REVIEW ARTICLE

Nano Pesticides, Production, Application and Environmental Considerations

Ahmadali Enayati[1], Pedram Ebrahimnejad[2]

[1] Department of Medical Entomology, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[2] Department of Pharmaceutics, Pharmaceutical Sciences Research Center, Faculty of Pharmacy, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received November 5, 2011 ; Accepted January 16, 2011)

Abstract

In recent decades, intensive research and development has been undertaken in the field of nanotechnology. Nano products have been widely developed and applied in different areas including aerospace, military, food and chemical industries, pharmacology and medicine as well as nanopesticides. The latter are particularly important in medicine and health because they are more effective than their conventional counterparts against agricultural pests and vectors of human diseases such as malaria mosquitoes. Another issue that dictates boosting in research and development in nanopesticides is the problem of insecticide resistance because of which not very many suitable insecticides are available especially for public health purposes. Although to date several different nanopesticides were manufactured using different technologies, given the urgency of need to this group of pesticides, reviewing the manufacturing methodologies of these pesticides is of crucial importance. Introducing this rather new technology to the scientific community may increase the research and development in the area. In this review, the subject of nanopesticides, their manufacturing methodologies and the species produced are introduced and at the same time, environmental considerations and toxicity to mammals are discussed.

Key words: Nanotecknology, nanopesticides, production, application

J Mazand Univ Med Sci 2012; 22(86): 297-310 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

مـــروری

مجلـــه دانشـــگاه عـلـــوم پـزشـکـــی مـازنـــدران
دوره بیست و یکم شماره ۸۶ بهمن سال ۱۳۹۰ (۳۱۰-۲۹۷)

آفت کش‌های نانو: تولید، کاربرد و ملاحظات زیست محیطی

احمدعلی عنایتی[۱] پدرام ابراهیم نژاد[۲]

چکیده

در دهه های اخیر نانوتکنولوژی در زمینه‌های مختلف از جمله هوا- فضا، صنایع مختلف اعم از نظامی، غذایی، شیمیایی و غیره، داروسازی، پزشکی و حشره‌کش‌ها گسترش چشمگیری داشته است. حشره‌کش‌های نانو از اهمیت اقتصادی، بهداشتی و پزشکی بسیار بالایی برخوردارند زیرا با اثربخشی بیشتر در مقایسه با انواع معمولی خود در مبارزه با بندپایان آفت محصولات کشاورزی و ناقلین بیماری‌های مهمی نظیر مالاریا کاربرد دارند. تاکنون نمونه‌هایی از حشره‌کش‌های نانو به روش‌های مختلف تولید شده است ولی با توجه به نیاز جدی برای گسترش این گروه از حشره‌کش‌ها، شناسایی روش‌های مناسب تهیه نانو ذرات حشره‌کش‌ها لازم است. موضوع دیگری که سبب ضرورت تحقیق و توسعه در زمینه آفت‌کش‌های نانو می‌شود پدیده مقاومت آفات نسبت به آفت‌کش‌ها می‌باشد که این موضوع موجب کاهش جدی تعداد آفت‌کش‌های مناسب به‌خصوص در مصارف بهداشتی شده است. در عین حال معرفی بیشتر موضوع حشره‌کش‌های نانو به پژوهشگران موجب رونق تحقیق و توسعه در این زمینه نسبتاً جدید می‌شود. در این مطالعه مروری، موضوع آفت‌کش‌های نانو مورد بررسی قرار گرفته، روش‌های ساخت آن‌ها بحث می‌شود. انواع ساخته شده آن‌ها معرفی و در عین حال ملاحظات زیست محیطی و سمیت آن‌ها برای پستانداران مورد بحث قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: نانوتکنولوژی، حشره‌کش‌های نانو، کاربرد نانوتکنولوژی، آفت‌کش‌ها

مقدمه

نانو تکنولوژی یک زمینه تحقیق، توسعه و فعالیت صنعتی بین رشته‌ای است که در دهه گذشته به سرعت رشد کرد. کلمه نانو تکنولوژی ابتدا به وسیله Richard Feynman در سال ۱۹۵۹ استفاده شد ولی در سال ۱۹۷۴ توسط دانشمند ژاپنی بنام Norio Taniguchi از دانشگاه توکیو به طور رسمی استفاده شد و کتاب "موتورهای تولید: عنصر نانوتکنولوژی" که به وسیله او در سال ۱۹۸۶ چاپ شد اطلاعات مناسبی در مورد نانوبیوتکنولوژی ارائه کرد(۱). نانوتکنولوژی از چهار زمینه وسیع نانو دارو، مواد نانو، اندازه‌گیری نانو و ذرات نانو تشکیل شده است. کلمه نانو از کلمه یونانی به معنی کوچک گرفته شده است و از نظر تکنیکی به اندازه‌ای معادل 10^{-9} گفته می‌شود. در عمل ذرات نانوی مورد استفاده در نانو تکنولوژی دارای ابعادی بین ۰/۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشند. ذرات نانو را می‌توان یا با کوچک کردن ذرات

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی شماره ۲۱۵- ۹۰ است که توسط معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران تامین شده است.

مولف مسئول: احمدعلی عنایتی- ساری: کیلومتر ۱۸ جاده خزر آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت E-mail: aenayati@mazums.ac.ir

۱. گروه حشره شناسی پزشکی، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران

۲. گروه فارماسیوتیکس، مرکز تحقیقات علوم دارویی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران

تاریخ دریافت : ۹۰/۸/۱۴ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۹۰/۹/۱۹ تاریخ تصویب : ۹۰/۱۰/۲۶

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

بزرگ[1] و یا به روش دستکاری تک تک اتم‌ها و مولکول‌ها جهت تولید ذرات و ساختارهای نانو[2] به‌دست آورد(۱). به‌عنوان برخی از استفاده‌های نانوتکنولوژی می‌توان به احیاء بیولوژیکی محیط زیست‌آلوده، آزادسازی و رهاسازی کنترل شده خوشبوکننده‌ها، مواد ضد میکروب و مواد ضد قارچ روی پارچه و الیاف، مصارف هوا- فضا، نظامی، صنعتی، دارویی، بهداشتی و پزشکی اشاره کرد(۲). مواد نانو معمولاً در طی فرایندهای شیمیایی ساخته می‌شوند. تعیین ساختار ذرات نانو ساخته شده به کمک (AFM)[3] و (STM)[4] انجام می‌شود و نظر به اهمیت STM در نانو تکنولوژی جایزه نوبل به دو مخترع آن بینینگ و روهرر[5] در سال ۱۹۸۶ تعلق گرفت.

در بدن موجودات زنده مواد نانو نقش محوری در دوام و بقاء حیات دارند. تمام فعالیت‌های و فعل و انفعالات درون سلول‌ها و بافت‌های بدن موجودات زنده مرهون موادی مثل پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک هستند که ساختاری نانو دارند(۲). ذرات نانو داخل بدن حشرات خود می‌تواند به‌عنوان تکنولوژی مجانی نانو مورد استفاده قرار گیرد؛ همان‌طوری‌که حشرات از خاصیت آهن ربایی[6] نانو ذرات آهن که به‌عنوان گیرنده آهن‌ربای زمینی[7] عمل می‌کنند، در زندگی خود بهره می‌گیرند. به‌خصوص حشرات از این خاصیت در جهت‌یابی و پیدا کردن لانه و تغذیه استفاده می‌کنند و در زندگی حشرات اجتماعی نقش اساسی بازی می‌کند. به‌خصوص این‌که این ذرات نانو در چشم، سر و آنتن‌ها بیشتر دیده می‌شود. متأسفانه از انواع ذرات نانو که با تکنولوژی رایگان در بدن موجودات زنده وجود دارد بهره برداری کافی صورت نمی‌گیرد(۱).

در سال‌های اخیر و با پیشرفت نانوتکنولوژی، تولید انواع مختلف آفت‌کش‌های نانو به روش‌های مختلف انجام شد و گروه‌های زیادی از حشرات با این مواد مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به مشکلات زیست محیطی و هزینه ناشی از مصرف مقادیر زیاد آفت‌کش‌های معمولی در طبیعت و نیز مشکلات ناشی از مقاومت آفات به این آفت‌کش‌ها، تحقیق و توسعه در زمینه آفت‌کش‌های نانو به عنوان یک ضرورت مطرح می‌گردد. این مقاله به ضرورت‌ها، روش‌های موجود و چالش‌های پیش روی تولید و استفاده از آفت‌کش‌های نانو می‌پردازد.

ذرات نانو آفت‌کش، یک انقلاب سبز در آینده:

از تکنولوژی نانو می‌توان برای تولید آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها و مواد دورکننده حشرات جدید استفاده کرد. تکنولوژی نانوکپسول که حاوی مولکول‌های حشره‌کش با اندازه در مقیاس نانو می‌باشند یکی از روش‌های تولید فرمولاسیون حشره کش می‌باشد که باعث جذب آسان‌تر و سریع‌تر آفت کش به داخل بافت گیاه و آفت می‌شود(۳). مکانیسم عمل نانوکپسول‌های حاوی حشره‌کش شامل انتشار، انحلال، تجزیه بیولوژیکی و فشار اسمزی می‌باشد. لوله‌های نانو حاوی حشره‌کش وقتی به بافت گیاه می‌چسبند می‌توانند مواد داخل خود را به بدن حشراتی که در تماس با آن‌ها قرار می‌گیرند انتقال دهند. بنابراین نانو کپسول یک راه مهم در حال و آینده برای کنترل آفات نباتی و حیوانی می‌باشد. یک نگرانی از گسترش استفاده از تکنولوژی فرمولاسیون نانو انتقال مواد آفت‌کش، سم شناسی برای جانوران و محیط آن‌ها است(۱). افزایش اثربخشی حشره‌کش‌های نانو موجب کاهش مقدار مصرف آن‌ها در مقایسه با حشره‌کش‌های معمولی می‌شود، به‌علاوه انتقال و جذب هدفمند حشره‌کش‌های نانو نه تنها موجب افزایش اثربخشی بلکه باعث کاهش اثرات سوء آن‌ها بر موجودات غیر هدف

1. Top down
2. Bottom up
3. Atomic Force Microscope
4. Scanning Tunneling Microscope
5. Binning and Rohrer
6. ferromagnetic
7. Geomagnetic

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

می‌شود(۴). معمولاً در تولید فرمولاسیون حشره‌کش‌های معمولی انواع مواد آلی مورد استفاده قرار می‌گیرند که علاوه بر خود مولکول آفت‌کش برای محیط زیست و حیات وحش خطرناک هستند(۵،۳).

ضرورت یافتن جایگزین مناسب برای آفت‌کش‌های معمول:

استفاده زیاد از آفت‌کش‌ها اگر چه باعث افزایش تولید فرآورده‌های کشاورزی شد ولی با تولید زیاد و استفاده از انواع آفت‌کش‌های شیمیایی آسیب‌های جدی به محیط زیست و صدمات زیادی به جانوران غیرهدف وارد شد. استفاده زیاد از آفت‌کش‌ها باعث افزایش غلظت آن‌ها در آب و خاک و نیز بدن موجودات زنده غیرهدف شده است تا جایی که گاهی این مقادیر از حداکثر مجاز ممکن بالاتر می‌شود. این موضوعی است که به‌صورت نگران‌کننده‌ای رو به افزایش است و سازمان‌های بین‌المللی نظیر USEPA[1]، WHO[2] و FAO[3] آن را به دقت مورد بررسی قرار می‌دهند(۶). علاوه بر این استفاده مکرر و زیاد با مقدار بالا آفت‌کش‌ها باعث بروز مقاومت به آن‌ها در آفات شده است(۱۴-۷). این موضوع باعث کاهش تعداد حشره‌کش‌های مناسب برای استفاده در مبارزه با ناقلین شده است به طوری که در مبارزه با بیماری‌ها مالاریا به‌صورت سمپاشی ابقایی یا پشه‌بندهای آغشته به حشره‌کش، انتخاب زیادی وجود ندارد(۱۲،۱۱). بنابراین از هر روش ممکن باید انواع حشره‌کش‌های قابل استفاده در مبارزه با آفات و ناقلین تهیه و تولید شوند و به نظر می‌رسد که نانوتکنولوژی دارای این ظرفیت باشد.

یکی از راهکارهای کنترل مقاومت به آفت‌کش‌ها در آفات گیاهی و ناقلین بیماری‌ها استفاده از مبارزه تلفیقی با آفات[4] می‌باشد که در آن فقط از مواد شیمیایی در کنترل آفات استفاده نمی‌شود بلکه از روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و محیطی برای مبارزه با آفات بهره‌گیری می‌شود تا اثر سوء بر محیط زیست کاهش یابد و نیز از شدت بروز مقاومت آفات به آفت‌کش‌ها کاسته شود(۶).

یکی دیگر از روش‌های کاهش آسیب به محیط و افزایش اثربخشی آفت‌کش‌ها بر آفات هدف، استفاده از فرمولاسیون‌های مناسب است. تکنیک میکروکپسول یکی از روش‌های نسبتاً موفق در این زمینه می‌باشد که آفت‌کش را در کپسول‌های بسیار کوچکی از جنس‌های مختلف قرار می‌دهند. این روش باعث جذب سریع‌تر و بیشتر آن در آفت هدف شده در عین حال با کاهش مقدار مصرف و نیز محافظت از تماس با محیط باعث افزایش اثر بر آفات و کاهش مخاطرات زیست محیطی می‌شود(۶). تهیه فرمولاسیون نانوی آفت‌کش‌ها می‌تواند به عنوان یک انقلاب در مبارزه با آفات کشاورزی و ناقلین بیماری‌ها محسوب شود.

آفت‌کش‌های نانوی معدنی:

نانوسیلیکا به‌عنوان یک آفت‌کش بیولوژیکی نانوی جدید:

سیلیکا ماده‌ای بسیار فراوان در زمین است. سیلیکای طبیعی مثل ماسه کوارتز، صخره‌ها و رس به‌عنوان مواد خام ساختمان‌سازی به‌کار می‌روند. برای تولید سیلیکاژن و سایر فرآورده‌های سیلیکا، مواد خام فوق‌الذکر با مواد شیمیایی ترکیب می‌شوند. از این مواد در میکروالکترونیک، ارتباطات اپتیکی و تکنولوژی لایه نازک و همچنین در داروسازی در تولید داروهای ضد سرطان استفاده می‌شود(۲،۱).

نانو سیلیکای دارای بار سطحی و قابلیت آب‌گریزی تغییر یافته می‌تواند به‌طور موفقیت آمیزی برای کنترل طیف وسیعی از آفات گیاهی و نیز انگل‌های خارجی جانوران بکار رود. نانوسیلیکای تغییر سطحی داده شده آب گریز یا چربی دوست می‌تواند به خوبی در درمان مالاریای ماکیان مورد استفاده قرار

1. United States Environmental Protection Agency
2. World Health Organization
3. Food and Agriculture Organization
4. Integrated Pest Management, IPM

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

گیرد. این مواد باعث جذب کلسترول اضافی سرم میزبان می‌شوند که به‌وسیله انگل مالاریا به‌خصوص سیکل خونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ذرات نانو سیلیکا می‌توانند در مبارزه با حشرات خانگی، مگس‌ها و انگل‌های داخلی و خارجی جانوران، قارچ‌ها، کرم‌ها و... مورد استفاده قرار گیرند. سیلیکا ژل بی‌شکل یکی دیگر از مواد رطوبت زدا است که در کنترل آفاتی مثل کنه‌ها، ساس تختخواب و سایر آفاتی که در درز و شکاف خانه، زیرشیروانی و وسایل منزل لانه می‌کنند، کاربرد دارد(۲).

افزایش مخاطرات زیست محیطی و نیز پدیده مقاومت به حشره‌کش‌ها(۱۴-۷) و نیز محدودیت استفاده از بسیاری از آفت‌کش‌های شیمیایی و کاهش تولید انواع آفت‌کش‌های کم خطر جدید(۱۵) موجب گسترش تحقیقات در زمینه آفت‌کش‌های بیولوژیک شده است. آفات از انواعی از چربی‌های کوتیکولی به‌عنوان سدهای حفاظتی در برابر از دست‌دادن آب بدن خود که در نهایت منجر به مرگ می‌شود استفاده می‌کنند ولی نانوسیلیکاها در این سد چربی جذب شده به‌صورت فیزیکی باعث مرگ حشره می‌شوند. اندود کردن برگ‌ها و ساقه‌های بسیاری از گیاهان با ذرات نانو باعث کاهش فتوسنتز نمی‌شود. همچنین آن‌ها باعث تغییر بیان ژن در تراشه حشرات نمی‌شوند، بنابراین می‌توانند به‌عنوان آفت‌کش‌های بیولوژیکی نانو مورد تأیید قرار گیرند(۲).

حشره‌کش‌های نانو فتوکاتالیست:

یکی از تکنولوژی‌های مناسب در زمینه کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی آفت‌کش‌ها، تولید انواع تجزیه‌پذیر آن‌ها به کمک نانوتکنولوژی است. یکی از این روش‌ها استفاده از ذرات نانو که تجزیه‌پذیری نوری مواد آلاینده را افزایش می‌دهند، می‌باشد. به‌عنوان مثال ذرات نانو تیتانیا مثل TiO_2 یکی از پراستفاده‌ترین ترکیب فتوکاتالیست است که ارزان، پایدار، غیرسمی و مؤثر می‌باشد. ذرات نانوی حشره‌کش ایمیداکلوپرید که با تکنیک لایه به لایه (LbL)[1] با کیتوسان و آلجینات سدیم تولید شد دارای خاصیت تجزیه‌پذیری بالاتری نسبت به ایمیداکلوپرید معمولی بود(۶). کلروفناپیریک حشره‌کش و کنه‌کش وسیع‌الطیف است که بر علیه بسیاری از حشرات و کنه‌ها به‌خصوص آن‌هایی که به حشره‌کش‌های کاربامات، ارگانوفسفات و پیروتروئید مقاوم هستند کاربرد دارد. این ماده در حقیقت یک پیش حشره‌کش است که بر اثر تجزیه در معده حشره تبدیل به حشره‌کش اصلی می‌شود. نحوه اثر این حشره کش ایجاد اختلال در جریان انتقال پروتون در غشاء میتوکندری و مهار تولید ATP از ADP و در نتیجه موجب مرگ سلولی می‌شود. به‌دلیل این‌که کلروفناپیر بر مایت‌های شکارچی اثر نداشته اثرات نسبتاً کم سوء بر محیط می‌گذارند گزینه خوبی برای تولید فرمولاسیون نانو می‌باشد.

در مطالعه دیگری خصوصیت سطحی Ag/TiO2 به‌وسیله استئاریک اسید از حالت آبدوست به آبگریز تغییر داده شد. حشره کش کلروفناپیر، Ag/TiO2 تغییر یافته، مواد افزودنی مناسب با یکدیگر مخلوط شدند تا فرمولاسیون حشره کش نانوی کلروفناپیر تولید شود. قطر متوسط ذرات این فرمولاسیون ۱۰۰nm است. این حشره‌کش در تاریکی کاملاً پایدار است ولی در مقابل نور و به‌خصوص پرتو UV حدود ۸ برابر نسبت به حشره‌کش اصلی ناپایدارتر است. این‌گونه فرمولاسیون‌ها می‌تواند ضمن حفظ اثربخشی کوتاه مدت حشره‌کش از تجمع آن در محیط زیست و اثرات مخرب آن بکاهد(۱۶).

از طرف دیگر برخلاف اعتقاد رایج، فرمولاسیون نانوی کلروفناپیر دارای اثرات سمی نسبتاً کمتری از نوع معمولی آن است و مقادیر مختلف این دو نوع فرمولاسیون به‌صورت داخل صفاقی به موش تزریق و تست‌های میکرونوکلئوس و کامت نشان داد که آسیب DNA

1. Layer-by-layer assembly

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

مشابهی در لنفوسیت‌های خون محیطی و نیز آسیب کروموزوم در سلول‌های مغز استخوان ایجاد شد. البته شدت این آسیب‌ها از کلروفناپیر معمولی بیشتر بود. تست‌های انجام شده بوسیله فلوسیتومتری برروی سلول‌های کبدی موش‌ها نشان داد که میزان مرگ سلولی القاء شده به‌وسیله کلروفناپیر معمولی و نانو تفاوت معنی‌داری ندارند(۱۷).

فرمولاسیون نانوی حشره‌کش پریمیفوس متیل به کمک TiO2 نانو، TiO2 نانو تغییر یافته با SDS و TiO2 نانو تولید شده در محل تهیه شد. این فرمولاسیون‌ها به‌خوبی در تاریکی نگهداری می‌شوند و پایدارند ولی تجزیه آن‌ها در مقابل نور UV به‌شدت افزایش می‌یابد. تجزیه فرمولاسیون نانوی پریمیفوس متیل در معرض سه روز تابش خورشید برابر ۶۹ درصد، ۹۰/۵ درصد و ۵۱/۹ درصد و در مقابل سه ساعت زیر UV برابر ۹۵ درصد، ۹۹/۵ درصد و ۷۷/۶ درصد بود. در حالی‌که میزان تجزیه حشره‌کش معمولی برابر ۹/۱ درصد و ۶/۹ درصد در شرایط مذکور است(۱۸).

USEPA نگرانی‌های خود را از ترکیبات نانو مثل نانو سیلور و آفت‌کش‌های مقیاس نانو اعلام نمود ولی تاکنون هیچ معیاری سنجشی برای آلودگی‌های احتمالی آفت‌کش‌های نانو و یا چارچوب مشخص کنترل برای ترکیبات آفت‌کش با فرمولاسیون نانو پیشنهاد نکرده است. یکی از دلایل این نگرانی قدرت نفوذ و جذب زیاد ترکیبات با فرمولاسیون نانو به بدن پستانداران از جمله انسان است که ممکن است در حین استعمال و نیز پس از آن خطراتی به همراه داشته باشد(۱۹).

فرمولاسیون نانوی عصاره مستخرجه از گیاهان:

یکی از روش‌ها و فرمولاسیون‌های دیگر در کنترل آفات به‌ویژه انواع مقاوم به آفت‌کش‌های رایج، تهیه و استفاده از فرمولاسیون نانوی عصاره استخراج شده از گیاهان است. امولسیون نانوی عصاره گیاهانی نظیر سنبل هندی، ریحان پرمو و خس‌خس با اندازه متوسط ذره ۲۲۰nm- ۱۵۰ تهیه و علیه آئدس اجیپتی مورد آزمایش قرار گرفت. لایه بسیار نازک تشکیل شده از فرمولاسیون نانوی مواد مؤثره گیاهان فوق باعث اثرات دورکنندگی طولانی مدت‌تر شده است. به‌عنوان مثال غلظت ۵ درصد ریحان و خس خس و ۱۰ درصد سنبل هندی باعث دورکنندگی آئدس اجیپتی به‌مدت ۴/۷ ساعت شده است(۲۰).

در مطالعه دیگری ذرات نانوی نقره عصاره گیاه دانه ماه دل برگی[1] دارای اثرات بسیار خوبی علیه شپش سر و لارو پشه‌های ناقل مالاریا می‌باشند. در این مطالعه ذرات نانوی نقره تهیه شده از عصاره این گیاه دارای حدود ۵ برابر اثر بیشتر ضد شپش سر، لارو آنوفل ساب- پیکتوس و کولکس کوئین کوفاسیاتوس بوده است(۲۱). در مطالعه Santhoshkumar و همکاران در سال ۲۰۱۰ اثرات لاروکشی فرمولاسیون ذرات نانوی نقره عصاره گیاه نلومبو نوسیفرا[2] برروی ناقلین مالاریا و فیلاریا مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه فرمولاسیون نانوی نقره عصاره گیاه مذکور در مقایسه با عصاره معمولی آن دارای اثرات لاروکشی تقریباً ۱۰ برابر بوده است(۲۳). نانوذرات نقره که با واکنش احیا به وسیله عصاره برگ گیاه آنونا اسکوآموس[3] تهیه شدند دارای اثرات خوبی علیه لارو اکل آئدس اجیپتی، آنوفل استفنسی و کولکس کوئین کوفاسیاتوس[4] بودند(۲۳).

فرمولاسیون ذرات نانوی عصاره گیاه اکلیپتا پروستاتا[5] در مقایسه با عصاره معمولی این گیاه دارای اثرات بسیار بیشتر لاروکشی علیه ناقلین مالاریا و فیلاریا داشته است. به طوری‌که در مقایسه فرمولاسیون نانو دارای ۵- ۴ برابر اثر شدیدتر بر لارو پشه‌ها است(۲۴).

1. Heartleaf moonsead
2. Nelumbo nucifera
3. Annona squamosa
4. Aedes aegypti, Anopheles stephensim & Culex quinquefasciatus
5. Eclipta prosttata

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

ذرات نانوی نقره عصاره آبی برگ گیاه میموسا پادیکا[1] دارای اثرات لاروکشی بسیار خوبی بر ناقلین مالاریا، فیلاریا و کنه‌ها می‌باشد. در این مطالعه فرمولاسیون نانو در مقایسه با فرمولاسیون معمولی عصاره گیاه فوق دارای بیش از ۵ برابر اثر آفت‌کشی می‌باشد(۲۵).

فرمولاسیون نانوی تهیه شده به وسیله میکروارگانیسم‌ها:

تعدادی از گروه‌های میکروارگانیسم مثل باکتری‌ها و قارچ‌ها به‌طور معمول در مبارزه بیولوژیک علیه حشرات به‌کار می‌روند. با استفاده از نانوتکنولوژی می‌توان ورود این عوامل به بدن حشرات را تسهیل کرد. نانو ذرات نقره ساخته شده از عصاره قارچ کوکلیبولوس لاناتوس[2] دارای اثرات ضد لاروی قوی علیه آنوفل استفنسی و آئدس اجیپتی بوده LC50 حدوداً ppm ۱/۳ را به صورت وابسته به مقدار نشان دادند. این فرمولاسیون‌ها در مقدارهای بکار رفته اثر سمی بر ماهی گوپی[3] که به فراوانی در محیط وجود دارند، نشدند که این نشان‌دهنده اثرات زیست محیطی قابل قبول این مواد است(۲۶). ذرات نانوی طلا و نقره با استفاده از قارچ کریسوسپوریوم تریوپیکوم[4] به‌خوبی بر علیه لارو آئدس اجیپتی مؤثر است. در این آزمایشات، ذرات نانوی نقره سه برابر ذرات نانوی طلا اثربخشی داشتند. این مطالعه نشان داد که استفاده از ذرات نانوی این قارچ در کنترل پشه‌ها علاوه بر اینکه روشی سازگار با محیط می‌باشد، در کنترل مراحل مختلف این لاروها مؤثر است. این نانوذرات حاوی قارچ از طریق کوتیکول وارد بدن حشرات شده موجب کشته‌شدن آن‌ها می‌گردد(۲۷).

مزیت‌های استفاده از فرمولاسیون نانوی آفت‌کش‌ها:

یکی از مزیت‌های فرمولاسیون‌های نانوی آفت‌کش‌ها این است که با مقادیر کمتر مواد مؤثره حشره‌کش به اندازه فرمولاسیون‌های معمول با مقادیر بالاتر تأثیر دارند. این موضوع صرف نظر از نگرانی اثرات سمی بر پستانداران به‌دلیل اینکه موجب مصرف کمتر مواد مؤثره می‌شود، موجب اثرات سوء کمتری بر محیط زیست نیز می‌گردد. به‌صورت نظری روش‌هایی که ممکن است موجب کاهش بیشتری در مصرف مواد موثره در فرمولاسیون نانوی آفت‌کش‌ها و در نتیجه کاهش نگرانی‌های پیش‌گفت شود را می‌توان بدو صورت ۱- یافتن فرمولاسیون با مواد و تکنیک‌های مختلف برای اثر بیشتر ۲- افزودن موادی مثل سنیرژیست‌ها به فرمولاسیون آفت‌کش‌های نانو عملیاتی کرد. در روش اخیر فرمولاسیون حاوی لایه‌های مختلف آفت‌کش و سنیرژیست‌ها می‌توانند الف) مقادیر مواد مؤثره مورد نیاز برای تأثیر مناسب بر آفات را در فرمولاسیون حشره کش کاهش بیشتری دهد و ب- موضوع جدیدی تحت عنوان استفاده مجدد از آفت‌کش‌هایی که مقاومت نسبت به آن‌ها در آفات اتفاق افتاده است مطرح می‌شود. توضیح نظری این موضوع به نحوه اثر حشره‌کش‌ها و متابولیسم آن‌ها در بدن آفات و نیز نحوه اثر سنیرژیست‌ها در اعمال اثر سنیرژیستی بستگی دارد. به‌عنوان مثال حشره‌کش‌های پیرتروئید به‌وسیله آنزیم‌های اکسیداز تجزیه می‌شوند (۱۳- ۳۴-۲۸). بنابراین پس از استفاده از حشره‌کش‌ها و ورود آن‌ها به بدن موجود زنده، قبل از این‌که مولکول‌های حشره‌کش به محل اصلی اثر خود برسند بخشی از آن‌ها به‌وسیله این آنزیم‌ها تجزیه می‌شوند و باقی مانده آن‌ها به محل اثر رسیده در صورت کفایت باعث مرگ حشره می‌شوند. بسته به میزان بیان این آنزیم‌ها، مقادیر اولیه مورد نیاز حشره‌کش‌ها برای کنترل حشرات تعریف می‌شود تا پس از این‌که مقداری به‌وسیله آنزیم‌ها تجزیه شدند، به اندازه کافی در بدن حشره هدف باقی بمانند تا باعث مرگ آن‌ها شوند. با استفاده از سنیرژیست‌هایی مثل پیپرونیل بوتوکسید (PBO) که باعث مهار آنزیم‌های اکسیداز می‌شود،

1. Mimosa pudica
2. Cochliobolus lunatus
3. Poecilia reticulate
4. Chrysosporium tropicum

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

مولکول‌های حشره‌کش‌ها در بدن حشره هدف تجزیه نمی‌شوند. بنابراین مقادیر کمتری از آن باعث اثر دلخواه بر حشرات می‌شود. در مورد حشرات مقاوم به آفت‌کش‌ها نیز همین نظریه صادق است. در حشرات مقاوم به‌عنوان مثال به پیروتروئیدها، یکی از مکانیسم‌ها افزایش در بیان ژن آنزیم‌های مختلف از جمله مهم‌ترین آن‌ها اکسیدازها می‌باشد. بنابراین تهیه فرمولاسیون نانوی لایه لایه از آفت‌کش و سنیرژیست می‌تواند با مهار آنزیم‌های تجزیه‌کننده حشره‌کش‌ها باعث برقراری اثربخشی آن‌ها در حشرات مقاوم شود. بر این اساس افزودن سنیرژیست‌ها به فرمولاسیون نانوی حشره‌کش‌ها می‌تواند علاوه بر کاهش میزان مصرف حشره‌کش‌ها بر علیه حشرات حساس، در مورد حشرات مقاوم نیز کاربرد پیدا کند. این موضوع به‌خصوص در مورد حشره‌کش‌های بهداشتی که کمتر مورد تحقیق و تولید قرار گرفته‌اند بسیار ضروری است(۱۲، ۳۴). به‌عبارت دیگر به‌دلیل ایجاد مقاومت آفات به آفت‌کش‌های بهداشتی از یک طرف و عدم وجود انگیزه و مشوق‌ها (به‌خصوص از نوع اقتصادی) در شرکت‌های تولید آفت‌کش‌ها برای تولید انواع جدید آفت‌کش بهداشتی، تعداد بسیار کمی از آفت‌کش‌ها برای مصرف در حوزه بهداشت به‌خصوص علیه مالاریا، لیشمانیازیس، کوری رودخانه‌ای، خواب آفریقایی و سایر بیماری‌ها در دست است. در صورت عدم انجام این گونه تحقیقات یا باید از آفت‌کش‌های رایج با مقدار بالاتر استفاده شود و یا این‌که برای مبارزه با بیماری‌های مهلکی که ذکر شد وسیله‌ای در دست قرار ندارد. با انجام این تحقیقات امکانات مقابله‌ای و کنترلی بیشتری در اختیار سازمان‌های بهداشتی قرار خواهد گرفت تا در مبارزه با بیماری‌های منتقله به‌وسیله بند پایان مورد استفاده قرار گیرد.

نگرانی‌های زیست محیطی و آفت‌کش‌های نانو:

تهیه فرمولاسیون‌های دوستدار محیط آفت‌کش‌ها از ضرورت‌های قرن حاضر می‌باشد که دارای خصوصیت آزادسازی کنترل شده با اثربخشی بالا، سمیت کم برای پستانداران و سازگاری با فرمولاسیون‌های آبدوست باشند. آفت‌کش‌های معمولی محلول در چربی غالباً در محلول‌ها و افزودنی‌های به‌شدت سمی به‌صورت فرمولاسیون‌های امولسیون، امولسیون غلیظ، سوسپانسیون غلیظ و غیره در می‌آیند. این فرمولاسیون‌ها دارای اندازه ذره حدود یک میکرون هستند و استفاده از این فرمولاسیون‌های معمولی حشره‌کش‌ها مستلزم استفاده از مقادیری است که بر حشرات هدف اثرگذار باشد. این غلظت‌ها به‌خوبی بر جانداران غیر هدف و محیط زیست اثرات سوء خود را می‌گذارند(۴). ولی نشان داده شده است که فرمولاسیون در ابعاد نانو می‌تواند به‌طور چشمگیری دسترسی زیستی را افزایش دهد که این به‌دلیل اندازه بسیار کوچک و در نتیجه سطح تماس بسیار بزرگ می‌باشد(۳۵) اگرچه نگرانی‌های زیست محیطی و بیولوژیکی خاصی دقیقاً به همین دلیل افزایش نفوذپذیری ناشی از اندازه نانو وجود دارد که باید مورد مطالعه و مدیریت قرار گیرد(۴).

فرمولاسیون نانوی پرمترین به روش تبخیر حلال میکروامولسیون روغنی در آب (که با مخلوط کردن یک فاز آلی و یک فاز آبی به‌دست می‌آید) تهیه شد. این فرمولاسیون دارای اندازه ذره ۲۷ ± ۱۵۱ نانومتر بوده در عکس‌برداری‌های انکسار اشعه X، به‌صورت بی‌شکل می‌باشد. اثرات لاروکشی این فرمولاسیون قابل پخش در آب نانو پرمترین برروی لارو کولکس کوئین کوفاسیاتوس به مراتب بیشتر از نوع معمول پرمترین است. LC 50 نانو پرمترین برروی لاروکولکس کوئین کوفاسیاتوس برابر ۰/۱۱۷ mg/l است در حالی‌که LC 50 پرمترین معمولی برروی این لارو ۰/۷۱۵ mg/l می‌باشد. این اختلاف به‌خوبی بیانگر اثر انتخابی نانوپرمترین در کنترل لارو پشه‌ها می‌باشد(۴).

آفات بسیار مهمی نظیر کنه‌ها، شپش انسان و پشه‌ها که آسیب‌ها و ضررهای بسیار زیاد اقتصادی و جانی به انسان و دام وارد کرده‌اند اغلب به‌وسیله آفت‌کش‌های

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

شیمیایی کنترل می‌شوند که علاوه بر اثر مخرب بر محیط زیست بر موجودات زنده غیرهدف اثرات سوء زیادی دارد. علاوه بر این با استفاده زیاد از این مواد، صرف نظر از اثرات سوء بر جانوران هدف مثل دام و انسان، پدیده مقاومت به آفت‌کش‌ها که بر اثر مصرف بسیار زیاد آن‌ها بسیار شایع و رایج شده است از اثربخشی آن‌ها کاسته است و بدین ترتیب ضرر و زیان جانی و اقتصادی آفات مذکور رو به افزایش است. در این میان آفت‌کش‌های جدید و دوستدار محیط بسیار مورد نیاز می‌باشند. از میان ترکیبات نانو، مواد معدنی که به‌صورت نانو در آمده‌اند مثل TiO2 و SiO2 بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. این مواد در آب حل نمی‌شوند بنابراین شاید در مقایسه با ZnO که در آب حل می‌شود دارای سمیت پائین‌تری باشند. علاوه بر این روی یکی از عناصر مورد نیاز بدن موجودات زنده است. لذا از این نظر سمیت آن برای انسان و دام کمتر به نظر می‌رسد(۳۶).

ذرات نانوی روی به دو روش اثر سمی خود را اعمال می‌کنند ۱- به روش شیمیایی با آزادسازی یون‌های سمی و ۲- ایجاد استرس یا تحریک که به‌وسیله سطح، اندازه و یا شکل ذرات نانو به‌وجود می‌آید. این تحریکات می‌تواند باعث مهار فرایندهای بیولوژیک شود و یا این‌که در فرم نانوی خود با محیط بیولوژیکی درون سلولی تعامل مهارکننده داشته باشد. تست‌های زیست سنجی انجام شده ذرات نانوی اکسید روی بر لارو کنه ریپیسفالوس میکروپلوس[1]، شپش سر، لارو آنوفل ساپیکتوس، کولکس کوئین کوفاسیاتوس نشان داد که LD50 ذرات نانوی اکسید روی بین ۱/۳ تا ۱/۴ اکسید روی می‌باشد. بنابراین نتایج این تحقیق نشان‌دهنده این است که مقادیر کمتری از فرمولاسیون نانوی یک آفت‌کش می‌تواند دارای اثرات آفت‌کشی مناسب و قابل مقایسه‌ای با مقادیر بیشتر آفت‌کش‌های معمولی باشند. این موضوع درخصوص مدیریت مقاومت نقش مهمی بازی می‌کند زیرا شاید بتوان با به‌کارگیری دوزهای مشابه آفت‌کش‌های معمولی بند پایان مقاوم را کنترل کرد(۳۶).

تولید نانو ذرات:

روش‌های متعددی برای تولید نانو ذرات وجود دارد که بر روی ساختار، ترکیب و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها تأثیرگذار است. انتخاب روش تهیه بستگی به مادهٔ حامل مورد استفاده و خصوصیات حلالیت مادهٔ فعال مورد استفاده دارد. از لحاظ مادهٔ حامل شاخص‌هایی مانند زیست سازگاری، زیست تخریب‌پذیری، راه تجویز، الگوی آزاد سازی دلخواه و نهایتاً نوع کاربرد آن تعیین شده است.

به طور کلی روش‌های تهیه نانو ذرات به چند دسته تقسیم می‌شوند:

۱- پلیمریزاسیون

این روش یکی از سریع‌ترین روش‌های تهیه نانوذرات می‌باشد. در این روش، نانوذرات توسط پلیمریزاسیون منومرها تهیه می‌شوند. بر اساس استفاده از فاز پیوسته آبی یا فاز پیوسته آلی به دو زیر گروه تقسیم می‌شود. در روشی که فاز پیوسته آلی باشد، منومرها در داخل یک امولسیون یا در داخل حلالی که منومرها در آن حل نمی‌شوند، دیسپرس می‌شوند. نانوذرات پلی‌آکریل آمیدها با این روش تهیه شدند برای جلوگیری از تجمع ذرات از سورفکتانت یا پلیمرهای محلول محافظ استفاده می‌شود. ولی به دلیل استفاده از حلال‌های دارای سمیت بالا، سورفکتانت، منومرها و آغازگر و نیز تجزیه‌پذیر نبودن پلیمر مورد استفاده، این روش کمتر مورد توجه است. اخیرا از پلی متیل متاآکریلات و پلی بوتیل سیانوآکریلات استفاده می‌شود(۳۹-۳۷).

ماده مورد نظر نیز قبل از اضافه نمودن منومر یا در انتهای واکنش پلیمریزاسیون اضافه می‌گردد. پس از اتمام پلیمریزاسیون، سوسپانسیون نانو ذرات توسط

1. Rhipicephallus microples

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

اولترا سانتریفوژ جدا و با سوسپانسیون نمودن مجدد آن‌ها در یک محیط فاقد سورفکتانت خالص‌سازی می‌شوند(۴۵-۴۰).

۲- تشکیل امولسیون – تبخیر حلال

در این روش، پلیمر و ماده مورد نظر در حلال آلی و فراری مانند دی کلرومتان، کلروفرم یا اتیل استات حل شده، سپس در حضور امولسیون کننده‌ای مانند پلی‌وینیل الکل، سدیم کولات، ویتامین‌ای TPGS و یا پلی‌سوربات‌ها، و در حال به هم زدن، امولسیون روغن در آب (O/W) تشکیل می‌شود. بعد از تشکیل امولسیون O/W ، حلال آلی در اثر افزایش دما، تحت فشار، هم زدن مداوم، تبخیر و یا استخراج حذف شده و نانوذرات تشکیل می‌گردند. باید توجه کرد که روند تبخیر حلال از یک لحاظ شبیه روند استخراج حلال می‌باشد زیرا حلال آلی قبل از حذف از سیستم توسط تبخیر، باید در داخل فاز آبی نفوذ کند. سرعت حذف حلال توسط روند استخراج به عواملی نظیر دما، نسبت فاز آلی به فاز آبی و محلولیت پلیمر و حلال آلی در حلال آبی بستگی دارد. سرعت تبخیر حلال اثر عمده‌ای در خصوصیات نانوذرات تهیه شده خواهد گذاشت. طوری‌که تبخیر سریع حلال باعث تخلخل بیشتر، تشکیل فرم آمورف و درشت‌تر شدن ذرات خواهد شد. سرعت حذف حلال در روش استخراج به مراتب بیشتر از روش تبخیر می‌باشد.

در نهایت نانوذرات حاصل پس از شستشو توسط فیلتراسیون و یا سانتریفوژ جدا می‌شود. سپس سوسپانسیون نانو ذرات را فریزدرای نموده تا پودر ریز نانو ذرات به‌دست آید. مطالعات قبلی نشان می‌دهند که عواملی نظیر محلولیت ماده، نسبت فاز داخلی به فاز خارجی در امولسیون، غلظت پلیمر، وزن مولکولی پلیمر، نسبت ماده به پلیمر و نیز نوع امولسیون‌کننده در خصوصیات فیزیکوشیمیایی نانوذرات حاصل تأثیر خواهند گذاشت که باتوجه به آن‌ها، ترکیبات متعدد و با نسبت‌های مختلف جهت تهیه نانوذرات استفاده می‌شوند(۴۶،۵).

۳- نانو پرسیپیتاسیون

اساس این روش رسوب بین سطحی پلیمر است که در اثر حذف حلال قابل اختلاط با آب بدست می آید. در این روش ابتدا ماده در حلال آلی قابل اختلاط با آب مثل استن حل‌شده، به آرامی و با سرعت کنترل شده بر روی فاز آبی حاوی سورفکتانت و پایدارکننده مناسب جهت جلوگیری از رشد کریستالی، اضافه می‌گردد. نفوذ حلال آلی قابل اختلاط با آب درون فاز آبی سبب تشکیل نانوذرات می‌شود. در نهایت حلال آلی در دمای اتاق تبخیر شده نانوذرات پس از سانتریفوژ شستشو داده می‌شوند. این متد برای موادی که در حلال‌های آلی محلول بوده ولی در آب نامحلول می‌باشند مناسب می‌باشد(۴۸-۴۶).

۴- تولید نانوذرات با استفاده از مایعات فوق بحرانی

روش‌های قدیمی مانند تبخیر حلال و... نیاز به حلال‌های آلی دارند که برای محیط زیست و سیستم‌های فیزیولوژی خطرناک هستند. بنابراین فن‌آوری استفاده از مایعات فوق بحرانی که از نظر محیط زیست سالم هستند به عنوان یک راه حل جهت تهیه میکرو و نانوذرات بررسی شده‌اند.

مایع فوق بحرانی دی اکسید کربن[1] بیشترین کاربرد را دارد که به دلیل شرایط بحرانی مناسب (Pc=۷۳/۸ bars و Tc=۳۱/۱ °C)، غیر سمی بودن، غیر قابل اشتعال و قیمت ارزان می‌باشد.

از تکنیک های رایج در مایعات فوق بحرانی، روش ضد-حلال فوق بحرانی[2] و روش انبساط سریع محلول بحرانی[3] می‌باشد. در فرایند SAS حلال هایی مانند متانول استفاده می‌شود که قابل اختلاط با مایع فوق بحرانی مانند (SC CO2) باشند. این موجب می‌شود ماده حل شده در محلول میکرونایز شود، زیرا ماده حل

1. SC CO2
2. SAS
3. RESS

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

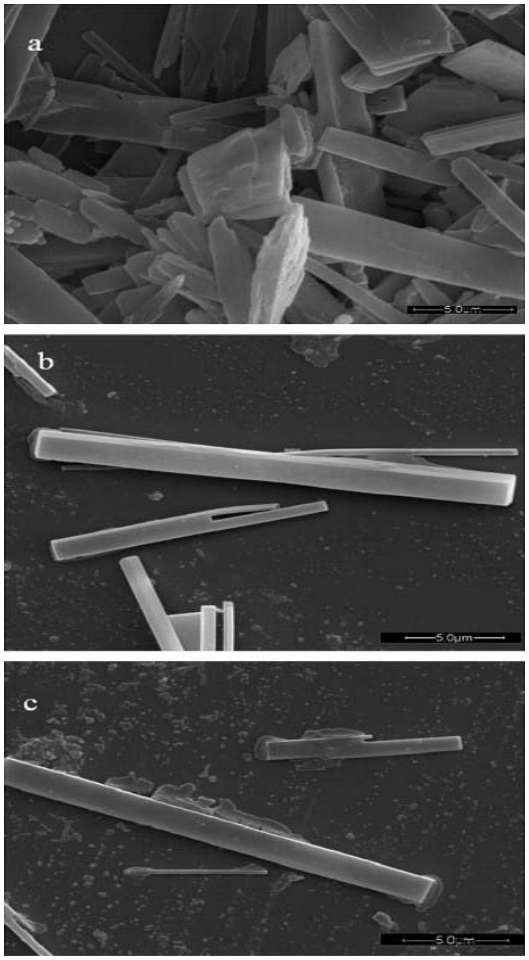
شده در مایع فوق بحرانی نامحلول است و استخراج حلال مایع توسط مایع فوق بحرانی منجر به رسوب آنی ماده حل شده و تشکیل نانوذرات می‌شود(۵۱-۴۹).

۵- کوآسرواسیون و تشکیل ژل یونی

جهت تهیه نانو ذرات در بسیاری از تحقیقات از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر آبدوست مانند کیتوزان، ژلاتین و سدیم آلژینات استفاده می‌شود. کاوو[1] و همکارانش این روش را پیشنهاد دادند. در واقع این روش مخلوط دو فاز آبی است که در یک فاز پلیمر کیتوزان و یا دی بلاک کوپلیمر اتیلن اکساید- پروپیلن اکساید[2] و در فاز دیگر سدیم تری پلی فسفات قرار می‌گیرد. در این روش بار مثبت گروه آمین در کیتوزان با بار منفی سدیم تری پلی فسفات در هم ادغام شده تشکیل کوآسرویت داده، ذرات با اندازه نانومتر بدست می‌آیند. علت این پدیده نیروهای الکترواستاتیک بین دو فاز می‌باشد(۴۹).

ساخت نانوذرات آفت‌کش‌ها:

اگرچه تحقیقات عمده‌ای در مورد روش‌های مختلف ساخت و تعیین خصوصیات مواد دارویی و صنعتی انجام شده است، این‌گونه مطالعات در زمینه نانوآفت‌کش‌ها بسیار کم انجام شده است. دو روشی که در تولید ذرات نانوی آفت‌کش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است عبارتند از الف) تولید نانوکپسول حاوی آفت کش با در کپسول قراردهی آفت‌کش‌ها با استفاده از ترکیبات آلی و ب) روش تبخیر حلال میکروامولسیون روغنی در آب (که با مخلوط کردن یک فاز آلی و یک فاز آبی به دست می‌آید). برای مثال نانوذرات پرمترین با روش اخیر به‌طور موفقیت‌آمیز تهیه و بر تعدادی از گروه‌های پشه ها مورد آزمایش قرار گرفت(۴). حشره کش ایمیداکولوپرید به عنوان یک آفت‌کش چربی دوست مدل را می‌توان به روش نانو پرسیپیتاسیون و تبخیر حلال میکروامولسیون روغنی با استفاده از کیتوسان تولید کرد(۵). کریستال‌های میکروی ایمیداکولوپرید به‌طور مستقیم به‌وسیله پلی ساکارید کیتوسان به اضافه آلجینات به‌صورت خودسازی لایه به لایه در کپسول قرار گرفت. این تکنیک در کپسول کردن ذرات نانوی یک حشره کش باعث انتقال آسان، هدفمند و محافظت محیط می‌شود لذا اثر حشره‌کشی را افزایش می‌دهد. تصویر شماره ۱ میکروکریستال ایمیداکولوپرید را در حالات مختلف نشان می‌دهد(۳).



شکل شماره ۱: تصویر میکروسکپ الکترونیکی اسکنینگ میکروکریستال حشره کش ایمیداکولوپرید. a: اندود نشده، b: اندود شده با ۵ لایه کیتوسان و آلجینات و c: اندود شده با ۱۰ لایه کیتوسان و آلجینات.

1. Calvo
2. PEO-PPO

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تحقیق و توسعه در زمینه نانوتکنولوژی به‌سرعت در حال انجام است و کاربردهای وسیعی برای مواد نانو در نظر گرفته می‌شود. استفاده از نانوذرات در زمینه‌های مختلف به‌طور روزافزونی در حال گسترش است و به نظر آینده بسیار نوید بخشی را ترسیم می‌کند. 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 حشره‌کش‌های مناسب برای مصارف بهداشتی و مبارزه با ناقلین بیماری‌هایی مثل مالاریا و به دلیل کاهش تحقیق و توسعه و پدیده مقاومت به حشره‌کش‌ها در ناقلین، تولید انواع جدید حشره‌کش‌ها به کمک نانوتکنولوژی حائز اهمیت بالایی است. با این همه به نظر می‌رسد به موازات گسترش تحقیق و توسعه در این زمینه، بررسی ملاحظات زیست محیطی و سم‌شناسی محصولات تولیدی نیز از اهمیت خاصی برخوردار است.

References

1. Bhattacharyya A, Bhaumik A, Usha Rani P, Mandal S, Timothy T. Nano-particles-A recent approach to insect pest control. African Journal of Biotechnology 2010; 9(24): 3489-3493.
2. Barik T, Sahu B, Swain V. Nanosilica-from medicine to pest control. Parasitol Res 2008; 103(2): 253-258.
3. Guan H, Chi D, Yu J, Li X. A novel photodegradable insecticide: Preparation, characterization and properties evaluation of nano-Imidacloprid. Pestic Biochem Phys 2008; 92(2): 83-91.
4. Anjali CH, Sudheer Khan S, Margulis-Goshen K, Magdassi S, Mukherjee, Amitava Chandrasekaran N. Formulation of water-dispersible nanopermethrin for larvicidal applications. Ecotoxicology and Environmental Safety 2010; 73(8): 1932-1936.
5. Li M, Huang Q, Wu Y. A novel chitosan-poly(lactide) copolymer and its submicron particles as imidacloprid carriers. Pest Manag Sci 2011; 67(7): 831-836.
6. Guan Ch, Yu J. Dynamics of residues from a novel nano-imidacloprid formulation in soyabean fields. Crop Protection 2010; 29(9): 942-946.
7. Guan Ch, Yu J, Dynamics of residues from a novel nano-imidacloprid formulation in soyabean fields. Crop Protection 2010; 29(9): 942-946.
8. Hemingway J, Hawkes NJ, McCarroll L, Ranson H. The molecular basis of insecticide resistance in mosquitoes. Insect Biochem Mol Biol 2004; 34(7): 653-665.
9. Hemingway J, Ranson H. Insecticide resistance in insect vectors of human disease. Annu Rev Entomol 2000; 45: 371-391.
10. Hemingway J. The molecular basis of two contrasting metabolic mechanisms of insecticide resistance. Insect Biochem Mol Biol 2000; 30(11): 1009-1015.
11. Hemingway J, Beaty BJ, Rowland M, Scott ThW, Sharp BL. The Innovative Vector Control Consortium: improved control of mosquito-borne diseases. Trends in Parasitology 2006; 22(7): 308-312.
12. Enayati AA, Lines J, Hemingway J. Malaria management, past, present and future. Ann Rev Entomol 2010; 55: 569-591.
13. 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; 2009. p. 140-154.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

14. Enayati AA, Hemingway J. Pyrethroid insecticide resistance and treated bednets efficacy in malaria control. Pestic Biochem Physiol 2006; 84(2): 116-126.
15. Enayati AA, Ranson H, Hemingway J. Insect glutathione transferases and insecticide resistance. Insect Mol Biol 2005; 14(1): 3-8.
16. WHO/EMRO, Managing the use of public health pesticides in the face of the increasing burden of vector-borne diseases. EM/RC58/ Tech. Disc.1, 2011.
17. Zhou Wenxiang: Chen Linggian. Preparation and photo Degradation Activity of Enviromental fiendly nano pesticide for chlorfenapyr. Guangdong Chemical Industry 2007; 6: 108-111.
18. Wan-Jun Sh, Wei-Wei Sh, Sai-Yan G, Yi-Tong L, Yong-Song C, Pei Zh. Effects of nanopesticide chlorfenapyr on mice. Toxicological & Environmental Chemistry 2010; 92(10): 1901-1907.
19. Yan J, Huang K, Wang Y, Liu S. Study on anti-pollution nano-preparation of imethomorph and its performance. Chinese Science Bulletin 2005; 50(2): 108-112.
20. Bergeson LL. Nanosilver: US EPA's pesticide office considers how best to proceed. Environmental Quality Management 2010; 19(3): 79-85.
21. Nuchuchua O, Sakulku U, Uawongyart N, Puttipipatkhachorn S, Soottitantawat A, Ruktanonchai U. In Vitro Characterization and Mosquito (Aedes aegypti) Repellent Activity of Essential-Oils-Loaded Nanoemulsions. AAPS Pharm Sci Tech 2009; 10(4): 1234-1242.
22. Jayaseelan C, Abdul Rahuman A, Rajakumar G, Vishnu Kirthi A, Santhoshkumar T, Marimuthu S, et al. Synthesis of pediculocidal and larvicidal silver nanoparticles by leaf extract from heartleaf moonseed plant, Tinospora cordifolia Miers. Parasitol Res 2011; 109(1): 185-194.
23. Santhoshkumar T, Rahuman AA, Rajakumar G, Marimuthu S, Bagavan A, Jayaseelan C, et al. Synthesis of silver nanoparticles using Nelumbo nucifera leaf extract and its larvicidal activity against malaria and filariasis vectors. Parasitol Res 2011; 108(3): 693-702.
24. Arjunan NK, Murugan K, Rejeeth C, Madhiyazhagan P, Barnard DR. Green Synthesis of Silver Nanoparticles for the Control of Mosquito Vectors of Malaria, Filariasis, and Dengue. Vector-Borne and Zoonotic Diseases 2012; 12(3): 262-268.
25. Rajakumar G, Abdul Rahuman A. Larvicidal activity of synthesized silver nanoparticles using Eclipta prostrata leaf extract against filariasis and malaria vectors. Acta Tropica 2011; 118(3): 196-203.
26. Marimuthu S, Abdul Rahuman A, Rajakumar G, Santhoshkumar T, Vishnu Kirthi A, Jayaseelan C, et al. Evaluation of green synthesized silver nanoparticles against parasites. Parasitol Res 2010; 108(6): 1541-1549.
27. Salunkhe RB, Patil SV, Patil CD, Salunke BK. Larvicidal potential of silver nanoparticles synthesized using fungus Cochliobolus lunatus against Aedes aegypti (Linnaeus, 1762) and Anopheles stephensi Liston (Diptera; Culicidae). Parasitol Res 2011; 109(3): 823-831.
28. Soni N, Prakash S. Efficacy of fungus mediated silver and gold nanoparticles against *Aedes aegypti larvae*. Parasitol Res 2012; 110(1): 175-184.
29. Achaleke J, Martin T, Ghogomu RT, Vaissayre M, Brévault T. Esterase-mediated resistance to pyrethroids in field populations of Helicoverpa armigera (Lepidoptera: Noctuidae) from Central Africa. Pest Management Science 2009; 65(10): 1147-1154.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

30. Ahmad I, Sriwahjuningsih, Astari S, Putra RE, Permana AD. Monitoring pyrethroid resistance in field collected Blattella germanica Linn. (Dictyoptera: Blattellidae) in Indonesia. Entmoological Research 2009; 39(2): 114-118.
31. Chandre F, Darriet F, Darder M, Cuany A, Doannio JMC, Pasteur N, et al. Pyrethroid resistance in Culex quinquefasciatus from west Africa. Med Vet Entomol 1998; 12(4): 359-366.
32. Vontas JG, Small GJ, Hemingway J. Glutathione S-transferases as antioxidant defence agents confer pyrethroid resistance in Nilaparvata lugens. Biochem J 2001; 357(Pt 1): 65-72.
33. Hemingway J, Dunbar SJ, Monro AG, Small GJ. Pyrethroid resistance in German cockroaches (Dictyoptera: Blattelidae): Resistance levels and underlying mechanisms. Journal of Economic Entomology 1993; 86(6): 1631-1638.
34. Enayati AA, Asgarian F, Sharif M, Boujhmehrani H, Amouei A. Propetamphos resistance in Rhipicephalus bursa (Acari, Ixodidae). Veterinary Parasitology 2009; 162 (1-2): 135-141.
35. Enayati AA, Asgarian F, Amouei A, Sharif M, Mortazavi H, Boujhmehrani H. Hemingway J. Pyrethroid insecticide resistance in Rhipicephalus bursa (Acari, Ixodidae). Pestic Biochem Physiol 2010; 97(3): 243-248.
36. Feng BH, Zhang ZY. Carboxymethy Chitosan Grafted Ricinoleic Acid Group for Nanopesticide Carriers. Advanced Materials Research 2011; 236-238: 1783-1788.
37. Kirthi AV, Rahuman AA, Rajakumar G, Marimuthu S, Santhoshkumar T, Jayaseelan C, et al. Acaricidal, pediculocidal and larvicidal activity of synthesized ZnO nanoparticles using wet chemical route against blood feeding parasites. Parasitol Res 2011; 109(2): 461-472.
38. Pinto Reis C, Neufeld RJ, Ribeiro AJ, Veiga F. Methods for preparation of drug-loaded polymeric nanoparticles. Nanomedicine: Nanotechnology Biology and Medicine 2006; 2(1): 8-21.
39. Ekman B, Sjoholm I. Improved stability of proteins immobilized in microparticles prepared by modified emulsion polymerization technique. J Pharm Sci 1978; 67: 693-696.
40. Lowe PJ, Temple CS. Calcitonin and insulin in isobutylcyanoacrylate nanocapsules: protection against proteases and effect on intestinal absorption in rats. J Pharm Pharmacol 1994; 46: 547-552.
41. Zhang L, Pornpattananangkul D, Hu C-MJ, Huang C-M. Development of Nanoparticles for Antimicrobial Drug Delivery. Current Medicinal Chemistry 2010; 17(6): 585-594.
42. Vemuri S, Rhodes CT. Preparation and characterization of liposomes as therapeutic delivery systems: a review. Pharma Acta Helvetiae 1995; 70: 95-111.
43. Johnson SM, Bangham AD, Hill MW, Korn AD. Single bilayer liposomes. Biochim Biophys Acta 1971; 233: 820-826.
44. Olson F, Hunt CA, Szoka FC, Vail WJ, Papahadjopoulos D. Preparation of liposomes of defined size distribution by extrusion through polycarbonate membranes. Biochim Biophys Acta 1979; 557: 9-23.
45. Arica B, Lamprech A. In vitro evaluation of betamethasone-loaded nanoparticles. Drug Dev Ind Pharm 2005; 31(1): 19-24.
46. De Jaeghere F, Doelker E, Gurny R. Nanoparticles in Encyclopedia of controlled drug delivery. Mathiowitz E, Editor New York: John Wiley & Sons, Inc; 1999. p 641.
47. Bilati U, Allemann E, Doelker E. Development of a nanoprecipitation method intended for the entrapment of hydrophilic drugs into nanoparticles. Eur J Pharm Sci 2005; 24(1): 67-75.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]

48. Ebrahimnejad P, Dinarvand R, Sajadi A, Jaafari MR, Nomani AR, Azizi E, et al. Preparation and in vitro evaluation of actively targetable nanoparticles for SN-38 delivery against HT29 cell lines. Nanomedicine. Nanotechnology, Biology and Medicine 2010; 6(3): 478-485.
49. Ebrahimnejad P, Dinarvand R, Jafari MR, Tabasi SAS, Atyabi F. Characterization, blood profile and biodistribution properties of surface modified PLGA nanoparticles of SN-38. Int J Pharm 2011; 406(1-2): 122-127.
50. Mohanraj VJ, Chen Y. Nanoparticles-A Review. Trop J Pharm Res 2006; 5(1): 561-573.
51. Reverchon E, Adami R. Nanomaterials and supercritical fluids. J Supercrit Fluid 2006; 37: 1-22.
52. Rolland JP, Maynor BW, Euliss LE, Exner AE, Denison GM. DeSimone JM. Direct fabrication and harvesting of monodisperse, shape-specific nanobiomaterials. J Am Chem Soc 2005; 127(28): 10096-10100.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2025-04-07]