دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک
شاپا ۴۶۶۸-۲۰۰۸
http://jer.iau-arak.ac.ir

فصلنامه تخصصی تحقیقات حشره‌شناسی

جلد ۱۴، شماره۴، سال ۱۴۰۱، (۲۷۶-۲۶۰)

اثر سمیت و حشره‌کشی نانوذرات اکسید تیتانیوم بر سوسری آمریکایی

*شهزاد شیرانی[۱]، علی نوری[۱]**

۱- به ترتیب استادیار و کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد فلاورجان

چکیده

زمینه و هدف: سوسری آمریکایی یکی از حشرات مهم خانگی محسوب می‌شود، که بسیاری از پاتوژن‌ها را به محیط انتقال می‌دهد. روش‌های به‌کار رفته برای کنترل آن امروز تا حدودی ناکارآمد بوده و سبب ایجاد مقاومت در این حشرات شده است.

مواد و روش‌ها: سوسری آمریکایی بالغ به تعداد ۳۱۱ عدد از دانشکده بهداشت تهران خریداری شدند. نانوذره اکسید تیتانیوم نیز از شرکت نوترینو تهران خریداری شد. غلظت‌های مختلف نانوذرات برای تیمارهای تماسی و خوراکی سوسری-های آمریکایی تهیه شد. تیمار سوسری‌های آمریکایی به روش تماسی و خوراکی با غلظت‌های مختلف نانوذره اکسیدتیتانیوم با سه بار تکرار انجام گردید. مقایسه میانگین درصد مرگ و میر حشرات در گروه‌های مختلف توسط آنالیز واریانس یک‌طرفه و تست دانکن انجام گردید. همچنین مقایسه میانگین درصد مرگ و میر حشرات در روزهای مختلف در هر گروه توسط آنالیز واریانس با تکرار مشاهدات انجام شد.

نتایج: تیمار خوراکی سوسری‌های آمریکایی در همه روزها در غلظت‌های ۱۵ و ۲۱ صدم درصد مؤثرتر از تیمار تماسی بوده است، اما تیمار تماسی مؤثرتر از تیمار خوراکی در تمام روزها به‌جز روز هفتم در غلظت ۲۵ صدم درصد بوده است. به-طور کلی تیمار خوراکی مؤثرتر از تیمار تماسی بود. با افزایش دوز و گذشت زمان، درصد مرگ و میر سوسری‌های آمریکایی در اثر تیمار تماسی و خوراکی با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: بنظر می رسد استفاده از نانوذرات مختلف از جمله نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بتواند به‌عنوان یک روش جدید در کنار روش‌های پیشین تأثیر قابل توجهی در کنترل سوسری آمریکایی ایجاد کند.

واژه‌های کلیدی: سوسری آمریکایی، حشره‌کش، نانو ذرات، اکسید تیتانیوم

* نویسنده رابط، پست الکترونیکی: *ali.noori55@gmail.com*

تاریخ دریافت مقاله:۱۴۰۱/۱۶/۹ - تاریخ پذیرش مقاله:۱۴۰۱/۱۰/۱۰

مقدمه

در میان آفاتی که برای انسان ایجاد مزاحمت می‌کنند بندپایان به‌ویژه حشرات از اهمیت زیادی برخوردارند، زیرا آن‌ها به‌دلیل برخورداری از قابلیت‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مناسب (جثه کوچک با توانایی جابجایی سریع و قدرت تکثیر زیاد) توانسته‌اند با بیشتر اکوسیستم‌ها سازگاری پیدا نمایند. بندپایان به‌شکل مستقیم (نیش زدن و گاز گرفتن) و به‌شکل غیرمستقیم (انتقال بیماری‌های عفونی) باعث بروز مشکلات زیادی برای انسان‌ها می‌شوند. بخشی از بندپایان به‌عنوان آفات اقتصادی و ساختمانی مثل موریانه‌ها محسوب می‌شوند و برخی مثل سوسری، پشه، مگس، ساس، کنه، عقرب و غیره آفات بهداشتی هستند (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۳). سوسری‌ها از شاخه بندپایان و رده حشرات بوده و معمولاً در مناطقی با آب و هوای معتدل تا گرم زندگی می‌کنند. یکی از شناخته شده‌ترین و احتمالاً شایع‌ترین آفات خانگی محسوب شده که با گرم شدن هوا، پیدا می‌شوند. به‌طور کلی سوسری‌ها گونه های مختلفی دارند و هر یک از آن ها ویژگی‌های خاص خود را دارند (Ling *et al*. 2022). سوسری آمریکایی یا سوسک حمام آمریکایی بیشتر در شبکه فاضلاب زندگی کرده و تکثیر می‌شوند و به ساختمان‌های مسکونی به‌ویژه در مناطق تحت پوشش شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب منتشر می‌گردند. از نقطه نظر اکولوژی سوسری‌ها در برقراری چرخه نیتروژن طبیعت نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند. سوسری‌ها از مواد کثیف، غذاهای فاسد، مواد غذایی انبارشده و انواع مواد غذایی مصرفی منازل تغذیه می‌کنند. آن‌ها با آلوده‌سازی مواد غذایی باعث انتقال بیماری‌هایی نظیر بیماری‌های استافیلوکوکی، سالمونلا، ژیاردیازیس، عفونت اشرشیایی و تریکوموناس و غیره می‌شوند. گونه‌های بیماری‌زای متعددی از گروه‌های مختلف شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها، پروتوزوآها و کرم‌های انگلی از گونه سوسری آمریکایی جداسازی و شناسایی شده‌اند. بررسی‌ها نشان داده که ۱۱ گونه باکتری در بدن سوسری آمریکایی زندگی می‌کنند. کنترل سوسری‌ها هنوز هم مشکل مهمی در بسیاری از نقاط دنیا است. سوسری‌های آمریکایی غالباً در سیستم‌های جمع‌آوری و شبکه فاضلاب زندگی می‌کنند. در چنین مکان‌هایی به تعداد فراوان تکثیر می‌شوند، تا جایی‌که ممکن است بیش از ۵۰۰۰ عدد آن‌ها در یک چاهک ورودی یافت شوند. غیر از مسئله مزاحمت و پراکنده شدن مدفوع آن‌ها در محیط ارتباط آن‌ها با فضولات و بیماری‌های مدفوعی و همچنین توانایی‌شان برای ورود به اماکن مسکونی انسانی از طریق مجاری فاضلاب باعث ایجاد خطرات بهداشتی در مناطق آلوده شده است (مهرپویان و همکاران، ۱۳۷۸).

استفاده از نانوذرات در سال‌های اخیر به‌طور قابل توجهی در فرآیندهای خانگی و صنعتی افزایش پیدا کرده است. این ذرات رفتار فیزیکی و شیمیایی خاصی را به‌دلیل نسبت بالای سطح به حجم، اندازه کوچک و خصوصیات بصری مرتبط با اندازه‌شان نشان می‌دهند. نانوذرات فلزی کاربردهای وسیعی در زمینه‌های فناوری زیستی، سنجش زیستی، تشخیص و درمان بالینی، امنیت غذایی، تصفیه آب و فاضلاب و حشره‌کشی و آفت‌کشی دارند. مهم‌ترین نکته قبل از پیش‌بینی سمیت نانوذرات به‌دست آوردن اطلاعاتی راجع به عوامل و خصوصیاتی است که باعث افزایش سمیت آن‌ها می‌شود. شیوه تعامل این ذرات با بدن انسان، جانوران و محیط زیست، اثرات آن‌ها را مشخص می‌کند. با کوچک‌تر شدن اندازه نانوذرات، نسبت سطح به حجم آن‌ها به‌طور نمایی افزایش می‌یابد که باعث فعال‌تر شدن و سمی‌تر شدن این ذرات می‌شود. همچنین با کاهش اندازه آن‌ها، امکان نفوذشان در بافت‌های گیاهی و جانوری افزایش می‌یابد. نفوذ نانوذرات از موانع سلولی بستگی بالایی به اندازه آن‌ها دارد. گفته می‌شود که ذراتی با اندازه کمتر از ۳۵ نانومتر، می‌توانند به سد محافظ خونی مغزی نفوذ کنند و ذرات با اندازه کمتر از ۴۱ نانومتر می‌توانند وارد هسته سلول‌ها شوند در حالی‌که ذرات با اندازه کمتر از ۱۱۱ نانومتر می‌توانند با عبور از غشای سلولی وارد سلول بشوند. پایداری پیوند و قوام پس از پیوند ساختارهای پروتئینی به اندازه نانوذرات بستگی دارد. مشاهده شده است که نانوذرات نقره به‌دلیل آزادسازی نقره در محیط سلولی می‌توانند سمیت سلولی در سلول‌های انسان و

جانوران ایجاد کنند که این سمیت به اندازه ذرات بستگی دارد. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که نانوذرات نقره گستره وسیعی از سمیت‌هایی نظیر التهاب، سمیت ژنی، سمیت سلولی و سمیت رو به گسترش را براساس اندازه ذرات خود ایجاد می‌کنند (Park *et al*. 2011). نانوذرات تیتانیوم دی اکسید با اندازه کوچکتر از ۱۱ نانومتر، سمیت سیستم ایمنی را در سیستم ریوی موش ایجاد کردند. اندازه‌های مختلف نانوذرات تیتانیوم دی اکسید، درجه سمیت مختلفی را در سیستم ریوی موش دارند. با تولید گسترده محصولات نانومحور، نیاز مبرم در بررسی اثرات سمی بالقوه آن‌ها بر بدن انسان، جانوران و محیط زیست احساس می‌شود (Batchelor-McAuley *et al*. 2014). در مطالعه اسمال[1] و همکاران (۲۰۱۶) با هدف این‌که هضم نانوذرات طلا تولید مثل و رشد سوسک آلمانی را مختل می‌کند، اثرات نانوذرات طلا به‌صورت تجویز خوراکی بر تولید مثل و رشد حشره *Blattella germanica* بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که طلا از نانوذرات طلا توسط حشرات بالغ *B. germanica* با ضریب تجمع زیستی ۰/۱ انباشته شد. با این‌حال، زنده ماندن توده تخم تقریباً ۲۵ درصد در حشرات ماده تحت تیمار با نانوذرات طلا در مقایسه با گروه شاهد کاهش یافت. در همان زمان، تعداد پوره‌های خارج شده در گروه نانوذرات طلا به میزان ۳۲/۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. پارامترهای رشد پس از جنینی که تحت تأثیر تیمار با نانوذرات طلا قرار گرفتند، با ۳۵/۸ درصد کاهش در تعداد پوره‌هایی که به سن دوم و سوم پوسته‌ریزی رسیدند مواجه شد و طول عمر آن‌ها کاهش یافت. آن‌ها عنوان نمودند که مصرف نانوذرات طلا باعث اثرات کشنده در *B. germanica* می‌شود که صفات حیاتی دخیل در پویایی جمعیت را به‌خطر می‌اندازد.

در مطالعه زورلو[2] و همکاران (۲۰۱۸)، اثرات غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ ppm بر پارامترهای بیولوژیکی و مقدار پروتئین کل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، مقادیر مالون دی‌آلدئید در همولنف پروانه موم *Galleria mellonella* (L.) بررسی شد. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که زمان رشد لارو و شفیرگی به‌طور قابل توجهی در ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ ppm در مقایسه با شاهد و بالاترین دوز نانوذرات دی اکسید تیتانیوم افزایش یافت. با این‌حال، طول عمر بالغین در غلظت‌های پایین نانوذرات دی اکسید تیتانیوم ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ppm کوتاه شد. قرار گرفتن در معرض نانوذرات دی اکسید تیتانیوم باعث افزایش قابل توجهی در مقدار پروتئین کل و محتوای مالون دی آلدئید و فعالیت گلوتاتیون -Sترانسفراز در همولنف در غلظت‌های ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ppm در مقایسه با شاهد و سایر دوزهای نانوذرات دی اکسید تیتانیوم شد. در حالی‌که فعالیت کاتالاز در غلظت‌های ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ ppm افزایش یافت و فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در تمام دوزهای نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در مقایسه با شاهد افزایش یافت. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که نانوذرات دی اکسید تیتانیوم دارای اثرات سمی وابسته به دوز بر روی لارو *G. mellonella* است و می‌تواند ظرفیت مقاومت در برابر استرس حشرات را در غلظت‌های پایین افزایش دهد.

به‌نظر می‌رسد طی تحقیقات انجام شده، استفاده از نانوذرات بتواند به‌عنوان یک روش جدید در کنار روش‌های قبلی تأثیر قابل توجهی در کنترل این آفات ایجاد کند که یکی از مهم‌ترین نانوذرات، اکسید تیتانیوم با واکنش‌پذیری و قدرت جذب سریع است که با ایجاد رادیکال‌های آزاد و ایجاد مسمومیت می‌تواند در مقادیر بسیار کم مورد استفاده قرار گیرد. از این‌رو مطالعه حاضر با هدف، بررسی اثرات کشندگی تماسی و خوراکی نانوذرات تیتانیوم بر سوسری آمریکایی انجام شد.

[1] Small
[2] Zorlu

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه سوسری آمریکایی

سوسری آمریکایی بالغ به تعداد ۳۱۱ عدد از دانشکده بهداشت تهران خریداری شد. نمونه‌های مذکور تحت شرایط کاملاً استاندارد (دستکش پلاستیکی یک‌بار مصرف) در ظروف پلاستیکی درب‌دار بهداشتی نگه‌داری شدند.

تهیه نانوذرات اکسید تیتانیوم

نانوذرات از شرکت نوترینو تهران خریداری شد.

تهیه غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید تیتانیوم

برای تهیه غلظت های مختلف نانوذرات برای تیمارهای تماسی و خوراکی سوسری های آمریکایی به شرح زیر عمل گردید:

برای تهیه غلظت ۱۰ صدم درصد تیمار تماسی و خوراکی ۲ گرم از پودر نانوذره اکسید تیتانیوم با ۲۰ سی سی آب مقطر مخلوط گردید و به‌خوبی مخلوط شد.

غلظت ۱۵ صدم درصد تماسی : ۷/۵ گرم پودر را با ۴۲ سی سی آب مقطر مخلوط گردید و به‌خوبی مخلوط شد.

غلظت ۱۵ صدم درصد خوراکی : ۱۵ گرم پودر با ۶۴ سی سی آب و ۲۱ گرم شکر مخلوط گردید و به‌خوبی مخلوط شد.

غلظت ۲۰ صدم درصد تماسی: ۱۰ گرم پودر را با ۴۰ سی سی آب مقطر مخلوط گردید و به‌خوبی مخلوط شد.

غلظت ۲۰ صدم درصد خوراکی : ۲۰ گرم پودر با ۶۰ سی سی آب و ۲۰ گرم شکر مخلوط گردید و به‌خوبی مخلوط شد.

غلظت ۲۵ صدم درصد تماسی : ۱۳ گرم پودر را با ۴۰ سی سی آب مقطر مخلوط گردید و به‌خوبی مخلوط شد.

غلظت ۲۵ صدم درصد خوراکی : ۲۵ گرم پودر با ۶۰ سی سی آب و ۲۰ گرم شکر مخلوط گردید و به‌خوبی مخلوط شد.

تیمار سوسری‌های آمریکایی به روش تماسی

به‌منظور تیمار سوسری‌های آمریکایی به‌روش تماسی، قسمت داخلی آکواریوم شست‌وشو داده شد و سپس در معرض هوا قرار گرفت تا خشک شود. در حدود ۲ تا ۳ سانتی‌متر از لبه‌های بالایی آکواریوم آغشته به روغن وازلین گردید تا از خروج سوسری‌ها از داخل آکواریوم ممانعت شود. هر یک از غلظت‌های نانوذره اکسید تیتانیوم تهیه شده (۱۰ صدم درصد – ۱۵ صدم درصد – ۲۰ صدم درصد – ۲۵ صدم درصد). به‌طور جداگانه به قسمت کف و دیواره‌های آکواریوم اسپری گردید. ۱۵ عدد سوسری آمریکایی در داخل آکواریوم قرار داده شد. محلول حاوی نانوذره اکسید تیتانیوم نباید بر روی خوراک و آب سوسری‌ها اسپری شود.

تیمار سوسری‌های آمریکایی به روش خوراکی

به منظور تیمار سوسری‌های آمریکایی به روش خوراکی، محلول حاوی نانوذره اکسید تیتانیوم تهیه شده با غلظت‌های مشخص (۱۰ صدم درصد – ۱۵ صدم درصد –۲۰ صدم درصد – ۲۵ صدم درصد) تهیه گردید. پس از تمیز کردن آکواریوم، ۱۵ عدد سوسری آمریکایی در داخل آکواریوم قرار داده شد و محلول حاوی نانوذره اکسید تیتانیوم تهیه شده با غلظت مشخص همراه با شکر، با خوراک سوسری ها، پودر نان خشک، مخلوط گردید. خوراکی‌های سوسری‌ها آغشته به محلول شده و در هیچ قسمتی از آکواریوم محلول ریخته نشد. درب آکواریوم با پارچه توری بسته شد. زمان شروع آزمایش را به‌طور دقیق همراه با ساعت و دقیقه یادداشت نموده و بر روی دیواره بیرونی آکواریوم چسبانده شد.

ثبت نتایج

ثبت نتایج (تعداد حشرات مرده) در پژوهش حاضر در ساعات و روزهای مختلف پس از تیمار تماسی و خوراکی در جدول‌های مربوطه ثبت گردید. تیمارهای تماسی و خوراکی سوسری‌های آمریکایی با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در سه بار تکرار انجام گردید.

آنالیز آماری

مقایسه میانگین درصد مرگ و میر حشرات در گروه‌های مختلف توسط آنالیز واریانس یک‌طرفه و تست دانکن انجام گردید. همچنین مقایسه میانگین درصد مرگ و میر حشرات در روزهای مختلف در هر گروه توسط آنالیز واریانس با تکرار مشاهدات انجام شد.

نتایج

جدول ۱- درصد مرگ و میر سوسری آمریکایی در غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید تیتانیوم در روزهای مختلف تیمار به روش خوراکی

Table 1- Mortality percentage of American cockroach in different concentrations of titanium oxide nanoparticles on different days of oral treatment

غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید تیتانیوم (صدم درصد)	تیمار خوراکی						
	درصد مرگ و میر						
	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	
۱۰	۰	۰	۰	۸/۸۸±۳/۸۵	۸/۸۸±۳/۸۵	۱۱/۱۰±۳/۸۵	*۱۵/۵۵±۳/۸۵
۱۵	۰	۰	۰	۱۱/۱۰±۳/۸۵	***۲۲/۲۲±۳/۸۴	***۲۸/۸۸±۷/۶۹	***۳۹/۹۹±۱۱/۵۴
۲۰	۴/۴۴±۳/۸۴	۸/۸۸±۳/۸۴	**۱۵/۵۴±۳/۸۵	***۲۴/۴۳±۳/۸۴	***۳۱/۱۰±۷/۷۰	***۴۴/۴۳±۳/۸۴	***۴۶/۶۶±۶/۶۶
۲۵	۴/۴۴±۳/۸۴	۱۱/۱۰±۷/۷۰	**۱۵/۵۴±۱۰/۱۸	***۲۲/۲۱±۷/۷۰	***۲۸/۸۸±۱۰/۱۸	***۳۵/۵۵±۱۰/۱۸	a***۶۴/۴۳±۱۰/۱۷
p-value	۰/۰۷	۰/۰۶	<۰/۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
F	۳/۰۰	۶/۱۹۰	۹/۱۷۱	۱۴/۶۲۶	۱۳/۹۱۲	۲۵/۶۵۷	۳۳/۱۲۹

*، **، *** به‌ترتیب افزایش معنی‌دار درصد مرگ و میر نسبت به کنترل با $p<0.05$، $p<0.01$ و $p<0.001$.

آنالیز واریانس یک‌طرفه با تست دانکن (One Way-ANOVA. Duncan Test) نشان داد که در روش خوراکی در روز اول و دوم اختلاف معنی‌دار بین گروه‌ها مشاهده نشد، هرچند که مرگ و میر حشرات فقط در دوزهای بالا (۲۰ و ۲۵ صدم درصد) رخ داد. در روز سوم نیز درصد مرگ و میر حشرات در غلظت‌های ۲۰ و ۲۵ صدم درصد معنی‌دار بود و در غلظت‌های پایین‌تر هم‌چنان مرگ و میری مشاهده نشد. در روز چهارم مرگ و میر در تمام دوزها رخ داد اما فقط در

دوزهای ۲۰ و ۲۵ صدم درصد نسبت به سایر گروه‌ها معنی‌دار بود. در روز پنجم و ششم مرگ و میر حشرات در تمام دوزها مشاهده گردید که فقط در دوزهای بالاتر از ۱۰ صدم درصد، نسبت به کنترل معنی‌دار بود. همچنین در روز هفتم درصد مرگ و میر حشرات در تمام دوزها نسبت به کنترل معنی‌دار بود به‌طوری‌که کمترین مرگ و میر در دوز ۱۰ صدم درصد و بیشترین در دوز ۲۵ صدم درصد مشاهده گردید. همچنین میزان مرگ و میر در دوز ۲۵ صدم درصد نسبت به سایر دوزها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (a).

در واقع نتایج نشان داد که در دوز ۱۰ و ۱۵ صدم درصد مرگ و میر حشرات از روز چهارم تیمار به بعد مشاهده گردید. در دوز ۱۵ صدم درصد اختلاف معنی‌دار از روز پنجم و در دوز ۱۰ صدم درصد فقط در روز هفتم ایجاد شد. به‌طور کلی افزایش درصد مرگ و میر حشرات در اثر تیمار خوراکی با نانوذرات اکسید تیتانیوم، به‌صورت وابسته به دوز و با گذشت زمان به‌طور معنی‌دار افزایش یافت.

جدول ۲- درصد مرگ و میر سوسری آمریکایی در غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید تیتانیوم در روزهای مختلف تیمار به روش تماسی

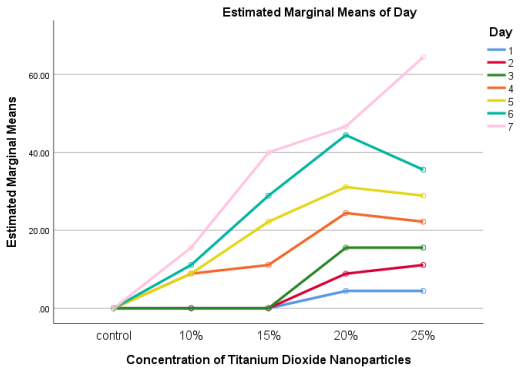
Table 2- Mortality percentage of American cockroach in different concentrations of titanium oxide nanoparticles on different days of contact treatment.

غلظت‌های مختلف نانوذرات اکسید تیتانیوم (صدم درصد)	تیمار خوراکی						
	درصد مرگ و میر						
	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	روز هفتم
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۰	۴/۴۴±۳/۸۴	۴/۴۴±۳/۸۴	۴/۴۴±۳/۸۴	*۸/۸۸±۳/۸۵	*۱۱/۱۰±۳/۸۵	**۱۵/۵۵±۳/۸۵
۱۵	۴/۴۴±۳/۸۴	۴/۴۴±۳/۸۴	*۱۱/۱۰±۷/۷۰	*۱۱/۱۰±۷/۷۰	**۱۵/۵۵±۳/۸۵	**۱۹/۹۹±۶/۶۶	**۲۴/۴۴±۷/۶۹
۲۰	۴/۴۴±۳/۸۴	۶/۷۰±۲/۱۴	*۱۱/۱۰±۳/۸۵	*۱۳/۳۳±۶/۶۷	**۱۷/۷۷±۳/۸۵	**۲۲/۲۲±۳/۸۴	**۲۶/۶۶±۶/۶۶
۲۵	***۱۷/۷۷±۳/۸۵	***۲۶/۶۶±۶/۶۶	***۳۱/۱۰±۳/۸۵	***۳۱/۱۰±۳/۸۵	***۳۷/۷۷±۷/۶۹	**۳۷/۷۷±۷/۶۹*	***۳۹/۹۹±۱۱/۵۴
p-value	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۱
F	۱۸/۰۱۷	۲۲/۲۲۳	۲۰/۴۸۵	۱۵/۹۸۶	۲۸/۳۴۹	۲۲/۰۶۳	۱۳/۰۳۴

*، **، *** به ترتیب افزایش معنی دار درصد مرگ و میر نسبت به کنترل با $p<0.05$، $p<0.01$ و $p<0.001$.

آنالیز واریانس یک‌طرفه با تست دانکن (One Way-ANOVA. Duncan Test) نشان داد که در روز اول در غلظت ۱۰ صدم درصد مرگ و میری مشاهده نشد. از غلظت ۱۵صدم درصد به بالا مرگ و میر حشرات رخ داد که فقط در بالاترین غلظت (۲۵ صدم درصد) دارای اختلاف معنی‌دار با گروه‌های دیگر بود. در روز دوم مرگ و میر در تمام گروه‌های آزمایش رخ داد اما فقط در دوز ۲۵ صدم درصد نسبت به سایر گروه‌ها معنی‌دار بود. در روز سوم و چهارم درصد مرگ و میر حشرات در دوزهای بالاتر از ۱۰ صدم درصد نسبت به کنترل معنی‌دار بود و همچنین در دوز ۲۵ صدم درصد نسبت

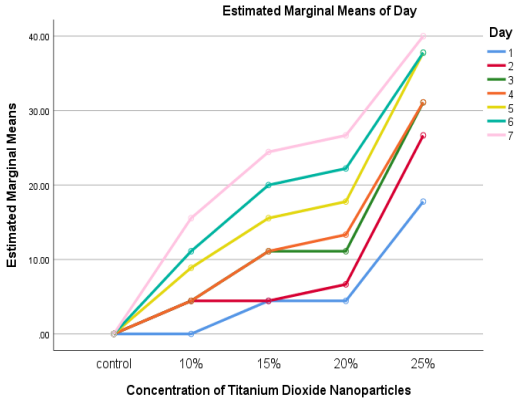
به دوزهای ۱۵ و ۲۰ صدم درصد، درصد مرگ و میر افزایش معنی‌دار داشت. در روز پنجم و ششم، درصد مرگ و میر حشرات در تمام گروه‌ها نسبت به کنترل افزایش معنی‌دار داشت که کمترین آن مربوط به دوز ۱۰ صدم درصد و بیشترین درصد مرگ و میر مربوط به دوز ۲۵ صدم درصد بود که با سایر دوزها اختلاف معنی‌دار داشت. همچنین در روز هفتم نیز افزایش معنی‌دار درصد مرگ و میر حشرات در تمام گروه‌ها نسبت به کنترل مشاهده گردید که در دوز ۲۵ نسبت به سایر دوزها اختلاف معنی‌دار بود. به‌طور کلی یافته‌های پژوهش نشان داد که در غلظت ۱۰ صدم درصد، میزان مرگ و میر از روز پنجم به بعد و در غلظت ۱۵ و ۲۰ صدم درصد از روز سوم به بعد و در غلظت ۲۵ صدم درصد از روز اول نسبت به کنترل به‌طور معنی‌دار مشاهده گردید. به‌طور کلی با افزایش دوز و گذشت زمان، درصد مرگ و میر سوسری‌های آمریکایی در اثر تیمار تماسی با نانوذرات اکسید تیتانیوم به‌طور معنی‌دار افزایش یافت.



نمودار ۱- درصد مرگ و میر سوسری آمریکایی در روزها و دوزهای مختلف تیمار خوراکی

Chart 1- The percentage of American cockroach mortality in different days and doses of oral treatment

آنالیز واریانس با تکرار مشاهدات (Repeated Measure ANOVA) و تست‌های bonferroni و Huynh-Feldt درصد مرگ و میر سوسری آمریکایی را در هر دوز به‌مدت ۷ روز تیمار خوراکی به‌صورت افزایش معنی‌دار ($p<0.001, F=42.558$) نشان داد. به‌عبارت دیگر با گذشت زمان به‌مدت ۷ روز درصد مرگ و میر حشرات در هر غلظت از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.



نمودار ۲- درصد مرگ و میر سوسری آمریکایی در روزها و دوزهای مختلف تیمار تماسی

Chart 2- The percentage of American cockroach mortality in different days and doses of contact treatment

آنالیز واریانس با تکرار مشاهدات (Repeated Measure ANOVA) و تست‌های bonferroni و Huynh-Feldt درصد مرگ و میر سوسری آمریکایی را در هر دوز به‌مدت ۷ روز تیمار تماسی به‌صورت افزایش معنی‌دار ($p<0.01, F=2.494$) نشان داد. به‌عبارت دیگر با گذشت زمان به‌مدت ۷روز درصد مرگ و میر حشرات در هر غلظت از نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

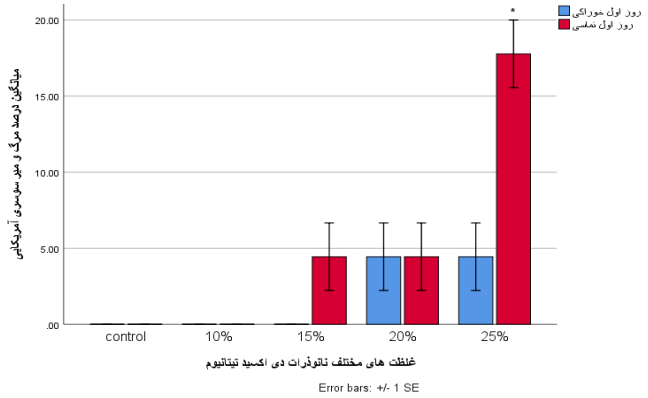
جدول ۳- مقایسه درصد مرگ و میر سوسری آمریکایی بین دو روش خوراکی و تماسی در دوزهای متفاوت نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در روزهای مختلف

Table 3- Comparison of American cockroach mortality percentage between two oral and contact methods in different doses of Titanium dioxide nanoparticles on different days

		میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار		میانگین	انحراف معیار	
روز اول	٪۱۰ خوراکی	۰	۰	٪۱۵ خوراکی	۰	۰	٪۲۰ خوراکی	۴/۴۴	۳/۸۴	٪۲۵ خوراکی	۴/۴۴	۳/۸۴
	٪۱۰ تماسی	۰	۰	٪۱۵ تماسی	۴/۴۴	۳/۸۴	٪۲۰ تماسی	۴/۴۴	۳/۸۴	٪۲۵ تماسی	*۱۷/۷۷	۳/۸۵
	p-value	- =F	_	p-value	۰/۱	F=۴	p-value	۱	F=۰	p-value	<۰/۰۵	F=۱۸/۰۱۸
روز دوم	٪۱۰ خوراکی	۰	۰	٪۱۵ خوراکی	۰	۰	٪۲۰ خوراکی	۸/۸۸	۳/۸۴	٪۲۵ خوراکی	۱۱/۱۰	۷/۷۰
	٪۱۰ تماسی	۳/۸۴	۴/۴۴	٪۱۵ تماسی	۴/۴۴	۳/۸۴	٪۲۰ تماسی	۶/۷۰	۲/۱۴	٪۲۵ تماسی	۲۶/۶۶	۶/۶۶
	p-value	F=۴	۰/۱	p-value	۰/۱	F=۴	p-value	۰/۳	F=۱	p-value	۰/۰۵	F=۶/۹۹۸
روز سوم	٪۱۰ خوراکی	۰	۰	٪۱۵ خوراکی	۰	۰	٪۲۰ خوراکی	۱۵/۵۴	۳/۸۵	٪۲۵ خوراکی	۱۵/۵۴	۱۰/۱۸
	٪۱۰ تماسی	۳/۸۴	۴/۴۴	٪۱۵ تماسی	۱۱/۱۰	۷/۷۰	٪۲۰ تماسی	۱۱/۱۰	۳/۸۵	٪۲۵ تماسی	۳۱/۱۰	۳/۸۵
	p-value	F=۴	۰/۱	p-value	۰/۰۶	F=۶/۲۳۹	p-value	۰/۲	F=۱/۹۹	p-value	۰/۰۶۹	F=۶/۱۲۷
روز چهارم	٪۱۰ خوراکی	۳/۸۵	۸/۸۸	٪۱۵ خوراکی	۱۱/۱۰	۳/۸۵	٪۲۰ خوراکی	۲۴/۴۳	۳/۸۴	٪۲۵ خوراکی	۲۲/۲۱	۷/۷۰
	٪۱۰ تماسی	۳/۸۴	۴/۴۴	٪۱۵ تماسی	۱۱/۱۰	۷/۷۰	٪۲۰ تماسی	۱۳/۳۳	۶/۶۷	٪۲۵ تماسی	۳۱/۱۰	۳/۸۵
	p-value	F=۲	۰/۲	p-value	۱	F=۰	p-value	۰/۰۶	F=۶/۲۴۶	p-value	۰/۱	F=۳/۲۰۰
روز پنجم	٪۱۰ خوراکی	۳/۸۵	۸/۸۸	٪۱۵ خوراکی	۲۲/۲۲	۳/۸۴	٪۲۰ خوراکی	۳۱/۱۰	۷/۷۰	٪۲۵ خوراکی	۲۸/۸۸	۱۰/۱۸
	٪۱۰ تماسی	۳/۸۵	۸/۸۸	٪۱۵ تماسی	۱۵/۵۵	۳/۸۵	٪۲۰ تماسی	۱۷/۷۷	۳/۸۵	٪۲۵ تماسی	۳۷/۷۷	۷/۶۹
	p-value	F=۰	۱	p-value	۰/۱	F=۴/۵۰۲	p-value	۰/۰۵	F=۷/۱۸۱	p-value	۰/۲	F=۱/۴۵۴
روز ششم	٪۱۰ خوراکی	۳/۸۵	۱۱/۱۰	٪۱۵ خوراکی	۲۸/۸۸	۷/۶۹	٪۲۰ خوراکی	**۴۴/۴۳	۳/۸۴	٪۲۵ خوراکی	۳۵/۵۵	۱۰/۱۸
	٪۱۰ تماسی	۳/۸۵	۱۱/۱۰	٪۱۵ تماسی	۱۹/۹۹	۶/۶۶	٪۲۰ تماسی	۲۲/۲۲	۳/۸۴	٪۲۵ تماسی	۳۷/۷۷	۷/۶۹
	p-value	F=۰	۱	p-value	۰/۲	F=۲/۲۸۷	p-value	<۰/۰۱	F=۵۰/۱۱۳	p-value	۰/۷	F=۰/۰۹۱
روز هفتم	٪۱۰ خوراکی	۳/۸۵	۱۵/۵۵	٪۱۵ خوراکی	۳۹/۹۹	۱۱/۵۴	٪۲۰ خوراکی	*۴۶/۶۶	۶/۶۶	٪۲۵ خوراکی	*۶۴/۴۳	۱۰/۱۷
	٪۱۰ تماسی	۳/۸۵	۱۵/۵۵	٪۱۵ تماسی	۲۴/۴۴	۷/۶۹	٪۲۰ تماسی	۲۶/۶۶	۶/۶۶	٪۲۵ تماسی	۳۹/۹۹	۱۱/۵۴
	p-value	F=۰	۱	p-value	۰/۱	F=۳/۷۶۷	p-value	<۰/۰۵	F=۱۳/۵۰۷	p-value	۰/۰۵	F=۷/۵۶۹

مقایسه درصد کشندگی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در غلظت ۱۰ صدم درصد در روزهای مختلف بین روش خوراکی و تماسی نشان داد که اگرچه اثر کشندگی تیمار تماسی زودتر از تیمار خوراکی (روز دوم نسبت به روز چهارم) ظاهر گردید، اما به‌طور کلی در روزهای مختلف تیمار بین این دو روش اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. حتی در روزهای ۵ تا ۶ تیمار، درصد کشندگی خوراکی و تماسی برابر بود. آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد اثرات کشندگی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در غلظت ۱۵ صدم درصد در روزهای مختلف بین دو روش تماسی و خوراکی اختلاف معنی‌دار نداشت. گرچه اثرات کشندگی تماسی از روز اول و خوراکی از روز چهارم آغاز گردید. در غلظت ۲۰ صدم درصد نانوذرات

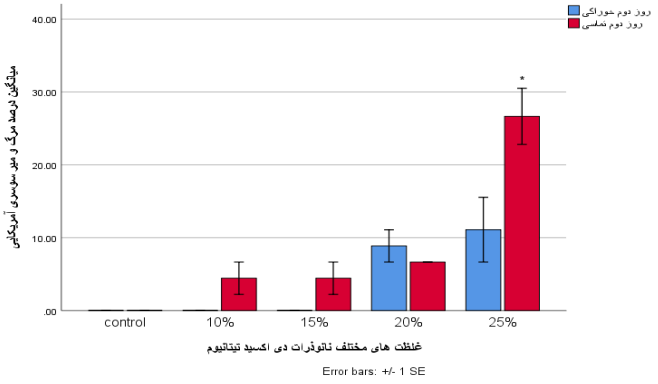
اکسید تیتانیوم، اثرات کشندگی خوراکی نسبت به تماسی در تمام روزهای تیمار (به‌جز روز اول) بیشتر بود اما فقط در روزهای پنجم، ششم و هفتم افزایش معنی‌دار داشت. در هر دو روش اثرات کشندگی از روز اول تیمار آغاز شد. در غلظت ۲۵ صدم درصد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، در تمام روزها به‌جز روز هفتم درصد کشندگی به‌روش تماسی بالاتر بود که فقط در روز اول و دوم اختلاف معنی‌دار داشت. اما در روز هفتم میزان کشندگی روش خوراکی به‌طور معنی‌داری از روش تماسی بیشتر بود.



نمودار ۳- مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز اول تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی

Chart 3- Comparison of insect mortality percentage on the first day of treatment in different concentrations of titanium dioxide nanoparticles between oral and contact methods

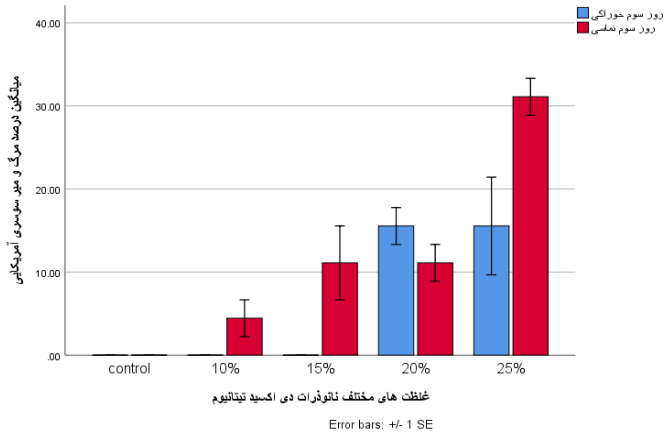
نتایج مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز اول تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی *افزایش معنی‌دار $p<0.05$ درصد مرگ و میر در روش تماسی در غلظت ۲۵ صدم درصد نشان داد.



نمودار ۴- مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز دوم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی

Chart 4- Comparison of insect mortality percentage on the second day of treatment in different concentrations of titanium dioxide nanoparticles between oral and contact methods

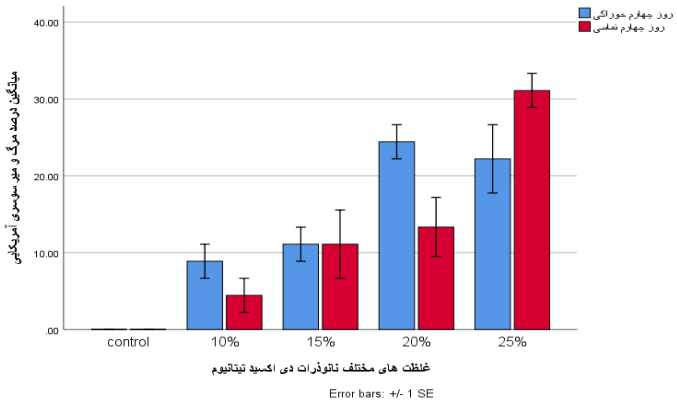
نتایج مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز دوم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی *افزایش معنی دار $p<0.05$ درصد مرگ و میر در روش تماسی در غلظت ۲۵ صدم درصد نشان داد.



نمودار ۵- مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز سوم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی

Chart 5- Comparison of insect mortality percentage on the third day of treatment in different concentrations of titanium dioxide nanoparticles between oral and contact methods

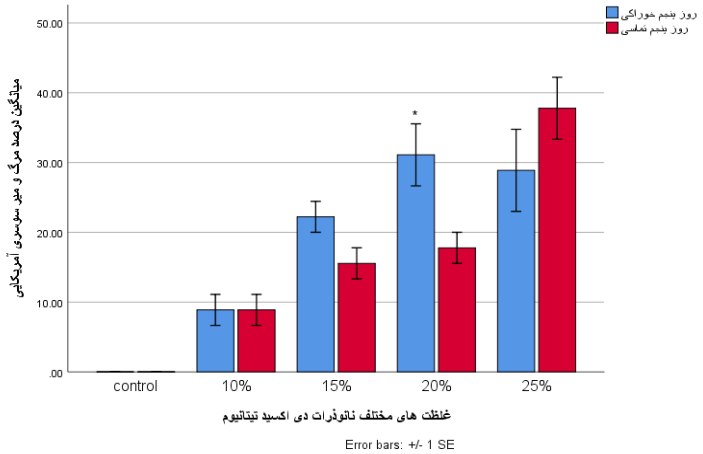
نتایج مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز سوم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد، هرچند که در تمام دوزها بجز ۲۰ صدم درصد، میزان مرگ و میر به‌روش تماسی بیشتر بود.



نمودار ۶- مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز چهارم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی

Chart 6- Comparison of insect mortality percentage on the fourth day of treatment in different concentrations of titanium dioxide nanoparticles between oral and contact methods

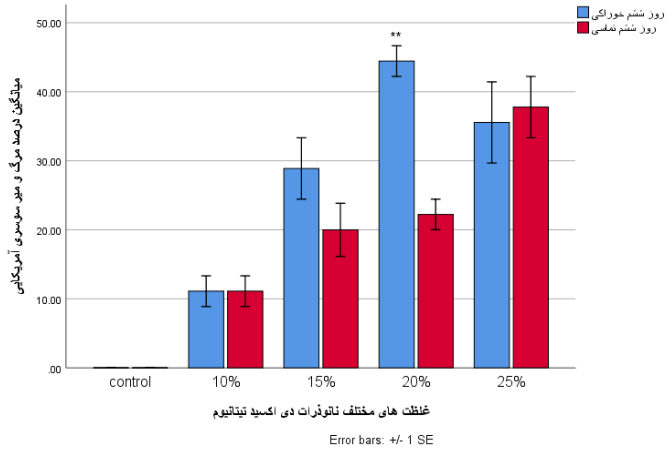
نتایج مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز چهارم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. اما در دوز ۱۵ صدم درصد میزان مرگ و میر برابر بود، و در دوز ۱۰ و ۲۰ صدم درصد میزان مرگ و میر در روش خوراکی و در دوز ۲۵ صدم درصد در روش تماسی بیشتر بود.



نمودار ۷- مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز پنجم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی

Chart 7- Comparison of insect mortality percentage on the fifth day of treatment in different concentrations of titanium dioxide nanoparticles between oral and contact methods

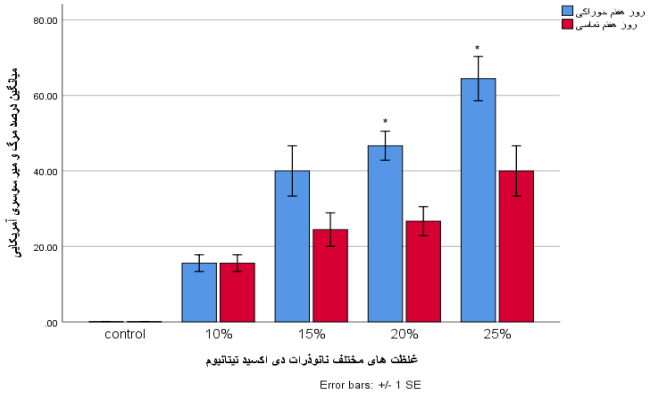
نتایج مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز پنجم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی *افزایش معنی دار $p<0.05$ درصد مرگ و میر در روش خوراکی در غلظت ۲۰ صدم درصد را نشان داد.



نمودار ۸- مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز ششم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی

Chart 8- Comparison of insect mortality percentage on the sixth day of treatment in different concentrations of titanium dioxide nanoparticles between oral and contact methods

نتایج مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز ششم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی *افزایش معنی دار $p<0.01$ درصد مرگ و میر در روش خوراکی در غلظت ۲۰ صدم درصد را نشان داد.



نمودار ۹- مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز هفتم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی

Chart 9- Comparison of insect mortality percentage on the seventh day of treatment in different concentrations of titanium dioxide nanoparticles between oral and contact methods

نتایج مقایسه درصد مرگ و میر حشرات در روز هفتم تیمار در غلظت‌های مختلف نانوذرات دی اکسید تیتانیوم بین روش خوراکی و تماسی *افزایش معنی دار $p<0.05$ درصد مرگ و میر در روش خوراکی در غلظت های ۲۰ و ۲۵ صدم درصد را نشان داد.

بحث

اخیرا پیشرفت در فناوری نانو فرصت‌های زیادی را برای کاربرد آن در رشته‌های تحقیقاتی مختلف فراهم کرده است. از آن‌جایی‌که حشرات تقریبا از نیمی از گونه‌های شناخته شده موجودات را تشکیل می‌دهند، نقش مهمی را در زندگی انسان ایفا می‌کنند. گونه‌های مختلفی از حشرات از نظر بهداشتی و کشاورزی در زندگی انسان اختلال ایجاد می‌کنند. کاربرد بیش از حد حشره‌کش‌های شیمیایی که موجب ایجاد مقاومت در حشرات گشته‌اند و نیز اثرات مضر حشره‌کش‌ها بر روی انسان سبب شده است که پژوهشگران از پتانسیل نانومواد برای مبارزه با حشرات استفاده کنند. بهره‌گیری از ویژگی‌های حشره‌کشی برخی نانوذرات و نیز استفاده از فرآیندهایی از قبیل نانو کپسوله کردن سموم نشان می‌دهد که این فناوری قادر است روند توسعه مقاومت را در حشرات به تأخیر بیاندازد و همچنین باعث استفاده مؤثرتر و نیز امنیت بیشتر حشره‌کش‌های شیمیایی با تماس کمتر با محیط زیست گردند که این امر علاوه‌بر حفاظت محیط زیست اثرات سوء سموم را بر روی زندگی انسان کاهش می‌دهد (Batool *et al.* 2021). از این‌رو، در سال‌های اخیر و با پیشرفت نانوتکنولوژی، تولید انواع حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌های نانو به روش‌های مختلف انجام شده است و گروه‌های زیادی از حشرات با این مواد مورد آزمایش قرار گرفتند. در عین حال، ارزیابی خطر زیست محیطی نانومواد مانند نانو آفت‌کش‌ها و نانو حشره-کش‌ها قبل از عرضه یک محصول به بازار جهانی بسیار ضروری است (Singh *et al.* 2020). سوسک‌های آزمایشی معمولاً

بسته به نوع مطالعه، ماهیت ترکیب آزمایشی و مرحله رشد سوسک، از طریق مسیرهای مختلفی مانند تیمارهای خوراکی، تماسی، تزریقی و استنشاقی در معرض ترکیبات آزمایش مشابه روش‌های تیمار در مدل‌های پستانداران قرار می‌گیرند. در تیمار خوراکی، ترکیبات آزمایشی غیرفرار برای مطالعات به رژیم غذایی یا آب آشامیدنی اضافه می‌شوند. در شرایطی که سوسک‌ها به‌دلیل طعم و مزه از رژیم‌های غذایی آلوده به مواد غذایی اجتناب می‌کنند، بهترین عمل گرسنگی قبل از قرار گرفتن در معرض مواد غذایی است. اگر ترکیب مورد آزمایش فرار باشد، مناسب‌ترین مسیر قرار گرفتن در معرض از طریق استنشاق بخار است. یکی دیگر از راه‌های مهم تجویز ترکیبات مورد آزمایش از طریق میکرواینجکشن است. این تکنیک برای مطالعه موادی مانند سم و پاتوژن مناسب است. همان‌طور که گفته شد، نانوذرات به‌عنوان حشره‌کش یک استراتژی جدید هستند که در تحقیقات مختلف به طریق‌های گوناگون حشرات در معرض آن‌ها قرار گرفته‌اند، با این‌حال، تحقیقات بیشتری در آزمایش‌های میدانی برای دستیابی به کارایی مناسب برای استفاده در سیستم مدیریت حشرات مورد نیاز است. در راستای مطالعه حاضر و تأثیر نانوذرات بر روی حشرات، مطالعه (Gutiérrez-Ramírez *et al*. 2021) با هدف بررسی اثر حشره‌کشی نانوذرات اکسید روی، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و ترکیب آن‌ها بر روی پوره‌های *Bactericera cockerelli*در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای انجام شد. نتایج آن‌ها نشان داد که هر دو نانوذره اکسید روی و دی اکسید تیتانیوم در آزمایشگاه و گلخانه سمیت قابل توجهی برای پوره‌های *B.cockerelli* نشان دادند. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که نانوذرات به‌طور قابل توجهی باعث افزایش مرگ و میر ۸۸، ۹۹ و ۱۰۰ درصدی پس از ۹۶ ساعت بعد از تیمار با نانوذرات اکسید روی، نانوذرات TiO2 و ترکیبات آن‌ها شدند، نتایج آن‌ها با مطالعه حاضر نیز از نظر ویژگی سمیت نانوذرات دی اکسید تیتانیوم هم‌خوانی داشت.

شاکر و همکاران (۱۳۹۵) با هدف ارزیابی اثرات کاربرد نانوذرات TiO2 بر بقای کرم برگ پنبه مصری (*Spodoptera littoralis*) انجام شد آزمایش در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. این آزمایش با دو تیمار شامل نانوذرات TiO2 و کنترل منفی (آب مقطر) علیه لاروهای سن دوم و چهارم کرم برگ پنبه مصری انجام شد. مقدار LC50 برای گروه تیمار با نانوذره در غلظت‌های مختلف نانوذره بررسی شد. لاروهای سن ۲ و ۴ به مدت ۴۸ ساعت بر روی برگ‌های تیمار شده با نانوذرات TiO2 تغذیه کردند و مرگ و میر پس از ۱۵ روز پس از استفاده مشخص شد. نتایج تیمارهای نانوذرات TiO2 در آزمون لارو نشان دهنده اثر سمی بالاتر در تمام غلظت‌های استفاده شده برای سن دوم نسبت به همان غلظت‌ها برای سن چهار بود، نتایج پژوهش شاکر و همکاران (۱۳۹۵)، نیز با مطالعه حاضر از لحاظ ویژگی سمیت و حشره‌کشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم نیز مطابقت داشت.

ابدلراهیم[1] و همکاران (۲۰۱۶) با هدف بررسی اثر نانوذرات نقره بر روی سوسک آلمانی *Blattella germanica* (L.)انجام شد. سه غلظت ۳۰، ۱۳۰ و ۳۰۰ ppm از نانوذرات نقره برای تیمار سوسک آلمانی استفاده شد. نانوذرات نقره بر روی هر دو مرحله پوره سن سوم و بالغ به روش تماس و خوراکی اعمال شدند. LC50، اثر نانوذرات نقره بر درصد مرگ و میر در حشرات تیمار شده در مطالعه آن‌ها برآورد شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با افزایش غلظت نانوذرات، درصد مرگ‌ومیر در هر دو مرحله پورگی و بالغ افزایش یافت. در روش خوراکی، درصد تلفات در پوره‌های تیمار شده پس از ۷۲ ساعت با غلظت ۳۰۰ ppm به بالاترین میزان خود رسید که ۹۳/۳۳ درصد بود، در حالی‌که در آزمون تماس با همین غلظت به ۷۳/۳۳ درصد رسید. درصد مرگ و میر در بالغین تیمار شده پس از ۷۲ ساعت با غلظت ۳۰۰ ppm به بالاترین میزان خود رسید که در روش تغذیه ۹۶/۶۷ درصد و در آزمون تماسی با همین غلظت به ۸۳/۳۳ درصد رسید. نتایج

[1] AbdEl-Raheem

پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تیمار خوراکی در همه روزها و در غلظت‌های ۱۵ و ۲۰ صدم درصد مؤثرتر از تیمار تماسی بوده است، اما تیمار تماسی مؤثرتر از تیمار خوراکی در تمام روزها به‌جز روز هفتم در غلظت ۲۵ صدم درصد بوده است. به طورکلی در پژوهش حاضر تیمار خوراکی از تیمار تماسی به این علت که نانوذرات مستقیماً وارد جیره غذایی سوسری‌های آمریکایی می‌شود و وارد دستگاه گوارش خواهد شد، مؤثرتر است. نتایج پژوهش ابدلراهیم و همکاران (۲۰۱۶) با پژوهش حاضر از این نظر مطابقت داشت که با افزایش غلظت نانوذرات درصد مرگ و میر نیز افزایش می‌یابد.

به‌نظر می‌رسد در مطالعه حاضر زمانی‌که سوسری‌های آمریکایی در معرض تیمار تماسی با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم قرار می‌گیرند، مکانیسم نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به‌جای تأثیر بر روی عملکرد بیوشیمیایی، بر اختلال فیزیکی سوسری‌های آمریکایی متکی است. در این راستا استدلر[1] و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند که ذرات باردار نانوذرات آلومینوم، حشره را با اتصال به کوتیکول آن‌ها از طریق نیروهای تریبوالکتریک و با اثر سطحی لایه موم حشره به آن جذب می‌شوند. این ذرات ساینده همراه با رفتار آبگریز خود باعث ایجاد شکاف و خراش بر روی بدن حشرات می‌شوند.

همچنین در پژوهش حاضر، علاوه‌بر آسیب فیزیکی از طریق تماس، نانوذرات می توانند فعالیت بیوشیمیایی را پس از بلع یا استنشاق تغییر دهند و به این ترتیب حتی می‌توانند پس از استنشاق به اندام‌های مختلف سوسری آمریکایی از جمله مغز بروند. در همین راستا راج[2] و همکاران (۲۰۱۷) عنوان کردند که نانوذرات نقره باعث ایجاد استرس در حشرات می‌شوند که به‌صورت افزایش سیتوکین‌ها، گونه‌های اکسیژن فعال، واسطه‌های پیش التهابی و همچنین تغییرات در پتانسیل غشایی و زنجیره تنفسی میتوکندریایی ظاهر می‌شود. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد مصرف نانوذرات نقره در مراحل اولیه لاروی *Drosophila melanogaster* با اختلال در توانایی خزیدن مرتبط است و با افزایش دوز خوراکی نانوذرات نقره در طول مرحله لاروی، تغییرات متابولیکی در سطح پروتئین، کربوهیدرات و لیپید و همچنین کاهش حضور قطرات چربی و افزایش گونه های اکسیژن فعال در بافت لارو رخ می‌دهد. همچنین بنلی[3] (۲۰۱۸) نیز اظهار کردند که هنگام استفاده از گرد حشره‌کش، پارامترهایی مانند مورفولوژی ذرات، مساحت سطح و اندازه ذرات باید در نظر گرفته شوند تا بر کارایی فعالیت حشره‌کش تأثیر بگذارند. در مطالعه حاضر، به‌طورکلی با افزایش دوز و گذشت زمان، درصد مرگ‌ومیر سوسری‌های آمریکایی در اثر تیمار تماسی و خوراکی با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به مطالعه حاضر و همچنین مطالعات دیگر در زمینه تأثیر انواع نانوذرات بر روی سوسری‌ها نشان دهنده اثر نامطلوب آن‌ها بر روی تولید مثل، رشد، اندامک‌های غیرهدف و حتی ارگانیسم‌های غیرهدف می‌باشد. متأسفانه، در حالی‌که این اطلاعات در مورد تغییرات ناشی از انواع نانوذرات در صفات زندگی و پویایی جمعیت سوسک‌ها جالب و تأمل برانگیز است، شکاف عمیق دانش در مورد تجمع اندام اصلی نانوذرات و مکانیسم‌های سمیت آن‌ها بر روی سوسری‌ها هنوز وجود دارد. این جنبه از تحقیقات را می‌توان با داده‌های بیشتر از هر دو جنس حشرات و نقاط پایانی بیوشیمیایی مرتبط با عملکرد اندام‌های بدن حشرات بهبود بخشید. اما به‌طور کلی، چندین مکانیسم را می‌توان برای تأثیر نانوذرات بر روی حشرات در نظر گرفت. از جمله ویژگی‌های اصلی نانوذرات، واکنش پذیری سریع آن‌ها در مقایسه با سایر مواد است که باعث شده از آن‌ها به‌عنوان کاتالیزگر استفاده شود. نانوذرات واکنش‌پذیر، واکنش‌های کاتالیزی را در سلول‌ها آغاز می‌کنند و باعث تولید گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن می‌شوند. از آن‌جاکه در فرآیندهای کاتالیستی ذرات دچار تخریب

[1] Stadler
[2] Raj
[3] Benelli

نمی‌شوند، بنابراین زنجیره‌ای از واکنش‌ها در سیستم بیولوژیکی مورد انتظار است. چنین واکنش‌پذیری غیرمعمول، باعث سمی شدن بیشتر نانوذرات می‌شود. بار الکتریکی نانوذرات باعث واکنش‌پذیرتر شدن آن‌ها در سلول‌ها و پروتئین‌ها در مقایسه با نمونه‌های خنثی می‌شود. در مطالعه حاضر مشخص می‌شود که زمانی‌که سوسری‌های آمریکایی در معرض تیمار تماسی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم قرار می‌گیرند، این نانوذرات می‌توانند از طریق پوست و سیستم تنفسی وارد بدن شوند و بر اندامک‌های سوسری‌های آمریکایی تأثیر بگذارند. بنابراین در مطالعه حاضر نیز امکان نفوذ گسترده نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به بافت‌های مختلف سوسری وجود داشته است به‌طوری‌که پس از تجمع در بافت‌ها، با ایجاد واکنش-های سطحی و تولید رادیکال‌های آزاد توانسته اند اثرات متعددی را بر فعالیت و ساختار غشاهای سلولی و همچنین ضمن نفوذ به داخل سلول‌ها، اثراتی را بر اندامک‌های مختلف سلولی ایجاد کند.

با توجه به مشکلات زیست محیطی و هزینه ناشی از مصرف مقادیر زیاد آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌های معمولی در طبیعت و نیز مشکلاتی ناشی از مقاومت حشرات به این حشره‌کش‌ها، تحقیق و توسعه در زمینه حشره‌کش‌های نانو به-عنوان یک ضرورت مطرح می‌گردد. افزایش اثر بخشی حشره‌کش‌های نانو موجب کاهش مقدار مصرف آن‌ها در مقایسه با حشره‌کش‌های معمولی می‌شود، به‌علاوه انتقال و جذب هدفمند حشره‌کش‌های نانو نه تنها موجب افزایش اثربخشی بلکه باعث کاهش اثرات سوء آن‌ها بر موجودات غیرهدف می‌شود. معمولاً در تولید فرمولاسیون حشره‌کش‌های معمولی انواع مواد آلی مورد استفاده قرار می‌گیرند که علاوه بر خود مولکول حشره‌کش برای محیط زیست و حیات وحش خطرناک هستند (Jasrotia *et al*. 2018). اما از طرفی یک مشکل جدید در رابطه با استفاده از نانوذرات و حشره‌کش‌های بر پایه نانو ماندگاری طولانی‌تر و سمیت بالاتری است که ایجاد می‌کنند. اندازه کوچک قطرات نیز ممکن است منجر به تبخیر زود هنگام نانوذرات قبل از رسیدن به هدف شود. تعامل نانو فرمولاسیون با میکروارگانیسم‌ها، گیاهان و سایر حیوانات در سطوح تغذیه‌ای مختلف یکی دیگر از زمینه‌های اصلی در رابطه با استفاده از نانو حشره‌کش‌ها است که نیاز به بررسی دارد. علاوه براین، سرنوشت زیست محیطی نانوفرمولاسیون حشره‌کش‌ها بر روی خاک، آب‌های زیرزمینی و موجودات غیرهدف ناشناخته و نیازمند بررسی است.

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، تیمار خوراکی سوسری‌های آمریکایی در همه روزها و در غلظت‌های ۱۵ و ۲۰ صدم درصد مؤثرتر از تیمار تماسی بوده است، اما تیمار تماسی مؤثرتر از تیمار خوراکی در تمام روزها به‌جز روز هفتم در غلظت ۲۵ صدم درصد بوده است. به‌طور کلی در پژوهش حاضر تیمار خوراکی مؤثرتر از تیمار تماسی بود و در مطالعه حاضر با افزایش دوز و گذشت زمان، درصد مرگ و میر سوسری‌های آمریکایی در اثر تیمار تماسی و خوراکی با نانوذرات دی اکسید تیتانیوم به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

تعارض منافع

تعارض منافع نویسندگان این مقاله تعارض در منافع ندارند.

Referance

AbdEl-Raheem A M, Eldafrawy B M. 2016. Efficacy of silver nanoparticles against German cockroach Blattella germanica (L.)(Dictyoptera: Blattellidae). *Academic Journal of Entomology*. *9*(4), 74-80.

Batchelor-McAuley C, Tschulik K, Neumann CC. 2014. Why are silver nanoparticles more toxic than bulk silver? Towards understanding the dissolution and toxicity of silver nanoparticles. International Journal of Electrochemical Science. 9:1132-8.

Batool M, Hussain D, Akrem A, ul Haq M N, Saeed S, Saeed Q. 2021. Nanoencaspsulation of Cysteine Protease for the Management of Stored Grain Pest, Sitotroga cerealella (Olivier). J. King Saud University-Science. 33 (4), 101404.

Benelli G. 2018. Mode of action of nanoparticles against insects. Environmental Science and Pollution Research. 25(13), 12329-12341.

Dehghani R, Davari B, Latifi M, Izadi S. 2015. A Review of Biological and Natural Control Methods of Pests and Introducing of Eublepharis Macularius, Hemiechinus Hypomelas and Scarites Sp, as New Predators in Isfahan Province. Journal Jiroft University Medical Science. 2(1), 139-151.

Gutiérrez-Ramírez J A, Betancourt-Galindo R, Aguirre-Uribe L A, Cerna-Chávez E, Sandoval-Rangel A, Ángel E C D, Hernández-Juárez A. 2021. Insecticidal effect of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles against Bactericera cockerelli sulc.(hemiptera: Triozidae) on tomato Solanum lycopersicum. *Agronomy*. *11*(8), 1460.

Jasrotia P, Kashyap P L, Bhardwaj A K, Kumar S, Singh, G P. 2018. Scope and Applications of Nanotechnology for Wheat Production: a Review of Recent Advances. Wheat and Barley Research. 10 (1), 1–14.

Ling P, Miao L, Zhang W, Wu C, Yan B. 2022. Cockroach-inspired structure for lowfrequency vibration isolation. Mechanical Systems and Signal Processing. 171, 108955.

Mehrpooyan P, Yazdanbakhsh A, Magles M. 2000. American cockroach control in sewage. The third national environmental health conference, Shahid Beheshti University of Medical Sciences. 1121-1130. Persian.

Park MV, Neigh AM, Vermeulen JP. 2011. The effect of particle size on the cytotoxicity, inflammation, developmental toxicity and genotoxicity of silver nanoparticles. Biomaterials. 32: 9810-7.

Raj A, Shah P, Agrawal N. 2017. Sedentary behavior and altered metabolic activity by AgNPs ingestion in Drosophila melanogaster. Scientific Reports. 7 (1), 15617.

Singh A, Dhiman N, Kar A K, Singh D, Purohit M P, Ghosh D. 2020. Advances in Controlled Release Pesticide Formulations: Prospects to Safer Integrated Pest Management and Sustainable Agriculture. Journal of hazardous materials. 385, 121525.

Shaker, A. M., Zaki, A. H., Abdel-Rahim, E. F. M., & Khedr, M. H. 2017. TiO2 nanoparticles as an effective nanopesticide for cotton leaf worm. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Special*. (61-68).

Small T, Ochoa-Zapater M A, Gallello G, Ribera A, Romero F M, Torreblanca A, Garcerá M D. 2016. Gold-nanoparticles ingestion disrupts reproduction and development in the German cockroach. Science of The Total Environment. 565, 882-888.

Stadler T, López García G P, Gitto J G, Buteler M. 2017. Nanostructured alumina: biocidal properties and mechanism of action of a novel insecticide powder. Bulletin of Insectology. 70 (1), 17–25.

Zorlu T, Nurullahoğlu Z U, Altuntaş H. 2018. Influence of Dietary Titanium Dioxide Nanoparticles on the Biology and Antioxidant System of Model Insect, Galleria mellonella (L.) (Lepidoptera: Pyralidae). Journal of the Entomological Research Society. 20(3), 89–103.

IAU Journal of Entomological Research

Volume 14, Issue 4, pages: 260-276

Islamic Azad University, Arak Branch
ISSN 2008-4668
http://jer.iau-arak.ac.ir

Toxicity and insecticidal effect of titanium oxide nanoparticles on American cockroach

***A. Noori*[1*], *Sh. Shirani*[1]**

1- Department of Biology, falavarjan Branch

Abstract

Background and purpose: American cockroach is one of the important household insects, which transmits many types of pathogens to the environment. On the other hand, the methods used to control it today are somewhat ineffective and have caused resistance in these insects. Materials and methods: 311 adult American cockroaches were purchased from Tehran Health College. Titanium oxide nanoparticles were also purchased from Neutrino company, Tehran. Different concentrations of nanoparticles were prepared for oral and contact treatments of American cockroaches. American cockroaches were treated by contact and oral method with different concentrations of titanium oxide nanoparticles with three repetitions. The average percentage of insect mortality in different groups was compared by one-way analysis of variance and Duncan's test. Also, the average percentage of insect mortality on different days in each group was compared by analysis of variance with repeated observations. Results: The oral treatment of American cockroaches was more effective than the contact treatment in concentrations of 15 and 21% in all days, but the contact treatment was more effective than the oral treatment in all days except the seventh day in a concentration of 25%. In general, oral treatment was more effective than contact treatment. With increasing dose and passage of time, the mortality percentage of American cockroaches increased significantly due to contact and oral treatment with titanium dioxide nanoparticles. Conclusion: The use of different nanoparticles, including titanium dioxide nanoparticles, can create a significant effect in controlling the American cockroach as a new method along with the previous methods.

Keywords: American cockroach, insecticidal, nanoparticles, of titanium oxide

* Corresponding Author, E-mail: *ali.noori55@gmail.com*
Received: 7 Dec. 2022 – Accepted: 31 Dec. 2022