



فعالیت مشرکشی خاک دیاتومه ایرانی به تنهایی یا همراه با عصاره گیاهی پونه، *Mentha longifolia* برای کنترل مشرکات کامل سوسک کشیش، *Rhyzopertha dominica* (روی غلات مختلف

فروغ زراسوندی^{id}، علی اصغر سراج^{id} و معصومه ضیائی^{id}

گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

✉ foruqbanoo.zarasvandi@gmail.com

^{id} <https://orcid.org/0000-0001-5106-0343>

✉ seraj.a@scu.ac.ir

^{id} <https://orcid.org/0000-0002-7267-6582>

✉ m.ziaee@scu.ac.ir

^{id} <https://orcid.org/0000-0002-8133-1789>

چکیده: حشرات آفات انباری سالانه خسارت قابل توجهی به غلات وارد کرده و باعث کاهش ارزش کمی و کیفی محصولات انباری می‌شوند. از مهمترین مشکلات کنترل آفات انباری بوسیله آفت‌کش‌های شیمیایی، مقاوم شدن آفات به این آفت‌کش‌ها، باقی ماندن پسماندهای روی محصولات غذایی و به خطر انداختن سلامت محیط زیست و سایر جانداران است. خاک دیاتومه، جایگزین مناسبی برای حشره‌کش‌های شیمیایی بوده و می‌تواند به عنوان بخشی از برنامه‌های کنترل تلفیقی آفات مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه، اثر حشره‌کشی خاک دیاتومه علیه حشرات کامل سوسک کشیش: *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrychidae) در توده غلات مختلف شامل گندم، جو، برنج، شلتوک و ذرت بررسی شد. دانه‌های غلات با غلظت ۴۰۰ پی‌پی‌ام فرمولاسیون تجاری Silicosec[®]، فرمولاسیون ایرانی Dryasil به تنهایی، فرمولاسیون ایرانی Dryasil + ۰/۰۵ درصد عصاره پونه (*Mentha longifolia* L.)، پودر تالک + ۰/۰۵ درصد عصاره پونه، به طور جداگانه و به همراه شاهد تیمار شدند. تلفات حشرات کامل ۱، ۵، ۷، ۱۰ و ۱۴ روز بعد از تیمار شمارش شد. فرمولاسیون ایرانی Dryasil و فرمولاسیون تجاری Silicosec[®] به طور معنی‌داری قادر به کنترل حشرات کامل در توده‌ی غلات بودند. میانگین درصد تلفات حشرات کامل سوسک کشیش در گندم، جو، برنج، شلتوک و ذرت تیمار شده با Silicosec[®] به ترتیب ۵۳/۳، ۹۸/۸، ۴۴/۴، ۶۰/۰ و ۶۸/۸ درصد، ۱۴ روز پس از تیمار گزارش شد. در صورتی که فرمولاسیون ایرانی خاک دیاتومه توانست به ترتیب ۵۰/۰، ۹۱/۱، ۶۰/۰، ۵۸/۸ و ۶۷/۲ درصد تلفات روی حشرات کامل سوسک کشیش ایجاد کند. اثر حشره‌کشی خاک‌های دیاتومه با گذشت زمان افزایش پیدا کرد. کمترین مقدار LT₅₀ در جو گزارش شد که نشان دهنده حفاظت بیشتر این محصول نسبت به سایر غلات بود. در جو، Dryasil + Silicosec[®] + Dryasil عصاره پونه به ترتیب بعد از ۳/۰۶، ۵/۳۹ و ۹/۰۱ روز باعث ۵۰ درصد تلفات روی حشرات کامل سوسک کشیش شدند.

واژه‌های کلیدی: آفات انباری، پودر تالک، فرمولاسیون، مرگ و میر، مدیریت آفات

Citation: Zarasvandi, F., Seraj, A. A. & Ziaee, M. (2023) Insecticidal activity of Iranian diatomaceous earth, alone or in combination with *Mentha longifolia* plant extract to control *Rhyzopertha dominica* adults on different cereals. *J. Entomol. Soc. Iran* 43 (3), 207–217.

مقدمه

در سال ۱۳۹۹، سطح برداشت و میزان تولید غلات کشور برابر با ۸۶۵۸۰۹۵ تن در هکتار گزارش شده است (Ahmadi et al., 2022). غلات از مهم‌ترین گیاهان و تامین‌کننده‌ی ۷۰ درصد غذای مردم کره‌ی زمین است و پایه‌ی اصلی تغذیه و بقای بشر به شمار می‌رود و به عنوان یک عنصر حیاتی در رژیم غذایی انسان و دام می‌باشد (Awika, 2011). آفات محصولات انباری باعث خسارت ۹ درصدی به غلات در کشورهای توسعه یافته و خسارت ۲۰ درصدی در کشورهای در حال توسعه می‌شوند (Hamel et al., 2020). تعداد قابل توجه در حدود ۱۶۶۳ گونه حشره، به عنوان گونه‌های خسارت‌زای محصولات انباری در سطح جهانی شناسایی شده‌اند (Hagstrum & Flinn, 2014). سوسک کشیش با نام علمی *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrychidae) یکی از آفات مهم و کلیدی اختصاصی تمام غلات به خصوص گندم، جو، سورگوم و برنج می‌باشد. خسارتی که توسط این حشرات به محصولات انباری وارد می‌شود به صورت کمی و کیفی می‌باشد. آلودگی شدید به این حشرات را می‌توان به سهولت از روی تغییرات فیزیکی و ظاهر محصول تشخیص داد، چون تولید بوی نامطبوع می‌کنند و باعث آلودگی شدید در اشخاصی که به طور مرتب در معرض محصولات انباری آلوده قرار دارند می‌شوند به طوری که اغلب دچار ناراحتی‌های ریوی می‌شوند (Rees, 1996; Hill, 2002). آفات با صدمه زدن به غلات در مراحل قبل و بعد از برداشت، یکی از نگران‌کننده‌ترین علل فساد غلات هستند که می‌تواند به سطوح بیش از ۵۰ درصد برسد. کنترل آفات انباری، به وسیله‌ی آفت‌کش‌های شیمیایی به ویژه آفت‌کش‌های تدخینی انجام می‌گیرد. یکی از بزرگترین انتقادات در خصوص این آفت‌کش‌ها مربوط به مقاوم شدن آفات به این آفت‌کش‌ها، باقی ماندن پسماندهای آن‌ها روی محصولات غذایی و به خطر انداختن سلامت محیط

Corresponding author: Ali Asghar Seraj (E-mail: seraj.a@scu.ac.ir)



© 2023 by Author(s), Published by the Entomological Society of Iran

This Work is Licensed under Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International Public License.

زیست و سایر جانداران می‌باشد (Damalas & Eleftherohorinos, 2011). از دیگر ترکیبات مورد استفاده برای کنترل آفات انباری حشره‌کش‌های فسفره و پیرتروئیدی هستند. هر چند مخلوط کردن بعضی از حشره‌کش‌های فسفره نظیر پریمفوس‌متیل، کلرپیریفوس‌متیل، دلتامترین و غیره با غلات بعد از انبار نمودن آن‌ها باعث شده که بقایای این آفت‌کش‌ها روی غلات برای مصرف کننده خطرناک باشد (Arthur & Subramanyam, 2012).

خاک دیاتومه (Diatomaceous earth) به عنوان جایگزین مناسب برای حشره‌کش‌های شیمیایی مثل آفت‌کش‌های تدخینی معرفی شده و می‌تواند در بخشی از برنامه‌ی کنترل تلفیقی آفات انباری استفاده شود (Fields & Korunic, 2000). خاک دیاتومه حاوی حفرات ریزی است که توانایی جذب مولکول‌های موم اپی‌کوتیکول حشره را دارد. لذا هنگام تماس با کوتیکول حشرات لایه مومی کوتیکول را جذب کرده، به مقدار کمی باعث ایجاد خراش روی سطح کوتیکول می‌گردد و سبب از دست رفتن آب بدن و مرگ حشره می‌شود (Ebeling, 1971). میزان تبخیر آب از طریق کوتیکول سطح بدن حشرات در اثر ایجاد خراش توسط ذرات خاک دیاتومه، بستگی به دما، رطوبت نسبی، مقدار لایه مومی کوتیکول، مقدار و اندازه‌ی موهای سطح بدن و میزان تحمل حشره در برابر خراش دارد. این موضوع نشان می‌دهد که چرا برخی از گونه‌ها حساسیت بیشتری به خاک‌های دیاتومه نسبت به دیگر گونه‌ها دارند (Baliota & Athanassiou, 2020). کاربرد خاک دیاتومه در انبار و سیلو برای کنترل آفات محصولات انباری موجب صرفه‌جویی در هزینه شده و جایگزین بسیار خوبی برای آفت‌کش‌های شیمیایی است. ذرات کوچک دیاتومه مانند شیشه با خراش دادن جلد بدن حشرات سبب تبخیر آب بدن آنها و سرانجام مرگ آن می‌شوند (Ziaee et al., 2023). بنابراین، هدف این پژوهش بررسی اثر حشره‌کشی خاک دیاتومه ایرانی در مقایسه با فرمولاسیون تجاری روی حشرات کامل سوسک کشیش در غلات مختلف (گندم، جو، ذرت، شلتوک و برنج) بود.

مواد و روش‌ها

جمع آوری و پرورش حشرات. کنی سوسک کشیش، *R. dominica* از آزمایشگاه حشره‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شد. پرورش سوسک کشیش روی گندم رقم چمران صورت گرفت. حشرات در شرایط آزمایشگاهی دمای 27 ± 1 درجه‌ی سلسیوس و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد در تاریکی پرورش یافتند و پس از چند نسل پرورش، جهت انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. در کلیه آزمایش‌ها از حشرات کامل ۷ تا ۱۴ روزه بدون در نظر گرفتن جنسیت استفاده شد.

ترکیبات مورد استفاده در آزمایش‌ها. در این پژوهش از فرمولاسیون تجاری SilicoSec® استفاده شد. فرمولاسیون SilicoSec® با منشأ آب شیرین بوده و از ۹۲ درصد SiO_2 ، ۳ درصد Al_2O_3 ، ۱ درصد Fe_2O_3 ، ۱ درصد Na_2O تشکیل شده است (Biofa GmbH, Münsingen, Germany). فرمولاسیون ایرانی Dryasil از ۹۰ درصد خاک دیاتومه آب شیرین ایران (حاوی ۹۲/۵۹ درصد SiO_2 ، ۱/۴۱ درصد Fe_2O_3 ، ۰/۸۸ درصد TiO_2 ، ۰/۶۱ درصد Al_2O_3 ، ۰/۶۲ درصد SO_3 و سایر ترکیبات) + ۱۰ درصد سیلیکا آبروژل تشکیل شده است. نهشته اولیه خاک دیاتومه ایران از معدن دیاتومیت خراسان جنوبی واقع در شمال شرقی ایران، بیرجند، سریشه، روستای اسفراف (عرض شمالی ۳۲ درجه و ۴۲ دقیقه الی ۳۱ درجه و ۹۲ دقیقه و طول شرقی ۵۹ درجه و ۳۱ دقیقه الی ۲۷ درجه و ۶۸ دقیقه) تهیه شده است. فرآوری نهشته خاک دیاتومه مشابه روش (Ziaee & Moharrampour, 2012) با کمی تغییر صورت گرفت. سیلیکا آبروژل اضافه شده به این فرمولاسیون از خاکستر باگاس نیشکر تهیه شده بود (Saed et al., 2021). پودر تالک مدل Johnson's حاوی ۱۰۰ درصد پودر تالک از داروخانه خریداری شد. همچنین از ترکیب فرمولاسیون ایرانی Dryasil و عصاره‌ی پونه استفاده شد. جهت عصاره‌گیری از گیاه پونه، برگ پونه کوهی *Mentha longifolia* L. از کوهپایه‌های روستای انهر سفلی، ارومیه، آذربایجان غربی تهیه شد. پونه کوهی توسط گیاهشناس در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور شناسایی شد. نمونه‌ی گیاهی خشک شده ابتدا با آسیاب برقی پودر شد. عصاره‌گیری با حلال متانول صورت گرفت. بدین منظور، ۱۰ گرم از بافت گیاهی آسیاب شده در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس روی شیکر قرار داده، سپس ۷۵ میلی‌لیتر از محلول را برداشته، ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر استریل به آن اضافه شد که حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر برسد. سپس هم حجم با آن متانول اضافه شد. این مخلوط دو ساعت روی شیکر قرار داده شد، پس از این مرحله، بخش‌های مختلف به کمک دکانتور جدا شد و بخش متانولی جهت تبخیر متانول و استحصال عصاره در زیر هود قرار داده شد و بعد از آن عصاره در ظرف‌های شیشه‌ای تیره‌رنگ و کوچک جهت انجام آزمایش نگهداری شد (Shazdeahmadi & Sajjadi, 2022).

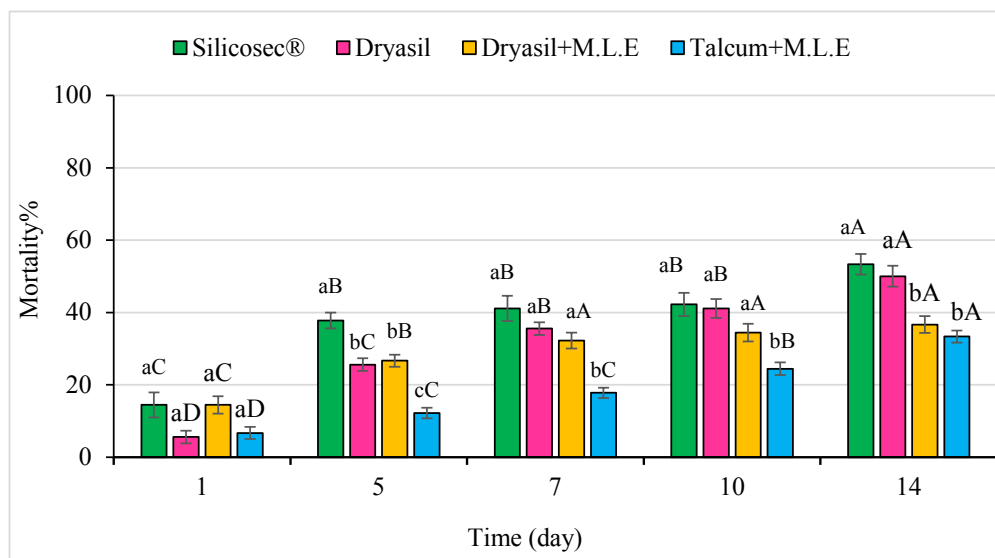
آزمایش بررسی اثر حشره‌کشی فرمولاسیون تجاری، خاک دیاتومه ایرانی به تنهایی و در تلفیق با عصاره پونه روی حشرات کامل سوسک کشیش در غلات مختلف. این آزمایش بر اساس روش (Kavallieratos et al., 2019) با کمی تغییر صورت گرفت. در این آزمایش اثر حشره‌کشی فرمولاسیون‌های خاک دیاتومه در غلظت ۴۰۰ پی‌پی‌ام در توده غلات مختلف شامل گندم (Wheat)، جو (Barley)، برنج (Rice)، شلتوک برنج (Paddy rice)، و ذرت (Maize) بررسی شد. مقدار یک کیلوگرم از هر غله در ظرف شیشه‌ای ۱ لیتری (سه ظرف برای هر غله) ریخته شد. دانه‌های غلات با غلظت ۴۰۰ پی‌پی‌ام فرمولاسیون‌های SilicoSec®، فرمولاسیون ایرانی Dryasil به تنهایی، فرمولاسیون ایرانی Dryasil + ۰/۰۵ درصد عصاره پونه، پودر تالک + ۰/۰۵ درصد عصاره پونه، به طور جداگانه تیمار شدند. غلات تیمار نشده با پودر تالک به عنوان شاهد منفی و غلات تیمار شده با پودر تالک به عنوان شاهد مثبت در نظر گرفته شدند. ظرف‌های آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه تکان داده شدند تا ذرات خاک دیاتومه به صورت یکنواخت در توده غلات پخش شوند. از هر ظرف تیمار شده و نشده، سه نمونه ۱۰ گرمی از دانه‌های غلات به سه ظرف کوچکتر (۱۰۰ میلی‌لیتر) به عنوان سه زیر تکرار ریخته شد. در هر ظرف آزمایش، تعداد ۱۰ حشره کامل سوسک کشیش، *R. dominica* (بدون تفکیک جنسیت حشره) رهاسازی شد. بنابراین، آزمایش‌ها در ۹ تکرار و در هر تکرار ۱۰ عدد حشره کامل انجام شد. بعد از رهاسازی حشرات، درپوش ظرف‌های آزمایش با پارچه توری برای ایجاد تهویه کافی پوشانده شد. آزمایش‌ها در دمای 27 ± 1 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 60 ± 5 درصد و تاریکی انجام گرفتند. تلفات حشرات کامل ۱، ۷، ۱۰، و ۱۴ روز بعد از تیمار شمارش شدند. حشراتی که با تحریک سوزن، فاقد حرکت پا و شاخک بودند به عنوان حشره مرده در نظر گرفته شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها. نرمال بودن داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد، و باتوجه به نرمال بودن داده‌ها نیاز به تغییر شکل داده‌ها وجود نداشت. تلفات در تیمار شاهد منفی و مثبت مشاهده نشد، لذا نیاز به اصلاح داده‌ها وجود نداشت. تجزیه واریانس داده‌های آزمایشگاهی آزمایش حشره‌کشی در توده غلات در قالب مدل repeated measures انجام شد. فاکتور تکرار شده (repeated) فاصله زمانی بوده و درصد تلفات به عنوان پاسخ در نظر گرفته شد. فرمولاسیون خاک دیاتومه و نوع غله به عنوان فاکتور اصلی نظر گرفته شد و اثرات متقابل بررسی شد. تجزیه آماری با استفاده از نرم افزار SPSS16 انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون توکی (Tukey (HSD-test)) در سطح احتمال آماری ۵ درصد انجام شد. مقادیر LT_{50} و حدود اطمینان ۹۵ درصد به روش پروبیت تجزیه شدند (IBM Corp., 2007).

نتایج

در تمام غلات مورد آزمایش، بین تیمارها تفاوت معنی‌دار وجود داشت. همچنین بین زمان‌های مورد بررسی نیز تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. اثر متقابل تیمار و زمان در بررسی اثر حشره‌کشی خاک دیاتومه روی سوسک کشیش نیز معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج بررسی اثر فرمولاسیون‌ها در روز اول روی حشرات کامل سوسک کشیش در گندم نشان داد که تیمارهای Silicosec® و Dryasil + عصاره پونه بیشترین تلفات را داشتند. با گذشت پنج روز، تیمار Silicosec® بیشترین تلفات را به خود اختصاص داد. در روز هفتم، بیشترین تلفات مربوط به تیمار Silicosec® و بعد از آن Dryasil و Dryasil + عصاره پونه بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار عصاره پونه + تالک داشت. با گذشت ۱۰ روز پس از تیمار، بیشترین تلفات به ترتیب مربوط به تیمارهای Silicosec® و Dryasil بود. در روز چهاردهم بعد از تیمار، برای تمامی تیمارها درصد تلفات بالایی به دست آمد، و Silicosec® با درصد تلفات ۵۳/۳ بیشترین مرگ و میر را به خود اختصاص داد که تفاوت معنی‌داری با تیمار Dryasil نداشت. درصد تلفات در همه‌ی تیمارها با گذشت زمان افزایش پیدا کرد (شکل ۱).

نتایج آزمایش‌ها روی حشرات کامل سوسک کشیش در جو نشان داد که در روز اول، بیشترین درصد تلفات مربوط به تیمار Silicosec® بود، هر چند بین تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در روز پنجم، بیشترین درصد تلفات سوسک کشیش مربوط به تیمار Silicosec® و کمترین درصد تلفات در تیمار عصاره پونه + تالک به دست آمد. هفت روز پس از تیمار، فرمولاسیون Silicosec® به طور معنی‌داری تلفات بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشت. پس از آن، تیمار Dryasil توانست ۶۷/۷ درصد حشرات کامل سوسک کشیش را کنترل کند. پس از گذشت ۱۰ روز از تیمار با Silicosec®، ۹۷/۷ درصد تلفات روی حشرات کامل مشاهده شد که به طور معنی‌داری از سایر تیمارها بیشتر بود. کمترین درصد تلفات، ۱۰ روز پس از تیمار در عصاره پونه + تالک گزارش شد. درصد تلفات حشرات کامل در تیمارهای Silicosec® و Dryasil، ۱۴ روز پس از تیمار تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. درصد تلفات حشرات کامل با گذشت زمان به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد؛ به طوری که در تیمار Silicosec® ۱ روز پس از تیمار ۵/۵ درصد تلفات مشاهده شد که با گذشت زمان در ۱۴ روز پس از تیمار به ۹۸/۸ درصد رسید. در مورد تیمار خاک دیاتومه ایرانی Dryasil، ۵ روز پس از تیمار درصد تلفات ۴۲/۲ درصد بود و با گذشت زمان ۱۴ روز پس از تیمار به ۹۱/۱ درصد رسید (شکل ۲).



شکل ۱- میانگین درصد تلفات (\pm خطای معیار) حشرات کامل سوسک کشیش، *Rhyzopertha dominica* در گندم تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه. اختلاف میانگین‌های بین تیمارها در هر روز با حروف کوچک متفاوت، و برای هر تیمار بین روزهای مختلف با حروف بزرگ متفاوت نشان داده شد که حاکی از تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۰/۰۵ آزمون توکی می‌باشد.

Fig. 1. Mean mortality% (\pm SE) of *Rhyzopertha dominica* in wheat treated with diatomaceous earth. Mean differences among treatments on each day was shown with different lowercase letters; and for each treatment, among days with different uppercase letters indicates a significant difference at $P < 0.05$ using Tukey test, M.L.E: *Mentha longifolia* extract.

جدول ۱ - پارامترهای تجزیه واریانس تلفات حشرات کامل سوسک کشیش، *Rhyzopertha dominica* در غلات مختلف تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه (درجه آزادی کل = ۹۶).

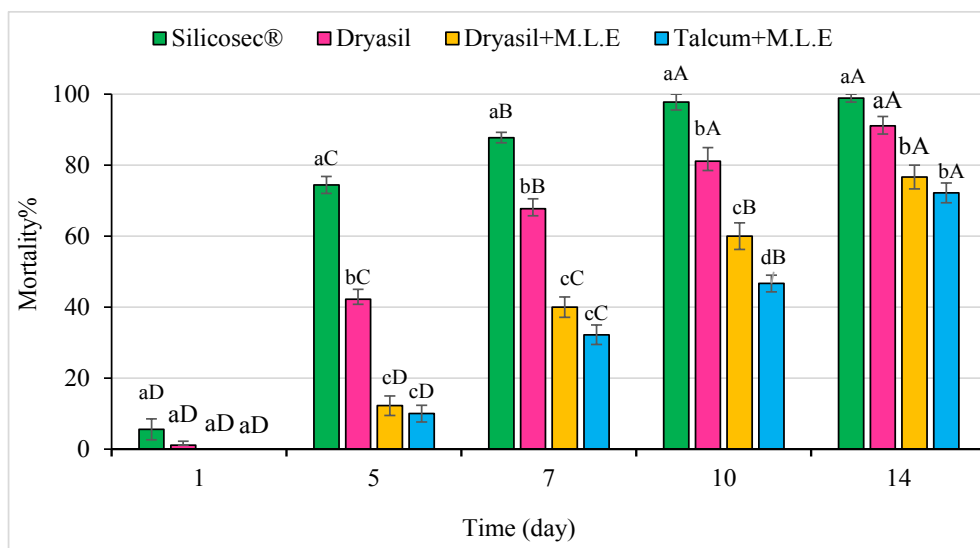
Table 1. MANOVA parameters for mortality of *Rhyzopertha dominica* adults on different cereals treated with different DEs (df total= 96 for all commodities)

Source	df	Wheat	Barley	Rice	Paddy rice	Maize
		F, P	F, P	F, P	F, P	F, P
Treatment	3	19.895, <0.001	100.646, <0.001	10.322, <0.001	40.245, <0.001	67.367, <0.001
Error (treatment)	24	-	-	-	-	-
Time	4	120.048, <0.001	1142.0, <0.001	816.792, <0.001	769.395, <0.001	1.3573, <0.001
Error (time)	32	-	-	-	-	-
Treatment × time	12	6.204, <0.001	29.896, <0.001	5.882, <0.001	13.211, <0.001	12.027, <0.001

در روز اول برای برنج، تلفاتی در هیچکدام از تیمارها ثبت نشد. پنج روز بعد از تیمار، بیشترین تلفات مربوط به تیمار Dryasil بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت. با گذشت ۷ روز پس از تیمار، بیشترین تلفات مربوط به تیمارهای Dryasil و Dryasil + عصاره پونه بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار Silicosec® و تیمار عصاره پونه + تالک داشت. پس از گذشت ۱۰ روز، همچنان تیمار Dryasil بیشترین تلفات را داشت و بدین ترتیب تفاوت معنی‌داری با تیمار Dryasil + عصاره پونه نداشت؛ در حالی که با تیمار Silicosec® تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در روز ۱۴، تیمار Dryasil با درصد تلفات ۶۰٪ بیشترین تلفات را روی حشرات کامل سوسک کشیش ایجاد کرد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. به طوری که با گذشت زمان در روز چهاردهم، درصد تلفات حشرات کامل افزایش یافت. نتایج نشان داد که درصد تلفات با افزایش مدت زمان قرارگیری در معرض خاک دیاتومه افزایش یافت (شکل ۳).

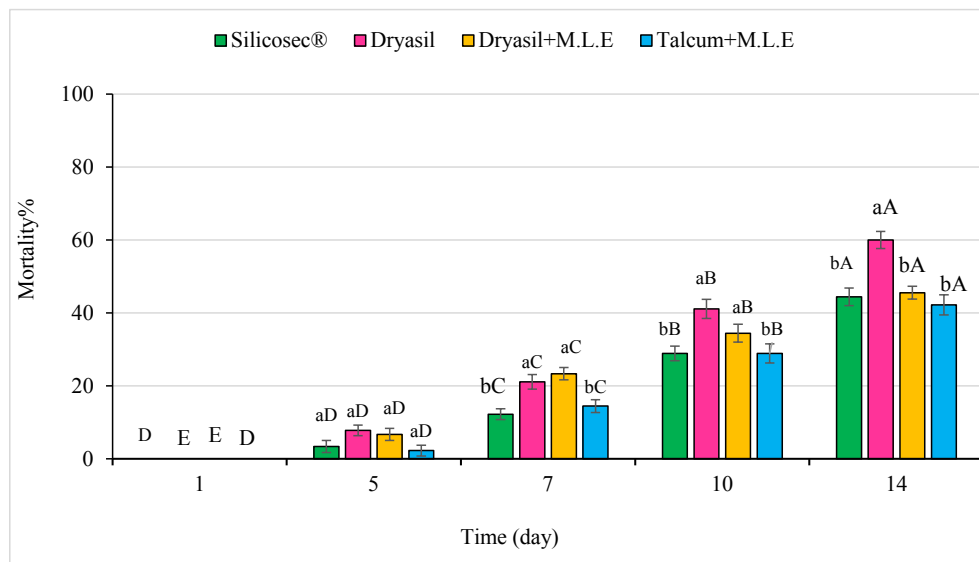
نتایج آزمایش‌ها روز اول روی شلتوک نشان داد که در هیچکدام از تیمارها تلفاتی وجود نداشت. پس از پنج روز، درصد تلفات تیمارهای Dryasil و Dryasil + عصاره پونه برابر بود و تفاوت معنی‌داری با تیمار Silicosec® نداشت. در روز هفتم، تیمار Dryasil با درصد تلفات ۲۴٪ بیشترین تلفات را ایجاد کرد، هر چند با تیمارهای Silicosec® و Dryasil + عصاره پونه تفاوت معنی‌داری نداشت. با گذشت ۱۰ روز بعد از تیمار، تیمارهای Silicosec®, Dryasil و Dryasil + عصاره پونه تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۴).

در روز ۱۴، بیشترین تلفات مربوط به تیمار Silicosec® با درصد تلفات ۶۰٪ بود که تفاوت معنی‌داری با خاک دیاتومه ایرانی Dryasil نداشت و کمترین تلفات مربوط به تیمار عصاره پونه + تالک بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. با گذشت زمان و ۱۴ روز پس از تیمار، دو تیمار Dryasil و Silicosec® با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند و به ترتیب باعث ۶۰٪ و ۵۸٪ درصد تلفات روی حشرات کامل سوسک کشیش شدند. درصد تلفات حشرات کامل با گذشت زمان به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد، به طوری که ۷ روز پس از تیمار شلتوک با Silicosec®, Dryasil و Dryasil + عصاره پونه درصد تلفات ۲۳٪، ۲۴٪ و ۱۷٪ درصد بود و با گذشت زمان در ۱۴ روز به ۶۰٪، ۵۸٪ و ۴۸٪ درصد رسید (شکل ۴).



شکل ۲ - میانگین درصد تلفات (± خطای معیار) حشرات کامل سوسک کشیش، *Rhyzopertha dominica* در جو تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه. اختلاف میانگین‌های بین تیمارها در هر روز با حروف کوچک متفاوت، و برای هر تیمار بین روزهای مختلف با حروف بزرگ متفاوت نشان داده شد که حاکی از تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۰/۰۵ / آزمون توکی می‌باشد.

Fig. 2. Mean mortality% (± SE) of *Rhyzopertha dominica* in barley treated with diatomaceous earth. Mean differences among treatments on each day was shown with different lowercase letters; and for each treatment, among days with different uppercase letters indicates a significant difference at $P < 0.05$ using Tukey test, M.L.E: *Mentha longifolia* extract.

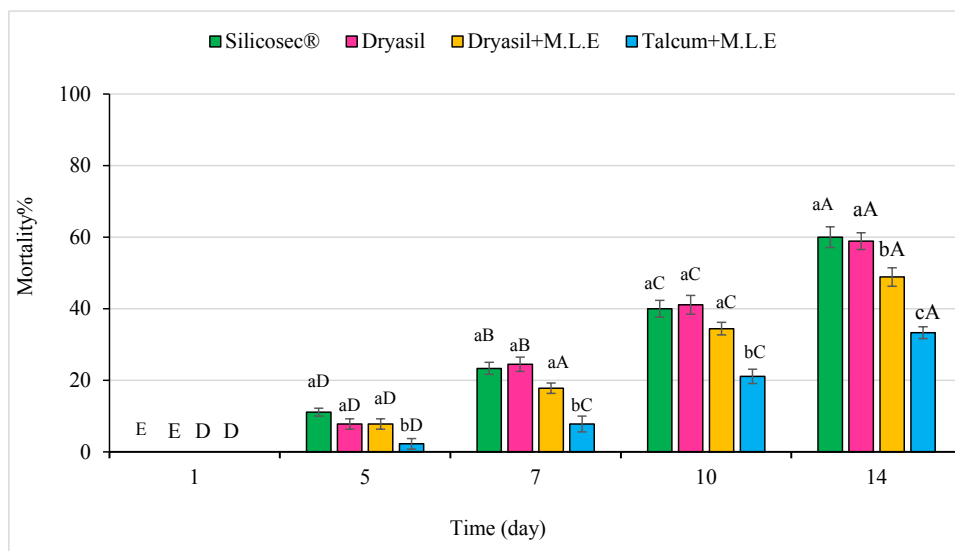


شکل ۳- میانگین درصد تلفات (\pm خطای معیار) حشرات کامل سوسک کشیش، *Rhyzopertha dominica* در برنج تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه. اختلاف میانگین‌های بین تیمارها در هر روز با حروف کوچک متفاوت، و برای هر تیمار بین روزهای مختلف با حروف بزرگ متفاوت نشان داده شد که حاکی از تفاوت معنی دار در سطح احتمال آماری ۰/۰۵ آزمون توکی می‌باشد.

Fig. 3. Mean mortality% (\pm SE) of *Rhyzopertha dominica* in rice treated with diatomaceous earth. Mean differences among treatments on each day was shown with different lowercase letters; and for each treatment, among days with different uppercase letters indicates a significant difference at $P < 0.05$ using Tukey test, M.L.E: *Mentha longifolia* extract.

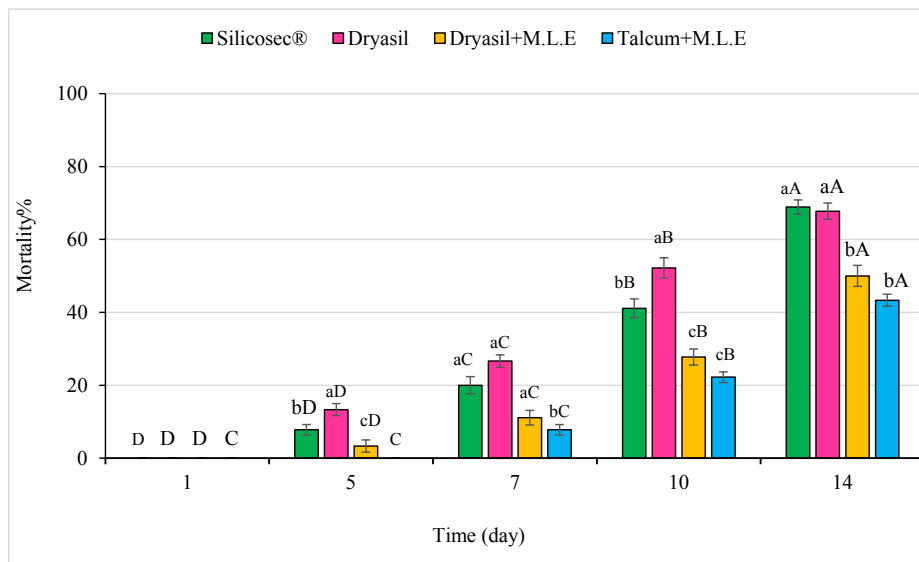
نتیجه پژوهش‌های انجام شده در روز اول روی حشرات کامل سوسک کشیش روی ذرت نشان داد که در هیچکدام از تیمارها تلفاتی مشاهده نشد. در روز پنجم به ترتیب، تیمارهای Dryasil و Silicosec® بیشترین تلفات را ایجاد کردند. پس از گذشت هفت روز، تیمار Dryasil با درصد تلفات ۲۶/۶ و تیمار Silicosec® با درصد تلفات ۲۰/۰ ثبت شدند که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند.

درصد تلفات حشرات کامل سوسک کشیش در ذرت تیمار شده با گذشت زمان به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. به طوری که فرمولاسیون Silicosec® و Dryasil به ترتیب باعث ۲۰/۰ و ۲۶/۶ درصد تلفات، ۷ روز پس از تیمار شدند که بعد از ۱۴ روز درصد تلفات به ۶۸/۸ و ۶۷/۷ درصد رسید (شکل ۴).



شکل ۴- میانگین درصد تلفات (\pm خطای معیار) حشرات کامل سوسک کشیش، *Rhyzopertha dominica* در شلتوک تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه. اختلاف میانگین‌های بین تیمارها در هر روز با حروف کوچک متفاوت، و برای هر تیمار بین روزهای مختلف با حروف بزرگ متفاوت نشان داده شد که حاکی از تفاوت معنی دار در سطح احتمال آماری ۰/۰۵ آزمون توکی می‌باشد.

Fig. 4. Mean mortality% (\pm SE) of *Rhyzopertha dominica* in paddy rice treated with diatomaceous earth. Mean differences among treatments on each day was shown with different lowercase letters; and for each treatment, among days with different uppercase letters indicates a significant difference at $P < 0.05$ using Tukey test, M.L.E: *Mentha longifolia* extract.



شکل ۵- میانگین درصد تلفات (\pm خطای معیار) حشرات کامل سوسک کشیش، *Rhyzopertha dominica* در ذرت تیمار شده با فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه. اختلاف میانگین‌های بین تیمارها در هر روز با حروف کوچک متفاوت، و برای هر تیمار بین روزهای مختلف با حروف بزرگ متفاوت نشان داده شد که حاکی از تفاوت معنی دار در سطح احتمال آماری ۰/۰۵ آزمون توکی می‌باشد.

Fig. 5. Mean mortality% (\pm SE) of *Rhyzopertha dominica* in maize treated with diatomaceous earth. In Mean differences among treatments on each day was shown with different lowercase letters; and for each treatment, among days with different uppercase letters indicates a significant difference at $P < 0.05$ using Tukey test, M.L.E: *Mentha longifolia* extract.

نتایج نشان داد که کمترین زمان کشندگی مربوط به جو بود، به طوری که Silicosec®، Dryasil، و Dryasil + عصاره پونه به ترتیب بعد از ۳/۰۶، ۳/۳۹، و ۹/۰۱ روز باعث ۵۰ درصد تلفات روی حشرات کامل سوسک کشیش شدند (جدول ۲). تیمار عصاره پونه + تالک با میانگین ۷/۷ درصد کمترین درصد تلفات را به خود اختصاص داد که تفاوت معنی‌داری با دو تیمار قبل داشت. با گذشت ۱۰ روز بعد از تیمار با Dryasil، درصد تلفات ۵۲/۲ درصد گزارش شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای Dryasil Silicosec® + عصاره پونه و عصاره پونه + تالک داشت. در روز ۱۴، تیمارهای Dryasil و Silicosec® بیشترین تلفات را ایجاد کردند و تفاوت معنی‌داری با دو تیمار دیگر گزارش داشتند.

بمٹ و نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که فعالیت حشره‌کشی همه تیمارها با گذشت زمان افزایش یافت. با افزایش زمان فرارگیری حشرات در معرض ذرات خاک دیاتومه، شانس برخورد ذرات با کوتیکول بدن حشرات، ایجاد خراش و جذب لایه مومی کوتیکول افزایش یافته، در نتیجه تلفات با گذشت زمان افزایش می‌یابد (Perišić, Athanassiou et al., 2003; Nwaubani et al., 2014; et al., 2018).

جدول ۲- مدت زمان کشندگی (LT_{50}) فرمولاسیون‌های مختلف خاک دیاتومه به کار برده شده در غلظت ۴۰۰ پی‌پی‌ام روی حشرات کامل سوسک کشیش *Rhyzopertha dominica*

Formulation	Wheat	Barley	Rice	Paddy rice	Maize
Silicosec®					
LT_{50} (day) (95% CI)	13.07 (9.41-22.50)	3.06 (2.63-3.49)	14.84 (13.04-18.18)	11.78 (10.57-13.67)	10.97 (10.11-12.12)
Slope \pm SE	0.95 \pm 0.17	3.406 \pm 0.27	3.65 \pm 0.53	3.286 \pm 0.443	4.286 \pm 0.485
χ^2 , P (df = 3)	0.627, 0.890	1.187, 0.756	0.580, 0.901	0.054, 0.997	0.282, 0.963
Dryasil					
LT_{50} (day) (95% CI)	14.10 (11.02-20.53)	5.39 (4.73-5.99)	11.73 (10.64-13.37)	11.75 (10.61-13.50)	10.14 (9.27-11.29)
Slope \pm SE	1.404 \pm 0.21	3.28 \pm 0.33	3.69 \pm 0.47	3.502 \pm 0.459	3.620 \pm 0.441
χ^2 , P (df = 3)	0.370, 0.946	0.965, 0.810	0.212, 0.976	0.955, 0.812	0.548, 0.908
Dryasil+ M.L.E					
LT_{50} (day) (95% CI)	27.35 (14.52-160.1)	9.01 (8.28-9.86)	14.40 (12.38-18.43)	14.05 (12.25-17.44)	13.97 (12.53-16.40)
Slope \pm SE	0.645 \pm 0.17	3.801 \pm 0.44	2.83 \pm 0.44	3.10 \pm 0.46	4.084 \pm 0.54
χ^2 , P (df = 3)	0.181, 0.981	3.467, 0.325	2.675, 0.444	0.118, 0.990	0.004, 1.0
Talcum+ M.L.E					
LT_{50} (day) (95% CI)	52.73 (26.83-279.87)	9.99 (9.19-11.01)	15.15 (13.22-18.87)	18.13 (15.17-25.09)	15.01 (13.46-17.76)
Slope \pm SE	0.961 \pm 0.21	3.912 \pm 0.45	3.538 \pm 0.53	3.428 \pm 0.58	4.657 \pm 0.65
χ^2 , P (df = 3)	2.782, 0.426	1.875, 0.599	2.312, 0.510	0.528, 0.913	1.935, 0.586

CI: Confidence interval; M.L.E: *Mentha longifolia* extract.

تأثیر فرمولاسیون‌های خاک دیاتومه شامل Insecto®، SilicoSec®، و PyriSec® روی جو، چاودار و تربیتیکاله انبار شده در برابر حشرات کامل شپشه برنج *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) و شپشه آرد *Tribolium confusum* Jacquelin du Val. (Coleoptera: Tenebrionidae) در سه

غلظت ۰/۷۵، ۱ و ۱/۵ گرم بر کیلوگرم دانه مورد آزمایش قرار گرفت. در مورد *S. oryzae* ۱۰۰ درصد تلفات پس از ۷ روز قرار گرفتن در معرض دانه‌های هر سه غله گزارش شد. درصد تلفات حشرات کامل با گذشت زمان افزایش نشان داد. بیشترین درصد تلفات به ترتیب در فرمولاسیون PyriSec® و پس از آن SilicoSec® مشاهده شد (Athanassiou et al., 2004).

فرمولاسیون ایرانی خاک دیاتومه توانست در حد فرمولاسیون تجاری SilicoSec® باعث کنترل حشرات کامل سوسک کشیش شود. عوامل متعددی در توانایی حشره‌کشی فرمولاسیون‌های خاک دیاتومه نقش دارند. یکی از مهمترین این عوامل درصد SiO₂ موجود در خاک دیاتومه است. در این مطالعه، فرمولاسیون تجاری SilicoSec® و Dryasil به ترتیب حاوی ۹۲ و ۹۲/۵۹ درصد SiO₂ بودند. ثابت شده است که سیلیکای موجود در خاک دیاتومه نقش مستقیمی در جذب لایه مومی اپی کوتیکول حشرات و از دست رفتن آب بدن آنها و مرگ و میرشان دارد (Ebeling, 1971; Korunic, 1998; Nwaubani et al., 2014).

یکی دیگر از عوامل مهمی که می‌تواند روی کارایی حشره‌کشی فرمولاسیون‌های خاک دیاتومه تاثیر داشته باشد، نوع غله تیمار شده است. هر چقدر چسبندگی ذرات خاک دیاتومه به سطح دانه بیشتر باشد، کارایی خاک دیاتومه در حفاظت از دانه در برابر سوسک‌های انباری بیشتر می‌شود (Perišić et al., 2018). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دانه، مانند اندازه سطح نسبت به حجم دانه، سختی دانه، و ترکیبات تشکیل دهنده دانه می‌توانند در مقدار چسبندگی ذرات خاک دیاتومه به سطح دانه نقش مهمی داشته باشند (Athanassiou et al., 2003). طبق نتایج در مدت زمان کشندگی ۵۰ درصد جمعیت (LT₅₀)، بیشترین حفاظت توسط تیمارهای مختلف روی دانه‌های جو صورت گرفت. در پژوهشی، اثر فرمولاسیون SilicoSec® را روی حشرات کامل شپشه برنج *S. oryzae* در پنج غلظت (۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم بر کیلوگرم دانه) در بسترهای تغذیه‌ای شامل: برنج پوست کنده، برنج آسیاب شده، جو و ذرت بررسی شد، نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که درصد تلفات حشرات به طور معنی‌داری در تغذیه از انواع دانه‌های مورد آزمایش متفاوت بود. ایشان بیان کردند که کارایی خاک دیاتومه روی جو و برنج بیشتر از ذرت بود. این موضوع می‌تواند به دلیل چسبندگی و پایداری بیشتر ذرات خاک دیاتومه روی جو و برنج در مقایسه با ذرت باشد (Athanassiou et al., 2003). محتوای زیاد روغن در دانه‌های ذرت می‌تواند باعث جذب روغن دانه توسط ذرات خاک دیاتومه و کاهش کارایی دیاتومه در ذرت شود (Vayias et al., 2006). بنابراین، کارایی کمتر خاک دیاتومه به کار برده شده روی ذرت می‌تواند به این دلیل باشد. در مطالعه دیگری، اثر حشره‌کشی نهشته‌های خاک دیاتومه از مناطق مرکزی و جنوب شرقی اروپا در مقایسه با فرمولاسیون تجاری SilicoSec® در برابر شپشه برنج *S. oryzae* سوسک کشیش *R. dominica* و شپشه آرد *T. confusum* روی گندم، جو، ذرت، برنج مورد بررسی قرار گرفت. کمترین تأثیر مربوط به نهشته یونانی (به نام کرت)، و بیشترین اثر نهشته اسلوانی بود. علاوه بر این، اثر حشره‌کشی خاک دیاتومه در جو مؤثرتر از ذرت و برنج بود (Athanassiou et al., 2011). نتایج پژوهش ما نشان داد که در بیشتر موارد اثر حشره‌کشی خاک‌های دیاتومه استفاده شده روی محصول جو از سایر محصولات بیشتر بود. یکی از دلایلی که باعث می‌شود یک حشره نوع خاصی از غله را بیشتر از بقیه مورد تغذیه قرار دهد، وجود ترجیح غذایی در حشره نسبت به غلات مختلف است. در آزمایش بررسی ترجیح غذایی شپشه دندانه دار این حشره، جو را نسبت به بقیه غلات ترجیح می‌دهد و حتی رقم خاصی از برنج را بیشتر می‌پسندد (Samareh Fekri & Salehi, 2009). بنابراین افزایش درصد تلفات در مطالعه حاضر روی جو می‌تواند به دلیل ترجیح بیشتر حشرات کامل سوسک انباری مورد آزمایش در فعالیت و تغذیه از جو باشد.

نتایج مشاهدات در پژوهش حاضر نشان داد در بیشتر موارد عصاره پونه با خاک دیاتومه اثر سینرژیستی نداشته و سبب افزایش درصد تلفات نشد. عصاره ریشه گیاه *Celastrum angulatus* Maxim (Celastraceae) دارای ماده‌ی موثره بیتربارکومایسین (BBM) می‌باشد که خاصیت حشره‌کشی دارد (Athanassiou et al., 2009). ایشان کاربرد بیتربارکومایسین را به تنهایی و در ترکیب با خاک دیاتومه (DEBBM) علیه حشرات کامل حشرات کامل *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) و *Cryptolestes ferrugineus* Steph (Coleoptera: Cucujidae) در پنج غلظت در محدوده‌ی ۰/۳۷۵ تا ۰/۸۷۵ پی‌پی‌ام روی گندم بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که تلفات ایجاد شده توسط این ترکیب جدید، بیشتر از کاربرد هر کدام از آنها به تنهایی بوده و توانست پس از ۱۴ روز بیش از ۹۰ درصد تلفات را در حشرات مورد آزمایش ایجاد نماید (Athanassiou et al., 2009). اثرات ترکیبی روغن فرار لیموشیرین با خاک دیاتومه و خاک معدنی کائولن علیه حشرات کامل سوسک کشیش *R. dominica* مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ایشان نشان داد که روغن فرار لیموشیرین دارای اثرات هم‌افزایی با کاتولین بوده، اما در ترکیب با خاک دیاتومه باعث کاهش کارایی آن می‌شود. در این بررسی همچنین نشان داده شد که روغن فرار این گیاه به تنهایی و در ترکیب با گردهای بی‌اثر، باعث کاهش رشد مخمرها و باکتری‌های هوازی مرتبط با گندم می‌گردد (Campolo et al., 2014). مونوترپنوئیدها (ترکیبات اصلی بسیاری از اسانس‌های گیاهی) به ذرات خاک دیاتومه جذب شده و ظرفیت اتصال لیپیدی آنها را روی سطح بدن حشرات کاهش می‌دهند (Islam et al., 2010)؛ بنابراین، کاهش کارایی خاک دیاتومه در ترکیب با عصاره پونه در این مطالعه می‌تواند به دلیل جذب ترکیبات داخل عصاره توسط ذرات خاک دیاتومه، اشباع شدن خلل و فرج خاک دیاتومه؛ و در نتیجه کاهش فعالیت حشره‌کشی فرمولاسیون ایرانی Dryasil در کنترل حشرات کامل سوسک کشیش باشد.

اثرات عصاره و اسانس‌های گیاهی بر کارایی خاک دیاتومه Sayan® و افزایش اثرات حشره‌کشی این فرمولاسیون در ترکیب با فرمولاسیون MG حاوی اسانس گیاه مورد *Myrtus communis* L. (Myrtaceae) روی حشرات کامل *S. oryzae* بررسی شد. نتایج این پژوهش افزایش قابل توجه اثر حشره‌کشی خاک دیاتومه‌ی Sayan® و نیز رفع اثر تاخیری آن (کاهش زمان در معرض قرارگیری از حدود بیش از ۱۴ روز به حدود ۷۲ ساعت) را در ترکیب با اسانس مورد نشان داد که می‌تواند در امر مبارزه با آفات انباری مورد توجه قرار گیرد (Reihani et al., 2016).

در پژوهشی، تلفیق اسانس و پودر بذرها گیاهان زیره سبز *Cuminum cyminum* L. (Apiaceae) و زنیان *Trachyspermum* (L.) Sprague (Apiaceae) با خاک دیاتومه فرمولاسیون SilicoSec® علیه شپشه آرد *T. castaneum* و سوسک چهارنقطه‌ای *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) بررسی شد. نتایج نشان داد خاک دیاتومه با میزان LC₅₀ معادل ۰/۳ و ۰/۲۷۳ گرم بر کیلوگرم ماده غذایی به ترتیب روی حشرات کامل سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات و شپشه‌ی آرد، بیشترین اثر حشره‌کشی را داشت. غلظت LC₅₀ پودر گیاهان زیره سبز و زنیان به ترتیب روی سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات

برابر با ۴۵/۳، ۰/۴۵ و روی شیشه آرد برابر با ۲۶۴/۵، ۲۹۲ گرم بر کیلوگرم ماده غذایی بود. نتایج نشان داد پودر گیاهان اثر حشره‌کشی کمتری نسبت به اسانس آن‌ها داشت. همچنین تلفیق پودر گیاهان با خاک دیاتومه در شیشه آرد موجب کاهش اثر حشره‌کشی (خاصیت آنتاگونیستی) و در سوسک چهار نقطه‌ای حیوانات موجب افزایش اثر حشره‌کشی (خاصیت سینرژیستی) گردید. با این وجود، در تمام موارد تلفیق اسانس گیاهان با خاک دیاتومه موجب افزایش اثر حشره‌کشی شد. طبق نتایج حاصل، خاک دیاتومه می‌تواند نقش مهمی در حفاظت از دانه‌های انباری در برابر حمله آفات طی مدت ذخیره سازی داشته باشد (Soleimanzadeh *et al.*, 2016).

مطالعات آزمایشگاهی برای ارزیابی سمیت پودر گیاهی سنا (*Senna siamea* (Fabaceae) و فلفل (*Piper guineense* (Piperaceae) به تنهایی یا همراه با خاک دیاتومه با نسبت‌های ۱:۱ (۱ درصد وزنی/وزنی پودر گیاهی و ۱ درصد وزنی/وزنی خاک دیاتومه)، ۲:۱ (۱ درصد وزنی/وزنی پودر گیاهی و ۰/۵ درصد وزنی/وزنی خاک دیاتومه) و ۱:۲ (۰/۵ درصد وزنی/وزنی پودر گیاهی و ۱ درصد وزنی/وزنی خاک دیاتومه) روی حشرات کامل (*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae)، *Sitophilus granarius* (L.) و *T. castaneum* در دانه‌های انباری بررسی شد. نتایج نشان داد ترکیبی از پودرهای گیاهی و خاک دیاتومه به خوبی می‌تواند حشرات کامل سوسک انباری را سریعتر در مقایسه با کاربرد پودرهای گیاهی به تنهایی کنترل کند. آن‌ها همچنین متوجه شدند که ترکیب پودر این گیاهان با خاک دیاتومه می‌تواند سرعت کشتن حشرات را که یکی از محدودیت‌های خاک دیاتومه می‌باشد، افزایش دهد (Adarkwah *et al.*, 2017b). زیست‌سنجی آزمایشگاهی برای تعیین سمیت پودر میخک (*Eugenia aromatic* L. (Myrtaceae) و پودر گز روغنی (*Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) در دانه‌های انبار شده به تنهایی یا همراه با خاک دیاتومه Probe-A® (که شامل ۸۹/۰ درصد سیلیس و ۵ درصد سیلیکا آتروزل است) در برابر حشرات کامل *S. granarius* و *T. castaneum* نشان داد که *A. obtectus* و به دنبال آن *S. granarius* بیشترین حساسیت را نسبت به این گیاه داشتند و بیشترین تحمل را داشت. آن‌ها همچنین نتیجه گرفتند که مخلوط ترکیبی پودرهای گیاهی و خاک دیاتومه، سوسک‌ها را با سرعت بیشتری در مقایسه با پودرهای گیاهی به تنهایی کنترل کرد. بر اساس نتایج آن‌ها، اثر ترکیبی حشره‌کش‌های گیاهی با خاک دیاتومه به عنوان یک رویکرد مدیریت یکپارچه آفات مورد بحث قرار گرفته است (Adarkwah *et al.*, 2017a).

به طور کلی بر اساس مطالعه حاضر، فرمولاسیون ایرانی Dryasil و فرمولاسیون تجاری Silicosec® به خوبی قادر به کنترل حشرات کامل سوسک کشیش در توده غلات بودند. نتایج نشان داد که اثر حشره‌کشی خاک‌های دیاتومه با گذشت زمان افزایش پیدا کرد. در بیشتر موارد افزودن عصاره پونه به خاک دیاتومه سبب افزایش اثر حشره‌کشی خاک دیاتومه نشد، به طوری که کاربرد خاک دیاتومه به تنهایی در همه غلات مورد آزمایش، اثر حشره‌کشی بیشتری نسبت به تلفیق آن با عصاره پونه داشت.

سپاسگزاری

این پژوهش در گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه شهید چمران اهواز به انجام رسیده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

حمایت مادی و معنوی

حمایت مادی و معنوی این پژوهش از طرف دانشگاه شهید چمران اهواز با شماره گزنت: ۱۳۸۷۷۱ صورت پذیرفته است.



REFERENCES

- Adarkwah, C., Obeng-Ofori, D., Hörmann, V., Ulrichs, C. & Schöller, M. (2017a) Bioefficacy of enhanced diatomaceous earth and botanical powders on the mortality and progeny production of *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrysomelidae), *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Dryophthoridae) and *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored grain cereals. *International Journal of Tropical Insect Science* 37, 243-258. <https://doi.org/10.1017/s1742758417000170>
- Adarkwah, C., Obeng-Ofori, D., Prozell, S., Asante, V., Hörmann, V., Ulrichs, C. & Schöller, M. (2017b) Toxicity and protectant potential of *Piper guineense* (Piperaceae) and *Senna siamea* (Fabaceae) mixed with diatomaceous earth for the management of three major stored product beetle pests. *International Journal of Pest Management* 64, 128-139. <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1346327>
- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Mohammadnia Afrozi, S., Esfandiari, A. & Abbas Taghani, R. (2022) Agricultural statistics of the crop year 2018-2019, The first volume: Crops. Ministry of Jihad Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center, 89
- Arthur, F. H. & Subramanyam, B. (2012) *Chemical control in stored products*, In: Hagstrum, DW, Phillips, TW & Cuperus, G (Eds.), Desmarchelier, JH. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Kansas, 95-100.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G. & Andris, N. S. (2004) Insecticidal effect of three diatomaceous earth formulations against adults of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) on oat, rye, and triticale. *Journal of Economic Entomology* 97, 2160-2167. <https://doi.org/10.1093/jee/97.6.2160>

- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Tsaganou, F. C., Vayias, B. J., Dimizas, C. B. & Buchelos, C. T. (2003) Effect of grain type on the insecticidal efficacy of SilicoSec against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Crop Protection* 22, 1141-1147. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(03\)00155-8](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00155-8)
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Vayias, B. J., Tomanović, Ž., Petrović, A., Rozman, V., Adler, C., Korunic, Z. & Milovanović, D. (2011) Laboratory evaluation of diatomaceous earth deposits mined from several locations in central and southeastern Europe as potential protectants against coleopteran grain pests. *Crop Protection* 30, 329-339. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.10.004>
- Athanassiou, C. G., Korunic, Z. & Vayias, B. J. (2009) Diatomaceous earths enhance the insecticidal effect of bitterbarkomycin against stored-grain insects. *Crop Protection* 28, 123-127. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.09.012>
- Awika, J. M. (2011) Major cereal grains production and use around the world, *Advances in cereal science: implications to food processing and health promotion*. ACS Publications, pp. 1-13.
- Baliota, G. V. & Athanassiou, C. G. (2020) Evaluation of a greek diatomaceous earth for stored product insect control and techniques that maximize its insecticidal efficacy. *Applied Sciences* 10, 6441. <https://doi.org/10.3390/app10186441>
- Campolo, O., Romeo, F. V., Malacrino, A., Laudani, F., Carpinteri, G., Fabroni, S., Rapisarda, P. & Palmeri, V. (2014) Effects of inert dusts applied alone and in combination with sweet orange essential oil against *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) and wheat microbial population. *Industrial Crops and Products* 61, 361-369. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.07.028>
- Damalas, C. A. & Eleftherohorinos, I. G. (2011) Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8, 1402-1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
- Ebeling, W. (1971) Sorptive dusts for pest control. *Annual Review of Entomology* 16, 123-158. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.16.010171.001011>
- Fields, P. & Korunic, Z. (2000) The effect of grain moisture content and temperature on the efficacy of diatomaceous earths from different geographical locations against stored-product beetles. *Journal of Stored Products Research* 36, 1-13. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(99\)00021-1](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(99)00021-1)
- Hagstrum, D. W. & Flinn, P. W. (2014) Modern stored-product insect pest management. *Journal of Plant Protection Research* 54, 205-210.
- Hamel, D., Rozman, V. & Liška, A. (2020) Storage of cereals in warehouses with or without pesticides. *Insects* 11, 846. <https://doi.org/10.3390/insects11120846>
- Hill, D. S. (2002) *Pests: Class Insecta, Pests of stored foodstuffs and their control*. Kluwer Academic Publishers, Springer, Malaysia, 135-316.
- IBMCorp. (2007) IBM SPSS Statistics for Windows Version 16.0. Spss Inc, IBM Corporation, Chicago
- Islam, M. S., Hasan, M. M., Lei, C., Mucha-Pelzer, T., Mewis, I. & Ulrichs, C. (2010) Direct and admixture toxicity of diatomaceous earth and monoterpenoids against the storage pests *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Pest Science* 83, 105-112. <https://doi.org/10.1007/s10340-009-0276-7>
- Kavallieratos, N. G., Michail, E. J., Boukouvala, M. C., Nika, E. P. & Skourti, A. (2019) Efficacy of pirimiphos-methyl, deltamethrin, spinosad and silicoSec against adults and larvae of *Tenebrio molitor* L. on wheat, barley and maize. *Journal of Stored Products Research* 83, 161-167. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.06.012>
- Korunic, Z. (1998) Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Products Research* 34, 87-97. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(97\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(97)00039-8)
- Nwaubani, S. I., Opit, G. P., Otitodun, G. O. & Adesida, M. A. (2014) Efficacy of two Nigeria-derived diatomaceous earths against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) on wheat. *Journal of Stored Products Research* 59, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2014.04.001>
- Perišić, V., Vuković, S., Perišić, V., Pešić, S., Vukajlović, F., Andrić, G. & Kljajić, P. (2018) Insecticidal activity of three diatomaceous earths on lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* F., and their effects on wheat, barley, rye, oats and triticale grain properties. *Journal of Stored Products Research* 75, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.11.006>
- Rees, D. P. (1996) Coleoptera, In: Subramanyam, B & hagstrum, DW (Eds.), *Integrated Management of Insects in Stored Products*. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 1-41.
- Reihani, M., Yazdani, M. & Afshar, A. (2016) Enhancing insecticidal efficacy and remedying dilatory effect of diatomaceous earth Sayan® against adults of the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) in combination with myrtle essential oil, *Myrtus communis* (L.). *Journal of Applied Research in Plant Protection* 5, 65-78.
- Saed, B., Ziaee, M., Kiasat, A. R. & Jafari nasab, M. (2021) Preparation of nanosilica from sugarcane bagasse ash for enhanced insecticidal activity of diatomaceous earth against two stored-products insect pests. *Toxin Reviews* 41, 516-522. <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.1903038>
- Samareh Fekri, M. & Salehi, L. (2009) Food preference of saw-toothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) on stored grains. *Crop Production in Environmental Stress*, 1, 71-78.

- Shazdeahmadi, M. & Sajjadi, S.** (2022) Identification of chemical compounds of methanolic extract of (*Mentha longifolia* L.) and (*Thymus pubescens* Boiss.) plants and their insecticidal and repellent effects on *Trialeurodes vaporariorum*. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)* 45, 27-42. <https://doi.org/10.22055/ppr.2022.17656>
- Soleimanzadeh, A., Khorami, F. & Valizadegan, A.** (2016) Investigating the combined effect of diatomaceous earth with cumin seed powder and essential oil of *Cuminum cyminum* and *Trachyspermum ammi* seeds on two main pests of stored products in laboratory conditions. *Proceedings of 22nd Iranian Plant Protection Congress*, 27 to 30 August 2016.
- Vayias, B. J., Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Tsesmeli, C. D. & Th Buchelos, C.** (2006) Persistence and efficacy of two diatomaceous earth formulations and a mixture of diatomaceous earth with natural pyrethrum against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) on wheat and maize. *Pest Management Science* 62, 456-464. <https://doi.org/10.1002/ps.1185>
- Ziaee, M. & Moharrampour, S.** (2012) Efficacy of Iranian diatomaceous earth deposits against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 15, 547-553. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2012.05.006>
- Ziaee, M., McLaughlin, A., Nasr, H. A., Danesh, S., Mohammadi, M. & Morei, M. R.** (2023) Field study of the efficacy of an Iranian inert dust insecticide on silo-stored wheat. *International Journal of Tropical Insect Science*. <https://doi.org/10.1007/s42690-023-00952-5>

Insecticidal activity of Iranian diatomaceous earth, alone or in combination with *Mentha longifolia* plant extract to control *Rhyzopertha dominica* adults on different cereals

Frooq Zarasvandi , Ali Asghar Seraj  & Masumeh Ziaee 

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

✉ foruqbanoo.zarasvandi@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5106-0343>

✉ Seraj.a@scu.ac.ir

 <https://orcid.org/0000-0002-7267-6582>

✉ m.ziaee@scu.ac.ir

 <https://orcid.org/0000-0002-8133-1789>

Article History

Received: 20 February 2023 | Accepted: 11 August 2023 | Subject Editor: Fariba Sohrabi

Abstract

Storage insect pests cause considerable damage to grains every year, and reduce quantitative and qualitative value of stored products. One of the most important problems of controlling storage pests with chemical pesticides is occurrence of resistant to these pesticides, residues remaining on food products and endangering the health of the environment and other living beings. Diatomaceous earth has been introduced as a suitable alternative to chemical insecticides and can be used as one of the parts of integrated pest control programs. In this study, the insecticidal effect of different formulations of diatomaceous earth was evaluated against the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrychidae) adults in different grains including wheat, barley, rice, paddy and corn. Cereal grains were treated with a concentration of 400 ppm of a commercial formulation, Silicosec[®], Iranian DE formulation Dryasil alone, Dryasil + 0.05% plant extract (*Mentha longifolia* L.), talcum powder + 0.05% *M. longifolia* extract. The insects' mortality was counted 1, 5, 7, 10 and 14 days after treatment. The Dryasil formulation and Silicosec[®] were significantly controlled the populations of tested insects in the grain mass. The mean mortality percentage of *R. dominica* in wheat, barley, rice, paddy and corn treated with Silicosec[®] were 53.3, 98.8, 44.4, 60.0 and 68.8%, respectively, 14 days after treatment. While the Iranian formulation of diatomaceous earth was able to control 50.0, 91.1, 60.0, 58.8 and 67.2 % of *R. dominica* adults, respectively. The insecticidal effect of diatomaceous earth increased over time. The lowest LT₅₀ value was reported in barley, which indicated greater protection of this product than other cereals. In barley, Silicosec[®], Dryasil, and Dryasil + *M. longifolia* extract caused 50% mortality on *R. dominica* adults after 3.06, 5.39, and 9.01 days, respectively.

Keywords: Stored pest, Talcum powder, formulation, mortality, pest management

Corresponding Author: Ali Asghar Seraj (Email: Seraj.a@scu.ac.ir)

Citation: Zarasvandi, F., Seraj, A. A. & Ziaee, M. (2023) Insecticidal activity of Iranian diatomaceous earth, alone or in combination with *Mentha longifolia* plant extract to control *Rhyzopertha dominica* adults on different cereals. *J. Entomol. Soc. Iran*, 43 (3), 207–217. <https://doi.org/10.61186/jesi.43.3.2>