

## Effect of Cold Storage of *Galleria mellonella* L. on the Fitness of *Habrobracon hebetor* Say

Nahid Vaez<sup>1\*</sup>, Pari Dastmalchi<sup>2</sup>, Ali Mehrvar<sup>3</sup>

Received: 16 August 2024 Accepted: 08 October 2024

1- Assist. Prof., Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Iran.

2- MSc. Student, Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Iran.

3- Assoc. Prof., Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Iran.

\* Corresponding Author Email: [naheedvaez@gmail.com](mailto:naheedvaez@gmail.com)

### Abstract

**Background and Objective:** The aim of this experiment was to investigate the effect of different storage periods of the third instar larvae of the greater wax moth, *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) at 4 and 12°C, on the biological and population parameters of *Habrobracon hebetor* Say. (Hymenoptera: Braconidae).

**Materials and Methods:** This study was carried out in a factorial based on completely randomized design in the Plant Protection Department of Azarbaijan Shahid Madani University. The first factor was consisted of the temperature at two levels (4 and 12°C) and the second factor was including the duration of storage at five levels (0 as control, 1, 3, 7 and 15 days).

**Results:** The results showed that the storage of the third instar larvae of the greater wax moth, *G. mellonella* at 4 and 12°C for 15 days, decreased the biological, reproductive and population parameters of the *H. hebetor*. The mean biological and reproductive parameters in 12°C treatments did not show any significant difference with the control. Parasitism rate and sex ratio were not affected by experimental treatments. The longevity, the oviposition period and fecundity of the *H. hebetor* decreased with the increase in the cold storage duration of the host. The lowest longevity ( $24.56 \pm 0.8$  days), oviposition period ( $23.91 \pm 0.87$  days), fecundity ( $245.46 \pm 1.12$  eggs) and population growth rate ( $r$ ) ( $0.2425 \pm 0.004$ ) were observed in 15 days' treatment at 4°C.

**Conclusion:** To mass rearing of *H. hebetor*, the larvae of the greater wax moth, *G. mellonella* can be kept for two weeks at 12°C and for a maximum of one week at 4°C.

**Keywords:** Fecundity, *Galleria mellonella*, *Habrobracon hebetor*, Mass Rearing, Parasitism Rate, Population Growth Rate

## تأثیر ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *Galleria mellonella* L. در دماهای پایین روی کارایی زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* Say.

ناهید واعظ<sup>۱\*</sup>، پری دستمالچی<sup>۲</sup>، علی مهرور<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱۷

- ۱- استادیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
  - ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
  - ۳- دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
- \* مسئول مکاتبه: Email: [naheedvaez@gmail.com](mailto:naheedvaez@gmail.com)

### چکیده

**اهداف:** هدف آزمایش بررسی تأثیر مدت زمان‌های مختلف ذخیره‌سازی لاروهای سن سوم پروانه موم‌خوار بزرگ، *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) در دماهای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس، روی پارامترهای زیستی و جمعیتی زنبور پارازیتوئید (*Habrobracon hebetor* Say. (Hymenoptera: Braconidae) بود.

**مواد و روش‌ها:** این آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان انجام گرفت. فاکتور اول شامل دما در دو سطح (۴ و ۱۲ درجه سلسیوس) و فاکتور دوم شامل مدت زمان نگهداری در دو دمای یاد شده در پنج سطح (صفر به عنوان شاهد، ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روز) بود.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد ذخیره‌سازی لاروهای سن سوم پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس تا ۱۵ روز، موجب کاهش پارامترهای زیستی، تولید مثلی و جمعیتی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* شد. میانگین پارامترهای زیستی و تولید مثلی زنبور پارازیتوئید در تیمارهای دمای ۱۲ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان ندادند. نرخ پارازیتیسیم و نسبت جنسی زنبور تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفت. طول عمر، طول دوره تخم‌ریزی و زادآوری زنبور با افزایش مدت زمان نگهداری میزبان در دماهای مورد بررسی کاهش یافت. کم‌ترین طول عمر (۰/۸ ±) و زادآوری (۲۴/۵۶ روز)، طول دوره تخم‌ریزی (۰/۸۷ ±) و زادآوری (۲۳/۹۱ روز)، زادآوری (۱/۱۲ ±) و نرخ رشد جمعیت زنبور (۲) (۰/۰۰۴ ±) روی لاروهای میزبانی که به مدت پانزده روزه در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شده بودند، به دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** جهت پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* می‌توان لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* را تا دو هفته در دمای ۱۲ درجه سلسیوس و حداکثر یک هفته در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری نمود.

**واژه‌های کلیدی:** پرورش انبوه، زادآوری، نرخ پارازیتیسیم، نرخ رشد جمعیت، *Habrobracon hebetor*، *Galleria mellonella*

### مقدمه

برنامه‌های مبتنی بر رهاسازی اشیاعی شناخته شده است. مهم‌ترین مانع بر سر راه اجرای موفقیت‌آمیز برنامه‌های اشیاعی، هزینه زیاد و دشوار بودن پرورش

تولید انبوه حشرات مفید از گذشته‌های دور به عنوان یکی از ارکان اصلی برنامه‌های کنترل بیولوژیک به ویژه

انبوه حشرات مفید و رهاسازی آن‌ها در زمان مناسب می‌باشد (راسی و رام ۲۰۱۸). برخلاف حشره‌کش‌ها، اغلب حشراتی که در برنامه‌های کنترل بیولوژیک استفاده می‌شوند دارای عمر محدودی بوده و به دلیل جاندار بودن از قابلیت نگهداری پایینی برخوردار هستند، بنابراین باید در مدت زمان کوتاهی پس از تولید استفاده شوند (کیدین و همکاران ۲۰۲۰). ذخیره‌سازی در دماهای پایین همواره به‌عنوان یک ابزار ارزشمند در پرورش انبوه عوامل کنترل بیولوژیکی مورد توجه بوده است. توسعه روش‌های کارآمد ذخیره‌سازی می‌تواند از طریق افزایش ماندگاری دشمنان طبیعی و فراهم ساختن یک ذخیره کافی و پایدار از آن‌ها، هزینه‌های کنترل بیولوژیک را کاهش دهد و امکان هماهنگ کردن رهاسازی دشمن طبیعی در مزرعه با مرحله بحرانی آفت را فراهم کند و در نتیجه شانس موفقیت برنامه کنترل بیولوژیکی را به میزان قابل توجهی افزایش دهد (لئوپولد ۲۰۰۷، کولینت و بویوین ۲۰۱۱، فیلیو و همکاران ۲۰۱۴، انور و همکاران ۲۰۱۶، ابس و همکاران ۲۰۲۰، لین و همکاران ۲۰۲۱). ذخیره‌سازی در دماهای پایین می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای برای غلبه بر مشکلات پرورش انبوه که در ابتدای این بخش گفته شد در نظر گرفته شود. همچنین انعطاف‌پذیری و اثربخشی را در طول تولید انبوه تضمین کرده و هزینه‌های نگهداری کلنی پرورش پارازیتوئید و میزبان را در دوره‌هایی که تقاضا کم است کاهش دهد (منصور ۲۰۱۷، عسکری سیاهویی و همکاران ۲۰۱۸، سیام و همکاران ۲۰۱۹). علاوه بر این، ذخیره‌سازی در دمای پایین می‌تواند ثبات ژنتیکی را بهبود بخشد زیرا نسل‌های کمی پرورش می‌یابند (چن و همکاران ۲۰۱۳). نگهداری حشرات در دماهای پایین نه تنها برای پرورش تجاری حشرات مفید استفاده می‌شود، بلکه برای نگهداری کلنی‌های حشرات در شرایط آزمایشگاهی به‌منظور انجام پژوهش نیز کاربردی می‌باشد (لئوپولد ۲۰۰۷، زندی سوهانی و تامولی طرفی ۲۰۲۴). زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* Say از خانواده Braconidae

یکی از مهم‌ترین پارازیتوئیدها در برنامه‌های کنترل بیولوژیک آفات است که علیه لارو بسیاری از بال-پولکداران مورد استفاده قرار می‌گیرد (مباتا و واریسی ۲۰۱۹). این زنبور، پارازیتوئید خارجی<sup>۱</sup>، همه‌جازی و جمعی<sup>۲</sup> است که میزبان خود را قبل از تخم‌گذاری فلج کرده و پس از پارازیته کردن از نشو و نمای آن جلوگیری می‌کند<sup>۳</sup>. فلج شدن میزبان دائمی بوده و در نهایت باعث مرگ میزبان می‌شود (حسن و همکاران ۲۰۲۰). زنبورهای ماده بالغ، تخم‌های خود را در روی بدن میزبان یا مجاور آن قرار می‌دهند. این افراد به‌هنگام جستجوی لاروهای میزبان، علاوه بر تخم‌ریزی روی آن‌ها، برخی دیگر را فقط با تزریق زهر فلج می‌کنند (بدون آن که روی آن‌ها تخم‌ریزی کنند) و از طریق تغذیه از همولنف آن‌ها بر تلفات لاروها می‌افزایند. این رفتار زنبورهای براکون و چندنسلی بودن آن‌ها موجب افزایش قدرت انهدامی‌شان شده است. این زنبور دارای میزبان‌های متعددی می‌باشد که اکثر آن‌ها از آفات مهم انباری و زراعی هستند (امیرمعافی و چی ۲۰۰۶). زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* به‌علت طیف میزبانی وسیع، نرخ تولید مثل بالا، مدت زمان کوتاه تولید نسل، بقای طولانی مدت افراد بالغ در شرایط گرسنگی و سازگاری با شرایط سرد زمستان به‌صورت گسترده‌ای در مطالعات اثر متقابل میزبان-پارازیتوئید مورد استفاده قرار گرفته است (آلم و همکاران ۲۰۱۵، مباتا و واریسی ۲۰۱۹). در برنامه‌های کنترل بیولوژیک، زنبور *H. hebetor* به‌عنوان مکمل رهاسازی‌های زنبور تریکوگراما برعلیه آفات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ به‌این نحو که تخم‌های آفتی که توسط زنبوران تریکوگراما پارازیته نشده و به لارو تبدیل شده‌اند توسط زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* پارازیته شده و از بین می‌روند (عطاران ۱۹۹۶). زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نیز همه ساله در تعداد زیادی از انسکتاریوم‌های ایران به‌طور انبوه تکثیر می‌یابد (مخبر و همکاران، ۲۰۱۵). پرورش انبوه زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* توسط عوامل مختلفی از جمله

<sup>3</sup> Koinobiont<sup>1</sup> ectoparasitoid<sup>2</sup> Gregarious

لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *Anagasta kuehniella* Zeller را تا چهار هفته در دمای ۱۲ درجه سلسیوس نگهداری نمود. یکی از مهم‌ترین نکات در مورد ذخیره‌سازی حشرات در دمای پایین، حفظ کیفیت والدین و نیز نتاج آن‌ها می‌باشد (ون لنترن و توماسینی ۲۰۰۳). ذخیره‌سازی در سرما می‌تواند به‌طور مستقیم برخی از پارامترهای بیولوژیکی و کیفیت دشمنان طبیعی از جمله میزان زنده‌مانی و طول عمر، درصد ظهور، توانایی تولیدمثل، قدرت پرواز در حشرات کامل و توانایی آن‌ها در پارازیت‌کردن را تحت تاثیر قرار دهد که در بیشتر پژوهش‌های انجام شده تاثیر منفی ذخیره‌سازی در سرما بر کیفیت و شایستگی پارازیتوئیدها به اثبات رسیده است (اسماعیل و همکاران ۲۰۱۰، عسکری سیاهویی و همکاران ۲۰۱۸، کیدین و همکاران ۲۰۲۰، آگوستین و شرا ۲۰۲۴، امینی و همکاران ۲۰۲۴، زندی سوهانی و تامولی طرفی ۲۰۲۴). علاوه بر دما، مدت زمان قرار گرفتن در معرض دمای پایین نیز عامل مهمی در تعیین بقای پارازیتوئیدها است. به عبارت دیگر، در مبحث ذخیره‌سازی در سرما، برآیند بین دما و طول مدت زمان ذخیره‌سازی، شدت اثرات منفی بر جای گذاشته شده بر پارازیتوئیدها را تعیین می‌نماید. با کاهش دما و افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی، آسیب‌های ناشی از ذخیره‌سازی در سرما تشدید می‌شوند (کولینت و بویوین ۲۰۱۱، کیدین و همکاران ۲۰۲۰). همچنین، نگهداری میزبان برای مدت طولانی در دمای پایین ممکن است بر نرخ پارازیتیسیم پارازیتوئید و همچنین نتاج حاصل از آن تأثیر بگذارد (اسماعیل و همکاران ۲۰۱۰). به‌منظور بهبود سیستم‌های پرورش انبوه دشمنان طبیعی و رهاسازی آن‌ها، آگاهی از رابطه بین مدت زمان ذخیره‌سازی، درجه حرارت و عملکرد عوامل کنترل بیولوژیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (تز و بوتو ۲۰۰۴، کولینت و بویوین ۲۰۱۱). مطالعات متعددی در مورد اثرات ذخیره‌سازی حشرات کامل و شفیره‌های زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در دماهای پایین صورت گرفته است (اسماعیل و همکاران ۲۰۱۰، موسی پور و همکاران ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶، انور و همکاران ۲۰۱۶، عسکری سیاهویی و همکاران ۲۰۱۸، علی‌آبادی و همکاران ۲۰۱۹، لین و

کاهش و یا نبود میزبان در مواقع ضروری محدود می‌شود (چن و همکاران ۲۰۱۳). از سوی دیگر، تولید بیش از حد هر دو پارازیتوئید و لارو میزبان آن می‌تواند در مواقعی که رهاسازی انجام نمی‌شود، بیهوده باشد (حسن و همکاران ۲۰۲۲). در نتیجه یافتن روش‌های مناسب و مؤثر ذخیره‌سازی برای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* و میزبان آن جهت هماهنگی زمانی زنبور و میزبان ضروری است (کیدین و همکاران ۲۰۲۳). روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی پرورش و نگهداری زنبوران براکون توسعه یافته است، که یکی از این روش‌ها، ذخیره‌سازی شفیره‌ها و افراد کامل زنبور در دماهای پایین می‌باشد (زینگ و همکاران ۲۰۲۲). همچنین می‌توان میزبان پارازیتوئیدها را ذخیره نمود تا در صورت نیاز از آن‌ها استفاده نمود (وارسی و مباتا ۲۰۱۸، کیو و همکاران ۲۰۲۴). استفاده از میزبان‌های ذخیره شده در دمای پایین برای تولید انبوه پارازیتوئیدها سودمند به نظر می‌رسد زیرا زمانی که جمعیت میزبان بیش از اندازه تولید شده و بلااستفاده باقی بماند و یا زمانی که درخواست برای استفاده از عوامل بیوکنترل بالا باشد و میزبان به تعداد کافی برای پرورش انبوه دشمن طبیعی در دسترس نباشد می‌توان از میزبان‌های ذخیره شده جهت پارازیتیسیم و پرورش زنبوران پارازیتوئید استفاده نمود (حسن و همکاران ۲۰۲۲). بنابراین، ذخیره‌سازی میزبان یک روش مقرون به صرفه است که در مقایسه با طعمه زنده به هزینه و نیروی کار کمتری نیاز دارد (محقق و امیرمعافی ۲۰۰۷). پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بر روی لاروهای میزبان ذخیره شده در دمای پایین می‌تواند به‌طور بالقوه تعداد بیشتری از نتاج را تولید کند زیرا در این صورت لاروهای میزبان رشد کندی داشته و یک پنجره زمانی وسیع‌تر برای پارازیتیسیم فراهم می‌شود (وارسی و همکاران ۲۰۱۸). بیشتر مطالعات انجام شده نشان داده که مناسب‌ترین دما جهت ذخیره‌سازی زنبورهای پارازیتوئید، بین دمای صفر تا پانزده درجه سلسیوس می‌باشد (کولینت و بویوین ۲۰۱۱، چن و همکاران ۲۰۱۳، کیدین و همکاران ۲۰۲۳). موسی‌پور و همکاران (۲۰۱۵) عنوان نمودند که جهت پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* می‌توان

مصنوعی پرورش یافتند. از لاروهای سن سوم برای انجام آزمایش‌های اصلی استفاده شد. دلیل استفاده از لاروهای سن سوم پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* همسان بودن اندازه آن‌ها با لاروهای سن پنجم شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* بود که به‌عنوان میزبان پرورشی در انسکتاریوم‌های پرورش زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد استفاده قرار می‌گیرند.

زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد استفاده در این تحقیق به‌صورت حشرات کامل از انسکتاریوم پرورش زنبور براکون وابسته به جهاد کشاورزی استان گلستان، شهرستان گرگان تهیه شد. به‌منظور یکسان کردن شرایط پرورشی و از بین بردن تجربه قبلی پارازیتوئید، زنبوران مذکور داخل پتری‌هایی با قطر دهانه ۹ سانتی‌متر، به مدت سه نسل روی لاروهای سن سوم پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* پرورش داده شدند. برای تهویه، دریچه گردی به قطر ۲ سانتی‌متر در سطح بالایی پتری‌ها تعبیه و با پارچه توری مسدود شد. برای تغذیه زنبورها از آب عسل ۲۰٪ روی نوارهای کاغذی به ابعاد ۲/۵×۰/۵ سانتی‌متر استفاده شد. در داخل هر پتری ۱۰ لارو سن سوم پروانه موم‌خوار بزرگ به همراه یک جفت زنبور نر و ماده رهاسازی و سپس ظروف مذکور در یک ژرمیناتور با شرایط محیطی مشابه میزبان، نگهداری شدند. پس از سه روز زنبورها با آسپیراتور دستی جمع‌آوری و به ظروف پرورش جدید انتقال داده شدند. ظروف حاوی لاروهای پارازیته شده میزبان تا زمان ظهور حشرات کامل نسل جدید زنبور در دما، رطوبت و شرایط نوری یاد شده نگهداری شدند.

#### ذخیره‌سازی لاروهای میزبان

لاروهای سن سوم پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس به مدت صفر (شاهد)، ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روز نگهداری شدند. در تیمار شاهد لاروهای سن سوم میزبان در شرایط دمایی ۱±۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند. مدت زمان نگهداری کوتاه (یک و دو

همکاران ۲۰۲۱، زینگ و همکاران ۲۰۲۲، کیدین و همکاران ۲۰۲۳، البهری ۲۰۲۴) اما در مورد ذخیره‌سازی میزبان این پارازیتوئید تحقیقات بسیار اندکی صورت گرفته است (موسی‌پور و همکاران ۲۰۱۵، سعادت و همکاران ۲۰۱۶، منصور ۲۰۱۷، حسن و همکاران ۲۰۲۲) بنابراین در این تحقیق سعی شد تاثیر مدت زمان‌های مختلف ذخیره‌سازی لاروهای سن سوم پروانه موم‌خوار بزرگ، *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) در دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس، روی پارامترهای زیستی و جمعیتی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد ارزیابی قرار گیرد.

#### مواد و روش‌ها

##### پرورش حشرات

در این آزمایش پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* که یکی از آفات مهم و جدی کندوهای زنبور عسل است به عنوان میزبان زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد استفاده قرار گرفت. لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ پس از جمع‌آوری از داخل کندوهای زنبور عسل آلوده در روستای چراغیل واقع در شهرستان آذرشهر، به آزمایشگاه انتقال داده شده و برای تشکیل کلنی جدید، مورد استفاده قرار گرفت. برای پرورش لارو این حشرات از غذای مصنوعی حاوی آرد گندم، موم رنده شده، مخمر، عسل و گلیسیرین استفاده شد (پوینر ۱۹۷۵). غذای مصنوعی تهیه شده، به ضخامت دو الی سه سانتی‌متر، داخل ظروف پلاستیکی شفاف به ابعاد ۱۰×۱۵×۲۵ سانتی‌متر که برای تهویه مناسب روی درب آن‌ها سوراخی ایجاد و با توری پوشانده شده بود قرار داده شد. برای تخم‌گیری از حشرات کامل، کاغذ A4 چین‌خورده‌ای درون ظروف پلاستیکی یاد شده قرار گرفت. تخم‌های گذاشته شده روی برگه‌ها مجدداً روی غذای مصنوعی تازه تهیه شده قرار گرفته و برای ادامه پرورش مورد استفاده قرار می‌گرفت. پرورش میزبان در شرایط دمایی ۱±۲۶ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی صورت گرفت. به‌منظور از بین بردن عادت غذایی قبلی، لاروها به مدت شش نسل روی ماده غذایی

هفته) انتخاب شد زیرا میزان مرگ و میر پارازیتوئید با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی افزایش می‌یابد (حسن و همکاران ۲۰۲۲). پس از طی زمان‌های ذکر شده در دماهای آزمایشی، لاروها از یخچال خارج شده و برای چند ساعت در همان ظروف نگهداری در دمای اتاق قرار داده شدند تا افزایش دمای محیط برای آن‌ها به صورت تدریجی صورت گیرد. سپس هر پنج لارو میزبان درون یک پتری پلاستیکی ۶ سانتی‌متری به همراه یک جفت زنبور نر و ماده *H. hebetor* به مدت ۲۴ ساعت داخل ژرمیناتور در دمای  $26 \pm 1$  درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۶۰ درصد و دوره نوری ۱۶:۸ (تاریکی: روشنایی) قرار گرفتند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، زنبورها از پتری‌ها خارج شده، تعداد تخم گذاشته شده توسط افراد ماده و درصد پارازیتیسیم تعیین شد. سپس روی هر لارو میزبان یک عدد تخم نگهداری شده و بقیه تخم‌ها حذف شدند و تا خروج حشرات کامل زنبور، روزانه مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهایی نظیر طول دوره نشو و نمای نابالغ زنبور (شامل تخم، لارو و شفیره)، نسبت جنسی و نرخ ظهور افراد تعیین شدند. پس از خروج حشرات کامل، افراد نر و ماده بر اساس طول شاخک و وجود تخم‌ریز در افراد ماده تفکیک شده و درون هر پتری پلاستیکی ۶ سانتی‌متری یک جفت زنبور نر و ماده ۲۴ ساعته رها شد و روزانه ۵ عدد لارو سن سوم پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* از کلنی پرورشی در دمای ۲۶ درجه سلسیوس جدا و در اختیار زنبورها قرار داده شد.

زنبورهای ماده به صورت روزانه به ظروف پتری جدید حاوی لاروهای میزبان منتقل و این کار تا مرگ آخرین فرد ماده تکرار شد و طول عمر، زادآوری، طول دوره تخم‌ریزی، پارامترهای جدول زندگی و جمعیت پایدار تعیین شد. جهت تغذیه زنبورها از آب‌عسل ۲۰٪ که روی کاغذی به ابعاد  $1 \times 1$  سانتی‌متر قرار گرفته بود استفاده شد (واعظ و همکاران ۲۰۱۹). هر تیمار شامل ۲۰ تکرار بود.

### جدول زندگی<sup>۱</sup>، منحنی بقا و پارامترهای رشد جمعیت پایدار

برای تشکیل جدول زندگی و محاسبه پارامترهای نرخ بقا<sup>۲</sup>  $(l_x)$ ، امید به زندگی<sup>۳</sup>  $(e_x)$  و پارامترهای رشد جمعیت پایدار از روش کری (۱۹۹۳) استفاده شد. هم‌چنین برای تعیین نوع منحنی بقا از کمیتی به نام انتروپی<sup>۴</sup> استفاده شد. نرخ ذاتی افزایش جمعیت<sup>۵</sup>  $(r_m)$ ، نرخ متناهی رشد<sup>۶</sup>  $(\lambda)$ ، نرخ ناخالص تولیدمثل<sup>۷</sup>  $(GRR)$ ، نرخ خالص تولید مثل<sup>۸</sup>  $(R_0)$ ، میانگین طول مدت یک نسل<sup>۹</sup>  $(T)$  و مدت زمان دو برابر شدن جمعیت<sup>۱۰</sup>  $(DT)$  با استفاده از فرمول‌های جدول ۱ محاسبه شدند. مقدار دقیق نرخ ذاتی افزایش طبیعی جمعیت با حل معادله اولر-لوتکا<sup>۱۱</sup> محاسبه شد (کری ۱۹۹۳). برای تعیین خطای استاندارد پارامترهای جمعیت پایدار از روش جک‌نایف<sup>۱۲</sup> استفاده شد (مایا و همکاران ۲۰۰۰).

<sup>8</sup> Net reproductive rate

<sup>9</sup> Mean Generation time

<sup>10</sup> Doubling time

<sup>11</sup> Euler-Lotka equation

<sup>12</sup> Jackknife

<sup>1</sup> Life tables

<sup>2</sup> Survival rate

<sup>3</sup> Life expectancy

<sup>4</sup> Entropy

<sup>5</sup> Intrinsic rate of increase

<sup>6</sup> Finite rate of increase

<sup>7</sup> Gross reproductive rate

جدول ۱- پارامترهای رشد جمعیت پایدار و نحوه محاسبه آنها

معادله مورد استفاده برای تعیین پارامتر	پارامتر رشد جمعیت
$GRR = \sum m_x$	نرخ ناخالص تولیدمثل
$R_0 = \sum L_x m_x$	نرخ خالص تولید مثل
$\sum_{x=0}^{\omega} l_x m_x e^{-r_m \cdot x} = 1$	نرخ ذاتی افزایش جمعیت
$\lambda = e^{r_m}$	نرخ متناهی رشد
$T = \frac{\ln R_0}{r_m}$	میانگین طول مدت یک نسل
$DT = \frac{\ln 2}{r_m}$	مدت زمان دو برابر شدن جمعیت

معنی‌داری با شاهد ( $0.07 \pm 1/10$  روز) و تیمار یک روزه ( $0.05 \pm 1/0.5$  روز) این دما داشت. در دمای ۱۲ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری بین هیچ یک از تیمارها مشاهده نشد و نگهداری لاروهای میزبان تا پانزده روز در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تأثیر منفی روی طول دوره جنینی زنبور پارازیتوئید نداشت (جدول ۴). ابوالعلا و همکاران (۲۰۲۱) میانگین طول این دوره را برای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۲۶ درجه سلسیوس، ۱/۱۹ روز به دست آوردند که تقریباً با شاهد پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. هم‌سو با نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر، سعادت و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که طول دوره جنینی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲ ماه، ۱/۱۲ روز بود که با شاهد ( $1/31$  روز) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر دما، مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل این دو فاکتور روی طول دوره لاروی، شفیرگی و کل دورخ نابالغ زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین طول دوره لاروی زنبور ( $3/54 \pm 0.14$  روز)، طول دوره شفیرگی

### طرح آزمایشی و نحوه تجزیه داده‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. فاکتور اول شامل دما در دو سطح ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس و فاکتور دوم شامل مدت زمان نگهداری در دو دمای یاد شده در پنج سطح صفر، ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روز بود. تجزیه واریانس پارامترها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹ انجام شد و برای مقایسه میانگین پارامترها از آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. رسم نمودارها در محیط Excel نسخه ۲۰۱۶ انجام شد.

### نتایج و بحث

#### نتایج پارامترهای زیستی

بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های ذکر شده روی طول دوره جنینی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تأثیر معنی‌دار داشت ولی اثر متقابل دما و مدت زمان ذخیره‌سازی معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین طول دوره جنینی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* ( $0.14 \pm 1/38$  روز) روی لاروهایی بود که به مدت پانزده روز در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شده بودند که اختلاف

جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر دما و مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* روی پارامترهای زیستی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

مقدار F									
منابع تغییر	درجه آزادی	طول دوره جنینی (day)	طول دوره لاروی (day)	طول دوره شفیرگی (day)	طول دوره نابالغ (day)	طول دوره افراد ماده (day)	نرخ پارازیتسیم (%)	نرخ ظهور (%)	نسبت جنسی (%)
تیمار	۹	۲/۰۲*	۴/۷۷**	۸/۴۴**	۱۶/۹۳**	۲/۱۳*	۰/۳۸ <sup>NS</sup>	۲/۶۸**	۱/۷۰ <sup>NS</sup>
دما (A)	۱	۶/۲۴*	۱۲/۴۷**	۱۴/۹۵**	۴۳/۴۷*	۰/۵۸ <sup>NS</sup>	۰/۰۷ <sup>NS</sup>	۰/۰۷ <sup>NS</sup>	۰/۴۳ <sup>NS</sup>
زمان ذخیره‌سازی (B)	۴	۲/۸۴*	۶/۴۷**	۹/۳۱**	۲۱/۸۱*	۳/۱۹*	۰/۶۸ <sup>NS</sup>	۴/۵۸**	۱/۲۶ <sup>NS</sup>
دما × زمان ذخیره‌سازی (A×B)	۴	۰/۷۲ <sup>NS</sup>	۳/۰۲*	۹/۷۵**	۱۲/۵۶*	۱/۷۹ <sup>NS</sup>	۰/۱۱ <sup>NS</sup>	۱/۶۶ <sup>NS</sup>	۲/۳۶ <sup>NS</sup>

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۵٪ و NS: عدم معنی‌داری است.

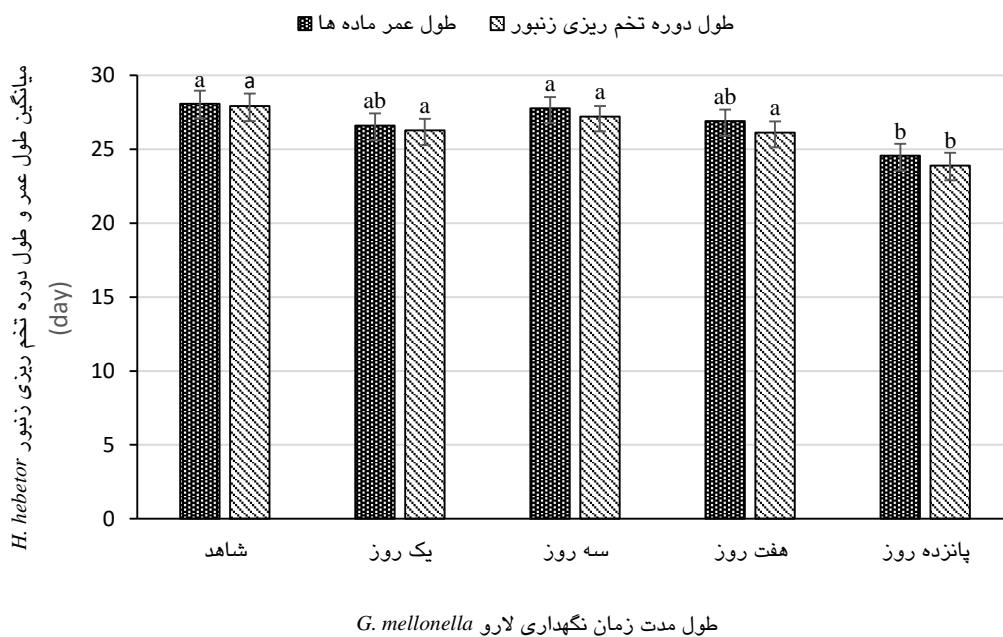
زنبور (۷/۷۷ ± ۰/۲۳ روز) و طول کل دوره نابالغ زنبور (۱۲/۶۹ ± ۰/۲۴ روز) در تیمار ۱۵ روزه دمای ۴ درجه سلسیوس بود که اختلاف معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت و با اختلاف ۱/۵۹ روز نسبت به شاهد دوره نابالغ زنبور تکمیل شد. در تیمار هفت روزه دمای ۴ درجه سلسیوس هم نتایج مشابهی مشاهده شد. در هر سه پارامتر مورد بررسی اختلاف بقیه تیمارها باهم و با شاهد معنی‌دار نشد (جدول ۴). در یک تحقیق، میانگین طول دوره لاروی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۲۶ درجه سلسیوس، ۳/۰۲ روز به دست آمد که با شاهد پژوهش حاضر همسویی نشان می‌دهد (ابوالعلا و همکاران ۲۰۲۱). حسن و همکاران (۲۰۲۲) گزارش دادند که طول دوره لاروی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای شب‌پره هندی، *Plodia interpunctella* (Hubner) که به مدت ۱۰۵ روز در دمای ۱۵ درجه سلسیوس نگهداری شده بودند، نسبت به شاهد (۴/۱ روز) حدود ۲ روز طولانی‌تر بود. بر اساس گزارش سعادت و همکاران (۲۰۱۶) طول دوره لاروی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده شب-پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* به مدت ۲ ماه در دمای ۴ درجه سلسیوس، ۴/۷۷ روز، طول دوره شفیرگی ۵/۸۰ روز و طول کل دوره نشو و نمای نابالغ، ۱۲/۷۰ روز تعیین شد که در هر سه پارامتر با شاهد (طول دوره لاروی، شفیرگی و نشو و نمای نابالغ به ترتیب، ۵/۴۰،

۷/۳۸ و ۱۳/۹۱ روز) تفاوت معنی‌دار نشان دادند. برخلاف نتایج محققین یاد شده که عنوان نمودند طول دوره لاروی، شفیرگی و نشو و نمای نابالغ زنبور روی میزبان‌های کهنه (سرما دیده) کوتاه‌تر از لاروهای تازه (سرماندیده) است، بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش مشخص شد که با افزایش مدت زمان ذخیره-سازی لاروهای پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس، طول دوره جنینی، طول دوره لاروی، طول دوره شفیرگی و طول کل دوره نابالغ زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* افزایش پیدا می‌کند؛ هرچند این افزایش روی میانگین پارامترهای طول دوره جنینی، لاروی و شفیرگی کمتر از یک روز بود و بین اکثر تیمارها معنی‌دار نشد. از مهم‌ترین عواملی که روی نشو و نمای مراحل نابالغ پارازیتوئیدها تاثیر می‌گذارد، دما است. دماهای بالا و پایین‌تر از حد بهینه موجب طولانی‌تر شدن دوره نشو و نمای پارازیتوئید می‌شود (ون‌درلی و همکاران ۲۰۰۷). طبق نظر باله (۱۹۹۶) احتمال می‌رود ذخایر پروتئینی بیشتری در بدن لاروهای سرما دیده تولید می‌شود که با توجه به این امر، طول دوره رشدی پارازیتوئیدی که از آن تغذیه می‌کند، کوتاه‌تر می‌شود. در پژوهش حاضر برخلاف نتایج گزارش شده محققین نامبرده طول دوره نشو و نمای نابالغ زنبور روی لاروهای میزبان سرما دیده بیشتر از لاروهای سرما ندیده بود که احتمال می‌رود به دلیل تفاوت در نوع میزبان و همچنین مدت زمان ذخیره‌سازی میزبان باشد. منصور



(۲۰۱۷) عنوان کرد که نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس به مدت یک تا چهار هفته تأثیر قابل توجهی روی طول دوره جنینی، لاروی و شفیرگی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* ندارد اما در تحقیق حاضر نشو و نمای زنبور روی میزبان‌های ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت هفت و پانزده روز با شاهد معنی‌دار شد هرچند این تفاوت حدود یک روز بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مدت زمان ذخیره‌سازی روی طول عمر زنبورهای ماده معنی‌دار شد درحالی‌که اثر دما و اثر متقابل دما و مدت زمان ذخیره‌سازی روی این پارامتر معنی‌دار نشد (جدول ۲). کم‌ترین طول عمر افراد ماده زنبور ( $24/56 \pm 0/8$  روز) در تیمار پانزده روزه مشاهده شد که حدود ۳/۵ روز نسبت به شاهد کمتر بود (شکل ۱). از ویژگی‌های مهم در انتخاب و استفاده از یک اکوتیپ یا یک گونه زنبور پارازیتوئید در برنامه‌های تولید انبوه، باروری و زادآوری بالا، ترجیح میزبانی، نسبت جنسی مناسب و طول عمر آن‌ها ذکر شده است. طول عمر یک صفت مهم پارازیتوئیدها است که برای انتخاب آن‌ها به عنوان عامل کنترل بیولوژیک مورد توجه قرار می‌گیرد. طول عمر بیشتر پارازیتوئید موجب رویارویی با تعداد بیشتری از میزبان می‌گردد. بنابراین، با افزایش طول عمر پارازیتوئید و ایجاد فرصت مناسب برای جستجوی مؤثر پارازیتوئیدها در یافتن میزبان احتمالاً می‌توان به افزایش موفقیت در برنامه‌های کنترل بیولوژیک امیدوارتر بود (ابوالعلا و همکاران ۲۰۲۱). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که طول عمر افراد ماده زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* به طور مستقیم تحت تأثیر مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای میزبان قرار گرفت و با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس، طول عمر زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* کاهش پیدا کرد. سعادت و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که طول عمر زنبور *H. hebetor* روی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲ ماه، ۱۳/۵۳ روز و روی لاروهای

تازه میزبان، ۱۱/۸۵ روز بود و تفاوت بین این دو معنی‌دار نشد. برخلاف نتایج محققین یاد شده، افزایش طول عمر زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در درماهای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس مشاهده نشد. در نتایج محققین یاد شده از هیچ ماده غذایی برای تغذیه زنبورها استفاده نشده بود و به نظر می‌رسد به همین دلیل طول عمر به‌دست آمده توسط ایشان برای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بسیار کوتاه‌تر از پژوهش حاضر می‌باشد. انور و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که با افزایش مدت زمان نگهداری شفیره‌ها و افراد بالغ زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در دمای ۴ درجه سلسیوس از ۵ تا ۴۰ روز، طول عمر افراد نر و ماده هر دو کاهش می‌یابد. هرچند در پژوهش حاضر نه افراد بالغ و نه شفیره‌های زنبور بلکه میزبان در دمای پایین ذخیره شده بود ولی نتایج مشابهی با تحقیق یاد شده مشاهده شد به طوری‌که با افزایش مدت زمان نگهداری در دمای پایین، طول عمر افراد ماده کاهش یافت. افراد ماده زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* پس از نیش زدن میزبان قدری از همولف آن تغذیه می‌کنند تا انرژی لازم برای تخم‌گذاری را کسب کنند و احتمال می‌رود کیفیت همولف میزبان با افزایش مدت زمان نگهداری در دمای پایین تحت تأثیر قرار گرفته و اثر خود را به این طریق روی طول عمر افراد ماده گذاشته است. با وجود گزارش اثر مثبت تغذیه از ماده قندی بر طول عمر و زادآوری زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* (افشاری و نظری فندخت ۲۰۱۹)، بررسی‌ها در انسکتاریوم‌های موجود نشان داده که پرورش‌دهندگان این پارازیتوئید معمولاً از ماده قندی برای تغذیه زنبور استفاده نمی‌کنند. بنابراین، اسپری کردن یک ماده قندی مانند محلول آب‌عسل بر روی کابین‌های پرورش این زنبور در انسکتاریوم‌ها به ویژه اگر تولیدکننده قصد ذخیره‌سازی پارازیتوئید در یخچال را داشته باشد، توصیه می‌شود (علی‌آبادی و همکاران ۲۰۱۹).



شکل ۱- مقایسه میانگین طول مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* روی طول عمر و طول دوره تخم‌ریزی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد به روش توکی می‌باشد)

### نتایج پارامترهای تولیدمثلی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دما روی طول دوره قبل از تخم‌ریزی حشرات بالغ (APOP)<sup>۱</sup> متقابل دما و مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل دما و مدت زمان ذخیره‌سازی معنی‌دار نشد (جدول ۳). میانگین طول دوره قبل از تخم‌ریزی حشرات بالغ زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* ذخیره شده در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس به ترتیب،  $0.39 \pm 0.09$  و  $0.03 \pm 0.14$  روز بود. بیش‌ترین میانگین طول دوره پیش از تخم‌ریزی حشرات بالغ ( $0.67 \pm 0.03$  روز) در تیمار هفت روزه ۴ درجه سلسیوس به دست آمد. سهایاراج و جیالکشمی (۲۰۰۲) گزارش دادند که دوره پیش از تخم-ریزی سن شکارگر *Rhynocoris marginatus* Fab. روی لاروهای ذخیره شده بید برنج، *Corcyra*

*cephalonica* Stainton در دمای ۱۸ درجه سلسیوس، ۲۹/۸ روز و روی لاروهای ذخیره نشده، ۲۰/۴ روز به دست آمد که مشابه نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر ذخیره‌سازی میزبان در دمای پایین موجب افزایش دوره پیش از تخم‌ریزی شده است. دابی و همکاران (۲۰۱۳) دوره پیش از تخم‌ریزی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* را روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، ۰/۷۴ روز گزارش نمودند. در مورد طول دوره تخم‌ریزی زنبور، اثر مدت زمان ذخیره-سازی معنی‌دار شد ولی اثر دما و اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نشد (جدول ۳). الگوی زمانی تخم‌ریزی یک از ویژگی‌های مهم است که تحت تاثیر دما قرار می-گیرد. در پژوهش حاضر مشاهده شد که طول مدت تخم-گذاری نیز مشابه طول عمر، با افزایش مدت زمان نگهداری میزبان در دمای پایین کاهش می‌یابد به طوری

<sup>1</sup> Adult pre-oviposition period

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دما، مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل این دو فاکتور روی کل دوره قبل از تخم‌ریزی (TPOP)<sup>۱</sup> زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* (شامل طول دوره‌های تخم، لارو، شفیره و پیش از تخم-ریزی حشرات بالغ) معنی‌دار شد (جدول ۳). کم‌ترین میانگین کل دوره قبل از تخم‌ریزی زنبور ( $11/15 \pm 0/08$ ) در روز ۱۲ درجه سلسیوس و بیش‌ترین ( $0/35 \pm$ ) در ۱۳/۱۵ (روز) در تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس مشاهده شد که حدود ۲ روز نسبت به شاهد بیش‌تر بود و اختلاف معنی‌داری با بقیه تیمارها به غیر از تیمار هفت روزه ۴ درجه سلسیوس نشان داد (جدول ۵).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر دما روی زادآوری زنبور معنی‌دار نشد ولی اثر مدت زمان ذخیره‌سازی و اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین زادآوری زنبور ( $10/18 \pm 0/50$ ) در شاهد ۴ درجه سلسیوس و کم‌ترین ( $17/33 \pm 245/46$ ) در تخم) در تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس مشاهده شد (جدول ۵). میانگین تعداد تخم روزانه افراد ماده با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی کاهش نشان داد به-طوری‌که از  $13/96 \pm 0/18$  تخم در شاهد تا  $0/19 \pm$  ۱۱/۹۶ تخم در تیمار پانزده روزه کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین اثر مدت زمان ذخیره‌سازی روی تعداد

که از  $23/91 \pm 0/87$  روز در شاهد به  $27/92 \pm 0/86$  روز در تیمار پانزده روزه کاهش یافت، یعنی ۱۵ درصد کاهش در طول دوره تخم‌ریزی زنبور مشاهده شد. کاهش طول مدت تخم‌گذاری یکی از موارد ایجاد آسیب به باروری زنبور می‌باشد که با نگهداری میزبان در دمای پایین ارتباط نشان داد. نتایج مقایسه میانگین اثر مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای میزبان روی طول دوره تخم‌ریزی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس نتایج واعظ و همکاران (۲۰۱۸) نگهداری تخم‌های بید سیب‌زمینی، *Phthorimaeae operculella* (Zeller) تا یک ماه در دمای ۴ درجه سلسیوس موجب کاهش طول دوره تخم-ریزی زنبور پارازیتوئید *Trichogramma brassicae* Bezdenko ( $4/68$  روز) نسبت به شاهد ( $7/60$  روز) شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های ذکر شده روی طول دوره پس از تخم‌ریزی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تأثیر معنی‌دار داشت ولی اثر متقابل دما و مدت زمان ذخیره‌سازی معنی‌دار نشد (جدول ۳). کم‌ترین طول دوره پس از تخم‌ریزی زنبور ( $0/05 \pm 0/05$ ) روز) در شاهد و بیش‌ترین ( $0/3 \pm 0/80$ ) روز) در تیمار هفت روزه دمای ۴ درجه سلسیوس (مشابه طول دوره پیش از تخم‌ریزی حشرات بالغ) مشاهده شد (جدول ۵). نتایج

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر دما و مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella*

روی پارامترهای تولیدمثلی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

مقدار F						
منابع تغییر	درجه آزادی	طول دوره قبل از تخم‌ریزی حشرات بالغ (APOP) (day)	طول دوره تخم‌ریزی (day)	طول دوره پس از تخم‌ریزی (day)	کل دوره قبل از تخم‌ریزی (TPOP) (day)	زادآوری (تعداد کل تخم تولید شده توسط ماده)
تیمار	۹	$1/84^{ns}$	$2/49^*$	$2/78^{**}$	$12/05^{**}$	$10/25^{**}$
دما (A)	۱	$8/66^{**}$	$0/15^{ns}$	$10/83^{**}$	$43/55^{**}$	$0/11^{ns}$
زمان ذخیره‌سازی (B)	۴	$1/48^{ns}$	$4/00^{**}$	$2/67^*$	$14/13^{**}$	$18/64^{**}$
دما × زمان ذخیره‌سازی (A×B)	۴	$0/90^{ns}$	$2/14^{ns}$	$1/78^{ns}$	$6/79^{**}$	$6/01^{**}$

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۵٪ و ns: عدم معنی‌داری است.

<sup>1</sup> Total pre-oviposition period

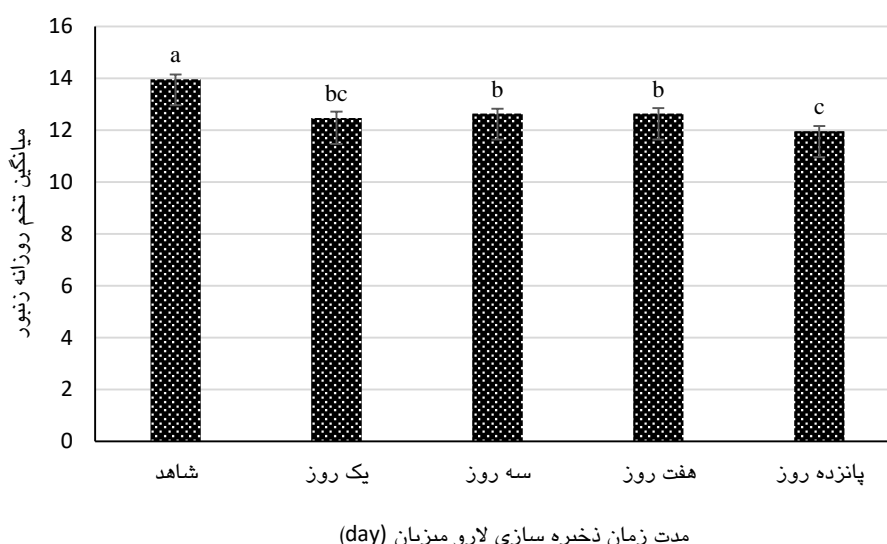
جدول ۴- میانگین (±SE) طول عمر و طول دوره‌های زیستی زنبور *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس

طول دوره نابالغ (day)	طول دوره شفیرگی (day)	طول دوره لاروی (day)	طول دوره جنینی (day)	مدت زمان ذخیره‌سازی	دما
۱۱/۱۰ ± ۰/۰۷ c	۷/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۱/۱۰ ± ۰/۰۷ bc	شاهد	۴ درجه سلسیوس
۱۱/۱۶ ± ۰/۰۸ c	۷/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۳/۱۱ ± ۰/۰۷ c	۱/۰۵ ± ۰/۰۵ c	روز ۱	
۱۱/۲۵ ± ۰/۱۵ c	۶/۹۴ ± ۰/۱۰ c	۳/۱۲ ± ۰/۰۸ c	۱/۲۹ ± ۰/۱۱ abc	روز ۳	
۱۲/۰۰ ± ۰/۱۹ b	۷/۳۳ ± ۰/۱۳ b	۳/۳۳ ± ۰/۱۳ b	۱/۳۳ ± ۰/۱۳ ab	روز ۷	
۱۲/۶۹ ± ۰/۲۴ a	۷/۷۷ ± ۰/۲۳ a	۳/۵۴ ± ۰/۱۴ a	۱/۳۸ ± ۰/۱۴ a	روز ۱۵	
۱۱/۰۵ ± ۰/۰۵ c	۷/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۱/۰۵ ± ۰/۰۵ c	شاهد	۱۲ درجه سلسیوس
۱۱/۰۵ ± ۰/۰۵ c	۷/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۳/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۱/۰۵ ± ۰/۰۵ c	روز ۱	
۱۱/۲۵ ± ۰/۱۰ c	۷/۰۵ ± ۰/۰۵ c	۳/۱۰ ± ۰/۰۷ c	۱/۱۰ ± ۰/۰۷ bc	روز ۳	
۱۱/۳۰ ± ۰/۱۰ c	۷/۰۵ ± ۰/۰۹ c	۳/۱۰ ± ۰/۰۷ c	۱/۱۵ ± ۰/۰۸ abc	روز ۷	
۱۱/۲۶ ± ۰/۱۰ c	۷/۰۰ ± ۰/۰۰ c	۳/۱۱ ± ۰/۰۷ c	۱/۱۶ ± ۰/۰۹ abc	روز ۱۵	

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارهاست (آزمون توکی)

دوازدهم، تیمار یک روزه (۱۱/۱۳ تخم) در روز چهاردهم، تیمار سه روزه (۱۰/۶۸ تخم) در روز هفتم، تیمار هفت روزه (۱۰/۶۶ تخم) در روز چهاردهم و تیمار پانزده روزه (۱۰/۰۲ تخم) در روز یازدهم و در دمای ۱۲ درجه سلسیوس در شاهد (۱۳/۲۲ تخم) در روز دوازدهم،

تخم روزانه افراد ماده در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد در روزهای اول خروج حشرات کامل، تعداد تخم گذاشته شده کم بود ولی در زمان کوتاهی بر میزان آن افزوده شد به طوری که بیشترین تخم گذاشته شده توسط زنبور روی لاروهای میزبان ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس در شاهد (۱۳/۲۰ تخم) در روز



شکل ۲- مقایسه میانگین طول مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* روی تعداد تخم روزانه زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

(حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد به روش آزمون توکی می‌باشد)

جدول ۵- میانگین ( $\pm$ SE) زادآوری و پارامترهای تولید مثلی زنبور *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس

زادآوری (تعداد کل تخم تولید شده توسط ماده)	کل دوره قبل از تخم‌ریزی (TPOP) (day)	طول دوره پس از تخم‌ریزی (day)	مدت زمان ذخیره‌سازی	دما
۴۰۴/۵۰ $\pm$ ۱/۱۲ a	۱۱/۲۰ $\pm$ ۱/۱۲ b	۰/۰۵ $\pm$ ۱/۱۲ c	شاهد	۴ درجه سلسیوس
۳۲۰/۰۵ $\pm$ ۱/۱۲ b	۱۱/۴۷ $\pm$ ۱/۱۲ b	۰/۲۱ $\pm$ ۱/۱۲ bc	روز ۱	
۳۶۱/۸۲ $\pm$ ۱/۱۲ ab	۱۱/۸۸ $\pm$ ۱/۱۲ b	۰/۳۵ $\pm$ ۱/۱۲ bc	روز ۳	
۳۳۲/۳۳ $\pm$ ۱/۱۲ b	۱۲/۶۷ $\pm$ ۱/۱۲ a	۰/۸۰ $\pm$ ۱/۱۲ a	روز ۷	
۲۴۵/۴۶ $\pm$ ۱/۱۲ c	۱۳/۱۵ $\pm$ ۱/۱۲ a	۰/۶۱ $\pm$ ۱/۱۲ ab	روز ۱۵	
۳۶۲/۴۵ $\pm$ ۱/۱۲ ab	۱۱/۱۵ $\pm$ ۱/۱۲ b	۰/۰۵ $\pm$ ۱/۱۲ c	شاهد	۱۲ درجه سلسیوس
۳۲۵/۷۵ $\pm$ ۱/۱۲ b	۱۱/۱۵ $\pm$ ۱/۱۲ b	۰/۰۵ $\pm$ ۱/۱۲ c	روز ۱	
۳۲۵/۱۵ $\pm$ ۱/۱۲ b	۱۱/۴۰ $\pm$ ۱/۱۲ b	۰/۱۵ $\pm$ ۱/۱۲ c	روز ۳	
۳۲۵/۰۵ $\pm$ ۱/۱۲ b	۱۱/۴۵ $\pm$ ۱/۱۲ b	۰/۱۰ $\pm$ ۱/۱۲ c	روز ۷	
۳۱۲/۷۹ $\pm$ ۱/۱۲ b	۱۱/۴۷ $\pm$ ۱/۱۲ b	۰/۱۶ $\pm$ ۱/۱۲ c	روز ۱۵	

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارهاست (آزمون توکی)

میزبان، زادآوری زنبور کاهش می‌یابد که این کاهش به-خصوص در هفته‌های سوم (حدود ۲۳۰ تخم) و چهارم (حدود ۲۱۰ تخم) بیش‌تر است. موسی‌پور و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که تعداد تخم به ازای هر زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده شب-پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تا چهار هفته (۸/۹ تخم) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با شاهد (۸/۷ تخم) ندارد، در حالی‌که در دمای ۹ و ۴ درجه سلسیوس کاهش قابل توجهی در میزان کارایی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای میزبان مشاهده می‌گردد و لذا برای ذخیره‌سازی مناسب نمی‌باشند. ایشان همچنین عنوان کردند که افزایش زمان ذخیره‌سازی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* موجب کاهش کارایی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در باروری و پارازیتیسیم می‌شود و به‌طور تقریبی می‌توان گفت که برای کسب نتایج مطلوب در ذخیره‌سازی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس، زمان‌های یک تا سه هفته قابل توصیه می‌باشد. سعادت و همکاران (۲۰۱۶) گزارش دادند که زادآوری زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت

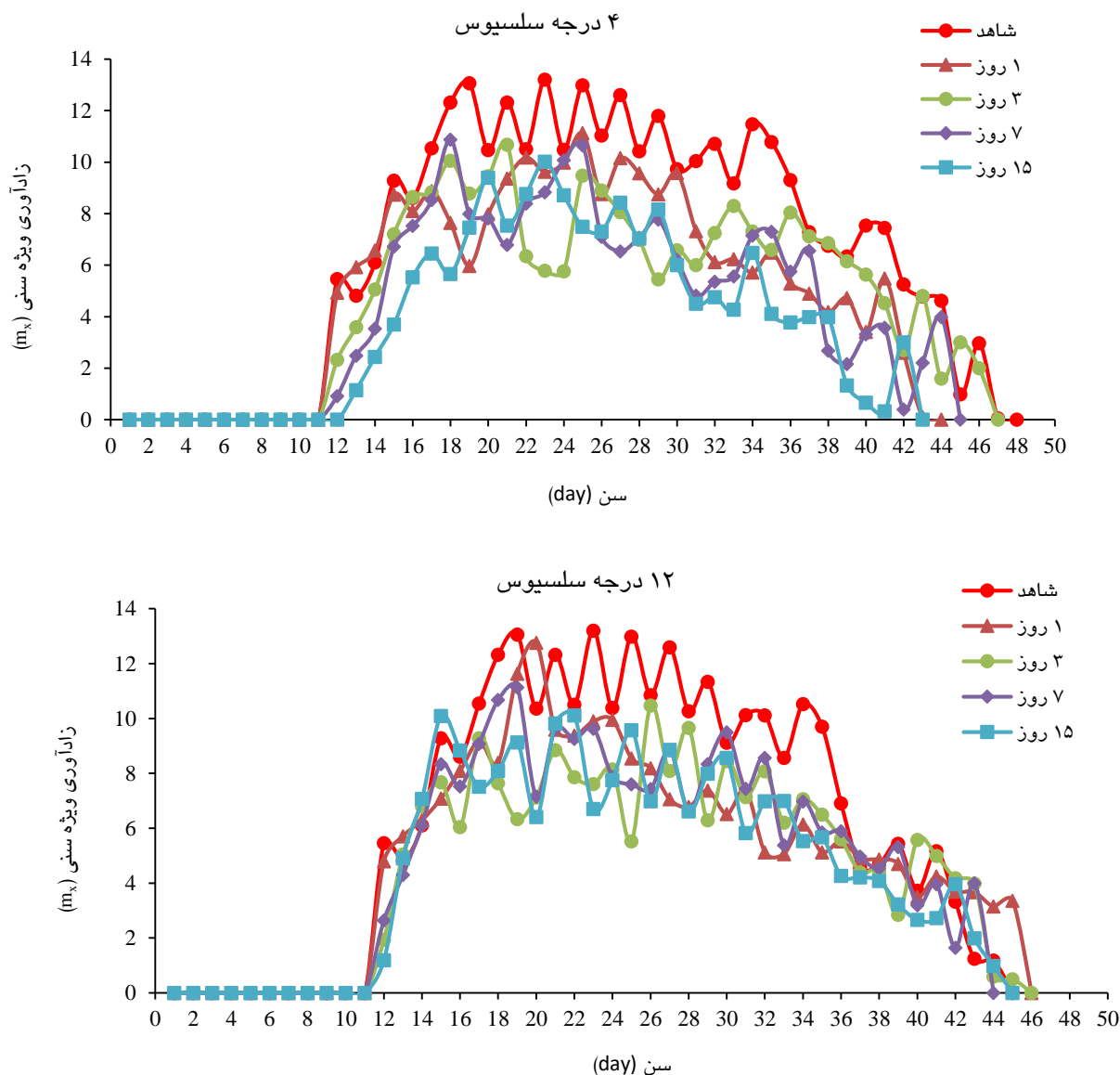
تیمار یک روزه (۱۱/۶۳ تخم) در روز هشتم، تیمار سه روزه (۱۰/۴۷ تخم) در روز پانزدهم، تیمار هفت روزه (۱۱/۱۴ تخم) در روز هشتم و تیمار پانزده روزه (۱۰/۱۲ تخم) در روز یازدهم مشاهده شد. باروری زنبورهای پارازیتوئید به عوامل متعددی مانند تغذیه، دما و تعداد لاروهای میزبان در دسترس بستگی دارد و تخم‌گذاری با افزایش تراکم میزبان افزایش می‌یابد، درحالی‌که نرخ ظهور افراد بالغ و تفریح تخم‌ها به دلیل سوپرپارازیتیسیم روی لارو میزبان کاهش می‌یابد (ابوالعلا و همکاران ۲۰۲۱، لتمان و همکاران ۲۰۲۱). الیوپولوس و استاتوس (۲۰۰۸) عنوان کردند که زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* به‌طور متوسط روزانه ۱۲/۶ تخم قرار می‌دهد. امیرمعافی و چی (۲۰۰۶) گزارش نمودند که زنبورهای پارازیتوئید ماده *H. hebetor* اکثر تخم‌های خود را در ۱۰ روز اول طول عمر خود قرار می‌دهند و تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط زنبور ماده را به‌طور متوسط روزانه ۸ تا ۱۲ عدد گزارش کردند. منصور (۲۰۱۷) لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* را به مدت ۱، ۲، ۳ و ۴ هفته در دمای ۱۲ درجه سلسیوس نگهداری کرد و سپس در اختیار زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* قرار داد و عنوان کرد که با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی لارو

میزبان مشاهده شد که می‌تواند ناشی از تجمع متابولیت-های سمی در بدن میزبان پس از طولانی شدن زمان نگهداری در سرما باشد (مارگوس و لیندستروم ۲۰۲۰).

#### نتایج نرخ پارازیتیسیم، نرخ ظهور و نسبت جنسی

بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های ذکر شده روی نرخ پارازیتیسیم زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تاثیر معنی‌دار با افزایش زمان ذخیره‌سازی میزبان، پارازیتیسیم زنبور کاهش می‌یابد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مدت زمان نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس روی نرخ ظهور زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تاثیر معنی‌دار داشت اما اثر دما و اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نشد (جدول ۲). در تمام تیمارها درصد ظهور زنبور بیش‌تر از ۹۷ درصد بود و کم‌ترین نرخ ظهور  $(0/29) \pm$  (۰/۹۸) در تیمار پانزده روز مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با شاهد  $(0/13) \pm (0/99)$  داشت. واعظ و همکاران (۲۰۱۹) گزارش دادند که نگهداری تخم‌های بید سیب-زمینی، *P. operculella* به مدت دو هفته در دمای ۴ درجه سلسیوس تاثیر معنی‌داری روی نرخ ظهور افراد کامل زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* (۷۰/۳۲ درصد) ندارد ولی نگهداری تخم میزبان تا یک ماه در دمای یاد شده، موجب کاهش معنی‌دار نرخ ظهور حشرات بالغ زنبور (۳۵/۴۸ درصد) می‌شود. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشخص شد که نگهداری لاروهای *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس در مدت زمان‌های ذکر شده روی نسبت جنسی نتایج زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تاثیر معنی‌دار نداشت (جدول ۲). بیش‌ترین نسبت افراد ماده  $(1/67) \pm (71/75)$  درصد در شاهد و کم‌ترین  $(1/77) \pm (62/69)$  درصد در تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس مشاهده شد. سعادت و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش دادند که نگهداری لاروهای شب‌پره مدیترانه-ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲ ماه، روی نسبت جنسی زنبور

۲ ماه، ۱۸۵/۷۸ تخم بود که با شاهد (۱۷۳/۲۱ تخم) اختلاف معنی‌داری نشان نداد. زادآوری زنبور در پژوهش حاضر بیش‌تر از محققین یاد شده بود و هم‌سو با گزارش گیمیر و فیلیپس (۲۰۱۰) بود که عنوان نمودند زنبورهای پرورش یافته روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* تخم‌ریزی بالاتری را نسبت به افرادی که روی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* پرورش یافته بودند نشان می‌دهند. با نگاهی به شکل ۳ که زادآوری ویژه سنی ( $m_x$ ) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* را نشان می‌دهد و نمایانگر مجموع افراد ماده تولید شده توسط یک حشره ماده زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در سن  $x$  است، می‌توان عنوان نمود که تولید نتایج زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* با افزایش سن ماده‌ها کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر ماده‌های مسن‌تر نسبت به ماده‌های جوان تعداد نتایج کمتری تولید می‌کنند و این نشان می‌دهد که زادآوری در این زنبور وابسته به سن می‌باشد (امیرمعافی و چی، ۲۰۰۶، فتحی‌پور و همکاران ۲۰۲۰). در هر دو حشره پارازیتوئید و میزبان اگر زمان در معرض قرارگیری در دمای پایین به تاخیر بیفتد عواقب کشنده‌ای برای هر دوی آنها دارد. آسیب ناشی از دمای پایین موجب اختلالات فیزیولوژیکی مختلفی می‌شود. دمای کم باعث القای خالی شدن ذخیره انرژی پس از گرسنگی طولانی مدت می‌شود. از این رو، عواقب نگهداری در دمای پایین، گرسنگی و تاثیر سرما و یا ترکیب هر دوی آنها می‌باشد (هنس و همکاران ۲۰۰۷، انور و همکاران ۲۰۱۶، کیدین و همکاران ۲۰۲۰، آگوستین و شرا ۲۰۲۴، امینی و همکاران ۲۰۲۴، زندی سوهانی و تامولی طرفی ۲۰۲۴). بنابراین در پارازیتوئیدها و دیگر حشرات تعادلی بین بقا و تولیدمثل وجود دارد و ذخایر چربی نقش مهمی را در فیزیولوژی و تخصیص انرژی ایفا می‌کنند. این مسئله به خصوص در پارازیتوئیدهایی که توانایی سنتز لیپید را ندارند دارای اهمیت می‌باشد (ویسر و همکاران ۲۰۱۰). کاهش باروری پارازیتوئیدها پس از نگهداری در دمای پایین به صورت مکرر مشاهده شده است. در پژوهش حاضر نیز کاهش در باروری و اوج باروری روزانه هم‌زمان با افزایش مدت ذخیره‌سازی



شکل ۳- روند تخم‌ریزی روزانه زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس

نسبت جنسی (ماده/کل افراد) بین ۴۰ تا ۵۵ درصد متغیر بود. حسن و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش دادند نسبت جنسی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تحت تاثیر میزبان سرمادیده قرار نگرفت که با نتایج پژوهش حاضر هم-خوانی نشان می‌دهد. ایشان میانگین نسبت جنسی را ۰/۵۲ اعلام کردند. نوسیدم و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که نگهداری شفیره‌های زنبور پارازیتوئید *H.*

زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* تاثیری نداشت و بین ۰/۵۳ (شاهد) تا ۰/۴۹ (لاروهای ذخیره شده) متغیر بود. هم‌سو با نتایج تحقیق حاضر، منصور (۲۰۱۷) عنوان کرد که نگهداری لاروهای *G. mellonella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس به مدت یک تا چهار هفته تاثیری روی نرخ پارازیتیسیم و نسبت جنسی نتاج زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* ندارد و نرخ پارازیتیسیم بین ۶۸ تا ۸۸ درصد و

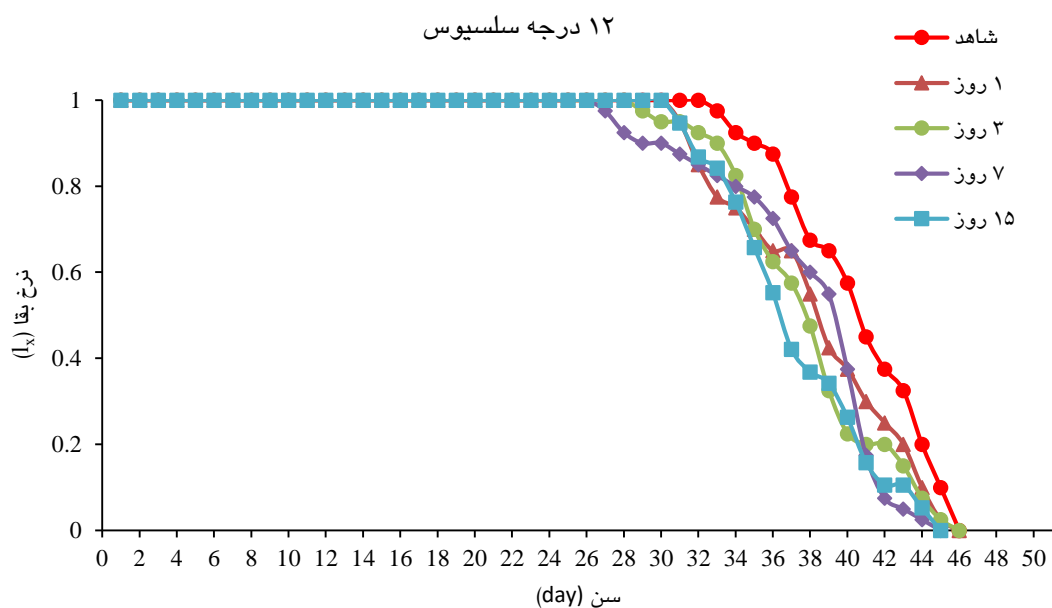
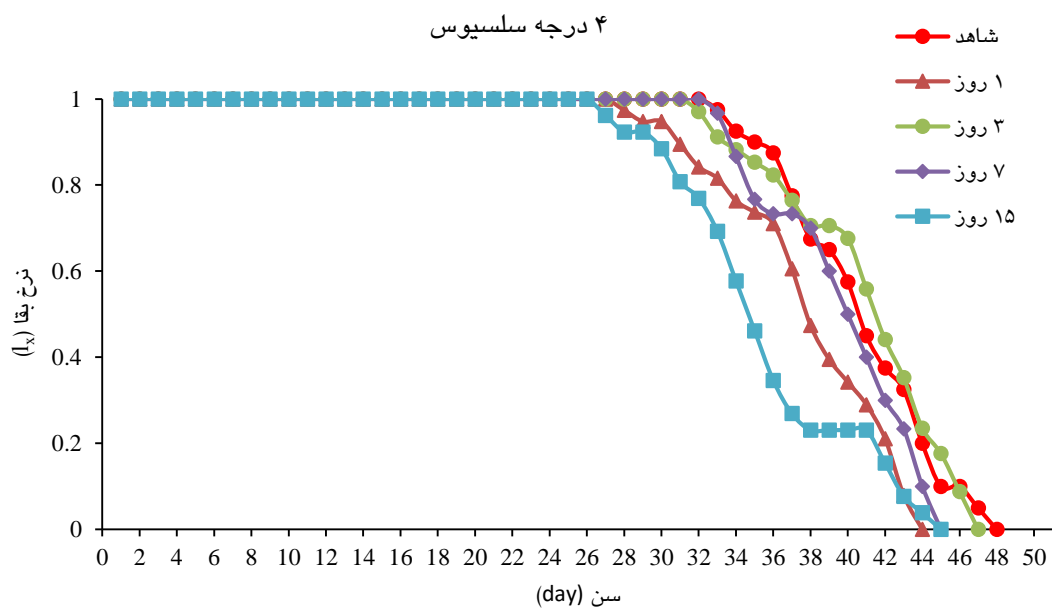
*hebetor* در دمای ۱۰ و ۱۵ درجه سلسیوس به مدت سه هفته و پرورش آن‌ها روی بید برنج، *Corcyra cephalonica* Stainton تأثیری روی نسبت جنسی زنبورها ندارد. واعظ و همکاران (۲۰۱۸) عنوان نمودند که هرچند نگهداری تخم‌های شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* به مدت یک ماه در دمای ۴ درجه سلسیوس تأثیر معنی‌داری روی نسبت جنسی زنبور پارازیتوئید *T. brassicae* ندارد ولی با افزایش مدت زمان نگهداری میزبان در دمای پایین، نرزیایی افزایش می‌یابد. هم‌سو با نتایج محققین یاد شده در تحقیق حاضر نیز با افزایش مدت زمان نگهداری میزبان در دمای ۴ درجه سلسیوس نرزیایی افزایش یافت هرچند تفاوت با شاهد معنی‌دار نشد. نسبت جنسی پارازیتوئیدها و تعداد حشره ماده‌ای که وارد اکوسیستم زراعی می‌شود از نظر کاربردی حائز اهمیت بوده و از طرفی نیز افزایش زنبورهای نر در سیستم پرورش انبوه از موارد نامطلوب به‌شمار می‌آید. به بیان دیگر هر اندازه تعداد افراد ماده بیشتر باشد می‌تواند نرخ رشد جمعیت و اثر بخش بودن آن‌ها را در برنامه‌های کنترل بیولوژیک افزایش دهد چرا که زنبورهای نر در عمل نقشی در ایجاد تلفات در آفت هدف ندارند (لوندگرن و همپل ۲۰۰۲).

#### نتایج نرخ بقا ( $l_x$ ) و امید به زندگی ( $e_x$ )

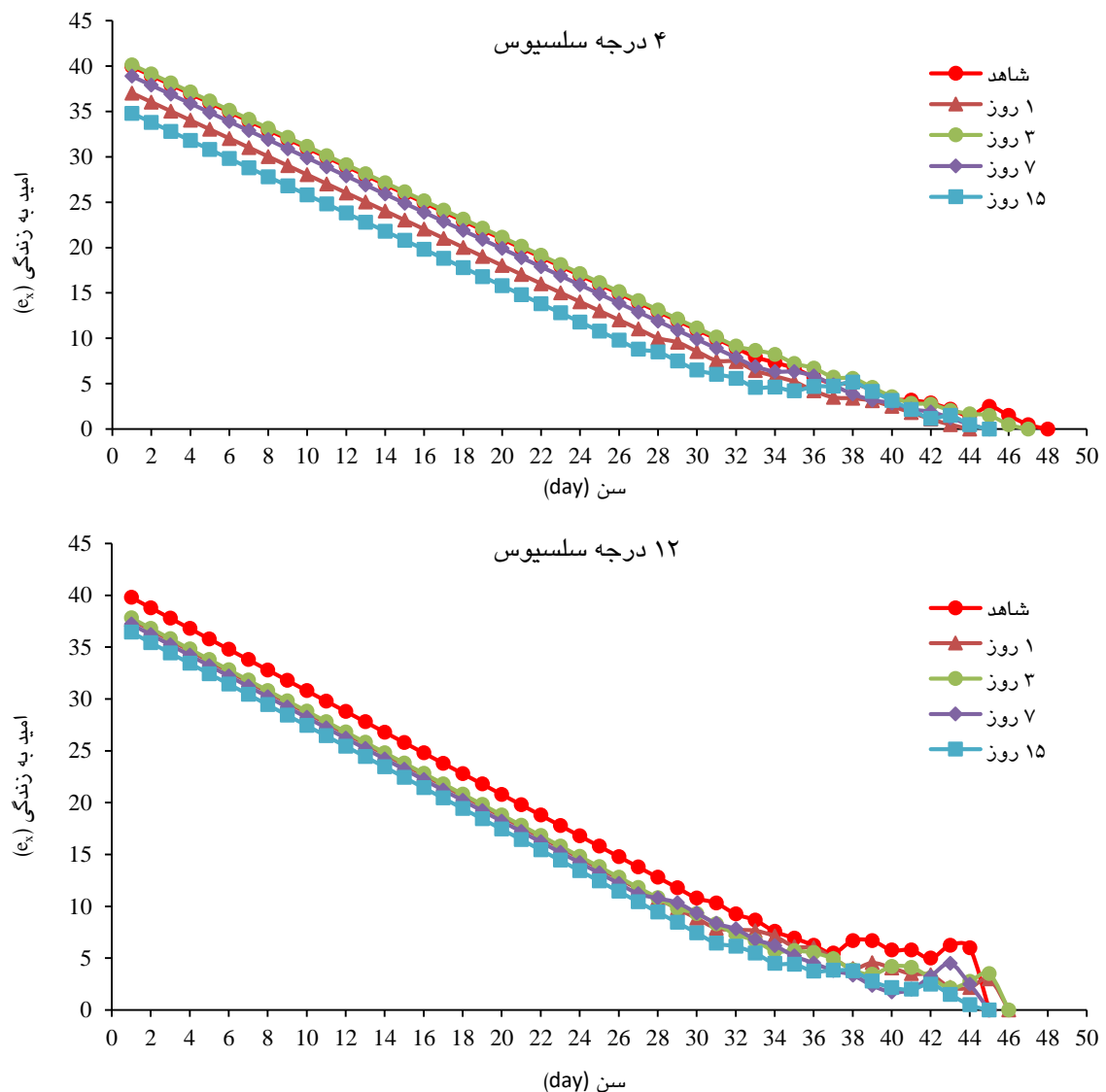
منحنی بقای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در تیمارهای مختلف آزمایشی در شکل ۴ نمایش داده شده است. منحنی بقا در تمام تیمارها از نوع اول بود. مقدار انتروپی منحنی بقای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس در شاهد ۰/۱۰ و در تیمارهای ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روزه به‌ترتیب، ۰/۱۰، ۰/۰۹، ۰/۰۸ و ۰/۱۲ و در دمای ۱۲ درجه سلسیوس در شاهد، ۰/۲۰ و در تیمارهای یاد شده به‌ترتیب، ۰/۱۳، ۰/۱۲، ۰/۱۱ و ۰/۱۰ به‌دست آمد که نشان‌دهنده نوع اول بودن منحنی‌های بقا است زیرا مقدارهای به‌دست آمده برای انتروپی زیر ۰/۵ می‌باشند. در این نوع منحنی، مرگ و میر عمدتاً در افراد مسن بوده و به همین دلیل منحنی عمدتاً افقی بوده و با شبی ملایم پیش رفته و در آخر ناگهان نزول

می‌کند. کاهش نرخ بقا در حشرات کامل، سریع‌تر از مراحل نابالغ بود و در شاهد هر دو دما نسبت به بقیه تیمارها دیرتر (از روز سی و سوم) اتفاق افتاد درحالی‌که در دمای ۴ درجه سلسیوس در تیمار پانزده روزه و در دمای ۱۲ درجه سلسیوس در تیمار هفت روزه، مرگ و میر زودتر (از روز بیست و هفتم) از بقیه تیمارها شروع شد. مساحت زیر منحنی بقا در واقع نشان‌دهنده طول عمر بیشتر افراد است و با نگاهی به جدول ۲ متوجه می‌شویم که دما تأثیری روی طول عمر افراد نداشته و فقط مدت زمان ذخیره‌سازی لارو میزبان در دمای پایین از نظر آماری معنی‌دار شد و منحنی بقای زنبور در تیمارهای آزمایشی (شکل ۴) هم موید همین مطلب است که مساحت زیر منحنی بقا در تیمار پانزده روزه (به‌ویژه در دمای ۴ درجه سلسیوس) به‌طور مشخصی کمتر از بقیه تیمارهاست. دوز قرار گرفتن در معرض سرما پارامتری است که برای توصیف ترکیبی از زمان و دما استفاده می‌شود. کاهش دما و یا افزایش زمان قرارگیری در معرض دمای پایین می‌تواند منجر به صدمات تجمعی و غیرقابل برگشت شود (کولینت و بووین ۲۰۱۱). بسیاری از محققین بر این باورند که بقای پارازیتوئیدها با افزایش دوره ذخیره‌سازی میزبان در دمای پایین کاهش می‌یابد (کولینت و هنس ۲۰۱۱، واعظ و همکاران ۲۰۱۸). نمودار امید به زندگی ( $e_x$ ) که بیانگر مجموع مدت زمانی است که از یک فرد انتظار می‌رود تا سن  $x$  زنده بماند در شکل ۵ نشان داده شده است. مشخص است که با افزایش سن زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* امید به زندگی روند نزولی پیدا می‌کند. تغییرات امید به زندگی نرخ مرگ و میر رابطه معکوس دارند به‌طوری‌که در روزهای اول زندگی که نرخ مرگ و میر کم‌ترین مقدار است (شکل ۴)، امید به زندگی در بالاترین سطح خود قرار دارد (شکل ۵). امید به زندگی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* ذخیره شده در دمای ۴ درجه سلسیوس در آغاز آزمایش در شاهد، تیمارهای ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روزه به‌ترتیب، ۳۹/۹۵، ۳۷/۰۳، ۴۰/۱۵، ۳۸/۹۰ و ۳۴/۸۱ و در دمای ۱۲ درجه سلسیوس روی تیمارهای یاد شده به‌ترتیب، ۳۹/۸۰، ۳۷/۶۷، ۳۷/۸۲، ۳۷/۲۲ و





شکل ۴- نرخ بقای ویژه سن (lx) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای نخیره شده پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس



شکل ۵- تغییرات امید به زندگی ( $e_x$ ) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس

(DT) معنی دار است. اثر دما روی نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) و نرخ خالص تولید مثل ( $R_0$ ) معنی دار نشد ولی اثرات مدت زمان ذخیره سازی و اثر متقابل این دو فاکتور معنی دار شد. در مورد مدت زمان یک نسل ( $T$ ) نیز اثر دما و مدت زمان ذخیره سازی معنی دار شد ولی اثر متقابل این دو فاکتور معنی دار نشد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین پارامترهای جمعیت پایدار بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان ذخیره سازی لاروهای میزبان در هر دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس نرخ ناخالص تولید مثل، نرخ خالص

۳۶/۴۵ به دست آمد. با توجه به شکل ۵ مشخص است که امید به زندگی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* در تیمار پانزده روزه در هر دو دما (به ویژه دمای ۴ درجه سلسیوس) نسبت به بقیه تیمارها کمتر است.

#### نتایج پارامترهای جمعیت پایدار

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر دما، مدت زمان ذخیره سازی و اثر متقابل این دو فاکتور روی پارامترهای نرخ ذاتی افزایش جمعیت ( $r_m$ )، نرخ متناهی رشد جمعیت ( $\lambda$ ) و مدت زمان دو برابر شدن جمعیت

شد. با توجه به منحنی‌های بقا که از نوع اول می‌باشد با افزایش سن زنبور از نرخ بقای آن کاسته می‌شود. بنابراین نرخ خالص تولیدمثل کوچکتر از نرخ ناخالص تولیدمثل شده است. افزایش مرگ و میر افراد یکی از اثرات منفی نگهداری در دمای پایین و طولانی شدن مدت زمان نگهداری در دمای پایین است؛ به طوری که حتی اگر افراد پس از ذخیره‌سازی در دمای پایین زنده بمانند، برخی صفات زیستی و جمعیتی و کارایی آن‌ها ممکن است مستقیماً در مرحله ذخیره شده و یا در نسل بعدی در نتاج آن‌ها کاهش یابد. محققین مختلف اذعان نموده‌اند که نگهداری طولانی مدت حشرات در دمای پایین اغلب باعث افزایش مرگ و میر و کاهش برخی صفات زیستی از جمله طول عمر و باروری افراد ماده می‌شود (هان و دنلینگر ۲۰۱۱، مارگوس و لیندستروم ۲۰۲۰). در تحقیق حاضر نیز با افزایش مدت زمان نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای پایین به خصوص در دمای ۴ درجه سلسیوس تا ۱۵ روز، مرگ و میر لاروهای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* افزایش نشان داد که تاثیر آن در پارامتر نرخ خالص تولیدمثل ( $R_0$ ) مشاهده شد که باعث کاهش حدود ۵۱ درصدی این پارامتر نسبت به شاهد شد. نرخ خالص تولیدمثل نشان-دهنده میانگین تعداد نتاج ماده اضافه شده توسط یک

تولید مثل، نرخ ذاتی افزایش جمعیت و نرخ متناهی رشد کاهش می‌یابد. بیشترین نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR) ( $311/30 \pm 7/83$ ) و کمترین ( $164/35 \pm 8/93$ ) به ترتیب در شاهد و تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس مشاهده شد. در مطالعه سعادت و همکاران (۲۰۱۶) که اثرات ذخیره‌سازی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۲ ماه را روی پارامترهای جمعیت پایدار زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بررسی کردند مشخص شد که نرخ ناخالص تولیدمثل زنبور که بیانگر تعداد ماده‌های حاصل از هر زنبور ماده می‌باشد، روی میزبان‌های تازه (ذخیره نشده)  $129/24$  ماده/نسل و روی لاروهای ذخیره شده  $181/07$  ماده/نسل بود. مقدار کسب شده برای نرخ ناخالص تولیدمثل توسط محققان یاد شده کمتر از پژوهش حاضر می‌باشد که احتمال می‌رود دلیل آن تفاوت در نوع میزبان و جمعیت زنبور مورد بررسی باشد چرا که زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* (به دلیل جثه بزرگتر میزبان) زادآوری بالاتری نسبت به *A. kuehniella* دارد (تجربیات نویسندگان). همچنین بیشترین نرخ خالص تولیدمثل ( $R_0$ ) ( $280/77 \pm 7/06$ ) ماده/ماده و کمترین ( $10/16 \pm 139/16$ ) نیز به ترتیب در شاهد و تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس مشاهده

جدول ۶- تجزیه واریانس تاثیر دما و مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* روی پارامترهای جمعیت پایدار زنبور پارازیتوئید *H. hebetor*

مقدار F							
منابع تغییر	درجه آزادی	نرخ ناخالص تولیدمثل (GRR) (ماده/نسل)	نرخ خالص تولیدمثل ( $R_0$ ) (ماده/ماده)	نرخ ذاتی افزایش جمعیت ( $r_m$ ) ( $day^{-1}$ )	نرخ متناهی رشد جمعیت ( $\lambda$ ) ( $day^{-1}$ )	مدت زمان یک نسل (day) (T)	مدت زمان دو برابر شدن یک نسل (day) (DT)
تیمار	۹	۳۶/۸۵**	۲۷/۶۵**	۱۷/۹۲**	۱۷/۷۵**	۵/۲۰**	۱۹/۱۲**
دما (A)	۱	۰/۵۸ <sup>ns</sup>	۱/۸۹ <sup>ns</sup>	۲۹/۲۷**	۲۸/۷۰**	۲۱/۸۰**	۳۳/۳۴**
زمان ذخیره‌سازی (B)	۴	۷۸/۲۰**	۵۶/۲۳**	۲۱/۲۲**	۳۱/۲۱**	۵/۵۰**	۳۱/۸۹**
دما × زمان ذخیره‌سازی (A×B)	۴	۴/۵۶**	۸/۰۶**	۶/۷۵**	۶/۴۹**	۲/۲۱ <sup>ns</sup>	۸/۸۶**

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱٪ و ۵٪ و ns: عدم معنی‌داری است.

جدول ۷- میانگین ( $\pm$ SE) پارامترهای جمعیت پایدار زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده پروانه مومخوار بزرگ، *G. mellonella* در دو دمای ۴ و ۱۲ درجه سلسیوس

مدت زمان دو برابر شدن یک نسل (DT) (day)	مدت زمان یک نسل (T) (day)	نرخ متناهی رشد جمعیت ( $\lambda$ ) ( $\text{day}^{-1}$ )	نرخ ذاتی افزایش جمعیت ( $r_m$ ) ( $\text{day}^{-1}$ )	نرخ خالص تولید مثل ( $R_0$ ) (ماده/ماده)	نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) (ماده/نسل)	مدت زمان ذخیره‌سازی	دما
$2/257 \pm 0.03$ ef	$19/17 \pm 0.26$ bcd	$1/2418 \pm 0.005$ ab	$-0/2940 \pm 0.004$ ab	$280/77 \pm 7/06$ a	$311/30 \pm 7/82$ a	شاهد	۴ درجه سلسیوس
$2/414 \pm 0.04$ de	$18/40 \pm 0.39$ d	$1/2325 \pm 0.007$ bc	$-0/2871 \pm 0.005$ bc	$197/28 \pm 5/68$ dc	$225/16 \pm 5/82$ bc	۱ روز	
$2/561 \pm 0.04$ bc	$19/65 \pm 0.23$ abc	$1/2107 \pm 0.005$ de	$-0/2706 \pm 0.004$ de	$204/00 \pm 8/56$ c	$230/15 \pm 6/51$ b	۳ روز	
$2/623 \pm 0.06$ b	$19/72 \pm 0.42$ ab	$1/2009 \pm 0.008$ e	$-0/2631 \pm 0.006$ e	$179/42 \pm 6/06$ d	$196/64 \pm 8/4$ d	۷ روز	
$2/857 \pm 0.04$ a	$20/26 \pm 0.21$ a	$1/2745 \pm 0.005$ f	$-0/2425 \pm 0.004$ f	$129/16 \pm 10/16$ e	$164/25 \pm 8/92$ e	۱۵ روز	
$2/301 \pm 0.02$ f	$18/27 \pm 0.17$ d	$1/2515 \pm 0.003$ a	$-0/3012 \pm 0.002$ a	$245/52 \pm 10/03$ b	$306/20 \pm 8/06$ a	شاهد	۱۲ درجه سلسیوس
$2/412 \pm 0.02$ de	$18/40 \pm 0.24$ d	$1/2329 \pm 0.004$ bc	$-0/2874 \pm 0.003$ bc	$198/05 \pm 6/89$ cd	$232/99 \pm 8/28$ b	۱ روز	
$2/526 \pm 0.03$ cd	$18/97 \pm 0.24$ bcd	$1/2157 \pm 0.004$ cd	$-0/2744 \pm 0.003$ cd	$182/23 \pm 4/23$ cd	$212/05 \pm 7/85$ bcd	۳ روز	
$2/480 \pm 0.03$ cd	$18/82 \pm 0.25$ cd	$1/2225 \pm 0.004$ cd	$-0/2795 \pm 0.003$ cd	$192/97 \pm 7/14$ cd	$220/70 \pm 7/00$ bc	۷ روز	
$2/491 \pm 0.03$ cd	$18/67 \pm 0.20$ d	$1/2207 \pm 0.004$ cd	$-0/2782 \pm 0.003$ cd	$180/20 \pm 5/59$ d	$205/42 \pm 5/24$ cd	۱۵ روز	

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ بین تیمارهاست (آزمون توکی)

اثرات تراکم قابل توجه نبوده باشد و یکی از مهم‌ترین شاخص‌های زیستی و جمعیتی حشرات است و مقدار آن توسط اکولوژیست‌ها اغلب به‌عنوان یک پارامتر مقایسه‌ای برای مشخص کردن اثر تیمارهای مختلف (دما، کیفیت گیاه میزبان و غیره) روی ظرفیت تولیدمثلی حشره استفاده می‌شود. در واقع  $r_m$  بیشترین میزان رشد جمعیت یک گونه را تحت شرایط فیزیکی معین نشان می‌دهد. علاوه بر این، از این پارامتر می‌توان به‌عنوان ملاکی برای انتخاب دشمنان طبیعی و پیش‌گویی میزان موفقیت عوامل کنترل بیولوژیک روی میزبان‌های مختلف استفاده کرد (برچ ۱۹۴۸). با توجه به فرمول اوایلر - لوتکا مشخص می‌شود که در محاسبه نرخ ذاتی افزایش جمعیت میزان بقا و زادآوری نیز دخالت داده می‌شود بنابراین کاهش در میزان باروری و بقا منجر به کاهش نرخ ذاتی افزایش جمعیت نیز می‌شود. در پژوهش حاضر مشاهده شد که با افزایش مدت زمان ذخیره‌سازی لاروهای پروانه موم-خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای پایین (به‌ویژه ۴ درجه سلسیوس) تا ۱۵ روز بقا و زادآوری افراد ماده تحت تاثیر قرار گرفت به‌طوری که زادآوری در حدود ۴۰ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد که می‌توان تاثیر آن را در نرخ ذاتی افزایش جمعیت با کاهشی در حدود ۲۰ درصد ( $0/2425$  بر روز) نسبت به شاهد ( $0/3012$  بر روز) مشاهده کرد. سعادت و همکاران (۲۰۱۶) عنوان

ماده در هر نسل می‌باشد و در پژوهش حاضر مشاهده شد که با افزایش طول دوره ذخیره‌سازی لاروهای میزبان، تعداد کل افراد ماده تولید شده توسط پارازیتوئید کاهش یافت. نمودار زادآوری ویژه سنی ( $m_x$ ) نیز این نتیجه را بیان می‌کند. می‌توان گفت باروری زنبور به دلیل صرف انرژی و منابع حشره جهت بقا کاهش می‌یابد. احتمال می‌رود افزایش متابولیت‌های سمی تولید شده در بدن لاروهای میزبان در شرایط ذخیره‌سازی در دمای پایین (هنس و همکاران ۲۰۰۷)، موجب افزایش مرگ و میر پارازیتوئید آن می‌شود. در پژوهش حاضر نیز مرگ و میر زنبور با افزایش مدت زمان نگهداری لاور میزبان در دمای ۴ درجه سلسیوس کاهش نشان داد. در تحقیقات سعادت و همکاران (۲۰۱۶) نرخ خالص تولید مثل ( $R_0$ ) زنبور روی لاروهای ذخیره شده شب‌پره مدیترانه‌ای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella*،  $85/33$ ، ماده/ماده و روی لاروهای ذخیره نشده،  $68/14$  ماده/ماده به‌دست آمد که تفاوت بین این دو معنی‌دار نشد. نرخ ذاتی افزایش جمعیت ( $r_m$ ) زنبور بین  $0/002 \pm$  و  $0/3012 \pm$  بر روز (شاهد ۱۲ درجه سلسیوس) و  $0/004 \pm$  و  $0/2425 \pm$  بر روز (تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس) متغیر بود. نرخ ذاتی افزایش جمعیت عبارت است از نرخ لحظه‌ای افزایش جمعیت به‌ازای هر ماده در روز در شرایط فیزیکی مشخص و در یک محیط نامحدود که

تفاوت معنی‌داری بین زمان‌های مختلف ذخیره‌سازی و شاهد مشاهده نشد. طبق گزارش سعادت و همکاران (۲۰۱۶) میانگین طول مدت زمان یک نسل زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی میزبان تازه شب‌پره مدیترانه‌ای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* ۱۹/۴۲ روز و روی میزبان‌های ذخیره شده ۱۷/۶۳ روز به‌دست آمد که بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد برای دو برابر شدن جمعیت (DT) زنبور در تیمار پانزده روزه ۴ درجه سلسیوس حدود ۳ روز لازم است درحالی‌که این رقم در شاهد حدود ۲ روز بود.

حشراتی که به مدت طولانی در دمای پایین نگهداری می‌شوند به دلیل مصرف قسمت زیادی از ذخایر غذایی بدن، بخش عمده‌ای از وزن خود را از دست می‌دهند (هان و دنلینگر ۲۰۱۱). طبق مطالعات حسن و همکاران (۲۰۲۲) کاهش عمده‌ای در وزن لاروهای *P. interpunctella* پس از ذخیره‌سازی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس تا ۱۰۵ روز مشاهده شد اما این کاهش وزن هیچ کاهش معنی‌داری در کیفیت میزبان جهت پرورش انبوه میزبان یا زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نداشت. به نظر می‌رسد برخی حشرات قادر به کاهش نرخ متابولیسم خود هستند تا از دست دادن منابع غذایی در دماهای پایین و شرایط نامساعد را محدود کنند (هان و دنلینگر ۲۰۱۱). نکته جالب توجه در مطالعات حسن و همکاران (۲۰۲۲) این بود که کمترین وزن در لاروهایی مشاهده شد که فقط پانزده روز در دمای ۱۵ درجه سلسیوس نگهداری شده بودند و لاروهایی که به مدت طولانی‌تری در این دما نگه داشته شده بودند، همگی دارای وزنی مابین افراد سنگین (شاهد) و افراد کم وزن (ذخیره شده تا ۱۵ روز) داشتند. یک توضیح احتمالی برای این الگوی غیرمنتظره این است که تفاوت‌های وزنی مشاهده شده در بین لاروهایی که برای دوره‌های زمانی مختلف غیرفعال بودند، بیشتر منعکس‌کننده محتوای آب بدن است تا تفاوت‌های جرم خشک. در پژوهش حاضر نیز نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت پانزده روز در بسیاری از پارامترهای

نمودند که نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای ذخیره شده و نشده شب‌پره مدیترانه‌ای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد، *A. kuehniella* تفاوت معنی‌دار نداشت و به ترتیب، ۰/۲۵ و ۰/۲۲ بر روز به‌دست آمد. در پژوهش حاضر نرخ خالص و ناخالص تولید مثل و نرخ ذاتی افزایش جمعیت نسبت به نتایج سعادت و همکاران (۲۰۱۶) بیشتر بود و برخلاف نتایج ایشان تمام پارامترها با افزایش مدت زمان نگهداری میزبان در دمای پایین کاهش معنی‌داری با شاهد نشان داد. در گزارش محققین یاد شده ثبت نتایج پس از یک ماه صورت گرفته و در این فاصله هیچ داده‌ای ثبت نشده است، بنابراین به‌نظر می‌رسد علاوه بر تفاوت در میزبان مورد آزمایش و مدت زمان نگهداری در دمای پایین، نبود داده تا روز پانزدهم نیز دلیلی بر تفاوت‌ها باشد. نتایج مربوط به نرخ متناهی افزایش جمعیت ( $\lambda$ ) زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* ذخیره شده نشان داد که در دمای ۴ درجه سلسیوس در شاهد و تیمارهای ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روزه، زنبور می‌تواند جمعیت خود را در هر روز به-ترتیب، ۱/۳۴، ۱/۳۲، ۱/۳۱، ۱/۳۰ و ۱/۲۷ برابر روز قبل و در دمای ۱۲ درجه سلسیوس در تیمارهای یاد شده به-ترتیب، ۱/۳۵، ۱/۳۳، ۱/۳۱، ۱/۳۲ و ۱/۳۲ برابر روز قبل برساند. در مطالعات سعادت و همکاران (۲۰۱۶) نرخ متناهی رشد جمعیت زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای شب‌پره مدیترانه‌ای آرد تازه (ذخیره نشده) ۱/۲۴ بر روز و روی میزبان ذخیره شده ۱/۲۹ بر روزه دست آمد. در پژوهش حاضر بیش‌ترین میانگین طول مدت زمان یک نسل یا متوسط طول دوره زمانی بین تولد والدین و تولید نتاج (T) که نشان می‌دهد چه مدت زمانی نیاز است تا جمعیت اندازه نرخ خالص تولید مثل برابر افزایش یابد در زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* روی لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* ذخیره شده، ۰/۲۱ ± ۲۰/۳۶ روز بود. به عبارت دیگر حدود ۲۰ روز طول کشید تا جمعیت زنبور به اندازه نرخ خالص تولیدمثل افزایش یابد که نسبت به شاهد (۰/۲۶ ± ۱۹/۱۷ روز) یک روز بیش‌تر بود. در دمای ۱۲ درجه سلسیوس

زیستی، تولیدمثلی و رشدی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* موجب کاهش معنی‌داری با شاهد شد. با اینکه می‌دانیم که حشرات در حالت دیاپوز می‌توانند آب بدن خود را از بخار آب موجود در هوای اطراف خود به دست آورند (دوهرتی و همکاران ۲۰۱۷) با این حال نمی‌دانیم که لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* نگهداری شده در دمای پایین قادر به جذب آب از محیط خود هستند یا خیر. حسن و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که لاروهای شب‌پره هندی، *P. interpunctella* ذخیره شده در دمای ۱۵ درجه سلسیوس (۱۵ تا ۱۰۵ روز) میزبان مطلوب‌تری برای زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* بودند. ایشان عنوان کردند که تاثیر مثبت ذخیره‌سازی میزبان در دمای پایین روی صفات زیستی پارازیتوئید احتمالاً به دلیل افزایش ذخایر چربی میزبان قبل و یا در دوران سرما باشد که موجب شده تا میزبان کیفیت بیشتری برای پارازیتوئید فراهم سازد. از سوی دیگر ایشان گزارش دادند که نگهداری میزبان در دمای پایین تاثیر منفی روی اندازه بدن زنبورهای خارج شده از این میزبان‌ها نداشت. ایشان عنوان نمودند که می‌توان لاروهای شب‌پره هندی، *P. interpunctella* را تا سه ماه نگهداری و برای پرورش و تولید زنبور استفاده نمود. اندازه بدن رابطه مهمی با کارایی پارازیتوئید داشته و به طور کلی یک صفت مهم برای عوامل کنترل بیولوژیکی است زیرا اندازه بدن پارازیتوئید بر توانایی پرواز، پارازیتیسم، طول عمر و باروری افراد ماده و در نهایت کارایی عامل کنترل تأثیر می‌گذارد (گائو و همکاران ۲۰۱۶). در آزمایش حاضر اندازه بدن زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* مورد بررسی قرار نگرفت بنابراین نگارندگان نمی‌توانند ارتباطی بین اندازه بدن پارازیتوئید و نتایج کسب شده ارائه دهند. برخی محققین بر این باورند که استفاده از میزبان‌های خفته (نگهداری میزبان در دمای ۱۵ درجه سلسیوس) برای پرورش پارازیتوئیدها جهت اجرای برنامه‌های کنترل بیولوژیک ممکن است سودمند باشد زیرا خواب ممکن است فیزیولوژی میزبان را به گونه‌ای تغییر دهد که برای تولید پارازیتوئید مطلوب باشد (وارسی و همکاران ۲۰۱۸). برای مثال، برنامه‌ریزی حشره برای دیاپوز اغلب با

افزایش ذخایر چربی‌ها، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها مرتبط است که می‌تواند توسط حشره برای حفظ بقای خود در طول یک دوره طولانی خواب استفاده شود (سینکلر ۲۰۱۵). دیاپوز و سایر اشکال خواب ناشی از دما می‌تواند علاوه بر ذخیره‌سازی و افزایش چربی‌ها، جنبه‌های دیگر متابولیسم میزبان از جمله تغییر در محتوای پروتئین و اسید آمینه یا محتوای کربوهیدرات خون و بافت را که می‌تواند برای تولید پارازیتوئید مفید باشد، تغییر دهد (هان و دنلینگر ۲۰۱۱). علاوه بر این، القای دیاپوز یا سایر اشکال خواب با دمای پایین ممکن است اثراتی بر سیستم ایمنی میزبان داشته باشد که می‌تواند میزبان را برای رشد موفقیت‌آمیز پارازیتوئید مطلوب‌تر کند. به‌عنوان مثال، عادت‌دهی به دماهای پایین موجب کاهش سیستم ایمنی در حشرات می‌شود. بنابراین، القای خواب ممکن است به دلیل سرکوب سیستم ایمنی میزبان، مزایای بیشتری برای تولید پارازیتوئید داشته باشد (فرگوسن و همکاران ۲۰۱۶، واریسی و مباتا ۲۰۱۸). در تمام پژوهش‌هایی که از اثرات مثبت ذخیره‌سازی میزبان در دمای پایین یاد شده است منظور نگهداری در دمای ۱۵ درجه سلسیوس می‌باشد که در پژوهش حاضر نیز نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تاثیر منفی معنی‌دار روی پارامترهای زیستی و تولید مثلی زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* نداشت اما به دلیل اینکه در پژوهش حاضر وزن میزبان، ترکیبات همولنف میزبان از جمله محتوای پروتئین، چربی و کربوهیدرات مورد بررسی قرار نگرفته است بنابراین نگارندگان نمی‌توانند گفته‌های محققین یاد شده را تایید نمایند.

#### نتیجه‌گیری

با نگاهی به نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر مشاهده شد که نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس به مدت ۱، ۳، ۷ و ۱۵ روز تاثیر معنی‌داری روی پارامترهای زیستی (طول دوره جنینی، لاروی، شفیرگی و طول کل دوره نابالغ، طول عمر) و تولید مثلی (طول دوره تخم-ریزی، طول کل دوره پیش از تخم‌ریزی و زادآوری) و

## سیاسگزاری

این پژوهش با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان اجرا شده است که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تشکر و قدردانی می‌شود.

پارامترهای جمعیت پایدار زنبور پارازیتوئید *H. hebetor* ندارد. بنابراین جهت حفظ کارایی زنبور پارازیتوئید، نگهداری لاروهای پروانه موم‌خوار بزرگ، *G. mellonella* در دمای ۱۲ درجه سلسیوس تا دو هفته و در دمای ۴ درجه سلسیوس حداکثر تا یک هفته توصیه می‌شود.

## منابع مورد استفاده

- Abbes K, Zouba A, Harbi A and Chermi B. 2020. Effect of cold storage on the performance of *Trichogramma bourarachae* (Pintureau and Babault) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Egyptian Journal of Biological Pest Control, 30:27. <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00232-1>
- Abou El-Ela AS, Dessoky ES, Masry S, Arshad A, Munawar A, Qamer S, Abdelkhalek A, Behiry SI and Kordy A. 2021. Plasticity in life features, parasitism and super-parasitism behavior of *Bracon hebetor*, an important natural enemy of *Galleria mellonella* and other lepidopteran host species. Saudi Journal of Biological Science. 28(6): 3351-3361. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.082>
- Afshari A and Nazari Fandokht E. 2019. Effect of sugar concentration and feeding duration on the cold tolerance of *Bracon hebetor* Say adults. Plant Pest Research, 8(4): 55-69. (In Persian). DOI:10.22124/IPRJ.2019.3306
- Alam M, Alam S, Miah M, Mian M and Hossain M. 2015. Mass rearing of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on wax moth, *Galleria mellonella* (Lep. Pyralidae) with varying density of parasitoid and the host. Journal of Crop Protection, 5(1): 39-48. <http://jcp.modares.ac.ir/article-3-7636-en.html>
- Aliabadi A, Afshari A and Yazdani M. 2019. Effect of sugar feeding frequency and mating status on the cold storage efficacy of adult *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae). Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture), 42(2): 19-37. (In Persian). DOI:10.22055/ppr.2019.14744
- Anwar M, Zain ul Abdin, Abbas SK, Tahir M, Hussain F and Manzoor A. 2016. Effect of cold storage on the survival, sex ratio and longevity of ectoparasitoid, *Bracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae). Pakistan Journal of Zoology, 48(6): 1775-1780.
- Amini A, Hosseini M, Sadeghi H and Goldansaz SH. 2024. Effect of cold storage on performance of *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared on *Ephestia kuehniella* and *Ectomyelois ceratoniae*. Journal of Entomological Society of Iran, 44(2): 129-139. <https://doi.org/10.61186/jesi.44.4.2>
- Amir-Maafi M and Chi H. 2006. Demography of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on two pyralid hosts (Lepidoptera: Pyralidae). Annals of the Entomological Society of America, 99: 84-90. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2006\)099\[0084:DOHHHB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2006)099[0084:DOHHHB]2.0.CO;2)
- Askari Seyahooei M, Mohammadi-Rad A, Hesami S, Bagheri A. 2018. Temperature and exposure time in cold storage reshape parasitic performance of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). Journal of Economic Entomology, 111: 564-569. <https://doi.org/10.1093/jee/toy004>
- Attaran, MR. 1996. Effect of laboratory hosts on biological attributes of parasitoid wasp *Bracon hebetor* Say. M. Sc. Dissertation, Tarbiat Modares University, Tehran, 77 p. (In Persian).

- Augustine NM and Shera PS. 2024. Effect of cold storage on the fitness of *Fulgoraecia melanoleuca* (Fletcher) (Lepidoptera: Epipyropidae), an ecto-parasitoid of *Pyrilla perpusilla* (Walker) (Hemiptera: Lophopidae), International Journal of Pest Management. <https://doi.org/10.1080/09670874.2024.2334232>
- Bale JS. 1996. Insect cold hardiness: a matter of life and death. European Journal of Entomology, 93: 369-382.
- Birch LC. 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. Journal of Animal Ecology, 17: 15-26. <https://doi.org/10.2307/1605>
- Carey JR. 1993. Applied demography for biologists with special emphasis on insects. Oxford University Press UK.
- Chen H, Zhang H, Zhu KY and Throne J. 2013. Performance of diapausing parasitoid wasps, *Habrobracon hebetor*, after cold storage. Biological Control, 64(3): 186-94. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.11.007>
- Coilent H and Boivin G. 2011. Insect parasitoids cold storage: A comprehensive review of factors of variability and consequence. Biological Control, 58: 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.04.014>
- Colinet H and Hance T. 2010. Interspecific variation in the response to low temperature storage in different aphid parasitoids. Annals of Applied Biology, 156: 147-156. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00374.x>
- Dabhi MR, Korat DM and Vaishnav PR. 2013. Reproductive parameters of *Bracon hebetor* Say on seven different hosts. African Journal of Agricultural Research, 8(25): 3251-354.
- Doherty J-F, Guay J-F and Cloutier C. 2017. Early springtime water absorption by overwintering eggs of *Monandrus abietinus* (Hemiptera: Aphididae): possible implications for cold hardiness and diapause termination. Canadian Entomologist, 150: 174–179. <https://doi.org/10.4039/tce.2017.61>
- Elbehery HH. 2024. Effect of pupal cold storage on the life table parameters of larval ectoparasitoid *Bracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: braconidae). Archives of Phytopathology and Plant Protection, 57(2): 142-160. <https://doi.org/10.1080/03235408.2024.2336303>
- Eliopoulos, PA and Stathas GJ. 2008. Life table of *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae) parasitizing *Anagasta kuehniella* and *Plodia interpunctella* (Lep.: Pyralidae): effect of host density. Journal of Economic Entomology, 101: 982-988. <https://doi.org/10.1093/jee/101.3.982>
- Faal Mohammad-Ali, H and Shishebor P. 2013. Biological parameters of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae): effect of host diet. Journal of Crop Protection, 2(4): 411-419. <https://sid.ir/paper/239141/en>
- Fathipour Y, Talae L, Bagheri A, Talebi AA and Khajehali J. 2020. Age stage, two-sex life table of *Habrobracon hebetor* (Braconidae) on *Spodoptera exigua* (Noctuidae) reared on different sugar beet genotypes. Bulletin of Entomological Research, 110(4): 542-549. <https://10.1017/S0007485319000919>
- Filho SRP, Leite GLD, Soares MA, Alvarenga AC, Paulo PD, Santos LDT and Zanuncio JC. 2014. Effects of duration of cold storage of host eggs on percent parasitism and adult emergence of ten trichogrammatidae species. Florida Entomologist, 97(1): 14–21. <https://doi.org/10.1653/024.097.0102>
- Foerster LA and Doetzer AK 2006. Cold storage of the egg parasitoid *Trissolcus basalis* (Wollaston) and *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Scelionidae). Biological Control, 36: 232-237. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.10.004>



- Ferguson LV, Kortet R and Sinclair BJ. 2018. Eco-immunology in the cold: the role of immunity in shaping the overwintering survival of ectotherms. *Journal of Experimental Biology*, 221: jeb163873. <https://doi.org/10.1242/jeb.163873>
- Gao S, Tang Y, Wei K, Wang X, Yang Z and Zhang Y. 2016. Relationships between body size and parasitic fitness and offspring performance of *Sclerodermus pupariae* Yang et Yao (Hymenoptera: Bethyridae). *PLoS ONE*, 11, e0156831. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156831>
- Ghimire MN and Phillips TW. 2010. Suitability of different lepidopteran host species for development of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Environmental Entomology*, 39(2): 449-458. <https://doi.org/10.1603/EN09213>
- Hahn DA and Denlinger DL. 2011. Energetics of insect diapause. *Annual Review of Entomology*, 56: 103–121. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085436>
- Hance T, van Baaren J, Vernon P and Boivin G. 2007. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology*, 52: 107–126.
- Hasan MdM, Hasan MdM, Rahman ASMS, Athanassiou CG, Tussey DA and Hahn DA. 2022. Induced dormancy in Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner) and its impact on the quality improvement for mass rearing in parasitoid *Habrobracon hebetor* (Say). *Bulletin of Entomological Research* 112: 766–776. <https://doi.org/10.1017/S0007485322000153>
- Ismail M, Vernon P, Hance T and van Baaren J. 2010. Physiological costs of cold exposure on the parasitoid *Aphidius ervi*, without selection pressure and under constant or fluctuating temperatures. *BioControl*, 55(6): 729-740. <https://doi.org/10.1007/s10526-010-9303-0>
- Kidane D, Ferrante M, Man XM, Liu WX, Wan FH and Yang NW. 2020. Cold storage effects on fitness of the whitefly parasitoids *Encarsia Sophia* and *Eretmocerus hayati*. *Insects*, 11(7): 428: 1-13. <https://doi.org/10.3390/insects11070428>
- Kidane D, Ferrante M, Man XM, Liu WX, Wan FH and Yang NW. 2023. Investigating the effect of cold on the possibility of storing pupae and whole insects of parasitoid bees. *Entomology and Applied Science Letters*, 10(3): 51-59. <https://doi.org/10.51847/27QmmdcVwl>
- Leopold RA. 2007. Colony maintenance and mass-rearing: Using cold storage technology for extending the shelf-life of insects. *Area-wide control of insect pests: From research to field implementation 2007 Oct 30* (pp. 149-162). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Lettmann J, Mody K, Kursch-Metz T-A, Blüthgen N and Wehner K. 2021. *Bracon* wasps for ecological pest control—a laboratory experiment. *PeerJ* 9:e11540. <https://doi.org/10.7717/peerj.11540>
- Lin J, Yang D, Hao X, Cai P, Guo Y, Shi S, Liu C and Ji Q. 2021. Effect of cold storage on the quality of *Psytalia incisi* (Hymenoptera: Braconidae), a larval parasitoid of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Insects*, 12, 558. <https://doi.org/10.3390/insects12060558>
- Lundgren JG and Heimpel GE. 2002. Quality assessment of three species of commercially produced *Trichogramma* and the first report of thelytoky in commercially produced *Trichogramma*. *Biological Control*, 26: 68-73. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(02\)00117-2](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(02)00117-2)
- Maia AHN, Luiz AJB and Campanhola C. 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspect. *Journal Economic Entomology*, 93: 511-518. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.2.511>

- Mansour AN. 2017. Influence of cold storage on some biological aspects of the gregarious parasitoid, *Bracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae). Egyptian Journal of Biological Pest Control, 27(2): 205-210. <https://doi/pdf/10.5555/20173278348>
- Margus A and Lindström L. 2020. Prolonged diapause has sex-specific fertility and fitness costs. Evolutionary Ecology, 34: 41–57. <https://doi.org/10.1007/s10682-019-10024-1>
- Mbata GN and Warsi S. 2019. *Habrobracon hebetor* and *Pteromalus cerealellae* as tools in post-harvest integrated pest management. Insects, 10, 85: 1-12; <https://doi:10.3390/insects10040085>
- Mohaghegh J and Amir-Maafi M. 2007. Reproduction of the predatory stinkbug *Andrallus spinidens* (F.) (Heteroptera: Pentatomidae) on live and frozen prey. Applied Entomology and Zoology, 42: 15–20. <https://doi.org/10.1303/aez.2007.15>
- Mokhber A, Amoui AM, Charkame N and Taghikhani N. 2015. Entrepreneurship package for the production of biological agents, construction of an insectarium for *Bracon hebetor* in order to be used in the biological control of medicinal plant farms. Israr al-Alam Publications. Tehran Iran. 54 p. (In Persian).
- Mousapour Z, Askarianzadeh A and Abbasipour H. 2015. Cold storage of adult parasitoid wasp, *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) and the flour moth larvae, *Anagasta kuehniella* (Zeller) at 12°C. Plant Pest Research, 5(3): 17-29. (In Persian).
- Noosidum A, Somsri W and Chandrapatya A. 2018. Effect of cold storage on development of *Habrobracon hebetor* (Say) (Braconidae: Hymenoptera) reared on *Corcyra cephalonica* Stainton (Lepidoptera: Pyralidae). Walailak Journal of Science and Technology (WJST), 17(2): 128–138. <https://doi.org/10.48048/wjst.2020.3694>
- Poinar GO. 1975. Entomogenous nematodes. Leiden, Netherlands, EJ Bill.
- Qiu R, Li J, Desneux N, Zang L, He X and Lü X. 2024. Dual effects of cold storage and stored host eggs of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on the reproductive capacity of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae). Insects, 15, 233. <https://doi.org/10.3390/insects15040233>
- Rathee M and Ram P. 2018. Impact of cold storage on the performance of entomophagous insects: an overview. Phytoparasitica, 46: 421-449. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0683-5>
- Saadat D, Asghar Seraj AA, Goldansaz SH and Williams L. 2016. Factors affecting reproductive success and life history parameters of *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) from three host-associated populations. Biological Control, 96: 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.02.008>
- Sahayaraj K and Jeyalekshmi T. 2002. Mass rearing of *Rhynocoris marginatus* Fab. on live and frozen larvae of *Corcyra cephalonica* Stainton. Entomologica Croatica, 6: 35–49.
- SAS Institute, 2006: SAS/STAT User's Guide, Version 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Siam A, Zohdy NZM, ELHafez AMA, Moursy LE and Sherif HAEL. 2019. Effect of different cold storage periods of rearing host eggs on the performance of the parasitoid *Trichogramma evanescens* (Westwood) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Egyptian Journal of Biological Pest Control, 29: 34. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0139-3>
- Sinclair BJ. 2015. Linking energetics and overwintering in temperate insects. Journal of Thermal Biology, 54: 5–11. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.07.007>

- Tezze AA and Botto EN. 2004. Effect of cold storage on the quality of *Trichogramma nerudai* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Biological Control*, 30(1): 11-6. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2003.09.008>
- Vaez N, Mohammadi D and Pourgoli Z. 2019. The role of host storage in the quality of *Trichogramma brassicae* Bezdenko. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 8(1): 71-95 (In Persian). <https://sid.ir/paper/237668/en>
- Vaez N, Pourgoli Z and Mohammadi D. 2018. Influences of cold storage period of *Anagasta kuehnieela* (Zeller) eEggs on biological parameters of *Trichogramma brassicae* Bezdenko. *Journal of Applied Research in Plant Protection*, 7(2): 145-162 (In Persian). [https://arpp.tabrizu.ac.ir/article\\_7882.html?lang=en](https://arpp.tabrizu.ac.ir/article_7882.html?lang=en)
- van Lenteren, JV and Tommasini MG. 2003. Mass production, storage, shipment and release of natural enemies. In van Lenteren, JC. (Ed.). *Quality control and production of biological control agents: theory and testing procedures*. Wallingford UK: CABI publishing. pp. 181-189. <https://doi.org/10.1079/9780851996882.0181>
- Visser B, Le Lann C, den Blanken FJ, Harvey JA, van Alphen JJM and Ellers J. 2010. Loss of lipid synthesis as an evolutionary consequence of a parasitic lifestyle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107: 8677–8682. <https://doi.org/10.1073/pnas.100174410>
- Wanderley EA, Ramalho ES, Zanuncio JC and Leite GLD. 2007. Thermal requirements and development of *Bracon vulgaris*, a parasitoid of the cotton boll weevil. *Entomology*, 35(4): 336-345.
- Warsi S and Mbata GN. 2018. Impact of peanut depth and container size on the parasitism of diapausing and nondiapausing larvae of Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) by *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Environmental Entomology*, 47(5): 1226-1232. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy099>
- Warsi S and Mbata GN. 2018. Impact of peanut depth and container size on the parasitism of diapausing and nondiapausing larvae of Indian meal moth (Lepidoptera: Pralidae) by *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). *Environmental Entomology*, 47: 1226–1232. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy099>
- Warsi S, Mbata GN and Payton ME. 2018. Improvement of reproductive performance of *Habrobracon hebetor*: consideration of diapausing and nondiapausing larvae of *Plodia interpunctella*. *Biological Control*, 118: 32–36. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.12.003>
- Xing B, Yang L, Gulinuer A, Li F and Wu S. 2022. Effect of pupal cold storage on reproductive performance of *Microplitis manila* (Hymenoptera: Braconidae), a larval parasitoid of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, 13, 449. <https://doi.org/10.3390/insects13050449>
- Zandi-Sohani N and Tamoli Torfi E. 2024. Effect of cold storage on biological and morphological characteristics of the parasitoid wasp, *Aenasius bambawalei* (Hym.: Encyrtidae). *Plant Pest Research*, 14(1): 61-72. (In Persian). <https://doi.org/10.22124/iprj.2024.27090.1568>