

## نیازهای گرمایی شته *Sitobion avenae* (Hem.: Aphididae) و زنبور

### پارازیتوئید

#### *Praon volucre* (Hym.: Braconidae)

افروز فرهاد<sup>۱</sup>، علی اصغر طالبی<sup>۲\*</sup> و یعقوب فتحی پور<sup>۳</sup>  
۱، ۲، ۳ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس  
(تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۵ - تاریخ تصویب: ۹۱/۳/۳۰)

### چکیده

شته غلات *Sitobion avenae* (F.) (Hemiptera: Aphididae) یکی از آفات مهم گندم و زنبور *Praon volucre* (Hymenoptera: Braconidae) یکی از پارازیتوئیدهای اصلی این شته در ایران است. در این تحقیق، نیازهای گرمایی شته غلات و پارازیتوئید آن در ۶ دمای ثابت (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۲۷/۵ و ۳۰ درجه سلسیوس)، رطوبت نسبی  $5 \pm 60\%$  درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، روی گندم (رقم پشتاز) مورد ارزیابی قرار گرفت. طول دوره نابالغ شته از ۲۵/۴۶ روز در ۱۰ درجه سلسیوس به ۸/۴۸ روز در ۲۵ درجه سلسیوس کاهش یافت. طول دوره نابالغ پارازیتوئید با افزایش دامنه دمایی از ۱۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس به طور معنی داری کاهش پیدا کرد. رابطه بین دما و نرخ رشد در *S. avenae* و *P. volucre* با استفاده از مدل‌های خطی و غیر خطی تعیین شد. براساس تخمین مدل خطی آستانه پایین دمای رشد و نمو برای شته غلات و زنبور *P. volucre* به ترتیب ۲/۷ و ۴/۳ درجه سلسیوس برآورد شد. ثابت گرمایی نیز برای شته غلات و پارازیتوئید آن به ترتیب ۱۷۶/۶ و ۲۸۴/۰۹ روز-درجه برآورد شد. از بین مدل‌های غیرخطی و خطی مورد بررسی مدل Analytis-3 برازش داده شده با نرخ رشد و نمو شته و مدل‌های Logan-6 و Logan-10 برازش داده شده با نرخ رشد و نمو زنبور، از نظر آماری دارای بیشترین مقدار  $R^2_{adj}$  و کمترین مقدار  $SSE$  و  $AIC$  بودند.

**واژه‌های کلیدی:** *Sitobion avenae*، *Praon volucre*، آستانه پایین نمو، ثابت گرمایی.

### مقدمه

و حدود ۴۰۰ گونه شناخته شده دارند که همه گونه های آن پارازیتوئید داخلی انفرادی شته‌ها هستند (Strydom, 1989). جنس *Praon* Haliday یکی از بزرگترین جنس‌ها با بیش از ۵۰ گونه توصیف شده در سراسر جهان است (Kavallieratos et al., 2005). زنبور *Praon volucre* Haliday به عنوان یکی از پارازیتوئیدهای مهم شته *S. avenae* در ایران شناخته شده است (Rakhshani et al., 2008). دما مهمترین عامل غیر زنده تأثیرگذار روی فعالیت‌های زیستی بندپایان است. برای اغلب این

شته غلات، *Sitobion avenae* (F.) (Hemiptera: Aphididae) یکی از آفات گندم است که نه تنها با تغذیه از شیر گیاهی بلکه با انتقال ویروس‌های بیماری زا باعث خسارت اقتصادی می شود (Leclercq-Le Quilicq et al., 1995). شته‌های غلات توسط تعداد زیادی از دشمنان طبیعی مورد حمله قرار می‌گیرند (Naeem et al., 2002) که در این میان پارازیتوئیدها نقش مهمتری بر عهده دارند (Strydom, 1970). زیرخانواده Braconidae بیش از ۵۵ جنس

فعالیت‌ها، آستانه‌های دمای پایین و بالا و دمای بهینه قابل تخمین است (Roy et al., 2002).

زمان لازم برای تغییر از یک مرحله زیستی به مرحله بعد دوره رشد و نمو (Development time) و معکوس این مدت زمان بیان کننده سرعت رشد و نمو (Development rate) نامیده می‌شود (Cossins & Bowler, 1987). مقدار دمای لازم برای عبور از یک مرحله زیستی و ورود به یک مرحله زیستی دیگر ثابت گرمایی (K) است که با واحد روز-درجه (Degree Day) بیان می‌شود. به طور کلی نرخ رشد حشرات و موجودات خونسرد به تغییرات دما وابسته است (Andrewartha & Brich, 1954). رابطه بین دما و نرخ رشد در اکثر دامنه‌هایی که حشرات در معرض آن هستند به صورت خطی است. این ارتباط در دماهای بالا و دماهای نزدیک به آستانه رشد (دمایی که در پایین‌تر از آن هیچ گونه رشد قابل اندازه‌گیری مشاهده نمی‌شود) به صورت غیرخطی است (Wagner et al., 1984).

در واقع مقدار نرخ رشد در آستانه دمای پایین صفر است و به تدریج با افزایش دما افزایش یافته و به بیشترین مقدار خود در دمای بهینه می‌رسد. سپس با افزایش دما در آستانه بالای دمایی به سرعت کاهش می‌یابد (Roy et al., 2002). برای تفسیر رابطه بین نرخ رشد حشرات و دما، مدل‌های خطی و غیرخطی متعددی توسط محققین مختلف ارائه شده است. آگاهی از نیازهای گرمایی حشرات برای پیش‌بینی زمان ظهور و نوسانات فصلی آنها مفید است. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های خطی و غیرخطی، الگوی رشد و نمو وابسته به دما برای شته غلات *S. avenae* و زنبور پارازیتوئید آن *P. volucre* توصیف شد و آستانه‌های دمایی پایین و بالا و دمای بهینه رشد و نمو برای نمو آنها در دماهای مختلف برآورد شد.

## مواد و روش‌ها

### تهیه کلنی

به منظور تهیه کلنی شته، برگ‌های آلوده به شته *S. avenae* از مزرعه گندم واقع در محوطه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در تهران (35° 43' N, 51° 8' E, 1215 m) در پاییز ۱۳۸۸ جمع‌آوری و به

آزمایشگاه منتقل شد. سپس شته‌ها روی بوته‌های گندم که داخل گلدان‌هایی به قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۹ سانتی‌متر کاشته شده بودند و با طلق‌های استوانه‌ای به قطر ۱۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر پوشانده شده بودند رهاسازی شدند. به منظور تهیه مناسب منافذی روی طلق‌ها ایجاد شده و با پارچه توری ریزبافت پوشانده شد.

گلدان‌های حاوی شته در دمای  $25 \pm 1$  درجه سلسیوس، دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی  $60 \pm 5$  درصد دو نسل نگهداری شدند. به منظور تهیه کلنی زنبور پارازیتوئید *P. volucre* شته‌های مومیایی شده از مزرعه گندم واقع در محوطه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در اردیبهشت ماه ۱۳۸۹ جمع‌آوری و به منظور اطمینان از عدم وجود هیپوپارازیتوئیدها درون پتری و در اتاق رشد (دمای  $25 \pm 0.5$  درجه سلسیوس دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و رطوبت نسبی  $60 \pm 5$  درصد) نگهداری شدند.

پس از خروج زنبورها و شناسایی زنبور پارازیتوئید *P. volucre*، برای ایجاد نسل آزمایشگاهی، زنبورها به گلدان‌های آلوده به شته منتقل شدند. برای تغذیه زنبور یک تکه نوارچسب روی کاغذ چسبانده شد و یک لایه نازک آب و عسل ۲۰ درصد روی آن کشیده شد و در اختیار زنبورها قرار گرفت.

### بررسی رابطه بین نرخ رشد و نمو شته غلات و

### پارازیتوئید آن و دما

#### شته *S. avenae*

به منظور انجام این آزمایش ۲۵۰ عدد شته بالغ که یک نسل را در شرایط آزمایش سپری کرده بودند، توسط قلم موی ریز روی نهال‌های دوبرگی گندم کاشته شده درون میکروتیوب به طور جداگانه مستقر شدند. پس از ۱۲ ساعت، حشرات بالغ و تمام نتاج تولید شده به جز یکی از نتاج حذف شد و روزانه مورد بازدید قرار گرفتند. آزمایش تا زمان بلوغ آخرین فرد ادامه پیدا کرد و نتایج حاصل (طول دوره رشد و نمو) ثبت شد. این آزمایش در دماهای ( $10, 15, 20, 25, 30, 32/5$ ) درجه سلسیوس رطوبت نسبی  $60 \pm 5$  درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد.

در این معادله  $D$  دوره رشد و نمو،  $T$  دما،  $K$  ثابت گرمایی (عرض از مبدا) و  $T_0$  آستانه پائین رشد (شیب خط) می‌باشد.

با استفاده از مدل‌های غیرخطی دماهای بهینه، بیشینه و کمینه رشد و نمو برآورد شد. مدل‌های غیرخطی که برای تفسیر رابطه بین نرخ رشد و نمو دما مورد استفاده قرار گرفتند در جدول ۳ نشان داده شده‌است. تجزیه و تحلیل و تخمین پارامترهای مدل‌های غیرخطی مورد استفاده با استفاده از نرم افزار JMP v.7 (SAS, 1989) انجام شد. ارزیابی کارایی هر یک از مدل‌ها براساس شاخص‌های آماری، ضریب تبیین اصلاح شده ( $R^2_{adj}$ )، ( $SSE$ ) و ضریب Akaike ( $AIC$ ) انجام شد. ضریب Akaike میزان انطباق را مستقل از تعداد پارامترهای مدل اندازه‌گیری می‌نماید (Akaike, 1974).

$$AIC = n \ln \left( \frac{SSE}{n} \right) + 2p$$

$n$  بیانگر تعداد مشاهدات،  $p$  تعداد پارامترهای مدل و  $SSE$  مجموع مربعات خطا می‌باشد.

برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

## نتایج و بحث

### رابطه نرخ رشد و نمو با دما

#### مدل‌های خطی

بر اساس نتایج بدست آمده میانگین دوره نابالغ شته از دمای ۱۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس کاهش پیدا کرد و در ۳۰ درجه سلسیوس افزایش یافت (جدول ۱). شته‌های نگهداری شده در دمای ۳۲/۵ درجه سلسیوس قادر به نمو نبودند.

معادله خطی در این تحقیق با استفاده از مدل رگرسیون خطی برای شته به صورت  $Y = -0.153 + 0.0566x$  بدست آمد. از طریق این معادله آستانه پایین رشد و نمو و ثابت گرمایی شته به ترتیب ۲/۷ درجه سلسیوس و ۱۷۶/۶ روز-درجه تخمین زده شد. در مدل خطی Ikemoto and Takai آستانه پایین رشد و نمو ۴/۰۳ و ثابت گرمایی ۱۵۹ روز-درجه برآورد شد. پایین‌تر بودن مقدار  $R^2$  در مدل Ikemoto and Takai نشان دهنده دقت پایین‌تر این مدل نسبت

## زنبور volucre

این آزمایش در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۲۷/۵ ( $\pm 0.5$ ) درجه سلسیوس رطوبت نسبی  $60 \pm 5$  درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انجام شد. بدین منظور تعدادی پوره سن ۲ شته *S. avenae* که مرحله مرجح برای زنبور پارازیتوئید می‌باشد، به مدت ۱۲ ساعت در معرض زنبورهای ماده جفتگیری کرده که به شرایط آزمایش سازگار شده بودند و حداکثر ۲۴ ساعت از عمر آنها گذشته بود قرار دادند. بعد از طی این مدت زنبورها را خارج کرده و شته‌ها روی بوته‌های گندم در شرایط آزمایش نگهداری شدند. شته‌ها روزانه مورد بازدید قرار گرفتند و مومیایی‌های تشکیل شده در هر روز از بوته گندم جدا و در لوله آزمایش در ژرمیناتور نگهداری شدند. مومیایی‌ها نیز روزانه مورد بازدید قرار گرفته و زمان خروج حشرات کامل یادداشت شد. تعداد افراد مورد بررسی در این آزمایش در کلیه دماها ۱۰۰ عدد بود.

پس از محاسبه دوره رشد و نمو قبل از بلوغ برای هر دما، با معکوس کردن این دوره، سرعت نمو محاسبه شد. برای بررسی رابطه خطی بین دما و سرعت رشد و نمو تعیین آستانه دمایی پایین و ثابت گرمایی از دو مدل رگرسیون خطی معمولی (روز-درجه) و مدل خطی Ikemoto and Takai و نرم‌افزار Minitab v.15 استفاده شد. در بررسی رابطه خطی بین دما و سرعت نمو فقط دماهایی که در محدوده بخش خطی قرار داشتند مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از این دو روش، آستانه دمایی پایین و ثابت گرمایی تعیین شد (Campbell et al., 1974; Ikemoto & Takai, 2000):

$$DR = a + bT$$

$$T_0 = -\frac{a}{b}$$

$$K = \frac{1}{b}$$

در این معادله  $T$  دما،  $DT$  نرخ رشد،  $a$  عرض از مبدا،  $b$  شیب خط،  $T_0$  آستانه پایینی رشد و نمو (محل تلاقی خط رگرسیون با محور  $x$ ) و  $K$  ثابت گرمایی می‌باشد.

$$D \times T = K + T_0 \times D$$

به مدل خطی معمولی در تخمین آستانه پایین نمو و ثابت گرمایی است.

جدول ۱- مدت زمان رشد و نمو و نرخ رشد و نمو *Sitobion avenae* و *Praon volucre* در دماهای مورد بررسی

نرخ نمو		دوره رشد قبل از بلوغ (روز)		دما (°C)
<i>S. avenae</i>	<i>P. volucre</i>	<i>S. avenae</i>	<i>P. volucre</i>	
۰/۰۳۹۲۶۷	۰/۰۲۳۶۳۶	۲۵/۴۶۶۶۷+۰/۱۴a	۴۲/۳۰۸۵۱+۰/۳a	۱۰
۰/۰۷۰۵۹۴	۰/۰۲۹۹۷۸	۱۴/۱۶۵۵۶+۰/۱۶b	۳۳/۳۵۸۰۲+۰/۲۹b	۱۵
۰/۰۹۴۴۵۶	۰/۰۵۴۹۵۳	۱۰/۵۸۷+۰/۲۴c	۱۸/۱۹۷۵۳+۰/۲۶c	۲۰
۰/۱۱۷۸۵۷	۰/۰۷۳۳۳۳	۸/۴۸۵±۰/۲d	۱۳/۶۳۶۳۶+۰/۳d	۲۵
۰/۱۱۱۱۱۱	ND	۹±۰/۵۳d	۱۵/۴+۰/۱۹e	۲۷/۵
ND	ND	ND*	ND	۳۰
				۳۲/۵

حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار است (SNK,  $P < 0.05$ ). \* حشرات قادر به نمو تا مرحله بالغ نبودند.

در حالی که در مدل خطی Ikemoto and Takai دمای آستانه پایین نمو ۴/۲۳ و ثابت گرمایی ۲۹۲ روز-درجه تخمین زده شد. مقدار  $R^2$  در مدل Ikemoto and Takai بسیار کمتر از مدل خطی معمولی بود. نتایج حاصل از ارزیابی شبیه‌سازی رشد و نمو شته *S. avenae* و زنبور *P. volucre* در جدول ۲ نشان ارائه شده است.

سرعت رشد و نمو زنبور *P. volucre* با افزایش دما تا ۲۵ درجه سلسیوس به صورت خطی افزایش پیدا کرد. بر اساس نتیجه تجزیه مدل‌های خطی، در مدل رگرسیون خطی معمولی ( $Y = -0.154 + 0.0352x$ ) دمای آستانه پایین رشد و نمو ۴/۳۷ درجه سلسیوس و ثابت گرمایی ۲۸۴/۰۹ روز-درجه تخمین زده شد.

جدول ۲- برآورد دمای آستانه پایین نمو ( $T_0$ ) و ثابت گرمایی (DD) شته *Sitobion avenae* و زنبور *Praon volucre* توسط مدل‌های خطی

حشره	روش	معادله	$R^2_{adj}$	P	ثابت گرمایی	دمای آستانه پایین نمو
<i>S. avenae</i>	Common	$Y = -0.153 + 0.0566X$	۰/۸	<۰/۰۱	۱۷۶/۶	۲/۷
	Ikemoto	$Y = 159 + 4.03X$	۰/۵۴	<۰/۰۱	۱۵۹	۴/۰۳
<i>P. volucre</i>	Common	$Y = -0.154 + 0.0352X$	۰/۸۵	<۰/۰۱	۲۸۴/۰۹	۴/۳۷
	Ikemoto	$Y = 292 + 4.23X$	۰/۵۴	<۰/۰۱	۲۹۲	۴/۲۳

اکثر نتایج بدست آمده در سایر تحقیقات، آستانه پایین دمایی محاسبه شده با استفاده از رگرسیون خطی معمولی مورد نیاز برای شته *S. avenae* بیشتر و ثابت گرمایی کمتر از نتیجه حاصل از تحقیق حاضر بود. این مطلب نشان دهنده تحمل بیشتر جمعیت مورد آزمایش در تحقیق حاضر به دمای پایین نسبت به سایر جمعیت‌های گزارش شده است Kieckhefer & Elliot (1989) آستانه پایین رشد *D. noxia* را ۴/۱ درجه سلسیوس و ثابت گرمایی مورد نیاز برای شته‌های بی‌بال و بالدار را به ترتیب ۱۳۹ و ۱۵۸ روز-درجه گزارش کردند. آستانه پایین رشد برای زنبور *P. volucre* روی شته *M. dirhodum* توسط Alich et al. (2007) ۵/۴۳ و ثابت گرمایی ۲۵۶/۱۶ روز-درجه برآورد شد.

با توجه به کمتر بودن دمای آستانه پایین نمو شته *S. avenae* نسبت به زنبور *P. volucre* برآورد شده توسط مدل رگرسیون خطی معمولی، می‌توان انتظار داشت که فعالیت شته *S. avenae* در ابتدای فصل زودتر از زنبور *P. volucre* شروع شود. Kieckhefer et al. (1989) و Dean (1974) آستانه پایین دما را در شته *S. avenae* با استفاده از مدل رگرسیون خطی معمولی ۴ درجه سلسیوس برآورد نمودند. ثابت گرمایی برای شته‌های بالدار ۱۵۰/۸ روز-درجه و برای شته‌های بی‌بال ۱۳۶/۸ روز-درجه برآورد شد. Lykouressis (1985) نیز آستانه پایین دمای *S. avenae* را ۳/۶ درجه سلسیوس و ثابت گرمایی مورد نیاز برای افراد بالدار و بی‌بال را به ترتیب ۱۴۲ و ۱۳۳ روز-درجه برآورد کرد. در مقایسه با

گرمایی برای این دو مرحله را به ترتیب ۱۵۹ و ۷۳ روز- درجه اعلام کرد. آستانه پایین دمایی برای این دو مرحله *P. volucre* به ترتیب ۳/۸ و ۵/۵ گزارش شد. دما فاکتور تاثیرگذاری روی نمو پارازیتوئید و شته میزبان آن است (Campbell et al., 1974). همچنین تفاوت در بین جمعیت‌ها نیز می‌تواند یکی از موارد تأثیر گذار باشد. چنانکه زنبورهای *D. rapae* جمع‌آوری شده از امریکا نسبت به گونه مشابه جمع‌آوری شده از کانادا به دمای بیشتری برای نمو احتیاج دارند. طبق نظر Sigsgaard (2000) اختلاف در آستانه رشد یک پارازیتوئید در مناطق مختلف را می‌توان به نوع میزبان‌هایی که در اختیار پارازیتوئیدها هستند ارتباط داد.

### مدل‌های غیرخطی

پارامترهای برآورد شده شته *S. avenae* در دماهای مختلف با استفاده از مدل‌های غیرخطی در جدول ۳ نمایش داده شده اند. از بین ۸ مدل برازش داده شده (جدول ۴) با نرخ رشد شته مدل‌های Analytis-3، Briere-2، Logan-10 و Briere-1 به ترتیب دارای بیشترین مقدار  $R^2_{adj}$  و کمترین مقدار  $SSE$  و  $AIC$  بودند، و دمای بهینه را در محدوده ۲۷ تا ۲۷/۸ درجه سلسیوس برآورد کردند.

Vorley (1986) آستانه پایین رشد زنبور *A. rhopalosiphum* را روی شته *S. avenae* برابر با ۵ درجه سلسیوس و ثابت گرمایی را ۱۷۶ روز-درجه محاسبه کرد. Campbell et al. (1974) این آستانه را برای زنبور *P. pequodorum* Viereck روی شته *A. pisum* برابر با ۶/۹ درجه سلسیوس و ثابت گرمایی را ۱۹۹ روز-درجه ذکر نموده‌اند. Krepsi et al. (1997) ثابت گرمایی زنبور *A. rhopalosiphum* را روی شته *S. avenae* ۲۸۴/۶ روز-درجه بدست آوردند. طبق بررسی انجام شده توسط Sigsgaard (2000) ثابت گرمایی مورد نیاز برای رشد *P. volucre* و *A. rhopalosiphum* روی شته *S. avenae* به ترتیب ۲۷۶ و ۱۹۴ روز-درجه تخمین زده شد، که نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج وی تا حدودی مطابقت دارد. آستانه پایین دما و ثابت گرمایی مورد نیاز زنبور *P. near occidentale* روی *M. euphorbiae* با استفاده از مدل رگرسیون خطی معمولی به ترتیب ۸/۵۸ درجه سلسیوس و ۲۳۵/۸۴ روز-درجه تعیین شده است (Arias et al., 2009). Sigsgaard (2000) آستانه پایین دمای مورد نیاز برای رسیدن تخم به مرحله شفیرگی و شفیره تا ظهور حشره کامل زنبور *A. ervi* را روی شته *S. avenae* به ترتیب ۲/۲ و ۶/۶ درجه سلسیوس و ثابت

جدول ۳- مدل‌های غیرخطی برازش داده شده با نرخ نمو شته *Sitobion avenae* و زنبور *Praon volucre* به عنوان تابعی از دما (°C)

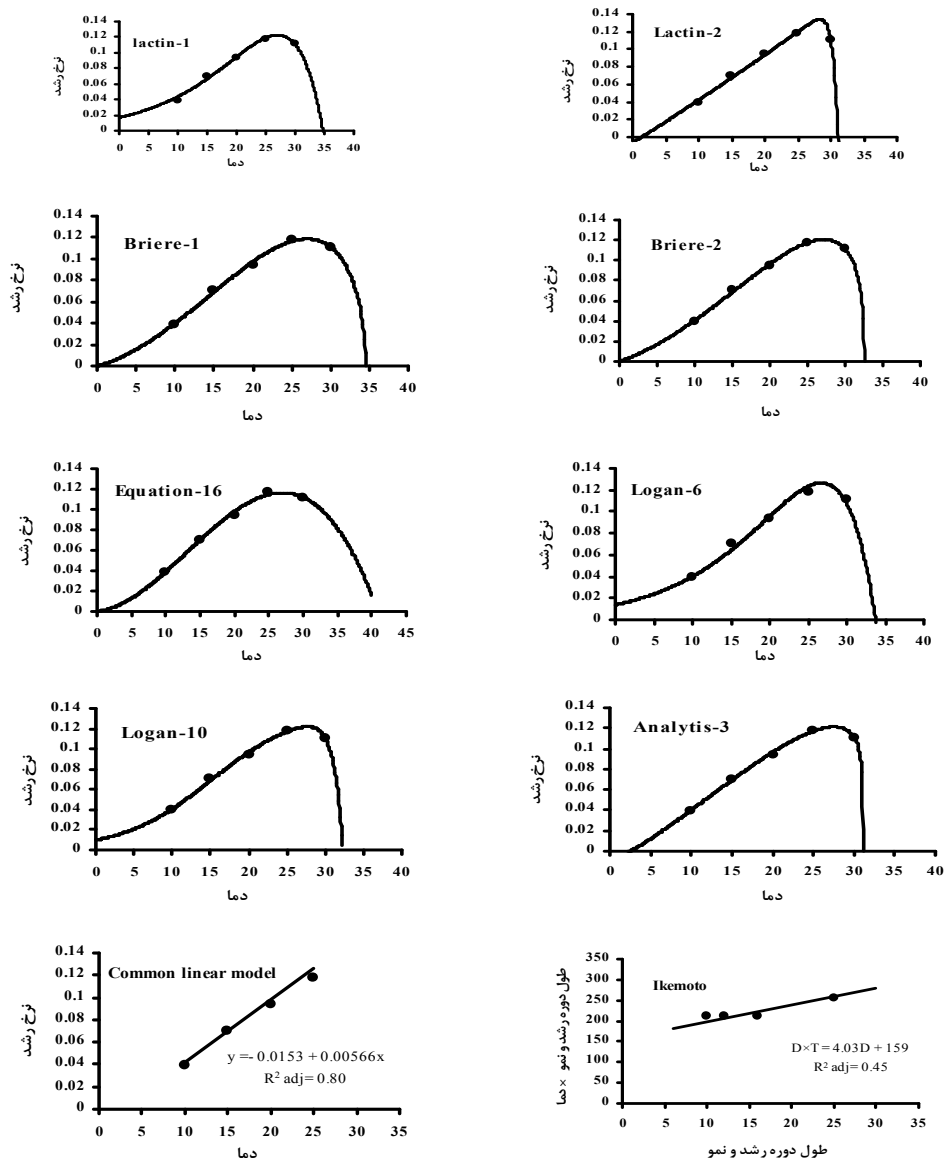
منبع	معادله	مدل
Lactin et al. (1995)	$r(T) = e^{\rho T} - e^{\left(\rho T_{\max} - \frac{T_{\max} - T}{\Delta_T}\right)}$	Logan-6/Lactin-1
Lactin et al. (1995)	$r(T) = e^{\rho T} - e^{\left(\rho T_{\max} - \frac{T_{\max} - T}{\Delta_T}\right)} + \lambda$	Logan-6/Lactin-2
Analytis (1977)	$r(T) = a(T - T_{\min})^n (T_{\max} - T)^m$	Analytis-3
Briere et al. (1999)	$r(T) = aT (T - T_{\min}) (T_{\max} - T)^{\frac{1}{2}}$	Analytis-3/Briere-1
Briere et al. (1999)	$r(T) = aT (T - T_{\min}) (T_{\max} - T)^{\frac{1}{2}}$	Analytis-3/Briere-2
Kontodimas (2004)	$r(T) = a(T - T_{\min})^2 (T_{\max} - T)$	Analytis-3/Kontodimas (Equation-16)
Logan et al. (1976)	$r(T) = \psi \left[ e^{\rho T} - e^{(\rho T_{\max} - \tau)} \right], \quad \tau = \frac{T_{\max} - T}{\Delta_T}$	Logan-6
Logan et al. (1976)	$r(T) = a \left[ \frac{1}{1 + Ke^{-\rho T}} - e^{-\tau} \right], \quad \tau = \frac{T_{\max} - T}{\Delta_T}$	Logan-10

انتخاب شوند. در مجموع مدل Analytis-3 به دلیل دقت بالاتر نسبت به سایر مدل‌ها و تخمین عدد ۳۱/۰۸ درجه سلسیوس به عنوان دمای بیشینه و ۲/۳۶ درجه سلسیوس به عنوان آستانه دمای پایین (که به مقدار

مدل‌های Briere-1 و Briere-2 دمای بیشینه را به ترتیب ۳۴/۵، ۳۲/۴ برآورد کردند، با توجه به اینکه شته-ها در دمای ۳۲/۵ درجه سلسیوس قادر به نمو نبودند، این دو مدل نمی‌توانند به عنوان مدل‌های مناسبی

برآورد شده توسط مدل رگرسیون خطی معمولی نزدیک بود) به عنوان بهترین مدل برگزیده شد. نرخ رشد شسته

برآورد شده توسط مدل رگرسیون خطی معمولی نزدیک بود) به عنوان بهترین مدل برگزیده شد. نرخ رشد شسته



شکل ۱- نرخ نمو وابسته به دمای مشاهده شده برای شته *Sitobion avenae* (نقاط) و مدل‌های خطی و غیرخطی برازش داده شده با آن (خطوط)

ترتیب ۲۵/۲ و ۳۳/۶ درجه سلسیوس و برای افراد بی‌بال به ترتیب ۲۷ و ۳۵/۹ و برای هر دو فرم به ترتیب ۲۶/۱ و ۳۵/۳ درجه سلسیوس برآورد شد (Diaz et al., 2007). Jandricic et al. (2010) دمای بهینه، کمینه و بیشینه مورد نیاز برای *A. solani* را توسط مدل Lactin-2 به ترتیب ۲۵/۵، ۴ (حدود ۱ درجه سلسیوس بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده توسط رگرسیون خطی معمولی) و

(1989) Kieckhefer et al. با استفاده از مدل Taylor (1979) دمای بهینه برای رشد *S. avenae* را ۲۴/۶ گزارش کرد. مدل Lactin-2 آستانه پایین دمای مورد نیاز برای شته‌های بالدار و بی‌بال *N. ribisnigri* را به ترتیب ۵/۳ و ۲/۳ درجه سلسیوس و ۱/۹ درجه سلسیوس برای هر دو فرم بالدار و بی‌بال برآورد کرد. دمای بهینه و بیشینه برای افراد بالدار توسط این مدل به

دادند هنگامی که شته سبز هلو در شرایطی با نوسان دمایی نگهداری شود بیشترین مقدار دمای بیشینه را خواهد داشت.

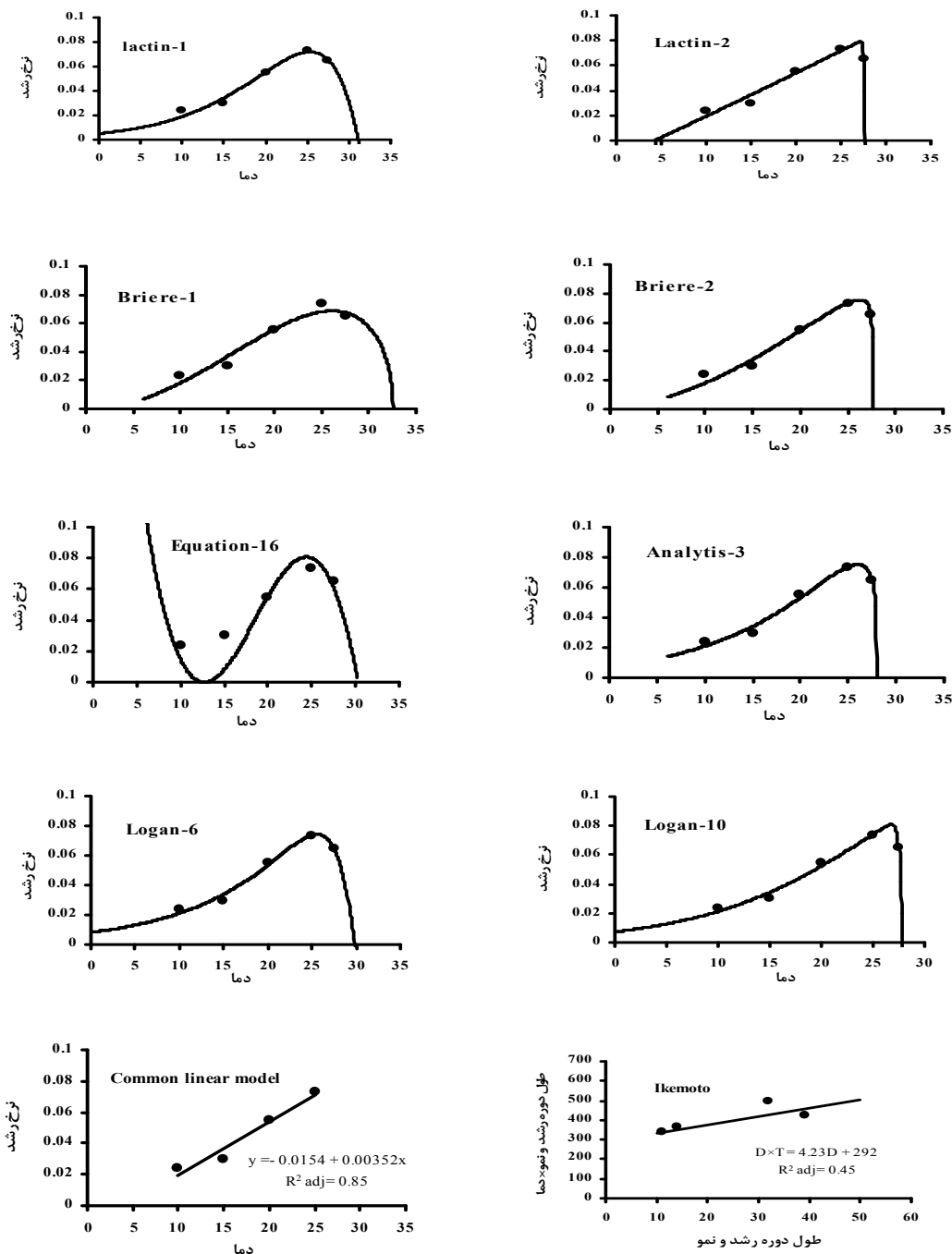
۳۵ درجه سلسیوس برآورد کردند. در تحقیق اخیر مدل Lactin-1 دمای بیشینه را ۳۴/۹۷ و دمای بهینه را ۲۷ درجه سلسیوس برآورد کرد. Davis et al. (2006) نشان

جدول ۴- میزان انطباق و تخمین پارامترهای مدل‌های غیرخطی برازش داده شده با نرخ نمو شته *S. avenae*

مدل‌های مورد استفاده		پارامترهای محاسبه شده		نکوبی برازش مدل با داده ها
پارامتر	مقدار برآورد شده (دامنه)	پارامتر	مقدار برآورد شده	
<b>Logan-6/Lactin-1</b>	$T_{max}$	$SSE$	۳۴/۷۵۳۸۹ (۲۰/۲۳۱۴-۶۰/۶۹۴۳)	۳/۷۵e-۵
	$T_{opt}$	$R^2$	۲۷	۰/۹۹
	$A$	$R^2_{adj}$	۷/۷۲۱۲۹۹ (۵/۳۰۴۳-۱۵/۹۱۲۹)	۰/۹۸
	$\rho$	$AIC$	۰/۱۲۹۰۲۶ (۰/۰۴۶۸-۰/۱۴۰۴۵)	-۵۵/۰۰۱
<b>Logan-6/Lactin-2</b>	$T_{max}$	$SSE$	۳۲/۵۸۰۵ (۱۵/۵-۴۶/۵)	۰/۰۰۰۰۲۳
	$T_{opt}$	$R^2$	۲۸/۴	۰/۹۹
	$A$	$R^2_{adj}$	۰/۷۴۰۸۰۵ (۰/۰۱۰۰۷-۱/۰۳۰۲)	۰/۹۹
	$\rho$	$AIC$	۰/۰۰۴۷۷۱ (۰/۰۰۱۴-۰/۰۰۴۳)	-۵۷/۳۸
	$\lambda$		-۱/۰۰۶۹۱ (-۱/۵۱- -۰/۵۰۳۵)	
<b>Analytis-3</b>	$T_{min}$	$SSE$	۲/۳۶۷۷۵۷۸۸۱ (۱/۱۸۳۸-۳/۵۵۱۶)	۶/۶۵e-۰۶
	$T_{max}$	$R^2$	۳۱/۰۸۸۶۱۵۴ (۱۵/۵۴۴۳-۴۶/۶۳۲۹)	۰/۹۹
	$T_{opt}$	$R^2_{adj}$	۲۷/۵	۰/۹۹
	$a$	$AIC$	۰/۰۰۲۱۶۱۵۸ (۰/۰۰۱۰۸-۰/۰۰۳۲)	-۶۳/۶۴
	$m$		۰/۱۶۶۴۹۲۸۰۳ (۰/۰۸۳۲-۰/۲۴۹۷)	
$n$		۱/۱۸۲۴۶۴۳۲۵ (۰/۵۹۱۲-۱/۷۷۳۷)		
<b>Analytis-3/Briere-1</b>	$T_{max}$	$SSE$	۳۴/۵۳۲۹۱ (۲۳/۲۵۸۴-۶۹/۷۷۵۲)	۱/۲۳e-۰۵
	$T_{min}$	$R^2$	-۷/۰۱۷۲ (-۱۰/۵۹- -۳/۵۰)	۰/۹۹
	$T_{opt}$	$R^2_{adj}$	۲۷	۰/۹۹
	$a$	$AIC$	۴/۷۱e-۰۵ (۰/۰۰۰۰۰۳-۰/۰۰۰۰۱)	-۶۰/۵۵
<b>Analytis-3/Briere-2</b>	$T_{max}$	$SSE$	۳۲/۴۸۳۳۲ (۱۶/۲۴-۴۸/۷۲)	۱/۰۳e-۰۵
	$T_{min}$	$R^2$	-۱۲/۶۷۰۳ (-۲۲/۶۲- -۷/۵۴۰۱)	۰/۹۹
	$T_{opt}$	$R^2_{adj}$	۲۷/۲	۰/۹۹
	$a$	$AIC$	۶/۴۵e-۰۵ (۰/۰۰۰۰۳-۰/۰۰۰۰۱)	-۶۱/۴۳
	$n$		۳/۰۵۶۵۰۴ (۱/۵۲۹۵-۴/۵۸۸۷)	
<b>Analytis-3/Kontodimas (Equation-16)</b>	$T_{max}$	$SSE$	۴۰/۸۷۲۴۱ (۲۰/۴۳۶۲-۶۱/۳۰۸۶)	۲/۳۴e-۰۵
	$T_{min}$	$R^2$	-۰/۷۱۷۹۲ (-۱/۰۷۶۹- -۰/۳۵۹)	۰/۹۹
	$T_{opt}$	$R^2_{adj}$	۲۷	۰/۹۹
	$a$	$AIC$	۱/۰۹e-۰۵ (۰/۰۰۰۰۰۵-۰/۰۰۰۰۱)	-۵۷/۳۴
<b>Logan-6</b>	$T_{opt}$	$SSE$	۲۶/۷	۷/۲۲e-۰۵
	$T_{max}$	$R^2$	۳۳/۷۵۱۳۶ (۲۰/۳۳۹-۶۱/۰۱۷)	۰/۹۸
	$\Psi$	$R^2_{adj}$	۲/۰۱۴۷۳۵ (۱/۰۹۸-۳/۲۹۵۰)	۰/۹۷
	$\rho$	$AIC$	۰/۱۴۱۷۳۸ (۰/۰۰۶-۰/۱۹۳۷)	-۵۱/۷۲
	$\Delta_T$		۷/۰۴۵۲۱۱ (۴/۹۲۹۲-۱۴/۷۸۷۶)	
<b>Logan-10</b>	$T_{opt}$	$SSE$	۲۷/۸	۰/۰۰۰۰۱۱
	$T_{max}$	$R^2$	۳۲/۳۹۹۴۸ (۱۶/۱۹۹۷-۴۸/۵۹۹۲)	۰/۹۹
	$A$	$R^2_{adj}$	۰/۱۳۹۴۲۶ (۰/۰۶۹۷-۰/۲۰۹۱)	۰/۹۹
	$K$	$AIC$	۱۳/۵۲۰۷۵ (۶/۷۶۰۳-۲۰/۲۸۱۱)	-۶۰/۷۵
	$\rho$		۰/۱۷۰۸۴۸ (۰/۰۸۵۴-۰/۲۵۶۲)	
	$\Delta_T$		۱/۱۶۹۲۸۳ (۰/۵۸۴۶-۱/۷۵۳۹)	

برآورد شده برای مدل‌های غیرخطی در جدول ۵ نشان داده شده‌اند.

نرخ رشد زنبور *P. volucre* برازش داده شده با هشت مدل غیرخطی و دو مدل خطی در شکل ۲ و پارامترهای



شکل ۲- نرخ نمو وابسته به دمای مشاهده شده برای زنبور *Praon volucre* (نقاط) و مدل خطی و غیرخطی برازش داده شده با آن (خطوط)

می‌یابد. این رابطه به کمک مدل‌های غیرخطی قابل توصیف است.

نتایج نشان داد با افزایش دما تا حد مشخصی نرخ رشد زنبور افزایش یافته و با گذر از این محدوده کاهش



جدول ۵- میزان انطباق و تخمین پارامترهای مدل‌های غیرخطی برازش داده شده با نرخ نمو زنبور *P. volucre*

مدل‌های مورد استفاده		پارامترهای محاسبه شده		نکویی برازش مدل با داده‌ها	
		پارامتر	مقدار برآورد شده (دامنه)	پارامتر	مقدار برآورد شده
<b>Logan-6/Lactin-1</b>		$T_{max}$	۳۱/۱۶۷۸۲ (۱۶/۳۴۸۵-۴۹/۰۴۵۶)	<i>SSE</i>	۰/۰۰۰۰۳۸
		$T_{opt}$	۲۵/۳	$R^2$	۰/۹۷۹۴
		$\Delta$	۵/۸۳۶۳۹۵ (۳/۲۸۵۹-۹/۸۵۷۹)	$R^2_{adj}$	۰/۹۷۲۵
		$\rho$	۰/۱۷۱۱۷۷ (۰/۰۷۵۹۱-۰/۲۲۷۷۳)	<i>AIC</i>	-۵۴/۸۱۷
<b>Logan-6/Lactin-2</b>		$T_{max}$	۲۷/۹۳۴۵۶۱۳۷ (۱۴-۴۲)	<i>SSE</i>	۰/۰۰۰۰۶۴۷
		$T_{opt}$	۲۷/۱	$R^2$	۰/۹۶۵۷
		$\Delta$	۰/۱۰۲۵۳۴۳۷ (۰/۰۵۱۲-۰/۱۵۳۸)	$R^2_{adj}$	۰/۹۵۴۳
		$\rho$	۰/۰۰۳۲۹۲۹۶ (۰/۰۰۱۶-۰/۰۰۴۹)	<i>AIC</i>	-۵۲/۲۷۶۳
	$\lambda$	-۱/۰۱۴۰۲ (-۱/۵۲۱-۰/۰۵۰۷)			
<b>Analytis-3</b>		$T_{min}$	-۴۹۵/۳۹۳ (-۷۴۲/۹۹-۲۴۷/۶۶)	<i>SSE</i>	۰/۰۰۱۶۱
		$T_{max}$	۲۷/۹۹۹۸۲ (۱۴-۴۲)	$R^2$	۰/۱۴۶۲
		$T_{opt}$	۲۶	$R^2_{adj}$	-۰/۱۳۸۳
		$a$	۸/۴۳۵-۱۵۶ (۰/۰۰۰۵-۰/۰۰۱۵)	<i>AIC</i>	-۳۶/۲۰۴۳
		$m$	۰/۲۲۲۰۱۵ (۰/۱۱۱۰۱-۰/۳۳۳۰۴)		
		$n$	۵۶/۶۳۳۶۲ (۲۸/۳۱۳۶-۸۴/۹۴۰۴)		
<b>Analytis-3/Briere-1</b>		$T_{max}$	۳۲/۵۶۸۱۳ (۱۶/۲۸۴۲-۴۸/۸۵۲۶)	<i>SSE</i>	۰/۰۰۰۱۱
		$T_{min}$	۰/۷۰۳۸۶۲ (۰/۳۵۱۷۴-۱/۰۵۵۲۲)	$R^2$	۰/۹۴۱۷
		$T_{opt}$	۲۶/۱	$R^2_{adj}$	۰/۹۲۲۳
		$a$	۰/۰۰۰۰۴۷ (۰/۰۰۰۰۲-۰/۰۰۰۰۶)	<i>AIC</i>	-۴۹/۶۲
<b>Analytis-3/Briere-2</b>		$T_{max}$	۲۷/۶ (۱۴/۵-۴۳/۵)	<i>SSE</i>	۰/۰۰۰۱۹۱
		$T_{min}$	-۶/۰۵۵۲۵ (-۸/۷۳-۲/۹۲۲۲)	$R^2$	۰/۸۹۸۷
		$T_{opt}$	۲۶/۳	$R^2_{adj}$	۰/۸۶۵
		$a$	۰/۰۰۰۰۸۶ (۰/۰۰۰۰۴۳-۰/۰۰۰۱۳)	<i>AIC</i>	-۴۶/۸۶۴۱
		$n$	۱۰/۹۶۸۷۱ (۵/۳۷۹۳-۱۶/۱۳۸۱)		
<b>Analytis-3/Kontodimas (Equation-16)</b>		$T_{max}$	۳۰/۲۸۰۱۵ (۱۴-۴۲)	<i>SSE</i>	۰/۰۰۰۰۷
		$T_{min}$	۱۲/۹۶۳۶۳ (۶/۳۴-۱۹/۰۴)	$R^2$	۰/۹۵۸۴
		$T_{opt}$	۲۴/۴	$R^2_{adj}$	۰/۹۴۴۵
		$a$	۰/۰۰۰۰۱ (۰/۰۰۰۰۵-۰/۰۰۰۱۵)	<i>AIC</i>	-۵۱/۳۱۲۹
<b>Logan-6</b>		$T_{opt}$	۲۵/۶	<i>SSE</i>	۰/۰۰۰۰۲۴
		$T_{max}$	۲۹/۷۷۶۷۲ (۱۴/۸۸۸۴-۴۴/۶۶۵۱)	$R^2$	۰/۹۸
		$\psi$	۰/۰۰۸۱۵۱ (۰/۰۰۴۰۸-۰/۰۱۲۲۳)	$R^2_{adj}$	۰/۹۸
		$\rho$	۰/۰۹۴۹۵۲ (۰/۰۴۷۴-۰/۱۴۲۴)	<i>AIC</i>	-۵۷/۲۳
		$\Delta_T$	۲/۰۷۹۸۵۲ (۱/۰۳۹۹-۳/۱۱۹۷)		
<b>Logan-10</b>		$T_{opt}$	۲۶/۸	<i>SSE</i>	۰/۰۰۰۰۳۱
		$T_{max}$	۲۸/۰۱۶۰۶ (۱۴/۰۰۸-۴۲/۰۲۴۱)	$R^2$	۰/۹۸
		$a$	۰/۱۵۶۹۱۳ (۰/۰۷۸۴-۰/۲۳۵۳)	$R^2_{adj}$	۰/۹۷
		$K$	۲۰/۴۴۹۴ (۱۰/۲۲۴۷-۳۰/۶۷۴۱)	<i>AIC</i>	-۵۵/۸۱
		$\rho$	۰/۱۱۶۱۴۲ (۰/۰۵۸-۰/۱۷۴۲)		
		$\Delta_T$	۰/۲۵۲۹۹۱ (۰/۱۲۶۵-۰/۳۷۹۴)		

$T_{opt}$  داشتند. دمای آستانه پایین توسط مدل Equation-16 ، ۱۲/۶۹ درجه سلسیوس برآورد شد ولی طبق نتایج مشاهده شده زنبور *P. volucre* در دمای ۱۰ درجه سلسیوس نیز دارای رشد و نمو بود. همچنین این مدل

طبق نتایج بدست آمده مدل‌های Logan-6 ، Logan-10 و Lactin-1 به ترتیب دارای کمترین مقدار  $R^2_{adj}$  و بیشترین مقدار  $R^2_{adj}$  بودند. مدل‌های Lactin-1 ، Logan-10 و Logan-6 به ترتیب بهترین تخمین را از

ترتیب ۶/۵۷ و ۶/۶۹ درجه سلسیوس برآورد کرد. مدل Briere-1 آستانه پایین دمایی *A. colemani* و *A. matricariae* را روی *A. gossypii* به ترتیب ۳/۸ و ۳/۹ و دمای بیشینه را به ترتیب ۳۳/۱ و ۳۳/۳ درجه سلسیوس برآورد کرد. این مدل آستانه دمای پایین را برای زنبورهای *A. colemani* و *A. matricariae* روی *M. persicae* به ترتیب ۵/۰۶ و ۴/۲ و دمای بیشینه را به ترتیب ۳۲/۳۹ و ۳۳/۳۳ درجه سلسیوس برآورد کرد. در مجموع نتایج این تحقیق در مورد نیازهای گرمایی شته *S. avenae* و زنبور پارازیتوئید *P. volucre* نشان داد دوره رشد شته غلات در دماهای مختلف کوتاهتر از زنبور پارازیتوئید است که این موضوع یکی از دلایل افزایش جمعیت شته بویژه در اوایل فصل می باشد. با توجه به کمتر بودن آستانه پایین دمایی شته نسبت به زنبور، می‌توان انتظار ظهور زودتر جمعیت شته را در ابتدای فصل داشت. مقایسه دمای بیشینه شته و زنبور نشان می‌دهد در فصول گرم تابستان جمعیت شته توانایی بقا بیشتری نسبت به زنبور دارد.

### سپاسگزاری

نگارندگان از حمایت مالی و تأمین امکانات و تجهیزات مورد نیاز توسط گروه حشره شناسی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس جهت انجام این تحقیق قدردانی می‌نمایند. همچنین از سه داور محترم که با ارائه نظرات و پیشنهادات ارزشمند باعث بهبود کیفیت مقاله گردیدند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

دمای بهینه را ۲۴/۴ درجه سلسیوس تخمین زد. اما دارای  $R^2_{adj}$  و  $SSE$  کم و  $AIC$  بالایی بود. مدل‌های Briere-2، Logan-6 و Logan-10 دمای بیشینه را به ترتیب ۲۷/۶، ۲۹/۷ و ۲۸/۰۱ درجه سلسیوس برآورد کردند. از آنجایی که مومیایی‌های تشکیل شده در دمای ۳۰ درجه سلسیوس هیچکدام به مرحله بلوغ نرسیدند می‌توان انتظار داشت دمای بیشینه دمایی بین ۲۷/۵ و ۳۰ درجه سلسیوس باشد. مدل Analytis-3 دارای بیشترین مقدار  $SSE$  و  $AIC$  و کمترین مقدار  $R^2_{adj}$  بود. از اینرو نسبت به مدل‌های دیگر از دقت کمتری برخوردار است. در مجموع مدل‌های Logan-6 و Logan-10 به دلیل دقت بالاتر و معنی‌داری زیستی بیشتر مقادیر تخمین زده شده به عنوان مدل‌های مناسب انتخاب شدند. Sigsgaard (2000) با استفاده از مدل غیرخطی Lactin-1 دمای بیشینه را برای رسیدن تخم به مرحله شفیرگی زنبورهای *A. ervi*، *A. rhopalosiphii* و *P. volucre* به ترتیب ۳۴/۷۷، ۳۶/۰۲ و ۳۳/۷۶ درجه سلسیوس گزارش کرد. این مدل دمای بیشینه مورد نیاز برای رسیدن شفیره‌ها به حشره کامل *A. ervi*، *A. rhopalosiphii* و *P. volucre* را به ترتیب ۳۱/۱۱، ۳۳/۵۱ و ۳۲/۷۶ درجه سلسیوس برآورد کرد. در تحقیق Arias et al. (2009) دمای بیشینه *P. near occidentale* با استفاده از مدل Lactin-1 ۳۳/۴۸ درجه سلسیوس برآورد شد. در بررسی Zamani et al. (2007) مدل Lactin-2 آستانه پایین دمای زنبور *A. colemani* و *A. matricariae* روی *A. gossypii* به ترتیب ۶/۳۵ و ۷/۲۳ درجه سلسیوس و روی شته *M. persicae* به

### REFERENCES

1. Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19, 716-723.
2. Alich, M., Shishebor, P., Mossadegh, M. S. & Soleimannejadian, E. (2007). The effects of different temperature of biology and life tables of *Aphidius rhopalosiphii* and *Praon volucre*, parasitizing *Metopolophium dirhodum* under laboratory conditions. *Scientific Journal of Agriculture*, 20(4), 99-109. (In Farsi).
3. Analytis, S. (1977). Uber die relation zwischen biologischer entwicklung und temperature bei phytopathogene pilzen. *Journal of Phytopathology*, 90, 64-76.
4. Andrewartha, H. C. & Birch, L. C. (1954). *The distribution and abundance of animals*. The University of Chicago Press, Chicago, 782 pp.
5. Arias, D., Cantor, C., Cure, J. R. & Rodriguez, Y. D. (2009). Biology and life cycle of *Praon pos. occidentale* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera:Aphididae). *Agronomia Colombiana*, 27, 375-383.

6. Briere, J. F., Pracros, P., le Roux, A. Y. & Pierre, J. S. (1999). A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. *Environmental Entomology*, 28, 22-29.
7. Campbell, A., Frazer, B. D., Gilbert, N., Gutierrez, A. P. & Mackauer, M. (1974). Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology*, 11, 431-438.
8. Cossins, A. R. & Bowler, K. (1987). *Temperature biology of animals*. Chapman and Hall, London. 339 pp.
9. Davis, J. A., Radcliffe, E. B. & Ragsdale, D. W. (2006). Effects of high and fluctuating temperatures on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 35, 1461-1468.
10. Dean, G. J. (1974). Effect of temperature on the cereal aphids *Metopolophium dirhodum* (Wlk.), *Rhopalosiphum padi* (L.), and *Macrosiphum avenae* (F.) (Hem., Aphididae). *Bulletin of Entomological Research*, 63, 401-409.
11. Diaz, B. M., Muniz, M., Barrios, L., & Fereres, A. (2007). Temperature thresholds and thermal requirements for development of *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 36, 681-688.
12. Ikemoto, T. & Takai, K. (2000). A new linearized formula for the law of total effective temperature and the evaluation of line-fitting methods with both variables subject to error. *Environmental Entomology*, 29, 671-682.
13. Jandricic, S. E., Wraight, S. P., Bennett, K. C. & Sanderson, J. P. (2010). Developmental times and life table statistics of *Aulacorthum solani* (Hemiptera: Aphididae) at six constant temperatures, with recommendations on the application of temperature-dependent development models. *Environmental Entomology*, 39, 1631-1642.
14. Kavallieratos, N. G., Tomanovic, Z., Stary, P., Anthanassiou, C. G., Fasseas, C., Petrovic, O., Stanislavljevic, L. Z. & Veroniki, M. A. (2005). *Praon* Haliday (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of southeastern Europe: Key, host range and phylogenetic relationships. *Zoologischer Anzeiger*. 243, 181-209.
15. Kieckhefer, R. W. & Elliott, N. C. (1989). Effect of fluctuating temperatures on development of immature Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) and demographic statistics. *Journal of Economic Entomology*, 82, 119-122.
16. Kieckhefer, R. W., Elliot, N.C. & Walgenbach, D. D. (1989). Effects of constant and fluctuating temperatures on developmental rates and demographic statistics of the English grain aphid (Homoptera: Aphididae). *Annals of the Entomological Society of America*, 82, 701-706.
17. Kontodimas, D. C., Eliopoulos, P. A. & Stathas, G. J. (2004). Comparative temperature-dependent development of *Nephus includens* Kirsch and *Nephus bisignatus* Boheman (Coleoptera: Coccinellidae) preying on *Planococcus citri* Risso (Homoptera: Pseudococcidae): Evaluation of a linear and various nonlinear models using specific criteria. *Environmental Entomology*, 33(1), 1-11.
18. Krepsi, L., Dedryver, C. A. & Nenon, J. P. (1997). Variability in the development of cereal aphid parasitoids. *Environmental Entomology*, 26(3), 545-551.
19. Lactin, D. J., Holliday, N. J., Johnson, D. L. & Craigen, R. (1995). Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environmental Entomology*, 24, 68-75.
20. Leclercq-Le, F., Tanguy, S. & Dedryver, C. A. (1995). Aerial flow of barley yellow dwarf viruses and of their vectors in western France. *Annals of Applied Biology*, 126, 75-90.
21. Logan, J. A., Wollkind, D. J., Hoyt, S. C. & Tanigoshi, L. K. (1976). An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environmental Entomology*, 5, 1133-1140.
22. Lykouressis, D. P. (1985). Temperature requirements of *Sitobion avenae* (F.) necessary for ecological studies, by assessing methods for the estimation of instar duration. *Zeitschrift fuer Angewandte Entomologie*, 100, 479-493.
23. Naeem, M., Compton, S. G. & Incoll, L. D. (2002). Population trends of barley-feeding aphids and their parasitoids to an agroforestry environment. *Pakistan Journal of Arid Agriculture*, 5, 43-52.
24. Rakhshani, E., Tomanovic, S., Talebi, A. A., Kavallieratos, N., Zamani, A. A. & Stamencovic, S. (2008). Distribution and diversity of wheat aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) in Iran. *European Journal of Entomology*, 105, 863-870.
25. Roy, M., Brodeur, J. & Cloutier, C. (2002). Relationship between temperature and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acarina: Tetranychidae). *Environmental Entomology*, 31, 177-187.
26. SAS Institute (1989). *JMP: A Guide to Statistical and Data Analysis*, version 7.0. SAS Institute, Cary, NC.
27. Sigsgaard, L. (2000). The temperature-dependent duration of development and parasitism of three cereal aphid parasitoids, *Aphidius ervi*, *A. rhopalosiphii*, and *Praon volucre*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 95, 173-184.

28. Stary, P. (1970). Biology of aphid parasites (Hymenoptera: Aphidiidae) with respect to integrated control. In: W. Junk (Ed.). *Series entomologica 6*. (pp. 1-643). The Hague, W. Junk Publishers.
29. Stary, P. (1989). Aphidiidae. In: A. K. Minks & P. Harrewjin (Eds.), *Aphids, Their Natural Enemies and Control*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. (pp. 171-184)
30. Taylor, F. (1979). Convergence to the stable age distribution in populations of insects. *American Naturalist*, 113, 511-530.
31. Vorley, W. T. (1986). The activity of parasitoids (Hym., Braconidae) of cereal aphids (Hem., Aphididae) in winter and spring in Southern England. *Bulletin of Entomological Research*, 76, 491-504.
32. Wagner, T. L., Wu, H. I., Sharpe, P. J. H., Schoolfield, R. M. & Coulson, R. N. (1984). Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Annals of the Entomological Society of America*, 77, 208-225.