

مقاله تحقیقی

اثرات تدخینی اسانس های گیاهی *Cuminum* و *Foeniculum vulgare*, *Zataria multiflora*, *Carum copticum* بر دو گونه مهم آفات انباری، *Ephestia kuehniella* Zeller و *Callosobruchus maculatus* (F.)علی رحمانی^۱، مصطفی معروف پور^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد حشره شناسی کشاورزی، موسسه آموزش عالی غیردولتی مهرگان محلات، ایران.

۲- دانشیار، گروه گیاه پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان سنندج، ایران.

مسئول مکاتبات: مصطفی معروف پور، ایمیل: M.Maroufpoor@uok.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶

۱۳۰-۱۱۳ (۱) ۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸

چکیده

اتکای بیش از حد به آفت کش های شیمیایی در مدیریت آفات انباری طی دهه های اخیر، موجب نگرانی های جدی در زمینه بروز مقاومت در جمعیت های حشرات، آلودگی محصولات ذخیره شده و محیط زیست، و ایجاد خطرات بالقوه برای سلامت انسان و موجودات غیرهدف شده است. این چالش ها، ضرورت شناسایی و به کارگیری جایگزین های ایمن تر، پایدارتر و سازگار با محیط زیست را بیش از پیش آشکار می سازد. در این راستا، اسانس های گیاهی که حاوی ترکیبات زیستی فعال متنوع هستند، به عنوان حشره کش های طبیعی، به دلیل داشتن اثرات سمی قوی، تجزیه پذیری سریع در محیط، سمیت پایین برای پستانداران و سازگاری با برنامه های مدیریت تلفیقی آفات (IPM) مورد توجه قرار گرفته اند. مطالعه حاضر، سمیت تدخینی اسانس چهار گونه گیاهی شامل رازیانه (*Foeniculum vulgare*)، آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)، زنیان (*Carum copticum*) و زیره سبز (*Cuminum cyminum*) را علیه حشرات کامل سوسک چهار نقطه ای حبوبات (*Callosobruchus maculatus* F.) و لاروهای شب پره مدیریتانه ای آرد (*Ephestia kuehniella* Zeller) در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داد. آزمایش ها در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد و داده ها با استفاده از تحلیل پروبیت برای برآورد مقادیر LC₅₀ تجزیه و تحلیل گردید. نتایج نشان داد تمام اسانس های آزمایش شده اثر تدخینی قابل توجهی بر هر دو گونه آفت داشتند، اما میزان سمیت میان اسانس ها و گونه های حشره متفاوت بود. آویشن شیرازی بالاترین اثر حشره کشی را نشان داد و مقادیر LC₅₀ آن برای حشرات کامل *C. maculatus* و لاروهای *E. kuehniella* به ترتیب ۶۴/۵ و ۱۴۴/۵ $\mu\text{L/L}$ هوا بود. پس از آن، زیره سبز با LC₅₀ معادل ۱۳۲/۳ و ۴۰۵/۹، زنیان با LC₅₀ برابر ۱۴۹/۳ و ۴۱۶/۷، و در نهایت رازیانه با LC₅₀ معادل ۲۳۹/۵ و ۶۱۱/۸ $\mu\text{L/L}$ هوا قرار گرفتند. به طور کلی، حساسیت حشرات کامل *C. maculatus* نسبت به لاروهای *E. kuehniella* بیشتر بود. این نتایج نشان دهنده پتانسیل بالای اسانس های گیاهی، به ویژه آویشن شیرازی و زیره سبز، به عنوان فومیگانت های مؤثر در کنترل آفات انباری است و استفاده از آنها می تواند وابستگی به آفت کش های شیمیایی را کاهش دهد، باقی مانده سموم در محصولات ذخیره شده را کاهش داده و گامی مؤثر در مدیریت آفات به شیوه ای پایدار و دوستدار محیط زیست باشد. همچنین، نتایج با مطالعات پیشین اهمیت ادامه تحقیقات در زمینه بهینه سازی فرمولاسیون، بررسی اثرات هم افزایی و ارزیابی کارایی در شرایط انباری واقعی را تأکید می کند.

واژه های کلیدی: سمیت تدخینی، اسانس های گیاهی، *Ephestia kuhniella*، *Callosobruchus maculatus*

مقدمه

مراحل انبارداری به دلیل خسارت آفات از بین می رود. گزارش ها نشان می دهند که سالانه ۱۰ تا ۲۰ درصد محصولات کشاورزی در انبارها دچار تلفات می شوند؛ این پدیده در ایران نیز مشاهده شده است (Bagherizenoz,

کمبود مواد غذایی یکی از چالش های اساسی در کشورهای در حال توسعه محسوب می شود. در این کشورها، بخش قابل توجهی از محصولات کشاورزی پس از برداشت و در

(Mikaili et al., 2013; 1369). زنیان (*Carum copticum* L.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) نیز از خانواده چتریان هستند. اسانس های آنها در صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی کاربرد وسیعی دارند و مطالعات نشان داده اند که خواص حشره کشی مؤثری دارند (Chaubey, 2008). با توجه به اهمیت کاهش مصرف سموم شیمیایی، بررسی اثرات اسانس های این گیاهان بر آفات انباری کلیدی، مانند سوسک چهار نقطه ای حبوبات و شب پره مدیترانه ای آرد، می تواند گامی مؤثر در توسعه روش های کنترل بیولوژیکی و پایدار باشد. در این مطالعه، سمیت تدخینی اسانس های رازیانه، آویشن شیرازی، زنیان و زیره سبز بر این دو گونه آفت تحت شرایط آزمایشگاهی ارزیابی شد.

مواد و روش ها

پرورش و هم سن سازی حشرات

کلنی های اولیه سوسک چهار نقطه ای حبوبات (*Callosobruchus maculatus* F.) و شب پره مدیترانه ای آرد (*Ephestia kuehniella* Zeller) از آزمایشگاه حشره شناسی دانشگاه ارومیه تهیه شدند. برای پرورش سوسک چهار نقطه ای حبوبات، از ظروف استوانه ای شیشه ای به حجم ۲ لیتر استفاده شد که دهانه آن با پارچه توری پوشانده شده بود تا تهویه مناسب فراهم شود. محیط تغذیه شامل لوبیا چشم بلبلی بود که پیش از استفاده، به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۰- درجه سلسیوس نگهداری شد تا هر گونه آلودگی احتمالی حذف شود. هر ظرف شامل ۲۰۰ گرم لوبیا و ۵۰ جفت حشره نر و ماده بود که به طور تصادفی روی محیط رهاسازی شدند.

برای پرورش شب پره مدیترانه ای آرد، از جعبه های پلاستیکی مکعب مستطیل با ابعاد ۳۵×۲۵×۱۵ سانتی متر استفاده شد. بستر تغذیه شامل مخلوط آرد و سبوس گندم به نسبت ۳ به ۱ بود. تمامی ظروف پرورش به انکوباتور منتقل شده و در شرایط دمایی 1 ± 28 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و تاریکی کامل نگهداری شدند.

حشرات کامل یک روزه سوسک چهار نقطه ای پس از تخم ریزی روی لوبیا با استفاده از الک مش ۳۵ جدا شدند و

(1996). در میان آفات مهم انباری، سوسک چهار نقطه ای حبوبات (*Callosobruchus maculatus* F.) و شب پره مدیترانه ای آرد (*Ephestia kuehniella* Zeller) به عنوان گونه های کلیدی خسارت را شناخته می شوند. این حشرات حبوبات، غلات و فرآورده های مرتبط را تهدید می کنند. استفاده از حشره کش های شیمیایی، به ویژه روش تدخینی، یکی از متداول ترین و مؤثرترین شیوه های کنترل این آفات است (Steidle & Scholler, 2002). با این حال، مصرف مکرر و گسترده سموم شیمیایی مشکلات زیست محیطی و بهداشتی جدی ایجاد کرده است. این مشکلات شامل آلودگی منابع آب زیرزمینی، باقی مانده سموم در مواد غذایی، افزایش مقاومت آفات و نابودی دشمنان طبیعی آنها است (Isman, 2000; Bughio & Wilkins, 2004; Collins et al., 2005). این مسائل محققان را به جستجوی جایگزین های امن و سازگار با محیط زیست سوق داده است. در این زمینه، اسانس های گیاهی که در اندام های مختلف گیاهان تولید می شوند، توجه ویژه ای یافته اند. این ترکیبات به دلیل ویژگی های تبخیرپذیری، نیمه عمر کوتاه در محیط و اثرات بیولوژیکی، گزینه های مؤثری برای کنترل زیستی آفات هستند (Enan, 2001; Rajendran & Sriranjini, 2008). علاوه بر نقش حفاظتی در گیاهان در برابر حشرات و عوامل بیماری زا، اسانس ها در تعاملات گیاه با محیط، مانند جذب گرده افشان ها نیز مؤثرند (Tholl, 2006). تاکنون بیش از ۲۰۰۰ گونه گیاهی دارای ترکیبات حشره کش طبیعی شناسایی شده اند (Yaghout Nejad et al., 2013). خانواده های چتریان (Apiaceae) و نعنائیان (Lamiaceae) به دلیل داشتن اسانس های غنی، منابع مهم حشره کش های طبیعی محسوب می شوند (Chaubey, 2006; 2007; 2008). گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Miller) یک گونه چندساله بومی مناطق مدیترانه و جنوب اروپا است. اسانس آن عمدتاً شامل ترانس-آنتول، لیمونن و فنچون است (Sefidkan, 2001; Omid Beigi, 1995). آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss) با پراکنش محدود در ایران، افغانستان و پاکستان، دارای اسانسی با اثرات زیستی گسترده شامل فعالیت ضد میکروبی و حشره کشی است (Zargari,

مورفولوژیکی با نمونه‌های هرباریومی و منابع علمی معتبر شناسایی شدند. بذرها پس از آسیاب دستی به پودر تبدیل و به میزان ۱۰۰ گرم برای استخراج اسانس به روش تقطیر با آب آماده شدند. فرآیند استخراج، خشک کردن و نگهداری اسانس‌ها برای این نمونه‌ها مشابه سایر نمونه‌ها انجام شد.

سمیت تدخینی اسانس‌ها

برای آزمایش‌های زیست‌سنجی، از ظروف پتری‌دیش به قطر ۸ سانتی‌متر و حجم تقریبی ۶۰ میلی‌لیتر به‌عنوان محفظه تدخین استفاده شد. در هر ظرف، ۲۵ عدد حشره کامل یک تا سه روزه (برای سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات) یا لارو سن سوم (برای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد) قرار داده شدند. ابتدا آزمایش‌های مقدماتی جهت تعیین محدوده غلظت مناسب انجام شد. غلظت‌هایی که منجر به ۱۰٪ و ۹۰٪ تلفات می‌شدند، انتخاب شدند. بر اساس روابط لگاریتمی، پنج غلظت از هر اسانس برای هر گونه حشره محاسبه شد و انتخاب گردیدند. بر اساس روابط لگاریتمی، پنج غلظت از هر اسانس برای هر گونه حشره محاسبه شد. دامنه غلظت‌های اسانس رازیانه برای لاروهای بید آرد بین ۱۶ تا ۶۶ میکرولیتر (معادل ۲۶۶/۶ تا ۱۱۰۰ میکرولیتر در لیتر هوا) و برای حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای بین ۶ تا ۴۸ میکرولیتر (معادل ۱۰۰ تا ۸۰۰ میکرولیتر در لیتر هوا) بود. همچنین، دامنه غلظت اسانس آویشن شیرازی برای لاروهای بید آرد بین ۲ تا ۴۵ میکرولیتر (۳۳/۳ تا ۷۵۰ میکرولیتر در لیتر هوا) و برای حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای بین ۲ تا ۲۴ میکرولیتر (۳۳/۳ تا ۴۰۰ میکرولیتر در لیتر هوا) تعیین شد. غلظت‌های اسانس زنیان برای لاروهای بید آرد بین ۱۶ تا ۵۴ میکرولیتر (معادل ۲۶۶/۶ تا ۹۰۰ میکرولیتر در لیتر هوا) و برای حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای بین ۴ تا ۴۰ میکرولیتر (۶۶/۶ تا ۶۶۶۶/۶ میکرولیتر در لیتر هوا) و برای اسانس زیره سبز، بین ۱۶ تا ۵۰ میکرولیتر (معادل ۲۶۶/۶ تا ۸۳۳/۳ میکرولیتر در لیتر هوا) و لاروها و ۲ تا ۳۲ میکرولیتر (۳۳/۳ تا ۵۳۳/۳ میکرولیتر در لیتر هوا) برای حشرات کامل محاسبه شدند. غلظت‌های محاسبه شده با استفاده از میکروسامپلر روی کاغذ صافی به قطر ۲ سانتی‌متر

دانه‌های لوبیا حاوی تخم‌ها به ظروف پرورش بازگردانده شدند. پس از ظهور حشرات کامل یک‌روزه، برای انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی استفاده شدند. برای تهیه لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، تخم‌های یک‌روزه از ظروف پرورش جمع‌آوری شده و در ظروف جدید روی مواد غذایی قرار گرفتند. پس از حدود ۳ تا ۴ روز، تخم‌ها تفریخ شده و لاروهای سن سوم برای انجام آزمایش‌های زیست‌سنجی به کار گرفته شدند.

جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی و استخراج اسانس‌ها

اندام‌های هوایی شامل برگ و ساقه ژنوتیپ محلی گیاه آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*) از مزارع دارویی شهرستان کاشان جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. شناسایی نمونه‌ها با مقایسه مورفولوژیکی و و تطبیق آن‌ها با نمونه‌های هرباریومی موجود در گروه علوم باغبانی و بررسی منابع علمی معتبر انجام شد. سپس برگ‌ها و ساقه‌های جوان در شرایط سایه و تهویه مناسب به مدت ۳ روز در آزمایشگاه خشک شدند. بذر توده‌های بومی گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) نیز از مزارع دارویی شهرستان کاشان شهرستان کاشان تهیه شد. اندام‌های هوایی خشک‌شده و بذرها پس از آسیاب دستی به پودر تبدیل و به میزان ۱۰۰ گرم برای استخراج اسانس آماده شدند. استخراج اسانس‌ها با استفاده از روش تقطیر با آب و دستگاه کلونجر انجام گرفت. ر این روش، ۱۰۰ گرم نمونه پودر شده همراه با یک لیتر آب در بالن شیشه‌ای کلونجر قرار داده شد و اسانس‌گیری در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت صورت گرفت. اسانس استخراج شده به تیوب‌های آزمایشی منتقل شد و با فویل آلومینیومی پوشانده شد تا زمان انجام آزمایش‌های حشره‌کشی در دمای ۴ درجه سلسیوس و در تاریکی نگهداری شود. به منظور جلوگیری از هیدرولیز ترکیبات اسانس، خشک کردن آن‌ها با استفاده از سولفات سدیم بدون آب (Na_2SO_4) انجام شد. بذره‌های بومی گیاه زنیان (*Carum copticum*) و زیره سبز (*Cuminum cyminum*) نیز از پرورش‌دهندگان محلی تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها مشابه روش فوق، با تطابق

مدیترانه‌ای آرد داشتند. مقادیر LC_{50} ، فواصل اطمینان، شیب خطوط رگرسیون و سایر پارامترهای حاصل از تحلیل پرویت در جدول ۱ ارائه شده است.

در بین اسانس‌های مورد بررسی، اسانس آویشن شیرازی بیشترین میزان سمیت را علیه حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای نشان داد. LC_{50} این اسانس به ترتیب در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت برابر ۱۱۹/۶، ۸۸ و ۶۴/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا بود و آن را مؤثرترین اسانس در آزمایش‌ها ساخت. پس از آویشن شیرازی، اسانس زیره سبز با مقادیر LC_{50} برابر ۲۲۵/۷، ۱۷۴/۹ و ۱۳۲/۳ میکرولیتر بر لیتر هوا در رده دوم قرار گرفت. اسانس‌های زنیان و رازیانه به ترتیب در رتبه‌های سوم و چهارم قرار گرفتند؛ رازیانه کمترین سمیت را با LC_{50} برابر ۳۷۳/۷، ۲۸۸/۴ و ۲۳۹/۵ میکرولیتر بر لیتر نشان داد. تفاوت سمیت بین اسانس‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۱).

الگوی سمیت اسانس‌ها بر لاروهای سن سوم شب‌پره مدیترانه‌ای آرد مشابه نتایج مشاهده‌شده برای سوسک چهار نقطه‌ای بود. اسانس آویشن شیرازی بیشترین سمیت را نشان داد و مقادیر LC_{50} آن در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به ترتیب ۳۰۱/۸، ۲۱۹/۲ و ۱۴۴/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا بود. اسانس زیره سبز با LC_{50} برابر ۵۰۱/۸، ۴۵۸/۵ و ۴۰۵/۹ میکرولیتر بر لیتر در رتبه دوم قرار گرفت. اسانس زنیان با مقادیر LC_{50} معادل ۵۲۷/۲، ۴۷۳/۱ و ۴۱۶/۷ میکرولیتر رتبه سوم را به خود اختصاص داد و اسانس رازیانه کمترین سمیت را نشان داد. به طور کلی، حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای حساسیت بیشتری به اسانس‌ها داشتند، به‌طوری‌که در اغلب موارد مقادیر LC_{50} آن‌ها پایین‌تر از مقادیر متناظر برای لاروهای شب‌پره بود. این تفاوت نشان‌دهنده اثرگذاری بالاتر اسانس‌ها بر مراحل بالغ برخی آفات انباری نسبت به مراحل لاروی است. منحنی‌های غلظت-پاسخ هر اسانس و هر گونه در شکل‌های ۱ تا ۸ ارائه شده‌اند. این منحنی‌ها افزایش یکنواخت تلفات را در پاسخ به افزایش غلظت اسانس‌ها نشان می‌دهند و رابطه‌ای مثبت و قابل پیش‌بینی بین دوز و مرگ‌ومیر ایجاد شده است.

که در مرکز هر پتری‌دیش چسبانده شده بود، ریخته شد. این روش تماس مستقیم حشرات با اسانس را حذف و اثر تدخینی بخار اسانس را فراهم می‌کرد. برای جلوگیری از خروج اسانس، اطراف درپوش پتری‌دیش با نوار پارافیلیم مهر و موم شد. نمونه‌ها در دمایی 1 ± 28 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 5 ± 65 درصد و تاریکی کامل نگهداری شدند.

مرگ‌ومیر حشرات پس از ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت با نزدیک کردن سوزن داغ به شاخک‌ها و پاها (برای حشرات کامل) و تحریک بدن لاروها ارزیابی شد. حشراتی که قادر به حرکت نبودند و لاروهایی که هیچ واکنشی به تحریک نشان ندادند، مرده تلقی شدند. آزمایش‌ها با چهار تکرار و پنج غلظت به همراه شاهد انجام شد. در تیمار شاهد، تمامی مراحل مشابه تیمار اصلی اجرا شد، با این تفاوت که تنها استون به‌عنوان حلال استفاده شد و اسانسی اضافه نشد.

تجزیه آماری داده‌ها

آزمایش‌ها بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی و با چهار تکرار برای هر تیمار انجام شد. در صورت مشاهده مرگ‌ومیر در تیمار شاهد، داده‌ها با استفاده از فرمول آبت (Abbott, 1925) اصلاح گردید. داده‌های اصلاح‌شده ابتدا با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) مورد تجزیه واریانس (ANOVA) قرار گرفتند. برای برآورد شاخص‌های سمیت (LC_{50} و LC_{90})، تحلیل پرویت با استفاده از نرم‌افزار PoloPlus (نسخه ۲) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای توکی (Tukey) در سطح احتمال ۱٪ و در صورت لزوم در سطح ۵٪ صورت گرفت.

نتایج

سمیت تدخینی اسانس‌ها

نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که اسانس‌های آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)، رازیانه (*Foeniculum vulgare*)، زیره سبز (*Cuminum cyminum*) و زنیان (*Carum copticum*) سمیت تدخینی قابل توجهی بر حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات و لاروهای سن سوم شب‌پره

جدول ۱- نتایج تجزیه پروبیت زیست سنجی های مربوط به سمیت تدخینی اسانس های رازیانه (*Foeniculum vulgare*) Miller، آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)، زنیان (*Carum copticum*) و زیره سبز (*Cuminum cyminum*) روی سوسک چهارنقطه ای حبوبات (*Callosobruchus maculatus*) و لاروهای شب پره مدیترانه ای آرد (*Ephestia kuehniella*) در زمان های ۴۸، ۲۴ و ۷۲ ساعت.

Table 1. Results of the probit analysis of fumigation toxicity of essential oil vapors from *Foeniculum vulgare* Miller (fennel), *Zataria multiflora* (Shirazi thyme), *Carum copticum* (ajwain), and *Cuminum cyminum* (cumin) on *Callosobruchus maculatus* (cowpea beetle) and *Ephestia kuehniella* (Mediterranean flour moth) larvae, assessed at 48, 24, and 72 hours.

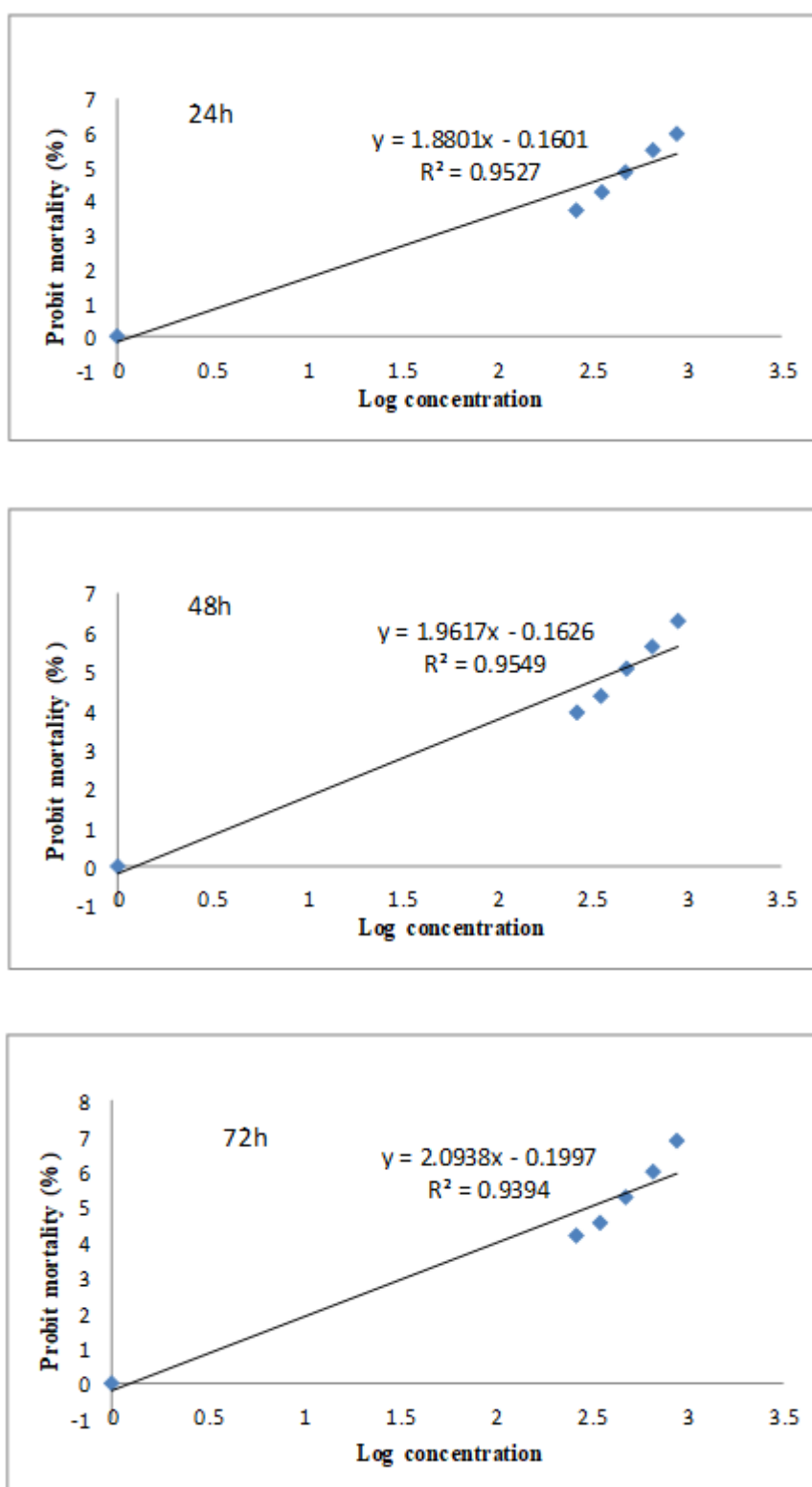
Essential oil	Insect species	LC ₅₀ (μL/L air, 24h) (95% confidence limits)	Slope ± SE	df	χ ²
Fennel (<i>Foeniculum vulgare</i>)	Four-spotted grain beetle	373.7 (331.7–426.0)	2.381 ± 0.212	3	2.4807*
	Mediterranean flour moth	831.9 (740.0–969.0)	2.608 ± 0.298	3	0.3616*
Shirazi thyme (<i>Zataria multiflora</i>)	Four-spotted grain beetle	119.6 (88.9–162.0)	2.053 ± 0.178	3	4.7772*
	Mediterranean flour moth	301.8 (215.2–473.6)	1.364 ± 0.137	3	3.0681*
Cumin (<i>Cuminum cyminum</i>)	Four-spotted grain beetle	225.7 (169.9–323.7)	1.745 ± 0.160	3	3.4354*
	Mediterranean flour moth	501.8 (464.6–544.1)	3.524 ± 0.362	3	0.8179*
Ajwain (<i>Trachyspermum ammi</i>)	Four-spotted grain beetle	254.5 (225.0–289.9)	2.306 ± 0.195	3	0.5795*
	Mediterranean flour moth	527.2 (493.9–564.1)	4.364 ± 0.368	3	0.5260*

Essential oil	Insect species	LC ₅₀ (μL/L air, 48h) (95% confidence limits)	Slope ± SE	df	χ ²
Fennel (<i>Foeniculum vulgare</i>)	Four-spotted grain beetle	288.4 (255.9–325.3)	2.365 ± 0.208	3	1.3919*
	Mediterranean flour moth	701.5 (630.9–795.9)	2.613 ± 0.289	3	1.8410*
Shirazi thyme (<i>Zataria multiflora</i>)	Four-spotted grain beetle	88.0 (53.7–132.3)	2.145 ± 0.184	3	9.5451**
	Mediterranean flour moth	219.2 (149.3–348.0)	1.428 ± 0.136	3	4.4146*
Cumin (<i>Cuminum cyminum</i>)	Four-spotted grain beetle	174.9 (149.3–207.1)	1.781 ± 0.158	3	2.4745*
	Mediterranean flour moth	458.5 (424.6–494.3)	3.653 ± 0.365	3	1.0971*
Ajwain (<i>Trachyspermum ammi</i>)	Four-spotted grain beetle	189.9 (169.4–212.5)	2.616 ± 0.206	3	0.8627*
	Mediterranean flour moth	473.1 (443.3–504.5)	4.467 ± 0.371	3	0.6890*

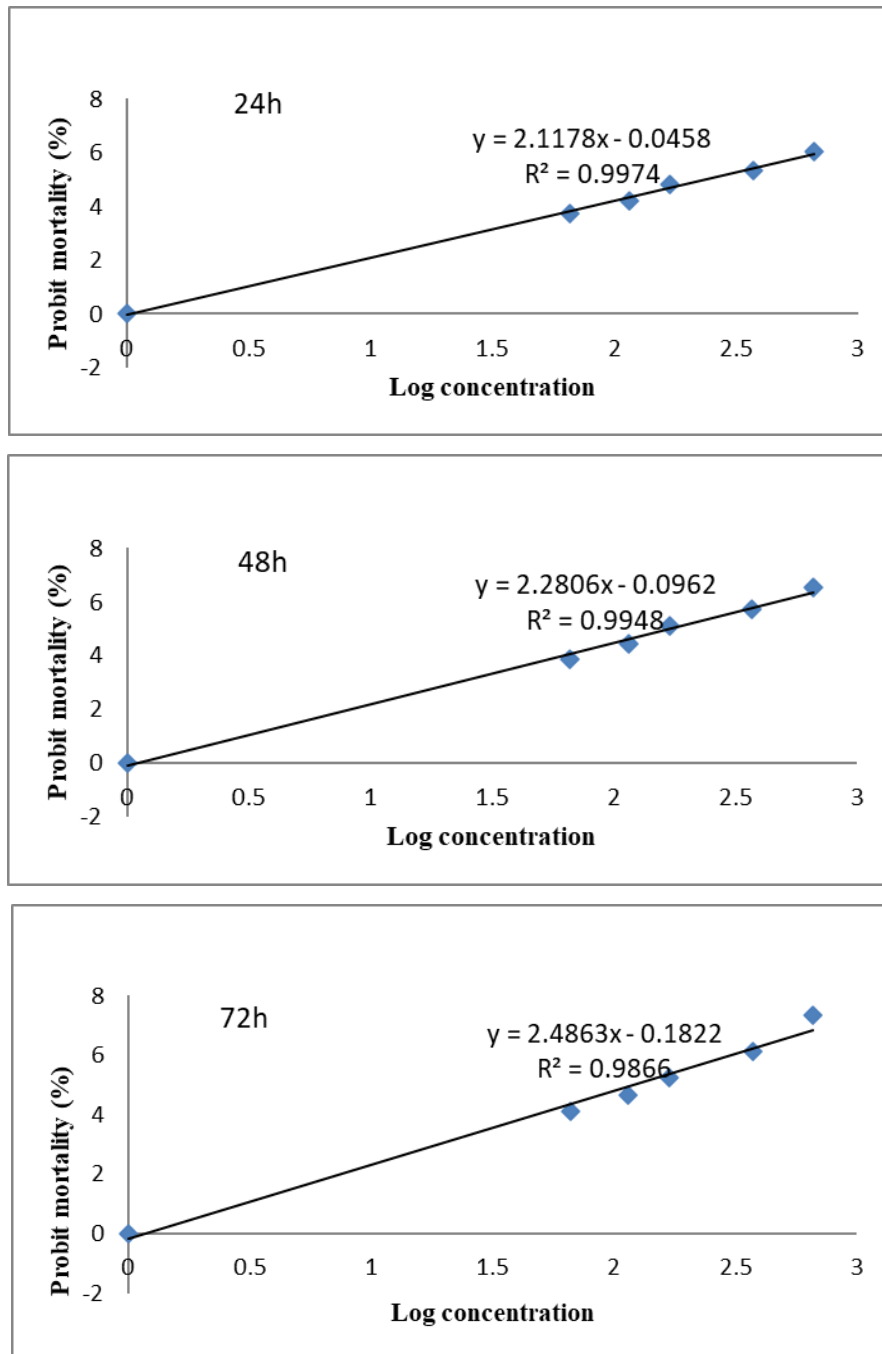
Essential oil	Insect species	LC ₅₀ (μL/L air, 72h) (95% confidence limits)	Slope ± SE	df	χ ²
Fennel (<i>Foeniculum vulgare</i>)	Four-spotted grain beetle	239.5 (212.5–268.5)	2.476 ± 0.213	3	1.1448*
	Mediterranean flour moth	611.8 (552.5–683.7)	2.638 ± 0.286	3	0.9944*
Shirazi thyme (<i>Zataria multiflora</i>)	Four-spotted grain beetle	64.5 (37.5–92.8)	2.189 ± 0.196	3	8.2693**
	Mediterranean flour moth	144.5 (67.4–301.8)	1.574 ± 0.140	3	13.090**
Cumin (<i>Cuminum cyminum</i>)	Four-spotted grain beetle	132.3 (100.7–174.1)	1.839 ± 0.158	3	3.3397*
	Mediterranean flour moth	405.9 (374.8–436.1)	3.852 ± 0.374	3	0.6970*
Ajwain (<i>Trachyspermum ammi</i>)	Four-spotted grain beetle	149.3 (112.7–191.3)	2.914 ± 0.230	3	6.1318*
	Mediterranean flour moth	416.7 (373.3–460.4)	4.967 ± 0.402	3	3.1731*

The calculated χ² value is less than the tabulated χ² value (7.815) with 3 degrees of freedom at the 5% probability level, indicating a good fit of the data and the regression lines.

** The calculated χ² value is greater than the tabulated χ² value (7.815) with 3 degrees of freedom at the 5% probability level, indicating the presence of a heterogeneity factor in the estimation of the confidence limits.

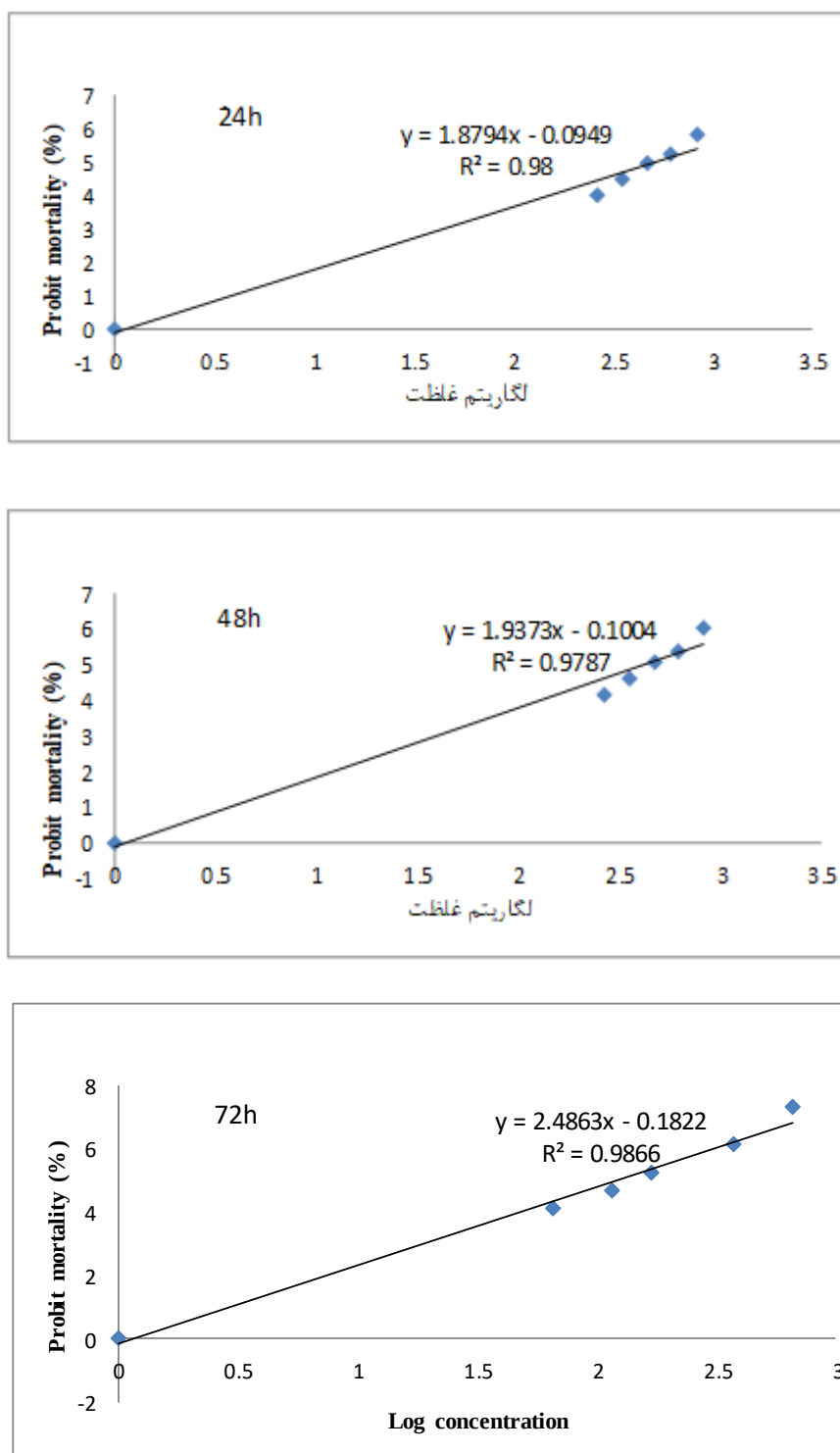


شکل ۱- منحنی غلظت- پاسخ اسانس *Carum copticum* L. روی لاروهای شب پره مدیترانه ای بید آرد در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت.
 Fig. 1. Concentration–response curve of *Carum copticum* L. essential oil on Mediterranean flour moth (*Ephesia kuehniella*) larvae, at 24, 48, and 72 hours.

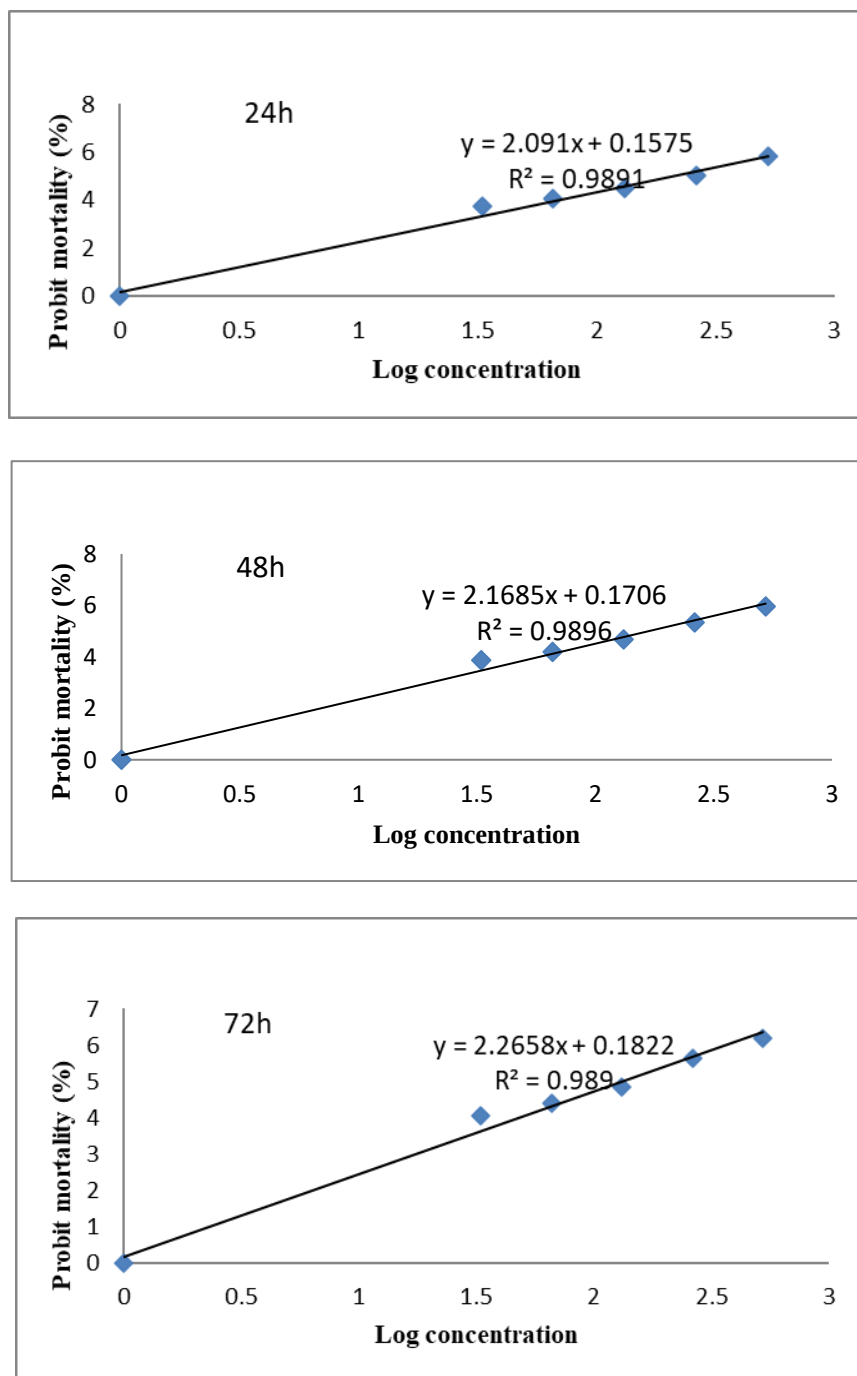


شکل ۲- منحنی غلظت- پاسخ اسانس *Carum copticum L* روی حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای حیوانات در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت.

Fig. 2. Concentration–response curve of *Carum copticum L.* essential oil on cowpea beetle (*Callosobruchus maculatus*), at 24, 48, and 72 hours.

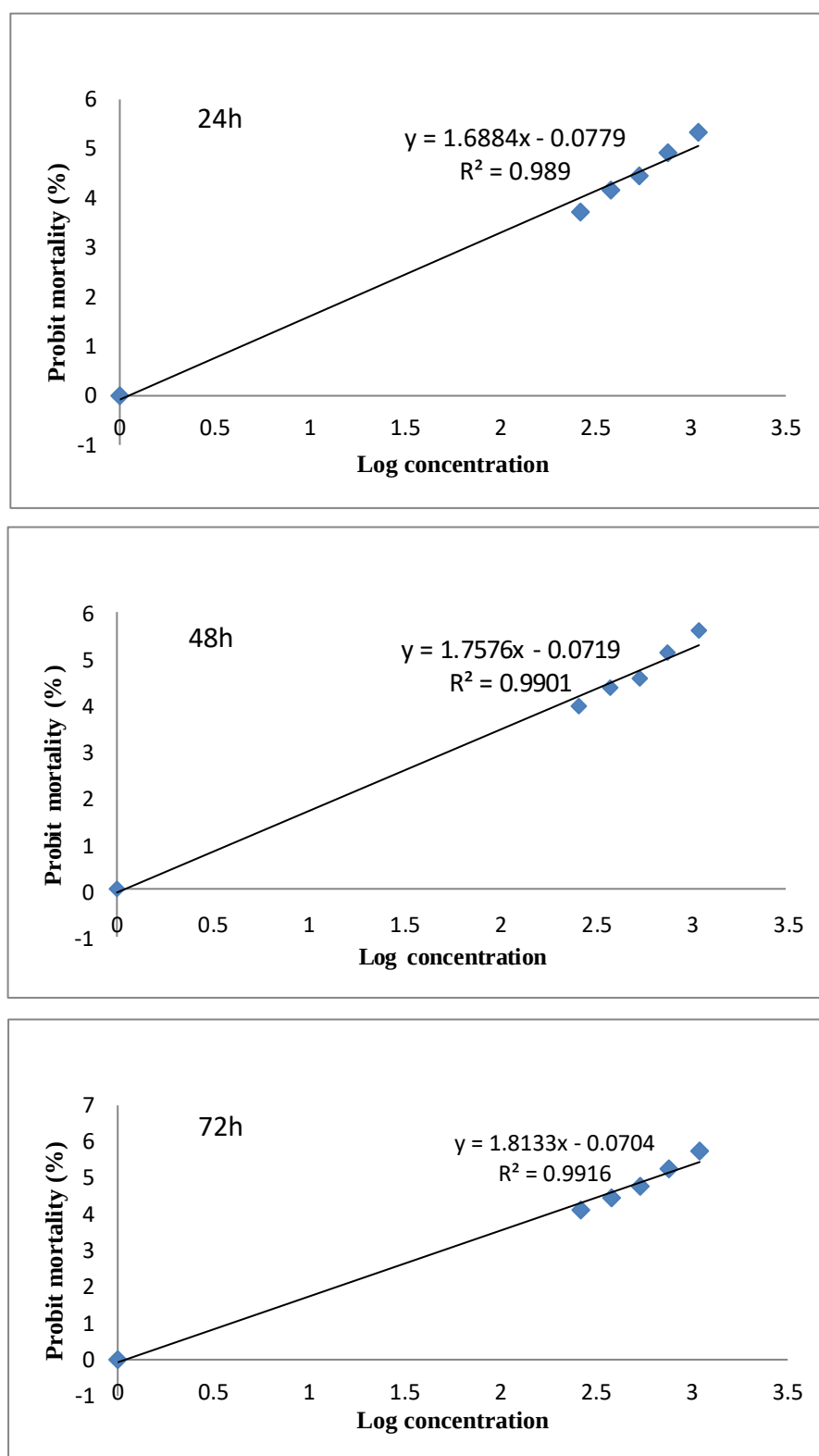


شکل ۳- منحنی غلظت- پاسخ اسانس *Cuminum cyminum* روی لاروهای شب پره مدیترانه‌ای بید آرد در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت.
 Fig. 3. Concentration–response curve of *Cuminum cyminum* essential oil on Mediterranean flour moth (*Ephesia kuehniella*) larvae, at 24, 48, and 72 hours.



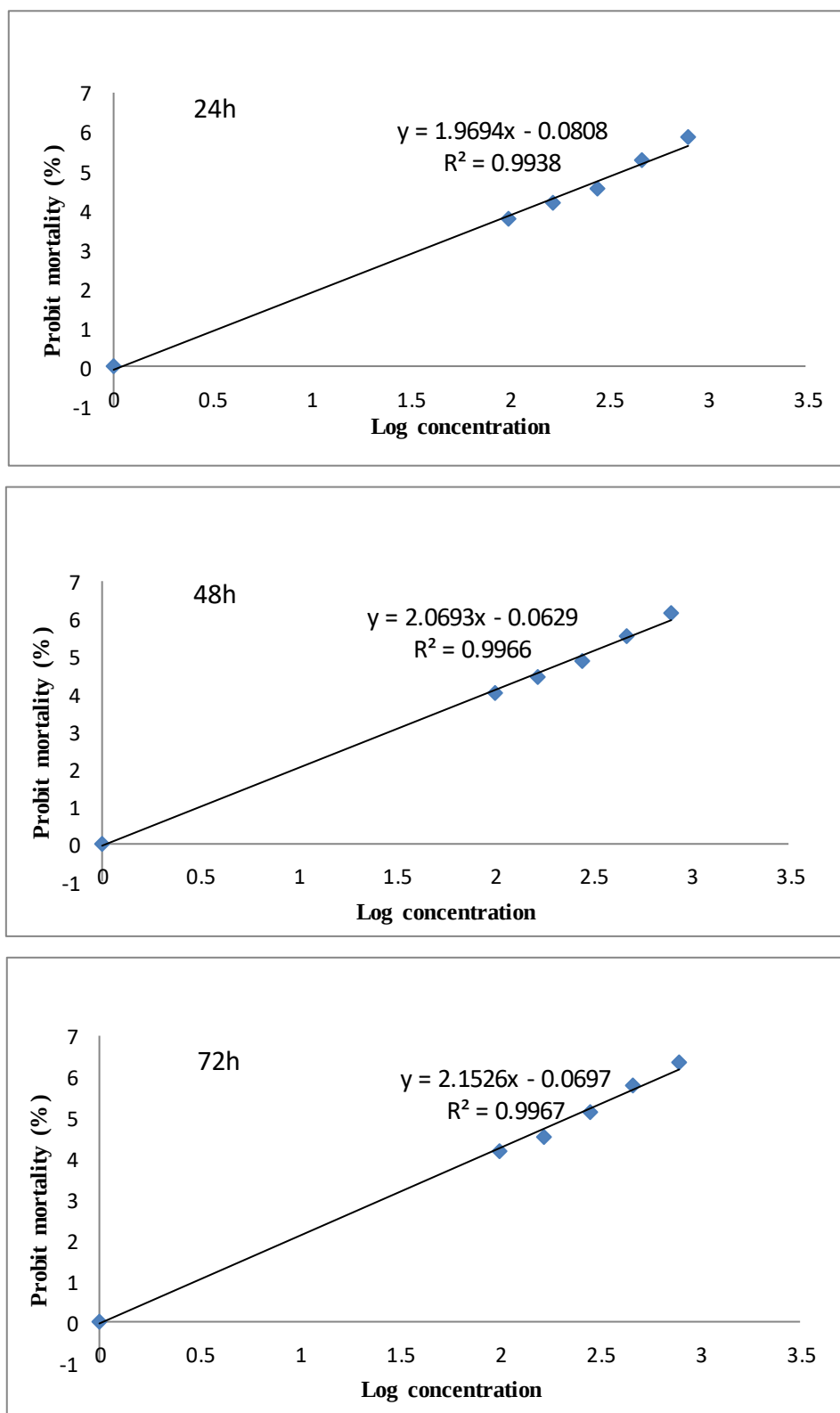
شکل ۴- منحنی غلظت- پاسخ اسانس *Cuminum cyminum* روی حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت.

Fig. 4. Concentration–response curve of *Cuminum cyminum* essential oil on cowpea beetle (*Callosobruchus maculatus*), at 24, 48, and 72 hours.



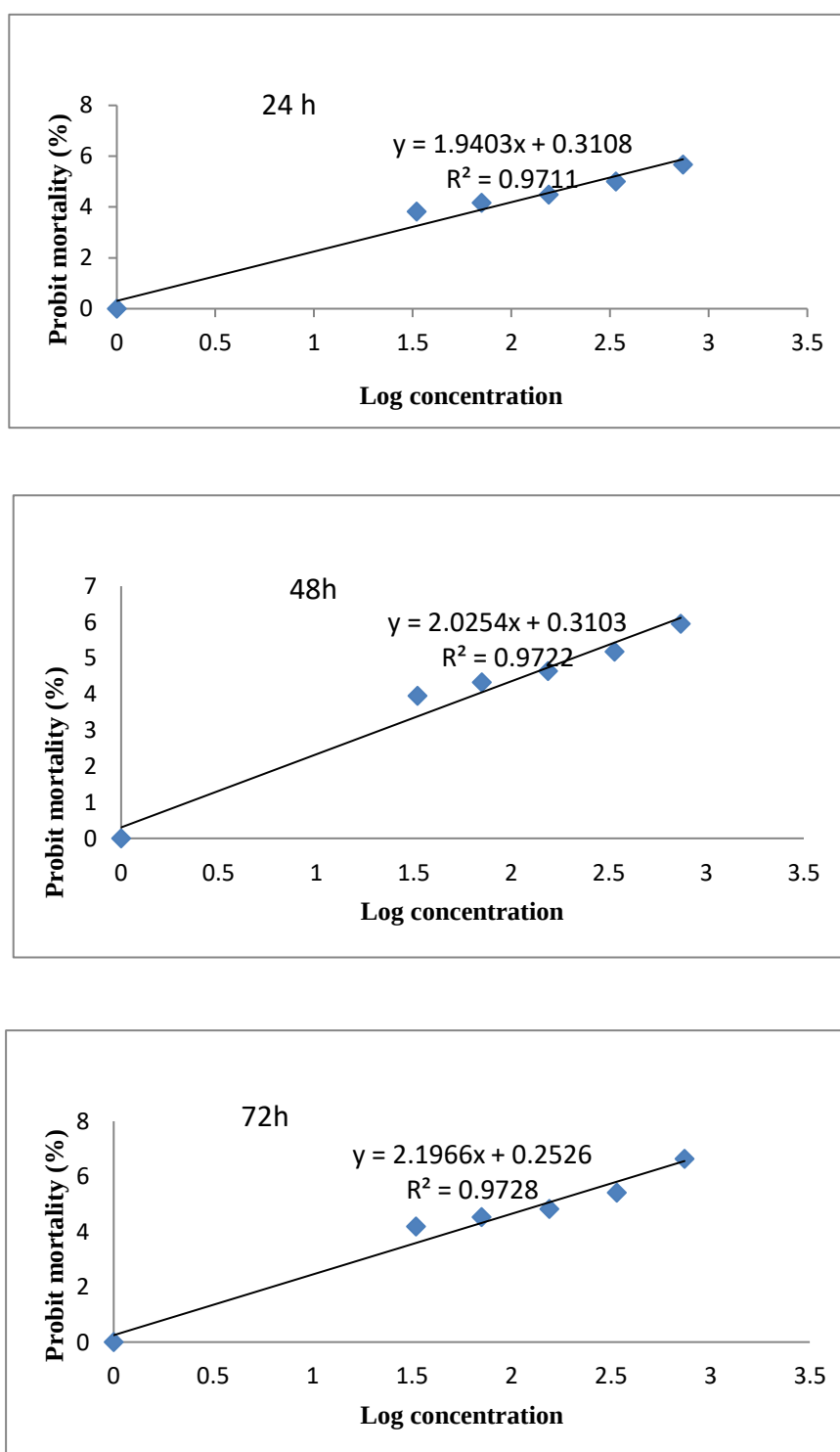
شکل ۵- منحنی غلظت- پاسخ اسانس *Foeniculum vulgare* روی لاروهای شب پره مدیترانه ای بید آرد در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت.

Fig. 5. Concentration-response curve of *Foeniculum vulgare* essential oil on Mediterranean flour moth (*Ephestia kuehniella*) larvae, at 24, 48, and 72 hours.



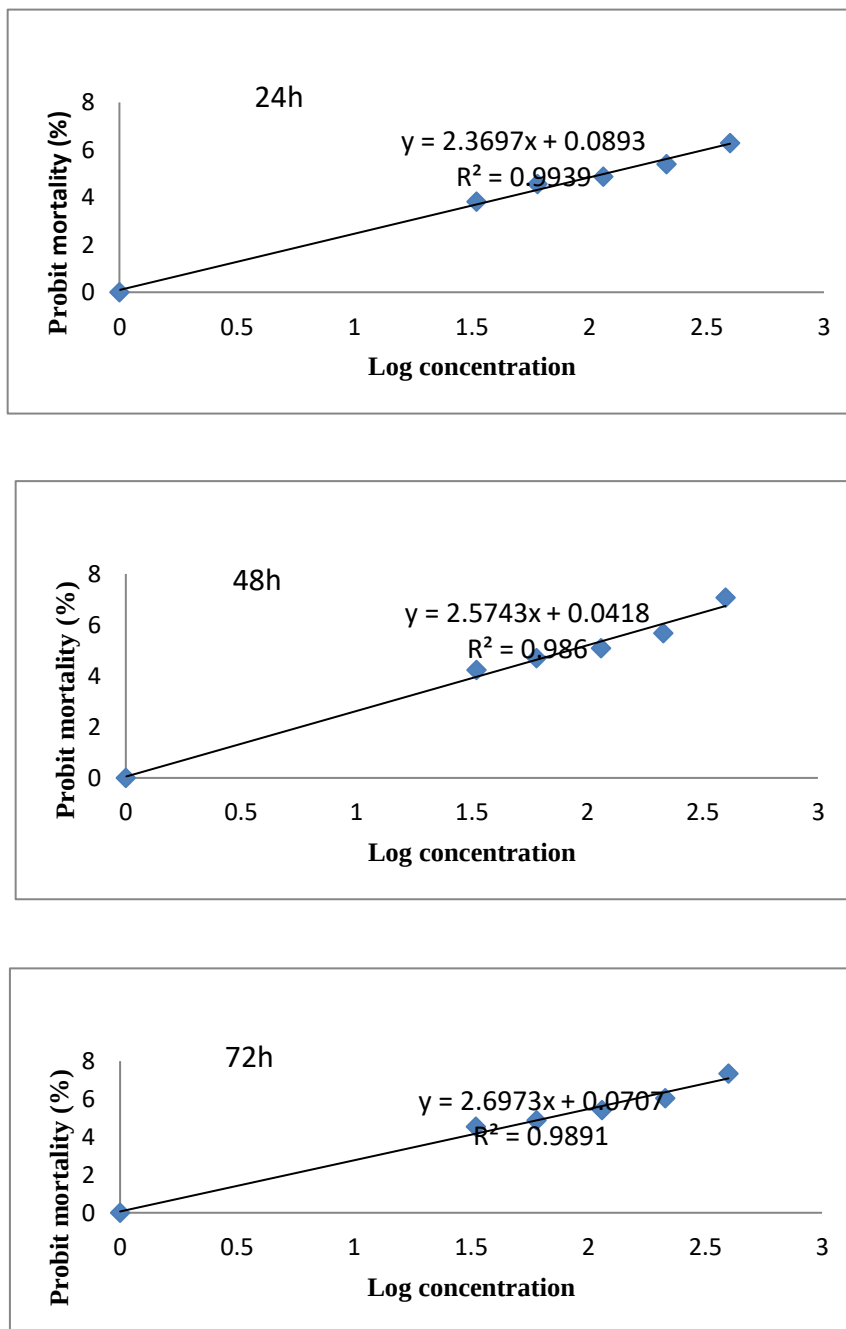
شکل ۶- منحنی غلظت- پاسخ اسانس *Foeniculum vulgare* روی حشرات کامل سوسک چهار نقطه ای حبوبات در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت.

Fig. 6. Concentration–response curve of *Foeniculum vulgare* essential oil on cowpea beetle (*Callosobruchus maculatus*), at 24, 48, and 72 hours.



شکل ۷- منحنی غلظت- پاسخ اسانس *Zataria multiflora* روی لاروهای شب پره مدیترانه ای بید آرد در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت.

Fig. 7. Concentration–response curve of *Zataria multiflora* essential oil on Mediterranean flour moth (*Ephestia kuehniella*) larvae, at 24, 48, and 72 hours.



شکل ۸- منحنی غلظت- پاسخ اسانس *Zataria multiflora* روی حشرات کامل سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت.

Fig. 8. Concentration-response curve of *Zataria multiflora* essential oil on cowpea beetle (*Callosobruchus maculatus*), at 24, 48, and 72 hours.

(*Bunium persicum*) و زنیان (*Cuminum cyminum*)

اثرات تدخینی قابل توجهی بر دو آفت مهم انباری، یعنی سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات (*Callosobruchus maculatus*) و شب‌پره مدیترانه‌ای آرد (*Ephesia*)

بحث

نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که اسانس‌های گیاهی آزمایش شده شامل آویشن شیرازی (*Zataria multiflora*)، رازیانه (*Foeniculum vulgare*)، زیره سبز

مطابقت دارد. با این حال، دوام اثر نسبی این اسانس در زمان‌های طولانی‌تر، مخصوصاً ۷۲ ساعت، نشان‌دهنده پتانسیل آن برای کنترل طولانی‌مدت آفات است که می‌تواند در استراتژی‌های کنترل تلفیقی مؤثر باشد. از نظر دوام و پایداری اثر، گزارش‌های قبلی (Sahaf, 2008) نشان می‌دهد اسانس زنیان نیمه‌عمر طولانی‌تری نسبت به برخی اسانس‌های دیگر دارد. افزون بر این، نتایج نشان می‌دهد که غلظت‌های بالاتر باعث افزایش مرگ‌ومیر می‌شوند، اما باید توجه داشت که استفاده از غلظت‌های بالا ممکن است با محدودیت‌هایی نظیر هزینه و اثرات محیطی همراه باشد. زیره سبز از نظر سمیت در رتبه دوم قرار گرفت و به‌ویژه در شب‌پره مدیترانه‌ای آرد نسبت به زنیان عملکرد بهتری داشت. ترکیب غالب این اسانس، کومین‌آلدئید، دارای خاصیت حشره‌کشی و اختلال در انتقال پیام عصبی است (Chaubey, 2006; Rajendran & Sriranjini, 2008). تفاوت حساسیت بین گونه‌ها را می‌توان به ساختار کوتیکول، نرخ متابولیسم و توانایی سم‌زدایی متفاوت لارو و حشرات کامل نسبت داد. در پژوهش حاضر، زیره سبز توانست در غلظت‌های نسبتاً پایین، مرگ‌ومیر معنی‌داری در هر دو آفت ایجاد کند که با یافته‌های (Sefidkon, 2001) و Chaubey (2006) همخوانی دارد. نتایج مشابه با یافته‌های ناظمی رفیع و همکاران (۱۳۸۱) است که نشان دادند این اسانس دارای اثر کشندگی قابل توجهی علیه آفات انباری است (Nazemi, 2002). رازیانه در این تحقیق کمترین اثر تدخینی را داشت. ترکیب اصلی این اسانس، آنتول، به دلیل فرارپذیری پایین‌تر و اثرات فیزیولوژیک ملایم‌تر، معمولاً سمیت کمتری نسبت به ترکیبات فنلی یا آلدئیدی نشان می‌دهد (Gupta et al., 2004). با این حال، اثر کشندگی رازیانه در غلظت‌های بالاتر و در زمان‌های طولانی‌تر افزایش یافت که نشان‌دهنده پتانسیل استفاده از آن در ترکیب با سایر اسانس‌ها یا در استراتژی‌های چندجزئی کنترل آفات است. نتایج ما با مشاهدات Yaghout Nejad et al. (2013) که اثرات محدودتر رازیانه بر آفات انباری را گزارش کردند، مطابقت دارد.

kuhniella داشتند. میزان مرگ‌ومیر و مقادیر LC_{50} متفاوت این اسانس‌ها بیانگر تفاوت قابل توجه در ترکیب شیمیایی و قدرت حشره‌کشی آن‌ها است که تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله نوع گیاه، شرایط استخراج و غلظت ترکیبات فعال، ترکیب‌های شیمیایی متفاوت هر اسانس، تفاوت در میزان فرارپذیری و سازوکار اثرگذاری آن‌ها قرار دارد. بر اساس این نتایج اسانس آویشن شیرازی اثرات کشندگی و مهاری قابل توجهی بر سوسک چهار نقطه‌ای و شب‌پره آرد در تمام زمان‌های آزمون داشتند. این اسانس دارای ترکیبات فنلی مانند تیمول و کارواکرول است که نقش اساسی در ایجاد اثرات سمی دارند. این ترکیبات با تداخل در عملکرد سیستم عصبی و تنفسی آفات، منجر به مرگ سریع و کاهش جمعیت آفات می‌شوند، که این مهم در کنترل آفات انباری اهمیت بالایی دارد. این ترکیبات با ایجاد اختلال در عملکرد آنزیم‌های مهم حشره، مانند استیل کولین استراز، موجب فلج و مرگ آفات می‌شوند (Ebadollahi et al., 2012; Isman & Grieneisen, 2014). شده‌اند. همخوانی نتایج حاضر با یافته‌های (Rasooli & Rezaei, 2002) که سمیت بالای اسانس *Zataria multiflora* را گزارش کرده‌اند، بیانگر پایداری این اثر در شرایط مختلف است. در خصوص اثر اسانس زنیان، اگرچه اثرات کشندگی قابل ملاحظه‌ای داشت، اما نسبت به آویشن شیرازی و زیره سبز مقادیر LC_{50} بالاتری نشان داد که با نتایج صحاف و همکاران (۱۳۸۷) مطابقت دارد؛ آن‌ها گزارش کرده‌اند که زنیان در مقایسه با اسانس‌هایی همچون هندهید یا آویشن دارای اثر ضعیف‌تری است (Sahaf, 2008). این موضوع به تفاوت در ترکیب شیمیایی و میزان ترکیبات فنلی و فعال برمی‌گردد، چرا که ترکیب اصلی زنیان، تیمول، دارای خاصیت حشره‌کشی شناخته‌شده است، اما درصد آن در اسانس این گیاه معمولاً کمتر از آویشن است و حضور سایر مونوترپن‌ها با فعالیت ضعیف‌تر می‌تواند کارایی کلی اسانس را کاهش دهد (Chaubey, 2007). در این پژوهش، زنیان در زمان‌های طولانی‌تر (۷۲ ساعت) عملکرد بهتری نسبت به زمان‌های کوتاه داشت که با گزارش Yaghout Nejad et al. (2013) درباره دوام بیشتر این اسانس در شرایط تدخینی

از نظر ایمنی و محیط‌زیستی، اسانس‌های گیاهی نسبت به سموم شیمیایی سنتزی مزایایی چون کم‌خطر بودن برای انسان و جانوران غیرهدف، قابلیت تجزیه زیستی و کاهش خطر مقاومت در آفات دارند (Isman, 2006)، که آن‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای توسعه کشاورزی پایدار و ایمن تبدیل می‌کند. یافته‌های حاضر نه تنها کارایی بالقوه اسانس‌های گیاهی، به ویژه آویشن شیرازی و زیره سبز، در کنترل آفات انباری را تأیید می‌کند، بلکه بر لزوم بررسی دقیق‌تر ترکیبات شیمیایی، سازوکار اثر و اثرات هم‌افزایی احتمالی بین اسانس‌ها تأکید دارد. استفاده از این ترکیبات به عنوان جایگزینی ایمن‌تر و سازگار با محیط زیست برای سموم سنتتیک مطرح است، هرچند برای کاربرد عملی، بررسی اثرات در مقیاس انبار و پایداری در شرایط واقعی ضروری است. تحقیقات بیشتری جهت بهینه‌سازی فرمولاسیون‌ها، بررسی اثرات ترکیبی اسانس‌ها و ارزیابی عملکرد آن‌ها در شرایط واقعی انبار لازم است و مطالعات تکمیلی درباره تأثیرات جانبی بر غیرهدف‌ها و ایمنی مصرف‌کنندگان نیز ضروری است تا استفاده گسترده‌تر از این محصولات زیست‌محیطی تضمین شود. بر اساس نتایج این پژوهش و مقایسه میان اسانس‌های مورد بررسی، می‌توان رتبه‌بندی سمیت تدخینی آن‌ها را به ترتیب آویشن شیرازی < زیره سبز < زنیان < رازیانه بیان کرد. این الگو نشان می‌دهد که اسانس آویشن شیرازی، به دلیل برخورداری از ترکیبات فنلی مانند تیمول و کارواکرول و نیز داشتن مقادیر LC_{50} پایین‌تر در همه زمان‌ها، بالاترین پتانسیل را برای کنترل آفات انباری دارد. اسانس زیره سبز نیز با ترکیب غالب کومین‌آلدئید و سمیت قابل توجه، می‌تواند به عنوان گزینه دوم مطرح شود. بنابراین، می‌توان اسانس آویشن شیرازی را به عنوان گزینه اول و اسانس زیره سبز را به عنوان گزینه مکمل پیشنهاد داد. استفاده از این اسانس‌ها، به ویژه در قالب فرمولاسیون‌های بهینه یا در ترکیب با یکدیگر، می‌تواند به توسعه راهکارهای ایمن‌تر، پایدارتر و کارآمدتر برای کنترل آفات انباری در چارچوب مدیریت تلفیقی آفات (IPM) کمک کند.

مطالعه همچنین نشان داد که حساسیت سوسک چهار نقطه‌ای حبوبات نسبت به لاروهای شب‌پره آرد بیشتر است، که این این یافته با نتایج Xu et al. (2007) و Paukku & Kotiahio (2005) مطابقت دارد و می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ساختاری و فیزیولوژیکی و تنفسی بین مراحل رشد و گونه‌ها، میزان نفوذ اسانس‌ها از طریق کوتیکول و تفاوت در فعالیت آنزیم‌های سم‌زدایی باشد. به عنوان مثال، ضخامت و ترکیب پوشش خارجی لاروهای شب‌پره می‌تواند نفوذ ترکیبات اسانس را کاهش دهد و در نتیجه مقاومت نسبی را موجب شود. نتایج حاضر همسو با یافته‌های فرآشینی و همکاران (۱۳۹۴) است که در مطالعه‌ای مشابه با مقایسه سمیت اسانس‌های اکالیپتوس، گونه‌های با سمیت بالاتر را به عنوان گزینه‌های برتر معرفی کردند (Farashiani et al., 2015).

الگوی افزایشی مرگ‌ومیر با افزایش غلظت اسانس‌ها در این پژوهش با مدل‌های دوز-پاسخ گزارش شده توسط Isman (2000)، Mareggiani et al. و Tomova et al. (2005) هم‌خوانی داشت و نشان می‌دهد که مکانیسم سمیت اسانس‌ها، صرف‌نظر از منبع گیاهی، عمدتاً بر پایه تأثیر بر سیستم عصبی مرکزی و اختلال در عملکرد گیرنده‌های اکتوپامین و گابا در حشرات است (Enan, 2001; Tholl, 2006). استفاده از غلظت‌های بهینه برای هر گونه آفت، جهت دستیابی به کنترل مؤثر ضروری است و تفاوت در مقادیر LC_{50} نشان می‌دهد که انتخاب اسانس مناسب باید بر اساس هدف و نوع آفت صورت گیرد. یافته‌های این مطالعه نیز نشان داد که استفاده از اسانس‌های با دوام بالا می‌تواند در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات (IPM) کمک‌کننده باشد و نیاز به تکرار مکرر کاربرد مواد شیمیایی را کاهش دهد. با وجود مزایای متعدد اسانس‌های گیاهی، محدودیت‌هایی همچون ناپایداری نسبی در برابر شرایط محیطی و سرعت بالای تبخیر ممکن است اثربخشی آن‌ها را در محیط‌های انباری کاهش دهد. همچنین، نوسانات ترکیب شیمیایی به دلیل عوامل ژنتیکی، شرایط کشت و روش‌های استخراج، چالش‌هایی برای تجاری‌سازی این مواد ایجاد می‌کند.

References

- Abbott, W.S. 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18: 265–267.
- Bagherizenoz, A. 1996. Pests of stored products & control methods the first volume, food & industrial products harmful beetles. Second edition. Sepehr Publication Center, Tehran, 309 pp.
- Bughio, F.M. & Wilkins, R.M. 2004. Influence of malathion resistance status on survival and growth of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), when fed on flour from insect-resistant and susceptible grain rice cultivars. *Journal of Stored Products Research*, 40: 65–75.
- Chaubey, M.K. 2006. Toxicity of essential oils from *Cuminum cyminum* (Umbelliferae), *Piper nigrum* (Piperaceae) and *Foeniculum vulgare* (Umbelliferae) against stored-product beetle *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Agricultural and Food Chemistry*, 34: 1719–1727.
- Chaubey, M.K. 2007. Insecticidal activity of *Trachyspermum ammi* (Umbelliferae), *Anethum graveolens* (Umbelliferae) and *Nigella sativa* (Ranunculaceae) essential oils against stored-product beetle *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *African Journal of Agricultural Research*, 2(11): 596–600.
- Chaubey, M.K. 2008. Fumigant toxicity of essential oils from some common spices against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Oleo Science*, 57(3): 171–179.
- Collins, P.J., Daglish, G.J., Pavic, H. & Kopittke, R.A. 2005. Response of mixed age cultures of phosphine-resistant and susceptible strains of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*, to phosphine at a range of concentrations and exposure periods. *Journal of Stored Products Research*, 41: 373–385.
- Ebadollahi, A., Nouri-Ganbalani, G., Hoseini, S.A. & Sadeghi, G.R. 2012. Insecticidal activity of essential oils of five aromatic plants against *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) under laboratory conditions. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 15(2): 256–262.
- Enan, E. 2001. Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Compounds Biochemistry Physiology Toxicology and Pharmacology*, 130: 325–337.
- Gupta, R., Rath, C.C., Dash, S.K. & Mishra, R.K. 2004. In vitro antibacterial potential assessment of carrot (*Daucus carota*) and celery (*Apium graveolens*) seed essential oils against twenty one bacteria. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 7: 79–86.
- Farashiani, M.E., Awang, R.M., Assareh, M.H., Omar, D. & Rahmani, M. 2015. Fumigant toxicity of 53 Iranian Eucalyptus essential oils against stored product insect, *Sitophilus oryzae* L. *Iranian Journal of Forests and Rangelands Protection Research*, 13(2): 132–139.
- Isman, M.B. & Grieneisen, M.L. 2014. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. *Trends in Plant Sciences*, 19: 140–145.
- Mareggiani, G., Serafina, R. & Margarita, R. 2008. Efficacy against *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae), an agricultural pest. *Revista Latino-americana de Química*, 36: 16–21.
- Mikaili, P., Mojaverrostami, S., Moloudizargari, M. & Aghajanshakeri, S. 2013. Pharmacological and therapeutic effects of *Mentha Longifolia* L. and its main constituent, menthol. *Ancient Science of Life*, 33(2): 131–138.
- Nazemi Rafi, J., Moharramipour, Saeed, Maroty, M. & Talebi, A. 2002. Insecticidal properties of ethanolic extracts of *Nerium oleander*, *Lavandula officinalis* and methanolic extract of *Ferula assafoetida* against the flour moth *Ephestia kuehniella*. Abstracts of the 15th Iranian Phytosanitary Congress, 140 pages.
- Paukku, S. & Kotiaho, J.S. 2005. Cost of reproduction in *Callosobruchus maculatus*: effects of mating on male longevity and the effect of male mating status on female longevity. *Journal of Insect Physiology*, 51: 1220–1226.
- Rasooli, I. & Rezaei, M.B. 2002. Bioactivity and chemical properties of essential oils from *Zataria multiflora* Boiss and *Mentha longifolia* (L.) Huds. *Journal of Essential Oil Research*, 14: 141–146.
- Omid Beigi, R. 1995. Approaches to the Production and Processing of Medicinal Plants, Volume 1, First Edition, Veterans Foundation Press, 283 page.
- Rajendran, S. & Sriranjini, V. 2008. Plant products as fumigants for stored-product insect control. *Journal of Stored Products Research*, 44: 126–135.
- Sahaf, B.Z. & Moharramipour, S. 2008. Comparative study of the essential oils of *Carum copticum* and *Vitex pseudonegundo* on the feeding behavior of the mealworm *Tribolium castaneum*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 24(4): 385–395.
- Sefidkon, F. 2001. Essential oil composition of *Anethum graveolens* L. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plant*, 8: 45–62.
- Sefidkan, F. 2001. Research on Medicinal and Aromatic Plants of Iran (10). Forest and Rangeland Research Institute, 142 pages.
- Steidle, J.L.M. & Scholler, M. 2002. Fecundity and ability of the parasitoid *Lariophagus distinguendus* (Hymenoptera: Pteromalidae) to find larvae of the granary weevil *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae) in bulk grain. *Journal of Stored Products Research*, 38: 43–53.

- Tomova, B.S., Waterhouse, J.S. & Doberski, J. 2005. The effect of fractionated Tagetes oil volatiles on aphid reproduction. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 115(1): 153–159.
- Tholl, D. 2006. Terpene synthases and the regulation, diversity and biological roles of terpene metabolism. *Current Opinion in Plant Biology*, 9: 1–8.
- Xu, J., Wang, Q. & He, X.Z. 2007. Influence of larval density on biological fitness of *Ephesia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *New Zealand Plant Protection*, 60: 199–202.
- Yaghout Nejad, F., Radjabi, R. & Palvaneh, N. 2013. A review on evaluation of plant essential oils against pests in Iran. *Persian Gulf Crop Protection*, 2: 74–75.
- Zargari, A. 1369. *Medicinal Plants*, Volume 4, Tehran University Press, 924 pages.

Fumigant Effects of Essential Oils of *Foeniculum vulgare*, *Zataria multiflora*, *Carum copticum*, and *Cuminum cyminum* on Two Major Stored-Product Pest Species, *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Ephestia kuehniella* Zeller

Ali Rahmani¹, Mostafa Maroofpour²

1. Graduated MSc Student, Department of Plant Protection, Mehrgan Non-Governmental Higher Education Institute, Mahalat, Iran.

2. Associate professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Corresponding author: Mostafa Maroofpour, email: M.Maroufpoor@uok.ac.ir

Received: Aug., 09, 2025

12(1) 113–130

Accepted: Oct., 18, 2025

Abstract

Excessive reliance on chemical pesticides in stored-product pest management over recent decades has raised serious concerns regarding the development of resistance in insect populations, contamination of food products and the environment, and potential risks to human health and non-target organisms. These challenges underscore the necessity of identifying and applying safer, more sustainable, and environmentally compatible alternatives. In this context, plant essential oils, rich in diverse bioactive compounds, have attracted considerable attention as natural insecticides due to their strong toxic effects, rapid environmental degradation, low mammalian toxicity, and compatibility with integrated pest management (IPM) programs. In the present study, the fumigant toxicity of essential oils from four plant species—fennel (*Foeniculum vulgare*), Shirazi thyme (*Zataria multiflora*), ajwain (*Carum copticum*), and cumin (*Cuminum cyminum*)—was evaluated against adults of the cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus*) and larvae of the Mediterranean flour moth (*Ephestia kuehniella*) under laboratory conditions. Experiments were conducted in a completely randomized design with four replications, and data were analyzed using probit analysis to estimate LC_{50} values. The results showed that all tested essential oils had significant fumigant effects against both pest species; however, toxicity levels varied among oils and insect species. Shirazi thyme essential oil exhibited the highest insecticidal activity, with LC_{50} values of 5.64 and 144.5 $\mu\text{L/L}$ air for *C. maculatus* adults and *E. kuehniella* larvae, respectively. This was followed by cumin essential oil, with LC_{50} values of 132.3 (adults) and 405.9 (larvae), ajwain essential oil with LC_{50} values of 149.3 and 416.7, and fennel essential oil with LC_{50} values of 239.5 and 611.8 $\mu\text{L/L}$ air, respectively. Overall, *C. maculatus* adults were more susceptible to the tested essential oils than *E. kuehniella* larvae. These findings indicate the high potential of plant essential oils, particularly Shirazi thyme and cumin, as effective botanical fumigants for stored-product pest control. Their application could reduce dependence on synthetic pesticides, minimize chemical residues in stored commodities, improve food quality and safety, and contribute to environmentally friendly and sustainable pest management. Furthermore, the consistency of these results with previous research highlights the importance of further studies to optimize formulations, investigate synergistic effects, and evaluate efficacy under real storage conditions.

Keywords: Fumigant toxicity, Plant essential oils, *Ephestia kuhniella*, *Callosobruchus maculatus*