). Multi-walled carbon nanotubes as efficient solid-phase extraction materials of organophosphorus pesticides from apple, grape, orange and pineapple fruit juices. *Journal of Chromatography .A*, ۱۲۱۱(۱-۲), ۳۳-۴۲
- Lozowicka, B. (۲۰۱۵). Health risk for children and adults consuming apples with pesticide .residue. *Science of the Total Environment*, ۵۰۲, ۱۸۴-۱۹۸
- Sun, G., Du, Y., Yin, J., Jiang, Y., Zhang, D., Jiang, B., ... & Hu, J. (۲۰۱۹). Response of microbial communities to different organochlorine pesticides (OCPs) contamination levels in .contaminated soils. *Chemosphere*, ۲۱۵, ۴۶۱-۴۶۹
- & ,Morrissey, C. A., Mineau, P., Devries, J. H., Sanchez-Bayo, F., Liess, M., Cavallaro, M. C Liber, K. (۲۰۱۵). Neonicotinoid contamination of global surface waters and associated risk to .aquatic invertebrates: a review. *Environment international*, ۷۴, ۲۹۱-۳۰۳
- Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (۲۰۱۵). Bee declines driven by .combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, ۳۴۱(۶۲۲۹), ۱۲۵۵۹۵۷
- & ... ,Hoppin, J. A., Umbach, D. M., Long, S., London, S. J., Henneberger, P. K., Blair, A Sandler, D. P. (۲۰۱۷). Pesticides are associated with allergic and non-allergic wheeze among male .farmers. *Environmental health perspectives*, ۱۲۵(۴), ۵۳۵-۵۴۳

- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (۲۰۱۸). The link of organophosphorus pesticides with neurodegenerative and neurodevelopmental diseases based on evidence and mechanisms. *Toxicology*, ۴۰۹, ۴۴-۵۲
- Autier, P. (۲۰۱۸). Increasing incidence of cancer in children and competing risks. *The Lancet .Oncology*, ۱۹(۹), ۱۱۳۶-۱۱۳۷
- Zhang, Y., Dong, T., Hu, W., Wang, X., Xu, B., Lin, Z., ... & Xia, Y. (۲۰۱۹). Association between exposure to a mixture of phenols, pesticides, and phthalates and obesity: comparison of three statistical models. *Environment international*, ۱۲۳, ۳۲۵-۳۳۶
- ., Bhandari, R. K., Deem, S. L., Holliday, D. K., Jandegian, C. M., Kassotis, C. D., Nagel, S. C Rosenfeld, C. S. (۲۰۱۵). Effects of the environmental estrogenic contaminants bisphenol A & ... and ۱۷ $\alpha$ -ethinyl estradiol on sexual development and adult behaviors in aquatic wildlife species. *General and comparative endocrinology*, ۲۱۴, ۱۹۵-۲۱۹
- .Kumar, S., Nehra, M., Dilbaghi, N., Marrazza, G., Tuteja, S. K., & Kim, K. H. (۲۰۲۰) Nanovehicles for plant modifications towards pest-and disease-resistance traits. *Trends in Plant .Science*, ۲۴(۲), ۱۹۸-۲۱۲
- Feng BH, Zhang ZY. Carboxymethy Chitosan Grafted Ricinoleic Acid Group for .Nanopesticide Carriers. *Advanced Materials Research* ۲۰۱۱; ۲۳۶-۲۳۸: ۱۷۸۳-۱۷۸۸
- Xie, S., Tang, C., Liu, H., Zhang, T. E., Tang, Y., Teng, L., & Zhang, J. (۲۰۲۰). An electroanalytical platform for nereistoxin-related insecticide detection based on DNA .conformational switching and exonuclease III assisted target recycling. *Analyst*, ۱۴۴(۳), ۹۴۶-۹۵۲
- Bhanjana, G., Dilbaghi, N., Bhalla, V., Kim, K. H., & Kumar, S. (۲۰۱۷). Direct ultrasensitive .redox sensing of mercury using a nanogold platform. *Journal of Molecular Liquids*, ۲۲۵, ۵۹۸-۶۰۵
- Durai, L., Gopalakrishnan, A., & Badhulika, S. (۲۰۲۰). Thermal decomposition assisted one-step synthesis of high surface area NiCoP nanospheres for simultaneous sensing of lead, mercury .and cadmium ions in groundwater samples. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, ۸۶۱, ۱۱۳۹۳۷
- .Rani, S., Sharma, B., Kapoor, S., Malhotra, R., Varma, R. S., & Dilbaghi, N. (۲۰۱۹) Construction of silver quantum dot immobilized Zn-MOF- $\lambda$  composite for electrochemical sensing .of ۲, ۴-dinitrotoluene. *Applied Sciences*, ۹(۲۲), ۴۹۵۲
- Nehra, M., Dilbaghi, N., Singhal, N. K., Hassan, A. A., Kim, K. H., & Kumar, S. (۲۰۱۹). Metal organic frameworks MIL-۱۰۰ (Fe) as an efficient adsorptive material for phosphate .management. *Environmental research*, ۱۶۹, ۲۲۹-۲۳۶
- Zhang, W., Asiri, A. M., Liu, D., Du, D., & Lin, Y. (۲۰۱۴). Nanomaterial-based biosensors for environmental and biological monitoring of organophosphorus pesticides and nerve agents. *TrAC .Trends in Analytical Chemistry*, ۵۴, ۱-۱۰
- Salunkhe RB, Patil SV, Patil CD, Salunke BK. Larvicidal potential of silver nanoparticles synthesized using fungus *Cochliobolus lunatus* against *Aedes aegypti* (Linnaeus, ۱۷۶۲) and .*Anopheles stephensi* Liston (Diptera; Culicidae). *Parasitol Res* ۲۰۱۱; ۱۰۹(۳): ۸۲۳-۸۳۱
- WHO/EMRO, Managing the use of public health pesticides in the face of the increasing burden .of vector-borne diseases. EM/RCD $\lambda$ / Tech. Disc. ۱, ۲۰۱۱
- .Bergeson LL. Nanosilver: US EPA's pesticide office considers how best to proceed .Environmental Quality Management ۲۰۱۰; ۱۹(۳): ۷۹-۸۵
- ., Nuchuchua O, Sakulku U, Uawongyart N, Puttipipatkachorn S, Soottitantawat A Ruktanonchai U. In Vitro Characterization and Mosquito (*Aedes aegypti*) Repellent Activity of .Essential-Oils-Loaded Nanoemulsions. *AAPS Pharm Sci Tech* ۲۰۰۹; ۱۰(۴): ۱۲۳۴-۱۲۴۲
- Zhao, X., Cui, H., Wang, Y., Sun, C., Cui, B., & Zeng, Z. (۲۰۱۷). Development strategies and prospects of nano-based smart pesticide formulation. *Journal of agricultural and food .chemistry*, ۶۶(۲۶), ۶۵۰۴-۶۵۱۲
- ., Lim, C.J., Basri, M., Omar, D., Abdul Rahman, M.B., Salleh, A.B., Raja Abdul Rahman R.N.Z., ۲۰۱۲. Physicochemical characterization and formation of glyphosate-laden nano-emulsion .for herbicide formulation. *Ind. Crops Prod.* ۳۶, ۶۰۷-۶۱۳
- Xie, Y., Fang, Z., Cheng, W., Tsang, P. E., & Zhao, D. (۲۰۱۴). Remediation of polybrominated diphenyl ethers in soil using Ni/Fe bimetallic nanoparticles: influencing factors, kinetics and .mechanism. *Science of the Total Environment*, ۴۸۵, ۳۶۳-۳۷۰

- Zhou, H., Hu, L., Wan, J., Yang, R., Yu, X., Li, H., Chen, J., Wang, L., Lu, X., ۲۰۱۶. Microwave-enhanced catalytic degradation of p-nitrophenol in soil using MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. *Chem. Eng. J.* ۲۸۴, ۵۴-۶۰.
- Acharya, P., Jayaprakasha, G.K., Crosby, K.M., Jifon, J.L., Patil, B.S., ۲۰۲۰. Nanoparticle-Mediated Seed Priming Improves Germination, Growth, Yield, and Quality of Watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. *Sci. Rep.* ۱۰, ۱-۱۶.
- Faizan, M., Faraz, A., Mir, A.R., Hayat, S., ۲۰۲۰. Role of Zinc Oxide Nanoparticles in Counteracting Negative Effects Generated by Cadmium in *Lycopersicon esculentum*. *J. Plant Growth Regul.* ۱-۱۵.
- Hong, J., Peralta-Videa, J.R., Rico, C., Sahi, S., Viveros, M.N., Bartonjo, J., Zhao, L., Gardea-Torresdey, J.L., ۲۰۱۴. Evidence of translocation and physiological impacts of foliar applied CeO<sub>2</sub> nanoparticles on cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Environ. Sci. Technol.* ۴۸, ۴۳۷۶-۴۳۸۵.
- Wu, J., Xie, Y., Fang, Z., Cheng, W., Tsang, P.E., ۲۰۱۶. Effects of Ni/Fe bimetallic nanoparticles on phytotoxicity and translocation of polybrominated diphenyl ethers in contaminated soil. *Chemosphere* ۱۶۲, ۲۳۵-۲۴۲.
- Mukherjee, A., Hawthorne, J., White, J.C., Kelsey, J.W., ۲۰۱۷. Nanoparticle silver coexposure reduces the accumulation of weathered persistent pesticides by earthworms. *Environ. Toxicol. Chem.* ۳۶, ۱۸۶۴-۱۸۷۱.
- Duran, N. (۲۰۱۶). Duran, M.; De Jesus, MB; Seabra, AB; Favaro, WJ; Nakazato, G. Silver Nanoparticles: A New View on Mechanistic Aspects on Antimicrobial Activity. *Nanomedicine*, ۱۲, ۷۸۹-۷۹۹.
- Jiang, C., Lu, Y.C., Xu, J.Y., Song, Yang, Song, Yue, Zhang, S.H., Ma, L.Y., Lu, F.F., Wang Y.K., Yang, H., ۲۰۱۷. Activity, biomass and composition of microbial communities and their degradation pathways in exposed propazine soil. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* ۱۴۵, ۳۹۸-۴۰۷.
- Kongseng, S., Yoovathaworn, K., Wongprasert, K., Chunhabundit, R., Sukwong, P., Pissuwan D., ۲۰۱۶. Cytotoxic and inflammatory responses of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on human peripheral blood mononuclear cells. *J. Appl. Toxicol.* ۳۶, ۱۳۶۴-۱۳۷۳.
- Shukla, R.K., Kumar, A., Gurbani, D., Pandey, A.K., Singh, S., Dhawan, A., ۲۰۱۳. TiO<sub>2</sub> nanoparticles induce oxidative DNA damage and apoptosis in human liver cells. *Nanotoxicology* ۶۰-۴۸, ۷.
- Suliman Y, A.O., Ali, D., Alarifi, S., Harrath, A.H., Mansour, L., Alwasel, S.H., ۲۰۱۵. Evaluation of cytotoxic, oxidative stress, proinflammatory and genotoxic effect of silver nanoparticles in human lung epithelial cells. *Environ. Toxicol.* ۳۰, ۱۴۹-۱۶۰.
- Dobrzyńska, M.M., Gajowik, A., Radzikowska, J., Lankoff, A., Dušinská, M., Kruszewski M., ۲۰۱۴. Genotoxicity of silver and titanium dioxide nanoparticles in bone marrow cells of rats in vivo. *Toxicology* ۳۱۵, ۸۶-۹۱.
- Gosens, I., Cassee, F.R., Zanella, M., Manodori, L., Brunelli, A., Costa, A.L., Bokkers, B.G.H de Jong, W.H., Brown, D., Hristozov, D., Stone, V., ۲۰۱۶. Organ burden and pulmonary toxicity of nano-sized copper (II) oxide particles after short-term inhalation exposure. *Nanotoxicology* ۱۰, ۱۰۹۵-۱۰۸۴.
- Luo, C., Li, Y., Yang, L., Zheng, Y., Long, J., Jia, J., Xiao, S., Liu, J., ۲۰۱۴. Activation of ERK and p53 regulates copper oxide nanoparticle-induced cytotoxicity in keratinocytes and fibroblasts. *Int. J. Nanomedicine* ۹, ۴۷۶۳-۴۷۷۲.
- Bulcke, F., Thiel, K., Dringen, R., ۲۰۱۴. Uptake and toxicity of copper oxide nanoparticles in cultured primary brain astrocytes. *Nanotoxicology* ۸, ۷۷۵-۷۸۵.
- Rodríguez-Yáñez, Y., Bahena-Urbe, D., Chávez-Munguía, B., López-Marure, R., González-Monroy, S., Cisneros, B., Albores, A., ۲۰۱۵. Commercial single-walled carbon nanotubes effects in fibrinolysis of human umbilical vein endothelial cells. *Toxicol. Vitro* ۲۹, ۱۲۰۱-۱۲۱۴.
- Muller, J., Huaux, F., Moreau, N., Misson, P., Heilier, J.F., Delos, M., Arras, M., Fonseca, A. Nagy, J.B., Lison, D., ۲۰۰۵. Respiratory toxicity of multi-wall carbon nanotubes. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* ۲۰۷, ۲۲۱-۲۳۱.
- Balzus, B., Sahle, F.F., Hönzke, S., Gerecke, C., Schumacher, F., Hedtrich, S., Kleuser, B Bodmeier, R., ۲۰۱۷. Formulation and ex vivo evaluation of polymeric nanoparticles for controlled delivery of corticosteroids to the skin and the corneal epithelium. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* ۱۱۵, ۱۳۰-۱۲۲.

- .,Grabowski, N., Hillaireau, H., Vergnaud, J., Tsapis, N., Pallardy, M., Kerdine-Römer, S Fattal, E., ۲۰۱۵. Surface coating mediates the toxicity of polymeric nanoparticles towards human-like macrophages. *Int. J. Pharm.* ۴۸۲, ۷۵-۸۳
- Hwang, T.L., Aljuffali, I.A., Lin, C.F., Chang, Y.T., Fang, J.Y., ۲۰۱۵. Cationic additives in nanosystems activate cytotoxicity and inflammatory response of human neutrophils: Lipid nanoparticles versus polymeric nanoparticles. *Int. J. Nanomedicine* ۱۰, ۳۷۱-۳۸۵
- Ng, C.T., Yong, L.Q., Hande, M.P., Ong, C.N., Yu, L.E., Bay, B.H., Baeg, G.H., ۲۰۱۷. Zinc oxide nanoparticles exhibit cytotoxicity and genotoxicity through oxidative stress responses in human lung fibroblasts and *Drosophila melanogaster*. *Int. J. Nanomedicine* ۱۲, ۱۶۲۱-۱۶۳۷
- Senapati, V.A., Kumar, A., Gupta, G.S., Pandey, A.K., Dhawan, A., ۲۰۱۵. ZnO nanoparticles in human blood cells: A mechanistic approach induced inflammatory response and genotoxicity. *Food Chem. Toxicol.* ۸۵, ۶۱-۷۰
- .,Carlson, C., Hussein, S.M., Schrand, A.M., Braydich-Stolle, L.K., Hess, K.L., Jones, R.L silver nanoparticles: Size-dependent generation Schlager, J.J., ۲۰۰۸. Unique cellular interaction of reactive oxygen species. *J. Phys. Chem. B* ۱۱۲, ۱۳۶۰۸-۱۳۶۱۹
- Sharifi, S., Behzadi, S., Laurent, S., Forrest, M.L., Stroeve, P., Mahmoudi, M., ۲۰۱۲. Toxicity of nanomaterials. *Chem. Soc. Rev* ۴۱, ۲۳۲۳-۲۳۴۳
- Aksakal, F.I., Arslan, H., ۲۰۲۰. Detoxification and reproductive system-related gene expression following exposure to Cu(OH)<sub>2</sub> nanopesticide in water flea (*Daphnia magna* Straus *Environ. Sci. Pollut. Res.* ۲۷, ۶۱۰۳-۶۱۱۱. (۱۸۲۰
- Ferrer, A., Salas, C., Rojas, O.J., ۲۰۱۶. Physical, thermal, chemical and rheological characterization of cellulosic microfibrils and microparticles produced from soybean hulls. *Ind. Crops Prod.* ۸۴, ۳۳۷-۳۴۳
- ... ,Mohammadinejad, R., Maleki, H., Larraneta, E., Fajardo, A. R., Nik, A. B., Shavandi, A Thakur, V. K. (۲۰۱۹). Status and future scope of plant-based green hydrogels in biomedical & engineering. *Applied Materials Today*, ۱۶, ۲۱۳-۲۴۶
- .,Ramos-Delgado, N.A., Hinojosa-Reyes, L., Guzman-Mar, I.L., Gracia-Pinilla, M.A Hernández-Ramírez, A., ۲۰۱۲. Synthesis by sol-gel of WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> for solar photocatalytic degradation of malathion pesticide. *Catal. Today* ۲۰۹, ۳۵-۴۰
- .,Salarian, A.A., Hami, Z., Mirzaie, N., Mohseni, S.M., Asadi, A., Bahrami, H., Vosoughi, M Alinejad, A., Zare, M.R., ۲۰۱۶. N-doped TiO<sub>2</sub> nanosheets for photocatalytic degradation and mineralization of diazinon under simulated solar irradiation: Optimization and modeling using a response surface methodology. *J. Mol. Liq.* ۲۲۰, ۱۸۳-۱۹۱
- Xing, Z., Zhou, W., Du, F., Zhang, L., Li, Z., Zhang, H., Li, W., ۲۰۱۴. Facile synthesis of hierarchical porous TiO<sub>2</sub> ceramics with enhanced photocatalytic performance for micropolluted pesticide degradation. *ACS Appl. Mater. Interfaces* ۶, ۱۶۶۵۳-۱۶۶۶۰
- .,Abdennouri, M., Baâlala, M., Galadi, A., El Makhfouk, M., Bensitel, M., Nohair, K., Sadiq M., Boussaoud, A., Barka, N., ۲۰۱۶. Photocatalytic degradation of pesticides by titanium dioxide and titanium pillared purified clays. *Arab. J. Chem.* ۹, S۳۱۳-S۳۱۸
- Grover, I.S., Prajapat, R.C., Singh, S., Pal, B., ۲۰۱۷. Highly photoactive Au-TiO<sub>2</sub> nanowires for improved photo-degradation of propiconazole fungicide under UV/sunlight irradiation. *Sol. Energy* ۱۴۴, ۶۱۲-۶۱۸
- Xue, J., Luo, Z., Li, P., Ding, Y., Cui, Y., Wu, Q., ۲۰۱۴. A residue-free green synergistic antifungal nanotechnology for pesticide thiram by ZnO nanoparticles. *Sci. Rep.* ۴, ۵۴۰۸
- Jency, D.A., Parimaladevi, R., Sathe, G. V., Umadevi, M., ۲۰۱۸. Detect, Remove: A New Paradigm in Sensing and Removal of PCBs from reservoir soil via SERS-Active ZnO triggered gold nanocomposites. *Appl. Surf. Sci.* ۴۴۹, ۶۳۸-۶۴۶
- Misra, N.N., Pankaj, S.K., Walsh, T., O'Regan, F., Bourke, P., Cullen, P.J., ۲۰۱۴. In-package nonthermal plasma degradation of pesticides on fresh produce. *J. Hazard. Mater.* ۲۷۱, ۳۳-۴۰
- .Briceño, G., Fuentes, M.S., Palma, G., Jorquera, M.A., Amoroso, M.J., Diez, M.C., ۲۰۱۲ Chlorpyrifos biodegradation and ۳',۵'-trichloro-۲-pyridinol production by actinobacteria isolated from soil. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* ۷۳, ۱-۷
- Daumann, L.J., Larrabee, J.A., Ollis, D., Schenk, G., Gahan, L.R., ۲۰۱۴. Immobilization of organophosphate pesticide bioremediation. J the enzyme GpdQ on magnetite nanoparticles for. *Inorg. Biochem.* ۱۳۱, ۱-۷

- Das, A., Singh, J., Yogalakshmi, K.N., ۲۰۱۷. Laccase immobilized magnetic iron nanoparticles: Fabrication and its performance evaluation in chlorpyrifos degradation. *Int Biodeterior. Biodegrad.* ۱۱۷, ۱۸۳-۱۸۹
- Carboneras, B., Villaseñor, J., Fernandez-Morales, F.J., ۲۰۱۷. Modelling aerobic biodegradation of atrazine and ۲,۴-dichlorophenoxy acetic acid by mixed-cultures. *Bioresour. Technol.* ۲۴۳, ۱۰۴۴-۱۰۵۰
- Meijide, J., Gómez, J., Pazos, M., Sanromán, M.A., ۲۰۱۶. Degradation of thiamethoxam by the synergetic effect between anodic oxidation and Fenton reactions. *J. Hazard. Mater.* ۳۱۹, ۴۳-۵۰
- El-Temsah, Y.S., Sevcu, A., Bobcikova, K., Cernik, M., Joner, E.J., ۲۰۱۶. DDT degradation efficiency and ecotoxicological effects of two types of nano-sized zero-valent iron (nZVI) in water and soil. *Chemosphere* ۱۴۴, ۲۲۲۱-۲۲۲۸
- Al-Anazi, A., Abdelraheem, W.H., Han, C., Nadagouda, M.N., Sygellou, L., Arfanis, M.K., Falaras, P., Sharma, V.K., Dionysiou, D.D., ۲۰۱۸. Cobalt ferrite nanoparticles with controlled composition-peroxymonosulfate mediated degradation of ۲-phenylbenzimidazole-۵-sulfonic acid. *Appl. Catal. B Environ.* ۲۲۱, ۲۶۶-۲۷۹
- Zhang, X., Xu, Z., Qian, X., Lin, D., Zeng, T., Filser, J., ... & Kah, M. (۲۰۲۰). Assessing the Impacts of Cu (OH) ۲ nanopesticide and ionic copper on the soil enzyme activity and bacterial community. *Journal of agricultural and food chemistry*, ۶۸(۱۱), ۳۳۷۲-۳۳۸۱
- Chen, M., Xu, P., Zeng, G., Yang, C., Huang, D., & Zhang, J. (۲۰۱۵). Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs. *Biotechnology advances*, ۳۳(۶), ۷۴۵-۷۵۵
- Ramos-Delgado, N.A., Hinojosa-Reyes, L., Guzman-Mar, I.L., Gracia-Pinilla, M.A., Hernández-Ramírez, A., ۲۰۱۳. Synthesis by sol-gel of WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> for solar photocatalytic degradation of malathion pesticide. *Catal. Today* ۲۰۹, ۳۵-۴۰
- Carra, I., Sánchez Pérez, J.A., Malato, S., Autin, O., Jefferson, B., Jarvis, P., ۲۰۱۶. Performance of different advanced oxidation processes for tertiary wastewater treatment to remove the pesticide acetamiprid. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* ۹۱, ۷۲-۸۱
- Gusain, R., Gupta, K., Joshi, P., & Khatri, O. P. (۲۰۱۹). Adsorptive removal and photocatalytic degradation of organic pollutants using metal oxides and their composites: A comprehensive review. *Advances in colloid and interface science*, ۲۷۲, ۱۰۲۰۰۹
- Guerra, F. D., Attia, M. F., Whitehead, D. C., & Alexis, F. (۲۰۱۸). Nanotechnology for environmental remediation: materials and applications. *Molecules*, ۲۳(۷), ۱۷۶۰
- Rodrigo, M. A., Oturan, N., & Oturan, M. A. (۲۰۱۴). Electrochemically assisted remediation of pesticides in soils and water: a review. *Chemical reviews*, ۱۱۴(۱۷), ۸۷۲۰-۸۷۴۵
- Lagogianni, C. S., & Tsitsigiannis, D. I. (۲۰۱۹). Effective biopesticides and biostimulants to reduce aflatoxins in maize fields. *Frontiers in Microbiology*, ۱۰, ۲۶۴۵
- Wang, S., Suh, J. H., Zheng, X., Wang, Y., & Ho, C. T. (۲۰۱۷). Identification and quantification of potential anti-inflammatory hydroxycinnamic acid amides from wolfberry. *Journal of agricultural and food chemistry*, ۶۵(۲), ۳۶۴-۳۷۲
- Vurro, M., Miguel-Rojas, C., & Pérez-de-Luque, A. (۲۰۱۹). Safe nanotechnologies for increasing the effectiveness of environmentally friendly natural agrochemicals. *Pest management science*, ۷۵(۹), ۲۴۰۳-۲۴۱۲
- Gahukar, R. T., & Das, R. K. (۲۰۲۰). Plant-derived nanopesticides for agricultural pest control challenges and prospects. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, ۵(۱), ۱-۹

## **The application of nanobiotechnology in the cleaning and destruction of pesticide residues in the direction of waste management and sustainable development of the environment**

**Sayed Majid Lohmousavi**

Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

**Hossein Heidari Sharif Abad<sup>1</sup>**

Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

**Ali Mohammadi Torkashvand**

Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

**Ghorban Noormohammadi**

Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

**Babak Delkhosh**

Department of Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

### **Abstract**

The use of pesticides is necessary in order to improve product quality and performance and commercial requirements. However, the continuous global use of pesticides poses serious risks to human health and the environment. This issue increases the urgent need to develop pesticide formulas with the help of nano biotechnology method, which has low risk, low side effects and high efficiency. Today, nanotechnology has made remarkable progress in various fields such as air-space, various industries, including food, military, pharmaceutical medicine, chemical, insecticides, etc. In this research, the risks related to conventional pesticides as well as nano-pesticides have been briefly examined. Also, managing pesticide residues is still a global challenge. Soil and water pollution with pesticides has an adverse effect on agricultural productivity and food security. Therefore, it is a serious threat to living organisms. Pesticide residues in the ecosystem may be treated by several physicochemical and biological processes, such as microbial degradation and advanced oxidation processes. Therefore, with these issues in mind, we review both existing and emerging techniques for managing pesticide residues and environmental hazards. These methods can provide a sustainable solution to rehabilitate polluted water/soil resources. Also, research approaches developed to investigate biotechnological alternatives to conventional pesticides are discussed along with future perspectives and techniques to reduce the harms of these pesticides are recommended.

**Key words: Nanobiotechnology, environment, pesticides, risk assessment, waste management.**

---

<sup>1</sup>. (Corresponding author): hosseinheidari97@yahoo.com