تحقیقات آفات‌گیاهی
۱۴۰۳ -۱۴(۱): ۱۹ -۳۳
Open access
doi: 10.22124/iprj.2024.26813.1561
pISSN:2322-2409
eISSN: 2538-6123

علمی پژوهشی

سمیت تدخینی و خواص ضد تغذیه‌ای اسانس رزماری روی شپشه آرد *Tribolium confusum*

عسگر عباداللهی*

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

0000-0003-3276-1608

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱)

چکیده

شپشه آرد (*Tribolium confusum* du Val) یکی از مهم‌ترین سخت‌بالپوشان آفات محصولات انباری به‌خصوص دانه‌های غلات و آرد است. استفاده مکرر از آفت‌کش‌های شیمیایی در مدیریت حشرات آفت آثار ثانویه بیشماری مانند آلودگی محیط زیست، تهدید سلامتی انسان و موجودات غیرهدف و توسعه مقاومت آفات را در پی داشته است. در پژوهش حاضر، سمیت تدخینی و تاثیر ضد تغذیه‌ای اسانس رزماری روی حشرات کامل شپشه آرد بررسی شد. به‌دلیل ارتباط اجزای شیمیایی اسانس‌های گیاهی با خواص زیستی آن‌ها، ترکیبات اسانس رزماری با استفاده از گاز کروماتوگرافی-طیف‌سنج جرمی بررسی شد. اسانس رزماری سرشار از ترکیبات ترپنی شامل مونوترپن‌های هیدروکربنه (۲۸/۷۲ درصد)، مونوترپنوئیدها (۵۷/۰۳ درصد)، سسکوئی‌ترپن‌های هیدروکربنه (۳/۰۹ درصد) و سسکوئی‌ترپنوئیدها (۳/۲۵ درصد) بود. غلظت ۷۳/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا از اسانس موجب تلفات ۹۰/۰ درصدی آفت بعد از ۲۴ ساعت شد که طی ۴۸ ساعت تا ۱۰۰ درصد نیز افزایش پیدا کرد. استفاده از مقادیر LC_{40} و LC_{50} ۲۴ ساعته اسانس رزماری (به‌ترتیب برابر با ۲۶/۷ و ۳۵/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) باعث کاهش شاخص‌های تغذیه‌ای آفت شامل شاخص مصرف، نرخ مصرف نسبی و نرخ رشد نسبی بعد از ۵ و ۱۰ روز شد. همچنین، شاخص بازدارندگی تغذیه‌ای مقادیر بیان‌شده به‌ترتیب ۴۰/۷ و ۴۵/۹ درصد بعد از پنج روز و ۵۳/۴ و ۵۹/۵ درصد بعد از ۱۰ روز برآورد شد. بنابراین، اسانس رزماری می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل در دسترس و کارآمد در مدیریت شپشه آرد برای انجام پژوهش‌های تکمیلی معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: اسانس رزماری، ترکیبات ترپنی، سمیت، شپشه آرد، فعالیت ضد تغذیه‌ای

*نویسنده مسئول: ebadollahi@uma.ac.ir

CC BY

مقدمه

حشرات آفت زیان‌های کمی و کیفی گسترده‌ای روی محصولات انباری وارد می‌کنند؛ به‌طوری‌که سالیانه حدود ۸ تا ۱۰۰ درصد غله تولیدی جهان را از بین می‌برند (Ahmad *et al*., 2021). شپشه آرد *Tribolium confusum* du Val (Coleoptera: Tenebrionidae)، آفتی چندخوار با گسترش جهانی است که قادر به ایجاد خسارت روی دامنه وسیعی از محصولات انباری از جمله دانه‌های غلات و حبوبات، آرد، ماکارونی، شکلات، میوه‌های خشک و کلکسیون‌های جانوری می‌باشد (Hill, 2002). علاوه بر خسارت کمی ناشی از تغذیه، آلودگی محصولات انباری با مدفوع و پوسته‌های لاروی و شفیره‌گی حشره آفت منجر به بروز خسارت کیفی قابل توجهی می‌شود (Pai and Bucher, 2019).

اگرچه کنترل شیمیایی به‌عنوان روش اصلی مدیریت آفات انباری مانند شپشه آرد شناخته می‌شود (Nayak & Daglish, 2018)، استفاده از مواد شیمیایی آفت‌کش آثار ثانویه بیشماری از قبیل آلودگی محیط زیست و تهدید سلامتی انسان و موجودات غیر هدف را در پی داشته است (Scorza *et al*., 2023). علاوه بر آن، توسعه مقاومت حشرات آفت در برابر آفت‌کش‌های شیمیایی از سال‌های گذشته مطرح بوده است. برای مثال، بر اساس مطالعه زتلر (Zettler, 1991) از ۱۷ استرین بررسی‌شده در جمعیت شپشه آرد، ۸۲ درصد در برابر مالاتیون، ۵۳ درصد در برابر کلرپیریفوس‌متیل، ۲۴ درصد در برابر دی‌کلروووس و ۱۸ درصد در برابر فسفین مقاوم شده بودند. مقاومت شپشه آرد به سم‌های سایپرمترین، پرمترین و پرتیرین هم در پژوهش دیگری نشان داده شده است (Rossi *et al*., 2010). بنابراین، استفاده از ترکیبات کم‌خطر و در عین حال کارآمد در کنترل آفات انباری ضروری می‌باشد.

اسانس‌های گیاهی مخلوط پیچیده‌ای از ترکیبات فعال، فرار و دارای اجزای متفاوت می‌باشند که به‌طورمعمول به‌صورت ترکیبات ترپنی و فنیل‌پروپانوئیدی دیده می‌شوند (Bakkali *et al*., 2008; El-Said *et al*., 2021). ترکیبات ترپنی به گروه‌های مختلفی از قبیل همی‌ترپن‌ها[1] (۵ کربنه)، مونوترپن‌ها[2] (۱۰ کربنه)، سسکوئی‌ترپن‌ها[3] (۱۵ کربنه) و دی‌ترپن‌ها[4] (۲۰ کربنه) تقسیم می‌شوند. مونوترپن‌هایی مثل آلفا-پینن، بتا-پینن و لیمونن و مونوترپنوئیدهایی (مونوترپن‌های اکسیژنه) مثل لینالول، کامفور و برنئول اجزای اصلی بیشتر اسانس‌ها را به‌خود اختصاص می‌دهند (De Sousa *et al*., 2023). پتانسیل بالای اسانس‌های استخراج شده از گیاهان معطر به‌عنوان آفت‌کش‌های با منشاء زیستی روی گروه‌های مختلف حشرات آفت در سال‌های گذشته ثبت شده است (Isman & Grieneisen, 2014; Ebadollahi & Jalali Sendi, 2015; Ebadollahi *et al*., 2020; Isman, 2020).

گیاه رزماری، *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiaceae)، از گیاهان دارویی شناخته شده‌ای است که به‌طور گسترده‌ای در صنایع دارویی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Borges *et al*., 2019). بیش از ۱۵۰ ترکیب شیمیایی مختلف در اسانس رزماری شناسایی شده است که در بین آن‌ها ترکیبات مونوترپنی ۱،۸-سینئول، آلفا-پینن و کامفور بیشترین درصد را داشته‌اند (Borges *et al*., 2019). برای مثال، ایسمان و همکاران (Isman *et al*., 2008) نشان دادند که مونوترپنوئید ۱،۸-سینئول بیشترین درصد را در اسانس رزماری داشته (۵۲/۱ درصد) و بعد از آن ترکیبات آلفا-پینن (۹/۸ درصد)، کامفور (۹/۰ درصد) و بتا-پینن (۸/۲ درصد) قرار دارند. در سال‌های اخیر، سمیت تدخینی اسانس رزماری روی تعدادی از حشرات آفات انباری گزارش شده است. برای مثال، سمیت تدخینی اسانس رزماری روی حشرات کامل شپشه دندانه‌دار برنج (*Oryzaephilus surinamensis* (L.)) توسط سلطانی و همکاران (Soltani *et al*., 2022) گزارش شده است. در این پژوهش، غلظت

[1]. Hemiterpenes
[2]. Monoterpenes
[3]. Sesquiterpenes
[4]. Diterpenes

۳۰۰ میکرولیتر بر لیتر هوا از اسانس رزماری موجب تلفات ۸۵/۵ درصدی آفت بعد از ۱۰ روز شد و مقدار LC_{50} آن ۱۲۴/۸ میکرولیتر بر لیتر هوا برآورد شد. در این اسانس هم ترکیبات ترپنی ۱،۸-سینئول (۳۹/۷ درصد)، کامفور (۱۸/۰ درصد)، برنئول (۱۰/۵ درصد) و آلفا-پینن (۶/۳ درصد) به‌عنوان ترکیبات اصلی شناسایی شده بودند. در پژوهشی دیگر، سمیت تدخینی اسانس رزماری روی حشرات کامل سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (*Callosobruchus maculatus* (F.)) با مقدار LC_{50} ۶/۳ و ۳/۸ میکرولیتر بر لیتر هوا به‌ترتیب بعد از ۲۴ و ۴۸ ساعت برآورد شد. همچنین، ترکیبات ترپنی ۱،۸-سینئول (۶۲/۴ درصد)، کامفور (۲۳/۱ درصد)، برنئول (۵/۵ درصد) و کامفن (۴/۱ درصد) بیشترین مقدار را در این اسانس داشتند (Baghouz *et al*., 2022). علاوه بر سمیت حاد کشندگی، اسانس رزماری روی برخی از آفات دارای آثار ضد تغذیه‌ای می‌باشد. به‌عنوان مثال، فعالیت ضد تغذیه‌ای اسانس رزماری روی حشرات کامل شپشه برنج (*Sitophilus oryzae* L.) و شپشه دندانه‌دار برنج (*O. surinamensis*) گزارش شده است (Kiran and Prakash, 2015).

بنابراین، هدف اصلی از انجام پژوهش حاضر، بررسی سمیت تدخینی و خواص ضدتغذیه‌ای اسانس رزماری روی حشرات کامل شپشه آرد می‌باشد. همچنین، به‌دلیل اینکه خواص زیستی اسانس‌های گیاهی متاثر از اجزای شیمیایی آن‌ها می‌باشد (Tak *et al*., 2016; Valcárcel *et al*., 2021)، ترکیبات موجود در اسانس رزماری هم بررسی شده و تاثیر احتمالی آن‌ها در ویژگی‌های آفت‌کشی اسانس بحث شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های گیاهی و استخراج اسانس

برگ‌های تازه رزماری در مرحله گلدهی گیاه در خرداد ماه ۱۴۰۲ از بوته‌های موجود در فضای سبز محوطه دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، جمع‌آوری شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده در شرایط سایه در آزمایشگاه طی یک هفته خشکانده شده و با استفاده از خردکن الکتریکی (IKA® مدل M20، ساخت آلمان) پودر شدند. اسانس‌گیری با کمک دستگاه کلونجر شیشه‌ای و با استفاده از ۴۰ گرم پودر خشک گیاه به همراه ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر طی ۱۸۰ دقیقه انجام گرفت. اسانس استخراج‌شده با کمک سولفات سدیم آب‌گیری شد و تا زمان استفاده در ظروف شیشه‌ای دارای روکش آلومینیومی در دمای ۴ درجه سلسیوس یخچال نگهداری شد. درصد استخراج اسانس با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Jaimand & Rezai, 2004):

۱۰۰ × وزن خشک گیاه / وزن اسانس = درصد استخراج اسانس

شناسایی اجزای شیمیایی اسانس رزماری

اجزای شیمیایی اسانس رزماری با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی (Agilent 7890B) متصل به طیف‌سنج جرمی (Agilent 5977A) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه محقق اردبیلی بررسی شد. طول، قطر و ضخامت ستون دستگاه گاز کروماتوگرافی (HP-5ms) به‌ترتیب ۳۰ متر، ۰/۲۵ میلی‌متر و ۰/۲۵ میکرومتر بود. محلول اسانس با رقیق کردن آن به نسبت ۱ به ۱۰ در متانول تهیه شد. محلول مذکور به میزان یک میکرولیتر در دمای ۲۵۰ درجه به دستگاه تزریق شد و از هلیوم (با نرخ ۱/۰ میلی‌لیتر در دقیقه) به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. شناسایی ترکیبات با مقایسه زمان‌های بازدارندگی (Retention Time = RT) و 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) انجام گرفت.

پرورش شپشه آرد

جمعیت اولیه حشره آفت از آرد آلوده به آفت (روستای حاج خان‌اوغلان، شهرستان بیله‌سوار، استان اردبیل) تهیه شد. پرورش شپشه آرد داخل ظروف پلاستیکی استوانه‌ای که دهانه آن به‌منظور تهویه مناسب با پارچه توری پوشانده شده بود، صورت گرفت. جمعیت آفت قبل از شروع آزمایش‌ها حداقل ۳ نسل در آزمایشگاه پرورش داده شد. پس از ریختن ۲۰۰ گرم آرد گندم (رقم زاگرس)، ۱۰۰ حشره کامل شپشه آرد به داخل ظروف رهاسازی شد. ظروف پرورش در اتاقک

رشد با شرایط دمایی ۲ ± ۲۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و تاریکی ۲۴ ساعته نگهداری شدند. بعد از ۴۸ ساعت حشرات کامل از ظروف پرورش جدا شده و آرد حاوی تخم‌های آفت در اتاقک رشد نگه‌داری شد. حشرات کامل هم‌سن ظاهر شده (با طول عمر یک تا هفت روز) برای انجام آزمایش‌ها استفاده شدند.

سمیت تدخینی اسانس رزماری

برای بررسی سمیت تدخینی اسانس رزماری، حشرات کامل یک تا هفت روزه شپشه آرد (۲۰ عدد) درون ظروف شیشه‌ای ۳۴۰ میلی‌لیتری (با قطر ۷/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۹/۲ سانتی‌متر) به‌عنوان اتاقک تدخین منتقل شدند. غلظت‌های ۵ تا ۲۵ میکرولیتر از اسانس (معادل ۱۴/۷، ۲۲/۱، ۲۷/۹، ۳۶/۸، ۴۷/۱، ۵۸/۸ و ۷۳/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) روی قطعات کاغذهای صافی به قطر ۳ سانتی‌متر ریخته شد. قطعات کاغذ صافی تیمار شده به سطح داخلی ظروف تدخین چسبانده شدند و درب پیچ‌دار ظروف تدخین به‌صورت غیر قابل نفوذ به هوا بسته شد. ظروف تدخین حاوی حشرات تیمار شده در اتاقک رشد با شرایط دمایی ۲ ± ۲۸ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و تاریکی ۲۴ ساعته نگهداری شدند. آزمایش‌ها ۳ مرتبه تکرار شده و تلفات حشرات در فاصله‌های زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعت به‌صورت پیوسته ثبت شد. بدین‌صورت که حشرات زنده مانده بعد از ۲۴ ساعت دوباره به ظروف تدخین برگردانده شدند و تلفات آفت ۴۸ ساعت بعد هم ثبت شد. در گروه شاهد، تمام مراحل به‌جز افزودن غلظت‌های اسانس تکرار شدند.

آزمایش دیگری به‌منظور محاسبه مقدار غلظت‌های کشنده و اطلاعات مربوط به خطوط رگرسیونی انجام گرفت؛ حشرات کامل آفت (شپشه آرد ۲۰ عدد) تحت تاثیر غلظت‌های کشنده حدود ۲۵ تا ۷۵ درصد که با توجه به نتایج آزمایش قبل و بر اساس فاصله لگاریتمی محاسبه شده بودند (۱۴/۷، ۲۱/۲، ۳۰/۶، ۴۴/۷ و ۶۴/۷ میکرولیتر)، همانند آزمایش قبلی قرار گرفتند. این آزمایش نیز سه تکرار داشت و تلفات حشرات کامل آفت بعد از ۲۴ ساعت ثبت شدند.

تاثیر ضد تغذیه‌ای اسانس رزماری

برای بررسی تاثیر اسانس روی شاخص‌های تغذیه‌ای حشرات کامل شپشه آرد، ۲۰۰ عدد حشره کامل آفت تحت تاثیر غلظت‌های کشنده ۴۰ و ۵۰ درصد اسانس (LC_{40} و LC_{50} به‌ترتیب برابر با ۲۶/۷ و ۳۵/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) قرار گرفتند. پس از گذشت ۲۴ ساعت، حشرات زنده مانده در پنج تکرار ۱۰ عددی (به‌صورت جداگانه برای هر غلظت و شاهد) داخل ظروف پتری شش سانتی‌متری حاوی دو گرم آرد گندم منتقل شدند. وزن حشرات کامل قبل و بعد از تغذیه، وزن غذای داده شده و وزن غذای باقی مانده در انتهای آزمایش (بعد از پنج و ۱۰ روز) با استفاده از ترازوی دیجیتالی چهار صفر توزین شد (Sartorius AG, GCA803S, Germany). برای اندازه‌گیری درصد وزن خشک حشرات کامل و آرد، نمونه‌های مورد مطالعه وزن شدند. سپس در آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک و دوباره وزن شدند (Ebadollahi *et al.*, 2022). محاسبه شاخص‌های تغذیه‌ای آفت شامل شاخص مصرف (Consumption Index: CI)، نرخ مصرف نسبی (Relative Consumption Rate: RCR)، نرخ رشد نسبی (Relative Growth Rate: RGR) و کارایی تبدیل غذای خورده شده (Efficiency of Conversion of Ingested Food: ECI) با استفاده از رابطه‌های زیر انجام گرفت (Waldbauer, 1968):

$$CI = F/A$$
$$RCR = F/TA$$
$$RGR = G/TA$$
$$ECI = G/F$$

در این رابطه‌ها، 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 کسب‌شده در طول دوره تغذیه (میلی‌گرم) را نشان می‌دهند. همچنین، شاخص بازدارندگی تغذیه (Feeding Deterrence Index: FDI) با استفاده از رابطه $FDI = [(C - T)/C] \times 100$ محاسبه شد. در این رابطه C و T به‌ترتیب میانگین وزن غذای خورده شده در گروه‌های شاهد و تیمار می‌باشند (Isman *et al.*, 1990).

تجزیه آماری

نرمال بودن داده‌های مربوط به سمیت تدخینی اسانس رزماری با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی با دو فاکتور غلظت اسانس و زمان در معرض قرارگیری حشرات کامل آفت انجام گرفت. نتایج تمام آزمایش‌ها تجزیه واریانس شده و با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه میانگین شدند. تجزیه پروبیت داده‌ها برای برآورد غلظت‌های کشنده و مقادیر مربوط به خطوط رگرسیونی انجام گرفت (Finney, 1971). آنالیزهای آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد (SPSS, 2007).

نتایج

شناسایی اجزای شیمیایی اسانس رزماری

بازدهی استخراج اسانس رزماری ۰/۲۴ ± ۱/۲۳ درصد (وزن/وزن) بود. بررسی اجزای شیمیایی اسانس رزماری نشان داد که از ۹۳/۱۹ درصد ترکیبات شناسایی شده، ترکیبات ترپنی شامل مونوترپن‌های هیدروکربنه (۲۸/۷۲ درصد)، مونوترپنوئیدها (۵۷/۰۳ درصد)، سسکوئی‌ترپن‌های هیدروکربنه (۳/۰۹ درصد) و سسکوئی‌ترپنوئیدها (۳/۲۵ درصد) مقدار بالایی را به خود اختصاص دادند (۹۲/۱۲ درصد). وربنون (۱۱/۸۶ درصد)، آلفا-پینن (۹/۳۹ درصد)، کامفور (۸/۸۲ درصد)، برنئول (۸/۵۴ درصد)، کامفن (۸/۳۱ درصد)، ۱،۸-سینئول (۷/۸۶ درصد)، لینالول (۵/۸۱ درصد) و بتا-پینن (۴/۱۵ درصد) به‌عنوان ترکیبات غالب موجود در اسانس شناسایی شدند (جدول ۱).

سمیت تدخینی اسانس رزماری

داده‌های حاصل از سمیت تدخینی اسانس رزماری روی حشرات کامل شپشه آرد دارای توزیع نرمال بود (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.78 و Sig. (2-tailed) = 0.58). اثر غلظت‌های مختلف اسانس رزماری ($F = 40.3; df = 6, 28; P < 0.001$) و زمان‌های در معرض قرار گیری ۲۴ و ۴۸ ساعته ($F = 40.8; df = 1, 28; P < 0.001$) در ایجاد تلفات حشرات کامل شپشه آرد معنی‌دار بود. با این حال، اثر متقابل غلظت اسانس و زمان در معرض قرار گیری آفت معنی‌دار نبود ($F = 0.23; df = 6, 28; P = 0.962$). اسانس رزماری سمیت تدخینی بالایی روی شپشه آرد داشت به‌طوری‌که غلظت ۷۳/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا از اسانس موجب تلفات ۹۰/۰ درصدی حشرات کامل آفت بعد از ۲۴ ساعت شد که طی ۴۸ ساعت تا ۱۰۰ درصد افزایش یافت (شکل ۱).

با توجه به نتایج تجزیه پروبیت داده‌های حاصل از سمیت تدخینی اسانس رزماری روی شپشه آرد، غلظت کشنده ۵۰ درصد حشرات کامل تیمار شده (LC_{50}) ۳۵/۵۲ میکرولیتر برآورد شد (جدول ۲). مقدار ضریب همبستگی (۰/۹۳) نشان‌دهنده ارتباط مثبت و مستقیم بین تلفات آفت با غلظت-های مورد مطالعه اسانس می‌باشد. غلظت‌های کشنده ۴۰ و ۵۰ درصد (به‌ترتیب LC_{40} و LC_{50}) برای ارزیابی اثرات ضدتغذیه‌ای اسانس مورد استفاده قرار گرفت.

آثار ضدتغذیه‌ای

تاثیر مقادیر LC_{40} و LC_{50} پس از ۲۴ ساعت اسانس رزماری (به‌ترتیب برابر با ۲۶/۷ و ۳۵/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) روی شاخص‌های تغذیه‌ای حشرات کامل شپشه آرد شامل شاخص مصرف (Consumption Index)، نرخ مصرف نسبی (Relative Consumption Rate)، نرخ رشد نسبی (Relative Growth Rate) و کارایی تبدیل غذای خورده شده (Efficiency of Conversion of Ingested Food) بعد از ۵ و ۱۰ روز در شکل ۲ نشان داده شده است.

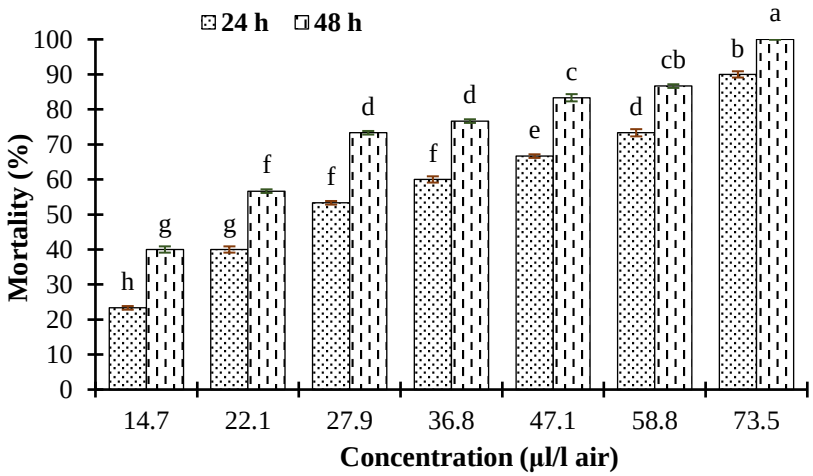
شاخص مصرف آفت تحت تاثیر غلظت‌های اسانس ($F = 13.33; df = 2, 24; P < 0.05$) و زمان‌های مورد مطالعه ($F = 32.54; df = 1, 24; P < 0.05$) تغییر کرد؛ به طوری که با افزایش زمان، مقادیر شاخص مصرف در گروه‌های تیمار و شاهد هم افزایش پیدا کرد. هر چند تیمار آفت با اسانس رزماری در هر دو بازه زمانی ۵ و ۱۰ روز موجب کاهش شاخص مصرف نسبت به گروه شاهد شد (شکل ۲).

جدول ۱- اجزای شیمیایی اسانس رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)

Table 1. Chemical composition of the essential oil of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.)

Components	**Formula and classification**	**Retention time (minute)**	**Area percentage**
Tricyclene	$(C_{10}H_{16})^{MH}$	5.99	0.27
α-Pinene	$(C_{10}H_{16})^{MH}$	6.33	9.39
2-Carene	$(C_{10}H_{16})^{MH}$	6.85	1.47
Camphene	$(C_{10}H_{16})^{MH}$	7.07	8.31
β-Pinene	$(C_{10}H_{16})^{MH}$	7.64	4.19
3-Octanone	$(C_8H_{16}O)^{O}$	8.15	1.07
β-Myrcene	$(C_{10}H_{16})^{MH}$	8.37	3.31
Cymene	$(C_{10}H_{14})^{MH}$	9.17	0.26
β-Ocimene	$(C_{10}H_{16})^{MH}$	9.85	0.23
1,8-Cineole	$(C_{10}H_{18}O)^{MO}$	9.56	7.86
γ-Terpinene	$(C_{10}H_{16})^{MH}$	10.30	0.15
Pentamethyl cyclopentadiene	$(C_{10}H_{16})^{MH}$	10.42	0.21
α-Terpinolene	$(C_{10}H_{16})^{MH}$	11.13	0.93
β-Thujone	$(C_{10}H_{16}O)^{MO}$	11.69	0.75
Linalool	$(C_{10}H_{18}O)^{MO}$	11.83	5.81
Camphor	$(C_{10}H_{18}O)^{MO}$	12.98	8.82
Isopinocamphone	$(C_{10}H_{18}O)^{MO}$	13.43	1.17
Borneol	$(C_{10}H_{18}O)^{MO}$	13.84	8.54
4-Terpineol	$(C_{10}H_{18}O)^{MO}$	14.03	3.03
Isoborneol	$(C_{10}H_{18}O)^{MO}$	13.56	2.52
Verbenone	$(C_{10}H_{14}O)^{MO}$	18.98	11.86
Carveol	$(C_{10}H_{16}O)^{MO}$	15.51	0.29
Myrtanol	$(C_{10}H_{18}O_2)^{MO}$	16.33	0.13
Bornyl acetate	$(C_{12}H_{20}O_2)^{MO}$	16.62	4.71
α-Terpinyl acetate	$(C_{12}H_{20}O_2)^{MO}$	17.97	1.09
Nerol	$(C_{10}H_{18}O_2)^{MO}$	18.60	0.11
Sobrerol	$(C_{10}H_{18}O_2)^{MO}$	18.87	0.37
Caryophyllene	$(C_{15}H_{24})^{SH}$	20.184	2.94
β-bisabolene	$(C_{15}H_{24})^{SH}$	21.17	0.15
Caryophyllenyl alcohol	$(C_{15}H_{26}O)^{SO}$	22.59	0.10
Caryophyllene oxide	$(C_{15}H_{24}O)^{SO}$	22.90	2.61
1,2-Humulene epoxide	$(C_{15}H_{24}O)^{SO}$	23.28	0.33
α-Bisabolol	$(C_{15}H_{26}O)^{SO}$	24.57	0.10
α-Bisabolene epoxide	$(C_{15}H_{24}O)^{SO}$	25.90	0.11
Monoterpene Hydrocarbons: MH			28.72
Monoterpenoids: MO			57.03
Sesquiterpene hydrocarbons: SH			3.09
Sesquiterpenoids: SO			3.25
Others: O			1.07
Total identified			93.19

Compounds lower than 0.1 were not shown.



شکل ۱- میانگین درصد تلفات (± خطای معیار) حشرات کامل شپشه آرد (*Tribolium confusum* du Val) در معرض غلظت-های مختلف اسانس رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) بعد از ۲۴ و ۴۸ ساعت. حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های مربوطه می‌باشند.

Figure 1. Mean mortality percentage (± SE) of the flour beetle adults (*Tribolium confusum* du Val) exposed to different concentrations of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oil after 24 and 48 h. Different letters indicate a significant difference between the corresponding means.

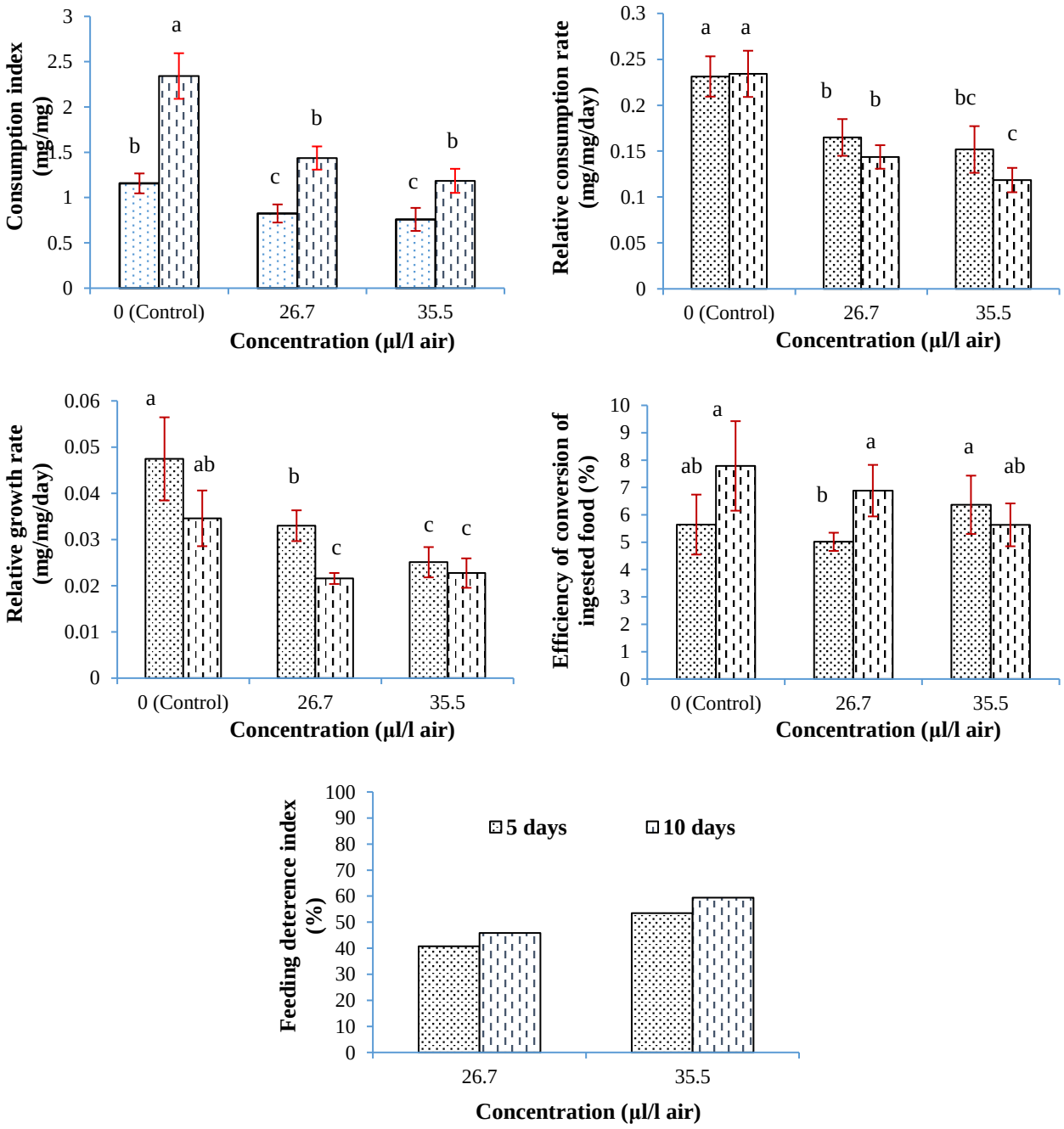
جدول ۲- تجزیه پروبیت تلفات حشرات کامل شپشه آرد (*Tribolium confusum* du Val) بر اثر تدخین اسانس رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) بعد از زمان در معرض قرارگیری ۲۴ ساعت

Table 2. Probit analysis of the mortality of flour beetle (*Tribolium confusum* du Val) adults affected by fumigation of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oil after 24 h-exposure time

Lethal Concentrations with 95% confidence limits (µl/l air)			Intercept	Slope	χ^2 (df = 3)	Significant	R^2
LC_{40}	LC_{50}	LC_{90}					
26.73 (23.01 - 30.40)	35.52 (31.24 - 41.08)	149.41 (106.84 - 258.48)	-3.18	2.05	4.93	0.18*	0.93

* Since the significance level is greater than 0.05, no heterogeneity factor is used in the calculation of confidence limits. Number of tested insects 360.

نرخ مصرف نسبی شپشه آرد هم تحت تاثیر مقادیر LC_{40} و LC_{50} اسانس رزماری کاهش پیدا کرد. با وجود اینکه افزایش زمان اختلاف معنی‌داری در مقدار نرخ مصرف نسبی ایجاد نکرد ($F = 0.95$; $df = 1, 24$; $P = 0.34$)، مقدار شاخص مذکور در مقایسه با گروه شاهد تحت تاثیر غلظت-های مورد مطالعه در هر دو بازه زمانی ۵ و ۱۰ روز به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت ($F = 11.46$; $df = 2, 24$; $P < 0.05$) (شکل ۲). استفاده از غلظت‌های مورد مطالعه از اسانس رزماری نرخ رشد نسبی حشرات کامل شپشه آرد را در هر دو بازه زمانی ۵ و ۱۰ روز در مقایسه با گروه شاهد کاهش داد ($F = 5.84$; $df = 2, 24$; $P < 0.05$). هر چند، افزایش غلظت از LC_{40} به LC_{50} تاثیر معنی‌داری در مقدار نرخ رشد نسبی بعد از ۱۰ روز نداشت. مقادیر LC_{40} و LC_{50} اسانس رزماری ($F = 0.30$; $df = 2, 24$; $P = 0.75$) و زمان‌های مورد مطالعه ($F = 1.45$; $df = 1, 24$; $P = 0.24$) در کارایی تبدیل غذای خورده شده آفت اثر معنی‌داری نداشتند (شکل ۲). شاخص بازدارندگی تغذیه اسانس رزماری در غلظت ۲۶/۷ میکرولیتر بر لیتر هوا ۴۰/۷ و ۴۵/۹ درصد به‌ترتیب بعد از ۵ و ۱۰ روز محاسبه شد. مقادیر متناظر در غلظت ۳۵/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا از اسانس به‌ترتیب ۵۳/۴ و ۵۹/۵ درصد برآورد شد (شکل ۲).



شکل ۲- تاثیر مقادیر LC_{40} و LC_{50} اسانس رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) روی شاخص‌های تغذیه‌ای (میانگین ± خطای معیار) حشرات کامل شپشه آرد (*Tribolium confusum* du Val). حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌های مربوطه می‌باشد.

Figure 2. Effect of LC_{40} and LC_{50} values of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oil on nutritional indices (mean ± SE) of the flour beetle adults (*Tribolium confusum* du Val). Different letters indicate significant differences between the corresponding means.

بحث

در مطالعه میراسماعیلی و همکاران (Miresmailli *et al.*, 2006)، ترپن‌های ۱،۸-سینئول (۳۱/۵ درصد)، کامفور (۲۰/۰ درصد)، آلفا-پینن (۱۷/۵ درصد)، کامفن (۸/۰ درصد) و بتا-پینن (۶/۸ درصد) بیشترین مقدار را در اسانس رزماری داشتند. با وجود اینکه این ترکیبات در پژوهش

حاضر هم در اسانس رزماری شناسایی شدند، مقدار متفاوتی در مقایسه با پژوهش انجام شده توسط میراسماعیلی و همکاران (Miresmailli *et al*., 2006) داشتند (به‌ترتیب ۷/۹، ۸/۸، ۹/۴، ۸/۳ و ۴/۲ درصد). همچنین، مونوترپنوئید لینالول که در اسانس رزماری به میزان ۵/۸ درصد در پژوهش حاضر شناسایی شد، توسط این پژوهشگران گزارش نشده است. در پژوهشی دیگر، ترکیبات ترپنی ۱،۸-سینئول، آلفا-پینن، بتا-پینن، کامفور، کامفن، دی-لیمونن، بتا-کاریوفیلن، آلفا-ترپینئول و پارا-سایمن به‌عنوان اجزای اصلی ۱۰ نمونه تجاری اسانس رزماری شناخته شدند که حدود ۷۷/۴ تا ۹۷/۳ درصد از کل ترکیبات شناسایی شده را شامل می‌شدند (Isman *et al*., 2008). در این مطالعه، ۱،۸-سینئول با میانگین ۵۲/۱ درصد در بین ترکیبات اصلی اسانس‌ها بیشترین مقدار را داشت و بعد از آن ترکیبات آلفا-پینن (۸/۲ درصد)، کامفور (۹/۰ درصد) و بتا-پینن (۸/۲ درصد) قرار داشتند. در صورتی‌که مونوترپنوئید ۱،۸-سینئول در پژوهش حاضر درصد بسیار کمتری داشت (۷/۹ درصد) و مقدار ترکیبات آلفا-پینن، کامفور و بتا-پینن هم متفاوت بود (به‌ترتیب ۹/۴، ۸/۸ و ۴/۲ درصد). کریژوفسکی و همکاران (Krzyżowski *et al*., 2020) نشان دادند که آلفا-پینن (۲۲/۶ درصد)، کامفور (۲۱/۸ درصد)، ۱،۸-سینئول (۲۱/۵ درصد)، کامفن (۹/۲ درصد)، بتا-پینن (۵/۵ درصد) و دی-لیمونن (۴/۹ درصد) ترکیبات اصلی اسانس رزماری بودند. مونوترپن دی-لیمونن در پژوهش حاضر در اسانس رزماری شناسایی نشد. در پژوهشی دیگر، کامفور (۲۸/۰ درصد)، ۱،۸-سینئول (۲۲/۰ درصد)، آلفا-پینن (۱۱/۰ درصد)، برنئول (۶/۰ درصد)، کامفن (۶/۰ درصد) و وربنون (۵/۰ درصد) به‌عنوان ترکیبات عمده اسانس رزماری معرفی شدند (Valcárcel *et al*., 2021). در پژوهش حاضر مقدار ترکیبات کامفور (۸/۸ درصد) و وربنون (۱۱/۹ درصد) بسیار متفاوت بود. همچنین، باغوز و همکاران (Baghouz *et al*., 2022) ترکیبات ترپنی ۱،۸-سینئول (۶۲/۴ درصد)، کامفور (۲۳/۱ درصد)، برنئول (۵/۵ درصد) و کامفن (۴/۱ درصد) را به‌عنوان اجزای غالب اسانس رزماری معرفی کردند. در این پژوهش هم مونوترپن‌های هیدروکربنه (۷/۴ درصد) و مونوترپنوئیدها (۹۱/۰ درصد) بیشترین مقدار را در اسانس رزماری داشتند، اما برخلاف یافته‌های پژوهش حاضر ترکیبات سسکوئیترپنی مانند کاریوفیلن شناسایی نشدند. به‌طور کلی، اجزای شیمیایی اسانس‌های گیاهی تحت تاثیر عوامل مختلفی از قبیل شرایط آب و هوایی، موقعیت جغرافیایی، مرحله رشدی و نحوه استخراج اسانس می‌تواند تغییر کند (Moghaddam & Mehdizadeh, 2017). بنابراین، تفاوت‌های مشاهده شده در ترکیبات شناسایی شده اسانس رزماری در پژوهش حاضر و بررسی‌های اشاره شده می‌تواند ناشی از چنین عواملی باشد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اسانس رزماری سمیت تدخینی قابل توجهی روی حشرات کامل شپشه آرد دارد و حساسیت حشره آفت با افزایش زمان در معرض قرارگیری افزایش یافت. برای مثال، استفاده از غلظت ۷۳/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا از اسانس رزماری باعث تلفات ۹۰ درصدی جمعیت حشرات تحت تیمار طی ۲۴ ساعت شد و با افزایش زمان تا ۴۸ میزان تلفات آفت به ۱۰۰ درصد رسید. نتایج مشابهی از نظر پتانسیل بالای سمیت تدخینی اسانس رزماری روی برخی از حشرات آفت در پژوهش‌های قبل گزارش شده است. برای مثال، کریژوفسکی و همکاران (Krzyżowski *et al*., 2020) سمیت تدخینی اسانس رزماری را با مقدار LC_{50} ۲۴ ساعت ۱۳/۰ میکرولیتر بر لیتر هوا روی حشرات کامل سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (*Callosobruchus maculatus* (F.)) گزارش کردند. مقدار LC_{50} محاسبه شده در مطالعه کریژوفسکی و همکاران (Krzyżowski *et al*., 2020) کمتر از مقدار برآورد شده در پژوهش حاضر (۳۵/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) است. در پژوهشی دیگر، سمیت تدخینی اسانس رزماری روی حشرات کامل سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات (*C. maculatus*) با مقدار LC_{50} ۲۴ ساعت ۶/۸ میکرولیتر بر لیتر هوا گزارش شد. در این پژوهش، غلظت ۱۶ میکرولیتر بر لیتر هوا باعث ایجاد تلفات ۷۶/۷ درصدی حشرات کامل آفت طی ۲۴ ساعت شد و همانند نتایج پژوهش حاضر، حساسیت آفت با افزایش زمان بیشتر شده و میزان تلفات آن بعد از ۴۸ ساعت به ۱۰۰ درصد رسید

(Baghouz *et al*., 2022). تفاوت‌های مشاهده شده در فعالیت حشره‌کشی اسانس‌های رزماری می‌تواند ناشی از تفاوت در آفت مورد مطالعه و یا اجزای شیمیایی متفاوت اسانس‌های بررسی شده باشد.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، استفاده از غلظت‌های ۲۶/۷ و ۳۵/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا از اسانس رزماری شاخص‌های تغذیه‌ای حشرات کامل شپشه آرد شامل شاخص مصرف، نرخ مصرف نسبی و نرخ رشد نسبی را کاهش داد. همچنین، مقدار شاخص بازدارندگی تغذیه‌ای اسانس در غلظت‌های مذکور به‌ترتیب ۴۵/۹ و ۵۹/۵ بعد از ۱۰ روز می‌باشد. کاهش نرخ مصرف نسبی آفت تحت تاثیر اسانس می‌تواند بیانگر این نکته باشد که حشره از خوردن غذا قبل از اینکه ترکیبات فعال موجود در اسانس جذب بدن شوند، خودداری می‌کند. احتمالا ترکیبات بازدارنده موجود در اسانس در عملکرد سیگنال‌های تحریک تغذیه آفت اختلال ایجاد می‌کند. با کاهش نرخ رشد نسبی که می‌تواند با کاهش مصرف نسبی و کارآیی تبدیل غذای هضم شده هم در ارتباط باشد، نرخ بهره‌برداری حشره از غذا کاهش پیدا می‌کند (Ikawati *et al*., 2020). تاثیر ضدتغذیه‌ای اسانس رزماری روی برخی از حشرات آفت دیگر هم گزارش شده است که نتایج حاصل از پژوهش حاضر را تایید می‌کند. برای مثال، کیران و پراکاش (Kiran and Prakash, 2015) نشان دادند که اسانس سرشار از ترکیبات ترپنی رزماری علاوه بر سمیت تدخینی روی حشرات کامل شپشه برنج (*S. oryzae*) و شپشه دندانه‌دار برنج (*O. surinamensis*) (به‌ترتیب با مقادیر LC_{50} ۷۲ و ۳۶ ساعت ۰/۰۶ و ۰/۰۴ میکرولیتر بر میلی‌لیتر)، خاصیت ضد تغذیه‌ای قابل توجهی هم روی آفات مذکور دارد. به‌طوری‌که شاخص بازدارنگی تغذیه‌ای اسانس رزماری در غلظت ۰/۱ میکرولیتر بر میلی‌لیتر ۱۰۰ درصد برآورد شد. همچنین، بر اساس یافته‌های نصراصفهانی و همکاران (Nasr Isfahani *et al*., 2015)، اسانس رزماری (در غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۳۷ درصد) شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سن سوم شب‌پره پشت الماسی (*Plutella xylustella* L.) شامل نرخ مصرف نسبی، کارایی تبدیل غذای خورده شده و نرخ رشد نسبی را نسبت به گروه شاهد کاهش می‌دهد. علاوه بر آن، این پژوهشگران نشان دادند که میزان آنزیم‌های گوارشی پروتئاز، آلکالین فسفاتاز و آلفا آمیلاز لاروهای شب‌پره پشت الماسی هم تحت تاثیر اسانس رزماری کاهش می‌یابد. به عبارتی دیگر، اسانس رزماری علاوه بر توانایی ایجاد سمیت روی آفات مورد مطالعه، منجر به کاهش تغذیه و یا کارایی تغذیه‌ای آفات زنده مانده هم خواهد شد. البته بایستی توجه داشت که بررسی خواص ضدتغذیه‌ای در پژوهش نصراصفهانی و همکاران (Nasr Isfahani *et al*., 2015) به‌صورت تیمار غذای آفت با اسانس رزماری صورت گرفته است. بنابراین، احتمالاً مکانیسم حشره‌کشی متفاوتی نسبت به نتایج پژوهش حاضر که بعد از تیمار آفت با تدخین اسانس مشاهده شد، اتفاق افتاده است. علاوه بر آن، کریژوفسکی و همکاران (Krzyżowski *et al*., 2020) نشان دادند که فعالیت آنزیم‌های سم‌زدای استیل کولین استراز، کاتالاز و گلوتاتیون-اس-ترانسفراز در حشرات کامل سوسک چهارنقطه‌ای حبوبات تحت تاثیر اسانس رزماری افزایش می‌یابد. با این حال، این پژوهشگران نتیجه گرفتند که اسانس رزماری با مکانیسم‌های مختلف و یا با الگوهای عمل چندگانه قادر است آفت را کنترل کند و بنابراین، احتمال مقاومت آفت در برابر این اسانس بسیار کم خواهد بود.

ارتباط بین اجزای شیمیایی اسانس رزماری و خواص حشره‌کشی آن در برخی از پژوهش‌ها بررسی و گزارش شده است. برای مثال، میراسماعیلی و همکاران (Miresmailli *et al*., 2006) نشان دادند که ترکیب ۱،۸-سینئول با ایجاد تلفات حدود ۸۰ درصدی در افراد بالغ کنه تارتن دو لکه‌ای (*Tetranychus urticae* Koch)، نسبت به سایر ترکیبات خالص مطالعه شده (آلفا-پینن، کامفن، بتا-پینن، پارا-سایمن، ۱،۸-سینئول، کامفور، برنئول، آلفا-ترپینئول، برنیل‌استات و دی-لیمونن) سمیت بالاتری دارد. علاوه بر آن، اختلاط ترکیبات بررسی شده در این پژوهش تلفات ۹۰ درصدی در جمعیت کنه‌ها ایجاد کرد که نزدیک به تلفات مشاهده شده توسط اسانس رزماری بود. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که بین ترکیبات فعال و غیر فعال موجود در اسانس رزماری در ایجاد سمیت روی کنه تارتن اثر هم‌افزایی وجود دارد و وجود

بسیاری از این ترکیبات برای ایجاد سمیت ضروری می‌باشد. در پژوهشی دیگر، ایسمان و همکاران (Isman *et al.*, 2008) نشان دادند که سمیت اسانس رزماری روی لاروهای شب‌پره تک نقطه‌ای برنج (*Mythimna unipuncta* (Haworth)) و شب‌پره کلم (*Trichoplusia ni* Hübner)) ارتباط مستقیمی با اجزای شیمیایی آن به‌خصوص مقدار ترکیب لیمونن دارد. تک و همکاران (Tak *et al.*, 2016) ارتباط اجزای شیمیایی اسانس رزماری با سمیت آن روی لاروهای شب‌پره کلم را بررسی کرده و نشان دادند که مونوترپن‌های ۱،۸-سینئول و کامفور سمیت بالایی روی لاروهای این آفت دارند. در عین حال، اختلاط ترکیبات مذکور اثر هم‌افزایی قابل توجهی در سمیت آن‌ها داشت. خواص ضدتغذیه‌ای ترپن‌های آلفا-پینن، کامفور، ۱،۸-سینئول و لینالول به‌ترتیب با مقادیر بازدارندگی تغذیه‌ای ۶۷/۳، ۴۵/۳، ۳۶/۰ و ۲۲/۶ درصد در غلظت ۱۰۰ میکروگرم بر سانتی‌متر مربع روی لاروهای برگ‌خوار مصری پنبه (*S. littoralis*) گزارش شده است (Valcárcel *et al.*, 2021). علاوه بر آن، آثار حشره‌کشی ترکیبات ترپنی وربنون، آلفا-پینن، کامفور، برنئول، کامفن، ۱،۸-سینئول، لینالول و بتا-پینن به‌عنوان ترکیبات غالب موجود در اسانس رزماری در پژوهش‌های اخیر گزارش شده است (Papachristos *et al.*, 2004; Kordali et.al., 2017). بر اساس نتایج این بررسی‌ها، ترکیبات ترپنی مذکور که در مطالعه حاضر هم به وفور در اسانس رزماری شناسایی شدند، در خواص آفت-کشی مشاهده شده تاثیرگذار می‌باشند. به عبارتی دیگر، فعالیت‌های حشره‌کشی مشاهده شده از اسانس رزماری می-تواند به‌دلیل وجود ترکیبات ترپنی آفت‌کش موجود در آن‌ها و یا تاثیر هم‌افزایی این ترکیبات با سایر اجزا باشد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تدخین اسانس رزماری می‌تواند تلفات بالایی در جمعیت حشرات کامل شپشه آرد ایجاد کند. علاوه بر آن، در صورت تحت تاثیر قرار گرفتن آفت با غلظت‌های پایین اسانس (LC_{40} و LC_{50}) شاخص‌های تغذیه‌ای آفت شامل نرخ مصرف نسبی و نرخ رشد نسبی کاهش می‌یابد. کاهش شاخص‌های مذکور موجب پایین آمدن عملکرد زیستی آفت به‌خصوص از نظر جذب غذا و رشد آن می‌شود. همچنین، بایستی توجه داشت که نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه در پژوهش حاضر از محوطه فضای سبز دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان (دانشگاه محقق اردبیلی) تهیه شده است و در صورت نیاز مقدار زیادی از آن در دسترس خواهد بود. یافته‌های پژوهش‌های گذشته نشان داده‌اند که اسانس رزماری خواص آفت‌کشی قابل توجهی روی تعدادی از حشرات و کنه‌های آفت دارد (Miresmailli *et al.*, 2006; Isman *et al.*, 2008: Krzyżowski *et al.*, 2020: Baghouz *et al.*, 2022) به‌طوری‌که در سال‌های اخیر ترکیبات تجارتی آفت‌کش بر پایه اسانس رزماری هم ساخته شده‌اند. برای مثال، ترکیب تجارتی اکترول‌پلاس (Ecotrol Plus®) که بر پایه اسانس رزماری (۱۰ درصد)، ژرانیول (۵ درصد) و اسانس نعناع (۵ درصد) توسط شرکت کی‌پلکس (KeyPlex) ایالات متحده ساخته شده است، به‌عنوان یک حشره‌کش-کنه‌کش در کنترل طیف وسیعی از آفات مکنده از قبیل شته‌ها، تریپس‌ها و کنه‌های تارتن کاربرد دارد (Isman, 2020). با این حال، نتایج پژوهش حاضر خواص حشره‌کشی اسانس رزماری با منشا شمال استان اردبیل و با اجزای شیمیایی متفاوت نسبت به بررسی‌های قبل را روی شپشه آرد اثبات کرد. بنابراین، اسانس رزماری را به‌عنوان یک عامل کنترل طبیعی کارآمد و در عین حال در دسترس برای کنترل شپشه آرد می‌توان به‌منظور انجام بررسی‌های تکمیلی معرفی کرد. بررسی سایر اثرات حشره-کشی اسانس رزماری روی شپشه آرد از قبیل تاثیر روی ویژگی‌های زیستی و فراسنجه‌های جمعیتی و همچنین بررسی مکانیسم تاثیر آن در تصمیم‌گیری برای کاربرد این اسانس می‌تواند مثمر ثمر باشد. البته بایستی توجه داشت که استفاده از فرمولاسیون‌های جدید مانند تهیه میکرو و نانوکپسول‌های با قابلیت رهاسازی کُند اسانس رزماری (Ahsaei *et al.*, 2020; Abada *et al.*, 2023) در راستای کاربرد نتایج پژوهش حاضر می‌تواند حائز اهمیت باشد.

References

Abada, M. B., Soltani, A., Tahri, M., Hamdi, S. H., Boushih, E., Fourmentin, S., Greige-Gerges, H., & Ben Jemâa, J. M. (2023). Encapsulation of *Rosmarinus officinalis* essential oil and of its main components in cyclodextrin: Application to the control of the date moth *Ectomyelois ceratoniae* (Pyralidae). *Pest Management Science*, 79(7), 2433-2442. **DOI:https://doi.org/10.1002/ps.7418**

Ahmad, R., Hassan, S., Ahmad, S., Nighat, S., Devi, Y. K., Javeed, K., Usmani, S., Ansari, M. J., Erturk, S., Alkan, M., & Hussain, B. (2021). Stored Grain Pests and Current Advances for Their Management. In Ahiduzzaman, M. (Ed.). Postharvest technology-recent advances, new perspectives and applications. IntechOpen, London, United Kingdom. pp. 1-37. **DOI:https://doi.org/ 10.5772/ intechopen.95208**

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

Baghouz, A., Bouchelta, Y., Es-safi, I., Bourhia, M., Abdelfattah, E. M., Alarfaj, A. A., Hirad, A. H., Nafidi, H. A., & Guemmou, R. (2022). Identification of volatile compounds and insecticidal activity of essential oils from *Origanum compactum* Benth. and *Rosmarinus officinalis* L. against *Callosobruchus maculatus* (Fab.). *Journal of Chemistry*, 7840409. **DOI:https://doi.org/10.1155/ 2022/7840409**

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils–a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475. **DOI:https://doi.org/10.1016/j.fct. 2007.09.106**

Borges, R. S., Ortiz, B. L. S., Pereira, A. C. M., Keita, H., & Carvalho, J. C. T. (2019). *Rosmarinus officinalis* essential oil: A review of its phytochemistry, anti-inflammatory activity, and mechanisms of action involved. *Journal of ethnopharmacology*, 229, 29-45. **DOI:https://doi.org/10.1016/ j.jep.2018.09.038**

De Sousa, D. P., Damasceno, R. O., Amorati, R., Elshabrawy, H. A., De Castro, R. D., Bezerra, D. P., Nunes, V. R., Gomes, R. C., & Lima, T. C. (2023). Essential oils: Chemistry and pharmacological activities. *Biomolecules*, 13(7), 1144. **DOI:https://doi.org/10.3390/biom13071144**

Ebadollahi, A., & Jalali Sendi, J. (2015). A review on recent research results on bio-effects of plant essential oils against major Coleopteran insect pests. *Toxin Reviews*, 34, 76-91. **DOI: https:// doi.org/10.3109/15569543.2015.1023956**

Ebadollahi, A., Naseri, B., Abedi, Z., Setzer, W. N., & Changbunjong, T. (2022). Promising insecticidal efficiency of essential oils isolated from four cultivated *Eucalyptus* species in Iran against the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.). *Insects*, 13(6), 517. **DOI:https://doi.org/10.3390/ insects13060517**

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

El-Said, H., Ashgar, S. S., Bader, A., AlQathama, A., Halwani, M., Ascrizzi, R., & Flamini, G. (2021). Essential oil analysis and antimicrobial evaluation of three aromatic plant species growing in Saudi Arabia. *Molecules*, 26(4), 959. **DOI:https://doi.org/10.3390/molecules26040959**

Finney, D.J. (1971). Probit Analysis. Cambridge University Press, Cambridge.

Hill, D. S. (2002). Pests: Class insecta, pests of stored foodstuffs and their control. Kluwer Academic Publishers, Springer, Malaysia.

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(2), 235-241. **DOI:https://doi.org/ 10.1007/s11101-019-09653-9**

Isman, M. B., & Grieneisen, M. L. (2014). Botanical insecticide research: Many publications, limited useful data. *Trends in Plant Science*, 19, 140-145. **DOI:https://doi.org/10.1016/j.tplants. 2013.11.005**

Isman, M. B., Koul, O., Luczynski, A., Kaminski, J. (1990). Insecticidal and antifeedant bioactivities of neem oils and their relationship to azadiractin content. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 38, 1406-1411. **DOI: https://doi.org/10.1021/jf00096a024**

Isman, M. B., Wilson, J. A., & Bradbury, R. (2008). Insecticidal Activities of commercial rosemary oils (*Rosmarinus officinalis*.) against larvae of *Pseudaletia unipuncta*. and *Trichoplusia ni*. in relation to their chemical compositions. *Pharmaceutical Biology*, 46, 82-87. **DOI: https://doi.org/10.1080/13880200701734661**

Jaimand, K., & Rezaee, M. B. (2004). Investigation on chemical constituents of essential oils from *Achillea millefolium* L. subsp. *millefolium* by distillation methods. J*ournal of Medicinal and Aromatic Plants*, 20, 181-190.

Kordali, Ş., Usanmaz, A., Bayrak, N., & Çakır, A. (2017). Fumigation of volatile monoterpenes and aromatic compounds against adults of *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Records of Natural Products*, 11, 362-373.

Kiran, S., & Prakash, B. (2015). Toxicity and biochemical efficacy of chemically characterized Rosmarinus officinalis essential oil against *Sitophilus oryzae* and *Oryzaephilus surinamensis*. *Industrial Crops and Products*, 74, 817-823. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.073**

Krzyżowski, M., Baran, B., Łozowski, B., & Francikowski, J. (2020). The effect of *Rosmarinus officinalis* essential oil fumigation on biochemical, behavioral, and physiological parameters of *Callosobruchus maculatus*. *Insects*, 11(6), 344. **DOI: https://doi.org/10.3390/insects11060344**

Miresmailli, S., Bradbury, R., & Isman, M. B. (2006). Comparative toxicity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil and blends of its major constituents against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on two different host plants. *Pest Management Science*, 62(4), 366-371. **DOI: https://doi.org/10.1002/ps.1157**

Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2017). Chemistry of Essential Oils and Factors Influencing Their Constituents. In Grumezescu, A. M., & Holban, A. M. (Eds.). Handbook of food bioengineering (1st ed.) Academic Press, New York, NY, USA. pp. 379-419. **DOI:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811412-4.00013-8**

Nasr Isfahani, M., Jalali Sendi, J., Moharramipour, S., & Zibaee, A. (2015). Effect of Thymus and Rosemary essential oil on toxicity and physiological parameters of diamondback moth *Plutella xylustella* L. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(4), 553-567. (in Farsi). **DOI:https://doi.org/27412**

Nayak, M. K., & Daglish, G. J. (2018). Importance of Stored Product Insects. In Athanassiou, C., & Arthur, F. (Eds). Recent advances in stored product protection. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 1–17. **DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-662-56125-6_1**

Pai, A., & Bucher, G. (2019). *Tribolium* (second ed.), In Choe, J.C. (Ed.). Encyclopedia of Animal Behavior. Elsevier Science & Technology, San Diego. pp. 231-241. **DOI:https://doi.org/ 10.1016/B978-0-12-809633-8.01216-4**

Papachristos, D. P., Karamanoli, K., Stamopoulos, D. C., & Menkissoglu-Spiroudi, U. (2003). The relationship between the chemical composition of three essential oils and their insecticidal activity against *Acanthoscelides obtectus* (Say). *Pest Management Science*, 60, 514-520. **DOI:https:// doi.org/10.1002/ps.798**

Rossi, E., Osimi, S. C., & LOni, A. (2010). Insecticide resistance in Italian populations of *Tribolium* flour beetles. *Bulletin of Insectology*, 63(2), 251-258.

Scorza, F. A., Beltramim, L., & Bombardi, L. M. (2023). Pesticide exposure and human health: Toxic legacy. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)*, 78, 100249. **DOI: https://doi.org/10.1016/j.clinsp.2023.100249**

Soltani, A., Haouel-Hamdi, S., Ajmi, I., Ben Abada, M., Djebbi, T., Chargui, H., Mathlouthi, I., Laabidi, A., Mahmoudi, H., & Mediouni-Ben Jemâa, J. (2022). Assessing the insecticidal impact of rosemary essential oils on the saw-toothed grain beetle *Oryzeaphilus surinamensis*. *Tunisian Journal of Plant Protection*, 17(1), 15-28. **DOI:https://doi.org/10.52543/tjpp.17.1.2**

SPSS (2007). SPSS for Windows, Version 16.0. Chicago, SPSS Inc.

Tak, H., Jovel, E., & Isman, M. B. (2016). Comparative and synergistic activity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil constituents against the larvae and an ovarian cell line of the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Management Science*, 72(3), 474-480. **DOI: https://doi.org/10.1002/ps.4010**

Valcárcel, F., Olmeda, A. S., González, M. G., & Andrés, M. F. (2021). Acaricidal and insect antifeedant effects of essential oils from selected aromatic plants and their main components. *Frontiers in Agronomy*, 3, 662802. **DOI:https://doi.org/10.3389/fagro.2021.662802**

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**

Zettler, L. J. (1991). Pesticide resistance in *Tribolium castaneum* and *T. Confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) from flourmills in the United States. *Journal of Economic Entomology*, 84(3), 763-767. **DOI: https://doi.org/10.1093/jee/84.3.763**

Plant Pest Research
2024- 14 (1): 19-33

Open access
doi: 10.22124/iprj.2024.26813.1561
pISSN: 2322-2409
eISSN: 2538-6123

Research paper

Fumigant toxicity and antifeedant effects of rosemary essential oil against the flour beetle *Tribolium confusum*

A. Ebadollahi*
Department of Plant Sciences, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
0000-0003-3276-1608

(Received: February 20, 2024- Accepted: April 20, 2024)

Abstract

The flour beetle (*Tribolium confusum* du Val) is one of the most important coleopteran pests on stored products, especially cereal grains and flour. Frequent application of chemical pesticides in insect pest management has resulted in numerous side effects such as environmental contamination, threat to human health and non-target organisms, and the development of pest resistance. In the present study, the fumigant toxicity and anti-nutritional effects of rosemary essential oil on flour beetle adults were investigated. Due to the relationship between the chemical compositions of essential oils with their biological effects, the compounds of rosemary essential oil were studied by gas chromatography-mass spectrometry. Rosemary essential oil was rich in terpenic compounds, including the hydrocarbon monoterpenes (28.72%), monoterpenoids (57.03%), hydrocarbon sesquiterpenes (3.09%), and sesquiterpenoids (3.25%). The concentration of 73.5 µl/l air of essential oil caused 90.0% mortality of the pest after 24 h, which was increased to 100% by 48 h. The use of 24-h LC_{40} and LC_{50} values of essential oil, respectively equal to 26.7 and 35.5 µl/l air, reduces the nutritional indices of the pest, including consumption index, relative consumption rate, and relative growth rate after 5 and 10 days. In addition, the feeding deterrence index of the mentioned values was estimated at 40.7 and 45.9% after 5 days and 53.4 and 59.5% after 10 days, respectively. Therefore, rosemary essential oil can be introduced as one of the available and efficient agents in the management of flour beetle for further research.

Key words: Antifeedant activity, flour beetle, rosemary essential oil, terpenic compounds, toxicity

*Corresponding author: ebadollahi@uma.ac.ir