فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۲۹، شمارهٔ ۳، صفحهٔ ۷۰۸-۶۹۲ (۱۳۹۲)

کارایی اسانس نانو کپسوله شده گیاه درمنه (*Artemisia sieberi* Besser) بر شاخص‌های تغذیه شب‌پره پشت الماسی *Plutella xylostella*

مریم نگهبان[۱]، سعید محرمی‌پور[۲*]، مژگان زندی[۳] و سید علی هاشمی[٤]

۱- دانشجوی دکتری، گروه حشره‌شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه حشره‌شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

پست الکترونیک: moharami@ modares.ac.ir

۳- استادیار، گروه بیومتریال، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

٤- استاد، گروه سیستم‌های دارورسانی نوین، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۰ تاریخ اصلاح نهایی: آذر ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۰

چکیده

استفاده از فناوری نانو کپسول در آفت‌کش‌ها موجب افزایش کارایی، سازگاری بیشتر با محیط زیست، بهبود کیفیت و رهایش کنترل شده این مواد شده است. در این تحقیق کارایی اسانس نانو کپسوله شده گیاه درمنه *Artemisia sieberi* Besser بر شاخص‌های تغذیه شب‌پره پشت الماسی *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera:Yponomeutidae) در مقایسه با اسانس معمولی مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌های متعددی برای اندازه‌گیری شاخص‌های غذایی شب‌پره پشت الماسی نظیر میزان رشد نسبی، نرخ مصرف نسبی، شاخص‌های کارایی تبدیل غذای بلعیده شده، کارایی تبدیل غذای هضم شده، شاخص تقریبی هضم‌شوندگی و بازدارندگی تغذیه طراحی گردید. تیمارها به روش دیسک‌های برگی در شرایط کنترل شده در دمای ۱ ± ۲۷ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ٦٥ درصد و دوره نوری ١٦ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی ارزیابی شدند. بدین منظور برای هر تکرار در غلظت‌های مختلف ۱۰ عدد لارو سن سوم شب‌پره پشت الماسی روی دیسک برگی قرار گرفت و در زمان‌های متوالی ٢٤، ٤٨ و ۷۲ ساعت پس از تغذیه، میزان غذای خورده شده و مقدار افزایش وزن لاروها ثبت شد. نتایج نشان داد که نانو کپسول 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 مقایسه با شاهد (اسانس فرموله نشده) کاهش داده‌است. به‌علاوه اینکه یافته‌های حاصل از کاربرد فرمولاسیون نانو کپسول اسانس حکایت از وجود اثر سمّیت پس از تغذیه توسط اسانس گیاه درمنه داشت. بنابراین نانو کپسول اسانس گیاه درمنه به‌عنوان یک حشره‌کش در کنترل شب‌پره پشت الماسی قابلیت بالایی برای مطالعات بیشتر و تکمیلی را دارد.

واژه‌های کلیدی: فرمولاسیون ترکیب‌های گیاهی، نانو کپسول، اسانس گیاهی، شاخص‌های تغذیه، شب‌پره پشت الماسی.

مقدمه

شب‌پره پشت الماسی یکی از مهمترین و مخرب‌ترین آفات گیاهان خانواده چلیپائیان در سرتاسر جهان می‌باشد که بالاترین مقاومت را به آفت‌کش‌های شیمیایی از خود نشان داده‌است (Reddy *et al*., 2004a ؛Yi *et al*., 2007). در راستای یافتن جایگزین مناسب برای آفت‌کش‌های شیمیایی، اسانس‌های گیاهی به دلیل دارا بودن سمّیت تنفسی، تماسی، خاصیت دورکنندگی، ضدتغذیه‌ای، اثر روی پارامترهای زیستی حشره و همچنین کم خطر بودن آن برای انسان و پستانداران جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند (Keita *et al*., 2000؛ Papachristos & Stamopoulos, 2002). در کشور ما نیز گونه‌های مختلفی از گیاهان اسانس‌دار به‌صورت بومی گسترش وسیعی دارند که خاصیت حشره‌کشی بعضی از این گیاهان نیز گزارش شده‌است. گیاه درمنه ازجمله گیاهانی می‌باشد که سمّیت قابل توجهی روی آفات ایجاد می‌نماید (Negahban *et al*., 2007؛ Negahban *et al*., 2004؛ Negahban *et al*., 2006a,b).

از طرفی خاصیت فرّار بودن ماده مؤثره اسانس‌ها و اکسید شدن سریع آنها باعث گردید که فناوریهای جدیدی برای بهبود کارایی سمّیت اسانس‌ها با حفظ ماهیتشان بکار گرفته شوند. یکی از این روشها استفاده از فرمولاسیون‌های مختلف و تغییراتی است که می‌تواند کیفیت و میزان تأثیر آفت‌کش را افزایش دهد. انتخاب نوع فرمولاسیون بستگی به فاکتورهای فیزیکی، شیمیایی، خواص بیولوژیکی اسانس، نحوه اثر، نحوه کاربرد و نوع محصول دارد. از این نظر کپسوله کردن اسانس به فرم نانو کپسول باعث ایجاد توانایی رهایش کنترل شده و حفظ مواد مؤثره، افزایش تأثیر و فعالیت بیولوژیکی طولانی‌تر آن می‌شود. محققان مختلفی با استفاده از روش نانو کپسوله کردن اسانس‌های گیاهی اقدام به کنترل آفات نموده‌اند. Moretti و همکاران (۲۰۰۲) اثر میکروکپسول و امولسیون اسانس رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) و آویشن (*Thymus herba-barona* Loisel) را روی ابریشم باف ناجور (*Lymantria dispar* L.) بررسی کرده‌اند. نتایج بدست‌آمده نشان داد که میکروکپسوله کردن یک تکنیک مناسب برای محافظت اسانس با ترکیب‌های شیمیایی متنوع است و این تکنیک می‌تواند باعث جلوگیری از کاهش به هدر رفتن اسانس شود. همچنین میکروکپسول‌های حاوی اسانس ترکیب‌های ماده مؤثره را از عوامل محیطی محافظت نموده و باعث رهایش کنترل شده آن می‌گردد. همچنین Lai و همکاران (۲۰۰۶) تحقیقاتی را روی اثر نانو کپسول و امولسیون اسانس لیپیدی جامد *Artemisia arborescens* L. روی سفید بالک پنبه *Bemesia tabaci* (Gennadius) انجام داده‌اند. نتایج نشان داده که ثبات فیزیکی بالایی برای این فرمولاسیون در دماهای مختلف، ٤ تا ٤٠ درجه سلسیوس در طول مدت ٦٠ روز وجود دارد و نوع، کیفیت و کمّیت محتویات اسانس در طول مدت نگهداری تغییری نمی‌کند. همچنین بعد از اسپری شدن، شدت تغییرات آن جزئی و بسیار کم بوده‌است. به‌علاوه اینکه نتایج نشان داد که سرعت تبخیر بالای اسانس در این نوع فرمولاسیون در مقایسه با نمونه‌های شاهد به شدت پایین آمد و در نتیجه نانوکپسوله کردن می‌تواند یک فرمولاسیون و ابزار جدید و مناسب در کنترل آفات باشد. از آنجا که اسانس‌های گیاهی عمدتاً از طریق مکانیسم بازدارندگی تغذیه روی شاخص‌های غذایی اثرگذار هستند، بنابراین در این تحقیق کارایی نانو کپسول اسانس گیاه درمنه بر شاخص‌های تغذیه شب‌پره پشت الماسی در مقایسه با اسانس معمولی مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روشها

جمع‌آوری گیاه و خشک کردن نمونه مورد مطالعه

در اوایل فصل پاییز ۱۳۸۹در زمان گلدهی گیاه درمنه از اطراف دریاچه قم جمع‌آوری گردید. اندام‌های هوایی آن که شامل جوانه، برگ و گل بود در محل کاملاً تاریک خشک شده و داخل پاکت‌های کاغذی در فریزر و در دمای ٢٤- درجه سلسیوس نگهداری شد.

تهیه اسانس

به‌منظور تهیه اسانس، شاخه‌های چوبی گیاهان خشک شده حذف گردید و باقیمانده به کمک دستگاه خردکن به‌صورت پودر درآورده شد. در هر نوبت اسانس‌گیری ٥٠ گرم پودر گیاهی همراه با ٦٥٠ میلی‌لیتر آب مقطر به روش تقطیر با آب، به مدت ٤ ساعت، اسانس‌گیری شد. اسانس‌ها با کمک سولفات‌سدیم آبگیری شده و تا زمان استفاده در ظروف شیشه‌ای با پوشش آلومینیومی در داخل یخچال در دمای ٤ درجه سیلسیوس نگهداری شد.

تهیه فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاهی

برای تهیه فرمولاسیون نانوکپسول‌های اسانس گیاه درمنه از روش پلیمراسیون همزمان (In situ polymerization technique) به روش امولسیونی روغن در آب (O/W) استفاده شد (Rochmadi & Hasokowati, 2010). اسانس گیاه درمنه به‌عنوان هسته نانوکپسول، اوره و فرمالدیید ٣٧٪ به‌عنوان پیش پلیمرهای (U-F) دیواره نانوکپسول انتخاب شدند. در دمای ٢٥-٢٠ درجه سیلسیوس، اوره و فرمالدیید ٣٧٪ به نسبت وزنی مشخص به همراه ٣٠٠ میلی‌لیتر آب یونیزه شده به‌منظور تهیه پیش پلیمر به راکتور مجهز به همزن مکانیکی منتقل گردید، بعد از حل شدن اوره pH محیط به ٩-٨ و دما به ٦٠ تا ٦٥ درجه سیلسیوس به مدت زمان حدود ٤٥ دقیقه افزایش یافت. بعد از این‌که پیش‌پلیمر اوره فرمالدیید (U-F) آماده شد دور همزن را بالا برده و امولسی فایر ٢٪ بتدریج اضافه گردید و بعد اسانس را به‌صورت قطره قطره اضافه نموده و بعد از گذشت ٢٠ تا ٣٠ دقیقه pH محلول را با اسید سولفوریک ١٠٪ به ٣ رسانده تا دیواره پلی‌اوره فرمالدیید ذرات اسانس را دربرگیرد. بعد از گذشت ٤ ساعت که واکنش انجام شد و شکل نانوکپسول‌های تشکیل شده در بهترین حالت خود حفظ شد. پس از سرد شدن، سوسپانسیون حاوی نانوکپسول فیلتر و در نهایت نانوکپسول به روش انجمادی خشک شد. به‌منظور مشاهده سطح و شکل‌شناسی دیواره نانوکپسول‌ها از میکروسکوپ الکترون پویشی Scanning electronic microscope (SEM) (Philips XL30) و میکروسکوپ الکترونی (TEM) Transmission Electron Microscope (Philips CM120) استفاده شد. همچنین توزیع اندازه ذرات نانو کپسول توسط دستگاه laser light scattering (SEMATech) برآورده شد.

پرورش حشرات

شب‌پره پشت الماسی (*Plutella xylostella*) در دمای ١ ± ٢٧ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی٥ ± ٦٥٪، دوره نوری ١٦ ساعت روشنایی و ٨ ساعت تاریکی در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در اتاقک رشد بر روی گیاه کلزا رقم Opera پرورش داده شد.

آزمایش زیست‌سنجی

اثر اسانس نانوکپسوله و اسانس معمولی روی شاخص تغذیه شب‌پره پشت الماسی

در مرحله اول در هر تکرار ١٠ عدد لارو سن ٣ حاصل از تفریخ یک دسته تخم شب‌پره پشت الماسی مورد استفاده قرار گرفت. هر یک از شاخص‌ها در قالب طرح کاملاً

تصادفی در هفت تکرار انجام شد. دیسک‌های برگ گیاه کلزا رقم Opera پس از فرو بردن در غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ پی‌پی‌ام داخل ظروف در اختیار لارو قرار داده شد. لازم به ذکر است که در این آزمایش شاهد شامل نانوکپسول بدون اسانس و آب توین ۳٪ بود. هر روز علاوه‌بر توزین برگ داده شده در هر تکرار وزن برگ قبلی مورد تغذیه قرار گرفته، و وزن فضولات و تعداد لارو زنده مانده ثبت گردید. با تقسیم میزان برگ خورده شده بر تعداد لارو زنده مانده و با تقسیم فضولات بر جای مانده در ته ظرف بر تعداد لارو زنده، میزان تغذیه و فضولات هر لارو در هر روز تعیین گردید. وزن مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل، وزن خشک می‌باشد، که برای بدست آوردن وزن خشک، برگ‌های مورد تغذیه آفت، فضولات و لاروهای مشابه لاروهای بکار رفته در آزمایش در داخل آون ٦٥ درجه سلسیوس برای مدت ٤٨ ساعت قرار داده و وزن خشک بدست آمده بر حسب میلی‌گرم محاسبه شد. پارامترهای مورد ارزیابی از زمان ظهور لاروهای سن سوم تا پایان لارو سن چهارم به مدت ٢٤، ٤٨ و ٧٢ ساعت بعد از تغذیه مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین شاخص‌های رشد و نمو لارو شب‌پره پشت الماسی، از رابطه ارائه شده بشرح زیر استفاده شد (Huang & Ho, 1998؛ Scriber & Slansky, 1981؛ Franzke *et al*., 2010؛ Lazarevic *et al*., 2002).

الف- نرخ رشد نسبی Relative Growth Rate (RGR)

$$\mathrm{RGR} = \frac{(\mathrm{Fw} - Iw)}{(\mathrm{Iw} \times T)}$$

Final weight = Fw وزن خشک لارو در انتهای آزمایش (mg)

Iw = Initial weight وزن خشک لارو در ابتدای آزمایش (mg)

T = Time مدت زمان آزمایش

ب- نرخ مصرف نسبی Relative Consumption Rate (RCR)

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

I = Ingested food (mg) وزن خشک کل غذای خورده شده به ازای هر لارو

B = Biomass (weight gain) (mg) بیوماس لارو یا تفاوت وزن لارو در ابتدا و انتهای آزمایش

T = Time (day) مدت زمان آزمایش

ج- کارایی تبدیل غذای خورده شده Efficiency of conversion of ingested food (ECI)

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

د- کارایی تبدیل غذای هضم شده Efficiency of conversion of digested food (ECD)

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

F= Frass وزن خشک کل فضولات تولید شده توسط هر لارو در هر تکرار (mg)

ه- شاخص تقریبی هضم‌شوندگی Approximate digestibility (AD)

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

تجزیه و تحلیل آماری

قبل از تجزیه و تحلیل آماری، شاخص‌های تغذیه‌ای ECI، ECD، AD و FDI با استفاده از رابطه $\text{Arcsine}\sqrt{\frac{x}{100}}$ نرمال شدند. هر یک از شاخص‌ها در آزمون t-student مستقل که بیانگر مقایسه اثر اسانس نانوکپسوله شده با اسانس معمولی در هر غلظت می‌باشد در پنج تکرار انجام شد. برای مقایسه اثر غلظت‌های مختلف در هر تیمار بر شاخص‌های تغذیه از تجزیه واریانس یک طرفه استفاده شد و در صورت معنی‌دار شدن، میانگین‌ها توسط آزمون توکی در سطح ۵٪ مقایسه شدند. تجزیه‌های آماری توسط برنامه SPSS 16.1 و رسم شکل‌ها توسط نرم‌افزار Excel 2007 انجام گردید.

نتایج

بررسی مورفولوژی سطح نانوکپسول با میکروسکوپ الکترونی و توزیع اندازه ذرات

عکس الکترونی SEM در شکل ۱ نشان می‌دهد که نانوکپسول‌ها به‌صورت ذرات کروی شده و همان‌طور که در شکل نشان داده شده‌است سطح آنها صاف و پخش آنها منظم و یکنواخت است. عکس الکترونی TEM شکل ۲ ساختار هسته، دیواره و اندازه نانوکپسول را نشان می‌دهد. به‌طوری که میانگین توزیع اندازه ذرات نانوکپسول ۹۵/۹ نانومتر برآورده شد (شکل ۳).

تأثیر اسانس نانوکپسوله و اسانس معمولی روی نرخ رشد نسبی (RGR) لارو شب‌پره پشت الماسی

نتایج حاصل از آزمون t-student در شکل ٤ نشان می‌دهد که تأثیر اسانس نانوکپسوله شده و اسانس معمولی درمنه روی نرخ رشد نسبی لارو شب‌پره پشت الماسی در غلظت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. نرخ رشد نسبی در لارو شب‌پره پشت الماسی در نمونه‌های تیمار شده با نانوکپسول در غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام در ۲٤ ساعت و ٤۸ ساعت پس از تغذیه به‌طور معنی‌داری بیشتر از اسانس معمولی بوده و در روز سوم به بالاترین حد خود (۰/۰۰٤ ± ۱/۸۱ میلی‌گرم بر میلی‌گرم در روز) رسید. به‌علاوه اینکه در هر دو تیمار نرخ رشد نسبی در ۲٤، ٤۸ و ۷۲ ساعت پس از تغذیه با یکدیگر اختلاف داشتند. همچنین در غلظت ۲۰ پی‌پی‌ام در روز اول و دوم در اسانس نانوکپسوله اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی بین روز سوم با روزهای اول و دوم اختلاف معنی‌دار بود. این در حالیست که مقدار نرخ رشد نسبی در اسانس معمولی در روزهای اول، دوم و سوم با یکدیگر اختلاف

معنی‌دار نشان دادند. در غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام نرخ رشد نسبی در لاروهای آلوده به اسانس نانوکپسوله شده در ۲٤ و ٤۸ ساعت پس از تغذیه نسبت به اسانس معمولی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. اگرچه در ۷۲ ساعت پس از تغذیه این نرخ در لاروهای تغذیه شده با اسانس نانوکپسوله کمتر از نتایج حاصل از نرخ رشد نسبی اسانس معمولی بوده تا جایی که در غلظت۵۰ پی‌پی‌ام اسانس نانو کپسوله شده مقدار نرخ رشد نسبی در روزهای اول و دوم کم شده و به ۰/۰۰۱ ± ۰/۲۳٤ میلی‌گرم بر هر میلی‌گرم وزن لارو در روز در ۷۲ ساعت پس از تغذیه رسید با این حال این مقدار در لاروهای تیمار شده با اسانس معمولی ۰/۰۰۳ ± ۰۳٤/ میلی‌گرم بر میلی‌گرم در روز بود. به‌طور کلی نرخ رشد نسبی در تیمارهای آلوده شده به اسانس نانوکپسوله شده در غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام در کلیه ساعات بیشتر از لاروهای تیمار شده با اسانس معمولی بوده‌است، در حالی که در سایر غلظت‌ها نرخ رشد نسبی در ۲٤ و ٤۸ ساعت پس از تغذیه بیشتر از نتیجه حاصل از اسانس معمولی بود و در نهایت نرخ رشد نسبی ۷۲ ساعت پس از تغذیه با اسانس نانوکپسول شده نسبت به اسانس معمولی در لاروها کاهش یافت. از نتایج بدست‌آمده می‌توان چنین نتیجه گرفت که اسانس نانو کپسوله شده پس از ۷۲ ساعت تغذیه بر نرخ رشد نسبی لارو حشره تأثیر گذاشته و مقدار آن را بسیار کاهش می‌دهد. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که اسانس نانوکپسوله شده در غلظت بین ۳۰ تا ۵۰ پی‌پی‌ام بر نرخ رشد نسبی لارو حشره مؤثر واقع شده و رشد نسبی لارو را بعد از ۷۲ ساعت تغذیه در مقایسه با اسانس بیشتر کاهش می‌دهد. بنابراین بهترین زمان اثر بر نرخ رشد نسبی لارو حشره ۷۲ ساعت می‌باشد. همچنین در هر دو تیمار با افزایش غلظت نرخ رشد نسبی لارو حشره کاهش یافت.

تأثیر اسانس نانوکپسوله و اسانس معمولی بر میزان مصرف نسبی (RCR) لارو شب‌پره پشت الماسی

با توجه به شکل ۵ در تمامی غلظت‌ها میزان مصرف نسبی در لاروهای تیمار شده با اسانس نانوکپسوله شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از اسانس معمولی بود و در هر دو تیمار با افزایش غلظت و گذشت زمان میزان مصرف نسبی در لاروهای حشره به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین میزان مصرف نسبی لاروها در روز اول و کمترین میزان در روز سوم در هر دو تیمار مشاهده گردید.

تأثیر اسانس نانوکپسوله و اسانس معمولی بر شاخص کارایی تبدیل غذای خورده شده (ECI) لارو شب‌پره پشت الماسی

نتایج حاصل از تجزیه آماری شکل ٦ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت اسانس نانو کپسوله و اسانس معمولی کارایی تبدیل غذای خورده شده در لارو شب‌پره پشت الماسی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کارایی تبدیل غذای خورده شده از غلظت ۲۰ تا ۵۰ پی‌پی‌ام در ۲٤ و ٤۸ ساعت پس از تغذیه در لاروهای تیمار شده با اسانس نانوکپسوله شده بیشتر از اسانس معمولی بود اما پس از ۷۲ ساعت تغذیه کارایی تبدیل غذای خورده شده در لاروهای تغذیه شده از اسانس نانو کپسوله در مقایسه با اسانس معمولی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و نانوکپسول مؤثر واقع شد. بنابراین بهترین زمان اثر نانوکپسول در کاهش کارایی تبدیل غذای خورده شده در لارو شب‌پره پشت الماسی ۷۲ ساعت پس از تغذیه بود. به‌طورکلی اسانس در ساعات اولیه در کاهش کارایی تبدیل غذای خورده شده در لارو حشره مؤثر بوده‌است اما به نظر می‌رسد با گذشت زمان و کم شدن اثر اسانس معمولی کارایی تبدیل غذای خورده شده در لاروها

افزایش یابد، در حالی‌که اسانس نانو کپسوله با افزایش زمان تغذیه مؤثرتر واقع شده و کارایی تبدیل غذای خورده شده را در لارو حشره کاهش داد.

تأثیر اسانس نانوکپسوله و اسانس معمولی بر شاخص کارایی تبدیل غذای هضم شده (ECD) لارو شب‌پره پشت الماسی

براساس نتایج بدست‌آمده از شکل ۷ با افزایش غلظت در هر دو تیمار اسانس نانوکپسوله و اسانس معمولی کارایی تبدیل غذای هضم شده در لارو شب‌پره پشت الماسی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. پس از ۷۲ ساعت تغذیه کارایی تبدیل غذای خورده شده در لاروهای تغذیه شده با اسانس نانوکپسوله در مقایسه با اسانس معمولی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و نانوکپسول با گذشت زمان به‌طور معنی‌داری مؤثرتر از اسانس معمولی اثر نمود، به‌طوری که پس از ۷۲ ساعت تغذیه، کارایی تبدیل غذای هضم شده در لارو شب‌پره پشت الماسی در غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام از اسانس نانوکپسوله شده (۰/۰۰۱ ± ۰/۸۰۷٪) حدود ۵ برابر در مقایسه با اسانس معمولی (۰/۰۰۳ ± ٤/۲۳٪) کاهش بیشتری داشته‌است.

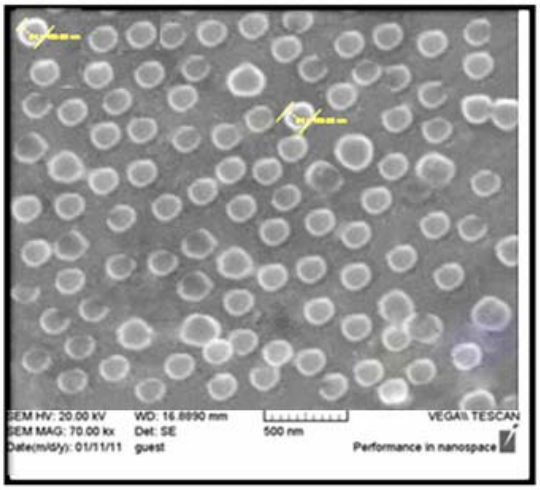
تأثیر اسانس نانوکپسوله و اسانس معمولی بر شاخص تقریبی هضم شوندگی (AD) لارو شب پره پشت الماسی

با توجه به شکل ۸ در تمامی غلظت‌ها اسانس نانوکپسوله و اسانس معمولی، شاخص تقریبی هضم‌شوندگی در لارو شب‌پره پشت الماسی را به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. همچنین با گذشت زمان شاخص تقریبی هضم‌شوندگی در لاروها کاهش یافت. نتایج بدست آمده از آزمون t-student نشان داد که اسانس نانوکپسوله شده مقدار درصد هضم‌شوندگی را در مقایسه با اسانس معمولی بیشتر کاهش داده و مؤثرتر واقع شد.

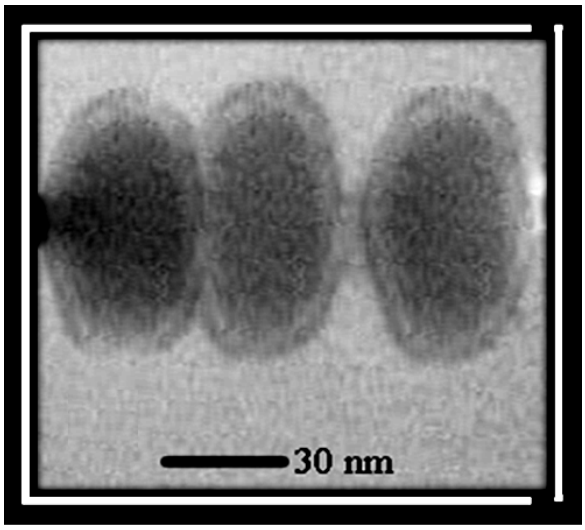
تأثیر اسانس نانوکپسوله و اسانس معمولی بر شاخص باز دارندگی تغذیه (FDI) لارو شب‌پره پشت الماسی

همان‌طور که در شکل ۹ ملاحظه می‌شود، شاخص بازدارندگی تغذیه (FDI) با افزایش غلظت اسانس نانوکپسوله و اسانس معمولی و افزایش طول زمان تغذیه به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همچنین مقدار درصد بازدارندگی تغذیه در دیسک‌های آلوده به اسانس معمولی به‌طور معنی داری بیشتر از اسانس نانوکپسوله شده بود.

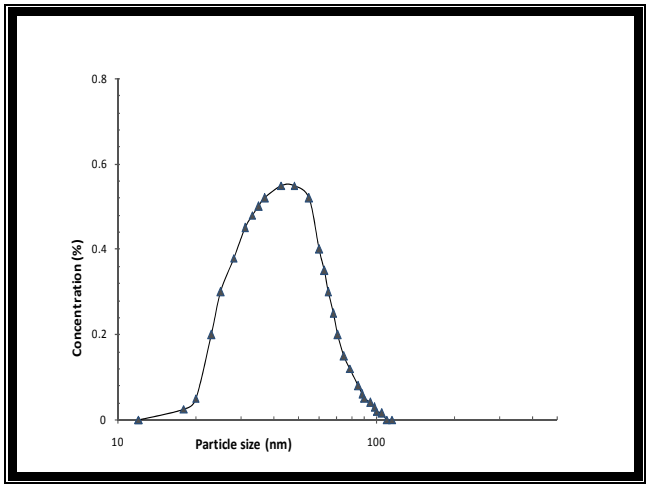
در تمام آزمایش‌ها شاهد شامل نانوکپسول بدون اسانس و آب تویین ۳٪ بود که بین آنها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و نشان داد که مواد همراه و پلیمر بکار رفته در نانو کپسول‌های اسانس تأثیر چندانی در خاصیت تغذیه‌ای حشره نداشته‌اند. به علاوه اینکه شاخص‌های تغذیه در تیمارهای اسانس نانوکپسوله شده و اسانس معمولی به‌طور معنی داری کمتر از شاهد بوده‌است (جدول ۱).



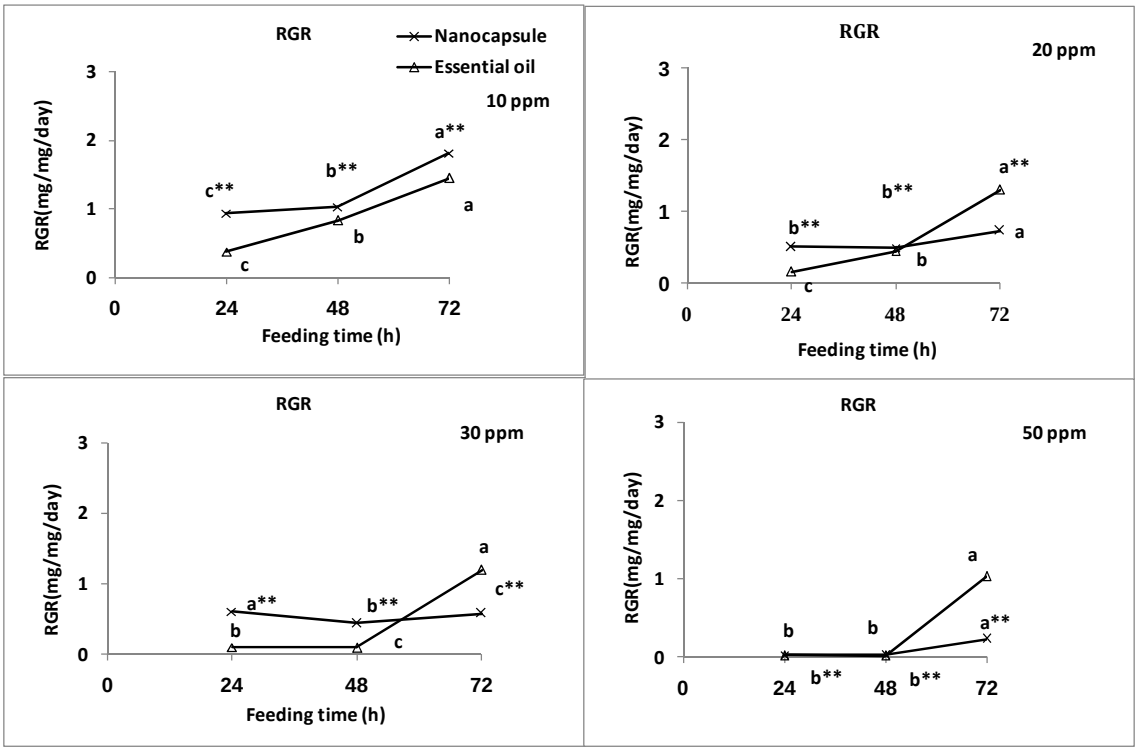
شکل ۱- عکس الکترونی SEM شکل ذرات نانوکپسول اسانس درمنه



شکل ۲- عکس الکترونی TEM ساختار هسته، دیواره و اندازه نانوکپسول اسانس درمنه



شکل ۳- توزیع ذرات اسانس نانوکپسوله شده درمنه

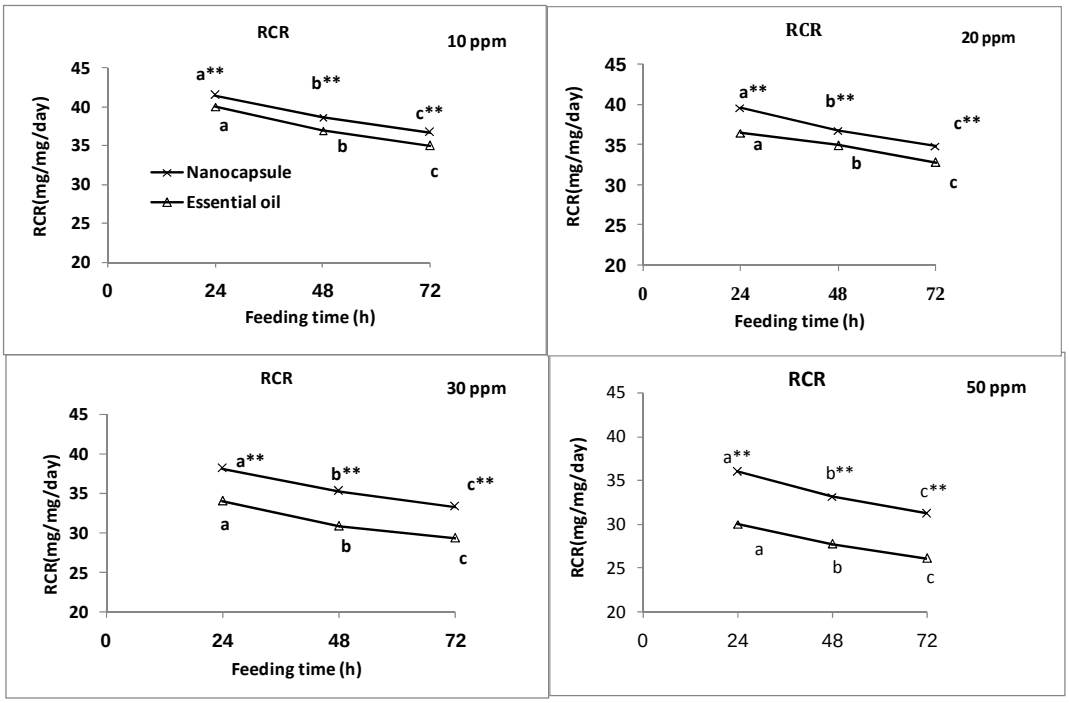


شکل ٤- اثر اسانس نانوکپسوله شده و اسانس معمولی درمنه روی میزان رشد نسبی (RGR) لارو سن ۳ شب‌پره پشت الماسی در ٢٤، ٤٨ و ٧٢ ساعت پس از تغذیه

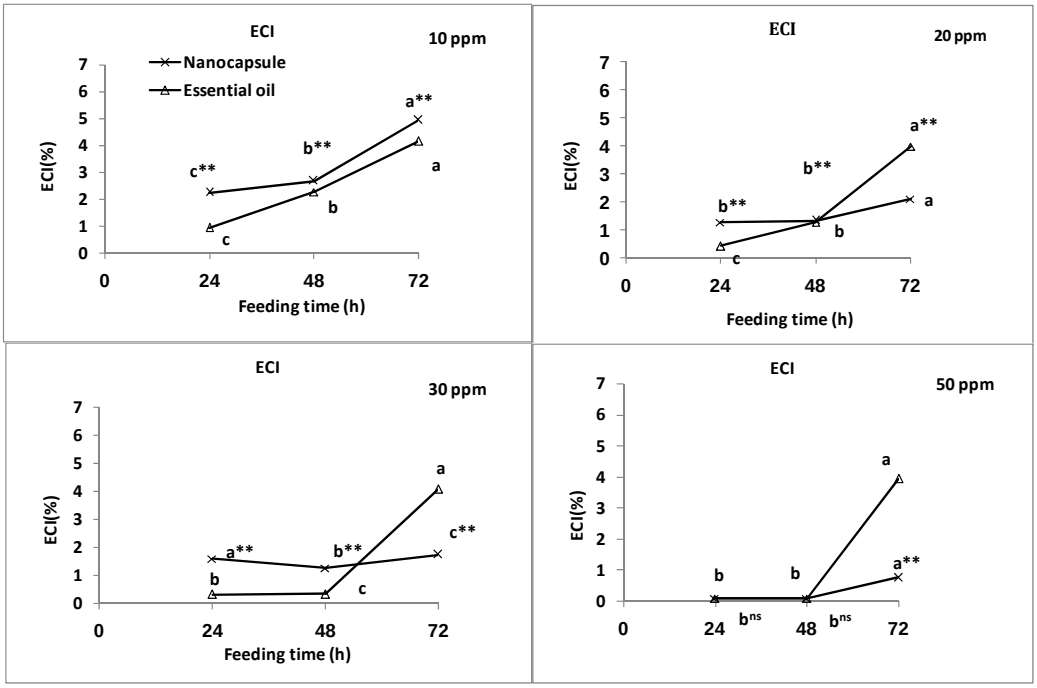
**: بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ٪ براساس آزمون t-student مستقل برای مقایسه اثر اسانس و اسانس نانوکپسوله

ns: بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون t-student مستقل بین اسانس و اسانس نانوکپسوله

میانگین‌های با حروف غیرمشترک بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.



شکل ۵- اثر اسانس نانوکپسوله شده و اسانس معمولی درمنه روی میزان مصرف نسبی (RCR) لارو سن ۳ شب‌پره پشت الماسی در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از تغذیه

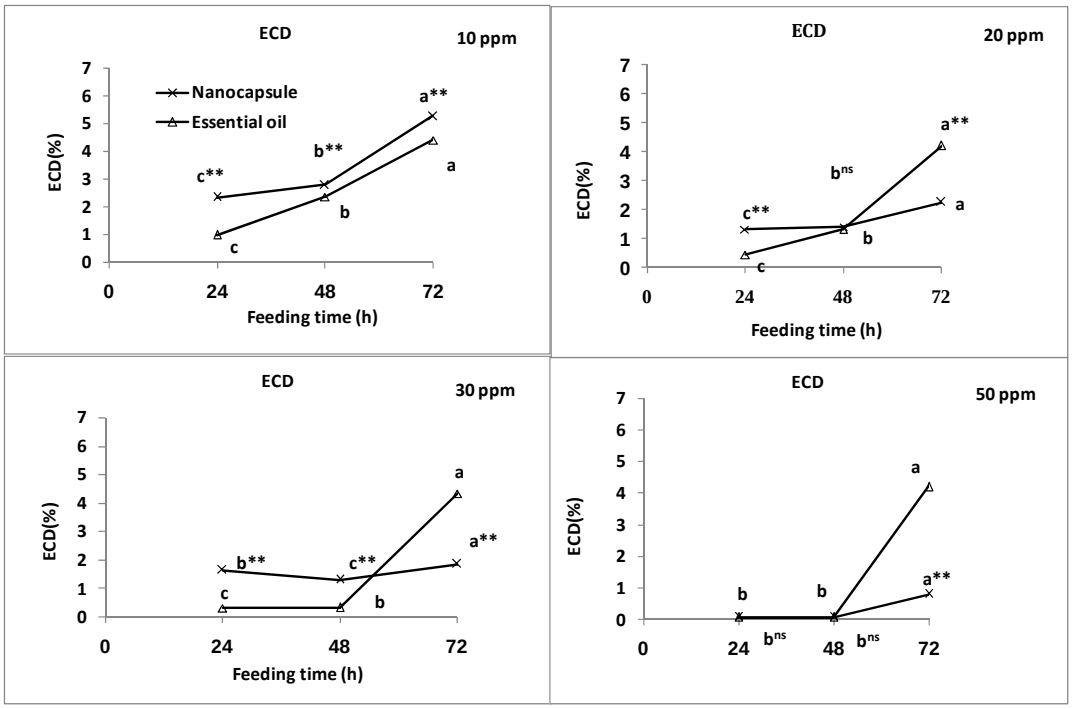


شکل ٦- اثر اسانس نانوکپسوله شده و اسانس معمولی درمنه روی کارایی تبدیل غذای خورده شده (ECI) لارو سن ۳ شب‌پره پشت الماسی در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از تغذیه

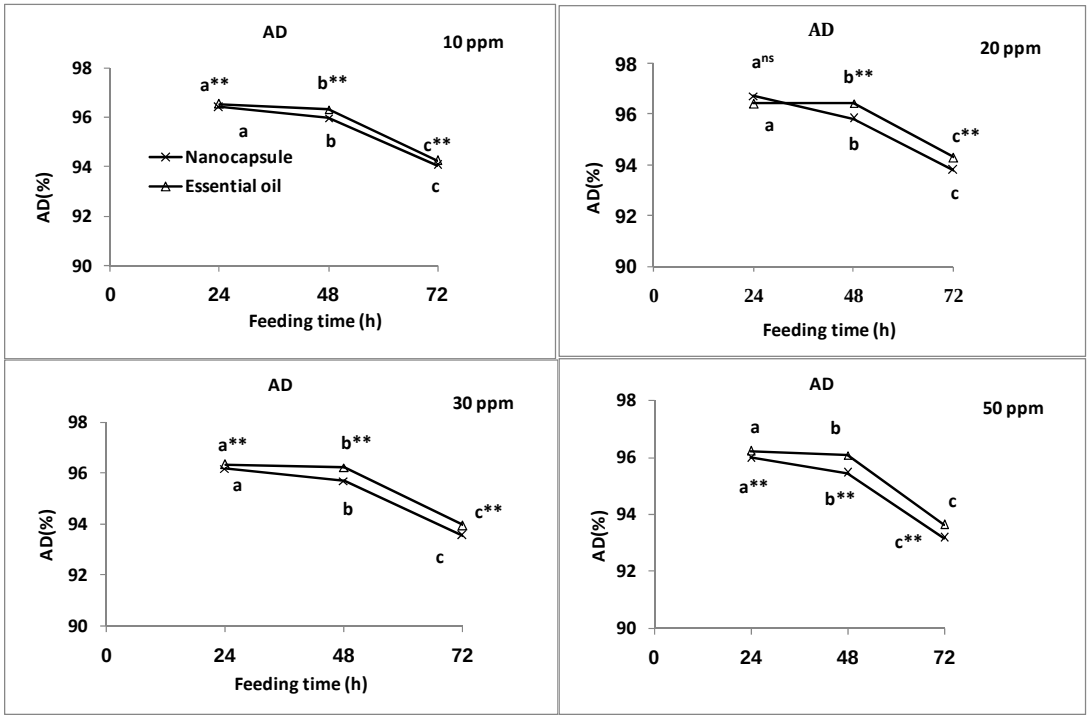
**: بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ براساس آزمون t-student مستقل برای مقایسه اثر اسانس و اسانس نانوکپسوله

ns: بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون t-student مستقل بین اسانس و اسانس نانوکپسوله

میانگین‌های با حروف غیرمشترک بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.



شکل ۷- اثر اسانس نانوکپسوله شده و اسانس معمولی درمنه روی شاخص کارایی تبدیل غذای هضم شده (ECD) لارو سن ۳ شب‌پره پشت الماسی در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از تغذیه

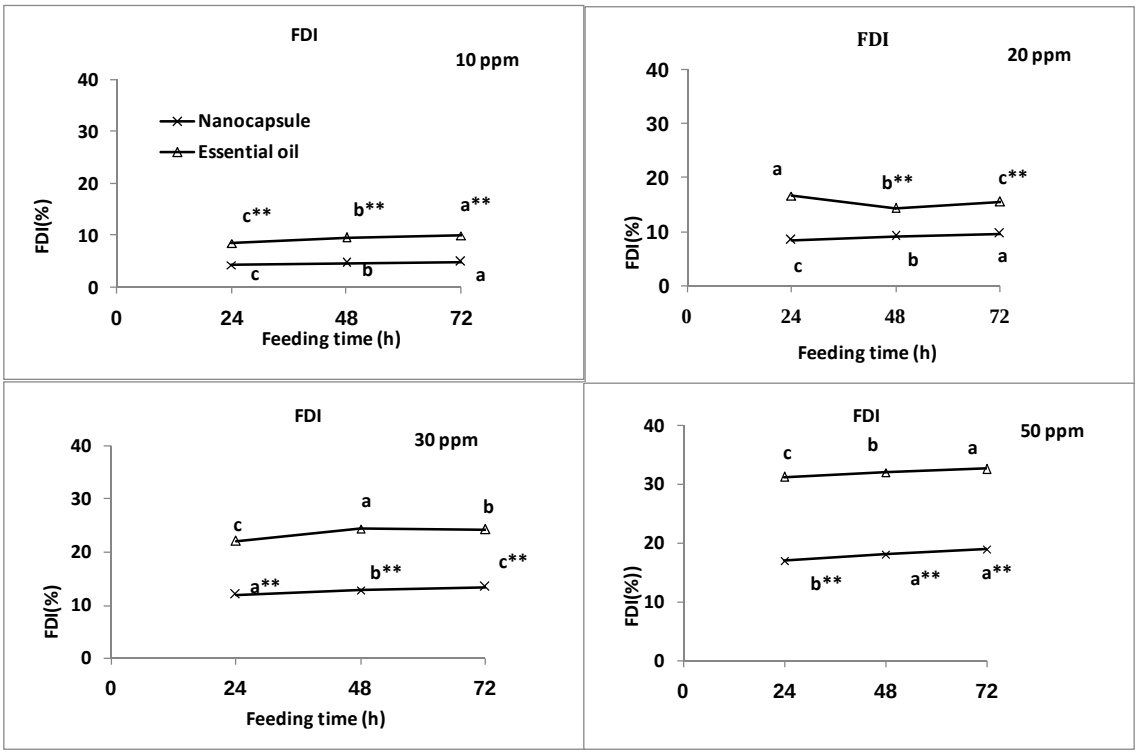


شکل ۸- اثر اسانس نانوکپسوله شده و اسانس معمولی درمنه روی شاخص تقریبی هضم‌شوندگی (AD) لارو سن ۳ شب‌پره پشت الماسی در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت پس از تغذیه

**: بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ براساس آزمون t-student مستقل برای مقایسه اثر اسانس و اسانس نانوکپسوله

ns: بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون t-student مستقل بین اسانس و اسانس نانوکپسوله

میانگین‌های با حروف غیرمشترک بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.



شکل ۹- اثر اسانس نانوکپسوله شده و اسانس معمولی درمنه روی شاخص بازدارندگی تغذیه (FDI) لارو سن ۳ شب‌پره پشت الماسی در ۲٤، ٤۸ و ۷۲ ساعت پس از تغذیه

**: بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ براساس آزمون t-student مستقل برای مقایسه اثر اسانس و اسانس نانوکپسوله

ns: بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار براساس آزمون t-student مستقل بین اسانس و اسانس نانوکپسوله

میانگین‌های با حروف غیرمشترک بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

جدول ۱- میانگین (± خطای معیار) اسانس نانوکپسوله شده، اسانس معمولی، نانوکپسول خالی و آب + توین روی شاخص‌های تغذیه‌ای لارو سن ۳ شب‌پره پشت الماسی ۷۲ ساعت پس از تغذیه

تیمار ۱	میانگین (± خطای معیار)۲، ۳				
	RGR (mg/mg/day)	RCR (mg/mg/day)	ECI (%)	ECD (%)	AD (%)
نانوکپسول بدون اسانس	۲/۰۹ ± ۰/۰۰۵ a	۳۸/۵٦ ± ۰/۰۹ a	۵/٤۲ ± ۰/۰۰۸ a	۵/۷۵ ± ۰/۰۰۹ a	۹٤/۳۳ ± ۰/۰۰۷ a
آب توین ۳٪	۲/۰۹ ± ۰/۰۰٦ a	۳۸/۵۲ ± ۰/۰۸ a	۵/۲۲ ± ۰/۳۱ a	۵/۵٤ ± ۰/۲۱ a	۹٤/۳٦ ± ۰/۰۰٦ a
اسانس نانوکپسوله	۰/۲۷۸ ± ۰/۰٤۳ c	۳۱/٤٦ ± ۰/۲٦ c	۰/۸۷ ± ۰/۱۲ c	۰/۹٤ ± ۰/۳۸ c	۹۳/۲۲ ± ۰/۰٤۹ c
اسانس معمولی	۱/۰۳ ± ۰/۰۰۳ b	۲٦/۱۷ ± ۰/۰۱۵ b	۳/۹٦ ± ۰/۰۲۳ b	٤/۲۳ ± ۰/۰۲ b	۹۳/٦۲ ± ۰/۰۰٤ b

۱- غلظت اسانس معمولی و اسانس نانوکپسوله شده ۵۰ppm بوده‌است.

۲- میانگین‌های با حروف غیرمشترک بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

۳- RGR میزان رشد نسبی، RCR: میزان مصرف نسبی، ECI: کارایی تبدیل غذای خورده شده، ECD: کارایی تبدیل غذای هضم شده و AD: شاخص تقریبی هضم‌شوندگی لارو سن سوم شب‌پره پشت الماسی

جدول ۲- میانگین (± خطای معیار) تفاوت وزن (B)، میزان غذای خورده شده (I) و میزان فضولات تولید شده (F) توسط لارو سن ۳ شب‌پره پشت الماسی در غلظت‌های مختلف اسانس نانوکپسوله شده و اسانس خالص درمنه ۷۲ ساعت پس از تغذیه

شاخص تغذیه	غلظت (ppm)	(Mean ± SE)/ larva (mg)1		t-student2 (df=12)	P-value
		۱ اسانس خالص	۱ اسانس نانوکپسوله		
B	۰	۱/۱۱۷ ± ۰/۰۰۷ a	۱/۱۱۷ ± ۰/۰۰۷ a	۰/۰۳۹ (۱۲)	۰/۹۷۰
	۱۰	۰/۷٦۹ ± ۰/۰۰٤ b	۰/۹٦۷ ± ۰/۰۰۵ b	۲۵۹/۱۰٦ (۱۲)	۰/۰۰۰
	۲۰	۰/٦۹۰ ± ۰/۰۰۳ c	۰/۳۹۱ ± ۰/۰۰۱ c	۲۲۳/۷۳۹ (۱۲)	۰/۰۰۰
	۳۰	۰/٦۳۵±۰/۰۰۹ d	۰/۳۰۹ ± ۰/۰۰۱ d	۲۷۲/۲٤۹ (۱۲)	۰/۰۰۰
	۵۰	۰/۵٤۷ ± ۰/۰۰۲ e	۰/۱۲۵ ± ۰/۰۰٤ e	۲۰٤/۲٦۲ (۱۲)	۰/۰۰۰
I	۰	۲۰/۵۷ ± ۰/۰۲ a	۲۰/۵۷ ± ۰/۰۲ a	۰/۰٤۲(۱۲)	۰/۹۷۰
	۱۰	۱۸/۵۲ ± ۰/۰۰۲ b	۱۹/۵٦ ± ۰/۰۰۳ b	۲۳۲/٦٦۵ (۱۲)	۰/۰۰۰
	۲۰	۱۷/۳٦۳ ± ۰/۰۰۱ c	۱۸/٦۷ ± ۰/۰۰۹ c	۳/۷۰۵ (۱۲)	۰/۰۰۰
	۳۰	۱۵/۵۷ ± ۰/۰۰۱ d	۱۷/۸۱ ± ۰/۰۱ d	۱۵۱/۹۷٤ (۱۲)	۰/۰۰۰
	۵۰	۱۳/۸۵ ± ۰/۰۰۱ e	۱٦/٦۷ ± ۰/۰٦ e	٤٤/۷۷ (۱۲)	۰/۰۰۰
F	۰	۱/۱٦۵ ± ۰/۰۰۱ a	۱/۱٦۵±۰/۰۰۱a	۰/۸۱٦ (۱۲)	۰/٤۳۰
	۱۰	۱/۰۹۳ ± ۰/۰۰۱ b	۱/۱٦٤±۰/۰۰۱b	۳/۱۸۵ (۱۲)	۰/۰۰۰
	۲۰	۰/۹۹۰ ± ۰/۰۰۱ c	۱/۱۵۲±۰/۰۰۱c	٦/۳۰ (۱۲)	۰/۰۰۰
	۳۰	۰/۹۳۰ ± ۰/۰۰۱ d	۱/۱٤٦±۰/۰۰۱d	۷/٤۰۹ (۱۲)	۰/۰۰۰
	۵۰	۰/۸۳۵ ± ۰/۰۰۱ e	۱/۳٦۵±۰/۰۰۱e	۱/۰۱٤(۱۲)	۰/۰۰۰

۱- حروف غیرمشابه در هر ستون براساس آزمون توکی در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری دارند.

۲- آزمون t-student مستقل بیانگر مقایسه اثر اسانس درمنه قبل و بعد از نانوکپسول شدن در هر غلظت در هر شاخص تغذیه‌ای می‌باشد.

بحث

در این تحقیق اسانس درمنه نانوکپسوله شده و میانگین توزیع اندازه ذرات نانوکپسول ۹۵/۹ نانومتر توسط دستگاه laser light scattering (SEMATech) برآورده شد. سپس برای مقایسه اثرهای ضدتغذیه‌ای اسانس نانوکپسوله شده و اسانس معمولی گیاه درمنه بر شاخص‌های تغذیه شب‌پره پشت الماسی از پارامترهایی به‌نام شاخص‌های تغذیه استفاده گردید. در ضمن از روش انتخاب غیرآزاد که در آن حشره وادار به تغذیه از غذایی که آغشته به غلظت‌های مختلف از اسانس نانوکپسوله شده و اسانس معمولی بودند، گردید. بنابراین در طول این آزمایش‌ها چند عامل مهم می‌توانست اندازه‌گیری شود. یکی از این پارامترها کاهش وزن حشره نسبت به شاهد در مدت زمان مشخص است که در این آزمایش، این پارامتر با شاخصی به نام نرخ رشد نسبی (RGR) اندازه‌گیری و بیان شد. در این تحقیق کمترین نرخ رشد نسبی مربوط به لاروهای تغذیه کرده از دیسک‌های برگی آغشته به اسانس نانوکپسوله شده در غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام پس از ۷۲ ساعت تغذیه دیده شد. پارامتر مهم دیگر

میزان غذای خورده شده‌است که حشره به ناچار در مقایسه با شاهد از خوردن غذایی که در اختیارش گذاشته شده اجتناب کرده یا کمتر مصرف می‌کند که نرخ مصرف نسبی (RCR) برای اندازه‌گیری سرعت بهره‌برداری حشره از غذا بکار می‌رود. در آزمایشهای حاضر بیشترین نرخ مصرف نسبی لاروها در برگ‌های آلوده به اسانس نانوکپسوله شده بود. یکی از مهمترین شاخص‌ها کارایی تبدیل غذای خورده شده (ECI) است که قابلیت استفاده از غذایی است که برای رشد مورد تغذیه واقع می‌شود (Koul *et al*., 2004). نتایج نشان داد که کمترین کارایی تبدیل غذای خورده در لاروهای‌های تیمار شده با اسانس نانوکپسوله شده بوده و با گذشت زمان کارایی تبدیل غذای خورده را در حشره بیشتر کاهش داد. شاخص مهم دیگر کارایی تبدیل غذای هضم شده‌است که مشخص‌کننده بخشی از غذای جذب شده بوده که در واقع تبدیل به بیوماس حشره می‌شود. طی بررسی‌های انجام شده مشخص گردید که کمترین کارایی تبدیل غذای هضم شده در لاروهای تغذیه شده با اسانس نانوکپسوله شده بوده‌است. قابلیت هضم‌شوندگی (AD) معمولاً نشان‌دهنده‌ی جذب غذا از دیواره معده حشره است که این شاخص برای تخمین سهولت جذب غذا در بدن حشره بکار می‌رود. مطالعات نشان داد که غذای آلوده به نانوکپسول اسانس دارای کمترین قابلیت هضم‌شوندگی در لارو شب‌پره پشت الماسی بود. اما برای مشخص شدن اجتناب حشره از تغذیه از شاخص بازدارندگی تغذیه (FDI) استفاده شد. در این آزمایش مشاهده گردید که اسانس معمولی دارای بیشترین درصد بازدارندگی تغذیه در لارو حشره می‌باشند. برای پاسخ به مکانیسم اثر کاهش این شاخص‌ها در لاروهای تیمار شده با اسانس نانوکپسوله شده، درصورتی‌که به اختلافات ایجاد شده در نرخ مصرف نسبی و شاخص بازدارندگی تغذیه توجه شود مشخص می‌شود که حشره بیشتر از اسانس نانوکپسوله شده تغذیه کرده که این به دلیل درصد بازدارندگی تغذیه کمتر نانوکپسول در مقایسه با اسانس بوده است. هر چند مقدار نرخ مصرف نسبی در اسانس نانوکپسوله شده نسبت به اسانس معمولی بیشتر شده است، اما مقدار نرخ مصرف نسبی آن در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری کمتر شده‌است. همچنین با وجود این که لاروهای حشره از غذاهای آغشته به اسانس نانوکپسول شده بیشتر تغذیه کرده است اما پس از سه روز نرخ رشد نسبی، کارایی تبدیل غذای خورده شده، کارایی تبدیل غذای هضم شده و درصد هضم‌شوندگی در حشره کاهش می‌یابد. از نتایج حاصل می‌توان چنین استنباط نمود که کاهش نرخ رشد نسبی در لاروهای تغذیه کرده از اسانس معمولی به‌دلیل گرسنگی لارو در اثر خاصیت بازدارندگی تغذیه‌ای اسانس است، ولی در مورد اسانس نانوکپسوله این کاهش بیشتر در اثر سمّیت گوارشی پس از تغذیه‌ای می‌تواند باشد. مطالعات نشان داد که کمترین درصد هضم‌شوندگی در لاروهای تغذیه شده از اسانس نانوکپسول شده بوده‌است. البته با آن که میزان تغذیه لارو در آنها بیشتر می‌باشد اما میزان بیشتر تولید فضولات (جدول ۲) باعث پایین آمدن شاخص تقریبی هضم‌شوندگی لاروهای تغذیه کرده از اسانس نانوکپسوله شده نسبت به اسانس معمولی شده‌است. البته در بعضی موارد ترکیب‌های غذایی نامطلوب که مواد مورد نیاز بدن حشره را برای رشد تأمین نمی‌کنند در صورتی که اثر بازدارندگی نداشته باشند، دارای نرخ مصرف نسبی نسبتاً بالایی هستند. اما نرخ رشد نسبی، کارایی تبدیل غذای خورده شده، کارایی تبدیل غذای هضم شده و شاخص هضم‌شوندگی در آنها پایین است. همچنین این غذاها دارای ترکیب‌های کاهنده هضم‌شوندگی هستند (Cohen, 2001؛

Srinivasan & Uthamasamy, 2005). از طرف دیگر، با توجه به آزمایشهای قبلی انجام شده، به‌دلیل بالا بودن اثر بازدارندگی تغذیه در اسانس معمولی (نگهبان و محرمی‌پور، ۱۳۸٦؛ صحاف و محرمی‌پور، ۱۳۸۷) امکان بررسی و اثبات سمّیت پس از تغذیه‌ای اسانس مقدور نبود، اما با استفاده از نانوکپسوله کردن اسانس اثر بالای سمّیت پس از تغذیه‌ای اسانس به اثبات رسید. به عبارت دیگر سمّیت پس از تغذیه‌ای اسانس با نانوکپسوله شدن بیشتر شده‌است. بنابراین یکی از دلایل اثرهای سینرژیستی نانوکپسول اسانس می‌تواند این گونه توجیه شود.

از آن‌جا که در اسانس درمنه (*A. sieberi*) ترکیب‌های Camphor، Camphene، 1,8-Cineol، β-Thujone و α–Pinene به‌ترتیب با ٥٤/۷ و ۱۱/۷، ۹/۹، ٥/٦ و ۲/٥ درصد بیشترین حجم اسانس را به خود اختصاص داده‌اند (نگهبان و محرمی‌پور، ۱۳۸۵؛ Negahban *et al.*, 2006a,b؛ Negahban *et al.*, 2007). بنابراین اثر سمّیت تنفسی، ضدتغذیه‌ای و دورکنندگی اسانس را می‌توان عمدتاً به ترکیب‌های فوق نسبت داد. در مورد شاخص‌های تغذیه‌ای شب‌پره پشت الماسی تحقیقات متعددی انجام شده‌است اما باوجوداین تاکنون مطالعاتی روی اثر اسانس بر شاخص‌های تغذیه‌ای این حشره انجام نشده‌است. به‌عنوان مثال Li و همکاران (۲۰۰۰) اثر غلظت‌های مختلف گلوکوزینولات را روی شاخص‌های تغذیه‌ای شب‌پره پشت الماسی مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفته‌اند که غلظت‌های بالاتر میزان RGR را کاهش می‌دهد. همچنین Reddy و همکاران (۲۰۰٤b) اثر گاز دی‌اکسیدکربن و انواع گیاهان خانواده کلمیان را روی نرخ رشد شب‌پره پشت الماسی مطالعه کرده و نتیجه گرفته‌اند که گاز CO_2 بر نرخ رشد نسبی (RGR) مؤثر است. به‌طور کلی آزمایش‌های متعددی روی اثر اسانس‌های گیاهی بر شاخص‌های تغذیه آفات انباری انجام شده‌است. تحقیقات نشان می‌دهد که اسانس‌های گیاهی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش بازدارندگی تغذیه (FDI) می‌شوند اما با افزایش غلظت اسانس‌ها تغییر چندانی بر کارایی تبدیل غذای خورده شده حاصل نمی‌شود (نگهبان و محرمی‌پور، ۱۳۸٦؛ صحاف و محرمی‌پور، ۱۳۸۷؛ Liu & Ho, 1999)، درحالی که اسانس نانوکپسوله علاوه بر FDI شاخص ECI را نیز به‌طور مؤثری کاهش داده‌است.

براساس یافته‌های این پژوهش لازم است آزمایش‌های دیگری انجام شود تا مکانیسم اثر سمّیت گوارشی اسانس مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور باید اسانس را به حشره خوراند، به‌نحوی که ماهیتش تغییر نکند و برای حشره قابل تغذیه باشد که نانو کپسوله کردن اسانس این مشکل را می‌تواند حل نماید و پتانسیل اسانس را در سمّیت پس از تغذیه‌ای افزایش دهد.

منابع مورد استفاده

- صحاف، ب.ز. و محرمی‌پور، س.، ۱۳۸۷. بررسی مقایسه‌ای بازدارندگی اسانس گیاه زنیان (*Carum copticum* C. B. Clarke) و هنده بید (*Vitex pseudo-negundo* (Hausskn.) Hand.-Mzt.) در رفتار تغذیه‌ای شپشه آرد *Tribolium castaneum* (Herbst). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲٤(٤): ۳۹٥–۳۸٥.
- نگهبان، م. و محرمی‌پور، س.، ۱۳۸٥. اثر دورکنندگی و دوام اسانس *Artemisia sieberi* Besser روی سه گونه آفت انباری. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۲(٤): ۳۰۲–۲۹۳.
- نگهبان، م. و محرمی‌پور، س.، ۱۳۸٦. کارایی اسانس دو گونه درمنه (*Artemisia sieberi* Besser و *Artemisia scoparia* Waldst. & Kit) بر شاخصهای تغذیه شپشه آرد *Tribolium castaneum* (Col.: Tenebrionidae). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۳(۱): ۲۲–۱۳.

- Cohen, R.W., 2001. Diet balancing in the cockroach *Rhyparobia madera:* does serotonin regulate this behavior?. Journal of Insect Behavior, 14(1): 99-111.
- Franzke, A., Unsicker, S.B., Specht, J., Kohler, G.U. and Weisser, W.W., 2010. Being a generalist herbivore in a diverse world: how do diets from different grasslands influence food plant selection and fitness of the grasshopper *Chorthippus parallelus*?. Ecological Entomology, 35(2): 126-138.
- Huang, Y. and Ho, S.H., 1998. Toxicity and antifeedant activity of cinnamaldehyde against the grain storage insect, *Tribolium castaneum* and *Sitophilus zeamais*. Journal of Stored Products Research, 34: 11-17.
- Keita, S.M., Vincent, C., Schmit, J.P., Ramaswamy, S. and Belanger, A., 2000. Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). Journal of Stored Products Research, 36(4): 355-364.
- Koul, O., Singh, G., Singh, R., Singh, J., Daniewski, W.M. and Berlozecki, S., 2004. Bioefficacy and mode of action of some limonoids of salannin group from *Azadirachta indica* and their role in a multicomponent system against lepidopteran larvae. Journal of Bioscience, 29(4): 409-416.
- Lazarevic, J., Peric-Matarugal, V., Stojkovic, B. and Tucic, N., 2002. Adaptation of the gypsy moth to an unsuitable host plant. Entomologia Experimentalis et Applicata, 102: 75-86.
- 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.
- Li, Q., Eigenbrode, S.D., Stringam, G.R. and Thiagarajah, M.R., 2000. Feeding and growth of *Plutella xylostella* and *Spodoptera eridania* on *Brassica juncea* with varying glucosinolate concentrations and myrosinase activities. Journal of Chemical Ecology, 26(10): 2401-2419.
- Liu, Z.L. and Ho, S.H., 1999. Bioactivity of the essential oil extracted from *Evodia rutaecarpa* Hook f. et Thomas against the grain storage insects, *Sitophilus zeamais* Motsch. and *Tribolium castaneum* (Herbst). Journal of Stored Products Research, 35(4): 317-328.
- 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(2): 1-11.
- 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(4): 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(2): 123-128.
- Negahban, M., Moharramipour, S. and Yousefelahi, M., 2004. Efficacy 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, Shahrekord, Iran. 8-10 September: 53.
- Papachristos, D.P. and Stamopoulos, D.C., 2002. Toxicity of vapors of three essential oils to the immature stages of *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). Journal of Stored Products Research, 38(4): 365-373.
- Reddy, G.V.P., Tabone, E. and Smith, M.T., 2004a. Mediation of host selection and oviposition behavior in the diamondback moth *Plutella xylostella* and its predator *Chrysoperla carnea* by chemical cues from oil crops. Biological Control, 29: 270-277.
- Reddy, G.V.P., Tossavainen, P., Nerg, A.M. and Holopainen, J.K., 2004b. Elevated atmospheric Co_2 affects the chemical quality of Brassica plants and the growth rate of the specialist, *Plutella xylostella*, but not the generalist, *Spodoptera littoralis*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52(13): 4185-4191.
- Rochmadi, P.A. and Hasokowati, W., 2010. Mechanism of microencapsulation with urea-formaldehyde polymer. American Journal of Applied Sciences, 7(6): 739-745.
- Scriber, J.M. and Slansky Jr, F., 1981. The nutritional ecology of immature insects. Annual Review of Entomology, 26: 183-211.
- Srinivasan, R. and Uthamasamy, S., 2005. Studies to elucidate antibiosis resistance in selected tomato accessions against fruitworm, *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae). Resistance Pest Management Newsletter. 14(2): 24-25.
- Yi, C.G., Kwonb, M., Hieua, T.T., Janga, Y.S. and Ahna, Y.J., 2007. Fumigant toxicity of plant essential oil to *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and *Cotesia glomerata* (Hymenoptera: Bracinidae). Journal of Asia-Pacific Entomology, 10(2): 157-163.

Efficiency of nanoencapsulated essential oil of *Artemisia sieberi* Besser on nutritional indices of *Plutella xylostella*

M. Negahban[1], S. Moharramipour[2*], M. Zandi[3] and S.A. Hashemi[4]

1- Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2*- Corresponding author, Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
E-mail: moharami@ modares.ac.ir
3- Department of Biomaterials, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran
4- Department of Novel Drug Delivery System, Iran Polymer and Petrochemical Institute, Tehran, Iran

Received: November 2011 Revised: December 2011 Accepted: December 2011

Abstract

Controlled release by nanoencapsulated formulations allow the essential oil to be used more effectively over a given time interval, suitability to mode of application and minimization of environmental damage. In this work, efficiency of nanoencapsulated essential oil of *Artemisia sieberi* Besser was tested on nutritional indices of *Plutella xylostella* L. Several experiments were designed to measure the indices such as Relative Growth Rate (RGR), Relative Consumption Rate (RCR), Efficiency of Conversion of Ingested food (ECI), Efficiency of Conversion of Digested food (ECD), Approximate Digestibility (AD) and Feeding Deterrent Index (FDI). Treatments were evaluated by the method of leaf disk bioassay at 25 °C, 65±5% RH, and a photoperiod of 16:8 h (Light: Dark). Ten third-instar larvae were introduced into each treatment containing different concentrations of the essential oil. Then, ingested food and weight gained were measured after 24, 48 and 72 h intervals. Results showed that nanocapsule of *A. sieberi* oil was highly effective compared to control (*A. sieberi* oil), and significantly decreased the RGR ECI, ECD and AD. Moreover, findings indicated a post-ingestive toxicity of the essential oil using the nanoencapsulated formulation. As a result, this nanoencapsulated essential oil tested merits further study as potential insecticide for the control of *P. xylostella*.

Key words: plant-product formulation, nanocapsule, essential oil, nutritional indices, *Plutella xylostella*.