Iranian Journal of Plant Protection Science
Vol 53, No 1, Spring and Summer 2022 (209-224)
DOI: 10.22059/IJPPS.2022.345412.1007008

دانش گیاهپزشکی ایران
دورۀ ۵۳، شمارۀ ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۱ (ص۲۲۴-۲۰۹) مقاله پژوهشی

تاثیر کشندگی و زیرکشندگی اسانس های زنیان (Carum copticum L.) و رازیانه (Foeniculum vulgare Mill) به همراه خاک دیاتومه روی برخی شاخصهای جدول زندگی سوسک کشیش (Rhyzopertha dominica F.)

قدیر نوری قنبلانی[1*]، زهرا عابدی[2]، لیلا متقی‌نیا[3] و علیرضا نوری[4]

۱، ۲ و ۳. گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴. موسسه آموزش عالی سبلان، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۴- تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۷/۱۲)

چکیده

سوسک کشیش، **Rhyzopertha dominica F**، یک آفت مهم محصولات انباری است که از نظر اقتصادی، خسارت قابل توجهی را در غلات ایجاد می کند. با توجه به ضرورت استفاده از روش های کنترل جایگزین سموم شیمیایی، در پژوهش حاضر تاثیر کشندگی و زیرکشندگی اسانس های دو گونه گیاهی زنیان (**Carum copticum L**.) و رازیانه (**Foeniculum vulgare Mill**) به همراه خاک دیاتومه روی**R. dominica** مورد ارزیابی قرار گرفت. ترکیبات شیمیایی اسانس های گیاهی با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی- طیف سنج جرمی شناسایی شد. عمده ترین ترکیبات شیمیایی در اسانس زنیان **Phenol**، **Benzene** و **Terpinene**- γ و در اسانس رازیانه **Propanal**، **Trans-anethole**، **Terpinene**- γ ، **Benzene** و **Cyclohexene** بودند. سمیت اسانس رازیانه (**LC50 = 83/103** میکرولیتر بر لیتر هوا) علیه حشرات کامل **R. dominica** بیش تر از اسانس زنیان (**LC50 = 46/167** میکرولیتر بر لیتر هوا) بود. مقدار **LC50** خاک دیاتومه نیز ۰/۰۵۲ گرم بر کیلوگرم به دست آمد. نتایج آزمایش تاثیر زیرکشندگی (**LC30**) نشان داد که طول عمر حشرات کامل نر و ماده و نیز زادآوری ماده ها به طور معنی داری در تیمار اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه کم ترین بود. هم چنین، نرخ خالص تولید مثل (**R0**)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت(**rm**) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) آفت در تیمارهای ترکیب اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه و ترکیب اسانس رازیانه همراه با خاک دیاتومه به طور معنی داری کم تر (**P** < ۰/۰۵) از سایر تیمارها بود. نتایج این مطالعه نشان داد که می توان از اسانس های هر یک از این گیاهان به همراه خاک دیاتومه در برنامه های مدیریتی **R. dominica** استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اسانس های گیاهی، آفت انباری، تاثیر کشندگی، تاثیر زیرکشندگی، خاک دیاتومه.

Lethal and sublethal effects of essential oils of Ajwain (*Carum copticum* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) along with diatomaceous earth on some life table parameters of the lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica* F.)

Gadir Nouri Ganbalani[1]*, Zahra Abedi[2], Leila Mottaghinia[3], and Alireza Nouri[4]

1, 2, 3. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

4. Institute of Higher Education of Sabalan, Ardabil, Iran
Center of Golestan Province, Gorgan, Iran

(Received: Jul, 05, 2022 - Accepted: OCt, 04, 2022)

ABSTRACT

The lesser grain borer, Rhyzopertha dominica F. is an important pest of the stored products, which causes severe economic damage on grain. Regarding necesity of using alternative methods to chemical insecticides, in the present study the lethal and sublethal effects of the essential oils of Ajwain (Carum copticum L.) and fennel (Foeniculum vulgare Mill) along with diatomaceous earth were evaluated against R. dominica. The chemical compositions of the essential oils were determined by gas chromatography-mass spectrometry. The major components of Ajwain were phenol, benzene, and γ-terpinene and those of the fennel were propanal, trans-anethole, γ-terpinene, benzene, and cyclohexene. The toxicity of fennel essential oil (LC50 = 103.83 µl/l air) against the adults of R. dominica was higher than Ajwain essential oil (LC50 = 167.46 µl/l air). The LC50 for the diatomaceous earth was obtained 0.052 g/kg. Results of the experiment of sublethal effects (LC30) showed that the longevity of males and females and the fecundity of females were significantly lowest in the combination of Ajwain essential oil along with diatomaceous earth. Furthermore, the net reproductive rate (R0), intrinsic rate of natural increase (rm), and finite rate of increase (λ) of the pest, in both the combination of Ajwain essential oil along with diatomaceous earth and fennel essential oil along with diatomaceous earth were significantly lower ($P < 0.05$) than other treatments. The results of this study indicated that the essential oils of each of these plants in combination with diatomaceous earth can be used in the management programs of R. dominica.

Key words: Interaction, greenhouse, indice, wheat cultivar, Golestan province. Essential oils, stored product pest, lethal effect, sublethal effect, diatomaceous earth.

* Corresponding author E-mail: gnouri@uma.ac.ir

مقدمه

سوسک کشیش، *Rhyzopertha dominica* F. (Col., Bostrichidae)، یک آفت مهم انباری است که در تمام مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان پراکنده است. تغذیه اصلی این حشره از چوب درختان جنگلی و میوه‌های خشک بوده، ولی در صورت ورود به انبارها نیز قادر است روی مواد غذایی حاوی نشاسته مانند دانه-های غلات (مثل گندم، جو، برنج، ذرت، سورگوم و ارزن) و بقولات (مانند نخود، بادام زمینی و انواع لوبیا)، بیسکوئیت، نان و آرد گندم خسارت ایجاد کند (Edde, 2012). علیرغم این تنوع تغذیه، حشرات کامل سوسک کشیش به بوی دانه‌های گندم بیش‌تر جلب می‌شوند و حتی گزارش شده است که حداکثر موفقیت تولیدمثلی این حشرات با تغذیه از دانه‌های گندم حاصل می‌شود (Edde and Phillips, 2006). حشرات کامل و لاروهای این آفت از محتویات داخلی دانه‌های گندم تغذیه کرده و گاهاً آن را به طور کامل خالی می‌کنند. بذور آسیب دیده به طور معمول، وزن و ارزش بازار پسندی کم‌تری داشته و برای تغذیه انسان مناسب نمی‌باشد (Astuti *et al*., 2013). آرد تهیه شده از دانه‌های آلوده گندم نیز به دلیل مخلوط شدن آرد با ذرات خرد شده بدن آفت در هنگام آسیاب کردن، مشکل بهداشتی داشته و از بازار پسندی کم‌تری برخوردار است (Ebadollahi and Borzoui, 2019).

در گذشته و حتی تا حدودی در زمان حال از آفت‌کش‌های شیمیایی، به ویژه حشره‌کش‌های تدخینی متیل‌بروماید و فسفین برای کنترل اکثر آفات انباری از جمله سوسک کشیش استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر کاربرد حشره‌کش تدخینی متیل‌بروماید به دلیل اثرات نامطلوب زیست‌محیطی آن منسوخ شده است. حشره‌کش تدخینی رایج دیگر، یعنی فسفین، به جهت ارزان بودن، راحتی کاربرد، نداشتن باقیمانده و طیف حشره‌کشی وسیع در کنترل آفات انباری استفاده می-شود. با این وجود، کاربرد وسیع فسفین در دو دهه اخیر منجر به گسترش مقاومت در آفات انباری مختلف شده است (Nayak *et al*., 2020). بنابراین، امروزه جایگزینی سموم شیمیایی با ترکیبات کم خطر به چالش مهمی در کنترل آفات انباری تبدیل شده است.

بر این اساس، استفاده از حشره‌کش‌هایی بر پایه ترکیبات گیاهی توجه ویژه‌ای را در بین محققین و مصرف‌کنندگان باز کرده است. در بین ترکیبات گیاهی استفاده شده به عنوان حشره‌کش، اسانس‌های گیاهی به دلیل دسترسی آسان، داشتن قیمت مناسب، سمیت کم علیه پستانداران و نیز پایداری پایین در محیط زیست دارای اهمیت زیادی می‌باشند (Isman, 2006; Campolo *et al*., 2018). اسانس‌های گیاهی، متابولیت-های ثانویه تولید شده توسط گیاهان مختلف می‌باشند که از اندام‌هایی مانند بذر، گل، برگ، ریشه و غیره تولید شده و در ساختارهای ویژه‌ای از قبیل تریکوم‌های غده‌ای، حفره‌های ترشحی و مجاری رزین تجمع پیدا می‌کنند(Bruneton, 1999; Fahn, 2000). این ترکیبات نقش مهمی در دفاع گیاهان علیه تنش‌های زیستی و غیر زیستی دارند. بروز سمیت تنفسی، دورکنندگی، متوقف کردن تغذیه، بازدارندگی تخم‌گذاری و کاهش تولیدمثل از جمله تاثیرات اسانس‌های گیاهی علیه حشرات آفت می‌باشد (Alkan and Erturk, 2020; Nouri Ganbalani *et al*., 2021). وجود خواص حشره‌کشی اسانس‌های گیاهی روی آفات انباری گوناگون توسط محققین مختلف گزارش شده است (Fouad and da Camara, 2017; Nattudurai *et al*., 2017; Campolo *et al*., 2018; Yang *et al*., 2020; Nouri Ganbalani *et al*., 2021). چنان که، نتایج گزارش‌های Habashi *et al*. (2011) و Giunti *et al*. (2021) حاکی از تاثیر منفی هر یک از اسانس‌های گیاهان زنیان (*Carum copticum* L.) و رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) روی سوسک کشیش می‌باشد.

خاک دیاتومه پودر بسیار ریزی است که از اجساد جلبک‌های دیاتومه تهیه شده و یکی از انواع موثر پودرهای غیرفعال از نظر شیمیایی[1] می‌باشد. این خاک برای کنترل حشرات در سراسر دنیا استفاده می‌شود (Nipkay, 2006). ذرات خاک دیاتومه از طریق تماس با کوتیکول حشره موجب از بین رفتن لایه مومی اپی-

1. Inert powder

کوتیکول آن می‌شوند. با از بین رفتن این لایه، آب بدن حشره تبخیر شده و حشره در طی چند ساعت تا چند روز تلف می‌شود (Subramayam and Roesli, 2000). در تحقیق انجام شده توسط Kavallieratos *et al*. (2005)، خاک دیاتومه نقش مهمی در ایجاد تلفات در جمعیت سوسک کشیش داشت. سمیت پایین خاک دیاتومه برای پستانداران، حفاظت طولانی مدت محصول انباری و تاثیر حشره‌کشی مناسب آن از مهم-ترین مزایای استفاده از خاک دیاتومه برای کنترل آفات انباری می‌باشد (Losic and Korunic, 2018). برای کاربرد موثر خاک دیاتومه در کنترل آفات انباری می-توان کل ماده غذایی، سطح رویی ماده غذایی یا عمق پایینی ماده انباری را با این خاک تیمار نمود. لازم به ذکر است که این کار باید با دزهای مناسب خاک دیاتومه صورت گیرد تا مانع از تغییرات فیزیکی و شیمیایی در دانه‌های انباری گردد (Fields and Korunic, 2000).

اسانس‌های گیاهی به عنوان حشره‌کش زیستی بالقوه، جایگزین مناسبی برای سموم شیمیایی می-باشند. با این وجود، برخی خصوصیات اسانس‌ها مانند نفوذ ضعیف آن‌ها به توده غلات، بوی قوی، سرعت تبخیر بالا و نیاز به مصرف غلظت‌های بالایی از اسانس-ها برای کنترل موثر آفات انباری، کاربرد آن‌ها را با محدودیت‌هایی مواجه کرده است (Ziaee *et al*., 2014, 2019). از طرف دیگر، خاک دیاتومه نیز ممکن است باعث ایجاد تاثیرات ناخواسته روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی غلات شود (Losic and Korunic, 2018). کاهش دز مصرفی خاک دیاتومه می‌تواند تاثیر منفی آن را روی غلات کاهش دهد، ولی این کار ممکن است باعث کاهش کارآیی آن گردد (Koruni et al., 2020). یکی از راهکارهای موثر برای به حداقل رساندن محدودیت‌های ذکر شده اسانس‌ها و نیز جلوگیری از کاهش کارآیی خاک دیاتومه، ترکیب اسانس‌های گیاهی با خاک دیاتومه در قالب برنامه‌های مدیریت آفات است. در این زمینه نیز مطالعاتی توسط برخی محققین انجام شده است. به عنوان مثال، در مطالعه انجام شده توسط Ziaee *et al*. (2014) کاربرد ترکیبی اسانس زنیان با خاک دیاتومه موجب مرگ و میر بیش-تر از حد انتظار در شپشه آرد (*Tribolium confusum* Jacquelin du Val) و شپشه گندم (*Sitophilus granaries* L.)، در تحقیق Ghafouripoor (2019)، تلفیق اسانس‌های گیاهان پنج انگشت، سیر و پونه با خاک دیاتومه موجب افزایش تلفات شپشه دندانه‌دار غلات (*Oryzaephilus surinamensis* L.) و در بررسی Yazdanian and Reihani (2021) ترکیب غلظت‌های مختلف اسانس مورد و خاک دیاتومه موجب کاهش نتاج شپشه گندم شد. بنابراین، نظر به اهمیت مطالعه ترکیب اسانس‌های مختلف گیاهی به همراه خاک دیاتومه روی جمعیت حشرات و ضرورت بررسی آن روی حشرات متفاوت، پژوهش حاضر انجام گرفت. اهداف تحقیق حاضر عبارت بودند از: ۱) بررسی تاثیر کشندگی اسانس‌های دو گونه گیاهی شامل زنیان، *Carum copticum* L. (Apieaceae)، و رازیانه، *Foeniculum vulgare* Mill (Apieaceae)، و نیز خاک دیاتومه روی سوسک کشیش، ۲) مطالعه تاثیر زیرکشندگی این تیمارها به صورت مجزا و در اختلاط با یکدیگر روی برخی از شاخص‌های جدول زندگی سوسک کشیش و ۳) شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس‌های مورد بررسی با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی-طیف‌سنج جرمی. نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌تواند در تدوین برنامه‌های مدیریتی سوسک کشیش در انبار مفید واقع شود.

مواد و روش‌ها

پرورش سوسک کشیش

جمعیت اولیه سوسک کشیش از کلنی موجود در گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه و در داخل ظروف پلاستیکی دایره-ای پرورش داده شد. برای تامین تهویه، قسمت دهانه این ظروف با پارچه توری ۵۰ مش پوشانده شد. داخل هر ظرف، مقدار ۲۰۰ گرم گندم خرد شده (رقم پایا) ریخته و حشرات کامل به داخل آن رهاسازی شدند. سپس، این ظروف به اتاقک رشد با دمای ۲ ± ۲۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی منتقل شدند. پس از گذشت ۴۸ ساعت، حشرات کامل از

داخل ظروف حذف و بذور گندم آلوده شده به تخم حشره تا زمان خروج حشرات کامل نسل جدید آفت در اتاقک رشد در شرایط محیطی ذکر شده نگهداری شدند.

خاک دیاتومه، مواد گیاهی و تهیه اسانس

در این تحقیق، خاک دیاتومه (به صورت فرمولاسیون گرد و با دانه‌بندی ذرات کم‌تر از ۱۰ میکرون) از شرکت کیمیا سبزآور اصفهان تهیه شد.

دانه‌های زنیان (*Carum copticum*) و رازیانه (*Foeniculum vulgare*) به صورت آماده و خشک از عطاری محلی شهرستان اردبیل تهیه و تایید نمونه‌های خریداری شده توسط گروه علوم باغبانی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. برای تهیه اسانس، بذور مربوطه با استفاده از آسیاب برقی به طور جداگانه آسیاب و به شکل پودر در آمدند. در هر نوبت، ۵۰ گرم پودر خشک هر یک از بذور با ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دستگاه کلونجر شیشه‌ای (ساخته شده در واحد شیشه‌گری سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران) در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس و به مدت ۱۸۰ دقیقه با روش تقطیر با آب مقطر اسانس‌گیری شدند. اسانس‌های جمع‌آوری شده با کمک قیف دکانتور جداسازی و با سولفات سدیم آبگیری شده و تا زمان استفاده در ظروف شیشه‌ای مخصوص (۳ میلی لیتر) با روکش آلومینیومی در یخچال (دمای ۴ درجه سلسیوس) نگهداری شدند.

جداسازی و شناسایی ترکیبات تشکیل دهنده اسانس‌های گیاهی

جهت شناسایی اجزای شیمیایی اسانس‌های گیاهی تهیه شده، از دستگاه کروماتوگرافی گازی (HP 7890A) متصل به طیف‌سنج جرمی (5975C) (Santa Clara, CA, USA) استفاده شد. ستون مورد استفاده در دستگاه از نوع کاپیلاری HP-5 به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر بود. گاز هلیوم (۹۹/۹۹۹ درصد) به عنوان گاز حامل با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه مورد استفاده قرار گرفت. دمای محفظه تزریق ۲۸۰ درجه سلسیوس بود. برنامه دمایی آون به این صورت بود که دمای شروع به مدت یک دقیقه در ۵۰ درجه سلسیوس نگهداری و سپس با سرعت ۸، ۶ و ۶ درجه بر دقیقه به ترتیب به ۱۰۰، ۱۱۰ و ۳۱۰ درجه سلسیوس افزایش یافت و یک دقیقه در هر یک از این دماها باقی ماند. تشخیص طیف‌ها با مطالعه اجزای آن‌ها و مقایسه با طیف‌های استاندارد موجود در کتابخانه دستگاه (Wiley Registry 11th Edition/NIST 2017 Mass Spectral Library) صورت گرفت (Adams, 2001).

تاثیر کشندگی اسانس‌های گیاهی و خاک دیاتومه روی حشرات کامل سوسک کشیش

در این بررسی، برای یافتن غلظت‌های لازم برای ایجاد تلفات بین ۲۰ تا ۸۰ درصد، آزمایش‌های مقدماتی روی حشرات کامل ۱ تا ۳ روزه سوسک کشیش انجام گرفت. سپس، غلظت‌های مابین آن‌ها بر اساس فواصل لگاریتمی محاسبه شدند. انجام آزمایش‌ها بدین ترتیب بود که تعداد ۲۰ عدد حشره کامل سوسک کشیش درون ظروف شیشه‌ای استوانه‌ای (۱۴۰ میلی‌لیتری به ابعاد ۶ × ۱۱ سانتی‌متر) منتقل شدند (تعداد ۲۰ حشره با ۴ تکرار). سپس، غلظت‌های محاسبه شده اسانس‌های گیاهی (۱۱۵، ۱۲۶، ۱۴۷، ۱۶۹، ۱۹۳ و ۲۲۲ میکرولیتر بر لیتر هوا برای زنیان و ۷۲، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۸، ۱۳۹ و ۱۶۵ میکرولیتر بر لیتر هوا برای رازیانه) با میکروپیپت روی قطعات دایره‌ای شکل (قطر ۳۰ میلی‌متر) از کاغذ صافی واتمن (شماره ۴) ریخته شد. کاغذ صافی داخل درپوش هر ظرف شیشه‌ای قرار داده شده و بلافاصله درپوش ظرف بسته شد. برای جلوگیری از خروج بخار اسانس به بیرون، اطراف درپوش‌ها با پارافیلم به دقت پوشانده شد. تعداد حشرات کامل تلف شده در هر تیمار پس از گذشت ۲۴ ساعت از شروع آزمایش شمارش و ثبت گردید. آزمایش‌های مقدماتی تعیین‌کننده غلظت‌های خاک دیاتومه نیز، با تعیین دامنه غلظت‌هایی که موجب ایجاد تلفات بین ۲۰ تا ۸۰ درصد می‌شود انجام و غلظت‌های نهایی ۰/۰۲، ۰/۰۲۷، ۰/۰۳۶، ۰/۰۴۹ و ۰/۰۸ گرم بر کیلوگرم از خاک دیاتومه مورد استفاده قرار گرفت. در شروع آزمایش، مقدار ۱۰ گرم گندم درون ظروف آزمایش شیشه‌ای

استوانه‌ای (۱۴۰ میلی‌لیتری به ابعاد ۶ × ۱۱ سانتی-متر) ریخته شد و با غلظت‌های مختلف از خاک دیاتومه تیمار گردید. سپس، تعداد ۲۰ عدد حشره کامل ۱ تا ۳ روزه سوسک کشیش به داخل هر ظرف رهاسازی و درب هر یک برای تهویه با توری پوشانده شد. مرگ و میر حشرات در هر تیمار پس از ۲۴ ساعت تا روز سوم ادامه داشت. حشراتی که در تماس با قلم مو هیچ گونه عکس‌العملی نشان نمی‌دادند، به عنوان حشرات مرده ثبت شدند. آزمایش‌ها با ۴ تکرار در شرایط دمای ۲ ± ۲۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام گرفت.

تاثیر زیرکشندگی اسانس‌های گیاهی و خاک دیاتومه روی برخی شاخص‌های جدول زندگی سوسک کشیش

در این بررسی، تعداد ۲۰۰ عدد حشره کامل ۱ تا ۳ روزه سوسک کشیش تحت غلظت زیرکشنده ۳۰ درصد (LC_{30}) اسانس زنیان معادل ۱۲۷/۵۷ میکرولیتر بر لیتر هوا، اسانس رازیانه برابر با ۷۵/۳۷ میکرولیتر بر لیتر هوا و خاک دیاتومه معادل ۰/۰۲۷گرم بر کیلوگرم قرار گرفتند. تیمارهای مورد بررسی شامل: ۱) اسانس زنیان، ۲) اسانس رازیانه، ۳) خاک دیاتومه، ۴) ترکیب اسانس-های زنیان و رازیانه، ۵) ترکیب اسانس زنیان با خاک دیاتومه، ۶) ترکیب اسانس رازیانه با خاک دیاتومه و ۷) شاهد (حشرات در ظروف پرورش با استون تیمار شدند) بودند. خاک دیاتومه مخلوط با بذور گندم و اسانس‌های مورد بررسی با ریختن اسانس مربوطه به وسیله میکروپیپت روی کاغذ صافی واتمن (قطر ۳ سانتی‌متر) در ظروف شیشه‌ای ۱۴۰ میلی‌لیتری استفاده شدند. برای جلوگیری از خروج بخار اسانس به بیرون در تیمارهای حاوی آن، درب ظروف با پارافیلم پوشانده شد. در ظروف شاهد به جای اسانس از آستون استفاده شد پس از گذشت ۲۴ ساعت در تیمارهای حاوی فقط اسانس و ۷۲ ساعت در تیمارهای ترکیبی و خاک دیاتومه، ۶۰ عدد حشره کامل نر و ماده زنده مانده به ظروف پتری پلاستیکی ۶۰ میلی‌متری حاوی ۲ گرم دانه گندم تیمار نشده منتقل شدند. تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط حشرات کامل شمارش شد. سپس، طول دوره‌های جنینی تخم، طول دوره‌های لاروی و شفیرگی به صورت روزانه ثبت شد. پس از ظهور حشرات کامل، طول عمر و میزان باروری آن‌ها تا زمان مرگ آخرین فرد به صورت روزانه شمارش و ثبت گردید. آزمایش در شرایط دمای ۲ ± ۲۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام گرفت.

تجزیه داده‌ها

تجزیه داده‌های حاصل از بررسی تاثیر کشندگی تیمارهای آزمایشی با استفاده از دستور PROC PROBIT نرم‌افزار SAS انجام گرفت (SAS Institute, 2002). تاثیر زیرکشندگی تیمارهای مورد بررسی بر شاخص‌های جدول زندگی سوسک کشیش مانند نرخ بقاء وابسته به سن (l_x)، زادآوری وابسته به سن (m_x)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، میانگین مدت زمان یک نسل (T)، بر اساس روش دو جنسی سن – مرحله و با استفاده از نرم‌افزار Twosex MSChart-محاسبه شدند (Chi, 1988; Chi, 2016). هم‌چنین، مقایسه اختلاف آماری بین شاخص‌های جدول زندگی این حشره با استفاده از آزمون دوگانه بوت استرپ (paired bootstrap test) صورت گرفت ($P < ۰/۰۵$).

نتایج

شناسایی ترکیبات تشکیل دهنده اسانس‌های آزمایشی

بر اساس نتایج به دست آمده، ۳۱ ترکیب مختلف در اسانس زنیان شناسایی شدند که در مجموع ۹۹/۹۴ درصد از کل ترکیبات اسانس را شامل می‌شدند. ترکیبات phenol، benzene و γ-terpinene در این اسانس به ترتیب ۴۳/۰۵، ۲۰/۴۱ و ۱۰/۳۹ درصد از اسانس را به خود اختصاص دادند (جدول ۱). در اسانس رازیانه نیز ۲۳ ترکیب با مجموع ۹۸/۷۰ درصد از حجم کل اسانس شناسایی شدند که ترکیبات propanal (۲۳/۲۳)، trans-anethole (۱۷/۸۷)، γ-terpinene

(۱۳/۸۰)، benzene (۱۲/۷۸) و cyclohexene اسانس بودند (جدول ۲).
(۱۲/۳۴) بیش‌ترین حجم ترکیبات تشکیل دهنده این

جدول ۱. ترکیبات شیمیایی شناسایی شده در اسانس Carum copticum با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی-طیف سنج جرمی.

Table 1. Chemical compounds identified in Carum copticum essential oil using gas chromatography-mass spectrometry.

Compound	Retention time (min)	Composition (%)	Area	Height
α-pinene	9.80	2.12*	26149084	96
β-pinene	11.238	1.68	20648052	97
benzene	12.949	20.41	251540586	93
γ-terpinene	13.999	10.39	128095665	97
2-cyclohexen-1-one	19.795	4.16	51272126	96
phenol	21.131	43.05	530683604	87
croweacin	26.837	6.84	84312759	99
benzene	27.512	1.09	13443111	94
dillapiole	29.166	1.14	14032891	93
1,3-benzodioxole	30.495	3.29	40570654	98

جدول ۲. ترکیبات شیمیایی شناسایی شده در اسانس *Foeniculum vulgare* با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی-طیف‌سنج جرمی.

Table 2. Chemical compounds identified in fennel *Foeniculum vulgare* essential oil using gas chromatography-mass spectrometry

Compound	Retention time (min)	Composition (%)	Area	Height
β-pinene	11.219	1.49*	11286895	69
benzene	12.879	12.78	96629029	97
dl-limonene	12.987	4.91	37151974	99
γ-terpinene	13.986	13.80	104321848	96
L-fenchone	14.819	2.04	15412094	93
propanal	19.527	23.23	175666115	98
trans-anethole	20.787	17.87	135096746	98
cyclohexene	20.876	12.34	93271636	87
benzenemethanol	24.248	1.50	11316182	94
croweacin	26.735	1.15	8706554	99

*ترکیبات کم تر از ۱ درصد ذکر نشده است.

* Compounds less than 1% were not listed.

تاثیر کشندگی اسانس‌های آزمایشی و خاک دیاتومه روی سوسک کشیش

بر اساس نتایج به دست آمده، مقادیر غلظت‌های کشنده ۵۰ درصد (LC_{50}) برای اسانس‌های زنیان و رازیانه به ترتیب ۱۶۷/۴۶ و ۱۰۳/۸۳ میکرولیتر بر لیتر هوا به دست آمد. مقایسه محدوده‌های اطمینان LC_{50} حاکی از اختلاف معنی‌دار بین دو اسانس مورد بررسی به دلیل عدم همپوشانی آن‌ها بود. بر این اساس، میزان کشندگی اسانس رازیانه بیش‌تر از اسانس زنیان بود. همین روند در مورد مقادیر غلظت کشنده ۳۰ درصد (LC_{30}) نیز قابل مشاهده بود (جدول ۳). مقادیر LC_{30} و LC_{50} خاک دیاتومه نیز در بررسی حاضر به ترتیب ۰۲۷/ و ۰/۰۵۲ گرم بر کیلوگرم تخمین زده شد (جدول ۳).

جدول ۳. سمیت اسانس های Carum copticum و Foeniculum vulgare (میکرولیتر بر لیتر هوا) و خاک دیاتومه (گرم بر کیلوگرم) روی حشرات کامل Rhyzopertha dominica.

Table 3. Toxicity of Carum copticum and Foeniculum vulgare essential oils (µL/L air) and diatomaceous earth (g/kg) against the adults of Rhyzopertha dominica.

Treatments	n	χ^2	df	Slope ±SE	Lethal concentrations	
					LC_{30} (95% FL)	LC_{50} (95% FL)
Carum copticum	560	47.10	1	4.44 ± 0.65	127.57 (113.42 - 137.81)	167.46 (157.01 -180.03)
Foeniculum vulgare	560	50.67	1	3.77 ± 0.53	75.37 (63.91- 83.97)	103.83 (95.53 - 111.97)
Diatomaceous earth	560	36.96	1	1.88 ± 0.31	0.027 (0.020 - 0.032)	0.052 (0.044 - 0.063)

غلظت‌های کشنده و محدوده اطمینان ۹۵ درصد (FL) با رگرسیون لجستیک محاسبه شدند (SAS Institute, 2002).

Lethal concentrations and 95% fiducial limits (FL) were estimated using logistic regression (SAS Institute, 2002).

تاثیر زیرکشندگی اسانس‌های آزمایشی و خاک دیاتومه روی برخی شاخص‌های جدول زندگی سوسک کشیش

بر اساس نتایج به دست آمده، تاثیر غلظت زیرکشنده (LC_{30}) مجزا و ترکیبی اسانس‌های مورد بررسی و خاک دیاتومه بر طول دوره جنینی سوسک کشیش معنی‌دار نبود ($P > 0.05$) (جدول ۴). غلظت‌های زیرکشنده تیمارهای مورد بررسی، مجموع طول دوره لاروی و شفیرگی سوسک کشیش را به طور معنی-داری تحت تاثیر قرار دادند ($P < 0.05$). به طوری که طول این دوره در همه تیمارها بیش‌تر از تیمار خاک دیاتومه و شاهد بود (جدول ۴). همین روال در ارتباط با طول دوره نشو و نمایی سوسک کشیش نیز قابل مشاهده بود (جدول ۴). هم‌چنین، غلظت‌های زیرکشنده (LC_{30}) تیمارهای مورد بررسی با تاثیر معنی‌دار بر درصد بقاء قبل از بلوغ سوسک کشیش موجب کاهش این پارامتر نسبت به شاهد شدند ($P < 0.05$) (جدول ۴). غلظت‌های زیرکشنده (LC_{30}) تیمارهای مورد بررسی به طور معنی‌داری طول دوره پیش از تخم‌گذاری حشرات کامل (APOP) و کل دوره پیش از تخم‌گذاری (TPOP) سوسک کشیش را تحت تاثیر قرار دادند ($P < 0.05$). به طوری که، طول دوره پیش از تخم‌گذاری حشرات کامل در تیمار اسانس رازیانه همراه با خاک دیاتومه کم‌ترین و در تیمار خاک دیاتومه بیش‌ترین بود (جدول ۵). هم-چنین، بیش‌ترین مقدار عددی کل دوره پیش از تخم-گذاری سوسک کشیش در تیمارهای اسانس رازیانه، ترکیب اسانس‌های زنیان و رازیانه و ترکیب اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه و کم‌ترین مقدار عددی این دوره در شاهد به دست آمد (جدول ۵). طول دوره تخم‌گذاری سوسک کشیش در تیمارهای اسانس رازیانه، خاک دیاتومه، ترکیب اسانس‌های زنیان و رازیانه، ترکیب اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه و ترکیب اسانس رازیانه همراه با خاک دیاتومه به طور معنی‌داری کوتاه‌تر بود ($P < 0.05$) (جدول ۵). غلظت-های زیرکشنده (LC_{30}) تیمارهای مورد بررسی، باروری سوسک کشیش را نیز به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار دادند ($P < 0.05$). کم‌ترین مقدار باروری سوسک کشیش در تیمار ترکیب اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه و بیش‌ترین مقدار آن در شاهد مشاهده گردید (جدول ۵). هم‌چنین بر اساس نتایج به دست آمده، طول عمر حشرات نر و ماده در تیمار ترکیب اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه به طور معنی‌داری کم-ترین و در شاهد بیش‌ترین بود ($P < 0.05$) (جدول ۵).

جدول ۴. طول دوره نشو و نما و بقاء (میانگین ± خطای استاندارد) نتاج حشرات کامل *Rhyzopertha dominica* در معرض قرار گرفته با غلظت LC_{30} اسانس‌های *Carum copticum*، *Foeniculum vulgare*، خاک دیاتومه و ترکیب آن‌ها.

Table 4. The developmental times and survival (mean ± SE) of offsprings of *Rhyzopertha dominica* adults exposed to LC30 of essential oils of *Carum copticum*, *Foeniculum vulgare*, diatomaceous earth, and their combinitions.

Treatments	Egg incubation	Larval and pupal period	Development time*	Preadult survival
Carum copticum	6.73 ± 0.09[a]	38.89 ± 0.40[a]	45.44 ± 0.42[a]	0.77 ± 0.05[b]
Foeniculum vulgare	6.80 ± 0.11[a]	39.43 ± 0.61[a]	46.21 ± 0.60[a]	0.73 ± 0.06[b]
Diatomaceous earth	6.51 ± 0.09[b]	35.22 ± 1.01[b]	41.63 ± 1.02[b]	0.70 ± 0.06[b]
C. copticum + *F. vulgare*	6.84 ± 0.08[a]	39.14 ± 0.22[a]	45.89 ± 0.28[a]	0.72 ± 0.06[b]
C. copticum + Diatomaceous earth	6.85 ± 0.09[a]	39.52 ± 0.24[a]	47.23 ± 1.00[a]	0.77 ± 0.05[b]
F. vulgare + Diatomaceous earth	6.67 ± 0.09[a]	39.04 ± 0.34[a]	45.58 ± 0.38[a]	0.73 ± 0.06[b]
Control	6.65 ± 0.07[a]	34.39 ± 0.55[b]	40.89 ± 0.55[b]	0.80 ± 0.05[a]

جدول ۵. طول دوره تخم گذاری، باروری و طول عمر (میانگین ± خطای استاندارد) نتاج حشرات کاملRhyzopertha dominica در معرض قرار گرفته با غلظت LC30 اسانس های Carum copticum، Foeniculum vulgare، خاک دیاتومه و ترکیب آن ها.

Table 5. The oviposition period, fecundity and longevity (mean ± SE) of offsprings of Rhyzopertha dominica adults exposed to LC30 of essential oils of Carum copticum, Foeniculum vulgare, diatomaceous earth, and their combinitions.

Treatments	APOP*(day)	TPOP*(day)	Oviposition period (day)	Fecundity (offspring)	Female longevity (day)	Male longevity (day)
Carum copticum	2.95 ± 0.25[bc]	48.47 ± 0.66[ab]	43.16 ± 1.71[a]	99.74 ± 4.24[b]	77.13 ± 4.39[b]	62.56 ± 3.11[b]
Foeniculum vulgare	3.32 ± 0.12[ab]	49.64 ± 0.96[a]	23.05 ± 1.71[c]	65.84 ± 4.17[c]	48.95 ± 3.92[c]	47.58 ± 3.41[c]
Diatomaceous earth	3.64 ± 0.19[a]	45.16 ± 1.50[cd]	26.76 ± 2.94[c]	108.51 ± 7.58[b]	72.11 ± 6.51[b]	51.05 ± 4.52[c]
C. copticum + *F. vulgare*	3.16 ± 0.16[abc]	49.19 ± 0.31[a]	22.87 ± 1.11[c]	57.72 ± 3.31[cd]	37.86 ± 1.88[de]	31.85 ± 2.36[de]
C. copticum + Diatomaceous earth	3.08 ± 0.13[bc]	49.64 ± 0.32[a]	21.31 ± 1.39[c]	49.79 ± 3.10[d]	33.27 ± 1.90[e]	26.18 ± 1.85[e]
F. vulgare + Diatomaceous earth	2.90 ± 0.12[c]	47.80 ± 0.32[abc]	26.29 ± 1.65[c]	59.90 ± 3.33[c]	39.23 ± 2.31[d]	35.98 ± 1.55[d]
Control	3.40 ± 0.14[ab]	44.11 ± 0.75[d]	34.67 ± 2.53[b]	151.63 ± 9.63[a]	94.81 ± 3.40[a]	84.33 ± 5.63[a]

میانگین های با حروف متفاوت در هر ستون، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند (آزمون دوگانه بوت استرپ).

APOP*: طول دوره پیش از تخم گذاری حشرات کامل، TPOP: کل دوره پیش از تخم گذاری.

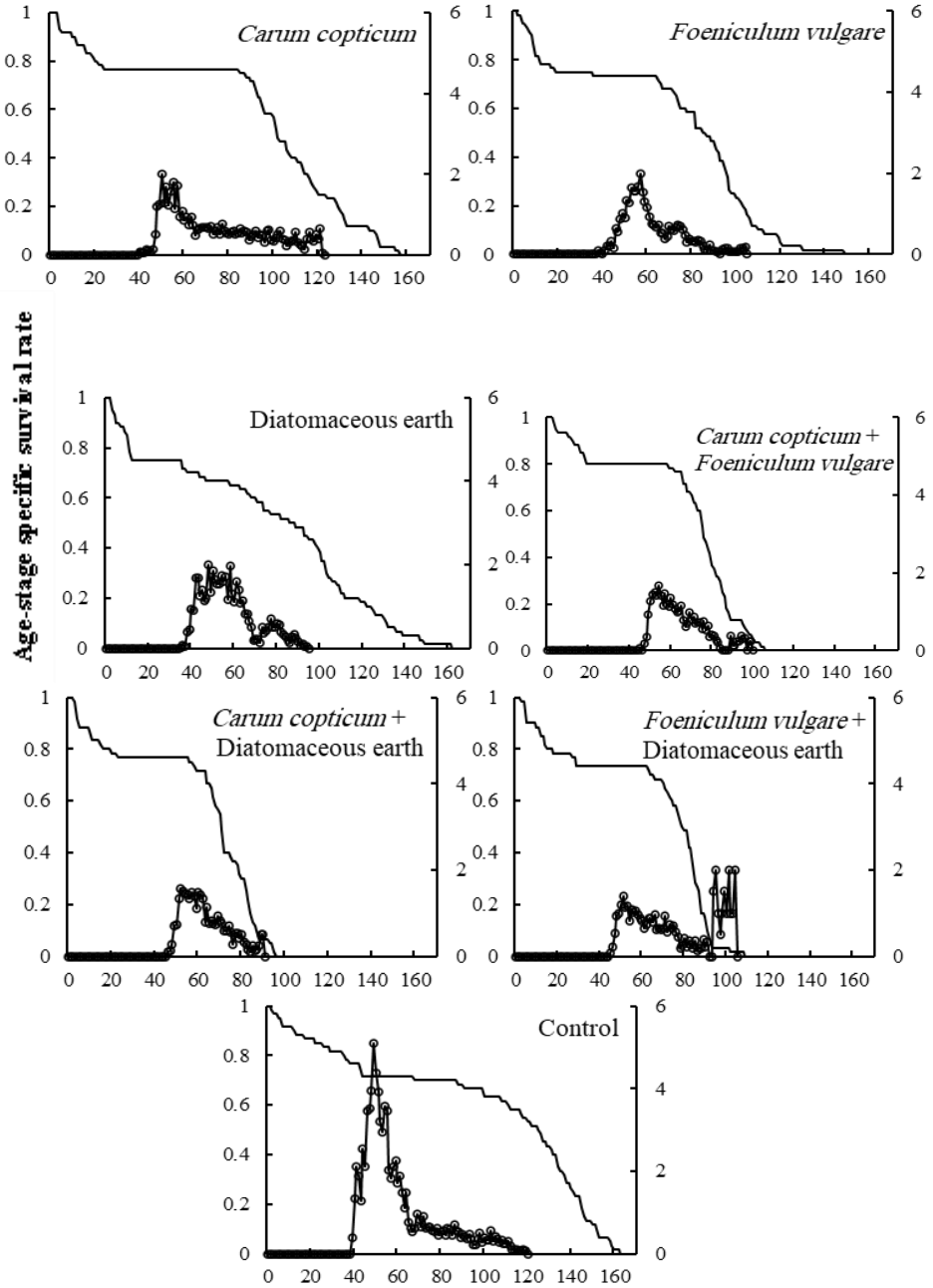
Means followed by different letters in each column are significantly different ($P < 0.05$, paired bootstrap test) .

*APOP: Adult pre-oviposition period, TPOP: Total pre-oviposition period.

بر اساس منحنی‌های بقای ویژه سنی، فاصله زمانی بین مرحله تخم تا مرگ آخرین فرد ماده در تیمارهای اسانس زنیان، اسانس رازیانه، خاک دیاتومه، ترکیب اسانس‌های زنیان و رازیانه، ترکیب اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه، ترکیب اسانس رازیانه همراه با خاک دیاتومه و شاهد به ترتیب ۱۵۷، ۱۴۹، ۱۶۲، ۱۰۶، ۹۶، ۱۰۹ و ۱۶۳ روز بود (شکل ۱). هم‌چنین، بیش‌ترین باروری ویژه سنی (m_x) سوسک کشیش در اسانس زنیان روز ۵۰، در اسانس رازیانه روز ۵۷، در خاک دیاتومه روز ۴۸، در ترکیب اسانس‌های زنیان و رازیانه

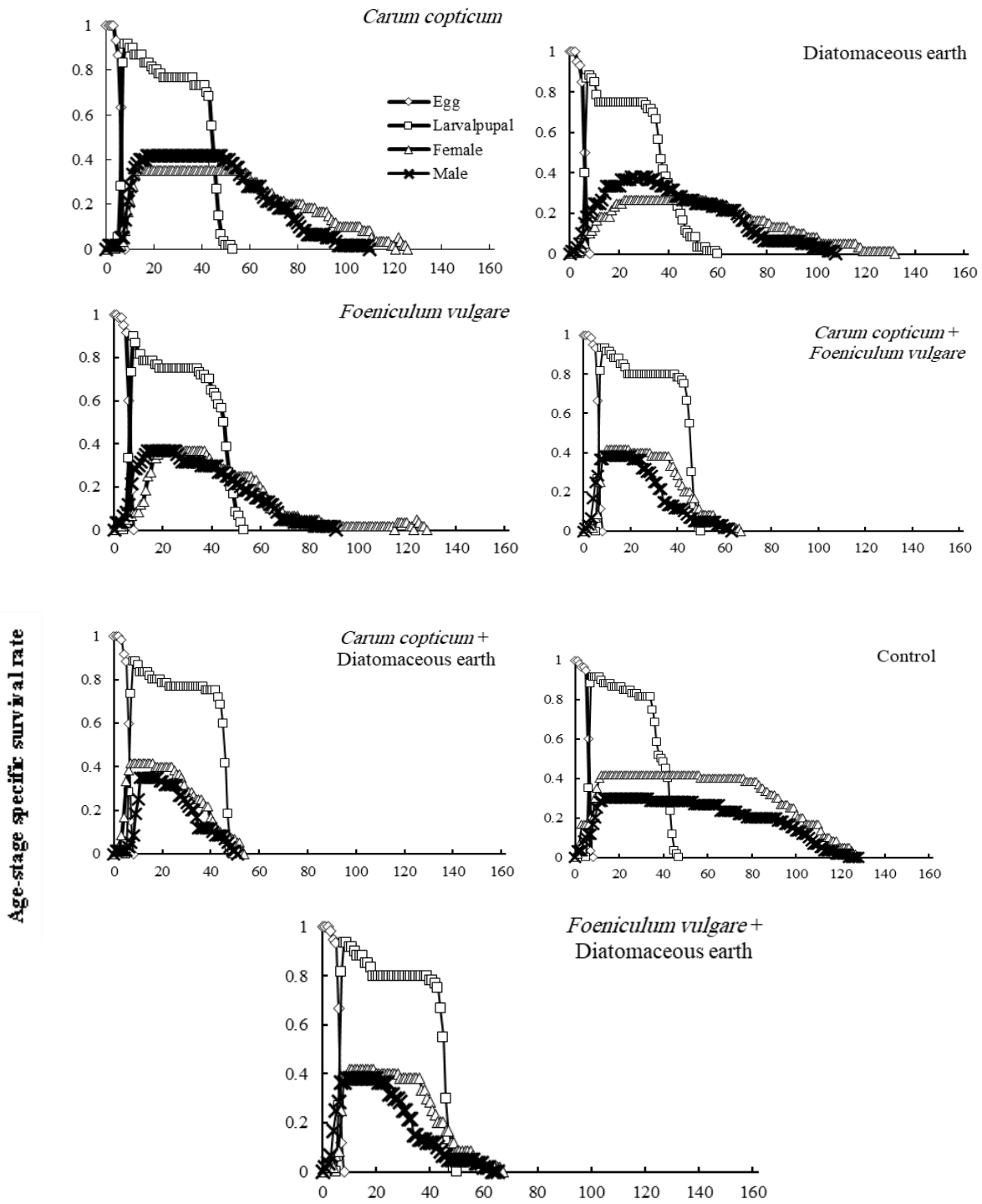
روز ۵۴، در ترکیب اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه روز ۵۳ و ترکیب اسانس رازیانه همراه با خاک دیاتومه روزهای ۹۵، ۱۰۱ و ۱۰۴ و شاهد روز ۵۰ از چرخه زیستی اتفاق افتاد (شکل ۱).

نرخ بقاء ویژه سن- مرحله زیستی (S_{xj}) احتمال رسیدن یک فرد تازه متولد شده به هر سن و مرحله زیستی را نشان می‌دهد. منحنی‌های بقای ویژه سن- مرحله زیستی سوسک کشیش در تیمارهای مختلف در شکل ۲ ارایه شده است. منحنی‌های بقاء نشان می- دهد که میزان بقا با افزایش سن کاهش یافته در نتیجه منحنی بقا به‌صورت یک منحنی نزولی در آمده است.



شکل ۱. نرخ بقاء وابسته به سن (l_x) و باروری وابسته به سن (m_x) نتاج حشرات کامل *Rhyzopertha dominica* در معرض قرار گرفته با غلظت LC_{30} اسانس‌های *Carum copticum*، *Foeniculum vulgare*، خاک دیاتومه و ترکیب آن‌ها.

Figure 1. Age-specific survival rate (l_x) and age-specific fecundity (m_x) of offsprings of *Rhyzopertha dominica* adults exposed to LC30 of essential oils of *Carum copticum*, *Foeniculum vulgare*, diatomaceous earth, and their combinitions.



شکل ۲- نرخ بقای ویژه سن-مرحله زیستی (S_{xj})، *Rhyzopertha dominica* در معرض قرار گرفته با غلظت LC_{30} اسانس‌های *Carum copticum*، *Foeniculum vulgare*، خاک دیاتومه و ترکیب آن‌ها.

Figure 2. Age-stage specific survival rate (Sxj) of *Rhyzopertha dominica* adults exposed to LC30 of essential oils of *Carum copticum*, *Foeniculum vulgare*, diatomaceous earth, and their combinitions

بررسی تاثیر غلظت‌های زیرکشنده (LC_{30}) تیمارهای مورد بررسی بر پارامترهای رشد جمعیت سوسک کشیش حاکی از تاثیر معنی‌دار تیمارهای مورد بررسی بود. به طوری که، کم‌ترین نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) این آفت در تیمارهای

ترکیب اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه و ترکیب اسانس رازیانه همراه با خاک دیاتومه و بیش‌ترین مقادیر آن‌ها در شاهد به دست آمد (جدول ۶). هم‌چنین، میانگین مدت زمان یک نسل (*T*) سوسک کشیش به طور معنی‌داری در تیمار اسانس زنیان بیش‌ترین و در تیمارهای شاهد و خاک دیاتومه کم‌ترین بود (جدول ۶).

جدول ۶. پارامترهای رشد جمعیت (میانگین ± خطای استاندارد) نتاج حشرات کامل *Rhyzopertha dominica* در معرض قرار گرفته با غلظت LC_{30} اسانس‌های *Carum copticum*، *Foeniculum vulgare*، خاک دیاتومه و ترکیب آن‌ها.

Table 6. Population growth parameters (mean ± SE) of offsprings of *Rhyzopertha dominica* adults exposed to LC_{30} of essential oils of *Carum copticum*, *Foeniculum vulgare*, diatomaceous earth, and their combinitions.

Treatments	R_0^* (female/female)	r_m (day $^{-1}$)	λ (day $^{-1}$)	T (day)
Carum copticum	34.91 ± 6.22^{b}	0.0553 ± 0.0032^{bc}	1.0569 ± 0.0034^{bc}	63.93 ± 0.98^{a}
Foeniculum vulgare	24.10 ± 4.34^{bc}	0.0539 ± 0.0034^{bc}	1.0553 ± 0.0035^{bc}	58.80 ± 1.25^{b}
Diatomaceous earth	30.70 ± 6.62^{bc}	0.0635 ± 0.0045^{b}	1.0655 ± 0.0052^{b}	53.64 ± 1.59^{c}
C. copticum + *F. vulgare*	24.04 ± 3.93^{bc}	0.0528 ± 0.0028^{bc}	1.0542 ± 0.0029^{bc}	60.01 ± 0.56^{b}
C. copticum + Diatomaceous earth	20.78 ± 3.44^{c}	0.0506 ± 0.0028^{c}	1.0519 ± 0.0293^{c}	59.64 ± 0.61^{b}
F. vulgare + Diatomaceous earth	19.95 ± 3.83^{c}	0.0493 ± 0.0033^{c}	1.0506 ± 0.0035^{c}	60.31 ± 0.96^{b}
Control	63.24 ± 10.37^{a}	0.0763 ± 0.0035^{a}	1.0793 ± 0.0038^{a}	54.18 ± 0.94^{c}

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارند (آزمون دوگانه بوت‌استرپ).

R_0^*: نرخ خالص تولیدمثل، r_m: نرخ ذاتی افزایش جمعیت، λ: نرخ متناهی افزایش جمعیت، T: میانگین مدت زمان یک نسل.

Means followed by different letters in each column are significantly different ($P < 0.05$, paired bootstrap test).
$^*R_0$: net reproductive rate; r: intrinsic rate of increase; λ: finite rate of increase; T: mean generation time.

بحث

نتایج به دست آمده از مطالعه غلظت کشنده ۵۰ درصد (LC_{50}) اسانس‌های زنیان و رازیانه و خاک دیاتومه نشان داد که هر سه تیمار مورد بررسی روی حشرات کامل سوسک کشیش تاثیر حشره‌کشی مناسبی داشتند. اسانس رازیانه با داشتن مقدار LC_{50} برابر ۱۰۳/۸۳ میکرولیتر بر لیتر هوا سمیت بیش‌تری نسبت به اسانس زنیان با LC_{50} برابر ۱۶۷/۴۶ میکرولیتر بر لیتر هوا داشت. در تحقیق انجام شده توسط Ziaee *et al*. (2014)، مقدار LC_{50} اسانس زنیان نسبت به حشرات کامل شپشه آرد (*Tribolium confusum* Jacquelin du Val) و شپشه گندم (*Sitophilus granaries* L.) به ترتیب ۲۶/۵۶ و ۱۰/۸۵ میکرولیتر بر لیتر هوا محاسبه شد. حیدرزاده و همکاران (Heydarzade *et al*., 2017) نیز گزارش کردند که اسانس رازیانه سمیت بیش‌تری به حشرات نر و ماده (به ترتیب ۲۱/۳۱ و ۲۹/۴۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات (*Callosobruchus maculatus* F.) در مقایسه با اسانس کلپوره (به ترتیب ۵۴/۶۳ و ۸۰/۷۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) و اسانس مرزه (به ترتیب ۷۴/۳۶ و ۱۵۶/۶۶ میکرولیتر بر لیتر هوا) داشت. تفاوت میزان کشندگی اسانس‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر روی حشرات کامل سوسک کشیش با میزان کشندگی اسانس‌های زنیان و رازیانه در دو مطالعه اخیر مربوط به تفاوت دز مصرفی و گونه حشرات مورد بررسی بوده است. البته، مقدار عددی بیش‌تر LC_{50} سوسک کشیش در معرض قرار گرفته با اسانس‌های رازیانه و زنیان در بررسی حاضر نشان می‌دهد که حشرات کامل این آفت در شرایط این مطالعه، تحمل بیش‌تری نسبت به این اسانس‌ها در مقایسه با حشرات دو تحقیق اخیر داشتند. مقدار LC_{50} خاک دیاتومه در

پژوهش‌های Rezaei Torshizi *et al*. (2011) و Moharrami Moghaddam Lahroudi (2021) روی سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات پس از گذشت ۷۲ ساعت از شروع آزمایش به ترتیب ۵۸/۸۵ و ۴۰ میلی-گرم بر کیلوگرم به دست آمد. در بررسی حاضر ، مقدار عددی LC_{50} خاک دیاتومه در همان بازه زمانی برابر با ۰/۰۵۲ گرم بر کیلوگرم (۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمد که تقریباً مشابه با یافته‌های محققین مذکور می‌باشد.

بررسی اجزای شیمیایی اسانس‌های زنیان و رازیانه با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی-طیف‌سنج جرمی نشان داد که عمده‌ترین ترکیبات در اسانس زنیان phenol، benzene و γ-terpinene و در اسانس رازیانه propanal، trans-anethole، γ-terpinene، benzene و cyclohexene بودند. وجود این ترکیبات می‌توانند در بروز خاصیت سمی متفاوت اسانس‌های زنیان و رازیانه علیه سوسک کشیش دخیل باشند. ترکیبات فنولی یکی از ترکیبات شیمیایی ثانویه در گیاهان هستند که نقش مهمی در دفاع گیاهان علیه حشرات دارند. این مواد می‌توانند رشد و تغذیه حشرات را تحت تاثیر قرار دهند و به طور معمول، حشرات نیز به گیاهانی که دارای مقادیر بالایی از این ترکیبات باشند ترجیح کم‌تری نشان می‌دهند (Wójcicka, 2010). ترکیبات بنزنی شناسایی شده در ساختار شیمیایی اسانس‌های زنیان و رازیانه، یک ماده بسیار فرار بوده و به دلیل فراریت بالا از طریق تنفسی بر حشرات تاثیر می‌گذارد. این ماده در حشرات می-تواند اختلالاتی در تولیدمثل، نشو و نما، دگردیسی، تنش اکسیداتیو، سوخت و ساز و انتقال پیام عصبی ایجاد کرده و حتی باعث مرگ حشره گردد (Pajaro-Castro *et al*., 2017). خاصیت حشره‌کشی اکثر اسانس‌های گیاهی مربوط به ترکیبات مونوترپنی آن‌ها می‌باشد که می‌توانند فرایندهای فیزیولوژیکی و رفتاری حشرات را تحت تاثیر قرار دهند (Saeidi and Mirfakhraie, 2017). ترکیبات ترپنی به دست آمده در ساختار شیمیایی اسانس‌های زنیان و رازیانه، در گیاهان دیگری مانند ریحان، آویشن و غیره نیز گزارش شده است (Poulose and Croteau, 1987; Carvalho Filho *et al*., 2006). این ماده طی یک سری فرایندهای بیوسنتزی، ترکیباتی مانند thymol و para-cymene را تولید می‌کند که دارای خاصیت ضدمیکروبی، حشره‌کشی و دورکنندگی برای حشرات می‌باشند (Carvalho Filho *et al*., 2006; Pandey *et al*., 2009; Khan *et al*., 2015). ماده Trans-anethole موجود در اسانس رازیانه نیز یک ترکیب مونوترپنی است که در اسانس گیاهان متعلق به تیره Apiaceae وجود دارد. این ماده علاوه بر این که خاصیت حشره‌کشی، دورکنندگی و ضدتغذیه‌ای دارد، از نظر فیزیولوژیکی نیز می‌تواند حشرات را متاثر کند. کاهش مقادیر آنزیم‌های گوارشی، آنزیم استیل کولین استراز و ذخایر انرژی از جمله این تاثیرات فیزیولوژیکی می‌باشند (Chang *et al*., 2009; Alkan and Erturk 2020; Aghaee Pour *et al*., 2022). در مطالعه انجام شده توسط Ghadimian and Esmaeili (2016) روی اسانس زنیان، عمده‌ترین ترکیبات آن شامل thymol (۲۵/۶۴ درصد)، carvacrol (۱۴/۳۶ درصد)، γ-terpinene (۱۱/۲۴ درصد) و p-cymene (۱۰/۲۴ درصد) بودند. در نتایج تحقیق Heydarzade *et al*. (2012) روی اسانس رازیانه، ترکیبات مونوترپنی مانند trans-anethol (۶۰/۶۱ درصد) و fenchone (۱۲/۱۴ درصد) بیش‌ترین مقدار را داشتند. نوع ترکیبات تشکیل دهنده هر اسانس ممکن است تحت تاثیر عوامل مختلف ژنتیکی یا محیطی مانند مرحله رشدی گیاه، زمان برداشت، روش اسانس‌گیری، زمان اسانس‌گیری، محل کاشت و شرایط برداشت قرار گیرد (Muchjajib and Muchjajib, 2010). حتی مدت زمان نگهداری گیاه در انبار نیز ممکن است نقش موثری در کاهش مقدار برخی از ترکیبات شیمیایی اسانس داشته باشد (Zarshenas *et al*., 2014). بنابراین، تفاوت مشاهده شده در ترکیبات شیمیایی اصلی اسانس زنیان و رازیانه در پژوهش حاضر و تحقیقات مذکور می‌تواند متاثر از عوامل ذکر شده در بالا باشد.

در پژوهش حاضر، بررسی تاثیر غلظت‌های

زیرکشنده (LC_{30}) مجزا و ترکیبی اسانس‌های مورد بررسی و خاک دیاتومه روی سوسک کشیش حاکی از افزایش طول دوره نشو و نمایی سوسک کشیش در همه تیمارهای مورد بررسی نسبت به شاهد بود. درصد بقاء مراحل قبل از بلوغ نیز در همه تیمارهای مورد بررسی به طور معنی‌داری کم‌تر از شاهد به دست آمد. به طور معمول، در معرض قرارگیری حشرات با یک ترکیب ناگوارد موجب افزایش طول مدت مراحل رشدی قبل از بلوغ شده و در نتیجه باعث کاهش بقاء و افزایش تلفات آن‌ها می‌گردد (Naseri *et al*., 2017; Nouri Ganbalani *et al*., 2021). در بررسی حاضر، طول عمر حشرات کامل نر و ماده و نیز باروری آن‌ها به طور معنی‌داری در تیمار اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه کم‌ترین بود. هم‌چنین، نتایج بررسی حاضر حاکی از تاثیر معنی‌دار غلظت‌های زیرکشنده (LC_{30}) تیمارهای مورد بررسی بر پارامترهای رشد جمعیت سوسک کشیش بود. به طوری که، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r_m) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) این آفت در تیمارهای ترکیب اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه و ترکیب اسانس رازیانه همراه با خاک دیاتومه به طور معنی‌داری کم‌تر از سایر تیمارها بود. این امر نشان می‌دهد که کاربرد ترکیبی هر یک از اسانس‌های زنیان و رازیانه همراه با خاک دیاتومه می‌تواند تاثیر منفی بر جمعیت نسل بعد سوسک کشیش ایجاد کند. در تحقیقات مشابه دیگری، ترکیب اسانس سیر با خاک دیاتومه علیه شپشه برنج (*Sitophilus oryzae* L.) و شپشه آرد (*Tribolium castaneum Herbst*) (Yang *et al*., 2010)، کاربرد اسانس زنیان همراه با خاک دیاتومه روی حشرات کامل شپشه آرد (*T. confusum*) و شپشه گندم (*S. granaries*) (Ziaee *et al*., 2014)، ترکیب اسانس‌های پنج انگشت، سیر و پونه با خاک دیاتومه علیه شپشه دندانه‌دار (*Oryzaephilus surinamensis* L.) (Ghafouripoor, 2019)، استفاده از اسانس‌های زنجبیل، میخک و پونه در ترکیب با خاک دیاتومه علیه شپشه آرد (*T. confusum*) (Zahi *et al*., 2021) و ترکیب اسانس‌های بومادران، پونه، دارچین، درمنه و گلپر با خاک دیاتومه (Moharrami Moghaddam Lahroudi, 2021) علیه سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات (*C. maculatus*) در کاهش جمعیت آفات مربوطه نقش موثری داشتند. در معرض قرارگیری حشره با اسانس‌های گیاهی و نیز حساسیت زیاد کوتیکول آن به خاک دیاتومه، علاوه بر ایجاد تنش زیاد در حشرات کامل، موجب افزایش تحرک آن‌ها نیز می‌گردد (Yang *et al*., 2010). تحرک بیش‌تر حشره ضمن آن که موجب افزایش تماس بدن حشره با ذرات خاک دیاتومه می‌شود، بلکه امکان خراش لایه مومی کوتیکول آن با خاک دیاتومه و در نتیجه تبخیر بیش‌تر آب بدن حشره را فراهم کرده و نهایتاً مرگ آن را در پی خواهد داشت (Ziaee *et al*., 2014).

در پژوهش حاضر، علیرغم سمیت بالای اسانس رازیانه، تیمار ترکیب این اسانس با اسانس زنیان، پس از تیمارهای ترکیب هر یک از اسانس‌های زنیان و رازیانه با خاک دیاتومه، در کاهش پارامترهای جمعیتی سوسک کشیش موثر بود، ولی با در نظر گرفتن محدودیت‌های کاربرد اسانس‌ها به نظر می‌رسد ترکیب هر یک از این اسانس‌ها با خاک دیاتومه راه حل مناسب‌تری در کنترل جمعیت سوسک کشیش باشد. به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر حاکی از سودمندی بالقوه کاربرد اسانس‌های زنیان و رازیانه همراه با خاک دیاتومه برای حفاظت دانه‌های انبار شده در برنامه‌های مدیریت آفات است. اگرچه تاثیر حشره‌کشی مجزای برخی اسانس‌ها و خاک دیاتومه قبلاً در پژوهش‌های مختلفی به اثبات رسیده است (Reihani *et al*., 2015; Borzoui *et al*., 2016; Ziaee *et al*., 2016; Naseri *et al*., 2017; Nouri Ganbalani *et al*., 2021)، ولی بررسی حاضر نشان داد که با استفاده ترکیبی اسانس‌های زنیان و رازیانه همراه با خاک دیاتومه این امکان ایجاد می‌شود که کارآیی هر دو ماده افزایش یابد و به معایب استفاده منفرد هر یک از آن‌ها غلبه نمود. به ویژه این که، استفاده ترکیبی اسانس و خاک دیاتومه ضمن کاهش دز مصرفی هر یک از آن‌ها، ممکن است اثرات جانبی خاک دیاتومه روی کارگران و ماشین آلات صنعتی و نیز تاثیر اسانس روی مزه و بوی دانه-

های غلات را کاهش دهد. البته پیشنهاد می‌شود که در مورد امکان کاربرد عملی ترکیب این اسانس‌های گیاهی و خاک دیاتومه در شرایط طبیعی به ویژه در محیط انبار مطالعات تکمیلی بیش‌تری انجام گیرد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است که بدین وسیله از صمیم قلب تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Adams, R. P. (2001) *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy*. Carol Stream: Allured Publishing Co.
2. Aghaee Pour, S., Shahriari, M., Zibaee, A., Mojarab-Mahboubkar, M., Sahebzadeh, N., and Hoda, H. (2022) Toxicity, antifeedant and physiological effects of trans-anethole against *Hyphantria cunea* Drury (Lep: Arctiidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 185, 105135.
3. Alkan, M. and Erturk, S. (2020) Insecticidal efficacy and repellency of trans-anethole against four stored-product insect pests. *Tarım Bilimleri Dergisi–Journal of Agricultural Sciences*, 26, 64-70.
4. Astuti, L. P., Mudjiono, G., Rasminah, C. S. and Rahardjo, B. T. (2013) Susceptibility of milled rice varieties to the lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica*, F.). *Journal of Agricultural Science*, 5, 145-149.
5. Borzoui, E., Naseri, B., Abedi, Z. and Karimi-Pormehr, M. S. (2016) Lethal and sublethal effects of essential oils from *Artemisia khorassanica* and *Vitex pseudo-negundo* against *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Environmental Entomology*, 45, 1220-1226.
6. Bruneton, J. (1999) *Pharmacognosy, phytochemistry, medicinal plants*. Lavoisier Tec & Doc, Paris, France.
7. Campolo, O., Giunti, G., Russo, A., Palmeri, V. and Zappal, L. (2018) Essential oils in stored product insect pest control. *Journal of Food Quality*, 2018, Article ID 6906105.
8. Carvalho Filho, J. L. S., Blank, A. F., Alves, P. B., Ehlert, P. A. D., Melo, A. S., Cavalcanti, S. C. H., Arriogoni-Blank, M. F. and Silva-Mann, R. (2006) Influence of the harvesting time, temperature and drying period on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 16, 24-30.
9. Chang, C. L., Cho, K. and Li, Q. X. (2009) Insecticidal activity of basil oil, trans-anethole, estragole, and linalool to adult fruit flies of *Ceratitis capitata*, *Bactrocera dorsalis*, and *Bactrocera cucurbitae*. *Journal of Economic Entomology*, 102, 203-209.
10. Chi, H. (1988) Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*, 17, 26-34.
11. Chi, H. (2016) TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. (http//140.120.197.173/Ecology/Download/ TWOSEX-MSchart.zip).
12. Ebadollahi, A. and Borzoui, E. (2019) Growth performance and digestive enzymes activity of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) feeding on six rice cultivars. *Journal of Stored Products Research*, 82, 48-53.
13. Edde, P. A. (2012) A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. *Journal of Stored Products Research*, 48, 1-18.
14. Edde, P. A. and Phillips, T. W. (2006) Potential host affinities for the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae): behavioral responses to host odors and pheromones and reproductive ability on non-grain hosts. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 119, 255-263.
15. Fahn, A. (2000) Structure and function of secretory cells. *Advances in Botanical Research*, 31, 37-75.
16. Fields, P., and 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.
17. Fouad, H. A. and da Camara, C. A. (2017) Chemical composition and bioactivity of peel oils from *Citrus aurantiifolia* and *Citrus reticulata* and enantiomers of their major constituent against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 73, 30-36.
18. Ghadimian, S. and Esmaeili, F. (2016) Chemical composition of the essential oils of *Carum copticum*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19, 1834-1836.
19. Ghafouripoor, H. (2019) Insecticidal and repellency effect of five essential oils and their integration with diatomaceous earth in control of saw toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (L.). M.Sc. Thesis in Agricultural Entomology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (In Farsi)

20. Giunti, G., Campolo, O., Laudani, F., Zappalà, L. and Palmeri, V. (2021) Bioactivity of essential oil-based nano-biopesticides toward *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Industrial Crops and Products*, 162, 113257.
21. Habashi, A. S., Safaralizadeh, M. H. and Safavi, S. A. (2011) Fumigant toxicity of *Carum copticum* L. oil against *Tribolium confusum* du Val, *Rhyzopertha dominica* F. and *Oryzaphilus surinamensis* L. *Munis Entomology and Zoology*, 6, 282-289.
22. Heydarzade, A., Moravej, G., Hatefi, S. and Shabahang, J. (2011) Fumigant Toxicity of essential oils extracted from three medicinal plants against *Callosobruchus maculatus* adults (Coleoptera: Bruchidae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 42, 275-284. (In Farsi)
23. Heydarzade, A., Moravvej, G. H., Hatefi, S. and Shabahang, J. (2012) Fumigant toxicity of essential oils from three medicinal plants against *Callosobruchus maculatus* adults (Coleoptera: Bruchidae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 42, 275-284 .(In Farsi)
24. Isman, M. B. (2006) Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, 51, 45-66.
25. Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Pashalidou, F. G., Andris, N. S. and Tomanović, Ž. (2005) Influence of grain type on the insecticidal efficacy of two diatomaceous earth formulations against *Rhyzopertha dominica* (F) (Coleoptera: Bostrychidae). *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 61, 660-666.
26. Khan, A., Ahmad, A., Ahmad Khan, L. Padoa, C. J., van Vuuren, S. and Manzoor, N. (2015) Effect of two monoterpene phenols on antioxidant defense system in *Candida albicans*. *Microbial Pathogenesis*, 80, 50-56.
27. Losic, D. and Korunic, Z. (2018) Diatomaceous earth, a natural insecticide for stored grain protection: recent progress and perspectives. In Losic, D. (Ed.), *Diatom Nano-technology: Progress and Emerging Applications*. RSC Publishing, Cambridge, UK.
28. Moharrami Moghaddam Lahroudi, F. (2021) Studying lethal and repellency effect of some essential oils and diatomaceous earth in control of bean beetle, *Callosobruchus maculatus* F. Ph.D. Dissertation in Agricultural Entomology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (In Farsi)
29. Muchjajib. U. and Muchjajib, S. (2010) Effect of picking time on essential oil yield of Ylang-Ylang (*Cananga odorata*). *Acta Horticulturae*, 925, 243-248.
30. Naseri, B., Abedi, Z., Abdolmaleki, A., Jafary-Jahed, M., Borzoui, E. and Mansouri, S. M. (2017) Fumigant toxicity and sublethal effects of *Artemisia khorassanica* and *Artemisia sieberi* on *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Insect Science*, 100, 1-7.
31. Nattudurai, G., Baskar, K., Paulraj, M. G., Islam, V. I. H., Ignacimuthu, S. and Duraipandiyan, V. (2017) Toxic effect of *Atalantia monophylla* essential oil on *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus oryzae*. *Environmental Science and Pollution Research International*, 24, 1619-1629.
32. Nayak, M. K., Daglish, G. J., Phillips, T. W. and Ebert, P. R. (2020) Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: A global perspective. *Annual Review of Entomology*, 65, 333-350.
33. Nipkay, A. 2006. Diatomaceous earths as alternatives to chemical insecticides in stored grain. *Insect Science*, 13, 421-429.
34. Nouri Ganbalani, G., Abedi, Z., Mottaghinia, L. and Nouri, A. (2021) Fumigant toxicity and sublethal effects of black cumin (*Bunium persicum* Boiss.), cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum* Blume), and peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oils against the Angoumois grain moth, *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Gelechiidae). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 52, 53-67. (In Farsi)
35. Pajaro-Castro, N., Caballero-Gallardo, K. and Olivero-Verbel, J. (2017) Toxicity of naphthalene and benzene on *Tribollium castaneum* Herbst. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, 667.
36. Pandey, S. K., Upadhyay, S. and Tripathi, A. K. (2009) Insecticidal and repellent activities of thymol from the essential oil of *Trachyspermum ammi* (Linn) Sprague seeds against *Anopheles stephensi*. *Parasitology Research*, 105, 507-512.
37. Poulose, A. J. and Croteau, R. (1987) Biosynthesis of aromatic monoterpenes: Conversion of γ-terpinene to p-cymene and thymol in *Thymus vulgaris* L. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 187, 307-314.
38. Reihani, M., Yazdanian, M. and Afshari, A. (2015) 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. (In Farsi)

39. Rezaei Torshizi, H., Farazmand, H., Goldasteh, Sh. and Marouf, A. (2011) Effect of Iranian formulation of diatomaceous earth on bruchid beetle, *Callosobruchus maculatus* F. (Col., Bruchidae), under laboratory conditions. *Journal of Entomological Research*, 3, 213-222. (In Farsi)
40. Saeidi, K. and Mirfakhraie, S. (2017) Chemical composition and insecticidal activity *Mentha piperita* L. essential oil against the cowpea seed beetle *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Entomological and Acarological Research*, 49, 127-134.
41. SAS Institute (2002) The SAS system for Windows. SAS Institute, Cary, NC.
42. Smith, S. E., Barker, S. J. and Zhu, Y.-G. (2006) Fast moves in arbuscular mycorrhizal symbiotic signalling. *Trends in Plant Science*, 11, 369-371.
43. Subramayam, B. and Roesli, R. 2000. Inert dust. In Subramayam, B. and Hagstrum, D.W. (Eds.) *Alternatives to pesticide in stored-products IPM*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, Norwell.
44. Tawfeek, M. E., Abu-Shall, A. M. H., Gad, A. A. and Mohey, M. (2017) Evaluation of six plant essential oils against three stored product insects and their effects on the haemogram under laboratory conditions. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, 62, 291-301.
45. Walters, D. R. (2010) *Plant defense: Warding off attack by pathogens, herbivores and parasitic plants*. Wiley, Hoboken, NJ, USA.
46. Wójcicka, A. (2010) Cereal phenolic compounds as biopesticides of cereal aphids. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19, 1337-1343.
47. Yang, F. L., Liang, G. W., Xu, Y. J., Lu, Y. Y. and Zeng, L. (2010) Diatomaceous earth enhances the toxicity of garlic, *Allium sativum*, essential oil against stored-product pests. *Journal of Stored Products Research*, 46, 118-123.
48. Yang, Y., Isman, M. B. and Tak, J. K. (2020) Insecticidal activity of 28 essential oils and a commercial product containing *Cinnamomum cassia* bark essential oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Insects*, 11, 474.
49. Yazdanian, M. and Reihani, M. (2021) Chemical composition of myrtle essential oil and its insecticidal activity in combination with diatomaceous earth against adults of the granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.). *Journal of Plant Protection*, 35, 203-216.
50. Zahi, M. E. H., Mouhouche, F. and Hazzit, M. (2021) Insecticidal activity of three essential oils combined to mineral substances against *Tribolium confusum* Duval 1869 (Coleoptera, Tenebrionidae). *Revue Agrobiologia*, 11, 2336-2345.
51. Zarshenas, M. M., Samani, S. M., Petramfar, P. and Moein, M. (2014) Analysis of the essential oil components from different *Carum copticum* L. samples from Iran. *Pharmacognosy Research*, 6, 62-66.
52. Ziaee, M., Atapour, M. and Marouf, A. (2016) The insecticidal efficacy of Iranian diatomaceous earth deposits against adults of *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Chrysomelidae) *Plant Protection*, 39, 51-60. (In Farsi)
1. 50. Ziaee, M., Ebadollahi, A., and Wakil, W. (2019) Integrating inert dusts with other technologies in stored products protection. *Toxin Reviews*, DOI: 10.1080/15569543.2019.1633673
2. 51. Ziaee, M., Moharramipour, S. and Francikowski, J. (2014) The synergistic effects of *Carum copticum* essential oil on diatomaceous earth against *Sitophilus granarius* and *Tribolium confusum*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17, 817-822.