Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)

48(3), Autumn, 2025

10.22055/ppr.2025.50393.1830

Effect of some plant essential oils on the mortality and life table parameters of the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) under laboratory conditions

H. S. Azizi Kashi[1], B. Naseri[2*], H. Rafiee-Dastjerdi[2], J. Razmjou[2] and A. Ebadollahi[3]

1. MSc Student. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. ***Corresponding Author:** Professor. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (bnaseri@uma.ac.ir).
3. Professor. Department of Plant Sciences, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received: 13 August 2025 Revised: 29 September 2025 Accepted: 14 October 2025

Abstract

Background and Objective

Legumes are critical crops globally due to their high nutritional value, provision of essential vitamins and minerals, low environmental footprint, and ability to fix nitrogen in the soil. However, the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae), poses significant threats to legume crops, causing substantial losses in both field and storage conditions. The larval feeding reduces seed weight, nutritional quality, and commercial value, with severe infestations leading to losses of up to 50–60% of stored products. Traditional pest control methods, primarily relying on synthetic chemical insecticides, are effective but associated with adverse effects, including pest resistance, environmental contamination, and harm to non-target organisms. Consequently, there has been growing interest in eco-friendly alternatives, such as plant-derived essential oils, for pest management. Essential oils from *Trachyspermum ammi* L. (ajwain) and *Satureja hortensis* L. (satureja), rich in bioactive compounds, have shown considerable potential in controlling stored-product pests. This study aimed to investigate the effects of *T. ammi* and *S. hortensis* essential oils on the life history and life table parameters of *C. maculatus* reared on cowpea, evaluating their efficacy as natural control agents.

Materials and Methods

The experiment was conducted at 27 ± 2°C, 65 ± 5% relative humidity, and complete darkness. *Callosobruchus maculatus* adults were obtained from a laboratory colony reared on cowpea. The chemical composition of *T. ammi* and *S. hortensis* essential oils was analyzed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) to identify their major constituents. For bioassays, 7 g of cowpea seeds were treated with seven concentrations of essential oils (*T. ammi*: 0.57–2.14 µL/g; *S. hortensis*: 1.43–3.57 µL/g, determined based on logarithmic intervals). Each concentration was prepared in four replicates, with the essential oil dissolved in 2 mL of acetone as the solvent. Cowpea seeds were immersed in the solution for 60 s and air-dried for 120 s. Control seeds were treated with acetone alone. Mortality rates were recorded at 24, 48, and 72 h post-treatment. The synergistic effects of combining *T. ammi* and *S. hortensis* essential oils were also evaluated. Lethal concentrations causing 50% mortality (LC_{50}) and sublethal concentrations causing 30% mortality (LC_{30}) were calculated after 24 h. Life history

parameters were assessed using LC_{30} and LC_{50} concentrations. Life table parameters, including the intrinsic rate of population increase (r), net reproductive rate (R_0), and finite rate of population increase (λ), were analyzed using the TWOSEX-MSChart software. Population growth parameters were estimated using the bootstrap method with 100,000 replicates, and the paired bootstrap test was applied to detect statistical differences between means ($P < 0.05$).

Results

GC-MS analysis revealed that the dominant compounds in *S. hortensis* essential oil were carvacrol and γ-terpinene, while those in *T. ammi* were thymol and cymene. Bioassay results demonstrated that both essential oils significantly increased *C. maculatus* mortality compared to the control group. The LC_{50} values after 24 h were 2.19 µL/g for *S. hortensis* and 1.47 µL/g for *T. ammi*, while the LC_{30} values were 1.82 µL/g and 1.10 µL/g, respectively. At LC_{30} and LC_{50} concentrations, both essential oils significantly reduced the intrinsic rate of population increase (r), net reproductive rate (R_0), and finite rate of population increase (λ) ($P < 0.05$). The combination of *T. ammi* and *S. hortensis* essential oils exhibited a synergistic effect, enhancing mortality rates compared to individual applications.

Discussion

The essential oils of *T. ammi* and *S. hortensis* demonstrated significant potential as biocontrol agents against *C. maculatus* by increasing mortality and suppressing key life history parameters, such as reproduction and population growth. Bioactive compounds, particularly thymol and carvacrol, likely disrupted the insect's nervous and respiratory systems, contributing to these effects. The synergistic interaction between the two essential oils suggests that combined applications could enhance control efficacy. Sublethal concentrations (LC_{30}) were found to be more suitable for practical applications, balancing efficacy with minimal environmental impact. A review of previous studies corroborates the efficacy of essential oils like *S. hortensis* and *T. ammi* in managing stored-product pests. However, practical implementation requires further research into stable formulations, such as nanoencapsulation, and large-scale evaluations under field and storage conditions. These essential oils provide a safe and effective alternative to synthetic insecticides, aligning with the goals of sustainable development and environmental protection.

Keywords: Biopesticide, Synergistic effect, Sublethal effects, Toxicity, Intrinsic rate of population increase

Associate editor: M. Ziaee (Prof.)

Citation: Azizi Kashi, H. S., Naseri, B., Rafiee-Dastjerdi, H., Razmjou, J. & Ebadollahi, A (2025). Effect of some plant essential oils on the mortality and life table parameters of the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) under laboratory conditions. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 48*(3), 123-140. https://doi.org/ 10.22055/ppr.2025.50393.1830.

گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ٤٨، شماره ٣، پاییز ١٤٠٤

10.22055/ppr.2025.50393.1830

تاثیر برخی اسانس‌های گیاهی روی تلفات و فراسنجه‌های جدول زندگی سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات، *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae)، در شرایط آزمایشگاهی

حانیه سادات عزیزی کاشی[1]، بهرام ناصری[2*]، هوشنگ رفیعی دستجردی[2]، جبرائیل رزمجو[2] و عسگر عباداللهی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲- *نویسنده مسوول: استاد، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (bnaseri@uma.ac.ir).
۳- استاد، گروه علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲

چکیده

سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات *Callosobruchus maculatus* (F.)، آفت کلیدی حبوبات است که خسارت گسترده‌ای در مزرعه و انبار وارد می‌کند. استفاده از اسانس‌های گیاهی به عنوان یکی از روش‌های ایمن و کارآمد برای کنترل این آفت توصیه شده است. در پژوهش حاضر، تاثیر اسانس گیاه مرزه *Satureja hortensis* (L.) و زنیان *Trachyspermum ammi* (L.) بر تلفات و فراسنجه‌های جدول زندگی سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات بررسی شد. حشرات کامل روی بذور لوبیاچشم بلبلی تیمار شده با غلظت‌های بین ۱/۴۳ تا ۳/۵۷ میکرولیتر بر گرم از اسانس مرزه و غلظت‌های ۰/۵۷ تا ۲/۱۴ میکرولیتر بر گرم از اسانس زنیان قرار گرفت و تلفات آنها بعد از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت ثبت شد. مقدار غلظت کشنده ۵۰ درصد (LC_{50}) اسانس‌های مرزه و زنیان به‌ترتیب ۲/۱۹ و ۱/۴۷ میکرولیتر بر گرم بعد از ۲۴ ساعت برآورد شد. مقادیر غلظت‌های زیرکشنده ۳۰ درصد (LC_{30}) اسانس‌های مرزه و زنیان بعد از ۲۴ ساعت به‌ترتیب ۱/۸۲ و ۱/۱۰ میکرولیتر بر گرم برآورد شد. از مقادیر LC_{30} و LC_{50} برای بررسی تاثیر اختلاط دو اسانس و همچنین برآورد فراسنجه‌های جدول زندگی از طریق تیمار حشرات کامل آفت استفاده شد. نتایج نشان داد که اختلاط اسانس‌ها تاثیر تشدیدکنندگی بر تلفات آفت دارد، همچنین کاهش معنی‌دار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ خالص تولید مثل (R_0) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) تحت تاثیر اسانس‌ها مشاهده شد. کارواکرول و گاما-ترپینن در اسانس مرزه و تیمول و سایمن در اسانس زنیان به‌عنوان ترکیبات غالب شناسایی شدند. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، می‌توان استفاده از اسانس‌های مرزه و زنیان را به‌عنوان یک راهکار ایمن در مدیریت سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات جهت انجام تحقیقات تکمیلی پیشنهاد داد.

کلیدواژه‌ها: آفت‌کش زیستی، اثر تشدیدکنندگی، اثرات زیرکشندگی، سمیت، نرخ ذاتی افزایش جمعیت

دبیر تخصصی: دکتر معصومه ضیائی

مقدمه

حبوبات با سطح زیر کشت ۶۲۸ هزار هکتار و تولید سالانه ۵۶۴۰۰۰ تن منبع غنی پروتئین، ویتامین و کربوهیدرات هستند (Yanni et al., 2024). لوبیا چشم بلبلی به واسطه فواید تغذیه‌ای، بخصوص محتوای پروتئینی بالا، در سبد غذایی مردم جایگاه ویژه‌ای دارد (Rizvi et al., 2022). سخت‌بالپوشان زیرخانواده Bruchinae از خانواده Chrysomelidae جزو مهمترین آفات محصولات انباری به ویژه در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر محسوب می‌شوند. سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (Coleoptera: *Callosobruchus maculatus* (F.) Chrysomelidae) از آفات کلیدی دانه‌های حبوبات است که خسارت آن از مزرعه آغاز شده و می‌تواند در انبار هم ادامه داشته باشد. تغذیه لارو این حشره از دانه‌های حبوبات باعث کاهش وزن، قدرت جوانه‌زنی، کیفیت و بازارپسندی آنها می‌شود (Augustine & Balikai, 2019; Hajam & Kumar, 2022).

استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی از رایج‌ترین روش‌های کنترل حشرات آفات اعم از آفات انباری است که علاوه بر ایجاد مقاومت گسترده در بین آفات، دارای اثرات جانبی متعدد دیگری از قبیل تخریب محیط زیست و تهدید سلامتی انسان و موجودات غیرهدف می‌باشد (Pumnuan et al., 2021; Garud et al., 2024; Zhou et al., 2025). با توجه به اهمیت غذایی و اقتصادی محصولات انباری، ضرورت کنترل آفات انباری و خطرات زیان‌بار استفاده از آفت‌کش های شیمیایی، یافتن روش‌های کنترل جدید و زیست‌سازگار از مهمترین وظایف پژوهشگران این حوزه است (Šunjka & Mechora, 2022).

گیاهان معطر در اندام‌های مختلف خود، ترکیباتی روغنی با غلظت های متفاوت به نام اسانس جای داده‌اند که مسئول عطر و طعم متفاوت این گیاهان می‌باشند. اسانس‌ها حاوی ترکیبات شیمیایی مختلفی هستند که ممکن است در بروز مقاومت گیاهان به حشرات گیاه‌خوار و کنترل آفات گیاهی موثر باشند (Aisha et al, 2024). اسانس‌های گیاهی دارای خاصیت نفوذی، گوارشی، تماسی و تدخینی مناسب بوده و ممکن است فعالیت‌های آفت‌کشی متعددی مانند اثرات کشندگی، بازدارندگی تغذیه‌ای و تخم‌گذاری و تاثیر در فراسنجه‌های زیستی و جمعیتی طیف وسیعی از حشرات آفت داشته باشند. به همین سبب در راستای جلوگیری از اثرات جانبی ترکیبات شیمیایی بر موجودات غیرهدف، استفاده از اسانس‌های گیاهی به دلیل داشتن اثرات منفی زیست محیطی کمتر در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات توصیه شده است (Nouri-Ganbalani et al., 2015; Ebadollahi et al., 2020; Isman, 2020; Hashemi et al., 2023; Zhang et al., 2024). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که کاربرد توام اسانس‌های گیاهی با هم و یا همراه سایر سموم، کارایی کنترلی آنها را افزایش می‌دهد. برای مثال احمد و همکاران (Ahmed et al., 2021) اسانس های اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus* Labill.)، درخت چای (*Melaleuca alternifolia* Cheel.)، رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) و فلفل سیاه (*Piper nigrum* L.) را به صورت توام علیه شته سبز هلو (*Myzus persicae* (Sulzer)) به کار بردند. نتایج این پژوهشگران نشان دهنده افزایش کارایی حشره‌کشی اسانس‌ها بود. اختلاط و ترکیب اسانس ها با یکدیگر علاوه بر کاهش حجم مصرفی، موجب بروز اثرات تشدید کشندگی[1] آنها نیز می‌شود. البته ممکن است اختلاط اسانس‌ها باعث ایجاد اثرات هم‌افزایی[2] و تضعیف‌کنندگی[3] آن‌ها شود و این مسئله اهمیت مطالعه کاربرد توام اسانس‌ها را نشان می‌دهد (Ahmad, 2009). برای مثال، میرزایی و همکاران (Mirzaei et al., 2025) نشان دادند که کاربرد همزمان غلظت‌های کشنده ۳۰ درصد (LC_{30}) اسانس‌های زیره (*Carum carvi* L.) و زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) (به‌ترتیب برابر با

[1] Synergism
[2] Additive
[3] Antagonistic

۰/۵۰ و ۰/۸۶ میکرولیتر بر گرم) موجب بروز اثر تشدید-کنندگی در تلفات حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج (*Oryzaephilus surinamensis* L.) شد. همچنین استفاده توام از LC_{30} اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller.) (۰/۹۱ میکرولیتر بر گرم) همراه با اسانس‌های زیره و زنیان اثر تجمعی در تلفات آفت داشت.

زنیان یکی از گیاهان معطر علفی متعلق به تیره چتریان[1] است که دوره رشدی یکساله دارد. اسانس این گیاه دارای ترکیبات شیمیایی متعدد و پیچیده است و در مطالعات اخیر تاثیر آن در کنترل حشرات نشان داده شده است (Harmouzi et al., 2024; Mirzaei et al., 2025). مرزه (*Satureja hortensis* L.) از گونه‌های شناخته شده تیره نعنائیان[2] است که کاربردهای گسترده‌ای در صنایع غذایی و دارویی دارد (Tepe & Cilkiz, 2016; Ejaz et al., 2023). همچنین اثرات حشره‌کشی اسانس مرزه در تحقیقات اخیر گزارش شده است (Tozlu et al., 2011; Ebadollahi, 2020; Ebadollahi et al., 2021; Baghouz et al., 2024). پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات حشره‌کشی اسانس‌های زنیان و مرزه روی سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات انجام گرفته است. علاوه بر اثرات کشندگی و تاثیر بر فراسنجه‌های زیستی و جمعیتی، امکان کاربرد توام این اسانس‌ها در مدیریت آفت هم بررسی گردید. همچنین اجزای شیمیایی اسانس‌های مورد مطالعه بررسی و ارتباط ترکیبات غالب شناسایی شده با فعالیت‌های حشره‌کشی آنها بحث شد.

مواد و روش‌ها

پرورش حشره

جمعیت اولیه سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات از کلنی موجود در گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شد. پرورش حشره آفت در ظروف پلاستیکی گرد به قطر ۲۰ سانتی متر که دهانه آن با پارچه توری (۵۰ مش) به منظور تهویه مناسب پوشانده شده و حاوی ۲۰۰ گرم از لوبیا چشم بلبلی رقم محلی مشکین شهر بود، انجام گرفت. پرورش حشره در اتاقک رشد با شرایط دمایی ۲۷±۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۵±۵ و شرایط تاریکی کامل صورت گرفت. به منظور از بین رفتن اثرات تغذیه‌ای میزبان قبلی حشره، آزمایشات پس از گذشتن دو نسل روی حشرات بالغ یکروزه انجام شد (Ashamo et al., 2021).

اسانس‌های گیاهی

اسانس‌های مرزه و زنیان از شرکت دانش بنیان باریج اسانس (کاشان، اصفهان، ایران) تهیه شدند. تجزیه شیمیایی اسانس-های مورد مطالعه با دستگاه کروماتوگرافی گازی (Agilent B7890) متصل به دستگاه طیف سنج جرمی (Agilent A5977) دارای ستون‌هایی به طول ۳۰ متر، قطر ۰/۲۵ میلی متر و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. به این صورت که یک میکرولیتر از هر اسانس پس از رقیق شدن با متانول، به نسبت یک به ۱۰ در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس به دستگاه تزریق شد. همچنین گاز هلیوم با نرخ ۰/۱ میلی لیتر در دقیقه به عنوان گاز حامل استفاده شد. شناسایی ترکیبات با مقایسه زمان های بازدارندگی و مقایسه الگوی طیف های ترسیم شده توسط طیف سنج با منابع کتابخانه‌ای موجود در دستگاه شامل Wiley 7n.1 (Wiley, New York, USA) و NIST (St&ard Reference Data, Gaithersburg, USA) انجام شد.

سمیت اسانس‌های گیاهی

سمیت اسانس‌های مرزه و زنیان با تیمار دانه های لوبیا چشم بلبلی (رقم محلی) بررسی شد. مقادیر بالا و پایین غلظت‌های مورد مطالعه بر اساس تلفات ۱۰ تا ۹۰ درصد روی میزبان لوبیا چشم بلبلی به منظور بررسی اثر تغذیه میزبان انتخاب شده و سایر غلظت‌ها با استفاده از فاصله لگاریتمی محاسبه شدند. غلظت های مد نظر (از ۱/۴۳ تا ۳/۵۷ برای اسانس مرزه و از ۰/۵۷ تا ۲/۱۴ برای اسانس زنیان) با حل کردن مقدار مورد نیاز از اسانس در استون (به‌عنوان حلال) برای تیمار ۷ گرم از دانه لوبیا چشم بلبلی استفاده شد. دانه

[1] Asteraceae
[2] Lamiaceae

های تیمار شده در ظروف پتری شیشه‌ای (به قطر نه سانتی‌متر) قرار گرفته و بصورت دستی به مدت دو دقیقه مخلوط شدند. دانه‌های تیمار شده به ظروف پلاستیکی (طول ۶۵، عرض ۵۵ و ارتفاع ۳۵ میلی متر) که درب آنها با پارچه توری (۵۰ مش) به منظور تهویه مناسب پوشانده شده و حاوی ۱۵ عدد حشره کامل نر و ماده آفت بود، منتقل شدند. آزمایش برای هر کدام از غلظت ها در چهار تکرار انجام شد. در گروه‌های شاهد فقط از استون (دو میلی‌لیتر) استفاده شد. حشرات تیمار شده در اتاقک رشد با شرایط دمایی ۲±۲۷ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ و شرایط تاریکی کامل نگه‌داری شده و تلفات آنها پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت ثبت گردید (Naseri et al., 2025).

به منظور بررسی اثرات توام اسانس‌ها، از مقادیر LC_{30} و LC_{50} ۲۴ ساعته که در آزمایش‌های سمیت محاسبه شده-بودند استفاده شد. حشرات با هر کدام از غلظت‌های کشنده به صورت جداگانه و توام در چهار تکرار تیمار شده و تلفات پس از ۲۴ ساعت ثبت شد. نوع برهم‌کنش اسانس‌ها با استفاده از روابط زیر برآورد شد (Hummelbrunner & Isman., 2001).

$$E = O_a + O_b(1 - O_a)$$

$$\chi^2 = (O_m - E)^2/E$$

در این روابط O_a و O_b به‌ترتیب درصد تلفات مشاهده شده تحت تاثیر اسانس‌های اول و دوم، E تلفات مورد انتظار، O_m تلفات مشاهده شده تحت تاثیر کاربرد توام دو اسانس و (χ^2) مقدار خی دو محاسبه شده است که با مقدار مذکور در درجه آزادی یک و سطح احتمال ۰/۰۵ (۳/۸۴) مقایسه می-شود. اگر مقدار (χ^2) بزرگتر از ۳/۸۴ باشد، برهم‌کنش از نوع تشدیدکنندگی و اگر کوچکتر از عدد مذکور باشد، برهم-کنش از نوع هم‌افزایی می‌باشد. همچنین اگر مقدار تلفات مورد انتظار از تلفات مشاهده شده بیشتر بود، برهم‌کنش از نوع تضعیف‌کنندگی خواهد بود.

بررسی زیست‌شناسی و فراسنجه های جدول زندگی حشره روی میزبان تیمار شده با اسانس‌ها

دانه‌های لوبیا چشم بلبلی با مقادیر LC_{30} و LC_{50} ۲۴ ساعته اسانس‌ها در ۲۰ تکرار تیمار شدند. در هر تکرار یک جفت حشره نر و ماده به ظروف پتری با قطر شش سانتی‌متر و حاوی ۱۰ عدد دانه لوبیا چشم بلبلی منتقل شدند. در تیمار شاهد دانه‌ها تنها به حلال استون آغشته شدند. دهانه ظروف سوراخ شده و برای تامین تهویه و ایجاد جریان هوا با پارچه توری پوشانده شد. پس از تخم‌گذاری حشرات یک‌روزه، مراحل مختلف زیستی آفت (از تخم تا زمان مرگ حشرات کامل ظاهر شده نسل بعد) بررسی شده و از داده‌های به‌دست آمده برای محاسبه فراسنجه‌های زیستی و جمعیتی استفاده شد (Obembe et al, 2020).

تجزیه داده‌ها

نرمال بودن داده‌های حاصل از زیست‌سنجی‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. سپس داده‌ها تجزیه واریانس شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی انجام گرفت. تجزیه پروبیت داده‌ها جهت محاسبه غلظت‌های کشنده و اطلاعات مربوط به خطوط رگرسیونی با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. داده‌های به‌دست آمده از مراحل زیستی حشره روی غلظت‌های متفاوت اسانس‌ها با جدول زندگی دوجنسی (Chi & Liu, 1985) با استفاده از نرم افزار TWOSEX-MSChart تجزیه شدند (Chi, 2020). جهت تکراردار کردن داده‌های پارامترهای رشد جمعیت، از روش بوت‌استرپ با ۱۰۰۰۰۰ تکرار و برای ارزیابی تفاوت آماری بین میانگین‌ها از آزمون بوت استرپ جفت شده استفاده شد.

نتایج

تجزیه شیمیایی اسانس‌ها

نتایج تجزیه شیمیایی اسانس مرزه نشان داد که از مجموع ۹۱/۱۴ درصد از ترکیبات شناسایی شده، کارواکرول (۳۲/۰۹ درصد)، گاما-ترپینن (۲۲/۸۲ درصد)، سایمن (۱۴/۵۲ درصد)، آلفا-پینن (۴/۲۸ درصد)، پارا-سایمن (۳/۵۴ درصد)، آلفا-ترپینن (۳/۰۴ درصد) و بتا-میرسن (۲/۴۴ درصد) بیشترین مقدار را در این اسانس داشتند (جدول ۱). همچنین تیمول (۳۸/۴۱ درصد)، سایمن (۲۹/۲۴ درصد)،

گاما-ترپینن (۱۴/۹۷ درصد) و آلفا-پینن (۳/۶۰ درصد) به عنوان ترکیبات غالب اسانس زنیان شناسایی شدند (جدول ۱).

سمیت اسانس‌ها

با توجه به داده‌های جدول ۲، با توجه به پایین بودن مقادیر LC_{50}، عدم هم‌پوشانی حدود اطمینان مربوطه و بیشتر بودن مقادیر سمیت نسبی، حساسیت حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات به اسانس زنیان بیشتر از اسانس مرزه در زمان‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت بود. اثرات کاربرد توام غلظت‌های LC_{30} و LC_{50} اسانس‌های مرزه و زنیان روی حشرات بالغ سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات در جدول ۳ نشان داده شده است؛ کاربرد توام اسانس‌ها در تمام تیمارها موجب ایجاد اثر تشدیدکنندگی در تلفات آفت شد.

جدول ۱- اجزای شیمیایی اسانس‌های *Satureja hortensis* و *Trachyspermum ammi*

Table 1. Chemical composition of *Satureja hortensis* and *Trachyspermum ammi* essential oils

Compounds	*S. hortensis*		*T. ammi*	
	RT	Area percentage	RT	Area percentage
α-Thujene	6.71	0.34	-	-
α-Pinene	6.94	4.28	6.89	3.60
Camphene	7.74	0.10	7.95	0.16
β-Pinene	8.60	1.09	8.68	0.39
β-Myrcene	9.00	2.44	8.89	0.76
Sabinene	9.31	0.67	9.29	0.10
l-Phell&rene	9.37	0.91	-	-
α-Terpinene	9.79	3.04	-	-
p-Cymene	10.01	3.54	-	-
Cymene	10.14	14.52	10.11	29.24
β-Phell&rene	10.53	0.39	-	-
1,8-Cineole	-	-	10.71	0.20
γ-Terpinene	11.26	22.82	11.33	14.97
β-Terpineol	11.61	0.1		-
α-Terpinolene	11.94	0.36	11.78	0.31
Linalool	12.35	0.16		-
p-Cymenyl	-	-	12.05	0.21
1-Terpineol	-	-	14.41	0.10
4-Terpineol	14.47	0.39	14.17	0.63
Estragole	14.69	0.34		-
Carvone	-	-	16.01	0.11
Thymol	-	-	16.82	38.41
Carvacrol	17.36	32.09	18.06	0.94
Caryophyllene	20.11	1.13	-	-
Aromadendrene	20.71	0.22	-	-
Ledene	21.85	0.23	-	-
β-Bisabolene	22.08	1.01	-	-
α-Bisabolene	22.71	0.12	-	-
Spathulenol	23.55	0.57	-	-
Caryophyllene oxide	23.67	0.28	-	-
Dillapiole	-	-	24.33	0.10
Carvacryl acetate	-	-	31.50	0.30
Sum		91.14		90.53

جدول ۲- تجزیه پروبیت تلفات حشرات کامل *Callosobruchus maculatus* تحت تاثیر اسانس‌های *Satureja hortensis* و *Trachyspermum ammi* پس از ۲٤، ٤۸ و ۷۲ ساعت

Table 2. Probit analyses of the mortality of *Callosobruchus maculatus* adults exposed to *Satureja hortensis* and *Trachyspermum ammi* essential oils after 24, 48, and 72 h

Essential oil	Time (h)	Lethal concentrations with 95% confidence limits (µl/g)			x^2 (*df* = 5)	Slope ± SE	Sig.	RP
		LC_{30}	LC_{50}	LC_{90}				
S. hortensis	24	1.92 (1.80 - 2.02)	2.30 (2.19 - 2.41)	3.58 (3.30 - 3.99)	1.36	6.68 ± 0.59	0.93	1
	48	1.83 (1.71 - 1.93)	2.19 (2.08 - 2.29)	3.39 (3.14 - 3.75)	4.21	6.75 ± 0.60	0.52	1.05
	72	1.81 (1.69 - 1.91)	2.17 (2.07 - 2.28)	3.41 (3.15 - 3.80)	4.65	6.54 ± 0.59	0.46	1.06
T. ammi	24	1.10 (1.01 - 1.18)	1.47 (1.35 - 1.61)	2.98 (2.54 - 3.75)	4.92	4.15 ± 0.41	0.43	1.57
	48	1.01 (0.93 - 1.09)	1.35 (1.25 - 1.47)	2.72 (2.34 - 3.35)	4.38	4.20 ± 0.40	0.50	1.71
	72	0.97 (0.89 - 1.04)	1.26 (1.18 - 1.36)	2.41 (2.12 - 2.87)	5.52	4.56 ± 0.41	0.36	1.82

Sig. and RP are significant and Relative Potency, respectively. Relative Potency = (the most LC_{50} value) / (LC_{50} value of the other essential oil) (Valizadeh et al., 2021).

جدول ۳- اثر کاربرد توام اسانس‌های *Satureja hortensis* و *Trachyspermum ammi* در تلفات حشرات کامل *Callosobruchus maculatus* پس از ۲٤ ساعت

Table 3. Combined effects of *Satureja hortensis* and *Trachyspermum ammi* essential oils on the mortality of *Callosobruchus maculatus* adults after 24 h

Treatment	Mortality (%)				x^2	Effect
	O_a	O_b	E	O_m		
LC_{30} of *S. hortensis* (a) + LC_{30} of *T. ammi* (b)	33.3	28.3	52.2	76.6	11.4	Synergy
LC_{50} of *S. hortensis* (a) + LC_{50} of *T. ammi* (b)	51.6	48.3	75.0	100	8.4	Synergy
LC_{50} of *S. hortensis* (a) + LC_{30} of *T. ammi* (b)	51.6	28.3	65.3	96.6	15.0	Synergy
LC_{30} of *S. hortensis* (a) + LC_{50} of *T. ammi* (b)	33.3	48.3	65.5	98.3	16.4	Synergy

O_a: Mortality by *S. hortensis*; O_b: Mortality by *T. ammi*; E: Mortality Expected; O_m: Mortality Observed

اثرات زیر کشندگی اسانس‌ها روی فراسنجه‌های زیستی و جمعیتی سوسک چهار نقطه‌ای

با توجه به داده‌های جدول ۴، در مقایسه با تیمار شاهد استفاده از اسانس‌های زنیان و مرزه در غلظت های LC_{50} تاثیر معنی‌داری در افزایش کل دوره پیش از تخم‌گذاری (TPOP) داشت ($P < 0.05$). تیمار با غلظت LC_{30} اسانس مرزه، در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری در این پارامتر ایجاد کرد. تیمار هردو اسانس، تاثیر معنی‌داری روی دوره تخم‌گذاری آفت ایجاد کرد اما بین LC_{30} و LC_{50} دو اسانس تفاوت معنی داری مشاهده نشد ($P < 0.05$). طول عمر نرها و ماده‌های بالغ، همچنین میزان زادآوری تحت تاثیر LC_{30} و LC_{50} اسانس مرزه و زنیان به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت اما بیشترین کاهش طول عمر مربوط به LC_{50} اسانس مرزه و بیشترین کاهش زادآوری مربوط به تیمار LC_{50} زنیان بود ($P < 0.05$). طول دوره پیش از بلوغ آفت تحت تاثیر LC_{30} و LC_{50} اسانس مرزه و زنیان به طور معنی داری افزایش یافت ($P < 0.05$).

جدول ۵ نشان می‌دهد که نرخ خالص تولید مثل (R_0) پس از تیمار LC_{50} اسانس مرزه و غلظت‌های اسانس زنیان کاهش معنی‌داری داشت ($P < 0.05$) و کمترین نرخ خالص تولید مثل مربوط به تیمار LC_{50} اسانس زنیان بود. تیمار با غلظت‌های زیرکشنده هردو اسانس، تاثیر معنی‌دار و مشابهی در کاهش نرخ ذاتی افزایش جمعیت ($P < 0.05$) و نرخ متناهی افزایش جمعیت ($P < 0.05$) داشت. همچنین بیشترین کاهش این دو فراسنجه در مواجه با غلظت LC_{50} اسانس زنیان بود. همچنین مدت زمان تولید یک نسل به طور معنی‌داری تحت تاثیر LC_{30} اسانس مرزه و LC_{50} هر دو اسانس افزایش یافت ($P < 0.05$).

جدول ٤- اثرات زیر کشندگی مقادیر LC_{30} و LC_{50} اسانس های *Satureja hortensis* و *Trachyspermum ammi* روی دوره های تولید مثلی، زادآوری و طول عمر (میانگین ± خطای معیار) حشرات کامل *Callosobruchus maculatus*

Table 4. Sublethal effects of LC_{30} and LC_{50} values of *Satureja hortensis* and *Trachyspermum ammi* essential oils on the reproduction period, fecundity, and adult longevity (mean ± SE) of *Callosobruchus maculatus*

Treatments	Pre-adult survival (day)	Pre-adult period (day)	TPOP (day)	Oviposition period (day)	Female longevity (day)	Male longevity (day)	Fecundity (offspring)
Control	0.85 ± 0.07 a	25.41 ± 0.11 d	25.33 ± 0.16 d	5.22 ± 0.21 a	5.77 ± 0.32 a	5.87 ± 0.28 a	103.88 ± 4.89 a
LC_{30} of *S. hortensis*	0 .70 ± 0.102 ab	26.42 ± 0.48 c	26.62 ± 1.38 c	3.50 ± 0.18 b	3.87 ± 0.22 c	4.00 ± 0.36 bc	57.37 ± 3.41 b
LC_{50} of *S. hortensis*	0.55 ± 0.110 b	28.72 ± 0.41 b	28.50 ± 0.66 b	2.83 ± 0.16 c	3.16 ± 0.16 d	2.8 ± 0.57 c	39.66 ± 2.03 c
LC_{30} of *T. ammi*	0.65 ± 0.106 a	26.53 ± 0.42 c	26.00 ± 0.54 cd	4.00 ± 0.25 b	4.66 ± 0.21 b	4.28 ± 0.35 b	53.83 ± 2.81 b
LC_{50} of *T. ammi*	0.45 ± 0.1 b	31.77 ± 0.64 a	31.20 ± 1.10 a	3.40 ± 0.50 bc	3.6 ± 0.39 cd	3.75 ± 0.61 bc	30.2 ± 2.11 d

Means followed by different letters in each column are significantly different (Paired bootstrap test, $P < 0.05$). TPOP: Total pre-ovipositional period.

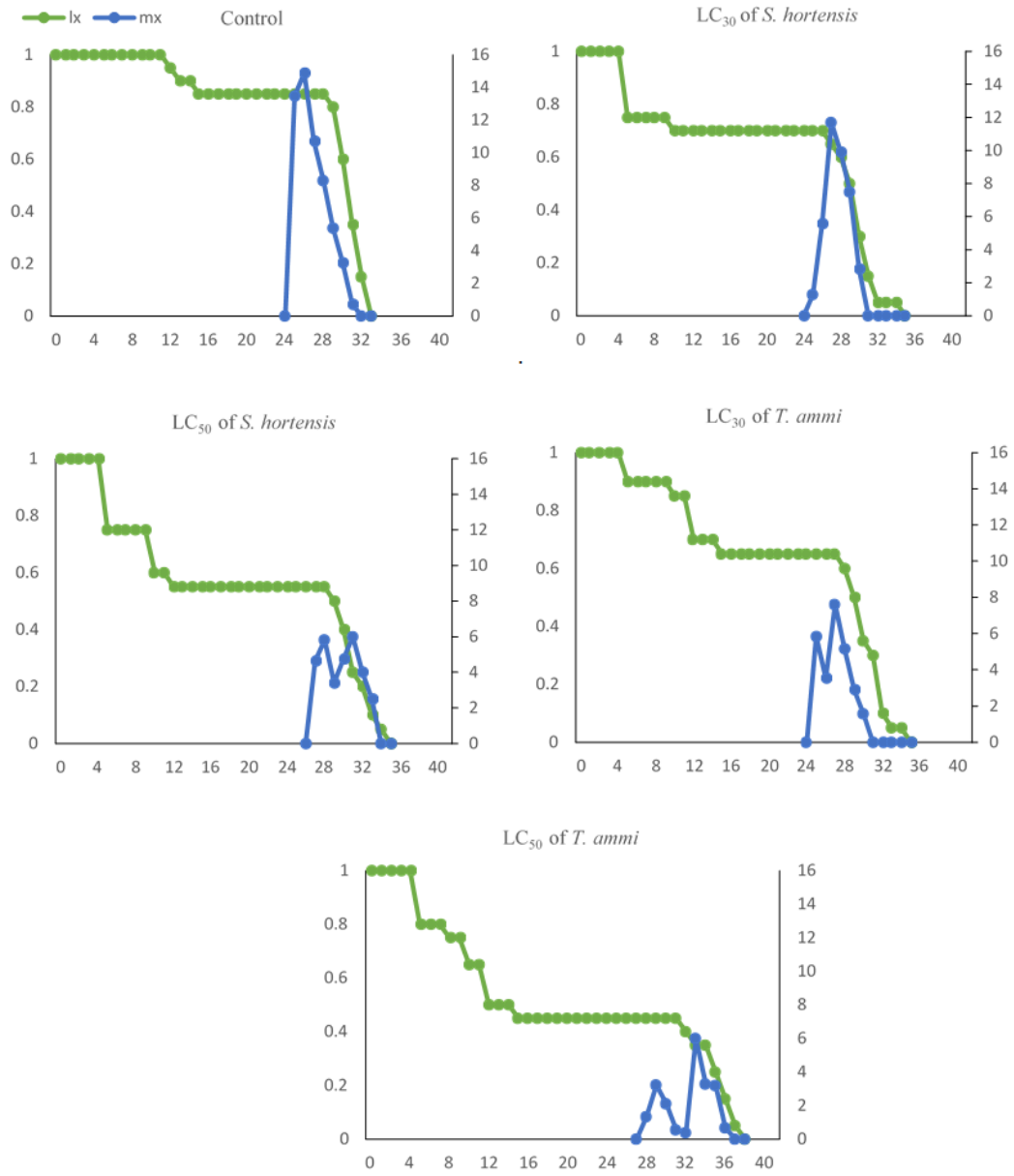
جدول ۵- اثرات زیر کشندگی مقادیر LC_{30} و LC_{50} اسانس های *Satureja hortensis* و *Trachyspermum ammi* روی فراسنجه‌های جدول زندگی (میانگین ± خطای معیار) *Callosobruchus maculatus*

Table 5. Sublethal effects of LC_{30} and LC_{50} values of *Satureja hortensis* and *Trachyspermum ammi* essential oils on the life table parameters (mean ± SE) of *Callosobruchus maculatus*

Treatments	*GRR* (offspring per adult)	R_0 (offspring per adult)	r (day $^{-1}$)	λ (day $^{-1}$)	T (day)
Control	56.69 ± 13.422 a	46.75 ± 11.69 a	0.139 ±0.009 a	1.149 ± 0.011 a	27.58 ± 0.219 d
LC_{30} of *S. hortensis*	38.8 ± 8.395 ab	22.95 ± 6.42 ab	0.110 ± 0.011 b	1.116 ± 0.012 b	28.37 ± 0.286 c
LC_{50} of *S. hortensis*	31.1 ± 10.096 ab	11.9 ± 4.089 bc	0.083 ± 0.013 bc	1.086 ± 0.014 bc	29.89 ± 0.651 b
LC_{30} of *T. ammi*	26.64 ± 8.171 ab	16.15 ± 5.556 bc	0.100 ± 0.014 bc	1.105 ±0.015 bc	27.76 ± 0.452 cd
LC_{50} of *T. ammi*	20.75 ± 7.21 b	7.55 ± 2.923 c	0.062 ±0.014 c	1.063 ± 0.014 c	32.60 ± 1.110 a

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

با توجه به شکل ۱ و نرخ زنده مانی ویژه سنی (l_x) فاصله بین تخم تا مرگ آخرین ماده در تیمار شاهد ۳۳ روز و تحت تاثیر مقادیر LC_{30} و LC_{50} اسانس *S. hortensis* ۳۵ و اسانس *T. ammi* به ترتیب ۳۵ و ۳۱ روز می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار زادآوری ویژه سنی (m_x) در گروه شاهد ۱۴/۸۸ تخم بعد از ۲۶ روز و تیمار های LC_{30} و LC_{50} اسانس *S. hortensis* به ترتیب ۱۱/۶۹ و ۵/۸۱ تخم (بعد از به ترتیب ۲۷ و ۲۸ روز) بود. اعداد مذکور برای مقادیر LC_{30} و LC_{50} اسانس *T. ammi* به ترتیب ۷/۶۲ و ۳/۲۲ تخم (به ترتیب بعد از ۲۷ و ۲۹ روز) برآورد شد. به طور کلی، زنده مانی ویژه سنی با تیمار اسانس *T. ammi* و زادآوری ویژه سنی این آفت با تیمار هردو اسانس کاهش یافت (شکل ۱).



شکل ۱- نرخ زنده مانی ویژه سنی (l_x) و زادآوری ویژه سنی (m_x) سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات *Callosobruchus maculatus* در برابر غلظت های LC_{30} و LC_{50} اسانس های *Satureja hortensis*، *Trachyspermum ammi* و گروه شاهد

Figure 1. Age-specific survival rate (l_x) and age-specific fecundity (m_x) of cowpea weevil *Callosobruchus maculatus* exposed to the of LC_{30} and LC_{50} values of *Satureja hortensis* and *Trachyspermum ammi* essential oils and control group

بحث

اسانس‌های استخراج‌شده از گیاهان، به دلیل خاصیت تجزیه سریع‌تر در طبیعت، معمولاً دارای سمیت کمتری برای انسان و دیگر پستانداران هستند و تأثیر زیست‌محیطی مخفی‌شان نیز کمتر است (Park et al., 2002). علاوه بر این، شمار زیادی از اسانس‌های گیاهی آثار قابل‌توجهی بر حشرات آفت دارند. این اثرات می‌توانند شامل سمیت مستقیم و اثرات زیرکشندگی از قبیل فعالیت ضدتغذیه‌ای، دورکنندگی، بازدارندگی از رشد و تولید مثل، تاثیر روی

فراسنجه‌های جمعیتی و اثرات گسترده فیزیولوژیکی باشند (Ebadollahi, 2023).

در پژوهش‌های اخیر، سمیت اسانس‌های مرزه و زنیان مورد بررسی قرار گرفته و نتایج قابل‌توجهی ارائه داده‌اند. برای نمونه، Razmjou et al. (2016) گزارش دادند که مقدار LC_{50} برای اسانس زنیان ۱۳/۳۹ میکرولیتر بر لیتر علیه حشرات بالغ بید غلات *Sitotroga cerealella* Olivier. بوده است، که نشان‌دهنده تاثیر بالای اسانس می‌باشد. سمیت بالای اسانس مرزه که غنی از ترکیبات استراگول، بتا-اسیمن و لیمونن بود، روی حشرات کامل سوسک کشیش *Rhyzopertha dominica* (F.) و شپشه قرمز آرد *Tribolium castaneum* Herbst به‌ترتیب با مقادیر LC_{50} برابر با ۲۷/۲۱ و ۳۸/۹۱ میکرولیتر بر لیتر گزارش شده است (Ebadollahi, 2020). در مطالعه‌ای دیگر، سمیت اسانس زنیان روی سوسک کشیش با مقدار LC_{50} برابر با ۴۶/۱۶۷ میکرولیتر بر لیتر ثبت شده است (Nouri Ganbalani et al., 2023). در پژوهش Ebadollahi. (2025)، اثرات کشندگی و زیرکشندگی اسانس زنیان روی شپشه برنج *Sitophilus oryzae* L. مورد مطالعه قرار گرفت. ترکیبات غالب در اسانس زنیان شامل سایمن، تیمول، گاما-ترپینن و آلفا-پینن بودند. مقادیر LC_{50} اسانس ۱۷۲/۴۸ میکرولیتر بر لیتر پس از ۲۴ ساعت برآورد شد و غلظت‌های زیرکشنده (LC_{30} ۱۳۰/۳۱ میکرولیتر بر لیتر برای زنیان) به طور معنی-داری طول دوره رشد پیش از بلوغ، دوره قبل از تخمگذاری و پارامترهای جمعیتی مهم نظیر نرخ تولیدمثل و نرخ افزایش جمعیت را کاهش داد. علاوه بر این، شاخص‌های تغذیه‌ای شامل شاخص مصرف، نرخ مصرف نسبی و نرخ رشد نسبی به‌طور قابل توجهی کاهش یافتند، که نشان‌دهنده توانایی اسانس در مهار رشد، تغذیه و زادآوری آفت حتی در غلظت‌های زیرکشنده است. نتایج پژوهش‌های مذکور از نظر داشتن ارائه اثرات حشره‌کشی گسترده اسانس‌های مرزه و زنیان روی آفات انباری در راستای یافته‌های مطالعه حاضر می‌باشد. با این حال، تفاوت در مقادیر LC_{50} پژوهش‌های مذکور و مطالعه حاضر می‌تواند ناشی از تفاوت در حساسیت گونه‌های مورد مطالعه و ترکیبات شیمیایی اسانس‌ها باشد.

در پژوهش حاضر، تجزیه شیمیایی اسانس‌های مرزه و زنیان نشان داد که کارواکرول، گاما-ترپینن، سایمن، آلفا-پینن، و بتا-میرسن در اسانس مرزه و تیمول، سایمن، گاما-ترپینن و آلفا-پینن در اسانس زنیان بیشترین مقدار را دارند. بر اساس مقایسه داده‌های این مطالعه با پژوهش انجام‌شده توسط Razmjou et al. (2016)، ترکیبات اصلی اسانس زنیان در هر دو تحقیق شامل تیمول، گاما-ترپینن و سایمن بوده‌اند، با این تفاوت که در پژوهش حاضر، تیمول با درصد بالاتر (۴۱/۳۸ درصد) نسبت به مطالعه قبلی (۵۲/۲۳ درصد)، و گاما-ترپینن نیز با درصدی بالاتر (۱۴/۹۷ درصد در مقابل ۱۲/۵۸ درصد) مشاهده شد. همچنین برخلاف مطالعه Razmjou et al. (2016) که کارواکرول را در اسانس زنیان گزارش کرده بود (۲/۰۴ درصد)، این ترکیب در اسانس زنیان در مطالعه حاضر شناسایی نشد. این اختلافات می‌تواند ناشی از تفاوت در شرایط اکولوژیکی، عوامل ژنتیکی، مرحله رشدی گیاه، زمان برداشت، روش‌های استخراج و سایر فاکتورهای مرتبط با تولید اسانس باشد (Zarshenas et al., 2014; Moghaddam & Mehdizadeh, 2017). در پژوهش جامع Sampson et al. (2005)، سمیت تماسی اسانس ۲۳ گونه گیاهی، از جمله رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)، نعناع (*Mentha piperita* L.)، و مرزه (*S. hortensis*) بر شته شلغم ماده *Lipaphis pseudobrassicae* Davis. مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها نشان دادند که فنول‌ها و مونوترپن‌های حلقوی مانند کارواکرول موجود در مرزه و تیمول در نعناع تأثیر مهاری قوی بر این آفت دارند و LC_{50} در بازه‌ی ۰/۳ تا ۱/۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر (معادل ۳۰۰–۱۰۰۰ میکرولیتر بر لیتر) برای بسیاری از این اسانس‌ها گزارش شده است. مقدار LC_{50} اسانس زنیان به‌طور معنی‌داری کم‌تر از مرزه بود. این نتایج در تحقیق Park et al. (2017) نیز گزارش شده است؛ بنابراین، درصد بالای تیمول در اسانس زنیان می‌تواند به‌عنوان یکی از دلایل قوی‌تر بودن این اسانس باشد. وقتی اسانس‌های مرزه و زنیان

با هم در غلظت‌های LC_{30} و LC_{50} اعمال شدند، مشاهده شد که در اثر پدیده تشدیدکنندگی، تلفات آفت بیشتر شد. افزایش اثرات حشره‌کشی ترکیبات ترپنی در صورت کاربرد توام آن‌ها هم گزارش شده است. به‌عنوان مثال، در یک پژوهش نشان داده شده است که ترکیب اوژنول با کارواکرول و ۱،۸-سینئول با کارواکرول می‌تواند تلفات سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات را تا ۷۶ درصد بالا ببرد (Et-Tazy et al., 2025).

در مطالعه Abdelgaleil et al. (2009)، سمیت تماسی مونوترپن‌های خالص از جمله (−)-کاروون، ژرانیول، کومین‌آلدهید، (−)-لیمونن، (−)-لینالول، (−)-منتول و میرِسن که در اسانس‌های مرزه و کلپوره نیز یافت می‌شوند، روی شپشه برنج (*S. oryzae*)مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که (−)-کاروون، ژرانیول و کومین‌آلدهید بیشترین سمیت تماس را با LC_{50}معادل ۲۸/۱۷، ۲۸/۷۶ و ۴۲/۰۸ میکروگرم بر سانتی‌متر مربع به خود اختصاص داده‌اند، در حالی که مونوترپن‌های هیدروکربنی مانند لیمونن و میرِسن سمیت چشمگیری نشان ندادند (LC_{50} > 500 µg/cm²).این نتایج اهمیت ساختار شیمیایی به‌ویژه گروه‌های اکسیژن‌دار را در افزایش اثربخشی حشره‌کشی تماس برجسته کرده است .استفاده از اسانس‌های مرزه و زنیان در مقادیر LC_{30} و LC_{50} موجب کاهش معنی‌دار فراسنجه‌های زیستی و جمعیتی سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات شامل طول عمر، تخم‌ریزی، نرخ خالص تولید مثل، نرخ ذاتی رشد و نرخ متناهی افزایش جمعیت شد. نتایج مشابهی در مطالعه Izakmehri et al. (2013)، با استفاده از اسانس‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) و گلپر (*Heracleum persicum* Desf.) گزارش شده است. در این پژوهش استفاده از مقادیر LC_{20}اسانس‌ها، طول عمر و زادآوری آفت را کاهش داد. علاوه بر آن، مقادیر ℓ_x و m_x هم در پژوهش حاضر تحت تاثیر اسانس‌های مرزه و زنیان کاهش پیدا کردند. کاهش شدید در ℓ_xو m_x می‌تواند به‌صورت قابل‌توجهی نرخ رشد جمعیت را پایین آورد. نتایج مشابه از نظر کاهش مقادیر ℓ_x و m_x حشرات آفت تحت تاثیر اسانس‌های گیاهی گزارش شده است (Izakmehri et al., 2013). در مطالعه Naseri et al. (2017)، اثرات زیرکشنده اسانس‌های دو گونه درمنه شامل *Artemisia khorassanica* Podl. و *Artemisia sieberi* Besser بر بید غلات *S. cerealella* بررسی شد و مشخص گردید تحت تاثیر اسانس‌های مذکور که حاوی ترکیبات ترپنی ۱،۸-سینئول و کامفور بودند، طول دوره رشدی پیش از بلوغ بید غلات به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، در حالی‌که طول عمر حشرات کامل کاهش پیدا کرد. چنین تأثیراتی منجر به کاهش نرخ رشد جمعیت شد که ترکیبی از بقای کمتر، زمان طولانی‌تر رشد و کاهش زادآوری است. ایجاد تأخیر در مراحل رشدی قبل از بلوغ آفت، مدت زمان قرار گرفتن در برابر عوامل سمی را بیشتر می‌کند و کاهش طول عمر و زادآوری، شانس رشد جمعیت را به‌شدت محدود می‌سازد. به‌طور کلی، افزایش مدت دوره رشد پیش از بلوغ در ترکیب با اثرات کشنده و زیرکشنده، چارچوب مدیریتی مؤثری برای کنترل جمعیت آفت را فراهم می‌سازد. Nouri (2023) Ganbalani et al. در مطالعه‌ای روی سوسک کشیش نشان دادند که مواجهه با اسانس‌های زنیان (*Carum copticum* L.) و رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) اثر معنی‌داری بر افزایش دوره پیش از تخم‌گذاری دارد. هم‌چنین، این بررسی کاهش قابل‌توجهی در زادآوری و طول عمر هر دو جنس نر و ماده را گزارش کرد. این نتایج کاملاً هم‌راستا با مشاهدات پژوهش حاضر است، که در آن طول عمر، زنده‌مانی و زادآوری در این آفت به‌طور مشهود کاهش یافت. در مطالعات تکمیلی نیز مانند Abo Arab et al. (2022) و Mostafa & Abotaleb (2024)، کاهش مشابه در فراسنجه‌های زادآوری، نرخ رشد جمعیت و طول عمر ناشی از کاربرد اسانس‌های گیاهی گزارش شده است. این یافته‌ها تأکید می‌کند که در طراحی راهکارهای کنترلی مؤثر و سازگار با محیط زیست، باید علاوه بر تعیین مقادیرLC_{50}، بررسی دقیق اثرات زیرکشنده مانند تأخیر طول دوره رشدی، کاهش طول عمر و زادآوری را نیز در سطح اکولوژیکی لحاظ کرد تا بتوان تأثیری ماندگار و پایدار بر جمعیت آفات داشت.

تحقیقات متعدد مانند Keita et al.(2000)، Keita et al. (2001)، Raja et al. (2001) و Tunç et al.(2000) به بررسی اثر تخم‌کشی اسانس‌های گیاهی پرداختند و همگی نشان دادند که میزان کشندگی تخم‌آفات به‌طور قابل‌توجهی به نوع اسانس، غلظت آن و مدت زمان مواجهه وابسته است. یافته‌های مطالعه حاضر نیز کاملاً با این نتایج همراستا هستند؛ به طوری که تفاوت معنی‌داری در درصد تخم‌کشی میان اسانس‌های مورد آزمایش مشاهده شد و با افزایش غلظت، نرخ مرگ‌ومیر تخم‌ها نیز افزایش یافت. برای نمونه، Keita et al.(2000) با استفاده از اسانس برگ درخت سرو بادبزنی (*Thuja occidentalis* L.) دریافتند که علاوه بر مرگ‌ومیر بالغین، تخم‌کشی در صورت استفاده از اسانس نیز تا حد زیادی افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت و زمان قرارگیری در معرض اسانس، مرگ‌ومیر تخم‌ها و کاهش ظهور نسل F_1 به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این مطالعات نشان‌دهنده یک الگوی سیستماتیک هستند که اثر تخم‌کشی در برابر غلظت‌های متنوع و دوره‌های متفاوت قرارگیری، تغییر می‌کند. مطالعه حاضر نیز این الگو را تأیید کرد که با افزایش غلظت اسانس‌ها، درصد کشندگی تخم‌ها به شکل معنی‌داری افزایش یافته است.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اسانس‌های مرزه و زنیان می‌توانند به‌عنوان گزینه‌های سموم تدخینی زیست‌سازگار برای کنترل سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات مورد استفاده قرار گیرند؛ چرا که این ترکیبات سریع تجزیه می‌شوند، خطر کمتری برای انسان و حیوانات دارند و احتمال ایجاد مقاومت در آنها با توجه به اجزای شیمیایی بسیار پیچیده و مکانیسم اثر گوناگون، پایین است. البته باید توجه داشت که تغییر در ترکیب شیمیایی بسته به منبع گیاهی، احتمال ایجاد بوی نامطلوب، تاثیر روی موجودات غیر هدف از قبیل زنبورهای پارازیتوئید و نیاز به فرموله‌سازی مناسب (مانند نانوامولسیون یا کپسوله‌سازی) همگی نیازمند بررسی بیشتر هستند. این روش می‌تواند جایگزینی مناسب برای حشره-کش‌های شیمیایی باشد، به‌ویژه وقتی که اسانس زنیان و مرزه هم‌زمان و با غلظت‌های مناسب مورد استفاده قرار گیرد، که منجر به کاهش طول عمر، تولیدمثل و بقای جمعیت می‌شود.

سپاس‌گزاری

از دانشگاه محقق اردبیلی برای تامین هزینه‌های اجرای پژوهش حاضر قدردانی می‌شود.

REFERENCES

Abdelgaleil, S.A.M., Mohamed, M.I.E., Badawy, M.E.I. & El-arami, S.A.A., 2009. Fumigant & contact toxicities of monoterpenes to *Sitophilus oryzae* (L.) & *Tribolium castaneum* (Herbst) & their inhibitory effects on acetylcholinesterase activity. *Journal of Chemical Ecology*, *35*(5): 518-525. https://doi.org/10.1007/s10886-009-9635-3

Abo Arab, R. B., El-Tawelah, N. M., Abouelatta, A. M., & Hamza, A. M. (2022). Potential of selected plant essential oils in management of *Sitophilus oryzae* (L.) & *Rhiyzopertha dominica* (F.) on wheat grains. *Bulletin of the National Research Centre*, *46*(1), 192. https://doi.org/10.1186/s42269-022-00894-x

Augustine, N., & Balikai, R. A. (2019). Biology of pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* (Linnaeus) on cowpea variety DC-15. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, *7*(1), 513-516.

Ahmad, M. (2009). Observed potentiation between pyrethroid & organophosphorus insecticides for the management of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Crop Protection*, *28*(3), 264-268. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.11.001

Ahmed, Q., Agarwal, M., Al-Obaidi, R., Wang, P., & Ren, Y. (2021). Evaluation of aphicidal effect of essential oils & their synergistic effect against *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Molecules*, *26*(10), 3055. https://doi.org/10.3390/molecules26103055

Aisha, K., Visakh, N. U., Pathrose, B., Mori, N., Baeshen, R. S., & Shawer, R. (2024). Extraction, chemical composition & insecticidal activities of *Lantana camara* Linn. leaf essential oils against *Tribolium castaneum*, *Lasioderma serricorne* & *Callosobruchus chinensis*. *Molecules*, *29*(2), 344. https://doi.org/10.3390/molecules29020344

Ashamo, M. O., Ileke, K. D., & Ogungbite, O. C. (2021). Entomotoxicity of some agro-wastes against cowpea bruchid, *Callosobruchus maculatus* (Fab.) [Coleoptera: Chrysomelidae] infesting cowpea seeds in storage. *Heliyon*, *7*(6), e07202. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07202

Baghouz, A., Bouchelta, Y., Es-safi, I., El Brahimi, R., Imtara, H., AlZain, M. N., Noman, O.M., Shahat, A.A. & Guemmouh, R. (2024). Biocidal activity of *Ziziphora hispanica* L & *Satureja calamintha* Scheele L essential oils against the *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) pest on cowpea seeds during storage. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *8*, 1329100. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1329100

Chi, H. (2020) TWOSEX-MSChart: a computer program for the agestage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, (http://140.120.197.173/Ecology/Download/ Twosex- MSChart.zip) (accessed 1 August 2022).

Chi, H. S. I. N., & Liu, H. J. B. I. Z. A. S. (1985). Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, *24*(2), 225-240.

Ebadollahi, A. (2020). Estragole-rich essential oil of summer savory (*Satureja hortensis* L.) as an eco-friendly alternative to the synthetic insecticides in management of two stored-products insect pests. *Acta Agriculturae Slovenica*, *115*(2), 307-314. https://doi.org/10.14720/aas.2020.115.2.1317

Ebadollahi, A. (2023). Plant essential oil: Natural-origin insecticides & acaricides (1sted.). University of Mohaghegh Ardabili Press, Ardabil, Iran. (In Persian).

Ebadollahi, A. (2025). Insecticidal effects of ajwain & cumin essential oils against the rice weevil, *Sitophilus oryzae*: Fumigant toxicity, antinutritional activity, & effect on biological & population parameters. *Plant Pest Research*, *15*(1), 1-15. https://doi.org/10.22124/iprj.2025.29459.1620.

Ebadollahi, A., Jalali Sendi, J., Ziaee, M., & Krutmuang, P. (2021). Acaricidal, insecticidal, & nematicidal efficiency of essential oils isolated from the *Satureja* Genus. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*, 6050. https://doi.org/10.3390/ijerph18116050

Ebadollahi, A., Ziaee, M., & Palla, F. (2020). Essential oils extracted from different species of the Lamiaceae plant family as prospective bioagents against several detrimental pests. *Molecules*, *25*(7), 1556. https://doi.org/10.3390/molecules25071556

Ejaz, A., Waliat, S., Arshad, M. S., Khalid, W., Khalid, M. Z., Rasul Suleria, H. A., Luca, M. I., Mironeasa, C., Batariuc, A., Ungureanu-Iuga, M., Coţovanu, I., & Mironeasa, S. (2023). A

comprehensive review of summer savory (*Satureja hortensis* L.): promising ingredient for production of functional foods. *Frontiers in Pharmacology*, *14*, 1198970. https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1198970

Et-Tazy, L., Lamiri, A., Krimi Bencheqroun, S., Errati, H., Hashem, A., Avila-Quezada, G. D., Abd-Allah, E. F., Satrani, B., Essahli, M., & Satia, L. (2025). Exploring synergistic insecticidal effects of binary mixtures of major compounds from six essential oils against *Callosobruchus maculatus*. *Scientific Reports*, *15*(1), 15180. https://doi.org/10.1038/s41598-025-98566-z

Garud, A., Pawar, S., Patil, M. S., Kale, S. R., & Patil, S. (2024). A scientific review of pesticides: Classification, toxicity, health effects, sustainability, & environmental impact. *Cureus*, *16*(8), e67945. https://doi.org/10.7759/cureus.67945

Hajam, Y. A., & Kumar, R. (2022). Management of stored grain pest with special reference to *Callosobruchus maculatus*, a major pest of cowpea: A review. *Heliyon*, *8*, e08703. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08703

Harmouzi, A., EL Ammari, Y., Mssillou, I., Chlouchi, A., Lim, A., Abdelaziz Shahat, A., & Chebaibi, M. (2024). Insecticidal potential of essential oils from *Ammi visnaga* L. & *Trachyspermum ammi* L. against *Sitophilus oryzae* (L.) & in silico study of their major constituents. *Horticulturae*, *10*(7), 722. https://doi.org/10.3390/horticulturae10070722

Hashemi, S. M., Bandani, A. R., Naseri, B., & Ashouri, A. (2023). Barely cultivar compositions influence essential oils effectiveness on *Sitophilus granarius* (L.)(Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, *104*, 102193. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102193

Hummelbrunner, L. A., & Isman, M. B. (2001). Acute, sublethal, antifeedant, & synergistic effects of monoterpenoid essential oil compounds on the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lep., Noctuidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*(2), 715–720. https://doi.org/10.1021/jf000749t

Isman, M. B. (2020). Commercial development of plant essential oils & their constituents as active ingredients in bioinsecticides. *Phytochemistry Reviews*, *19*, 235-241. https://doi.org/10.1007/s11101-019-09653-9

Izakmehri, K., Saber, M., Mehrvar, A., Hassanpouraghdam, M. B., & Vojoudi, S. (2013). Lethal & sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus camaldulensis* & *Heracleum persicum* against the adults of *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Insect Science*, *13*, 152. https://doi.org/10.1673/031.013.15201

Keita, S. M., Vincent, C., Schmit, J. P., Arnason, J. T., & Bélanger, A. (2001). Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. & *O. gratissimum* L. applied as an insecticidal fumigant & powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab.)[Coleoptera: Bruchidae]. *Journal of Stored Products Research*, *37*(4), 339-349. https://doi.org/10.4141/P00-059

Keita, S. M., Vincent, C., Schmit, J. P., Ramaswamy, S., & Bélanger, A. (2000). Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.)(Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, *36*(4), 355-364. https://doi.org/10.1016/s0022-474x(99)00055-7

Mirzaei, F., Naseri, B., Rafiee-Dastjerdi, H. & Ebadollahi, A. (2025). Toxicity & antinutritional effects of some plant essential oils, separately & in combination, against the saw-toothed grain

beetle, *Oryzaephilus surinamensis*. *Plant Pest Research*, *14*(4), 1-15. https://doi.org/10.22124/iprj.2025.29020.1608

Mohammadi, D., Rashki Hervan, F., & Farshbaf Pourabad, R. (2022). Effect of formulated essential oil of Ajwain, *Trachyspermum ammi* (L.) on some biological and physiological parameters of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 11(2), 115-134. https://doi.org/10.22059/jbioc.2024.370937.328

Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2017). Chemistry of essential oils & factors influencing their constituents. In Soft chemistry & food fermentation (pp. 379-419). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811412-4.00013-8

Mostafa, E. M., & Abotaleb, A. O. (2024). Investigating the impact of select oils on mortality & progeny production of *Rhyzopertha dominica* infesting wheat. *Journal of Agricultural Sciences & Sustainable Development*, 1(2). https://doi.org/10.21608/JASSD.2024.260957.1005

Naseri, B., Abedi, Z., Abdolmaleki, A., Jafary-Jahed, M., Borzoui, E., & Mansouri, S.M. (2017). Fumigant toxicity & sublethal effects of *Artemisia khorassanica* & *Artemisia sieberi* on *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Insect Science*, *15*(5), 100. https://doi.org/10.1093/jisesa/iex073

Naseri, B., Ebadollahi, A., Ebadi, A., Elahi, M., Afshari, F., & Pourabad, R. F. (2025). The possibility of using plant essential oils to enhance the insecticidal properties of spinosad against *Callosobruchus maculatus* (F.). *Journal of Stored Products Research*, *114*, 102748. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102748

Nouri Ganbalani, G., Ebadollahi, A., & Noori, A. (2015). Evaluation of chemical composition and toxicity of two essential oils against adults of *Tribolium castaneum* and *Callosobruchus maculatus*. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *38*(2), 103-112. 10.22055/PPR.2015.11232.

Nouri Ganbalani, G., Abedi, Z., Mottaghinia, L., & Nouri, A. (2023). Lethal & sublethal effects of essential oils of Ajwain (*Carum copticum* L.) & fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) along with diatomaceous earth on some life table parameters of the lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica* F.). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, *53*(2), 209-224. https://doi.org/10.22059/IJPPS.2022.345412.1007008

Obembe, O. M., Ojo, D. O., & Ileke, K. D. (2020). Efficacy of Kigelia africana Lam. (Benth.) leaf & stem bark ethanolic extracts on adult cowpea seed beetle,[*Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Chrysomelidae)] affecting stored cowpea seeds (*Vigna unguiculata*). *Heliyon*, *6*(10). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05215

Park, B. S., Lee, S. E., Choi, W. S., Jeong, C. Y., Song, C., & Cho, K. Y. (2002). Insecticidal & acaricidal activity of pipernonaline & piperoctadecalidine derived from dried fruits of *Piper longum* L. *Crop Protection*, *21*(3), 249-251. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00079-5

Park, J. H., Jeon, Y. J., Lee, C. H., Chung, N., & Lee, H. S. (2017). Insecticidal toxicities of carvacrol & thymol derived from *Thymus vulgaris* Lin. against *Pochazia shantungensis* Chou &Lu., newly recorded pest. *Scientific Reports*, *7*, 40902. https://doi.org/10.1038/srep40902

Pumnuan, J., Sarapothong, K., Sikhao, P., Pattamadilok, C., & Insung, A. (2021). Film seeds coating with hexane extracts from *Illicium verum* Hook.f. & *Syzygium aromaticum* (L.) Merrill & Perry for controlling *Callosobruchus maculatus* (F.) & *Callosobruchus chinensis* L. *Pest Management Science*, *77*(5), 2512–2521. https://doi.org/10.1002/ps.6283

Raja, N., Albert, S., Ignacimuthu, S., & Dorn, S. (2001). Effect of plant volatile oils in protecting stored cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walpers against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) infestation. *Journal of Stored Products Research*, *37*(2), 127–132. https://doi.org/10.1016/s0022-474x(00)00014-x

Rizvi, N. B., Aleem, S., Khan, M. R., Ashraf, S., & Busquets, R. (2022). Quantitative Estimation of Protein in Sprouts of *Vigna radiate* (Mung Beans), *Lens culinaris* (Lentils), & *Cicer arietinum* (Chickpeas) by Kjeldahl & Lowry Methods. *Molecules*, *27*(3), 814. https://doi.org/10.3390/molecules27030814

Sampson, B.J., Tabanca, N., Kirimer, N., Demirci, B., Baser, K.H.C., Khan, I.A., Spiers, J.M. & Wedge, D.E., 2005. Insecticidal activity of 23 essential oils & their major compounds against adult *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis) (Aphididae: Homoptera). *Pest Management Science*, *61*(11): 1122-1128. https://doi.org/10.1002/ps.1100

Šunjka, D., & Mechora, Š. (2022). An alternative source of biopesticides & improvement in their formulation-recent advances. *Plants*, *11*(22), 3172. https://doi.org/10.3390/plants11223172

Tepe, B., & Cilkiz, M. (2016). A pharmacological & phytochemical overview on *Satureja*. *Pharmaceutical Biology*, *54*(3), 375–412. https://doi.org/10.3109/13880209.2015.1043560

Tozlu, E., Cakir, A., Kordali, S., Tozlu, G., Ozer, H., & Akcin, T. A. (2011). Chemical compositions & insecticidal effects of essential oils isolated from *Achillea gypsicola*, *Satureja hortensis*, *Origanum acutidens* & *Hypericum scabrum* against broadbean weevil (*Bruchus dentipes*). *Scientia Horticulturae*, *130*(1), 9-17. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.019

Tunç, İ. R. F. A. N., Berger, B. M., Erler, F. E. D. A. İ., & Dağlı, F. (2000). Ovicidal activity of essential oils from five plants against two stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, *36*(2), 161-168. https://doi.org/10.1016/S0022-474X(99)00036-3

Valizadeh, B., Jalali Sendi, J., Oftadeh, M., Ebadollahi, A., & Krutmuang, P. (2021). Ovicidal & physiological effects of essential oils extracted from six medicinal plants on the elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Mull.). *Agronomy*, *11*(10), 2015. https://doi.org/10.3390/agronomy11102015

Yanni, A. E., Iakovidi, S., Vasilikopoulou, E., & Karathanos, V. T. (2024). Legumes: A vehicle for transition to sustainability. *Nutrients*, *16*(1), 98. https://doi.org/10.3390/nu16010098

Zarshenas, M. M., Samani, S. M., Petramfar, P., & Moein, M. (2014). Analysis of the essential oil components from different *Carum copticum* L. samples from Iran. *Pharmacognosy Research*, *6*, 62. https://doi.org/10.4103/0974-8490.122920

Zhang, Y. C., Liu, A., Wang, J. Z., Qi, Y. T., Wang, D., & Du, S. S. (2024). Contact toxicity & repellent effects of essential oils from *Toddalia asiatica* against two stored-product insects. *Chemistry and Biodiversity*, *21*(11), e202400818. https://doi.org/10.1002/cbdv.202400818

Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2025). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, *11*, 100410. https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410

© 2025 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/.