



## مقاله پژوهشی

کنترل سن گندم *Eurygaster integriceps* با نانوأفات کش دلتامترینمهدی علیزاده<sup>۱</sup>، عزیز شیخی گرجان<sup>۲</sup>، لیلا مأمی<sup>۳</sup>، علی بنده حق<sup>۴</sup>، قاسم حسینی سالکده<sup>۵</sup>

۱، ۵- دانشجوی دکتری، استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران؛ ۲- دانشیار، بخش تحقیقات حشره‌شناسی کشاورزی، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ ۳، ۴- به‌ترتیب استادیار، استاد، بخش نانوتکنولوژی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران

(تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۰؛ تاریخ پذیرش: دی ۱۴۰۰)

, Professor, Assistant professor,

## چکیده

فرمولاسیون های EC به‌واسطه داشتن حلال‌های سمی مانند زایلین خطر زیست‌محیطی داشته و نانوفرمولاسیون‌های ایمن‌تر و مؤثرتر می‌توانند در توسعه روش‌های نوین مدیریت کنترل آفات مفید واقع شوند. در این تحقیق نانوفرمولاسیون دلتامترین ۲/۵ درصد تهیه، اندازه، شکل و میزان ماده مؤثره آن با استفاده از روش‌های SEM، AFM، DLS و TGA تأیید شد. سپس این نانوفرمولاسیون برای کنترل سن گندم در مراحل سن بالغ زمستان‌گذران، پوره سن چهارم و سن نسل جدید با آفت‌کش تجاری مقایسه شد. تیمارها شامل نانوفرمولاسیون دلتامترین، نانوحامل، دلتامترین ۲.۵% و آب به‌عنوان شاهد بود. نانوفرمولاسیون اثر حشره‌کشی خود را در شرایط آزمایشگاهی، بعد از ۴۵ روز به‌خوبی (۷۳ درصد) حفظ کرد، اما میزان تلفات در فرمولاسیون تجاری EC بسیار پایین (۱۳ درصد) بود. در ارزیابی‌های گلخانه‌ای، این فرمولاسیون در غلظت ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر، تلفات بالای ۹۰ درصد علیه سن بالغ زمستان‌گذران داشت و در ۴۵ روز پس از سم‌پاشی نیز تلفات پوره به ۴۰ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: نانوفرمولاسیون دلتامترین، سن گندم (*Eurygaster integriceps* Puton)، نانوسیلیکاControl of Sunn-Pest, *Eurygaster integriceps* Puton, using Deltamethrin NanopesticideM. ALIZADEH<sup>1</sup>, A. SHEIKHI-GARJAN<sup>2</sup>, L. MA'MANI<sup>3</sup>, A. BANDEHAGH<sup>4</sup>, G. HOSSEINI SALEKDEH<sup>5</sup>

1, 5. PhD. Student, Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, University of Tabriz, Tabriz 51666-16471, Iran;

2. Associate Professor, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; 3, 4. Assistant Professor, Professor, Department of Nanotechnology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

## Abstract

Most EC formulations contain toxic solvents such as xylene that have environmental and carcinogenic risks, using more effective nanoformulations can be effective in developing healthy and safe methods in managing pests. The nanoformulation of 2.5% deltamethrin was prepared and the size, shape, and amount of active ingredient were investigated using SEM, AFM, DLS, and TGA methods. This nanoformulation was compared with commercial pesticides to control Sunn-pest in the stages of overwintered adults, 4<sup>th</sup> instar nymphs, and new generation adults. The treatments included nanoformulation, nanocarrier, commercial EC2.5%, and water as control. The results showed that this nanoformulation has improved ingredient efficiency. The insecticidal effect was well preserved in 45 days after spraying (73%), but the effect of commercial EC formulation was reduced and the mortality rate was very low (13%). Evaluation of treatments in greenhouse conditions showed that both formulations at a concentration of 125 mg.L had a percentage of mortality above 90% compared to the overwintering adults and in 45 days after spraying the percentage of 4th instar nymphs mortality was reduced to 40%.

Keywords: Deltamethrin nanoformulation, nanosilic.sunn pest (*Eurygaster integriceps* Puton)

✉ E-mail: leila.mamani@abrii.ac.ir

© 2022, The Author(s). Published by Iranian Research Institute of Plant Protection (IRIPP). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

## مقدمه

سن گندم، (*Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: Scutelleridae)، یکی از حشرات شناخته شده و خسارت زای مزارع گندم و جو در ایران و خاور میانه است. این آفت در ۱۲ کشور آسیا از جنوب ایران تا شمال قزاقستان، از شرق پاکستان و افغانستان تا غرب لبنان گسترش دارد (Parker et al., 2011). میزان خسارت آن در مزارع گندم بیشتر از جو بوده و در صورت عدم کنترل می تواند ۱۰۰ درصد محصول گندم را از بین ببرد (Kivan et al., 2005). در سال های طغیانی آفت، میزان خسارت کمی و کیفی می تواند به ۹ میلیون تن برسد (Abdollahi et al., 2004). در ایران سالانه به طور متوسط ۱۵-۲۵ درصد از سطح زیر کشت گندم و جو علیه سن گندم سم پاشی می شود (Moein et al., 2018).

کنترل شیمیایی، رایج ترین روش مدیریتی کنترل سن گندم در کشور است. سطح سم پاشی سالانه در آسیای جنوب غربی علیه سن گندم، حدود ۴ میلیون هکتار و هزینه آن معادل ۱۵۰ میلیون دلار می باشد (Davari and Parker, 2018). در ایران طی سال ۲۰۱۸، یک میلیون و ۲۹۱ هزار هکتار از مزارع گندم و جو (۸۵۵ هزار هکتار در مرحله سن مادر و ۴۳۶ هزار هکتار در مرحله پوره و سن نسل جدید) سم پاشی شده است (Moein et al., 2018)، که هزینه آن بر اساس ۱۰ دلار به ازای هر هکتار، حدود ۱۳۰ میلیون دلار خواهد بود. اگرچه در سال های اخیر چندین فرمولاسیون قرص (Tablet)، سوسپانسیون (Suspension concentrate)، سوسپانسیون کپسولی (SC, Capsuled suspension)، مایع امولسیون شونده (EC, Emulsifiable concentrate) و گرانول (Granule)، با استفاده از سموم تکنیکال تری کلروفن، فنیتروتیون، دلتامترین و سای هالوترین در کشور علیه سن گندم ثبت شده است (Sheikhigarjan et al., 2017)، اما در حال حاضر، دلتامترین ۲.۵% EC، رایج ترین و شناخته شده ترین حشره کش در میان کشاورزان است. وجود نارسایی در برنامه ریزی ها و نبود تجهیزات مناسب در میان کشاورزان، باعث شده است که

اغلب فرمولاسیون های مورد استفاده برای کنترل شیمیایی در ایران از کارایی قابل قبولی برخوردار نبوده و به طور معمول دز مصرفی دلتامترین، ۲.۵ درصد بیشتر از دز بهینه و حتی توصیه شده باشد (Sheikhigarjan et al., 2018).

فرمولاسیون EC، روغن پایه بوده و حاصل آن در اغلب موارد زایلین یا سیکلو هگزانون است. این ترکیب به خاطر وجود حلقه بنزنی، دارای خطر آلودگی محیط زیستی و انسانی بالایی است. این فرمولاسیون امروزه در کشاورزی مصرف بالایی دارد و تنها اشکال آنها این است که دوام زیادی ندارد و تحت تأثیر شویندگی ناشی از بارندگی قرار می گیرد و همچنین به دلیل دارا بودن حلال نفتی احتمال ایجاد گیاه سوزی وجود دارد. از آنجایی که سم پاشی علیه سن بالغ زمستان گذران هم زمان با بارندگی های اول فصل است، وجود بارندگی در کمتر از ۲۴ ساعت بعد از سم پاشی می تواند در کاهش تلفات سن گندم مؤثر بوده و احتمال عدم کارایی با افزایش بارندگی و نزدیک شدن فاصله زمانی بین سم پاشی و بارندگی افزایش می یابد (Sheikhigarjan et al., 2018; Sheikhigarjan et al., 2009). بنابراین فرمولاسیون ها باید هم ایمن باشند و هم بتوانند باعث بهبود پایداری فیزیکی شیمیایی ماده مؤثره در مقابل عوامل مخرب ماده مؤثره (در زمان انبارمانی و محلول پاشی)، میزان چسبندگی به سطح برگ و بدن حشره و زیست فراهمی ماده مؤثره باشند، که همواره از جلب محققان این حوزه مد نظر بوده است. در این راستا استفاده از فناوری نانو می تواند در کاهش اثر سوء آفت کش ها و افزایش کارایی آن ها مؤثر باشد. نانوکپسول ها، نسل جدیدی از فرمولاسیون ها هستند که با قابلیت رهایش تدریجی و افزایش اثر حشره کشی و ماندگاری سم، سازگاری بیشتری با محیط زیست داشته و از این رو فناوری نانو توانایی عملی کردن بعضی از برنامه های کشاورزی را دارد (Gogos et al., 2012). همچنین در راستای آینده ای پایدار و سالم برای کشاورزی جهانی و کاهش تنش های زیستی و غیرزیستی، فناوری نانو شتاب چشم گیری داشته است (Saxena et al., 2018).

جهت تیماردهی، مقادیر مورد نیاز از نانوفرمولاسیون دلتامترین در محلولی تشکیل شده از آب: توئین-۸۰ به نسبت ۱:۰/۵ به مدت ۱۰ دقیقه سونیکیت شد و پس از پخش یکنواخت ذرات در محلول، برای محلول‌پاشی آماده شدند. لازم به ذکر است که در مورد تکنیکال دلتامترین، مشکل عدم حلالیت در آب و مسایل ناشی از آن بسیار جدی است که اهمیت و ضرورت فرمولاسیون‌های مؤثرتر را می‌طلبد.

#### جمع‌آوری سن گندم

برای انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی، سن‌های زمستان‌گذران از کوه‌های قره‌قاج واقع در شرق ورامین از زیر بوته‌های درمنه، گون و گندمیان جمع‌آوری شد. جمع‌آوری سن‌ها بعد از شکسته شدن دیپوز اجباری از اواسط آذرماه شروع شد و تا اوایل اسفندماه ادامه یافت. تمامی سن‌های جمع‌آوری شده از کوه طی مدتی کمتر از سه روز در آزمایش‌های زیست‌سنجی استفاده شدند.

#### تهیه پوره سن و سن نسل جدید

پوره سنین مختلف سن گندم از مزارع گندم ورامین جمع‌آوری و سپس به آزمایشگاه منتقل شد. پوره‌های سن و سن نسل جدید (حشره کامل) هم‌سن جدا شده و برای آزمایش‌های زیست‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که استفاده از پوره‌های هم‌سن حاصل از پرورش در یکنواختی زیست‌سنجی مؤثر است، اما با توجه به یک نسلی بودن سن گندم، تهیه جمعیت زیاد امکان‌پذیر نیست، از اینرو ابتدا پوره‌ها از مزارع جمع‌آوری و سپس سعی شد پوره‌های هم‌سن، هم‌اندازه و هم‌حجم جداسازی و مورد آزمایش قرار گیرند (Sheykhi Garjan *et al.*, 2002).

#### زیست‌سنجی به روش کاغذ صافی

برای تعیین غلظت‌های کشنده در آزمایش‌های زیست‌سنجی، یک سری آزمایش مقدماتی و اصلی انجام شد، به این ترتیب که غلظت‌های ۱-۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از ماده مؤثره استفاده و ۱ mg a.i./L به‌عنوان شاخص کمینه برای آزمون‌ها انتخاب شد. در نهایت دو غلظت مختلف از

با توجه به خسارت‌زا بودن سن گندم در سنین مختلف رشدی و پتانسیل فناوری نانو که می‌تواند امکان دستیابی به فرمولاسیون‌های مؤثر با اثر بلندگار (و حتی در موارد مورد نیاز رسیدن به رهایش آهسته و کنترل شده ماده مؤثره) را فراهم آورده و اثر سیلیس در پاسخ‌دهی به تنش‌های زیستی، هدف از پژوهش حاضر دستیابی به نانوفرمولاسیون دلتامترین بر پایه نانوذرات سیلیکا بود تا فرضیه مبتنی بر کنترل سن مادر، پوره و سن بالغ نسل جدید با یک بار سم‌پاشی در آزمایشگاه و گلخانه به اثبات برسد. بر این اساس نانوفرمولاسیون دلتامترین تهیه و سمیت آن روی سن گندم بالغ زمستان‌گذران، پوره نسل چهارم و سن نسل جدید ارزیابی شد.

#### مواد و روش‌ها

##### تهیه نانوفرمولاسیون و نمونه محلول‌پاشی

تکنیکال دلتامترین از شرکت TAGROS و امولسیون دلتامترین EC2.5% (از شرکت مهان، ایران) تهیه شدند. نانوحامل به‌روش فلاحتی و همکاران تهیه شد (Falahati *et al.*, 2012). ابتدا تترااتیل‌ارتوسیلیکات به محلول اسیدی P1۲۳ در دمای ۳۵ درجه سلسیوس اضافه و به مدت ۲۴ ساعت واکنش داده شد و سپس مخلوط حاصل به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس نانوحامل به‌دست آمده، صاف و کاملاً توسط آب شسته و پس از خشک شدن به مدت ۶ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. در ادامه برای تهیه نانوفرمولاسیون، به ازاء ۵۰۰ میلی‌گرم از نلنودره در آب دیونیزه، مقدار ۱۵۰ میلی‌گرم دلتامترین حل شده در حلال استن به آن اضافه شد و واکنش به مدت ۲۴ ساعت انجام شد. سپس ماده جامد بدست آمده صاف و کاملاً توسط آب دیونیزه و استون شسته شده و تحت خلأ خشک شد. در ادامه مقدار دلتامترین بارگذاری شده با روش آنالیز حرارتی، ۲۵ میلی‌گرم دلتامترین به ازای هر ۱۰۰ میلی‌گرم نلنودره را نشان داد. برای تهیه نمونه‌های مورد نیاز

استفاده شد. برای جلوگیری از آلوده شدن سطح خاک گلدان در موقع سم پاشی از پوشش پلاستیکی استفاده شد. بدین ترتیب فقط سطح بوته های گندم با سه غلظت ۱۰، ۲۵ و ۱۲۵ میلی گرم ماده مؤثره بر لیتر آغشته شد. انتخاب این غلظت ها متناسب با نحوه استفاده سموم توسط کشاورزان بود؛ به این ترتیب که مقدار حشره کش توصیه شده (۲۵۰ میلی لیتر در هکتار) و مقدار آب مصرفی کشاورزان ۵۰، ۲۵۰ و ۶۰۰ لیتر در هکتار است لذا غلظت محلول مصرفی به ترتیب مقادیر ۱۲۵، ۲۵ و ۱۰ میلی گرم ماده مؤثره بر لیتر بود. بر مبنای این روش مرسوم، همین مقادیر به عنوان غلظت های مشابه با شرایط طبیعی لحاظ شد. برای سم پاشی گلدان ها از نانوفرمولاسیون دلتامترین، نانوحامل و EC دلتامترین ۲/۵ درصد استفاده شد. ارزیابی ها در دو مرحله پنجه زنی (روی سن بالغ زمستان گذران؛ ۷ روز بعد از سم پاشی) و مرحله خوشه دهی (روی پوره سن ۴؛ ۴۵ روز بعد از سم پاشی) انجام شد. در این آزمایش سن ها فقط به مدت ۲۴ ساعت در تماس با بوته های آغشته به تیمارها بودند. تلفات سن و پوره ها در ۲۴ و ۴۸ ساعت بعد از شروع آزمایش ثبت شد. سن هایی که قادر به حرکت نبودند مرده در نظر گرفته شدند.

#### تخم گذاری

برای مطالعه تعداد تخم ها و نحوه تخم گذاری ها، سن های بالغ (۱۰ حشره ماده و ۵ حشره نر در هر یک از گلدان های محاط شده با قفس های نازک و شفاف از جنس پلکسی گلاس) یک هفته پس از سم پاشی، رهاسازی شدند. پس از ۲۴ ساعت حشرات از گلدان ها برداشته، شمارش و تخم ها ارزیابی شد.

#### تجزیه و تحلیل داده ها

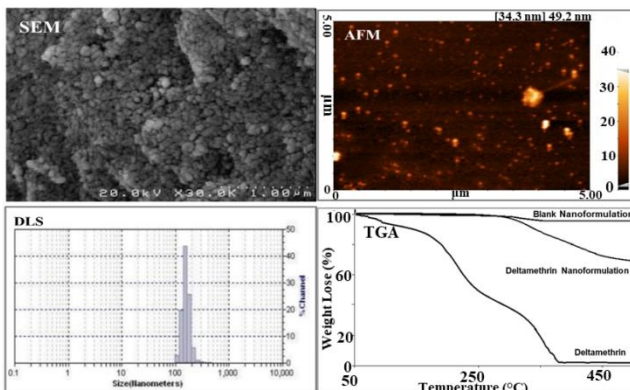
ابتدا داده ها از نظر نرمال بودن ارزیابی شدند؛ برای نرمال سازی بعضی از داده ها از روش لگاریتم پایه  $(X+0.5)^{10}$  استفاده شد. سپس تجزیه واریانس داده های تلفات حشرات برای آزمایش در شرایط آزمایشگاهی و در شرایط گلخانه از طریق آزمون فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و تجزیه واریانس داده های حاصل از آزمایش تخم گذاری نیز در

نانوفرمولاسیون دلتامترین و نانوحامل در غلظت های ۴ mg a.i./L و ۱ و آفت کش تجاری EC در غلظت ۱ mg a.i./L، انتخاب و برای آزمایش استفاده شد. در این روش کاغذ صافی واتمن به قطر ۹ سانتی متر در داخل ظرف پتری شیشه ای قرار گرفته، سپس یک میلی لیتر از غلظت های مختلف داخل هر پتری به نحوی ریخته شد. که تمامی قسمت ها خیس شود، در تیمار شاهد نیز آب و توین استفاده شد. پس از خشک شدن کاغذ صافی، ۱۰ سن بالغ زمستان گذران داخل هر ظرف پتری رهاسازی شد. در طول دوره زیست سنجی برای کاهش مرگ و میر سن ها داخل پتری از گندم خیس شده برای تغذیه استفاده شد. در پایان این مرحله، به منظور بررسی ماندگاری سم در نانوفرمولاسیون طی دوره زندگی سن گندم، پلیت های تیمار شده در محل آزمایش و دمای اتاق نگهداری شدند و در بازه های زمانی مختلف دوره زندگی سن گندم مورد استفاده مجدد قرار گرفت. به نحوی که پلیت های تیمار شده، مجدداً پس از نگهداری در بازه های زمانی ۳۰ و ۴۵ روزه به ترتیب برای زیست سنجی پوره های سن چهارم و سن نسل جدید استفاده شد. تلفات سن ها و پوره ها پس از ۲۴ و ۴۸ ساعت تماس با سطوح آلوده به حشره کش ارزیابی شد. حشراتی که تعادل نداشتند و با زدن ضربه، قادر به حرکت نبودند مرده در نظر گرفته شدند.

#### زیست سنجی در گلخانه

به این منظور از گلدان هایی به قطر ۲۰ سانتی متر که داخل آن سه بوته گندم کشت شده با رشد یکسان وجود داشت استفاده شد. کل اندام هوایی گیاه با یک محفظه پلاستیکی شفاف دارای درپوش توری برای تبادلات هوایی که متناسب با ارتفاع گیاه تنظیم شده بود، پوشانده شد. زیست سنجی سن بالغ زمستان گذران، در مرحله پنجه زنی و زیست سنجی پوره سن ۴ در مرحله خوشه دهی گندم بررسی شد. سم پاشی گلدان ها صرفاً در یک نوبت و در مرحله پنجه زنی انجام شد. میزان محلول مصرفی برای هر گلدان ۲۰ میلی لیتر بود که از سم پاش هیدرولیک دستی با نازل مخروطی برای سم پاشی

در دمای ۱۹۵ و ۲۲۰ درجه سلسیوس است. منحنی مربوط به نانوحامل نیز یک کاهش ۳ درصدی را نشان می‌دهد که می‌تواند مربوط به حذف آب ساختار باشد. این در حالی است که منحنی Deltamethrin Nanoformulation با یک کاهش اصلی بین دمای ۲۵۰ الی ۴۵۰ درجه سلسیوس میزان دلتامترین موجود در نانوافت‌کش را حدود ۲۵ میلی‌گرم به‌ازای هر ۱۰۰ میلی‌گرم نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصاویر SEM, AFM, DLS و TGA نانوفرمولاسیون دلتامترین.

**Fig. 1.** SEM, AFM, DLS and TGA images of deltamethrin nanoformulation.

ارزیابی نانوفرمولاسیون دلتامترین در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه نشان داد که نانوفرمولاسیون مورد مطالعه درصد کارایی و پایداری بیشتری نسبت به EC تجاری در گذر زمان داشته است (جداول ۱ و ۲). در شرایط آزمایشگاهی مقایسه غلظت‌های مختلف دلتامترین از نظر درصد تلفات نشان داد که در تیمار نانوفرمولاسیون بین غلظت‌ها در زمان ۷ روز پس از سم‌پاشی برای سن بالغ زمستان‌گذران تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما در ۳۰ و ۴۵ روز پس از سم‌پاشی این تفاوت آشکار است. همچنین با مقایسه غلظت‌های مختلف دلتامترین (۱۰، ۲۵ و ۱۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) از نظر درصد کارایی در شرایط گلخانه معلوم شد که در تیمار نانوفرمولاسیون بین غلظت‌ها در زمان ۷ روز پس از سم‌پاشی برای سن بالغ زمستان‌گذران تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، اما در ۴۵ روز

قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. به‌منظور مقایسه میانگین داده‌های تلفات و تخم‌گذاری از آزمون آماری توکی در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. با توجه به معنی‌داری اثر متقابل فاکتور تیمارهای سموم و فاکتور سنین مختلف حشرات در دوره‌های زمانی پس از تیمار سم‌پاشی، برش‌دهی اثر متقابل نسبت به هر یک از فاکتورها در آزمون مقایسه میانگین مدنظر قرار گرفت و در این مرحله از نرم‌افزارهای SAS و Excel استفاده شد.

## نتایج

شکل، اندازه و ویژگی‌های فیزیکی نانوفرمولاسیون دلتامترین T پس از تهیه نانوحامل و بارگذاری دلتامترین روی سطح آن، با به‌کارگیری میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscopy, SEM)، پراکنندگی دینامیکی نور یا تفرق نور پویا (dynamic Light Scattering, DLS)، آنالیز وزن‌سنجی حرارتی (Thermalgravimetry analysis) و میکروسکوپ نیروی اتمی (Atomic Force Microscopy, AFM) تأیید شد. همان‌طور که در تصویر SEM و AFM نشان داده شده، خصوصیات مورفولوژیکی ذرات قابل تعیین است و در این مورد خاص ذرات به شکل کروی و دارای ابعاد کوچکتر از ۵۰ نانومتر بودند. در روش DLS، بر خلاف روش‌های میکروسکوپی که اندازه ذرات در حالت خشک ماده بررسی می‌شوند، سنجش در محیط محلول و بر اساس قطر هیدرودینامیک ذرات انجام می‌شود؛ لذا قطر هیدرودینامیکی ذرات بیش از نتایج SEM و اندازه حقیقی ذره برابر با ۱۴۶ نانومتر برآورد شد (شکل ۱).

آنالیز وزن‌سنجی حرارتی به‌عنوان یک روش مطلوب در ارزیابی پایداری حرارتی مواد و ترکیبات مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش در اثر اعمال حرارت به یک ماده، ممکن است جرم ماده افزایش (مثلاً در اثر جذب یا اکسید شدن) یا کاهش (مثلاً در اثر از دست دادن آب) یابد. منحنی حرارتی دلتامترین نشان می‌دهد که دارای دو شکست اصلی

لیتر در بازه ۷ روزه که کشندگی کمتری داشت و با گذشت زمان و رهایش بیشتر سم رتبه کشندگی نانوفرمولاسیون در آن غلظت افزایش یافت). این موارد بیانگر اثر بخشی طولانی تر نانوفرمولاسیون در شرایط آزمایشگاهی نسبت به سم تجاری EC بود (جدول ۱ ب). ارزیابی تلفات سن مادر و پوره در شرایط گلخانه‌ای نشان داد که درصد کارآیی نانوفرمولاسیون و سم تجاری EC در ۷ و ۴۵ روز بعد از سم‌پاشی اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). در نتایج مرحله پنجه‌زنی هم نانوفرمولاسیون در تمامی غلظت‌ها مشابه با سم تجاری EC، درصد کارآیی بالایی بر علیه سن بالغ زمستان‌گذران داشت. اما در بازه ۴۵ روز پس از سم‌پاشی (در مرحله پوره‌ها) کارآیی حداکثر تا ۴۰ درصد و همچنان هم گروهی آماری میان تیمارهای نانوفرمولاسیون و EC مشاهده می‌شد؛ با این تفاوت که نانوفرمولاسیون بر پایه آب و ترکیبات بی‌خطر و فرمولاسیون EC بر پایه حلال‌های آلی است. نتایج مقایسه میانگین همراه با برش‌دهی اثر متقابل در شرایط آزمایشگاهی بیانگر آن است که سطوح مختلف فاکتور B (سنین مختلف سن گندم در دوره‌های زمانی پس از سم‌پاشی) در سطوح مختلف فاکتور A (سموم مختلف همراه با شاهد)، دارای اختلاف معنی‌دار هستند (جدول ۱ الف). همچنین سطوح مختلف فاکتور A (سموم مختلف همراه با شاهد) در سطوح مختلف فاکتور B (سنین مختلف سن گندم در دوره‌های زمانی پس از سم‌پاشی)، به‌جز برای تیمار نانوفرمولاسیون دلتامترین (غلظت ۱ mg a.i./L) و فرمولاسیون تجاری مهان حایز اختلاف معنی‌دار نبودند (جدول ۱ ب). به این مفهوم که اگرچه فرمولاسیون‌ها و تیمارهای آفت‌کشی با همدیگر از نظر تأثیر بر روی تلفات آفت دارای اختلاف معنی‌دار هستند (جدول ۱ الف)؛ اما تنها دو تیمار ذکر شده موجب معنی‌داری اثر فرمولاسیون‌ها در گذر زمان و با تغییر در سنین و دوره زندگی آفت (علیرغم یک مرحله سم‌پاشی) شده‌اند و بقیه تیمارها برای این مقایسه در یک گروه آماری قرار گرفتند.

جدول ۱ الف- مقایسه میانگین درصد تلفات نانو حامل، نانوفرمولاسیون دلتامترین و EC تجاری در دو غلظت ۱ و ۴ میلی‌گرم ماده مؤثره بر لیتر، در روزهای

مختلف بعد از سم‌پاشی: ۷ روز (سن بالغ زمستان‌گذران)، ۳۰ روز (پوره سن چهارم) و ۴۵ روز (سن بالغ نسل جدید)

پس از سم‌پاشی این تفاوت آشکار شده و برای غلظت mg a.i./L ۱۲۵ نسبت به غلظت‌های پایین‌تر همچنان حداکثر کارآیی کشندگی وجود دارد (جدول ۲). همچنین نانوفرمولاسیون با کارآمدی معنی‌دار رهایش سم در گذر زمان نسبت به سم تجاری، توانسته خاصیت آفت‌کشی را حفظ کند (جدول ۱ ب)؛ بنابراین شاید بتوان گفت پتانسیل کاهش دز مصرفی سم در سم‌پاشی هیدرولیک با استفاده از فرمولاسیون‌های نانو می‌تواند وجود داشته باشد. بررسی فرمولاسیون‌ها در شرایط آزمایشگاهی به روش زیست‌سنجی روی کاغذ صافی نشان داد که نانوفرمولاسیون قادر به کنترل ۴۰ درصدی سن بالغ زمستان‌گذران در ۷ روز بعد از تیمار بود که از لحاظ درصد تلفات با فرمولاسیون EC هم ارز غلظت خود اختلاف معنی‌داری نداشت. بررسی‌های صورت گرفته در ۳۰ و ۴۵ روز بعد، اثر حشره‌کشی نانوفرمولاسیون در غلظت مورد نظر برای پوره و سن نسل جدید به ترتیب ۵۳/۳ و ۵۶/۶ درصد بود. مقایسه غلظت‌های ۱ و ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانوفرمولاسیون نشان داد که بین غلظت از لحاظ کارآیی در گذر زمان و نوع سن آفت؛ در ۷ روز پس از تیمار (برای سن بالغ زمستان‌گذران) بدون اختلاف معنی‌دار بودند، اما در ۳۰ و ۴۵ روز پس از تیمار (به ترتیب برای پوره سن چهارم و حشره بالغ نسل جدید) اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱ الف).

بررسی اثر ماندگاری و یا دوام مورد نیاز ماده مؤثره در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که فرمولاسیون EC در شرایط آزمایشگاهی اثر حشره‌کشی خود را حفظ نکرده؛ به طوری که در ۴۵ روز بعد از تیمار درصد تلفات آن به ۱۳/۱۶ درصد کاهش پیدا می‌کند. در حالی که نانوفرمولاسیون در هر دو غلظت (۱ و ۴ میلی‌گرم بر لیتر) برای روزهای ۳۰ و ۴۵ روز بعد از تیمار، همچنان کارآیی بالایی (به ترتیب برابر با ۵۶/۶ و ۷۳/۳ درصد) داشته و در یک گروه آماری همراه با کشندگی در ۷ روز پس از تیمار قرار گرفته بود (به‌جز برای غلظت ۴ میلی‌گرم بر

در شرایط آزمایشگاه؛ گروه بندی توکی برای برش‌دهی اثر متقابل برش‌دهی فاکتور A در فاکتور B.

**Table 1 a.** Mean comparison of mortality percentage caused by nanocarrier, deltamethrin nanoformulation, and commercial EC, in two concentrations of 1 and 4 mg a.i./L, in different days after treatment (DAT): 7 days (overwintered adults), 30 days (4<sup>th</sup> instar nymph) and 45 days (new generation adults) in laboratory conditions; Tukey grouping for the interaction effect cutting through factor A in factor B.

Factor A	Factor B		
	7-DAT (Overwintered adults)	30-DAT (4 <sup>th</sup> instar nymphs)	45-DAT (new generation adults)
Water	0 <sup>b</sup>	0 <sup>d</sup>	0 <sup>d</sup>
Nanocarrier (1 mg a.i./L)	36.66 ± 5.7 <sup>a</sup>	32 ± 1.7 <sup>c</sup>	29.16 ± 7.2 <sup>c</sup>
Nanocarrier (4 mg a.i./L)	36.66 ± 5.7 <sup>a</sup>	35.33 ± 4 <sup>c</sup>	33.33 ± 7.2 <sup>c</sup>
Deltamethrin nanoformulation (1 mg a.i./L)	40 ± 0.0 <sup>a</sup>	53.3 ± 12.3 <sup>b</sup>	56.66 ± 5.7 <sup>b</sup>
Deltamethrin nanoformulation (4 mg a.i./L)	50 ± 10 <sup>a</sup>	81 ± 3.4 <sup>a</sup>	73.33 ± 5.7 <sup>a</sup>
EC2.5% (Mahan®) (1 mg a.i./L)	40 ± 0.0 <sup>a</sup>	33 ± 0.0 <sup>c</sup>	13.16 ± 1.6 <sup>d</sup>

Comparison between rows (Factor A) - The same letters in each column are not significant statistically (HSD %5)

جدول ۱ ب- مقایسه میانگین درصد تلفات نانوحامل، نانوفرمولاسیون دلتامترین و EC تجاری در دو غلظت ۱ و ۴ میلی‌گرم ماده مؤثره بر لیتر، در روزهای مختلف بعد از سم‌پاشی: ۷ روز (سن بالغ زمستان‌گذران)، ۳۰ روز (پوره سن چهارم) و ۴۵ روز (سن بالغ نسل جدید) در شرایط آزمایشگاه؛ گروه بندی توکی برای برش‌دهی اثر متقابل برش‌دهی فاکتور A در فاکتور B.

**Table 1 b.** Mean comparison of mortality percentage caused by nanocarrier, deltamethrin nanoformulation and commercial EC, in two concentrations of 1 and 4 mg a.i./L, in different days after treatment (DAT): 7 days (overwintered adults), 30 days (4<sup>th</sup> instar nymph) and 45 days (new generation adults) in laboratory conditions; Tukey grouping for the interaction effect cutting through factor B in factor A.

Factor A	Factor B		
	7-DAT (Overwintered adults)	30-DAT (4 <sup>th</sup> instar nymphs)	45-DAT (new generation adults)
Water	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Nanocarrier (1 mg a.i./L)	36.66 ± 5.7 <sup>a</sup>	32 ± 1.7 <sup>a</sup>	29.16 ± 7.2 <sup>a</sup>
Nanocarrier (4 mg a.i./L)	36.66 ± 5.7 <sup>a</sup>	35.33 ± 4 <sup>a</sup>	33.33 ± 7.2 <sup>a</sup>
Deltamethrin nanoformulation (1 mg a.i./L)	40 ± 0.0 <sup>a</sup>	53.3 ± 12.3 <sup>a</sup>	56.66 ± 5.7 <sup>a</sup>
Deltamethrin nanoformulation (4 mg a.i./L)	50 ± 10 <sup>b</sup>	81 ± 3.4 <sup>a</sup>	73.33 ± 5.7 <sup>a</sup>
Deltamethrin EC2.5% (Mahan®) (1 mg a.i./L)	40 ± 0.0 <sup>a</sup>	33 ± 0.0 <sup>b</sup>	13.16 ± 1.6 <sup>c</sup>

Comparison between columns (Factor B) - The same letters in each row are not significant statistically (HSD %5)

به لحاظ کشندگی بود و بعد از آن تیمار نانوفرمولاسیون دلتامترین (غلظت ۱ mg a.i./L) در یک گروه آماری مجزا و سپس هر دو غلظت نانوفرمولاسیون خالی در یک گروه آماری و نهایت امر تیمار شاهد و فرمولاسیون تجاری در گروه کمترین مقدار کشندگی قرار گرفتند. این موضوع می‌تواند بیان‌گر توانمندی نانوفرمولاسیون سیلیکایی در بازه زمانی طولانی‌تر باشد.

نتایج حاصل از مطالعات گلخانه‌ای و سم‌پاشی روی بوته‌های گندم در معرض حشرات سن بالغ زمستان‌گذران در زمان ۷ روز پس از سم‌پاشی، نیز پس از برش‌دهی اثر متقابل فاکتور A در فاکتور B (جدول ۲ الف) نشان داد که هر سه تیمار غلظتی نانوفرمولاسیون دلتامترین و فرمولاسیون تجاری مهان (به جز غلظت ۱۰ mg a.i./L) در یک گروه آماری قرار داشتند. اما با گذشت زمان در ۴۵ روز پس از سم‌پاشی و

از سوی دیگر، نتایج مقایسه میانگین و برش‌دهی اثر متقابل سطوح فاکتور A در هر سطح فاکتور B نشان داد که پس از بیرون کشیدن اثر متقابل معنی‌دار از مقایسه‌ها، میان تیمارهای سموم و فرمولاسیون در بازه زمانی ۷ روز پس از سم‌پاشی و سن بالغ زمستان‌گذران، به جز در مقایسه با تیمار شاهد، تفاوت معنی‌دار وجود نداشت و تمام تیمارها از نظر شاخص ایجاد تلفات در یک گروه آماری بودند؛ اما با گذشت زمان تا ۴۵ روز و تفاوت در نوع آفت و استفاده از پوره نسل چهارم (شبیبه به دوره زمانی ریزش سن گندم در مزرعه)، تفاوت معنی‌دار آماری میان تیمارهای سموم و فرمولاسیون به کار گرفته شده ایجاد شد (جدول ۱ الف - ب). به گونه‌ای که نانوفرمولاسیون دلتامترین (غلظت ۱ mg a.i./L) با کشندگی بیشتر در زمان ۷ روز پس از سم‌پاشی و درصد ایجاد تلفات کمتر در ۳۰ روز پس از سم‌پاشی، دارای بالاترین رتبه آماری

روز پس از سم‌پاشی، تفاوت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲ ب). در این جایگاه لازم به ذکر است که شاید بهتر بود تا در فواصل زمانی کمتر نیز اقدام به رهاسازی سن روی بوته‌ها شود اما با توجه به شرایط فصلی حاکم بر محل اجرای آزمایش، تغییرات جوی و عدم امکان جمع‌آوری حشرات،

قرارگیری بوته‌ها در معرض پوره‌های سن چهارم، تیمارهای با بیشینه غلظتی از نانوفرمولاسیون و فرموله تجاری در یک هم گروهی آماری حائز بالاترین رتبه کشندگی (۴۰ درصد) بودند اما غلظت‌های پایین‌تر، تلفات کمتری را موجب می‌شدند. نتایج برش‌دهی اثر متقابل فاکتور B در فاکتور A (جدول ۲ ب)، میان تمام تیمارها به‌استثنای شاهد در ایجاد تلفات روی سنین مختلف آفت و در بازه‌های زمانی ۷ و ۴۵

جدول ۲ الف- درصد کارایی نانوحامل، نانوفرمولاسیون دلتامترین و فرمولاسیون EC در غلظت‌های مختلف بر روی بوته‌های گندم با یک نوبت سم‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی و ارزیابی در ۷ و ۴۵ روز بعد از سم‌پاشی به‌ترتیب روی سن بالغ زمستان‌گذران و پوره سن چهارم در شرایط گلخانه؛ همراه با برش‌دهی اثر متقابل فاکتور A در فاکتور B.

**Table 2 a.** The efficiency percentage of nanocarrier, deltamethrin nanoformulation and EC formulation in different concentrations on wheat bushes with one spraying in tillering stage and evaluation at 7 and 45 days after treatment (DAT) on overwintered adults and 4<sup>th</sup> instar nymphs in greenhouse conditions, respectively; Tukey grouping for the interaction effect along with cutting through factor A in factor B.

Factor A	Concentration (mg a.i./L)	Factor B	
		7-DAT (Overwintered adults)	45-DAT (4 <sup>th</sup> instar nymphs)
Water	0	0 <sup>e</sup>	0 <sup>c</sup>
	10	23 ± 3.6 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>
	25	30.02 ± 6.4 <sup>d</sup>	13.33 ± 5.7 <sup>bc</sup>
Nanocarrier	125	64.12 ± 6 <sup>c</sup>	13.33 ± 5.7 <sup>bc</sup>
	10	96.78 ± 5.57 <sup>ab</sup>	13.33 ± 5.7 <sup>bc</sup>
	25	96.78 ± 5.57 <sup>ab</sup>	20 ± 0.0 <sup>b</sup>
Deltamethrin nanoformulation	125	100 <sup>a</sup>	40 ± 0.0 <sup>a</sup>
	10	87.12 ± 5.57 <sup>b</sup>	20 ± 10 <sup>b</sup>
	25	100 <sup>a</sup>	20 ± 10 <sup>b</sup>
Deltamethrin EC2.5% (Mahan®)	125	100 <sup>a</sup>	40 ± 0.0 <sup>a</sup>

Comparison between rows (Factor A) - The same letters in each column are not significant statistically (HSD %5)

جدول ۲ ب- درصد کارایی نانوحامل، نانوفرمولاسیون دلتامترین و فرمولاسیون EC در غلظت‌های مختلف بر روی بوته‌های گندم با یک نوبت سم‌پاشی در مرحله پنجه‌زنی و ارزیابی در ۷ و ۴۵ روز بعد از سم‌پاشی به‌ترتیب روی سن بالغ زمستان‌گذران و پوره سن چهارم در شرایط گلخانه؛ همراه با برش‌دهی اثر متقابل فاکتور B در فاکتور A.

**Table 2 a.** The efficiency percentage of nanocarrier, deltamethrin nanoformulation and EC formulation in different concentrations on wheat bushes with one spraying in tillering stage and evaluation at 7 and 45 days after treatment (DAT) on overwintered adults and 4<sup>th</sup> instar nymphs in greenhouse conditions, respectively; Tukey grouping for the interaction effect along with cutting through factor B in factor A.

Factor A	Concentration (mg a.i./L)	Factor B	
		7-DAT (Overwintered adults)	45-DAT (4 <sup>th</sup> instar nymphs)
Water	0	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	10	23 ± 3.6 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>
Nanocarrier	25	30.02 ± 6.4 <sup>a</sup>	13.33 ± 5.7 <sup>b</sup>
	125	64.12 ± 6 <sup>a</sup>	13.33 ± 5.7 <sup>b</sup>
	10	96.78 ± 5.57 <sup>a</sup>	13.33 ± 5.7 <sup>b</sup>
Deltamethrin nanoformulation	25	96.78 ± 5.57 <sup>a</sup>	20 ± 0.0 <sup>b</sup>
	125	100 <sup>a</sup>	40 ± 0.0 <sup>b</sup>
	10	87.12 ± 5.57 <sup>a</sup>	20 ± 10 <sup>b</sup>
Deltamethrin EC2.5% (Mahan®)	25	100 <sup>a</sup>	20 ± 10 <sup>b</sup>
	125	100 <sup>a</sup>	40 ± 0.0 <sup>b</sup>

Comparison between columns (Factor B) - The same letters in each row are not significant statistically (HSD %5)



همچنین مشاهده شد که نانوفرمولاسیون دلتامترین بازدهی مناسبی به لحاظ کنترل تخم‌گذاری آفت سن گندم داشته به نحوی که توانسته در این مورد با سم تجاری (به جز در غلظت‌های بالای آن که موجب تسریع نموی، توقف رشدی و گیاه‌سوزی می‌شود)، هم‌گروهی آماری داشته باشد.

#### بحث

با توجه به دخیل بودن عوامل مختلف، نتایج درصد تلفات سن گندم و پوره در سطح آزمایشگاه و گلخانه می‌تواند مشابه نبوده و برخی از نتایج خوب آزمایشگاه با توجه به نتایج گلخانه‌ای، کنار گذاشته شوند. نتایج زیست‌سنجی آزمایشگاهی روی سن مادر نشان داد که نانوفرمولاسیون کارآیی مشابه EC تجاری داشته است. اگرچه در مراحل بعدی زیست‌سنجی در شرایط آزمایشگاهی کارآیی حشره‌کشی نانوفرمولاسیون مورد آزمایش نتایج بهتری به لحاظ ماندگاری و اثربخشی ارائه داد اما در شرایط گلخانه همچنان هم‌گروهی آماری با سم تجاری مشهود بود (جداول ۱ و ۲). تحقیقات زیادی نشان از کاهش مضرات زیست محیطی ماده مؤثره بعد از قرار گرفتن در نانوفرمولاسیون در مقایسه با فرمولاسیون‌های تجاری دارند. امروزه انواع نانوفرمولاسیون شامل نانوسوسپانسیون (Cui et al., 2016)، نانوامولسیون (Du et al., 2016) و نانوکپسول (Cao et al., 2016) توسعه پیدا کرده است. یکی از عوامل پایین بودن درصد کارآیی در روزهای اولیه سم‌پاشی در شرایط آزمایشگاه و گلخانه‌ای می‌تواند ناشی از رهش آهسته دلتامترین در نانوفرمولاسیون‌ها باشد (Li et al., 2006). استفاده از نانوفرمولاسیون، ماده مؤثره را در برابر دما و نور خورشید محافظت می‌کند. گزارش شده که ترکیبات سیلیکایی می‌توانند از آبامکتین محافظت نمایند؛ نانوسیلیکا از طریق جذب و یا خراش کوتیکول بدن حشره باعث می‌شود که حشره آب بدن خود را سریع از دست داده و از بین برود (Li et al., 2006). البته میزان کارآیی این مواد در شرایط گرم و خشک بیشتر خواهد بود. کپسوله کردن ماده مؤثره سموم می‌تواند سبب

این موضوع در این مطالعه میسر نشد. در صورتی که چنین رویکردی حاصل می‌شد ممکن بود برای روند تغییرات در گروه‌بندی‌های آماری و نحوه تغییر در ایجاد تلفات تفسیر بهتری حاصل می‌شد. به عنوان مثال، بیرون کشیدن اثر متقابل معنی‌دار از مقایسه‌ها، منجر به نمایش بهتر کارآیی هر تیمار و فرمولاسیون در ماندگاری اثربخشی کشندگی خواهد شد؛ به این ترتیب که تیمارهای شاهد، نانوحامل و نانوفرمولاسیون دلتامترین (غلظت ۱mg a.i./L)، همگی در یک گروه آماری بودند و متناسب با گذشت زمان و نوع و سنین مختلف تغییری در ایجاد تلفات آفت نداشتند. اما نانوفرمولاسیون دلتامترین (در غلظت ۱mg a.i./L) و فرمولاسیون تجاری مهان، تغییر معنی‌داری داشتند (جدول ۱ ب). روند تغییر در ایجاد تلفات برای این دو تیمار متفاوت بود؛ به نحوی که کارآیی فرمولاسیون تجاری در ایجاد تلفات کاهش ملموسی داشت، ولی رهش کنترل‌شده فرمولاسیون سیلیکایی منجر به افزایش نسبی اثربخشی سم در گذر زمان می‌شد.

نتایج ارزیابی تعداد تخم‌گذاری‌های انجام شده در شرایط تیماری مختلف، نشان داد با وجود توانایی نانوحامل در کاستن تعداد تخم‌گذاری‌ها، اما این کاهش به حدی نبود که بتواند رتبه معنی‌دار متفاوتی از شرایط شاهد در این آزمایش داشته باشد (جدول ۳).

جدول ۳- آزمون مقایسه میانگین توکی برای تعداد تخم‌گذاری سن گندم در تیمارهای مختلف.

Table 3: Tukey's mean comparison test for the number of Sunn-pest oviposition under different treatments.

Treatment	Concentration (mg a.i./L)	Total number of Eggs
Water	0	197.67 ± 32.1 <sup>a</sup>
	10	160.67 ± 18.2 <sup>a</sup>
Nanocarrier	25	143 ± 24.1 <sup>ab</sup>
	125	129.67 ± 27.1 <sup>abc</sup>
Deltamethrin Nanoformulation	10	72.66 ± 8.51 <sup>bc</sup>
	25	67 ± 5.56 <sup>c</sup>
	125	64.00 ± 4.93 <sup>c</sup>
EC2.5% (Mahan®)	10	69.00 ± 7.54 <sup>bc</sup>
	25	68.66 ± 7.85 <sup>bc</sup>
	125	12.00 ± 2.00 <sup>d</sup>

The same letters are not significant statistically (HSD %5).

سم پاشی، ضروری است از تجهیزات (Ultra-Low Volume) ULV مانند پهپاد برای کنترل سن گندم استفاده شود (معین و همکاران، ۱۳۹۸). یکی از اهداف نانوفرمولاسیون‌ها، بالا بردن کارایی از طریق کاهش حجم محلول مصرفی می‌باشد. استفاده از نانوحامل‌ها، افزایش سطح تماس و قدرت پخش‌کنندگی می‌باشد. بر اساس تحقیقات انجام شده در سم پاشی معمولی شاخ و برگ، تنها ۱/۱ درصد آفت‌کش به هدف می‌رسد و ۹۹/۹ درصد از محلول مصرفی وارد محیط زیست می‌شود؛ این ناکارآمدی سیستم سم پاشی می‌تواند سبب آلودگی آب و محیط زیست، مقاومت آفات و بیماری‌ها، کاهش تنوع گونه‌ای به خاطر حذف برخی گونه‌های زیستی خاک شود (Goswami et al., 2017; Goulson et al., 2015).

بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۱ و ۲) طی آزمایش‌های گلخانه‌ای و در ۷ روز پس از سم پاشی برای تیمارهای ۱۰ و ۲۵، مقدار تلفات مشابهی ایجاد شده که از چند جهت قابل تحلیل می‌باشد. اول این‌که پاسخ نانوحامل به ماندگاری آفت‌کش در غلظت‌های مختلف و رهایش آن در گذر زمان ممکن است به شکل خطی نباشد. دیگر این‌که در بیان مقدار تلفات، به جهت این‌که در ارزیابی‌ها مشخص شد موارد بی‌حالی به سمت مرگ پیش می‌رفتند، مجموع مقادیر مربوط به مرگ و بی‌حالی محاسبه شد. همچنین با گذر زمان در ۴۵ روز پس از سم پاشی، اختلاف بیشتری (اگرچه همچنان هم‌گروهی وجود دارد) میان غلظت‌های ۱۰ و ۲۵ در مقادیر تلفات وجود دارد.

از سوی دیگر یکی از عوامل پایین بودن کارایی نانوفرمولاسیون و فرمولاسیون تجاری در شرایط گلخانه در ۴۵ روز بعد از سم پاشی می‌تواند ناشی از ۱۰ برابر شدن سطح پوشش گیاهی گندم در مرحله گدھی نسبت به پنجه‌زنی اشاره کرد (Wolters et al., 2008). بنابراین ساقه، خوشه و برگ‌های بالاتر که بیشترین محل فعالیت پوره و سن نسل جدید را تشکیل می‌دهند، کمتر در معرض سم پاشی قرار گرفته‌اند و آلوده به سم نیستند. همین مسئله کاهش تلفات را در ۴۵ روز بعد از تیمار در شرایط گلخانه می‌تواند توجیه کند. نکته حائز

کاهش میزان مصرف سم و در نتیجه کاهش دغدغه‌های زیست محیطی و وجود بقایای سم در محصولات گیاهی شود. برای مثال سنجش سمیت در سطوح سلولی و ژنتیکی نشان داد که علف‌کش‌های کپسوله شده سمیت کمتری نسبت به ترکیبات آزاد داشتند (Maruyama et al., 2016). نانوفرمولاسیون‌ها در شرایط مطلوب می‌توانند حداکثر کارایی را داشته باشند و این زمانی خواهد بود که به‌صورت هوشمند عمل کرده و در زمان تحریک آفت، به مقدار لازم رهایش یابند. نانوفرمولاسیون‌ها با توجه به کوچک بودن ذرات و با داشتن قدرت پخش‌شوندگی و حلالیت، پوشش بالایی از سم پاشی دارند. اثر دینامیکی آفت‌کش و نانوذرات می‌تواند فیزیولوژی، مورفولوژی و سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. بین نانوذرات نقره و دیکلوفوب یک اثر متقابل آنتاگونیستی وجود دارد و وجود نقره سبب کاهش کارایی علف‌کش عمومی دیکلوفوب می‌شود (Li et al., 2018).

امروزه به استفاده از فرمولاسیون‌های بر پایه حلال‌های دوستدار محیط زیست و غیر سمی مانند آب در کشاورزی تاکید فراوان می‌شود؛ زیرا دلتامترین تجارتي فرمول EC (امولسیون تغلیظ شونده) از جمله فرمولاسیون‌های بر پایه روغن بوده که حلال آن زایلین است و بیش از ۹۰ درصد کل دلتامترین تجارتي موجود را تشکیل می‌دهند. زایلین به‌خاطر داشتن پیوندهای دوگانه و تولید اپوکساید از لحاظ سرطان‌زایی و آلودگی زیست‌محیطی مهم هستند. استفاده از نانوفرمولاسیون‌های هوشمند به‌واسطه کاهش در مصرف ماده مؤثره آفت‌کش‌ها منجر به کاهش خطرات زیست‌محیطی و انسانی آن می‌شود. در عین حال استفاده از قطرات ریز باعث ایجاد یک پوشش کامل در سطح برگ می‌شود، مگر این‌که کاهش اندازه سطح سبب افزایش مجاز ماده مؤثره گردد. تحقیقات زیادی وجود دارد که حاکی از کاهش سمیت ماده مؤثره بعد از قرار گرفتن در نانوفرمولاسیون در مقایسه با فرمولاسیون‌های تجاری می‌باشد.

در سال‌های اخیر با توجه به افزایش سطح سم پاشی علیه سن گندم (۲ میلیون هکتار در سال) و محدود بودن زمان بهینه

(Nuruzzaman *et al.*, 2019). این نانوفرمولسیون‌ها درصد تلفات خارق‌العاده‌ای را حتی پس از گذشت ۱۴ روز روی لارو آفت بید کلم ایجاد کردند (Bilal *et al.*, 2020). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مطالعه برای توسعه نانوساختارهای سیلیکایی تجدید پذیر که بر پایه گیاهان انباشته کننده از سیلیس می‌باشند (Soltani *et al.*, 2015; Mattos *et al.*, 2016)، جهت ارائه فرمولاسیون مؤثر برای رهایش سموم شیمیایی و گیاهی برای کنترل سن گندم می‌تواند بسیار حائز اهمیت و مثر ثمر باشد. به‌طور خلاصه در این پژوهش نانوفرمولاسیون دلتامترین بر پایه آب تهیه شده که می‌تولند در مدت زمان ۴۵ روز اثر حشره‌کشی خود را تا حد قابل قبولی حفظ نموده و با توجه به زیست‌سازگاری نانوسیلیکا به کار رفته می‌تواند افق جدیدی برای انتقال مواد مؤثر در حوزه کنترل آفات باشد. با توجه به اثر ماندگاری نانوفرمولاسیون، پیشنهاد می‌شود مقایسه‌ای با فرمولاسیون تجاری EC روی مرحله پوره سن گندم در زمانی که پوشش گیاهی در گندم کامل شده است؛ از لحاظ کارایی، زودرسی گندم و عملکرد مورد بررسی قرار گیرد.

### تشکر و قدردانی

این مطالعه در قالب طرح تحقیقاتی مصوب ۹۵۰۲۴۳-۹۵۰۱۱-۰۵-۰۵-۱۲ و تحت حمایت مالی پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی انجام شد.

اهمیت دیگر، ایجاد تلفات نانوحامل سیلیسی است که توانسته به‌ویژه در مرحله اول (۷ روز پس از تیمار) نتایج خوبی داشته باشد. این موضوع در مطالعات جدید نیز مورد توجه قرار گرفته و به سودمندی نانوسیلیکا در این خصوص اشاراتی شده است (Rastogi *et al.*, 2019). طی این مطالعه دو رویکرد را برای چگونگی مفید بودن نانوافتکش‌های بر پایه سیلیس پیشنهاد کردند که شامل موارد زیر می‌باشد: نخست این‌که استفاده از این ذرات به خودی خود (از طریق جذب فیزیولوژیکی در لپیده‌های کوتیکولی) به‌عنوان نانوافتکش برای از بین بردن حشرات و لاروها نقش ایفا می‌کند (Rouhani *et al.*, 2013; El-Bendary *et al.*, 2013; Magda and Hussein, 2016; Ziaee and Ganji, 2016) که می‌تواند توجیه مناسبی در مورد اثر آفت‌کشی مشابه مشاهده شده در مورد نانوحامل و EC تجاری در این آزمایش باشد. دیگر آن‌که، فرمول‌های نانوسیلیسی برای افزایش جذب و رهایش آهسته ترکیبات فعال طبیعی و آب‌گریز طراحی شده‌اند که از نظر اقتصادی بادوام و زیست‌سازگار هستند. نانوفرمولسیون‌های سیلیسی به لحاظ اقتصادی با دوام و زیست‌سازگار هستند. استفاده از ترکیبات نانو بر پایه سیلیس، موجب کاهش رهایش به‌میزان ۲۵-۷۵ درصد شده و میزان شستشو از سطح خاک را نیز تا ۱۵ درصد کاهش می‌دهند (Ziaee and Ganji, 2016; El-Helaly *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2011;

### References

- ABDOLLAHI, G.A., 2004. Sunn pest management in Iran, an analytical approach. Agricultural Education Publication, 242.
- BILAL, M., C. Xu, L. CAO, P. ZHAO, C. CAO, F. LI and Q. HUANG, 2020. Indoxacarb-loaded fluorescent mesoporous silica nanoparticles for effective control of *Plutella xylostella* L. with decreased detoxification enzymes activities. Pest Management Science, 76(11), pp.3749-3758.
- CAO, L., H. ZHANG, C. CAO, J. ZHANG, F. LI and Q. HUANG, 2016. Quaternized chitosan-capped mesoporous silica nanoparticles as nanocarriers for controlled pesticide release. Nanomaterials, 6(7): 126.
- CHEN, J. W. WANG, Y. XU and X. ZHANG, 2011. Slow-release formulation of a new biological pesticide, pyoluteorin, with mesoporous silica. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59(1), 307-311.
- CHENG, H.N., K.T. KLASSON., T. ASAKURA and Q. WU,

2016. "Nanotechnology in agriculture." In Nanotechnology: Delivering on the Promise. American Chemical Society, Volume 2, pp. 233-242.
- CUI, B. L. FENG, C. WANG, D. YANG, M. YU, Z. ZENG, Y. WANG, C. SUN, X. ZHAO and H. CUI, 2016. Stability and biological activity evaluation of chlorantraniliprole solid nanodispersions prepared by high-pressure homogenization. *PloS One*, 11(8):1-16: e0160877.
- DAVARI, A. and B. L. PARKER, 2018. A review of research on Sunn Pest *{Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: Scutelleridae)} management published 2004–2016. *Journal of Asia-pacific Entomology*, 21: 352-360.
- DU, Z., C. WANG, X. TAI, G. WANG and X. LIU, 2016. Optimization and characterization of biocompatible oil-in-water nanoemulsion for pesticide delivery. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(3): 983-991.
- EL-BENDARY, H. M. and A. A. EL-HELALY, 2013. First record nanotechnology in agricultural: Silica nanoparticles a potential new insecticide for pest control. *Applied Scientific Reports*, 4(3): p. 241-246.
- EL-HELALY, A. A., H. M. EL-BENDARY, A. S. ABDEL-WAHAB, M. A. K. EL-SHEIKH, and S. ELNAGAR, 2016. The silica-nano particles treatment of squash foliage, and survival, and development of *Spodoptera littoralis* (Bosid.) larvae. *Pest Control (Biswal et al., 2012, Brennan 2012 and (Elbendary and El-Helaly 2013)*, 5: 6.
- FALAHATI, M., A.A. SABOURY, A. SHAFIEE, S.M.R. SORKHABADI KACHOOEI, L. MA'MANI, and T. HAERTLÉ, 2012. Highly efficient immobilization of beta-lactoglobulin in functionalized mesoporous nanoparticles: A simple and useful approach for enhancement of protein stability. *Biophysical Chemistry*, 165: 13-20.
- GOGOS, A., K. KNAUER, and T. D. BUCHELI, 2012. Nanomaterials in plant protection and fertilization: Current state, foreseen applications, and research priorities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 9781–9792.
- GOSWAMI, L., K.H. KIM, A. DEEP, P. DAS, S.S. BHATTACHARYA, S. KUMAR and A.A. ADELODUN, 2017. Engineered nano particles: nature, behavior, and effect on the environment. *Journal of Environmental Management*, 196: 297-315.
- GOULSON, D., E. NICHOLLS, C. BOTÍAS and E.L. ROTHERAY, 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347 (6229), 1255957.
- KIVAN, M. and N. KILIC, 2005. Effects of storage at low-temperature of various heteropteran host eggs on the egg parasitoid, *Trissolcus semistriatus*. *BioControl*, 50: 589–600.
- LI, X., M. KE, M. ZHANG, W.J.G.M. PEIJNENBURG, X. FAN, J. XU, Z. ZHANG, T. LU, Z. FU and H. QIAN, 2018. The interactive effects of diclofop-methyl and silver nanoparticles on *Arabidopsis thaliana*: growth, photosynthesis and antioxidant system. *Environmental Pollution*, 232: 212-219.
- Li, Z. Z., J. F. CHEN, F. LIU, A. Q. LIU, Q. WANG, H. Y. SUN and L. X. WEN, 2007. Study of UV-shielding properties of novel porous hollow silica nanoparticle carriers for avermectin. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 63(3), 241-246.
- MAGDA, S. and M. M. HUSSEIN, 2016. Determinations of the effect of using silica gel and nano-silica gel against *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato fields. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(4): 506-512.
- MARUYAMA, C.R., M. GUILGER, M. PASCOLI, N. BILESHY-JOSÉ, P.C. ABHILASH, L.F. FRACETO and R. DE LIMA, 2016. Nanoparticles based on chitosan as carriers for the combined herbicides imazapic and imazapyr. *Scientific Reports*, 6 (1): 1-15.
- MATTOS, B.D., O.J. ROJAS and W.L. MAGALHÃES, 2016. Biogenic SiO<sub>2</sub> in colloidal dispersions via ball milling and ultrasonication. *Powder Technology*, 301: 58-64.

- MOEIN, S., H. JAVADIPOUYA, N. NAZARI, 2018. Final report of sunn pest control in 2018-2019. Crop Protection Organization of Iran.
- NURUZZAMAN, M., J. REN, Y. LIU, M. M. RAHMAN, H. K. SHON and R. NAIDU, 2019. Hollow porous silica nanosphere with single large pore opening for pesticide loading and delivery. *ACS Applied Nano Materials*, 3(1): 105-113.
- PARKER, B. L., M. AMIR-MAAFI, M. SKINNER, J. S. KIM, M. EL BOUHSSINI, 2011. Distribution of Sunn Pest, *Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: Scutelleridae), in overwintering sites. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 14: 83-88.
- RASTOGI, A., DK. TRIPATHI, S. YADAV, DK. CHAUHAN, M. Živčák, M. GHORBANPOUR, N. I. EL-SHEERY, and M. BRESTIC, 2019. Application of silicon nanoparticles in agriculture. *3 Biotech*, 9(3): 90.
- ROUHANI, M., M. A. SAMIH and S. KALANTARI, 2013. Insecticidal effect of silica and silver nanoparticles on the cowpea seed beetle, *Callosobruchus maculatus* F. (Col.: Bruchidae). *Journal of Entomological Research*, 4 (4): 297-305.
- SAXENA, A., A. JAIN, P. UPADHYAY and P.G. GAUBA, 2018. Applications of nanotechnology in Agriculture. *Journal of Nanoscience Nanoengineering and Applications*, 8(1): 20-27.
- SHEIKHI, GARJAN A., K. T. JAHROMI, A.A. POURMIRZA, J. KHALGHANI and G.H. RAJABI, 2002. Bioassay of different life stages of Sunn pest to six insecticides and analysis of data by three methods. *Journal of Agricultural Sciences*, 2: 17-32.
- SHEIKHI, GARJAN, A. H. NAJAFI, H. ABBASI, S. SABERFAR, F. RASHID and M. MORADI, 2017. The chemical and organic pesticide guide of Iran 2017. Rah Dan press, Tehran, Iran: 694.
- SHEIKHI, GARJAN, A., M. M. GHAZI and A. ZARNEGAR, 2018. Evaluation of spraying Drone in chemical control of sunn pest nymphs. Iranian research institute of plant protection, Final Report: 29.
- SHEIKHI, GARJAN, A., A. KEYHANYAN, and S. MOEIN, 2009. Efficiency of sprayer equipped by micronair nozzle (CDA) in chemical control of Sunn Pest nymphs. *Applied Entomology and Phytopathology Special, Issue*: 19-33.
- SOLTANI, N., A. BAHRAMI, M.I. PECH-CANUL and L.A. GONZÁLEZ, 2015. Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. *Chemical Engineering Journal*, 264: 899-935.
- WOLTERS, A., V. LINNEMANN, J.C. van de Zande, and H. Vereecken, H., 2008. Field experiment on spray drift: Deposition and airborne drift during application to a winter wheat crop. *Science of the Total Environment*, 405(1-3): 269-277.
- ZIAEE, M. and Z. GANJI, 2016. Insecticidal efficacy of silica nanoparticles against *Rhizopertha dominica* F. and *Tribolium confusum* Jacquelin du Val. *Journal of Plant Protection Research*, 56 (3): 250-256.