



## سمیت و خواص ضد تغذیه‌ای برخی اسانس‌های گیاهی به صورت مجزا و باهم روی *Oryzaephilus surinamensis* شپشه دندانه‌دار برنج

فاطمه میرزایی کوهساره<sup>۱</sup>

<https://orcid.org/0009-0007-1249-0720>

بهرام ناصری\*<sup>۲</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-5821-0957>

هوشنگ رفیعی دستجردی<sup>۳</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-1278-2858>

۱، ۲ و ۳- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
عسگر عبداللهی<sup>۴</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-3276-1608>

۴- گروه علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

**چکیده:** با توجه به اثرات جانبی متعدد کاربرد آفت‌کش‌های شیمیایی در کنترل آفات و لزوم معرفی عوامل جایگزین کارآمد و سازگار با محیط زیست، اثرات حشره‌کشی اسانس‌های رازیانه، زنیان و زیره سیاه به صورت جداگانه و توأم روی شپشه دندانه‌دار برنج در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفت. بررسی اجزای شیمیایی اسانس‌ها نشان داد که تیمول (۴۳/۰۷ درصد) و سیمول (۲۶/۱۶ درصد) در اسانس زنیان، گاما-تریپنین (۳۹/۸۹ درصد) و سیمول (۳۱/۹۶ درصد) در اسانس زیره سیاه و آنتول (۷۰/۹۸ درصد) و لیمونن (۱۸/۹۵ درصد) در اسانس رازیانه ترکیبات غالب می‌باشند. مقادیر غلظت کشنده ۵۰ درصد (LC<sub>50</sub>) اسانس‌های زیره سیاه، زنیان و رازیانه به ترتیب از ۰/۷۰۱، ۱/۴۹۲ و ۱/۸۰۵ میکرولیتر بر گرم در زمان ۲۴ ساعت به ۰/۳۹۴، ۰/۶۰۳ و ۰/۶۱۳ میکرولیتر بر گرم بعد از ۷۲ ساعت کاهش پیدا کرد. استفاده توأم از اسانس‌های مورد بررسی موجب افزایش سمیت آن‌ها و بیشتر شدن درصد تلفات آفت شد؛ به طوری که کاربرد هم‌زمان غلظت‌های کشنده ۳۰ درصد (LC<sub>30</sub>) اسانس‌های زیره سیاه و زنیان اثر هم‌افزایی در مرگ و میر حشره آفت داشت. در سایر اختلاط‌ها، اثر تجمعی در سمیت اسانس‌ها مشاهده شد. شاخص‌های تغذیه‌ای آفت شامل شاخص مصرف، نرخ مصرف نسبی و نرخ رشد نسبی تحت تاثیر مقادیر جداگانه و توأم LC<sub>30</sub> اسانس‌ها نسبت به گروه شاهد به صورت معنی‌داری کاهش یافت. نرخ رشد نسبی آفت بیشترین کاهش را در تیمار رازیانه+زنیان+زیره سیاه نسبت به سایر تیمارها نشان داد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده جداگانه و توأم از اسانس‌های زیره سیاه، زنیان و رازیانه در مدیریت شپشه دندانه‌دار برنج امکان‌پذیر می‌باشد.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۸/۲۹

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۰/۲۶

**واژه‌های کلیدی:** آفت انباری، اثرات ضد تغذیه‌ای، سمیت، کاربرد توأم

**Citation:** Mirzaei Kohsareh, M., Naseri, B., Rafiee-Dastjerdi, H. & Ebadollahi, A. (2025). Toxicity and antinutritional effects of some plant essential oils, separately and in combination, against the saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis*. *Plant Pest Research*, 14(4), 1-15. Doi: <https://doi.org/10.22124/iprj.2025.29020.1608>



\*Corresponding author: bnaseri@uma.ac.ir

## مقدمه

شپشه دندانه‌دار برنج، (*Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae)، از آفات مهم غلات انباری به‌ویژه دانه‌های برنج و گندم است. این حشره چندین خوار دارای گسترش جهانی بوده و در انبارها، سیلوها، خانه‌ها و فروشگاه‌های مواد غذایی فعالیت می‌کند (Kousar, 2021). علاوه بر خسارت مستقیم ناشی از تغذیه، حضور و فعالیت آفت روی بذور باعث کاهش جوانه‌زنی و ارزش تغذیه‌ای آن‌ها می‌شود (Gourgouta et al., 2023).

استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی کارآمدترین روش در کنترل شپشه دندانه‌دار برنج و سایر حشرات آفات محصولات انباری محسوب می‌شود (Zettler & Arthur, 2000; Guru et al., 2022). با این حال، کاربرد گسترده این ترکیبات اثرات ثانویه متعددی از نظر تهدید سلامتی انسان، آلودگی محیط زیست و ایجاد مقاومت در آفات تحت تاثیر قرار گرفته را در پی داشته است (Kim et al., 2017; Nayak et al., 2020). برای مثال، مقاومت شپشه قرمز آرد (*Tribolium castaneum* (Herbst))، شب‌پره هندی آرد (*Plodia interpunctella* (Hübner)) و شپشه دندانه‌دار برنج به فسفین، به‌عنوان یک حشره‌کش شیمیایی پرکاربرد در کنترل آفات انباری گزارش شده است (Gautam et al., 2020). بنابراین، معرفی ترکیبات کم‌خطر برای موجودات غیر هدف و در عین حال کارآمد در کنترل حشرات آفات ضروری به‌نظر می‌رسد.

اسانس‌های گیاهی به دلیل زیست‌تجزیه‌پذیری و سمیت کم برای پستانداران و در عین حال تاثیر روی دامنه وسیعی از حشرات آفت به‌عنوان ترکیبات جایگزین آفت‌کش‌های شیمیایی در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات معرفی شده‌اند (Regnault-Roger et al., 2012; Isman, 2020; Ebadollahi, 2023). اسانس‌های گیاهی به دلیل فرارپذیری بالا می‌توانند به‌عنوان آفت‌کش‌های تدخینی روی حشرات آفت داخل توده‌های مواد غذایی تاثیر بگذارند (Rajendran & Sriranjini, 2008; Campolo et al., 2018). حساسیت شپشه دندانه‌دار برنج به برخی از اسانس‌های گیاهی در سال‌های گذشته گزارش شده است. برای مثال، سمیت اسانس‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh و *E. viminalis* Labill)، بومادران (*Achillea filipendulina* Lam.)، علف لیمو (*Cymbopogon nardus* (L.)) و مرزه تالشی (*Satureja intermedia* C. A. Mey) روی حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج ثبت شده است (Ebadollahi, 2017; Ebadollahi and Setzer, 2020a b; Gharsan et al., 2023).

امکان کاربرد توأم برخی از اسانس‌های گیاهی با هم و یا با سایر حشره‌کش‌ها در راستای افزایش کارایی حشره‌کشی آن‌ها در پژوهش‌های اخیر اثبات شده است (Aungtikun et al., 2021; Dassanayake et al., 2021). برای مثال، بر اساس مطالعه احمد و همکاران (Ahmed et al., 2021)، اختلاط اسانس‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus* Labill)، فلفل سیاه (*Piper nigrum* L.)، درخت چای (*Melaleuca alternifolia* Cheel) و رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) موجب افزایش کارایی حشره‌کشی آن‌ها روی شته سبز هلو (*Myzus persicae* (Sulzer)) می‌شود. به‌طور کلی، اختلاط ترکیبات حشره‌کش علاوه بر کاهش مقدار مصرف آن‌ها، ممکن است موجب تشدید اثر در بین هر کدام از اجزای تشکیل‌دهنده شود. البته احتمال بروز اثرات تضعیف‌کنندگی<sup>۲</sup> یا هم‌افزایی<sup>۳</sup> نیز وجود دارد که اهمیت مطالعه تاثیر کاربرد توأم این ترکیبات روی جمعیت آفت را آشکار می‌سازد (Ahmad, 2009). اسانس‌های گیاهی به دلیل داشتن اجزای شیمیایی مختلف و الگوی عمل چندگانه کارایی بالایی در کنترل آفات دارند (Ebadollahi, 2023). در صورت کاربرد توأم چندین اسانس، اثرات حشره‌کشی آن‌ها به دلیل دارا بودن سازوکارهای متفاوت ممکن است افزایش یافته و امکان مقاومت آفات در برابر آن‌ها کاهش پیدا کند (Gaire et al., 2020; Yoon & Tak, 2022).

1. Synergistic

2. Antagonistic

3. Additive

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) گیاهی علفی و چندساله از تیره چتریان (Apiaceae) است. اسانس رازیانه غنی از ترکیبات ترپنی بوده و علاوه بر خواص متعدد بهداشتی و درمانی، در کنترل آفات مورد توجه قرار گرفته است (Nouri Ganbalani *et al.*, 2023). زینان (*Carum copticum* C. B. Clarke) از گیاهان معطر یکساله و علفی در تیره چتریان است. اسانس این گیاه دارای اجزای شیمیایی پیچیده‌ای شامل ترکیبات ترپنی، اسیدهای چرب و فیر می‌باشد و خواص حشره‌کشی نویدبخش آن گزارش شده است (Sahaf & Moharramipour, 2009). زیره سیاه (*Carum carvi* L.) گیاهی یکساله و معطر از تیره چتریان می‌باشد که به دلیل داشتن مقادیر بالای اسانس به‌عنوان یکی از عوامل گیاهی مستعد در کنترل حشرات آفت معرفی شده است (Razmjou *et al.*, 2016). در پژوهش حاضر خواص حشره‌کشی اسانس‌های گیاهان رازیانه، زینان و زیره سیاه روی حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر بررسی سمیت و خواص ضد تغذیه‌ای اسانس‌های مذکور، به دلیل ارتباط ترکیبات شیمیایی اسانس‌ها با اثرات زیستی آن‌ها، اجزای شیمیایی اسانس‌های مورد مطالعه بررسی شد. همچنین امکان کاربرد توأم این اسانس‌ها از نظر داشتن اثرات تضعیف‌کنندگی، هم‌افزایی و یا تشدید اثر در سمیت و خواص ضد تغذیه‌ای روی شپشه دندانه‌دار برنج مطالعه شد.

## مواد و روش‌ها

### پرورش حشره آفت

جمعیت اولیه شپشه دندانه‌دار برنج از کلنی موجود در گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شد. پرورش آفت داخل ظروف پلاستیکی (به طول ۲۱، عرض ۱۴ و ارتفاع ۷ سانتی‌متر) حاوی ۲۰۰ گرم گندم خرد شده (رقم گاسکوژن)، که دهانه آن به‌منظور تهویه مناسب با پارچه توری پوشانده شده بود، صورت گرفت. پرورش حشره در اتاقک رشد با شرایط دمایی  $28 \pm 2$  درجه سلسیوس، رطوبت نسبی  $65 \pm 5$  درصد و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی انجام شد (Ebadollahi & Setzer, 2020b). از حشرات بالغ هم‌سن ۱ تا ۷ روزه برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد.

### استخراج اسانس‌های گیاهی

بدور گیاهان زینان، زیره سیاه و رازیانه از فروشگاه‌های سطح شهر اردبیل خریداری شده و با استفاده از آسیاب برقی (IKA مدل M20 ساخت کشور آلمان) پودر شد. استخراج اسانس‌های گیاهی به روش تقطیر آبی با استفاده از دستگاه کلونجر، ۷۰ گرم پودر بذر هر گیاه به‌صورت جداگانه و ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر طی ۳ ساعت انجام گرفت. اسانس‌های تهیه شده با استفاده از سولفات سدیم آبگیری شده و در شیشه‌های درب‌دار تیره رنگ داخل یخچال در دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری شدند.

### تجزیه شیمیایی اسانس‌های گیاهی

اجزای شیمیایی اسانس‌های مورد مطالعه با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی (Agilent B7890) متصل به طیف‌سنج جرمی (Agilent A5977) با ستون‌هایی به طول ۳۰ متر، قطر ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر بررسی شد. یک میکرولیتر از هر اسانس پس از رقیق شدن به نسبت ۱ به ۱۰ با متانول در دمای ۲۵۰ درجه به دستگاه تزریق شد. گاز هلیوم با نرخ ۰/۱ میلی‌لیتر در دقیقه به‌عنوان گاز حامل مورد استفاده قرار گرفت. شناسایی ترکیبات با مقایسه زمان‌های بازداری با مقایسه الگوی طیف‌های ترسیم شده توسط طیف‌سنج با منابع کتابخانه‌ای موجود در دستگاه شامل Wiley 7n.1 (Wiley, New York, USA) و NIST (Standard Reference Data, Gaithersburg, USA) صورت گرفت.

### سمیت اسانس‌های گیاهی

سمیت اسانس‌های مورد مطالعه با تیمار دانه‌های گندم در غلظت‌های ۰/۵، ۱/۹۹، ۳/۸۹، ۷/۵۸ و ۱۵ میکرولیتر بر گرم از اسانس‌ها روی حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج بررسی شد. مقادیر بالا و پایین غلظت‌های بیان شده بر اساس آزمایش‌های مقدماتی که باعث

<sup>1</sup>. Retention Time (RT)

ایجاد تلفات حدود ۲۵ تا ۷۵ درصد شده بودند، انتخاب شده و سایر غلظت‌ها بر اساس فاصله لگاریتمی محاسبه شدند. غلظت‌های مذکور با حل کردن مقادیر مد نظر در استون به‌عنوان حلال تهیه شدند. مقدار ۷ گرم از دانه‌های گندم با هر یک از غلظت‌های مختلف اسانس‌ها تیمار شده و داخل ظروف پتری شیشه‌ای نه سانتی‌متری ریخته شد. دانه‌های تیمار شده به مدت ۳ دقیقه به‌صورت دستی تا خشک شدن کامل با یکدیگر مخلوط شدند. سپس، ۲۰ عدد حشره کامل آفت (۱ تا ۷ روزه) به ظروف پتری منتقل و درب ظروف با استفاده از پارافیلیم به‌صورت غیر قابل نفوذ به هوا بسته شد. تمام آزمایش‌ها چهار مرتبه تکرار شدند و تلفات حشرات در فواصل زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به‌صورت پیوسته ثبت شد.

به‌منظور بررسی اثرات سمیت توام اسانس‌های مورد مطالعه، از اختلاط غلظت‌های کشنده ۳۰ و ۵۰ درصد برآورد شده از آزمایش‌های قبلی (به‌ترتیب LC<sub>30</sub> و LC<sub>50</sub>) استفاده شد. به‌عبارتی دیگر، حشرات کامل آفت با مقادیر LC<sub>30</sub> و LC<sub>50</sub> هر کدام از اسانس‌ها به‌صورت جداگانه و توام تیمار شده و تلفات آفت پس از ۲۴ ساعت ثبت شد. آزمایش‌ها چهار مرتبه تکرار شدند. در گروه شاهد، تمام مراحل به‌جز افزودن غلظت‌های اسانس‌ها انجام شده و دانه‌های گندم فقط با حلال (استون) تیمار شدند. برای تعیین نوع برهمکنش اسانس‌ها، از نسبت هم‌افزایی<sup>۱</sup> (SR) طبق فرمول زیر استفاده شد (Ebadollahi et al., 2017):

$$SR = \frac{EX}{O} = \frac{A + B}{(A + B)}$$

در این فرمول A و B درصد تلفات حشرات کامل به‌ترتیب توسط دو اسانس مورد بررسی هستند. A + B و (A + B) به‌ترتیب درصد تلفات مورد انتظار و مشاهده شده می‌باشند. اگر مقدار SR کمتر از ۰/۷ باشد، برهمکنش از نوع تشدید اثر، اگر در حد فاصل ۰/۷-۱/۸ باشد، برهمکنش از نوع هم‌افزایی و اگر بیش از ۱/۸ باشد نشان‌دهنده برهمکنش تضعیف‌کنندگی می‌باشد.

### اثرات ضد تغذیه‌ای اسانس‌های گیاهی

برای تعیین فعالیت ضد تغذیه‌ای اسانس‌های زنیان، زیره سیاه و رازیانه از ۲۰۰ عدد حشره کامل شپشه دندانه‌دار برنج که تحت تاثیر غلظت‌های کشنده ۳۰ درصد (LC<sub>30</sub>) اسانس‌ها به‌صورت جداگانه و توام قرار گرفتند، استفاده شد. تیمارهای آزمایشی در بررسی اثرات جداگانه اسانس‌ها شامل اسانس‌های زنیان، زیره سیاه و رازیانه بودند. در بررسی اثرات توام اسانس‌ها نیز تیمارهای آزمایشی شامل ترکیب‌های مختلفی از اسانس‌ها شامل زنیان+زیره سیاه، زنیان+رازیانه، زیره سیاه+رازیانه و زنیان+زیره سیاه+رازیانه بودند. پس از ۲۴ ساعت، حشرات زنده مانده به ظروف پتری شش سانتی‌متری حاوی هفت گرم دانه گندم با پنج تکرار منتقل شدند. وزن حشرات کامل قبل و پس از تغذیه، وزن غذای داده شده و وزن غذای باقیمانده پس از ۱۰ روز با استفاده از ترازوی دیجیتال چهار صفر (Sartorius AG، مدل S803GCA، ساخت آلمان) اندازه‌گیری و ثبت شد. برای اندازه‌گیری درصد وزن خشک حشرات کامل و غذا، نمونه‌ها داخل آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. وزن خشک حشرات کامل و وزن غذا قبل و پس از خشک شدن در تیمارهای مختلف ثبت شد. تمام مراحل به‌جز اضافه کردن اسانس‌ها در گروه شاهد تکرار شد. از داده‌های بیان‌شده در محاسبه شاخص‌های تغذیه‌ای شامل شاخص مصرف<sup>۲</sup> (CI)، نرخ مصرف نسبی<sup>۳</sup> (RCR)، نرخ رشد نسبی<sup>۴</sup> (RGR) و کارایی تبدیل غذای خورده شده<sup>۵</sup> (ECI) طبق فرمول‌های زیر استفاده شد (Waldbauer, 1968):

$$ECI = \frac{G}{F} \text{ (۴) و } RGR = \frac{G}{TA} \text{ (۳) ، } RCR = \frac{F}{TA} \text{ (۲) ، } CI = \frac{F}{A} \text{ (۱)}$$

در این فرمول‌ها، F وزن خشک غذای خورده شده (میلی‌گرم)، A میانگین وزن خشک حشرات در طول دوره تغذیه (میلی‌گرم)، T دوره تغذیه (روز) و G وزن خشک کسب شده در طول دوره تغذیه (میلی‌گرم) است.

### تجزیه داده‌ها

۱. Synergistic Ratio (SR)

۲. Consumption Index (CI)

۳. Relative Consumption Rate (RCR)

۴. Relative Growth Rate (RGR)

۵. Efficiency of Conversion of Ingested Food (ECI)

در صورت مشاهده تلفات در گروه‌های شاهد، داده‌های مربوطه با استفاده از فرمول آبوت اصلاح شده و برای بررسی معنی‌دار بودن فاکتورهای غلظت اسانس‌ها و زمان در معرض قرارگیری در تلفات حشرات تیمار شده تجزیه واریانس (ANOVA) شدند. تجزیه پروبیت داده‌های مربوط به آزمایش‌های سمیت جهت محاسبه غلظت‌های کشنده و اطلاعات مربوط به خطوط رگرسیونی توسط نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام گرفت. نتایج بررسی اثرات ضد تغذیه‌ای اسانس‌ها هم تجزیه واریانس شده و با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه میانگین شدند.

## نتایج

### اجزای شیمیایی اسانس‌ها

نتایج بررسی اجزای شیمیایی اسانس‌های زنیان، زیره سیاه و رازیانه در جدول ۱ نشان داده شده است. تیمول<sup>۱</sup> (۴۳/۰۷ درصد)، سیمول<sup>۲</sup> (۲۶/۱۶ درصد)، گاما-ترپینن<sup>۳</sup> (۲۵/۳۶ درصد) و پارا-سایمن<sup>۴</sup> (۲/۶۸ درصد) به‌عنوان ترکیبات غالب اسانس زنیان شناسایی شدند؛ به‌طوری‌که ۹۷/۳۷ درصد از مجموع اجزای شیمیایی اسانس زنیان را ترکیبات بیان‌شده به خود اختصاص دادند. در اسانس زیره سیاه ترکیبات گاما-ترپینن (۳۹/۸۹ درصد)، سیمول (۳۱/۹۶ درصد)، ۲-متیل-۳-اتیل-پروپانال<sup>۵</sup> (۷/۷۳ درصد)، کاروتول<sup>۶</sup> (۶/۲۳ درصد) و کومینول<sup>۷</sup> (۴/۴۳ درصد) به‌عنوان ترکیبات عمده شناسایی شدند. بررسی اجزای شیمیایی اسانس رازیانه نشان داد که از مجموع ترکیبات مختلف شناسایی شده (۹۹/۷۹ درصد)، آنتول<sup>۸</sup> (۷۰/۹۸ درصد)، لیمونن<sup>۹</sup> (۱۸/۹۵ درصد)، استراگول<sup>۱۰</sup> (۵/۴۱ درصد) و فنچون<sup>۱۱</sup> (۱/۹۸ درصد) بیشترین حجم را به خود اختصاص دادند (جدول ۱).

### سمیت اسانس‌ها

اثر غلظت‌های مختلف اسانس زیره سیاه ( $F = 218.16; df = 4, 59; P < 0.001$ ) و زمان‌های در معرض قرارگیری ( $F = 64.54; df = 2, 59; P < 0.001$ ) در ایجاد تلفات حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج معنی‌دار بود. با این حال، اثر متقابل غلظت اسانس زیره سیاه و زمان‌های در معرض قرارگیری آفت معنی‌دار نبود ( $F = 1.07; df = 8, 59; P = 0.398$ ). غلظت‌های مختلف اسانس زنیان ( $F = 219.16; df = 4, 59; P < 0.001$ ) و زمان‌های در معرض قرارگیری ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته ( $F = 49.40; df = 2, 59; P < 0.001$ ) اثر معنی‌داری در تلفات حشرات کامل شپشه دندانه‌دار داشتند. با این حال، اثر متقابل غلظت اسانس زنیان و زمان‌های مورد مطالعه معنی‌دار نبود ( $F = 0.90; df = 8, 59; P = 0.549$ ). همچنین، اثر غلظت‌های مختلف اسانس رازیانه ( $F = 257.93; df = 4, 59; P < 0.001$ ) و زمان‌های در معرض قرارگیری ( $F = 79.37; df = 2, 59; P < 0.001$ ) و اثر متقابل فاکتورهای بیان‌شده ( $F = 5.96; df = 8, 59; P < 0.001$ ) در ایجاد تلفات حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج معنی‌دار بود.

1. Thymol

2. Cymol

3.  $\gamma$ -Terpinene

4. *p*-Cymene

5. 2-Methyl-3-phenylpropanal

6. Carotol

7. Cuminol

8. Anethole

9. Limonene

10. Estragole

11. Fenchone

جدول ۱- اجزای شیمیایی اسانس‌های زنیان (*Carum copticum* C.B. Clarke)، زیره سیاه (*Carum carvi* L.) و رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller)

Table 1. Chemical composition of the essential oils of ajwain (*Carum copticum* C.B. Clarke), black cumin (*Carum carvi* L.), and fennel (*Foeniculum vulgare* Miller)

Identified Components	<i>C. copticum</i>		<i>C. carvi</i>		<i>F. vulgare</i>	
	RT	Area %	RT	Area %	RT	Area %
α-Pinene	-	-	6.992	0.52	6.932	0.74
R-α-Pinene	-	-	7.109	0.59	-	-
Sabinene	-	-	-	-	8.465	0.3
β-Pinene	8.490	0.57	8.496	2.39	-	-
β-Myrcene	8.933	0.11	8.898	0.33	8.998	0.36
Cymol	10.215	26.16	10.151	31.96	-	-
p-Cymene	10.378	2.65	-	-	-	-
β-Ocimene	-	-	-	-	10.485	0.17
Limonene	10.565	0.25	10.448	1.48	10.262	18.95
γ-Terpinene	11.276	25.36	11.177	39.89	-	-
Fenchone	-	-	-	-	11.916	1.97
Neo-allo-ocimene	-	-	-	-	13.140	0.1
Camphor	-	-	-	-	13.409	0.1
Estragole	-	-	-	-	14.800	5.41
Cuminic aldehyde	-	-	15.764	0.28	-	-
Carvol	-	-	-	-	16.196	0.51
2-Methyl-3-phenylpropanal	-	-	16.265	7.73	-	-
4-Ethylbenzyl alcohol	-	-	16.977	0.16	-	-
Anethole	-	-	-	-	17.106	70.98
2-Caren-10-al	-	-	17.233	1.51	-	-
Thymol	17.431	43.07	-	-	-	-
S-(-)-1-Phenylpropanol	-	-	17.460	1.50	-	-
Cuminol	18.031	0.84	17.396	4.43	-	-
Carotol	23.953	0.36	20.047	6.23	-	-
<b>Total</b>		<b>99.37</b>		<b>99.00</b>		<b>99.59</b>

RT is Retention time (minute).

نتایج تجزیه پروبیت داده‌های به دست آمده از سمیت اسانس‌های رازیانه، زنیان و زیره سیاه روی حشرات کامل شیشه دنداندار برنج در زمان‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در جدول ۲ نشان داده شده است. مقادیر غلظت‌های کشنده ۵۰ درصد (LC<sub>50</sub>) اسانس زیره سیاه پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در معرض قرارگیری حشرات به ترتیب ۰/۷۰۱، ۰/۵۵۵ و ۰/۳۹۴ میکرولیتر بر گرم برآورد شد. به عبارتی دیگر، با توجه به افزایش مقادیر سمیت نسبی و عدم همپوشانی حدود اطمینان ۹۵ درصد مقادیر LC<sub>50</sub>، سمیت اسانس زیره سیاه به طور معنی‌داری با افزایش زمان افزایش پیدا کرده است. روند مشابهی در مورد مقادیر غلظت‌های کشنده ۳۰ درصد (LC<sub>30</sub>) این اسانس هم مشاهده شد (جدول ۲).

مقدار LC<sub>50</sub> اسانس زنیان پس از ۲۴ ساعت در معرض قرارگیری حشرات کامل شیشه دنداندار برنج ۱/۴۹۲ میکرولیتر بر گرم بود که با افزایش زمان و بالا رفتن حساسیت حشره آفت، تا ۰/۶۰۳ میکرولیتر بر گرم کاهش یافت. مقادیر LC<sub>50</sub> اسانس رازیانه پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در معرض قرارگیری حشرات کامل شیشه دنداندار برنج به ترتیب ۱/۸۰۵، ۱/۰۱۲ و ۰/۶۱۳ میکرولیتر بر گرم ارزیابی شد. همانند آنچه که در اسانس‌های زیره سیاه و زنیان مشاهده شد، افزایش مدت زمان در معرض قرارگیری تحت تاثیر اسانس رازیانه از ۲۴ ساعت به ۷۲ ساعت موجب افزایش حساسیت حشرات کامل آفت شد. با توجه به مقادیر LC<sub>50</sub> ارائه شده در جدول ۲، اسانس زیره سیاه بعد از ۷۲ ساعت بیشترین سمیت را روی آفت داشت. مقادیر LC<sub>30</sub> ۲۴ ساعته اسانس‌های زیره سیاه، زنیان و رازیانه برای انجام آزمایش‌های اختلاط اسانس‌ها و برآورد اثرات ضد تغذیه‌ای مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه پروبیت تلفات حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج (*Oryzaephilus surinamensis* L.) تحت تاثیر اسانس‌های زنیان (*Carum copticum* C.B. Clarke)، زیره سیاه (*Carum carvi* L.) و رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت

Table 2. Probit analyses of the mortality of the saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis* L.) adults exposed to ajwain (*Carum copticum* C.B. Clarke), black cumin (*Carum carvi* L.), and fennel (*Foeniculum vulgare* Miller) essential oils after 24, 48, and 72 h

Essential oil	Time (h)	Lethal Concentrations with 95% confidence limits ( $\mu\text{L/g}$ )			$\chi^2$ ( $df = 3$ )	Slope $\pm$ SE	Sig.	RP
		LC <sub>30</sub>	LC <sub>50</sub>	LC <sub>90</sub>				
<i>C. carvi</i>	24	0.495(0.448 - 0.540)	0.701(0.645 - 0.766)	1.636(1.399 - 2.019)	0.885	3.481 $\pm$ 0.295	0.829	2.575
	48	0.411(0.373 - 0.446)	0.555(0.515 - 0.597)	1.156(1.027 - 1.345)	2.498	4.019 $\pm$ 0.310	0.476	3.252
	72	0.298(0.267 - 0.326)	0.394(0.363 - 0.424)	0.778(0.703 - 0.888)	6.210	4.333 $\pm$ 0.357	0.102	4.581
<i>C. copticum</i>	24	0.858(0.737 - 0.986)	1.492(1.294 - 1.756)	5.776(4.381 - 8.409)	3.351	2.181 $\pm$ 0.187	0.034	1.210
	48	0.485(0.195 - 0.779)	0.860(0.502 - 1.580)	3.480(1.804 - 25.002)	13.705	2.111 $\pm$ 0.172	0.003	2.099
	72	0.355(0.128 - 0.566)	0.603(0.332 - 1.011)	2.205(1.238 - 11.587)	14.281	2.277 $\pm$ 0.182	0.003	2.993
<i>F. vulgare</i>	24	0.907(0.761 - 1.072)	1.805(1.504 - 2.262)	9.684(6.533 - 17.062)	5.169	1.756 $\pm$ 0.172	0.160	1.000
	48	0.577(0.124 - 1.107)	1.012(0.478 - 3.217)	3.992(1.760 - 321.367)	23.958	2.151 $\pm$ 0.175	< 0.001	1.784
	72	0.395(0.227 - 0.553)	0.613(0.421 - 0.874)	1.793(1.179 - 4.321)	9.625	2.750 $\pm$ 0.207	0.022	2.945

Sig. and RP are significant and Relative Potency, respectively. Relative Potency = (the most LC<sub>50</sub> value)/(LC<sub>50</sub> value of the other essential oil) (Valizadeh *et al.*, 2021)

اثرات کاربرد توام مقادیر LC<sub>30</sub> و LC<sub>50</sub> اسانس‌های زیره سیاه، زنیان و رازیانه در تلفات حشرات کامل شپشه دندانه‌دار در جدول ۳ آمده است. اختلاط مقادیر LC<sub>30</sub> اسانس‌های زیره سیاه و زنیان در مرگ و میر آفت موجب تشدید اثر سمیت آنها شد. در عین حال، کاربرد توام LC<sub>30</sub> اسانس زیره سیاه با مقدار LC<sub>50</sub> اسانس زنیان باعث ایجاد اثر هم‌افزایی شد. در سایر تیمارها، کاربرد توام مقادیر LC<sub>30</sub> و LC<sub>50</sub> اسانس‌ها موجب بروز اثر هم‌افزایی در مرگ و میر آفت شد. به عبارتی دیگر، استفاده توام اسانس‌های زیره سیاه، زنیان و رازیانه موجب افزایش سمیت این عوامل و بیشتر شدن درصد تلفات حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج شد (جدول ۳).

جدول ۳- اثرات توام مقادیر LC<sub>30</sub> و LC<sub>50</sub> اسانس‌های زنیان (*Carum copticum* C.B. Clarke)، زیره سیاه (*Carum carvi* L.) و رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) در تلفات حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج (*Oryzaephilus surinamensis* L.) پس از ۲۴ ساعت

Table 3. Combined effects of the LC<sub>30</sub> and LC<sub>50</sub> values of ajwain (*Carum copticum* C.B. Clarke), black cumin (*Carum carvi* L.), and fennel (*Foeniculum vulgare* Miller) essential oils on the mortality of the saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis* L.) adults after 24 h

Treatments	Mortality (%)				Synergistic Ratio
	A	B	Expected A + B	Observed (A + B)	
LC <sub>30</sub> of <i>C. carvi</i> (A) + LC <sub>30</sub> of <i>C. copticum</i> (B)	25	27.5	52.5	77.5	0.68 S
LC <sub>30</sub> of <i>C. carvi</i> (A) + LC <sub>50</sub> of <i>C. copticum</i> (B)	25	47.5	72.5	85	0.85 A
LC <sub>50</sub> of <i>C. carvi</i> (A) + LC <sub>30</sub> of <i>C. copticum</i> (B)	50	27.5	77.5	80	0.97 A
LC <sub>30</sub> of <i>F. vulgare</i> (A) + LC <sub>30</sub> of <i>C. copticum</i> (B)	32.5	27.5	60	80	0.75 A
LC <sub>30</sub> of <i>F. vulgare</i> (A) + LC <sub>50</sub> of <i>C. copticum</i> (B)	32.5	47.5	80	77.5	1.03 A
LC <sub>50</sub> of <i>F. vulgare</i> (A) + LC <sub>30</sub> of <i>C. copticum</i> (B)	52.5	27.5	80	85	0.94 A
LC <sub>30</sub> of <i>F. vulgare</i> (A) + LC <sub>30</sub> of <i>C. carvi</i> (B)	32.5	25	57.5	72.5	0.79 A
LC <sub>30</sub> of <i>F. vulgare</i> (A) + LC <sub>50</sub> of <i>C. carvi</i> (B)	32.5	50	82.5	80	1.03 A
LC <sub>50</sub> of <i>F. vulgare</i> (A) + LC <sub>30</sub> of <i>C. carvi</i> (B)	52.5	52	77.5	82.5	0.94 A

S and A indicate the synergism and additive effects between tested agents, respectively.

### اثرات ضد تغذیه‌ای اسانس‌ها

نتایج آزمایش‌های مربوط به تاثیر مقادیر LC<sub>30</sub> اسانس‌های زیره سیاه، زنیان و رازیانه به صورت تیمارهای جداگانه و توأم در شاخص‌های تغذیه‌ای حشرات کامل شپشه دنداندار برنج در جدول ۴ ارائه شده است. مقدار شاخص مصرف (CI: Consumption index) آفت تحت تاثیر تیمارهای مورد مطالعه در مقایسه با گروه شاهد به صورت معنی‌داری کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). بیشترین کاهش در مقدار شاخص مصرف مربوط به تیمار اسانس‌های زیره سیاه+رازیانه و زیره سیاه+زنیان+رازیانه بود، هرچند اختلاف تیمارهای مذکور با تیمارهای رازیانه و زنیان معنی‌دار نبود.

شاخص نرخ مصرف نسبی (RCR: Relative consumption rate) حشرات کامل شپشه دنداندار برنج تحت تاثیر تمام تیمارهای مورد مطالعه در مقایسه با گروه شاهد به صورت معنی‌داری کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). بیشترین کاهش در میزان شاخص نرخ مصرف نسبی مربوط به تیمارهای اسانس‌های زیره سیاه، رازیانه، زیره سیاه+رازیانه و زیره سیاه+زنیان+رازیانه بود (جدول ۴). نرخ رشد نسبی (RGR: Relative growth rate) حشرات کامل شپشه دنداندار برنج هم در مقایسه با گروه شاهد در تمام تیمارها به صورت معنی‌داری کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). کاربرد توأم اسانس‌های زیره سیاه، زنیان و رازیانه (*C. carvi*+*C. copticum*+*F. vulgare*) موجب کاهش قابل توجه نرخ رشد نسبی آفت در مقایسه با سایر تیمارها و گروه شاهد شد. با وجود تاثیر معنی‌دار تیمارهای مورد مطالعه در شاخص کارایی تبدیل غذای خورده شده (ECI: Efficiency of conversion of ingested food) آفت ( $P < 0.05$ )، مقدار کاهش شاخص مذکور فقط در تیمار اسانس زیره سیاه نسبت به گروه شاهد معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴- شاخص‌های تغذیه‌ای حشرات کامل شپشه دنداندار برنج (*Oryzaephilus surinamensis* L.) تحت تاثیر مقادیر

LC<sub>30</sub> اسانس‌های زنیان (*Carum copticum* C.B. Clarke)، زیره سیاه (*Carum carvi* L.) و رازیانه (*Foeniculum*

*vulgare* Miller)

Table 4. Nutritional indices of the saw-toothed grain beetle (*Oryzaephilus surinamensis* L.) adults exposed to LC<sub>30</sub> values of ajwain (*Carum copticum* C.B. Clarke), black cumin (*Carum carvi* L.), and fennel (*Foeniculum vulgare* Miller) essential oils

Treatments	CI (mg/mg)	RCR (mg/mg/day)	RGR (mg/mg/day)	ECI (%)
Control	58.28 ± 7.06 <sup>a</sup>	11.66 ± 1.41 <sup>a</sup>	0.071 ± 0.006 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.07 <sup>ab</sup>
<i>C. carvi</i>	45.23 ± 2.34 <sup>b</sup>	9.05 ± 0.47 <sup>b</sup>	0.039 ± 0.003 <sup>c</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>c</sup>
<i>C. copticum</i>	41.45 ± 3.08 <sup>bc</sup>	8.29 ± 0.61 <sup>bc</sup>	0.049 ± 0.004 <sup>b</sup>	0.60 ± 0.07 <sup>ab</sup>
<i>F. vulgare</i>	36.99 ± 0.73 <sup>c</sup>	7.40 ± 0.15 <sup>c</sup>	0.054 ± 0.002 <sup>b</sup>	0.74 ± 0.02 <sup>a</sup>
<i>C. carvi</i> + <i>C. copticum</i>	43.89 ± 1.70 <sup>b</sup>	8.78 ± 0.34 <sup>b</sup>	0.042 ± 0.003 <sup>bc</sup>	0.48 ± 0.04 <sup>bc</sup>
<i>C. carvi</i> + <i>F. vulgare</i>	36.70 ± 1.49 <sup>c</sup>	7.34 ± 0.30 <sup>c</sup>	0.045 ± 0.002 <sup>bc</sup>	0.62 ± 0.04 <sup>ab</sup>
<i>C. copticum</i> + <i>F. vulgare</i>	44.64 ± 1.41 <sup>b</sup>	8.93 ± 0.28 <sup>b</sup>	0.048 ± 0.002 <sup>b</sup>	0.53 ± 0.01 <sup>b</sup>
<i>C. carvi</i> + <i>C. copticum</i> + <i>F. vulgare</i>	36.88 ± 2.12 <sup>c</sup>	7.38 ± 0.42 <sup>c</sup>	0.027 ± 0.003 <sup>d</sup>	0.52 ± 0.06 <sup>bc</sup>
ANOVA (df = 7, 40)	F = 7.950 P < 0.0001	F = 5.300 P = 0.0004	F = 10.500 P < 0.0001	F = 6.010 P < 0.0001

CI: Consumption index, RCR: Relative consumption rate, RGR: Relative growth rate, and ECI: Efficiency of conversion of ingested food. Means Different letters in each column indicate differences of corresponding means according to the Tukey's test ( $P < 0.05$ ).

### بحث

با وجود این که، رازیانه، زیره سیاه و زنیان هر سه متعلق به تیره گیاهی چتریان<sup>۱</sup> هستند، بررسی اجزای شیمیایی آنها در پژوهش حاضر نشان داد که نوع و مقدار ترکیبات شیمیایی آنها متفاوت می‌باشد. تیمول (۴۳/۰۷ درصد) و سیمول (۲۶/۱۶ درصد) در اسانس زنیان،

<sup>۱</sup>. Apiaceae



گاما-ترپین (۳۹/۸۹ درصد) و سیمول (۳۱/۹۶ درصد) در اسانس زیره سیاه و آنتول (۷۰/۹۸ درصد) و لیمونن (۱۸/۹۵ درصد) در اسانس رازیانه ترکیبات غالب بودند. در پژوهش انجام شده توسط عبداللهی و همکاران (Ebadollahi *et al.*, 2014) نشان داده شد که آنتول (۴۶/۷۳ درصد)، لیمونن (۱۳/۶۵ درصد) و فنجون (۸/۲۷ درصد) ترکیبات اصلی اسانس رازیانه بودند. درصدهای متفاوتی از ترکیبات مذکور در پژوهش حاضر شناسایی شدند. برای مثال، مقدار آنتول در پژوهش حاضر ۷۰/۹۸ درصد و در پژوهش عبداللهی و همکاران ۴۶/۷۳ درصد بود. همچنین آلفا-پینن که در پژوهش حاضر فقط ۰/۷۴ درصد از اسانس رازیانه را به خود اختصاص داد، در پژوهش عبداللهی و همکاران یکی از ترکیبات غالب اسانس بود (۳/۵۳ درصد). در پژوهش انجام شده توسط رزمجو و همکاران (Razmjou *et al.*, 2016)، تیمول (۵۲/۲۳ درصد)، پارا-سایمن (۲۰/۴۱ درصد) و گاما-ترپین (۱۲/۵۸ درصد) اجزای اصلی اسانس زنیان بودند. در پژوهش حاضر ترکیبات بیان شده در اسانس زنیان با مقادیر متفاوتی شناسایی شدند (به ترتیب ۴۳/۰۷، ۲/۶۵ و ۲۵/۳۶ درصد). همچنین رزمجو و همکاران ترکیب کارواکرول را به میزان ۲/۰۴ درصد در اسانس زنیان شناسایی کردند؛ در حالی که این ترکیب در پژوهش حاضر مشاهده نشد. همچنین نشان داده شد که ترکیبات کومینال (۲۹/۱۳ درصد)، گاما-ترپین (۲۰/۲۳ درصد)، سایمن (۲۰/۰۲ درصد) و فیل بوتانول (۱۸/۸۲ درصد) در اسانس زیره سیاه بیشترین مقدار را داشتند (Razmjou *et al.*, 2016). اگرچه ترکیب گاما-ترپین در پژوهش حاضر هم به عنوان یکی از ترکیبات غالب اسانس زیره سیاه شناسایی شد (۳۹/۸۹ درصد)، برخی از ترکیبات گزارش شده توسط رزمجو و همکاران از قبیل سایمن و فیل بوتانول در پژوهش حاضر شناسایی نشدند. به طور کلی، اجزای شیمیایی اسانس های گیاهی تحت تاثیر عوامل مختلفی مثل شرایط آب و هوایی، عوامل ژنتیکی و جغرافیایی، مرحله رشدی گیاه، زمان برداشت، نحوه خشک کردن گیاه، طول مدت نگهداری در انبار و روش استخراج اسانس می تواند تغییر کند (Zarshenas *et al.*, 2014; Moghaddam & Mehdizadeh, 2017). بنابراین، تفاوت های مشاهده شده در مقدار و نوع ترکیبات شناسایی شده در اسانس های رازیانه، زنیان و زیره سیاه در پژوهش حاضر و بررسی های توضیح داده شده می تواند متاثر از چنین عواملی باشد.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، اسانس های رازیانه، زنیان و زیره سیاه سمیت قابل توجهی روی حشرات کامل شپشه دندانه دار برنج دارند و سمیت آن ها با افزایش غلظت های مورد مطالعه و زمان های در معرض قرارگیری حشره آفت افزایش می یابد. بیشترین سمیت در بین اسانس های مورد مطالعه مربوط به اسانس زیره سیاه با مقدار  $LC_{50}$  ۰/۳۹۴ میکرولیتر بر گرم بعد از ۷۲ ساعت بود. همسو با نتایج پژوهش حاضر، سمیت اسانس های رازیانه، زنیان و زیره سیاه روی تعدادی از حشرات آفت گزارش شده است. برای مثال، سمیت اسانس های زیره سبز و زنیان به ترتیب با مقادیر  $LC_{50}$  ۱۳/۳۹ و ۱۶/۳۲ میکرولیتر بر لیتر روی ماده های بالغ شته جالیز (*Aphis gossypii* Glover) گزارش شده است (Razmjou *et al.*, 2016). مقدار  $LC_{50}$  اسانس زیره سیاه علیه حشرات کامل پید غلات (*Sitotroga cerealella* Olivier) توسط نوری قنبلانی و همکاران (Nouri Ganbalani *et al.*, 2021) برابر ۲/۴۲ میکرولیتر بر لیتر گزارش شده است. در مطالعه ای دیگر، سمیت اسانس رازیانه و زنیان به ترتیب با مقادیر  $LC_{50}$  برابر با ۱۶۷/۴۶ و ۱۰۳/۸۳ میکرولیتر بر لیتر علیه حشرات کامل سوسک کشیش (*Rhyzopertha dominica* F.) گزارش شده است (Nouri Ganbalani *et al.*, 2023). تفاوت میزان کشندگی اسانس های رازیانه، زنیان و زیره سیاه در پژوهش حاضر روی شپشه دندانه دار برنج با میزان کشندگی این اسانس ها در پژوهش های بیان شده می تواند ناشی از تفاوت در گونه آفت و اجزای شیمیایی اسانس های مورد مطالعه باشد. با این حال، نتایج پژوهش های پیشین یافته های پژوهش حاضر مبنی بر امکان استفاده از اسانس های رازیانه، زنیان و زیره سیاه در مدیریت آفات انباری را تایید می کند.

خواص حشره کشی اسانس های گیاهی را می توان به ترکیبات شیمیایی موجود در آنها نسبت داد. خواص حشره کشی برخی از ترکیبات شناسایی شده در اسانس های رازیانه، زنیان و زیره سیاه روی حشرات آفت در پژوهش های گذشته گزارش شده است. برای مثال، سمیت گاما-ترپین که درصد بالایی در اسانس های زنیان و زیره سیاه دارد (به ترتیب ۲۵/۳۶ و ۳۹/۸۹ درصد)، روی شته سیاه

باقلا و کرم برگ‌خوار پنبه گزارش شده است (Abbassy et al., 2009). سمیت ترکیبات تیمول و سایمن به‌عنوان ترکیبات اصلی اسانس زنیان (به ترتیب ۴۳/۰۷ و ۲/۶۵ درصد) روی شپشه قرمز آرد، سوسک توتون (*Lasioderma serricornis* F.) و شپش کتاب (*Liposcelis bostrychophila* Badonnel) ثبت شده است (Xie et al., 2023). همچنین خواص حشره‌کشی ترکیب آنتول به‌عنوان ترکیب غالب اسانس رازیانه (۷۰/۹۸ درصد) روی شپشه قرمز آرد، سوسک کشیش و شپشه برنج (*Sitophilus oryzae*) (L. گزارش شده است (Kanda et al., 2017). بنابراین، وجود چنین ترکیباتی در اسانس‌های رازیانه، زنیان و زیره سیاه در سمیت آن‌ها روی شپشه دندانه‌دار برنج می‌تواند موثر باشد.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، استفاده توام مقادیر LC<sub>30</sub> اسانس‌های زیره سیاه و زنیان روی حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج اثر هم‌افزایی داشت؛ کاربرد هم‌زمان دو اسانس خاصیت کشندگی بیشتری نسبت به کاربرد هر یک از آن‌ها به تنهایی داشت. همچنین در سایر اختلاط‌ها اثر تجمعی در سمیت اسانس‌ها روی حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج دیده شد. همسو با نتایج پژوهش حاضر، احمد و همکاران (Ahmed et al., 2021) نشان دادند که اختلاط اسانس‌های فلفل سیاه (*P. nigrum*)، رزماری (*R. officinalis*)، اکالیپتوس (*E. globulus*) و درخت چای (*M. alternifolia*) موجب افزایش کارایی حشره‌کشی این ترکیبات روی شته سبز هلو می‌شود؛ تیمارهای فلفل سیاه+اکالیپتوس، فلفل سیاه+رزماری و اکالیپتوس+رزماری موجب بروز خاصیت تجمعی شد و در تیمارهای فلفل سیاه+درخت چای، اکالیپتوس+درخت چای و درخت چای+رزماری پدیده هم‌افزایی در سمیت اسانس‌ها مشاهده شد. به‌طور کلی، در اختلاط‌هایی که منجر به هم‌افزایی شده است، مانند آنچه که در کاربرد توام اسانس زیره سیاه و زنیان در پژوهش حاضر مشاهده شد، کارایی آفت‌کشی بالا رفته و به دنبال آن، مقدار کمتری از اسانس‌ها را می‌توان برای کنترل موثر آفت استفاده کرد. اسانس‌های گیاهی دارای الگوی عمل چندگانه روی حشرات آفات می‌باشند. برای مثال، اختلال در فعالیت آنزیم استیل‌کولین‌استراز، آنزیم‌های سم‌زدا و آنزیم‌های گوارشی و همچنین اختلال در چرخه انتقال الکترون از سازوکارهای شناخته‌شده در نحوه تاثیر اسانس‌های گیاهی روی حشرات می‌باشد (Ebadollahi, 2023). با توجه به الگوی اثر متفاوت هر اسانس و یا اجزای خالص آن‌ها، به نظر می‌رسد کاربرد توام این عوامل با اعمال سازوکارهای مختلف موجب افزایش فعالیت حشره‌کشی آن‌ها می‌شود و در عین حال احتمال بروز مقاومت در آفات تحت تاثیر قرار گرفته را کاهش خواهد داد (Tak & Isman, 2016; Yoon & Tak, 2022).

در معرض قرارگیری حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج با مقادیر LC<sub>30</sub> اسانس‌های رازیانه، زنیان و زیره سیاه موجب کاهش مقادیر شاخص مصرف و نرخ مصرف نسبی آفت شد، بدین معنی که آفت در این تیمارها میزان غذای کمتری مصرف کرد. کاهش نرخ مصرف نسبی شپشه دندانه‌دار برنج تحت تاثیر اسانس‌ها، به‌عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری سرعت بهره‌برداری حشره از غذا، نشان می‌دهد که حشره از خوردن غذای تیمار شده با اسانس‌ها اجتناب می‌کند. این امر ممکن است به دلیل اختلال در عملکرد سیگنال‌های محرک تغذیه حشره در مواجهه با مواد بازدارنده اسانس اتفاق افتاده باشد (Ikawati et al., 2020). در پژوهشی مشابه، نشان داده شده است که شاخص مصرف (بین ۳/۴۰ تا ۷/۶۹) و نرخ مصرف نسبی (۰/۲۴ تا ۰/۵۷ میلی‌گرم/میلی‌گرم/روز) سوسک کشیش تاثیر اسانس‌های اکالیپتوس به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌یابد (Ebadollahi et al., 2022b). البته متفاوت بودن مقدار عددی این شاخص‌ها در پژوهش بیان‌شده و بررسی حاضر می‌تواند ناشی از تفاوت در اسانس‌های مورد مطالعه، ترکیبات شیمیایی آن‌ها و نوع آفت مورد مطالعه باشد. بررسی نرخ رشد نسبی حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج تحت تاثیر اسانس‌های رازیانه، زنیان و زیره سیاه نشان‌دهنده کاهش وزن بدن آن‌ها در تمام تیمارهای مورد مطالعه نسبت به گروه شاهد می‌باشد. کاهش نرخ رشد نسبی برخی از حشرات آفات انباری تحت تاثیر اسانس‌های گیاهی در پژوهش‌های اخیر گزارش شده است. برای مثال، رفیعی کرهرودی و همکاران (Rafiei-Karahroodi et al., 2009) تاثیر ۱۸ اسانس گیاهی مختلف را روی شاخص‌های تغذیه‌ای شب‌پره هندی آرد بررسی کرده و نشان دادند که نرخ رشد نسبی لاروهای این آفت در همه تیمارهای اسانس نسبت به شاهد کاهش می‌یابد. همچنین، در پژوهش انجام شده توسط عبداللہی و همکاران (Ebadollahi et al., 2022b) کاهش نرخ رشد نسبی حشرات کامل سوسک کشیش تحت تاثیر اسانس‌های اکالیپتوس نیز اثبات شده است. این امکان وجود دارد که کاهش نرخ رشد نسبی آفت نتیجه خسارت

جبران‌ناپذیر این اسانس‌ها بر سلول‌های دیواره روده میانی که مسئول جذب مواد غذایی هستند، باشد (Oftadeh *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد کاهش بیشتر نرخ رشد نسبی شپشه دندانه‌دار برنج در تیمار اسانس‌های رازیانه+زنیان+زیره نسبت به سایر تیمارها می‌تواند با تخریب بیشتر سلول‌های دیواره روده میانی حشره بعد از تغذیه از غذای تیمار شده مرتبط باشد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که شاخص بازدهی تبدیل غذای خورده شده شپشه دندانه‌دار برنج تحت تاثیر اسانس زیره سیاه کاهش می‌یابد. به عبارتی دیگر، حشرات کامل در معرض قرار گرفته با این اسانس، توانایی کمتری در تبدیل غذای خورده شده به توده بدن داشتند و کاربرد این اسانس موجب کاهش تغذیه و وزن بدن حشره شده است. در ارتباط با دو تیمار رازیانه و زنیان، با وجودی که مقدار نرخ مصرف نسبی و نرخ رشد نسبی حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج در این دو اسانس کاهش یافته بود، ولی بازدهی تبدیل غذای خورده شده کمتر نشده بود. این امر نشان می‌دهد که تاثیر ضدتغذیه‌ای اسانس‌های رازیانه و زنیان بیشتر از تاثیر سمیت آنها پس از تغذیه بوده و تنها در صورتی که آفت موفق به تغذیه در این تیمارها شده، توانسته است از آن برای افزایش وزن خود استفاده کند. نتایج مشابهی در مطالعه صحاف و محرمی‌پور (Sahaf & Moharramipour, 2009) به‌دست آمده است. این پژوهشگران اثر بازدارندگی تغذیه‌ای اسانس‌های زنیان و هنده بید (*Vitex pseudo-negundo* (Hauskn.)) روی حشرات کامل شپشه قرمز آرد را بررسی کردند و نشان دادند که اسانس زنیان نه تنها موجب امتناع حشره از خوردن غذای تیمار شده می‌شود، بلکه تغذیه از غذای تیمار شده با این اسانس موجب بروز سمیت بیشتری نسبت به اسانس هنده بید خواهد شد. در حقیقت اسانس زنیان نرخ رشد نسبی، نرخ مصرف نسبی و کارایی تبدیل غذای خورده شده توسط شپشه آرد را به‌طور معنی‌دار بیش از اسانس هنده بید کاهش داد. در پژوهشی دیگر (Ebadollahi *et al.*, 2022a) نشان داده شد که اسانس‌های گونه‌های آویشن شامل *Jalal Thymus eriocalyx* (Ronniger) *T. vulgaris* L. و *T. kotschyanus* Boiss & Hohen *T. fallax* Fisch & Mey تبدیل غذای خورده سوسک کشیش دارند؛ به‌طوری که مقدار این شاخص در تیمار با اسانس‌های دو گونه *T. fallax* و *T. kotschyanus* کمتر از سایر گونه‌ها بود. بایستی توجه داشت که کاهش شاخص‌های تغذیه‌ای آفت، همان‌گونه که در پژوهش حاضر در حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج تحت تاثیر اسانس‌های رازیانه، زیره سیاه و زنیان دیده شد، می‌تواند منجر به تاخیر در رشد حشره به دلیل کاهش منابع انرژی، زادآوری، باروری و حتی طول عمر شود (Khosravi *et al.*, 2010).

در پژوهش حاضر، سمیت و اثر ضدتغذیه‌ای سه اسانس رازیانه، زنیان و زیره سیاه روی شپشه دندانه‌دار برنج بررسی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، اسانس‌های مورد مطالعه دارای تاثیر حشره کشی قابل توجهی روی شپشه دندانه‌دار برنج بودند. همچنین نتایج نشان داد که در هنگام کاربرد توام اسانس‌های زیره سیاه و زنیان (تیمار زیره سیاه+زنیان) اثر کشندگی به‌صورت هم‌افزایی افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، استفاده از غلظت‌های کشنده ۳۰ درصد اسانس‌ها با تاثیر بر شاخص‌های تغذیه‌ای آفت شامل شاخص مصرف، نرخ مصرف نسبی و نرخ رشد نسبی، اثرات ضدتغذیه‌ای معنی‌داری در حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج داشت. البته کاربرد توام اسانس‌های رازیانه، زنیان و زیره (رازیانه+زنیان+زیره) بیشترین تاثیر را در کاهش نرخ رشد نسبی آفت نشان داد. بنابراین، هر سه اسانس مورد بررسی به دلیل داشتن اثرات کشندگی و ضدتغذیه‌ای مناسب، توانایی مطلوبی برای کنترل شپشه دندانه‌دار برنج دارند و می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های مدیریت تلفیقی این آفت مهم استفاده کرد. با این حال، بررسی‌های تکمیلی در مورد تاثیر اسانس‌های مورد مطالعه در شرایط طبیعی به ویژه در محیط انبار و نیز تهیه فرمولاسیون‌های جدید مانند میکرو و نانو کپسول‌ها که پایداری و دوام بیشتر اسانس‌ها را در محیط طبیعی تامین کند، بایستی انجام گیرد.

## سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از مسئولین محترم دانشگاه محقق اردبیلی برای حمایت مالی از این تحقیق ابراز می‌دارند.

## References

- Abbassy, M. A., Abdelgaleil, S. A. M., & Rabie, R. Y. A. (2009). Insecticidal and synergistic effects of *Majorana hortensis* essential oil and some of its major constituents. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 131, 225-232. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2009.00854.x>
- Ahmad, M. (2009). Observed potentiation between pyrethroid and organophosphorus insecticides for management of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Crop Protection*, 28, 264-268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.11.001>
- Ahmed, Q., Agarwal, M., Al-Obaidi, R., Wang, P., & Ren, Y. (2021). Evaluation of aphicidal effect of essential oils and their synergistic effect against *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Molecules*, 26, 3055. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26103055>
- Aungtikun, J., Soonwera, M., & Sittichok, S. (2021). Insecticidal synergy of essential oils from *Cymbopogon citratus* (Stapf.), *Myristica fragrans* (Houtt.), and *Illicium verum* Hook. F. and their major active constituents. *Industrial Crops and Products*, 164, 113386. DOI: [https://doi.org/10.1016 j.indcrop.2021.113386](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113386)
- Campolo, O., Giunti, G., Russo, A., Palmeri, V., & Zappalà, L. (2018). Essential Oils in stored product insect pest control. *Journal of Food Quality*, 6906105. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/6906105>
- Dassanayake, M. K., Chong, C.H., Khoo, T., Figiel, A., Szumny, A., & Choo, C. M. (2021). Synergistic field crop pest management properties of plant-derived essential oils in combination with synthetic pesticides and bioactive molecules: A review. *Foods*, 10, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10092016>
- Ebadollahi, A. (2017). Chemical composition, acaricidal and insecticidal effects of essential oil from *Achillea filipendulina* against two arthropod pests; *Oryzaephilus surinamensis* and *Tetranychus urticae*. *Toxin Reviews*, 36, 132-137. DOI: <https://doi.org/10.1080/15569543.2016.1250101>
- Ebadollahi, A. (2023). Plant essential oil: Natural-origin insecticides and acaricides (1<sup>st</sup>ed.). University of Mohaghegh Ardabili Press, Ardabil, Iran. (In Persian).
- Ebadollahi, A., & Setzer, W. N. (2020a). Analysis of the essential oils of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and *E. viminalis* Labill. as a Contribution to fortify their insecticidal application. *Natural Product Communications*, 15, 1934578X20946248. DOI: <https://doi.org/10.1177/1934578X20946248>
- Ebadollahi, A., & Setzer, W. N. (2020b). Evaluation of the toxicity of *Satureja intermedia* C. A. Mey essential oil to storage and greenhouse insect pests and a predator ladybird. *Foods*, 9, 712. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9060712>
- Ebadollahi, A., Davari, M., Razmjou, J., & Naseri, B. (2017). Separate and combined effects of *Mentha piperata* and *Mentha pulegium* essential oils and a pathogenic fungus *Lecanicillium muscarium* against *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 110(3), 1025-1030. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tox065>
- Ebadollahi, A., Jalali Sendi, J., Aliakbar, A., & Razmjou, J. (2014). Chemical composition and acaricidal effects of essential oils of *Foeniculum vulgare* Mill. (Apiaceae) and *Lavandula angustifolia* Miller (Lamiales: Lamiaceae) against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Psyche*, 424078. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/424078>
- Ebadollahi, A., Naseri, B., Abedi, Z., & Setzer, W. N. (2022a). Chemical profiles and insecticidal potential of essential oils isolated from four *Thymus* species against *Rhyzopertha dominica* (F.). *Plants*, 11, 1567. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11121567>
- Ebadollahi, A., Naseri, B., Abedi, Z., Setzer, W. N., & Changbunjong, T. (2022b). Promising insecticidal efficiency of essential oils isolated from four cultivated *Eucalyptus* species in Iran against the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.). *Insects*, 13, 517. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13060517>
- Gaire, S., Scharf, M. E., & Gondhalekar, A. D. (2020). Synergistic Toxicity interactions between plant essential oil components against the common bed bug (*Cimex lectularius* L.). *Insects*, 11, 133. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11020133>
- Gautam, S., Opat, G., Konemann, C., Shakya, K., & Hosoda, E. (2020). Phosphine resistance in saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* in the United States. *Journal of Stored Products Research*, 89, 101690. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101690>
- Gharsan, F. N., Kamel, W. M., Alghamdi, T. S., Alghamdi, A. A., Althagafi, A. O., Aljassim, F. J., & Al-Ghamdi, S. N. (2023). Toxicity of citronella essential oil and its nanoemulsion against the saw-

- toothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae). *Industrial Crops and Products*, 184, 115024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115024>
- Gourgouta, M., Morrison, W. R., Hagstrum, D. W., & Athanassiou, C. G. (2023). Saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis*, an internationally important stored product pest. *Journal of Stored Products Research*, 104, 102165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102165>
- Guru, P. N., Mridula, D., Dukare, A. S., Ghodki, B. M., Paschapur, A. U., Samal, I., Nikhil Raj, M., Padala, V. K., Rajashekhar, M., & Subbanna, A. R. (2022). A comprehensive review on advances in storage pest management: Current scenario and future prospects. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 993341. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.993341>
- Ikawati, S., Himawan, T., Abadi, A. L., & Tarno, H. (2020). Fumigant and feeding deterrent activity of essential oils against *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae). *Biodiversitas*, 21, 4301-4308. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210948>
- Isman, M. B. (2020). Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. *Phytochemistry Reviews*, 19, 235-241. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09653-9>
- Kanda, D., Kaur, S., & Koul, O. (2017). A comparative study of monoterpenoids and phenylpropanoids from essential oils against stored grain insects: acute toxins or feeding deterrents. *Journal of Pest Science*, 90, 531-545. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0800-5>
- Khosravi, R., Jalali Sendi, J., & Ghadamyari, M. (2010). Effect of *Artemisia annua* L. on deterrence and nutritional efficiency of lesser mulberry pyralid (*Glyphodes pyloalis* Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Plant Protection Research*, 50, 423-428. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10045-010-0071-8>
- Kim, K.H., Kabir, E., & Jahan, S.A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525-535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>
- Kousar, T., Memon, Z. U. N., Sahito, H. A., Mangrio, W. M., Jatoi, F. A., Hussain, Z., & Jatoi, A. (2021). Biology, morphology, and varietal distribution of saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis* (L.) on date palm dry and semi-dry dates at district: Khairpur, Sindh-Pakistan. *Pure and Applied Biology*, 10, 539-548. DOI: <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2021.100057>
- Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2017). Chemistry of essential oils and factors influencing their constituents. In Grumezescu, A. M. and Holban, A. M. (Eds). *Handbook of food bioengineering* (1<sup>st</sup> ed.). Academic Press, New York, NY, USA, pp. 379-419.
- Nayak, M. K., Daglish, G. J., Phillips, T. W., & Ebert P. R. (2020). Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: A global perspective. *Annual Review of Entomology*, 65, 333-350. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025047>
- 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, 53-67. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2021.320474.1006971>
- Nouri Ganbalani, G., Abedi, Z., Mottaghinia, L., & Nouri, A. (2023). Lethal and sublethal effects of essential oils of Ajwain (*Carum copticum* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) along with diatomaceous earth on some life table parameters of the lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica* F.). *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 53, 209-224. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijpps.2022.345412.1007008>
- Oftadeh, M., Sendi, J. J., Ebadollahi, A., Setzer, W. N., & Krutmuang, P. (2021). Mulberry protection through flowering-stage essential oil of *Artemisia annua* against the lesser mulberry pyralid, *Glyphodes pyloalis* Walker. *Foods*, 10, 210. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10020210>
- Rafiei-Karahroodi, Z., Moharrampour, S., Farazmand, H., & Karimzadeh-Esfahani, J. (2009). Effect of eighteen plant essential oils on nutritional indices of larvae *Plodia interpunctella* Hubner (Lep., Pyralidae). *IAU Entomological Research Journal*, 3, 209-219. <https://sid.ir/paper/105768/en>
- Rajendran, S., & Sriranjini, V. (2008). Plant products as fumigants for stored-product insect control. *Journal of Stored Products Research*, 44, 126-135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2007.08.003>

- Razmjou, J., Davari, M., & Ebadollahi, A. (2016). Effect of two plant essential oils and the entomopathogenic fungus, *Lecanicillium muscarium* (Zare and Gams) on the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 26, 775–779.
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405–424. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>
- Sahaf, B., & Moharramipour, S. (2009). Comparative study on deterreny of *Carum copticum* C. B. Clarke and *Vitex pseudo-negundo* (Hausskn.) Hand.-Mzt. essential oils on feeding behavior of *Tribolium castaneum* (Herbst). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 24, 385-395. [https://ijmapr.areeo.ac.ir/article\\_7427.html?lang=en](https://ijmapr.areeo.ac.ir/article_7427.html?lang=en)
- Tak, J. H., & Isman, M. (2015). Enhanced cuticular penetration as the mechanism for synergy of insecticidal constituents of rosemary essential oil in *Trichoplusia ni*. *Scientific Reports*, 5, 12690. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep12690>
- Valizadeh, B., Jalali Sendi, J., Oftadeh, M., Ebadollahi, A., & Krutmuang, P. (2021). Ovicidal and physiological effects of essential oils extracted from six medicinal plants on the elm leaf beetle, *Xanthogaleruca luteola* (Mull.). *Agronomy*, 11, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11102015>
- Waldbauer, G. P. (1968). The consumption and utilization of food by insects. *Advances in Insect Physiology*, 5, 229-288. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)60230-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60230-1)
- Xie, Q. H., Liang, T., Li, B. Y., Yu, J. N., Zheng, Y., Du, S. S., & Borjigidai, A. (2023). Bioactivities of thymol and p-cymene from the essential oil of *Adenosma buchneroides* against three stored-product insects. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 110841-110850. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30068-9>
- Yoon, J., & Tak, J. (2022). Synergistic modes of interaction between the plant essential oils and the respiratory blocker chlorfenapyr. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 188, 105274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105274>
- Zarshenas, M. M., Samani, S. M., Petramfar, P., & Moein, M. (2014). Analysis of the essential oil components from different *Carum copticum* L. samples from Iran. *Pharmacognosy Research*, 6, 62-66. DOI: <https://doi.org/10.4103/0974-8490.122920>
- Zettler, J., & Arthur, F. H. (2000). Chemical control of stored product insects with fumigants and residual treatments. *Crop Protection*, 19, 577-582. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00075-2](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00075-2)

## Toxicity and antinutritional effects of some plant essential oils, separately and in combination, against the saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis*

F. Mirzaei Kohsareh<sup>1</sup>, B. Naseri<sup>2\*</sup>, H. Rafiee-Dastjerdi<sup>3</sup>, and A. Ebadollahi<sup>4</sup>

1, 2, 3. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, 4. Department of Plant Sciences, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

✉ [fatemh.mrz1994@gmail.com](mailto:fatemh.mrz1994@gmail.com)

✉ [bnaseri@uma.ac.ir](mailto:bnaseri@uma.ac.ir)

✉ [hooshangrafiee@uma.ac.ir](mailto:hooshangrafiee@uma.ac.ir)

✉ [ebadollahi@uma.ac.ir](mailto:ebadollahi@uma.ac.ir)

 <https://orcid.org/0009-0007-1249-0720>

 <https://orcid.org/0000-0001-5821-0957>

 <https://orcid.org/0000-0003-1278-2858>

 <https://orcid.org/0000-0003-3276-1608>

Received: 19 November 2024 | Accepted: 15 January 2025 |

### Abstract

Due to several side-effects of chemical pesticides' utilization and necessity of the introduction of efficient and eco-friendly alternatives, the insecticidal effects of ajwain, cumin, and fennel essential oils, separately and in combination, were investigated against the saw-toothed grain beetle in the present study. Chemical analyses of the essential oils revealed that thymol (43.07%) and cymol (26.16%) in ajwain,  $\gamma$ -terpinene (39.89%) and cymol (31.96%) in cumin, and anethole (70.98%) and limonene (18.95%) in fennel essential oils were dominant. The 50% lethal concentration (LC<sub>50</sub>) values of cumin, ajwain, and fennel essential oils were decreased from 0.701, 1.492, and 1.805  $\mu$ l/g in 24 h to 0.394, 0.603, and 0.613  $\mu$ l/g after 72 h, respectively. The combined use of the studied essential oils increased their toxicity and the mortality of pest; so the mixing of 30% lethal concentrations (LC<sub>30</sub>) of ajwain and cumin essential oils had a synergistic effect on the mortality of insect pest. In other combinations, an additive effect was observed in the toxicity of essential oils. Nutritional indices of the pest including consumption index, relative consumption rate, and relative growth rate, influenced by separate and combined application of essential oils, were significantly decreased compared to the control group. The relative growth rate of the pest showed the greatest reduction by ajwain+cumin+fennel essential oils' treatment compared to others. The results of the present research showed that it is possible to use ajwain, cumin, and fennel essential oils, separately and in combination, to manage saw-toothed grain beetle.

**Key words:** Antinutritional effects, combined application, storage pest, toxicity

**Citation:** Mirzaei Kohsareh, M., Naseri, B., Rafiee-Dastjerdi, H. & Ebadollahi, A. (2025). Toxicity and antinutritional effects of some plant essential oils, separately and in combination, against the saw-toothed grain beetle, *Oryzaephilus surinamensis*. *Plant Pest Research*, 14(4), 1-15. Doi: <https://doi.org/10.22124/iprj.2025.29020.1608>



\*Corresponding author: [bnaseri@uma.ac.ir](mailto:bnaseri@uma.ac.ir)