Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)
46(4), Winter, 2024

10.22055/PPR.2024.45624.1724

Lethal effects of essential oils from eight Iranian pharmaceutical plants against two stored-product lepidopterans and their chemical composition

M. Yazdanian [1*], A. Rajaei [2]

1. ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran (mohsenyazdanian@yahoo.com)
2. Ph.D. Student, Department of Plant Protection, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan Iran

Received: 24 December 2023 Accepted: 26 February 2024

Abstract

Background and Objectives

To produce high-quality food and minimize risks from chemical applications, employing economically viable alternative methods without chemical-related drawbacks is vital. Plant essential oils (EOs) have garnered attention as potential insect pest control agents. The current study examines the lethal effects of plant EOs on the Mediterranean flour moth (*Ephestia kuehniella* Zeller) and the Indian meal moth (*Plodia interpunctella* (Hübner)).

Materials and Methods

This study examined the fumigant toxicity of eight Iranian pharmaceutical plant EOs: sweet wormwood (*Artemisia annua*), black cumin (*Elwendia persica*), Shirazi thyme (*Zataria multiflora*), costmary (*Tanacetum balsamita*), galbanum (*Ferula gummosa*), myrtle (*Myrtus communis*), lemon (*Citrus × limon*) and marjoram (*Origanum majorana*) against eggs, first instar larvae, and adults of *P. interpunctella* and *E. kuehniella*. Insects were maintained under controlled conditions at 27 ± 2 °C, 60 ± 5% R.H., and a photoperiod of 14L:10D. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) was employed to identify the compounds present in the tested plant EOs. The lethal concentration (LC) values were estimated using probit analysis based on data obtained from preliminary and main bioassays.

Results

The predominant compounds (in term of %) identified in the EOs were as follows: *A. annua*: Camphor (41.388), 1,8-Cineole (13.431); *E. persica*: α-Terpinolen (31.622), Limonene (14.524), Propanal, 2-methyl-3-phenyl- (13.180); *Z. multiflora*: Carvacrol (60.593) and Terbutaline, tris (trimethyl silyl) ether (11.229); *T. balsamita*: Carvone (42.607), (–)-Thujone (17.600); *F. gummosa*: β-Thujene (34.234), β-pinene (22.371); *M. communis*: δ-3-Carene (30.549), 1,8-Cineole (19.580), Carvacrol (13.987); *C. limon*: Limonene (55.131), and *O. majorana*: (–)-Terpinen-4-ol (34.138), γ-Terpinene (15.494). EOs exhibited comparable ovicidal activity against the eggs of both species. Notably, *A. annua* EO displayed the highest efficacy, with LC_{50} values of 58.12 µl/L air for *E. kuehniella* and 51.55 µl/L air for *P. interpunctella*. For *E. kuehniella*, the EOs of *M. communis*, *Z. multiflora*, and *F. gummosa* followed suit in terms of efficacy, while *E. persica*, *O. majorana*, *T. balsamita*, and *C. limon* EOs demonstrated the lowest ovicidal activity. Conversely, regarding *P. interpunctella*, the EOs of *M. communis*, *F. gummosa*, *Z. multiflora* and *E. persica* exhibited the next highest efficacy,

whereas *T. balsamita, O. majorana*, and *C. limon* EOs displayed the least ovicidal activity. Eggs of *P. interpunctella* exhibited slightly greater sensitivity compared to those of *E. kuehniella*. The EOs of *M. communis* and *A. annua* demonstrated the highest efficacy against first instar larvae of both species, with estimated LC_{50} values of 84.19 and 76.64 µl/L air, respectively. Following closely, EOs of *A. annua* and *F. gummosa* exhibited notable effectiveness against first instar larvae of *E. kuehniella*, while EOs of *M. communis* and *Z. multiflora* showed similar efficacy against first instar larvae of *P. interpunctella*. Conversely, the EOs of *C. limon, T. balsamita, O. majorana* and *E. persica* displayed the least larvicidal activity against *E. kuehniella* larvae, whereas the EOs of *O. majorana* and *E. persica* demonstrated the lowest efficacy against *P. interpunctella* larvae. Consistent with the findings concerning the eggs, the first instar larvae of *P. interpunctella* demonstrated slightly greater sensitivity compared to those of *E. kuehniella*. The EOs exhibited similar lethal effects against adults of both species. Notably, *M. communis* EO exhibited the highest lethality against male and female adults of both species, followed by EOs of *A. annua, E. persica* and *Z. multiflora*. Conversely, EOs of *C. limon*, *T. balsamita*, *F. gummosa* and *O. majorana* displayed the least lethal effect. Interestingly, female adults showed greater tolerance compared to male adults. Moreover, similar to the observations with eggs and first instar larvae, adults of *P. interpunctella* displayed slightly greater sensitivity than those of *E. kuehniella*.

Discussion

The study findings highlight the significant lethal effects of various plant EOs, indicating promising alternatives to hazardous chemical pesticides. Iran's rich pharmaceutical plant flora contains diverse compounds, including volatile ones like EOs, which can be explored for their medicinal, insecticidal, fungicidal and other properties. The availability of formulations derived from complete plant EOs or their active components (i.e. insecticides, acaricides, fungicides and herbicides) in the market suggests the potential for developing more potent and environmentally friendly biorational pesticides through dedicated research in this field.

Keywords: Pharmaceutical plants, Fumigant toxicity, Plodia interpunctella, Ephestia kuehniella, Lethal concentrations

Associate editor: M. Ziaee (Ph.D.)

Citation: Yazdanian, M. & Rajaei, A. (2024). Lethal effects of essential oils from eight Iranian pharmaceutical plants against two stored-product lepidopterans and their chemical composition. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 46*(4), 25-56. https://doi.org/ 10.22055/PPR.2024.45624.1724.

گیاه‌پزشکی (مجله علمی کشاورزی)
جلد ٤٦، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢

10.22055/PPR.2024.45624.1724

اثرات کشندگی اسانس‌های هشت گیاه دارویی ایرانی روی دو بالپولکدار انباری و شناسایی ترکیب شیمیایی آن‌ها

محسن یزدانیان [1*]، علیرضا رجائی [2]

۱- **نویسنده مسوول**: استادیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران (mohsenyazdanian@yahoo.com)

۲- دانشجوی دکتری، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷

چکیده

تاکنون جهت کاربرد اسانس‌های گیاهی به عنوان عواملی بالقوه برای کنترل حشرات، تلاش‌های زیادی انجام شده است. تمایل به استفاده از ترکیبات گیاهی حشره‌کش برای کنترل آفات انباری همواره در حال افزایش می‌باشد. در این پژوهش، سمیت تنفسی اسانس‌های هشت گیاه دارویی شامل گندواش (*Artemisia annua* Linnaeus)، زیره سیاه (*Elwendia persica* (Boissier) Pimenov & Kljuykov)، آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boissier)، شاهسپرم (*Tanacetum balsamita* Linnaeus)، باریجه (*Ferula gummosa* Boissier)، مورد (*Myrtus communis* Linnaeus)، لیمو (*Citrus limon* (Linnaeus) Osbeck) و مرزنگوش (*Origanum majorana* Linnaeus) علیه تخم‌ها، لاروهای سن اول و حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد (*Ephestia kuehniella* Zeller) و شب‌پره هندی (*Plodia interpunctella* (Hübner)) از طریق انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی و تجزیه پرویت در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. ترکیبات شیمیایی اسانس‌ها نیز با استفاده از روش GC-MS شناسایی شدند. طبق نتایج، در هر دو گونه، اسانس گندواش بیشترین اثر تخم‌کشی (LC_{50}) به ترتیب ۵۸/۱۲ و ۵۱/۵۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) را داشت. مورد علیه شب‌پره مدیترانه‌ای آرد و گندواش علیه شب‌پره هندی بیشترین اثر لاروکشی را نشان دادند (LC_{50} به ترتیب ۸٤/۱۹ و ۷٦/۸٤ میکرولیتر بر لیتر هوا). اسانس مورد نیز بیشترین اثر کشندگی را علیه حشرات کامل هر دو گونه دارا بود (LC_{50} به ترتیب ٥٤/۱۹ و ٤٥/٦۲ میکرولیتر بر لیتر هوا). ترتیب کشندگی هشت اسانس علیه حشرات کامل هر دو گونه یکسان بود و حشرات کامل ماده در مقایسه با نرها متحمل‌تر بودند. همچنین، تخم‌ها، لاروهای سن اول و حشرات کامل شب‌پره هندی در مقایسه با شب‌پره مدیترانه‌ای آرد اندکی حساس‌تر بودند. فراوان‌ترین اجزای اسانس‌ها شامل گندواش: Camphor، 1,8-Cineole؛ زیره سیاه: α-Terpinolen، Limonene، Propanal, 2-methyl-3-phenyl-؛ آویشن شیرازی: Carvacrol، Terbutaline, tris(trimethylsilyl) ether؛ شاهسپرم: Carvone، (–)-Thujone؛ باریجه: β-Thujene، β-pinene؛ مورد: δ-3-Carene، 1,8-Cineole، Carvacrol؛ لیمو: Limonene؛ و مرزنگوش: (–)-Terpinen-4-ol، γ-Terpinene بودند. اثرات کشندگی گزارش شده اسانس‌های گیاهی مختلف و نتایج حاضر نشان می‌دهند که برخی گیاهان مانند گندواش و مورد دارای ترکیباتی هستند که به عنوان جایگزین آفتکش‌های شیمیایی خطرناک، دارای قابلیت‌های زیادی می‌باشند و فرموله کردن آن‌ها می‌تواند به عنوان روشی کاربردی جهت جایگزینی حشره‌کش‌های شیمیایی مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: گیاهان دارویی، سمیت تنفسی، شب‌پره هندی، شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، غلظت‌های کشنده

دبیر تخصصی: دکتر معصومه ضیائی

Citation: Yazdanian, M. & Rajaei, A. (2024). Lethal effects of essential oils from eight Iranian pharmaceutical plants against two stored-product lepidopterans and their chemical composition. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 46*(4), 25-56. https://doi.org/ 10.22055/PPR.2024.45624.1724.

مقدمه

در سراسر جهان، وضعیت حضور آفات انباری در میان فراورده‌های کشاورزی و مواد غذایی با هدف حفظ سلامت انسان‌ها و جلوگیری از انتشار این آفات به شدت تحت نظارت می‌باشد. آفات علاوه بر کاهش کمیت و کیفیت فراورده‌های انباری، اثرات سوئی نیز روی سلامت مصرف‌کنندگان برجای می‌گذارند (Stathas et al., 2023). طبق گزارش سازمان خواروبار و کشاورزی سازمان ملل متحد (فائو)، طی چند سال گذشته به طور میانگین حدود ۱۷ درصد از مواد غذایی تولیدشده در دنیا (۱۰ درصد توسط حشرات و ۷ درصد توسط کنه‌ها، جوندگان و بیماری‌ها) در طول دوره انبارداری از بین می‌رفته‌اند (Bouchelos, 2018). در ایران، خسارت آفات و سایر عوامل زیان‌آور انباری طبق گزارش‌های موجود به طور میانگین از ۱۰ تا ۲۰ درصد گزارش شده که در برخی مناطق روستایی به دلیل وجود انبارهای سنتی، گاه تا ۸۰ درصد نیز برآورد شده است (Modarres Najafabadi et al., 2006).

برای مبارزه با آفات انباری از روش‌های متعددی استفاده می‌شود که از این میان، روش‌هایی ایمن و عقلانی‌تر هستند که علاوه بر کنترل موثر آفات، از جنبه‌های اقتصادی نیز توجیه‌پذیر باشند و سبب آلودگی محیط زیست نشوند (Bagheri-Zenouz, 2007). با وجودی که عملیات کشاورزی برای کنترل آفات به شدت به حشره‌کش‌های شیمیایی وابسته است، اما کاربرد گسترده یا نادرست این مواد باعث بر جای گذاشتن اثراتی مضر روی زیست‌محیط، سلامت انسان‌ها و اکوسیستم‌های کشاورزی شده است (Zarrad et al., 2013). با این که مواد شیمیایی به عنوان یک ابزار موثر کنترل آفات بسیار مورد استفاده بوده‌اند، اما علاوه بر خطرات سوء مرتبط با کاربرد آن‌ها (Tapondjou et al., 2005)، تعداد حشراتی که به آن‌ها مقاوم می‌شوند روز به روز در حال افزایش است (Bughio & Wilkins, 2004). بنابراین، لازم است برای تولید مواد غذایی سالم و همچنین کاهش خطرات ناشی از کاربرد مواد شیمیایی، از روش‌های جایگزینی استفاده شود که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و اثرات سوء مرتبط با کاربرد مواد شیمیایی مرسوم را نداشته باشند (Ebadollahi, 2013).

با افزایش آگاهی از اثرات سوء سموم شیمیایی، تقاضا جهت استفاده از ترکیبات بی‌خطر یا کم‌خطر در مدیریت آفات افزایش چشمگیری یافته است (Rozman et al., 2007). آفتکش‌های گیاهی در مقایسه با آفتکش‌های شیمیایی علاوه بر خطرات زیست‌محیطی کمتر، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه هستند و تولید آن‌ها به سهولت در مقیاس کوچک و توسط کشاورزان امکان‌پذیر می‌باشد. ترکیبات گیاهی سمی اغلب دارای طیف اثر محدودی هستند. این ترکیبات در طبیعت به متابولیت‌های غیرسمی تجزیه می‌شوند، لذا برای کاربرد در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات مناسب می‌باشند (Moreira et al., 2007).

گیاهان معطر از اندام‌های مختلف خود (برگ‌ها، گل‌ها و غیره)، ترکیبات معطری را تولید و آزاد می‌کنند که از آن‌ها در صنعت آرایش و نیز آشپزی استفاده می‌شود. طبق تعریف سازمان بهداشت جهانی (WHO)، گیاهان دارویی، گیاهانی (وحشی یا زراعی) هستند که دارای مخلوطی از ترکیبات فعال با توانایی پیشگیری، تسکین یا درمان بیماری‌ها می‌باشند یا ملکول‌هایی دارند که برای کشف فرمولاسیون‌های دارویی جدید قابل استفاده هستند. این گیاهان دارای تعداد بی‌شماری متابولیت ثانویه هستند که فعالیت‌های بیولوژیک قابل توجهی را نشان می‌دهند (Kakouri et al., 2022). اسانس‌های گیاهی متابولیت‌های ثانویه سنتزشده در ساختارهای ترشحی گیاهان هستند که خطر آن‌ها برای محیط زیست اندک و کاربرد آن‌ها ایمن‌تر است. این ترکیبات اثرات شناخته‌شده‌ای نیز روی بندپایان دارند. به همین جهت، موادی جایگزین، قابل اعتماد و سازگار با محیط زیست برای حشره‌کش‌های شیمیایی مرسوم به شمار می‌روند (Sousa et al., 2022). کاربرد اسانس‌های گیاهی در کنترل آفات، یک روش جایگزین مناسب برای کاهش اثرات جانبی آفتکش‌های

شیمیایی روی محیط زیست به شمار می‌رود (Zarrad et al., 2013). برخی اسانس‌های گیاهی دارای اثرات زیستی هستند و شاخص‌هایی مانند رشد، طول دوره زیستی و تولید مثل حشرات را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Rahmat et al., 2006). به عنوان مثال، کاهش تخمگذاری بید برنج (*Corcyra cephalonica* Stainton) توسط اسانس‌های گیاهی در اثر بروز ناهنجاری‌های کالبدشناختی در تخمدان‌ها و در نتیجه اختلال در نشوونمای عادی تخم‌ها گزارش شده است (Jacob & Qamar, 2013).

تاکنون تلاش‌های زیادی انجام شده تا اسانس‌های گیاهی به عنوان منابع بالقوه برای کنترل حشرات مورد استفاده قرار گیرند. در سال‌های گذشته، برخی شرکت‌های آمریکایی آفتکش‌هایی را بر پایه اسانس‌های گیاهی به بازار معرفی کرده‌اند. شرکت مایکوتک[1] یک ترکیب شته‌کش- کنه‌کش- قارچ‌کش را بر پایه اسانس دارچین (*Cinnamomum aromaticum* (L.) J. Presl (Lauraceae)) حاوی سینامالدهید به عنوان ماده موثره (30%, EC) برای حفاظت از محصولات باغی، گلخانه‌ای و درختان میوه معرفی کرد که متاسفانه از نظر تجاری موفق نبود. شرکت اکواسمارت[2] نیز حشره‌کش‌هایی حاوی اوژنول و ۲- فن‌اتیل پروپیونات، با نام تجاری EcoPCO®، را برای کنترل آفات تولید نموده است (Isman & Machial, 2006). همچنین، یک حشره‌کش- کنه‌کش حاوی اسانس رزماری (*Rosmarinus officinalis* L. (Lamiaceae)) با نام تجاری EcoTrol™ برای کاربرد روی محصولات باغی به بازار معرفی شده است (Miresmailli & Isman, 2006). فراورده‌ای با نام تجاری Sporan™ به عنوان یک قارچ‌کش بر پایه اسانس رزماری و فرمولاسیونی از اسانس میخک (با ترکیب اصلی اوژنول) با نام تجاری Matran™ برای کنترل علف‌های هرز در بازار به فروش می‌رسند. در آمریکا حشره‌کش‌هایی برای کاربرد در منازل مسکونی و باغچه‌ها وجود دارند که حاوی اسانس نعنا می‌باشند. منتول در شمال آمریکا برای کنترل کنه‌های انگل دستگاه تراشه‌ای زنبور عسل در کندو مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ایتالیا محصولی با نام تجاری Apilife VAR™ تولید می‌شود که عمدتا حاوی تایمول و مقادیر جزئی سینئول، منتول و کامفور است و برای کنترل کنه واروآ در زنبور عسل کاربرد دارد (Isman & Machial, 2006).

با توجه به تمایل روزافزون به استفاده از ترکیب‌های گیاهی برای کنترل آفات انباری، و نیز استفاده از پتانسیل گیاهان بومی کشور، در این پژوهش اثرات کشندگی اسانس‌های هشت گیاه دارویی ایرانی علیه تخم‌ها، لاروهای سن اول و حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد (*Ephestia kuehniella* Zeller.) و شب‌پره هندی (*Plodia interpunctella* (Hübner)) بررسی شد.

مواد و روش‌ها

اسانس‌های گیاهی

اسانس‌های گندواش (*Artemisia annua* Linnaeus (Asteraceae))، زیره سیاه (*Elwendia persica* (Boissier) Pimenov & Kljuykov (Apiaceae))، آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boissier (Lamiaceae))، شاهسپرم (*Tanacetum balsamita* Linnaeus (Asteraceae))، باریجه (*Ferula gummosa* Boissier (Apiaceae))، مورد (*Myrtus communis* Linnaeus (Myrtaceae))، لیمو (*Citrus limon* (Linnaeus) Osbeck (Rutaceae)) و مرزنگوش (*Origanum majorana* Linnaeus (Lamiaceae)) از شرکت داروسازی گیاه اسانس واقع در استان گلستان، کیلومتر ۱۰ جاده گرگان- مشهد، کیلومتر ۸ جاده توسکستان- شاهرود خریداری شدند.

1- Mycotech Corporation

2- EcoSMART Technologies

پرورش شب‌پره‌ها

حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره هندی از کلنی پرورشی موجود در آزمایشگاه تحقیقات حشره‌شناسی، گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تهیه و برای تخمگیری به درون ظروف تخمگیری (قیف‌های پلاستیکی قرمز رنگ به قطر دهانه ۱۰ سانتی‌متر) که دهانه آن‌ها با پارچه توری ۱۰۰ مش پوشانده شده بود، منتقل شدند. این ظروف به صورت وارونه روی کاغذهای A4 قرار داده شدند تا تخم‌ها روی آن‌ها گذاشته شوند. پس از تخمگذاری، تخم‌ها جمع‌آوری و روی سطح ماده غذایی داخل ظروف پرورش (از جنس پلاستیک سفید مات مکعبی شکل به ابعاد ۱۰ × ۱۵ × ۲۵ سانتی‌متر) ریخته شدند. جهت تهویه، قسمت میانی درب ظروف پرورش برش داده شد و با پارچه توری مسدود شد. پرورش شب‌پره مدیترانه‌ای آرد روی آرد گندم و پرورش شب‌پره هندی روی یک رژیم غذایی متشکل از سبوس گندم، پودر جوانه گندم و مخمر نان (به ترتیب به نسبت‌های وزنی ۷۶، ۲۰ و ۴ درصد) با تراکم ۰/۲ گرم تخم به ازای یک کیلوگرم ماده غذایی (Hashemi Bidsookhteh, 2018) انجام شد. هر دو گونه در دمای ۲۷±۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۴ به ۱۰ (روشنایی به تاریکی) (Karabörklü et al., 2011) درون دستگاه ژرمیناتور پرورش داده شدند.

آزمایش‌های زیست‌سنجی

در این پژوهش، سمیت تنفسی اسانس‌ها روی تخم‌ها، لاروهای سن اول و حشرات کامل شب‌پره هندی و شب‌پره مدیترانه‌ای آرد بررسی شد. در آزمایش‌های مقدماتی، ابتدا غلظت‌های ایجادکننده ۱۰ و ۹۰ درصد تلفات تعیین شدند. این آزمایش‌ها با پنج تکرار و ۱۰۰ عدد تخم حداکثر یک‌روزه، ۱۰۰ لارو سن اول حداکثر یک‌روزه، و یا حشره کامل حداکثر یک‌روزه (۵۰ نر و ۵۰ ماده) در هر تکرار و در دمای ۲ ± ۲۷ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۰:۱۴ (روشنایی: تاریکی) انجام شدند (Ayvaz et al., 2010). هر تکرار در داخل یک تشتک پتری شیشه‌ای به قطر ۱۰ و ارتفاع ۱ سانتی‌متر انجام شد. مقدار مناسب از هر اسانس با توجه به حجم تشتک با سمپلر برداشته و روی یک قطعه کاغذ صافی واتمن شماره ۱ دایره‌ای شکل به قطر ۱ سانتی‌متر (به عنوان سطح تبخیر و حذف اثر تماسی اسانس‌ها، چسبانده شده به زیر درب تشتک‌های پتری) تزریق شد. درب تشتک‌های پتری برای جلوگیری از خروج اسانس‌ها با پارافیلم مسدود شد. برای تفکیک جنسیتی حشرات کامل، لاروهای سن پنجم نر (دارای یک لکه قرمز رنگ روی سطح پشتی شکم خود) و ماده (فاقد این لکه) از کلنی پرورشی جداسازی و تا ظهور حشرات کامل در ظروفی جداگانه پرورش داده شدند. تخم‌ها پس از اسانس‌دهی به مدت ۲۴ ساعت، به تشتک‌های پتری شیشه‌ای دیگری حاوی غذای لاروی منتقل شدند و بروز تلفات با توجه به تفریخ آن‌ها پس از پنج روز تعیین شد (Ayvaz et al., 2009). در مورد لاروهای سن اول، پس از پایان ۲۴ ساعت اسانس‌دهی درب تشتک‌های پتری باز شد. لاروهایی که به تحریک شدن توسط قلم‌موی ظریف هیچ گونه پاسخی نشان ندادند، مرده در نظر گرفته شدند (Khanavi et al., 2017). همانند لاروها، درب تشتک‌های پتری حاوی حشرات کامل نیز پس از ۲۴ ساعت اسانس‌دهی باز شد و تعداد حشرات کاملی که بعد از تحریک شدن توسط قلم‌مو هیچ گونه واکنشی را در پیوست‌های بدن خود نشان ندادند، به عنوان مرده ثبت شد (Moravej et al., 2009). پس از تعیین غلظت‌های بالا و پایین، برای هر یک از اسانس‌ها و با استفاده از فرمول فاصله لگاریتمی، چهار غلظت دیگر بین دو غلظت بالا و پایین محاسبه و آزمایش‌های زیست‌سنجی اصلی همانند آزمایش‌های مقدماتی انجام شدند. در تیمارهای شاهد از اسانس استفاده نشد.

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس‌ها

برای شناسایی و تعیین درصد ترکیبات موجود در اسانس‌های گیاهی از دستگاه گازکروماتوگراف (Varian CP-3800, USA) مجهز به طیف‌سنج جرمی (Varian Saturn 2200 ion trap, USA) با ستون

گازکروماتوگرافی از نوع VF-5ms capillary column (30 m × 0.25 i.d. mm، ضخامت فیلم 25 µm) در آزمایشگاه آنالیز دستگاهی مواد طبیعی و شیمیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان استفاده شد. برای GC-MS، سامانه یونیزاسیون الکترونی دارای انرژی یونیزاسیون 70 eV بود. گاز ناقل، هلیوم با نرخ جریان 1 ml/min و فشار 10 psi و دمای انژکتور و دتکتور به ترتیب ۲۲۰ و ۳۰۰ درجه سلسیوس بود. دمای آون با نرخ تغییر ۵ درجه بر دقیقه از ۵۰ تا ۲۲۰ درجه سلسیوس تنظیم و سپس به مدت ۲۰ دقیقه ثابت نگه داشته شد و در نهایت با نرخ ۱۰ درجه بر دقیقه تا ۳۰۰ درجه افزایش یافت. نمونه‌های رقیق شده در متانول (1/100 v/v) در حجم 0.1 µl تزریق شدند. زمان اسکن یک ثانیه و mass range نیز برابر با 40-350 amu بود. اجزای تشکیل‌دهنده اسانس‌ها با توجه به زمان‌های ابقای GC، شاخص‌های ابقای کوواتس (KIs) با استناد به ان- آلکان‌ها (C_8–C_{24}) و طیف‌های جرمی ترکیبات شیمیایی موجود در کتابخانه طیفی NIST شناسایی شدند.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

تجزیه پروبیت داده‌های زیست‌سنجی برای برآورد مقادیر غلظت‌های کشنده با نرم‌افزار آماری PoloPlus (ver. 2.0) انجام و برای اصلاح تلفات تیمارهای اسانس نسبت به شاهد از فرمول آبوت (Abbott, 1925) استفاده شد. اختلاف معنی‌دار بین مقادیر LC برآوردشده با توجه به نسبت‌های غلظت کشنده[1] (Robertson et al., 2017) تعیین گردید. شاخص سمیت[2] اسانس‌ها نیز با استفاده از فرمول Sun (۱۹۵۰) به شرح زیر محاسبه شد:

T.I. = (LC_{50} ترکیب مورد نظر/LC_{50} موثرترین ترکیب) × ۱۰۰

نتایج

اثر تخم‌کشی اسانس‌ها

بررسی بررسی اثر تخم‌کشی هشت اسانس روی تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد نشان داد که اسانس گندواش با LC_{50} برابر با ۵۸/۱۲ میکرولیتر بر لیتر هوا علیه تخم‌های این شب‌پره موثرترین اسانس بود. کارایی تخم‌کشی اسانس‌های مورد (۹۲/۲۸)، آویشن شیرازی (۱۱۰/۵۵) و باریجه (۱۱۵/۶۴) در رتبه بعدی بود و کمترین کارایی تخم‌کشی نیز در اثر استفاده از اسانس‌های زیره سیاه (۱۲۶/۸۶)، مرزنگوش (۱۳۸/۵۸)، شاهسپرم (۱۴۷/۱۴) و لیمو (۱۵۰/۶۸ میکرولیتر بر لیتر هوا) مشاهده شد (جدول ۱).

همچنین، اسانس گندواش با LC_{50} برابر با ۵۱/۵۵ میکرولیتر بر لیتر هوا موثرترین اسانس علیه تخم‌های شب‌پره هندی بود. اسانس‌های مورد، باریجه، آویشن شیرازی و زیره سیاه با مقادیر LC_{50} به ترتیب برابر با ۹۱/۷۴، ۹۸/۶۴، ۹۸/۷۹ و ۱۱۵/۷۲ میکرولیتر بر لیتر هوا در رتبه بعدی بودند. کمترین اثر تخم‌کشی نیز در اثر استفاده از اسانس‌های شاهسپرم (۱۲۹/۴۹)، مرزنگوش (۱۳۳/۶۷) و لیمو (۱۳۶/۵۳ میکرولیتر بر لیتر هوا) مشاهده شد (جدول ۲). طبق نتایج، ترتیب کارایی تخم‌کشی هشت اسانس روی تخم‌های هر دو گونه شب‌پره تقریبا یکسان بود ولی تخم‌های شب‌پره هندی در مقایسه با تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد اندکی حساس‌تر بودند.

اثر لاروکشی اسانس‌ها

اسانس مورد با LC_{50} برابر با ۸۴/۱۹ میکرولیتر بر لیتر هوا موثرترین اسانس علیه لاروهای سن اول شب‌پره مدیترانه‌ای آرد بود و اسانس‌های گندواش (۱۱۲/۵۷)، باریجه (۱۳۳/۸۹) و سپس آویشن شیرازی (۱۴۹/۶۶) و لیمو (۱۶۷/۱۴ میکرولیتر بر لیتر هوا) در رتبه بعدی بودند. کمترین کارایی لاروکشی نیز در اثر استفاده از اسانس‌های شاهسپرم (۱۷۶/۳۸)، مرزنگوش (۱۸۸/۳۴) و زیره سیاه (۱۹۲/۵۹ میکرولیتر بر لیتر هوا) دیده شد (جدول ۳).

اسانس گندواش با LC_{50} معادل ۷۶/۸۴ میکرولیتر بر لیتر هوا موثرترین اسانس علیه لاروهای سن اول شب‌پره هندی بود. کارایی لاروکشی دو اسانس مورد (۱۰۳/۷۶) و آویشن شیرازی (۱۲۲/۲۸) و سپس باریجه (۱۳۶/۹۰)، لیمو (۱۵۳/۴۲) و شاهسپرم (۱۵۵/۶۱ میکرولیتر بر لیتر هوا) در

1- Lethal concentration ratios

2- Toxicity index

رتبه بعدی بود. کمترین اثر لاروکشی در اثر کاربرد اسانس‌های مرزنگوش و زیره سیاه (به ترتیب ۱۷۹/۶۷ و ۱۸۱/۵۶ میکرولیتر بر لیتر هوا) دیده شد (جدول ۴). همانند نتایج به دست‌آمده در مورد تخم‌ها، لاروهای سن اول شب‌پره هندی در مقایسه با لاروهای سن اول شب‌پره مدیترانه‌ای آرد اندکی حساس‌تر بودند.

جدول ۱- برآورد LC_{50} و LC_{95} (میکرولیتر/ لیتر هوا) برای تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد پس از ۲۴ ساعت قرارگیری در معرض غلظت‌های مختلف اسانس‌های هشت گیاه دارویی ایرانی

Table 1. Estimated LC_{50} and LC_{95} (µl/L air) for eggs of *Ephestia kuehniella* after 24 h exposure to different concentrations of eight Iranian pharmaceutical plants

Essential oil	LC_{50} (95% CL)	LC_{95} (95% CL)	*a* ± SE	*b* ± SE	χ^2 (df)	H.F.	T.I.
Artemisia annua	58.12 a (45.37-72.49)	114.22 a (93.04-138.56)	-2.69 ± 0.26	3.35 ± 0.11	22.06 (28)	0.788	100
Myrtus communis	92.28 b (76.67-109.21)	204.52 b (189.04-228.56)	-4.31 ± 0.26	3.94 ± 0.64	20.34 (26)	0.782	62.98
Zataria multiflora	110.55 bc (95.78-128.12)	203.44 b (188.67-221.97)	-5.67 ± 0.34	4.61 ± 0.34	20.75 (27)	0.768	52.57
Ferula gummosa	115.64 bc (98.84-129.19)	217.19 b (197.49-231.36)	-5.44 ± 0.56	3.56 ± 0.56	19.64 (25)	0.786	50.26
Elwendia persica	126.86 cd (107.94-141.74)	253.82 c (224.49-279.81)	-5.87 ± 0.75	3.81 ± 0.75	16.94 (28)	0.605	45.81
Origanum majorana	138.58 cd (115.60-151.57)	241.88 c (225.97-268.66)	-6.01 ± 0.55	4.06 ± 0.55	16.13 (28)	0.576	41.94
Tanacetum balsamita	147.14 d (130.55-163.47)	273.55 cd (245.29-302.77)	-6.51 ± 0.83	4.11 ± 0.83	9.65 (25)	0.386	39.50
Citrus limon	150.68 d (133.77-169.89)	298.76 d (276.99-316.33)	-6.27 ± 0.48	3.94 ± 0.48	13.89 (28)	0.496	38.57

In columns with LC values, different lowercase letters show significant differences ($\alpha < 0.05$) between estimated LC values based on lethal concentration ratios (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; T.I. (Toxicity index: Sun, 1950) = (LC_{50} of the most effective compound/LC_{50} of selected compound) × 100.

جدول ۲- برآورد LC_{50} و LC_{95} (میکرولیتر/ لیتر هوا) برای تخم‌های شب‌پره هندی پس از ۲۴ ساعت قرارگیری در معرض غلظت‌های مختلف اسانس‌های هشت گیاه دارویی ایرانی

Table 2. Estimated LC_{50} and LC_{95} (µl/L air) for eggs of *Plodia interpunctella* after 24 h exposure to different concentrations of eight Iranian pharmaceutical plants

Essential oil	LC_{50} (95% CL)	LC_{95} (95% CL)	*a* ± SE	*b* ± SE	χ^2 (df)	H.F.	T.I.
Artemisia annua	51.55 a (44.66-61.84)	98.44 a (77.76-117.80)	-3.12 ± 0.64	4.11 ± 0.56	14.53 (27)	0.538	100
Myrtus communis	91.74 b (81.59-110.45)	175.19 b (156.29-197.66)	-3.91 ± 0.59	3.73 ± 0.64	19.41 (27)	0.719	56.19
Ferula gummosa	98.64 b (84.62-117.79)	167.77 b (146.73-190.14)	-4.56 ± 0.88	4.08 ± 0.48	20.22 (25)	0.809	52.26
Zataria multiflora	98.79 b (83.38-116.75)	184.42 b (163.88-202.85)	-4.12 ± 0.68	3.33 ± 0.65	7.81 (28)	0.279	52.18
Elwendia persica	115.72 bc (99.78-126.61)	221.86 c (217.73-238.46)	-5.46 ± 0.77	3.85 ± 0.55	10.01 (26)	0.385	44.55
Tanacetum balsamita	129.49 cd (118.23-141.22)	220.61 c (199.57-238.33)	-6.41 ± 0.73	4.72 ± 0.80	16.02 (26)	0.616	39.81
Origanum majorana	133.67 d (121.91-147.08)	249.44 d (230.44-275.22)	-5.79 ± 0.67	3.58 ± 0.38	12.29 (28)	0.439	38.56
Citrus limon	136.53 d (121.55-151.38)	281.39 e (262.65-314.99)	-5.67 ± 0.57	3.25 ± 0.49	17.32 (25)	0.693	37.76

In columns with LC values, different lowercase letters show significant differences ($\alpha < 0.05$) between estimated LC values based on lethal concentration ratios (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; T.I. (Toxicity index: Sun, 1950) = (LC_{50} of the most effective compound/LC_{50} of selected compound) × 100.

اثر کشندگی اسانس‌ها روی حشرات کامل

اسانس گیاه مورد بیشترین اثر کشندگی را روی حشرات کامل نر (LC_{50} معادل ۴۶/۷۶ میکرولیتر بر لیتر هوا) و ماده (LC_{50} معادل ۶۱/۲۶ میکرولیتر بر لیتر هوا) شب‌پره مدیترانه‌ای آرد دارا بود. اسانس‌های گندواش (به‌ترتیب ۷۳/۵۶ و ۸۹/۱۲)، زیره سیاه (به ترتیب ۸۸/۶۷ و ۱۰۴/۶۶) و آویشن شیرازی (به ترتیب ۹۲/۴۶ و ۱۱۰/۲۳ میکرولیتر بر لیتر هوا) در رتبه بعدی قرار داشتند. اسانس‌های لیمو (به ترتیب ۱۱۸/۷۶ و ۱۲۹/۴۶)، شاهسپرم (به ترتیب ۱۲۲/۹۴ و ۱۳۴/۰۹)، باریجه (به ترتیب ۱۲۷/۴۶ و ۱۴۳/۱۱) و مرزنگوش (به ترتیب ۱۲۸/۴۳ و ۱۶۴/۵۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) نیز کمترین اثر کشندگی را نشان دادند (جدول ۵).

همانند شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، اسانس مورد بیشترین اثر کشندگی را روی حشرات کامل نر (LC_{50} معادل ۳۹/۵۱ میکرولیتر بر لیتر هوا) و ماده (LC_{50} معادل ۵۱/۶۳ میکرولیتر بر لیتر هوا) شب‌پره هندی دارا بود و اسانس‌های گندواش (به ترتیب ۶۵/۲۲ و ۸۲/۵۵)، زیره سیاه (به ترتیب ۷۲/۱۳ و ۹۷/۵۰) و آویشن شیرازی (به ترتیب ۸۳/۴۶ و ۱۱۷/۶۹ میکرولیتر بر لیتر هوا) در رتبه بعدی قرار داشتند. کمترین اثر کشندگی نیز در اثر استفاده از اسانس‌های لیمو (به ترتیب ۹۹/۳۸ و ۱۲۴/۰۹)، شاهسپرم (به ترتیب ۱۰۴/۵۹ و ۱۳۰/۱۲)، باریجه (به ترتیب ۱۱۱/۷۳ و ۱۳۴/۷۵) و مرزنگوش (به ترتیب ۱۱۵/۲۸ و ۱۵۲/۴۴ میکرولیتر بر لیتر هوا) مشاهده شد (جدول ۶). طبق نتایج، ترتیب کشندگی هشت اسانس گیاهی روی حشرات کامل هر دو گونه شب‌پره یکسان بود و حشرات کامل ماده در مقایسه با نرها متحمل‌تر بودند. همانند تخم‌ها و لاروهای سن اول، حشرات کامل شب‌پره هندی نیز در مقایسه با حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد اندکی حساس‌تر بودند.

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس‌ها

درصد ترکیبات شیمیایی شناسایی‌شده در هشت اسانس در جدول ۷ ارایه شده است.

جدول ۳- برآورد LC_{50} و LC_{95} (میکرولیتر/ لیتر هوا) برای لاروهای سن اول شب‌پره مدیترانه‌ای آرد پس از ۲۴ ساعت قرارگیری در معرض غلظت‌های مختلف اسانس‌های هشت گیاه دارویی ایرانی

Table 3. Estimated LC_{50} and LC_{95} (µl/L air) for first instar larvae of *Ephestia kuehniella* after 24 h exposure to different concentrations of eight Iranian pharmaceutical plants

Essential oil	LC_{50} (95% CL)	LC_{95} (95% CL)	*a* ± SE	*b* ± SE	χ^2 (df)	H.F.	T.I.
Myrtus communis	84.19 a (72.64-109.19)	176.64 a (141.28-202.41)	-3.45 ± 0.65	3.51 ± 0.75	14.22 (25)	0.569	100
Artemisia annua	112.57 b (103.69-131.76)	182.41 a (158.33-204.55)	-6.38 ± 0.94	5.12 ± 0.61	10.50 (28)	0.375	74.62
Ferula gummosa	133.89 bc (119.53-151.64)	284.14 b (252.67-311.62)	-5.11 ± 0.43	2.89 ±0.66	12.37 (25)	0.495	62.88
Zataria multiflora	149.66 cd (132.49-164.82)	313.50 bc (279.78-340.11)	-5.91 ± 0.55	3.49 ± 0.71	22.57 (28)	0.806	56.25
Citrus limon	167.14 de (148.58-185.37)	337.81 c (307.29-362.84)	-6.51 ± 0.66	3.56 ± 0.48	14.01 (27)	0.519	50.37
Tanacetum balsamita	176.38 e (161.18-196.46)	302.84 bc (275.53-334.80)	-7.58 ± 0.38	4.63 ± 0.59	16.35 (26)	0.629	47.73
Origanum majorana	188.34 e (169.97-203.77)	316.23 c (280.46-342.22)	-8.14 ± 0.44	5.32 ± 0.89	19.57 (27)	0.725	44.70
Elwendia persica	192.59 e (177.26-208.79)	411.32 d (384.09-447.59)	-7.38 ± 0.67	3.33 ± 0.49	10.82 (25)	0.433	43.71

In columns with LC values, different lowercase letters show significant differences ($\alpha < 0.05$) between estimated LC values based on lethal concentration ratios (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; T.I. (Toxicity index: Sun, 1950) = (LC_{50} of the most effective compound/LC_{50} of selected compound) × 100.

بحث

آفتکش‌های مبتنی اسانس‌های گیاهی یا اجزای آن‌ها علیه طیف وسیعی از آفات انباری، آفات خانگی، حشرات خونخوار، آفات کشاورزی و نیز برخی قارچ‌های بیمارگر گیاهی کارایی مناسبی را نشان داده‌اند. این ترکیبات ممکن است به صورت تدخینی، فرمولاسیون‌های گرانوله یا به روش سمپاشی مستقیم مورد استفاده قرار گیرند و اثرات متفاوتی از سمیت کشنده تا اثرات دورکنندگی و یا بازدارندگی تخمگذاری در حشرات را دارا باشند (Isman & Machial, 2006). حشره‌کش‌های با منشا گیاهی، منابعی غنی از ترکیبات زیست‌فعال هستند که می‌توانند جایگزین‌های مناسبی برای کنترل شیمیایی آفات باشند. مزیت حشره‌کش‌های گیاهی نسبت به حشره‌کش‌های مصنوعی این است که کمتر باعث بروز مقاومت در حشرات می‌شوند، برای محیط زیست سمیت بسیار کمتری دارند و زیست‌تخریب‌پذیری آن‌ها آسان‌تر و بیشتر است (Mady et al., 2021).

طبق نتایج این پژوهش، اسانس گندواش یکی از موثرترین اسانس‌های مورد استفاده روی مراحل مختلف نشوونمایی دو گونه شب‌پره انباری مورد مطالعه بود. سمیت تدخینی اسانس گندواش علیه برخی سخت‌بالپوشان انباری مانند حشرات کامل و لاروهای شپشه قرمز آرد *Tribolium castaneum* (Herbst) (Tripathi et al., 2000; Forouzan et al., 2016; Deb & Kumar, 2020)، و حشرات کامل شپشه برنج *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) (Mojarab-Mahboubkar et al., 2023)، شپشه گندم *Sitophilus granarius* (Linnaeus) و سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Tripathi et al., 2000; Forouzan et al., 2016) گزارش شده است. در مقایسه با مقادیر LC_{50} برآوردشده برای دو شب‌پره در پژوهش حاضر (۷۴ تا ۸۱ میکرولیتر بر لیتر هوا)، نتایج تحقیقات محققان فوق به رغم مورد انتظار بودن تحمل بیشتر سخت‌بالپوشان انباری، حساسیت بیشتر یا یکسان این سخت‌بالپوشان را به اسانس گندواش نشان می‌دهند. در مورد بالپولکداران انباری، اثرات لاروکشی اسانس گندواش علیه لاروهای ۱۷ روزه شب‌پره هندی گزارش شده‌اند (Zamani et al., 2011).

جدول ٤- برآورد LC_{50} و LC_{95} (میکرولیتر/ لیتر هوا) برای لاروهای سن اول شب‌پره هندی پس از ٢٤ ساعت قرارگیری در معرض غلظت‌های مختلف اسانس‌های هشت گیاه دارویی ایرانی

Table 4. Estimated LC_{50} and LC_{95} (µl/L air) for first instar larvae of *Plodia interpunctella* after 24 h exposure to different concentrations of eight Iranian pharmaceutical plants

Essential oil	LC_{50} (95% CL)	LC_{95} (95% CL)	*a* ± SE	*b* ± SE	χ^2 (df)	H.F.	T.I.
Artemisia annua	76.84 a (61.87-96.43)	158.19 a (124.33-187.22)	-3.28 ± 0.34	3.24 ± 0.57	16.85 (25)	0.674	100
Myrtus communis	103.76 b (88.70-120.16)	181.76 a (161.42-202.75)	-5.37 ± 0.26	4.37 ± 0.98	22.65 (28)	0.809	74.05
Zataria multiflora	122.28 bc (109.44-138.76)	260.74 b (236.16-288.77)	-5.69 ± 0.97	3.48 ±0.57	13.36 (27)	0.495	62.84
Ferula gummosa	136.90 cd (121.33-151.76)	236.67 b (206.65-261.44)	-6.92 ± 0.64	5.24 ± 0.66	19.99 (28)	0.714	56.13
Citrus limon	153.42 de (134.60-174.11)	317.28 c (281.76-344.21)	-6.18 ± 0.71	3.87 ± 0.85	17.34 (26)	0.667	50.08
Tanacetum balsamita	155.61 de (136.17-170.55)	321.49 c (298.70-353.64)	-6.11 ± 0.42	3.75 ± 0.54	13.74 (27)	0.509	49.38
Origanum majorana	179.67 ef (161.83-196.88)	338.71 c (307.28-364.88)	-7.66 ± 0.61	4.68 ± 0.69	17.82 (25)	0.713	42.77
Elwendia persica	181.56 f (163.55-198.64)	324.54 c (300.62-345.67)	-7.91 ± 0.63	5.21 ± 0.77	14.28 (27)	0.529	42.32

In columns with LC values, different lowercase letters show significant differences ($\alpha < 0.05$) between estimated LC values based on lethal concentration ratios (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; T.I. (Toxicity index: Sun, 1950) = (LC_{50} of the most effective compound/LC_{50} of selected compound) × 100.

جدول ۵- برآورد LC_{50} و LC_{95} (میکرولیتر/ لیتر هوا) برای حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد پس از ۲۴ ساعت قرارگیری در معرض غلظت‌های مختلف اسانس‌های هشت گیاه دارویی ایرانی

Table 5. Estimated LC_{50} and LC_{95} (µl/L air) for adults of *Ephestia kuehniella* after 24 h exposure to different concentrations of eight Iranian pharmaceutical plants

Essential oil	LC_{50} (95% CL)	LC_{95} (95% CL)	*a* ± SE	*b* ± SE	χ^2 (df)	H.F.	T.I.
Male							
Myrtus communis	46.76 a (34.79-62.50)	95.76 a (73.54-113.79)	-2.38 ± 0.53	3.75 ± 0.28	14.80 (27)	0.548	100
Artemisia annua	73.56 b (62.55-88.09)	151.44 b (134.61-175.22)	-3.41 ± 0.82	3.82 ± 0.67	17.02 (28)	0.608	63.57
Elwendia persica	88.67 b (71.36-106.29)	171.64 bc (156.37-194.77)	-3.51 ± 0.48	3.50 ± 0.61	11.77 (25)	0.471	52.73
Zataria multiflora	92.46 bc (79.23-111.64)	196.74 c (171.14-216.33)	-4.27 ± 0.57	3.88 ± 0.27	10.75 (27)	0.398	50.57
Citrus limon	118.76 cd (103.81-136.41)	231.51 d (214.43-252.59)	-5.76 ± 0.71	4.14 ± 0.28	12.97 (26)	0.499	39.37
Tanacetum balsamita	122.94 d (107.38-140.67)	229.67 d (208.23-247.80)	-6.32 ± 0.25	4.72 ± 0.38	17.86 (28)	0.638	38.03
Ferula gummosa	127.46 d (109.57-145.22)	267.28 d (248.75-289.43)	-5.71 ± 0.35	3.27 ± 0.46	19.74 (28)	0.705	36.69
Origanum majorana	128.43 d (110.73-145.79)	243.57 d (222.37-264.84)	-6.21 ± 0.73	4.32 ± 0.68	12.38 (26)	0.476	36.41
Female							
Myrtus communis	61.26 a (48.61-80.46)	137.55 a (119.76-155.67)	-2.93 ± 0.77	3.42 ± 0.70	16.87 (26)	0.649	100
Artemisia annua	89.12 b (75.44-106.58)	183.06 b (167.26-202.43)	-3.53 ± 0.54	3.50 ± 0.37	19.63 (28)	0.701	68.73
Elwendia persica	104.66 bc (87.92-121.50)	202.67 bc (181.38-224.18)	-4.31 ± 0.57	3.68 ± 0.75	13.78 (28)	0.492	58.53
Zataria multiflora	110.23 bcd (94.13-129.74)	226.49 cd (203.64-241.19)	-4.17 ± 0.46	3.54 ± 0.33	13.20 (25)	0.528	55.57
Citrus limon	129.46 cde (116.36-144.17)	230.70 d (212.76-252.44)	-6.43 ± 0.64	4.45 ± 0.76	10.01 (27)	0.374	47.62
Tanacetum balsamita	134.09 de (117.69-151.74)	239.51 d (216.77-254.63)	-6.25 ± 0.79	4.31 ± 0.67	13.36 (27)	0.495	45.69
Ferula gummosa	143.11 ef (125.61-160.85)	295.16 e (272.59-316.49)	-5.88 ± 0.24	3.59 ± 0.36	17.03 (26)	0.655	42.81
Origanum majorana	164.55 f (146.79-185.12)	288.11 e (271.66-303.25)	-7.10 ± 0.91	4.82 ± 0.69	19.33 (27)	0.716	37.22
Total							
Myrtus communis	54.19 a (41.61-71.25)	116.82 a (96.35-134.58)	-2.68 ± 0.72	3.54 ± 0.33	13.45 (25)	0.538	100
Artemisia annua	81.23 b (68.90-97.24)	167.51 b (150.81-188.80)	-3.41 ± 0.52	3.46 ± 0.52	15.44 (26)	0.594	66.71
Elwendia persica	96.53 bc (79.58-113.76)	187.63 bc (168.79-209.42)	-3.82 ± 0.83	3.48 ± 0.70	11.39 (27)	0.422	56.14
Zataria multiflora	101.38 cd (86.57-120.52)	211.86 cd (187.26-228.62)	-4.19 ± 0.42	3.67 ± 0.58	10.37 (26)	0.399	53.45
Citrus limon	123.97 de (109.79-140.13)	231.33 ef (213.47-251.42)	-6.13 ± 0.67	4.21 ± 0.72	10.24 (26)	0.394	43.71
Tanacetum balsamita	128.60 e (112.38-146.15)	234.77 de (212.39-251.03)	-6.34 ± 0.92	4.58 ± 0.66	13.85 (27)	0.513	42.14
Ferula gummosa	135.33 e (117.48-152.92)	281.12 g (260.34-302.75)	-5.85 ± 0.37	3.38 ± 0.68	15.52 (25)	0.621	40.04
Origanum majorana	146.53 e (128.65-165.33)	265.94 fg (246.85-283.88)	-6.76 ± 0.68	4.51 ± 0.75	13.30 (25)	0.532	36.98

In columns with LC values, different lowercase letters show significant differences ($\alpha < 0.05$) between estimated LC values based on lethal concentration ratios (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; T.I. (Toxicity index: Sun, 1950) = (LC_{50} of the most effective compound/LC_{50} of selected compound) × 100.

اسانس مورد در این پژوهش به همراه گندواش، موثرترین اسانس دارای اثرات کشنده روی هر دو گونه شب‌پره مورد بررسی بود. سمیت تنفسی این اسانس در پژوهش‌های بسیار زیادی علیه حشرات به ویژه آفات انباری مانند شپشه گندم (Demeter et al., 2021; Yazdanian & Reihani, 2021)، شپشه برنج، شپشه ذرت *S. zeamais* (Mutschulsky)، سوسک لوبیا *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Ayvaz et al., 2010; Karabörklü et al., 2010; Hennia et al., 2019)، شپشه قرمز آرد (Karabörklü et al., 2010; Hennia et al., 2019)، شپشه آرد *T. confusum* du Val و سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (Khani & Basavand, 2012) بررسی شده است. به رغم تلفات ۹۵ درصدی تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره هندی به ترتیب با غلظت‌های ۲۰۴/۵۲ و ۱۷۵/۱۹ میکرولیتر بر لیتر هوای اسانس مورد در پژوهش حاضر، در تحقیقی اثرات تخم‌کشی این اسانس علیه این دو شب‌پره با غلظت‌های ۲۵ تا ۲۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا طی ۲۴ تا ۹۶ ساعت درمعرض‌گذاری قابل توجه نبود (Ayvaz et al., 2009). در پژوهش‌هایی، مقادیر LC_{50} برای حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد پس از ۲۴ ساعت درمعرض‌گذاری برابر با ۱۲/۷۴ (Ayvaz et al., 2010)، ۰/۶ (Salehi et al., 2014) و ۲/۹۱ (Aouadi et al., 2020) و پس از ۱۲ ساعت درمعرض‌گذاری برابر با ۱۵/۱۵ میکرولیتر بر لیتر هوا (Karabörklü et al., 2011) گزارش شده‌اند. مقادیر LC_{50} برای حشرات کامل شب‌پره هندی پس از ۲۴ ساعت درمعرض‌گذاری نیز برابر با ۲۲/۶۱ میکرولیتر بر لیتر هوا گزارش شده است (Ayvaz et al., 2010) که از مقادیر برآوردشده در تحقیق حاضر برای این دو شب‌پره (به ترتیب حدود ۵۴ و ۴۶ میکرولیتر بر لیتر هوا) کمتر می‌باشند. به طور کلی، نتایج انبوه مطالعات انجام‌شده در مورد اسانس مورد، پتانسیل بالای آن را به عنوان یک ترکیب دارای اثرات کشنده و زیرکشنده اثبات کرده‌اند.

کارایی حشره‌کشی اسانس آویشن شیرازی به طور کلی پس از اسانس‌های گندواش و مورد و بسته به مرحله نشوونمایی، با این دو غیرمعنی‌دار بود. سمیت تنفسی اسانس این گیاه روی گونه‌های مختلفی از سخت‌بالپوشان انباری مانند سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (Golestani et al., 2011; Rastegar et al., 2011)، شپشه آرد (Ahsaei et al., 2020)، شپشه قرمز آرد و شپشه گندم (Mahmoudvand et al., 2011) گزارش شده است. در یک بررسی (Emamjomeh et al., 2014)، مقدار LC_{50} اسانس اویشن شیرازی برای لاروهای ۷ تا ۱۴ روزه شب‌پره مدیترانه‌ای آرد برابر با ۲۰/۶۷ و برای حشرات کامل حداکثر یک‌روزه برابر با ۰/۹۸ میکرولیتر بر لیتر هوا گزارش شد که در مقایسه با مقادیر برآوردشده در پژوهش حاضر (لاروها حدود ۱۵۰، و حشرات کامل حدود ۱۰۱ میکرولیتر بر لیتر هوا) بسیار پایین‌تر می‌باشند. همچنین، در تحقیقی، مقدار LC_{50} آویشن شیرازی پس از ۲۴ ساعت اسانس‌دهی علیه حشرات کامل شب‌پره هندی برابر با ۱/۷۵ میکرولیتر بر لیتر هوا برآورد شد (Mahmoudvand et al., 2011) که باز هم در مقایسه با مقدار حدود ۱۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا طبق نتایج تحقیق حاضر، بسیار کمتر می‌باشد. به علاوه، سمیت تماسی فرمولاسیون نانوامولسیون اسانس آویشن شیرازی نسبت به اسانس خالص علیه لاروهای ۷ تا ۱۴ روزه شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، ۴/۳۲ برابر (Emamjomeh et al., 2018) و سمیت فرمولاسیون نانوانکپسوله آن علیه لاروهای سن سوم پایدارتر (Emamjomeh et al., 2018) گزارش شده است. طبق نتایج، اثرات حشره کشی باریجه تقریبا شبیه به آویشن شیرازی بود هرچند علیه حشرات کامل، اثر آن از آویشن شیرازی کمتر بود. در چند بررسی، سمیت تدخینی اسانس این گیاه علیه آفاتی مانند شپشه گندم (Mahmoudvand et al., 2012)، سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (Hosseinpour et al., 2011)، لمبه گندم *Trogoderma granarium* (Everts) و دانه‌خوار بزرگ غلات *Prostephanus truncatus* (Horn) (Pavela et al., 2020) نشان داده شده‌اند.

جدول ٦- برآورد LC_{50} و LC_{95} (میکرولیتر/ لیتر هوا) برای حشرات کامل شب‌پره هندی پس از ٢٤ ساعت قرارگیری در معرض غلظت‌های مختلف اسانس‌های هشت گیاه دارویی ایرانی

Table 6. Estimated LC_{50} and LC_{95} (µl/L air) for adults of *Plodia interpunctella* after 24 h exposure to different concentrations of eight Iranian pharmaceutical plants

Essential oil	LC_{50} (95% CL)	LC_{95} (95% CL)	*a* ± SE	*b* ± SE	χ^2 (df)	H.F.	T.I.
Male							
Myrtus communis	39.51 a (26.34-54.19)	75.37 a (58.19-92.28)	-2.47 ± 0.42	4.01 ± 0.84	18.62 (26)	0.716	100
Artemisia annua	65.22 b (49.21-82.74)	137.55 b (121.53-157.13)	-3.11 ± 0.21	3.52 ± 0.43	12.65 (25)	0.506	60.58
Elwendia persica	72.13 b (55.83-92.46)	152.27 b (135.92-170.84)	-3.19 ± 0.67	3.17 ± 0.57	18.45 (25)	0.738	54.78
Zataria multiflora	83.46 bc (64.80-101.58)	146.77 b (126.54-161.49)	-3.97 ± 0.33	4.25 ± 0.34	14.53 (28)	0.519	47.34
Citrus limon	99.38 cd (81.57-117.92)	186.94 c (170.33-209.73)	-5.01 ± 0.42	4.35 ± 0.74	18.20 (27)	0.674	39.76
Tanacetum balsamita	104.59 cd (86.37-121.53)	211.91 cd (190.44-229.88)	-4.58 ± 0.69	3.80 ± 0.94	13.97 (25)	0.559	37.78
Ferula gummosa	111.73 d (93.61-130.79)	230.61 d (209.53-252.11)	-5.41 ± 0.84	3.55 ± 0.68	21.84 (27)	0.809	35.36
Origanum majorana	115.28 d (96.55-133.89)	218.59 d (200.88-235.35)	-5.89 ± 0.66	4.28 ± 0.65	20.55 (28)	0.734	34.27
Female							
Myrtus communis	51.63 a (33.44-69.87)	121.66 a (103.55-137.68)	-2.51 ± 0.77	3.53 ± 0.43	14.85 (25)	0.594	100
Artemisia annua	82.55 b (63.24-103.16)	157.33 b (136.66-176.92)	-3.82 ± 0.54	4.11 ± 0.57	12.12 (27)	0.449	62.54
Elwendia persica	97.50 bc (76.33-115.88)	215.51 c (197.26-231.75)	-4.21 ± 0.57	3.67 ± 0.84	19.53 (26)	0.751	52.95
Zataria multiflora	117.69 cd (102.56-134.94)	247.63 de (229.76-264.88)	-5.18 ± 0.46	3.21 ± 0.98	20.88 (26)	0.803	43.84
Citrus limon	124.09 d (106.84-143.82)	265.22 e (247.95-280.11)	-5.75 ± 0.64	3.51 ± 0.63	18.17 (28)	0.649	41.61
Tanacetum balsamita	130.12 de (115.22-152.11)	271.49 e (256.33-288.39)	-5.82 ± 0.79	3.68 ± 0.21	15.04 (27)	0.557	39.68
Ferula gummosa	134.75 de (117.42-155.36)	236.57 cd (216.16-251.76)	-6.62 ± 0.24	4.75 ± 0.59	19.39 (27)	0.718	38.31
Origanum majorana	152.44 e (135.85-173.44)	316.77 f (299.43-333.77)	-6.02 ± 0.91	3.76 ± 0.55	17.26 (26)	0.664	33.87
Total							
Myrtus communis	45.62 a (29.75-61.89)	98.53 a (80.81-115.10)	-2.53 ± 0.55	3.74 ± 0.27	15.79 (27)	0.585	100
Artemisia annua	73.91 b (56.05-92.81)	147.48 b (129.02-166.80)	-3.35 ± 0.67	3.76 ± 0.55	10.99 (27)	0.407	61.72
Elwendia persica	84.85 bc (66.01-104.04)	183.83 c (166.51-201.11)	-3.59 ± 0.44	3.39 ± 0.74	19.12 (28)	0.683	53.76
Zataria multiflora	100.63 bcd (83.58-118.11)	197.26 c (177.92-212.94)	-4.61 ± 0.85	3.33 ± 0.56	15.27 (25)	0.611	45.33
Citrus limon	111.78 cde (94.03-130.82)	226.16 d (209.01-244.68)	-5.47 ± 0.62	3.88 ± 0.42	19.85 (25)	0.794	40.81
Tanacetum balsamita	117.41 de (100.11-136.73)	241.78 d (223.18-258.95)	-5.16 ± 0.91	3.69 ± 0.51	12.90 (26)	0.496	38.85
Ferula gummosa	123.30 de (105.53-142.95)	233.65 d (212.80-251.62)	-6.11 ± 0.73	4.06 ± 0.33	19.25 (27)	0.713	37.00
Origanum majorana	133.91 e (116.02-153.48)	267.62 e (250.23-284.32)	-6.08 ± 0.57	3.96 ± 0.22	16.35 (26)	0.629	34.07

In columns with LC values, different lowercase letters show significant differences ($\alpha < 0.05$) between estimated LC values based on lethal concentration ratios (Robertson et al., 2017); H.F. = Heterogeneity factor; T.I. (Toxicity index: Sun, 1950) = (LC_{50} of the most effective compound/LC_{50} of selected compound) × 100.

در پژوهشی، مقدار LC_{50} اسانس صمغ باریجه برای تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد برابر با ۳۴۲/۵۸ میکرولیتر بر لیتر هوا و صد درصد تلفات با استفاده از غلظت ۱۲۵۰ میکرولیتر بر لیتر هوا گزارش شد (Seyedi et al., 2010). در تحقیقی دیگر، LC_{50} اسانس باریجه برای لاروهای این شب‌پره پس از ۲۴ ساعت اسانس‌دهی برابر با ۷۶/۴۴ میکرولیتر بر لیتر هوا برآورد شد (Ghasemi et al., 2013). مقایسه این نتایج با مقادیر برآوردشده برای تخم‌ها و لاروهای این شب‌پره در مطالعه حاضر (به ترتیب ۱۱۵/۶۴ و ۱۳۳/۸۹ میکرولیتر بر لیتر هوا) نشان‌دهنده اثر تخم‌کشی بیشتر و لاروکشی کمتر اسانس باریجه در این پژوهش می‌باشند. همچنین، LC_{50} اسانس باریجه برای تخم‌های یک‌روزه و چهارروزه شب‌پره هندی به ترتیب ۴۹/۸۲ و ۳۸/۹۱، برای لاروهای سنین اول و پنجم به ترتیب ۷/۴۹ و ۱۲/۶۶، و برای حشرات کامل آن ۲۸/۷۲ میکرولیتر بر لیتر هوا گزارش شده است (Sokuti & Ghasemi, 2018) که در مقایسه با مقادیر ۹۸/۶۴، ۱۳۶/۹۰ و ۱۲۳/۳۰ میکرولیتر بر لیتر هوا به ترتیب برای تخم‌ها، لاروهای سن اول و حشرات کامل این گونه در بررسی حاضر، کارایی کمتر اسانس مورد بررسی ما ار نشان می‌دهد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اثر کشندگی زیره سیاه علیه حشرات کامل در مقایسه با تخم‌ها و لاروهای سن اول هر دو شب‌پره بیشتر بود. سمیت تنفسی اسانس زیره سیاه روی تعداد اندکی از آفات انباری مانندشپشه قرمز آرد (Moravej et al., 2009)، سوسک چینی حبوبات *C. chinensis* Linnaeus (Yadav et al., 2021) و بید غلات *Sitotroga cerealella* Olivier (Nouri Ganbalani et al., 2021) مطالعه شده است. مقادیر LC_{50} این اسانس برای تخم‌ها و حشرات کامل بید غلات به ترتیب ۱۳/۲۲ و ۲/۴۲ میکرولیتر بر لیتر هوا گزارش شده است (Nouri Ganbalani et al., 2021) که در مقایسه با مقادیر برآوردشده برای تخم‌ها (به ترتیب ۱۲۶/۸۶ و ۱۵۵/۷۲ میکرولیتر بر لیتر هوا) و حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره هندی (به ترتیب ۹۶/۵۳ و ۸۴/۸۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) در پژوهش حاضر، حساسیت بیشتر بید غلات به این اسانس را نشان می‌دهد.

اسانس لیمو در پژوهش حاضر و در مقایسه با سایر اسانس‌ها، کمترین اثر را روی تخم‌ها داشت و اثر آن روی لاروهای سن اول و حشرات کامل تقریبا مشابه بود. سمیت تدخینی این اسانس در پژوهش‌هایی اندکی علیه آفات انباری از جمله شپشه قرمز آرد، سوسک لوبیا (Karabörklü et al., 2010)، شپشه آرد (Theou et al., 2013; Amoura et al., 2021)، شپشه گندم (Demeter et al., 2021) و شپشه برنج (Abdelgaleil et al., 2016)، ارزیابی شده است. در تحقیق حاضر، تلفات ۹۵ درصدی تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره هندی به ترتیب در اثر استفاده از غلظت‌های ۲۹۸/۷۶ و ۲۸۱/۳۹ میکرولیتر بر لیتر هوای اسانس لیمو مشاهده شد اما گزارشی وجود دارد (Ayvaz et al., 2009) که در آن، اثرات تخم‌کشی این اسانس علیه تخم‌های این دو شب‌پره با غلظت‌های ۲۵ تا ۲۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا طی ۲۴ تا ۹۶ ساعت درمعرض‌گذاری قابل توجه نبود. در یک بررسی دیگر، مقادیر LC_{50} و LC_{99} برای حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد پس از ۱۲ ساعت درمعرض‌گذاری به ترتیب ۴/۰۵ و ۵/۵۷ میکرولیتر بر لیتر هوا (Karabörklü et al., 2011) گزارش شد.

طبق نتایج پژوهش حاضر، اثرات کشندگی اسانس شاهسپرم علیه تخم‌ها، لاروهای سن اول و حشرات کامل مشابه بود و در مقایسه با سایر اسانس‌ها از کارایی کمتر اما قابل قبولی برخوردار بود. از میان آفات انباری سخت‌بالپوش، سمیت تنفسی شاهسپرم تاکنون تنها روی سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (Attighi Lorestani et al., 2013) مورد بررسی قرار گرفته است. در دو پژوهش در زمینه سمیت

تدخینی اسانس شاهسپرم روی تخم‌ها (Salahi et al., 2012) و لاروهای سن اول (Ahmadi et al., 2014) شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، مقادیر LC_{50} به ترتیب ۱۹/۱۰ و ۱۹/۳۸ میکرولیتر بر لیتر هوا برآورد شدند که در مقایسه با مقادیر تحقیق حاضر برای تخم‌ها و لاروهای سن اول این گونه (به ترتیب ۱۴۷/۱۴ و ۱۷۶/۳۸ میکرولیتر بر لیتر هوا)، کارایی بیشتر اسانس مورد استفاده محققان فوق را نشان می‌دهند.

طبق نتایج پژوهش حاضر، اثرات کشندگی اسانس مرزنگوش همانند شاهسپرم علیه سه مرحله نشوونمایی مورد بررسی مشابه بود و در مقایسه با سایر اسانس‌ها از کارایی کمتر اما قابل قبولی برخوردار بود. سمیت تنفسی اسانس مرزنگوش علیه تعدادی از سخت‌بالپوشان انباری مهم مانند شپشه آرد (Demirel et al., 2009)، شپشه قرمز آرد (Karabörklü et al., 2010)، سوسک لوبیا (Karabörklü et al., 2010)، سوسک کشیش *Rhyzopertha dominica* (Fabriciua) (Zayed, 2018) و شپشه گندم (Demeter et al., 2021) نشان داده شده است. با وجود تلفات ۹۵ درصدی تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره هندی به ترتیب با غلظت‌های ۲۴۱/۸۸ و ۲۴۹/۴۴ میکرولیتر بر لیتر هوای اسانس مرزنگوش در پژوهش حاضر، در تحقیقی اثرات تخم‌کشی این اسانس علیه این دو شب‌پره با غلظت‌های ۲۵ تا ۲۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا طی ۲۴ تا ۹۶ ساعت درمعرض‌گذاری قابل توجه نبود (Ayvaz et al., 2009). همچنین، مقادیر LC_{50} و LC_{99} اسانس مرزنگوش برای حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد پس از ۱۲ ساعت اسانس‌دهی به ترتیب ۳/۲۷ و ۵/۱۳ میکرولیتر بر لیتر هوا (Karabörklü et al., 2011) گزارش شده است.

محققان در سراسر جهان در حال ارزیابی استفاده از اسانس‌های گیاهی به عنوان بهترین روش محافظت از محصولات در برابر آفات، و همزمان برای درک سازوکار سمیت آن‌ها روی گونه‌های مختلف حشرات در تلاش هستند (Gupta et al., 2023). با وجودی که سازوکارهای سمیت و نحوه اثر اسانس‌های گیاهی به طور کامل شناسایی نشده‌اند (Ebadollahi, 2013)، اما بررسی‌های انجام‌شده روی حشرات، بیشتر یک عملکرد عصبی را نشان داده‌اند (Isman & Machial, 2006). اجزای مختلف اسانس‌های گیاهی با مسدود کردن گیرنده‌های بوتیریل‌کولین استراز و مهار گیرنده‌های ویژه‌ای در حشرات از جمله گیرنده‌های استیل‌کولین استراز، ATPaseها، کانال‌های یونی وابسته به گاما-آمینوبوتیریک اسید، استیل‌کولین نیکوتینیک (Gupta et al., 2023) و اکتوپامین (Enan, 2001; Gupta et al., 2023) باعث بروز سمیت عصبی و در نهایت مرگ حشرات می‌شوند. علاوه بر این، اثرگذاری اسانس‌های گیاهی روی فعالیت‌های هورمونی، فرومونی و آنزیم‌های سیتوکروم P_{450} منواکسیژناز نیز گزارش شده است (Tsao & Coats, 1995; De-Oliveira et al., 1997). حتی اثرات فیزیکی اسانس‌های گیاهی مانند تخریب کردن غشاهای سلولی یا ایجاد اختلال در عملکرد آن‌ها، و نیز مسدود شدن تراشه‌های تنفسی حشرات به عنوان سازوکارهایی محتمل پیشنهاد شده‌اند (Isman & Machial, 2006). منوترپن‌ها (اجزای اصلی تشکیل‌دهنده بسیاری از اسانس‌های گیاهی) با کاهش نفوذپذیری غشاهای سلولی، کاهش تعداد اجسام گلژی و میتوکندری و اختلال در تنفس سلولی، روی بافت‌های حشرات اثرات سیتوتوکسیک دارند (Kostyukovsky et al., 2002) و با مهار استیل‌کولین استراز، به ویژه در بندپایان، باعث بروز سمیت عصبی می‌شوند (Gupta et al., 2023). این گزارش‌های موجود در منابع مختلف نشان می‌دهند که در حشرات، جایگاه‌های هدف متنوعی وجود دارند که محل تاثیر اجزای مختلف اسانس‌های گیاهی می‌باشند. نبود گیرنده‌های اکتوپامین در مهره‌داران، انتخابی بودن اسانس‌های گیاهی را به عنوان حشره‌کش باعث می‌شود

(Ebadollahi et al., 2013) که مزیتی بسیار عالی به شمار می‌رود. به طور کلی، تفاوت‌هایی که از نظر میزان موثر بودن اسانس‌های گیاهی گزارش شده‌اند (حتی تفاوت اثر اسانس یک گیاه روی یک حشره در پژوهش‌های مختلف)، بدون تردید به شرایط انجام آزمایش، تفاوت در حشرات مورد استفاده (به ویژه وجود تفاوت‌های فیزیولوژیک از نظر دارا بودن سازوکارهای سم‌زدایی) و به ویژه به متفاوت بودن کیفیت و کمیت اسانس‌های مورد بررسی مربوط می‌باشند. در نتیجه، تفاوت‌های گزارش‌شده در مورد اثربخشی کمتر یا بیشتر اسانس‌ها روی مراحل مختلف نشوونمایی حشرات را می‌توان به این عوامل نسبت داد.

طبق نتایج حاصل از این پژوهش، تمامی اسانس‌ها علیه شب‌پره مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره هندی دارای اثرات کشندگی قابل قبولی بودند. در هر دو گونه، اسانس گندواش بیشترین اثرات تخم‌کشی را دارا بود. اسانس‌های مورد و گندواش بیشترین اثرات لاروکشی را به ترتیب روی شب‌پره مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره هندی نشان دادند. بیشترین تلفات حشرات کامل هر دو گونه نیز در اثر استفاده از اسانس مورد مشاهده شد. با وجود این، تلفات تخم‌ها، لاروهای سن اول و حشرات کامل هر دو گونه در اثر استفاده از سایر اسانس‌ها نیز قابل توجه بود. نتایج پژوهش‌های انجام شده تا کنون در زمینه اثرات اسانس‌های گیاهی و اجزای مهم تشکیل‌دهنده آن‌ها روی حشرات به یک تعمیم کلی رسیده‌اند و آن، اثرات مختلف کشنده (تخم‌کشی، لاروکشی و بالغ‌کشی) و زیرکشنده (کاهش زادآوری و طول عمر حشرات کامل و غیره) این ترکیبات روی حشرات در غلظت‌های قابل قبول می‌باشد. در پژوهش‌های انجام شده در ایران، عوامل مختلفی از جمله مرحله فنولوژیک گیاه (Habibian et al., 2021)، تاریخ کاشت، زمان برداشت (Nosrati Momvandi et al., 2021)، تراکم کاشت (Yousefi et al., 2022)، نوع رویشگاه (Hatamnia, 2023) و غیره در بروز تغییر در کمیت و کیفیت اسانس‌های گیاهی موثر گزارش شده‌اند. اثرات حشره‌کشی اسانس‌ها نیز معمولا به گونه حشره و ترکیب شیمیایی اسانس وابسته می‌باشند (Hennia et al., 2019).

به دلیل سمیت پایین و زیست‌تخریب‌پذیری بالا، اسانس‌های گیاهی جایگزین مناسبی برای سموم حشره‌کش شیمیایی می‌باشند و فعالیت حشره‌کشی آن‌ها عمدتا به دلیل دارا بودن ترکیبات ترپنوئیدی و فنلی می‌باشد (Karabörklü et al., 2011). مطالعات زیادی در مورد اثر ترپنوئیدها روی حشرات انجام شده‌اند و نتایج نشان داده‌اند که این ترکیبات به عنوان حشره‌کش و بازدارنده تغذیه و تخمگذاری در حشرات عمل می‌کنند (Enan, 2001). کارایی حشره‌کشی، لاروکشی (به عنوان مثال Khani et al., 2017) و تخم‌کشی (به عنوان مثال Kheirkhah et al., 2015) اسانس‌های گیاهی یا اجزای مهم آن‌ها مانند ترپینن-۴- اُل، گاما- ترپینن، منتول (Abdelgaleil et al., 2009)، ۱،۸- سینئول (Rozman et al., 2007; Hennia et al., 2019)، کارواکرول (Koutsaviti et al., 2018)، آلفا- ترپینئول، آلفا- پینن، کومینالدئید، سینامالدئید، آنه‌تول، استراگول، اوژنول و پارا- سایمن (Abdelgaleil et al., 2009; Hennia et al., 2019)، تایمول، اوژنول، بورنئول (Rozman et al., 2007)، کامفور و لینالوئول (Rozman et al., 2007; Abdelgaleil et al., 2009) گزارش شده‌اند. به طور کلی، سمیت اسانس‌های گیاهی در برابر آفات انباری به اجزای اصلی آن‌ها مانند 1,8-cineole، Thymol، Eugenol، Terpinene، Limonene، α-pinene و Carvacrol مربوط می‌باشد (Singh et al., 2003; Ebadollahi, 2011). وجود اکثر این ترکیبات در هشت اسانس مورد بررسی دلیل کارایی حشره‌کشی آن‌ها می‌باشد اما تفاوت در کمیت و کیفیت آن‌ها و احتمالا به ویژه برهمکنش‌های بین اجزا (سینرژیستی و آنتاگونیستی)، متفاوت بودن اثرات حشره‌کشی آن‌ها را قابل توجیه می‌سازد.

جدول ۷- ترکیبات شیمیایی شناسایی‌شده در اسانس‌های هشت گیاه دارویی ایرانی

Table 7. Identified compounds in essential oils of eight Iranian pharmaceutical plants

Compound	Value (%)							
	A. annua	*E. persica*	*Z. multiflora*	*T. balsamita*	*F. gummosa*	*M. communis*	*C. limon*	*O. majorana*
α-Thujene	-	0.199	-	-	3.382	-	-	-
α-Phellandrene	-	-	-	-	-	-	-	0.725
δ-3-Carene	3.438	1.395	-	-	-	**30.549**	-	-
1R-α-Pinene	-	-	1.416	**5.108**	**5.632**	-	2.144	0.582
Camphene	8.062	-	-	-	1.942	-	-	-
β-terpinene	1.134	-	-	0.436	-	-	-	-
β-Phellandrene	-	-	-	-	-	-	-	2.634
β-Thujene	-	-	-	-	**34.234**	-	-	-
β-pinene	1.070	1.972	0.363	-	**22.371**	1.915	2.537	1.267
Yomogi alcohol	0.813	-	-	-	-	-	-	-
(3E,5E)-2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	-	-	-	0.445	-	-	-	-
α-Terpinen	-	0.532	0.735	-	-	-	-	-
p-Cymene	-	**5.160**	3.158	1.534	-	-	5.322	2.190
tert-Butylbenzene	0.420	-	-	-	**6.876**	1.151	-	-
-Isopropenyl-1-methyl-1-cyclohexene	-	-	-	-	-	-	-	1.087
Limonene	-	**14.524**	-	4.064	-	2.678	**55.131**	-
γ-Terpinene	-	0.095	2.385	0.430	-	0.576	4.489	**15.494**
1,8-Cineole	**13.431**	-	-	4.498	-	**19.580**	-	-
α-Terpinolen	-	**31.622**	-	-	--	0.293	-	**9.125**
5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	-	-	-	-	1.462	-	-	3.509
3,3,6-Trimethyl-1,5-heptadien-4-ol	0.681	-	-	-	-	-	-	-
2-Carene	-	1.756	-	-	-	-	-	-
(+)-4-Carene	-	-	-	-	-	-	2.081	**4.022**
Linalyl isobutyrate	-	-	-	--	-	**9.367**	-	**5.957**
Linalool acetate	2.970	-	-	1.043	-	-	-	-
(–)-Thujone	-	-	-	**17.600**	-	-	-	-
trans-*p*-Mentha-2,8-dienol	-	-	-	1.117	-	-	-	-
Carveol	-	-	-	0.463	-	-		-
cis-Sabinol	1.199	-	-	-	-	-	-	-
Camphor	**41.388**	-	-	-	-	-	-	-
Terpinen-4-ol	0.914	0.267	0.392	0.590	-	0.522	1.295	-
(–)-Terpinen-4-ol	-	-	-	-	-	-	-	**34.138**

جدول ۷- ادامه

Table 7. Continued

Compound	Value (%)							
	A. annua	***E. persica***	***Z. multiflora***	***T. balsamita***	***F. gummosa***	***M. communis***	***C. limon***	***O. majorana***
3,9-Epoxy-p-mentha-1,8(10)-diene	-	-	-	0.504	-	-	-	-
5-Isopropenyl-2-methylenecyclohexanol	-	-	-	1.209	-	-	-	-
(4-Isopropyl-1,3-cyclohexadien-1-yl)methanol	-	0.539	-	-	-	-	-	-
α-Terpineol	-	-	-	-	-	**8.298**	**7.700**	**4.054**
Terpene hydrochloride	-	-	-	1.109	-	-	-	-
cis-Carveol	-	-	-	1.165	-	-	-	-
trans-Piperitol	-	-	-	-	-	-	-	0.647
2-Isopropyl-1-methoxy-4-methylbenzene	-	-	0.992	-	-	-	-	-
Propanal, 2-methyl-3-phenyl-	-	**13.180**	-	-	-	-	-	-
Carvone	-	-	-	**42.607**	-	0.864	-	-
(+)-Camphene	-	-	-	-	-	-	-	1.814
Thymol	-	-	2.918	-	-	-	-	-
Carvacrol	-	0.691	**60.593**	-	-	**13.987**	-	-
3-Isopropoxy-1,1,1,7,7,7-hexamethyl-3,5,5-tris(trimethylsiloxy) tetrasiloxane	4.787	4.046	5.555	-	-	-	-	-
5,9,9-Trimethyl-spiro[3.5]non-5-en-1-one	-	-	-	-	-	2.545	-	-
4a-Methyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	-	-	-	-	-	0.446	-	-
Carbamult	-	-	2.324			0.509	-	-
Copaene	1.733	-	-	-	-	-	-	-
γ-Cadinene	4.058	0.239	-	0.185	3.900	-	-	-
β-Elemene	-	0.223	-	-	-	-	-	-
Caryophyllene	**5.802**	1.003	1.642	0.384	-	1.392	1.719	3.347
γ-Elemene	-	0.410	-	-	-	-	-	-
α-Bergamotene		-	-	-	-	-	4.102	-
10s,11s-Himachala-3(12),4-diene	-	-	0.897	-	1.683	-	-	0.616
(+)-Aromadendrene	-	-	-	-	-	0.272	-	-
6S-2,3,8,8-Tetramethyltricyclo[5.2.2.0(1,6)]undec-2-ene	-	-	-	-	2.697	-	-	-
Humulene	-	-	-	-	-	1.101	-	-
(+)-Epi-bicyclosesquiphellandrene	-	-	-	-	1.206	-	-	-
1-Isopropyl-4-methylenebicyclo[3.1.0]hex-2-ene	-	0.760	-	-	-	-	-	-

جدول ۷- ادامه

Table 7. Continued

Compound	Value (%)							
	A. annua	***E. persica***	***Z. multiflora***	***T. balsamita***	***F. gummosa***	***M. communis***	***C. limon***	***O. majorana***
2-Isopropenyl-4a,8-dimethyl-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	-	-	-	-	-	-	0.260	-
β-Cubebene	-	-	-	2.203	-	-	-	-
Dysoxylonene	-	-	-	-	-	-	0.811	-
β-Eudesmene	4.449	2.311	-	-	-	-	-	-
Varidiflorene	-	-	0.487	-	-	0.153	-	1.302
α-Selinene	-	0.851	-	-	-	-	-	-
γ-Gurjunene		0.539	-	-	-	-	-	2.201
γ-Muurolene	-	-	-	0.375	-	-	-	-
α-Himachalene	-	0.177	-	**4.945**	-	-	**8.667**	-
α-Farnesene	-	-	-	-	-	-	0.816	-
α-Longipinene	-	0.068	-	-	-	-	-	-
Cadinene	0.433	0.112	-	1.844	-	-	-	-
Calamenene	-	-	-	-	1.770	-	-	-
δ-Cadinene	-	-	-	0.365	-	-	-	-
α-Patchoulene	-	--	-	0.556	-	-	-	-
Myristicin	-	**5.856**	-	-	-	-	-	-
Isoledene	-	-	-	-	1.487	-	-	-
Terbutaline, tris(trimethylsilyl) ether	3.217	2.502	**11.229**	-	-	-	-	1.958
1,2,3,1',2',3'-Hexamethyl-bicyclopentyl-2,2'-diene	-	-	-	-	6.150	-	-	-
Isoaromadendrene epoxide	-	-	-	-	-	0.943	-	-
Apiole	-	2.794	-	-	-	-	-	-
Cubenol	-	-	-	1.917	-	-	-	-
Epizonarene	-	-	-	-	**5.208**	-	-	-
τ-Cadinol	-	-	-	1.142	-	-	-	-
1R,4S,7S,11R-2,2,4,8-Tetramethyltricyclo[5.3.1.0(4,11)]undec-8-ene	-	-	-	0.564	-	-	-	-
Methyl eicosa-5,8,11,14,17-pentaenoate	-	-	-	0.747	-	-	-	-
Bisabolol oxide A	-	-	1.571	-	-	-	-	-
Number of compounds	**19**	**28**	**16**	**29**	**15**	**20**	**14**	**20**
Total (%)	**99.999**	**93.823**	**96.657**	**99.149**	**100**	**97.141**	**97.074**	**96.669**

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که چهار ترکیب Camphor، 1,8-Cineole، Camphene و Caryophyllene اجزای اصلی اسانس گندواش بودند. این نتایج با یافته‌های برخی پژوهش‌ها نسبتا همخوانی دارند (به عنوان مثال Donato et al., 2015) اما با برخی نتایج گزارش شده متفاوت هستند (به عنوان مثال Massiha et al., 2012). درصد سه جزء اصلی اسانس گندواش یعنی Artemisia ketone، 1,8-cineole و Camphor بسته به منشا جغرافیایی گیاه تفاوت‌های زیادی دارد و اسانس‌های کموتیپ ایرانی معمولا دارای ۴۸ درصد Camphor و ۹/۴ درصد 1,8-Cineole می‌باشند (Bilia et al., 2014). در موارد معدود، ترکیب Artemisia ketone نیز از اسانس‌های گندواش‌های ایرانی گزارش شده است (Bovard et al., 2014; Mojarab-Mahboubkar et al., 2023).

طبق نتایج، δ-3-Carene، 1,8-Cineole، Carvacrol، Linalyl isobutyrate و α-Terpineol به ترتیب اجزای اصلی اسانس مورد بودند. به استثنای 1,8-Cineole به عنوان دومین جزء با درصد فراوان در اسانس، سایر اجزای شناسایی شده در این پژوهش با نتایج سایر محققان همخوانی ندارند. به طور کلی، α-pinene، 1,8-Cineole و linalool (با تغییراتی در ترتیب) به همراه چند ترکیب دیگر (Hennia et al., 2019; Atik et al., 2020; Benddine et al., 2022) حتی در اسانس‌های ایرانی (Weyerstahl et al., 1994; Zomorodian et al., 2013; Yazdanian & Reihani, 2021) به عنوان فراوان‌ترین اجزای اسانس مورد گزارش شده‌اند. در برخی پژوهش‌ها، مقدار δ-3-Carene در اسانس این گیاه برابر با ۰/۱۹ (Weyerstahl et al., 1994)، ۰/۳ (Zomorodian et al., 2013) و ۶/۱ درصد (Atik et al., 2020) گزارش شده است. عدم وجود α-pinene و Linalool و درصد بالای Carvacrol در این پژوهش، مهمترین تفاوت‌هایی هستند که گزارش می‌شوند.

در بررسی حاضر، ترکیبات Carvacrol و Terbutaline, tris(trimethylsilyl) ether به ترتیب فراوان‌ترین اجزای اسانس آویشن شیرازی بودند. مقدار Thymol در اسانس آویشن شیرازی برابر با ۲/۹۱۸ درصد (پنجمین جزء) برآورد شد. در بیشتر گزارش‌های موجود، Carvacrol و Thymol با تغییر در ترتیب به عنوان دو جزء اصلی اسانس آویشن شیرازی گزارش شده‌اند (به عنوان مثال Harati et al., 2022)، هرچند گزارش‌هایی نیز وجود دارند که در آن‌ها Carvacrol (Ebrahimzadeh et al., 2003) یا Thymol (Kowsari et al., 2021) به عنوان چهارمین یا پنجمین جزء اسانس از نظر درصد شناسایی شده‌اند که نتایج پژوهش حاضر از نظر درصد Thymol در این اسانس با سه گزارش اخیر مطابقت دارد.

در اسانس باریجه مورد بررسی، β-Thujene و β-pinene اجزای اصلی بودند. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده، β-pinene و α-pinene به عنوان اجزای اصلی اسانس باریجه گزارش شده‌اند (به عنوان مثال Pavela et al., 2020) هرچند در مواردی نیز درصد δ-3-Carene (Ghannadi & Amree, 2002) و Sabinene (Goodarzi et al., 2022) به عنوان جزء اصلی دوم بیشتر از α-pinene گزارش شده است. در منابع موجود، گزارشی از β-Thujene به عنوان جزء غالب اسانس باریجه دیده نشد. در مطالعه‌ای روی ترکیب شیمیایی اسانس باریجه از منطقه جاجرم استان خراسان شمالی، ترکیبات γ-elemene، Germacrene B، (E)-γ-bisabolene، Viridiflorene و Epizonaren به ترتیب اجزای اصلی اسانس بودند (Mohammadhosseini et al., 2015). در اسانس تهیه شده از نمونه‌های جمع‌آوری شده از کوه‌های البرز، Limonene به عنوان ترکیب اصلی اسانس باریجه گزارش شده است (Gillvari et al., 2011).

طبق نتایج، α-Terpinolen، Limonene و Propanal, 2-methyl-3-phenyl- فراوان‌ترین اجزای

اسانس زیره سیاه بودند. در بیشتر گزارش‌های موجود، Cuminaldehyde و γ-Terpinene اصلی‌ترین اجزای اسانس بوده‌اند (به عنوان مثال Nouri Ganbalani et al., 2021; Perinelli et al., 2022) اما در برخی دیگر (Siyadatpanah et al., 2023) ترکیبات متفاوتی به ترتیب به عنوان اجزای اصلی شناسایی شده‌اند. در چند مطالعه نیز Limonene به عنوان یکی از اجزای اصلی این اسانس گزارش شده است (به عنوان مثال Hossein Jafari & Saadatfar, 2020). مقایسه گزارش‌های موجود با نتایج پژوهش حاضر، تفاوت مهم در اجزای اصلی تشکیل‌دهنده اسانس زیره سیاه مورد استفاده در این بررسی را با آن‌ها نشان می‌دهد.

طبق نتایج GC-MS، سه ترکیب Limonene، α-Himachalene و α-Terpineol به ترتیب اجزای اصلی اسانس بودند. نتایج پژوهش‌های بسیاری از محققان نشان داده‌اند که Limonene جزء اصلی اسانس لیمو است و سپس ترکیباتی مانند β-Pinene، γ-Terpinene، α-Pinene و α-Terpinene به عنوان سایر اجزای مهم گزارش شده‌اند (به عنوان مثال Zarrad et al., 2013; Paw et al., 2020; Gao et al., 2022; Hadj Larbi et al., 2023). در برخی گزارش‌ها نیز بعد از Limonene ترکیبات Neral، trans-verbenol و decanal (Paw et al., 2020) به عنوان اجزای اصلی شناسایی و گزارش شده‌اند. در پژوهشی نیز Linalool، Geraniol، α-Terpineol و Linalyl acetate به ترتیب به عنوان اجزای اصلی تشکیل‌دهنده اسانس برگ لیمو گزارش شده‌اند (Hojjati & Barzegar, 2017).

دو ترکیب Carvone و Thujone-(–) اجزای اصلی اسانس شاهسپرم بودند. ترکیب Carvone به عنوان جزء اصلی اسانس‌های تعداد زیادی از گونه‌های تیره‌های Lamiaceae و Asteraceae شناخته شده است (Bouyahya et al., 2021). در بیشتر پژوهش‌های انجام شده در دنیا (به عنوان مثال Yousefzadi et al., 2009) و ایران (Hassanpouraghdam et al., 2008 a,b) نیز این ترکیب به عنوان فراوان‌ترین جزء در اسانس شاهسپرم شناسایی و گزارش شده است. ترکیباتی مانند α-thujone، β-thujone و 1,8-cineole (Hassanpouraghdam et al., 2008b; Yousefzadi et al., 2009) نیز به عنوان اجزای بعدی گزارش شده‌اند. در دو پژوهش با نتایجی متفاوت، Trans-chrysanthenol، Chrysanthenyl acetate، Linalool oxide، Camphor و 1,8-cineole (Bagci et al., 2008) و Camphor و α-thujone (Gallori et al., 2001) به ترتیب اجزای اصلی اسانس بودند. در ایران نیز در یک پژوهش، Bornyl acetate، Pinocarvone، Camphor و α-Terpineol اجزای اصلی اسانس بودند (Jaimand & Rezaee, 2005). با توجه به منوترپن‌های غالب، چهار کموتیپ برای شاهسپرم پیشنهاد شده است: تیپ کاروُن، تیپ کامفور، تیپ کامفور- توجون و تیپ کاروُن- آلفا- توجون (Vukic et al., 2022).

سه ترکیب (–)-Terpinen-4-ol، γ-Terpinene و α–Terpinolen اجزای اصلی اسانس مرزنگوش بودند. گزارش‌ها در زمینه ترکیبات موجود در اسانس مرزنگوش متفاوت می‌باشند. (–)-Terpinen-4-ol در برخی پژوهش‌ها به عنوان فراوان‌ترین جزء اسانس مرزنگوش گزارش شد (به عنوان مثال Mashhadi et al., 2021) اما در برخی دیگر (Prabu et al., 2020) دومین ترکیب اصلی بود. ترکیب γ-Terpinene نیز در مواردی به عنوان دومین جزء اصلی گزارش شده است (Mashhadi et al., 2021). در سایر گزارش‌های موجود، ترکیباتی مانند Linalyl acetate (Baj et al., 2018)، Carvacrol، Thymol (Partovi et al., 2018)، 1,8-Cineole و L-Linaloo (Mady et al., 2021) و در نمونه‌های

برزیلی، Pulegone و Verbenone (Chaves et al., 2020) به عنوان اجزای اصلی اسانس‌های این گیاه شناسایی و گزارش شده‌اند.

نتیجه‌گیری نهایی

به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اسانس‌های هشت گیاه دارویی ایرانی طی ۲۴ ساعت علیه تخم‌ها (با مقادیر LC_{50} ۵۸ تا ۱۵۰) ، لاروهای سن اول (با مقادیر LC_{50} ۸۴ تا ۱۹۲) و حشرات کامل (با مقادیر LC_{50} ۵۴ تا ۱۴۶ میکرولیتر بر لیتر هوا) شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، و تخم‌ها (با مقادیر LC_{50} ۵۱ تا ۱۳۶) ، لاروهای سن اول (با مقادیر LC_{50} ۷۷ تا ۱۸۱) و حشرات کامل (با مقادیر LC_{50} ۴۵ تا ۱۳۴ میکرولیتر بر لیتر هوا) شب‌پره هندی کارایی حشره‌کشی مناسبی داشتند. طبق نتایج تجزیه شیمیایی اسانس‌ها، اجزای مهم حشره‌کش در ترکیب هشت اسانس شناسایی شدند. با توجه به این که ایران دارای فلور بی‌نظیری از گیاهان معطر و دارویی حاوی ترکیبات متنوع از جمله اسانس می‌باشد، منابعی بالقوه جهت شناسایی و استخراج ترکیبات دارویی، حشره‌کش، قارچ‌کش و غیره در اختیار پژوهشگران قرار دارند. نتایج این پژوهش، اهمیت مطالعات بعدی در زمینه افزایش استفاده از ترکیبات گیاهی حشره‌کش ایمن برای سلامت انسان و محیط زیست را نشان می‌دهند.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان جهت اجرای طرح پژوهشی به شماره شناسه ۶۲-۴۵۶-۰۰ که مقاله حاضر مستخرج از آن می‌باشد، تقدیر و تشکر می‌شود.

References

Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, *18*(2), 265-267.

Abdelgaleil, S. A. M., Mohamed, M. I. E., Badawy, M. E. I., & El-Arami, S. A. A. (2009). Fumigant and contact toxicities of monoterpenes to *Sitophilus oryzae* (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst) and their inhibitory effects on acetylcholinesterase activity. *Journal of Chemical Ecology*, *35*, 225-232. https://doi.org/10.1007/s10886-009-9635-3.

Abdelgaleil, S. A. M., Mohamed, M. I. E., Shawir, M. S., & Abou-Taleb, H. K. (2016). Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of essential oils of different plant species from Northern Egypt on the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. *Journal of Pest Science*, *89*(1), 219-229. https://doi.org/10.1007/s10340-015-0665-z.

Ahmadi, Z., Mehrvar, A., & Hassanpouraghdam, M. B. (2014). Study on the effects of four species of essential oils from *Petroselium sativum*, *Ocimum basilicum*, *Tanacetum balsamita* and *Cupressus arizonica* on first instar larval *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae). Proceedings of 21st Iranian Plant Protection Congress. 23-26 August, 2014, Urmia University, Urmia, Iran. p. 540.

Ahsaei, S. A., Rodríguez-Rojo, S., Salgado, M., Cocero, M. J., Talebi-Jahromi, Kh., & Amoabediny, Gh., (2020). Insecticidal activity of spray dried microencapsulated essential oils of *Rosmarinus officinalis* and *Zataria multiflora* against *Tribolium confusum*. *Crop Protection*, *128*, 104996. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104996.

Amoura, M., Benabdallah, A., Kilani-Morakchi, S., & Messaoud, C. (2021). Fumigant and repellent potentials of *Mentha pulegium* L. and *Citrus limon* L. (Burm) essential oils against *Tribolium confusum* Duval. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Research*, *45*(1), 73-80. https://doi.org/10.5958/0974-4576.2021.00012.8.

Atik, H., Bülbül, T., Özdemir, V., Avci, G., & Bülbül, A., (2020). Effect of myrtle (*Myrtus communis* L.) essential oil on oxidant-antioxidant balance in rats with propylthiouracil-induced hypothyroidism. *Journal of Food Biochemistry*, 00:e13498. https://doi.org/10.1111/jfbc.13498.

Attighi Lorestani, F., Khashaveh, A., & Attighi Lorestani, R. (2013). Fumigant toxicity of essential oil from *Tanacetum balsamita* L. (Compositae) against adults and eggs of *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *46*(17), 2080-2086. https://doi.org/10.1080/03235408.2013.785112.

Aouadi, G., Haouel, S., Soltani, A. Ben Abada, M., Boushih, E., Elkahoui, S., Taibi, F., Ben Jemâa, J. M., & Bennadja, S. (2020). Screening for insecticidal efficacy of two Algerian essential oils with special concern to their impact on biological parameters of *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Plant Diseases and Protection, 127*, 471-482. https://doi.org/10.1007/s41348-020-00340-y.

Ayvaz, A., Karaborklu, S., & Sagdic, O. (2009). Fumigant toxicity of five essential oils against the eggs of *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Asian Journal of Chemistry*, *21*(1), 596-604.

Ayvaz, A., Sagdic, O., Karaborklu, S., & Ozturk, I. (2010). Insecticidal activity of the essential oils from different plants against three stored-product insects. *Journal of Insect Science*, *10*: 21. https://doi.org/10.1673/031.010.2101.

Bagci, E., Kursat, M., Kocak, A., & Gur, S. (2008). Composition and antimicrobial activity of the essential oils of *Tanacetum balsamita* L. subsp. *balsamita* and *T. chiliophyllum* (Fisch. et Mey.) Schultz Bip. var. *chiliophyllum* (Asteraceae) from Turkey. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *11*(5), 476-484. https://doi.org/10.1080/0972060X.2008.10643656.

Bagheri-Zenouz, E. (2007). *Pest of stored products and management to maintain, biology of insects, acari and microorganisms* (1st ed.). University of Tehran Press. (In Farsi).

Bughio, F. M., & Wilkins, R.M. (2004). Influence of Malathion resistance status on survival and growth of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), when fed on four from insect-resistant and susceptible grain rice cultivars. *Journal of Stored Products Research*, *40*(1), 65-75. https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00077-2.

Baj, T., Baryluk, A., & Sieniawska, E. (2018). Application of mixture design for optimum antioxidant activity of mixtures of essential oils from *Ocimum basilicum* L., *Origanum majorana* L. and *Rosmarinus officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, *115*, 52-61. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.006.

Bouchelos, K. T. (2018). *Insects of warehouses and food*. Embryo Publications. Athens, Greece. (In Greek).

Benddine, H., Zaid, R., Babaali, J., & Daoudi-Hacini, S. (2023). Biological activity of essential oils of *Myrtus communis* (Myrtaceae, Family) and *Foeniculum vulgare* (Apiaceae, Family) on open fields conditions against corn aphids *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) in western Algeria. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *22*(2), 78-88. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.07.001.

Bilia, A. R., Santomauro, F., Sacco, C. , Bergonzi, M. C., & Donato, R. (2014). Essential oil of *Artemisia annua* L.: an extraordinary component with numerous antimicrobial properties. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 159819, https://doi.org/10.1155/2014/159819.

Bouyahya, A., Mechchate, H., Benali, T., Ghchime, R., Charfi, S., Balahbib, A., Burkov, P., Shariati, M. A., Lorenzo, J. M., & el Omari, N. (2021). Health benefits and pharmacological properties of Carvone. *Biomolecules*, *11*(12),1803. https://doi.org/10.3390/biom11121803.

Bovard, R., Rezazadeh, S. A., Naghavi, M. R., Omidi, M., Torabi, S., Parvane, S., Hariri Akbari, F., & Taghizad Farid, R. (2014). Variation in the essential oil of *Artemisia annua* L. apical shoots at different developmental stages. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *45*(3), 319-324. https://doi.org/10.22059/ijhs.2014.52881. (In Farsi with English summary).

Chaves, R. S. B., Martins, R. L., Rodrigues, A. B. L., Rabelo, E. M., Farias, A. L. F., Brandão, L. B., Santos, L. M., Galardo, A. K. R., & Almeida, S. S. M. S. (2020). Evaluation of larvicidal potential against larvae of *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) and of the antimicrobial activity of essential oil obtained from the leaves of *Origanum majorana* L. *PLoS ONE*, *15*(7), e0235740. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235740.

Deb, M., & Kumar, D. (2020). Bioactivity and efficacy of essential oils extracted from *Artemisia annua* against *Tribolium castaneum* (Herbst. 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae): An eco-friendly approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *189*, 109988, https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109988.

Demeter, S., Lebbe, O., Hecq, F., Nicolis, S. C., Kemene, T. K., Martin, H., Fauconnier, M.-L., & Hance, T. (2021). Insecticidal activity of 25 essential oils on the stored product pest, *Sitophilus granarius*. *Foods*, *10*(2), 200. https://doi.org/10.3390/foods10020200.

Demirel, N., Sener, O., Arslan, M., Uremis, I., Uluc, F. T., & Cabuk, F. (2009). Toxicological responses of confused flour beetle, *Tribolium confusum* du val (Coleoptera: Tenebrionidae) to various plant essential oils. *Asian Journal of Chemistry*, *21*(8), 6403-6410.

De-Oliveira, A. C. A. X., Ribeiro-Pinto, L. F., & Paumgartten, F. J. R. (1997). In vitro inhibition of CYP2B1 monooxygenase by b-myrcene and other monoterpenoid compounds. *Toxicology Letters*, *92*(1), 39-46. https://doi.org/10.1016/S0378-4274(97)00034-9.

Donato, R., Santomauro, F., Bilia, A. R., Flamini, G., & Sacco, C. (2015). Antibacterial activity of Tuscan *Artemisia annua* essential oil and its major components against some foodborne pathogens. *LWT-Food Science and Technology*, *64*, 1251-1254. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.014.

Ebadollahi, A. (2011). Iranian plant essential oils as sources of natural insecticide agents. *International Journal of Biological Chemistry*, *5*(5), 266-290. https://doi.org/10.3923/ijbc.2011.266.290.

Ebadollahi, A. A. (2013). Essential oil isolated from Myrtaceae family as natural insecticides. *Annual Research and Review in Biology, 3*(3), 148-175.

Ebrahimzadeh, H., Yamini, Y., Sefidkon, F., Chaloosi, M., & Pourmortazavi, S. M. (2003). Chemical composition of the essential oil and supercritical CO_2 extracts of *Zataria multiflora* Boiss. *Food Chemistry*, *83*(3), 357-361. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00096-7.

Emamjomeh, L., Imani, S., Talebi, Kh., Moharramipour, S. & Larijani, K. (2014). Chemical composition and insecticidal activity of essential oil of *Zataria multiflora* Boiss. (Lamiaceae) against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *European Journal of Experimental Biology*, *4*(3), 253-257.

Emamjomeh, L., Imani, S., Talebi, Kh., & Moharramipour ,S. (2021). Nanoencapsulation enhances the contact toxicity of *Eucalyptus globulus* Labill and *Zataria multiflora* Boiss essential oils against the third instar larvae of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Pest Management*, *69*(2),1-9. https://doi.org/10.1080/09670874. 2020.1871529.

Emamjomeh, L., Imani, S., Talebi, K. H., Moharramipour, S., & Larijani, K. (2018). Preparation of nanoemulsion formulation of essential oil of *Zataria multiflora* and comparison of contact toxicity with pure essential oil on *Ephestia kuehniella*. *Applied Entomology and Phytopathology*, *85*(2), 181-190. https://doi.org/10.22092/jaep.2017. 109159. 1151. (In Farsi with English summary).

Enan, E. (2001). Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, *130*(3), 325-337. https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00255-1.

Forouzan, M., Hosseinzadeh, A., Aramideh, Sh., Ghassemi-Kahrizeh, A., Mirfakhraie, Sh., & Mahinfar, S. (2016). Fumigant toxicity of essential oils from *Artemisia annua* L. and the synergistic effect of acetone against three most important stored pests. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, *4*(6), 117-120.

Gallori, S., Flamini, G., Bilia, A. R., Morelli, I., Landini, A., & Vincieri, F. F. (2001). Chemical composition of some traditional herbal drug preparations: Essential oil and aromatic water of costmary (*Balsamita suaveolens* Pers.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*, 5907-5910. https://doi.org/10.1021/jf0107656.

Gao, Z., Yu, Z., Qiao, Y., Bai, L., Song, X., Shi, Y., Li, X., Pang, B., Ayiguli, M., & Yang, X. (2022). Chemical profiles and enzyme-targeting acaricidal properties of essential oils from *Syzygium aromaticum*, *Ilex chinensis* and *Citrus limon* against *Haemaphysalis longicornis* (Acari: Ixodidae). *Industrial Crops and Products*, *188*, Part A, 115697, https://doi.org/10. 1016/j.indcrop.2022.115697.

Ghannadi, A., & Amree, S. (2002). Volatile oil constituents of *Ferula gummosa* Boiss. from Kashan, Iran. *Journal of Essential Oil Research*, *14*, 420-421. https://doi.org/10.1080/ 10412905.2002.9699908.

Ghasemi, V., Khoshnood Yazdi, A., Zaker Tavallaie, f., & Jalali Sendi, J. (2013). Effect of essential oils from *Callistemon viminalis* and *Ferula gummosa* on toxicity and on the hemocyte profile of *Ephestia kuehniella* (Lep.: Pyralidae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *1*(1), 1-11. http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2013.808856.

Gillvari, A., Hosseini Gezir, A., Panahian, A. R., & Shakeri, R. (2011). Comparative assessment on efficiency and compounds of *Ferula gummosa* Boiss. essential oils at two different harvesting areas of Alborz mountains in Iran. *Planta Medica*, *77*(12). https://doi. org/10.1055/s-0031-1282348.

Golestani, Z., Moravej, Gh.H., Azizi, M., & Hatefi, S. (2011). Fumigant toxicity of the essential oils from *Lavandula angustifolia* (Mill) and *Zataria multiflora* (Boiss) on cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Iranian Plant Protection Research*, *25*(3), 286-295. (In Farsi with English summary).

Goodarzi, S., Mofasseri, M., Tofighi, Z., Pirali Hamedani, M., Hadjiakhoondi, A., Tavakoli, S., Moein, Z., & Baharipour, Z. (2022). Remarkable variation in phytochemicals of *Ferula gummosa* Bioss. essential oils collected from different parts of Iran. *Research Journal of Pharmacognosy*, *9*(4), 29-38. https://doi. org/10.22127/rjp.2022.345563.1917.

Gupta, I., Singh, R., Muthusamy, S., Sharma, M., Grewal, K., Singh, H. P., & Batish, D. R. (2023). Plant essential oils as biopesticides: applications, mechanisms, innovations, and constraints. *Plants*, *12*, 2916. https://doi.org/10.3390/plants12162916.

Habibian, S. M. R., Sorbi Akbari, P., & Rowshan, V. (2021). Study on quantitative and qualitative changes in essential oil compounds of *Teucrium polium* L. subsp. *polium* at different phenological stages. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *37*(2), 229-241. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.351556.2847. (In Farsi with English summary).

Hadj Larbi, N., Moghrani, H., Nasrallah, N., Benelmouffok, A., & Kellou, D. (2023). Influence of harvest season on the chemical composition and antifungal activity of *Citrus limon* essential oil. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, *34*, 295-303. https://doi. org/10.1007/s12210-023-01132-w.

Harati, H., Narenji Sani, R., Jebelli Javan, A., Ahmadi-Hamedani, M., & Naeimi, S. (2022). Efficacy of *Zataria multiflora* essential oil for treatment of *Staphylococcus aureus* detected by polymerase chain reaction in lactating dairy cows with subclinical mastitis. *Iranian Veterinary Journal*, *18*(1), 34-45. https://doi.org/10.22055/ivj.2022.342990.2468.

Hashemi Bidsookhteh, S. Kh. (2018). *The effects of eight plant essential oils on some reproductive properties of the Indian meal moth, Plodia interpunctella (Lepidoptera; Pyralidae)*. [M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources]. Gorgan, Iran. (In Farsi with English summary).

Hassanpouraghdam, M. B., Tabatabaie, S. J., Nazemyieh, H., Aflatuni, A., & Vojodi, L. (2008a). Essential oil composition of hydroponically grown *Chrysanthemum balsamita* L. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *11*(6), 649-654. https://doi.org/10.1080/0972060X. 2008.10643682.

Hassanpouraghdam, M. B., Tabatabaie, S. J., Nazemyieh, H., Vojodi, L., & Aazami, M.A. (2008b). Volatile oil constituents of alecost [*Tanacetum balsamita* L. ssp. *balsamitoides* (Schultz-Bip.)] growing wild in North-West of Iran. *Herba Polonica*, *55*(1), 53-59.

Hatamnia, A. A. (2023). Effects of ecological conditions on antioxidant properties, quantity, and quality of *Thymbra spicata* L. essential oil. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *39*(1), 95-105. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.358971.3183. (In Farsi with English summary).

Hennia, A., Nemmiche, S., Dandlen, S., & Miguel, M.G. (2019). *Myrtus communis* essential oils: insecticidal, antioxidant and antimicrobial activities: a review. *Journal of Essential Oil Research*, *31*(6), 487-545. https://doi.org/10. 1080/10412905.2019.1611672.

Hojjati, M., & Barzegar, H. (2017). Chemical composition and biological activities of lemon (*Citrus limon*) leaf essential oil. *Nutrition and Food Sciences Research*, *4*(4), 15-24. https:// doi.org/10.29252/nfsr.4.4.3.

Hosseinpour, M. H., Askarianzadeh, A., Moharramipour, S., & Jalali Sendi, J. (2011). Insecticidal activity of essential oils isolated from Rue (*Ruta graveolens* L.) and Galbanum (*Ferula gummosa* Bioss.) on *Callosobruchus maculatus* (F.). *IOBC/wprs Bulletin*, *69*, 271-275.

Isman, M. B., & Machial, C. M. (2006). Pesticides based on plant essential oils: from traditional practice to commercialization: In M. Rai & M. Carpinella (Eds.). *Naturally occurring bioactive compounds* (pp. 29-44). Elsevier B.V.

Jacob, P., & Qamar, A. (2013). Reproductive impairment and lethal effects of selected combinations of some essential oils against the rice moth, *Corcyra cecphalonica*. *European Journal of Experimental Biology*, *3*(3), 409-415.

Hossein Jafari, S., & Saadatfar, A. (2020). Genetic relationship and phytochemical assessment among populations of *Bunium persicum* (Boiss.) B. Fedtsch. in the natural habitats of Yazd and Kerman. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *36*(2), 305-316. https://doi. org/10.22092/ijmapr.2020.127522.2625. (In Farsi with English summary).

Jaimand, K., & Rezaee, M. B. (2005). Chemical constituents of essential oils from *Tanacetum balsamita* L. ssp. *balsamitoides* (Schultz-Bip.) Grierson. from Iran. *Journal of Essential Oil Research*, *17*(5), 565-566. https://doi.org/10.1080/10412905.2005.9698996.

Kakouri, E., Daferera, D., Kanakis, C., Revelou, P. -K., Kaparakou, E. H., Dervisoglou, S., Perdikis, D., & Tarantilis, P. A. (2022). *Origanum majorana* essential oil- A review of its chemical profile and pesticide activity. *Life*, *12*(12), 1982. https://doi.org/10.3390/life 12121982.

Karabörklü, S., Ayvaz, A., & Yilmaz, S. (2010). Bioactivities of different essential oils against the adults of two stored product insects. *Pakistan Journal of Zoology*, *42*(6), 679-686.

Karabörklü, S., Ayvaz, A., Yilmaz, S., & Akbulut, M. (2011). Chemical composition and fumigant toxicity of some essential oils against *Ephestia kuehniella*. *Journal of Economic Entomology*, *104*(4), 1212-1219. https://doi.org/10.1603/ec10284 .

Khanavi, M., Laghaei, P., & Isman, M. B. (2017). Essential oil composition of three native Persian plants and their inhibitory effects in the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *20*(4), 1234-1240. https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.08.028.

Khani, A., & Basavand, F. (2012). Chemical composition and insecticidal activity of myrtle (*Myrtus communis* L.) essential oil against two stored-product pests. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, *1*(2), 83-89. https://doi.org/10.22092/jmpb.2012.108471.

Khani, M., Marouf, A., Amini, S., Yazdani, D., Farashiani, M., Ahvazi, M., Khalighi-Sigaroodi, F., & Hosseini-Gharalari, A. (2017). Efficacy of three herbal essential oils against rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *20*(4), 937-950. https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1355748.

Kheirkhah, M., Ghasemi, V., Khoshnood Yazdi, A., & Rahban, S. (2015). Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from *Ziziphora clinopodioides* Lam. used against the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller. *Journal of Plant Protection Research*, *55*(3), 260-265. https://doi.org/10.jppr/2015-0037.

Kostyukovsky, M., Rafaeli, A., Gileadi, C., Demchenko, N., & Shaaya, E. (2002). Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: Possible mode of action against insect pests. *Pest Management Science*, *58*(11), 1101-1106. https://doi.org/10.1002/ps.548.

Koutsaviti, A., Antonopoulou, V., Vlassi, A., Antonatos, S., Michaelakis, A., Papachristos, D. P., & Tzakou, O. (2018). Chemical composition and fumigant activity of essential oils from six plant families against *Sitophilus oryzae* (Col: Curculionidae). *Journal of Pest Science*, *91*, 873-886. https://doi.org/10.1007/s10340-017-0934-0.

Kowsari, N., Moazeni, M., & Mohammadi, A. (2021). Effects of *Zataria multiflora* essential oil on the germinative cells of *Echinococcus granulosus*. *Parasites Vectors*, *14*, 257, https:// doi.org/10.1186/s13071-021-04765-8.

Mady, H. Y., Ahmed, M. M., & El Namaky, A. H. (2021). Efficiency of *Origanum majorana* essential oil as insecticidal agent against *Rhynchophorus ferrugineus* the red palm weevil (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Biopesticides*, *14*(1), 32-40.

Mahmoudvand, M., Abbasipour, H., Basij, M., Hosseinpour, M. H., Rastegar, F., & Nasiri, M. B. (2011). Fumigant toxicity of some essential oils on adults of some stored-product pests. *Chelian Journal of Agricultural Research*, *71*(1), 83-89. https://doi.org/10.4067/S0718-58392011000100010.

Mahmoudvand, M., Abbasipour, H., Rastegar, F., Hosseinpour, M. H., & Basij, M. (2012). Efficacy of some plants as a post-harvest protectant against some major stored pests. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, *45*(7), 806-811. doi:10.1080/03235408.2011. 597151.

Mashhadi, F., Ghorbani Nohooji, M., & Yaraee, R. (2021). Effects of essential oils of *Origanum vulgare* L. and *Origanum majorana* L. on cancer cells line BCL-1 and immune system cells. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *37*(5), 781-794. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.352596.2898. (In Farsi with English summary).

Massiha, A., Khoshkholgh-Pahlaviani, M. M., Issazadeh, Kh., Bidarigh, S., & Zarrabi, S. (2012). Antibacterial activity of essential oils and plant extracts of *Artemisia* (*Artemisia annua* L.) *in vitro*. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*, *15*(6), 14-18.

Miresmailli, S., & Isman, M. B. (2006). Efficacy and persistence of rosemary oil as an acaricide against two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) on greenhouse tomato. *Ecotoxicology*, *99*(6), 2015-2023. https://doi.org/10.1603/0022-0493-99.6.2015.

Modarres Najafabadi, S. S., Fanai, H. R., & Ghlamian, Gh. (2006). Study on eucalyptus product uses (seed and leaf powder) on stored product pests of wheat and barley in sistan region-Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *22*(2), 117-127. https://doi. org/10.22092/ijmapr.2006.114979. (In Farsi with English summary).

Mohammadhosseini, M., Mahdavi, B., & Shahnama, M. (2015). Chemical composition of essential oils from aerial parts of *Ferula gummosa* (Apiaceae) in Jajarm region, Iran using traditional hydrodistillation and solvent-free microwave extraction methods: a comparative

approach. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *18*(6), 1321-1328. https://doi.org/10.1080/ 0972060X.2015.1024445.

Mojarab-Mahboubkar, M., Afrazeh, Z., Azizi, R., & Jalali Sendi, J. (2023). Efficiency of *Artemisia annua* L. essential oil and its chitosan/tripolyphosphate or zeolite encapsulated form in controlling *Sitophilus oryzae* L. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *195*, 105544, https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2023.105544.

Moravej, G. H., Of-Shahraki, Z., Azizi, M., & Yaghmaee, F. (2009). Fumigant toxicity of *Bunium persicum* Boiss. (Umbelliferae) and *Elletaria cardamomum* Maton. (Zingiberaceae) oils against *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, *23*(2), 96-105. https://doi.org/10.22067/jpp.v23i2.2555. (In Farsi with English summary).

Moreira, M. D., Picanco, M. C., Barbosa, L. C. d. A., Guedes, R. N. C., Campos, M. R. d., Silva, G. A., & Martins, J. C. (2007). Plant compounds insecticide activity against Coleoptera pests of stored products. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, *42*(7), 909-915. https://doi.org/ 10.1590/s0100-204x2007000700001.

Nosrati Momvandi, M., Zeid Ali, E., Zarea, M. J., Mumivand, H., & Kiani, M. (2021). Effects of planting date, full fertilizer, and harvest time on quantitative and qualitative yield of *Satureja rechingeri* Jamzad. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *37*(2), 242-259. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.341804.2716.

Nouri Ganbalani, G., Abedi, Z., Mottaghinia, L., & 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*(1), 53-67. https://doi.org/10.22059/ijpps.2021. 320474.1006971. (In Farsi with English summary).

Partovi, R., Talebi, F., & Sharifzadeh, A. (2018). Antimicrobial efficacy and chemical properties of *Caryophyllus aromaticus* and *Origanum majorana* essential oils against foodborne bacteria alone and in combination. *International Journal of Enteric Pathogens*, *6*(4), 95-103. https://doi.org/10.15171/ijep.2018.25.

Pavela, R., Morshedloo, M. R., Lupidi, G., Carolla, G., Barboni, L., Quassinti, L., Bramucci, M., Vitali, L. A., Petrelli, D., Kavallieratos, N. G., Boukouvala, M. C., Ntalli, N., Kontodimas, D. C., Maggi, F., Canale, A., & Benelli, G. (2020). The volatile oils from the oleo-gum-resins of *Ferula assa-foetida* and *Ferula gummosa*: A comprehensive investigation of their insecticidal activity and eco-toxicological effects. *Food Chemistry and Toxicology*, *140*, 111312. https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111312.

Paw, M., Begum, T., Gogoi, R., Pandey, S. K., & Lal, M. (2020). Chemical composition of *Citrus limon* L. Burmf peel essential oil from north east India. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *23*(2), 337-344. https://doi.org/10.1080/ 0972060X.2020.1757514.

Perinelli, D. R,, Pavela, R., Bonacucina, G., Baldassarri, C., Spinozzi, E., Torresi, J., Petrelli, R., Morshedloo, M. R., Maggi, F., Benelli, G., & Canale, A. (2022). Development, characterization, insecticidal and sublethal effects of *Bunium persicum* and *Ziziphora clinopodioides*-based essential oil nanoemulsions on *Culex quinquefasciatus*. *Industrial Crops and Products*, *186*, 115249. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022. 115249.

Prabu, S., Jing, D., Chandran, V., & Mathew, P. (2020). Insecticidal activity of *Origanum majorana* L. essential oil as anti-cholinergic agent. *Entomological Research*, *50*(8), 402-413. https://doi.org/10.1111/1748-5967.12459.

Rahmat, A., Edrini, S., Ismail, P., Hin, T. Y. Y., & Bakar, M. F. A. B. (2006). Chemical constituents, antioxidant and cytotoxic effects of essential oil from *Strobilanthes crispus* and *Lawsonia inermis*. *Journal of Biological Sciences*, *6*(6), 1005-1010. https://doi.org/10.3923/jbs.2006.1005.1010.

Rastegar, F., Moharramipour, S., Shojai, M., & Abbasipour, H. (2011). Chemical composition and insecticidal activity of essential oil of *Zataria multiflora* Boiss. (Lamiaceae) against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *IOBC/wprs Bulletin*, *69*, 281-288.

Robertson, J. L., Jones, M. M., Olguin, E., & Alberts, B. (2017). *Bioassay with arthropods* (3rd ed.). CRC Press.

Rozman, V., Kalinovic, I., & Korunic, Z. (2007). Toxicity of naturally occurring compounds of Lamiaceae and Lauraceae to three stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, *43*, 349-355. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.09.001.

Salahi, F., Mehrvar, S., & Ahani Azad, M. (2012). Study of ovicidal effect of four plant essential oils on Mediterranean flour moth's (*Ephestia kuehniella* Zell.) eggs. In A. Sarafrazi, M. R. Asef, M. Mozhdehi, M. Mozhdehi, S. Solhjouy Fard, & T. Abdollahi (Eds.), *Proceedings of 20th Iranian plant protection congress* (p. 240). 26-29 August, 2012, Shiraz University, Shiraz, Iran.

Salehi, T., Karimi, J., Hasanshahi, Gh., Askarianzadeh, A., Abbasipour, H., & Sheikhi Garjan, A. (2014). The effect of essential oils from *Laurus nobilis* and *Myrtus commonis* on the adults of mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *17*(4), 553-561. https://doi.org/10.1080/0972060X.2014. 935059.

Seyedi, A., Abbasipour, H., Moharramipour, S., & Kamalinejad, M. (2010). Ovicidal effect of essential oil of *Ferula gummosa* Boiss on the Mediterranean flour moth *Ephestia kuehniella* Zeller. In S. Manzari (Ed.), *Proceedings of the 19th Iranian plant protection congress*, Vol. 1 (Pests) (p. 172). 31 July-3 August 2010, Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran, Iran.

Singh, G., Singh, O. P., De-Lampasona, M. P., & Catalan, C. A. N. (2003). Studies on essential oils. Part 35: chemical and biocidal investigation on *Tagetes erecta* leaf volatile oil. *Flavour and Fragrance Journal*, *18*(1), 62-65. https://doi.org/10.1002/ffj.1158.

Siyadatpanah, A., Norouzi, R., Mirzaei, F., Haghirosadat, B. F., Nissapatorn, V., Mitsuwan, W., Nawaz, M., Pereira, M. L., Hosseini, S. A., Montazeri, M., Majdizadeh, M., Almeida, R. S., Hemati, M., Wilairatana, P., & Coutinho, H. D. M. (2023). Green synthesis of nano-liposomes containing *Bunium persicum* and *Trachyspermum ammi* essential oils against *Trichomonas vaginalis*. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, *56*(1), 150-162. https://doi.org/10.1016/j.jmii.2022.06.006.

Sokuti, Y., & Ghasemi, V. (2018). Acute and chronic toxicity of *Ziziphora clinopodioides* and *Ferula gummosa* essential oils against *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, *38*(2), 187-203. https://doi.org/10.22117/jesi.2018.120696. 1195.

Sousa, P. A. S., Netoa, J., Bastos, M. M. S. M., & Aguiar, A. A. R. M. (2022). Eugenol and Pulegone as potential biorational alternatives for *Trioza erytreae* (Hemiptera: Triozidae) control: Preliminary results on nymphal toxicity and applicability on *Citrus limon*. *Journal of Natural Pesticide Research, 1*, 100004. https://doi.org/10.1016/j.napere.2022.100004.

Stathas, I. G., Sakellaridis, A. C., Papadelli, M., Kapolos, J., Papadimitriou, K., & Stathas, G. J. (2023). The effects of insect infestation on stored agricultural products and the quality of food. *Foods*, *12*, 2046. https://doi.org/10.3390/foods12102046.

Sun, Y. P. (1950). Toxicity index- an improved method of comparing the relative toxicity of insecticides. *Journal of Economic Entomology*, *43*(1), 45-53. https://doi.org/10.1093/jee/43. 1.45.

Tapondjou, A. L., Adler, C., Fontem, D. A., Bouda, H., & Reichmuth, C. (2005). Bioactivities of cymol and essential oils of *Cupressus sempervirens* and *Eucalyptus saligna* against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium confusum* du Val. *Journal of Stored Products Research*, *41*(1), 91-102. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2004.01.004.

Theou, G., Papachristos, D. P. and Stomopolos, D .C. (2013). Fumigant toxicity of six essential oils to the immature stages and adults of *Tribolium confusum*. *Hellenic Plant Protection Journal*, *6*(1), 29-39.

Tripathi, A. K., Prajapati, V., Aggarwal, K. K., Khanuja, S. P. S., & Kumar, S. (2000). Repellency and toxicity of oil from *Artemisia annua* to certain stored-product beetles. *Journal of Economic Entomology*, *93*(1), 43-47. https://doi,org/10.1603/0022-0493-93.1.43.

Tsao, R., & Coats, J. R. (1995). Starting from natural to make better insecticides. *Chemtech*, *25*, 23-28.

Vukic, M. D., Vukovic, N. L., Obradovic, A. D., Galovičová, L., Čmiková, N., Kačániová, M., & Matic, M. M. (2022). Chemical composition and biological activity of *Tanacetum balsamita* essential oils obtained from different plant organs. *Plants*, *11*(24), 3474. https://doi. org/10.3390/plants11243474.

Weyerstahl, P., Marschall, H., & Rustaiyan, A. (1994). Constituents of the essential oil of *Myrtus communis* L. from Iran. *Flavour and Fragrance Journal*, *9*(6), 333-337. https://doi. org/10.1002/ffj.2730090610.

Yadav, A., Kumar, A., Singh, P. P, & Prakash, B. (2021). Pesticidal efficacy, mode of action and safety limits profile of essential oils based nanoformulation against *Callosobruchus chinensis* and *Aspergillus flavus*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *175*, 104813, https:// doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104813.

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 Plant Protection*, *35*(2), 203-216. https://doi.org/ 10.22067/jpp.2021.69214.1015. (In Farsi with English summary).

Yousefi, B., Sefidkon, F.**,** Mirza, M., & Lebaschy, M. H. (2022). Effects of different planting densities and feeding with organic fertilizers on percentage, yield, and essential oil chemical composition in *Satureja mutica* Fisch. & C.A. Mey. under rainfed conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *38*(1), 102-113. https://doi.org/10.22092/ijmapr. 2021.354198.2976. (In Farsi with English summary).

Yousefzadi, M., Ebrahimi, S. N., Sonboli, A., Miraghasi, F., Ghiasi, S., Arman, M., & Mosaffa, N. (2009). Cytotoxicity, antimicrobial activity and composition of essential oil from *Tanacetum balsamita* L. subsp. *balsamita*. *Natural Product Communications*, *4*(1), 119-122.

Zamani, S., Sendi, J.J., & Ghadamyari, M. (2011). Effect of *Artemisia annua* L. (Asterales: Asteraceae) essential oil on mortality, development, reproduction and energy reserves of *Plodia interpunctella* (Hübner). (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Biofertilizers and Biopesticides*, *2*, 105. https://doi:10.4172/2155-6202.1000105

Zarrad, K., Chaieb, I., Tayeb, W., Chraief, I., Laarif, A., Hammami, M., & Haouala, R. (2013). Bio-insecticidal potential of essential oils of two *Citrus* species against two greenhouse pests *Tuta absoluta* Meyrick and *Spodoptora littoralis* Boisduval. *Microbiologie et Hygiène Alimentaire*, *25*(73), 84-88.

Zayed, G. M. M. (2018). Efficacy of marjoram (*Origanum majorana*) on *Rhizopertha dominica* and identification of its chemical components. *Academia Journal of Agricultural Research*, *6*(5), 163-170. https://doi.org/10.15413/ajar.2017.IECCNA.16.

Zomorodian, K., Moein, M., Goeini Lori, Z., Ghasemi, Y., Rahimi, M. J., Bandegani, A., Pakshir, K., Bazargani, A., Mirzamohammadi, S., & Abbasi, N. (2013). Chemical composition and antimicrobial activities of the essential oil from *Myrtus communis* leaves. *TEOP*, *16*(1), 76-84. https://doi.org/10.1080/0972060X.2013.764183.

© 2024 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/.