Iranian Plant Protection Research
https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 40, No. 3, 2026, p. 665-675

Evaluation of the Fumigant Toxicity of Pennyroyal (*Mentha longifolia*) Essential Oil against Adults of the Dried-Fruit Beetle *Carpophilus hemipterus* (Coleoptera: Nitidulidae)

Rezvan Niknafs[1], Kamal Ahmadi[1*]

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
(*- Corresponding author's Email: kahmadi@uk.ac.ir)

Received: 22-12-2025
Revised: 03-05-2026
Accepted: 25-05-2026
Available Online: 22-06-2026

How to cite this article:
Niknafs, R., & Ahmadi, K. (2026). Evaluation of the fumigant toxicity of pennyroyal (*Mentha longifolia*) essential oil against adults of the dried-fruit beetle *Carpophilus hemipterus* (Coleoptera: Nitidulidae). *Iranian Plant Protection Research*, *40*(3), 665-675. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JPP.2026.97128.1271

Introduction

Stored-product insects cause significant quantitative and qualitative losses to agricultural commodities worldwide, particularly in dried fruits and nuts. Among these pests, the dried-fruit beetle, *Carpophilus hemipterus* (L.) (Coleoptera: Nitidulidae), is considered one of the most destructive species due to its high reproductive potential, broad host range, and ability to infest both stored and semi-processed products. Infestation by this beetle not only results in direct feeding damage but also facilitates microbial contamination, leading to reduced market value and potential health risks for consumers. Chemical fumigants such as phosphine and methyl bromide have traditionally been used to control stored-product pests. However, the extensive and prolonged use of synthetic fumigants has led to several serious concerns, including the development of insect resistance, environmental pollution, residues in food products, and adverse effects on non-target organisms and human health. In addition, the phase-out or restriction of some conventional fumigants due to international regulations has intensified the need for safer and more sustainable alternatives in stored-product pest management. In recent years, plant-derived essential oils have gained increasing attention as potential alternatives to synthetic insecticides. Essential oils are complex mixtures of volatile secondary metabolites, primarily terpenoids and phenolic compounds, which exhibit a wide range of biological activities, including insecticidal, repellent, antifeedant, and fumigant effects. Their high volatility, rapid degradation, and relatively low mammalian toxicity make essential oils particularly suitable for use as fumigants in stored-product protection. Pennyroyal (*Mentha longifolia* L.), a perennial aromatic plant belonging to the family Lamiaceae, is widely distributed in many regions and has been traditionally used for medicinal and culinary purposes. The essential oil of *M. longifolia* is rich in bioactive compounds such as pulegone, menthone, and 1,8-cineole, which have been reported to possess antimicrobial and insecticidal properties. Several studies have demonstrated the toxicity of pennyroyal essential oil against different insect pests; however, information regarding its fumigant activity against *C. hemipterus* remains limited. Given the economic importance of *C. hemipterus* and the growing demand for eco-friendly pest control strategies, evaluating the fumigant toxicity of plant essential oils is of considerable interest. The present study aims to investigate the fumigant toxicity of pennyroyal (*M. longifolia*) essential oil against adults of *C. hemipterus*. The findings of this research may contribute to the development of

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

https://doi.org/10.22067/JPP.2026.97128.1271

plant-based fumigants as effective and environmentally benign alternatives for the management of stored-product beetles.

Materials and Methods

Adults of the dried-fruit beetle *C. hemipterus* were collected from a date storage facility in Anbarabad (Kerman Province, Iran) and reared for several generations under controlled laboratory conditions (25 ± 2 °C, 20 ± 10% RH, and darkness) on dates supplemented with watermelon as a moisture source. The aerial parts of *M. longifolia* were collected from a natural habitat near Rayen (Kerman province) and the essential oil was extracted by hydrodistillation using a Clevenger apparatus. The obtained oil was stored at −4 °C in dark glass vials until use, and its chemical composition was analyzed by GC–MS. Fumigant bioassays were conducted in sealed plastic containers to evaluate the toxicity of the essential oil against young adult beetles. Preliminary tests were performed to determine the appropriate concentration range, followed by dose–response assays using six concentrations (20–120 µL L^{-1} air) to estimate LC_{50} values at 24, 48, and 72 h. Mortality was assessed based on lack of movement in response to gentle probing, corrected using Abbott's formula, and analyzed by probit regression. LT_{50} values were determined at selected concentrations (20 and 35 µL L^{-1}) by recording mortality at 6-h intervals up to 72 h under the same environmental conditions.

Results and Discussion

The GC–MS analysis of *M. longifolia* essential oil identified 16 compounds, with pulegone (63.24%) as the dominant component, followed by 1,8-cineole (9.14%), Menthofuran (9.11%), menthone isomers (1.82–4.41%), and piperitenone oxide (1.3–2.53%). Fumigant bioassays showed strong toxicity against adult *C. hemipterus*, with LC_{50} values decreasing significantly over time from 35.58 µL L^{-1} at 24 h to 5.57 µL L^{-1} at 72 h, and LT_{50} decreasing with increasing concentration (88.92 h at 20 µL L^{-1} to 26.64 h at 35 µL L^{-1}). These results confirm a clear dose- and time-dependent fumigant effect. The observed toxicity is likely associated with the high content of volatile monoterpenoids such as pulegone, Menthofuran, and 1,8-cineole, which can disrupt insect nervous system pathways, including octopaminergic receptors and acetylcholinesterase. Compared with other plant essential oils reported for *C. hemipterus*, *M. longifolia* shows comparable or superior efficacy, with rapid action, broad-spectrum activity against multiple stored-product pests, high volatility, rapid degradation, low mammalian toxicity, and compatibility with integrated pest management strategies.

Conclusion

These findings suggest that *M. longifolia* essential oil is a promising, eco-friendly fumigant for controlling *C. hemipterus*, although further research is needed to evaluate its effectiveness under industrial storage conditions and develop controlled-release formulations.

Keywords: Integrated pest management (IPM), LC_{50}, LT_{50}, Plant derivatives, Stored-product pests

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۴۰ شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص. ۶۷۵-۶۶۵

ارزیابی سمیت تدخینی اسانس پونه (*Mentha longifolia*) علیه حشرات بالغ سوسک شیره‌خوار خرما *Carpophilus hemipterus* (Coleoptera: Nitidulidae)

رضوان نیک‌نفس[۱]- کمال احمدی[۱*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۴

چکیده

سوسک شیره‌خوار خرما، *Carpophilus hemipterus* (Linnaeus) یکی از آفات مهم انباری خرما است که موجب کاهش کمّی و کیفی محصول و انتقال ریزجانداران تولیدکننده آفلاتوکسین می‌شود. کنترل شیمیایی این آفت با سموم تدخینی متداول مانند فسفین و متیل‌بروماید، با مشکلاتی از جمله مقاومت، باقی‌مانده‌های سمی و اثرات زیست‌محیطی همراه است. اسانس‌های گیاهی به‌عنوان جایگزین‌های ایمن و مؤثر در مدیریت تلفیقی آفات مورد توجه قرار گرفته‌اند. هدف از این مطالعه، بررسی سمیت تدخینی اسانس پونه، *Mentha longifolia* (Linnaeus) بر حشرات بالغ *C. hemipterus* بود. جمعیت آزمایشی آفت از انبار خرما در استان کرمان جمع‌آوری و در شرایط کنترل‌شده پرورش یافت. اسانس پونه از بخش‌های هوایی تازه گیاه به‌روش تقطیر با آب استخراج شد و ترکیبات شیمیایی آن با GC–MS شناسایی گردید. آزمایش‌های زیست‌سنجی شامل تعیین مقادیر غلظت کشنده (LC_{50}) در زمان‌های تماس ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت و شاخص زمان کشنده (LT_{50}) در غلظت‌های ۲۰ و ۳۵ میکرولیتر در لیتر با استفاده از روش رهایش تدخینی انجام شد. تحلیل GC–MS نشان داد که اسانس شامل ۱۶ ترکیب اصلی است که بیشترین فراوانی مربوط به پولیگون (۶۳/۲۴ درصد)، ۱،۸-سینئول (۹/۱۴ درصد)، منتوفوران (۹/۱۱ درصد) و ایزومرهای منتون (۴/۴۱–۱/۸۲ درصد) است. نتایج آزمایش‌های زیست‌سنجی نشان داد که سمیت تدخینی اسانس وابسته به دُز و زمان تماس است؛ LC_{50} با افزایش مدت تماس از ۳۵/۵۸ میکرولیتر در لیتر در ۲۴ ساعت به ۵/۵۷ میکرولیتر در لیتر در ۷۲ ساعت کاهش یافت. همچنین LT_{50} با افزایش غلظت اسانس کاهش یافت و از ۸۸/۹۲ ساعت در ۲۰ میکرولیتر در لیتر به ۲۶/۶۴ ساعت در ۳۵ میکرولیتر در لیتر رسید، که نشان‌دهنده تأثیر مستقیم ترکیبات فرار بر سیستم عصبی حشرات است. نتایج این آزمایش نشان داد که اسانس گیاه پونه یک حشره‌کش تدخینی مؤثر و سازگار با محیط زیست برای مهار *C. hemipterus* است و می‌تواند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات انباری جایگزین سموم شیمیایی شود. تحقیقات بیشتری برای ارزیابی اثر آن در مقیاس صنعتی و طراحی سامانه‌های رهایش کنترل‌شده توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آفات انباری، مدیریت تلفیقی آفات، مشتقات گیاهی، LC_{50}، LT_{50}

مقدمه

محصولات ذخیره‌ای به‌ویژه میوه‌های خشک، حبوبات و غلات، نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی جهانی دارند و در بسیاری از مناطق گرمسیری و کشورهای در حال توسعه، خسارت‌های کمّی و کیفی ناشی از آفات انباری همچنان یک چالش جدی محسوب می‌شود (Shakarami et al., 2004; Sohrabi et al., 2024; Bagheri-Khanimani et al., 2025; Rangriz & Khosravi, 2024). خرما *Phoenix dactylifera* (Linnaeus) نیز به‌عنوان یکی از محصولات باغی ارزشمند، همواره در معرض حمله آفات مختلف قرار دارد که برجسته‌ترین آن‌ها سوسک شیره خوار خرما *Carpophilus hemipterus* (Linnaeus) است (Sohrabi et al., 2016; Bansal et al., 2024). این آفت جهانی در طیف وسیعی از کشورهای تولیدکننده خرما مشاهده شده و در انبارهای نگهداری، محل‌های ذخیره‌سازی مواد غذایی و حتی روی میوه‌های رسیده در باغ‌ها مشکل‌آفرین است (Bansal et al., 2024). تغذیه لارو و

۱- بخش گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: kahmadi@uk.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/JPP.2026.97128.1271

حشرات بالغ از پالپ خرما باعث کاهش کمّی محصول، افت کیفیت و ارزش بازاری آن شده و همچنین می‌تواند ناقل ریزجاندارانی باشد که آفلاتوکسین تولید می‌کنند (Bansal et al., 2024; Rangriz & Khosravi, 2024; Sohrabi et al., 2016). تحمل بالای *C. hemipterus* نسبت به دماهای بالا، حضور مستمر آن در مناطق خرماخیز را تضمین می‌کند (Bansal et al., 2024). مهار این آفت اغلب با سموم تدخینی شیمیایی مانند فسفین و متیل‌بروماید انجام شده است (Ghafari et al., 2022; Hamzepour et al., 2023; Jafari et al., 2021). با وجود اثربخشی، استفاده مکرر از این ترکیبات موجب پیدایش مقاومت در جمعیت آفات مانند شپشه قرمز آرد *Tribolium castaneum* (Herbst) (Bagheri-Khanimani et al., 2025; Mirzaei et al., 2025)، باقی‌مانده‌های سمی در مواد غذایی، تخریب لایه اوزون (Jafari et al., 2021; Hamzepour et al., 2023) و تهدید سلامت انسان و موجودات غیرهدف شده است (Ghafari et al., 2022; Rangriz & Khosravi, 2024; Shakarami et al., 2004; Momen Beitollahi et al., 2022). این محدودیت‌ها، ضرورت به‌کارگیری جایگزین‌های ایمن، مؤثر، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط زیست را در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات بیش از پیش آشکار می‌کند (Bagheri-Khanimani et al., 2025; Hamzepour et al., 2023; Ghafari et al., 2022).

در سال‌های اخیر، اسانس‌های گیاهی به‌دلیل منشأ طبیعی و ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود به‌عنوان گزینه‌ای مؤثر در مهار آفات معرفی شده‌اند. این ترکیبات فرّار و زیست‌تخریب‌پذیر هستند، برای انسان، پستانداران و محیط زیست کم‌خطرند و برخلاف سموم مصنوعی سنتی، مقاومت گسترده، باقی‌مانده پایدار و آسیب‌های محیط‌زیستی ایجاد نمی‌کنند (Rangriz & Khosravi, 2024; Hamzepour et al., 2023; Ghafari et al., 2022; Jafari et al., 2021; Bagheri-Khanimani et al., 2025; Kiani et al., 2024; Shakarami et al., 2004). فرّار بودن و تجزیه سریع آن‌ها همچنین باعث می‌شود که در محیط و محصولات انبارشده باقی‌مانده سمی ایجاد نشود و برای استفاده در محیط‌های بسته مانند انبارها مناسب باشند (Shakarami et al., 2004; Mirzaei et al., 2025; Hamzepour et al., 2023; Bagheri-Khanimani et al., 2025). علاوه‌بر این، اسانس‌ها دارای سازوکارهای عمل چندگانه هستند، از جمله اثر مستقیم حشره‌کشی، بازدارندگی تغذیه و اختلال در تخم‌ریزی که احتمال شکل‌گیری مقاومت در جمعیت آفات را کاهش می‌دهد (Mirzaei et al., 2025; Momen Beitollahi et al., 2022; Rangriz & Khosravi, 2024; Shakarami et al., 2004).

مطالعات پیشین، اثربخشی این ترکیبات را علیه آفات مختلف انباری و مزرعه‌ای تأیید کرده‌اند. به‌طور مثال، اسانس‌های بومادران *Achillea millefolium* (Linnaeus) و آویشن دنایی (Celak.) *Thymus daenensis* باعث مرگ حشرات بالغ سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) و بید غلات *Sitotroga cerealella* (Olivier) شده‌اند و در غلظت‌های بالا منجر به تلفات بالغ گردیده است (Rangriz & Khosravi, 2024; Mahmoudvand et al., 2022; Hatami Bavarsad et al., 2020; Shakarami et al., 2004). همچنین اسانس‌های گل رز *Rosa damascene* (Herrm.)، یاس *Jasminum officinale* (Linnaeus) و بهارنارنج *Citrus aurantium* (Linnaeus) علیه لارو شب‌پره آرد مدیترانه *Ephestia kuehniella* (Zeller) اثرات کشنده قابل توجهی نشان داده‌اند (Hamzepour et al., 2023). ترکیباتی مانند زیره سیاه *Carum carvi* (Linnaeus)، زنیان *Trachyspermum ammi* (Linnaeus)، رازیانه *Foeniculum vulgare* (Mill.) و باریجه *Ferula gummosa* (Boiss.) سمیت قابل توجهی علیه شپشه دندانه‌دار برنج *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) و شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) داشته‌اند و در بررسی‌های انجام‌شده، گیاه آویشن *Thymus serpyllum* (Linnaeus) نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای را علیه کنه بنه زعفران *Rhizoglyphus robini* (Claparede) نشان داده است (Kiani et al., 2024; Honarmand & Nateq Golestan, 2023; Mirzaei et al., 2025).

در زمینه اثرات زیرکشنده، اسانس‌ها باعث تغییرات فیزیولوژیک از جمله افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پراکسیداسیون لیپیدی در برخی از آفات شده‌اند (Mahmoudvand et al., 2022). همچنین اثرات بازدارندگی از تخم‌ریزی و کاهش تغذیه در حشرات برگ‌خوار و کاهش رشد جمعیت آفات مهمی مانند بید سیب‌زمینی *Phthorimaea operculella* (Zeller) و شته مومی کلم مشاهده شده است (Momen Beitollahi et al., 2022; Kiani et al., 2024; Jafari et al., 2021; Shakarami et al., 2004).

ترکیب اسانس‌ها با عوامل بیولوژیک یا مواد غیرفعال، مانند اختلاط اسانس گیاه مورد *Origanum vulgare* (Linnaeus) با خاک دیاتومه در مهار شپشه گندم *Sitophilus granarius* (Linnaeus) موجب توقف چرخه تولید نسل شده است (Yazdanian & Reihani, 2021). در برخی موارد نیز اثرات متضاد مانند استفاده از دماهای پایین همراه برخی اسانس‌ها مشاهده شده است (Rajaei et al., 2021). توسعه فرمولاسیون‌های نوین شامل استفاده از فناوری نانو برای افزایش پایداری و کارآیی اسانس‌ها، در مهار آفات مانند سنک عناب *Monosteira alticarinata* (Ghauri) مورد توجه قرار گرفته است (Mirzaei et al., 2025). در غلظت‌های پایین، اسانس‌ها آثار منفی بر دشمنان طبیعی مانند زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* (Bezdenko) نداشته‌اند که سازگاری آن‌ها با برنامه‌های IPM را نشان می‌دهد (Jafari et al., 2021). برآیند این

یافته‌ها نشان می‌دهد که اسانس‌های گیاهی، با توجه به ایمنی، کارآیی چندجانبه و قابلیت کاربرد در مدیریت تلفیقی آفات، گزینه‌های مؤثری برای مهار آفات انباری و کشاورزی هستند (Ghafari et al., 2022; Amjad et al., 2022; Honarmand & Nateq Golestan, 2023).

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که ترکیبات طبیعی به‌ویژه اسانس‌های گیاهی، پتانسیل بالایی در مهار آفات خرما و میوه‌های خشک دارند. برای مثال، اسانس‌های برگ اکالیپتوس (Labill.) *Eucalyptus globulus* و مرزنجوش (Moench) *Majorana hortensis* سمیت تدخینی قابل توجهی علیه حشرات بالغ *C. hemipterus* ایجاد کرده‌اند (Sohrabi et al., 2016).

در میان اسانس‌های گیاهی، پونه (Linnaeus) *Mentha longifolia* به‌دلیل وجود ترکیبات مونوترپنوئیدی فعال مانند کاروون، منتوفوران، ترپینول و پولیگون[1] (Rangriz & Khosravi, 2024) یکی از مؤثرترین گزینه‌ها برای کنترل تدخینی آفات انباری محسوب می‌شود. بررسی‌ها نشان داده‌اند که این اسانس علیه حشرات بالغ *C. maculatus* در غلظت‌های بالا تلفات ۱۰۰ درصد ایجاد می‌کند (Rangriz & Khosravi, 2024) و LC_{50} بسیار پایینی برابر با ۰/۰۴ میکرولیتر در لیتر هوا در لارو سن چهارم *S. cerealella* دارد (Mahmoudvand et al., 2022). سمیت آن بر لارو *S. cerealella* با ایجاد تنش اکسیداتیو و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) همراه است (Mahmoudvand et al., 2022). علاوه‌بر این، اثر کشندگی اسانس پونه بر حشرات بالغ *T. castaneum* تا حدود ۲۰ روز پایدار باقی مانده است که این ویژگی برای انبارداری محصولات مهمی مانند خرما حیاتی است (Bagheri-Khanimani et al., 2025).

با توجه به خسارت جدی *C. hemipterus* و نیاز به جایگزین‌های ایمن برای سموم شیمیایی، این مطالعه با هدف بررسی و ارزیابی سمیت تدخینی اسانس پونه بر حشرات بالغ *C. hemipterus* طراحی شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند راهبردی پایدار برای محافظت از میوه خرما ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

الف- پرورش آفت انباری سوسک شیره خوار خرما

جمعیت اولیه آفت سوسک شیره‌خوار خرما از یک انبار خرمای رقم مضافتی در شهرستان عنبرآباد، استان کرمان جمع‌آوری و به کرمان منتقل شد. پس از شناسایی و تأیید گونه در بخش گیاه‌پزشکی دانشگاه شهید باهنر کرمان، جمعیت اولیه به همراه خرما و مقدار اندکی هندوانه (جهت تأمین رطوبت کلنی) در دو سطل پلاستیکی به ارتفاع ۲۶ سانتی‌متر و قطر ۲۸ سانتی‌متر قرار داده شد. برای تأمین تهویه مناسب، در مرکز درب سطل‌ها، سوراخ‌هایی به قطر ۱۲ سانتی‌متر ایجاد و با پارچه توری و چسب پوشانده شد. سطل‌ها در دمای ۲۵ ± ۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۲۰ ± ۱۰ درصد و در شرایط تاریکی در داخل اتاقک رشد نگهداری گردید. این حشرات چندین نسل در شرایط ذکرشده در بالا پرورش داده شدند. شفیره‌های حشره جمع‌آوری و به ظروف نگهداری مجزا منتقل شدند و پس از خروج حشرات از شفیره، به‌دلیل دشواری تشخیص جنسیت نر و ماده حشرات بالغ جوان، حشرات بالغ بدون توجه به جنسیت برای انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی از کلنی جداسازی شدند.

ب- استخراج اسانس گیاه پونه

پس از شناسایی گونه گیاه پونه، در اواخر تیرماه در طول زمان گل‌دهی گیاه، بخش‌های هوایی گیاه از رویشگاه طبیعی این گونه در نزدیکی آبشار راین، استان کرمان (با مختصات ۲۹ درجه و ۳۳ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی و ۵۷ درجه و ۱۷ دقیقه و ۴۸ ثانیه شرقی و ارتفاع ۱۱۸۵ متر از سطح دریا) به‌مقدار ۱۰ کیلوگرم جمع‌آوری شد. فرآیند اسانس‌گیری به‌روش تقطیر با آب و به‌وسیله دستگاه کلونجر انجام گردید. ابتدا قسمت‌های هوایی تازه گیاه با دستگاه خردکن آسیاب شد و سپس یک کیلوگرم از ماده خردشده به بالن دو لیتری منتقل گردید، به‌گونه‌ای که حدود نصف حجم بالن را پر کند. سپس بالن با آب مقطر پر شد، کندانسور (مبرد) روی آن نصب و دستگاه روی هیتر قرار گرفت. حداقل زمان لازم برای تقطیر چهار ساعت بود. در پایان فرآیند، لایه روغنی تشکیل‌شده در بخش فوقانی با باز کردن شیر خروجی جدا و در ویال شیشه‌ای حدود شش گرم جمع‌آوری شد. ویال در فریزر قرار گرفت تا آب باقی‌مانده منجمد شده و اسانس خالص جدا گردد. اسانس‌های استخراجی در ویال شیشه‌ای تیره، در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد، دور از نور، تا زمان آزمایش نگهداری شدند. این اسانس برای انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های اسانس استخراج‌شده از گیاه پونه پس از آماده‌سازی، جهت تعیین ترکیب شیمیایی و شناسایی اجزای فعال به شرکت پژوهشی کیمیا شنگرف پارس ارسال گردید. آنالیز نمونه‌ها با استفاده از تکنیک GC–MS (Gas Chromatography–Mass Spectrometry) انجام شد و داده‌های حاصل از این آنالیز برای استخراج مشخصات بالغ شیمیایی اسانس و تهیه جدول ترکیب اجزای آن مورد استفاده قرار گرفت.

ج- آزمایش‌های زیست‌سنجی برای تعیین LC_{50} و LT_{50}

آزمایش مقدماتی و تعیین دامنه غلظت

برای انتخاب غلظت‌های مناسب اسانس پونه، ابتدا دو تیمار

۱- Pulegone

آزمایشی هرکدام در دو تکرار شامل ۱۰۰ میکرولیتر اسانس در لیتر و شاهد (فاقد اسانس) مورد استفاده قرار گرفت. اسانس توسط میکروپیپت بر روی کاغذ بلاتر (برند Panda)(Blotter Paper) به ابعاد ۷/۵×۰/۷ سانتی‌متر در چند نقطه کاغذ ریخته شد؛ انتخاب بلاتر به‌دلیل جذب بیشتر و ضخامت بالاتر نسبت به کاغذ معمولی بود.

برای هر تیمار، ظرف پلاستیکی به ارتفاع سه سانتی‌متر و قطر ۵/۳ سانتی‌متر آماده و ۱۰ عدد حشره بالغ و جوان به همراه مقدار کمی خرما به‌عنوان غذا داخل آن قرار گرفت. درپوش ظرف با پارچه توری ریزبافت پوشانده و با کش بسته شد. سپس این ظرف درون ظرف بزرگ‌تر درپوش‌دار به قطر ۸/۵ سانتی‌متر، ارتفاع ۶/۵ سانتی‌متر و حجم ۳۲۰ سانتی‌متر مکعب قرار داده شد و کاغذ بلاتر آغشته به اسانس نیز در کنار آن گذاشته شد. با توجه به اینکه غلظت مورد نظر ۱۰۰ میکرولیتر در لیتر بود، غلظت متناظر برای حجم ۳۲۰ سانتی‌متر مکعب برابر با ۳۲ میکرولیتر محاسبه و با سمپلر کالیبره‌شده بر روی کاغذ بلاتر اعمال گردید. سپس درپوش ظرف با سلفون (Cellophane)پوشانده و محکم شد. دو تیمار شاهد نیز با همین شرایط امّا بدون اسانس اجرا گردید. تمامی تیمارها در دمای ۲۵ ± ۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۲۰ ± ۱۰ درصد و شرایط تاریکی نگهداری شدند.

پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت، مرگ حشرات با عدم واکنش به لمس قلم‌موی نرم و نبود هرگونه حرکت طی ۳۰ ثانیه تشخیص داده شد و درصد تلفات حشرات در هر تیمار محاسبه گردید. نتایج این آزمایش مقدماتی برای انتخاب غلظت‌های مورد استفاده در آزمایش اصلی به کار رفت.

آزمایش محاسبه شاخص سمیت (LC_{50})

براساس نتایج آزمایش مقدماتی، غلظت‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میکرولیتر در لیتر انتخاب شدند (هرکدام با سه تکرار) و همراه با چهار تکرار شاهد اجرا گردید. تمامی مراحل آزمایش مشابه آزمایش مقدماتی رعایت شد. برای جلوگیری از خشک شدن خرما (به‌عنوان غذا)، مقدار کمی هندوانه نیز به ظرف‌ها اضافه گردید. شرایط دمایی، رطوبتی و تاریکی مشابه قبل بود. شمارش مرگ‌ومیر حشرات در ساعات ۲۴، ۴۸ و ۷۲ انجام شد و درصد تلفات هر تیمار محاسبه گردید. پس از اصلاح درصد مرگ‌ومیر تیمارها با فرمول Abbott (Abbott, 1925)، شاخص سمیت (LC_{50}) محاسبه شد. تحلیل دُز-پاسخ با استفاده از مدل رگرسیون پروبیت براساس روش فینی (Finney) انجام گرفت و مقادیر LC_{50} وLT_{50} به‌همراه حدود اطمینان ۹۵ درصد از طریق برازش مدل Probit regression برآورد گردید. داده‌های حاصل نیز برای تحلیل‌های آماری تکمیلی در نرم‌افزار StatPlus 2007 پردازش شدند.

آزمایش‌های تعیین شاخص زمان کشندگی LT_{50}

براساس نتایج مراحل قبلی، برای تعیین LT_{50}، غلظت‌های ۲۰ و ۳۵ میکرولیتر در لیتر اسانس پونه انتخاب گردید. برای هر غلظت، دو تکرار در نظر گرفته شد و شاهد نیز با دو تکرار اجرا شد. مراحل انجام آزمایش مشابه مراحل محاسبه شاخص سمیت LC_{50} بود. در طول کل دوره آزمایش، دما در ۲۵ ± ۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی در ۲۰ ± ۱۰ درصد و شرایط تاریکی ثابت نگه داشته شد. شمارش مرگ‌ومیر حشرات هر شش ساعت تا ۷۲ ساعت انجام شد. محاسبات آماری برای تعیین شاخص زمان کشندگی (LT_{50}) نیز مشابه روش استفاده شده در آزمایش LC_{50} صورت گرفت.

نتایج

ترکیب شیمیایی اسانس پونه (*M. longifolia*) براساس تحلیل GC–MS

آنالیز GC–MS اسانس پونه نشان داد که اسانس شامل ۱۶ ترکیب شیمیایی اصلی است (جدول و شکل ۱). بیشترین فراوانی مربوط به پولیگون با ۶۳/۲۴ درصد بود. سایر ترکیبات شناسایی‌شده شامل ۸،۱- سینئول (۹/۱۴ درصد)، منتوفوران (۹/۱۱ درصد)، منتون و ایزومر آن (۱/۸۲–۴/۴۱ درصد) و پیپریتِنون اکسید و ایزومرهای آن (۲/۵۳–۱/۱۳ درصد) بودند. همچنین مقادیر کمی از α–پینن، β–پینن، سابینن، لیمونن و β–مایرسن (۰/۱۷-۱/۵۹ درصد) شناسایی شد.

شاخص‌های بازداری تجربی (RI) برای هر ترکیب با شاخص‌های بازداری مرجع (RI) از کتابخانه آدامز(Adams, 2017) مقایسه شد و تطابق قابل توجهی بین داده‌های تجربی و مرجع مشاهده گردید. مقادیر ارائه‌شده به‌صورت درصدی از کل اسانس بیان شده‌اند.

مقادیر غلظت کشنده (LC_{50}) اسانس پونه (*M. longifolia*) علیه *C. hemipterus* در زمان‌های مختلف تماس

مقادیر LC_{50} اسانس پونه علیه حشرات بالغ *C. hemipterus* در زمان‌های تماس ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت تعیین شد (جدول ۲). شاخص سمیت LC_{50} کاهش معناداری با افزایش مدت تماس نشان داد، به‌طوری‌که از ۳۵/۵۸ میکرولیتر در لیتر در ۲۴ ساعت به ۵/۵۷ میکرولیتر در لیتر بعد از ۷۲ ساعت رسید. برای هر زمان تماس، شیب پروبیت (β) به همراه خطای استاندارد آن، حدود اطمینان ۹۵ درصد (UCLوUCL)، و مقادیر آماره χ^2، درجات آزادی و p-value محاسبه و ارائه شد. نتایج نشان‌دهنده برازش مناسب مدل پروبیت به داده‌های دُز–پاسخ در تمامی زمان‌های تماس بود.

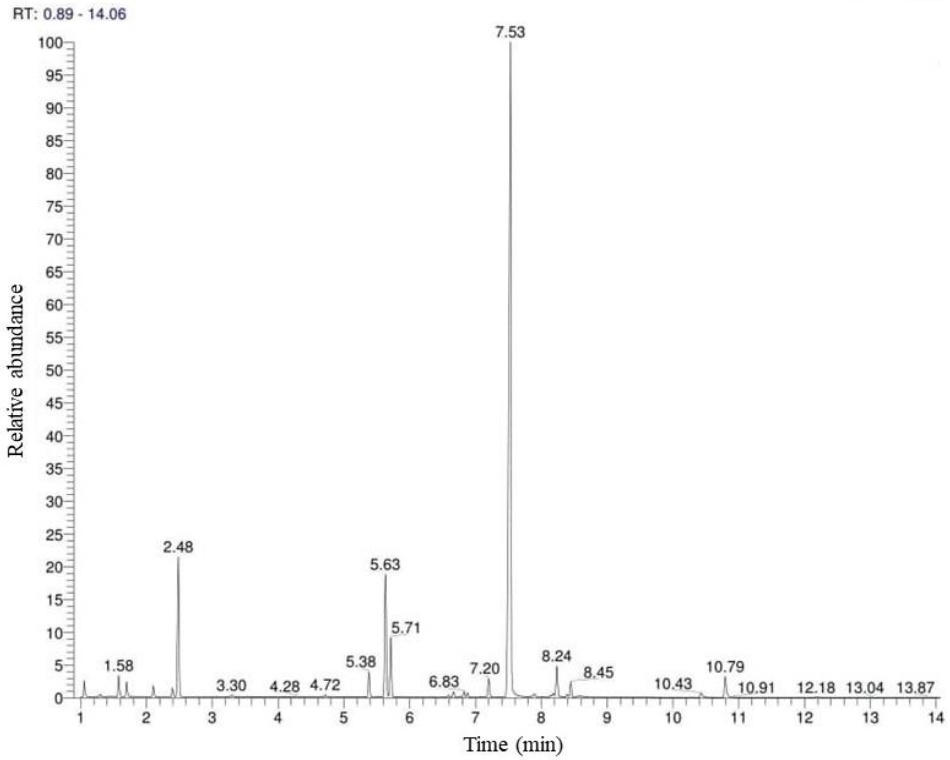
جدول ۱- ترکیب شیمیایی روغن اسانسی پونه (*Mentha longifolia*) براساس تحلیل GC–MS

Table 1- Chemical composition of *Mentha longifolia* essential oil analyzed by GC–MS

No.	Compound	CAS number	Retention time (min)	Retention index (RI)[a]	Retention index (RI)[b]	Percentage (%)	Chemical formula
1	α-Pinene	80-56-8	1.05	1024	932	1.00	$C_{10}H_{16}$
2	Camphene	79-92-5	1.30	1040	946	0.17	$C_{10}H_{16}$
3	β-Pinene	127-91-3	1.58	975	974	1.59	$C_{10}H_{16}$
4	Sabinene	3387-41-5	1.70	1080	969	1.08	$C_{10}H_{16}$
5	β-Myrcene	123-35-3	2.10	991	988	0.96	$C_{10}H_{16}$
6	Limonene	138-86-3	2.39	1030	1024	0.55	$C_{10}H_{16}$
7	1,8-Cineole	470-82-6	2.48	1031	1026	9.14	$C_{10}H_{18}O$
8	Menthone	89-80-5	5.38	1178	1148	1.82	$C_{10}H_{18}O$
9	Menthofuran	494-90-6	5.63	1191	1159	9.11	$C_{10}H_{14}O$
10	Menthone (isomer)	491-07-6	5.71	1180	1158	4.41	$C_{10}H_{18}O$
11	Pulegone (isomer)	89-82-7	6.66	1210	1233	0.42	$C_{10}H_{16}O$
12	Pulegone (isomer)	89-82-7	6.83	1212	1233	0.38	$C_{10}H_{16}O$
13	Pulegone	89-82-7	7.53	1235	1233	63.24	$C_{10}H_{16}O$
14	Piperitenone oxide	35178-55-3	8.24	1250	1366	2.53	$C_{10}H_{14}O_2$
15	Piperitenone oxide (isomer)	35178-55-3	8.45	1255	1366	1.13	$C_{10}H_{14}O_2$
16	Piperitenone oxide (isomer)	35178-55-3	10.79	1260	1366	2.17	$C_{10}H_{14}O_2$

توجه: مقادیر به‌صورت درصدی از ترکیب کل روغن اسانسی بیان شده‌اند. a: شاخص‌های بازداری تجربی (RI) تقریبی بوده و براساس داده‌های معمول GC–MS تعیین شده‌اند. b: شاخص‌های بازداری مرجع (RI) از کتابخانه آدامز (Adams, 2017) استخراج شده‌اند.

Note: Values are expressed as percentages of the total essential oil composition. a: Experimental retention indices (RI) are approximate and based on typical GC–MS data. b: Reference retention indices (RI) are taken from Adams library (Adams, 2017).



شکل ۱- کروماتوگرام GC-MS اسانس پونه (*Mentha longifolia*) که ترکیبات مختلف آن در بازه زمانی ۰/۸۹ تا ۱٤/۰٦ دقیقه شناسایی شده‌اند

Figure 1- GC–MS chromatogram of *Mentha longifolia* essential oil, in which its various components were identified within the retention time range of 0.89 to 14.06 minutes

جدول ۲- مقادیر غلظت کشنده (LC_{50}) اسانس پونه (*Mentha longifolia*) روی سوسک *Carpophilus hemipterus* در زمان‌های مختلف تماس

Table 2- Lethal concentration (LC_{50}) values of *Mentha longifolia* essential oil against *Carpophilus hemipterus* at different exposure times

Exposure time (h)	LC_{50} (µL L^{-1})	SE	LC_{50} LCL* (95% CI)	LC_{50} UCL** (95% CI)	β (Probit Slope) ±SE	χ^2	df	p-value
24	35.58	2.87	29.84	40.94	6.55±1.13	0.039	4	0.9998
48	9.98	4.72	2.88	17.27	2.43±0.50	0.045	4	0.9997
72	5.57	1.72	2.61	8.62	1.97±0.28	0.136	4	0.9978

*حد پایین بازه اطمینان ۹۵ درصد برای مقدار LC_{50}

(Lower Confidence Limit) LCL *

**حد بالای بازه اطمینان ۹۵ درصد برای مقدار LC_{50}

(Upper Confidence Limit) UCL **

مقادیر زمان کشنده (LT_{50}) اسانس پونه (*M. longifolia*) روی حشرات بالغ *C. hemipterus* در غلظت‌های مختلف

مقادیر LT_{50} اسانس پونه علیه حشرات بالغ *C. hemipterus* در دو غلظت ۲۰ و ۳۵ میکرولیتر در لیتر تعیین شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که LT_{50} با افزایش غلظت کاهش یافت، به‌طوری‌که زمان کشندگی نیمه مؤثر از ۸۸/۹۲ ساعت در غلظت ۲۰ میکرولیتر در لیتر به ۲۶/۶۴ ساعت در غلظت ۳۵ میکرولیتر در لیتر رسید. برای هر غلظت، شیب پروبیت (β) همراه با خطای استاندارد، حدود اطمینان ۹۵ درصد (UCL وLCL) و مقادیر آماره χ^2، درجات آزادی و p-value محاسبه و ارائه شد. تمامی داده‌ها براساس مدل پروبیت و تحلیل زمان–دُز برازش داده شدند و نشان‌دهنده اعتبار مدل آماری مورد استفاده بود.

جدول ۳- مقادیر زمان کشنده (LT_{50}) اسانس پونه (*Mentha longifolia*) روی سوسک *Carpophilus hemipterus* در غلظت‌های مختلف

Table 3- Lethal time (LT_{50}) values of *Mentha longifolia* essential oil against *Carpophilus hemipterus* at different concentrations

Concentration (µL L^{-1})	LT_{50} (h)	SE	LT_{50} LCL* (95% CI)	LT_{50} UCL** (95% CI)	β (Probit Slope) ±SE	χ^2	df	p-value
20	88.92	21.90	65.65	170.77	1.88±0.41	3.14	10	0.9780
35	26.64	2.22	22.28	30.89	2.85±0.36	3.81	10	0.9556

*حد پایین بازه اطمینان ۹۵ درصد برای مقدار LT_{50}

(Lower Confidence Limit) **LCL** *

**حد بالای بازه اطمینان ۹۵ درصد برای مقدار LC_{50}

(Upper Confidence Limit) **UCL** **

نتایج این پژوهش نشان داد که اسانس پونه دارای توان بالقوه بالایی در ایجاد سمیت تدخینی علیه حشرات بالغ *C. hemipterus* است، به‌طوری که مقادیر LC_{50} با گذر زمان کاهش معنی‌دار داشت و LT_{50} نیز با افزایش غلظت کاهش یافت. این الگو، وابستگی سمیت به زمان و دُز ترکیبات فرّار را تأیید می‌کند و با یافته‌های مطالعات پیشین درباره سایر اسانس‌های گیاهی هم‌خوانی دارد. برای مثال، در *T. castaneum*، اسانس پونه در غلظت ۲۶/۶۷ میکرولیتر بر لیتر باعث ۸۲/۵ درصد مرگ‌ومیر شد و LC_{50} آن ۱۵/۲۶ میکرولیتر بر لیتر برآورد گردید که نشان می‌دهد ترکیبات غالب پونه می‌توانند به‌طور مشابه روی گونه‌های مختلف اثر کشندگی داشته باشند. مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که افزایش زمان تماس حشرات با اسانس‌های گیاهی، سمیت را افزایش و LC_{50} را کاهش می‌دهد؛ به‌عنوان نمونه، LC_{50} اسانس پونه روی سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات از ۲۸/۵۴ به ۱۴/۲۳ میکرولیتر در لیتر و LC_{50} اسانس زیره سیاه روی شپشه دندانه‌دار برنج از ۰/۷۰۱ به ۰/۳۹۴ میکرولیتر/گرم کاهش یافت (Rangriz & Khosravi, 2024; Mirzaei et al., 2025) و اثرات زیرکشنده مانند کاهش باروری نیز با افزایش زمان تقویت می‌شود (Rajaei et al., 2021). این نتایج نشان می‌دهد که تماس طولانی‌تر باعث جذب بیشتر ترکیبات فعال و افزایش سمیت حشرات می‌شود. ترکیب‌یابی GC–MS در مطالعه حاضر نشان داد که پولیگون، منتوفوران، ایزومرهای منتون و ۸،۱–سینئول اجزای غالب اسانس پونه هستند. نتایج مشابهی در مطالعات روی آفات دیگر نیز گزارش شده است و این ترکیبات اغلب به‌عنوان عوامل مؤثر در سمیت تنفسی شناسایی شده‌اند. برای مثال، روغن اسانسی *M. pulegium* با غلظت بالای پولیگون دارای LC_{50} برابر با ۷/۳۳ میکرولیتر بر لیتر علیه *T. castaneum* بود (Sohrabi et al., 2024) که این نتیجه با سهم

بالای پولیگون در اسانس مطالعه حاضر مطابقت دارد. افزون بر این، بررسی‌ها نشان داده‌اند که ۸،۱-سینیول و کارواکرول، که در برخی گونه‌های جنس *Mentha* بسیار فراوان هستند، در غلظت‌های پایین اثرات شدیداً کشنده بر *C. maculatus* داشته‌اند (Ajayi et al., 2014)؛ بنابراین مشاهده سمیت قابل توجه در مطالعه حاضر احتمالاً ناشی از نقش ترکیبات مونوترپنوئیدی فرار در اختلال در انتقال پیام‌های عصبی از جمله گیرنده‌های اکتوپامینرژیک و مهار استیل‌کولین‌استراز است که در پژوهش‌های پیشین نیز به آن اشاره شده است (Ajayi et al., 2014; Bansal et al., 2024).

مقایسه یافته‌های این تحقیق با نتایج گزارش‌شده برای *C. hemipterus* در سایر مطالعات نشان می‌دهد که عملکرد اسانس پونه مشابه یا حتی در برخی موارد قوی‌تر از سایر اسانس‌های گیاهی بوده است. به‌عنوان نمونه، اسانس *Eucalyptus maidenii* موجب ۹۸ درصد مرگ‌ومیر *C. hemipterus* در غلظت ۷۴/۷۳ میکرولیتر بر لیتر پس از ۲۴ ساعت شد (Soltani et al., 2020) و اسانس *M. hortensis* مرگ‌ومیر ۱۰۰ درصد لاروهای *C. Hemipterus* را در غلظت ۶۶۶/۶۶ میکرولیتر بر لیتر پس از ۷۲ ساعت ایجاد کرده است (Sohrabi et al., 2016). بنابراین، نتایج حاضر نشان می‌دهد که اسانس *M. longifolia* در محدوده سمیت گزارش‌شده برای سایر گیاهان دارویی با کاربرد تدخینی قرار می‌گیرد و قابلیت رقابتی بالایی دارد.

اثربخشی اسانس *M. longifolia* در مطالعات صورت‌گرفته بر سایر آفات نیز به‌طور گسترده تأیید شده است. برای مثال، در آفت *C. maculatus* غلظت ۸۰ میکرولیتر بر لیتر موجب تلفات ۱۰۰ درصدی شده است (Rangriz & Khosravi, 2024). همچنین رفتارهای عصبی ـ حرکتی مختل‌شده نظیر جمع شدن پاها و کاهش شدید دفع نیز در این گونه گزارش شده است. نتایج مشابهی در بید غلات *S. cerealella* ثبت شده که برای آن LC_{50} بسیار پایین ۰/۰۴ میکرولیتر بر لیتر گزارش شده است (Mahmoudvand et al., 2022). علاوه‌بر سمیت مستقیم، برخی مطالعات نشان داده‌اند که اسانس پونه باعث ایجاد تنش اکسیداتیو از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز و افزایش مالون‌دی‌آلدئید می‌شود (Mahmoudvand et al., 2022) که این مسیر می‌تواند یک سازوکار مکمل در ایجاد مرگ‌ومیر باشد.

براساس مجموعه این شواهد، مشخص است که اسانس پونه دارای طیف عملکرد گسترده‌ای بر گونه‌های مختلف آفات انباری است و می‌تواند به‌عنوان یک گزینه جدی در مدیریت آفات معرفی شود. ویژگی‌های برجسته‌ای مانند فراریت بالا، تجزیه سریع و عدم بر جای گذاشتن باقی‌مانده، ایمنی نسبی برای پستانداران و همچنین امکان ترکیب با عوامل زیستی مانند قارچ *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin که اثر هم‌افزایی نشان داده است (Bagheri-Khanimani et al., 2025)، جایگاه آن را در برنامه‌های IPMتقویت می‌کند. این مزایا به‌ویژه در مقایسه با چالش‌های سموم تدخینی شیمیایی (از جمله توسعه مقاومت، باقی‌مانده‌های سمی و اثرات محیط‌زیستی) اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند.

با توجه به نتایج حاضر و شواهد گسترده موجود در مطالعات دیگر پژوهشگران، اسانس پونه را می‌توان یک عامل حشره‌کش تدخینی مؤثر و سازگار با محیط زیست برای مهار *C. hemipterus* و سایر آفات انباری دانست. بااین‌حال، انجام پژوهش‌های بیشتر برای ارزیابی کارآیی آن در مقیاس انبارهای صنعتی، پایداری اثر در حضور ماده غذایی و شرایط واقعی انبارداری، و طراحی سامانه‌های رهایش کنترل‌شده ضروری است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اسانس پونه از ظرفیت قابل‌توجهی برای کنترل تدخینی حشرات بالغ سوسک شیره‌خوار خرما برخوردار است. کاهش مقادیر LC_{50} با افزایش زمان مواجهه و کاهش LT_{50}با افزایش غلظت اسانس، بیانگر وابستگی اثر کشندگی آن به دُز و مدت تماس است. شناسایی پولیگون، منتوفوران، ایزومرهای منتون و ۸،۱-سینئول به‌عنوان ترکیبات غالب اسانس نیز نشان می‌دهد که مونوترپنوئیدهای فرّار احتمالاً در بروز این اثر نقش مهمی دارند؛ هرچند تعیین سهم اختصاصی هر ترکیب و سازوکار دقیق اثر آن‌ها به بررسی‌های تکمیلی نیاز دارد. هم‌خوانی یافته‌های حاضر با نتایج مطالعات انجام‌شده روی سایر آفات انباری، ظرفیت بالقوه این اسانس را به‌عنوان جایگزینی گیاهی برای بخشی از تدخین‌کننده‌های شیمیایی متداول برجسته می‌کند. بااین‌حال، اثربخشی، ایمنی و پایداری آن در شرایط واقعی انبارداری، به‌ویژه از نظر تأثیر بر کیفیت و بوی محصولات ذخیره‌شده، سمیت برای موجودات غیرهدف و امکان استفاده در مقیاس صنعتی، باید به‌طور دقیق ارزیابی شود. در مجموع، اسانس پونه می‌تواند گزینه‌ای امیدوارکننده برای توسعه روش‌های کم‌خطرتر کنترل حشرات بالغ سوسک شیره‌خوار خرما در چارچوب مدیریت تلفیقی آفات انباری باشد، مشروط بر آنکه کارایی و ایمنی عملی آن در مطالعات تکمیلی تأیید شود.

References

1. Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, *18*(2), 265-267. https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a
2. Adams, R. P. (2017). Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (4th

ed.). Allured Publishing, Carol Stream, IL.
3. Ajayi, O. E., Appel, A. G., & Fadamiro, H. Y. (2014). Fumigation toxicity of essential oil monoterpenes to *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). *Journal of Insects*, *2014*, 917212. https://doi.org/10.1155/2014/917212
4. Amjad, L., Noori, A., Ranjbar, M., & Rezaeizadeh, G. (2022). The chemical analysis and insecticidal activity of *Francoeuria undulata* essential oil on German cockroaches (*Blattella germanica*). *Journal of Entomological Society of Iran*, *42*(3), 195-203. (in Persian). https://doi.org/10.52547/jesi.42.3.3
5. Bagheri-Khanimani, M., Sedaratian-Jahromi, A., Mohammadi, H., & Haghani, M. (2025). Integrated application of *Mentha longifolia* essential oil and *Beauveria bassiana* for managing the population of *Tribolium castaneum* under laboratory conditions. *Plant Pest Research*, *14*(4), 71-89. (in Persian). https://doi.org/10.22124/iprj.2025.29979.1627
6. Bansal, R., Burks, C. S., & Walse, S. S. (2024). Gene expression patterns to identify stable reference genes for expression analyses in *Carpophilus hemipterus* (L.) (Coleoptera: Nitidulidae). *Gene Reports*, *36*, 101982. https://doi.org/10.1016/j.genrep.2024.101982
7. Ghafari, A., Taghavi, L., Marouf, A., & Moradi, P. (2022). Comparing the insecticidal effect of eucalyptus and thyme essential oils on potato aphid (*Macrosiphom euphorbiae*). *Iranian Journal of Entomological Research*, *14*(3), 198-212. (in Persian)
8. Hamzepour, K., Ghassemi-Kahrizeh, A., & Hosseinzadeh, A. (2023). Fumigant toxicity of three essential oils of *Rosa hybrida* L., *Citrus aurantium* L., and *Ixora chinensis* L., on second, third and fourth instars larvae of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae) under laboratory conditions. *Applied Biology*, *35*(4), 43-55. (in Persian). https://doi.org/10.22051/jab.2022.38709.1456
9. Hatami Bavarsad, Sh., Zandi Sohani, N., & RajabPour, A. (2020). Fumigant toxicity and repellency of some essential oils against *Callosobruchus maculatus* (Col.: Bruchidae). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *36*(3), 404-416. (in Persian). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.128639.2674
10. Honarmand, A., & Nateq Golestan, M. (2023). Study the effect of toxicity of several plant essential oils on saffron stem mite (Acari: Acaridae) Claparède *Rhizoglyphus Robini* under laboratory conditions. *Saffron Agronomy and Technology*, *11*(2), 199-208. (in Persian). https://doi.org/10.22048/jsat.2023.391164.1484
11. Jafari, M., Rafee-Dastjerdi, H., Nouri-Ganbalani, G., Fathi, A., Hassanpour, M., & Ebadollahi, A. (2021). Fumigant toxicity of three essential oils on *Phthorimaea operculella* (Zeller) and their impacts on parasitism of *Trichogramma brassicae* (Bezdenko). *Plant Pest Research*, *11*(1), 71-85. (in Persian). https://doi.org/10.22124/iprj.2021.4846
12. Kiani, M., Karimi, J., Abbasipour, H., & Askarianzadeh, A. (2024). Fumigant toxicity of essential oil of the Galbanum, *Ferula gummosa* on biological parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Phytoallexines*, *1*(1). (in Persian)
13. Mahmoudvand, S., Shakarami, J., Alirezaei, M., Jafari, S., & Mardani-Talaee, M. (2022). Toxicity of plant essential oils three on antioxidant enzymes activity of fourth instar larvae of *Sitotroga cerealella* (Oliver). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *45*(2), 1-16. (in Persian). https://doi.org/10.22055/ppr.2022.17384
14. Mirzaei Kohsareh, F., Naseri, B., Rafiee-Dastjerdi, H., & Ebadollahi, A. (2025). Toxicity and antinutritional effects of some plant essential oils, separately and in combination, against the saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis*. *Plant Pest Research*, *14*(4), 1-15. (in Persian). https://doi.org/10.22124/iprj.2025.29020.1608
15. Momen Beitollahi, S., Vafaie, R., & Rafiea Karahrudi, Z. (2022). Investigation of effects of toxicity and healthy eating (nutritional) index of *Cinnamomum*, *Rosmarinus officinalis* L., and *Lavandula angustifolia* L. essential oils on biological stages of *Xanthogaleruca luteola* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Iranian Journal of Entomological Research*, *14*(2), 105-124. (in Persian)
16. Rajaei, A., Yazdanian, M., & Asadeh, G. (2021). Lethal and sublethal effects of low temperature, alone and in combination with eucalyptus essential oil, against adult Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella*. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *43*(4). (in Persian). https://doi.org/10.22055/ppr.2021.16769
17. Rangriz, R., & Khosravi, M. (2024). Evaluation of the biopesticidal effects of pennyroyal (*Mentha longifolia*) and yarrow (*Achillea talagonica*) essential oils native to Sistan and Baluchestan province on the cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus*). *Development Engineering Conferences Center Articles Database*, *1*(4). (in Persian)
18. Shakarami, J., Kamali, K., Moharramipour, S., & Meshkatassadat, M. H. (2004). Effects of three plant essential oils on biological activity of *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *Iranian Journal of Agriculture Science*, *35*(4). (in Persian)
19. Sohrabi, F., Kohanmoo, M. A., & Jamali, F. (2016). Fumigant toxicity of five medicinal plant essential oils against the date sap beetle, *Carpophilus hemipterus* (Linnaeus) and identification of their chemical composition. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, *39*(3). (in Persian). https://doi.org/10.22055/ppr.2016.11975
20. Sohrabi, F., Jamali, F., & Saber, M. (2024). Effect of the integrated use of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* and some plant essential oils against the red flour beetle, *Tribolium castaneum*. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, *13*(4), 399-412. (in Persian). https://doi.org/10.22034/arpp.2024.18597

21. Soltani, A., Aouadi, G., Yangui, I., Haddadi, S., Gueayed, M. B., Boushih, E., & Jemâa, J. M. B. (2020). Fumigant toxicity of two cineole-rich essential oils and their combinations for the control of *Carpophilus hemipterus* Linnaeus and *Sitophilus oryzae* Linnaeus. *Annales de l'INRGREF*, *21*, 85-101.
22. Yazdanian, M., & 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 Iranian Plant Protection Research*, *35*(2), 203-216. (in Persian). https://doi.org/10.22067/jpp.2021.69214.1015