تحقیقات آفات گیاهی
۱۴۰۱ -۱۲(۱): ۴۳ -۵۸

علمی پژوهشی

کارایی خاک دیاتومه، نانو ذرات سیلیکا، کائولین، گوگرد میکرونیزه و اختلاط آنها روی کنه تارتن دولکه‌ای *Tetranychus urticae* Koch. در شرایط گلخانه‌ای

النا حسینی، شهرام آرمیده* و شهرام میرفخرائی
گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۱)

چکیده

کنه تارتن دولکه‌ای *Tetranychus urticae* Koch. یکی از آفات مهم گیاهی می‌باشد. برای کنترل این آفت از کنه‌کش‌های شیمیایی استفاده می‌شود که باعث افزایش باقیمانده، از بین رفتن دشمنان طبیعی و آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. در همین راستا، تاثیر خاک دیاتومه، نانو ذرات سیلیکا، کائولین، گوگرد میکرونیزه و اختلاط آنها روی مراحل مختلف زیستی کنه دولکه‌ای در شرایط آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه پروبیت نشان داد میزان LC_{50} نانوسیلیکا روی مرحله تخم بعد از پنج روز معادل ۱۸۰/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و میزان LC_{50} برای پوره سن سوم و کنه ماده بالغ بعد از ۷۲ ساعت به‌ترتیب۳۰/۵۱ و ۴۳/۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. در بررسی اثر اختلاط ترکیب‌ها، بیشترین اثر کشندگی علیه تخم، مرحله پوره سن سوم و کنه بالغ ماده به‌وسیله اختلاط گوگرد و نانوسیلیکا به دست آمد. مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین، گوگرد و ترکیب آنها روی میزان شاخص کلروفیل برگ نشان داد که بیشترین شاخص در تیمار گوگرد (۴۲/۵۳) می‌باشد. همچنین، کمترین تخمریزی و تولید نتاج در تیمار اختلاط گوگرد و نانوسیلیکا مشاهده شد. با توجه به تاثیر قابل توجه اختلاط گوگرد و نانوسیلیکا علیه تخم، پوره سن سوم و کنه بالغ ماده می‌توان آن را در برنامه مدیریت تلفیقی این آفت مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: خاک دیاتومه، کائولین، کنه تارتن دولکه‌ای، گوگرد میکرونیزه، نانو ذرات سیلیکا

*نویسنده مسئول: Sh.aramideh@Urmia.ac.ir

مقدمه

کنه تارتن دولکه‌ای *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae) یا کنه معمولی و کنه تارتن یکی از آفات مهم گیاهی است. این آفت انتشار جهانی دارد و یکی از آفات بسیار چندین‌خوار شناخته می‌شود؛ به طوری که بیش از ۱۰۰۰ گونه میزبان در یک‌صد خانواده گیاهی دارد. این آفت علاوه بر عرصه‌های کشاورزی، در عرصه‌های جنگلی و مرتعی نیز یکی از مهمترین عوامل خسارت‌زا می‌باشد (Attia *et al*., 2013). کنه دولکه‌ای سرعت تولیدمثل بالایی دارد و اولین آفت گلخانه‌ای است که به آفت‌کش‌ها مقاومت نشان داده است. این ویژگی امروزه آن را به آفت خطرناک و کاهش‌دهنده کمی و کیفی محصولات کشاورزی مبدل کرده است. بنابراین، جزو آفات مهم و اقتصادی محصولات زراعی محسوب می‌شود (Golec *et al*., 2020). کنه‌ها اغلب در سطح زیرین برگ‌ها فعالیت کرده و به دلیل دارا بودن قطعات دهانی مکنده با استفاده از کلیسرهای خود نسج گیاه را پاره و از شیره نباتی خارج شده از آن تغذیه می‌کنند و سبب خسارت کمی و کیفی روی محصول می‌شوند (Park and Lee, 2002; Meck *et al*., 2013; Attia *et al*., 2013). راهکارهای گوناگونی برای کنترل این آفت به کار گرفته می‌شود که مهم‌ترین آنها استفاده از روش‌های شیمیایی است (Arbabi, 2007). استفاده گسترده از سموم شیمیایی علیه این آفت با توجه به مشخصات زیستی همچون دوره زندگی کوتاه، تعداد نسل‌های زیاد، قدرت تولیدمثل بالا و غیره باعث بروز مقاومت، اثر جانبی زیست محیطی، تاثیر سوء روی موجودات غیر هدف و بروز آفات ثانویه می‌شود (Whalon *et al*., 2012). بنابراین، استفاده از ترکیب‌های غیرشیمیایی و کم خطر و سازگار با محیط زیست مانند نانوسیلیکا، کائولین، خاک دیاتومه، گوگرد در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Korunic, 1998; Saour and Makee, 2003; Saour, 2005; Hosseininia *et al*., 2008; Alimohamadian *et al*., 2021). پژوهشگران مختلفی گزارش کردند که گوگرد به عنوان یک کنه‌کش برای خانواده اریوفیده و کنه دولکه‌ای می‌تواند به‌کار رود. گوگرد با نفوذ از اسکلت بیرونی کنه، به DNA و پروتئین متصل شده و مانع تولید آنزیم می‌شود (Auger *et al*., 2003). اثرات کنه‌کشی گوگرد روی کنه تارتن دو لکه‌ای نشان داده که بین میزان کشندگی و دز گوگرد مورد استفاده رابطه مستقیم دارد (Vacacela Ajila *et al*., 2019). سمیت نسبی کنه‌کشی نانوذرات سیلیکا روی ماده‌های بالغ و تخم‌های کنه تار عنکبوتی کارمین *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval و کنه‌های دولکه‌ای *T. urticae* مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج زیست‌سنجی نشان داد که غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیکا باعث مرگ و میر هر دو گونه کنه می‌شود (Alakhdar and El-Samahy, 2016). استفاده از ماده معدنی کائولین علیه جمعیت کنه‌های آفت در دو دهه اخیر مورد توجه قرارگرفته است. محلول‌پاشی پودر کائولین روی برگ گیاه رازک علیه مراحل فعال کنه تارتن دولکه‌ای از تغذیه روی سلول‌های برگ جلوگیری کرده و اثرات سوء جمعیتی روی کنه شکارگر *Galendromus occidentalis* Nesbitt در آمریکا نداشته است (Arbabi *et al*., 2020). بررسی ترکیب‌های کم‌خطر برای محیط زیست نظیر خاک دیاتومه روی آفت کنه تارتن دولکه‌ای و دشمنان طبیعی آن نشان داد خاک دیاتومه در کنترل کنه تارتن موثر و برای دشمنان طبیعی کم خطر می‌باشد (Shah and Appleby, 2019). بنابراین، در راستای جایگزینی ترکیب‌های کم‌خطر و کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی، اثر چند ترکیب شامل نانو ذرات سیلیکا، کائولین، خاک دیاتومه و گوگرد میکرونیزه روی آفت مهم کنه تارتن دولکه‌ای *Tetranychus urticae* Koch. مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

محل و زمان آزمایش‌ها

این تحقیق در دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۹ انجام گرفت.

مواد مورد استفاده

خاک دیاتومه با فرمولاسیون Silicosec، ساخت شرکت Biofa آلمان، کائولین (سپیدان، WP) به شکل پودر نرم با دانه‌بندی ذرات کمتر از ۵۰ میکرون ساخت شرکت کیمیا سبزآور به‌صورت بسته‌های نیم‌کیلویی، نانو ذره سیلیس SiO_2 با قطر ذرات ۴۰-۵۰ نانومتر و با خلوص ۹۹/۹۹ درصد تولید شرکت پیشگامان (Pishgamannano®) و گوگرد میکرونیزه و وتابل ساخت شرکت کیمیا گوهر ۹۵% با دانه‌بندی ۱۵۰ تا ۲۰۰ مش در آزمایش‌ها استفاده شدند.

کاشت گیاه میزبان در گلخانه

به منظور انجام پژوهش حاضر، بذرهای لوبیا رقم چیتی پس از تهیه ابتدا جوانه‌دار شده و سپس، در شرایط گلخانه با دمای ۴±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و شرایط روشنایی طبیعی درون گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۵ و قطر ۱۸ سانتی‌متر کاشته شدند. عملیات آبیاری و کوددهی طبق توصیه‌های ارائه شده توسط کارشناسان سازمان حفظ نباتات انجام پذیرفت. علاوه بر این، به منظور جلوگیری از آلودگی گیاهان به آفات که در شرایط گلخانه فعال می‌باشند، گیاهان مذکور در تمام مدت انجام بررسی‌ها در محیط کاملاً ایزوله نگهداری شدند.

پرورش کنه تارتن دولکه‌ای روی لوبیا

تعدادی کنه‌ی دولکه‌ای از مزارع لوبیای اطراف جمع-آوری و به برگ‌های لوبیای موجود گلخانه انتقال داده شدند. طی پرورش کنه، هر هفته با قرار دادن برگ‌های آلوده روی برگ‌های سالم،کنه‌ها به گیاهان جدید انتقال یافتند.

تعیین کشندگی (LC_{50})

به‌منظور تعیین میزان کشندگی (LC_{50}) ترکیب‌های خاک دیاتومه، نانو ذرات سیلیکا، کائولین، گوگرد میکرونیزه روی مراحل زیستی کنه تارتن دولکه‌ای ابتدا منابع و مقالات مربوطه مورد بررسی قرار گرفتند. در این مرحله توسط یک‌سری آزمایش‌های مقدماتی غلظت‌های حداقل و حداکثر که تلفات ۲۰ تا ۸۰ درصد روی کنه ماده بالغ داشته تعیین شدند. سپس، در فاصله این دو غلظت ۳ غلظت به روش لگاریتمی مشخص شد Pourmirza, (2005). بدین‌ترتیب آزمایش به روش غوطه‌ور سازی برگ در ۵ غلظت محلول به همراه یک غلظت آب مقطر و هر غلظت در چهار تکرار انجام شد. برگ‌ها به مدت ۱۰ ثانیه در محلول‌ها غوطه‌ور شدند و تعداد ۱۰ عدد کنه ماده بالغ در هر تکرار رهاسازی شدند. سپس، نتایج حاصل از تاثیر غلظت‌های مختلف هر ترکیب بعد از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت یادداشت‌برداری شد. با برنامه پروبیت تجزیه و تحلیل صورت گرفت و سمیت نسبی و شاخص سمیت با استفاده از معادله‌های ۱ و ۲ به‌دست آمد (Sun, 1950).

معادله (۱) $\text{سمیت نسبی} = \left(\frac{\text{LC50 کم‌اثرترین‌سم}}{\text{LC50 ترکیب‌دیگر}}\right)$

معادله (۲) $\text{شاخص سمیت} = \left(\frac{\text{LC50 قوی‌ترین‌سم}}{\text{LC50 ترکیب‌دیگر}}\right) \times 100$

بررسی اثر اختلاط ترکیب‌ها روی مراحل مختلف کنه تارتن دولکه‌ای

بعد از زیست‌سنجی و تعیین LC_{50} و LC_{25} اثر اختلاط مواد به صورت هم‌زمان مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این روش مقادیر هر کدام از ترکیب‌ها براساس LC_{50} و LC_{25} با استفاده از ترازوی دیجیتالی توزین و به صورت تیمارهای شامل LC_{50} خاک دیاتومه، LC_{50} ذرات نانو سیلیکا، LC_{50} کائولین، LC_{50} گوگرد میکرونیزه و اختلاط LC_{25} دیاتومه با LC_{25} کائولین، اختلاط LC_{25} دیاتومه با LC_{25} ذرات نانو سیلیکا، اختلاط LC_{25} دیاتومه با LC_{25} گوگرد میکرونیزه، اختلاط LC_{25} دیاتومه با LC_{25} کائولین، اختلاط LC_{25} نانو ذرات سیلیکا با LC_{25} گوگرد میکرونیزه، اختلاط LC_{25} کائولین با LC_{25} گوگرد میکرونیزه و شاهد آب مقطر روی مراحل تخم، پوره‌ها و کنه‌های ماده بالغ مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی ترجیح تخمریزی

در این بررسی برگ‌های لوبیا در ۳ تکرار با غلظت‌های LC_{50} هر ترکیب و مخلوط LC_{25} آنها غوطه‌ور شدند. سپس، روی هر کدام از برگ‌های تیمار شده ۲ جفت کنه نر و ماده تخم‌ریزی‌نکرده قرار داده شدند. حاشیه هر برگ به-منظور ممانعت از خروج کنه‌ها با لایه‌ای نازک از گریس

پوشانده شد و برگ داخل ظرف پتری قرار داده شد. بعد از ۷ روز تعداد تخم گذاشته شده و بعد از ۱۴ روز تعداد لارو خارج شده شمارش شدند و از معادله ۳ برای تشخیص ترجیح میزبان استفاده شد (Sherratt & Harvey 1993):

$$\frac{E1}{E2} = C\frac{N1}{N2}$$ معادله ۳

N1= تعداد اولیه میزبان در تیمار ترکیب‌ها

N2= تعداد اولیه میزبان در تیمار شاهد

E1= تعداد تخمریزی در تیمار ترکیب‌ها

E2= تعداد تخمریزی در تیمار شاهد

C= شاخص ترجیح

در این آزمایش چون تعداد کنه تارتن دولکه‌ای مورد استفاده در تیمارها یکسان بود، بنابراین فرمول فوق به صورت معادله ۴ درآمد. در این حالت اگر $0 < C < 1$ باشد نشان‌دهنده ترجیح کنه تارتن دولکه‌ای به تیمار شاهد است؛ ولی چنانچه $1 < C < \infty$ باشد، نشان‌دهنده ترجیح به طرف میزبان آلوده به تیمار است. مقایسه میانگین تعداد تخمریزی در تیمارها و شاهد با استفاده از آزمون ویلکاکسون به عنوان معادله‌های غیر پارامتری آزمون t جفت شده انجام شد (معادله ۴):

$$(C = \frac{E1}{E2})$$ معادله (۴)

تعیین تاثیر ترکیب‌ها روی شاخص کلروفیل SPAD[1] کل برگ

برای ارزیابی اثرات ترکیب‌های خاک دیاتومه، نانو ذرات سیلیکا، کائولین و گوگرد میکرونیزه بر شاخص کلروفیل برگ، بعد از ۱۴ روز تیمار توسط هر کدام از ترکیب‌ها میزان کلروفیل برگ تیمارها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج تعیین و با تیمار شاهد مقایسه شد. اصول اندازه‌گیری بر اساس اندازه‌گیری عبور طول موج‌های محدوده نور قرمز (۶۵۰ نانومتر) و مادون قرمز (۹۵۰ نانومتر) از برگ استوار است. کلروفیل نور قرمز را جذب می‌کند، اما نور مادون قرمز را از خود عبور می‌دهد. بر اساس اختلاف بین میزان عبور نور در محدوده این دو طول موج، دستگاه یک عدد (SPAD) را که کاملاً همبستگی نزدیکی با مقدار کلروفیل دارد، محاسبه می‌کند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور محاسبه کشندگی، تعداد کنه‌های مرده در تیمارها و شاهد شمارش و درصد مرگ و میر طبق فرمول آبوت اصلاح شد (معادله ۵) و سپس، داده‌های به‌دست‌آمده تجزیه پروبیت شدند. به‌منظور بررسی ترجیح تخمریزی میزبان‌های آلوده به خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین و گوگرد از روش انتخابی و غیرانتخابی با استفاده از t-test، برای ارزیابی تاثیر ترکیب‌ها روی شاخص کلروفیل کل برگ و بررسی اثر اختلاط ترکیب‌ها روی مراحل مختلف کنه تارتن دولکه‌ای از تجزیه واریانس یک‌طرفه ANOVA و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون Tukey با سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. تمام آزمون‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (v. 22) در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. معادله (۵)

$$(\frac{\text{تلفات شاهد} - \text{تلفات تیمار}}{\text{تلفات شاهد}}) \times 100) = \text{درصد مرگ ومیر}$$

نتایج

تعیین کشندگی LC_{50}

نتایج تجزیه پروبیت حاصل از تاثیر غلظت‌های مختلف خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین و گوگرد بعد از ۵ روز روی تخم کنه و بعد از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت روی مرحله پوره سن سوم و ماده بالغ کنه تارتن دولکه‌ای مطابق جدول-های ۱ تا ۳ بود. نتایج بررسی سمیت نسبی و شاخص سمیت بر پایه LC_{50} حاصل از ترکیب‌های پودری، روی مرحله پوره سن سوم و کنه ماده بالغ بعد از ۷۲ ساعت نشان داد که نانوسیلیکا دارای سمیت بیشتری نسبت به دیگر ترکیب‌ها می‌باشد. روی مرحله تخم نیز بعد از ۵ روز نتیجه مشابهی به دست آمد.

[1]. The Soil Plant Analysis Development

جدول ۱- اثر کشندگی (LC_{50}) خاک دیاتومه (Di)، نانوسیلیکا (Si)، کائولین (Ka) و گوگرد (Su) روی تخم کنه *Tetranychus urticae* بعد از ۵ روز

Table 1. Lethal effect (LC_{50}) of diatomaceous earth (Di), nanosilica (Si), kaolin (Ka), and sulfur (Su) on egg stage of *Tetranychus urticae* after 5 days

Treatments	Dosages (**mg/L**)	Slop± SE	Interseps+5	X2 (df)	LC_{25} (95% CLs)	LC_{50} (95% CLs)	*Toxicity index (%)	*Relative Potency
Ka	100.00 200.00 300.00 400.00 500.00 Control	1.88±0.58	-3.54+5	0.542(3)	236.60 (224.33-500.91)	466.67 (300.69-3290.90)	38.57	2.06
Si	31.25 62.50 125.00 250.00 500.00 Control	9.07±2.84	-2.97+5	1.932(3)	109.00 (56.07-196.6)	180.00 (120.1-260.02)	100	5.34
Di	200.00 400.00 800.00 1000.00 1200.00 Control	2.55±0.73	-5.85+5	0.206(3)	560.81 (84.24-920.04)	962.22 (145.96-1486.70)	18.70	1
Su	140.00 170.00 200.00 230.00 260.00 Control	1.89±0.51	-2.47+5	2.334(3)	130.0 (51.63-161.79)	201.22 (114.79-440.17)	89.45	4.78

*Toxicity and relative toxicity index based on LC_{50} and unit of compositions are milligrams per liter

جدول ۲- اثر کشندگی (LC_{50}) خاک دیاتومه (Di)، نانوسیلیکا (Si)، کائولین (Ka) و گوگرد (Su) روی پوره سن سوم کنه *Tetranychus urticae* بعد از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ساعت

Table 2. Lethal effect (LC_{50}) of diatomaceous earth (Di), nanosilica (Si), kaolin (Ka), and sulfur (Su) on 3rd nymphal stage of *Tetranychus urticae* after 24, 48, and 72 hours

Treatments	Dosages (**mg**/L)	Time (hr.)	Slop± SE	Interseps +5	X2 (df)	LC25 (95% CLs)	LC50 (95% CLs)	*Toxicity index (%)	*Relative Potency
Ka	100.00 200.00	24	2.80 ±0.44	-4.28+5	5.966(3)	190.40 (56.69-270.79)	330.79 (222.62-693.36)	30.43	2.60
	300.00 400.00	48	2.01 ±0.39	-2.90+5	7.154(3)	122.744 (0.00-221.09)	272.52 (61.17-2391.24)	32.41	2.43
	500.00 Control	72	1.38±0.38	-1.35+5	2.054(3)	31.11 (0.24-67.71)	195.58 (21.84-342.58)	15.59	2.51
Si	31.25 62.50	24	19.72±3.13	-4.41+5	5.145(3)	50.54 (11.47-88.59)	100.67 (99.62-200.72)	100	8.56
	125.00 250.00	48	21.06±3.35	-4.47+5	2.509(3)	41.51 (20.43-63.56)	88.33 (9.58-94.11)	100	7.50
	500.00 Control	72	23.98±6.76	-4.35+5	0.182(3)	16.42 (3.24-31.48)	30.51 (7.42-16.56)	100	16.13
Di	200.00 400.00	24	2.44±0.48	-4.73+5	2.365(3)	451.942 (281.61-584.18)	861.78 (71.85-1040.14)	11.68	1
	800.00 1000.00	48	2.19±0.48	-3.99+5	0.513(3)	322.85 (151.30-455.70)	662.75 (491.22-800.90)	13.32	1
	1200.00 Control	72	2.55±0.51	-4.32+5	2.550(3)	262.86 (121.79-378.84)	492.37 (331.66-600.68)	6.19	1
Su	140.00 170.00	24	0.85±0.29	-1.15+5	1.930(3)	66.69 (6.62-88.47)	122.86 (11.97-325.79)	81.93	7.01
	200.00 230.00	48	0.85±0.24	-0.76+5	2.658(3)	41.270 (22.08-70.81)	94.63 (4.58-15.44)	93.34	7.00
	260.00 Control	72	0.62±0.26	-0.28+5	1.607(3)	18.23 (10.00-31.15)	33.83 (10.03-55.93)	90.18	14.55

*Toxicity and relative toxicity index based on LC_{50} and unit of compositions are milligrams per liter

جدول ۳- اثر کشندگی (LC_{50}) خاک دیاتومه (Di)، نانوسیلیکا (Si)، کائولین (Ka) و گوگرد (Su) روی مرحله ماده بالغ کنه *Tetranychus urticae* بعد از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت

Table 3. Lethal effect (LC_{50}) of diatomaceous earth (Di), nanosilica (Si), kaolin (Ka), and sulfur (Su) on adult female stage of *Tetranychus urticae* after 24, 48, and 72 hours

Treatments	Dosages (**mg/L**)	Time (hr.)	Slop± SE	Interseps+5	X2 (df)	LC25(95% CLs)	LC50 (95% CLs)	*Toxicity index (%)	*Relative Potency
Ka	100.00 200.00 300.00 400.00 500.00 Control	24 48 72	2.74±0.50 2.30±0.42 0 1.58±0.37	-4.55+5 -3.52+5 -1.89+5	5.610(3) 3.352(3) 0.598(3)	250.96 (91.20-392.05) 172.221 (12.07-212.26) 52.85 (1.55-94.77)	451.71 (311.62-236.69) 331.80 (28.08-430.87) 154.59 (91.05-206.63)	26.25 31.98 27.82	2.21 2.14 3.50
Si	31.25 62.50 125.00 250.00 500.00 Control	24 48 72	13.33±2.3 9 13.28±2.3 1 11.37±2.2 9	-3.60+5 -3.33+5 -2.41+5	4.984(3) 3.689(3) 0.438(3)	61.5 (19.58-17.01) 50.00 (20.49-70.64) 18.42 (15.25-10.50)	118.6 (50.80-222.96) 106.11 (40.72-180.85) 43.01 (18.54-170.69)	100 100 100	8.43 6.69 12.58
Di	200.00 400.00 800.00 1000.00 1200.00 Control	24 48 72	2.74±0.51 2.08±0.47 2.06±0.48	-5.49+5 -3.86+5 -3.58+5	0.995(3) 1.088(3) 0.139(3)	570.15 (411.10-689.80) 433.83 (151.13-477.27) 355.66 (90.07-384.66)	1000.71 (86.21-1210.19) 710.18 (531.00-860.82) 541.39 (344.47-687.20)	11.85 14.94 7.94	1 1 1
Su	140.00 170.00 200.00 230.00 260.00 Control	24 48 72	0.94±0.28 0.93±0.25 0.95±0.24	-1.35+5 -1.03+5 -0.69+5	3.828(3) 3.323(3) 6.537(3)	85.21 (33.86-111.20) 66.41 (14.47-84.30) 22.04 (5.22-30.44)	136.88 (5.54-142.07) 120.79 (28.22-270.84) 50.291 (4.11-81.45)	86.64 87.84 85.52	7.31 5.87 10.76

*Toxicity and relative toxicity index based on LC_{50} and unit of compositions are milligrams per liter

ارزیابی اختلاط ترکیب‌ها علیه مراحل زیستی کنه تارتن دولکه‌ای

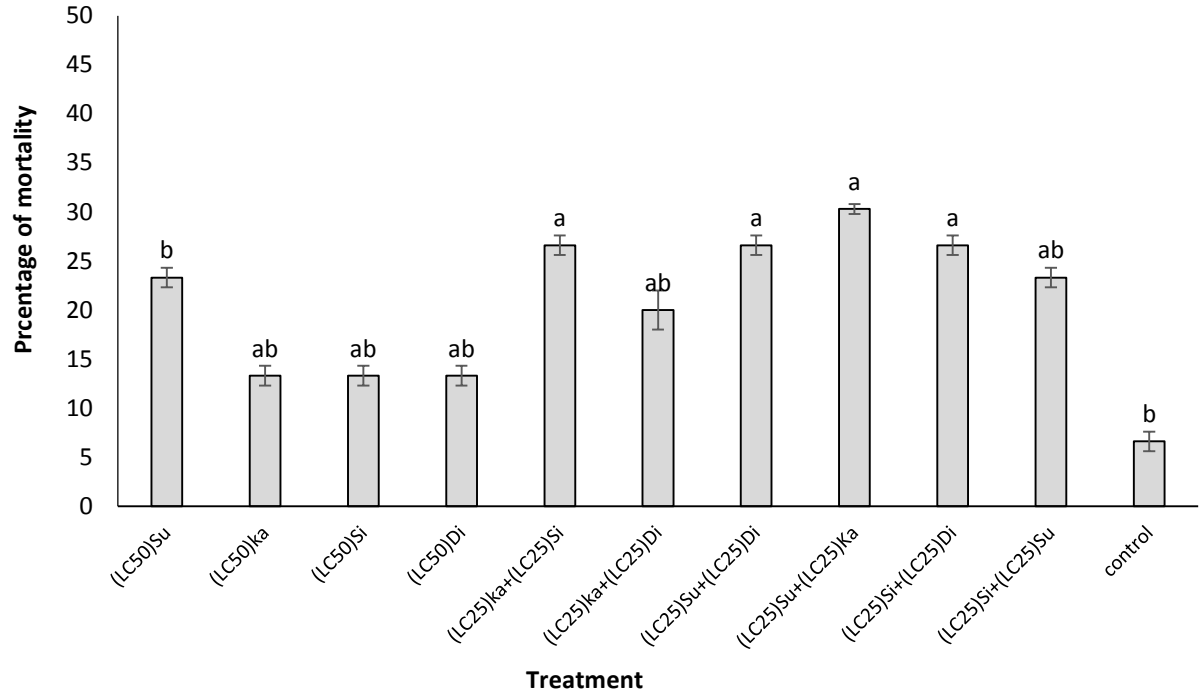
اختلاط خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین وگوگرد علیه مرحله تخم کنه تارتن دولکه‌ای

نتایج حاصل از تجزیه آماری اثر اختلاط خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین و گوگرد علیه مرحله تخم کنه تارتن دولکه‌ای نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین تلفات ناشی از تیمارهای مختلف روی مرحله تخم بعد از ۵ روز اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($F(10,22)=4.667$, $P=0.001$) (شکل ۱).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تلفات تیمارها و مقایسه میانگین‌ها روی تخم کنه تارتن دولکه‌ای بعد از ۵ روز نشان داد که تیمار اختلاط گوگرد با کائولین علیه مرحله تخم بهترین تاثیر را دارد (شکل ۱).

اختلاط خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین و گوگرد علیه کنه تارتن دولکه‌ای ماده بالغ

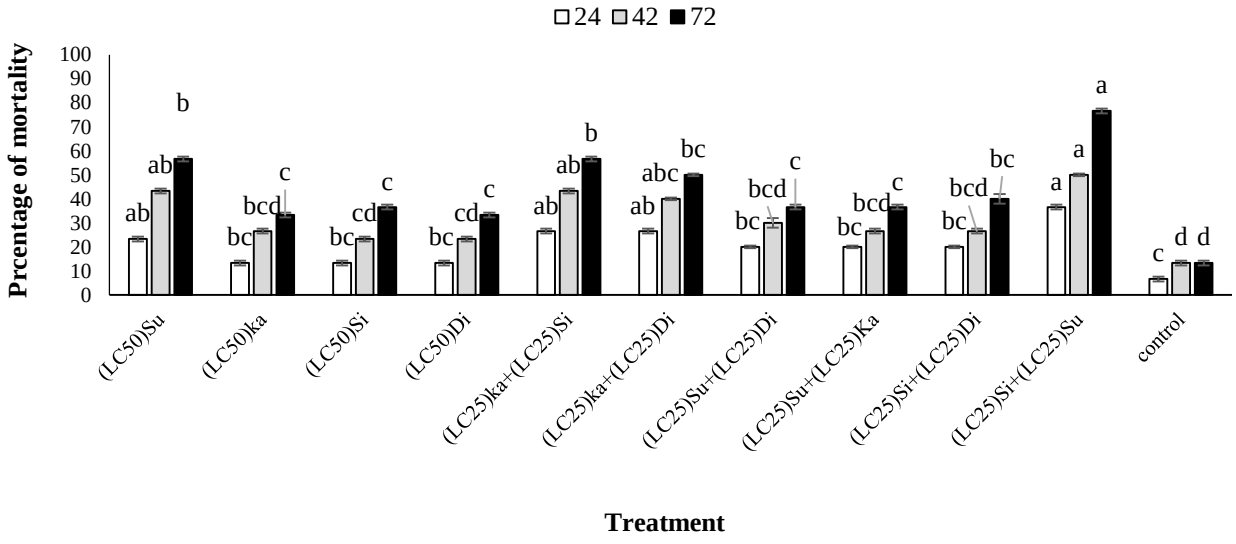
نتایج حاصل از تجزیه آماری اثر اختلاط خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین و گوگرد علیه مرحله کنه ماده بالغ نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین تلفات ناشی از تیمارهای مختلف روی مرحله کنه ماده بالغ بعد از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($F(10, 22)=8.114$, $P=0.001$, $F(10, 22)= 8.800$, $P=0.01$, $F(10, 22)=14.057$, $P=0.001$) (شکل ۲).



شکل ۱- میانگین تلفات تخم کنه تارتن دولکه‌ای بعد از ۵ روز با تیمارهای خاک دیاتومه (Di)، نانوسیلیکا (Si)، کائولین (Ka) و گوگرد (Su) و اختلاط آنها در سطح اطمینان ۹۵٪ با آزمون توکی

Figure 1. Mean mortality of *Tetranychus urticae* egg after 5 days with diatomaceous earth (Di), nanosilica (Si), kaolin (Ka), and sulfur (Su) and their combination at 95% confidence level with Tukey test. Similar letters above each column haven't significant difference.

.



شکل ۲- میانگین تلفات ماده بالغ کنه تارتن دولکه‌ای بعد از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت با تیمارهای خاک دیاتومه (Di)، نانوسیلیکا (Si)، کائولین (Ka) و گوگرد (Su) و اختلاط آنها در سطح اطمینان ۹۵٪ با آزمون توکی

Figure 2. Mean mortality of adult famle of *Tetranychus urticae* after 24, 48, and 72 h with diatomaceous earth (Di), nanosilica (Si), kaolin (Ka), and sulfur (Su) and their mixing at 95% confidence level with Tukey test. Similar letters above each column haven't significant difference.

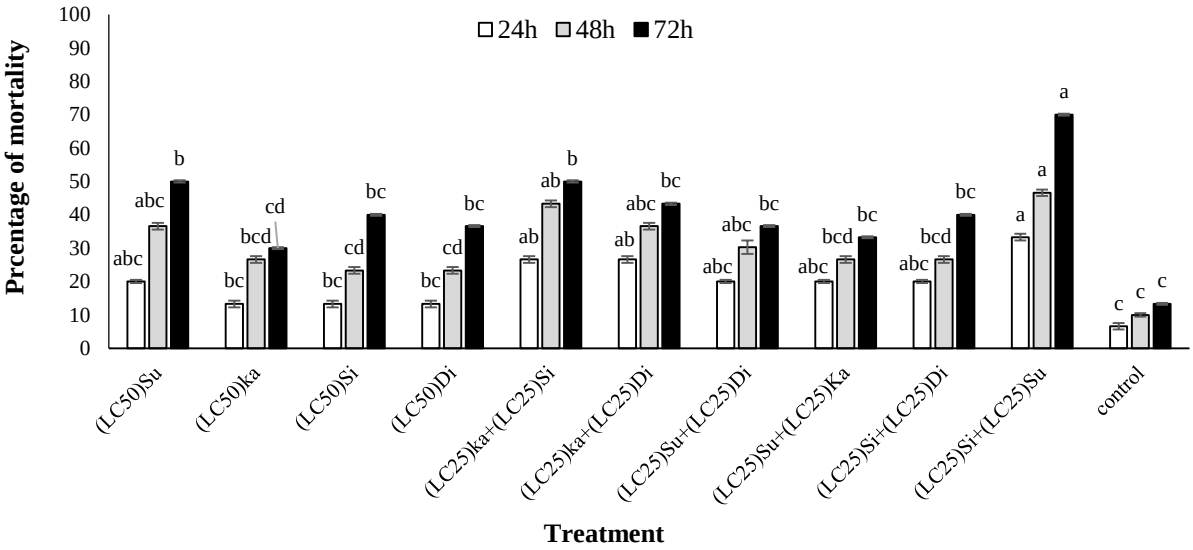
مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی نشان داد که در هر سه زمان ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت تیمار اختلاط گوگرد با نانوسیلیکا علیه مرحله کنه ماده بالغ بهترین تاثیر را دارد (شکل ۲).

اختلاط خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین و گوگرد علیه پوره سن سوم کنه تارتن دولکه‌ای

نتایج حاصل از تجزیه آماری اثر تیمارهای خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین و گوگرد و اختلاط آنها روی پوره سن سوم کنه تارتن دولکه‌ای نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین تلفات ناشی از تیمارهای مختلف روی پوره سن سوم کنه تارتن دولکه‌ای بعد از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($F(10, 22)=8.525$, $P=0.001$, $F(10, 22)=11.073$, $P=0.001$, $F(10, 22)=22.700$, $P=0.001$)(شکل ۳).

ترجیح تخم‌ریزی کنه تارتن دولکه‌ای

در مقایسه میانگین ترجیح تخمریزی کنه تارتن دولکه‌ای ماده روی برگ‌های تیمار شده با LC_{50} خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین و گوگرد و تیمار شاهد به روش انتخابی و غیر انتخابی بعد از ۷ روز با استفاده از t-test جفت‌شده، نتایج نشان داد در ترجیح تخمریزی کنه تارتن دولکه‌ای در هر دو روش، بین تیمار LC_{50} ترکیب‌ها و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری حاصل شد و بر اساس شاخص C و میانگین تخمریزی، کنه تارتن تیمار شاهد را برای تخمریزی ترجیح می‌دهد (جدول‌های ۴ و ۵).



شکل۳- میانگین تلفات پوره سن سوم کنه تارتن دولکه‌ای بعد از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت با تیمارهای خاک دیاتومه (Di)، نانوسیلیکا (Si)، کائولین (Ka) و گوگرد (Su) و اختلاط آنها در سطح اطمینان ۹۵٪ با آزمون توکی

Figure 3. Mean mortality of 3rd nymaphal stage of *Tetranychus urticae* after 24, 48, and 72 hours with diatomaceous earth (Di), nanosilica (Si), and kaolin (Ka) and sulfur (Su) soil treatments and mixing them at 95% confidence level with Tukey test. Similar letters above each column haven't significant difference.

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی نشان داد که در هر سه زمان ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت تیمار اختلاط گوگرد با نانوسیلیکا علیه مرحله پوره سن سوم بهترین تاثیر را دارد (شکل ۳).

جدول ۴- میانگین ترجیح تخمریزی کنه تارتن دولکه‌ای ماده روی برگ تیمار شده با LC_{50} خاک دیاتومه (Di)، نانوسیلیکا (Si)، کائولین (Ka) و گوگرد (Su) در مقایسه با تیمار شاهد به روش انتخابی بعد از ۷ روز با استفاده از آزمون t جفت شده

Table 4. Mean oviposation preference of female *Tetranychus urticae* treated with LC_{50} of diatomaceous earth (Di), nanosilica (Si), kaolin (Ka), and sulfur (Su) in compration with control treatment by choice method after 7 days using paired t-test

Treatment	Dosages	No. pest	Mean ±SE Oviposition		C index	t(df)	P
			Treatment	Control			
Ka	LC_{50}	4	21.20±0.58	36.60±1.36	0.57	-9.44(4)	0.001
Si	LC_{50}	4	16.60±0.50	39.20±1.06	0.42	-37.66(4)	0.000
Di	LC_{50}	4	30.00±0.31	37.60±1.28	0.79	-7.38(4)	0.002
Su	LC_{50}	4	16.20±0.37	37.40±1.72	0.43	-11.77(4)	0.000

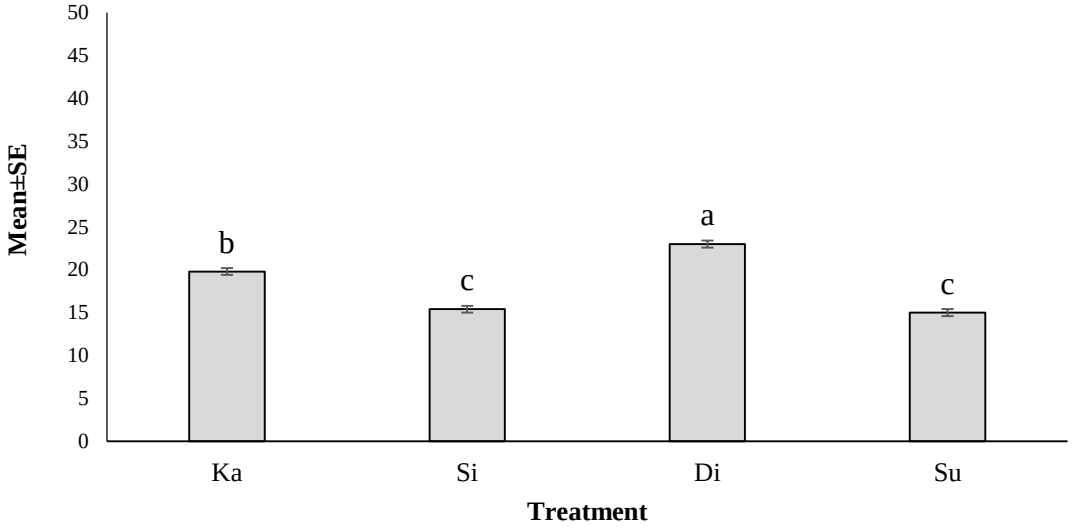
جدول ۵- میانگین ترجیح تخمریزی کنه تارتن دولکه‌ای ماده روی برگ تیمار شده با LC_{50} خاک دیاتومه (Di)، نانوسیلیکا (Si)، کائولین (Ka) و گوگرد (Su) در مقایسه با تیمار شاهد به روش غیر انتخابی بعد از ۷ روز با استفاده از آزمون t جفت شده

Table 5. Mean oviposation preference of female *Tetranychus urticae* treated with LC_{50} of diatomaceous earth (Di), nanosilica (Si), kaolin (Ka), and sulfur (Su) in compration with control treatment by non-choice method after 7 days using paired t-test

Treatment	Dosages	No. pest	Mean ±SE Oviposition		C index	t(df)	P
			Treatment	Control			
Ka	LC_{50}	4	19.80±0.37	37.40±1.91	0.52	9.74(4)	0.001
Si	LC_{50}	4	15.40±0.50	36.20±1.77	0.42	-14.93(4)	0.000
Di	LC_{50}	4	23.00±0.89	36.20±1.65	0.63	-9.47(4)	0.001
Su	LC_{50}	4	15.00±0.54	35.80±1.65	0.41	-16.76(4)	0.000

مقایسه ترجیح تخمریزی کنه تارتن دولکه‌ای روی برگ‌های تیمار شده با ترکیب‌ها به روش غیرانتخابی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای LC_{50} خاک دیاتومه، LC_{50} نانوسیلیکا ، LC_{50} کائولین و LC_{50} گوگرد روی ترجیح تخمریزی نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین میزان ترجیح تخمریزی در تیمارهای مختلف بعد از ۷ روز اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($F(3,16)=38.79$, $P=0.001$) (شکل ۴).



شکل۴- میانگین ترجیح تخمریزی کنه تارتن دولکه‌ای ماده روی برگ تیمار شده با LC_{50} خاک دیاتومه (Di)، نانوسیلیکا (Si)، کائولین (Ka) و گوگرد (Su) به روش غیر انتخابی بعد از ۷ روز

Figure 4. Mean oviposation preference of female *Tetranychus urticae* treated with LC_{50} of diatomaceous earth (Di), nanosilica (Si), kaolin (Ka), and sulfur (Su) in compration by non-choice method after 7 days. Similar letters above each column haven't significant difference.

مقایسه میانگین اثر تیمارهای ترکیب‌ها LC_{50} خاک دیاتومه، LC_{50} نانوسیلیکا ، LC_{50} کائولین، LC_{50} گوگرد روی ترجیح تخمریزی نتایج نشان داد که کمترین ترجیح تخمریزی در تیمار گوگرد و نانو ذرات سیلیکا در سطح اطمینان ۹۵ درصد به‌دست آمد (شکل ۴).

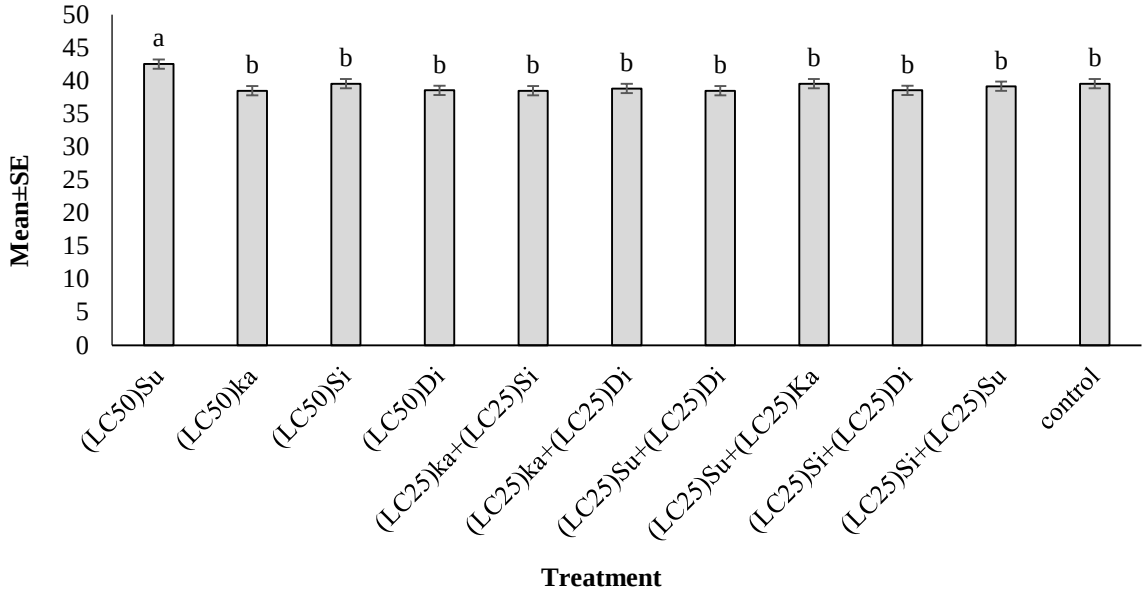
ارزیابی شاخص کلروفیل برگ (SPAD) در تیمارهای مختلف

نتایج حاصل از تجزیه آماری اثر تیمارهای خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین، گوگرد و ترکیب آنها روی میزان شاخص کلروفیل برگ (SPAD) نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین میزان کلروفیل برگ در تیمارهای مختلف بعد از ۱۵ روز اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($F(10, 22) = 10.612, P = 0.001$) (شکل ۵).

مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین، گوگرد و ترکیب آنها روی میزان شاخص کلروفیل برگ (SPAD) نشان داد که بیشترین شاخص در تیمار گوگرد در سطح اطمینان ۹۵ درصد به‌دست آمد (شکل ۵).

بحث

ترکیب‌های فیزیکی نظیر خاک دیاتومه، نانوسیلیکا ، کائولین و گوگرد از فراوان‌ترین مواد روی زمین هستند. این ترکیبات دوستدار طبیعت بوده و دارای طیف عمل گسترده در زمینه‌های مختلف به‌ویژه کنترل آفات هستند (Korunic, 1998; Glenn, 2000; Debnath *et al.*, 2012). ارزیابی اثربخشی نانوذرات اکسید سیلیکا (SiO-NP) و نانوذرات اکسید روی (ZnO-NP) در غلظت‌های ۵، ۵۰ و ۱۰۰ ppm روی مراحل بالغ و تخم کنه تارتن دولکه‌ای نتایج آزمایشگاهی نشان داد نانوذرات اکسید سیلیکا و نانوذرات اکسید روی در غلظت ۱۰۰ ppm باعث مرگ ۱۰۰ درصدی کنه‌های ماده بالغ در ۷۲ ساعت و تخم-ها ۷ روز پس از تیمار شدند (Rasim *et al.*, 2021). یوسف نژاد ایرانی و همکاران (Yousefnezhad Irani *et al.*, 2019) تاثیر فرمولاسیون‌های Aerosil® و Nanosav نانو ذرات سیلیکا بر بازدارندگی تخمریزی سوسک چهار لکه‌ای حبوبات *Callosobruchus maculatus* F. روی لوبیا چشم بلبلی، ماش سیاه، ماش سبز، نخود و عدس را با غلظت‌های مختلف مورد بررسی و



شکل۵- میانگین شاخص کلروفیل برگ تیمار شده با خاک دیاتومه (Di)، نانوسیلیکا (Si)، کائولین (Ka)، گوگرد (Su) و تیمار شاهد در سطح اطمینان ۹۵٪ با آزمون توکی. حروف مشابه بالای هر ستون تفاوت معنی داری ندارند.

Figure 5. Mean of leaf chlorophyll index treated by diatomaceous earth (Di), nanosilica (Si), kaolin (Ka), sulfur (Su), and control treatments on at 95% confidence level with Tukey test
Similar letters above each column haven't significant difference.

آزمایش قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که هر دو فرمولاسیون می‌توانند به طور مؤثر در مدیریت تلفیقی این آفت مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، در آزمایشی دیگر، اثر حشره‌کشی نانو ذرات سیلیکا و نقره روی سوسک چهار لکه‌ای حبوبات در پنج غلظت توسط روحانی و همکاران (Rouhani *et al*., 2013) بررسی شد. LC_{50} محاسبه‌شده برای نانو ذرات سیلیکا و نقره روی حشرات کامل به‌ترتیب ۰/۶۸ و ۲/۰۶ و روی لاروها ۱/۰۳ و ۱/۰۰ گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. در بررسی صبور و همکاران (Sabbour *et al*., 2016) روی اثر ژل سیلیکا و نانوسیلیکا علیه مینوز گوجه فرنگی *Tuta absoluta* Meyrick در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای گوجه فرنگی نتایج نشان داد که تعداد تخم‌های این آفت بعد از تیمار با نانوسیلیکا به طور چشمگیری کاهش یافت. در بررسی حاضر نیز نانوسیلیکا روی تخم، کنه ماده بالغ و پوره سن سوم تاثیر بالایی نسبت به ترکیب‌های دیگر داشت، اما در بازدارنگی از تخمریزی کنه ماده و میزان شاخص کلروفیل برگ، تیمارگوگرد عملکرد بهتری نشان داد. در بررسی اثر کشندگی نانوسیلیکا (SiO) و نانو اکسید مس (CuO) روی شب‌پره آرد *Ephestia kuehniella* Zeller نتایج نشان داد با گذشت زمان بر میزان تلفات شب‌پره آرد توسط نانوسیلیکا و نانو اکسید مس افزوده شد. همچنین، نانو ذرات سیلیکا نسبت به نانو اکسید مس قابلیت بهتری نشان دادند (Farzan *et al*., 2016). در بررسی تاثیر نانو ذرات سیلیکا روی پروانه برگ‌خوار چغندر *Spodoptera litura* Fabricius توسط دبنات (Debnath, 2012) نتایج نشان داد که نانو ذرات سیلیکا باعث کنترل لارو حشرات به طور چشمگیر شدند. در بررسی ال– ساماحی و همکاران (El-Samahy *et al*., 2014) در کنترل مینوز گوجه‌فرنگی *Tuta absoluta* (Meyrick) نتایج نشان داد نانو ذرات سیلیکا دارای عملکرد بسیار خوبی در کنترل این آفت می‌باشند. در بررسی حاضر نیز نانوسیلیکا روی تخم، کنه ماده بالغ و پوره سن سوم تاثیر بهتری نسبت به ترکیب‌های پودری دیگر داشت. در بررسی شهبانی و همکاران (Shahbani *et al*.,

2019) نتایج بررسی تاثیر سیلیسیم و گوگرد در کاهش جمعیت سفید بالک روی درخت توت *Morus papyrifera* L. بیانگر آن بود که ترکیب کودهای سیلیس و گوگرد علاوه بر تاثیر مناسب در تغذیه گیاه، جمعیت این آفت را به طور چشم‌گیری کاهش داد. در آزمایش ایشان در تغذیه گیاه و میزان کلروفیل، ترکیب گوگرد با نانوسیلیکا اثر بهتری نشان داد که با تحقیق حاضر مطابقت دارد. آزمایش‌های ارومو‌گام و همکاران (Arumugam *et al*., 2016) نشان داد حبوبات تیمار شده با نانو ذرات سیلیکا پتانسیل باروری *C. maculatus* را به طور معنی داری کاهش دادند. این موضوع با یافته‌های این تحقیق مطابقت داشت. نورجباری و همکاران (Norjabari *et al*., 2014) در بررسی تأثیر پودر کائولین بر پوره‌های پسیل گلابی *Psylla pyricola* F. در باغ‌های شهرستان مراغه به این نتیجه رسیدند که رنگ کردن تنه درختان با کائولین به نسبت ۱: ۱ به منظور مبارزه با مرحله زمستان‌گذران و همچنین، محلول‌پاشی کائولین به نسبت ۶ درصد پس از مرحله ریزش گلبرگ‌ها و تکرار محلول پاشی موجب کاهش ۸۰ درصدی جمعیت حشرات زمستان‌گذران و پوره‌های این آفت در مقایسه با تیمار کنفیدور و زولون می‌شود. بررسی حاضر نشان داد که کاربرد کائولین در مدیریت تلفیقی این آفت بسیار قابل توصیه است. محمدی پور و ناصری (Mohammadipour and Naseri, 2018) تاثیر کائولین با غلظت‌های ۳، ۵ و ۷ درصد را در کاهش جمعیت پسیل آسیائی مرکبات (*Diaphorina citri* (Hem.: Liviidae مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی درختان مرکبات با کائولین ۵ درصد می‌تواند جمعیت پسیل آسیایی مرکبات را کاهش دهد. نتایج بررسی تاثیر گوگرد میکرونیزه و وتابل روی تخم، پوره سن دوم و کنه بالغ ماده *T. urticae* نشان داد که این ترکیب روی هر سه مرحله کنه موثر می‌باشد. در تحقیق حاضر نیز گوگرد به‌صورت تنها و در ترکیب با نانوسیلیکا اثر مناسبی روی این آفت داشت (Auger *et al*., 2003). در بررسی بختیاری و همکاران (Bakhtiari *et al*., 2016) تاثیر اختلاط گوگرد میکرونیزه با کائولین فرآوری‌شده روی پسیل پسته مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد اختلاط گوگرد میکرونیزه با کائولین موجب افزایش کارایی و کاهش جمعیت پوره پسیل پسته شد. بررسی فرازمند و همکاران (Farazmand *et al*., 2013) نشان داد خاک دیاتومه فرآوری‌شده در کاهش خسارت زنجره مو *Psalmocharias alhageos* kol. بسیار موثر بود. دوستدارکل‌کناری و همکاران (Dostar Kalkenari *et al*., 2015) قابلیت کشندگی خاک دیاتومه برای کنترل سوسک توتون *Lasioderme serricorne* F. را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش زمان و غلظت تیمارها میزان مرگ و میر افزایش یافت و از دیاتومه می‌توان به عنوان ترکیبی مناسب علیه حشرات کامل سوسک توتون استفاده کرد. عابدینی و همکاران (Abedini *et al*., 2016) کارایی ترکیب‌های معدنی برای کنترل کرم خوشه‌خوار انگور را بررسی کردند. در این آزمایش از کائولین فرآوری‌شده، گوگرد وتابل، گل گوگرد، مخلوط کائولین فرآوری شده و گوگرد وتابل و حشره‌کش فوزالون استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده موفقیت آمیز بودن اثر کائولین و ترکیب آن با گوگرد وتابل روی جمعیت کرم خوشه خوار انگور بود. اخلاقی و همکاران (Akhlaghi *et al*., 2017) روش‌های ممانعت‌کننده تخمریزی و تغذیه در کاهش خسارت آفات میوه خربزه را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق کاربرد کائولین موجب بازدارندگی تخمریزی و کاهش میزان آلودگی میوه به مگس‌های میوه و سرخرطومی جالیز شد. بنابراین، کاربرد کائولین فرآوری‌شده و گوگرد می‌تواند تخمریزی و خسارت آفات میوه خربزه را کاهش دهد. در تحقیق حاضر، اختلاط نانوسیلیکا با گوگرد نتیجه بهتری نشان داد. علیمحمدیان و همکاران (Alimohamadian *et al*., 2021) تاثیر خاک دیاتومه و کائولین در ترکیب با سموم گیاهی از جمله نیمارین، سیرازین و اسانس گیاهی سرو علیه پوره و تخم سفید بالک *Trialeurodes vaporariorum* Westwood را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان

داد ترکیب‌های فیزیکی دارای قابلیت استفاده در کنترل تلفیقی این آفت می‌باشند.

در این تحقیق تیمار نانوسیلیکا بالاترین اثر کشندگی را علیه تخم بعد از پنج روز و علیه پوره سن سوم و کنه ماده بالغ بعد از ۷۲ ساعت نشان داد. همچنین، در بررسی اثر اختلاط ترکیب‌ها، بیشترین اثر کشندگی علیه تخم، مرحله پوره سن سوم و کنه ماده بالغ در تیمار اختلاط گوگرد و نانو ذرات سیلیکا به دست آمد. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف روی میزان شاخص کلروفیل برگ نشان داد که بیشترین شاخص در تیمار گوگرد می‌باشد. همچنین، کمترین تخمریزی و تولید نتاج در تیمار اختلاط گوگرد و نانوسیلیکا مشاهده شد. با توجه به نتایج حاصل می‌توان کاربرد تنها و اختلاط نانوسیلیکا و گوگرد را در مدیریت تلفیقی کنه تارتن دولکه‌ای به منظور کاهش مصرف سموم شیمیائی توصیه کرد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه ارومیه در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد انجام شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abedini, R., Farazmand, H., Jabaleh, I. and Sirjani, M. 2016**.** Effect of mineral compounds on the control of grape leafhoppers (Hemiptera: Cicadellidae) in vineyards of Khalilabad region. Iranian Plant Protection Congress. College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj. Volume 22. (In Farsi).

Akhlaghi, M., Farazmand, H. and Vafaii Shoshtari, R. 2017. Investigation of methods of inhibition of oviposition and feeding in reducing the damage of melon fruit pest**. Journal of Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)** 40(4): 61-72.

Alakhdar, H. H. and El-Samahy, M. F. 2016. Relative Toxicity of Silica Nanoparticles to Two Tetranychids and Three Associated Predators. **Egyptian Journal of Pest Control** 26(2): 283-286.

Alimohamadian, M., Aramideh, Sh., Mirfakhraie, Sh. and Frozan, M. 2021. Effect of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* in combination with neemarin and silica nanoparticles in the control of second instar larvae of sugar beet, *Spodoptera exigua* Hb. (Lep.: Noctuidae) in laboratory condition. **The Quarterly Scientific Journal of Applied Biology** 34(4): 148-163.

Arbabi, M. 2007. Study on effectiveness of *Phytoseiulus persimilis* A.H in control of cucumber two–spotted spider mite (*Tetranychus urticae* complex) in woody and iron greenhouse structures in Varamin region. **Pajouhesh va Sazandegi** 73: 96–105. (In Farsi).

Arbabi, M., Akbarzadeh Shokat, Gh. A., Karbalaei Khiavi, H., Imami, M. S., Kamali, H. and Farazmand, H. 2020. Evaluation of Kaolin in Control of *Panonychus ulmi* in Apple Orchards of Iran. **Journal of Plant Protection** 34(1): 47-53.

Arumugam, G., Veeramani, V., Shanmugavel, S. and Sundaram, J. 2016. Efficacy of nanostructured silica as a stored pulse protector against the infestation of bruchid beetle, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). **Applied Nanoscience** 6: 445-450.

Attia, S., Grissa, K. L., Lognay, G., Bitume, E., Hance, T. and Mailleux, A. C. 2013. A review of the major biological approaches to control the worldwide pest *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) with special reference to natural pesticides. **Journal of Pest Science** 86: 361-386.

Auger, P., Guichou, S. and Kreiter, S. 2003. Variations in acaricidal effect of wettable sulfur on *Tetranychus utricae* (Acari: Tetranychidae): effect of temperature, humidity and life stage. **Pest Management Science** 59: 559–565.

Bakhtiari, S., Jebele, E. Ramezani Moghadam, M., Sirjani, M. and Heshmat Pajooh. M. 2016. The effect of mixing micronized sulfur with processed kaolin on ordinary pistachio psyllids, *Agonoscena pistae* Burckharat & Lauterer (Hem.: Psyllidae) in Kashmar region. 23th Iranian Plant Protection Congress- September 6-9. Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj-Iran. (In Farsi)

Debnath, N., Mitra, Sh., Das, S. and Goswami, A. 2012. The effect of silica nanoparticles on *Spodoptera litura* Fabricius, **Powder Technology** 221: 252-256.

Dostar Kalkenari, L., Amiri Bashli, B. and Kabiri Raees Abad, M. 2015. Lethality of Diatomaceous earth (Sayan® formulation) to control tobacco beetle *Lasioderme serricorne* F. 1st Iranian International Congress of Entomology, 29-31 August. (In Farsi).

El-Samahy, M. F. M., Asmaa, El-Ghobary. M. and Khafagy, I. F. 2014. Using Silica Nanoparticles and Neem oil extract as new approaches to control *Tuta absoluta* (Meyrick) in tomato under field conditions**. International Journal of Plant and Soil Science** 3(10): 1355-1365.

Farazmand, H., Valizadeh, S. H. and Yousefi, M. 2013. Preliminary study of the effect of processed diatomaceous earth in reducing *Psalmocharias alhageos* Kol damage. 2th National Congress of Organic Agriculture, Ardabil, Mohaghegh Ardabili University. (In Farsi)

Farzan, R., Izadi, H. and Bazmandegan A. 2016. The Lethal Effect of Nanosilica (SiO_2) and Nanocopperoxide (CuO) against *Ephestia kuehniella* Zeller. **Iranian Plant Protection Research** 29(4): 551-557. (In Farsi).

Glenn, 2000. Effects of a Kaolin-Based Particle Film on *Obliquebanded Leafroller* (Lepidoptera: Tortricidae). **Journal of Economic Entomology** 93(3): 744-749.

Golec, J., Hoge, B. and Walgenbach. J. F. 2020. Effect of biopesticides on different *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae) life stages, **Crop Protection** 128: 105015

Hosseininia, A., Edrisi, B., Etaati, M. and Siahouei Kazemi, GH. R. 2008. Simultaneous control of rose powdery mildew and rose spider mites by neem (*Azadirachta indica* Adr. Juss) seed oil, sulfur and dinocap. **Pajouhesh va Sazandegi** 21(178):34-40. (In Farsi)

Korunic, Z. 1998. Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. **Journal of Stored Products Research** 34: 87-97.

Meck, E. D., Kennedy, G. G. and Walgenbach, J. F. 2013. Effect of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on yield, quality, and economics of tomato production. **Crop Protection** 52: 84-90.

Mohammadipour, A. and Naseri, M. 2018. Study the kaolin powder efficiency in reducing the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hem.: Liviidae) population. **Plant Pest Research** 8(2):13-24. (In Farsi)

Norjabari, A., Armideh, Sh., Ghanbarzadeh, N. and Islampour, L. 2014. The effect of kaolin powder against *Psylla pyricola* F. nymphs in orchards of Maragheh city. 21st Iranian Plant Protection Congress. Urmia Iran. (In Farsi)

Park, Y. L. and Lee, J. H. 2002. Leaf cell and tissue damage of cucumber caused by two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Journal of Economic Entomology** 95: 952-957.

Pourmirza, A. A. 2005. Local variation in susceptibility of Colorado potato beetle (Col.: Chrysomelidae) to insecticide. **Journal of Economic Entomology** 98: 2176-2180.

Rasim, H. S., Mohsen, B. H. and Al-Gburi B. K. 2021. Acaricidal Effects of Silicon Oxide and Zinc Oxide Nanoparticles against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on Tomato Plants. **Journal of Agricultural and Urban Entomology** 37(1): 60-71.

Rouhani, M., Samih, M. A. and Kalantari, S. 2013. Insecticidal effect of silica and silver nanoparticles on the cowpea seed beetle, *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Entomological Research** 4 (4): 297-305.

Sabbour, M. M. and Hussein, M. M. 2016. Determinations of the effect of using silca gel and nano-silica gel against *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in tomato fields. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research** 8(4): 506-512.

Saour, G. 2005. Efficacy of kaolin particle film and selected synthetic insecticides against pistachio psyllid *Agonoscena targionii* (Homoptera: Psyllidae) infestation. **Crop Protection** 24: 711–717.

Saour, G. and Makee. H. 2003. A kaolin-based particle film for suppression of the olive fruit fly *Bactrocera oleae* Gmelin (Dip.: Tephritidae) in olive groves. **Journal of Applied Entomology** 127: 1-4.

Shah, R. and Appleby, M. 2019. Testing the contact and residual toxicity of selected low-risk pesticides to *Tetranychus Urticae* Koch and its Predators. **Sarhad Journal of Agriculture** 35: 1113–1121

Shahbani, Z., Bahramiyan, M., Saghfi, E. and Esmaeili, V. 2019. The effect of silica and sulfur in reducing the contamination of paper mulberry trees (*Morus papyrifera* L.) with whitefly. 11th Congress of Iranian Horticultural Science. Urmia University, Iranian Society for Horticultural Science, (In Farsi)

Sun, Y. P. 1950. Toxicity indexes an improved method of comparing the relative toxicity of insecticides. **Journal of Economic Entomology** 43: 45-53.

Vacacela Ajila, H. E., Oliveira, E. E., Lemos, F., Haddi, Kh., Colares, F., Marques Gonçalves, P. H., Venzon, M. and Pallini, A. 2019. Effects of lime sulfur on *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus macropilis*, two naturallyoccurring enemies of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae*. **Pest Management Science** 76(3): 996-1003.

Whalon M., Mota-Sanchez, D., Hollingworth, R. and Duynslager, L. 2015. Arthropod Pesticide Resistance Database. From http://www.pesticideresistance.com/

Yousefnezhad Irani R., Karimpour Y. and Ziaee, M. 2019. Oviposition deterrence, progeny reduction and weight loss by *Callosobruchus maculatus* (F.) in pulses treated with two nanosilica formulations. **Plant Protection** 41(4): 1-15. (In Farsi)

Plant Pest Research
2022- 12 (1): 43-58

Research paper

Efficiency of diatomaceous earth, silica nanoparticles, kaolin, micronized sulfur and their mixing on *Tetranychus urticae* Koch. in greenhouse conditions

E. Hosseini, Sh. Aramideh* and Sh. Mirfakhraie
Department of Plant Protection, Faculty of Agricultre, Urmia University, Urmia, Iran

(Received: April 16, 2022- Accepted: June 11, 2022)

Abstract

Two spotted mite, *Tetranychus urticae* Koch. is one of the most important plant pests. Chemical pesticides are used to control this pest, which increases pesticides residual, eliminates natural enemies and contaminates groundwater. In this regard, the effect of diatomaceous earth, silica nanoparticles, kaolin and micronized sulfur and their mixing on different biological stages of two spotted mite were evaluated in laboratory condition. The results of probit analysis showed that the LC_{50} of nano silica was equal to 180.00 mg/L after five days for egg stge. For third nymphal and adult stages the LC_{50} were 30.51 and 43.01 after 72 hours respectivly. In studying the effect of mixing the compounds, the highest lethal effect against eggs, 3rd nymphal stage and adult mites was obtained by mixing sulfur and nanosilica. Comparison of the average effect of diatomaceous earth, nanosilica, kaolin, sulfur treatments and their combination on leaf chlorophyll index showed that the highest index was in sulfur treatment (42.53). Also, the least oviposation and production of offspring was observed in mixing of sulfur with nanosilica. Due to the significant effect of sulfur and nanosilica mixing, thus, it can be used in integrated pest management program against eggs, 3rd nymphal stage and adult of this pest.

Key words: Diatomaceous earth, kaolin, micronized sulfur, nanosilica, two spotted spider mite

*Corresponding author: Sh.aramideh@Urmia.ac.ir