بررسی اثرات ضدتغذیه‌ای و دورکنندگی اسانس نانو کپسوله شده گیاه درمنه *Artemisia sieberi* روی سوسک برگخوار نارون *Xanthogaleruca luteolla*

مریم وهابی مشهور[۱]، سعید محرمی‌پور[۲*] و مریم نگهبان[۳]

۱- کارشناس ارشد گروه حشره‌شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲*- نویسنده مسوول: استاد گروه حشره‌شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس (moharami@modares.ac.ir)

۳- استادیار، شرکت نانو فناوران دایا، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۳۰

چکیده

امروزه استفاده از فناوری نانو کپسول در آفت‌کش‌ها موجب افزایش کارایی و رهایش کنترل شده این مواد گردیده است. در این تحقیق کارایی اسانس نانو کپسوله شده گیاه درمنه *Artemisia sieberi* Besser بر شاخص‌های تغذیه‌ای و دورکنندگی سوسک برگخوار نارون *Xanthogaleruca luteola* (Müller) در مقایسه با اسانس غیرنانو مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارها در شرایط کنترل شده در دمای ۲ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ٦٥ درصد و دوره نوری ١٦ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که نانو کپسول اسانس درمنه به‌طور معنی‌داری شاخص‌های تغذیه را در مقایسه با اسانس غیرنانو کاهش داده ، به‌طوری که فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه در غلظت ٤٠٠٠ پی‌پی‌ام، در مرحله لاروی، شاخص کارایی تبدیل غذای خورده شده و شاخص کارایی تبدیل غذای هضم شده را در حدود دو برابر نسبت به اسانس غیرنانو کاهش داد. درصد دورکنندگی اسانس غیرنانو در غلظت ۸۰۰۰ پی‌پی‌ام در مدت ٦ ساعت به ۱۰۰ درصد رسید. این درحالی است که درصد دورکنندگی اسانس نانوکپسوله به‌تدریج با گذشت زمان افزایش یافت و پس از ٢٤ ساعت به حداکثر ۱۰۰ درصد رسید و تا ۷۲ ساعت هم‌چنان تداوم یافت. بنابراین با بررسی‌های بیش‌تر می‌توان نانوکپسول اسانس گیاه درمنه را به‌عنوان یک آفت‌کش مؤثر برای کنترل سوسک برگخوار نارون درنظر گرفت.

کلید واژه‌ها: اسانس، درمنه، سوسک برگخوار نارون، دورکنندگی، شاخص‌های غذایی، نانوکپسول

مقدمه

سوسک برگخوار نارون *Xanthogaleruca luteola* (Müller) (Coleoptera: Chrysomelidae) یکی از آفات مهم درختان نارون است که در مراحل لاروی و بالغ از برگ‌های گیاه میزبان تغذیه می‌کند و باعث بدشکلی تاج درخت و اختلالات فیزیولوژیکی ازجمله کاهش میزان فتوسنتز می‌شود. درختان آلوده ضعیف شده و به آفات دیگر، عوامل بیماری‌زا و تنش‌های محیطی حساس می شوند (Arbab et al., 2001; Huerta et al., 2010).

در ایران مانند بسیاری از کشورهای جهان مصرف آفت-کش‌ها به‌عنوان یکی از روش‌های اصلی کنترل آفات مطرح است و علی‌رغم مزایای کاربرد این نهاده، استفاده بی‌رویه از آن می‌تواند منشأ مشکلات عدیده زیست‌محیطی شود (Heidari, 2013). در راستای جایگزینی سموم شیمیایی، اسانس‌های گیاهی استخراج شده از گیاهان معطر قابل استفاده هستند (Isman, 2000). در کشور ما گونه‌های مختلفی از گیاهان اسانس‌دار به‌صورت بومی وجود دارند که خاصیت حشره‌کشی بعضی از این گیاهان گزارش شده

است. گیاه درمنه ازجمله گیاهانی می‌باشد که سمیت قابل-توجهی روی آفات ایجاد می‌نماید (Negahban et al., 2007; Negahban et al., 2004, 2006a,b).

علی‌رغم مطالعات متعدد انجام شده در زمینه تأثیر فرمولاسیون اسانس‌های گیاهی روی آفات زراعی و انباری، تاکنون مطالعات بسیار کمی درباره اثر اسانس و عصاره‌های گیاهی روی سوسک برگخوار نارون انجام شده است. اثرات حشره‌کشی گندواش، *Artemisia annua* L. ، آقطی، *Sambucus ebulus* L.، آویشن، *Thymus vulgaris* L. و اسطوخودوس *Lavandula angustifolia* L. روی سوسک برگخوار نارون بررسی شده است (Khosravi and Jalali Sendi, 2013; Jalali Sendi et al., 2005) . در مطالعات متعدد نشان داده است که بهترین شکل کاربرد اسانس‌ها با ترکیبات شیمیایی مختلف استفاده از میکروکپسول است (Moretti et al., 1998). این روش با محصور کردن اسانس میزان از بین رفتن ماده مؤثره اسانس را کاهش می‌دهد و به‌عنوان پوشش مواد مؤثره عمل کرده و سبب حفاظت آن در محیط می‌شود. هم‌چنین امکان رهاسازی کنترل شده و مناسب را فراهم می‌کند. فعالیت این فرمولاسیون به فرم تدریجی صورت می‌پذیرد که این خود باعث حرکت کند و در نتیجه توقف تغذیه و در نهایت به مرگ حشره منجر می-شود. بیش‌ترین اثر سمیت به‌وسیله چسبندگی ذرات ریز آفت کش به ساختار خاص مویی در تعدادی از حشرات به ثبت رسیده است (Moretti et al., 2002).

در راستای بررسی تأثیر فرمولاسیون اسانس‌های گیاهی روی آفات، خواص دورکنندگی و ضدتغذیه‌ای نانوکپسول اسانس گیاه درمنه روی بید کلم *Plutella xylostella* (L.) بررسی شده است (Negahban et al., 2013a, b). هم‌چنین Lai et al. (2006) پژوهش‌هایی روی اثر نانوکپسول و امولسیون اسانس لیپیدی جامد *Artemisia arborescens* L. روی سفید بالک پنبه *Bemesia tabaci* (Gennadius) انجام داده‌اند. در بررسی Moretti et al. (2002) اثر میکروکپسول و امولسیون اسانس رزماری *Rosmarinus officinalis* L. و آویشن *Thymus herba-barona* Loisel روی ابریشم باف ناجور *Lymantria dispar* L. مطالعه شد. ولی تاکنون پژوهشی درباره اثرات فرمولاسیون نانوکپسول اسانس‌های گیاهی، ازجمله اسانس درمنه *Artemisia sieberi* Besser روی سوسک برگخوار نارون انجام نشده است. با توجه به اهمیت سوسک برگخوار نارون در فضای سبز شهری و سم پاشی‌هایی که با سموم شیمیایی جهت کنترل این آفت انجام می‌شود، توسعه راهکارهایی جدید در زمینه کنترل این آفت با آفت‌کش‌های گیاه پایه بسیار مفید به‌نظر می‌رسد. از این‌رو انجام پژوهشی در زمینه کارآیی فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاه درمنه روی مراحل مختلف زیستی آفت ضروری می‌باشد. در این تحقیق کارایی نانوکپسول اسانس گیاه درمنه بر شاخص‌های تغذیه و دورکنندگی آن روی سوسک برگخوار نارون در مقایسه با اسانس غیرنانو بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه اسانس

در اوایل فصل پاییز ۱۳۹۲، در زمان گلدهی، گیاه درمنه *A. sieberi*، از اطراف دریاچه قم جمع‌آوری گردید. اندام‌های هوایی آن که شامل جوانه، برگ و گل بود در یک محل کاملاً تاریک در دمای اتاق خشک شده و داخل پاکت‌های کاغذی در فریزر و در دمای ۲۴- درجه سلسیوس نگه‌داری شد. جهت تهیه اسانس، شاخه‌های چوبی خشک شده گیاه درمنه حذف گردیده و باقی‌مانده به‌کمک دستگاه خردکن به‌صورت پودر در آورده شد. در هر نوبت اسانس‌گیری ۵۰ گرم پودر گیاهی همراه با ۶۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر با استفاده از دستگاه اسانس‌گیر شیشه‌ای[1] در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به روش تقطیر با آب اسانس-گیری شد. زمان اسانس‌گیری برای هر نمونه ۴ ساعت بود. اسانس‌های جمع‌آوری شده با کمک سولفات سدیم آب-گیری شده و تا زمان استفاده در ظروف شیشه‌ای به حجم ۲

1- Cleavenger

میلی‌لیتر با پوشش آلومینیومی در داخل یخچال در شرایط دمای ۴ درجه سلسیوس نگه‌داری شد (Negahban et al., 2006a, 2007).

تهیه فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاهی

تهیه فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاهی با روش Negahban et al. (2013a) صورت گرفت. برای تهیه فرمولاسیون اسانس از روش پلیمریزاسیون هم‌زمان به روش امولسیونی روغن در آب (O/W) استفاده شد. اسانس گیاهی موردنظر به‌عنوان هسته نانوکپسول، فرمالدیید ۳۷٪ و اوره به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده پیش‌پلیمر و دیواره نانوکپسول انتخاب شدند. در دمای ۲۵–۲۰ درجه سلسیوس اوره و فرمالدیید ۳۷ درصد به نسبت وزنی مشخص به‌همراه ۳۰۰ میلی‌لیتر آب یونیزه شده به‌منظور تهیه پیش پلیمر به راکتور مجهز به همزن مکانیکی منتقل گردید. بعد از حل شدن اوره، دما در مدت ۴۵ دقیقه به ۶۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس رسید. بعد از این‌که پیش‌پلیمر اوره فرمالدیید (U-F) آماده شد، دور همزن را بالا برده و امولسی فایر یک درصد (پلی سوربات ۸۰–۲۰) به‌تدریج و سپس اسانس به‌صورت قطره قطره اضافه شد. بعد از گذشت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه pH محلول با اسید سولفوریک ۱۰ درصد به ۳ رسانده شد تا دیواره پلی‌اوره فرمالدیید ذرات اسانس را در برگیرد.

بررسی تأثیر اسانس نانوکپسوله شده روی شاخص‌های تغذیه ای لارو سن دوم و حشرات کامل

برای انجام آزمایش در هر تکرار ۵ عدد لارو سن ۲ یک روزه حاصل از پوست‌اندازی لارو سن یک، یا حشره کامل مورد استفاده قرار گرفت. هر یک از شاخص‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۵ تکرار انجام شد. مقادیر LC_{25}، LC_{35}، و LC_{50} به‌دست آمده از آزمایشات اولیه که به‌ترتیب موجب مرگ‌ومیر ۲۵، ۳۵ و ۵۰ درصد از جمعیت شدند برای بررسی تأثیر اسانس نانوکپسوله شده روی شاخص‌های تغذیه لارو سن دوم و حشرات کامل مورد استفاده قرار گرفت (Vahabi, 2014). برای رقیق کردن اسانس در فرمولاسیون غیرنانو از حلال اتانول ۱۰ درصد و برای فرمولاسیون نانوکپسول از حلال آب، استفاده شد.

برگ‌های نارون پس از فرو بردن در غلظت‌های ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام اسانس درمنه و ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه و فرمولاسیون نانوکپسول فاقد اسانس درمنه، داخل ظروف در اختیار لارو قرار داده شدند. برای حشرات کامل از غلظت‌های ۶۰۰۰، ۷۰۰۰ و ۸۰۰۰ پی‌پی‌ام اسانس درمنه و ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه و فرمولاسیون نانوکپسول فاقد اسانس درمنه استفاده شد. برگ‌ها هر روز پس از فرو بردن در محلول، داخل پتری دیش‌ها در اختیار حشره قرار گرفت. در پتری دیش جهت تهویه توسط توری پوشانده شد. هر روز وزن برگ داده شده در هر تکرار، وزن برگ قبلی مورد تغذیه قرار گرفته، وزن فضولات و تعداد لارو زنده مانده ثبت گردید. شاخص‌های تغذیه شامل نرخ رشد نسبی، نرخ مصرف نسبی، شاخص‌های کارایی تبدیل غذای خورده شده، کارایی تبدیل غذای هضم شده و شاخص تقریبی هضم‌شوندگی غذا از رابطه ارائه شده توسط Scriber and Slansky (1981) استفاده شد.

۱- نرخ رشد نسبی[1]

$$RGR = \frac{FW - IW}{IW \times T}$$

F_W[2] = وزن خشک لارو در انتهای آزمایش

Iw[3] = وزن خشک لارو در ا بتدای آزمایش

T = مدت زمان آزمایش (روز)

۲- نرخ مصرف نسبی[4]

$$RCR = \frac{I}{(B \times T)}$$

I[5] = وزن خشک کل غذای خورده شده به ازاء هر لارو (میلی‌گرم)

1- Relative Growth Rate (RGR)
2- Final weight
3- Initial weight
4- Relative Consumption Rate (RCR)
5- Ingested food

B[1] = بیوماس لارو یا تفاوت وزن لارو در ابتدا و انتهای آزمایش (میلی‌گرم)

۳- کارایی تبدیل غذای خورده شده[2]

$$ECI(\%) = \frac{B}{I} \times 100$$

۴- کارایی تبدیل غذای هضم شده[3]

$$ECD(\%) = \frac{B}{I-F} \times 100$$

F[4] = وزن خشک کل فضولات تولید شده توسط هر لارو در هر تکرار

۵- شاخص تقریبی هضم‌شوندگی[5]

$$AD(\%) = \frac{I-F}{I} \times 100$$

در تجزیه و تحلیل داده‌ها از وزن خشک برحسب میلی‌گرم استفاده گردید که برای محاسبه آن، برگ‌های مورد تغذیه آفت، فضولات و لاروها در داخل آون ۶۵ درجه سلسیوس برای مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند پارامترهای مورد ارزیابی از زمان ظهور لاروهای سن دوم و حشرات کامل به‌مدت ۲۴ ساعت بعد از تغذیه مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی اثر دورکنندگی اسانس نانوکپسوله شده روی حشرات کامل

بر اساس روش Shakarami et al. (2003) با اندکی تغییرات، در دو سمت یک ظرف پلاستیکی (مکعبی شکل درپوش‌دار به حجم ۶۵ میلی‌لیتر) سوراخی تعبیه شد و هر سوراخ با کمک یک لوله پلاستیکی به قطر ۳ میلی‌متر و طول ۲ سانتی‌متر به دو ظرف پلاستیکی دیگر با همان حجم متصل گردید به‌طوری‌که حرکت حشرات از ظرف میانی به ظروف جانبی از طریق لوله‌های رابط به سهولت امکان‌پذیر بود. در دو ظرفی که در طرفین ظرف وسط قرار داشتند، یک ظرف به‌عنوان شاهد و ظرف دیگر به‌عنوان ظرف تیمار درنظر گرفته شد. ظرف وسط به‌عنوان ظرف مبنا برای رهاسازی ۱۰ عدد حشره کامل سوسک برگخوار نارون (بعد از ۳ ساعت گرسنگی) درنظر گرفته شد. آزمایش در سه تکرار انجام شد. در ظرف شاهد یک برگ (همراه با یک میلی‌لیتر اتانول ده درصد به‌عنوان حلال برای تیمار اسانس و یک میلی‌لیتر آب مقطر برای تیمار نانوکپسول) و در ظرف تیمار روی برگ‌ها یک میلی‌لیتر از غلظت‌های ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام فرمولاسیون نانوکپسول اسانس و یا غلظت‌های ۶۰۰۰، ۷۰۰۰ و ۸۰۰۰ پی‌پی‌ام اسانس درمنه تهیه شده با اتانول ۱۰ درصد ریخته شد و به‌مدت ۱۰ دقیقه در زیر هود گذاشته شد تا خشک شوند و سپس دراختیار حشرات قرار داده شد. غلظت‌های مورد استفاده برای هر تیمار، مقادیر LC_{25}، LC_{35}، و LC_{50} به‌دست آمده از آزمایشات اولیه بودند که به‌ترتیب موجب مرگ‌ومیر ۲۵، ۳۵ و ۵۰ درصد از جمعیت شدند (Vahabi, 2014). درپوش ظروف در زمان آزمایش با توری پوشانده شده بود. آزمایش در زمان‌های ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به‌طور مستقل انجام گرفت و در هر زمان حشرات جدید داخل ظروف قرار داده شد. پس از سی دقیقه حشرات مستقر شده در طرفین ظروف شمارش شد و درصد دورکنندگی اسانس و اسانس نانوکپسوله محاسبه گردید. درصد شاخص دورکنندگی اسانس طبیعی و اسانس نانو کپسوله طبق فرمول زیر محاسبه شد(Liu et al., 2006):

$$\text{Repellent Index (RI)}\% = \frac{C-T}{G} \times 100$$

که در آن C تعداد حشرات در ظرف شاهد، T تعداد حشرات در ظرف تیمار و G کل حشرات مورد آزمایش می‌باشد.

برای تشخیص خاصیت دورکنندگی اسانس یا نانوکپسول، از روش Kogan and Goeden (1970) با تغییراتی به شرح زیر استفاده شد:

بی‌اثر[6] $MRI - 2SD < MRI < MRI + 2SD$

1- Biomass (weight gain)
2- Efficacy of Conversion of Ingested Food (ECI)
3- Efficacy of Conversion of Digested Food (ECD)
4- Frass
5- Approximately Digestibility (AD)
6- Indifferent

دورکننده[1] MRI < MRI ± 2SD

جلب‌کننده[2] : MRI > MRI - 2SD

SD = Standard deviation
MRI = Mean repellency index

تجزیه و تحلیل آماری

قبل از تجزیه و تحلیل آماری، شاخص‌های تغذیه‌ای با استفاده از رابطه آرکسینوس $\sqrt{\frac{x}{100}}$ نرمال شدند. برای هر یک از شاخص‌ها مقایسه اثر اسانس نانوکپسوله شده با اسانس معمولی در هر غلظت با استفاده از آزمون تی استودنت مستقل صورت گرفت. برای مقایسه اثر غلظت‌های مختلف در هر تیمار بر شاخص‌های تغذیه از تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد و درصورت معنی‌دار شدن، میانگین‌ها توسط آزمون توکی در سطح ۵ درصد مقایسه شدند. قبل از تجزیه و تحلیل آماری شاخص‌های دورکنندگی، شاخص‌ها با استفاده از رابطه آرکسینوس $\sqrt{\frac{x}{100}}$ نرمال شدند. هر یک از غلظت‌ها در آزمون تی استودنت مستقل که بیانگر مقایسه اثر دو تیمار (اسانس طبیعی و اسانس نانوکپسوله) در هر غلظت بود تجزیه و تحلیل شدند. برای مقایسه اثر غلظت‌های مختلف در هر تیمار (اسانس غیرنانو یا اسانس نانوکپسوله) بر شاخص دورکنندگی از تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد و درصورت معنی‌دار شدن، میانگین‌ها توسط آزمون توکی در سطح ۵ درصد مقایسه گردید. تجزیه‌های آماری توسط برنامه اس‌پی‌اس‌اس ۱۶/۱[3] و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار اکسل ۲۰۰۷ انجام گرفت.

نتایج

بررسی تأثیر اسانس فرموله شده روی شاخص‌های تغذیه لارو سن دوم

غلظت‌های مختلف فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه، به‌طور معنی‌داری نرخ مصرف نسبی غذا را نسبت به شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس در لارو سن دوم کاهش دادند ($F = 3.85;\ df_{t,e} = 3,16;\ P = 0.031$). در غلظت ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام (LC_{35}) میزان نرخ مصرف نسبی به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس بود. غلظت‌های متفاوت فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه، به‌طور معنی‌داری نرخ رشد نسبی را نسبت به شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس، در لارو سن دوم کاهش دادند ($F = 8.46;\ df_{t,e} = 3,16;\ P < 0.0001$) و در غلظت ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام (LC_{35}) میزان نرخ رشد نسبی به‌طور معنی‌داری از شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس کمتر بود. هم‌چنین غلظت‌های مختلف فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه، به‌طور معنی‌داری شاخص کارایی تبدیل غذای خورده شده را نسبت به شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس، در لارو سن دوم کاهش دادند ($F = 4.29;\ df_{t,e} = 3,16;\ P < 0.0001$). در غلظت ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام مقدار شاخص کارایی تبدیل غذای خورده شده به‌طور معنی‌داری از شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس کمتر بود. نتایج حاصل از تجزیه آماری شاخص کارایی تبدیل غذای هضم شده نشان داد که به‌کار بردن فرمولاسیون اسانس روی لارو سوسک برگخوار نارون، در مدت زمان ۲ و ۳ روز پس از تغذیه به‌طور معنی‌داری باعث کاهش این شاخص نسبت به اسانس غیر نانو در لارو سن دوم شد ($F = 4.65;\ df_{t,e} = 3,16;\ P < 0.0001$). در غلظت ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام میزان شاخص کارایی تبدیل غذای هضم شده به‌طور معنی‌داری از شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس کم‌تر بود. هم‌چنین نتایج حاصل از تجزیه آماری شاخص تقریبی هضم‌شوندگی نشان داد که به‌کار بردن فرمولاسیون نانوکپسول اسانس روی لارو سوسک برگخوار نارون، به‌طور معنی‌داری باعث کاهش این شاخص نسبت به اسانس غیرنانو در لارو سن دوم شد ($F = 2.89;\ df_{t,e} = 3,16;\ P = 0.029$). در غلظت ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام میزان شاخص تقریبی هضم‌شوندگی به‌طور معنی‌داری از شاهد کمتر بود (جدول ۱).

1- Repellent
2- Attractant
3- SPSS 16.1

جدول ۱- اثر اسانس و فرمولاسیون نانوکپسول حاوی اسانس گیاه درمنه در غلظت‌های مختلف، روی شاخص‌های تغذیه‌ای لارو سوسک برگخوار نارون

Table 1. The effect of essential oil and nanoencapsulated formulation of *Artemisia sieberi* on nutritional indices of *Xanthogaleruca luteola* larvae

Concentration (ppm)[1]	Formulation[2]	RCR (mg/mg/day)[3]	RGR (mg/mg/day)[4]	ECI (%)[5]	ECD (%)[6]	AD (%)[7]
LC_{25}	NFEO	30.86 ± 0.0024d	0.85 ± 0.0002c	2.74 ± 0.0007c	2.80 ± 0.0007c	98.06 ± 0.0005c
	NEO	34.99 ± 0.0055c	0.32 ± 0.0010d	0.91 ± 0.0030d	0.93 ± 0.0031d	97.89 ± 0.0004d
	NNEO	44.26 ± 0.0022b	1.52 ± 0.0019b	3.44 ± 0.0042b	3.49 ± 0.0043b	98.49 ± 0.0006b
	Control	50.70 ± 0.1041a	2.08 ± 0.0000a	4.10 ± 0.0084a	4.15 ± 0.0087a	98.73 ± 0.0031a
LC_{35}	NFEO	21.43 ± 0.0019d	0.56 ± 0.0003c	2.62 ± 0.0014c	2.69 ± 0.0014c	97.40 ± 0.0007c
	NEO	26.89 ± 0.0090c	0.20 ± 0.0012d	0.75 ± 0.0044d	0.77 ± 0.0045d	97.41 ± 0.0009c
	NNEO	32.37 ± 0.1368b	0.95 ± 0.0017b	2.92 ± 0.0148b	2.98 ± 0.0153b	98.04 ± 0.0081b
	Control	50.70 ± 0.1041a	2.08 ± 0.0000a	4.10 ± 0.0084a	4.15 ± 0.0087a	98.73 ± 0.0031a
LC_{50}	NFEO	14.72 ± 0.0054d	0.31 ± 0.0001c	2.14 ± 0.0010c	2.21 ± 0.0010c	96.65 ± 0.0015c
	NEO	17.42 ± 0.0112c	0.07 ± 0.0016d	0.43 ± 0.0090d	0.44 ± 0.0094d	96.12 ± 0.0022d
	NNEO	24.39 ± 0.0032b	0.53 ± 0.0014b	2.19 ± 0.0056b	2.24 ± 0.0058b	97.42 ± 0.0000b
	Control	50.70 ± 0.1041a	2.08 ± 0.0000a	4.10 ± 0.0084a	4.15 ± 0.0087a	98.73 ± 0.0031a

[1] LC_{25} LC_{35}, LC_{50} values of NFEO are 3000, 4000 and 5000 ppm and values for NEO and NNEO are 2000, 3000 and 4000 ppm, respectively.
[2] Abbreviations: NFEO = non-formulation essential oil; NEO = nano-encapsulated formulation and NNEO = inert ingredient.
[3] Relative Consumption Rate (RCR)
[4] Relative Growth Rate (RGR)
[5] Efficacy of Conversion of Ingested Food (ECI)
[6] Efficacy of Conversion of Digested Food (ECD)
[7] Approximately Digestibility (AD)
Means followed by the same letters in each column are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$).

بررسی تأثیر اسانس فرموله شده روی شاخص‌های تغذیه حشرات کامل

غلظت‌های مختلف فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه، به‌طور معنی‌داری نرخ مصرف نسبی غذا را نسبت به شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس در حشره کامل کاهش دادند ($F = 2.12$; $df_{t,e} = 3,16$; $P = 0.035$). در غلظت ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام میزان نرخ مصرف نسبی به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس بود. غلظت‌های متفاوت فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه، به‌طور معنی‌داری نرخ رشد نسبی را نسبت به شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس، در حشره کامل کاهش دادند ($F = 4.17$; $df_{t,e} = 3,16$; $P < 0.0001$). در غلظت ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام میزان نرخ رشد نسبی به‌طور معنی‌داری از شاهد و نانوکپسول

فاقد اسانس کمتر بود. غلظت‌های مختلف فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه، به‌طور معنی داری شاخص کارایی تبدیل غذای خورده شده را نسبت به شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس، در حشره کامل کاهش دادند($F = 9.59; df_{t,e}= 3,16; P < 0.0001$) در غلظت ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام مقدار شاخص کارایی تبدیل غذای خورده شده به‌طور معنی‌داری از شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس‌ها کم‌تر بود. نتایج حاصل از تجزیه آماری شاخص کارایی تبدیل غذای هضم شده نشان داد که به‌کار بردن فرمولاسیون اسانس روی حشره کامل سوسک برگخوار نارون، در مدت زمان ۲ و ۳ روز پس از تغذیه به‌طور معنی‌داری باعث کاهش این شاخص نسبت به اسانس غیرنانو در لارو سن دوم شد($F = 8.85; df_{t,e} = 3,16; P < 0.0001$). در غلظت ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام میزان شاخص کارایی تبدیل غذای هضم شده به‌طور معنی‌داری از شاهد و نانوکپسول فاقد اسانس کم‌تر بود. هم‌چنین نتایج حاصل از تجزیه آماری شاخص تقریبی هضم‌شوندگی نشان داد که به‌کار بردن فرمولاسیون اسانس روی حشره کامل سوسک برگخوار نارون، به‌طور معنی‌داری باعث کاهش این شاخص نسبت به اسانس غیرنانو در حشره کامل شد ($F = 3.27; df_{t,e} = 3,16; P = 0.024$). در غلظت ۵۰۰۰ پی‌پی‌ام میزان شاخص تقریبی هضم‌شوندگی به‌طور معنی‌داری از شاهد کمتر بود (جدول ۲).

بررسی اثر دورکنندگی اسانس فرموله شده روی حشرات کامل

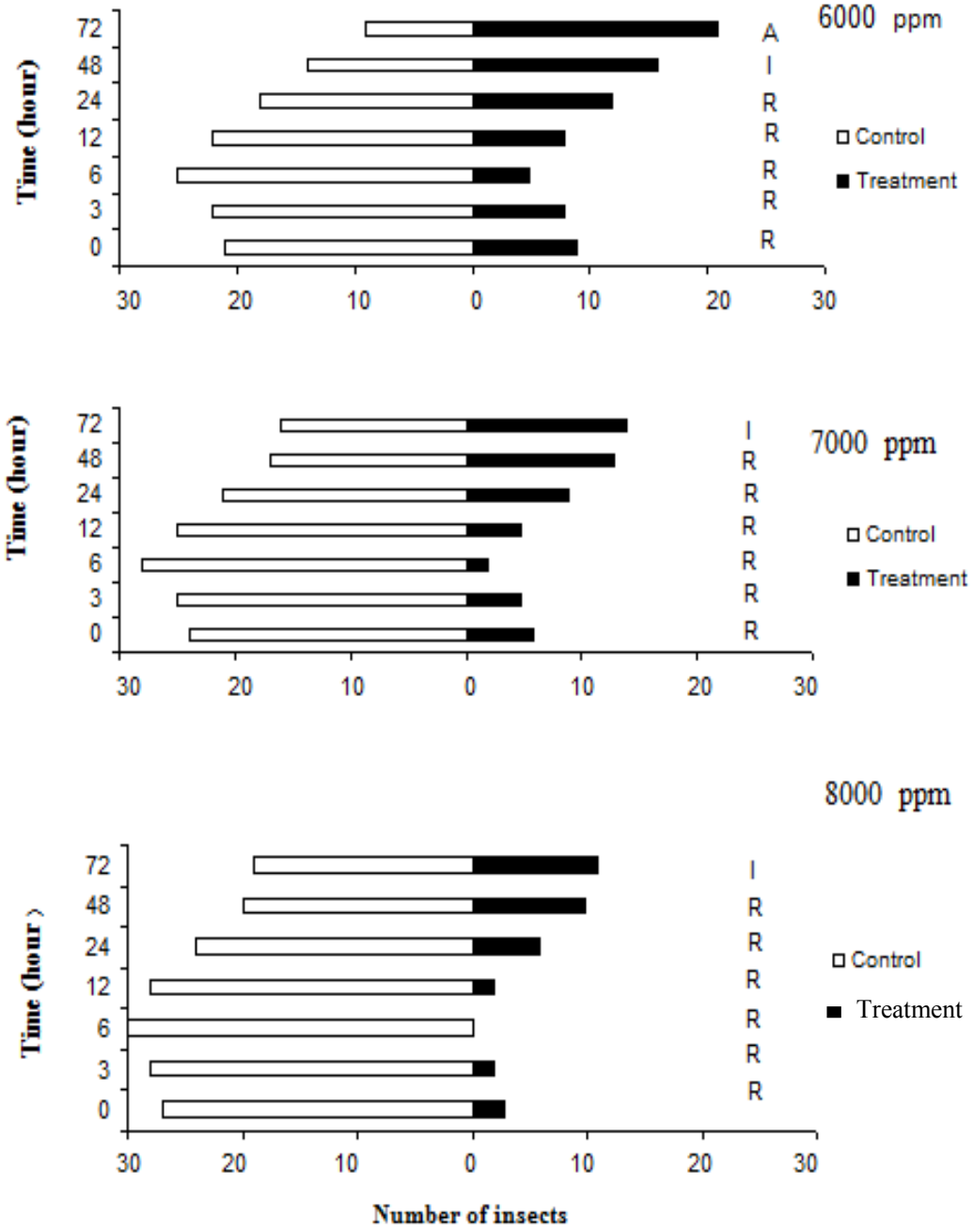
نتایج نشان داد که درصد دورکنندگی ناشی از اثر اسانس غیرنانو در غلظت‌های LC_{25}، LC_{35} و LC_{50} بر حشره در ساعات اولیه با مقدار کم شروع شده و در ساعت ششم به بیش‌ترین حد خود رسید و سپس با گذشت زمان از قدرت دورکنندگی آن کم شد (شکل ۱). در آزمایشات بررسی دورکنندگی ناشی از اثر اسانس نانوکپسوله در غلظت‌های LC_{25}، LC_{35} و LC_{50} مقدار رهایش اسانس در ساعت اول در غلظت-های پایین (۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام) خاصیت دورکنندگی نداشته و با گذشت زمان مقدار دورکنندگی آن به‌دلیل رهایش تدریجی اسانس از نانوکپسول بیش‌تر شد. به‌علاوه در هر دو آزمایش میزان دورکنندگی با افزایش غلظت بیشتر شد. میانگین درصد دورکنندگی فرمولاسیون نانوکپسول حاوی اسانس گیاه درمنه روی حشره کامل سوسک برگخوار نارون با غلظت‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری بوده، و با افزایش غلظت، درصد دورکنندگی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیش‌ترین درصد دورکنندگی فرمولاسیون نانوکپسوله اسانس درمنه (۱۰۰ درصد) در بالاترین غلظت (۵۰۰۰ پی‌پی‌ام) مشاهده شد. هم‌چنین زمان مؤثر در دورکنندگی (۱۰۰درصد) حشرات توسط اسانس غیرنانو بعد از گذشت ۶ ساعت بود درحالی‌که در اسانس نانو کپسوله مقدار زمان مؤثر در دورکنندگی (۱۰۰درصد) حشره ۲۴ ساعت تعیین گردید (شکل ۱ ، ۲ و ۳).

جدول ۲- اثراسانس و فرمولاسیون نانوکپسول حاوی اسانس گیاه درمنه در غلظت‌های مختلف، روی شاخص‌های تغذیه‌ای حشره کامل سوسک برگخوار نارون

Table2. The effect of essential oil and nano-encapsulated formulation of *Artemisia sieberi* on nutritional indices of *Xanthogaleruca luteola* at adult stage.

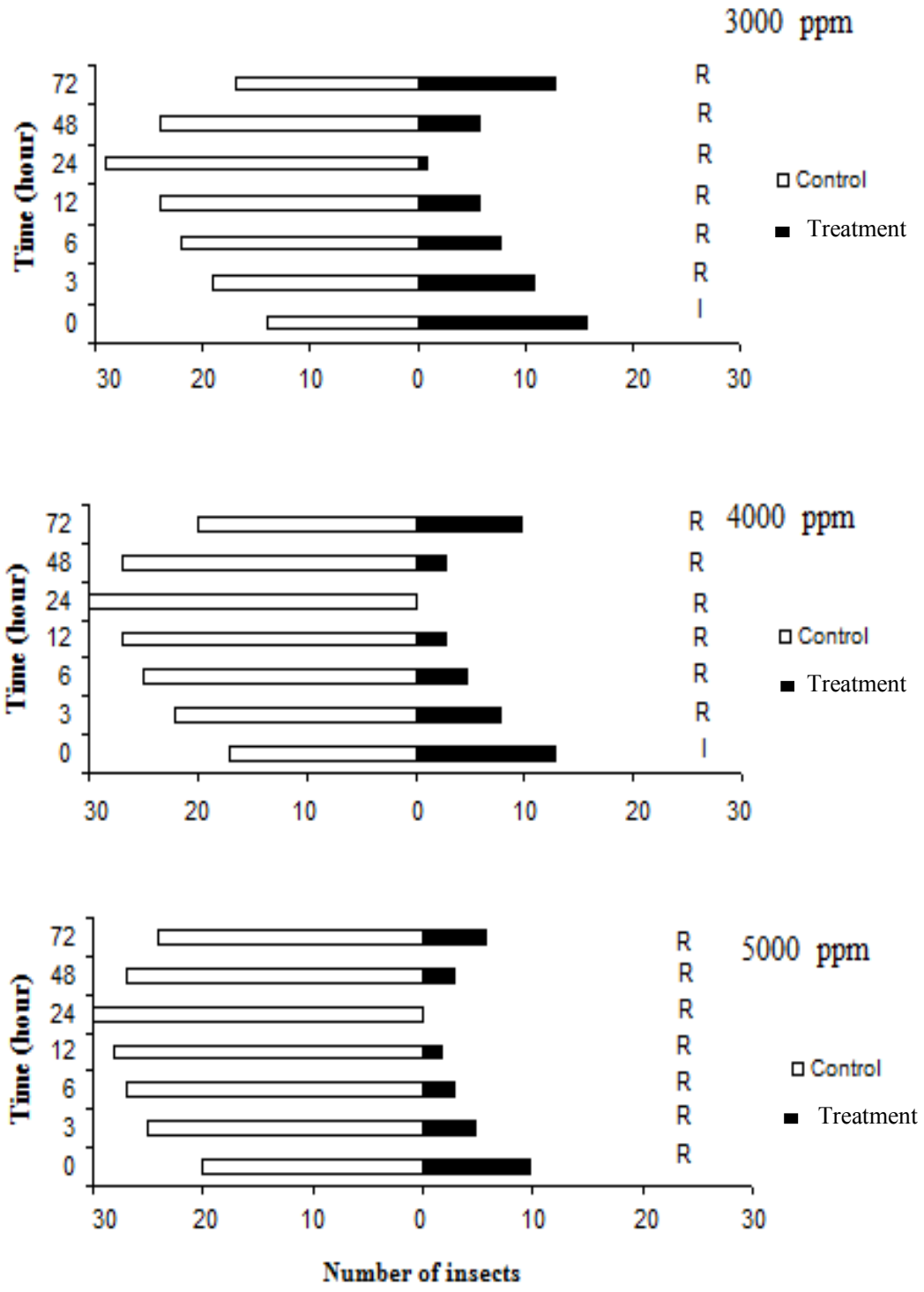
Concentration (ppm)[1]	Formulation[2]	RCR (mg/mg/day)[3]	RGR (mg/mg/day)[4]	ECI (%)[5]	ECD (%)[6]	AD (%)[7]
LC_{25}	NFEO	30.03 ± 0.0459d	1.28 ± 0.0024c	4.25 ± 0.0014c	4.31 ± 0.0015c	98.46 ± 0.0004d
	NEO	36.34 ± 0.0124c	0.70 ± 0.0004d	1.94 ± 0.0006d	1.97 ± 0.0006d	98.54 ± 0.0002c
	NNEO	44.56 ± 0.0051b	2.56 ± 0.0003b	5.75 ± 0.0002b	5.82 ± 0.0002b	98.95 ± 0.0003b
	Control	54.88 ± 0.1087a	3.39 ± 0.0209a	6.17 ± 0.0260a	6.23 ± 0.0261a	99.01 ± 0.0018a
LC_{35}	NFEO	25.91 ± 0.0022d	1.04 ± 0.0004c	4.01 ± 0.0012c	4.07 ± 0.0012c	98.32 ± 0.0004c
	NEO	29.30 ± 0.0110c	0.51 ± 0.0004d	1.74 ± 0.0007d	1.77 ± 0.0007d	98.27 ± 0.0002d
	NNEO	35.25 ± 0.0032b	1.71 ± 0.0009b	4.86 ± 0.0023b	4.92 ± 0.0023b	98.78 ± 0.0003b
	Control	54.88 ± 0.1087a	3.39 ± 0.0208a	6.17 ± 0.0258a	6.23 ± 0.0260a	99.01 ± 0.0018a
LC_{50}	NFEO	20.72 ± 0.0026c	0.71 ± 0.0002c	3.41 ± 0.0005c	3.47 ± 0.0005c	98.13 ± 0.0006c
	NEO	23.41 ± 0.0159b	0.35 ± 0.0008d	1.50 ± 0.0040d	1.54 ± 0.0041d	97.93 ± 0.0003d
	NNEO	23.34 ± 0.0074b	0.96 ± 0.0001b	4.13 ± 0.0008b	4.21 ± 0.0009b	98.21 ± 0.0009b
	Control	54.88 ± 0.1087a	3.41 ± 0.0002a	6.21 ± 0.0124a	6.27 ± 0.0126a	99.01 ± 0.0018a

[1] LC_{25} LC_{35}, LC_{50} values of NFEO are 6000, 7000 and 8000 ppm and values for NEO and NNEO are 3000, 4000 and 5000 ppm , respectively.
[2] Abbreviations: NFEO = non-formulated essential oil; NEO = nano-encapsulated formulation, and NNEO = inert ingredient.
[3] Relative Consumption Rate (RCR)
[4] Relative Growth Rate (RGR)
[5] Efficacy of Conversion of Ingested Food (ECI)
[6] Efficacy of Conversion of Digested Food (ECD)
[7] Approximately Digestibility (AD)
Means followed by the same letters in each column are not significantly different (Tukey's test, $P < 0.05$).



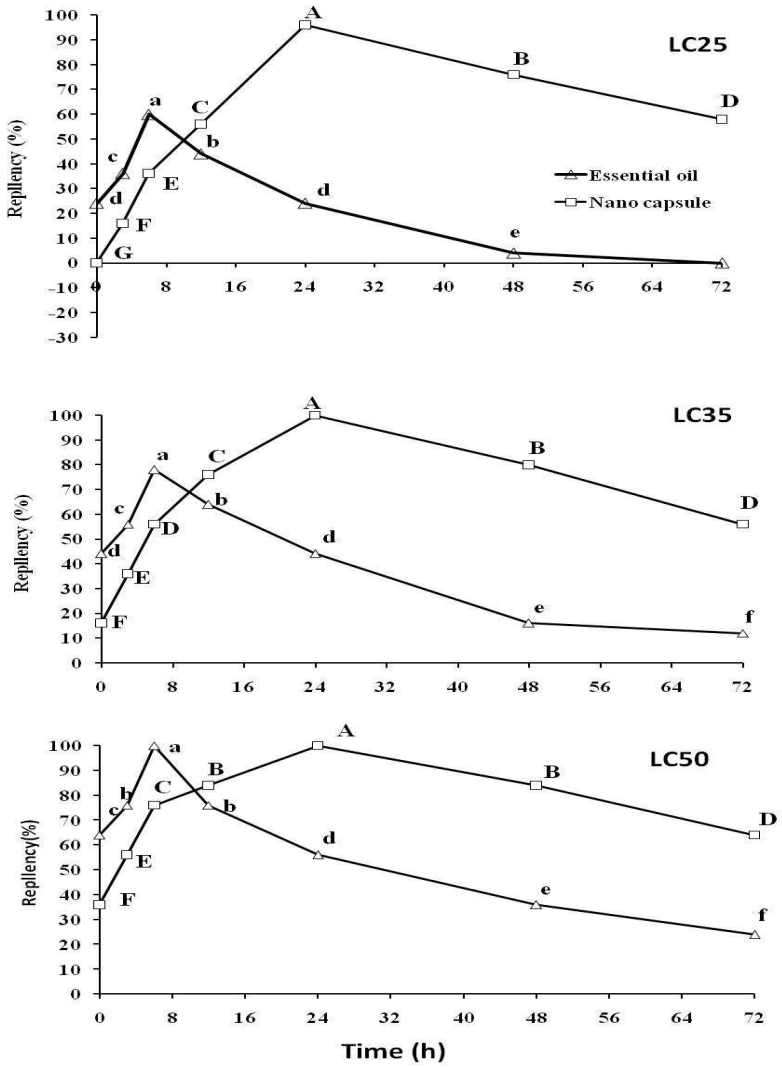
شکل۱- اثر دورکنندگی اسانس فرموله نشده درمنه و شاهد (اتانول ده درصد) روی حشره کامل سوسک برگخوار نارون (بی‌اثر =I، دورکننده =R، جلب‌کننده = A)

Figure 1. Repellent activity of non-formulated *Artemisia sieberi* essential oil and its control (ethanol 10%) on *Xanthogaleruca luteola* adults. (I = Indifferent, R = Repellent, A = Attractant).



شکل۲- تفاوت اثر دورکنندگی فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه و شاهد (آب) روی حشره کامل سوسک برگخوار نـارون (بی‌اثر = I، دورکننده = R، جلب‌کننده = A)

Figure 2. Repellent activity of nano-encapsulated formulation of *Artemisia sieberi* essential oil and its control (ethanol 10%) on *Xanthogaleruca luteola* adults. (I= Indifferent, R=Repellent, A=Attractant)



شکل۳- مقایسه اثر دورکنندگی اسانس فرموله نشده درمنه و فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه روی حشره کامل سوسک برگخوار نارون در غلظت‌های مختلف

میانگین‌های با حروف مشترک برای هر فرمولاسیون اختلاف معنی‌داری ندارند (آزمون توکی، احتمال ۵ درصد). برای منحنی نانوکپسول از حروف بزرگ و برای منحنی اسانس فرموله نشده از حروف کوچک استفاده شده است.

Figure 3. Comparison of repellent activity of *Artemisia sieberi* essential oil between non-formulated and nano-encapsulated formulation on *Xanthogaleruca luteola* adults at different concentrations. Means followed by the same small letters (essential oil) and capital letters (Nano-capsule) are not significantly different (Tukey's test, P < 0.05)

بحث

بررسی تـأثیر اسانس فرموله شده روی شاخص‌های تغذیه لارو سن دوم و حشرات کامل

به‌طور کلی فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاه درمنه به‌خصوص در غلظت‌های بالا شاخص‌های غذایی حشره سوسک برگخوار نارون نظیر نرخ رشد نسبی، شاخص کارایی تبدیل غذای خورده شده و شاخص کارایی تبدیل غذای هضم شده را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد و اسانس غیرنانو کاهش داد. براساس نتایج به دست آمده ، تغذیه حشره از برگ‌های آغشته به فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه بیش‌تر بود اما کارایی تغذیه در حدود سه

برابر کمتر بود، می‌توان گفت که علت آن سمیت پس از تغذیه در حشره در فرمولاسیون نانوکپسوله اسانس درمنه بوده است. برای پاسخ به علت کاهش شاخص‌ها در حشرات تیمار شده با اسانس نانوکپسوله شده، درصورتی‌که به اختلافات ایجاد شده در نرخ مصرف نسبی توجه شود مشخص می‌شود که حشره بیش‌تر از اسانس نانوکپسوله شده تغذیه کرده که این به‌علت بازدارندگی تغذیه کمتر نانوکپسول در مقایسه با اسانس بوده است. مقدار نرخ مصرف نسبی در اسانس نانوکپسوله شده نسبت به اسانس غیرنانو بیش‌تر شده است اما مقدار آن در مقایسه با شاهد (کنترل) کم‌تر شده است. هم‌چنین مطابق نتایج، نرخ رشد نسبی، کارایی تبدیل غذای خورده شده، کارایی تبدیل غذای هضم شده و درصد هضم‌شوندگی در حشره کاهش یافته است. می‌توان چنین استنباط نمود که کاهش نرخ رشد نسبی در حشرات تغذیه کرده از اسانس غیرنانو به‌دلیل گرسنگی حشره در اثر بازدارندگی تغذیه‌ای اسانس غیرنانو بوده است؛ ولی در مورد اسانس نانوکپسوله این کاهش در اثر سمیت گوارشی پس از تغذیه‌ای بوده است. هم‌چنین مطابق نتایج، نانوکپسول فاقد اسانس تا حدودی خاصیت ضدتغذیه‌ای داشت، ولی این اثر کمتر از شاهد بود. لذا اثر ضدتغذیه‌ای اسانس نانوکپسوله می‌تواند مربوط به اسانس و مواد همراه آن باشد. تاکنون در مورد تأثیر اسانس‌های گیاهی روی شاخص‌های تغذیه‌ای سوسک برگخوار نارون تحقیقات کمی انجام شده است. در بررسی Amirmohammadi and Jalali Sendi (2013)، ثابت شد اسانس گیاه رزماری *Rosmarinus officinalis* L.، شاخص‌های تغذیه‌ای نرخ رشد نسبی، کارایی تبدیل غذای خورده شده، کارایی تبدیل غذای هضم شده و شاخص هضم‌شوندگی در لارو سن سوم سوسک برگخوار نارون را در مقایسه با شاهد کاهش داده است. هم‌چنین در بررسی Khosravi and Jalali Sendi (2013)، ثابت شد اسانس آویشن و اسطوخودوس تأثیر کاهنده بر سطح فعالیت آنزیم‌های گوارشی لارو سن سوم سوسک برگخوار نارون داشتند. در راستای بررسی فرمولاسیون اسانس‌های گیاهی روی آفات، در بررسی Negahban et al. (2013a) ثابت شد که نانوکپسول اسانس درمنه به‌طور معنی‌داری نرخ رشد نسبی، شاخص‌های کارایی تبدیل غذای بلعیده شده، کارایی تبدیل غذای هضم شده و شاخص تقریبی هضم‌شوندگی غذا را در بید کلم، مقایسه با شاهد (اسانس فرموله نشده) کاهش داده است.

بررسی اثر دورکنندگی اسانس فرموله شده روی حشرات کامل

تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد اثرات دورکنندگی اسانس‌های گیاهی روی آفات انجام شده است. در بررسی Lai et al. (2006) اثر کشندگی تماسی و اثرات دورکنندگی و ضد تخم‌ریزی مناسب اسانس گیاهان آویشن *Thymus vulgaris* L.، نعناع هندی *Pogostemon cablin* Blanco و لیمو *Corymbia citriodora* Hook روی *Bemisia tabaci* biotype B گزارش شده است. لکن تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی مبنی بر بررسی اثرات دورکنندگی فرمولاسیون اسانس و اسانس غیرنانو درمنه روی سوسک برگخوار نارون صورت نگرفته است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده آن است که اسانس غیرنانو و فرمولاسیون مورد استفاده روی مرحله حشره کامل دارای اثرات دورکنندگی بودند. در این تحقیق، اسانس نانوکپسوله در طول زمان‌های بیش‌تر از ۶ ساعت به‌طور معنی‌داری مؤثرتر از اسانس غیرنانو بوده و در غلظت‌های مختلف قدرت دورکنندگی افزایش یافته است ولی در اسانس غیرنانو بعد از گذشت ۶ ساعت از خاصیت دورکنندگی کم شده است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از فرمولاسیون‌های نانوکپسول باعث می‌شود تا ماده مؤثره درون پوششی به دام افتاده و رهایش به‌صورت کنترل شده صورت پذیرد که این خود منجر به کاهش استفاده از ماده فعال و افزایش مدت آزادسازی ماده مؤثر می‌شود که این یافته با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Moretti et al., 2002; Sanna Passino et al.,

(2004. در راستای بررسی تأثیر فرمولاسیون نانوکپسول اسانس‌های گیاهی روی آفات، مطابق بررسی Negahban et al. (2013b) درصد دورکنندگی اسانس طبیعی درمنه روی بید کلم، در غلظت ۱/۹ پی پی ام در مدت ۶ ساعت به بالاترین حد خود ۸۰ درصد رسید، اما پس از ۲۴ ساعت دارای ۶۲ درصد خاصیت دورکنندگی بود. درحالی‌که درصد دورکنندگی اسانس نانوکپسوله درمنه با گذشت زمان افزایش یافت و پس از ۲۴ ساعت به ۱۰۰ درصد رسید. دوام اسانس‌های گیاهی به‌علت خاصیت فرار بودن، با گذشت زمان کاهش می‌یابد (Negahban et al., 2006 a; Negahban and Moharramipour, 2006). همچنان که در این پژوهش نیز کاهش قدرت دورکنندگی اسانس پس از شش ساعت مشاهده شد. از این‌رو با تکنیک نانوکپسوله کردن اسانس، رهایش سریع ماده مؤثره آن کم شده و تأثیر کارایی دورکنندگی با گذشت زمان افزایش می‌یابد و نانوکپسول اسانس با رهایش کنترل شده ترکیبات مؤثر، بدین ترتیب اثرات دورکنندگی طولانی مدت را بر جای می‌گذارد.

براساس نتایج حاصل از مقایسه بررسی خواص ضدتغذیه‌ای و اثرات دورکنندگی اسانس غیرنانو درمنه در مقایسه با فرمولاسیون نانوکپسول اسانس درمنه می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به فراریت بالای اسانس گیاهی، فرمولاسیون جدید نانوکپسول در طی زمان با تأخیر در آزادسازی ماده مؤثر قدرت حشره‌کشی را در طول زمان بیش‌تر و مقدار دز مصرفی اسانس را کاهش می‌دهد. با توجه به اهمیت این آفت در فضای سبز شهری، ضرورت انجام مطالعات بیش‌تر در این زمینه و معرفی ترکیبات گیاهی جدید و مؤثر برای کنترل این آفت وجوددارد.

REFERENCES

Amirmohammadi, F., and Jalali Sendi, J. 2013. The effect of essential oil of *Rosmarinus officinalis* (Lamiaceae) on mortality and physiological parameters of *Xanthogaleruca luteola* Mull. (Coleoptera: Chrysomelidae). Plant Pests Research, 3: 59-68. (in Farsi with English abstract).

Arbab, A., Jalali, J., and Sahragard, A. 2001. On the biology of elm leaf beetle *Xonthogaleruca luteola* (Coleoptera: Chrysomellidae) in laboratory conditions. Journal of Entomological Society of Iran, 21: 73-85. (in Farsi with English abstract).

Heidari, A. 2013. A review on the position of the carcinogenic hazards of pesticides registered in Iran. Plant Protection Journal, 6 (1):1-16. (in Farsi with English abstract).

Huerta, A., Chiffelle, I., Puga, K., Azua, F., and Araya, J. E. 2010. Toxicity and repellence of aqueous and ethanolic extracts from *Schinus molle* on elm leaf beetle *Xanthogaleruca luteola*. Crop Protection, 29: 1118-1123.

Isman, M. B. 2000. Plant essential oils for pest and disease management. Crop Protection, 19: 603-608.

Jalali Sendi, J., Arbab, A., and Aliakbar, A. R. 2005.The efficacy of aqueous plant extracts of wormwood and dwarf elder against elm leaf beetle *Xanthogaleruca luteola* Mull. (Coleoptera: Chrysomelidae). Agricultural Knowledge, 15: 115–120. (in Farsi with English abstract).

Khosravi, R., and Jalali Sendi, J. 2013. Toxicity, development and physiological effect of *Thymus vulgaris* and *Lavandula angustifolia* essential oils on *Xanthogaleruca luteola* (Coleoptera: Chrysomelidae). Journal of King Saud University-Science, 25: 349-355.

Kogan, M., and Goeden.R. D. 1970. The host-plant range of *Lema trilineata* daturaphila (Coleoptera: Chrysomelidae). Annals of the Entomological Society of America, 63: 1175-1180.

Lai, F., Wissing, S. A., Muller, R. H., and Fodda, A. M. 2006. *Artemisia arborescens* L essential oil- loaded solid lipid nanoparticles for potential agricultural application: preparation and characterization. American Association of Pharmaceutical Scientists, 7 (1): 1-9.

Liu, C., Mishra, A., Tan, R., Tang, C., Yang, H., and Shen, Y. 2006. Repellent and insecticidal activities of essential oils from *Artemisia princeps* and *Cinnamomum camphora* and their effect on seed germination of wheat and broad bean. Bioresource Technology, 97: 1969-1973.

Moretti, M. D. L., Sanna-Passino, G., Demontis, S., and Bazzoni, E. 2002. Essential oil formulations useful as a new tool for the insect pest control. American Association of Pharmaceutical Scientists, 3: 64-74.

Moretti, M., Peana, A., Franceschini, A., and Carta, C. 1998. In vivo activity of *Salvia officinalis* oil against *Botrytis cinerea*. Journal of Essential Oil Research, 10: 157-160.

Negahban, M., and Moharramipour, S. 2006. Repellent activity and persistence of essential oil from *Artemisia sieberi* Besser on three stored-product insect species. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 22 (4): 293-302. (in Farsi with English abstract).

Negahban, M., Moharramipour, S., and Sefidkon, F. 2006a. Chemical composition and insecticidal activity of *Artemisia scoparia* essential oil against three coleopteran stored-product insects. Journal of Asia-pacific Entomology, 9: 381-388.

Negahban, M., Moharramipour, S., and Sefidkon, F. 2006b. Insecticidal activity and chemical composition of *Artemisia sieberi* Besser oil from Karaj, Iran. Journal of Asia-Pacific Entomology, 9: 61-66.

Negahban, M., Moharramipour, S., and Sefidkon, F. 2007. Fumigant toxicity of essential oil from *Artemisia sieberi* Besser against three stored-product insects. Journal of Stored Products Research, 43: 123-128.

Negahban, M., Moharramipour, S., and Yousefelahi, M. 2004. Efficiency of essential oil from *Artemisia scoparia* Waldst et Kit. against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Proceeding of the Forth International Iran and Russia Conference of Agriculture and Natural Resources. 53 P.

Negahban, M., Moharramipour, S., Zandi, M., and Hashemi, S. A. 2013a. Efficiency of nanoencapsulated essential oil of *Artemisia sieberi* Besser on nutritional indices of *Plutella xylostella*. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29: 692-708. (in Farsi with English abstract).

Negahban, M., Moharramipour, S., Zandi, M., and Hashemi, S. A. 2013b. Repellent activity of nanoencapsulated essential oil of *Artemisia sieberi* Besser on *Plutella xylostella* L. larvae. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29 (4): 909-924. (in Farsi with English abstract).

Sanna Passino, G., Moretti, M., and Bazzoni, E. 2004. Microencapsulated essential oils active against indianmeal moth. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas, 30: 125-132.

Scriber, J. M., and Slansky, F. J. 1981. The nutritional ecology of immature insects. Annual Review of Entomology, 26: 183-211.

Shakarami, J., Kamali, K., Moharramipour, S., and Meshkatalsadat, M. 2003. Fumigant toxicity and repellency of essential oil of *Artemisia aucheri* on four species of stored pest. Applied Entomology and Phytopathology, 71(2): 61-75. (in Farsi with English abstract).

Vahabi, M. 2014. Insecticidal activity of nanoencapsulated formulation of *Artemisia sieberi* essential oil on *Xanthogaleruca luteola*. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Iran.

Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 39(1) Spring 2016

Antifeedant and repellent activity of nano-encapsulated formulation of *Artemisia sieberi* essential oil on *Xanthogaleruca luteola*

M. Vahabi Mashhour[1], S. Moharramipour[2*] and M. Negahban[3]

1. Former M.Sc. student, Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. ***Corresponding Author:** Professor of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, (moharami@modares.ac.ir)
3. Assistance Professor, Daya Nanotechnologists Co., Tehran, Iran

Received: 11 May 2015 Accepted: 21 November 2015

Abstract

Nowadays, the use of nano-encapsulation technology of pesticides causes an increase in the efficiency and controlled release of these substances. In this study, the antifeedant and repellent activities of nano-encapsulated formulation (NEF) of wormwood sagebrush *Artemisia sieberi* Besser essential oil were investigated against the elm leaf beetle *Xanthogaleruca luteola* (Muller). The experiments were conducted at 25 ± 2 ℃, 65 ± 5% RH and a photoperiod of 16:8 h (L: D). NEF decreased the nutritional indices significantly compared to non-formulated oil. NEF at a concentration of 4000 ppm, reduced the efficacy of the conversion of ingested food and the efficacy of the conversion of digested food in larvae, twice lower compared to pure essential oil. The repellency of non-formulated essential oil at a concentration of 8000 ppm reached its highest level after 6 h exposure, while the repellency of NEF increased over time and reached 100% after 24 h and continued for 72 h. Therefore, further investigations are necessary to consider the NEF made by the *A. sieberi* essential oil as an effective toxicant against the elm leaf beetle.

Keyword: Essential oil, Artemisia sieberi, Elm leaf beetle, Repellency, Nutritional indices, Nanocapsule