# اثر حشره‌کشی نانو سیلیکای بارگذاری شده با چند حشره‌کش برای کنترل لارو لمبه‌گندم، *Trogoderma granarium* روی سطح‌های موزائیک و استیل گالوانیزه

معصومه ضیائی[1*] و اصغر بابامیر ساطحی[2]

۱- *نویسنده مسوول: دانشیار حشره‌شناسی کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (m.ziaee@scu.ac.ir)

۲- دانشجوی دکترای حشره‌شناسی کشاورزی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۰۳

**چکیده**

**بروز مقاومت آفات به آفت‌کش‌ها، اثرات سوء روی گونه‌های غیر هدف و خطرات زیست محیطی آن‌ها، تمایل به استفاده از روش‌های جایگزین را افزایش داده است. یکی از روش‌های نوین کنترل آفات کاربرد فرمولاسیون‌های نانو آفت‌کش‌ها می‌باشد. کاربرد نانو آفت‌کش‌ها باعث کنترل رهایش آفت‌کش‌ها از نانو ذرات، حفاظت آفت‌کش‌ها در برابر عوامل محیطی مانند نور و گرما، کاهش غلظت مصرفی و امکان بروز مقاومت آفات به آفت‌کش‌ها می‌شود. بنابراین، در این مطالعه نانو ذرات سیلیکا با روش سل- ژل تهیه و به طور جداگانه با حشره‌کش‌های دلتامترین، پایری‌پروکسی‌فن و کلروپایریفوس بارگذاری شد. سطح‌های موزاییک و استیل گالوانیزه با حشره‌کش‌های دلتامترین (غلظت‌های ۰/۰۰۲۵ و ۰/۰۰۵ گرم ماده موثر بر متر مربع)، پایری‌پروکسی‌فن (غلظت‌های ۰/۰۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۱ گرم ماده موثر بر متر مربع) و کلروپایریفوس (غلظت‌های ۰/۰۱ و ۰/۲ گرم ماده موثر بر متر مربع) به تنهایی و یا با نانو سیلیکای بارگذاری‌شده با حشره‌کش‌ها تیمار شدند. تلفات اولیه لاروهای کوچک و بزرگ لمبه گندم، *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae)، ۱، ۳ و ۷ روز پس از تیمار شمارش شد و تلفات تأخیری ۷ روز پس از آن بررسی گردید. طبق نتایج، در همه آزمایش‌ها لاروهای کوچک لمبه گندم حساسیت بیشتری نسبت به لاروهای بزرگ داشتند. همچنین، اثر حشره‌کشی نانو سیلیکای بارگذاری شده با حشره‌کش‌ها نسبت به کاربرد حشره‌کش‌ها به تنهایی به طور معنی‌داری بیشتر بود. بنابراین، می‌توان کاربرد نانو ذرات سیلیکا را به‌عنوان حامل حشره‌کش‌ها برای کنترل لمبه گندم توصیه کرد.**

***کلیدواژه‌ها: حامل، محصولات انباری، نانو ذرات، Trogoderma granarium***

**مقدمه**

هر ساله مقدار قابل توجهی از غلات و تولیدات کشاورزی در کشورهای جهان سوم به وسیله آفات در انبارها تلف می‌شوند. علاوه بر خسارت کمی، خسارات کیفی وارد شده توسط آفات انباری به گونه‌ای است که گاهی اوقات این غلات برای استفاده دام و طیور نیز مناسب نیستند (Bagheri Zenoze, 2013). لمبه گندم یکی از مهمترین آفات انباری است که به ویژه به غلات

دبیر تخصصی: دکتر فاطمه یاراحمدی

خسارت وارد می‌کند (Hill, 2002). سموم تدخینی فسفین و متیل بروماید بیشترین کاربرد را در کنترل آفات انباری دارند. متیل بروماید باعث تخریب لایه ازون شده و توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالت متحده آمریکا[1] به عنوان تخریب‌کننده‌های دسته اول لایه اُزون طبقه‌بندی شده است (Rajendran, 2001). کاربرد فسفین نیز دارای معایبی است؛ از جمله این‌که گاز فسفین پایداری کمی داشته، برای انسان و سایر پستانداران سمیت زیادی داشته، بقایای شیمیایی روی محصولات بر جا گذاشته و مقاومت برخی آفات حشره‌ای به آن گزارش شده است (Misumi et al., 2008). از دیگر حشره‌کش‌هایی که جهت کنترل آفات انباری استفاده می‌شوند، می‌توان به حشره‌کش‌های فسفره مانند کلروپیریفوس، پریمفوس‌متیل، سموم پایرتروئیدی مانند دلتامترین و تنظیم کننده‌های رشد حشرات (IGRs) اشاره کرد (Kljajic and Peric, 2007).

در سال‌های اخیر نانو تکنولوژی توسعه بسیاری یافته است و در کشاورزی نیز مورد توجه قرار گرفته است. برخی از نانو ذرات فلزی، غیر فلزی و اکسید فلزی نیز دارای اثر حشره‌کشی هستند که از این جمله آلومینای نانو ساختار که به عنوان حشره‌کش تولید شده و سمیت آن علیه برخی آفات محصولات انباری به ثبت رسیده است، می‌توان اشاره کرد (Stadler et al., 2010). در تحقیق دیگری اثر حشره‌کشی نانو نقره، نانو کادمیوم سولفید و نانو تیتانیوم دی‌اکسید روی کرم برگخوار پنبه، *Spodoptera litura* (F.) گزارش شد و عنوان شد که این نانو ذرات می‌توانند برای کنترل انتخابی این آفت مهم مورد استفاده قرار گیرند (Chakravarthy et al., 2012). نانو ذرات سیلیکا اثر حشره‌کشی زیادی روی حشرات بالغ شپشه برنج، *Sitophilus oryzae* (L.) داشته، به طوری‌که غلظت دو گرم بر کیلوگرم آن، چهار روز پس از تیمار با نانو ذرات سیلیکای آبدوست و آبگریز، منجر به ۱۰۰ درصد تلفات روی حشرات بالغ شد. از این‌رو استفاده از این ترکیب برای حفاظت از برنج ذخیره شده در انبارها و سیلوها توصیه شده است (Debnath et al., 2011). سمیت حشره‌کشی نانو سیلیکا همچنین روی برخی از گونه‌های پشه که ناقل بیماری‌های انسان هستند به اثبات رسیده است (Barik et al., 2012). نانو ذرات سیلیکای غیر متبلور چربی دوست در کنترل آفت انباری شپشه قرمز آرد، *Tribolium castaneum* Herbst موثر بودند. علاوه بر این، نانو ذرات سیلیکا هیچ سمیت سلولی در سلول‌های فیبروبلاست انسانی و سمیت حاد در موش‌های آزمایشگاهی نشان ندادند که نشان دهنده غیر سمی بودن این ترکیب است (Debnath et al., 2012).

نانو ذرات سیلیکا دارای تخلخل زیادی بوده و می‌توان از آن‌ها به عنوان حامل آفت‌کش‌های شیمیایی استفاده کرد. رهایش تدریجی حشره‌کش آورمکتین از حفرات نانو سیلیکا نشان داد که این نانو ذرات باعث رهایش چند مرحله‌ای (تدریجی)، افزایش دوام، حلالیت در آب و قدرت پخش حشره‌کش آورمکتین شدند. همچنین این فرمولاسیون باعث کاهش دز مصرفی و باقی‌مانده حشره‌کش در محیط زیست شد (Wen et al., 2005). در پژوهش دیگری، کاربرد نانو ذرات سیلیکا به عنوان حامل کلروپیریفوس باعث افزایش سمیت و دوام این حشره‌کش علیه حشرات بالغ آفات انباری سوسک کشیش، *Rhyzopertha dominica* F.، و شپشه آرد، *Tribolium confusum* Jacquelin du Val. شد (Babamir-Satehi et al., 2018).

با توجه به اهمیت اقتصادی آفات انباری و مقاوم شدن آن‌ها نسبت به حشره‌کش‌های متداول شیمیایی، یافتن یک روش ایمن، مناسب، اقتصادی و با دوام ضروری می‌باشد. لذا هدف از انجام این طرح بررسی اثر حشره‌کشی نانو سیلیکای بارگذاری شده با حشره‌کش‌های

1- US Environmaental Protection Agency

دلتامترین، پایری‌پروکسی‌فن، و کلروپیریفوس روی لارو کوچک و بزرگ لمبه گندم، *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) در سطح‌های موزاییک و استیل گالوانیزه است.

## مواد و روش‌ها

### حشرات مورد آزمایش

لارو کوچک و بزرگ لمبه گندم، *T. granarium*، در آزمایش‌ها مورد استفاده قرارگرفت. پرورش این حشرات روی گندم رقم چمران صورت گرفت. لمبه گندم در ژرمیناتور در دمای ۱±۳۰ درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و در شرایط تاریکی پرورش یافتند. لاروهای با اندازه ۲ میلی‌متر به عنوان لارو کوچک و لاروهای با اندازه حدود ۴ میلی‌متر به عنوان لارو بزرگ لمبه گندم برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. پرورش و انتخاب لاروهای کوچک و بزرگ بر اساس روش Kavallieratos et al. (2016) صورت گرفت.

### حشره‌کش‌های مورد استفاده

در این پژوهش حشره‌کش دلتامترین (Decis® 2.5% EC) ساخت شرکت Bayer Crop Science, Germany، پایری‌پروکسی‌فن (Admiral® 10% EC) ساخت شرکت Mitsui Chemicals Agro Inc., Japan و کلروپایریفوس (Dursban® 40.8% EC) ساخت شرکت Agriphar, Belgium، مورد استفاده قرار گرفت.

### روش تهیه نانو سیلیکا

سنتز نانو ذرات سیلیکا به وسیله‌ی ماده فعال‌کننده سطح هگزادسیل تری‌متیل آمونیوم‌بروماید (C16TAB) (مرک آلمان) و محلول آمونیوم ۲ مولار $NH_4OH$ (مرک آلمان)، و سدیم استات (مرک آلمان) صورت گرفت. تترا اتوکسی‌سیلان (TEOS) با درجه خلوص ۹۹ درصد (Sigma-Aldrich) به عنوان منبع سیلیکایی به صورت قطره قطره به محلول اضافه و هم زده شد تا رسوب سفید رنگی ایجاد شود. پودر به دست آمده فیلتر و توسط آب دیونیزه شستشو داده شد. پودر به مدت ۵ ساعت در آون خلا دمای ۷۰ درجه سلسیوس نگهداری شد تا خشک شود. سپس پودر به مدت ۵ ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۶۰ درجه سلسیوس گذاشته شده تا کلیه مواد آلی داخل آن از بین برود. پودر نانو سیلیکای سنتز شده در ظرف شیشه‌ای در کیپ نگهداری شد. در زمان انجام آزمایش‌ها، حشره‌کش‌ها با روش غوطه‌وری داخل نانو ذرات سیلیکا بارگذاری شدند. بارگذاری حشره‌کش در نانو سیلیکا بر اساس روش Wen et al., (2005) صورت گرفت. به این ترتیب که یک مخلوط با نسبت وزنی: وزنی، ۱ : ۴: ۲ از ذرات نانوسیلیکا، حشره‌کش و حلال استون (مرک آلمان) تهیه شد. محلول به دست آمده به مدت ۴۸ ساعت روی همزن مغناطیسی هم زده شد. سپس، نانو سیلیکای بارگذاری شده با حشره‌کش‌ها یکبار با آب دیونیزه و بار دیگر با اتانول ۳۰ درصد توسط سانتریفیوژ (مدل S 2100 SUV، ژاپن) با شتاب ۱۳۰۰۰g در دمای ۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه شستشو داده شد تا حشره‌کش‌های بارگذاری نشده از آن خارج شوند. پودر نانوسیلیکای بارگذاری شده سپس در آون دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت گذاشته شد تا خشک شود.

### زیست‌سنجی‌ها

آزمایش‌ها با روش Kavallieratos et al. (2016) با کمی تغییر صورت گرفت. در این آزمایش اثر حشره کشی دلتامترین، پایری‌پروکسی‌فن و کلروپایریفوس به تنهایی و به صورت بارگذاری شده در نانو سیلیکا مورد ارزیابی قرارگرفت. ابتدا، سطح‌های موزاییک و استیل گالوانیزه به طول ۲۰ و عرض ۲۰ سانتی‌متر (مساحت: ۴۰۰ سانتی‌متر مربع) تهیه شدند. غلظت‌های ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۲۵ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع برای دلتامترین غلظت‌های ۰/۰۰۱ و ۰/۱ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع برای پایری‌پروکسی‌فن، و ۰/۰۰۱ و ۰/۰۲ میلی‌گرم بر

سانتی‌متر مربع برای کلروپایریفوس استفاده شدند. سطح‌ها به مدت یک ساعت زیر هود گذاشته شدند تا خشک شوند. در ظرف‌های پلاستیکی ۱۰ عدد لارو کوچک یا بزرگ لمبه گندم ریخته شد و ظرف‌ها به صورت وارونه روی سطح‌های تیمار شده قرار گرفتند. مقدار ۲ گرم گندم رقم چمران برای تغذیه در اختیار لاروها قرار گرفت. آزمایش‌ها با سه تکرار (سطح) و سه زیر تکرار (ظرف پلاستیکی) انجام شد. تیمار شاهد برای کاربرد حشره‌کش‌ها، آب مقطر و برای نانو سیلیکای بارگذاری شده با حشره‌کش‌ها، نانو سیلیکای خالی در نظر گرفته شد. سطح‌ها در ژرمیناتور در دمای ۱±۳۰ درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و تاریکی گذاشته شدند. میزان تلفات اولیه ۱، ۳ و ۷ روز پس از تیمار شمارش شد. لاروهایی که چروکیده شده و یا فاقد حرکت پا و یا شاخک بودند به عنوان مرده در نظر گرفته شدند. لاروهای زنده مانده به سطح‌های تمیز و تیمار نشده حاوی ۲ گرم گندم رقم چمران برای تغذیه منتقل شدند و تلفات تأخیری پس از ۱، ۳ و ۷ روز شمارش شد. لاروهایی که چروکیده شده و یا فاقد حرکت پا و یا شاخک بودند به عنوان مرده در نظر گرفته شدند. لاروهای زنده مانده از شمارش تلفات اولیه به سطح‌های جدید که تمیز و تیمار نشده بودند منتقل شدند. در هر تکرار، مقدار ۲ گرم گندم رقم چمران برای تغذیه لاروها گذاشته شد. تلفات تاخیری پس از ۱، ۳ و ۷ روز شمارش شد.

### تجزیه آماری داده‌ها

اصلاح داده‌ها با استفاده از فرمول آبوت صورت گرفت (Abbott, 1925). نرمال‌بودن داده‌ها توسط آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. در صورت نرمال نبودن داده‌ها تغییر شکل داده‌ها با $\text{Arcsin}\sqrt{x}$ صورت گرفت، ولی داده‌های تغییر شکل داده نشده در جدول‌ها نوشته شد. برای هر گروه لاروی، تجزیه واریانس داده‌های تلفات اولیه و تأخیری با آزمون فاکتوریل (فاکتور اول غلظت و فاکتور دوم زمان) در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد. مقایسه آماری داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال آماری ۵ درصد با نرم‌افزار SPSS ver. 16 انجام شد (SPSS, 2007).

## نتایج

میانگین درصد تلفات اولیه لاروهای کوچک لمبه گندم در موزاییک در جدول ۱ نشان داده شده است. در بیشتر موارد در زمان‌های ۱ و ۳ روز پس از تیمار بین فرمولاسیون‌ها و غلظت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی با گذشت زمان در ۷ روز، درصد تلفات به طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین درصد حشره‌کشی در بالاترین غلظت (۰/۰۰۵ گرم ماده موثر بر متر مربع) نانو سیلیکای بارگذاری شده با دلتامترین، ۷ روز پس از تیمار (۸۳/۳ درصد) و پس از آن در غلظت ۰/۰۰۲۵ گرم ماده موثر بر متر مربع نانو سیلیکا- دلتامترین، ۷ روز پس از تیمار (۶۷/۷ درصد) گزارش شد (جدول ۱).

درصد تلفات تأخیری لاروهای کوچک لمبه در سطح موزاییک نشان داد که بیشترین درصد تلفات در غلظت ۰/۱ گرم ماده موثر بر مترمربع نانو سیلیکای بارگذاری شده با پایری‌پروکسی‌فن، ۷ روز پس از تیمار (۵۵/۵ درصد) بود. ولی درصد تلفات ایجاد شده اختلاف معنی‌داری با غلظت‌های ۰/۰۰۵ گرم ماده موثر بر مترمربع نانو سیلیکا- دلتامترین (۴۶/۷ درصد) و ۰/۲ گرم ماده موثر بر مترمربع نانو سیلیکا-کلروپایریفوس (۴۵/۵ درصد) نداشت (جدول ۲). میانگین درصد تلفات اولیه لاروهای کوچک لمبه گندم در سطح استیل گالوانیزه در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که درصد تلفات ۱ روز پس از تیمار در همه تیمارها کمتر از ۶ درصد بود؛ ولی پس از گذشت زمان تا ۷ روز درصد تلفات افزایش معنی‌داری داشت و در غلظت ۰/۰۰۵ نانوسیلیکا- دلتامترین و غلظت ۰/۲ گرم ماده موثر بر مترمربع نانوسیلیکا- کلروپیریفوس به ترتیب ۹۰ و ۸۲/۲ درصد تلفات مشاهده شد (جدول ۳).

**جدول ۱- میانگین ± خطای معیار درصد تلفات اولیه لاروهای کوچک لمبه گندم در سطح موزاییک تیمارشده با سه حشره‌کش مختلف به تنهایی و بارگذاری‌شده در نانو ذرات سیلیکا**

**Table 1. Mean immediate mortality% (± SE) of *T. granarium* small larvae exposed on mosaic treated with three different insecticides and insecticides-loaded SNPs**

| | Formulations | Concentration ($g(a.i.)/m^2$) | Time (day) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 3 | 7 | $F_{2,24}$;$P$ |
| Insecticide | Deltamethrin | 0.0025 | 0.0±0.0Bc | 7.7±1.5BCDb | 30.3±2.3FGa | 94.2; <0.01 |
| | | 0.005 | 0.0±0.0Bc | 12.2±2.2ABCb | 41.1±4.8DEFa | 47.0; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Db | 10.0±1.7Ha | 36.0; <0.01 |
| | | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 3.3±1.7CDb | 15.5±2.4Ha | 18.4; <0.01 |
| | | 0.1 | 0.0±0.0Bb | 3.3±1.7CDb | 33.3±2.9EFa | 91.0; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 0.0±0.0Bc | 7.7±2.7BCDb | 40.0±3.3DEFa | 71.6; <0.01 |
| | | 0.2 | 0.0±0.0Bc | 7.7±2.7BCDb | 44.4±2.9DEa | 124.4; <0.01 |
| In-SNP | Deltamethrin | 0.0025 | 0.0±0.0Bc | 13.3±2.3ABb | 67.7±3.2Ba | 241.0; <0.01 |
| | | 0.005 | 2.2±1.5ABc | 20.0±2.3Ab | 83.3±1.7Aa | 519.6; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Db | 14.4±2.4Ha | 35.5; <0.01 |
| | | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 2.2±1.5Db | 17.8±2.8GHa | 28.5; <0.01 |
| | | 0.1 | 0.0±0.0Bb | 3.3±1.7CDb | 30.0±1.7FGa | 146.0; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 0.0±0.0Bc | 8.9±2.0BCDb | 47.8±2.8CDa | 165.1; <0.01 |
| | | 0.2 | 4.4±1.7Ac | 12.2±2.8ABCb | 60.0±4.0BCa | 98.8; <0.01 |
| | | $F_{13,112}$;$P$ | 4.41; <0.01 | 8.26; <0.01 | 55.0; <0.01 | |

Means followed by the same lower case letter in each row and upper case letter within each column are not significantly different using Tukey's *post hoc* Honestly Significant Difference (HSD) test at $P > 0.05$.

**جدول ۲- میانگین ± خطای معیار درصد تلفات تأخیری لاروهای کوچک لمبه گندم در سطح موزاییک تیمارشده با سه حشره‌کش مختلف به تنهایی و بارگذاری‌شده در نانو ذرات سیلیکا**

**Table 2. Mean delayed mortality% (± SE) of *T. granarium* small larvae exposed on mosaic treated with three different insecticides and insecticide-loaded SNPs**

| | Formulations | Concentration ($g(a.i.)/m^2$) | Time (day) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 3 | 7 | $F_{2,24}$;$P$ |
| Insecticide | Deltamethrin | 0.0025 | 6.6±2.3CDEc | 15.5±2.4BCDb | 27.8±2.8DEa | 17.6; <0.01 |
| | | 0.005 | 14.4±3.8ABCb | 21.1±2.6ABCb | 40.0±2.9BCa | 17.9; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Eb | 1.1±1.1Eb | 10.0±2.3Ga | 13.3; <0.01 |
| | | 0.01 | 1.1±1.1DEb | 3.3±1.7Eb | 15.5±2.9FGa | 14.3; <0.01 |
| | | 0.1 | 3.3±1.7DEb | 8.8±2.6DEb | 21.1±3.5EFGa | 11.3; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 7.7±2.2BCDEb | 12.2±3.2CDEb | 23.3±2.3EFa | 9.17; <0.01 |
| | | 0.2 | 7.7±2.2BCDEc | 21.1±2.6ABCb | 41.1±3.0BCa | 39.6; <0.01 |
| In-SNP | Deltamethrin | 0.0025 | 0.0±0.0Ec | 17.7±1.5ABCDb | 38.9±2.6BCDa | 127.0; <0.01 |
| | | 0.005 | 7.7±2.2BCDEc | 26.6±1.7ABb | 46.7±1.7ABa | 108.1; 0.064 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 6.6±2.3CDEc | 15.5±2.4BCDb | 32.2±1.5CDEa | 37.1; <0.01 |
| | | 0.01 | 11.1±3.0ABCDc | 20.0±2.3ABCDb | 43.3±1.7BCa | 46.4; <0.01 |
| | | 0.1 | 18.9±2.0Ac | 27.7±1.5Ab | 55.5±1.7Aa | 118.5; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 10.0±3.3ABCDc | 23.3±3.3ABCb | 38.9±2.6BCDa | 21.6; <0.01 |
| | | 0.2 | 17.8±1.5ABc | 26.6±2.3ABb | 45.5±1.7ABa | 55.8; <0.01 |
| | | $F_{13,112}$;$P$ | 7.1; <0.01 | 13.0; <0.01 | 28.0; <0.01 | |

Means followed by the same lower case letter in each row and upper case letter within each column are not significantly different using Tukey's *post hoc* Honestly Significant Difference (HSD) test at $P > 0.05$.

**جدول ۳- میانگین ± خطای معیار درصد تلفات اولیه لاروهای کوچک لمبه گندم در سطح استیل گالوانیزه تیمارشده با سه حشره‌کش مختلف به تنهایی و بارگذاری‌شده در نانو ذرات سیلیکا**

**Table 3. Mean immediate mortality% (± SE) of *T. granarium* small larvae exposed on galvanized steel treated with three different insecticides and insecticide-loaded SNPs**

| | Formulations | Concentration ($g(a.i.)/m^2$) | Time (day) 1 | 3 | 7 | $F_{2,24}$;$P$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Insecticide | Deltamethrin | 0.0025 | 0.0±0.0Bc | 18.8±1.1BCb | 35.5±2.4Ga | 133.7; <0.01 |
| | | 0.005 | 0.0±0.0Bc | 24.4±1.7ABb | 46.6±4.4FGa | 59.3; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Bb | 5.5±2.4Db | 35.5±2.4Ga | 93.5; <0.01 |
| | | 0.01 | 3.3±1.7ABc | 14.4±3.BCD7b | 42.2±2.2FGa | 54.9; <0.01 |
| | | 0.1 | 3.3±1.7ABc | 16.6±1.7BCDb | 53.3±1.7EFa | 241.3; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 5.5±1.7Db | 34.4±1.7Ga | 166.2; <0.01 |
| | | 0.2 | 0.0±0.0Bc | 11.1±2.6CDb | 64.4±4.1CDEa | 149.8; <0.01 |
| In-SNP | Deltamethrin | 0.0025 | 1.1±1.1Bc | 25.5±4.4ABb | 74.4±3.4BCa | 129.0; <0.01 |
| | | 0.005 | 2.2±1.5Bc | 32.2±2.2Ab | 90.0±2.8Aa | 386.9; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Bb | 5.5±2.4Db | 52.2±4.0EFa | 112.6; <0.01 |
| | | 0.01 | 3.3±1.7ABc | 17.7±3.2BCDb | 54.4±2.4DEFa | 108.8; <0.01 |
| | | 0.1 | 3.3±1.7ABc | 21.1±3.0ABCb | 68.8±2.6BCDa | 180.1; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 5.5±1.7Ac | 13.3±3.3BCDb | 41.1±2.6FGa | 49.9; <0.01 |
| | | 0.2 | 0.0±0.0Bc | 21.1±1.1ABCb | 82.2±4.0ABa | 316.5; <0.01 |
| | | $F_{13,112}$;$P$ | 2.8; <0.01 | 9.0; <0.01 | 35.0; <0.01 | |

Means followed by the same lower case letter in each row and upper case letter within each column are not significantly different using Tukey's *post hoc* Honestly Significant Difference (HSD) test at $P > 0.05$.

درصد تلفات تأخیری لاروهای کوچک لمبه گندم در سطح استیل نشان داد که بیشترین درصد تلفات در غلظت ۰/۰۰۵ نانو سیلیکا- دلتامترین (۷۰ درصد) و غلظت ۰/۱ گرم ماده موثر بر مترمربع نانو سیلیکا- پایری‌پروکسی‌فن (۶۵/۵ درصد)، ۷ روز پس از تیمار بود (جدول ۴). میانگین درصد تلفات اولیه لاروهای بزرگ لمبه گندم در سطح موزاییک، ۱ روز پس از تیمار کمتر از ۴ درصد گزارش شد. ولی با افزایش زمان به ۷ روز به ۶۸/۸ درصد در غلظت ۰/۰۰۵ گرم ماده موثر بر مترمربع نانو سیلیکا- دلتامترین رسید. در صورتی‌که در همان غلظت و زمان، کاربرد دلتامترین به تنهایی باعث ۲۲/۲ درصد تلفات شد (جدول ۵). در کاربرد حشره‌کش‌های دلتامترین و کلروپیریفوس به تنهایی و یا بارگذاری‌شده با نانو سیلیکا روی تلفات تأخیری لاروهای بزرگ لمبه گندم در سطح موزاییک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در صورتی‌که، کاربرد بالاترین غلظت پایری‌پروکسی‌فن باعث ۸/۸ درصد تلفات، ۷ روز پس از تیمار شد که در همان غلظت نانو سیلیکا- پایری‌پروکسی‌فن، ۳۶/۶ درصد تلفات ایجاد کرد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان، درصد تلفات به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۶). درصد تلفات اولیه لاروهای بزرگ لمبه در سطح استیل نشان داد که بیشترین درصد تلفات در بالاترین غلظت نانو سیلیکا- کلروپایریفوس و نانو سیلیکا- دلتامترین، ۷ روز پس از تیمار به ترتیب ۷۰ و ۶۸ درصد بود (جدول ۷). در جدول ۸، درصد تلفات تأخیری لاروهای بزرگ لمبه در سطح استیل نشان داد که درصد تلفات به طور معنی‌داری با افزایش زمان تیمار افزایش یافت. بیشترین درصد تلفات در بالاترین غلظت نانو سیلیکا- دلتامترین (۴۷/۷ درصد)، نانو سیلیکا- پایری‌پروکسی‌فن (۳۷/۷ درصد) و نانو سیلیکا- کلروپایریفوس (۴۵/۵ درصد) در زمان ۷ روز بود (جدول ۸).

**جدول ٤- میانگین ± خطای معیار درصد تلفات تأخیری لاروهای کوچک لمبه گندم در سطح استیل گالوانیزه تیمارشده با سه حشره‌کش مختلف به تنهایی و بارگذاری‌شده در نانو ذرات سیلیکا**

**Table 4. Mean delayed mortality% (± SE) of *T. granarium* small larvae exposed on galvanized steel treated with three different insecticides and insecticide-loaded SNPs**

| | Formulations | Concentration ($g(a.i.)/m^2$) | Time (day) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 3 | 7 | $F_{2,24}$;P |
| Insecticide | Deltamethrin | 0.0025 | 5.5±2.4DEc | 15.5±2.9CDEb | 35.5±3.4DEFa | 27.0; <0.01 |
| | | 0.005 | 11.1±2.6BCDc | 20.0±2.3BCDb | 44.4±1.7CDa | 57.9; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Eb | 4.4±2.4Eb | 15.5±4.4Ga | 7.5; <0.01 |
| | | 0.01 | 2.2±1.5Ec | 8.9±2.0DEb | 24.4±2.4FGa | 32.4; <0.01 |
| | | 0.1 | 5.5±1.7DEc | 12.2±2.2CDEb | 30.0±2.3EFa | 35.2; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 10.0±2.3CDEc | 14.4±1.7CDEb | 24.4±2.4FGa | 7.2; <0.01 |
| | | 0.2 | 6.6±1.7DEc | 17.7±3.2BCDb | 33.3±4.4DEFa | 22.2; <0.01 |
| In-SNP | Deltamethrin | 0.0025 | 0.0±0.0Ec | 21.1±2.6BCDb | 55.5±1.7BCa | 238.8; <0.01 |
| | | 0.005 | 8.9±2.0CDEc | 28.9±2.6ABb | 70.0±2.3Aa | 178.0; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 5.5±1.7DEc | 17.7±2.8BCDb | 38.9±2.6DEa | 48.4; <0.01 |
| | | 0.01 | 13.3±2.9BCDc | 23.3±1.7ABCb | 53.3±1.7BCa | 93.6; <0.01 |
| | | 0.1 | 21.1±2.6ABc | 34.4±1.7Ab | 65.5±1.7ABa | 120.3; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 18.9±3.5ABCc | 30.0±4.0ABb | 46.6±3.7CDa | 13.7; <0.01 |
| | | 0.2 | 24.4±2.9Ac | 35.5±2.4Ab | 53.3±1.7BCa | 36.8; <0.01 |
| | | $F_{13,112}$;P | 12.6; <0.01 | 13.1; <0.01 | 33.5; <0.01 | |

Means followed by the same lower case letter in each row and upper case letter within each column are not significantly different using Tukey's *post hoc* Honestly Significant Difference (HSD) test at $P > 0.05$.

**جدول ٥- میانگین ± خطای معیار درصد تلفات اولیه لاروهای بزرگ لمبه گندم در سطح موزاییک تیمارشده با سه حشره‌کش مختلف به تنهایی و بارگذاری‌شده در نانو ذرات سیلیکا**

**Table 5. Mean immediate mortality% (± SE) of *T. granarium* large larvae exposed on mosaic treated with three different insecticides and insecticide-loaded SNPs**

| | Formulations | Concentration ($g(a.i.)/m^2$) | Time (day) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 3 | 7 | $F_{2,24}$;P |
| Insecticide | Deltamethrin | 0.0025 | 0.0±0.0Bc | 7.7±2.2ABCb | 18.8±2.0DEFa | 30.2; <0.01 |
| | | 0.005 | 0.0±0.0Bc | 11.1±2.6Ab | 22.2±2.2DEa | 31.5; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0 B | 0.0±0. 0 C | 0.0±0.0 H | - |
| | | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Cb | 5.5±1.7GHa | 10.0; <0.01 |
| | | 0.1 | 2.2±1.5ABb | 2.2±1.5BCb | 17.7±6.1DEFa | 5.6; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Cb | 6.6±1.6FGHa | 16.0; <0.01 |
| | | 0.2 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Cb | 30.0±3.7CDa | 64.0; <0.01 |
| In-SNP | Deltamethrin | 0.0025 | 0.0±0.0Bb | 2.2±1.5BCb | 56.6±3.3Ba | 232.8; <0.01 |
| | | 0.005 | 0.0±0.0Bb | 2.2±1.5BCb | 68.8±2.6Aa | 513.6; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0 B | 1.1±1.1 C | 1.1±1.1 H | 0.6; 0.610 |
| | | 0.01 | 1.1±1.1ABb | 5.5±2.4ABCb | 20.0±2.3DEFa | 23.1; <0.01 |
| | | 0.1 | 3.3±1.7Ac | 10.0±3.3ABb | 37.8±3.2Ca | 41.0; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Cb | 12.2±1.5EFGa | 69.1; <0.01 |
| | | 0.2 | 0.0±0.0Bb | 2.2±1.5BCb | 36.6±2.3Ca | 164.3; <0.01 |
| | | $F_{13,112}$;P | 2.46; <0.01 | 5.66; <0.01 | 53.2; <0.01 | |

Means followed by the same lower case letter in each row and upper case letter within each column are not significantly different using Tukey's *post hoc* Honestly Significant Difference (HSD) test at $P > 0.05$. Where no letters exist, no significant differences were noted.

**جدول ٦- میانگین ± خطای معیار درصد تلفات تأخیری لاروهای بزرگ لمبه گندم در سطح موزاییک تیمارشده با سه حشره‌کش مختلف به تنهایی و بارگذاری‌شده در نانو ذرات سیلیکا**

**Table 6. Mean delayed mortality% (± SE) of *T. granarium* large larvae exposed on mosaic treated with three different insecticides and insecticide-loaded SNPs**

| | Formulations | Concentration (g(a.i.)/m$^2$) | Time (day) 1 | 3 | 7 | $F_{2,24}$;P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Insecticide | Deltamethrin | 0.0025 | 4.4±1.7ABb | 8.9±2.6CDEb | 21.1±2.6BCDa | 13.4; <0.01 |
| | | 0.005 | 4.4±1.7ABc | 12.2±2.2ABCb | 32.2±2.8ABa | 39.1; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Fb | 3.3±1.7Fa | 4.0; 0.032 |
| | | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Fb | 5.5±2.4EFa | 5.26; 0.013 |
| | | 0.1 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Fb | 8.8±2.6DEFa | 11.6; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 4.4±1.7ABb | 8.9±2.0CDEb | 14.4±1.7CDEFa | 7.4; <0.01 |
| | | 0.2 | 7.8±2.2Ac | 15.5±2.9ABb | 26.7±2.9BCa | 12.3; <0.01 |
| In-SNP | Deltamethrin | 0.0025 | 0.0±0.0Bc | 10.0±2.3 CDb | 22.2±2.2BCDa | 35.4; <0.01 |
| | | 0.005 | 4.4±1.7ABc | 15.5±1.7ABb | 36.7±1.7Aa | 89.7; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Bb | 1.1±1.1EFb | 11.1±3.0DEFa | 10.4; <0.01 |
| | | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 2.2±1.5DEFb | 17.7±2.2CDEa | 39.6; <0.01 |
| | | 0.1 | 2.2±1.5ABc | 10.0±1.7BCDb | 36.6±3.3Aa | 61.0; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 2.2±1.5ABc | 12.2±1.5ABCb | 18.9±2.0CDa | 25.3; <0.01 |
| | | 0.2 | 4.4±1.7ABc | 20.0±1.7Ab | 32.2±3.2ABa | 35.5; <0.01 |
| | | $F_{13,112}$;P | 4.4; <0.01 | 24.5; <0.01 | 27.6; <0.01 | |

Means followed by the same lower case letter in each row and upper case letter within each column are not significantly different using Tukey's *post hoc* Honestly Significant Difference (HSD) test at $P > 0.05$.

**جدول ۷- میانگین ± خطای معیار درصد تلفات اولیه لاروهای بزرگ لمبه گندم در سطح استیل گالوانیزه تیمارشده با سه حشره‌کش مختلف به تنهایی و بارگذاری‌شده در نانو ذرات سیلیکا**

**Table 7. Mean immediatemortality % (± SE) of *T. granarium* large larvae exposed on galvanized steel treated with three different insecticides and insecticide-loaded SNPs**

| | Formulations | Concentration (g(a.i.)/m$^2$) | Time (day) 1 | 3 | 7 | $F_{2,24}$;P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Insecticide | Deltamethrin | 0.0025 | 0.0±0.0Bc | 14.4±1.7ABb | 30.0±3.3EFa | 47.5; <0.01 |
| | | 0.005 | 0.0±0.0Bc | 15.5±1.7Ab | 45.5±3.4CDEa | 110.9; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Db | 8.9±2.6Ga | 11.6; <0.01 |
| | | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Db | 6.6±2.3Ga | 8.0; <0.01 |
| | | 0.1 | 0.0±0.0Bb | 2.2±1.5CDb | 21.1±3.9FGa | 23.3; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 4.4±1.7CDb | 36.6±2.3DEFa | 139.0; <0.01 |
| | | 0.2 | 0.0±0.0Bc | 11.1±2.6ABCb | 54.4±5.8ABCa | 61.4; <0.01 |
| In-SNP | Deltamethrin | 0.0025 | 0.0±0.0Bb | 3.3±1.7CDb | 55.5±3.7ABCa | 205.1; <0.01 |
| | | 0.005 | 1.1±1.1ABb | 5.5±1.7BCDb | 67.7±3.2ABa | 281.3; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Bb | 0.0±0.0Db | 10.0±2.9Ga | 12.0; <0.01 |
| | | 0.01 | 0.0±0.0Bb | 5.5±1.7BCDb | 34.4±1.7EFa | 166.2; <0.01 |
| | | 0.1 | 3.3±1.7Ac | 14.4±3.7ABb | 52.2±3.6BCDa | 65.1; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 0.0±0.0Bc | 7.7±2.2ABCDb | 41.1±2.6CDEa | 122.0; <0.01 |
| | | 0.2 | 0.0±0.0Bc | 16.7±1.7Ab | 70.0±4.7Aa | 160.4; <0.01 |
| | | $F_{13,112}$;P | 2.9; <0.01 | 10.7; <0.01 | 37.4; <0.01 | |

Means followed by the same lower case letter in each row and upper case letter within each column are not significantly different using Tukey's *post hoc* Honestly Significant Difference (HSD) test at $P > 0.05$.

**جدول ۸- میانگین ± خطای معیار درصد تلفات تأخیری لاروهای بزرگ لمبه گندم در سطح استیل گالوانیزه تیمارشده با سه حشره‌کش مختلف به تنهایی و بارگذاری‌شده در نانو ذرات سیلیکا**

**Table 8. Mean delayed mortality% (± SE) of *T. granarium* large larvae exposed on galvanized steel treated with three different insecticides and insecticide-loaded SNPs**

| | Formulations | | Time (day) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Concentration ($g(a.i.)/m^2$) | 1 | 3 | 7 | $F_{2,24}$;P |
| Insecticide | Deltamethrin | 0.0025 | 4.4±1.7ABCc | 11.1±2.6CDEFb | 28.9±2.0BCDa | 34.5; <0.01 |
| | | 0.005 | 4.4±1.7ABCc | 20.0±2.3ABCb | 38.9±2.6ABCa | 57.8; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Cb | 0.0±0.0Fb | 13.3±3.3Fa | 16.0; <0.01 |
| | | 0.01 | 0.0±0.0Cb | 0.0±0.0Fb | 15.5±1.7EFa | 52.3; <0.01 |
| | | 0.1 | 0.0±0.0Cb | 0.0±0.0Fb | 20.0±1.7DEFa | 144.0; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 6.6±1.7ABCc | 14.4±2.9CDEb | 32.2±2.2BCDa | 31.4; <0.01 |
| | | 0.2 | 11.1±3.5ABb | 17.8±4.0BCDb | 37.8±4.6ABCa | 11.5; <0.01 |
| In-SNP | Deltamethrin | 0.0025 | 5.5±1.7ABCc | 13.3±1.7CDEb | 31.1±2.6BCDa | 40.6; <0.01 |
| | | 0.005 | 7.7±2.2ABCc | 17.7±1.5BCDb | 47.7±2.8Aa | 87.7; <0.01 |
| | Pyriproxyfen | 0.001 | 0.0±0.0Cc | 5.5±2.4EFb | 13.3±2.3Fa | 11.8; <0.01 |
| | | 0.01 | 0.0±0.0Cc | 6.6±2.3DEFb | 26.6±2.3CDEa | 52.0; <0.01 |
| | | 0.1 | 3.3±1.7BCc | 15.5±3.4BCDEb | 37.7±2.8ABCa | 41.7; <0.01 |
| | Chlorpyrifos | 0.01 | 10.0±1.7ABc | 26.6±2.9ABb | 41.1±3.0ABa | 35.1; <0.01 |
| | | 0.2 | 12.2±2.2Ac | 31.1±2.0Ab | 45.5±2.4Aa | 56.5; <0.01 |
| | | $F_{13,112}$;P | 6.8; <0.01 | 17.0; <0.01 | 18.3; <0.01 | |

Means followed by the same lower case letter in each row and upper case letter within each column are not significantly different using Tukey's *post hoc* Honestly Significant Difference (HSD) test at $P > 0.05$.

## بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که درصد تلفات لاروهای کوچک و بزرگ لمبه گندم با افزایش زمان افزایش می‌یابد. در پژوهشی، اثر حشره‌کش‌های مختلف شامل دی‌کلروووس (ارگانوفسفره)، مالاتیون (ارگانوفسفره)، کلروپیریفوس‌متیل (ارگانوفسفره)، پیریمفوس‌متیل (ارگانوفسفره) و دلتامترین (پایروتروئید) روی شپشه گندم، *Sitophilus granarius* L. در زمان‌های ۳، ۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تیمار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سمیت حشره‌کش‌ها با گذشت زمان افزایش یافت و بیشترین اثر حشره‌کشی مربوط به حشره‌کش کلروپایریفوس‌متیل بود (Kljajic and Peric, 2007). در آزمایشی مشخص شد که زمان ۱۴ روز مورد نیاز است تا حشره‌کش‌های پریمفوس‌متیل (فسفره) و سایپرمترین (پایروتروئید) بتوانند کنترل مناسبی روی حشرات بالغ شپشه گندم (*S. granarius*) و لارو شب‌پره هندی (*P. interpunctela*) در سطح بتنی ایجاد کنند (Andric et al., 2014). در مطالعه دیگری، Athanassiou et al. (2015) اثر حشره‌کش‌های آلفاسایپرمترین و تیامتوکسام را روی حشرات بالغ و لاروهای کوچک و بزرگ لمبه گندم، *T. granarium*، در سطح بتن ارزیابی کردند. نتایج ایشان نشان داد که درصد تلفات با گذشت زمان از ۳ به ۷ روز افزایش یافت. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های این پژوهشگران مطابقت داشت. علاوه بر مدت زمان تیمار، غلظت نیز در ایجاد تلفات تاثیر معنی‌داری دارد؛ به طوری‌که با افزایش غلظت درصد تلفات لارو لمبه گندم افزایش یافت. در استفاده از حشره‌کش‌ها و نانوسیلیکای بارگذاری شده با حشره‌کش‌ها روی همه سطح‌های مورد آزمایش، نتایج نشان داد که تلفات لاروهای کوچک و بزرگ لمبه گندم با افزایش غلظت حشره‌کش مورداستفاده افزایش می‌یابد. مطالعات روی چند گونه شپش انباری روی سطح سیمان نشان داد که با افزایش غلظت، درصد تلفات به طور معنی‌داری افزایش یافت (Athanassiou et al., 2011). بررسی اثر حشره‌کش مالاتیون روی شپشه ذرت، *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)، در چند غلظت صورت گرفت و نتایج نشان داد که استفاده از غلظت‌های بالاتر مالاتیون حفاظت بهتری برای یک دوره طولانی ایجاد می‌کند (Yuya et al., 2009). با توجه به این که لمبه گندم نسبت به سایر سوسک‌های انباری مقاومت بیشتری به حشره‌کش‌ها دارد؛ از این‌رو، بیشترین غلظت توصیه شده از هر حشره‌کش برای کنترل جمعیت لمبه گندم مورد نیاز است (Kavallieratos et al., 2016).

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، در بیشتر موارد درصد تلفات لاروها در سطح استیل‌گالوانیزه بیشتر از موزاییک بود. Nayak et al. (2003) گزارش دادند که سمیت چهار حشره‌کش فسفره (آزامیتفوس، فنیتروتیون، کلروپیریمفوس‌متیل و پیریمفوس‌متیل) علیه سه گونه شپش انباری در استیل گالوانیزه به طور معنی‌داری بیشتر از بتن بود. Arthur (2008) بیان کرد که درصد تلفات حشرات بالغ شپشه آرد روی سطح‌هایی که صیقلی‌تر هستند (مانند شیشه و استیل) به‌مراتب بیشتر از سایر سطح‌ها است. هر چند نوع و فرمولاسیون حشره‌کش نقش مهمی در توانایی حشره‌کشی آن در سطح‌های مختلف علیه آفات انباری دارد. به عنوان مثال فرمولاسیون‌های پودر وتابل دارای توانایی حشره‌کشی بیشتری در مقایسه با فرمولاسیون امولسیون یک حشره‌کش دارند. این می‌تواند به دلیل جذب سریع‌تر فرمولاسیون‌های امولسیون در منافذ سطوح مختلف باشد. درصورتی‌که فرمولاسیون‌های پودر وتابل برای مدت زمان طولانی روی سطح باقی می‌ماند. در مطالعه حاضر، درصد تلفات لاروها در سطح استیل-گالوانیزه بیشتر از موزاییک که می‌تواند به دلیل صیقلی بودن سطح تیمار باشد. در صورتی‌که، نوع فرمولاسیون هر سه حشره‌کش دلتامترین، پایری‌پروکسی‌فن و کلروپایریفوس امولسیون بودند. نتایج ما نشان داد که دلتامترین و پس از آن کلروپایریفوس بیشترین سمیت را روی لارو لمبه گندم داشتند. دلتامترین از گروه سموم

پایروتروئیدی و کلروپایریفوس از سموم فسفره هستند، در صورتی‌که پایری‌پروکسی‌فن متعلق به گروه تنظیم کننده‌های رشد حشرات است. در مطالعه‌ای اثر حشره‌کشی حشره‌کش‌های فسفره و پایروتروئیدی روی لارو سن آخر *Trogoderma variabile* Ballion بررسی شد. در بررسی تلفات اولیه به ترتیب بیشترین سمیت توسط حشره‌کش‌های کلروپیریمفوس‌متیل، پیریمفوس‌متیل، آزامتیفوس، پرمترین و دلتامترین مشاهده شد. ولی بررسی دوام این حشره‌کش‌ها، ۳۲ هفته بعد از محلول‌پاشی نشان داد که سمیت حشره‌کش‌های فسفره به طور معنی‌داری کاهش یافته و پرمترین بیشتر از بقیه تیمارها باعث کنترل لارو لمبه شد (Wallbank, 1994). مطالعات روی دو گونه شپش انباری *Liposcelis bostrychophia* (Enderlein) و *L. entomophila* (Badonne) با سه حشره‌کش کلرفناپیر، سیفلوترین و یک پیرترین نشان داد که حشره‌کش کلروفناپیر برخلاف دو حشره‌کش پایروتروئیدی توانایی حشره‌کشی بیشتری داشت (Guedes et al., 2008). Kavallieratos et al. (2016)، لارو کوچک و بزرگ لمبه گندم را به مدت ۱، ۳ و ۷ روز در سطح بتنی تیمار شده با حشره‌کش‌های کلروفناپیر، دلتامترین، پیریمفوس متیل، پایری‌پروکسی‌فن و اسپینوزاد قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد کلروفناپیر بیشترین و پایری‌پروکسی‌فن کمترین اثر حشره‌کشی را در مقایسه با سایر حشره‌کش‌های مورد آزمایش داشت. در پژوهش حاضر نیز در بیشتر موارد پایری‌پروکسی‌فن کمترین اثر حشره‌کشی را در مقایسه با دلتامترین و کلروپایریفوس از خود نشان داد.

در مطالعه حاضر نتایج نشان داد که استفاده از نانو ذرات سیلیکا به‌عنوان حامل حشره‌کش روی لاروهای لمبه گندم در مقایسه با کاربرد حشره‌کش به تنهایی میزان کشندگی بیشتری دارد. مطالعات Wen et al. (2005) نشان داد که تخلل نانو ذرات سیلیکا باعث جذب سطحی این حشره‌کش و رهایش کنترل شده آن می‌شود. کنترل رهایش منجر به افزایش اثر، دوام و پایداری حشره‌کش و کاهش دز مورد نیاز آن می‌شود.

با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از حشره‌کش‌های بارگذاری‌شده در نانو ذرات سیلیکا باعث افزایش معنی‌داری در تلفات لاروهای لمبه گندم نسبت به کاربرد حشره‌کش به تنهایی می‌شود. بنابراین، می‌توان از نانو ذرات سیلیکا به‌عنوان حامل حشره‌کش‌ها برای کنترل مراحل مختلف زیستی آفات انباری استفاده کرد.

## سپاس‌گزاری

بدینوسیله از دانشگاه شهید چمران اهواز به دلیل حمایت از این پژوهش (شماره طرح: ۱۲۶۹) تقدیر و تشکر می‌گردد.

## REFERENCES

Abbott, W.S. 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology, 18: 265-267.

Andric, G., Kljajic, P., and Prazic-Golic, M. 2014. Residual efficacy of cypermethrin and pirimiphos-methyl against *Sitophilus granarius* (L.) and *Plodia interpunctella* (Hübner) on concrete surface. Pesticidi i Fitomedicina, 29 (4): 275-281.

Arthur, F.H. 2008. Efficacy of chlorfenapyr against *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) adults exposed on concrete, vinyl tile, and plywood surfaces. Journal of Stored Products Research, 44(2): 145-151.

Athanassiou, C.G., Arthur, F.H., Kavallieratos, N.G., and Throne, J.E. 2011. Efficacy of pyriproxyfen for control of stored-product psocids (Psocoptera) on concrete surfaces. Journal of Economic Entomology, 104(5): 1765-1769.

Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Boukouvala, M.C., Mavroforos, M.E. and Kontodimas, D.C. 2015. Efficacy of alpha-cypermethrin and thiamethoxam against *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) and *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) on concrete. Journal of Stored Products Research, 62: 101-107.

Babamir-Satehi, A., Ziaee, M., and Ashrafi, A. 2018. Silica nanoparticles: a potential carrier of chlorpyrifos to control two stored-product insect pests as slurries. Entomologia Generalis, 37: 77-91.

Bagheri Zenoze, A. 2013. Pests and Harmful Storage Factors and their Management, Fourth Edition, University of Tehran Publications, Tehran, 352 p.

Barik, T., Kamaraju, R., and Gowswami, A. 2012. Silica nanoparticle: a potential new insecticide for mosquito vector control. Parasitology Research, 111: 1075-1083.

Chakravarthy, A., Kandakoor, S., Bhattacharya, A., Dhanabala, K., Gurunatha, K., and Ramesh, P. 2012. Bioefficacy of inorganic nanoparticles CdS, Nano-Ag and Nano-$TiO_2$ against *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). Current Biotica, 6: 271-281.

Debnath, N., Das, S., Patra, P., Mitra, S., and Goswami, A. 2012. Toxicological evaluation of entomotoxic silica nanoparticle. Toxicological & Environmental Chemistry, 94: 944-951.

Debnath, N., Das, S., Seth, D., Chandra, R., Bhattacharya, S.C., and Goswami, A. 2011. Entomotoxic effect of silica nanoparticles against *Sitophilus oryzae* (L.). Journal of Pest Science, 84(1): 99-105.

Guedes, R.N.C., Campbell, J.F., Arthur, F.H., Opit, G.P., Zhu, K.Y., and Throne, J.E. 2008. Acute lethal and behavioral sublethal responses of two stored-product psocids to surface insecticides. Pest Management Science, 64(12): 1314-1322.

Hill, D.S. 2002. Types of pests. In Pests of stored foodstuffs and their control. Malaysia: Kluwer Academic Publishers, Springer. pp.: 55-63.

Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Barda, M.S., and Boukouvala, M.C. 2016. Efficacy of five insecticides for the control of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) larvae on concrete. Journal of Stored Products Research, 66: 18-24.

Kljajic, P., and Peric, I. 2007. Effectiveness of wheat-applied contact insecticides against *Sitophilus granarius* (L.) originating from different populations. Journal of Stored Products Research, 43(4): 523-529.

Misumi, T., Kitamura, H., and Oogita, T. 2008. Simple analysis method to measure phosphine residue in grains, herbs, and spices using headspace gas chromatography. Research Bulletin of the Plant Protection Service, Yokohama Plant Protection Station, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Yokohama, Japan. pp. 13-20.

Nayak, M.K., Collins, P.J., and Kopittke, R.A. 2003. Residual toxicities and persistence of organophosphorus insecticides mixed with carbaryl as structural treatments against three liposcelid psocid species (Psocoptera: Liposcelididae) infesting stored grain. Journal of Stored Products Research, 39 (4): 343-353.

Rajendran, S. 2001. Alternatives to methyl bromide as fumigants for stored food commodities. Pesticide Outlook, 12(6): 249-253.

SPSS. 2007. Spss 16 for windows user's guide release, SPSS Inc, Chicago.

Stadler, T., Buteler, M., and Weaver, D.K. 2010. Novel use of nanostructured alumina as an insecticide. Pest Management Science, 66: 577-579.

Wallbank, B.E. 1994. Effectiveness of residual insecticides against warehouse beetle, *Trogoderma variabile* Ballion. p. 853-856. In Highley, E., Wright, E.J., Banks, H., and Champ, B.R. (eds.) Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-product Protection. CAB International, Canberra, Australia.

Wen, L.X., Li, Z.Z., Zou, H.K., Liu, A.Q., and Chen, J.F. 2005. Controlled release of avermectin from porous hollow silica nanoparticles. Pest Management Science, 61: 583-590.

Yuya, A.I., Tadesse, A., Azerefegne, F., and Tefera, T. 2009. Efficacy of combining Niger seed oil with malathion 5% dust formulation on maize against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Stored Products Research, 45: 67-70.

© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

# Insecticidal Efficacy of Silica Nanoparticles Loaded with Several Insecticides in Controlling Khapra Beetle Larvae, *Trogoderma granarium* on Mosaic and Galvanized Steel Surfaces

M. Ziaee[1*] and A. Babamir-Satehi[2]

1. ***Corresponding Author:** Associate Professor of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (m.ziaee @scu.ac.ir)

2. Ph.D. candidate of Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(DOI): 10.22055/PPR.2020.15975

Received: 13 July 2020 Accepted: 24 October 2020

## Abstract

### Introduction

The incidence of pests' resistance to pesticides, adverse effects of pesticides on non-target species, and environmental hazards have increased the tendency of applying various pests control techniques. Nanopesticide formulations are thus considered as one of the recent techniques in controlling pests. Using this technology increases the effectiveness of pesticides under various environmental conditions, including light and hot situations. Indeed, it decreases the amount of pesticide use and ultimately decreases the chance of pests' resistance to insecticides.

### Materials and Methods

In the current study, the silica nanoparticles were prepared using the sol-gel method and loaded with deltamethrin, pyriproxyfen, and chlorpyrifos. The mosaic and galvanized steel surfaces were treated with either deltamethrin (0.0025 and 0.005 g(a.i.)/$m^2$), pyriproxyfen (0.001, 0.01 and 0.1 g(a.i.)/$m^2$) and chlorpyrifos (0.01 and 0.2 g(a.i.)/$m^2$) alone or loaded in nanosilica. The experiments were carried out at 3 replicates, and 3 sub replicates. In each replicate, 10 small or large larvae of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) were introduced, and 2 g wheat Chamran variety was utilized as food source. All experiments were conducted at 30±1 °C, 65±5 % RH, and darkness. The initial mortality of small and large larvae of *T. granarium* was counted 1, 3, and 7 days after exposure, and delayed mortality was assessed 7 days thereafter. For each larval group, the variance analysis of initial and delayed mortality was subjected to the factorial test (concentration and time as main effects). Means were separated by Tukey Kramer HSD test at $P$ =0.05 using SPSS software version 16.

**Results and Discussion**

Results indicated that initial and delayed mortality increased by raising concentration levels and exposing time to each concentration in all experiments. In all cases, the small larvae of *T. granarium* were more sensitive than large larvae. Deltamethrin, followed by chlorpyrifos, was the most toxic to the larvae of *T. granarium*. Due to our findings, the mortality was dramatically higher in galvanized steel than the mosaic one. It could be attributed to the steel's flat surface, reducing insecticide residues' absorbance within the surface. Moreover, the insecticidal efficacy of nanosilica loaded with insecticides was significantly greater than the application of insecticides without nanosilica. Utilizing nanoparticles, we found an increase in the ratio of surface area to volume of insecticides, resulting in more insect contact to insecticide particles and eventually improved the mortality rate of insecticide.

**Conclusion**

It is therefore concluded that the application of loaded insecticides in silica nanoparticles significantly increased *T. granarium* larvae's mortality rate. Furthermore, silica nanoparticles can be introduced as the carrier of insecticides to control *T. granarium* in the stored wheat efficiently. Besides, deltamethrin loaded SNPs is potentially recommended as one capable component that can be effectively conducted during pest management programs in terms of stored products pest control.

***Keywords:*** *Carrier, Stored products, Nanoparticles, Trogoderma granarium*