

زیست‌شناسی و نیازهای دمایی زنبور مغزخوار بادام *Eurytoma amygdali* در منطقه زرین شهر اصفهان

فاطمه خان‌محمدی^۱، جهانگیر خواجه‌علی^۱ و حمزه ایزدی^{۲*}

۱- دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲- دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان

(تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۲۴)

چکیده

زنبور مغزخوار بادام، (*Eurytoma amygdali* (Hymenoptera: Eurytomidae)، یکی از آفات مهم درختان بادام در ایران است. این آفت می‌تواند تا ۹۰٪ محصول را از بین ببرد. به دلیل اهمیت این آفت و نبود اطلاعات کافی از فنولوژی آن، در این پژوهش فنولوژی زنبور مغزخوار بادام در منطقه زرین شهر اصفهان مورد مطالعه قرار گرفت. در این منطقه درصد لاروهای با دیاپوز طولانی در سال ۱۳۹۴، حدود ۳۰ درصد برآورد شد. آستانه حداقل دمایی برای فعالیت این آفت ۷/۲۱۴ درجه سلسیوس تعیین شد. همچنین دمای موثر برای دوره شفیرگی در شرایط آزمایشگاهی ۲۳۷/۰۳±۲/۹۳ درجه-روز برآورد شد. مطالعه فنولوژی زنبور مغزخوار بادام نشان داد که در شرایط آب‌وهوایی زرین شهر، پایان دوره شفیرگی این آفت در تاریخ ۱۳۹۴/۱/۱۰ (حدود ۱۳۹ درجه-روز) رخ می‌دهد و اوج ظهور حشرات کامل در تاریخ ۱۳۹۴/۲/۵ (حدود ۳۵۷ درجه-روز) انجام می‌شود. اوج تخم‌ریزی در تاریخ ۱۳۹۴/۲/۱۱ (حدود ۳۱۳ درجه-روز) رخ داد. اندازه مناسب میوه برای تخم‌ریزی حشرات بین ۲/۵×۱/۵ تا ۳/۵×۲/۴ سانتی‌متر برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: زنبور مغزخوار بادام، فنولوژی، آستانه دمایی

مقدمه

بادام از قدیمی‌ترین محصولات خشکباری است که در حال حاضر بیش‌ترین سهم از تولید خشکبار را به خود اختصاص داده است. بادام مصارف خوراکی، صنعتی و آرایشی دارد و در داروسازی از روغن آن استفاده می‌شود. سالانه هزاران تن از این محصول به صورت مغز بادام سفید، خلال، پودر و بادام خرد شده در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Tehranifar et al., 2002).

زنبور مغز خوار بادام از مهم‌ترین آفات بادام است. این آفت با نام علمی *Eurytoma amygdali* Enderlein متعلق به خانواده Eurytomidae می‌باشد. حشرات این خانواده به طور معمول به رنگ سیاه هستند، اما ممکن است به رنگ زرد یا متالیک نیز باشند. بعضی از گونه‌های این خانواده پارازیتوئید هستند ولی بیش‌تر گونه‌ها گیاه‌خوار می‌باشند. زنبور مغزخوار بادام و زنبور مغزخوار پسته *E. plotnikova* از آفات مهم این خانواده در ایران هستند (Izadi and Samih, 2010). زنبور مغزخوار بادام یکی از آفات جدی بادام در چندین کشور از جمله کشورهای جنوب شرقی اروپا و مدیترانه و همچنین آمریکا، آذربایجان و گرجستان می‌باشد (Zerova and Fursov, 1991). این گونه در ایران قادر است تا ۹۰٪ محصول را نابود سازد (Mohamadi Khoramabadi and Arzani, 2009). این آفت یک نسل در سال دارد ولی ممکن است بخشی از جمعیت آن دوره زندگی خود را در دو یا سه یا حتی چهار سال تکمیل کند (Tzanakais and Veerman, 1994). حشرات ماده تخم‌های خود را در میوه بادام گذاشته و لاروها از جنین بادام تغذیه کرده و در اواسط تابستان رشدشان را کامل می‌کنند و وارد مرحله دیاپوز می‌شوند (Margaritopoulos and Tzanakakis, 2006). سفیره‌ها در اواخر زمستان و اوایل بهار تشکیل می‌شوند و بالغین پس از بریدن یک سوراخ خروجی در پوسته بادام ظاهر می‌شوند. در عرض چند روز ماده‌ها در بادام‌های سبز و نارس با استفاده تخم‌ریزهای بلند خود شروع به تخم‌ریزی می‌کنند.

لاروهای تازه تفریخ شده از هسته و کیسه جنین تغذیه می‌کنند. لاروها در اواسط تابستان به بزرگترین اندازه خود می‌رسند و وارد دیاپوز می‌شوند و در پوست دانه بادام‌های آسیب‌دیده و معمولاً در شرایط مومیایی روی درخت باقی می‌مانند (Kouloussis, 2008).

در میان عوامل اقلیمی، دما تاثیر مهمی بر رشد و نمو و بقای حشرات دارد. نرخ رشد و نمو حشرات به وسیله دمایی که در معرض آن هستند تحت تاثیر قرار می‌گیرد. حشرات به مقدار معینی از حرارت (درجه-روز) برای نمو از یک مرحله زندگی به مرحله بعد نیاز دارند. توانایی حشرات برای نمو در دماهای متفاوت یکی از سازگاری‌های مهم حشرات برای بقا در شرایط متفاوت اقلیمی است. تعریف ارتباط بین رشد و نمو حشرات با دما برای پیش‌بینی تغییرات فصلی و دینامیسم جمعیت حشرات مفید است (Mansingh, 1974). گرچه این روابط از دیرباز شناخته شده بود و مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته است ولی استفاده عملی از این روابط در پیش-آگاهی مراحل رشد و نمو گیاهان، زمان برداشت محصول، مشخص کردن برنامه‌هایی برای تعیین تاریخ کاشت گیاهان، پیش‌آگاهی زمان مبارزه علیه علف‌های هرز و بیماری گیاهی و مدیریت مبارزه با آفات در دهه‌های اخیر رونق بیش‌تری گرفته است.

حشرات موجوداتی خونسرد هستند و مانند بیشتر موجودات خونسرد نوسان‌های دمایی داخل بدن و شدت فعالیت دمایی آن‌ها متناسب با دمای محیط خارج می‌باشد. محدوده فعالیت رشدی حشرات به وسیله دو آستانه دمایی پایین و بالا مشخص می‌شود. دماهای بالا و پایین نسبت به دمای بهینه می‌توانند روی رشد و نمو حشرات تاثیر بگذارند. آستانه حداقل دمایی برای رشد و نمو، حداقل دمایی است که در دماهای پایین‌تر از آن رشد و نمو خیلی کند انجام می‌شود یا متوقف می‌شود. حشرات در دمایی کم‌تر از دمای آستانه نمی‌توانند رشد کنند و برای کامل کردن دوره زندگی به جمع‌آوری مقدار کافی درجه-روز گرما نیاز دارند. مدل‌های

ثبت شد. نمونه برداری تاخارج شدن همه حشرات کامل ادامه یافت. برای تعیین زمان ظهور حشرات کامل از روش دوال و میلان (Duval and Millan, 2010) استفاده شد. در این روش بادام‌های آلوده در دومین هفته اسفند جمع‌آوری و در یک جعبه چوبی نگهداری شدند. در این قفس چوبی یک سوراخ برای تامین نور تعبیه شده بود که در انتهای این سوراخ یک بطری پلاستیکی به منظور به دام انداختن حشرات بالغ قرار داده شد. سپس به صورت روزانه حشرات بالغ نر و ماده ظاهر شده در بطری شمارش شد و پس از تعیین جنسیت حذف شدند.

تعیین مشخصات تخم، محل تخم‌ریزی، دوره‌ی تخم‌ریزی و الگوی تخم‌ریزی

با اولین خروج حشرات از بادام‌های درون قفس، نمونه برداری از درختان آغاز شد. هفته‌ای یکبار و هر بار ۱۰۰ عدد میوه بادام به صورت تصادفی از باغ چیده و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از شکافتن آن‌ها تعداد نمونه آلوده به تخم، تعداد تخم درون هر نمونه و مشخصات تخم (طول تخم و لاروها با لنز چشمی مدرج میکروسکوپی اندازه‌گیری شد) و محل تخم‌ریزی درون میوه ثبت شد.

تعیین دوره تفریح تخم و شروع تغذیه لارو

نمونه برداری قبلی (تعیین زمان تفریح تخم) تا کامل شدن تغذیه لاروها ادامه یافت و پس از شکافتن بادام تعداد تخم تفریح شده، تعداد لارو روی اندوکارپ و تعداد لارو روی مغز یادداشت شد.

تعیین دوره لاروی پس از دیابوز لارو درون میوه

پانصد عدد بادام آلوده به زنبور مغزخوار در یک ظرف پلاستیکی به ابعاد ۲۵×۲۵×۲۰ سانتی‌متر که در دو طرف آن برای تبادل دمایی توری نصب شده بود در هر اتاقک رشد قرار داده شد. با شکستن روزانه بادام‌ها شروع مرحله شفیرگی مشخص شد. با شروع دوره شفیرگی هر ۵ روز یکبار ۵۰ عدد بادام به صورت تصادفی از هر ظرف شکسته شد و تعداد لارو زنده و مرده، تعداد شفیره، تعداد حشره کامل خارج نشده

خطی و غیرخطی متفاوتی برای توضیح نرخ رشد و نمو حشرات و تخمین دماهای حیاتی استفاده شده است (Fatzinger and Dixon, 1996).

تعیین تاریخ اوج شفیرگی، ظهور حشرات کامل، اوج تخم‌ریزی و وضعیت میزبان در هر کدام از این تاریخ‌ها در شرایط منطقه زرین‌شهر و نیز تعیین آستانه حداقل دمایی و ثابت گرمایی موثر برای آفت از جمله اهداف این تحقیق بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها از باغ‌های شهرستان لنجان بخش باغباداران با مشخصات جغرافیایی ۲۳ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۹۰۰ متر از سطح دریا (1900m 32°22'N, 51°13'E) به صورت ماهانه جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند.

تعیین مراحل رشد و نمو میزبان

برای این منظور از یک باغ (به مساحت یک هکتار) در منطقه باغباداران استان اصفهان به صورت تصادفی تعداد ۱۰ درخت انتخاب شد. از فرودین تا پایان تغذیه لاروها به صورت هفته‌ای یکبار از میوه بادام درختان نمونه برداری شد. در هر بازدید مراحل رشد گیاه از متورم شدن جوانه‌های گل و جوانه‌برگی، ظهور گل، ظهور برگ‌های اولیه، زوال گل‌ها و تشکیل میوه ثبت شد. در مرحله رشد سریع بادام هفته‌ای دو بار نمونه برداری صورت گرفت و هر بار طول و عرض ۴۰ عدد بادام (با استفاده از خط کش) از ۱۰ درخت ثبت شد.

بررسی روند تشکیل شفیره از لارو زمستان‌گذران و

تعیین دوره خروج حشرات کامل

برای این منظور قفس‌های ۶۰×۶۰×۵۰ سانتی‌متری که بدنه و سقف آن از توری پلاستیکی با قطر سوراخ‌های یک میلی-متر بود در اواسط زمستان در باغ نصب شد. درون هر قفس ۲۰۰۰ عدد بادام قرار داده شد و هفته‌ای دوبار ۵۰ عدد بادام از قفس به آزمایشگاه منتقل شد. این بادام‌ها در آزمایشگاه شکسته شدند و اطلاعاتی نظیر تعداد نمونه زنده و تعداد نمونه مرده

زنده و مرده و تعداد سوراخ خروج ثبت شد. برای ادامه مطالعه از نمونه‌های جدید استفاده شد.

تعیین دوره لاروی پس از دیاپوز لارو نخت

در این آزمایش که به منظور به دست آوردن حداقل دمای لازم برای تبدیل شفیره به حشره کامل انجام شد، پس از نمونه‌برداری از باغ‌های بادام در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۱۸ نمونه‌ها باز شدند و وقتی اطمینان حاصل شد که حشرات هنوز در مرحله لاروی به سر می‌برند، دوباره در پوسته بادام قرار گرفته و در یک جعبه مقوایی دارای صد حجره قرار گرفتند. در دماهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند. نمونه‌ها هر روز بررسی شدند و پس از آغاز شفیرگی تعداد روز لازم برای تبدیل شفیره به حشره کامل در هر دما محاسبه شد.

محاسبه آستانه حداقل دمایی و نیاز دمایی زنبور مغزخوار بادام در مطالعه آزمایشگاهی

به منظور بررسی نیاز دمایی زنبور مغزخوار بادام در اواخر بهمن نمونه‌برداری انجام و بادام‌های آلوده به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها در سه اتاقک رشد با دمای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند. طول روز در هر سه اتاقک رشد مطابق با شرایط آب و هوایی اصفهان ۱۳ ساعت روشنایی و ۱۱ ساعت تاریکی تنظیم شد. رطوبت نسبی در هر سه اتاقک رشد بین ۳۰-۷۰ درصد بود.

برای محاسبه آستانه حداقل دمایی به روش X-Intercept Method ابتدا نسبت رشد روزانه با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد. در این روش هر مرحله از رشد حشره در دماهای مختلف قرار داده و تعداد روز لازم برای کامل شدن این مرحله رشدی محاسبه می‌شود. با توجه به تعداد روز لازم برای کامل شدن این مرحله و با استفاده از فرمول زیر سرعت رشد محاسبه می‌شود.

$$\text{سرعت رشد روزانه} = \frac{1}{\text{تعداد روز لازم برای تکمیل یک مرحله رشد}}$$

در این مطالعه برای هر کدام از دماهای مورد آزمایش یک سرعت رشد محاسبه شد و با رگرسیون خطی بین سرعت رشد در دماهای مورد مطالعه، معادله درجه یک سرعت رشد و دما

محاسبه شد. فرم کلی معادله $y=a+bx$ است که y سرعت رشد، x دما، a و b ضرایب این خط هستند. آستانه حداقل دمایی (T_0) از امتداد خط رگرسیون معادله فوق در محل برخورد با محور افقی از رابطه $T_0=-a/b$ محاسبه می‌شود و بالاخره مجموع حرارت موثر از رابطه $DD=(T-t_0)\times D$ به دست می‌آید (Davidson, 1944). در این رابطه D طول دوره مرحله نشو نمایی (برحسب روز)، T دما (برحسب درجه سلسیوس)، t_0 آستانه حداقل دما (برحسب درجه سلسیوس) و DD روز_درجه است. همچنین درجه حرارت موثر در دمای محیط با کمک اطلاعات هواشناسی روزانه و مجموع اختلاف میانگین دمای روزانه از آستانه حداقل دمایی در طول مدت شفیرگی محاسبه شد (Dent and Walton, 1997).

نتایج و بحث

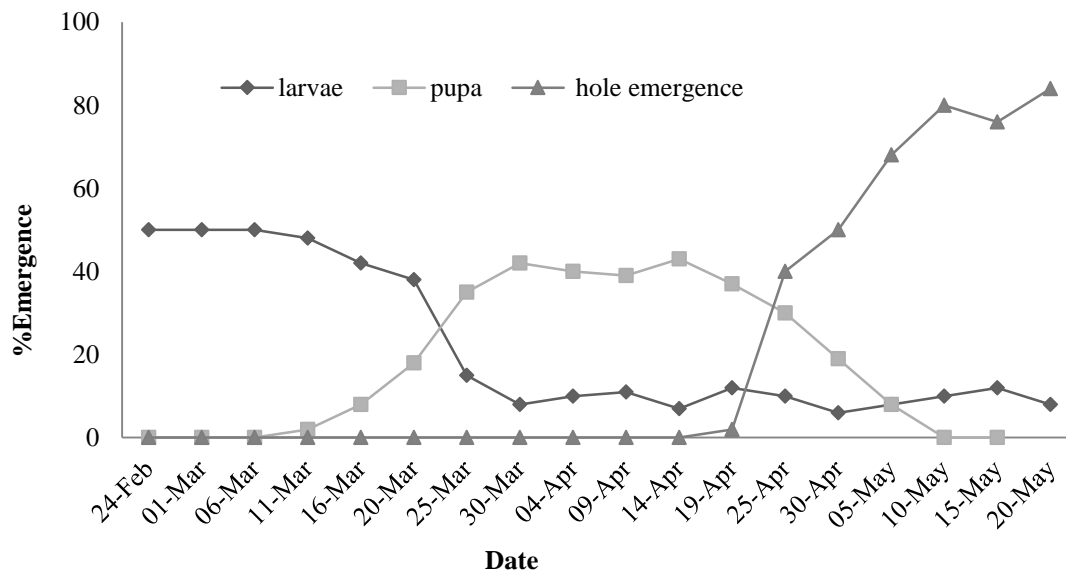
زیست‌شناسی زنبور مغزخوار بادام

لاروهای زنبور مغزخوار بادام تمام طول تابستان، پاییز و زمستان را داخل بادام‌های مومیایی شده روی درخت یا زمین سپری می‌کنند. این لاروها در اواخر زمستان و یا اوایل بهار زمانی که دمای محیط مناسب شد تبدیل به شفیره می‌شوند. برخی از لاروها دارای دیاپوز حداقل دوساله تشخیص داده شدند که این نکته در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده روی زنبور مغزخوار بادام نیز ذکر شده است (Margaritopoulos and Tzanakakis, 2006). با جدا کردن بادام‌های آلوده از درخت و قرار دادن بادام آلوده در پای درخت درصد دیاپوز دو ساله افزایش می‌یابد. در سال ۱۳۹۳ در ۲۹/۹۸ درصد از بادام‌های آلوده جمع‌آوری شده، لاروها در بهار به شفیره تبدیل نشدند و با توجه به این مطلب که بخشی از جمعیت این آفت سیکل زندگی خود را در دو، سه و حتی چهار سال تکمیل می‌کند (Tzanakais and Veerman, 1994)، بنابراین ۲۹/۹۸ درصد از جمعیت این منطقه حداقل دارای دیاپوز دوساله بودند. در حالی که در برخی از بررسی‌ها به دیاپوز سه و حتی چهار ساله زنبور مغزخوار بادام نیز اشاره

تغییرات فصلی جمعیت شفیره

با نگهداری بادام‌های آلوده در قفس در باغ، تغییرات فصلی جمعیت زنبور مغزخوار بادام مشخص و در شکل ۱ نشان داده شده است. شروع، اوج و خاتمه شفیرگی به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۱۲/۲۰، ۱۳۹۴/۱/۱۰ و ۱۳۹۴/۲/۱۸ اتفاق افتاد. می‌توان بیان کرد که شروع شفیرگی تقریباً هم‌زمان با باز شدن جوانه‌های برگ‌گی و ریزش گل‌ها بوده و اوج و پایان شفیرگی به ترتیب در زمانی رخ داد که متوسط طول و عرض میوه‌ها ۱۰×۵ میلی‌متر و ۳/۶×۲/۶ سانتی‌متر بود.

شده است. در تحقیق دیگر میزان دیابوز طولانی بسته به سال و واریته بادام بین ۹/۴ تا ۳۰/۵٪ گزارش شد و اعلام شد در این حشره با جدا کردن بادام‌های آلوده از درختان میزان دیابوز دوساله تا ۷۰٪ هم می‌رسد (Tzanakais and Veerman, 1994). میزان دیابوز دوساله در تحقیق دیگری ۲۶/۸٪ گزارش شد (Talhouk, 1977).



شکل ۱- درصد لارو، شفیره و سوراخ خروجی حشرات کامل *Eurytoma amygdali* در بادام‌های آلوده

Figure 1. Percent of larvae, pupae and adult emergence holes of *Eurytoma amygdali* on the infested seeds

افتاد. همان‌طور که نتایج نشان داد در دو سال متوالی تاریخ شروع و اوج ظهور هم‌زمان بود ولی تاریخ پایان ۷ روز اختلاف داشت. اختلاف در پایان زمان ظهور حشرات را می‌توان به تغییرات آب و هوایی و اختلاف ۴ درجه سلسیوس در حداقل دمای دو سال متوالی نسبت داد به طوری که کمینه دما در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به ترتیب ۴/۲ و ۸/۴ درجه سلسیوس بود. میانگین دما نیز در دو سال متوالی یک درجه سلسیوس اختلاف داشته است. در زمان شروع، اوج و پایان

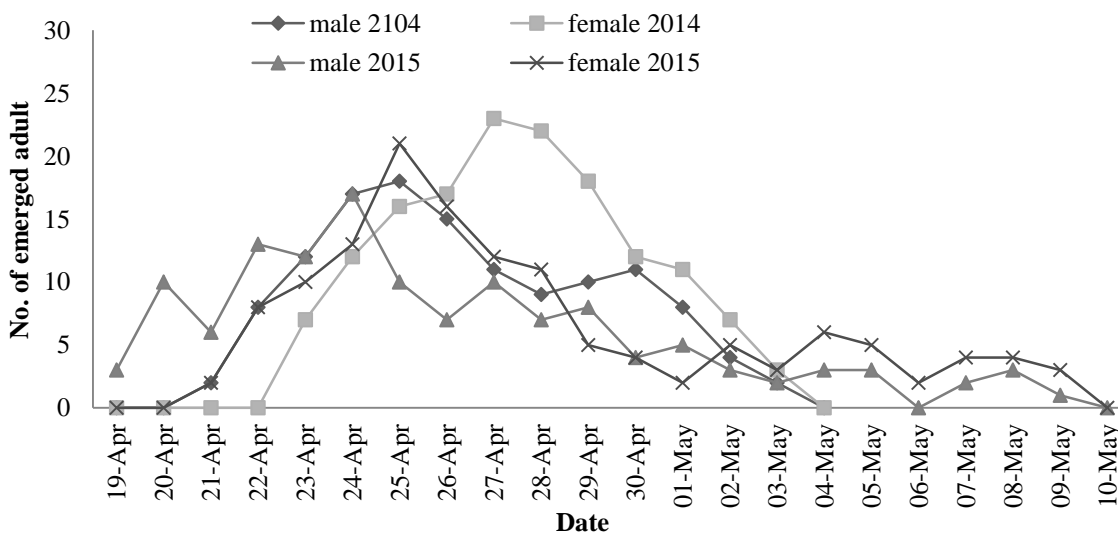
تغییرات فصلی جمعیت حشرات کامل

ردیابی تغییرات فصلی جمعیت حشرات کامل و تعیین زمان دقیق شروع، اوج و پایان ظهور حشرات کامل که طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ انجام گرفت، با استفاده از روش دوال و میلان (۲۰۱۰) انجام شد (شکل ۲). شروع، اوج و خاتمه ظهور حشرات کامل در سال ۱۳۹۳ به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۲/۱، ۱۳۹۳/۲/۵ و ۱۳۹۳/۲/۱۲ و در سال ۱۳۹۴ به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۹۴/۱/۳۰، ۱۳۹۴/۲/۵ و ۱۳۹۴/۲/۱۹ اتفاق

محل تخم‌ریزی و مشخصات تخم

حشرات کامل ماده پس از ظهور، جفت‌گیری کرده و تخم‌های خود را به وسیله تخم‌ریز خود در اندوسپرم بادام قرار می‌دهند. حشرات ماده به طور طبیعی توانایی قرار دادن چندین تخم در بادام را دارند. در این مطالعه بیش‌ترین تعداد تخم دیده شده در یک بادام ۵ عدد بود. ممکن است تا بیش از هفت تخم هم در یک بادام دیده شود (Mentjelos and Atjemis, 1970). تخم‌ها تخم‌مرغی شکل، کشیده، صاف و سفیدرنگ هستند و در انتها درای یک رشته می‌باشند. طول و قطر ۲۰ عدد تخم اندازه‌گیری شد که متوسط طول آن‌ها 0.15 ± 0.046 میلی‌متر و متوسط قطر آن‌ها در عرض‌ترین قسمت 0.06 ± 0.021 میلی‌متر بود. طول رشته انتهایی سه تا چهار برابر طول تخم برآورد شد. در تحقیق دیگر طول و عرض تخم زنبور مغزخوار بادام به ترتیب 0.1 ± 0.038 میلی‌متر و 0.04 ± 0.020 میلی‌متر گزارش شد (Plaut, 1972).

ظهور حشرات کامل به ترتیب به طور متوسط طول و عرض بادام‌ها برابر با $1/1 \times 2/1$ ، $1/5 \times 2/5$ و $1/8 \times 3/6$ سانتی‌متر بود. در هر دو سال متوالی تعداد حشره کامل ماده خارج شده بیش‌تر از حشرات نر بود به طوری که نسبت جنسی نر به ماده به ترتیب در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ برابر با $0.46:0.53$ و $0.49:0.51$ بود. شروع، اوج و پایان ظهور حشرات نر و ماده در شکل ۲ قابل مشاهده است. نمودار نشان داد که در روزهای اول ظهور تعداد نرها بیش‌تر بود و به اوج خود رسید ولی به طور هم‌زمان ظهور حشرات جنس نر و ماده پایان یافت. در تحقیقات دیگر نیز نشان داده شد که ابتدا حشرات نر و پس از آن حشرات ماده ظاهر می‌شوند (Plaut, 1972; Talhouk, 1977).



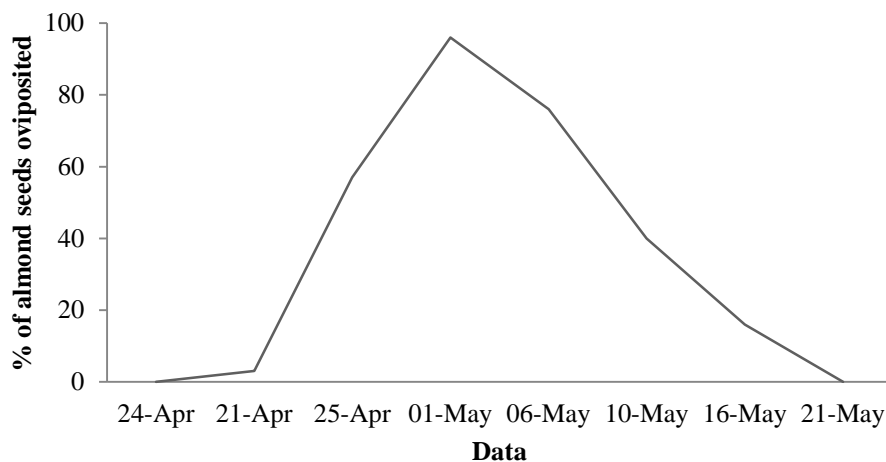
شکل ۲- تعداد حشرات نر و ماده ظاهر شده زنبور *Eurytoma amygdali* در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در منطقه باغبان‌داران
Figure 2. No. of female and males of *Eurytoma amygdali* emerged during 2014 and 2015 in Baghebahadoran

دوره تخم‌ریزی

شروع، اوج و پایان تخم‌ریزی حشرات ماده به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۹۴/۲/۱، ۱۳۹۴/۲/۱۱ و ۱۳۹۴/۲/۲۰ مشاهده شد (شکل ۳). در این زمان‌ها متوسط اندازه بادام‌ها به ترتیب $۲/۱ \times ۱/۱$ ، $۲/۹ \times ۱/۷$ و $۳/۷ \times ۲/۷$ سانتی‌متر بود. با توجه به تاریخ اوج تخم‌ریزی و اندازه بادام‌ها در این تاریخ می‌توان اندازه مناسب بادام‌ها برای تخم‌گذاری زنبور مغزخوار بادام را بین $۱/۵ \times ۲/۵$ تا $۲/۴ \times ۳/۵$ سانتی‌متر گزارش کرد. اندازه مناسب برای تخم‌گذاری حشرات بستگی به فشار تخم‌ریزی دارد. تخم‌ریزی ممکن است در بادام‌ها با اندازه متفاوت انجام شود (Talhouk, 1977). زنبورهای بارور بادام‌های با طول

۳/۶ سانتی‌متر را برای تخم‌ریزی ترجیح می‌دهند (Plaut, 1972).

با توجه به تاریخ ذکر شده در زمان آغاز ظهور حشرات کامل و تاریخ اولین تخم‌ریزی این طور به نظر می‌رسد که حشرات یک روز بعد از ظهور شروع به تخم‌ریزی می‌کنند. نتایج یک تحقیق بیانگر این است که حشرات یک روز پس از ظهور جفت‌گیری کرده و در همان روز تخم‌ریزی می‌کنند (Mentjelos and Atjemis, 1970). در حالی که بر اساس تحقیق دیگری، جفت‌گیری ۳ تا ۶ روز پس از ظهور حشرات کامل و بدون تغذیه انجام می‌شود و پس از آن بلافاصله تخم‌ریزی آغاز می‌شود (Talhouk, 1977).



شکل ۳- درصد بادام آلوده به تخم زنبور مغزخوار بادام

Figure 3. Percent of almond seeds oviposited by *Eurytoma amygdale*

دوره تفریخ تخم و مراحل تغذیه لاروی

تفریخ تخم‌ها و ظهور اولین لارو در تاریخ ۱۳۹۴/۲/۱۱ آغاز شد که ۱۰ روز پس از اولین تخم‌ریزی بود. شروع تفریخ تخم‌ها با متوسط اندازه بادام $۲/۹ \times ۱/۷$ سانتی‌متر هم‌زمان بود. پایان تفریخ تخم‌ها (عدم مشاهده تخم تفریخ شده) در تاریخ ۱۳۹۴/۲/۳۱ صورت گرفت که در این زمان به طور متوسط اندازه بادام برابر با $۳/۴ \times ۲/۵$ سانتی‌متر بود. طول دوره تفریخ تخم‌ها در شرایط آب و هوایی لبنان بین ۷ تا ۱۲ روز گزارش

شده است که بستگی به دمای محیط دارد. اوج تفریخ تخم‌ها در شرایط لبنان در دهه اول ماه می گزارش شد (Talhouk, 1977).

لارو‌ها پس از تفریخ به سمت لپه حرکت کرده و وارد لپه می‌شوند و شروع به تغذیه می‌کنند. طی ادامه تغذیه لارو‌ها تمام مغز را از بین می‌برند و فقط فضولات در بادام باقی می‌ماند. در ابتدای تغذیه ممکن است چندین لارو به طور هم‌زمان در یک بادام دیده شود. در پژوهش حاضر بیش‌ترین تعداد

دوره لاروی

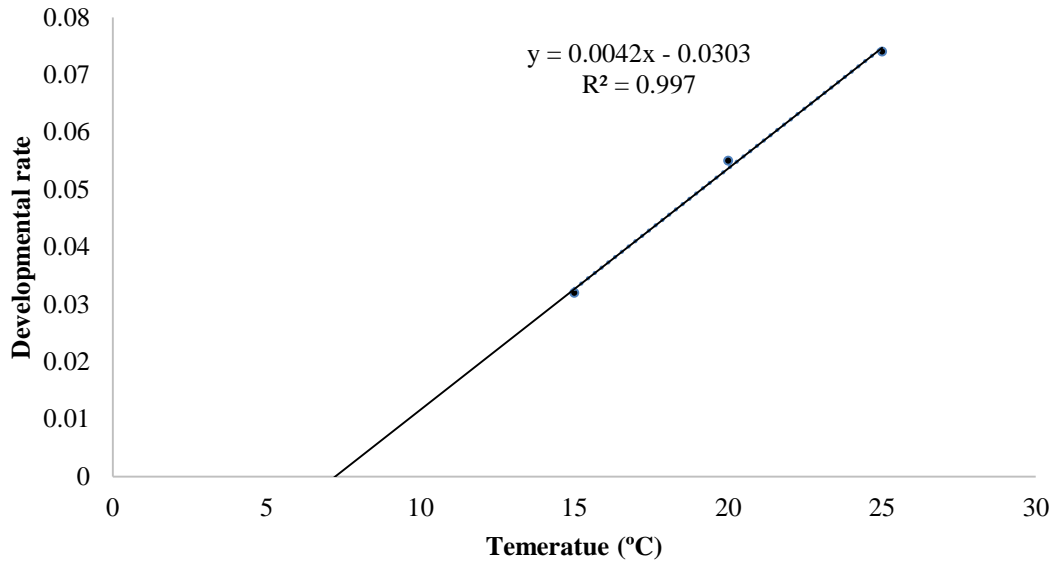
تاکنون مطالعه‌ای روی دوره لاروی این گونه انجام نشده است و گزارشی از تعداد سنین لاروی این گونه در دسترس نیست. به دلیل سفید بودن کپسول سر در این آفت اندازه‌گیری کپسول به راحتی میسر نبود و در این تحقیق انجام نگرفت. در منابع دیگر برای برخی آفات از شکل و اندازه لارو برای تشخیص سنین لاروی آفت استفاده شده است. در این تحقیق در هر بار نمونه‌برداری از ظهور لاروها تا پایان تغذیه لاروی و رسیدن لاروها به آخرین سن، ویژگی‌هایی مثل رنگ و اندازه لاروها یادداشت شد. براساس این اندازه‌گیری‌ها اولین سن لاروی داری طول متوسط $0/525$ میلی‌متر بود. طی نمونه-برداری‌های بعدی طول لاروها به تدریج افزایش یافت و در اواخر دوره تغذیه به طور ناگهانی متوسط اندازه لاروها به $8/5$ تا 9 میلی‌متر رسید. طی دوره تغذیه رنگ لاروها در در ابتدا سفید بود و به رنگ خاکستری روشن تغییر کرد به طوری که لاروهایی که تغذیه کامل داشتند خاکستری رنگ بودند.

آستانه حداقل دمایی و نیاز حرارتی زنبور مغزخوار بادام در مطالعه آزمایشگاهی

تعداد روزهای لازم برای تبدیل شفیره به حشره کامل به- ترتیب در دماهای 15 ، 20 و 25 درجه سلسیوس $30/8 \pm 0/8$ ، $18/08 \pm 0/56$ و $13/5 \pm 0/9$ روز محاسبه شد. سرعت رشد به- ترتیب برای دماهای 15 ، 20 و 25 برابر با $0/32$ ، $0/55$ و $0/74$ بود. سپس بین دما و نرخ رشد در سه دما رگرسیون خطی رسم شد و معادله مربوط به دست آمد (شکل ۴). نقطه‌ای که این خط محور افقی را قطع می‌کند آستانه حداقل دمایی است که برابر با $7/214$ درجه سلسیوس برآورد شد.

لارو دیده شده در یک بادام ۴ لارو بود و با ادامه تغذیه برخی از لاروها از بین رفتند به طوری که در بیش‌تر بادام‌ها تنها یک لارو باقی ماند که می‌تواند به دلیل پدیده هم‌خواری در این گونه باشد (Talhouk, 1977). البته در مواردی دو لارو در یک بادام هم دیده شد که این پدیده در سال 1393 به ندرت، ولی در سال 1394 به وفور مشاهده شد که شاید بتوان دلیل آن را کاهش تعداد بادام در دسترس زنبورها برای تخم ریزی به دلیل سرمازدگی شدید اول فصل دانست.

به طور کلی طول دوره تغذیه لاروی را می‌توان در شرایط آب و هوایی اصفهان حدود 5 تا 6 هفته گزارش کرد. همان-طور که پیش از این نیز بیان شد، اولین لارو در تاریخ $1394/2/11$ مشاهده شد و تقریباً در تاریخ $1394/4/7$ تغذیه لاروها کامل شد و به بزرگ‌ترین اندازه خود رسیدند. پس از اتمام تغذیه، لاروها وارد دیپوز می‌شوند و تا بهار سال بعد بدون تغذیه باقی می‌مانند و در مواردی دیپوز دو، سه و حتی چهار ساله هم دیده می‌شود. این گونه دارای دیپوز دو مرحله‌ای می‌باشد که این دو مرحله را با اختلاف رنگ واضحی که در بدن حشره دیده می‌شود از یکدیگر متمایز می‌شوند، به طوری که در مرحله‌ی اول رنگ بدن خاکستری و در مرحله دوم سفید است. در شرایط آب و هوایی اصفهان از زمان کامل شدن تغذیه تا اواخر آبان مرحله اول دیپوز و در آذر ماه مرحله دوم دیپوز با تغییر رنگ بدن اتفاق می‌افتد.



شکل ۴- رابطه خطی بین نرخ رشد و دما در شفیره *Eurytoma amygdali*

Figure 4. Linear regression between developmental rate and temperature for pupal stage of *Eurytoma amygdali*

اصفهان و نجف آباد بوده، ولی در پژوهش حاضر منطقه زرین شهر است. این دو منطقه تا حدودی از نظر شرایط آب و هوایی دارای اختلاف می باشند.

در این تحقیق مشخص شد اوج ظهور حشرات کامل و تخم ریزی زنبور مغز خوار بادام در منطقه زرین شهر اصفهان دهه اول اردیبهشت ماه بوده و در این زمان می توان نسبت به مبارزه علیه این آفت اقدام نمود. همچنین با توجه به اینکه شفیره زنبور مغز خوار بادام برای فعالیت به آستانه حداقل دمایی ۷/۲۱۴ درجه سلسیوس و تبدیل آن ها به حشرات کامل به حرارت موثر ۲۳۷/۰۳ درجه- روز نیازمند می باشد، می توان با استفاده از داده های هواشناسی و نیازهای دمایی آفت تاریخ ظهور مراحل مهم آفت را دقیق تر پیش بینی نمود.

باتوجه به آستانه حداقل دمایی محاسبه شده دمای موثر در سه دمای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس به ترتیب برابر با ۲۳۹/۸، ۲۳۱/۱۷ و ۲۴۰/۱۱ درجه روز بود که متوسط آن برابر با $237/03 \pm 2/93$ درجه روز می باشد. دمای موثر در دمای محیط ۲۳۲/۴۵ درجه-روز برآورد شد. این اختلاف احتمالاً به دلیل اختلاف دمایی ایستگاه هواشناسی از منطقه مورد مطالعه می باشد. در زنبور مغز خوار سیاه پسته، گونه دیگری از همین جنس، در شرایط آب و هوای اصفهان آستانه حداقل دمایی از تشکیل ۵۰٪ شفیره تا خروج ۵۰٪ حشرات کامل ۱۱/۴ درجه سلسیوس و دمای موثر $215/3 \pm 19/05$ درجه روز برآورد شد (Basirat and Seyedoleslami, 2001) که این اختلاف را می توان به اختلاف در گونه و منطقه مورد مطالعه نسبت داد که در مورد زنبور مغز خوار پسته

References

- Basirat, M. and Seyedoleslami, H. 2001. Post overwintering heat requirement for pistachio seed wasp *Eurytoma plotnikovi* Nikolskaya (Hym.: Eurytomidae). **Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources** 5: 221-230 (in Farsi).
- Davidson, J. 1944. On the relationship between temperature and rate of development of insects at constant temperatures. **Jornal of Animal Ecology** 13: 26-38.

- Dent, D. R. and Walton, M. P.** 1997. Method in ecological and agricultural entomology. CAB. International, 387 pp.
- Duval, H. and Millan, M. M.** 2010. Emergence dates of *Eurytoma amygdali* Enderlein adults in the south- east of France and control strategy. **Options Mediterraneennes** 94: 175-180.
- Fatzinger, C. W. and Dixon, W. N.** 1996. Degree-day models for predicting levels of attack by slash pine flower thrips (Thysanoptera: Phlaeothripidae) and the phenology of female strobilus development on slash pine. **Environmental Entomology** 25: 35-272.
- Izadi, H. and Samih, M. A.** 2010. Insect classification (description of orders and families). Vali-e-Asr University of Rafsanjan (in Farsi).
- Kouloussis, N. A.** 2008. Almond Seed Wasp, *Eurytoma amygdali* Enderlein (Hymenoptera: Eurytomidae). In Capinera, J. L (Ed). Encyclopedia of Entomology. Springer, New York. pp.134-136.
- Mansingh, A.** 1974. Studies on insect dormancy. II. Relationship of cold-hardiness to diapause and quiescence in the eastern tent caterpillar, *Malacosoma americanum* (Fab.), (Lasiocampidae: Lepidoptera). **Canadian Journal of Zoology** 52: 629-637.
- Margaritopoulos, T. and Tzanakakis, E.** 2006. Diapause completion in the almond seed wasp, *Eurytoma amygdali* (Hymenoptera: Eurytomidae) following early low temperature treatment. **European Journal of Entomology** 103: 733-742.
- Mentjelos, J. and Atjemis, A.** 1970. Studies on the biology and control of *Eurytoma amygdali* in Greece. **Journal of Economic Entomology** 63: 1934-1936.
- Mohamadi Khoramaabadi, A. and Arzani, E.** 2009. Evaluation of morphological characteristic of five genotypes of almond and their relationship with almond seed wasp, *Eurytoma amygdali* Enderlein (Hym.: Eurytomidae) infestation and resistance. **Journal of Agricultural Science and Natural Resources** 16: 2-8 (in Farsi).
- Plaut, H. N.** 1972. On the biology of the immature stages of the almond wasp *Eurytoma amygdali* End. (Hym. Eurytomidae) in Israel. **Bulletin of Entomological Research** 61: 681-687.
- Talhok, A. S.** 1977. Contributions to the knowledge of almond pests in east Mediterranean countries. **Zeitschrift für Angewandte Entomologie** 83: 145-154.
- Tehranifar, A., Kafi, M. and Adli, M.** 2002. Almond growing: botany, choose of stock and scionwood, cultural practices, pests and diseases, processing and sorting. Jahad-e-Daneshgahi, Mashhad, Iran (in Farsi).
- Tzanakais, M. E. and Veerman, A.** 1994. Effect of temperature on the termination of diapause in the univoltine almond seed wasp *Eurytoma amygdali*. **Entomolgia Experimentalis et Applicata** 70: 27-39.
- Zerova, M. D. and Fursov, N.** 1991. The palearctic species of *Eurytoma* (Hymenoptera: Eurytomidae) developing in stone fruits (Rosaceae: Prunoideae). **Bulletin of Entomological Research** 81: 209-219.

Biology and thermal requirements of the almond seed wasp, *Eurytoma amygdali* (Hym.: Eurytomidae) in Zarinshar, Isfahan

F. Khanmohamadi¹, J. Khajehali¹ and H. Izadi*²

1. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, 2. Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

(Received: March 5, 2016- Accepted: November 14, 2016)

Abstract

The almond seed wasp, *Eurytoma amygdali* (Hym.: Eurytomidae) is a key pest of almond in Iran. The pest may destroy, in some cases, up to 90% of the almond seeds. Because of the pest importance and the lack of adequate information on its phenology in Isfahan, this study was carried out to investigate the phenology of the almond seed wasp. About 30% of the larvae showed prolonged diapause in the Zarinshahr region in 2015. The lower temperature threshold of the pest was estimated 7.214 °C and thermal constant for pupal stage under the laboratory conditions was 237.03±2.93 degree-days. Phenological study in Zarinshar showed that termination of pest pupation occurred in 30.3.2015 (by about 139 degree-days). Adult peak emergence occurred on 25.4.2015 (by about 358 degree-days). Peak of the egg laying was observed in 1.5.2015 (by 313.5 degree-days). Suitable fruit size for egg laying was estimated to be about 1.5×2.5 - 2.4×3.5 cm.

Key words: *Eurytoma amygdali*, Phenology, Temperature threshold

* Corresponding author: izadi@vru.ac.ir