

مقاله علمی-پژوهشی

محاسبه دمای پایه و بررسی روند تغییرات تعداد نسل کرم سیب (*Cydia pomonella*)، با

استفاده از مدل درجه-روز در شهرستان چناران

مهدی حلمی جدید<sup>۱</sup> - محمد موسوی بایگی<sup>۲\*</sup> - حسین صادقی نامقی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۲

چکیده

جنبه‌های متعددی از تغییر اقلیم و آثار آن بر اکوسیستم‌ها بررسی شده است، لکن تأثیر آن بر روی آفات، خصوصاً در ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر تأثیرات متعددی را بر روی جامعه گیاهی و آفات گذاشته است. کرم سیب به‌عنوان یک آفت کلیدی مانند سایر آفات کشاورزی وابستگی زیادی به دمای هوا دارد. این آفت برای کامل شدن یک نسل و طی مراحل مختلف زندگی نیاز به دریافت حدود ۶۵۰ درجه-روز دما دارد. به‌منظور بررسی روند تغییرات تعداد نسل کرم سیب، پس از محاسبه دمای پایه، تعداد نسل این آفت در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۷-۱۳۶۸) با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه گلمکان و مدل درجه-روز تعیین گردید و نتایج به‌دست‌آمده با نتایج تله‌های فرمونی نصب‌شده و دیتالاگر ثبت‌کننده دما در باغ گلایی در سال ۱۳۹۸ مقایسه گردید. دمای پایه برای کرم سیب ۸/۴ درجه سلسیوس به دست آمد. این آفت در دوره ۳۰ ساله گذشته به‌جز یک سال دارای ۳ نسل کامل بوده و روند درجه-روز دریافتی آن مثبت و معنادار است. در ابتدای دوره آماری زندگی آفت در ابتدای نسل سوم متوقف شده و با نزدیک شدن به اواخر دوره آماری مراحل زندگی آفت رو به تکمیل شدن پیش می‌رود. میانگین درجه-روز تجمعی دریافتی در ده سال دوم دوره نسبت به ده سال اول ۱۴۳ درجه و در ده سال سوم نسبت به ده سال دوم ۸۵ درجه افزایش داشته است. در صورت ادامه روند افزایش دما وقوع نسل چهارم آفت نیز دور از انتظار نخواهد بود. در این شرایط استفاده از سموم و هزینه‌ها افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دمای پایه، درجه-روز، کرم سیب

مقدمه

است، افزایش دما می‌تواند تأثیرات مستقیم و غیرمستقیمی بر روی آن‌ها بگذارد (۱۱ و ۲۰). بنابراین بررسی نحوه اثر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، بر روی آفات که مستقیماً بر روی عملکردها و غیر مستقیم بر روی انسان و محیط زیست تأثیر گذار است ضروری می‌باشد. تغییر اقلیم به‌عنوان تغییر در شرایط متوسط آب و هوایی هر منطقه تعریف می‌شود و یکی از آثار آن که بسیاری محققان و دانشمندان بر آن مهر تأیید می‌گذارند افزایش دما است، که می‌تواند در رابطه با حشرات و آفات مانند کرم سیب باعث افزایش سرعت رشد، افزایش تعداد نسل و کاهش فاصله بین مراحل زندگی شده و در نهایت مبارزه و کنترل آن را دشوارتر کند (۱۵، ۲۹ و ۳۵). در صورتی که افزایش دما برای آفات اتفاق بیافتد و این افزایش بیشتر از آستانه بالایی رشد نباشد، تکمیل چرخه زندگی برخی آفات که در سال چندین بار نسل خود را کامل می‌کنند، سرعت گرفته و می‌تواند تعداد نسل بیشتری در سال داشته باشند (۱۹). در جنبه‌های متعددی از تغییر اقلیم مانند تأثیر آن بر کشاورزی، محیط‌زیست، صنعت و سلامت انسان که امروزه توسط محققین و دانشمندان مورد بررسی قرار می‌گیرد، مطالعات جنبه‌های تغییر اقلیم و تأثیر آن بر روی حشرات

شرایط اقلیمی و متغیرهای هواشناسی به‌عنوان یکی از عوامل تأثیر گذار بر اکوسیستم‌ها، علاوه بر انسان، گیاهان و حیوانات، زندگی حشرات و آفات را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌توان آن را عامل اصلی در توزیع و پراکنش بیشتر گونه‌های حشرات و آفات دانست (۳۱). از میان متغیرهای هواشناسی می‌توان دمای هوا را یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار بر زندگی حشرات به سبب خونسرد بودن آن‌ها تلقی نمود و از آن برای بهبود وضعیت مدیریت طیف گسترده‌ای از آفات استفاده کرد (۱۰ و ۱۲). با توجه به اینکه آفات نیز مانند گیاهان دارای یک آستانه حرارتی مطلوب برای رشد هستند و دریافت مقدار دمای خاص برای طی مراحل فنولوژیک این موجودات ضروری

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*- نویسنده مسئول: (Email: Mousavib@um.ac.ir)

۳- استاد گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

از آنجا حائز اهمیت است که در بسیاری از موارد تأثیر منفی بر روی برای انسان، امنیت غذایی و اکوسیستم‌های طبیعی دارد (۱۲ و ۱۶). کرم سیب از آفات کلیدی و مهم باغ‌های سیب، گلابی، به و گاهی گردو به حساب می‌آید و اهمیت اقتصادی آن بیشتر مربوط به آسیب‌های ناشی از لارو بر روی سیب یا سایر میوه‌های میزبان است که اگر با کنترل و مبارزه صحیح شیمیایی و بیولوژیکی کنترل نشود، می‌تواند خسارت زیادی را وارد کند. این آفت مانند بسیاری از آفات کاملاً تأثیرپذیر از دمای هوا بوده و برای طی مراحل زندگی خود باید یک مقدار دمای جمعی دریافت نماید، که این مقدار را در علم کشاورزی با مفهومی به‌عنوان درجه-روز بیان می‌کنند و یکی از بهترین و کاربردی‌ترین روش‌های پایش آفاتی مانند کرم سیب می‌باشد (۸، ۹، ۲۸ و ۳۵). کرم سیب جزو آفات چند نسلی در سال می‌باشد که با توجه به سطح کشت وسیع سیب و باغ‌های میوه‌های دانه‌دار در جهان و ایران همواره خسارت‌های وسیعی را به باغداران وارد می‌کند و کاربرد روش‌های نوین در مدیریت آن بسیار حائز اهمیت می‌باشد. باتوجه به اینکه تعداد نسل هر آفت رابطه مستقیم با جمعیت و میزان خسارت آن دارد، یکی از مهمترین عوامل در مدیریت آفات کلیدی مانند کرم سیب، پیش بینی تعداد نسل آن در سال‌های آینده، در شرایط تغییر اقلیم و نوسانات دمایی می‌باشد، که می‌تواند چشم‌اندازی برای تصحیح و تغییر شیوه‌های مدیریتی این آفت و آفات مشابه ایجاد کند.

در کالیفرنیا اولین شکار پروانه‌های نر در ۱۰ درجه سلسیوس و در زمان به شکوفه رفتن درختان سیب بوده و کرم سیب در مناطق گرم دارای ۴ و در مناطق سردتر ۲ نسل می‌باشد (۲۵). این آفت در حالی در منطقه خاخریان که جزو مناطق سردسیر می‌باشد، دارای دو و در منطقه سپیدان سه نسل می‌باشد که، تعداد نسل آن را برای منطقه جلگه‌ای ۴ و برای مناطق مرتفع حداکثر تا ۲ نسل گزارش شده است (۴، ۷ و ۲۵). در مطالعه‌ای که اسدی و همکاران (۲۰۰۹) که باهدف پایش جمعیت کرم سیب و تعیین بهترین زمان کنترل شیمیایی این آفت با استفاده از مدل درجه-روز در شیروان انجام دادند و همچنین مطالعه رجبی و همکاران (۲۰۰۶) که باهدف مقایسه تعداد نسل کرم سیب، روند پرواز و تراکم جمعیت کرم سیب در مناطق و ارتفاعات مختلف ایران انجام شد، مشخص شد که در منطقه کرج کرم سیب دارای دو نسل و در منطقه شیروان دارای سه نسل می‌باشد (۵ و ۲۶). تیلور و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از داده‌هایی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده طبق گزارش چهارم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم، تغییرات احتمالی در زندگی حشرات را باتوجه به رخداد تغییر اقلیم بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که در اواخر قرن ۲۱ افزایش نسل آفات چند نسلی و جمعیت آفات باعث افزایش قابل توجه استفاده از سموم کشاورزی به‌منظور حفظ عملکرد و بهره‌وری خواهد شد (۳۳). سمیتز و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای ضمن بیان اینکه

تأثیر تغییر اقلیم بر روی آفات کمتر مورد بحث و بررسی و توجه قرار گرفته است به مدل‌سازی تأثیر تغییر اقلیم بر مدیریت پایدار کرم سیب به‌عنوان آفت کلیدی سیب در سوئیس پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات قابل توجهی برای تاریخ‌های فنولوژی این آفت در باغ‌های سیب نسبت به دوره‌های قبل رخ خواهد داد. همچنین افزایش تعداد حشرات نسل دوم، افزایش خطر بیشتر برای نسل سوم و افزایش تعداد نسل از دیگر آثار تغییر اقلیم بر روی کرم سیب در سوئیس است که می‌تواند این آفت را در برابر راه‌های مبارزه و سموم شیمیایی سازگار کند (۳۰). مندنی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی خسارت آفت سن گندم بر رشد و عملکرد گندم پاییزه تحت شرایط تغییر اقلیم را بررسی نمودند. در این پژوهش افزایش درجه حرارت و برهمکنش افزایش درجه حرارت و غلظت دی‌اکسید کربن برخلاف افزایش غلظت دی‌اکسید کربن منجر به شروع زودتر ریزش سن گندم به مزارع و افزایش طول دوره همپوشانی این حشره با طول دوره رشد گندم گردید. بنابراین به نظر می‌رسد که در شرایط تغییر اقلیم آینده در مقایسه با شرایط اقلیم فعلی، میانگین میزان خسارت سن گندم در تراکم‌های مختلف بر عملکرد دانه گندم حدود ۷ درصد افزایش یابد (۲۱).

در این شرایط، گرم شدن هوا ممکن است با طولانی شدن فصل رشد باعث افزایش جمعیت حشرات و آفات، تغییر زمان ظهور آفت، افزایش سرعت رشد و توسعه، کامل شدن سریع‌تر چرخه زندگی آفت و در نتیجه افزایش تعداد نسل و نهایتاً افزایش جمعیت آفت در سال بعد خواهد شد (۲۳ و ۳۲). مطالعات زیادی در ایران و جهان در رابطه با فنولوژی کرم سیب، تعداد نسل آن و استفاده از مدل درجه-روز برای تعیین بهترین زمان مبارزه با این آفت انجام شده است. لکن باتوجه به اهمیت موضوع تغییر اقلیم که خصوصاً در دهه اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است، انجام مطالعات و پژوهش‌هایی که بتواند تأثیر تغییر اقلیم را بر روی آفاتی مانند کرم سیب بررسی کند، ضروری می‌باشد. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر آفات که تا به امروز در ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است می‌تواند این جنبه تغییر اقلیم را که بر روی امنیت غذایی، محیط‌زیست، انسان و سایر موجودات زنده تأثیر بگذارد، آشکار سازد.

## مواد و روش‌ها

ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گل‌مکان واقع در خراسان رضوی، نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (فاصله ۱۴ کیلومتر) به باغ مورد مطالعه بود. اطلاعات این ایستگاه در جدول ۱ آمده است. تله‌های فرمونی و دیتالاگر دما جهت ثبت تعداد پروانه‌های نر به دام افتاده، تاریخ بیوفیکس و داده‌های دمایی باغ برای محاسبه درجه-روز در باغ مورد مطالعه نصب شد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه گلمکان و باغ گلابی

Table 1- Characteristics of Golmakan station and pear orchard

	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی latitude	ارتفاع (متر) Altitude (m)	اقلیم (دومارتن) Climate (Dombarton)	متوسط دمای سالانه (درجه سلسیوس) Average of annual temperature (°C)	متوسط بارندگی سالانه (میلی متر) Average of annual precipitation (mm)
ایستگاه گلمکان Golmakan station	59 17 E	36 29 N	1176	نیمه خشک Semi-arid	13.5	205
باغ گلابی Pear orchard	59 07 E	36 42 N	1128	-	-	-

تفریح شده است.

در محور مختصات دما را در محور X ها و سرعت رشد را در محور Y ها و معادله خط شیب رگرسیون به دست آمده است. این معادله به شکل رابطه (۳) می باشد. اگر این رابطه را برابر صفر قرار دهیم ( $y=0$ ) دمای پایه، در واقع دمایی که در آن سرعت رشد صفر است، طبق رابطه (۴) به دست خواهد آمد.

$$y = ax - b \quad (3)$$

$$T_{base} = \frac{b}{a} \quad (4)$$

در رابطه ۳ و ۴:  $a$  شیب خط،  $b$  عرض از مبدا و  $T_{base}$  دمای پایه است.

محاسبات درجه-روز برای کرم سیب، از تاریخی به نام بیوفیکس آغاز می شود. بیوفیکس طبق تعریف عبارت است از تاریخ: شروع پرواز پایدار پروانه های نر یا همان اولین پروانه های نر به دام افتاده در تله ها (۱۸). تاریخ بیوفیکس در مطالعه حاضر با توجه به نصب تله های فرمونی در باغی در مجاورت ایستگاه هواشناسی گلمکان، در سال ۱۳۹۸ به دست آمد. اطلاعات تله های نصب شده و مطالعات گذشته در خارج و داخل کشور نشان داد تاریخ بیوفیکس از زمانی که میانگین روزانه دمای منطقه به حدود ۱۰-۸ درجه سلسیوس و دمای هوا در زمان غروب خورشید به حدود ۶۲ درجه فارنهایت (۱۶/۶) درجه سلسیوس می رسد (۲۲)، اتفاق می افتد. بنابراین تاریخ بیوفیکس برای سال های گذشته با توجه به رسیدن دمای عمومی منطقه به دماهای ذکر شده، ثبت شده است.

برای محاسبه تعداد نسل ها طبق مطالعات انجام شده در ایران و سایر کشورها، حدود ۶۵۰ درجه-روز دما برای تکمیل یک نسل کرم سیب (پروانه بالغ، تخم، لارو و شفیره) نیاز است (۱، ۱۶ و ۲۷). بنابراین از تاریخ بیوفیکس تا زمان برداشت میوه درختان سیب و سایر درختان دانه دار در منطقه ایستگاه مطالعاتی، درجه-روز محاسبه و بر اساس نیاز دمایی هر نسل، تعداد نسل کرم سیب از رابطه (۵) محاسبه گردید.

از سازمان هواشناسی خراسان رضوی داده های دمای ایستگاه گلمکان در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۷) تهیه گردید. مقدار درجه-روز آفت تا زمان متداول برداشت میوه های میزبان آفت با توجه به رابطه (۱) محاسبه گردید. با توجه به اینکه آستانه دمای بالا فعالیت کرم سیب ۸۸ درجه فارنهایت (۳۲/۷) درجه سلسیوس) در نظر گرفته می شود (۲۴، ۲۵ و ۳۵) و بالاتر از این دما فعالیت آفت کند یا متوقف می شود، در صورتی که میانگین روزانه دما از این مقدار بالاتر باشد، میانگین دمای آن روز همان ۳۲/۷ درجه سلسیوس در نظر گرفته می شود. قابل ذکر است که با توجه به اقلیم منطقه، تعداد روزهای کمی در سال این شرایط را دارا بودند.

$$GDD = \sum \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_{base} \right) \quad (1)$$

در این رابطه  $GDD$  مقدار درجه روز تجمعی در طول فصل رشد،  $T_{max}$  دمای حداکثر روزانه،  $T_{min}$  دمای حداقل روزانه و  $T_{base}$  دمای پایه است. دمای پایه به عنوان نقطه صفر فیزیولوژیکی در نظر گرفته می شود.

هدف تحقیق بررسی روند تغییرات تعداد نسل کرم سیب است. دمای پایه در کل دوره ثابت در نظر گرفته می شود. بنابراین روندی که با دمای پایه به دست آمده محاسبه می شود، با روندی که با دمای پایه دیگر محاسبه می شود، مشابه می باشد. لکن جهت بررسی دقیق تر مراحل فنولوژی و پژوهش های بعدی محاسبه دمای پایه انجام شده است. برای محاسبه دمای پایه یک مرحله از زندگی آفت انتخاب شد (در این مطالعه زمان تخم گذاری تا تفریح تخم). سپس تعدادی تخم کرم سیب در اتاقک هایی با دمای ثابت (۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶ و ۱۸ درجه سلسیوس) و دوره نوری و رطوبت نسبی تنظیم شده نگهداری شد. سپس تعداد روز لازم برای تفریح تخم در هر دما ثبت شد. سرعت رشد در هر دما با توجه به رابطه (۲) به دست آمد (۳).

$$V = \frac{1}{D} \quad (2)$$

در این رابطه  $V$  سرعت رشد و  $D$  تعداد روزی است که تخم

روندی وجود ندارد و داده‌ها تصادفی هستند. اگر رابطه برقرار نبود، فرض یک پذیرفته می‌شود که دلالت بر وجود روند دارد.

$$|Z| \leq \frac{za}{2} \quad (10)$$

$a$  همان سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود.  $za$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطوح معنی‌داری  $a$  است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون  $a/2$  استفاده شده است معمولاً این آزمون برای سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد به انجام می‌رسد مقدار  $a$  برای سطح ۹۵ درصد، برابر با ۰/۰۵ و برای سطح ۹۹ درصد برابر با ۰/۰۱ است. در سطح اطمینان ۹۵ درصد:  $Z = 1/96$  و در سطح اطمینان ۹۹ درصد  $Z = 2/58$  در نظر گرفته می‌شود.

روش من-کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۰) بسط و توسعه یافت. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. آماره‌ای که نهایتاً از آزمون من-کندال به دست می‌آید ( $Z$ )، با مقادیر  $(Z_0)$  در سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد مقایسه می‌شود. اگر  $Z_0 > Z$  باشد، نشان‌دهنده عدم روند مشخصی در داده‌ها و تصادفی بودن آن‌ها و اگر  $Z_0 < Z$  باشد نشان‌دهنده روند در سری داده‌ها است.

## نتایج و بحث

یکی از عواملی که می‌تواند به ما کمک کند تا وضعیت تغییرات دمایی را در دوره‌های گذشته بهتر درک کنیم، بررسی میانگین دمای سالانه است و بررسی میانگین دماهای ایستگاه گل‌مکان نشان می‌دهد که میانگین دمای سالانه در دوره آماری ۳۰ ساله ایستگاه گل‌مکان (۱۳۶۸-۱۳۹۷) بین ۱۳/۹ و ۱۶/۷ درجه سلسیوس متغیر بوده است. از سال ۱۳۶۸ لغایت ۱۳۷۹ و به مدت ۱۲ سال میانگین دمای سالانه زیر ۱۶ درجه سلسیوس و از سال ۱۳۸۰ به بعد ۸ سال میانگین دمای بالای ۱۶ درجه سلسیوس در ایستگاه مطالعاتی به وقوع پیوسته است. این افزایش از آنجا اهمیت پیدا می‌کند که بالا رفتن میانگین دمای سالانه نشان‌دهنده دریافت دمای بیشتری در هرروز توسط آفات و در نتیجه بالا رفتن میزان درجه-روز دریافتی در زمان حضورشان خواهد شد. تغییرات میانگین دمای سالانه در ایستگاه گل‌مکان در شکل ۱ نشان داده شده است.

برای محاسبه تعداد نسل کرم سبب در اولین قدم نیاز به محاسبه درجه-روز بود و بدین منظور محاسبه دمای پایه انجام شده است. برای محاسبه دمای پایه از سرعت رشد در یک مرحله خاص از زندگی آفت استفاده کرده‌ایم و خطی که معادله رگرسیون را برای محاسبه دمای پایه تشکیل داده است در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این خط و معادله رگرسیونی آن و رابطه ۴، دمای پایه ۸/۴ درجه سلسیوس به دست آمده است.

$$NOG = \frac{GDD}{650} \quad (5)$$

در این رابطه GDD، درجه روز تجمعی به دست آمده از رابطه ۱ و  $NOG$  تعداد نسل کرم سبب می‌باشد که عدد صحیح آن تعداد نسل کامل و مقدار اعشار آن نشان‌دهنده نسل ناقص کرم سبب است که مراحل زندگی خود را کامل نمی‌کند. تعداد نسل کرم سبب، در باغ مطالعاتی در سال ۲۰۱۹ نیز ثبت و محاسبه شد. این تعداد نسل هم با توجه به پیک‌های پرواز در تله‌های فرمونی و هم دیتا لاگر نصب‌شده در باغ و مشابه با محاسباتی که برای دوره آماری گذشته ایستگاه گل‌مکان انجام شده است، به دست آمده است.

نهایتاً با استفاده از درجه-روز تجمعی به دست آمده که آفت کرم سبب در یک فصل دریافت می‌کند (رابطه ۱) برای هر سال، این مقدار در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۷) با آزمون روندیابی من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. همانند سایر آزمون‌های آماری، این آزمون بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌نماید. فرض صفر این آزمون مبتنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. مراحل این آزمون به شرح ذیل می‌باشد:

ابتدا اختلاف بین تک‌تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع  $sgn$  و استخراج پارامتر  $s$  با استفاده از رابطه (۶):

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k) \quad (6)$$

در این رابطه  $n$ : تعداد جملات،  $x_j$ : تابع  $j$  ام سری و  $x_k$ : داده  $k$  ام سری داده  $sgn$  به شرح ذیل معرفی می‌شود:

$$sgn(s) \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

بنابراین تمام مقادیر تابع  $(sgn)$ ، صفر، ۱ و یا -۱ است.

در ادامه واریانس از رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

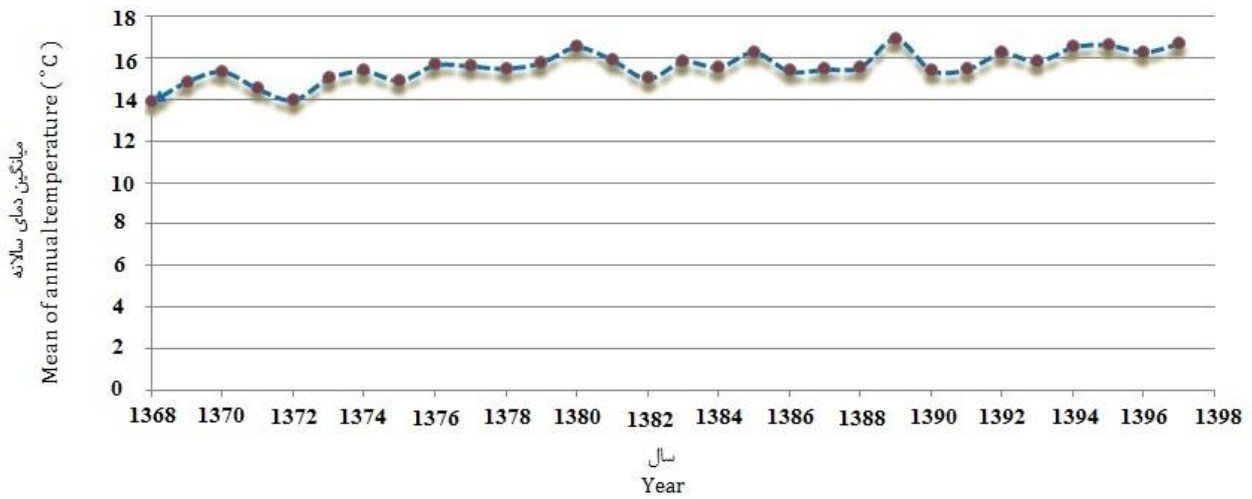
$$var(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^n t(t-1)(2t+5)}{28} \quad (8)$$

سپس آماره  $Z$  به کمک یکی از روابط ذیل محاسبه می‌گردد:

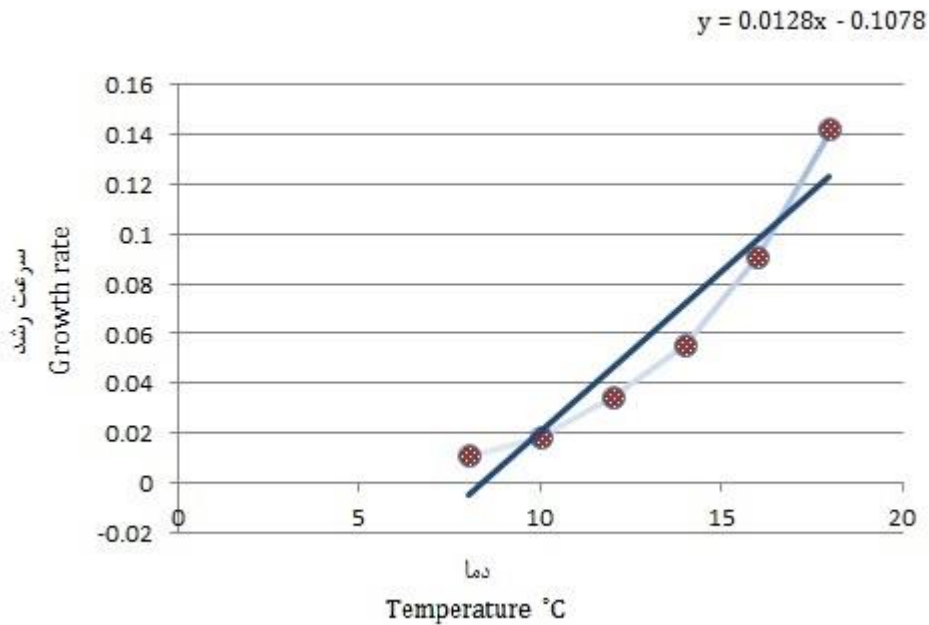
$$sgn(s) \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{var(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{var(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (9)$$

$s$  پارامتر محاسبه‌شده از رابطه (۶) می‌باشد.

در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند صعودی و در صورتی که منفی باشد روند در سری داده‌ها نزولی است. قدر مطلق  $Z$  را در نظر می‌گیریم. اگر رابطه زیر برقرار بود فرض صفر پذیرفته می‌شود،



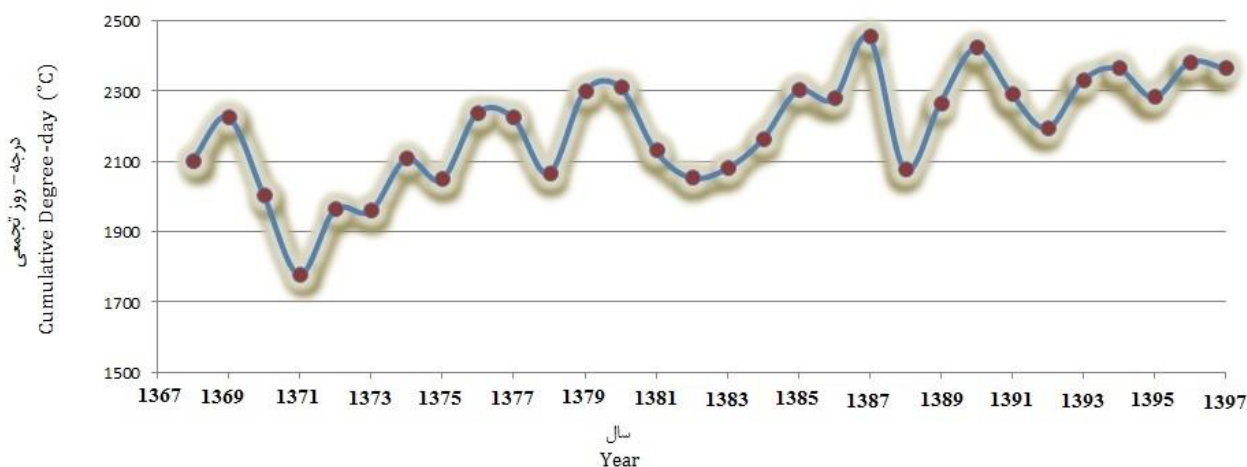
شکل ۱- تغییرات میانگین دمایی ایستگاه گلماکان  
Figure 1- Changes in the mean temperature of the Golmakan station



شکل ۲- نمودار دما- سرعت رشد کرم سیب برای محاسبه دمای پایه  
Figure 2- Graph of Temperature- growth rate of Codling moth for calculating base temperature

۸/۴ درجه سلسیوس به دست آمده است. با محاسبه دمای پایه، درجه-روز تجمعی کرم سیب در هر سال به دست آمد و تغییرات آن با توجه به تاریخ بیوفیکس کرم سیب در دوره آماری مورد مطالعه، در شکل ۳ نشان داده شده است.

باتوجه به اینکه هدف در مطالعه حاضر بررسی روند تغییرات تعداد نسل کرم سیب در دوره گذشته است و دمای پایه در کل محاسبات (در هر سال) ثابت در نظر گرفته می‌شود، نتایج به دست آمده به کمک دمای پایه محاسبه شده، به خوبی می‌تواند وضعیت آفت در دوره گذشته را نشان دهد. دمای پایه برای کرم سیب در منطقه مطالعاتی



شکل ۳- تغییرات درجه-روز تجمعی کرم سیب در ایستگاه گلمکان  
Figure 3- Changes in cumulative degree-days at Golmakan Station

مراحل اولیه تمام می‌شود، در سال‌های اخیر چرخه زندگی این آفت رو به کامل شدن و رسیدن به مراحل انتهایی نسل سوم است. با توجه این شرایط و روند افزایشی دما در صورتی که این شرایط ادامه پیدا کند ظهور نسل چهارم کرم سیب در منطقه دور از انتظار نخواهد بود و می‌تواند پیامدهایی از قبیل، افزایش خسارت به باغداران، افزایش هزینه‌های مبارزه و کنترل، خسارت به محیط‌زیست و جامعه انسانی را در بر داشته باشد.

با توجه به تله‌های فرمونی نصب شده در باغ گلابی واقع در چناران، علاوه بر اطلاعات پروانه‌های نر به دام افتاده در تله‌ها، مقدار درجه-روز دریافتی کرم سیب از تاریخ بیوفیکس تا زمان برداشت گلابی نیز که با توجه به داده‌های دیتالاگر نصب شده در باغ و همان روش مورد استفاده در داده‌های ایستگاه گلمکان به دست آمده است، در شکل ۵ نشان داده شده.

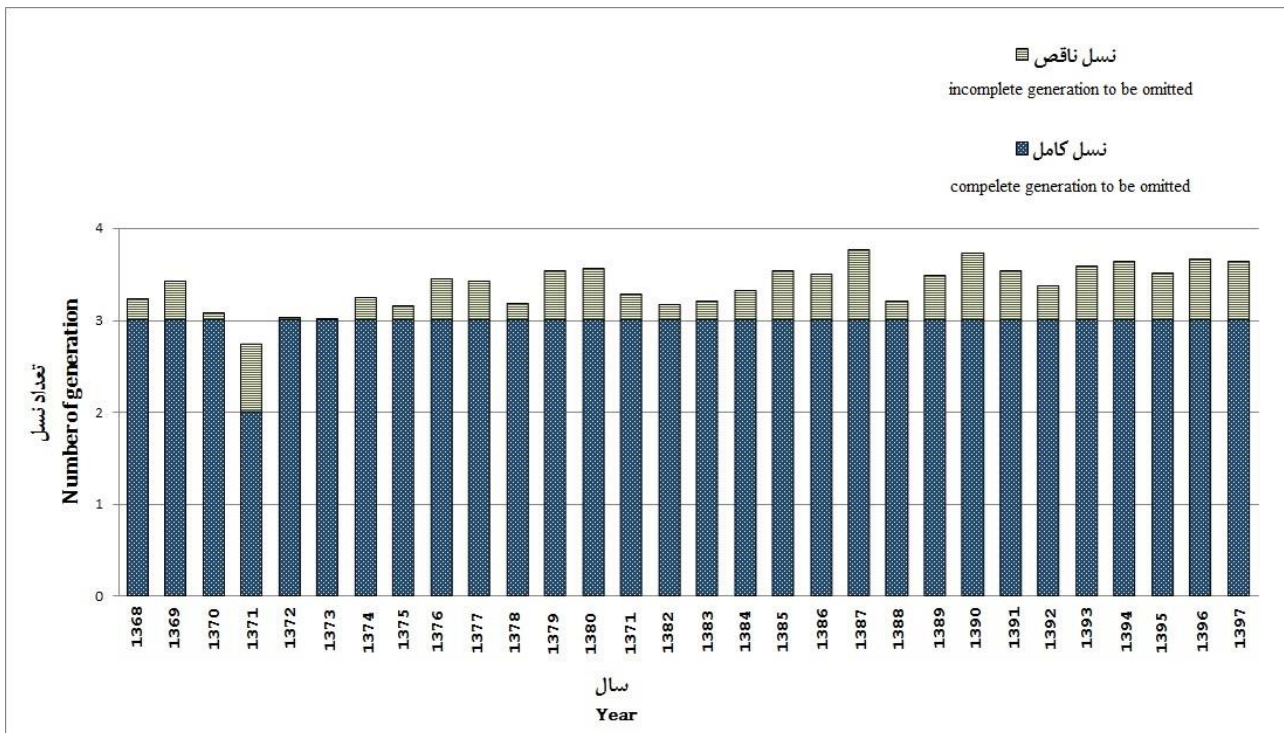
نتایج نشان دهنده چهار پیک پروازی کرم سیب در منطقه چناران است که پیک پروازی بین پیک پرواز نسل اول و دوم مربوط به بارش و کاهش دما در روزهای قبل می‌باشد. در واقع در هر نسل و در تاریخ خاصی تعداد پروانه‌های پروازی در اوج خود نسبت به روزهای قبل و بعد هستند و این همان تاریخی است که بیشترین جفت‌گیری و بعد از آن تخم‌گذاری اتفاق می‌افتد. میانگین درجه-روز بین پیک‌های پروازی هر نسل که به عنوان یک رخداد فنولوژیکی تلقی می‌شود، ۶۵۰ درجه-روز سلسیوس است و این نشان‌دهنده مقدار درجه-روز لازم برای تکمیل هر نسل می‌باشد. علاوه بر پیک‌های پروازی که نشان‌دهنده سه نسل از کرم سیب در منطقه چناران در سال ۱۳۹۸ می‌باشد، مدل درجه-روز نیز که با توجه به داده‌های دمایی دیتالاگر نصب شده در باغ به دست آمده است، برای کرم سیب در این سال ۳

با توجه به شکل ۳ می‌توان دریافت که درجه-روز دمای دریافتی آفت کرم سیب در سال‌های اخیر رو به افزایش است و این افزایش باعث کامل شدن نسل‌های ناقص این آفت و یا ظهور نسل جدید در منطقه شده است. میانگین درجه روز تجمعی دریافتی در (۱۳۷۷-۱۳۶۸) ۲۰۶۷ درجه سلسیوس، در (۱۳۸۷-۱۳۷۸) ۲۲۱۵ درجه سلسیوس و در (۱۳۹۷-۱۳۸۸) ۲۳۰۰ درجه سلسیوس بوده و نشان می‌دهد که در ده سال اول ۱۴۳ درجه-روز و در ده سال دوم ۸۵ درجه-روز افزایش میانگین درجه-روز تجمعی برای کرم سیب وجود داشته است. بر اساس نتایج این مطالعه، درحالی که در ابتدای دوره آماری زندگی آفت در ابتدای نسل سوم متوقف شده و آفت وارد مرحله شفیرگی و زمستان‌گذرانی می‌شود، به مرور زمان و با نزدیک شدن به اواخر دوره آماری مراحل زندگی آفت رو به تکمیل شدن و نزدیک شدن به نسل چهارم پیش می‌رود. پس از روندیابی به روش من کندال، آماره آزمون انجام شده برای دوره ۳۰ ساله ۳/۹۶ به دست آمده و با توجه به آماره ثابت آزمون من کندال (در سطح اطمینان ۹۵ درصد و ۱/۹۶ و در سطح اطمینان ۹۹ درصد ۲/۵۶)، مشخص شد که روند درجه-روز دریافتی کرم سیب در دوره ۳۰ ساله ایستگاه گلمکان هم در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و هم در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد معنادار است. با داشتن درجه-روز دریافتی کرم سیب در هر سال و مقدار درجه-روز لازم برای تکمیل یک نسل از این آفت (۶۵۰ درجه-روز) تعداد نسل‌های کرم سیب در دوره ۳۰ ساله ایستگاه گلمکان به دست آمده و در شکل ۴ نشان داده شده است.

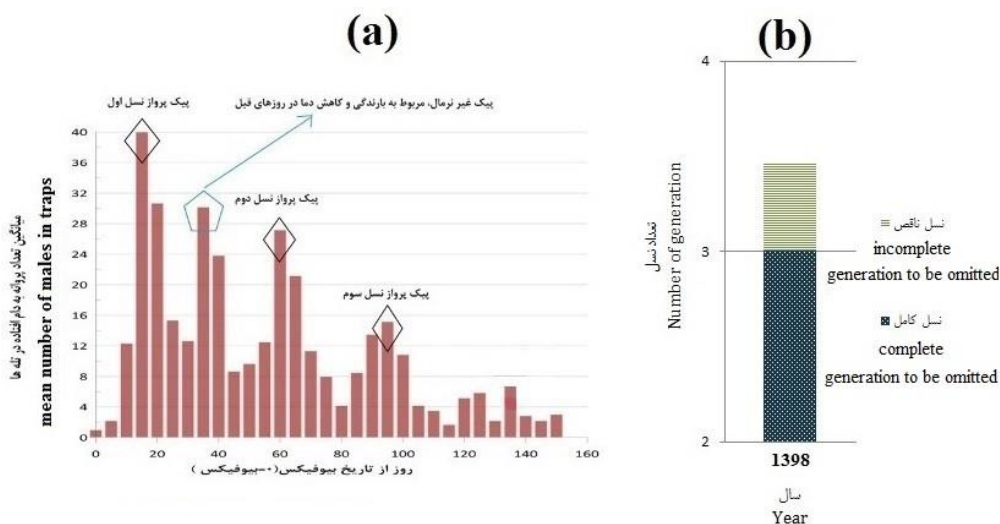
با توجه به شکل ۴ می‌توان دریافت که به جز یک سال در مابقی دوره آماری سه نسل کامل از کرم سیب حضور پیدا کرده است و برخلاف سال‌های اولیه دوره آماری که چرخه زندگی سالانه آفت در

توجه با نتایج تحقیق حاضر و در صورت ادامه روند افزایشی دما برای این مناطق، تعداد نسل‌های کرم سیب نیز افزایش می‌یابد و مبارزه و کنترل این آفت در این مناطق نیز دشوارتر خواهد شد.

نسل کامل و یک نسل ناقص را نشان می‌دهد (شکل ۵ ب). در مطالعه‌ای که باهدف بررسی مقایسه‌ای در مورد تعداد نسل، روند پرواز و تراکم جمعیت کرم سیب در ایران انجام شده است، نتایج نشان داد که کرم سیب دارای سه نسل روی گردو و سیب در منطقه توپسرکان و سه نسل در منطقه بوانات فارس می‌باشد (۲ و ۲۷) که با



شکل ۴- تعداد نسل‌های کرم سیب در ایستگاه گل‌مکان (۱۳۶۸-۱۳۹۷)  
Figure 4- Number of Codling Moth generation at Golmakan station (1989-2018)



شکل ۵- a: تعداد پروانه‌های نر به دام افتاده از تاریخ بیوفیکس تا برداشت (۲۰۱۹)؛ b: نسل‌های کرم سیب در باغ گلابی با توجه به مدل درجه-روز (۲۰۱۹)

Figure 5- a: Number of trapped male from biofix to harvest (2019), b: Generations of Codling moth in the pear orchard according to the degree-day model (2019)

بیفتد و نسل سوم این آفت که در لهستان دیده نشده است، در آینده ظهور پیدا کند (۱۷).

تغییر اقلیم در دهه های اخیر علاوه بر تاثیر بر منابع آب، گیاهان، انسان می تواند زندگی آفات را نیز تحت تاثیر قرار دهد و افزایش تعداد نسل های کرم سیب به عنوان یک آفت کلیدی و خسارت آن روی میوه هایی که کشت وسیعی از ایران را به عنوان میوه های دانه دار به خود اختصاص داده اند، می تواند خسارت های جبران ناپذیری به بخش کشاورزی وارد نماید. نتیجه پژوهش انجام شده در منطقه مطالعاتی به عنوان یک نمونه نشان می دهد که گرم تر شدن هوا می تواند کنترل آفت را دشوارتر کرده و طبیعتاً هرچقدر تعداد نسل آفت در یک سال افزایش پیدا کند، مقاومت آن در برابر سموم و روش های کنترلی افزایش خواهد یافت. در صورت ادامه روند دمایی فعلی و گرم تر شدن هوا، جهت تعدیل اثراتی از قبیل افزایش هزینه ها، افزایش مصرف سموم، افزایش خسارت، تخریب محیط زیست، پایین آمدن کیفیت میوه و به خطر افتادن سلامت انسان که به موجب تغییر اقلیم و تاثیر آن بر آفات اتفاق می افتد، پایش و رصد دقیق آفاتی مانند کرم سیب با تله های فرمونی به منظور مبارزه به موقع و کاهش خسارت و همچنین ارائه روش هایی جهت کنترل بیولوژیک، ضروری به نظر می رسد.

طبق گزارش چهارم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم تا انتهای قرن ۲۱ دمای سطح زمین با توجه به سناریوهای خوش بینانه بین ۲/۹- و ۱/۱ و حدود ۱/۸ و برای سناریوهای بدبینانه بین ۶/۴-۲/۴ و حدود ۴ درجه سلسیوس افزایش می یابد (۱۳ و ۱۴). در تحقیق حاضر مشخص شد که یکی از پیامدهای تغییر اقلیم و گرمایش جهانی که باید توجه ویژه ای به آن شود، تغییر در فنولوژی آفات و روند توسعه و چرخه زندگی آن ها می باشد که می تواند جامعه گیاهی، محیط زیست، امنیت غذایی و به تبع آن ها حیات و سلامت انسان را به خطر انداخته و این خطر در تمامی نقاط جهان وجود خواهد داشت. به نحوی که محققین نشان دادند با گرمایش جهانی در صورتی که میانگین دما ۱ درجه سلسیوس افزایش یابد، درجه روز تجمعی در صورتی که دمای پایه صفر در نظر گرفته شود، حدود ۲۰۵ درجه-روز و در صورتی که دمای پایه ۱۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شود حدود ۸۵ درجه-روز افزایش می یابد (۱۶). افزایش پیدا می کند. رادوسلاو و همکاران (۲۰۱۳) نیز پس از بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر توسعه کرم سیب دریافتند که طبق داده های مدل HadCM3 و GISS برای پیش بینی آینده، دریافتند که به طور متوسط در یک دهه، درجه-روز دریافتی کرم سیب با دمای پایه صفر درجه سلسیوس ۱۴۲ درجه و با دمای پایه ۱۰ درجه سلسیوس، ۹۱ درجه افزایش می یابد. این اتفاق باعث می شود مراحل کلیدی زندگی آفت در آینده ۴ الی ۷ روز در هر دهه، زودتر اتفاق

## منابع

- 1- Alston D., Marion M., and Reding M. 2010. Codling moth (*Cydia pomonella*). Published by Utah state University Extension and Utah Plant Pest Diagnostic Laboratory. Available at <http://extension.usu.edu/files/publications/factsheet/codling-moths 06.pdf>.
- 2- Amiri R., Shojaaddini M., Motazedian N., and Zibayee K. 2014. Degree-day and pheromone traps in control timing of codling moth, *Cydia pomonella* L. Journal of Agricultural Pests Management 1: 34-40. (In Persian with English abstract)
- 3- Arnold C.Y. 1959. The development and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 74: 430-445.
- 4- Asadi GH., Alich M., Zibayee K., and Mosalaie K. 2001. Use Degree-Days to determined time for chemical control for *Cydia pomonella* in Sepidan. Journal of Agriculture Sciences and Natural Resources, 98 p. (In Persian with English abstract)
- 5- Asadi GH., Gholami M.R., and Lakzyan A. 2009. Study of seasonal population of *Cydia pomonella* and best time for chemical control in Shiravan. Journal of Agriculture Sciences and Natural Resources 3: 71-78. (In Persian with English abstract)
- 6- Charmillot P.J., Pasquier D., and Briand D. 2005. Resistance du carpocapse *Cydia pomonella* aux insecticides. REV. Suisse viticulture Arboriculture Horticulture 37: 123-127.
- 7- Daneshnia N., Alich M., and Heidari B. 2012. Determining the appropriate spray time for *Cydia pomonella* (Lep: Tortricidae) in apple orchards using sex pheromone and degree day in Khanehzenyan, Fars 4: 37-44. (In Persian with English abstract).
- 8- Delisle J. 1992. Monitoring the seasonal male flight activity of *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) in eastern Canada using virgin females and several different pheromone blends. Environmental Entomology 21(5): 1007-1012.
- 9- Durant J.A., Manley D.G., and Carde R.T. 1986. Monitoring of the European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) in South Carolina using pheromone traps. Journal of Economic Entomology 79(6): 1539-1543.
- 10- Edelson J.V. 1989. Development of onion thrips, *Thrips tabaci* Lindeman, as a function of temperature.



- Southwest. Entomologist 13: 171-176.
- 11- Gilbert N., and Raworth D.A. 1996. Insects and temperature—a general theory. The Canadian Entomologist 128(1): 1-13.
  - 12- Harrington R., Fleming R.A., and Woiwod I.P. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted?. Agricultural and Forest Entomology 3(4): 233-240.
  - 13- IPCC (2007a) IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Working Group I Report. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
  - 14- IPCC (2007b) IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 Synthesis Report, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 52.
  - 15- Jonsson A.M., Appelberg G., Harding S., and Barring L. 2009. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. Global Change Biology 15(2): 486-499.
  - 16- Juszczak R., Panfil M., and Lesny J. 2010. Changes of cumulative degree-days as an indicator of climate changes in the Masuria Region. In: Leśny J (ed) Agrometeorology research. Acta Agrophysica 185: 141-153.
  - 17- Juszczak R., Kuchar L., Leśny J., and Olejnik, J. 2013. Climate change impact on development rates of the codling moth (*Cydia pomonella* L) in the Wielkopolska region, Poland. International Journal of Biometeorology 57(1): 31-44.
  - 18- Knodel J.J., and Agnello A.M. 1990. Field comparison of nonsticky and sticky pheromone traps for monitoring fruit pests in western New York. Journal of Economic Entomology, 83(1): 197-204.
  - 19- Lange H., Okland B., and Krokene P. 2006. Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. International Journal for Complex Systems 1648:1-10.
  - 20- Logan D.J., Wolessky W., and Joern A. 2006 Temperature-dependent phenology and predation in arthropod systems. Ecological modelling 196(3-4): 471-482.
  - 21- Mondani F., Nassiri M.M., and Koochaki A. Modeling of Sunn Pest (*Eurygaster integriceps* Put.) Damage on Winter Wheat (*Triticum aestivum*) Growth and Yield under Climate Change Condition. Plant Production Technology 14(2):61-75.
  - 22- Ohlendorf B. 1998. UC IPM pest management guidelines. UC IPM pest management guidelines. Available at <http://ipm.ucanr.edu/PMG/r4300111.html>.
  - 23- Olfert O., and Weiss R.M. 2006. Impact of climate change on potential distributions and relative abundances of *Oulema melanopus*, *Meligethes viridescens* and *Ceutorhynchus obstrictus* in Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment 113(1-4): 295-301.
  - 24- Pitcarin M.J., Zalon F.G., and Rice R. 1992. Degree-day forecasting of generation of *Cydia pomonella* population in California. Environmental Entomology 21: 441-446.
  - 25- Rajabi G.R. 1985. Insects Attacking of Rosaceous Fruit Trees in Iran. Iranian Research Institute of Pest and Disease of Plant, Tehran. 209 p. (In Persian)
  - 26- Rajabi G.R., Malmir A., and Naderian H. 2006. Comparative study of number of generation, flight span and population density of Codling moth in walnut and apple orchards in various altitudes of Iran. Journal of Pest and Disease of Plants 2: 1-12. (In Persian)
  - 27- Reyes M., Franck P., Charmillot P.J., Ioriatti C., Olivares J., Pasqualini E., and Sauphanor B. 2007. Diversity of insecticide resistance mechanisms and spectrum in European populations of codling moth, *Cydia pomonella*. Pest Management Science 63: 890-902.
  - 28- Roberts W.P., and Higley C.E.A. 1986. Pest management program for apple series: codling moth. Journal of Ontario Ministry of Agriculture and Food of Canada 8: 1-9.
  - 29- Rosenzweig C., Iglesias A., Yang X.B., Epstein P.R., and Chivian E. 2001. Climate change and extreme weather events; implications for food production, plant diseases, and pests. Global Change and Human Health 2(2): 90-104.
  - 30- Samietz J., Stoeckli S., Hirschi M., Spirig C., Hohn H., Calanca P., and Rotach M. 2011. Modelling the impact of climate change on sustainable management of the codling moth (*Cydia pomonella*) as key pest in apple. 1068 pp. 35-42. In 9<sup>th</sup> International Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management. 19 June 2011.
  - 31- Stara J., and Kocourek F. 2007. Insecticidal resistance and cross-resistance in populations of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in central Europe. Journal of Economic Entomology 100(5): 1587-595.
  - 32- Sutherst R.W. 2000. Climate change and invasive species: a conceptual framework. Invasive species in a changing world: 211-240.
  - 33- Taylor R.A.J., Herms D.A., Cardina J., and Moore R.H. 2018. Climate change and pest management: unanticipated consequences of trophic dislocation. Agronomy 8(1):7.
  - 34- Vincent C., Mailloux M., Hagley E.A.C., Reissig W.H., Coli W.M., and Hosmer T.A. 1990. Monitoring the codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) and the *obliquebanded leafroller* (Lepidoptera: Tortricidae) with sticky and nonsticky traps. Journal of Economic Entomology 83(2): 434-440.

## Calculation of the Base Temperature and Investigation of Changes in Number of Codling Moth (*Cydia pomonella*) Generations, with Degree-Day Model in Chenaran

M. Helmi Jaded<sup>1</sup>- M. Musavi Baygi<sup>2\*</sup>- H. Sadeghi Namaghi<sup>3</sup>

Received: 04-01-2020

Accepted: 11-05-2020

**Introduction:** Codling moth (*Cydia pomonella*) is one of the most important agricultural pests which annually damages apples, pears, and walnuts orchards. Like other pests, codling moth development depends to the air temperature. Climate changes have many impacts on the environment and pests are affected by these changes, too. Codling moth has two generations in cold regions and 4 to 5 generations in warm regions per year. The number of this pest generations and the damages which it caused in the orchards depends on the amount of received cumulative temperature during a growing season. Increasing the average daily temperature will increase the cumulative degree-day and subsequently, this can increase the number of pest generations annually. The increase in the number of pests as a result of global warming can damage the environment and food security significantly. One of the effects of climate changes on the pest can be identified with an overview of the codling moth generation and its changes over the past years.

**Materials and Methods:** Maximum and minimum temperature data of Golmakan synoptic station (Khorasan Razavi) were used to calculate the number of codling moth generations (1989-2018). Average daily temperature was calculated using maximum and minimum temperatures. To estimate the degree-day, the base temperature was obtained by the growth rate method at different temperatures. In this method, the growth rate of one stage of pest life (egg laying to egg hatching) was recorded at different temperatures and the temperature in which the growth rate becomes zero was considered as the base temperature. Then, degree-day was calculated by subtracting the base-day temperature from daily mean temperature and cumulative degree-day for each year was obtained by summing degree-days biofix to harvest. The biofix date in 2019 was obtained by the pheromone traps and the first male trapped in the pear orchard near Golmakan station. Pest activity initiates at temperatures higher than the base temperature, so the biofix date for each year (1989–2018) was selected based on the mean daily temperature that reached the base temperature and then increased. Biofix in the pear orchard also occurred under these circumstances. Trend of cumulative degree-day was analyzed by Mann-Kendall nonparametric test in the statistical period 1989-2018 to examine cumulative degree-day changes. Pheromone trap data in pear orchards in 2019 and previous studies show that codling moth need about 650°C degrees-day temperature to complete each generation. Consequently, the number of pest generations for each year was calculated by dividing the cumulative degree-day by 650 DD. The number of male trapped in pheromone traps from biofix to harvest and flight peaks shows the number of the codling moth generations in the area of observation. Finally, the number of codling moth generations in 2019 were compared to the number of generations of this pest in the statistical period 1989–2018.

**Results and Discussion:** The average annual temperature in Golmakan station varied from 13.9°C to 16.7°C from 1989 to 2018. Considering the codling moth growth rate from laying to hatching at 8, 10, 12, 14, 16, 18°C, base temperature in which the growth rate was zero, was obtained 8.4°C. The cumulative degree-day for codling moth from biofix to harvest in the statistical period 1989–2018 was between 1780°C in 1992 and 2456°C in 2008. Recorded air temperature data by data logger in pear orchard showed that the pest received 2251°C degree-day in 2019. The results of Mann-Kendall test showed an increasing and significant trend for cumulative degree-day. After calculating the cumulative degree-day, it was determined that the codling moth had three generations in the past 30 years except one year. The mean cumulative degree-day was 2067°C in 1989-1998, 2215°C in 1999-2008, and 2300°C in 2009-2018. This shows that the average cumulative degree-day increased by 143°C in the first ten years and 85°C in the second ten years. According to the results of this study, at the beginning of the statistical period, pest's life cycle stops at the beginning of the third generation and it enters the pupal and overwintering stage. Toward the end of the statistical period, pest life cycle is going to complete and reach to the fourth generation. In 2019, pheromone traps registered 3 pike flights for codling moth in the pear

1 and 2- Ph.D. Candidate and Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.

(\*- Corresponding Author Email: Mousavib@um.ac.ir)

3- Professor, Department of Plant protection, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

orchard near the Golmakan station. Thus, in 2019, there were three generations of this pest in the area of observation. If these conditions continue, the fourth generation may be presented in the area of observation in next years.

**Conclusion:** The results of this study showed that increasing the mean of daily temperature increases the cumulative degree-day and if the temperature continues to rise, the occurrence of fourth generation will not be unexpected in the coming years. Damage to apple, pear, and walnut orchards increases by increasing number of codling moth. Therefore it will be more difficult to control this pest. Under these conditions, using pesticides will increase in agriculture and there will be environmental problems. According to the results of this study in order to manage codling moth, it is necessary to determine the exact number of generations and the appropriate time of spraying due to the time of egg hatching in each region.

**Keywords:** Base temperature, Climate change, Codling moth, Degree-day