نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 4، زمستان 1394، ص. 557-551

Journal of Plant Protection
Vol. 29, No. 4, Winter 2016, P. 551-557

اثر کشندگی نانوسیلیکا (SiO_2) و نانواکسیدمس (CuO) روی شب‌پره آرد، *Ephestia kuehniella* Zeller

رعنا فرزان[1]- حمزه ایزدی[2*]- علی بازماندگان[3]

تاریخ دریافت:1392/12/12
تاریخ پذیرش:1394/02/07

چکیده

براساس آمار سازمان‌های بین‌المللی، هر سال بخش قابل‌توجهی از تولیدات کشاورزی توسط آفات در انبارها از بین می‌روند. برای مبارزه با آفات انباری به‌طور معمول از سموم تدخینی استفاده می‌شود، اما آگاهی از خطرات باقی‌مانده این سموم روی محصولات انباری و نیز افزایش مقاومت به این سموم، اتخاذ یک روش مبارزه مناسب‌تر را ایجاب می‌کند. استفاده از نانوذرات به‌عنوان آفت‌کش به دلیل مشکلات کمتر زیست محیطی و نیز خطرات کمتر برای جانوران خون‌گرم، می‌توانند جایگزین مناسبی باشند. نانوذرات سیلیکا و اکسیدمس به‌کار رفته در این بررسی با روش سونوشیمی و با استفاده از دستگاه التراسونیک تهیه گردیدند. برای انجام آزمایش، جیره غذایی حشرات، با غلظت‌های مختلف نانوذرات تیمار شد، سپس 30 عدد لارو سه روزه داخل هر تیمار قرار داده شد و مرگ‌ومیر مراحل نابالغ بعد از 7، 21 و 51 روز (ظهور حشرات بالغ) در شرایط آزمایشگاهی (دمای 1±27 درجه سلیسیوس، رطوبت نسبی 5±50 درصد و دوره نوری 14 ساعت روشنایی و 10 ساعت تاریکی) ثبت شد. برطبق نتایج حاصل از زیست‌سنجی، در اثر کاربرد نانوسیلیکا و نانواکسید مس در مقایسه با شاهد، با گذشت زمان بر میزان تلفات مراحل نابالغ شب‌پره آرد افزوده شد. میزان دز کشنده پنجاه درصد نانوسیلیکا برای شب‌پره آرد بعد از 7، 21 و 51 روز به‌ترتیب 805، 518 و 403 میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد. در حالی که این میزان برای نانواکسید مس به‌ترتیب 3988، 3820 و 3036 میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد. براساس نتایج به‌دست آمده از این بررسی، نانوذرات سیلیکا در مقایسه با نانواکسید مس از قابلیت بهتری برای کنترل شب پره آرد برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آفات انباری، زیست‌سنجی، نانوذرات

مقدمه

خسارت آفات محصولات انباری در هر سال حدود نه درصد محصول برداشت شده در کشورهای پیشرفته و در حدود 20 درصد محصول در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. میزان این خسارت در بعضی از نقاط جهان و در بخشی از محصولات کشاورزی تا 50 درصد محصول هم می‌رسد. آفات انباری علاوه بر کاهش کمی و کیفی محصول، باعث کاهش بازارپسندی و قدرت جوانه‌زنی آن نیز می‌شوند. در میان آفات انباری، حشرات جایگاه ویژه‌ای دارند. قدرت تکثیر بالا، همه‌جازی و چندخوار بودن در بسیاری از این آفات علت عمده خسارت بالای آن‌ها می‌باشد (15). در میان آفات انباری، شب‌پره آرد *Ephestia kuehniella*(Zeller) (Lep.: Pyralidae) آفت مهمی در سراسر جهان به‌شمار می‌آید. این حشره یکی از آفات مهم آرد و گاهی غلات مانند گندم، ذرت و برنج و هم‌چنین میوه‌های خشک می‌باشد. آرد آلوده به این آفت به علت وجود پوسته‌ها، مدفوع و نیز تارهای تنیده شده توسط لارو مرغوبیت و ارزش نانوایی خود را ازدست می‌دهد (12).

هم‌اکنون کنترل آفات انباری به‌وسیله آفت‌کش‌های شیمیایی به‌ویژه سموم تدخینی انجام می‌گیرد. با وجود انتقادات گسترده‌ی جهانی که در مورد مصرف آفت‌کش‌ها به‌عمل می‌آید، این ترکیبات هنوز یکی از مؤثرترین و باصرفه‌ترین روش‌های کنترل آفات به‌شمار می‌آیند و تا به امروز جانشین مناسبی برای آن‌ها پیدا نشده است. دلیل استفاده‌ی گسترده از سموم تدخینی علیه آفات انباری نه‌تنها به خاطر توانایی این گروه از سموم در از بین بردن طیف وسیعی از آفات، بلکه به علت سهولت نفوذ آن‌ها به داخل توده مواد انباری می‌باشد اما امروزه به دلایل متعددی از جمله ایجاد آلودگی در فرآورده‌های غذایی، تهدید امنیت محیط زیست، خاصیت سرطان‌زایی، تخریب لایه ازون و عوامل دیگر، بسیاری از تدخین‌شونده‌ها کنار گذاشته شده‌اند (5b). بنابراین برای حفاظت از محصولات انباری اتخاذ رویکردی متفاوت ضروری به‌نظر می‌رسد.

1 و 2 – دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد حشره‌شناسی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: izadi@vru.ac.ir)
3- مربی، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان

ترکیبات نانو، ذرات ریزی هستند که دست‌کم یک بعد کمتر از 100 نانومتر دارند. دراین مقیاس، خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی مواد با خواص تک‌تک اتم‌ها، مولکول‌ها یا خواص توده‌ی ماده کاملاً متفاوت است. نانوذرات سیلیکا به‌دلیل افزایش نسبت سطح به حجم در مقایسه با حجم مشابه سیلیکا فعال‌ترند (3). استفاده از نانوذرات به‌عنوان آفت‌کش یک استراتژی جدید برای مبارزه با آفات به‌شمار می‌آید (5b). درحال‌حاضر تأثیر نانوذرات، روی باکتری‌ها، قارچ‌ها و حشرات در آزمایش‌های متعددی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و خاصیت کشندگی این مواد روی آن‌ها به اثبات رسیده است (7). نانوسیلیکا از طرف آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان، ماده‌ای بی‌خطر شناخته شده است (19). بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی مواد با تغییر اندازه آنها تا سطح نانو تغییر می‌یابد. نانو ذرات در مقایسه با ترکیبات غیر نانوی آنها به دلیل افزایش نسبت سطح به حجم واکنش پذیرتر هستند. زیرا در هر واکنش فیزیکی و یا شیمیایی فقط سطح ماده در تماس با شرایط واکنش قرار دارد (13). افزایش اثربخشی آفت‌کش‌های نانو موجب کاهش مصرف آنها در مقایسه با آفت‌کش‌های معمولی می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود مقدار کمتری از ترکیبات نانو در مقایسه با ترکیبات غیر نانو برای حفاظت از محصولات انباری نیاز باشد. به‌علاوه انتقال و جذب هدفمند این آفت‌کش‌ها نه تنها موجب افزایش اثربخشی بلکه موجب کاهش اثرات سوئ آنها بر موجودات زنده غیر هدف می‌شود (1). نانوذرات در بخش‌های مختلف کشاورزی امیدواری‌هایی را نشان داده‌اند (8 و 16). استادلر و همکاران (18) نشان دادند که نانو ذرات آلومینیوم می‌توانند به‌طور موفقیت‌آمیزی در کنترل آفات انباری *Sitophilus oryzae* L. و *Rhyzopertha dominica* F. به‌کار گرفته شوند. حامل‌های نانو برای کاهش حجم پاشش و رهاسازی تدریجی و آهسته سموم طراحی شده‌اند (14). کاربرد نانوسیلیکای آب‌دوست درکنترل برخی ازحشرات آفت در شرایط آزمایشگاه موفقیت‌آمیز بوده است (16). پژوهش‌های دبنات و همکاران (5b) نشان داد که استفاده از نانو ذرات اکسیدسیلیس در سه نوع چربی‌دوست، آب‌دوست و آب‌گریز در دزهای 0/5، 1 و 2 گرم بر کیلوگرم در جیره غذایی *S. oryzae* L. کشندگی مناسبی درحشرات بالغ به همراه داشته است. تحقیقات کریستوس و همکاران (5) نشان داد که نانوسیلیکا به صورت فیزیکی باعث جذب لیپیدهای کوتیکول شده و به لایه‌ی مومی کوتیکول که از اسیدهای چرب گوناگون تشکیل شده وبه عنوان یک سد موثر از تبخیر آب جلوگیری می‌کند، آسیب می‌رساند و از این‌طریق باعث مرگ حشره می‌شود. گوسوامی و همکاران (7) با بررسی اثرات کشندگی نانو ذرات TiO_2، ZnO، $SiO2$ و Al_2O_3 روی حشرات بالغ *S. oryzae* L. نشان دادند که بیشترین کشندگی مربوط به نانو ذرات اکسیدآلومینیوم بود. تاثیر نانو ذرات TiO_2، ZnO، Al_2O_3 و SiO_2 بر روی شته خردل *Lipaphis pseudobrassicae* نشان داد که نانو ذرات SiO_2 و Al_2O_3 تاثیر بسیار زیادی برروی آفت مذکور دارند درحالی‌که TiO_2 تاثیر متوسطی روی این آفت داشت (5a).

به‌دلیل محدود بودن تعداد سموم مصرفی برای کنترل آفات انباری و خطر ایجاد مسمومیت توسط سموم شیمیایی برای جانوران خون‌گرم نیاز به استفاده از سموم با خطر کمتر و فعالیت قابل قبول در مقایسه با سموم متداول بیش از پیش احساس می‌شود. در هرحال هدف این تحقیق بررسی احتمال استفاده موفقیت‌آمیز از نانو ذرات در کنترل آفات انباری است. این موضوع کاهش مصرف سموم را به‌دنبال خواهد داشت.این تحقیق شامل بررسی اثر حشره‌کشی نانوذرات سیلیکا و نانوذرات اکسیدمس روی شب‌پره آرد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پرورش حشرات: برای پرورش شب‌پره آرد یک کیلوگرم آرد سبوس‌دار در ظروف مکعب مستطیل شکل به ابعاد 10×18×25 سانتی‌مترکه به منظور تهویه، در درپوش آن‌ها سوراخی ایجاد و باتوری مسدود شده بود، ریخته شد. سه گرم مخمر آبجو همراه با 0/2 گرم تخم شب‌پره آرد با عمر کمتر از 24 ساعت مخلوط گردید و روی آرد پاشیده شد. تخم‌ها بعد از سه تا پنج روز تفریخ شده و لاروها شروع به تغذیه کردند. حشرات کامل پس از خروج از شفیره‌ها جمع‌آوری و به ظروف تخم‌گیری انتقال داده شدند (6). پرورش حشرات در دمای $27 \pm 1^{\circ}C$ و رطوبت نسبی $5 \pm 50\%$ و دوره نوری 14 ساعت روشنایی و 10 ساعت تاریکی انجام شد.

سنتز نانوذرات: نانوذرات در آزمایشگاه نانو بخش شیمی با روش سونوشیمی (فراصوتی) با استفاده از دستگاه اولتراسونیک تهیه گردید. برای تهیه نانوسیلیکا مقدار 3/8 میلی‌لیتر تترااتیل‌ارتوسیلیکات ($SiC_8H_{20}O_4$)، 2/6 گرم ستیل‌تری‌متیل آمونیوم‌برماید و 2 گرم پلی‌اتیلن گلیکول مخلوط شد. 1/3 میلی‌لیتر هیدروکلریک‌اسید 0/3 مول به آن اضافه شده و حدود 3 ساعت به‌هم زده شد. سپس زیر دستگاه التراسونیک حدود 3 گرم آمونیاک 14/7 مول به آن اضافه گردید. رسوب حاصل در دمای 60 درجه سیلیسیوس خشک و حدود یک ساعت داخل کوره در دمای 600 درجه سیلیسیوس قرار داده‌شد. برای تهیه نانواکسیدمس ابتدا محلول پلی‌اتیلن گلیکول (25 میلی‌لیتر آب و 25 میلی‌لیتر اتانول) با محلول 0/5 مولار نمک استات‌مس مخلوط شد. بعد از حدود 10 دقیقه هم‌زدن (توسط هم‌زن مغناطیسی) محلول داخل دستگاه التراسونیک قرار گرفت و محلول 0/1 مولار سود کم‌کم به آن اضافه شد. بعد از خشک کردن رسوب در دمای 90 درجه سیلیسیوس، داخل کوره در دمای 400 درجه سیلیسیوس قرار داده شد (17).

آزمایش‌های زیست سنجی: برای انجام آزمون‌های

زیست‌سنجی لازم بود آزمون‌های مقدماتی جهت تعیین محدوده حداقل و حداکثر مرگ‌ومیر حشرات صورت گیرد. مرگ‌ومیر به‌صورت درصد حشرات مرده به تعداد اولیه در هر تکرار محاسبه شد. سپس درصد مرگ‌ومیر اصلاح شده بر طبق فرمول ابوت محاسبه گردید (1). دزی که 25 و 75 درصد تلفات (حداقل تلفات حدود 25 درصد) ایجاد کرد به‌ترتیب به‌عنوان پایین‌ترین و بالاترین دز جهت انجام آزمایش‌های اصلی انتخاب شد و دزهای بین آن‌ها با فواصل لگاریتمی مشخص به‌دست آمد (9).

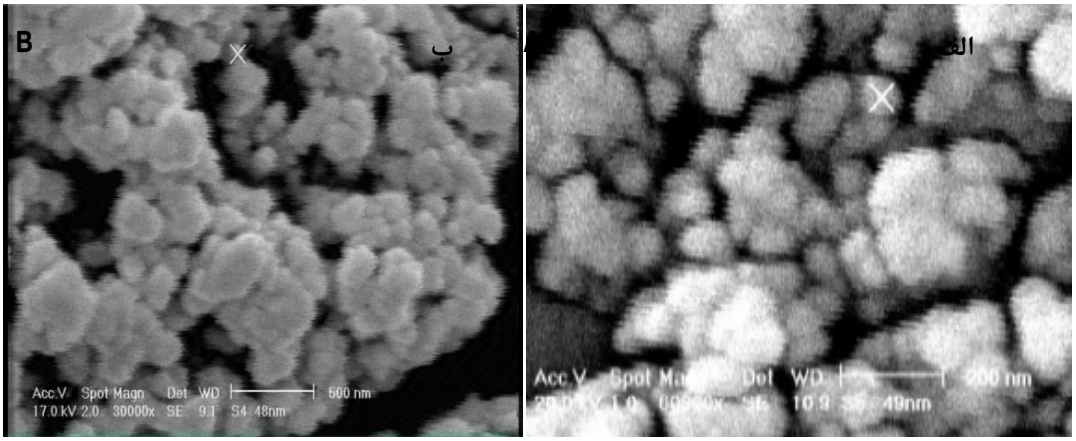
تأثیر تغذیه‌ای نانوذرات روی مرگ‌ومیر شب‌پره مدیترانه‌ای آرد: به‌منظور بررسی اثر نانوذرات برطبق روش دبنات و همکاران (5b) غلظت‌های مختلف نانوسیلیکا شامل: 0/20، 0/287، 0/412، 0/592 و 0/850 میلی‌گرم بر کیلوگرم و نانواکسیدمس شامل: 1/20، 1/60، 2/135، 2/848 و 3/80 میلی‌گرم بر کیلوگرم با مقدار مشخصی جیره غذایی مخلوط شده و سپس 30 عدد لارو 3 روزه شب‌پره آرد داخل هر تیمار قرارداده شد. بعد از گذشت 7 و 21 روز میزان تلفات لاروها و بعد از 51 روز میزان ظهور افراد بالغ شمارش شد. آزمایش‌های اصلی شامل 5 تیمار غلظت‌های مختلف نانوسیلیکا و نانواکسیدمس و هم‌چنین 1 تیمار شاهد بود و برای هر تیمار 4 تکرار درنظرگرفته شد.

اثر تماسی نانوذرات بر مرگ‌ومیر لاروهای شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد: برای بررسی سمیت تماسی نانوسیلیکا روی لاروهای شب‌پره‌ی آرد از لاروهای 15 روزه (لاروهای سن 3) استفاده شد. تعداد 10 عدد لارو در پتری‌های شیشه‌ای به قطر 8 سانتی‌متر قرار داده شدند. پس از تهیه‌ی غلظت‌های مختلف، با استفاده از برج سم‌پاش مقدار 750 میکرولیتر محلول سمی روی پتری‌های حاوی لاروها پاشیده شد. آزمایش از 5 تیمار سم و یک تیمار شاهد تشکیل شد و برای هر تیمار 9 تکرار درنظر گرفته شد. غلظت‌های مورد استفاده در این آزمایش عبارت بودند از: 0/8، 1/64، 1/414، 1/880 و 2/50 میلی‌گرم در لیتر. میزان مرگ‌ومیر لاروها بعد از گذشت 5 روز شمارش شد. نانواکسیدمس در آزمایشات مقدماتی، تلفات معنی‌داری را حتی با کاربرد بالاترین میزان غلظت (4 میلی‌گرم بر لیتر) نشان نداد؛ لذا از انجام آزمایشات اصلی، به دلیل اقتصادی نبودن کاربرد این ماده برای ایجاد میزان تلفات قابل قبول، خودداری شد.

تجزیه داده‌ها: آزمایش‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 مورد تجزیه آماری واقع شدند. درصورت لزوم قبل از تجزیه آماری، داده‌ها با استفاده از تبدیلات لازم نرمال شدند. مقایسه میانگین‌های داده‌های نهایی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 و روش دانکن در سطح 1 درصد انجام شد. برای محاسبه LC_{50} در آزمایشات کشندگی از نرم‌افزار Probit-Analysis-MSchart استفاده گردید.

نتایج و بحث

بررسی اندازه نانو ذرات: نتایج تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که نانو ذرات 70%Zn-28%TiO_2-2%Ag و 70%Zn-29%TiO_2-1%Ag با موفقیت ساخته شده و به‌ترتیب دارای اندازه‌ای معادل 48 و 49 نانومتر می‌باشند (شکل1).



شکل 1- تعیین اندازه نانوذرات توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، الف: نانوذرات 70%Zn-28%TiO_2-2%Ag و ب: نانوذرات 70%Zn-29%TiO_2-1%Ag

Figure 1- Nanoparticles size determination by SEM, A: 70%Zn-28%TiO_2-2%Ag and B: 70%Zn-29%TiO_2-1%Ag

تأثیر نانوسیلیکا روی مرگ‌ومیر لاروهای 3 روزه شب‌پره‌ی آرد

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد، اثر غلظت سم ($F_{(5,36)}$= 145/78 و P<0/01) و اثر مدت زمان قرارگیری در معرض سم ($F_{(1,36)}$= 59/44 و P<0/01) و اثر متقابل غلظت سم در مدت زمان قرارگیری درمعرض سم ($F_{(5,36)}$= 3/62 و P<0/05) معنی‌دار است. بررسی میزان تلفات بعد از 7 روز و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت 850 میلی‌گرم بر لیتر باعث بیشترین تلفات (59 درصد) گردید که با سایر تیمارهای غلظت نانوسیلیکا اختلاف معنی‌داری داشت (جدول 1). همچنین در مقایسه میانگین تلفات ایجاد شده بعد از 21 روز غلظت 850 میلی‌گرم بر لیتر باعث بیشترین تلفات (78/33 درصد) گردید که با سایر تیمارهای غلظت نانوسیلیکا اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین میزان تلفات بعد از 7 روز مربوط به غلظت 287 میلی‌گرم بر لیتر بود که با تلفات حاصل از غلظت 200 و 412 میلی‌گرم بر لیتر در یک گروه دانکن قرار گرفت. تلفات حاصل از غلظت 592 میلی‌گرم بر لیتر در گروه جداگانه‌ای قرار گرفت. اثر نانوسیلیکا بر ظهور حشرات کامل معنی‌دار بود ($F_{(5,18)}$= 292/81 و P<0/01) و در تمام غلظت‌های به‌کار برده شده باعث تلفات در لاروها و جلوگیری از ایجاد حشرات کامل گردید به‌طوری که در غلظت 850 میلی‌گرم بر لیتر تنها 5 درصد ظهور حشرات کامل دیده شد (جدول 1).

نتایج این تحقیق نشان داد که اثر غلظت نانوسیلیکا روی میزان مرگ‌ومیر لاروها و ظهور حشرات کامل شب‌پره‌ی آرد معنی‌دار است. همچنین اثر زمان بر میزان تلفات لاروها معنی‌دار است و با افزایش زمان قرارگیری درمعرض سم میزان تلفات نیز افزایش می‌یابد. بررسی‌های سایر محققین نیز تأیید کننده‌ی این مطلب است. بررسی‌های کریستوس (4) در زمینه‌ی اثرات خاک دیاتومه با داشتن حدود 90 درصد سیلیکا روی لاروهای 15 روزه‌ی شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد در دما و رطوبت‌های مختلف حاکی از این بود که این ترکیب با غلظت 400 میلی‌گرم بر لیتر بعد از 24 ساعت 18 درصد، بعد از 48 ساعت 28 درصد، بعد از یک هفته 50 درصد و بعد از گذشت 2 هفته 75 درصد کشندگی برروی لاروها ایجاد می‌کند. درحالی‌که همین غلظت در شرایط رطوبت 75 درصد و دمای 20 درجه بعد از 24 ساعت 15 درصد، بعد از 48 ساعت 25 درصد، بعد از یک هفته 34 درصد و بعد از گذشت 2 هفته 43 درصد کشندگی برروی لاروها ایجاد کرد. نتایج مشابهی از کاربرد غلظت 800 میلی‌گرم بر لیتر این ترکیب در دما و رطوبت ذکر شده به‌دست آمد. براساس این نتایج افزایش غلظت لزوماً باعث افزایش میزان مرگ‌ومیر در لاروها نمی‌شود بلکه فاکتور رطوبت عامل مهم‌تری در اثربخشی سیلیکا می‌باشد و افزایش رطوبت باعث کاهش چشم‌گیری در میزان مرگ‌ومیر لاروها بعد از تیمار با سیلیکا می‌شود. همچنین عامل زمان نیز اهمیت زیادی در میزان اثربخشی سیلیکا دارد. در یک تحقیق روی لاروهای سن 2 و 3 شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد، خاک دیاتومه با داشتن 92 درصد سیلیکا و اندازه متوسط ذرات 8 تا 12 میکرومتر با غلظت 200 میلی‌گرم بر لیتر بعد از 7 روز کمتر از 20 درصد، بعد از 14 روز 36 درصد و با گذشت 21 روز حدود 60 درصد مرگ‌ومیر در لاروها ایجاد کرد. در این بررسی نیز تلفات لاروها با گذشت زمان به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت (10).

اثر نانوذرات اکسیدمس روی مرگ‌ومیر لاروهای 3 روزه شب‌پره‌ی آرد

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد، اثر غلظت سم ($F_{(5,36)}$= 101/97 و P<0/01) بر میزان تلفات معنی‌دار است، درحالی‌که اثر مدت زمان قرارگیری در معرض سم (P<0/05 و 3/06= (36 ، 1)F) و اثر متقابل غلظت سم در مدت زمان قرارگیری در معرض سم ($F_{(5,36)}$= 0/98 و P<0/05) معنی‌دار نیست. بررسی میزان تلفات بعد از 7 روز و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت 3800 میلی‌گرم بر لیتر باعث بیشترین میزان تلفات (55/83 درصد) گردید که با سایر تیمارهای نانواکسیدمس اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین در مقایسه میانگین تلفات ایجاد شده بعد از 21 روز غلظت 3800 میلی‌گرم بر لیتر باعث بیشترین میزان تلفات (59/17 درصد) گردید که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین میزان تلفات بعد از 7 روز مربوط به غلظت 1600 میلی‌گرم بر لیتر بود که با تلفات حاصل از غلظت 1200 و 2135 میلی‌گرم بر لیتر در یک گروه دانکن قرار گرفت. تلفات حاصل از غلظت 2848 میلی‌گرم بر لیتر در گروه جداگانه‌ای قرار گرفت (جدول 1).

مقایسه اثر حشره‌کشی نانوسیلیکا و نانواکسیدمس روی لاروهای 3 روزه شب‌پره آرد

نتایج حاصل از تجزیه پروبیت داده‌های به‌دست‌آمده از اثر نانوذرات سیلیکا و اکسیدمس بر لاروهای 3 روزه (سن یک) شب‌پره آرد نشان داد که نانوسیلیکا با مقدار LC_{50} کمتر سمیت بیشتری در مقایسه با نانواکسیدمس روی این آفت دارد. مقایسه‌ی LC_{50} داده‌های مربوط به تجزیه پروبیت بعد از 7 و 21 روز نشان داد که حساسیت لاروها به نانوسیلیکا درطی 7 روز حدود 5 برابر و بعد از 21 روز 7 برابر بیشتر از نانواکسیدمس است (جدول 2). مقایسه LC_{50} داده‌های مربوط به تجزیه پروبیت مشخص کرد که حساسیت لاروها به نانواکسیدمس کمتر از نانوسیلیکا است. زمانی‌که خروج حشرات

کامل معیار قرار گیرد، نانوسیلیکا با دز کشنده پنجاه درصد 403 میلی‌گرم بر لیتر در مقایسه با دز کشنده پنجاه درصد 3036 میلی‌گرم بر لیتر نانواکسیدمس بیش از هفت برابر موثرتر واقع شد. شیب خط پروبیت نانوسیلیکا و نانواکسیدمس کمابیش یکسان بوده و نشان دهنده این است که به ازای هر واحد افزایش غلظت، افزایش تلفات حاصل از هر دو نانوذره یکسان است (جدول 2). با توجه به این‌که شیب خط، اثر متغیرهایی را که در بروز پاسخ و چگونگی اندازه‌گیری آن دخالت دارند نشان می‌دهد، وقتی دو خط موازی هستند یعنی شیب خط یکسانی دارند، دو ترکیب احتمالا نحوه تأثیر یکسانی دارند. در این پژوهش مشخص شد که دو آفت‌کش نانوسیلیکا و نانواکسیدمس دارای شیب خط یکسانی هستند بنابراین احتمال یکسان بودن نحوه اثر آنها وجود دارد. در مجموع، نتایج این بررسی نشان‌دهنده این است که نانوذرات سیلیکا از قابلیت مناسبی برای کنترل آفت انباری مورد آزمایش برخوردار است. دبنات و همکاران (5b) نشان دادند که نانو سیلیکای بی‌شکل با بیش از 90% مرگ‌ومیر در مرحله لاروی، از کارایی بالایی در کنترل *S. oryzae* (L.) برخوردار است و می‌تواند به عنوان یک جایگزین برای آفت‌کش‌های رایج در کنترل آفات انباری به‌کار گرفته شود. نتایج کاربرد فرمولاسیون درای‌سایید خاک دیاتومه روی مراحل لاروی شب‌پره هندی و شب‌پره آرد نشان‌دهنده پتانسیل قابل قبول این فرمولاسیون برای کنترل این دو گونه شب‌پره آفت انباری است (11).

اثر تماسی نانوسیلیکا روی مرگ‌ومیر لاروهای سن 3 شب‌پره آرد

در بررسی اثرات تماسی نانوسیلیکا نتایج تجزیه‌ی واریانس یک‌طرفه نشان داد اثر غلظت سم ($F_{(47,5)}$ = 38/171 و P < 0/01) روی میزان تلفات لاروهای سن سوم بعد از 5 روز معنی‌دار است. براساس نتایج غلظت 2500 میلی‌گرم بر لیتر باعث بیشترین میزان تلفات (72/22 درصد) گردید. تلفات ایجاد شده در غلظت‌های 1880 و 1414 میلی‌گرم بر لیتر در یک گروه دانکن قرار گرفتند. تلفات حاصل از غلظت‌های 1064 و 800 میلی‌گرم بر لیتر نیز در یک گروه قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه داده‌های به‌دست آمده از سمیت تماسی نانوسیلیکا بر لاروهای سن 3 شب‌پره آرد نشان داد که نانوسیلیکا با مقدار LC_{50} 1870 میلی‌گرم بر لیتر سمیت تماسی کمی دارد (جدول 3).

جدول 1- اثر نانو سیلیکا و نانواکسیدمس بر مرگ‌ومیر لاروها و ظهور حشرات کامل شب‌پره آرد

Table 1- Effect of Nanosilica and nanocopper oxide on larval mortality and adult emergence of the Mediterranean flour moth

Pesticide	Concentration (mg/l)	Mortality after 7 days (%Mean±SE)	Mortality after 21 days (%Mean± SE)	Adults emergence (%) after 51 days (%Mean± SE)
نانوسیلیکا Nanosilica	000	8.33 ±2.15^{a}	8.33±2.15^{a}	86.67±2.36^{a}
	200	18.33 ±2.89^{ab}	27.5±1.60^{b}	56.67±1.36^{b}
	287	15.83 ±2.85^{ab}	31.67±2.15^{b}	50.83±1.60^{bc}
	412	24.17 ±2.50^{b}	36.67±2.72^{b}	39.17±2.10^{bc}
	592	40.00 ±2.36^{c}	57.50±2.50^{c}	15.83±1.60^{c}
	850	59.17 ±2.50^{d}	78.33±2.89^{d}	5.00±0.96^{d}
نانواکسید مس Nanocopper oxide	000	9.17 ±2.50^{a}	9.17±2.50^{a}	86.67±1.36^{d}
	1200	19.17 ±1.60^{ab}	19.17±1.60^{d}	71.67±2.15^{c}
	1600	18.33 ±2.15^{ab}	26.67±1.92^{bc}	63.33±3.04^{bc}
	2135	28.33±0.96^{bc}	30.83±0.83^{c}	65.83±1.60^{bc}
	2848	35.83±3.70^{c}	36.67±3.70^{c}	57.50±2.10^{b}
	3800	55.83±2.85^{d}	59.17±1.59^{d}	31.67±3.19^{a}

حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین غلظت‌های مختلف است (آزمون دانکن در سطح 1 درصد).

The different lowercase letters within a column shows significant difference between different concentrations (Duncan's multiple range test, P<0.01).

جدول 2- آنالیز پروبیت مرگ‌ومیر ناشی از سمیت نانوسیلیکا و نانواکسیدمس روی لاروهای 3 روزه شب‌پره آرد

Table 2- Evaluation of nanosilica and nanocopper oxide against 3-day old larvae of the Mediterranean flour moth

Pesticide	LC_{50} (mg/l)	Fiducial limits (α=0.5%)	Slope ± SE	n	χ^2	df
Nanosilica (after 7 days)	805	622-1565	2.76±0.39	120	5.03	3
Nanosilica (after 21 days)	518	385-796	2.53±0.30	120	7.49	3
Nanosilica (after 51 days)	403	253-560	3.34±0.35	120	11.39	3
Nanocopper oxide (after 7 days)	3988	3204-6951	2.89±0.46	120	3.22	3
Nanocopper oxide (after 21 days)	3820	3005-7403	2.57±0.41	120	3.68	3
Nanocopper oxide (after 51 days)	3036	2306-6575	3.20±0.44	120	8.73	3

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که نانو سیلیکا در مقایسه با نانواکسید مس از توان حشره‌کشی بیشتری برخوردار است و سمیت گوارشی آن در مقایسه با سمیت تماسی بیشتر می‌باشد. استفاده از نانوذرات به‌ویژه نانوسیلیکا می‌تواند به عنوان یک جایگزین برای سموم متداول، در کنترل آفات انباری در نظر گرفته شود.

جدول 3- اثر تماسی نانوسیلیکا بر مرگ‌ومیر لاروهای سن سوم شب‌پره آرد بعد از 5 روز

Table 3- Contact effect of nanosilica on mortality of third instar larvae of the Mediterranean flour moth after 5 days

Concentration (mg/l)	Mortality (%Mean±SE)
000	20.00±2.67[a]
800	32.22±324[b]
1064	35.56±2.94[b]
1414	58.89±2.61[c]
1880	54.44±3.77[c]
2500	72.22±3.24[d]

حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین غلظت‌های مختلف است.

The different lowercase letters within a column shows significant difference between different concentrations.

منابع

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

2- Anjali C.H., Sudheer Khan S., Margulis G.K., Magdassi S. and Mukherjee A.C.N. 2010. Formulation of water dispersible nanopermethrin for larvicidal applications. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73:1932-1936.

3- Atanu B., Asiam B., Patipati U.R., Suvra M. and Timothy T. 2010. Nano particles, a recent approach to insect pest control. African Journal of Biotechnology, 9:3489-3493.

4- Christos G., Athanassiou N.G., Kavallieratos J.B., Tsakiri S.N. and Basileios J.V. 2006. Effect of temperature and humidity on insecticidal effect of SilicoSec against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. Journal of Economic Entomology, 99:1520-1524.

5a-Debnath N., Das, S., Brahmachary R.L., Chandra R., Sudan S. and Goswami A. 2010. Entomotoxicity assay of Silica, Zinc Oxide, Titanium Dioxide, Aluminium Oxide Nanoparticles on *Lipaphis pseudobrassicae*. International Conference on Advanced Nanomaterial and Nanotechnology, American Institute of Physics Conference Proceedings, USA, 1276:307-310.

5b- Debnath N., Das S., Seth D., Chandra R., Bhattacharya S.C. and Goswami A. 2010. Entomotoxic effect of silica nanoparticles against *Sitophilus oryzae* (L.). Journal of Pest Science, 84:99-105.

6-Falp L., Vieira V. and Tavares J. 1995. Some reproduction aspects of *Ephestia Kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) under mass rearing conditions. Advances en Entomologia Iberica, 367-374.

7- Goswami A., Roy I., Sengupta S. and Debnath N. 2010. Novel applications of solid and liquid formulations of nanoparticles against insect pests and pathogens. Thin Solid Films, 519:1252-1257.

8-Majumder D.D., Ulrichs C., Mewis I., Weishaupt B., Majumder D., Ghosh A., Thakur A.R., Brahmachary R.L., Banerjee R., Rahman A., Debnath N., Seth D., Das S., Roy I., Sagar P., Schulz C., Linh N.Q. andGoswami A. 2007.Current status and future trends of nanoscale technology and its impact on modern computing, biology, medicine and agricultural biotechnology. In: Proceedings of the international conference on computing: theory and applications, ICCTA, India, March 5–7, IEEE Press, pp 563–572.

9- Matsumura F. 1985. Toxicology of Insecticides. Pelenum Press, New York.

10- Michalaki M.P., Athanassiou C.G., Steenberg T. and Buchelos C.T. 2007. Effect of *Paecilomyces fumosoroseus* (Wise) Brown and Smith (Ascomycota: Hypocreales) alone or in combination with diatomaceous earth against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). Biological Control 40:280-286.

11- Moazeni n., Izadi H., Khajehali J. and Mahdian K. 2014. The insecticidal efficacy of the Diatomaceous earth formulation Dryacide® against two Lepidopteran stored product pests. Plant Protection 37:13-23 (in Persian).

12- Mohandass S., Arthur F.H., Zhu K.Y. and Throne J.E. 2007. Biology and management of *Plodia interpunctella* (Lep.: Pyralidae) in stored products. Journal of Stored Products Research, 43:302-311.

13- Park J.Y., Baek M.J., Choi E.S., Woo S., Kim J.H., Kim T.J., Jung J.C., Chae K.S, Chang Y., and Lee G.H. 2009. Paramagnetic ultra small gadolinium oxide nanoparticles as advanced T1 MRI contrast agent: account for large longitudinal relaxivity, optimal particle diameter and in vivo T1 MR images. ACS Nano, 3:3663– 3669.

14- Perez de Luque A. and Rubiales D. 2009. Nanotechnology for parasitic plant control. Pest Management Science,

65:540–545.
15- Phillips T.W. and Throne J.E. 2010. Biorational approaches to managing stored product insects. Annual Review of Entomology, 55:375-397.
16-Rahman A., Seth D., Mukhopadhyaya S.K., Brahmachary R.L., Ulrichs C. and Goswami A. 2009. Surface functionalized amorphous nanosilica and microsilica with nanopores as promising tools in biomedicine. Naturwissenschaften, 96:31–38.
17- Rao K.S., El-Hami, K., Kodaki T., Kazumi M., Makino K. 2005. A novel method for synthesis of silica nanoparticles. Journal of Colloid and Interface Science, 289:125–131.
18-Stadler T., Butelerb M. and Weaver D.K. 2010.Novel use of nanostruc- tured alumina as an insecticide. Pest Management Science, 66:577–579.
19- Shayesteh N. and Ziaee M. 2007. Insecticidal efficacy of diatomaceous earth against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Caspian Journal of Environmental Sciences, 5:119-123.