

واکنش دمایی نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) در زنبور پارازیتوئید *Habrobracon hebetor* (Say)

محمد محسن منتظری^۱، شیلا گلدسته^{۲*}، جلال شیرازی^۲، الهام صنعتگر^۱

۱- گروه حشره‌شناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، ایران

۲- بخش تحقیقات کنترل بیولوژیک، موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) یکی از شاخص‌های مهم زیستی حشرات به شمار می‌رود. در این بررسی واکنش نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور *Habrobracon hebetor* (Say) (Hym., Braconidae) به ۶ دما (۲۰، ۲۲/۵، ۲۵، ۲۷/۵، ۳۰ و ۳۲/۵ درجه سلسیوس) در رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، روی لارو-های *Galleria mellonella* L. (Lep., Pyralidae) بررسی شد. برای هر دما تعداد ۸۰ تا ۲۵۰ تخم زنبور به عنوان گروه همزاد پرورش داده شد و نرخ ذاتی افزایش جمعیت در هر تیمار با استفاده از نرم افزار TOWSEX-MSChart محاسبه شد. سپس، نتایج به‌دست آمده در مدل‌های دمایی بریر-۲ و لکتین-۲ برازش شدند. نتایج نشان داد مقدار r از ۰/۰۳۸۷ و ۰/۰۸۹۹ در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به ۰/۰۸۹۹ و ۰/۱۱۲۰ در دمای ۲۲/۵ درجه سلسیوس رسید که تقریباً ۲/۳ برابر شد. اما این نسبت از دمای ۲۲/۵ تا دمای ۲۵ درجه سلسیوس (۰/۱۱۲۰ و ۰/۱۲۵) برابر شد. به طور مجدد، از دمای ۲۵ تا ۲۷/۵ درجه سلسیوس این نسبت به ۱/۸ برابر و حداکثر مقدار خود (۰/۲۰۰۱ و ۰/۲۰۰۱) برابر روز رسید. به هر حال، در دماهای ۳۰ و ۳۲/۵ درجه سلسیوس این نرخ به ترتیب حدود ۷/۵ و ۱۰ درصد نسبت به دمای ۲۷/۵ درجه سلسیوس کاهش یافت. به طور کلی، مقادیر برآورد شده نرخ ذاتی افزایش جمعیت در دو مدل دمایی در دماهای ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس تقریباً مساوی همان در مقادیر محاسبه شده بود اما در دماهای بالاتر مقادیر برآورد شده کمتر از مقادیر محاسباتی بودند. به هر حال، حداکثر مقدار r طبق پیش بینی مدل بریر-۲ و لکتین-۲ به ترتیب برابر ۰/۱۹۱۸ و ۰/۱۹۲۲ روز^{-۱} در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود که کمتر از همان در مقایسه با مقدار محاسبه شده r در دمای ۲۷/۵ درجه سلسیوس بود. یافته‌ها نشان داد که برآوردهای مدل‌های دمایی از صفات زیستی و جدول زندگی همیشه با هم برابر نیستند و باید همراه مقادیر واقعی به‌کار گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: دما، نرخ ذاتی افزایش جمعیت، مدل‌های دمایی، *Habrobracon hebetor*

* نویسنده رابط، پست الکترونیکی: S-goldasteh@iau-arak.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۷/۲۴ - تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۸/۳۰



مقدمه

موجودات زنده به روش‌های مختلف تحت تاثیر دما هستند. می‌توان گفت حشرات به عنوان جانداران خونسرد به هیچ عامل محیطی به اندازه دما واکنش نشان نمی‌دهند. اهمیت دمای میانگین و حداکثر و حداقل روزانه در فعالیت حشرات در اوایل قرن بیستم مورد توجه قرار گرفت و کم‌کم آزمایشگاه‌های حشره‌شناسی مجهز به وسایل اندازه‌گیری دقیق و ایجاد شرایط برای مطالعه تاثیر دما روی حشرات شدند (Chapman, 1931). اولین کسی که از "مجموع دمای مورد نیاز"²⁰ رشد و نمو کامل حشرات نام برده و آن را اندازه‌گیری کرد Reaumur بود. نامبرده به بررسی تاثیر دمای محیط بر فعالیت زنبور عسل در ماه‌های مختلف سال پرداخته و توصیه‌هایی برای حفاظت کندوها در زمستان ارائه کرده است (Reaumur, 1736). دمای مناسب زیست برای تعداد محدودی از حشرات ارائه شده و حداکثر دمای قابل تحمل برای آن‌ها حدود ۴۳/۵ درجه سلسیوس در لارو برخی پروانه‌ها (کرم ابریشم) و حداقل آن دمای ۲۸- در نوعی حشره آبی‌زی ذکر شده است (Davenport, 1908). وی از این دماها به‌عنوان "دمای محدوده زیست"²¹ نام برده است.

در محدوده دمای حداقل و حداکثر که موجودات خونسرد در آن فعال هستند، دمایی وجود دارد که شرایط زندگی بهینه را برای آن‌ها فراهم می‌کند. این لزوماً به معنی بهینه بودن نرخ فرآیندهای زیستی برای آن موجود زنده نیست بلکه مطلوبترین شرایط دمایی برای آن است. معادله‌ای برای تعریف این دمای بهینه وجود ندارد اما دمایی است که در آن حداقل "مقاومت محیطی"²² در برابر "ظرفیت زیستی"²³ یک موجود زنده وجود دارد (Chapman, 1931). در همان زمان واژه "آستانه دمایی"²⁴ اولین بار در مطالعاتی روی کرم سیب در ایالت ایلینوی آمریکا مطرح شد و مورد استفاده قرار گرفت (Sheford, 1929). وی در همین پژوهش به تعریف واحد رشد و نمو می‌پردازد و معتقد است واحد رشد و نمو در واقع اثر میانگین یک درجه حرارت همراه با میانگین رطوبت، نور، جریان هوا و دیگر شرایط معمول زیستگاه موجود زنده به مدت یک ساعت بر آن موجود زنده است.

برج با اتکا به پژوهش‌های قبلی، مطالعه گسترده‌ای روی دو گونه آفت انباری *Rhizopertha* و *Calandra oryzae* *dominica* انجام داد. وی ابتدا اثر دما بر روی رشد و نمو این دو آفت انباری را بررسی نمود و طی آن دمای حداقل و حداکثر رشدی را تعیین کرد و با نمودارهای ساده‌ای مدل رشد و نمو مراحل زیستی این حشرات را نشان داد (Birch, 1945a). سپس تاثیر توام دما، رطوبت و تراکم دانه غلات را روی آن‌ها بررسی کرد و نتیجه گرفت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و تراکم ۱ حشره به ازای ۵۰ عدد دانه غلات دارای ۱۴ درصد رطوبت، بیشترین باروری رخ می‌دهد (Birch, 1945b). در ادامه، نامبرده ظرفیت زیستی یا نرخ افزایش جمعیت در شرایط معین از نظر دما، رطوبت و غذا را برای هر دو آفت روی دانه گندم محاسبه نمود. برج نشان داد با افزایش دما تا دمای بهینه، روند نرخ رشد به صورت سیگموییدی افزایش می‌یابد و سپس روند نزولی دارد. به همین صورت حداکثر نرخ رشد یا ظرفیت زیستی برای هر دو گونه در دمای بهینه روی ۶۵۰ دانه گندم به‌دست آمد به این معنی که طی ۱۰۰ روز از هر فرد ماده، تعداد ۶۵۰ فرد (به تعداد مساوی از نتاج نر و ماده) حاصل شد (Birch, 1945c). در پایان این پژوهش نرخ مرگ و میر مراحل زیستی هر دو حشره در شرایط مختلف محیطی بررسی شد و کمترین مرگ و میر در دماهای بین ۲۶ تا ۳۲ درجه سلسیوس و رطوبت

²⁰ Thermal summation

²¹ Life-limits temperatures

²² Environmental resistance

²³ Biotic potential

²⁴ Temperature threshold

دانه بین ۱۲ تا ۱۴ درصد ثبت شد (Birch, 1945d). در زمانی که برج این تحقیقات را انجام می‌داد از پژوهش‌های مشابه در جمعیت‌های انسانی به طور کامل بی اطلاع بود (Birch, 1948).

برای اولین بار Leslie و Ranson پراسنجه‌های "جمعیت‌نگاری"^{۲۵} را با الهام از پژوهش‌های مربوط در جمعیت انسانی روی یک جونده (*Microtus agrestis*) بررسی کردند و از اصطلاح "نرخ افزایش طبیعی یا واقعی"^{۲۶} به همان مفهوم مورد استفاده در جمعیت‌نگاری انسانی را برای محاسبه رشد جمعیت جانور استفاده کردند (Leslie and Ranson, 1940). این پژوهش الگویی برای سایر پژوهندگان در به‌کارگیری فنون جداول زندگی در بررسی پویایی جمعیت سایر موجودات زنده شد. با توسعه پژوهش‌های گسترده روی جمعیت‌نگاری در جوامع انسانی، برج با انتشار مقاله‌ای در سال ۱۹۴۸ روی نرخ ذاتی افزایش جمعیت حشرات، نقطه عطفی در پژوهش‌های مرتبط بوجود آورد. به اعتقاد وی نرخ ذاتی افزایش جمعیت یکی از مهمترین پراسنجه‌های زیستی حشرات است که بوم‌شناسان علاقه زیادی به محاسبه آن دارند. این نرخ در واقع نرخ افزایش سرانه جمعیت تحت شرایط فیزیکی معین و محیطی نامحدود (فاقد اثر تراکم جمعیت) است که در چنین شرایطی رشد جمعیت نمایی است. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) اساس روند رشد در یک جمعیت با توزیع سنی پایدار را نشان می‌دهد که این خود یکی از دستاوردهای بسیار مهم در "آمار حیاتی"^{۲۷} است. بنا بر این در جمعیت‌های غیر این نرخ در زمان‌های مختلف متفاوت خواهد بود. اگر شرایط محیطی لازم برای به حداکثر رسیدن نرخ ذاتی افزایش جمعیت یک حشره مشخص شود از دو نظر حائز اهمیت خواهد بود. به لحاظ نظری مهم است چرا که نرخ ذاتی رشد در معادلات محاسبه سایر پراسنجه‌های مهم جمعیت به کار می‌رود و از نظر عملی و کاربردی نیز منجر به تعیین دقیق (دامنه) دما و رطوبت مورد نیاز برای رشد و نمو یک حشره می‌شود. به هر حال، واقعیت این است که اکثر حشرات در طبیعت ممکن است به حداکثر نرخ ذاتی افزایش جمعیت خود نرسند اما این موضوع اهمیت نظری یا کاربردی آن را نفی نمی‌کند؛ گرچه در برخی آفات انباری و آفات محصولات گرمسیری نرخ ذاتی افزایش نمایی در بعضی موارد به صورت طبیعی دیده شده است (Birch, 1948).

از قرن گذشته تا کنون، مدل‌های زیادی برای مطالعه واکنش حشرات به دما توسعه یافته‌اند که بیشتر برای تعیین نرخ رشد مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Damos and Sultani, 2012). اخیراً شرح جامعی از این مدل‌ها به رشته تحریر در آمده است (Rebaudo and Rabhi, 2018). بر اساس پژوهش‌های کنتودیماس مدل‌های انگگارد (Enkegaard)، آنالیتیس (Analytis) و بریر ۱ و ۲ (Briere 1 & 2) بخوبی قادر به توصیف واکنش رشد و نمو و سایر صفات زیستی حشرات در برابر تغییرات دما هستند. وی با استفاده از همین مدل‌های غیر خطی، رشد و نمو و باروری کفشدوزک‌های *Nephus includes* و *N. bisignatus*، شکارگر شپشک‌ها، را در دامنه دمایی ۱۵ تا ۳۵ درجه بررسی کرده است (Kontodimas, 2012). بسیاری از پژوهش‌ها ثابت کرده است که نرخ ذاتی افزایش جمعیت در برگیرنده نرخ‌های رشد، بقا و تولید مثل است و بررسی تغییرات آن در برابر دما معیار خوبی برای مدل‌سازی رشد حشرات است (Mironidis, 2014; Martins et al., 2016). بر همین اساس، نرخ ذاتی افزایش جمعیت سن *Halyomorpha halys* در ۹ دمای ثابت (۱۵ تا ۳۶ درجه سلسیوس) مدل‌سازی شد و بر اساس پیش بینی مدل حداکثر r در دمای ۲۷/۵ درجه سلسیوس برابر ۰/۰۸۹۹ روز^{-۱} به دست آمد که در آزمایشگاه مقدار حداکثر آن برابر ۰/۰۸۷۶ روز^{-۱} در دمای ۲۷ درجه سلسیوس ثبت شده بود (Govidan and Hutchinson, 2020). در پژوهش دیگری مدل‌های دمایی لکتین-۲، بریر-۱ و-۲ و چند جمله‌ای درجه ۳

²⁵ Demography²⁶ Rate of true or natural increase²⁷ Vital statistics

(Polynomial cubic)، برای مدلسازی رشد و نمو زنبور *Diaeretiella rapae* استفاده شد و مدل بریر-۲ مناسب‌تر تشخیص داده شد (Tazerooni et al., 2012).

در یک بررسی فروزان و همکاران چندین مدل غیر خطی را برای مدلسازی رشد نمو *Habrobracon hebetor* در آزمایشگاه به خدمت گرفتند و دو مدل لوگن ۱ (Logan 1) و استینر (Stinner) را مدل‌های مناسبی برای برازش داده‌های رشد نمو این زنبور معرفی کردند (Foroozan et al., 2008). در پژوهش دیگری، چندین مدل خطی و غیر خطی برای تعیین نیازهای گرمایی شته غلات (*Sitobion avenae*) و زنبور پارازیتوئید آن (*Praon volucre*) مطالعه شد و مدل آنالیتیس ۳، برای تعیین نیاز دمایی شته و مدل‌های لوگن ۶ و ۸ مناسبترین مدل‌ها برای نشان دادن روند رشد زنبور معرفی شدند (Farhad et al., 2012). طی پژوهش‌های آزمایشگاهی روی جدول زندگی *H. hebetor* و شب‌پره *Ephestia cautella* در دمای ۲۵ درجه سلسیوس طی ۱۰ نسل مشخص شد که در نسل پنجم تمامی نتاج نر بودند و کلنی منقرض شد (Benson, 1974). رشد و نمو زنبور *H. hebetor* در دمای کمتر از ۱۶ و بالاتر از ۳۶ درجه سلسیوس متوقف می‌شود (Payne, 1934). با مطالعه سه جمعیت زنبور *H. hebetor* مقدار r بین ۰/۳۴ تا ۰/۳۸ بر روز گزارش شد که نسبت به سایر مطالعات مشابه به نسبت مقادیر بالایی محاسبه شده است (Abdi Bastami et al., 2011). در مطالعه‌ای آستانه دمایی رشدی برای مراحل نابالغ زنبور *H. hebetor* حدود ۱۱ تا ۱۲ درجه سلسیوس و حداکثر مقدار r برابر ۰/۳۱ بر روز در ۳۰ درجه سلسیوس به دست آمد (Golizadeh et al., 2017). در پژوهش دیگری کوتاهترین دوره یک نسل زنبور *H. gelechia* در ۲۸ درجه سلسیوس ثبت شد (Daane et al., 2013).

طی پژوهش‌های متعدد مشخص شده است که مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت در زنبور *H. hebetor* تحت شرایط زنده و غیره زنده از جمله دما، رطوبت، گونه میزبان، تراکم میزبان، زیستگاه میزبان و سوش زنبور تغییر می‌کند (Eliopoulos and Stathas, 2009). در این پژوهش سعی بر این است که تغییرات نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور *H. hebetor* به عنوان یک پارازیتوئید بسیار موثر در کنترل بیولوژیک در دماهای مختلف بررسی شود. هدف اصلی این پژوهش درک رفتار نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور *H. hebetor* نسبت به تغییرات دما و مقایسه مشاهدات با اطلاعات اخذ شده از مدل‌های دمایی است. با استفاده از این اطلاعات، دمای مناسب تولید انبوه این زنبور به دست می‌آید. به علاوه تاثیر دماهای پایین روی سرعت رشد آن مشخص می‌شود و برای تبیین برنامه‌های نگهداری جمعیت‌های والد در مراکز تولید انبوه و تحقیقاتی بسیار حائز اهمیت خواهد بود. یافته‌ها در مجموع به بهبود اقتصاد تولید انبوه *H. hebetor* کمک خواهند کرد.

مواد و روش‌ها

پرورش میزبان

به منظور پرورش پروانه *Galleria mellonella*، ابتدا ۵۰۰۰ عدد تخم تازه از کلنی موجود در بخش تحقیقات سن گندم، موسسه تحقیقات گیاهپزشکی دریافت و به آزمایشگاه حمل شد. ظروف پرورش از جنس پلاستیک شفاف به ابعاد ۷ × ۲۰ × ۲۵ سانتی‌متر بود که یک دریچه بزرگ مسدود شده با تور فلزی روی در آن‌ها برای تهویه وجود داشت. پس از تفریخ تخم‌ها، مراحل لاروی روی غذای مصنوعی تغذیه شدند (Mohaghegh and Amir-Maafi, 2007; De Clercq and Degheele, 1993). از لاروهای سن آخر برای پرورش زنبور *H. hebetor* و انجام آزمایش‌ها استفاده شد. پرورش لاروها و

تخم‌گیری از پروانه‌ها در شرایط دمای $28 \pm 0/5$ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و طول دوره روشنایی ۱۶ و تاریکی ۸ ساعت صورت گرفت.

پرورش زنبور پارازیتوید *H. hebetor*

جمعیت اولیه زنبور براکن بوسیله جمع‌آوری لاروهای انگلی شده هلیوتیس از مزارع گوجه‌فرنگی اطراف شهرستان گرگان به‌دست آمد. پس از خروج حشرات کامل، زنبورها به ظروف پرورش استوانه‌ای شکل و از جنس پلاستیک به قطر ۱۷ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر منتقل شدند. برای تهویه مناسب، در سطح جانبی استوانه دو دریچه مدور به قطر ۵ سانتی‌متر ایجاد و با توری ظریف مسدود شدند و ۲ روزنه نیز برای ارایه غذا (عسل) و تامین آب ایجاد شد. روزنه غذا توسط چوب پنبه مسدود می‌شد. قسمت تحتانی ظرف با توری مسدود شده بود. در هر ظرف پرورش، حدود ۵۰ جفت زنبور نر و ماده رها شد و برای آنها غذا و آب قرار داده شد. سپس، تعداد ۵۰ لارو سن آخر *G. mellonella* روی کاغذ همراه پارچه توری روی آن آماده شد و یک ظرف پرورش از قسمت تحتانی روی آن‌ها قرار داده شد. ظروف پرورش زنبور در انکوباتور در دمای $28 \pm 0/5$ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و طول دوره روشنایی ۱۶ و تاریکی ۸ ساعت قرار داده شدند. زنبورهای ماده به راحتی تخم‌ریز خود را از توری‌ها عبور داده و پس از فلج کردن لاروها روی آن‌ها تخم‌ریزی می‌کردند.

محاسبه نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور *H. hebetor* در دماهای مختلف

ابتدا ۶ ظرف، مشابه ظروف پرورش زنبور (دارای حدود ۵۰ جفت زنبور بین ۲۴-۴۸ ساعت طول عمر) آماده شد و ۵۰ عد لارو سن آخر پروانه موم‌خوار به روش ذکر شده به مدت ۴ ساعت در اختیار آن‌ها قرار داده شد. سپس، تخم‌های زنبور مربوط به هر ظرف پرورش جداگانه جمع‌آوری و به عنوان یک گروه همزاد (Cohort) به یکی از تیمارهای دمایی ۲۰، ۲۲/۵، ۲۵، ۲۷/۵، ۳۰ و ۳۲/۵ درجه سلسیوس اختصاص داده شد. تخم‌های زنبور در هر تیمار به صورت انفرادی به همراه یک لارو فلج میزبان در داخل یک پتری دیش به قطر ۵ سانتی‌متر روی یک دستمال کاغذی در کف آن، پرورش داده شدند. برای تمامی تیمارها رطوبت 60 ± 5 درصد و طول دوره روشنایی ۱۶ و تاریکی ۸ ساعت، درون یک انکوباتور تامین شد. هر ۲۴ ساعت یکبار پتری‌ها بازدید و مشاهدات روی وضعیت رشد و نمو و مرگ و میر مراحل زیستی زنبور ثبت شد. پس از خروج حشرات کامل، افراد نر و ماده بصورت جفتی به داخل ظروف پرورش مخصوص (ظرف پلاستیکی شفاف به ابعاد 10×8 سانتی‌متر با روزنه تهویه توری‌دار و روزنه آب و غذا، Amir-Maafi and Chi, 2006) منتقل و در همان شرایط نگهداری شدند. باروری زنبورهای ماده مربوط به هر گروه همسن، با ارایه دو لارو سن آخر پروانه موم‌خوار *G. mellonella* به هر جفت زنبور در ظروف پرورش به روش بالا اندازه‌گیری شد. لاروها روزانه تجدید شدند و تعداد تخم‌های زنبور روی لاروهای روز قبل به تفکیک برای هر زنبور شمارش و ثبت شد. متغیرهایی مانند تعداد تخم به ازای هر زنبور ماده و طول عمر زنبورهای نر و ماده به تفکیک برای هر تیمار دمایی یادداشت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پراسنجه‌های رشد و نمو و نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r)، به روش جدول زندگی سن-مرحله دو جنسی محاسبه شدند (Chi and Liu, 1985; Chi, 1988). تمامی تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار مربوط (TOWSEX-MSChart, Ver. 2019.02.1) انجام شد (Chi, 2019). همچنین خطای استاندارد پراسنجه‌ها با استفاده از ۱۰۰۰۰۰ بار بوت استرپ^{۲۸} محاسبه شد.

مدل‌سازی نرخ ذاتی افزایش جمعیت *H. hebetor*

به منظور بررسی روند تغییرات نرخ ذاتی افزایش جمعیت *H. hebetor* با افزایش دما، مقادیر محاسبه شده این پراسنجه از بر اساس مطالعات قبلی در دو مدل دمایی غیر خطی برازش شدند و بر اساس نکویی برازش، ضرایب تبیین و مقدار AIC، مدل‌های دمایی بریر-۲ و لکتین-۲ طبق معادلات زیر استفاده شدند (Foorozan et al., 2008).

$$R(T) = aT(T - T_0)(T_u - T)^{\frac{1}{m}}$$

در اینجا a و m ضریب، T دمای واقعی آزمایش، T_0 حداقل دمای رشد و T_u حداکثر دمای رشد است.

$$R(T) = e^{\rho T} - e^{\rho T_u - \frac{T_u - T}{\Delta}} + \lambda$$

که در آن ρ ، λ و Δ ضرایب هستند و بقیه پراسنجه‌ها مثل مدل بریر-۲ است.

کلیه نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل و سیگماپلات (Sigma Plot, Ver. 12.0) ترسیم شدند.

نتایج

مقادیر محاسبه شده و برآورد مدل‌های بریر-۲ و لکتین-۲ از تغییرات نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور *H. hebetor* در ۶ دمای ثابت در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. بر اساس اطلاعات این جدول، مقادیر به دست آمده و برآورد شده r در دماهای پایین تقریباً با هم مساوی هستند اما در دماهای بالاتر متفاوت می‌باشند. بر اساس داده‌های محاسبه شده مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور براکن از ۰/۰۳۷۸ واحد بر روز در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به ۰/۰۸۹۹ واحد در دمای ۲۲/۵ درجه سلسیوس بر روز رسید که تقریباً ۲/۳ برابر شده است. اما این نسبت از دمای ۲۲/۵ تا دمای ۲۵ درجه سلسیوس کمتر شده و ۱/۲۵ برابر شده است. به طور مجدد از دمای ۲۵ تا ۲۷/۵ درجه سلسیوس این نسبت به ۱/۸ برابر رسید ولی در دماهای ۳۰ و ۳۲/۵ درجه سلسیوس این نرخ به ترتیب حدود ۷/۵ و ۱۰ درصد نسبت به دمای ۲۷/۵ درجه سلسیوس کاهش یافت. به علاوه، طبق داده‌های محاسبه شده، حداکثر نرخ ذاتی افزایش جمعیت در دمای ۲۷/۵ درجه سلسیوس ثبت شد، اما بر اساس پیش بینی هر دو مدل، حداکثر این پراسنجه در دمای ۳۰ درجه سلسیوس اتفاق می‌افتد که به هر حال مقدار پیش بینی هر دو کمتر از همان در مقدار محاسبه شده است (جدول ۱).

جدول 1- مقادیر محاسبه شده و برآوردهای مدل‌های دمایی از نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور *Habrobracon hebetor* روی لارو پروانه مومخوار *Galleria mellonella* در شش دما و رطوبت نسبی $65 \pm 5\%$ در صد و دوره نوری 16 و تاریکی 8 ساعت. زیر نویس: مقادیر خطای استاندارد با تکرار 100000 بار بوت استرپ از مقادیر اصلی محاسبه شدند.

Table 1. Calculated values of *Habrobracon hebetor* intrinsic rate of increase (r) and their estimations by 2 nonlinear models when reared on *Galleria mellonella* larvae at six temperatures and $65 \pm 5\%$ RH and 16:8 h L:D.

Temperature (°C)	Calculated r (day ⁻¹)	Briere-2 estimation	Lactin-2 estimation	SE values
15	-	-0.0645	0.0765	-
20	0.0378	0.0349	0.0353	0±0.009
22.5	0.0899	0.0881	0.0885	0±0.010
25	0.1120	0.1366	0.1363	0±0.010
27.5	0.2001	0.1738	0.1735	0±0.013
30	0.1850	0.1918	0.1922	0±0.013
32.5	0.1802	0.1793	0.1795	0±0.008
35	-	0.1154	0.1150	-

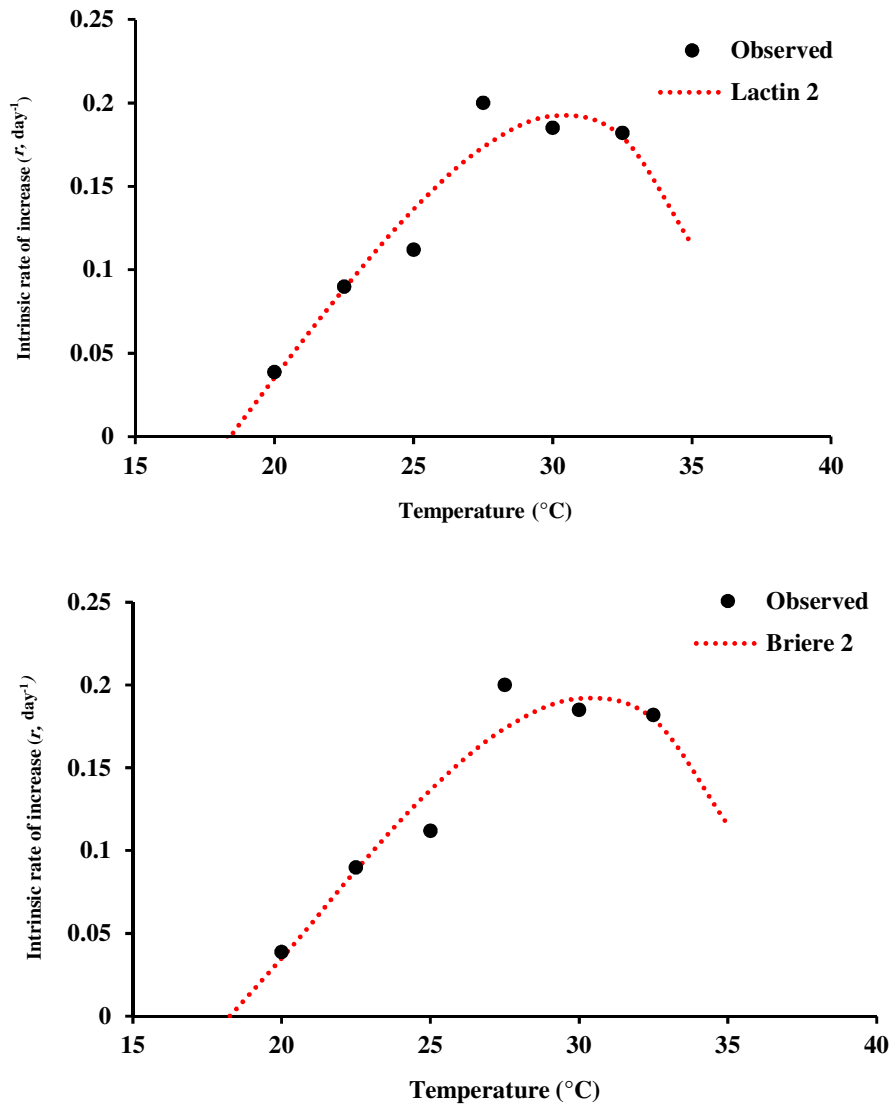
SE values were estimated by using of 100000 times bootstrapping.

جدول 2- پراسنجهای حاصل از برازش داده‌های نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور *Habrobracon hebetor* روی لارو پروانه مومخوار *Galleria mellonella* در شش دما و رطوبت نسبی $65 \pm 5\%$ در صد و دورهنوری 16 و تاریکی 8 ساعت. مدلهای غیر خطی بریر-2 و لکتین-2.

Table 2. Fitness of nonlinear models to the intrinsic rate of increase data of *Habrobracon hebetor* reared on *Galleria mellonella* larvae at six temperatures and $65 \pm 5\%$ RH and 16:8 h L:D.

Model	Parameter	Values	Confidence limits		Goodness of fit	
			Upper	Lower	Parameter	Value
Briere-2	a	0.000143	0.00166	-0.00138	r^2	95%
	T_{\min}	18.35	23.72	12.98	r^2_{adj}	87%
	T_{\max}	36.57	68.88	4.27	AIC	-48.75
	d	1.40	9.02	-6.21		
	T_{opt}	28.60				
	SSE	0.000468				
Lactin-2	ρ	0.0184	0.0792	-0.0424	r^2	97.53%
	T_{\max}	44.26	98.50	-9.96	r^2_{adj}	93.84%
	ΔT	5.39	44.62	-33.84		
	λ	-1.3845	-0.2437	-2.52	AIC	-48.69
	T_{opt}	30.29				

در جدول ۲ پراسنجه‌ها، دامنه‌ها و ضرایب نکویی برازش حاصل از برازش داده‌های نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور *H. hebetor* در ۶ دمای ثابت در دو مدل بریر-۲ و لکتین-۲ نشان داده شده است. طبق پیش‌بینی مدل بریر-۲، دمای آستانه و حداکثر برای این زنبور به ترتیب برابر $18/35$ و $36/57$ درجه سلسیوس به دست آمده است. بر عکس در مدل لکتین-۲، دمای حداکثر به مراتب بالاتر و $44/26$ درجه سلسیوس محاسبه شده است. به طور کلی دمای بهینه پیش‌بینی شده به وسیله مدل‌های بریر-۲ و لکتین-۲ به ترتیب برابر $28/60$ و $30/29$ درجه سلسیوس است. ضرایب تبیین مدل‌های بریر-۲ و لکتین-۲ به ترتیب ۹۵ و ۹۷/۵۳ درصد و مقدار ضریب AIC در هر دو مدل بسیار کم و برابر $-48/70$ بود که نشان از دقت بالای نکویی برازش دارد.



شکل 1- مقایسه روند تغییرات نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور *Habrobracon hebetor* روی لارو پروانه مومخوار *Galleria mellonella* در شش دمای مختلف، رطوبت نسبی $65 \pm 5\%$ درصد و دوره نوری 16 و تاریکی 8 ساعت بوسیله دو مدل دمایی لکتین-2 (بالا) و بریر-2 (پایین).

Fig 1- Comparison of the intrinsic rate of increase curves of *Habrobracon hebetor* reared on *Galleria mellonella* larvae at six temperatures and $65 \pm 5\%$ RH and 16:8 h L:D fitted by Lactin-2 (up) and Briere-2 (down) thermal models.

در شکل 1 تغییرات نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور *H. hebetor* در دماهای مختلف همراه با پیش بینی مدل دمایی مشاهده می‌شود. با توجه به شکل، روند پراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت با افزایش دما به صورت غیر خطی افزایش یافته و هر دو مدل به صورتی تقریباً مشابهی این تغییرات را برآورد کردند. در دماهای پایین (20°C و $22/5^\circ\text{C}$ درجه سلسیوس) و دمای بالا ($32/5^\circ\text{C}$ درجه سلسیوس)، برآورد مدل‌ها با مقادیر محاسبه شده نرخ ذاتی افزایش جمعیت زنبور براکن انطباق بیشتری از دماهای میانه دارند (شکل 1).

بحث

تحقیقات متعددی در زمینه دمای بهینه برای رسیدن حشرات به "شایستگی حداکثر"^{۲۹} انجام شده است. با توجه به اینکه دمای بدن به شدت روی فیزیولوژی، عملکرد و شایستگی موجودات خونسرد موثر است. دو نظریه در این زمینه وجود دارد. نظریه اول که به نظریه "گرمتر بهتر است"^{۳۰} شهرت یافته و معتقد است به دلیل محدودیت‌های ترمودینامیک، سرعت نرخ سوخت و ساز موجودات خونسرد با کاهش دما افت می‌کند و سازگاری با شرایط نیز قادر به جبران این نقیصه نیست. بنا بر این، حشراتی که با زندگی در هوای سرد تطابق یافته‌اند حتی در دمای بهینه خود نسبت به حشرات مناطق گرم نرخ‌های تحرک، سوخت و ساز، رشد و نمو و افزایش جمعیت کندتری دارند. در مقابل، نظریه "جبران کامل"^{۳۱} می‌گوید که سازگاری‌های بیوشیمیایی (به دمای پایین) در بدن حشرات، فرآیندها و واکنش‌های "جنبشی"^{۳۲} وابسته به دما را تنظیم می‌کنند و بنا بر این سرعت و نرخ واکنش‌های بیولوژیک در حشرات سرما دوست با همان در حشرات گرما دوست تفاوتی نخواهد داشت (Frazier et al., 2006).

دماهای کمینه، بیشینه و بهینه روی تمامی فرآیندهای اصلی زندگی موجودات زنده خونسرد تاثیر شگرفی دارند و در یک دامنه دمایی مشخص، هر تغییر دمایی باعث افزایش یا کاهش قابل توجه نرخ یا سرعت این فرآیندهای زیستی می‌شود (Mirhosseini et al., 2017). برای پیش‌بینی این تغییرات در حشرات، از مدل‌های دمایی خطی و غیر خطی استفاده شده است. مدل‌های خطی بیشتر مناسب تعیین "مجموع حرارت روزانه"^{۳۳} مناسب هستند و برای پدیده‌های زیستی دیگر به ویژه نرخ رشدی و یا صفات وابسته به تولید مثل مدل‌های غیرخطی مناسب‌تر هستند (Kontodimas, 2012; Mirhosseini et al., 2017).

استفاده از چند مدل غیر خطی برای مدل‌سازی باروری کفشدوزک‌های *N. bisignatus* و *Nephus includes* نشان داد مدل بریر-۱ و -۲، بهتر از سایر مدل‌ها در تمامی دماها روند باروری را مطابق با محاسبات نشان دادند که با یافته‌های این تحقیق همخوانی دارد (Kontodimas, 2012). از بین ۴ مدل غیر خطی، مدل بریر-۲ را مدل مناسبی برای برآورد پراسنجه‌های زیستی زنبور *Diaeretiella rapae* معرفی شده که منطبق با یافته‌های پژوهش ما است (Tazerooni et al., 2012). در مطالعه دیگری از بین مدل‌های آزمون شده برای برآورد نرخ رشد و صفات زیستی بید سیب زمینی، *Phthorimaea operculella*، مدل‌های بریر و لکتین در شمار بهترین مدل‌ها معرفی شدند که موید نتایج پژوهش فعلی است (Golizadeh and Zalucki, 2012).

در یکی از مطالعات اولیه، آستانه‌های دمایی زنبور *H. hebetor* بین ۲۰ تا ۳۶ ذکر شده (Payne, 1934) که با توجه به تفاوت جمعیت با مقادیر مشاهده شده در این مطالعه تفاوت دارد. در پژوهش دیگری دامنه دمایی مناسب فعالیت زنبور *H. gelechia* با استفاده از مدل بریر به ترتیب، حداقل ۱۴ و حداکثر ۳۵ درجه سلسیوس گزارش شد و مقدار r در دمای ۲۵ درجه سلسیوس برابر ۰/۲۴۰۰ بر روز ثبت شد (Daane et al., 2013) که با یافته‌های حاضر متفاوت است. این اختلاف می‌تواند به دلیل تفاوت دو گونه باشد. در مطالعه‌ای دامنه دمایی رشد و نمو زنبور *H. hebetor* بین ۱۸ تا ۳۸ درجه سلسیوس تعیین شد (Foroozan et al., 2008) درحالی‌که تحقیق حاضر این دامنه را بین ۱۸/۵ تا ۳۳ برآورد نمود که در دمای حداقل مشابه پژوهش فروزان و همکاران است. میر حسینی و همکاران ضمن تایید تفاوت بین مقادیر رشدی

²⁹ Maximum fitness³⁰ Warmer is better³¹ Total compensation³² Kinetic³³ Degree-Day

سن شکارگر *Nesidicoris tenuis* در دماهای آزمایشی و برآورد شده، اختلافی را بین نیازهای دمایی رشد بهینه در افراد نر و ماده ملاحظه نکردند (Mirhosseini et al., 2018). مطالعه دیگری دمای ۱۵ درجه سلسیوس را حداقل رشدی برای زنبور *H. hebetor* روی *A. keuhniella* تعیین کرده است و دماهای ۲۵ تا ۳۰ را دمای بهینه رشد و نمو زنبور دانسته است (Golizadeh et al., 2017).

از طرف دیگر مدل سازی دمایی ما نشان داد که تفاوت‌هایی بین دمای مشاهده شده با دمای برآورد مدل در به حداکثر رسیدن مقدار r به عنوان یکی از مهمترین پراسنجه‌های زیستی وجود داشت. بر اساس محاسبات، مقدار r در دمای ۲۷/۵ درجه سلسیوس به حداکثر خود رسید اما مدل‌ها حداکثر مقدار r را در دمای ۳۰ درجه سلسیوس پیش‌بینی کردند. بر اساس بررسی منابع متعدد مشخص شده است که به طور متوسط به ازای هر ۱ درجه سلسیوس کاهش در دمای بهینه، مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت بین ۸ تا ۱۲ درصد کاهش می‌یابد و با توجه به اینکه رشد جمعیت به صورت نمایی با مقدار r مرتبط است، این مقدار کاهش تاثیر بسیار زیادی روی پویایی جمعیت حشرات خواهد داشت (Frazier et al., 2006). بنا بر این، تعیین دقیق دمای بهینه یک حشره در مراکز تولید انبوه از نظر اقتصادی بسیار اهمیت دارد. در تایید اهمیت دما حتی در پژوهش‌های مربوط به جانوران خونگرم مشخص شد که سرعت حرکت گونه‌های مختلف مارمولک با افزایش دمای بدن از ۱۵ به ۴۰ درجه سلسیوس به شدت افزایش می‌یابد و هیچ الگوی مشخصی در واکنش این گونه‌ها نسبت به دمای پایین وجود ندارد. به عبارت دیگر رفتار گونه‌های بررسی شده نظریه "گرمتر بهتر است" را تایید می‌کند (Bennett, 1987).

به هر حال هنوز این سوال در بین بسیاری از پژوهشگران مطرح است که آیا کارایی حداکثر یک موجود وابسته به دمای بهینه آن است؟ حداکثر مقدار r تا چه دمایی در گونه‌های مختلف مشاهده می‌شود؟ برای پاسخ به این سوالات مدلی طراحی شد ($r \approx aM^{1/4}e^{E/KT}$) که در آن نرخ ذاتی افزایش جمعیت حاصل دخالت توده بدن (M)، ثابت (a)، متوسط انرژی مورد نیاز برای واکنش‌های مربوط به نرخ ذاتی (E)، ثابت بولتزمان (K) و دمای مطلق (T) بود (Angilletta et al., 2010). این پژوهشگران با بررسی داده‌های ۲۱ مقاله چاپ شده نتیجه گرفتند که به طور کلی جانوران سازگار با مناطق گرم از نظر نرخ ذاتی رشد بر انواع سازگار با مناطق سردسیری غلبه داشتند و بنابر این نظریه "گرمتر بهتر است" در بررسی آن‌ها نیز تایید شد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتیجه کلی از مطالعه ما روی مدل‌سازی دمایی نرخ ذاتی افزایش جمعیت با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از زنبور *H. hebetor* در ۶ دما نشان داد که دمای مطلوب به حداکثر رسیدن این صفت مهم زیستی برابر ۲۷/۵ درجه سلسیوس بود اما مدل‌های دمایی بریر-۲ و لکتین-۲ دمای بهینه را ۳۰ درجه سلسیوس تعیین کردند. بنا بر این، به‌کارگیری این مدل‌ها در برآورد دماهای بهینه برای به حداکثر رسیدن صفاتی مهمی مثل نرخ ذاتی افزایش جمعیت باید احتیاط کرد. از طرف دیگر برای تولید انبوه این زنبور، دمای ثابت ۲۷/۵ درجه سلسیوس باعث بالاترین نرخ رشد در جمعیت آن می‌شود که از نظر اقتصادی بسیار اهمیت دارد. به‌علاوه، در جایی که نیاز به نگهداری گونه‌ها و جمعیت‌های مادری این زنبور وجود دارد استفاده از دماهای پایین باید متناسب با میزان نیاز به برداشت از جمعیت در فواصل زمانی باشد تا ضمن تولید کافی، از کاهش تنوع ژنتیکی جمعیت‌ها جلوگیری شود.

References

- Abdi Bastami, F., Fathipor, Y. and Talebi, A. A. 2011.** Comparison of life table parameters of three populations of braconid wasp, *Habrobracon hebetor* (Hym.: Braconidae) on *Ephestia kuehniella* (Lep.: Pyralidae) in laboratory conditions. *Applied Entomology & Phytopathology*. 78: 153-176.
- 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.
- Angilletta M.J., Huey, R. B. and Frazier, M. R. 2010.** Thermodynamic effects on organismal performance: Is Hotter Better? *Physiological and Biochemical Zoology*. 83:197-206.
- Bennett A. F. 1987.** Evolution of the control of body temperature: is warmer better? In Dejours, P., Bolis, L., Taylor, C.R. and Weibel, E.R. (eds.): *Comparative Physiology: Life in Water and on Land*. Liviana, Padova. pp. 421-431.
- Benson, J. F. 1974.** Population Dynamics of *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) and *Ephestia cautella* (Walker) (Lepidoptera: Phycitidae) in a laboratory ecosystem. *Journal of Animal Ecology*. 43: 71-86.
- Birch, L. C. 1945a.** The influence of temperature on the development of the different stages of *Calandra oryzae* L. and *Rhizopertha dominica* Fab. (Coleoptera). *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.* 23: 29-35.
- Birch, L. C. 1945b.** The influence of temperature, humidity and density on the oviposition of the small strain of *Calandra oryzae* L. and *Rhizopertha dominica* Fab. *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.* 23: 197-203.
- Birch, L. C. 1945c.** The biotic potential of the small strain of *Calandra oryzae* and *Rhizopertha dominica*. *J. Anim. Ecol.* 2: 125-7.
- Birch, L. C. 1945d.** The mortality of the immature stages of *Calandra oryzae* L. (small strain) and *Rhizopertha dominica* Fab. in wheat of different moisture contents. *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.* 23: 141-145.
- Birch, L.C. 1948.** The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.* 17: 15-26.
- Chapman, R. N. 1931.** Animal ecology with especial reference to insects. McGraw-Hill Publications in the Zoological Sciences, New York, 211 pp.
- Chi, H. 1988.** Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environmental Entomology*. 17: 26-34.
- Chi, H. 2019.** TWSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. Available from: <http://140.120.197.173/Ecology/Download/TwoSEX-MSChart-exe-B100000.rar> (accessed 1 February 2019).
- Chi, H., and Liu, H. 1985.** Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*. 24: 225-240.
- Daane, K. M., Wang, X., Duerr, S. S., Kuhn, E. J., Son, Y. and Yokota, G. Y., 2013.** Biology of *Habrobracon gelechiae* (Hymenoptera: Braconidae), as a parasitoid of the oblique banded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*. 42: 107-115.
- Damos, P. and Savopoulou-Soultani, M. 2012.** Temperature-driven models for insect development and vital thermal requirements. *Psyche*. 2012: 1-13.
- Davenport, C. T. B. 1908.** *Experimental Morphology*. The Macmillan Company, New York, 488 pp.
- De Clercq, P. and Degheele, D. 1993.** Quality of predatory bugs of the genus *Podisus* (Heteroptera: Pentatomidae) reared on natural and artificial diets. In: Nicoli, G., Benuzzi, M. and Leppla, N.C. (eds.), *Proceedings of the 7th Workshop of the IOBC Global Working Group "Quality Control of Mass Reared Arthropods"*, IOBC, pp. 129-142.
- Eliopoulos, P. A. and Stathas, G. J. 2008.** Life tables of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Anagasta kuehniella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae): effect of host density. *J. Econ. Entomol.* 101:982-988.

- Farhad, A., Talebi, A. A. and Fathipour, Y. 2012.** Thermal Requirements of *Sitoibion avenae* (Hem.: phididae) and its parasitoid, *Proan volucre* (Hym.: Braconidae). Iranian J. of Plant Protection Sci. 43: 143-154.
- Foroozan, M., Sahragard, A. and Amir-Maafi, M. 2008.** Comparison of non-linear models for predicting developmental rate of different stages of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). Applied Entomology & Phytopathology. 76: 15-18.
- Frazier, M. R., Huey, R. B. and Berrigan, D. 2006.** Thermodynamics constrains the evolution of insect population growth rates: "Warmer Is Better". The American Naturalist. 168: 512-520.
- Golizadeh, A. and Zalucki, M. P. 2012.** Estimating temperature dependent developmental rates of potato tuber worm, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). Insect Science. 19: 609-620.
- Golizadeh, A., Alikhani, M., Hassanpour, M. and Enkegaard, A. 2017.** Comparative biology and life table of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on *Anagasta kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) at five constant temperatures. International Journal of Pest Management. 63: 1-7.
- Govindan, B. N. and Hutchison, W. D. 2020.** Influence of temperature on age-stage, two-sex life tables for a minnesota-acclimated population of the brown marmorated stink bug (*Halyomorpha halys*). Insects. 108: 1-23.
- Kontodimas, D. Ch. 2012.** Nonlinear models for describing development and fecundity of the pseudococcid predators *Nephus includens* and *Nephus bisignatus*. Entomologia Hellenica. 21: 13-24.
- Leslie, P. H. & Ranson, R. M. 1940.** The mortality, fertility and rate of natural increase of the vole (*Microtus agrestis*) as observed in the laboratory. J. Anim. Ecol. 9: 27-52.
- Martins, J. C., Picanço, M. C., Bacci, L., Guedes, R. N. C., Santana, P. A., Ferreira, D. O., Chediak, M. 2016.** Life table determination of thermal requirements of the tomato borer *Tuta absoluta*. J. Pest Sci., 89: 897-908.
- Mirhosseini M. A., Fathipour, Y. and Reddy G. V. P. 2017.** Arthropod development's response to temperature: a review and new software for modeling. Annals of the Entomological Society of America. 110: 507-520.
- Mirhosseini M. A., Fathipour, Y., Soufbaf, M. and Reddy G. V. P. 2018.** Thermal requirements and development response to constant temperatures by *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Miridae), and implications for biological control. Environmental Entomology. 47: 467-476.
- Mironidis, G.K. 2014.** Development, survivorship and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under fluctuating temperatures. Bull. Entomol. Res. 104: 751-764.
- Mohaghegh, J. and Amir-Maafi, M. 2007.** Reproduction of the predatory stinkbug *Andrallus spinidens* (F.) (Heteroptera: Pentatomidae) on live and frozen prey. Applied Entomology & Zoology. 42: 15-20.
- Payne, N. M. 1934.** The differential effect of environmental factors upon *Microbracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) and its host, *Ephestia kuhniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). Ecological Monographs. 4: 1-46.
- Réaumur, R. A. F.de 1736.** Mémoires pour servir à l'histoire des insectes. Tome second. Suite de l'histoire des chenilles & des papillons; Et l'histoire des insectes ennemis des chenilles. Imprimerie Royale, Paris, 728 pp. Available from: <https://ia800304.us.archive.org/30/items/traitdezoologi00rail/traitdezoologi00rail.pdf>.
- Rebaudo, F. and Rabhi, V. B. 2018.** Modeling temperature-dependent development rate and phenology in insects: review of major developments, challenges, and future directions. Entomologia Experimentalis et Applicata. 166: 1-11
- Shelford, V. E. 1929.** Laboratory and Field Ecology, Williams & Wikins Co., Baltimore, 608 pp.
- Tazerooni, Z., Talebi, A. A. and Rakhshani, E. 2012.** Effect of temperature on biological characteristics and population growth parameters of *Diaeretiella rapae*, parasitoid of Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia*. Iranian J. of Plant Protection Sci. 43: 83-95.

Thermal reaction of the intrinsic rate of population increase in *Habrobracon hebetor* (Say)

M. M. Montazeri¹, Sh. Goldasteh^{1*}, J. Shirazi², E. Sanatgar¹

1- Assistant professor, Department of Entomology, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Arak Branch, Arak, Iran

Abstract

The intrinsic rate of population increase (r) is one of the most important biological attributes of insects which is highly influenced by ambient temperature. In the present research, the response of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hym.: Braconidae) intrinsic rate of population increase reared on *Galleria mellonella* L. (Lep.: Pyralidae) larvae was evaluated at 6 different temperatures (20, 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5 °C), 65±5% RH and 16:8 h L:D. For each temperature 80 to 250 fresh eggs of the wasp were reared as a cohort. The r was calculated using TWOSEX-MSChart software and obtained values were fitted to Briere-2 and Lactin-2 thermal models. Results showed that r was 0.0387 day⁻¹ at 20 °C and increased to 0.0899 day⁻¹ at 22.5, almost 2.3 folds higher. However, it was 0.1120 day⁻¹ at 25 °C which only elevated 1.3 folds compared to that at 22.5 °C. Nevertheless, the intrinsic rate of population increase of *H. hebetor* reached to its maximum value at 27.5 °C (0.2001 day⁻¹), though, it decreased about 7.5 and 10% at 30 and 32.5 °C, respectively. Thermal modelling proved that calculated values of r were almost identical to estimated ones only at low temperatures (20 and 22.5 °C). In contrast, both models estimated *H. hebetor* intrinsic rate of population increase significantly lower compared with calculated ones at higher temperatures. Despite what was observed by calculations, Briere-2 and Lactin-2 models recorded the maximum r at 30 °C to be 0.1918 and 0.1922 day⁻¹, respectively. It is recommended to consider insects' life parameters estimations of thermal models along with real values.

Keywords: Temperatures, Intrinsic rate of population increase, Thermal models, *Habrobracon hebetor*.