تحقیقات آفات گیاهی
۱۳۹۸ -۹ (۲): ۴۹-۶۱

تاثیر حشره‌کشی اسانس گیاه بادرشبو *Dracocephalum moldavica* روی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* و میزبان‌های آن *Anagasta kuehniella* و *Plodia interpunctella*

عسگر عباداللهی[1*] و وحید مهدوی[2]

۱- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، ۲- گروه گیاه-پزشکی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۱۲)

چکیده

زنبور *Habrobracon hebetor* Say، پارازیتوئید بیرونی مرحله‌ی لاروی تعداد زیادی از شب‌پره‌ها محسوب می‌شود. در این مطالعه، سمیت اسانس گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) روی شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد (*Anagasta kuehniella* Zeller)، شب‌پره‌ی هندی (*Plodia interpunctella* Hübner) و زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد ارزیابی قرار گرفت. اسانس گیاه بادرشبو به روش تقطیر با بخار آب با استفاده از دستگاه کلونجر استخراج شد و ترکیبات شیمیایی آن با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) شناسایی شدند. Piperitenone Oxide (۱۹/۰۳ درصد)، Piperitone Oxide (۱۳/۷۴ درصد) و Citral (۹/۷۹ درصد) به‌عنوان ترکیبات اصلی اسانس بادرشبو می‌باشند. غلظت کشنده‌ی ۵۰ درصد (LC_{50}) اسانس مذکور علیه حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* و حشرات کامل شب‌پره‌های *A. kuehniella* و *P. interpunctella* به ترتیب ۰/۹۹۵، ۹/۶۳۱ و ۱۰/۲۵۲ میکرولیتر بر لیتر هوا به دست آمد. به منظور ارزیابی تاثیر زیرکشندگی، حشرات کامل زنبور پارازیتوئید در معرض غلظت زیرکشنده ۲۵ درصد اسانس گیاه بادرشبو قرار داده شدند و سپس شاخص‌های جمعیت شناسی زنبورهای پارازیتوئید زنده مورد مطالعه قرار گرفتند. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ناخالص تولیدمثلی (GRR) و متوسط زمان یک نسل (T) زنبور پارازیتوئید، به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر غلظت مورد مطالعه‌ی اسانس کاهش پیدا کرد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اسانس گیاه بادرشبو می‌تواند در مدیریت شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره‌ی هندی موثر واقع شود. با این وجود، کاربرد هم‌زمان اسانس بادرشبو و زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* جهت مدیریت آفات مذکور، با توجه به سمیت و اثرات دموگرافیکی منفی اسانس روی زنبور پارازیتوئید، پیشنهاد نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسانس‌های گیاهی، سمیت تدخینی، تاثیر زیرکشندگی، *Habrobracon hebetor*، Pyralidae

*نویسنده‌ی مسئول: ebadollahi@uma.ac.ir

مقدمه

بالپولکداران به‌خصوص شب‌پره‌های خانواده‌ی Pyralidae از مهم‌ترین آفات محصولات انباری محسوب می‌شوند که خسارت بالایی به محصولات انباری وارد می‌کنند. شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد (*Anagasta kuehniella* Zeller) یکی از مهم‌ترین آفات انباری می‌باشد که آرد و مواد فرآوری شده از آن و سایر محصولات انباری را به شدت آلوده می‌کند. لاروها با تغذیه و پوست‌اندازی از مرغوبیت آرد کاسته و ارزش نانوایی آن را از بین می‌برند (Mediouni *et al.,* 2013). شب‌پره‌ی هندی (*Plodia interpunctella* Hübner) از آفات مهم انباری روی خشکبار، غلات، بذرها، حشرات خشک شده و کندوی عسل می‌باشد که لاروهای آن با تغذیه از محصولات، خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم را ایجاد می‌کنند (Phillips *et al.,* 2000).

به‌دلیل سمیت بالای آفت‌کش‌های شیمیایی رایج برای انسان و سایر عوارض نامطلوب آن‌ها، در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای معرفی ترکیب‌های کم‌خطر جهت کنترل عوامل خسارت‌زای گیاهی صورت گرفته است (Park *et al*., 2003; Regnault-Roger *et al*., 2012; Isman and Grieneisen, 2014). مواد تولید شده توسط گیاهان را می‌توان به عنوان یکی از منابع مهم تولید آفت‌کش‌های جدید معرفی کرد (Park *et al*., 2003). این آفت‌کش‌ها روی انواع آفات تأثیر دارند و عوارض جانبی منفی آن‌ها روی موجودات غیرهدف و محیط زیست بسیار اندک ماست (Kim *et al*., 2003). علاوه بر این، آفت‌کش‌های گیاهی به راحتی در طبیعت تجزیه شده و خطر مقاومت آفات در برابر آن‌ها پایین است (Isman, 2000; Enan, 2001). در دو دهه‌ی اخیر در سراسر جهان تمایل به استفاده از اسانس‌های مختلف گیاهی، که بیشتر مشابه آفت‌کش‌های تدخینی روی مراحل مختلف آفات تاثیر کشنده دارند، افزایش یافته است (Papachristos and Stamopoulos, 2002; Isman, 2006). بیشتر اسانس‌ها برای پستانداران و مهره داران سمی نیستند و نقش محافظت از گیاهان را در مقابل آفات بر عهده دارند (Isman, 2006). پژوهش‌های بسیاری روی کاربرد اسانس‌های گیاهان در کنترل حشرات آفات انباری (Ayvaz *et al.,* 2010; Ebadollahi, 2018)، گلخانه‌ای (Mahmoodi *et al.,* 2015)، زراعی (Wilson and Isman, 2006) و کنه‌های گیاهی (Motazedian *et al.,* 2011; Ebadollahi *et al.,* 2017) صورت گرفته است.

مدیریت تلفیقی آفات (IPM)، تفکری علمی است که در آن از روش‌های سازگار با هم جهت کنترل آفات مختلف و تحت فشار قرار دادن جمعیت آنها استفاده می‌شود (González *et al.,* 2013). بنابراین، استفاده‌ی هم‌زمان از چندین روش برای کنترل آفات تنها روش مؤثر و امن است که تکیه بر آفت‌کش‌های شیمیایی و عواقب ناشی از آن را کاهش می‌دهد. بنابراین، استفاده‌ی هم‌زمان از روش‌های کنترل شیمیایی و کنترل بیولوژیک به طور معمول توصیه می‌شود. از جمله عوامل کنترل بیولوژیکی که به عنوان پارازیتوئید بیرونی لاروهای آفات بالپولکدار خانواده‌ی Pyralidae فعالیت می‌کند، زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* Say (Hym.: Braconidae) می‌باشد (Brower *et al*., 1996; Mbata and Warsi, 2019). این زنبور دارای گسترش جهانی بوده و با حمله به مرحله‌ی لاروی میزبان خود، آن را فلج کرده و سپس روی آن تخمریزی می‌کند.

این امکان وجود دارد که ترکیبات سمی به طور غیرمستقیم پارامترهای زیستی و تولیدمثلی یک دشمن طبیعی مانند باروری، طول عمر، زنده‌مانی و نسبت جنسی را تحت تأثیر قرار دهند. برای مثال، اسانس گیاه آنغوزه (*Ferula assafoetida* L.) درصد خروج حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* را در مقایسه با شاهد کاهش داده است (Hashemi *et al.,* 2014).

گیاه بادرشبو با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L.، گیاهی علفی و یک‌ساله از تیره‌ی Lamiaceae است که بومی آسیای مرکزی می‌باشد

(Dastmalchi *et al.*, 2007). تمام اندام‌های گیاه حاوی اسانس می‌باشد و مقدار آن در قسمت‌های مختلف گیاه متفاوت است. خاصیت حشره‌کشی اسانس گیاه بادرشبو در پژوهش‌های مختلفی به اثبات رسیده است (Mahmoodi *et al.*, 2016; Torani *et al.*, 2016). بنابراین در تحقیق حاضر، ضمن بررسی خاصیت حشره‌کشی اسانس گیاه بادرشبو، روی شب‌پره‌های *A. kuehniella* و *P. interpunctella*، تاثیر آن روی برخی ویژگی‌های زیستی و تولیدمثلی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا در صورت امکان و بعد از انجام آزمایش‌های تکمیلی بتوان از این اسانس همراه با زنبور پارازیتوئید در برنامه‌های مدیریت آفات مذکور بهره جست.

مواد و روش‌ها

پرورش میزبان‌ها

جمعیت اولیه‌ی شب‌پره‌های مدیترانه‌ای و هندی آرد از آزمایشگاه تحصیلات تکمیلی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شدند. پرورش شب‌پره‌ها داخل ظروف پلاستیکی به ابعاد ۹/۵ × ۲۲ × ۳۲ سانتی‌متر صورت گرفت. به منظور تأمین تهویه مناسب، دریچه‌ای به ابعاد ۲۵ × ۱۵ سانتی‌متر روی درب ظروف پلاستیکی ایجاد کرده و با استفاده از پارچه‌ی توری پوشانده شدند. پرورش شب‌پره‌ها در اتاق رشد با دمای ۲±۲۶ درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی صورت پذیرفت (Mostaghimi *et al.*, 2012). شب‌پره‌ی هندی آرد روی غذای مصنوعی توصیه شده توسط سیت و همکاران (Sait *et al.*, 1997) پرورش داده شد. ترکیبات غذای مصنوعی شامل: مخمر ۶۰ گرم، گلیسرول ۲۰۰ میلی‌لیتر، عسل ۲۰۰ میلی‌لیتر و سبوس گندم ۸۰۰ گرم بود. پرورش شب‌پره‌ی آرد نیز روی جیره‌ی غذایی شامل آرد گندم (۶۵ درصد وزنی)، سبوس گندم (۲۵ درصد وزنی) و مخمر نان (۱۰ درصد وزنی) انجام شد.

پرورش زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor*

جمعیت اولیه‌ی زنبور پارازیتوئید از آزمایشگاه تحصیلات تکمیلی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه شد. برای پرورش زنبور از ظروف پتری پلاستیکی شفاف به قطر ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. در هر ظرف تعداد پنج جفت زنبور نر و ماده رهاسازی و تعداد ۲۰ عدد لارو سن آخر شب‌پره‌ی آرد در اختیار آن‌ها قرار داده شد. داخل هر پتری یک نوار کاغذی آغشته به لایه نازک عسل به ابعاد ۵×۲۰ میلی‌متر به منظور تغذیه‌ی زنبورها قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت، زنبورها را خارج کرده و ظروف حاوی لاروهای پارازیته شده تا ظهور حشرات کامل نسل جدید زنبور در شرایط پرورش نگهداری شدند (Rafiee-Dastjerdi *et al.*, 2009).

تهیه‌ی نمونه‌ی گیاهی و استخراج اسانس

گیاه بادرشبو از بازار محلی در شهرستان زنجان تهیه شد. نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری‌شده بعد از انتقال به محیط آزمایشگاه در محیط تاریک خشک شدند. نمونه‌های جمع‌آوری شده به منظور اسانس‌گیری، با استفاده از آسیاب برقی پودر شدند. مقدار ۵۰ گرم از پودر گیاه مورد مطالعه به داخل بالن یک لیتری ریخته شد. سپس، مقدار ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به بالن اضافه شد. اسانس‌گیری با استفاده از دستگاه کلونجر صورت گرفت. مدت زمان اسانس‌گیری چهار ساعت بود. بعد از اتمام مدت اسانس‌گیری، اسانس استخراج شده به ظرف‌های شیشه‌ای تاریک منتقل شد و پس از پوشاندن ظرف‌های شیشه‌ای با فویل آلومینیومی، تا شروع آزمایش‌ها در یخچال نگهداری شد.

شناسایی ترکیبات اسانس‌های گیاهی

به منظور شناسایی اجزای تشکیل دهنده‌ی اسانس‌های گیاهی از دستگاه کروماتوگرافی گازی (HP 7890A) متصل به طیف‌سنج جرمی (5975C) استفاده شد. ستون مورد استفاده در دستگاه از نوع کاپیلاری HP-5 بود. گاز حامل دستگاه هلیم (۹۹/۹۹۹ درصد) بود که به میزان یک میلی‌لیتر در هر دقیقه مورد استفاده قرار گرفت. تشخیص طیف‌ها با مطالعه‌ی اجزای

آن‌ها و مقایسه‌ی طیف‌های استاندارد موجود در کتابخانه‌ی دستگاه انجام شد (Adams, 2001).

تاثیر کشندگی اسانس گیاهی روی زنبور پارازیتویید و میزبان‌های آن

آزمایش‌های زیست‌سنجی به روش تدخینی بر اساس روش رحمان و اشمید (Rahman and Schimdt, 1999) و نگهبان و همکاران (Negahban *et al.*, 2007) در ظروف شیشه‌ای به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر انجام شدند. در هر آزمایش، تعداد ۲۰ عدد حشره‌ی کامل زنبور پارازیتوئید (Rafiee-Dastjerdi *et al.*, 2009) و شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره‌ی هندی (Ayvaz *et al.*, 2010; Ebadollahi *et al.*, 2010) به هر ظرف شیشه‌ای منتقل شدند. بعد از انجام آزمایش‌های مقدماتی و تعیین دامنه غلظت‌هایی که باعث ایجاد تلفات ۲۵ تا ۷۵ درصدی در جمعیت حشرات شدند (۰/۵ –۱/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا برای زنبور پارازیتوئید، ۷/۲۱– ۱۱/۸۴ میکرولیتر بر لیتر هوا برای شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد و ۸/۱ – ۱۲/۵ میکرولیتر بر لیتر هوا برای شب‌پره ی هندی)، آزمایش‌های اصلی با پنج غلظت و چهار تکرار انجام شد. در ظروف شاهد به جای اسانس از آب مقطر استفاده شد. تلفات در ظروف شاهد و تیمارها بعد از گذشت ۲۴ ساعت ثبت شدند.

تاثیر اسانس گیاه بادرشبو روی شاخص های جمعیت زنبور پارازیتوئید

به منظور بررسی اثر زیرکشندگی اسانس گیاهی روی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در مرحله‌ی بالغ، از روش جدول‌های زیستی سم‌شناختی استفاده شد. برای انجام آزمایش‌ها، تعداد ۸۰ عدد زنبور ماده‌ی یک روزه (با عمر کمتر از ۲۴ ساعت) در معرض غلظت زیر کشنده ۲۵ درصد اسانس بادرشبو (LC_{25}) معادل ۰/۶۸ میکرولیتر بر لیتر هوا قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت، به‌طور تصادفی ۲۵ عدد زنبور ماده‌ی زنده‌مانده انتخاب و هر کدام همراه با یک عدد حشره‌ی نر به ظروف پتری که حاوی ۷ عدد از لاروهای میزبان بودند، انتقال داده شدند (Rafiee-Dastjerdi *et al.*, 2009). ظرف های پتری مذکور در اتاق رشد با شرایط دمایی ۲ ± ۲۶ درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند. پس از ۲۴ ساعت زنبورها به ظرف‌های پتری جدید که حاوی لاروهای سالم میزبان بودند انتقال داده شدند. ظرف‌های پتری حاوی لاروهای پارازیته شده، هر روز پس از شمارش تعداد تخم گذاشته شده توسط هر زنبور تا ظهور حشرات کامل در اتاق رشد نگهداری شدند. در این فاصله تعداد تخم تفریخ شده، تعداد لارو و شفیره‌ی تشکیل شده و تعداد حشرات کامل نر و ماده‌ی ظاهر شده در هر ظرف ثبت شد. این کار تا زمان مرگ تمام زنبورها ادامه یافت و با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، جدول‌های زیستی و جمعیتی زنبور تشکیل شد.

تجزیه‌ی آماری داده‌ها

با استفاده از دستور PROC PROBIT نرم‌افزار SAS، تجزیه داده‌های حاصل از زیست‌سنجی حشرات کامل زنبور پارازیتوئید و شب‌پره‌های میزبان انجام شد (SAS Institute, 2002). داده های حاصل از جمعیت‌شناسی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه شدند. شاخص‌های جمعیت پایدار مانند نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ)، نرخ خالص تولیدمثل (R_0)، نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR)، متوسط مدت زمان یک نسل (T) و مدت زمان لازم برای دو برابر شدن جمعیت (DT)، با استفاده از روش کری (Carey, 1993) محاسبه شدند. برای تکراردار کردن داده‌های مربوط به شاخص های جمعیتی پایدار از روش جک‌نایف استفاده شد (Meyer *et al.*, 1986; Maia *et al.*, 2000). مقایسه‌ی میانگین داده‌ها بر اساس آزمون t انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج سمیت اسانس گیاه بادرشبو روی حشرات کامل شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد، شب‌پره‌ی هندی و زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار غلظت کشنده‌ی ۵۰ درصد (LC_{50}) برای

زنبور پارازیتوئید ۰/۹۹۵ میکرولیتر بر لیتر هوا و برای شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره‌ی هندی نیز به‌ترتیب ۹/۶۳۱ و ۱۰/۲۵۲ میکرولیتر بر لیتر هوا به دست آمد. بر اساس محدوده‌ی اطمینان مقادیر LC_{50}، اختلاف معنی‌داری میان غلظت‌های کشنده‌ی ۵۰ درصد شب‌پره‌ی هندی و شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد مشاهده نشد. میزان LC_{10} و LC_{90} برای شب‌پره‌ی مدیترانه‌ای آرد به ترتیب ۶/۵۲۲ و ۱۴/۲۲۱ میکرولیتر بر لیتر هوا بود. این مقدار برای شب‌پره‌ی هندی نیز به ترتیب ۷/۳۱۲ و ۱۴/۳۷۴ میکرولیتر بر لیتر هوا تخمین زده شد (جدول ۱).

جدول ۱- سمیت اسانس بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) روی حشرات کامل *Habrobracon hebetor*، *Anagasta kuehniella* و *Plodia interpunctella*

Table 1. Toxicity of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) essential oil on the adults of *Habrabracon hebetor, Anagasta kuehniella,* and *Plodia interpunctella*

Insects	n	Slope ± SE	χ^2	Lethal concentrations (µl/l air)		
				LC_{10} (95% FL)	LC_{50} (95% FL)	LC_{90} (95% FL)
Habrobracon hebetor	480	3.96 ± 0.48	2.16^{ns}	0.473 (0.375 - 0.550)	0.995 (0.915 - 1.09)	2.095 (1.763 - 2.742)
Anagasta kuehniella	480	7.57 ± 0.99	1.17^{ns}	6.522 (5.693 - 7.095)	9.631 (9.228 - 10.083)	14.221 (12.966 - 16.532)
Plodia interpunctella	480	8.73 ± 1.13	1.96^{ns}	7.312 (6.480 - 7.881)	10.252 (9.875 - 10.652)	14.374 (13.308 - 16.280)

Lethal concentrations and 95% fiducial limits (FL) were estimated using logistic regression (SAS Institute 2002)
Ns: non-significant

در راستای بررسی تاثیر اسانس‌های گیاهی روی شب‌پره‌های مذکور، عباداللهی و همکاران (Ebadollahi *et al*., 2010) فعالیت حشره‌کشی اسانس گیاه گل مکزیکی (*Agastache foeniculum* (Pursh) Kuntze) را روی حشرات کامل شب‌پره مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره‌ی هندی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که شب‌پره‌ی هندی (مقدار LC_{50} برابر ۱۶/۵۳۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) در مقایسه با شب‌پره‌ی آرد (مقدار LC_{50} برابر ۲۳/۰۷۵ میکرولیتر بر لیتر هوا) نسبت به این اسانس حساس‌تر می‌باشد. متفاوت بودن نوع اسانس مورد مطالعه می‌تواند دلیل تفاوت در نتایج مطالعه‌ی عباداللهی و همکاران با نتایج تحقیق حاضر باشد. پژوهش‌های اندکی نیز نشان‌دهنده‌ی تاثیر حشره‌کشی اسانس گیاه بادرشبو روی آفات انباری می‌باشد (Mahmoodi *et al*., 2016). ایشان در بررسی حساسیت شپشه‌ی برنج (*Sitophilus oryzae* L.) در برابر اسانس‌های گیاهان زنیان (*Carum copticum* L.) و بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) گزارش کردند که بر اساس مقادیر LC_{50}، اسانس گیاه زنیان تلفات بالاتری را نسبت به اسانس بادرشبو روی جمعیت ایجاد کرد.

نتایج به دست آمده نشان داد که حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نسبت به شب‌پره‌های میزبان حساسیت بالاتری به اسانس گیاه بادرشبو داشتند. مشخص شده است که عواملی از قبیل جثه‌ی بزرگ‌تر، وزن بیشتر بدن، میزان اجسام چربی و فعالیت بالای آنزیم‌هایی که در غیر سمی کردن سموم وارد شده به بدن نقش دارند، از جمله عوامل کلیدی تأثیرگذار در متحمل‌تر بودن حشرات انباری نسبت به زنبورهای پارازیتوئید به آفت‌کش‌ها می‌باشند (Javvi *et al*., 2005). پژوهشگران بسیاری گزارش کردند که زنبورهای پارازیتوئید راسته‌ی بال‌غشائیان به حشره‌کش‌ها نسبت به میزبان‌هایشان حساس‌تر هستند (Waage, 1985; White and Sinha, 1990). سیدی (Seyyedi, 2011) تاثیر حشره‌کشی اسانس

صمغ گیاه باریجه (*Ferula gummosa* Boiss) را روی شب-پره‌ی مدیترانه‌ای آرد و زنبور پارازیتوئید لاروی آن *H. hebetor* مطالعه کردند. این پژوهشگران در بررسی آزمایش-های سمیت تنفسی نشان دادند که اسانس صمغ گیاه باریجه به-ترتیب در غلظت ۳۰/۷۸۴ و ۹/۱۶۸ میکرولیتر بر لیتر هوا پس از ۲۴ ساعت باعث ۵۰ درصد مرگ و میر در حشرات کامل شب-پره‌ی آرد و زنبور پارازیتوئید آن شده است که نشان‌دهنده‌ی حساس بودن زنبور پارازیتوئید در مقایسه با میزبان نسبت به اسانس بوده است.

خاصیت حشره‌کشی اسانس‌های گیاهی به دلیل ترکیبات شیمیایی موجود در آن‌ها می‌باشد (Tozlu *et al.,* 2011; Liao *et al*., 2017). بررسی اجزای شیمیایی اسانس گیاه بادرشبو توسط دستگاه گازکروماتوگرافی-طیف‌سنج جرمی نشان داد که Piperitenone Oxide (۱۹/۰۳ درصد)، Piperitone Oxide (۱۳/۷۴ درصد)، Citral (۹/۷۹ درصد)، Geranyl acetate (۹/۵۷ درصد)، Z-Citral (۶/۰۰ درصد)، Pulegone (۴/۶۲ درصد)، Caryophyllene (۴/۱۹ درصد)، Isomenthone (۳/۹۸ درصد)، Thymol (۲/۸۸ درصد)، Spathulenol (۲/۷۳ درصد) و Germacrene-D (۲/۱۰ درصد)، که در مجموع ۷۸/۹۰ درصد از کل اسانس را شامل می‌شدند، ترکیبات اصلی موجود در این اسانس بودند (جدول ۲). یوسف‌زاده (Yusefzadeh, 2017) اجزای شیمیایی اسانس بادرشبو را از استان‌های آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی بررسی و نشان داد که ژرانیول استات (۲۳/۶۰ تا ۵۰/۶۰ درصد) دارای بیشترین مقدار در اسانس مزبور می‌باشد. با وجود اینکه ژرانیول استات در اسانس تحقیق حاضر هم درصد بالایی را داشت (۹/۵۷ درصد)، اما مقدار آن به‌طور قابل توجهی از مقدار گزارش شده توسط این محقق کمتر بود. در مقابل برخی از ترکیبات مثل Piperitenone Oxide و Piperitone Oxide که در تحقیق حاضر میزان بالایی را نشان دادند، در تحقیق مذکور ثبت نشده‌اند. در تحقیقی دیگر، چو و همکاران (Chu *et al.,* 2011) ترکیبات ۸،۱-سینئول (۳۱/۲۵ درصد) و ۴-ترپینئول (۲۲/۸۲ درصد) را به‌عنوان ترکیبات اصلی اسانس بادرشبویه از چین معرفی کردند که در تحقیق حاضر مقدار ۸،۱-سینئول بسیار کمتر بود (۰/۸۱ درصد) و ۴-ترپینئول در واقع موجود نبود. در مقابل بسیاری از ترکیبات اصلی اسانس تحقیق حاضر مثل Piperitenone Oxide، Piperitone Oxide و Citral در اسانس بررسی شده توسط چو و همکاران (Chu *et al.,* 2011) وجود نداشت. عوامل مختلفی باعث ایجاد چنین تفاوت‌هایی در اجزای شیمیایی اسانس‌های گیاهی می‌شوند که به‌طور کلی در دو گروه عوامل داخلی از قبیل اندام مورد استفاده جهت استخراج اسانس و مرحله‌ی رشدی گیاه و عوامل خارجی مثل شرایط مختلف آب و هوایی و جغرافیایی و تنش‌های خشکی و شوری قرار می‌گیرند (Cheng *et al*., 2009; Ben Jemâa *et al.,* 2012; Rahimzadeh *et al.,* 2016).

جدول ۳ نتایج حاصل از تأثیر غلظت زیرکشنده‌ی اسانس بادرشبو را روی شاخص‌های زیستی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تعداد تخم گذاشته شده در تیمار اسانس (۵۱/۶۴ تخم) به‌طور معنی داری پایین‌تر از تیمار شاهد (۳۲۷/۴۴ تخم) بود ($p<0.00001$; $df = 1, 49$; $T = 90.09$). همچنین، درصد تفریخ تیمار شاهد و اسانس بادرشبو اختلاف معنی‌داری داشت ($p<0.00001$; $df = 1, 49$; $T = 59.42$). طول عمر حشرات کامل در تیمار شاهد، ۳۰/۵۶ روز و در تیمار اسانس، ۱۰/۶۰ روز به دست آمد.

روند زنده‌مانی زنبور پارازیتوئید نیز در تیمار اسانس پایین‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۱). نسبت جنسی در تیمار اسانس (۰/۶۵) بیشتر از شاهد (۰/۵۵) بود که نشان می‌دهد اسانس بادرشبو جمعیت زنبور پارازیتوئید را به سمت نرزایی پیش برده است.

جدول ۲- اجزای شیمیایی اسانس مستخرج از گیاه بادرشبو، *Dracocephalum moldavica*

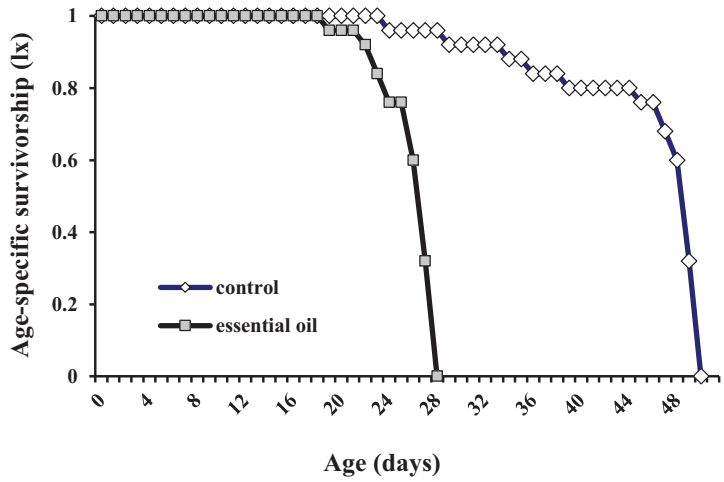
Table 2. Chemical composition of the essential oil isolated from dragonhead, *Dracocephalum moldavica*

Components	Retention time (minute)	Area percentage
α-Pinene	5.24	0.28
β-Phellandrene	5.97	0.50
β-Pinene	6.04	0.26
β-Myrcene	6.29	0.28
Cymene	6.95	0.45
Limonene	7.03	0.75
1,8-Cineole	7.10	0.81
β-Ocimene	7.18	0.52
Isomenthone	9.87	3.98
3,3,5-Trimethylcyclohexene	10.10	0.26
Menthone	10.15	1.36
Ethenylcyclohexane	10.60	0.61
Pulegone	12.46	4.62
Z-Citral or β-Citral	12.53	6.00
Piperitone Oxide	13.07	13.74
Geraniol	13.31	0.29
Citral	13.66	9.79
3-Methyl-3-vinylcyclohexanone	14.33	0.44
Thymol	15.55	2.88
Piperitenone	16.43	1.31
α-Terpinolene	16.73	1.31
Piperitenone Oxide	17.47	19.03
Geranyl acetate	18.04	9.57
Caryophyllene	19.15	4.19
1,5,9,9-Tetramethyl-1,4,7-cycloundecatriene	20.21	0.37
β-Farnesene	20.34	1.49
Germacrene-D	21.06	2.10
Bicyclogermacrene	21.51	0.79
Spathulenol	23.76	2.73
Caryophyllene oxide	23.90	1.37
Ledol	24.42	0.35
Caryophyllenol II	30.83	0.43
β-Isomethylionone	30.96	0.35
Cembrene	30.98	0.33
Pimara-8,15-diene	31.06	0.94
4-(2,4,4-Trimethylbicyclo[4.1.0]hept-2-en-3-yl)-3-buten-2-one	31.16	0.23
2-Imino-3-phenyl-4-thiazolidinone	31.27	0.80
2-[(3-acetylphenyl)carbamoyl]benzoic acid	31.47	0.36
Abietatriene	31.73	1.14
1-Methyl-4-methylene-2-(2-methyl-1-propenyl)-1-vinylcycloheptane	31.86	0.32
Keromet MD	31.90	0.21
5,10-Dihydro-5,5,10,10-tetramethylsilanthrene	32.07	1.26
2-Methyl-2-(4-methyl-3-pentenyl)cyclopropanecarbaldehyde	32.15	0.20
3-methoxy-4-[oxy]benzaldehydeo-methyloxime	33.47	0.24
Total		99.24

جدول ۳- میانگین پارامترهای زیستی حشرات کامل *Habrobracon hebetor* پس از تیمار با غلظت LC_{25} اسانس

Table 3. The mean of biological parameters of adults *Habrobracon hebetor* exposed to LC_{25} of essential oil

Treatments	No. eggs laid	% egg hatching	longevity (day)	Sex ratio ♂ /(♀ + ♂)
Control	327.44 ± 20.89 a	88.87 ± 0.66 a	30.56 ± 1.45 a	0.55 ± 0.017 b
LC_{25}	51.64 ± 4.26 b	72.48 ± 3.32 b	10.60 ± 0.64 b	0.65 ± 0.043 a



شکل ۱- زنده‌مانی (l_x) حشرات کامل زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* در معرض قرار گرفته با غلظت LC_{25} اسانس

Figure 1. Survivorship (l_x) of *Habrobracon hebetor* following exposure of adults to an LC_{25} of essential oil

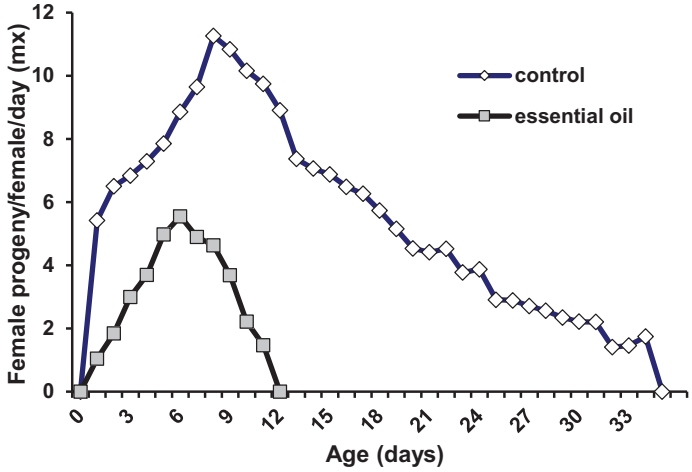
پژوهش‌های اندکی در رابطه با تأثیر اسانس‌های گیاهی روی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* صورت گرفته است. به عنوان مثال سمیت اسانس گیاه آنغوزه (*Ferula assafoetida* L.) روی پارامترهای زیستی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* به اثبات رسیده است (Hashemi *et al.*, 2014). نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های زیستی و جمعیتی حشرات می‌باشد که پتانسیل افزایش جمعیت یک گونه را نشان می‌دهد و نشان‌دهنده تعداد ماده‌های افزوده شده به جمعیت به ازای هر فرد ماده در هر روز می‌باشد. نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان‌دهنده‌ی وجود تفاوت معنی‌دار میان تیمار اسانس بادرشبو با تیمار شاهد برای نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور پارازیتوئید می‌باشد ($p < 0.00001$; df = 1, 49; T = 123.05). میزان این شاخص برای تیمار شاهد ۰/۲۲۶ بر روز به دست آمد که در تیمار اسانس این مقدار به ۰/۱۷۶ بر روز کاهش یافته است (جدول ۴).

جدول ۴- میانگین پارامترهای جمعیتی حشرات کامل *Habrobracon hebetor* تیمار شده با غلظت LC_{25} اسانس

Table 4. The mean population parameters of *Habrobracon hebetor* adults treated with LC_{25} of essential oil

Treatments	*GRR*	R_0	r	λ	T	DT
Control	179.324±0.362a	158.346±0.521a	0.226±0.0001a	1.253±0.0001a	22.43±0.0096a	3.07±0.0012b
LC_{25}	36.997±2.65b	33.914±2.8b	0.176±0.0035b	1.193±0.004b	19.99±0.11b	3.93±0.079a

همچنین، نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهنده‌ی کاهش میزان m_x (تعداد نتاج تولید شده به ازای هر ماده در روز که با عنوان باروری نامیده می‌شود) زنبور پارازیتوئید، در اثر قرار گرفتن در معرض اسانس بادرشبو بود (شکل ۲)، به‌طوری‌که در روز هشتم مقدار این پارامتر از ۱۱/۲۶ در شاهد به ۴/۶۳ در تیمار اسانس کاهش نشان داد. از طرف دیگر، از آنجا که مقدار m_x با r رابطه‌ی مستقیم دارند، در نتیجه مقدار r نیز در تیمار اسانس نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است. اسدی و همکاران (Asadi *et al.*, 2018) در بررسی تاثیر اسانس‌های گیاهان رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) و مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) روی پارامترهای جمعیت‌شناسی زنبور *H. hebetor* گزارش کردند که مقادیر LC_{50} اسانس‌های رزماری و مریم گلی به‌ترتیب ۴/۱۵ و ۱۸/۳۶ میکرولیتر بر لیتر هوا بوده است. این پژوهشگران نتیجه‌گیری کردند که اسانس گیاه رزماری در مقایسه با اسانس گیاه مریم‌گلی سمیت حاد بالاتری روی زنبورهای پارازیتوئید ماده داشته است. همچنین، بررسی‌های آن‌ها نشان داد که اسانس‌های گیاهی شاخص‌های جمعیتی و تولیدمثلی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* را کاهش دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) در تیمار اسانس بادرشبو کاهش معنی‌داری را در مقایسه با تیمار شاهد داشته است ($P < 0.00001$; df = 1, 49; T = 126.04). پایین بودن این شاخص در تیمار اسانس (۱/۱۹ برروز) نسبت به تیمار شاهد (۱/۲۵ بر روز) نشان‌دهنده‌ی تأثیر منفی اسانس بادرشبو روی این شاخص است (جدول ۴). میزان نرخ ناخالص تولیدمثلی (*GRR*) برای تیمارهای اسانس و شاهد به‌ترتیب ۳۶/۹۹۷ و ۱۷۹/۳۲۴ نتاج/ماده به‌دست آمد. همچنین، میزان نرخ خالص تولیدمثل (R_0) برای تیمارهای مذکور به‌ترتیب ۳۳/۹۱۴ و ۱۵۸/۳۴۶ ماده/ماده/نسل برآورد شد (جدول ۴). همانطورکه مشاهده می‌شود مقادیر نرخ خالص تولیدمثل در مقایسه با مقادیر نرخ ناخالص تولیدمثل در هر دو تیمار پایین می‌باشند. این موضوع را می‌توان به نقش نرخ زنده‌مانی متناسب با R_0 ربط داد. مقادیر *DT* در تیمارهای شاهد (۳/۰۷ روز) و اسانس گیاه بادرشبو (۳/۹۳ روز) اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشت. همچنین، نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر نشان داد که متوسط مدت زمان یک نسل (*T*) در تیمار اسانس (۱۹/۹۹ روز) پایین‌تر از مقدار آن در تیمار شاهد (۲۲/۴۳ روز) بود. پژوهشگران بسیاری نشان دادند که شاخص‌های جمعیتی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تحت تأثیر اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهان قرار دارند (Farhoomand, 2016; Asadi *et al.*, 2018; Razmjou *et al.*, 2018).



شکل ۲- باروری (m_x) زنبور پارازیتوئید ماده *Habrobracon hebetor* در معرض قرار گرفته با غلظت LC_{25} اسانس

Figure 2. Fecundity (m_x) by adult *Habrobracon hebetor* treated with an LC_{25} of essential oil

بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اسانس گیاه بادرشبو دارای تاثیر حشره‌کشی مناسبی روی شب-پره‌ی مدیترانه‌ای آرد و شب‌پره‌ی هندی می‌باشد، بنابراین می-تواند جایگزین مناسبی برای ترکیبات شیمیایی پرخطر باشد. از سوی دیگر مشاهده شد که اسانس مذکور شاخص‌های جمعیتی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* را به صورت منفی تحت تأثیر قرار داد. بنابراین، با توجه به سمیت و تاثیر منفی روی جمعیت-شناسی اسانس بادرشبو روی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*، کاربرد هم‌زمان آن‌ها به منظور مدیریت آفات مذکور پیشنهاد نمی‌شود. لازم به توضیح است که مطالعه‌ی حاضر به صورت آزمایشگاهی صورت گرفته است، بنابراین انجام آزمایش‌های تکمیلی در محیط‌های انبار و شرایط طبیعی ضروری می‌باشد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است که بدین‌وسیله قدردانی می‌شود.

References

Adams, R. P. 2001. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy. Carol Stream: Allured Publishing Co.

Asadi, M., Nouri-Ganbalani, G., Rafiee-Dastjerdi, H., Hassanpour, M. and Naseri, B. 2018.The effects of *Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia officinalis* L. (Lamiaceae) essential oils on demographic parameters of *Habrobracon hebetor* Say (Hym.: Braconidae) on *Ephestia kuehniella* Zeller (Lep.: Pyralidae) larvae. **Journal of Essential Oil Bearing Plants** 21(3): 713-731.

Ayvaz, A., Sagdic, O., Karaborklu, S. and Ozturk, I. 2010. Insecticidal activity of the essential oils from different plants against three stored-product insects. **Journal of Insect Science** 10(21): 1-13.

Ben Jemâa, J. M., Tersim, N., Toudert, K. T. and Khouj, M. L. 2012. Insecticidal activities of essential oils from leaves of *Laurus nobilis* L. from Tunisia, Algeria and Morocco, and comparative chemical composition. **Journal of Stored Products Research** 48: 97-104.

Brower, J. H., Smith, L., Vail, P. V. and Flinn, P. W. 1996. Biological Control. In: Subramanyam B, Hagstrum D. W. (eds) Integrated Management of Insects in Stored Products, Marcel Dekker, Inc.: New York. 223–286.

Carey, J. R. 1993. Applied Demography for Biologists with Special Emphasis on Insects. Oxford University Press, Oxford.

Cheng, S. S., Chua, M. T., Chang, E. H., Huang, C. G., Chen, W. J. and Chang, S. T. 2009. Variations in insecticidal activity and chemical compositions of leaf essential oils from *Cryptomeria japonica* at different ages. **Bioresource Technology** 100: 465–70.

Chu, S. S., Liu, S. L., Liu, Q. Z., Liu, Z. L. and Du, S. S. 2011. Composition and toxicity of Chinese *Dracocephalum moldavica* (Labiatae) essential oil against two grain storage insects. **Journal of Medicinal Plants Research** 5(18): 4621-4626.

Dastmalchi, K., Dorman, H. G., Kosar, M. and Hiltunen, R. 2007. Chemical composition and in vitro antioxidant evaluation of a water soluble Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extract. **Food Science and Technology** 40: 239-248.

Ebadollahi, A. 2018. Fumigant toxicity and repellent effect of seed essential oil of celery against lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* F. **Journal of Essential Oil Bearing Plants** 21(1): 146-154.

Ebadollahi, A., Safaralizadeh, M. H., Hoseini, S. A., Ashouri, Sh. and Sharifian, I. 2010. Insecticidal activity of essential oil of *Agastache foeniculum* against *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). **Munis Entomology and Zoology** 5(2): 785-791.

Ebadollahi, A., Sendi, J. J. and Aliakbar, A. 2017. Efficacy of nanoencapsulated *Thymus eriocalyx* and *Thymus kotschyanus* essential oils by a mesoporous material MCM-41 against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Journal of Economic Entomology** 110(6): 2413-2420.

Enan, E. 2001. Insecticidal activity of essential oils: Octopaminergic sites of action. **Comparative Biochemistry and Physiology** 130: 325-337.

Farhoomand, A. 2016. Effect of some extracts of medicinal herbs on ectoparasitoid wasp, *Habrobracon hebetor* Say. Master's Thesis. Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran. 75 pages. (in Farsi with English abstract)

González, J. O. W., Laumann, R. A., da Silveira, S., Miguel, M., Borges, M. C. B. and Ferrero, A. A. 2013. Lethal and sublethal effects of four essential oils on the egg parasitoids *Trissolcus basalis*. **Chemosphere** 92: 608-615.

Hashemi, Z., Goldansaz, S. H. and Hosseini-Naveh, V. 2014. Effect of *Ferula assafoetida* essential oil on biological characteristic of *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae) under laboratory conditions. The 21st National Plant Protection Congress. Urmiyeh. Iran. (in Farsi with English abstract)

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

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. B. and Grieneisen, M. L. 2014. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in Plant Science** 19: 140–145.

Javvi, E., Safar Alizadeh, M. H. and Pourmirza, A. A. 2005. Studies on the effect of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* on different larval instars of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), and the role of synergists in enhancement of its efficiency under laboratory conditions. **Journal of Water and Soil Science** 8: 187-199.

Kim, S., Park, C., Ohh, M. H., Cho, H. C. and Ahn, Y. J. 2003. Contact and fumigant activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). **Journal of Stored Products Research** 39(1): 11-19.

Liao, M., Xiao, J. J., Zhou, L. J., Yao, X., Tang, F., Hua, R. M., Wu, X. W. and Cao, H. Q. 2017. Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of *Melaleuca alternifolia* essential oil on the *Helicoverpa armigera.* **Journal of Applied Entomology** 141(9): 721-728.

Mahmoodi, L., Mehrkho, F., Akbari, S. and Moosavi, M. 2016. Sensitivity of *Sitophilus oryzae* to essential oils of *Carum copticum* L. and *Dracocephalum moldavica* L. Third Conference on New Findings in the Environment and Agricultural Ecosystems 1-6. (in Farsi with English abstract)

Mahmoodi, L., Valizadegan, O. and Mahdavi, V. 2015. Fumigant toxicity of *Carum copticum* (Apiaceae) essential oil against greenhouse aphids (*Aphis gossypii*) (Hemiptera: Aphididae) and an analysis of its constituents. **Acta Entomologica Sinica** 58 (2): 147-153.

Maia, A. H. N., Alferdo, J. B. L. and Campanhola, C. 2000. Statistical inference on associated fecundity life table parameters using jackknife technique: computational aspects. Journal of Economic Entomology 93: 511-518.

Mediouni, B., Jemâa, J., Tersim, N., Boushih, E., Taleb-Toudert, K. and Khouja, M. L. 2013. Fumigant control of the Mediterranean four moth *Ephestia kuehniella* with the noble laurel *Laurus nobilis* essential oils. **Tunis Journal of Plant Protection** 8:33-44.

Meyer, J. S., Igersoll, C. G., MacDonald, L. L. and Boyce, M. S. 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: jackknife vs. bootstrap techniques. **Ecology** 67: 1156-1166.

Mostaghimi, N., Fathi, S. A. A., Nouri Ganbalani, Gh., Razmjou, J. and Rafiee-Dastjerdi, H. 2012. The effect of different larvae densities of *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella* on the parasitism efficiency of *Habrobracon hebetor*. **Iranian Journal of Plant Protection Science** 43(2): 243-250. (in Farsi with English abstract)

Motazedian, N., Ravan, S. and Bandani, A. R. 2012. Toxicity and repellency effects of three essential oils against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Journal of Agriculture Science and Technology** 14: 275-284.

Mbata, G. N. and Warsi, S. 2019. *Habrobracon hebetor* and *Pteromalus cerealellae* as tools in post-harvest integrated pest management. **Insects** 10: 85. doi:10.3390/insects10040085.

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

Papachristos, D. P. and Stamopoulos, D. C. 2002. Repellent, toxic and reproduction inhibitory effect of essential oil vapours on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Stored Products Research** 38: 117-128.

Park, I. K., Lee, S. G., Choi, D. H., Park, J. D. and Ahn, Y. J. 2003. Insecticidal activities of constituents identified in the essential oil from leaves of *Chamaecyparis obtusa* against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.). **Journal of Stored Products Research** 39(4): 375-384.

Phillips, T. W., Berbert, R. C. and Cuperus, G. W. 2000. Post-harvest Integrated Pest Management: 2690-2701. In: Francis, F. J., (Ed.). Encyclopedia of Food Science and Technology. John Wiley and Sons, New York, 2768p.

Rafiee-Dastjerdi, H., Hejazi, M. J., Nouri Ghanbalani, G. and Saber, M. 2009. Effect of some insecticides on functional response of ectoparasitoid, *Habrobracon hebetor* Say (Hym.: Braconidae). **Journal of Entomology** 6: 161-166.

Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, G., Pirzad, A. and Ghassemi Golezani, K. 2016. Effect of bio-fertilizers on the essential oil yield and components isolated from *Dracocephalum moldavica* L. using nanoscale injection method. **Journal of Essential Oil Bearing Plants** 19(3): 529-541.

Rahman, M. M. and Schimdt, G. H. 1999. Effect of *Acorus calamus* (L.) (Aceraceae) essential oil vapours from various origins of *Callosobruchus phaseolii* (Gyllenhal) (Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Stored Products Research** 35: 285-295.

Razmjou, J., Mahdavi, V., Rafiee-Dastjerdi, H., Farhoomand, A. and Molapour, S. 2018. Insecticidal activities of some essential oils against larval ectoparasitoid *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). **Journal of Crop Protection** 7(2): 151-159.

Regnault-Roger, C., Vincent, C. and Arnasson, J. T. 2012. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. **Annual Review of Entomology** 57: 405–425.

Sait, S.M., Begon, M., Thompson, D. J., Harvey, J. A. and Hails, R. S. 1997. Factors affecting host selection in an insect host-parasitoid interaction. **Ecological Entomology** 2: 225-230.

SAS Institute. 2002. The SAS system for Windows. SAS Institute, Cary, NC.

Seyyedi, S. A. 2011. Insecticidal effect of *Ferula gummosa* essential oil on *Ephestia kuehniella* and *Harbrobracon hebetor* parasitoid. Master's Thesis. Shahed University. 91 pages. (in Farsi with English abstract)

Stark, J. D. and Banks, E. 2003. Population level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology** 48: 505-519.

Torani, A. H., Abbasipour, H., Rastgar, F. and Abotalebian, A. 2016. Insecticidal effect of essential oil of *Carum copticum* L. and *Dracocephalum moldavica* L. on *Tribolium confusum* and *Sitophilus oryzae*. National Congress on Monitoring and Forecasting in Plant Protection (in Farsi with English abstract)

Tozlu, E., Cakir, A., Kordali, S., Tozlu, G., Ozer, H. and Akcin, T. A. 2011. Chemical compositions and insecticidal effects of essential oils isolated from *Achillea gypsicola*, *Satureja hortensis*, *Origanum acutidens* and *Hypericum scabrum* against broad bean weevil (*Bruchus dentipes*). **Scientia Horticulturae** 130(1): 9-17.

Waage, J., Hassell, M. P. and Godfray, H. C. J. 1985. The dynamics of pest-parasitoid-insecticide interactions. **Journal of Applied Ecology** 22(3)

White, N. D. G. and Sinha, N. 1990. Effect of chlorpyrifos-methyl on oat ecosystems in farm granaries. **Journal of Economic Entomology** 83(3):1128-1134.

Wilson, J. A. and Isman, M. B. 2006. Influence of essential oils on toxicity and pharmacokinetics of the plant toxin thymol in the larvae of *Trichoplusia ni*. **Canadian Entomologist** 138: 578-589.

Yusefzadeh, S. 2017. Investigation of changes in the percentage and essential components of *Dracocephalum moldavica* L. in different regions of the East and West Azarbaijan provinces. **Journal of Crop Production** 10(1): 21-37. (in Farsi with English abstract)

Plant Pest Research
2019- 9 (2): 49-61

Insecticidal effects of Moldavian dragonhead, *Dracocephalum moldavica*, essential oil on the parasitoid wasp *Habrobracon hebetor* and its hosts *Anagasta kuehniella* and *Plodia interpunctella*

A. Ebadollahi[1*] and V. Mahdavi[2]

1. Department of Plant Production, Moghan College of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, 2. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

(Received: June 1, 2019- Accepted: August 3, 2019)

Abstract

Habrobracon hebetor Say is a larval ecto-parasitoid of several moths. In this study, toxicity of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) essential oil on Mediterranean flour moth (*Anagasta kuehniella* Zeller), Indian meal moth (*Plodia interpunctella* Hubner) and *H. hebetor* parasitoid wasp were assessed. Essential oil of *D. moldavica* was extracted by hydrodistillation method using a Clevenger apparatus and its chemical constituents were detected by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Piperitenone Oxide (19.03%), Piperitone Oxide (13.74%) and Citral (9.79%) were identified as the main constituents of the essential oil. It was found that 50% lethal concentration (LC_{50}) values of the essential oil against *H. hebetor*, *A. kuehniella* and *P. interpunctella* adults estimated were 0.995, 9.631 and 10.252 µl/l air, respectively. In order to assess the sub-lethal effects, adult wasps were exposed to LC_{25} of *D. moldavica* essential oil and then the demographic parameters of live parasitoids were evaluated. The intrinsic rate of increase (r), finite rate of increase (λ), net reproductive rate (R_0), gross reproductive rate (*GRR*) and mean generation time (T) were significantly decreased by essential oil. Results of the present study indicated that the essential oil of *D. moldavica* can be effective in the management of *A. kuehniella* and *P. interpunctella*. However, simultaneous application of *D. moldavica* essential oil and the parasitoid wasp *H. hebetor* in the management of aforementioned pests, based on toxicity and negative demographic effects of essential oil on this parasitoid wasp is not recommended.

Key words: Plant essential oils, fumigant toxicity, sub-lethal effects, *Habrobracon hebetor*, Pyralidae

*Corresponding author: ebadollahi@uma.ac.ir