

تأثیر فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس *Thymus daenensis* Celak. روی فراسنجه‌های جدول زندگی شته مومی کلم (*Brevicoryne brassicae* L.) (Hem.: Aphididae)

مسعود حیدری^۱، شهریار جعفری^{۱*}، جواد کریم‌زاده اصفهانی^۲، مریم نگهبان^۳ و جهانشیر شاکرمی^۱
۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، ۲- بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران، ۳- بخش تحقیقات آفت‌کش‌ها، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۲۲

چکیده

اسانس‌های گیاهی متابولیت‌های ثانویه هستند که از گیاهان در برابر طیف وسیعی از بندپایان و عوامل بیماری‌زای گیاهی محافظت می‌کنند. کپسوله کردن اسانس‌های گیاهی می‌تواند باعث افزایش پایداری و اثربخشی این ترکیبات برای مقابله با آفات شود. در مطالعه حاضر، اسانس آویشن‌دناپی، *Thymus daenensis* Celak. (Lamiales: Lamiaceae)، از طریق روش تقطیر با آب جداسازی شده و سپس، نانوکپسول اوره-فرمالدئید اسانس آن با استفاده از روش پلیمریزاسیون درجا تهیه شد. به‌علاوه، تأثیر غلظت زیرکشنده ۲۵ درصد (LC₂₅) فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس آویشن‌دناپی به روش غوطه‌ور کردن برگ روی فراسنجه‌های جدول زندگی شته مومی کلم، (*Brevicoryne brassicae* L. (Hem.: Aphididae)، در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) در تیمارهای فرمولاسیون نانوکپسول، فرمولاسیون خالص، شاهد ۱ (آب مقطر به همراه Tween 80 (۰/۵ درصد)) و شاهد ۲ (آب مقطر) به ترتیب برابر با ۰/۱۶، ۰/۲۱، ۰/۲۹ و ۰/۲۹ بر روز بود. مقدار نرخ منتهای افزایش جمعیت (λ) نیز در شته‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانوکپسول (۱/۱۷ بر روز) به‌طور معنی‌داری کمتر از شته‌های تیمار شده با فرمولاسیون خالص (۱/۲۴) و گروه‌های شاهد ۱ (۱/۳۴) و شاهد ۲ (۱/۳۳) بود. هم-چنین، نرخ خالص تولید مثل (R_0) به ترتیب در شته‌های تیمار شده با فرمولاسیون‌های نانوکپسول و خالص برابر ۵/۲۴ و ۹/۸۴ پوره به ازای هر ماده بود که به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای شاهد بود. بیشترین و کمترین مقدار زمان یک نسل (T) به ترتیب در تیمارهای شاهد ۲ (۱۱/۲۵ روز) و فرمولاسیون نانوکپسول (۱۰/۳۲ روز) مشاهده شد. بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر، فرمولاسیون نانوکپسول اسانس آویشن‌دناپی برای استفاده در مدیریت تلفیقی شته مومی کلم پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات، پلیمریزاسیون، اثرات زیرکشنده، حشره‌کش گیاهی، نرخ ذاتی افزایش جمعیت

مقدمه

که چهار گونه آن از جمله آویشن دناپی *Thymus daenensis* Celak. بومی ایران می‌باشند. آویشن دناپی، گیاهی یک‌ساله با ارتفاع ۶ تا ۳۰ سانتی‌متر و برگ‌های کشیده است که در بسیاری از قسمت‌های ایران یافت می‌شود (Zarshenas and Krenn, 2015). اسانس‌ها، متابولیت‌های ثانویه گیاهی با وزن مولکولی کم، فرار و معطر می‌باشند (Koul et al., 2008). این ترکیب‌ها به عنوان آفت‌کش‌هایی موثر، جایگزینی مناسب برای آفت‌کش‌های شیمیایی به‌شمار می‌روند (Batish et al., 2008). نحوه اثر چندگانه (حشره‌کش، دورکننده، ضد تغذیه، بازدارنده تخم‌گذاری و تنظیم‌کننده رشد) سبب مقاومت کمتر حشرات در برابر این ترکیب‌ها نسبت به آفت‌کش‌های شیمیایی شده است (Cloyd et al., 2009). با وجود ویژگی‌های امیدبخش اسانس‌ها، فراریت و حلالیت ضعیف آن‌ها، استفاده از این ترکیبات را در مزارع و گلخانه‌ها با مشکل رو به رو کرده است (Isman, 2006; Isman et al., 2010). فرموله کردن اسانس‌ها در مقیاس نانو می‌تواند سبب جلوگیری از تجزیه شیمیایی در اثر فاکتورهای محیطی و پایداری بیشتر این ترکیبات شود. علاوه بر این، کپسوله کردن اسانس‌ها می‌تواند افزایش کارایی فرمولاسیون را به‌علت رهایش کنترل‌شده و جذب بهتر سلولی این ترکیبات فعال زیستی را به‌همراه داشته باشد (Ziaee et al., 2014; Werdin Gonzalez et al., 2014).

به‌دنبال کاربرد حشره‌کش‌ها در مزارع، آفات تحت تاثیر غلظت‌های متفاوتی از حشره‌کش‌ها قرار می‌گیرند که چنین غلظت‌هایی نتایج اکولوژیکی و بیولوژیکی متنوعی را به همراه خواهد داشت (Stark and Banks, 2003; Zhao et al., 2018). علاوه بر سمیت کشندگی آفت-کش‌ها از طریق داده‌های مرگ و میر، اثرات زیرکشندگی این ترکیبات روی ویژگی‌های رفتاری و فیزیولوژیکی حشرات هم می‌تواند نقش مهمی را در مدیریت آفات ایفا کنند. بررسی جدول‌های زیستی یا سم‌شناسی دموگرافیک بهترین روش برای ارزیابی اثرات زیرکشندگی آفت‌کش‌ها می‌باشد (Stark and Banks, 2003). در این جدول‌ها،

گیاهان خانواده چلیپائیان حدود ۴۰۰۰ گونه از ۴۰۰ جنس گیاه را شامل می‌شوند و دارای مصارف متعدد خوراکی، صنعتی، زینتی و دارویی هستند (Avato and Argentieri, 2015). شته مومی کلم *Brevicoryne brassicae* (Hem.: Aphididae) یکی از آفات مهم خانواده چلیپائیان در بسیاری از نقاط جهان بوده که خسارت قابل توجهی به بسیاری از گیاهان این خانواده از قبیل کلم پیچ، گل کلم، کلم بروکلی، کلزا و خردل وارد می‌کند (Nematollahi et al., 2015). این آفت کلونی‌های بزرگی روی برگ‌ها، ساقه‌ها و جوانه‌ها ایجاد کرده و با مکیدن شیره گیاهی سبب پیچیدگی برگ می‌شود. همچنین، از طریق انتقال بیش از ۲۰ نوع ویروس بیمارگر خسارت غیرمستقیم به گیاهان وارد می‌کند (Blackman and Eastop, 2000; Sarwar, 2017). مدیریت رایج شته مومی کلم در مزارع به استفاده از حشره‌کش‌های شیمیایی به منظور جلوگیری از خسارت اقتصادی، وابسته است. در سال‌های اخیر شته مومی کلم به طیف وسیعی از حشره‌کش‌ها مقاومت پیدا کرده است (Ahmad and Aslam, 2013; Ahmad and Akhtar, 2005). با توجه به این موضوع و نگرانی‌های روزافزون نسبت به ایمنی سموم دفع آفات و آسیب‌های محیطی، گرایش به استفاده از ترکیب‌های طبیعی در مدیریت آفات رو به گسترش است (Rajendran and Sriranjini, 2008). تعداد زیادی از آفت‌کش‌های زیستی می‌توانند در محیط تجزیه شده و به ترکیبات غیرسمی تبدیل شوند، به همین دلیل، امروزه حجم وسیعی از پژوهش‌ها روی آفت‌کش‌های زیست بنیاد متمرکز شده است (Isman, 2019; Ebadollahi and Setzer, 2020).

کشور ایران، زیستگاه بسیاری از گیاهان بومی متعلق به خانواده‌های متفاوتی می‌باشد که می‌توانند منابعی ارزان و قابل دسترس به منظور تهیه آفت‌کش‌های گیاهی باشند (Ebadollahi and Jalali Sendi, 2015; Niroumand et al., 2016; Ebadollahi et al., 2020). در فلور گیاهی کشور ما، جنس *Thymus* دارای ۱۴ گونه می‌باشد

استاندارد (۱ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و دوره روشنایی و تاریکی ۱۶:۸ ساعت) در آزمایشگاه انجام گرفت (Zhang and Hassan, 2003).

تهیه اسانس

اندام‌های هوایی آویشن دنیایی در زمان گلدهی در اوایل اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ از مزارع کشت‌شده در منطقه فریدون-شهر جمع‌آوری شدند. نمونه‌های سند (voucher specimens) پس از شناسایی و کدگذاری (کد ۱۶۰۶۰) در بخش هرباریوم گیاه‌شناسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان نگهداری شدند. نمونه‌های گیاهی پس از خشک شدن در دمای اتاق در شرایط تاریکی تا زمان اسانس‌گیری نگهداری شدند (Karimzadeh and Rabiei, 2020). به منظور تهیه اسانس، نمونه‌ها به کمک یک آسیاب برقی به صورت پودر درآمده و در هر نوبت، ۵۰ گرم پودر گیاهی همراه با ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به روش تقطیر با آب (hydro-distillation) در کلونجر به مدت چهار ساعت اسانس‌گیری شدند. اسانس‌ها تا زمان استفاده در ظروف شیشه‌ای با پوشش آلومینیومی داخل یخچال در دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری شدند (Negahban et al., 2007).

شناسایی ترکیبات اسانس آویشن دنیایی

به منظور شناسایی ترکیبات موجود در اسانس مستخرج از اندام‌های هوایی آویشن دنیایی از دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل Agilent-7890A متصل به طیف‌سنج جرمی مدل Agilent-5975C با مشخصات ستون HP-5MS، طول ۳۰ متر، قطر بیرونی ۰/۲۵ میلی‌متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. برنامه دمایی ستون به صورتی تنظیم شد که درجه حرارت دو دقیقه در ۶۰ درجه سلسیوس نگهداری و سپس تا ۲۸۰ درجه سلسیوس با سرعت چهار درجه بر دقیقه افزایش یافت. از گاز هلیوم به عنوان گاز حامل با سرعت جریان دو میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد. اسانس گیاه آویشن دنیایی به میزان ۰/۱ میکرولیتر به دستگاه GC-MS تزریق شد. شاخص بازدارندگی هر ترکیب را می‌توان از کروماتوگرام مخلوطی از چند جسم مورد نظر با حداقل دو آلکان نرمال که زمان بازدارندگی آن‌ها در دو طرف

فراسنجه‌های اکولوژیکی و سم‌شناسی با هم ترکیب شده و اثرات آفت‌کش‌ها روی جمعیت آفات مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Stark and Banks, 2003). بررسی اثرات زیرکشندگی از قبیل کاهش تغذیه، باروری یا زنده‌مانی تخم، کاهش طول عمر، افزایش رشد و نمو و تغییر نسبت جنسی برای درک کلی اثرات آفت‌کش‌ها اهمیت دارد (Saber et al., 2018). همچنین، ارزیابی دقیق اثرات زیرکشندگی به منظور برآورد کارآیی حشره‌کش‌ها در کنترل آفات و جنبه انتخابی بودن آن‌ها روی موجودات غیرهدف مورد نیاز است (Desneux et al., 2007; Biondi et al., 2013). بررسی جدول زندگی به عنوان روشی قابل اطمینان برای تعیین بهترین زمان مبارزه با آفات و ابزاری مهم در مطالعه پویایی جمعیت می باشد (Desneux et al., 2007). در این تحقیق اسانس آویشن دنیایی استخراج شده و سپس ترکیبات آن با استفاده از تکنیک GC-MS شناسایی شدند. سپس، فرمولاسیون نانوکپسول اسانس با استفاده از روش پلیمراسیون همزمان تهیه و اثرات زیرکشندگی فرمولاسیون‌های اسانس خالص و نانوکپسول آن روی شته مومی کلم مورد آزمایش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه و حشرات مورد آزمایش

گیاه کلم زینتی (*Brassica oleracea* var. *acephala*)، در شرایط گلخانه بدون مصرف هر نوع آفت-کشی پرورش داده شد (Karimzadeh et al., 2004). کاشت گیاهان در گلدان‌هایی (با قطر ۱۲ سانتی‌متر) شامل مخلوطی از خاک استریل، خاک برگ، کود حیوانی، پیت-ماس و هیومیک اسید (به نسبت ۳۰:۱۰:۱۰:۳:۱ حجمی) انجام شد. گیاهان هر دو روز یک‌بار آبیاری می‌شدند. برای تقویت گیاهان از کود کامل ۲۰:۲۰:۲۰ حاوی عناصر ریزمغذی‌ها استفاده شد. جمعیت شته مومی کلم از مزارع کلزای آلوده به شته مومی کلم در استان اصفهان جمع‌آوری شد. پرورش شته مومی کلم روی گیاه کلم زینتی در قفس‌هایی به ابعاد ۴۰×۴۰×۴۰ سانتی‌متر در شرایط محیطی

اسانس به صورت قطره قطره اضافه شد و بعد از ۲۰ تا ۳۰ دقیقه، pH محلول با اسید سولفوریک (۱۰٪) به ۳ رسانده شد تا پوسته اوهر-فرمالدهید ذرات اسانس را در برگیرد. بعد از گذشت چهار ساعت، واکنش کامل شده و نانوکپسول-های پایدار تشکیل شدند. سپس سوسپانسیون تا دمای اتاق سرد شد، فیلتر شده و در نهایت به روش خشک‌سازی انجمادی (freeze-drying)، آب‌گیری شد (Ting *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2016). لازم به ذکر است که فرمولاسیون نانوکپسول حاوی اسانس آویشن دناپی با غلظت ۸ درصد ماده موثره تهیه شد. مقدار اسانس بارگذاری نشده از باقیمانده آب حاصل از فیلترکردن فرمولاسیون نانوکپسول به روش تقطیر با آب جدا شد. هم-چنین میزان کارآیی، بازده نانوکپسول و میزان اسانس بارگذاری شده با استفاده از فرمول‌های زیر به دست آورده شد (Moretti *et al.*, 2002; Khoee and Yaghoobian, 2009).

$$\text{Nanoencapsulation yield (EY)\%} = (N/C) \times 100$$

C = وزن نانوکپسول تولید شده بر حسب گرم

$$N = \text{وزن مواد اولیه بر حسب گرم}$$

$$\text{Nanoencapsulation efficiency\%} = (A/B) \times 100$$

A = وزن اسانس بارگذاری شده بر حسب گرم در نانوکپسول

B = وزن اسانس به کار رفته در آزمایش بر حسب گرم

$$\text{Oil loading content\%} = (A/D) \times 100$$

A = وزن اسانس بارگذاری شده بر حسب گرم در نانوکپسول

D = وزن نانوکپسول در آزمایش بر حسب گرم

بررسی مورفولوژی سطح نانوکپسول با میکروسکوپ الکترونی و توزیع اندازه ذرات

به منظور مشاهده سطح و شکل‌شناسی دیواره نانوکپسول‌ها از دستگاه میکروسکوپ الکترونی عبوری (Transmission electron microscopy) مدل Carl Zeiss-EM10C-100Kv (کارل زایس، اوبرکوخن، آلمان) استفاده شد. هم‌چنین توزیع اندازه ذرات نانوکپسول توسط دستگاه laser light scattering مدل Nanophox

زمان بازداری ماده مورد نظر قرار دارد، محاسبه نمود. بنا بر تعریف، شاخص بازداری یک آلکان نرمال، ۱۰۰ برابر تعداد کربن‌های موجود در آن است. برای محاسبه شاخص‌های بازداری ترکیبات از آلکان‌های نرمال C8-C27 که به دستگاه تزریق شده بود، استفاده شد. شاخص بازداری به طریقه زیر محاسبه شد:

$$RI = 100n + 100(T_X - T_n / T_{n+1} - T_n)$$

T_X = زمان بازداری نمونه مجهول

T_n = زمان بازداری آلکان نرمال قبلی

T_{n+1} = زمان بازداری آلکان نرمال بعدی

RI = شاخص بازداری

n = تعداد اتم کربن آلکان نرمال قبلی

سپس شاخص بازداری محاسبه شده با شاخص کوتاس استاندارد مقایسه شد (Adams, 2007).

تهیه فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاهی

برای تهیه نانوکپسول‌های حاوی اسانس آویشن دناپی از روش پلیمریزاسیون درجا (in situ polymerization technique) به روش امولسیون روغن در آب (O/W) استفاده شد (Rochmadi *et al.*, 2010). اسانس گیاهی به عنوان هسته نانوکپسول، اوهر و فرمالدئید (۳۷٪) به عنوان ماده تشکیل‌دهنده پوسته نانوکپسول‌ها و توئین ۸۰ (۲٪) به عنوان امولسیون‌کننده انتخاب شد. هم‌چنین، از روغن کرچک (۱۰٪) و سیلیکات پتاسیم به عنوان سینرژست استفاده شد. به منظور تهیه پیش‌پلیمر، دو گرم اوهر و چهار میلی‌لیتر فرمالدئید به ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و با هم‌زن مکانیکی Hei-TORQUE Value 400 (ابزار هیدولف، شواباخ، آلمان) با سرعت اولیه ۳۰۰ دور بر دقیقه به خوبی مخلوط شد. بعد از حل شدن اوهر، pH محلول توسط سیلیکات پتاسیم به ۸-۹ رسانده شد و سپس دمای محلول به ۶۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس افزایش داده شد و به مدت ۴۵ دقیقه در این دما نگهداری شد. بعد از این‌که پیش-پلیمر اوهر-فرمالدئید آماده شد، با استفاده از هم‌کن‌ساز-پراکنده‌ساز MICCRA D-9 (میکراجی‌ام‌بی‌اچ، هیترشیم، آلمان) با سرعت چرخش ۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه هم‌کن شد و توئین به تدریج اضافه شد. در این مرحله،

90-246V (سیمپاتک جی ام بی اچ، کلاوستال-تسلرفلد، آلمان) استفاده شد.

زیست‌سنجی فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس آویشن دنیایی روی شته مومی کلم

به منظور بررسی اثرات سمیت تماسی فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس آویشن دنیایی روی شته مومی کلم از روش غوطه‌ورسازی برگ‌های حاوی شته بالغ دو روزه استفاده شد (FAO, 1979). آزمایش‌ها در ظروف پتری (به قطر ۹۰ و ارتفاع ۱۰ میلی‌متر) که درب آن‌ها با پارچه‌ای بسیار ظریف پوشانده شده بود، انجام شدند. برای تامین رطوبت ظروف پتری از آگار (۲٪) به میزان ۵ میلی-لیتر در کف ظروف پتری استفاده شد. حلال مورد نظر برای تهیه غلظت‌های مختلف فرمولاسیون خالص اسانس و نانوکپسول اسانس گیاهی به ترتیب آب مقطر به همراه توئین ۸۰ (۰/۵ درصد) و آب مقطر در نظر گرفته شد. به منظور تعیین غلظت‌های کشنده و زیرکشنده تماسی روی حشرات مورد نظر، ابتدا در آزمایش‌های مقدماتی غلظت‌های کشنده ۱۰ تا ۹۰ درصد فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس گیاهی به دست آمد و سپس، غلظت‌های بین این دو غلظت با فواصل لگاریتمی محاسبه شدند. در آزمایش اصلی، از غلظت‌های ۲۳، ۶۸، ۲۰۲، ۵۹۷ و ۱۷۶۷ میکرولیتر بر لیتر برای فرمولاسیون نانوکپسول و از غلظت‌های ۹۸، ۲۳۸، ۵۷۸، ۱۴۰۵ و ۳۴۱۵ میکرولیتر بر لیتر برای فرمولاسیون خالص اسانس استفاده شد. برای فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول به ترتیب آب مقطر به همراه توئین ۸۰ (۰/۵ درصد) و آب مقطر، به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در ابتدا، ۲۰ عدد شته بالغ هم‌سن روی دیسک‌های برگ‌ها (به قطر ۵ سانتی‌متر) قرار داده شدند. بعد از مستقر شدن شته‌ها، دیسک برگ‌ها حاوی شته در غلظت‌های مورد نظر فرمولاسیون‌های اسانس آویشن دنیایی به مدت پنج ثانیه غوطه‌ور شدند. بعد از خشک شدن برگ‌ها به مدت ۳۰ دقیقه، دیسک‌های برگ‌ها حاوی شته روی سطح آگار (دو درصد) کف ظروف پتری قرار داده شدند. به منظور جلوگیری از خروج شته‌ها از ظروف پتری، از نوار پارافیلیم استفاده شد. تمام غلظت‌ها ۵ بار تکرار شد و پس از گذشت

۷۲ ساعت، مرگ و میر ثبت شد (Karimzadeh and Syyed, 2011; Karimzadeh and Rabiei, 2020).

اثرات زیرکشندگی فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس آویشن دنیایی روی شته مومی کلم

این آزمایش با دو تیمار شامل غلظت‌های زیرکشنده (LC₂₅) فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس آویشن دنیایی و دو شاهد آب مقطر به همراه توئین ۸۰ (۰/۵ درصد) و آب مقطر، در ۱۰۰ تکرار (برای هر یک از تیمارها و شاهد‌ها) روی شته مومی کلم انجام شد. در ابتدا، دیسک‌های برگ‌ها (کلم زینتی همراه با شته‌های هم‌سن (شته بالغ دو روزه) در غلظت‌های زیرکشنده به مدت پنج ثانیه غوطه‌ور شدند. پس از خشک شدن کامل برگ‌ها (به مدت ۳۰ دقیقه)، دیسک‌های برگ‌ها حاوی شته از سطح پشتی روی ژل آگار (دو درصد) در کف ظروف پتری (به قطر ۶ سانتی‌متر) قرار داده شدند. از ترکیب آگار به میزان ۲/۵ میلی‌لیتر در کف هر ظرف پتری استفاده شد. به منظور تهیه ظروف پتری، روی سطح بالای هر یک از آن‌ها سوراخی تعبیه و با توری بسیار نازک پوشانده شد. به شته‌های بالغ به مدت ۲۴ ساعت اجازه داده شد که پوره‌زایی کنند. سپس، شته ماده و تمام پوره‌ها به جز یک پوره از داخل هر ظرف پتری حذف شدند. ظروف پتری به منظور جلوگیری از خروج شته‌ها با پارافیلیم بسته شدند. تمام تغییرات شامل پوست‌اندازی، مدت زمان و مرگ و میر هر سن پورگی به صورت روزانه ثبت شد. پس از بالغ شدن شته، تعداد پوره‌های متولدشده به صورت روزانه ثبت و از ظروف پتری حذف شدند. هم‌چنین، طول عمر شته‌های بالغ ثبت گردید. آزمایش‌های مورد نظر در شرایط محیطی ثابت (دمای ۱ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) انجام گرفت (Lashkari et al., 2007; Sarhozaki and Safavi, 2014).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

مدل‌های خطی تعمیم یافته (GLMs) برای بررسی داده‌های زیست‌سنجی استفاده شد. در این خصوص، داده‌های

نتایج

تجزیه شیمیایی اسانس گیاه آویشن دنايي

با استفاده از تکنیک کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنج جرمی، ۱۲۶ ترکیب شیمیایی از اسانس آویشن دنايي شناسایی شدند که در بین آن‌ها، ۲۷ ترکیب غلظت‌های بالاتر از ۰/۱ درصد دارا بودند. بیشترین مقدار ترکیبات شیمیایی آویشن دنايي را تیمول (۵۶/۶۱ درصد) و بعد از آن، کارواکرول (۱۷/۰۲ درصد)، بتا-کاروفیلین (۴/۷۷ درصد)، گاما-ترپینن (۴/۴۶ درصد)، پارا-سایمن (۳/۲۱ درصد)، آلفا-کالاکورین (۲/۶۶ درصد)، آلفا ترپینن (۱/۰۶ درصد) و ۱-۸- سینتول (۱/۰۱ درصد) شامل شدند (جدول ۱).

غلظت کشندگی با استفاده از لجستیک رگرسیون (Binomial errors) تجزیه شدند. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از نسبت سمیت کشندگی استفاده شد. داده‌های حاصل از آزمون زیست‌سنجی با استفاده از نرم‌افزار آماری R3.6.1 مورد تجزیه قرار گرفتند (Crowley, 2013). برای محاسبه فراسنجه‌های جدول زندگی از نرم‌افزار آماری TWOSEX-MSChart استفاده شد (Chi, 2019). علاوه بر این، محاسبه مقادیر کاذب برای فراسنجه‌های مختلف شته مومی کلم، با استفاده از روش بوت‌استرپ و انجام ۱۰۰ هزار تکرار انجام شد. مقایسه مقادیر کاذب فراسنجه‌های مختلف نیز با استفاده از آزمون بوت‌استرپ جفت شده انجام شد. شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SigmaPlot V. 12.3 ترسیم شدند.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی اسانس آویشن دنايي

Table 1. Chemical composition of *Thymus daenensis* essential oil

| Compounds | RT [†] (min) | Value (%) | RI [§] | KI [‡] |
|-----------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------------|-----------------|
| α-Thujene | 5.39 | 0.67 | 923 | 924 |
| α-Pinene | 5.56 | 0.64 | 930 | 932 |
| Camphene | 5.91 | 0.42 | 945 | 946 |
| β-Pinene | 6.86 | 0.87 | 985 | 974 |
| α- Phellandrene | 7.26 | 0.17 | 1002 | 1002 |
| α-Terpinene | 7.59 | 1.06 | 1014 | 1017 |
| ρ-Cymene | 7.83 | 3.21 | 1024 | 1024 |
| Limonene | 7.93 | 0.27 | 1027 | 1029 |
| 1,8-Cineole | 8.01 | 1.01 | 1030 | 1031 |
| γ-Tepinene | 8.82 | 4.46 | 1061 | 1059 |
| Terpinolene | 9.09 | 0.16 | 1081 | 1084 |
| 1.2-Carene | 9.67 | 0.12 | 1094 | - |
| Linalool | 10.04 | 0.49 | 1107 | 1096 |
| Borneol | 12.21 | 0.67 | 1176 | 1169 |
| Terpinen-4-ol | 12.55 | 0.36 | 1186 | 1177 |
| Acetamide | 13.34 | 0.13 | 1209 | - |
| Methyl thymol | 14.65 | 0.13 | 1240 | 1235 |
| Thymol | 16.86 | 56.61 | 1293 | 1290 |
| Carvacrol | 16.90 | 17.02 | 1295 | 1299 |
| β-Caryophyllene | 20.40 | 4.77 | 1420 | 1419 |
| β-Bisabolene | 21.38 | 0.98 | 1454 | 1451 |
| Ledene | 22.64 | 0.22 | 1499 | 1490 |
| α-Calacorene | 24.03 | 2.66 | 1540 | 1545 |
| Nivalenol | 25.10 | 0.20 | 1570 | - |
| Caryophyllene oxide | 25.25 | 0.44 | 1575 | 1582 |
| 6-(3,3-Diethoxypropyl)-2(1H)-pyridinone | 33.70 | 0.14 | 1780 | - |

[†] RT denotes the retention time for each compound.

[§] RI denotes the retention index for each compound.

[‡] Kovats retention index.

خصوصیات فرمولاسیون نانوکپسول

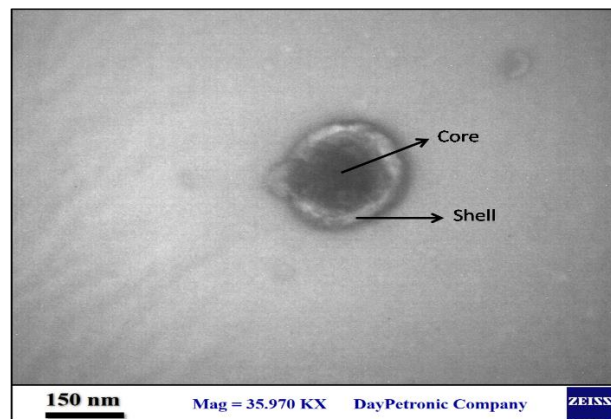
در فرآیند پلیمریزاسیون نانوکپسول، درصد بازده نانوکپسول ۹۱ درصد، درصد کارآیی ۹۲ درصد و درصد مقدار اسانس بارگذاری شده ۸۸/۲۲ درصد به دست آمد.

بررسی مورفولوژی سطح نانوکپسول با میکروسکوپ الکترونی و توزیع اندازه ذرات

همان‌طور که در تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری در شکل ۱ نشان داده شده است نانوکپسول‌ها به صورت ذرات کروی درآمده، سطح خارجی نانوذرات صاف بوده و ساختار هسته و دیواره نانوکپسول به خوبی مشخص است. در شکل ۲ میانگین توزیع اندازه ذرات حدود ۱۲ نانومتر برآورد شد.

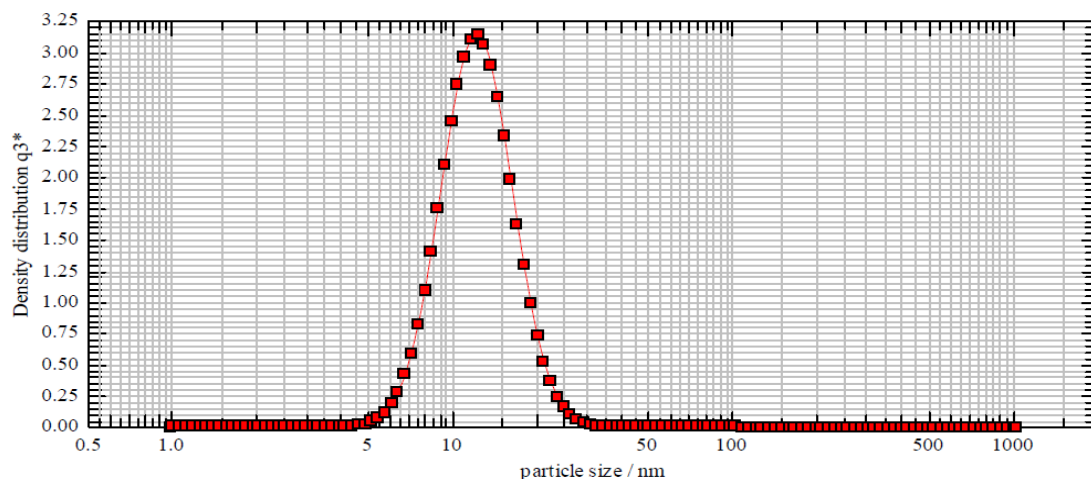
اثرات کشندگی فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس آویشن دنايي روی شته مومی کلم

مقادیر غلظت‌های کشنده ۵۰ درصد (LC_{50}) فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس آویشن دنايي روی شته مومی کلم در جدول ۲ نشان داده شده است. هر دو ترکیب مذکور دارای مقادیر LC_{50} پایین بوده و سمیت بالایی علیه شته مومی کلم نشان دادند. با اطمینان ۹۵٪، بین مقادیر LC_{50} فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس اختلاف معنی‌داری وجود داشت. از غلظت‌های LC_{25} فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس برای بررسی ویژگی‌های رشدی جمعیت شته مومی کلم استفاده شد.



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوکپسول اسانس آویشن دنايي

Figure 1. Transmission electron microscopy image of nanocapsulated essential oil of *Thymus daenensis*



شکل ۲- توزیع اندازه ذرات نانوکپسول اسانس آویشن دنايي

Figure 2. Size distribution of nanocapsule particles of *Thymus daenensis* essential oil

جدول ۲- سمیت تماسی اسانس خالص و نانو کپسول آویشن دنیایی روی شته بالغ مومی کلم

Table 2. Contact toxicity of *Thymus daenensis* pure essential oil and its nanocapsule against *Brevicoryne brassicae* adults

| Formulation | Concentration (95% CI) (µl/l) | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|----------------------|----------|
| | LC ₂₅ | LC ₅₀ | Slope ± SE | z value [§] | P -value |
| Pure EO [†] | 382.72 a (323.55 - 452.70) | 702.57 a (610.57 - 807.88) | 1.81 ± 0.15 | 12.15 | < 0.001 |
| Nanocapsulated EO [†] | 93.82 b (75.55 - 116.52) | 208.28 b (174.4 - 248.66) | 1.38 ± 0.11 | 12.35 | < 0.001 |

[†] Pure essential oil; Nanocapsulated essential oil.

[§] The standard normal deviate.

طول دوره نابالغ شته را به ترتیب فرمولاسیون‌های خالص و نانو کپسول اسانس شامل شد، اما تفاوت معنی‌داری بین فرمولاسیون‌های کپسوله‌شده و خالص اسانس مشاهده نشد ($P < 0.05$) (جدول ۳). میانگین کل طول عمر حشرات کامل تیمار شده با فرمولاسیون نانو کپسول تفاوت معنی‌داری را با فرمولاسیون خالص اسانس و شاهد‌ها نشان داد. کمترین و بیشترین میانگین باروری کل به ترتیب در شته‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانو کپسول اسانس گیاهی (۷/۹۴ پوره) و شاهد ۲ (۲۵/۸۹ پوره) محاسبه شدند. همچنین میزان میانگین باروری کل در تیمارهای فرمولاسیون خالص اسانس و شاهد ۱ به ترتیب ۱۲/۹۵ و ۲۷/۱۸ پوره به ازای هر فرد ماده بالغ به دست آمد. از طرفی میانگین طول عمر و باروری کل شته‌ها در فرمولاسیون نانو کپسول تفاوت معنی‌داری را نسبت به فرمولاسیون خالص اسانس نشان داد ($P < 0.05$) (جدول ۳).

اثرات زیرکشدگی فرمولاسیون‌های خالص و نانو کپسول اسانس آویشن دنیایی روی شته مومی کلم

مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های زیستی شته مومی کلم تیمار شده با غلظت‌های زیرکشدگی فرمولاسیون اسانس آویشن دنیایی و نانو کپسول حاوی آن شامل طول دوره‌های سنین مختلف پورگی، طول عمر بالغین و میزان باروری در جدول ۳ نشان داده شده است. در محاسبه میانگین‌ها، طول دوره سنین پورگی برای تیمار فرمولاسیون نانو کپسول در مقایسه با شاهد آن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما تیمار فرمولاسیون خالص اسانس به‌طور معنی‌داری باعث افزایش میانگین طول دوره سنین پورگی شامل سن اول، دوم و سوم شد و اختلاف معنی‌داری را در مقایسه با شاهد نشان داد ($P < 0.05$) (جدول ۳). طول مجموع دوره نابالغ در فرمولاسیون نانو کپسول، خالص اسانس، شاهد ۱ و ۲ به ترتیب ۷/۸۷ و ۷/۶۵، ۸/۸۰۴/۰۲ و ۷/۸۷ روز بود که بیشترین میزان

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های زیستی (میانگین ± خطای معیار) شته مومی کلم تیمار شده با غلظت‌های زیرکشدگی اسانس خالص و

نانو کپسول آویشن دنیایی در مقایسه با تیمارهای شاهد

Table 3. Comparison of the biological characteristics (means ± SE) of *Brevicoryne brassicae* treated with sublethal dose of *Thymus daenensis* pure essential oil and its nanocapsule with controls

| Life-history parameter | Treatments | | | |
|---------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| | Pure EO [†] | Control (1) [§] | Nanocapsulated EO [†] | Control (2) [§] |
| Developmental time (day) | | | | |
| Nymph 1 | 2.01 ± 0.05 a | 1.82 ± 0.04 b | 2.01 ± 0.01 a | 2.04 ± 0.03 a |
| Nymph 2 | 2.09 ± 0.04 a | 1.92 ± 0.04 b | 1.94 ± 0.05 b | 1.97 ± 0.03 b |
| Nymph 3 | 2.08 ± 0.06 a | 1.99 ± 0.04 ab | 2.05 ± 0.07 ab | 1.94 ± 0.04 b |
| Nymph 4 | 1.89 ± 0.06 a | 1.93 ± 0.03 a | 2.02 ± 0.05 a | 1.93 ± 0.03 a |
| Pre-adult | 8.04 ± 0.10 a | 7.65 ± 0.08 b | 8.02 ± 0.08 a | 7.87 ± 0.06 a |
| Adult longevity (day) | 7.24 ± 0.18 b | 9.31 ± 0.20 a | 5.39 ± 0.23 c | 9.52 ± 0.25 a |
| Fecundity (female/female) | 12.95 ± 0.59 b | 27.18 ± 0.74 a | 7.94 ± 0.42 c | 25.89 ± 0.86 a |

[†] Pure essential oil; Nanocapsulated essential oil.

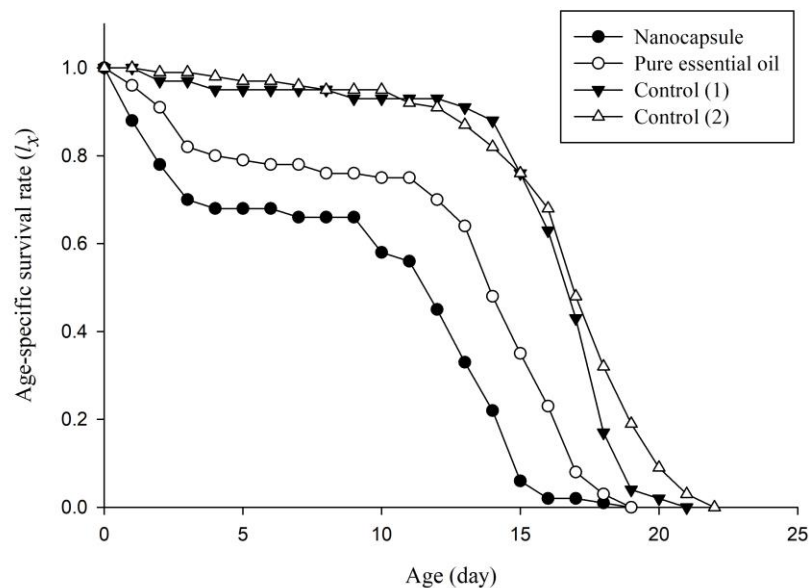
[§] Control 1 (distilled water plus Tween) and Control 2 (distilled water) related to pure and nanocapsulated formulation of *Thymus daenensis* essential oil, respectively.

Means with similar letters are no significantly different (Paired bootstrap test: $P > 0.05$).

برابر ۴/۵۱، ۳/۹۵، ۲/۵۱ و ۲/۰۳ پوره به ازای هر فرد ماده در هر روز بود که به ترتیب در روزهای ۸، ۹، ۱۰ و ۸ مشاهده شد (شکل ۴).

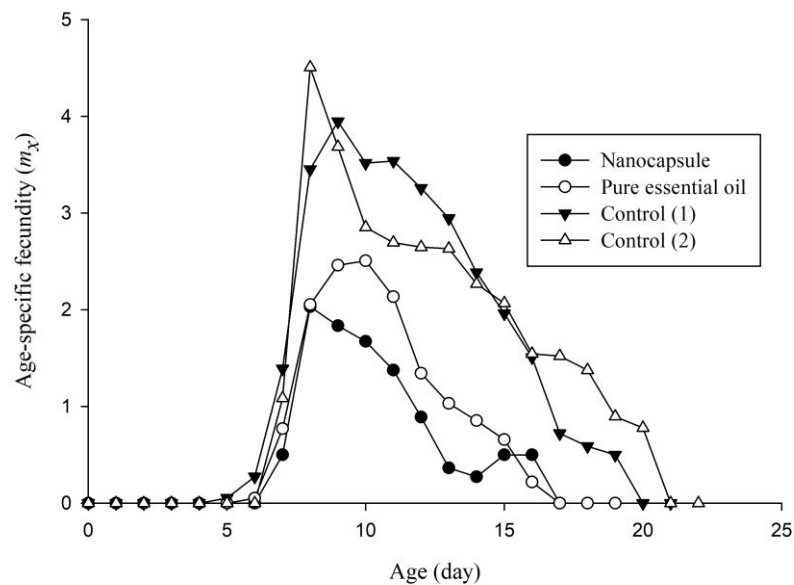
در بررسی حاضر، امید زندگی ویژه سنی (e_x) حشره در اولین روز مرحله پورگی در شاهد ۲، شاهد ۱، فرمولاسیون خالص و نانوکپسول اسانس گیاهی به ترتیب ۱۶/۷۸، ۱۶/۲۵، ۱۲/۳۷ و ۹/۶۳ روز بود که نشان‌دهنده کمتر بودن امید به زندگی در فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاهی در مقایسه با فرمولاسیون تیمار خالص اسانس و شاهدها بود (شکل ۵).

در شکل ۳، منحنی زنده‌مانی ویژه سنی (l_x) در شته‌های شاهد و تیمار شده نشان داده شده است. منحنی زنده‌مانی در همه تیمارها، با گذشت زمان دارای روند کاهشی بود. بیشترین مدت زنده‌مانی در تیمارهای نانوکپسول، اسانس خالص و شاهدهای ۱ و ۲ به ترتیب در روزهای ۱۹، ۱۹، ۲۱ و ۲۲ به دست آمد. بیشترین مرگ و میر در تمامی مراحل زیستی در جمعیت تیمار شده با فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاهی دیده شد. باروری ویژه سنی (m_x) برای شاهد ۲، شاهد ۱، فرمولاسیون خالص و نانوکپسول اسانس گیاهی به ترتیب



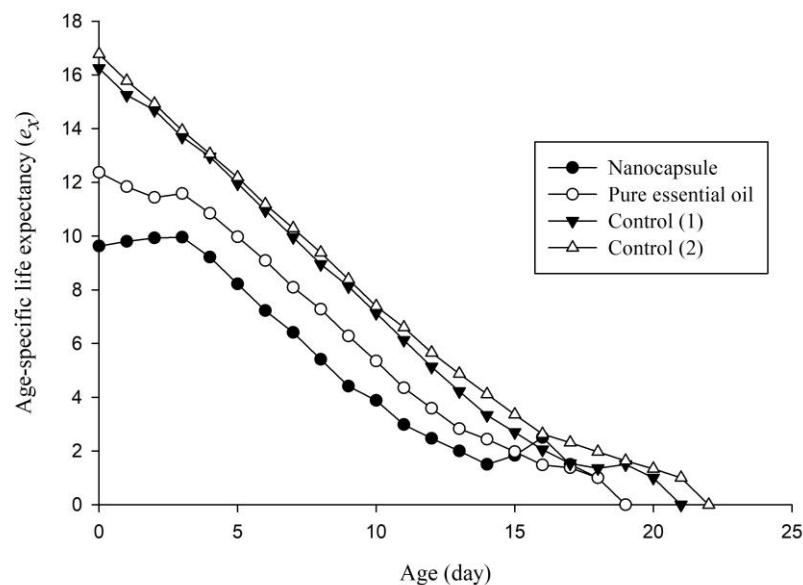
شکل ۳- نرخ زنده‌مانی ویژه سن (l_x) شته مومی کلم تیمار شده با غلظت‌های زیرکشنده فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس آویشن دناپی. شاهد ۱ (آب مقطر و توئین) و شاهد ۲ (آب مقطر) به ترتیب مربوط به فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول می‌باشد.

Figure 3. Age-specific survival rate (l_x) of *Brevicoryne brassicae* treated with sublethal concentrations the pure and nanocapsulated formulations of *Thymus daenensis* oil. Control 1 (distilled water plus Tween) and control 2 (distilled water) related to pure and nanocapsulated formulations, respectively.



شکل ۴- نرخ باروری ویژه سن (m_x) شته مومی کلم تیمار شده با غلظت‌های زیرکشنده فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس آویشن دنایی. شاهد ۱ (آب مقطر و توئین) و شاهد ۲ (آب مقطر) به ترتیب مربوط به فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول می‌باشد.

Figure 4. Age-specific fecundity (m_x) of *Brevicoryne brassicae* treated with sublethal concentrations the pure and nanocapsulated formulations of *Thymus daenensis* oil. Control 1 (distilled water plus Tween) and control 2 (distilled water) related to pure and nanocapsulated formulations, respectively.



شکل ۵- امید به زندگی ویژه سن (e_x) شته مومی کلم تیمار شده با غلظت‌های زیرکشنده فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول اسانس آویشن دنایی. شاهد ۱ (آب مقطر و توئین) و شاهد ۲ (آب مقطر) به ترتیب مربوط به فرمولاسیون‌های خالص و نانوکپسول می‌باشد.

Figure 5. Age-specific life expectancy (e_x) of *Brevicoryne brassicae* treated with sublethal concentrations the pure and nanocapsulated formulations of *Thymus daenensis* oil. Control 1 (distilled water plus Tween) and control 2 (distilled water) related to pure and nanocapsulated formulations, respectively.

توسط یک ماده در طول عمر می‌باشد، در فرمولاسیون نانوکپسول شده، فرمولاسیون خالص اسانس، شاهد ۱، و شاهد ۲ به ترتیب ۹/۹۴، ۱۴/۰۸، ۳۰/۰۴ و ۳۰/۵۵ پوره به ازای هر فرد بود (جدول ۴). کمترین طول دوره پوره‌زایی (Oviposition period) برای شته‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاهی مشاهده شد ($P < 0.05$) (جدول ۴). لازم به ذکر است که فرانسجه‌های نرخ ذاتی (r)، نرخ متناهی (λ)، نرخ خالص (R_0)، نرخ ناخالص افزایش جمعیت (GRR) و طول دوره پوره‌زایی در شته‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانوکپسول نسبت به فرمولاسیون خالص اسانس تفاوت معنی‌داری نشان دادند ($P < 0.05$). کمترین میانگین طول یک نسل (T) برای شته‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاهی مشاهده شد. میانگین مدت زمان دو برابر شدن محاسبه شده در جمعیت‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانوکپسول، فرمولاسیون خالص اسانس، شاهد ۱ و ۲ به ترتیب ۴/۳۲، ۳/۲۷، ۲/۳۸ و ۲/۴۴ روز بود. بررسی آماری نشان داد که جمعیت شته‌های تیمار شده با نانوکپسول اسانس گیاهی و اسانس خالص نسبت به شاهد‌ها در مدت طولانی‌تری دو برابر شدند. همچنین، میانگین طول یک نسل و مدت زمان دو برابر شدن جمعیت در تیمار فرمولاسیون نانوکپسول- شده نسبت به تیمار فرمولاسیون خالص اسانس تفاوت معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$) (جدول ۴).

فرانسجه‌های رشد جمعیت شته مومی کلم تیمار شده با غلظت‌های زیرکشدگی اسانس خالص و نانوکپسول آویشن دناپی در جدول ۴ نشان داده شده است. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، مهم‌ترین فرانسجه در تعیین نوع و میزان رشد جمعیت است (Carey, 1993). نرخ ذاتی افزایش جمعیت در شته‌های تیمار شده با فرمولاسیون‌های نانوکپسول و خالص اسانس آویشن دناپی به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۲۱ بر روز بود که در مقایسه با تیمارهای شاهد ۱ و ۲ به طور معنی‌داری کمتر بود ($P < 0.05$) (جدول ۴). میانگین نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) در شته‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانوکپسول شده، فرمولاسیون خالص اسانس، شاهد ۱ و شاهد ۲ به ترتیب ۱/۱۷، ۱/۲۴، ۱/۳۴ و ۱/۳۳ بر روز بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر دو تیمار اسانس نانوکپسول و خالص آویشن دناپی، میانگین نرخ متناهی افزایش جمعیت نسبت به شاهد آن‌ها کاهش یافته است ($P < 0.05$). میانگین نرخ خالص تولیدمثل (R_0) در شته‌های تیمار شده با اسانس نانوکپسول شده، ۵/۲۴ پوره به ازای هر ماده بود که به طور معنی‌داری نسبت به شاهد آن با نرخ خالص تولید مثل برابر با ۲۴/۶۰ پوره کاهش نشان داد. به‌علاوه، در تیمار فرمولاسیون خالص اسانس و شاهد آن به ترتیب ۹/۸۴ و ۲۵/۸۲ پوره به ازای هر فرد محاسبه شد و مقایسه میانگین‌ها، اختلاف معنی‌داری را بین تیمارها و شاهد‌ها نشان داد ($P < 0.05$) (جدول ۴). نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) که نشان‌دهنده تعداد کل ماده‌های تولید شده

جدول ۴- مقایسه فرانسجه‌های رشد جمعیت (میانگین \pm خطای معیار) شته مومی کلم تیمار شده با غلظت‌های زیرکشنده اسانس و

نانوکپسول آویشن دناپی در مقایسه با تیمارهای شاهد

Table 4. Comparison of the population growth parameters (means \pm SE) of *Brevicoryne brassicae* treated with sublethal dose of *Thymus daenensis* pure essential oil and its nanocapsule with controls

| Parameters | Treatments | | | |
|---------------------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| | Pure EO [†] | Control (1) [§] | Nanocapsulated EO [†] | Control (2) [§] |
| Intrinsic rate of increase (r) | 0.21 \pm 0.0069 b | 0.29 \pm 0.0040 a | 0.16 \pm 0.0087 c | 0.29 \pm 0.0037 a |
| Finite rate of increase (λ) | 1.24 \pm 0.0086 b | 1.34 \pm 0.0054 a | 1.17 \pm 0.0102 c | 1.33 \pm 0.0048 a |
| Net reproductive rate (R_0) | 9.84 \pm 0.71 b | 25.82 \pm 0.92 a | 5.24 \pm 0.47 c | 24.60 \pm 0.99 a |
| Gross reproductive rate (GRR) | 14.08 \pm 0.65 b | 30.04 \pm 0.71 a | 9.94 \pm 0.84 c | 30.55 \pm 0.84 a |
| Mean generation time (T) | 10.77 \pm 0.14 b | 11.14 \pm 0.10 a | 10.32 \pm 0.11 c | 11.25 \pm 0.09 a |
| Doubling time (DT) | 3.27 \pm 0.11 b | 2.38 \pm 0.03 c | 4.32 \pm 0.24 a | 2.44 \pm 0.03 c |
| Oviposition period (day) | 5.47 \pm 0.18 b | 8.32 \pm 0.19 a | 4.14 \pm 0.19 c | 8.49 \pm 0.25 a |

[†] Pure essential oil; Nanocapsulated essential oil.

[§] Control 1 (distilled water plus Tween) and Control 2 (distilled water) related to pure and nanocapsulated formulation of *Thymus daenensis* essential oil, respectively.

Means with similar letters are no significantly different (Paired bootstrap test: $P > 0.05$).

بحث

بررسی‌ها نشان داده است که تیمول تاثیر زیادی بر خصوصیات رشدی بندپایان دارد. برای مثال، تیمول به طور معنی‌داری فراسنجه‌های جدول زندگی از قبیل نرخ ذاتی، نرخ متناهی، نرخ خالص جمعیت و میانگین مدت زمان یک نسل کنه *Tetranychus urticae* Koch را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داده است (Gholamzadeh Chitgar *et al.*, 2013). همچنین ثابت شده است که تیمول در برابر آفات به‌عنوان بازدارنده تغذیه و تخم‌ریزی و همچنین کاهش‌دهنده باروری عمل می‌کند (Koul *et al.*, 2008). ترپنوئیدهای متفاوت موجود در اسانس‌های گیاهی از طریق مکانیسم‌های گوناگون مثل اختلال در رفتارهای تغذیه، کاهش تولیدمثل در افراد بکرزا و در تولیدمثل جنسی به-عنوان بازدارندگی تخم‌گذاری در برابر شته‌ها عمل می‌کنند (Tewary *et al.*, 2005). در تحقیق حاضر نیز اسانس‌های گیاه آویشن دناپی که به طور عمده شامل مونوترپنوئید تیمول بود دارای اثرات کاهشی معنی‌داری بر برخی از خصوصیات زیستی شته مومی کلم از جمله میزان باروری و زنده‌مانی بود که یافته‌های مذکور را تایید می‌کند. علاوه بر تیمول، سمیت کشندگی ترکیباتی از قبیل کارواکرول، بتا-کاروفیلین، گاما-ترپینن، پارا-سایمن بر روی آفات انباری نیز به اثبات رسیده است (Moazeni *et al.*, 2014; Jarrahi *et al.*, 2016).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تیمارهای حاوی اسانس آویشن دناپی دارای اثرات منفی معنی‌داری روی پارامترهای جدول زندگی شته مومی کلم در مقایسه با تیمارهای شاهد می‌باشند. با توجه به بررسی پژوهش‌های قبلی، تاکنون مطالعه‌ای در مورد اثرات خالص یا نانو کپسول اسانس آویشن دناپی روی شته مومی کلم انجام نگرفته بود، اما تحقیقاتی در مورد اثرات منفی اسانس‌های برخی گونه‌های گیاهی دیگر روی این آفت انجام شده است. تاثیر اسانس برگ دو گیاه دارویی اکالیپتوس *Eucalyptus camaldulensis* Dehneh و *Laurus nobilis* L. روی حشرات کامل شته مومی کلم نشان داده که این دو اسانس در کاهش باروری و طول عمر حشرات کامل شته مومی کلم نسبت به شاهد موثر بودند (Hosseini amin *et al.*,

در این بررسی ترکیبات شیمیایی آویشن دناپی شامل تیمول، کارواکرول، بتا-کاروفیلین، گاما-ترپینن، پارا-سایمن، آلفا-کالاکورین، آلفا-ترپینن و ۱-۸-سینئول بودند. مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین ترکیبات ترپنی در اسانس آویشن دناپی، تیمول و پس از آن کارواکرول بودند که در مجموع ۷۳/۶۳ درصد از کل ترکیب‌های شیمیایی اسانس آویشن دناپی را تشکیل دادند. فعالیت آفت‌کشی این دو مونوترپنوئید روی تعدادی از مهم‌ترین آفت‌های کشاورزی، پزشکی و دامی گزارش شده است (Kordali *et al.*, 2008; Senra *et al.*, 2013; Novato *et al.*, 2015; Tabari *et al.*, 2017; Youssefi *et al.*, 2019). نحوه اثر تیمول و کارواکرول ممکن است با مختل شدن غشای سلولی سلول‌های حشرات و ایجاد نفوذپذیری بیشتر همراه باشد (Park *et al.*, 2017). پژوهش‌ها در ارتباط با اجزای شیمیایی اسانس آویشن دناپی نشان داده است که مقادیر تیمول در محدوده ۱۲/۸ تا ۵۷/۴ درصد و کارواکرول در محدوده ۹/۸ تا ۳۷ درصد نوسان دارند (Moazeni *et al.*, 2014; Jarrahi *et al.*, 2016; Zamani Verdi *et al.*, 2019). تنوع در میزان تیمول و کارواکرول اسانس آویشن دناپی در پژوهش‌های مختلف می‌تواند مرتبط به مکان‌های مختلف جغرافیایی جمع‌آوری گیاه و روش‌های تهیه اسانس باشد (Zarshenas and Krenn, 2015). تجزیه ترکیبات شیمیایی اسانس آویشن دناپی نشان داده است که پس از دو ترکیب تیمول (۵۷/۴ درصد) و کارواکرول (۹/۸ درصد)، بیشترین درصد ترکیبات، به ترتیب مربوط به بتا-کاروفیلین (۶/۹ درصد)، گاما-ترپینن (۶/۷ درصد) و پارا-سایمن (۶/۳ درصد) بوده است (Jarrahi *et al.*, 2016) که این نتایج با ترکیبات شیمیایی مطالعه حاضر مطابقت دارد. همچنین، مشابه یافته‌های فوق در بررسی دیگری در ارتباط با ترکیبات شیمیایی اسانس آویشن دناپی نشان داده شد که بعد از کارواکرول (۳۷ درصد) و تیمول (۱۲/۸ درصد) به ترتیب بتا-کاروفیلین (۷/۶ درصد)، گرانیول (۵/۷ درصد)، گاما-ترپینن (۵/۱ درصد) و پارا-سایمن (۴/۳ درصد) ترکیبات دیگر اسانس را شامل شدند (Moazeni *et al.*, 2014).

در مطالعه‌ای دیگر نیز مقدار نرخ خالص تولید مثل (R_0) شته مومی کلم در غلظت زیرکشدگی حشره کش تیمتوکسام (LC_{25}) تفاوت معنی داری را با شاهد (به ترتیب ۱۲/۵۶، ۲۵/۲۴ پوره به ازای هر ماده) نشان داد. همچنین، میانگین طول یک نسل (T) در تیمار حشره کش تیمتوکسام کمتر از شاهد (به ترتیب ۸/۷۸ و ۱۱/۸۵ روز) بود (Sarhozaki et al., 2013) که مشابه نتایج به دست آمده در ارتباط با اثرات زیرکشدگی اسانس خالص آویشن دنیایی و شاهد آن در تحقیق ما می‌باشد. میزان زادآوری در هر روز برای شته مومی کلم در غلظت زیرکشدگی (۰/۰۰۰۰۵ میلی گرم بر میلی لیتر) از عصاره گیاه *Azadirachta indica* A. Juss. و شاهد دارای اختلاف معنی داری بوده و به ترتیب ۲/۵ و ۳/۶ پوره در روز بود (Pavela et al., 2004) که مشابه نتیجه تحقیق حاضر (اسانس خالص و شاهد برابر با ۵/۴۷ و ۸/۳۲ پوره بر روز) است.

علاوه بر سمیت کشندگی، اثرات زیرکشدگی نانوآفت‌کش‌ها نیز به منظور بررسی جامع ویژگی‌های زیست‌شناسی خصوصیات بندپایان از قبیل طول عمر، باروری و شاخص‌های تغذیه‌ای آفات مورد نیاز است (Weridin Gonzalez et al., 2016). بیشتر بررسی‌های صورت گرفته روی آفات در ارتباط با اثرات کشندگی فرمولاسیون نانواسانس‌های گیاهی بوده و پژوهش‌های اندکی پیرامون تاثیر این ترکیبات روی فراسنجه‌های جدول زندگی آفات صورت پذیرفته است. استفاده از فرمولاسیون نانوکپسول باعث می‌شود که ماده موثره توسط پوششی در - برگرفته شده و رهایش اسانس به صورت کنترل‌شونده و تدریجی صورت پذیرد که این خود منجر به کاهش استفاده از ماده موثره و افزایش زمان آزادسازی ماده فعال می‌شود (Moretti et al., 2002). نتایج این مطالعه نشان داد که فرمولاسیون نانوکپسول اسانس گیاهی در مقایسه با اسانس خالص و شاهدها اثرات بیشتری بر ویژگی‌های زیستی شته مومی کلم دارد. نتایج فرمولاسیون نانومولسیون اسانس‌های گیاهی روی سفید بالک (*Bemisia tabaci* (Gennadius) نیز نشان داده که این فرمولاسیون علاوه بر اثرگذاری روی

(2013). همچنین نتایج تحقیق دیگری نشان داد که کاربرد هفت اسانس گیاهی (*Rosmarinus officinalis* L., *Juglans regia* L., *Pimpinella anisum* L., *L. nobilis*, *Foeniculum vulgare* Mill., *Juniperus excelsa* M. Bieb. و *Juniperus oxycedrus* L.) به طور قابل توجهی پتانسیل تولیدمثل شته مومی کلم را کاهش داده است (Işık and Görtür, 2009).

در سایر پژوهش‌های انجام شده، علاوه بر اسانس‌ها، اثرات زیرکشدگی سایر ترکیبات از قبیل عصاره‌های گیاهی و حشره‌کش‌های شیمیایی نیز روی فراسنجه‌های جمعیت شته مومی کلم استفاده شده است. لشکری و همکاران نشان دادند که نرخ افزایش جمعیت (r) شته مومی کلم در تیمارهای زیر کشنده ایمیداکلوپراید (۰/۰۷ بر روز) و پی‌متروزین (۰/۱۲ بر روز) در مقایسه با شاهد (۰/۲۷ بر روز) به مقدار قابل توجهی کمتر بود. همچنین، از نظر میانگین طول عمر حشرات بالغ این شته نیز تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد (۱۱/۱۳ روز) با غلظت‌های زیر کشنده حشره‌کش‌های ایمیداکلوپراید (۲/۶۶ روز) و پی‌متروزین (۳/۶۰ روز) گزارش شد (Lashkari et al., 2007). مشابه یافته‌های این تحقیق، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که قرار گرفتن در معرض غلظت‌های زیرکشنده خالص و نانوکپسول اسانس نیز طول عمر شته‌های بالغ را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر غلظت زیرکشنده خالص و نانوکپسول اسانس آویشن دنیایی میزان نرخ ذاتی افزایش جمعیت شته را در مقایسه با تیمارهای شاهد به طور معنی‌داری کاهش دادند. نرخ ذاتی افزایش جمعیت در شته‌های تیمار شده با فرمولاسیون نانوکپسول و اسانس خالص آویشن دنیایی به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۲۱ بر روز بود که در مقایسه با تیمارهای شاهد ۱ و ۲ (۰/۲۹ بر روز) به طور معنی‌داری کمتر بود. به طور کلی، غلظت زیرکشدگی اسانس‌ها علاوه بر کاهش باروری و طول عمر، سبب زنده-مانی کمتر به علت جذب مواد غذایی و افزایش مرگ و میر طی مراحل نابالغ شده و کاهش شدیدی در تعداد نسل‌های افراد ایجاد می‌کند (Rajkumar et al., 2020).

صرفه نبودن از معایب این ترکیبات به حساب می‌آید (Ahmadi *et al.*, 2018). از این رو با تکنیک نانوکپسول کردن اسانس، قدرت رهایش سریع ماده موثره آن کم شده و تاثیر کارآیی سمیت تماسی آن با گذشت زمان افزایش می‌یابد. همچنین به دلیل پخش یکنواخت تر و قدرت مواجهه بیشتر با سطح بدن حشره، قدرت سمیت تماسی اسانس را بالا می‌برد. بنابراین، نانوکپسول کردن اسانس‌ها نقش عمده و بسزایی در کارآمدی و موثرتر واقع شدن آن‌ها در کنترل آفات دارد (Negahban *et al.*, 2013). مطالعه حاضر، اولین گزارش از اثرات زیرکشندگی نانوفرمولاسیون اسانس گیاهی روی شته مومی کلم می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که فرمولاسیون نانوکپسول اسانس آویشن دناپی تاثیر به-سزایی بر فراسنجه‌های رشد جمعیت شته مومی کلم داشته و با توجه به اثرات نامطلوب آفت‌کش‌ها و مقاومت آفات به آن‌ها، به نظر می‌رسد فرمولاسیون نانو می‌تواند با افزایش کارآیی اسانس آویشن دناپی، در مدیریت تلفیقی شته مومی کلم موثر واقع شود. از آنجا که این پژوهش در شرایط آزمایشگاهی انجام گرفته است، لذا لازم است که در پژوهش‌های آتی استفاده از این فرمولاسیون در شرایط مزرعه‌ای که سایر عوامل محیطی بر عملکرد نانوکپسول تاثیر می‌گذارند، انجام گیرد. همچنین در آزمایش‌های آینده، اثرات کشندگی و زیرکشندگی فرمولاسیون نانوکپسول آویشن دناپی روی دشمنان طبیعی آفت بررسی شود.

پوره سن دوم آفت، مراحل بعدی زندگی آفت را نیز مورد تاثیر قرار داده و باعث کاهش ظهور حشره کامل و میزان تخم‌گذاری حشرات ماده شده است (Bolandnazar *et al.*, 2017). در تحقیق حاضر نیز میزان باروی شته در تیمار شته‌های تیمار شده با غلظت‌های زیرکشنده نانوکپسول در مقایسه با سایر تیمارها به طور معنی‌داری کاهش یافت. غلظت زیرکشندگی نانوذرات تهیه شده از عصاره دو گیاه حشرات کامل *Culex quinquefasciatus* Say در مرحله شفیرگی شد (Hajra and Mondal, 2016).

از آنجا که در اسانس آویشن دناپی، ترکیب‌های تیمول، کارواکرول، بتا-کاربوفیلین، گاما-ترپینن، پارا-سایمن بیشترین حجم اسانس را به خود اختصاص داده‌اند (Moazeni *et al.*, 2014; Jarrahi *et al.*, 2016) بنابراین اثر سمیت کشندگی و زیرکشندگی اسانس را می‌توان به ترکیب‌های فوق نسبت داد. تاکنون آزمایش‌های مختلفی در ارتباط با سمیت اسانس آویشن دناپی روی آفات مختلف از قبیل *Sitophilus granaries* (L.)، *Plodia*، *Callosobruchus maculatus* (F.)، *Aphis gossypii* و *interpunctella* (Hübner) Glover انجام شده است (Moazeni *et al.*, 2014; Jarrahi *et al.*, 2016; Zamani Verdi *et al.*, 2019). اما فراریت سریع اسانس‌ها و دوام کم آن‌ها و مقرون به

References

- Adams, R. P. 2007. Identification of essential oil compounds by gas chromatography/mass spectrometry. (4th Ed.). Allured Publishing Corporation, Carol Stream, IL, USA.
- Ahmad, M. and Akhtar, S. 2013. Development of insecticide resistance in field populations of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) in Pakistan. **Journal of Economic Entomology** 106(2): 954-958.
- Ahmad, M. and Aslam, M. 2005. Resistance of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) to endosulfan, organophosphates and synthetic pyrethroids. **Pakistan Journal of Zoology** 37(4): 293-295.
- Ahmedi, Z., Saber, M., Bagheri, M. and Mahdavinia, G. R. 2018. *Achillea millefolium* essential oil and chitosan nanocapsules with enhanced activity against *Tetranychus urticae*. **Journal of Pest Science** 91(2): 837-848.
- Avato, P. and Argentieri M. P. 2015. Brassicaceae: a rich source of health improving phytochemical. **Phytochemistry Reviews** 14: 1019-1033.
- Batish, D. R., Singh, H. P., Kohli, R. K. and Kaur, S. 2008. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. **Forest Ecology and Management** 256(12): 2166-2174.

- Biondi, A., Zappalà, L., Stark, J. D. and Desneux, N.** 2013. Do biopesticides affect the demographic traits of a parasitoid wasp and its biocontrol services through sublethal effects? **PLoS One** 8(9): 1-11.
- Blackman, R. L. and Eastop, V. F.** 2000. *Aphids of the World's Crops: An Identification and Information Guide.* (2nd ed.). John Wiley and Sons, London.
- Bolandnazar, A., Ghadamyari, M., Memarzadeh, M. and Sandi, J. J.** 2017. Effect of some micro and nanoemulsified essential oils and plant extract on sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius), under laboratory condition. **Plant Pest Research** 7(3): 23-37.
- Chi, H.** 2019. TWSEX-MSChart: A Computer Program for the Age-Stage, Two-Sex Life Table Analysis. Available at: <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWSEX-MSChart>.
- Cloyd, R. A., Galle, C. L., Keith, S. R., Kalscheur, N. A and Kemp, K. E.** 2009. Effect of commercially available plant-derived essential oil products on arthropoda pests. **Journal of Economic Entomology** 102(4): 1567-1579.
- Crawley, M. J.** 2013. *The R book.* John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK. 633 pp
- Desneux, N., Decourtye, A. and Delpuech, J. M.** 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology** 52: 81-106.
- Ebadollahi, A. and Jalali Sendi, J.** 2015. A review on recent research results on bio-effects of plant essential oils against major Coleopteran insect pests. **Toxin Reviews** 34(2): 76-91.
- Ebadollahi, A. and Setzer, W. N.** 2020. Evaluation of the toxicity of *Satureja intermedia* CA Mey essential oil to storage and greenhouse insect pests and a predator ladybird. **Foods** 9(6): 712 <https://doi.org/10.3390/foods9060712>.
- Ebadollahi, A., Ziaee, M. and Palla, F.** 2020. Essential oils extracted from different species of the Lamiaceae plant family as prospective bioagents against several detrimental pests. **Molecules** 25(7): 1556. <https://doi.org/10.3390/molecules25071556>.
- FAO.** 1979. Recommended methods for the detection and measurement of resistance of agricultural pests to pesticides. Method for adult aphids. FAO methods. No.17. **FAO Plant Protection Bulletin** 27 (2): 29-32.
- Gholamzadeh Chitgar, M., Khosravi, R., Jalali Sendi, J. and Ghadamyari, M.** 2013. Sublethal effects of *Thymus vulgaris* essential oil on life-table parameters of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Archives of Phytopathology and Plant Protection** 46(7): 781-788.
- Hajra, A. and Mondal, N. K.** 2016. Phytofabrication of silver nanoparticles using *Elephantopus scaber* and *Azadirachta indica* leaf extract and its effect on larval and pupal mortality of *Culex quinquefasciatus*. **Asian Pacific Journal of Tropical Disease** 6(12): 979-986.
- Hosseini Amin, S. B., Shahrokhi, S., Alinia, F. and Khosroshahli, M.** 2013. Insecticidal and repellent effects of essential oils from laurel, *Laurus nobilis* and eucalyptus, *Eucalyptus camaldulensis* against cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*. **Biocontrol in Plant Protection** 1(1): 1-11.
- Işik, M. and Görür, G.** 2009. Aphidicidal activity of seven essential oils against the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae). **Munis Entomology and Zoology** 4(2): 424-31.
- Isman, M. B.** 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review of Entomology** 51: 45-66.
- Isman, M., Miresmailli, S. and Machial, C.** 2010. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. **Phytochemistry Reviews** 10: 197-204.
- Isman, M. B.** 2019. Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. **Phytochemistry Reviews** 19: 235-241.
- Jarrahi, A., Moharramipour and S., Imani, S.** 2016. Chemical composition and fumigant toxicity of essential oil from *Thymus daenensis* against two stored product pests. **Journal of Crop Protection** 5(2): 243-250.
- Karimzadeh, J., Bonsall, M. B. and Wright, D. J.** 2004. Bottom-up and top-down effects in a tritrophic systems: the population dynamics of *Plutella xylostella*-*Cotesia plutellae* on different host plants. **Ecological Entomology** 29: 285-293.

- Karimzadeh, J. and Rabiei, A.** 2020. Larvicidal and oviposition deterrent effects of the jimsonweed (*Datura stramonium*) extracts on the diamondback moth, *Plutella xylostella*. **Journal of Agricultural Science and Technology** (In press).
- Karimzadeh, J. and Sayyed, A. H.** 2011. Immune system challenge in a host-parasitoid-pathogen system: interaction between *Cotesia plutellae* (Hym: Braconidae) and *Bacillus thuringiensis* influences parasitism and phenoloxidase cascade of *Plutella xylostella* (Lep: Plutellidae). **Journal of Entomological Society of Iran** 30(2): 27-38.
- Khoei, S. and Yaghoobian, M.** 2009. An investigation into the role of surfactants in controlling particle size of polymeric nanocapsules containing Penicillin-G in double emulsion. **European Journal of Medicinal Chemistry** 44(6): 2392-2399.
- Kordali, S., Cakir, A., Ozer, H., Cakmakci, R., Kesdek, M. and Mete, E.** 2008. Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three components, carvacrol, thymol and *p*-cymene. **Bioresource Technology** 99: 8788-8795.
- Koul, O., Walia, S. and Dhaliwal, G. S.** 2008. Essential oil as green pesticide: potential and constraints. **Biopesticides International** 4(1):63-84.
- Lashkari, M. R., Sahragard, A. and Ghadamyari, M.** 2007. Sublethal effects of imidacloprid and pymetrozine on population growth parameters of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* on rapeseed, *Brassica napus* L. **Insect Science** 14: 207-212.
- Moazeni, N., Khajeali, J., Izadi, H. and Mahdian, K.** 2014. Chemical composition and bioactivity of *Thymus daenensis* Celak (Lamiaceae) essential oil against two lepidopteran stored-product insects. **Journal of Essential Oil Bearing Plants** 26(2): 118-124.
- Moretti, M. D., Sanna-Passino, G., Demontis, S. and Bazzoni, E.** 2002. Essential oil Formulations Useful as a new Tool for Insect Pest Control. **American Association of Pharmaceutical Scientists** 3: 64-74.
- 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., Zandi, M. and Hashemi, S. A.** 2013. Efficiency of nanoencapsulated essential oil of *Artemisia sieberi* Besser on nutritional indices of *Plutella xylostella*. **Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants** 29(3): 692-708.
- Nematollahi, M. R., Fathipour, Y., Talebi, A. A., Karimzadeh, J. and Zalucki, M. P.** 2015. Population variation of a specialist versus a generalist aphid sharing the same host plant in field. **Journal of Agricultural Science and Technology** 17: 1529-1538.
- Niroumand, M. C., Farzaei, M. H., Razkenari, E. K., Amin, G., Khanavi, M., Akbarzadeh, T. and Shams-Ardekani, M. R.** 2016. An evidence-based review on medicinal plants used as insecticide and insect repellent in traditional Iranian medicine. **Iranian Red Crescent Medical Journal**, 18(2): e22361. doi: 10.5812/ircmj.22361.
- Novato, T. P. L., Araújo, L. X., de Monteiro, C. M. O., Maturano, R., Senra, T. D. O. S., da Silva Matos, R., Gomes, G. A., de Carvalho, M. G. and Daemon, E.** 2015. Evaluation of the combined effect of thymol, carvacrol and (*E*)-cinnamaldehyde on *Amblyomma sculptum* (Acari: Ixodidae) and *Dermacentor nitens* (Acari: Ixodidae) larvae. **Veterinary Parasitology** 212: 331-335.
- Pavela, R., Barnet, M. and Kocourek, F.** 2004. Effect of azadirachtin applied systemically through roots of plants on the mortality, development and fecundity of the cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae*). **Phytoparasitica** 32(3): 286-294.
- Rajendran, S. and Sriranjini, V.** 2008. Plant products as fumigants for stored-product insect control. **Journal of Stored Products Research** 44: 126-135.
- Rochmadi, A., Prasetya, A. and Hasokowati, W.** 2010. Mechanism of microencapsulation with urea-formaldehyde polymer. **American Journal of Applied Sciences** 7(6): 739-745.
- Saber, M., Ahmadi, Z. and Mahdavinia, G.** 2018. Sublethal effects of spirodiclofen, abamectin and pyridaben on life-history traits and life-table parameters of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Experimental and Applied Acarology** 75(1): 55-67.

- Sarhozaki, M. T. and Safavi, S. A.** 2014. Sub-lethal effects of tiametoxam on life table parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) under laboratory conditions. **Archives of Phytopathology and Plant Protection** 47(4): 508-515.
- Sarwar, M.** 2017. Integrated control of insect pests on canola and other brassica oilseed crops in Pakistan. In Reddy, G. V. P. (Eds.). *Integrated Management of Insect Pests on Canola and Other Brassica Oilseed Crops*, Wallingford, Oxfordshire, UK, CABI. pp 195.
- Senra, T. O. S., Calmon, F., Zeringóta, V., Monteiro, C. M. O., Maturano, R., da Silva Matos, R. and Daemon, E.** 2013. Investigation of activity of monoterpenes and phenylpropanoids against immature stages of *Amblyomma cajennense* and *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae). **Parasitology Research** 112: 3471-3476.
- Stark, J. D. and Banks, E.** 2003. Population level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology** 48: 505-519.
- Tabari, M. A., Youssefi, M. R., Maggi, F. and Benelli, G.** 2017. Toxic and repellent activity of selected monoterpenoids (thymol, carvacrol and linalool) against the castor bean tick, *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae). **Veterinary parasitology** 245: 86-91.
- Tewary, D. K., Bhardwaj, A. and Shanker, A.** 2005. Pesticidal activities in five medicinal plants collected from mid hills of western Himalayas. **Industrial Crops and Products** 22(3): 241-247.
- Ting, Z., Min, Z., Xiao-Mei, T., Feng, C., and Jian-Hui, Q.** 2010. Optimal preparation and characterization of poly (urea-formaldehyde) microcapsules. **Journal of Applied Polymer Science** 115(4): 2162-2169.
- Werdin Gonzalez, J. O., Gutierrez, M. M., Ferrero, A. A. and Band, B. F.** 2014. Essential oils nanoformulations for stored-product pest control-characterization and biological properties. **Chemosphere** 100: 130-138.
- Werdin Gonzalez, J., Yeguerman, C., Marcovecchio, D., Delrieux, C., Ferrero, A. and Fernandez Band, B.** 2016. Evaluation of sublethal effects of polymer-based essential oils nanoformulation on the German cockroach. **Ecotoxicology and Environmental Safety** 130: 11-18.
- Youssefi, M. R., Tabari M, A., Esfandiari, A., Kazemi, S., Moghadamnia, A. A., Sut, S., Dall Acqua, S., Benelli, G., Maggi, F.** 2019. Efficacy of two monoterpenoids, carvacrol and thymol, and their combinations against eggs and larvae of the West Nile vector, *Culex pipiens*. **Molecules** 24(10): 1867.
- Zarshenas, M. M. and Krenn, L. A.** 2015. Critical overview on *Thymus daenensis* Celak.: phytochemical and pharmacological investigations. **Journal of Integrative Medicine** 13(2): 91-98.
- Zamani Verdi, M., Abbasipour, H. and Goudarzvande Chegini, S.** 2019. Phytochemical and insecticidal study of the Avishan-e-denaii (*Thymus daenensis* Celak.) essential oil against the melon aphid (*Aphis gossypii* Glover). **Journal of Essential Oil Bearing Plants** 22(2): 545-553.
- Ziaee, M., Moharrampour, S. and Mohsenifar, A.** 2014. MA-chitosan nanogel loaded with *Cuminum cyminum* essential oil for efficient management of two stored product beetle pests. **Journal of pest science** 87: 691-699.
- Zhang, W. Q. and Hassan, S. A.** 2003. Use of the parasitoid *Diaeretiella rapae* (McIntoch) to control the cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (L.). **Journal of Applied Entomology** 127: 522-526.
- Zhang, D. X., Li, B. X., Zhang, X. P., Zhang, Z. Q., Wang, W. C. and Liu, F.** 2016. Phoxim microcapsules prepared with poly-urea and urea-formaldehyde resins differ in photostability and insecticidal activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 64: 2814-2846.
- Zhao, Y., Wang, Q., Ding, J., Wang, Y., Zhang, Z., Liu, F. and Mu, W.** 2018. Sublethal effects of chlorfenapyr on the life table parameters, nutritional physiology and enzymatic properties of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae). **Pesticide Biochemistry and Physiology** 148: 93-102.

The effects of pure and nanocapsulated formulations of *Thymus daenensis* Celak. (Lamiaceae) essential oil on life-table parameters of cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.) (Hem.: Aphididae)

M. Heidary¹, Sh. Jafari^{1*}, J. Karimzadeh², M. Negahban³ and J. Shakarami¹

1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran, 2. Department of Plant Protection, Isfahan Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources, AREEO, Isfahan, Iran, 3. Department of Pesticide Research, Iranian Research Institute of Plant Protection, AREEO, Tehran, Iran

(Received: June 11, 2020- Accepted: July 22, 2020)

Abstract

Plant essential oils are secondary metabolites that protect the plants against wide range of arthropods and plant pathogens. Encapsulation of essential oils can improve their stability and efficacy for pest control. In this study, the essential oil of *Thymus daenensis* Celak. (Lamiales: Lamiaceae) was extracted using hydro-distillation, and urea-formaldehyde nanocapsule of the essential oil was then prepared using *in situ* polymerization technique. In addition, the effects of sublethal concentrations (LC_{25}) of pure and nanocapsulated formulations of *T. daenensis* essential oil on the life-table parameters of *Brevicoryne brassicae* L. (Hem.: Aphididae) were examined using leaf-dipping method under laboratory conditions. According to the obtained results, the intrinsic rate of increase (r) was 0.16, 0.21, 0.29 and 0.29 day^{-1} for nanocapsulated formulation, pure formulation, 1st control (distilled water + Tween 80 (0.5%)) and 2nd control (distilled water), respectively. The finite rate of increase (λ) was also significantly lower for aphids treated by nanocapsulated formulation (1.17 day^{-1}) than aphids in pure formulation treatment (1.24 day^{-1}), and 1st (1.34 day^{-1}) and 2nd (1.33 day^{-1}) control groups. Furthermore, the net reproductive rate (R_0) was 5.24 and 9.84 nymphs for nanocapsulated and pure formulations, respectively, which were significantly lower than that for controls. The greatest and lowest mean generation time (T) were observed for the 2nd control (11.25 days) and nanocapsulated formulation (10.32 days), respectively. According to findings of this study, the nanocapsulated formulation of *T. daenensis* essential oil is recommended for use in the integrated pest management of *B. brassicae*.

Key words: Nanoparticle, polymerization, sublethal effects, botanical insecticide, intrinsic rate of increase

*Corresponding author: Shahriar.jafari@gmail.com; Jafari.s@lu.ac.ir