

بررسی اثرات تنش‌های آب‌وهوایی بر شدت آسیب آفات و بیماری‌های میوه خرما

مسعود لطیفیان

دانشیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم باغبانی

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۱۵ - تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۵)

چکیده

ریزش میوه، کرم میوه‌خوار (*Batrachedra amydraula* Meyrick)، کنه تارتن (*Oligonychus afrasiaticus* McGregor)، عارضه خشکیدگی خوشه و بیماری خامج (*Mauginiella scaettae* Cavara) از عوامل مهم خسارت درختان خرما هستند. این پژوهش در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ به مدت ۱۰ سال در منطقه آبادان برای بررسی اثرات تنش‌های حرارتی و رطوبتی بر شدت آسیب و شبیه‌سازی مدل پیش‌آگاهی عوامل خسارت‌زای نخل خرما انجام شد. چهار نخلستان از چهار روستا به صورت تصادفی انتخاب و ماهانه از آن‌ها تا هنگام برداشت میوه برای درصد آسیب میوه خرما نمونه‌برداری شد. داده‌های هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک آبادان جمع‌آوری گردیدند. در طراحی سامانه از مدل‌های حرارتی، رطوبتی و رگرسیون چند متغیره استفاده شد. نتایج نشان دادند که مقدار آسیب ریزش میوه، کرم میوه‌خوار، کنه تارتن، عارضه خشکیدگی خوشه و بیماری خامج به ترتیب در ماه‌های فروردین، خرداد، تیر، شهریور و فروردین هم‌زمان با مرحله فنولوژیکی حبابوک، کیمری، خارک، تبدیل خارک به رطب و حبابوک به حداکثر می‌رسد. میزان آسیب این عوامل به ترتیب از دمای ۲۱/۴، ۲۱، ۲۶/۷، ۳۰/۲ و ۲۱/۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۱۴/۷، ۲۰، ۲۱/۳، ۱۴/۷ و ۲۷/۹ درصد شروع شده و تا دمای ۴۰/۹، ۳۶، ۵۰، ۵۰، ۳۷/۶ درجه سلسیوس به تدریج افزایش می‌یابد. مدل پیش‌آگاهی عوامل آسیب‌زای خرما به ترتیب در سطح ۱، ۵، ۵، ۵ و ۵ درصد معنی‌دار بود. در تمام مدل‌های پیش‌آگاهی ضریب تبیین بالاتر از ۰/۷ و خطای تشخیص کم‌تر از ۲۵ درصد بود. در میان شاخص‌های هواشناسی میزان رطوبت نسبی و بارندگی بیشترین تأثیر را در تغییرات شدت آسیب عوامل مورد بررسی داشتند.

واژه‌های کلیدی: خرما، عوامل آسیب، تنش‌های آب‌وهوایی.

Effects of climatic stress on the severity of date palm fruits pests and diseases damages

Latifian Masoud

Associate Professor Agricultural Research, Extension and education organization, Horticulture science Research Institute

(Received: October 7, 2019 - Accepted: January 25, 2020)

ABSTRACT

Fruits dropping, the lesser moth (*Batrachedra amydraula* Meyrick), spider mite (*Oligonychus afrasiaticus* McGregor), Date bunch fading, and Date palm inflorescence rot diseases (*Mauginiella scaettae* Cavara) are important injurious factors of the date palm. This research was carried out in the Abadan region from 2005 to 2014 to study the effects of temperature and humidity stresses on injury severity and simulation of date palm damages prediction model. Four different date palm orchards from four villages were selected and sampled monthly for the percentage of the date fruit damage until harvest. Climatic data were obtained from the Abadan meteorology station. Multivariate regression, thermal, and humidity models were used to design the system. Results showed that fruits dropping, the lesser moth, spider mite, Date bunch fading, and Khamedje diseases damages reached maximum at the months of April, June, July, September, and April, which coincided with the phenological stage of the Hababok, Kimri, Khark, turning Khark into Rotab, and Hababok, respectively. The damage of these factors started at temperature 21.4, 21, 26.7, 30.2, and 21.4 °C and relative humidity 14.7, 20, 14.7, 21.3, and 27.9 gradually increased to 40.9, 36, 50, 50, and 37.6 °C, respectively. Forecasting model of damage factors has been significant at levels of 1, 5, 5, 5, and 5 percent, respectively. All of the forecasting models had a coefficient higher than 0.7 and the detection error less than 25 percent. Among the meteorological indices, relative humidity and rainfall had the most influence on the variations in the severities of damages.

Keywords: Date palm, damage causing factors, weather stress.

مقدمه

در زیست‌بوم نخلستان موقعیت نخل‌های خرما، حشرات، سایر بندپایان و عوامل بیمارگر گیاهی تابعی از شرایط زیست‌اقلیمی هستند. هرگونه توجیه و تفسیر علل نوسان‌های رشد و انبوهی جمعیت آن‌ها همراه با نحوه تأثیر هر یک از عوامل اقلیمی از جمله حرارت و رطوبت معنی‌دار است (Latifian, 2014b). در میان آفات خرما، کرم میوه‌خوار (*Batrachedra amydraula* Meyrick) فعالیت خود را در درجه حرارت‌های پایین در اوایل فصل آغاز می‌کند (Latifian and Zare, 2003; Latifian and Solimannejadian, 2009). کنه تارتن خرما (*Oligonychus afrasiaticus* McGregor) حرارت‌دوست بوده و با سرد شدن هوا تراکم جمعیت و میزان تخم‌گذاری این آفت کاهش می‌یابد. خسارت این کنه در جاهای گرم بیش‌تر از سایر مناطق است (Latifian, 2014a). شپشک سفید خرما (*Partatoria blanchardi* Targioni Tozzetti) دارای بیش‌ترین حساسیت به تغییرات رطوبت نسبی محیط است (Latifian and Zaerae, 2009). دما، یک شاخص اصلی محیطی است که برای پیش‌بینی چرخه زندگی حشرات در نظر گرفته می‌شود. فنولوژی، تولیدمثل و میزان رشد حشرات در معرض رژیم‌های مختلف آب‌وهوایی مختلف به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است. کمینه دما به‌عنوان یک عامل مهم در گسترش جمعیت حشرات است. افزایش دما این امکان را به حشرات می‌دهد که بتوانند دامنه‌های گسترش خود را به عرض‌های جغرافیایی و ارتفاعات بالاتر گسترش دهند (Bale et al., 2002). همچنین تعداد آن‌ها به دلیل فصول طولانی‌تر رشد افزایش و احتمال خسارت‌زایی آن‌ها بیشتر می‌شود (Bjorkman and Niemela, 2015). تغییرات اقلیمی چالش‌های جدیدی به وجود آورده‌اند که اولویت‌های پژوهشی مطالعه آفات را تحت تأثیر قرار داده است. رفتارهای عوامل خسارت‌زای گیاهی در نتیجه نوسانات میانگین‌های دمایی و توزیع بارندگی در طول فصل تغییر می‌کند. شواهدی وجود دارند که نشان می‌دهند عوامل بیماری‌زایی که برای ده‌ها سال در محیط‌های خاص

هیچ تأثیری در محصولات کشاورزی نداشته‌اند، اکنون در حال تبدیل شدن به عوامل اصلی کاهش عملکرد هستند (Lees and Hilton, 2003; Yang and Navi, 2005; Berger et al., 2007; Parker and Warmund, 2011; Gramaje et al., 2016). تغییر اقلیم به دلایل مختلف احتمال ورود، استقرار و شیوع بیماری‌ها و آفات گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای برخی آفات و بیماری‌های گیاهی آب‌وهوا مساعدتر و برای برخی دیگر نامطلوب می‌شود (Harrington and Clark, 2007). این امر در شرایط ناپایدار و با احتمال زیاد ورود و استقرار آفات جدید را در مناطقی که در حال حاضر به دلیل نامساعد بودن محیط در معرض خطر نیستند، فراهم می‌کند. رابطه آب‌وهوایی و محیطی جدید مرتبط با تغییر اقلیم ممکن است توزیع جغرافیایی گونه‌های میزبان را تغییر داده و آن‌ها را در تماس با آفات و بیماری‌های گیاهی مرتبط قرار دهد که هیچ‌گونه مقاومتی در مقابله با آن ندارند (Bergot and Cloppet, 2004). به دلیل تحول در انتخاب و سازگاری با موقعیت‌های جدید، ممکن است آفات و بیماری‌های جدید برای محصولات گیاهی ظهور کنند (Wiedner and Rucker, 2007). اگرچه برخی از اثرات تغییر آب‌وهوا می‌تواند در کاهش خسارت آفات سودمند باشد، اما شواهد نشان می‌دهند که در بسیاری از مواقع تغییرات آب‌وهوایی مشکلات آفات را بیشتر و غیرقابل‌پیش‌بینی می‌کند (Gregory et al., 2009). با این حال، به دلیل تأثیر متقابل افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر، تغییر رژیم و شدت حوادث آب‌وهوایی، پیش‌بینی اثرات آن‌ها بر تغییر توانایی خسارت‌زایی آفات کار ساده‌ای نیست (Bebber et al., 2013)؛ بنابراین پژوهش پیرامون مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر در فعالیت آفات نخل خرما در مدیریت تلفیقی آفات (IPM)^۱ دارای اهمیت خاصی است.

مواد و روش‌ها

زمان و مکان اجرای پژوهش

این پژوهش در طی سال‌های ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۴ به مدت ۱۰ سال در منطقه آبادان انجام شد.

1 - Integrated Pest Management

Guedes *et al.*, 2000) و گودس و همکاران (*et al.*, 2000) استفاده شد. ابتدا یکسان بودن توزیع داده‌های آسیب با عوامل آب‌وهوایی با آزمون نرمال کلموگرو-اسمینروف^۲ بررسی شد (Khamis, 1990). سپس از مدل‌های حرارتی، تک‌مولکولی^۳، رشد لجستیک^۴، گومپرتز^۵، ویبول^۶، ریچارد^۷ و مدل‌های رطوبتی رشد اشباع، خطی و درجه دوم استفاده شد (Bregaglio *et al.*, 2010). مدلی مناسب‌تر است که دارای ضریب تبیین بزرگ‌تر و خطای معیار کوچک‌تری باشد (Bellocchi *et al.*, 2010).

مدل پیش‌آگاهی عوامل آسیب میوه

در تکوین مدل پیش‌آگاهی از مدل‌های مشابه روش آندره‌وارتا و بریچ استفاده شد (Andrewartha and Birch, 1953). در این نوع مدل‌ها اثرات عوامل آب‌وهوایی بر روی نوسانات آسیب با محاسبه ضریب همبستگی بین آسیب و آمار هواشناسی ارزیابی شد. حداکثر آسیب به‌عنوان تابعی از عوامل آب‌وهوایی در یک معادله رگرسیون چند متغیره گنجانیده شده و ضرایب عوامل آب‌وهوایی در ماه‌های مختلف قبل از رسیدن به انبوهی و در طی دوره زمستان گذرانی برآورد شدند. سپس مقادیر عددی ضرایب عوامل غیر معنی‌دار یا کوچک حذف شدند. محاسبه‌ها با متغیرهای آب‌وهوایی باقی‌مانده ادامه شدند. برای این منظور ۳۳ عامل به‌صورت جدول ۱ تعریف شدند (Bregaglio *et al.*, 2011). از آنجاکه سادگی یکی از شرایط اساسی یک مدل مناسب کاربردی است؛ بنابراین به‌منظور تعدیل تعداد عوامل، آنالیز رگرسیون چندعاملی به طریق مرحله‌ای^۸ انجام گردید. برای انجام محاسبات آماری و طراحی مدل‌ها از نرم‌افزار کرو اکسپرت^۹ و اس-آ-اس^{۱۰} استفاده شده است (Lee *et al.*, 2015).

نمونه‌برداری‌ها از چهار روستای منطقه به‌صورت تصادفی و ماهانه انجام شد. آبادان جزیره‌ای است با مساحت ۲۳۱۶ کیلومترمربع که در ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است.

اطلاعات هواشناسی

داده‌های هواشناسی شامل بیشینه و کمینه مطلق دما، میانگین بیشینه و کمینه دما، متوسط دمای ماهانه، بیشینه و کمینه مطلق رطوبت نسبی، میانگین بیشینه و کمینه رطوبت نسبی، متوسط رطوبت نسبی ماهانه، جمع بارندگی، بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته، تعداد روزهای بارانی، متوسط بارندگی ماهانه، تعداد روزهای یخبندان، جمع ساعت آفتابی، جمع تبخیر ماهانه، بیشینه سرعت و سمت باد ماهانه در طول سال از طریق ایستگاه سینوپتیک هواشناسی منطقه جمع‌آوری و در طراحی مدل استفاده شدند (Dent and Walton, 1999; Diaz and Michael, 1982).

برآورد آسیب آفات و بیماری‌ها

برای برآورد آسیب ریزش میوه، کرم میوه‌خوار، کنه تارتن، عارضه خشکیدگی خوشه و بیماری خامج از هر روستا یک نخلستان به‌صورت تصادفی انتخاب و نمونه‌برداری از آن در طول فصل انجام شد. در هر نخلستان تعداد ۱۰ نفر نخل و از آن‌ها تعداد سه رشته میوه به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد میوه‌های سالم، آلوده و درصد آسیب محاسبه شدند. وجود لارو و یا علایم آسیب در هر میوه به‌عنوان ملاک آسیب در نظر گرفته شدند. هم‌زمان داده‌های بازه زمانی مراحل فنولوژی خرما شامل ظهور اسپات، حبابوک، کیمری، خلال، خارک، رطب و تمار ثبت شد. ملاک ورود ۵۰ درصد میوه‌های خوشه‌های نخل‌های خرما موردبررسی به مرحله مربوطه بود.

برآورد دامنه بحرانی حرارتی و رطوبتی

برای برآورد دامنه بحرانی حرارتی و رطوبتی وقوع آسیب از روش‌های چاترچی و همکاران (Chatterjee

2 - kolomogrov – Smirnov – two sample test

3 - Monomolecular model

4 - Logistic model

5 - Gompertz model

6 - Weibull model

7 - Richard model

8 - Stepwise regression

9 - Curve Expert

10 - SAS

جدول ۱. پارامترهای آب‌وهوایی مورد بررسی در مدل‌های پیش‌آگاهی

Table 1. Climatic parameters examined in the forecast models

Factor	Abbreviation parameter	Factor	Abbreviation parameter
Average spring temperature	X ₁	Total winter rainfall of last year	X ₁₇
Average summer temperature	X ₂	Total spring rainfall	X ₁₈
Average winter temperatures last year	X ₃	Total summer rainfall	X ₁₉
Average autumn temperature last year	X ₄	Number of Rainy Months	X ₂₀
Average temperature last year	X ₅	Total rainfall in February	X ₂₁
The maximum temperature of February of last year	X ₆	Total rainfall in March	X ₂₂
The maximum temperature of March of last year	X ₇	Total rainfall in April	X ₂₃
The maximum temperature of the year	X ₈	Average relative humidity of last year	X ₂₄
The highest temperature of the warmest month of the year	X ₉	Average humidity the most humid month of the year	X ₂₅
Minimum temperature of the coldest month of the year	X ₁₀	Average humidity the deriest month of the year	X ₂₆
temperature of the warmest month of the year	X ₁₁	Average humidity of last year autumn	X ₂₇
temperature of the Lowest rainfall month of the year	X ₁₂	Average relative humidity in last year winter	X ₂₈
Rain of last year	X ₁₃	Average spring relative humidity	X ₂₉
The rainfall of the highest rainy month of the year	X ₁₄	Average summer relative humidity	X ₃₀
The rainfall of the lowest rainy month of the year	X ₁₅	Average humidity of February last year	X ₃₁
Total rainfall of last year	X ₁₆	Average humidity March of last year	X ₃₂
		Average April Humidity	X ₃₃

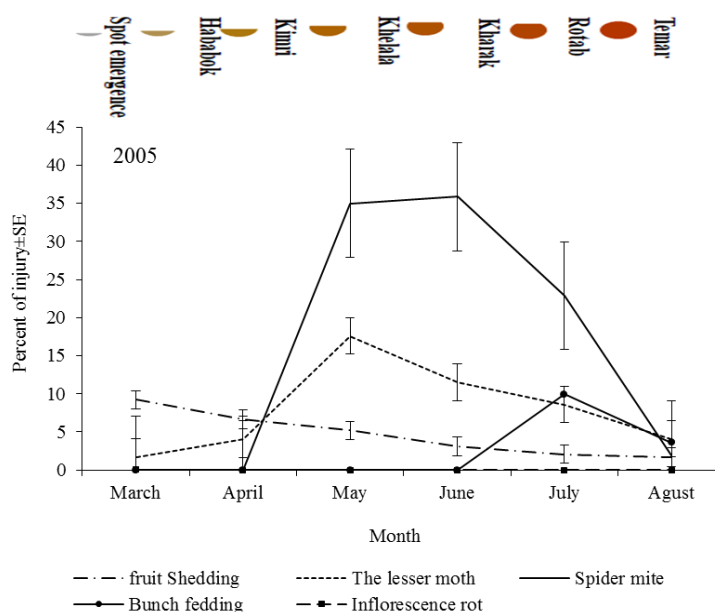
گردیده است. اوج وقوع آسیب عوامل مختلف متفاوت بود و با شرایط فنولوژیکی رشد میوه نخل خرما تغییراتی را نشان داد.

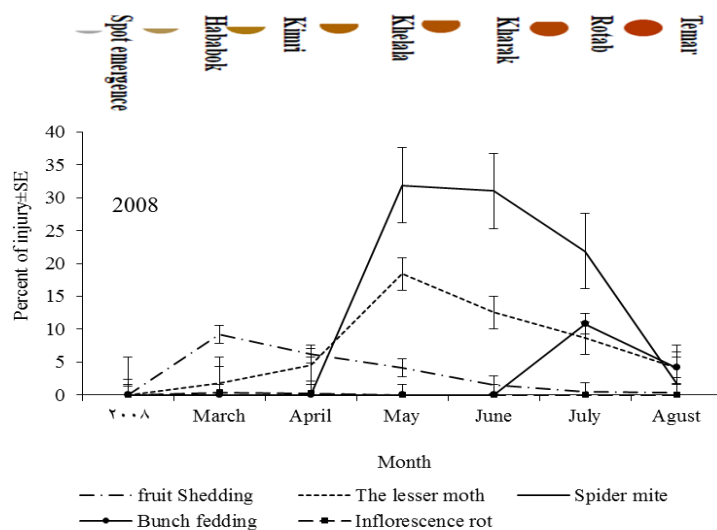
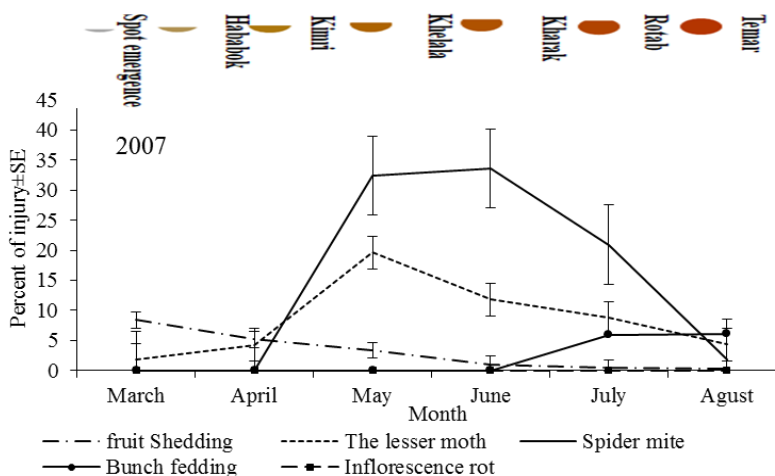
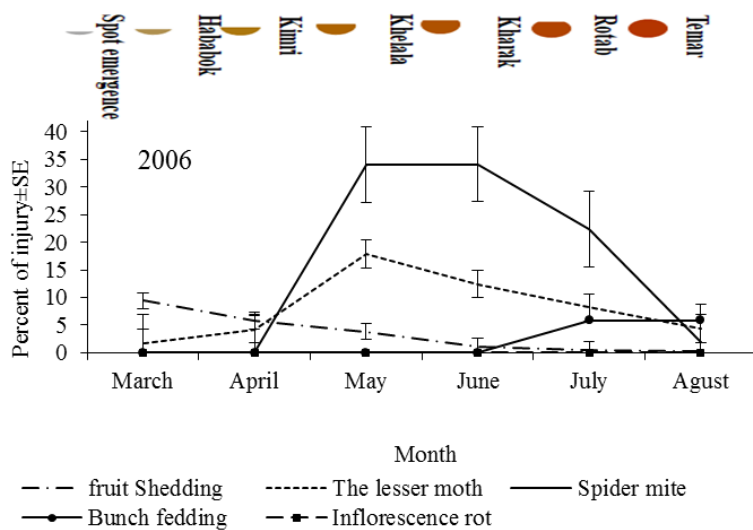
نتایج

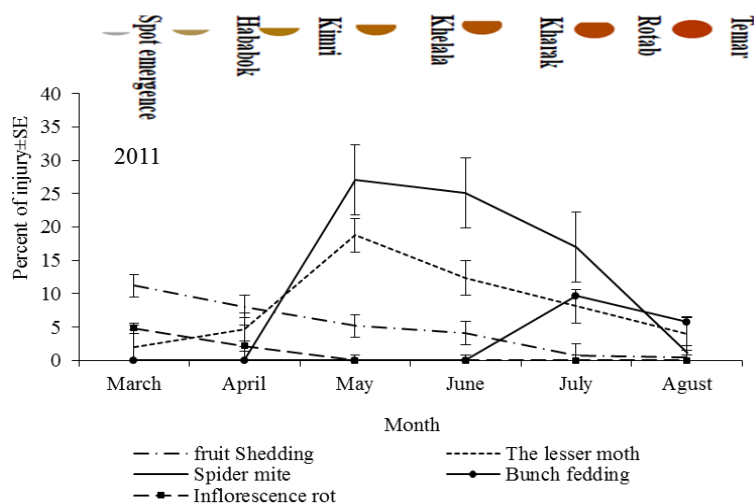
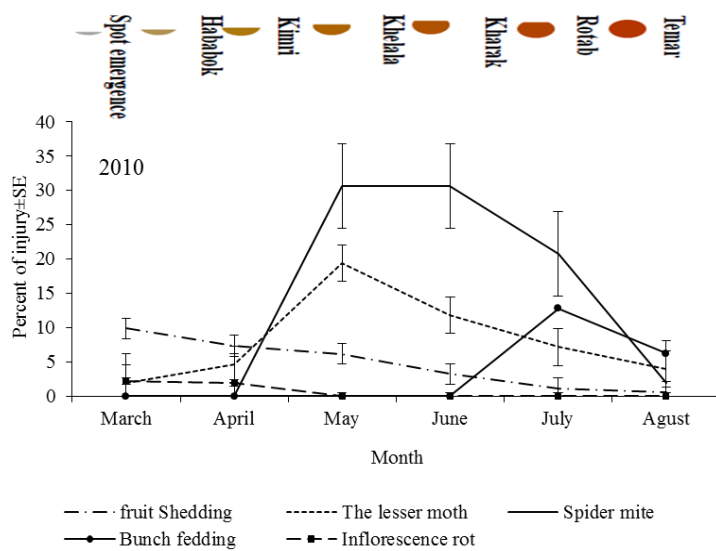
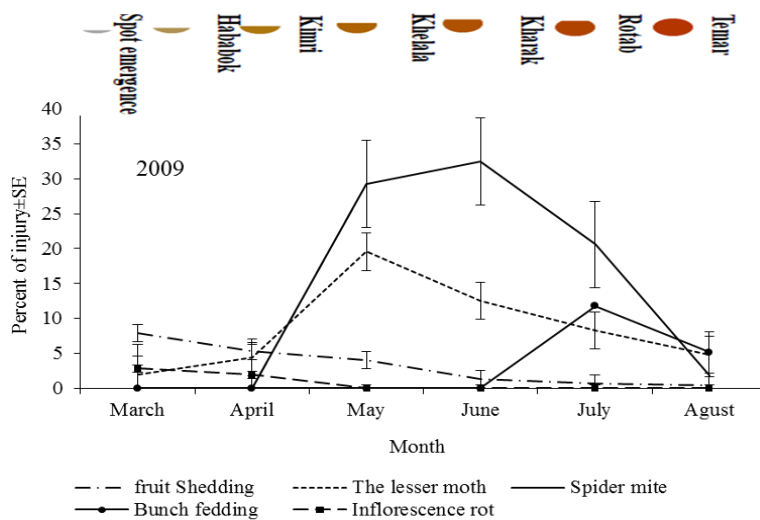
۱- تغییرات فصلی میزان آسیب عوامل آسیب و

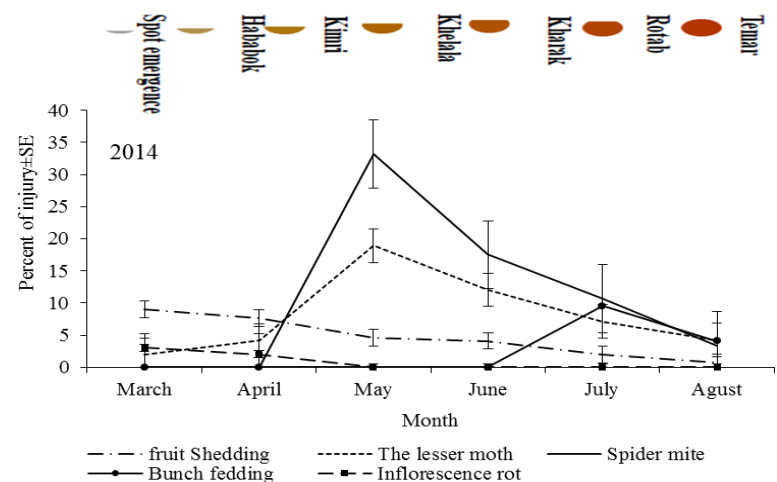
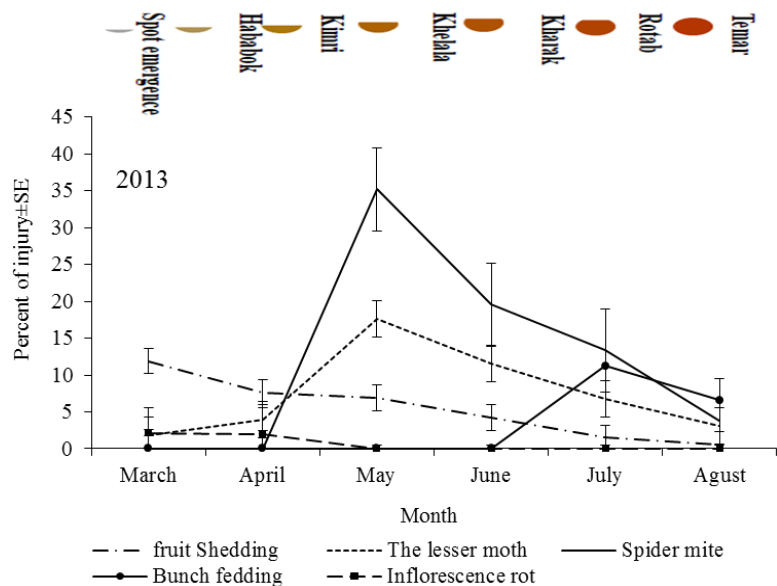
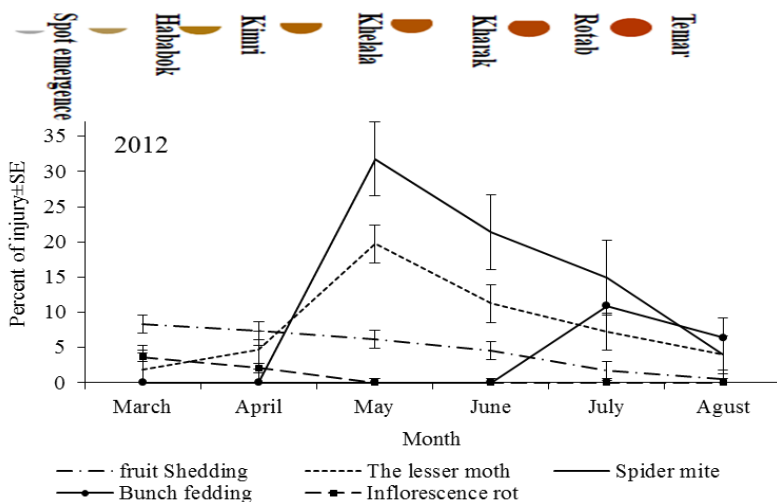
تطبيق آن با مراحل فنولوژیکی میوه

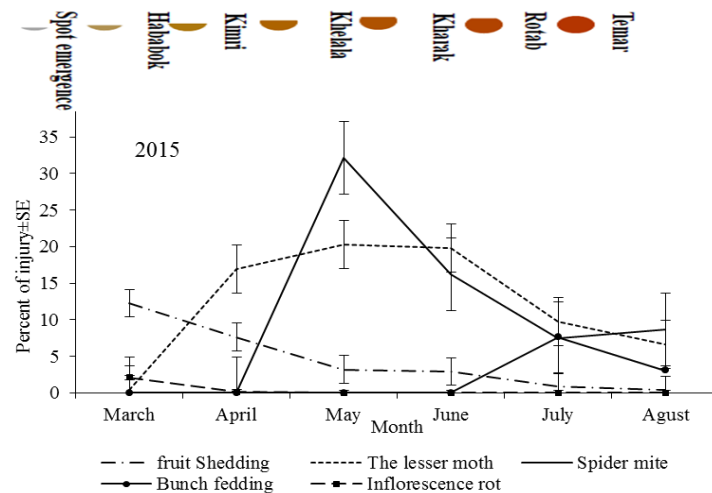
نتایج به دست آمده از این پژوهش‌ها در شکل ۱ درج











شکل ۱. تغییرات فصلی درصد آسیب میوه خرما طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ در منطقه آبادان
Figure 1. Seasonal fluctuations of date fruit injuries during the years 2005 to 2015 in Abadan region

الف- ریزش میوه

آسیب ریزش میوه در هر سال از حدود فروردین‌ماه آغاز گشته و به تدریج با گرم شدن هوا و افزایش رطوبت نسبی و افزایش سن میوه کاهش یافت (شکل ۱). اوج ریزش میوه در مرحله رشدی حبابوک بود.

ب- کرم میوه‌خوار

آسیب آفت در هر سال از نزدیک به فروردین‌ماه آغاز شد. به تدریج با گرم شدن هوا و افزایش رطوبت نسبی بر شدت آن افزوده شد (شکل ۱)؛ به طوری که در حدود ماه‌های خرداد و تیر آسیب آفت به بیشترین مقدار رسیده و پس از آن به تدریج از آن کاسته شد. در شهریورماه، همراه با آغاز زمستان‌گذرانی لاروها، آسیب آفت نیز متوقف شد. اوج فعالیت آفت در مرحله فنولوژیکی کیمری بود.

ج- کنه تارتن

آسیب آفت در هر سال از نزدیک به اردیبهشت‌ماه آغاز شده و به تدریج با گرم شدن هوا و افزایش رطوبت نسبی بر شدت آن افزوده شد (شکل ۱). اوج فعالیت آفت هم‌زمان با مرحله فنولوژیکی خارک بود؛ به طوری که در حدود ماه‌های تیر و مرداد آسیب آفت به بیشترین مقدار رسیده و پس از آن به تدریج از آسیب آفت کاسته شد. در شهریورماه، همراه رسیدگی میوه و ورود به مرحله رطب، آسیب آفت نیز کاهش یافت.

د- عارضه خشکیدگی خوشه

آسیب این عامل در هر سال از نزدیک به مردادماه آغاز و به تدریج با گرم شدن هوا و کاهش رطوبت نسبی بر شدت آن افزوده شد (شکل ۱)؛ به طوری که در حدود شهریورماه همراه با ورود میوه از حالت خارک به رطب، آسیب عامل به بیشترین مقدار رسید.

ح- بیماری خامج

آسیب بیماری در هر سال از نزدیک به اسفندماه هم‌زمان با ظهور اسپات‌ها آغاز و به تدریج با گرم شدن هوا و افزایش رطوبت نسبی بر شدت آن افزوده شد (شکل ۱)؛ به طوری که در نزدیک به فروردین‌ماه در آغاز مرحله رشدی حبابوک به بیشترین مقدار خود رسید. در اردیبهشت‌ماه همراه با باز شدن اسپات‌ها و ورود به حالت میوه و گذر از مرحله حساس، شدت آسیب کاهش و روند بیماری متوقف شد.

برآورد دامنه بحرانی حرارتی و رطوبتی وقوع آسیب

الف- دامنه حرارتی

خلاصه نتایج ارزیابی مدل‌های روابط حرارتی که با استفاده از دو معیار ضریب تبیین (R) و مربع میانگین اشتباهات (Mse) صورت گرفته در جدول ۲ درج گردیده‌اند.

جدول ۲. برازش مدل‌های رابطه حرارت با عوامل آسیب

Table 2. Fitting temperature relationship models to injury factors

Damaging factor	Models	R	Predicted R ²	Adjusted R ²	Mse
fruit Shedding	Gompertz	0.81	0.76	0.56	2.48
	Logestic	0.84	0.79	0.59	3.45
	Richard	0.76	0.71	0.53	3.31
	Monomolecular	0.82	0.77	0.57	2.21
	Weibull	0.85	0.80	0.59	1.83
The lesser moth	Gompertz	0.84	0.79	0.59	0.06
	Logestic	0.86	0.81	0.60	0.06
	Richard	0.72	0.67	0.50	0.04
	Monomolecular	0.82	0.77	0.57	0.81
	Weibull	0.73	0.68	0.51	0.92
Spider mite	Gompertz	0.58	0.54	0.40	2.09
	Logestic	0.46	0.43	0.32	2.12
	Richard	0.59	0.55	0.41	2.14
	Monomolecular	0.64	0.60	0.45	1.06
	Weibull	0.63	0.59	0.44	3.74
Bunch feeding	Gompertz	0.46	0.43	0.32	3.22
	Logestic	0.68	0.64	0.47	2.23
	Richard	0.49	0.46	0.34	4.11
	Monomolecular	0.51	0.48	0.36	3.31
	Weibull	0.43	0.40	0.30	3.37
Inflorescence rot	Gompertz	0.54	0.51	0.38	2.35
	Logestic	0.59	0.55	0.41	2.14
	Richard	0.71	0.67	0.49	3.4
	Monomolecular	0.71	0.67	0.49	0.77
	Weibull	0.67	0.63	0.47	4.67

$$I = \frac{117.4}{1 + 65032 \cdot \exp(-0.39t)} \quad \text{معادله (۴)}$$

بیماری خامچ:

$$I = \frac{-1.16 + 49.79t^{-0.98}}{0.24 + t^{-0.98}} \quad \text{معادله (۵)}$$

با توجه به تجزیه و تحلیل انجام شده آسیب ریزش میوه، کرم میوه خوار، کنه تارتن، عارضه خشکیدگی و بیماری خامچ به ترتیب از دمای ۲۱/۴، ۲۱، ۲۶/۷، ۳۰/۲ و ۲۱/۴ درجه سلسیوس شروع شده و تا دمای ۴۰/۹، ۳۶، ۵۰، ۵۰ و ۳۷/۶ درجه سلسیوس به تدریج افزایش یافت. با بالاتر رفتن درجه حرارت از این حد که معادل نقطه عطف منحنی است، به تدریج از شدت آسیب کرم میوه خوار و بیماری خامچ کاسته می‌گردد. ولی فراتر از آستانه‌های ذکر شده شدت آسیب کنه تارتن، عارضه خشکیدگی خوشه و ریزش میوه افزایش می‌یابد.

ب- دامنه رطوبتی

خلاصه نتایج ارزیابی مدل‌های روابط رطوبتی که با استفاده از دو معیار ضریب تبیین (R) و مربع میانگین

در ارزیابی یک مدل، R معیار بسیار مهمی بوده و Mse معیار کم‌اهمیت‌تری است؛ بنابراین جهت مقایسه مدل‌های مورد نظر ابتدا به ضریب R توجه می‌شود. چنانچه به علت تشابه امکان انتخاب مدل مناسب وجود نداشته باشد، در مرحله بعد به Mse نیز توجه می‌شود. با توجه به این موارد و بر اساس نتایج جدول ۲ مناسب‌ترین مدل جهت بررسی روابط حرارت (t) با پیشرفت درصد آسیب عوامل (I) ریزش میوه، کرم میوه خوار، کنه تارتن، عارضه خشکیدگی خوشه و بیماری خامچ به ترتیب مدل‌های ویبول، لجیستیک، تک‌مولکولی، لجستیک و تک‌مولکولی بود که معادلات آن در معادله‌های ۱ تا ۵ بیان می‌گردد.

ریزش میوه:

$$I = -11.11 \exp(-4 \times 10^{-9} t^{-6.83t}) \quad \text{معادله (۱)}$$

کرم میوه خوار:

$$I = \frac{0.2}{1 + 801141.6 \exp(0.45t)} \quad \text{معادله (۲)}$$

کنه تارتن:

$$I = \frac{-39.33 + 532.68t^{-0.83}}{111.38 + t^{-0.83}} \quad \text{معادله (۳)}$$

عارضه خشکیدگی خوشه:

اشتباهات (Mse) صورت گرفته در جدول ۳ درج گردیده‌اند.

جدول ۳. برازش مدل‌های رابطه رطوبتی با عوامل آسیب

Table 3. Fitting humidity relationship models to injury factors

Damaging factor	Models	R	Predicted R ²	Adjusted R ²	Mse
fruit Shedding	Quadratic	0.49	0.46	0.34	4.63
	Saturation growth	0.69	0.65	0.48	2.98
	Linear	0.43	0.40	0.30	5.78
The lesser moth	Quadratic	0.69	0.65	0.48	9.63
	Saturation growth	0.72	0.67	0.50	9.57
	Linear	0.48	0.45	0.33	10.69
Spider mite	Quadratic	0.61	0.57	0.42	3.93
	Saturation growth	0.65	0.61	0.45	3.52
	Linear	0.49	0.46	0.34	4.64
Bunch feeding	Quadratic	0.56	0.52	0.39	0.95
	Saturation growth	0.67	0.63	0.47	0.81
	Linear	0.48	0.45	0.33	1.17
Inflorescence rot	Quadratic	0.64	0.60	0.45	0.89
	Saturation growth	0.71	0.67	0.49	0.67
	Linear	0.53	0.50	0.37	1.14

بیماری خامج:

معادله (۱۰)

$$I = \exp\left[4.67 + \frac{203.86}{h} + 0.126\ln(h)\right]$$

با توجه به تجزیه و تحلیل انجام شده آسیب ریزش میوه، کرم میوه‌خوار، کنه تارتن، عارضه خشکیدگی و بیماری خامج به ترتیب از رطوبت ۱۴/۷، ۲۰، ۱۴/۷، ۲۱/۳ و ۲۷/۹ درصد شروع شد و برای ریزش ابتدا با افزایش رطوبت کاهش یافت و افزایش بیش‌تر از ۲۸ درصد باعث افزایش میزان ریزش شد. برای کرم میوه‌خوار افزایش تا رطوبت نسبی ۳۲ درصد ادامه داشت.

با افزایش رطوبت نسبی بیش از این حد که معادل نقطه عطف منحنی است، روند افزایش آسیب متوقف گردید. در رابطه با عارضه خشکیدگی خوشه، شروع آسیب در رطوبت نسبی ۳۴/۴ درصد بود و با افزایش بیش‌تر رطوبت نسبی از شدت آسیب عارضه کاسته شد. شدت بیماری خامج نیز با افزایش رطوبت نسبی بیشتر از ۳۸ درصد افزایش و بیش از این حد تأثیری در شدت بیماری نداشت.

۴- مدل‌های پیش‌آگاهی عوامل آسیب میوه

بر اساس نتایج جدول ۳ مناسب‌ترین مدل برای بررسی روابط رطوبتی (h) با پیشرفت درصد آسیب عوامل (I) ریزش میوه، کرم میوه‌خوار، کنه تارتن، عارضه خشکیدگی خوشه و بیماری خامج با مدل رشد اشباع بود که معادلات آن در معادله‌های ۶ تا ۱۰ بیان می‌گردد.

برای ریزش میوه:

معادله (۶)

$$I = \exp\left[-20.78 + \frac{123.17}{h} + 5.27\ln(h)\right]$$

کرم میوه‌خوار:

معادله (۷)

$$I = \exp\left[30.57 + \frac{125.47}{h} + 7.63\ln(h)\right]$$

کنه تارتن:

معادله (۸)

$$I = \exp\left[40.29 - \frac{168.48}{h} - 9.46\ln(h)\right]$$

عارضه خشکیدگی خوشه:

معادله (۹)

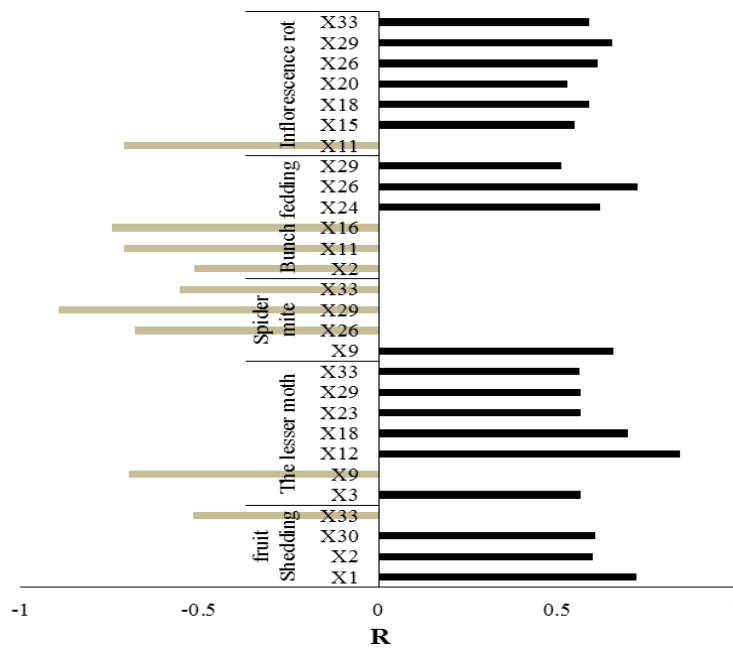
$$I = \exp\left[210.33 - \frac{1493.39}{h} - 46.78\ln(h)\right]$$

خرما

گام اول: بررسی روابط همبستگی

جهت مطالعه رابطه عوامل آسیب میوه خرما با عوامل آب‌وهوایی مورد بررسی، آزمون همبستگی انجام شد. در میان پارامترهای مورد بررسی ریزش میوه با X₁، X₂، X₂₀، X₃₀ و X₃₃، کرم میوه‌خوار با شاخص‌های X₃، X₉، X₁₂، X₁₈، X₂₃، X₂₉ و X₃₃، کنه تارتن با

شاخص‌های X₂، X₂₆، X₂₉، X₃₂ و X₃₃، عارضه خشکیدگی خوشه با شاخص‌های X₂، X₁₁، X₁₆، X₂₄، X₂₆ و X₂₉ و بیماری خامج با شاخص‌های X₁₁، X₁₅، X₁₈، X₂₀، X₂₄، X₂₆، X₂₉ و X₃₃ دارای رابطه همبستگی متوسط تا قوی بودند؛ بنابراین می‌توان از آن‌ها در مدل‌سازی پیش‌آگاهی عوامل آسیب میوه خرما استفاده نمود (شکل ۲).



شکل ۲. همبستگی شاخص‌های آب‌وهوایی دارای ارتباط معنی‌دار با شدت آسیب عوامل

Figure 2. Correlations between climate indices with significant relationship and severity of injury factors

بر اساس نتایج تحلیل همبستگی، ریزش میوه، کرم میوه‌خوار، کنه تارتن، خشکیدگی خوشه و بیماری خامج به ترتیب بیشترین همبستگی را با شاخص‌های هواشناسی متوسط دمای بهار، دمای کم باران‌ترین ماه سال، متوسط رطوبت بهار، مجموع بارندگی پاییز سال قبل و متوسط دمای پرباران‌ترین ماه سال نشان دادند.

گام دوم: تعیین روابط رگرسیون چند متغیره

مدل پیش‌آگاهی عوامل آسیب میوه خرما به شرح روابط ۱۱ تا ۱۵ برآش گردید.

ریزش میوه:

$$I = 0.58 X_1 + 0.15 X_2 + 0.83 X_{20} + 0.75 X_{30} - 0.47 X_{33} - 91.59 \quad (11)$$

$$I = 0.58 X_1 + 0.15 X_2 + 0.83 X_{20} + 0.75 X_{30} - 0.47 X_{33} - 91.59$$

کرم میوه‌خوار:

$$\text{معادله (۱۲)}$$

$$0.46 X_{12} - 0.47 X_{18} + 0.48 X_{23} + 0.48 X_{29} + 0.19 X_{33} + 7.64$$

کنه تارتن:

$$\text{معادله (۱۳)}$$

$$-0.33 X_9 - 0.1 X_{26} - 0.53 X_{29} - 0.49 X_{32} - 0.12 X_{33} + 148.49$$

عارضه خشکیدگی خوشه:

$$\text{معادله (۱۴)}$$

$$-0.18 X_{11} - 0.82 X_{16} + 0.13 X_{24} - 0.48 X_{26} + 0.71 X_{29} + 5.25$$

بیماری خامج:

معادله (۱۵)

پیش‌بینی پاسخ عوامل آسیب‌زا به تغییرات اقلیمی آینده در مناطق خرماخیز کشور مورد استفاده قرار گرفته است. معادله زیر برای پیش‌بینی میزان خسارت ناشی از بیماری خامج در مناطق مختلف خرماخیز کشور در سال ۱۳۷۹ به کار رفته است:

$$Y = 0.11X_1 - 0.49X_{15} + 0.22X_{18} + 0.36X_{20} + 1.79X_{26} - 1.95X_{29} + 1.38X_{33} - 19.86$$

استناد به توزیع زمانی بالقوه پاسخ آن‌ها در دامنه‌های مختلف تغییرات عوامل آب‌وهوایی نظیر نتایج این پژوهش کفایت می‌کند. در مناطقی که تغییرات زیستی عوامل بسیار قوی باشد یا دامنه تغییر اقلیم محدود باشد، این خطر وجود دارد که پتانسیل خسارت‌زایی یک آفت دست‌کم گرفته شود. چگونگی تأثیر آفات و بیماری‌های گیاهی بر عملکرد گیاهان یکی از مهم‌ترین سؤالات تحقیقاتی برای مدل‌سازی کشاورزی است (Newman et al., 2003; Savary et al., 2006; Esker et al., 2012; Whish et al., 2015). نتایج این پژوهش در واقع گام‌های اساسی در ایجاد سیستم تصمیم‌گیری در شبکه‌ی مراقبت نخیلات و مدیریت بحران بودند. در تکوین سامانه‌های مدیریت تلفیقی آفات از پیش‌آگاهی و ردیابی برای تصمیم‌گیری صحیح استفاده می‌شود. برای این منظور از مدل‌های مختلفی استفاده می‌شود (Dent, 1995). کاربردترین این مدل‌ها که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفت، مدل تطبیق تغییرات فنولوژیکی با شرایط آب‌وهوایی است. وقایع زیستی دوره‌ی آفات در رابطه با تغییرات فصلی در شرایط آب‌وهوایی و رشد میزبان در مدل‌های پیش‌آگاهی فنولوژیکی بررسی شده است و از رابطه‌های به‌دست‌آمده جهت پیش‌آگاهی و ردیابی آفات استفاده می‌شود (Gendi, 1998; Madden and Ellis, 1988; Mawby and Gold, 1984). این مدل‌ها نه‌تنها در مدیریت و پیش‌آگاهی جمعیت حشرات، بلکه در پژوهش‌های متعددی در پیش‌بینی تغییرات جمعیت موجودات زنده مختلفی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Cunniffe et al., 2015).

در ایران در رابطه با کرم میوه‌خوار و شپش معمولی خرما پژوهش‌هایی طی سال‌های ۱۳۷۰ الی ۱۳۷۹ انجام شده که نتایج مشابهی را در بر داشته است (Latifian and Zare, 2003; Latifian and Solimannejadian, 2009). همچنین مشخص شده است که تغییرات شدت خشک‌سالی اثرات متفاوتی بر

مدل پیش‌آگاهی عوامل آسیب‌زا شامل ریزش میوه، کرم میوه‌خوار، کنه تارتن، عارضه خشکیدگی خوشه و بیماری خامج به ترتیب در سطح ۱، ۵، ۵، ۵ و ۵ درصد معنی‌دار بودند. در تمام مدل‌های پیش‌آگاهی ضریب تبیین بالاتر از ۰/۷ و خطای تشخیص کم‌تر از ۲۵ درصد بود. این موضوع نشان‌دهنده کاربردی بودن مدل‌ها در شبکه‌ی مراقبت نخیلات منطقه است (برای بیماری خامج Predicted R²= 0.89 Adjusted R²= 0.57 عارضه خشکیدگی خوشه Predicted R²= 0.79 Adjusted R²= 0.58. کنه تارتن Predicted R²= 0.98 Adjusted R²= 0.93. کرم میوه‌خوار Predicted R²= 0.73 Adjusted R²= 0.56. ریزش میوه Predicted R²= 0.85 Adjusted R²= 0.59).

بحث

نتایج این پژوهش نشان دادند که تغییرات عوامل آب‌وهوایی پتانسیل بالایی برای اثرگذاری بر عوامل آسیب‌زای نخل خرما را داشته و در طول فصل میزان اثرات تنش‌زایی آن‌ها را در مراحل مختلف فنولوژیکی میوه تعیین می‌کنند. شاخص‌های هواشناسی وابسته به دما و رطوبت متغیرهای مهم‌تری بودند و تغییرات مقادیر آن‌ها باعث ایجاد تغییر در شدت و مدت آسیب شد. ناهمگونی آب‌وهوا در سال‌های مختلف پتانسیل خسارت بالقوه عوامل را تعیین می‌کرد. نتایج این پژوهش نشان دادند اگرچه سرعت تغییرات آب‌وهوا در سال‌های مختلف متفاوت بود، اما برخی عوامل آسیب‌زای نخل خرما در سال‌ها مختلف همواره خسارت بالایی نشان دادند. عوارض نوظهور نظیر عارضه خشکیدگی خوشه خرما وابستگی بیشتری به تغییرات عوامل آب‌وهوایی نسبت به بسیاری از عوامل خسارت‌زای بومی نظیر کنه تارتن و کرم میوه‌خوار نشان دادند. نتایج این پژوهش می‌تواند برای

سطح منطقه‌ای دارای مشکلات متعددی است. از جمله تهیه سامانه‌های پیش‌آگاهی باید بتواند مدل‌های کلیماتولوژیک را با تغییرات جمعیت حشرات تلفیق و در قالب نقشه پیش‌آگاهی منطقه ارائه دهند (Holzworth *et al.*, 2015). در یک برنامه مدیریت تلفیقی مؤثر و کارآمد انجام پژوهش‌ها مبتنی بر نیاز برای تدوین مدل‌های پیش‌آگاهی و ردیابی، یک پیش‌نیاز ضروری برای توسعه و اجرای استراتژی‌های جدید و پاسخگو است. باین وجود، موانعی در کشورها وجود دارد که مانع از عملکرد این سرویس حیاتی می‌شود. از جمله این موانع کاهش بودجه و نیروی متخصص موردنیاز، کمبود آموزش در زمینه پیش‌آگاهی و ردیابی و ناکافی بودن میزان پژوهش‌های کاربردی در این زمینه هستند (Masters *et al.*, 2010; Lamichhane *et al.*, 2015; Machekano *et al.*, 2017).

نتیجه‌گیری کلی

در تکوین سامانه‌های مدیریت تلفیقی آفات خرما پیش‌آگاهی به‌عنوان مهم‌ترین ابزار برای تصمیم‌گیری صحیح است. سطح تحت پوشش شبکه مراقبت معادل ۳۰۲۸ هکتار و تنها برای دو آفت مهم و کلیدی کنه تارتن و کرم میوه‌خوار خرما انجام می‌شود. از طرف دیگر بررسی‌ها نشان می‌دهند که سامانه جاری از دقت و کارایی کافی نیز برخوردار نیست؛ بنابراین استفاده از روش‌های نوین و فناوری‌های موفق در شبکه مراقبت نخیلات برای ایجاد سامانه تصمیم‌گیری مناسب ضروری است. یافته‌های این پژوهش شرایط لازم برای ایجاد تصمیم‌گیری صحیح را با بیشترین دقت ممکن فراهم می‌سازد. هزینه این روش تنها معادل ۳۰ درصد هزینه جاری شبکه مراقبت در سال پیش‌بینی می‌شود.

شدت آسیب ناشی از عوامل خسارت‌زای میوه خرما داشته است. در مواردی نظیر کنه تارتن خرما، ریزش و عارضه خشکیدگی خوشه خرما روند افزایشی و در مورد بیماری خامج و کرم میوه‌خوار روند کاهش شدت آسیب گزارش شده است (Latifian, 2012). پدیده گردوغبار نیز اثرات قابل توجهی در بروز خسارت کنه تارتن، ریزش میوه و بیماری خامج و عارضه خشکیدگی خوشه خرما داشته که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Latifian, 2015). مقایسه نتایج این مطالعه با پژوهش‌های مشابه نشان می‌دهد که در بیشتر موارد مدل‌های لجیستیکی در بررسی روابط عوامل آب‌وهوایی با تغییرات پارامترهای جمعیتی آفات (Gaston, 2003) و مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره در پیش‌بینی تغییرات جمعیت‌های حشرات نسبت به عوامل متعدد آب‌وهوایی از کارایی لازم برخوردار بوده‌اند. به کمک این مدل می‌توان قبل از وقوع آسیب اقتصادی آفات، آن را پیش‌آگاهی نمود و روش کنترل را به نحو مناسبی انتخاب کرد. این برنامه‌ریزی‌ها پایه و اساس مدیریت تلفیقی آفات خرما را تشکیل می‌دهند. بدون در دست بودن این مدل‌ها وقوع اشتباه در کاربرد روش‌های کنترل بسیار محتمل است. تأثیر متقابل عوامل تلفات روی همدیگر چنان متنوع و پیچیده است که پیش‌گویی آن‌ها بدون استفاده از چنین مدل‌های ریاضی میسر نیست؛ بنابراین متخصصین مدیریت آفات خرما بایستی به کمک این مدل‌ها از تغییرات حاصله در وضعیت آفات نخلستان و جمعیت موجودات مفید و مضر موجود آگاه باشند. مدیریت تلفیقی بایستی به‌منظور مواجهه با نوسانات جمعیت و خسارت آفات به‌طور مستمر زیست‌بوم را زیر نظر گرفته و به کمک مدل‌های مزبور از آن تغییرات پیش‌آگاهی به عمل آورند. نکته مهم این است که پیش‌آگاهی وقایع زیستی حشرات در

REFERENCES

1. Andrewartha, H. G. & Birch, L. C. (1953). The distribution and abundance of animals. Univ. Chicago Press, Chicago.
2. Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C. & Farrar, J. (2002). Herbivory in global climate change research: Direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8, 1–16.
3. Bebbler, D. P., Ramotowski, M. A. & Gurr, S. J. (2013). Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nat Clim Change*, 3, 985–988.

4. Bellocchi, G., Rivington, M., Donatelli, M. & Matthews, K. (2010). Validation of biophysical models: issues and methodologies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 1, 109–130.
5. Bergot, M. & Cloppet, E. (2004). Simulation of Potential Range Expansion of Oak Disease Caused by *Phytophthora Cinnamomi* Under Climate Change. *Global Change Biology*, 10(9), 1539-1552.
6. Berger, S., Sinha, A. K. & Roitsch, T. (2007). Plant physiology meets phytopathology: plant primary metabolism and plant-pathogen interactions. *Journal of Experimental Botany*, 58, 4019–4026.
7. Bjorkman, C. & Niemela, P. (2015). Climate Change and Insect Pests. CABI Climate Change Series 7, CAB International: Wallingford, UK, ISBN 978-1-78064-378-6.
8. Bregaglio, S., Donatelli, M., Confalonieri, R. & Orlandini, S. (2010). An integrated evaluation of thirteen modelling solutions for the generation of hourly values of air relative humidity. *Theoretical and Applied Climatology*, 102, 329–438.
9. Bregaglio, S., Donatelli, M., Confalonieri, R., Acutis, M. & Orlandini, S. (2011). Multi metric evaluation of leaf wetness models for large-area application of plant disease models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 1163–1172.
10. Chatterjee, HJaydeb, G., Senapti, S.K. & Ghosh, J. (2000). Influence of important weather parameters on population fluctuation on major insect pest of mandarin orange at darjeeling district of west Bengal. *Journal of the Entomological Research Society*, 24(3), 229-233.
11. Cunniffe, N. J., Koskella, B., Metcalf, J. E., Parnell, S., Gottwald, T. R. & Gilligan, C. A. (2015). Thirteen challenges in modelling plant diseases. *Epidemics*, 10, 6–10.
12. Dent, D. R. & Walton, M. P. (1999). Methods in ecological & Agricultural Entomology. *CAB international*, 387pp.
13. Dent, D. (1995) Integrated pest management. *Chapmans & Hall. London*, PP: 356.
14. Diaz, H. F., & Michael G. B. (1982). Inventory of sources of long term climatic data in microfilm and publication form. Asheville, N.C., *National Climatic Center*. 79 pp.
15. Esker, P. D., Savary, S. & McRoberts, N. (2012). Crop loss analysis and global food supply: focusing now on required harvests. *CAB Reviews: perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 052. *CAB Reviews* 2012, pp. 1–14 7.
16. Gaston, K. J. (2003) The Structure and Dynamics of Geographic Ranges. Oxford University Press. Oxford. Loiselle, B.A. 2003. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conservation Biology*, 17, 1591–1600.
17. Gendi, S. M. (1998) Population fluctuation of *Thrips tabaci* on onion plants under environmental condition. *Arab Universities Journal of Agriculture science*, 69(11). 267-276.
18. Gramaje, D., Baumgartner, K., Halleen, F., Mostert, L., Sosnowski, M. R., Urbez-Torres, J. R. & Armengol, J. (2016). Fungal trunk diseases: a problem beyond grapevines? *The Plant Pathology Journal*, 65, 355–356.
19. Gregory, P. J., Johnson, S. N., Newton, A. C. & Ingram, J. S. (2009). Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*, 60, 2827–2838.
20. Guedes, R. N. C., Zanoncio, T. V., Zanoncio, J. C. & Medeiros, A. G. (2000). Species richness and fluctuation of defolier Lepidoptera population in Brazilian plantation of *Eucalyptus grandis* as affected by plant age and weather factors. *Forest ecology and management*, 137, 179-184.
21. Harrington, R. & Clark, S. J. (2007). Environmental change and the phenology of European aphids. *Global Change Biology*, 13(8), 1550-1564.
22. Holzworth, D. P., Snow, V. O., Janssen, S., Athanasiadis, I. N., Donatelli, M., Hoogenboom, G., White, J. W. & Thorburn, P. (2015). Agricultural production systems modelling and software: current status and future prospects. *Environmental Modelling & Software*, 72, 276–286.
23. Khamis, H. J. (1990). The delta-corrected Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 24, 317-335.
24. Latifian, M. & Zaerae, M. (2009). The effects of climatic conditions on seasonal population fluctuation of date palm scale *Parlatoria blanchardi* Targ. (Hem.: Dispididae). *Plant Protection Journal*, 1, 277-286.
25. Lamichhane, J. R., Barzman, M., Booiij, K., Boonekamp, P., Desneux, N., Huber, L., Kudsk, P., Langrell, S. R. H., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J. L. & Messéan, A. (2015). Robust cropping systems to tackle pests under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 443–459.
26. Latifian, M. & Zare, M. (2003). The forecasting model of the date lesser moth (*Batrachedra amydraula*) based on climatic factors. *Journal of Agricultural Science*, 2, 27-36.

27. Latifian, M. & Solimannejadian, N. E. (2009). Study of the Lesser moth *Batrachedra amydraula* (Lep.: Batrachedridae) distribution based on geostatistical models in Khuzestan province. *Journal of the Entomological Research*, 1, 43-55.
28. Latifian, M. (2012). Study the effects of drought on date palm pests and diseases damage fluctuations. *First National Conference Dates and food security*. Ahwaz, Iran, 237-239.
29. Latifian, M. (2014a). Date palm spider mite (*Oligonychus afrasiaticus* McGregor) forecasting and monitoring system. *WALIA Journal*, 30, 79-85.
30. Latifian, M. (2014b). Study the effects of dusts phenomenon on date palm important pests and diseases. *Int. Journal of Agricultural Research Science*, 2, 8-15.
31. Latifian, M. (2015). Study the Effects of Dusts Phenomenon on Date Palm Important Pests and Diseases. *International Journal of Research in Agricultural Sciences*, 2(1), 8-15.
32. Lees, A. K., & Hilton, A. J. (2003). Black dot (*Colletotrichum coccodes*): an increasingly important disease of potato. *Plant Pathology*, 52, 3-12.
33. Lee, K. J., Kang, J. Y., Lee, D. Y., Jang, S. W., Lee, M. S., Lee, B. W. & Kim, K. S. (2015) Use of an empirical model to estimate leaf wetness duration for operation of a disease warning system under a shade in a ginseng field. *Plant Diseases*, 100, 25-31.
34. Machezano, H., Mvumi, B. M. & Nyamukondiwa, C. (2017). Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) in Southern Africa: Research trends, challenges and insights on sustainable management options. *Sustainability*, 9, 91.
35. Madden, L. V. & Ellis, M. A. (1988). How to develop plant disease forecasters. Pages 191-208. in: *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology* Rotem ed. Springer-Verlag., New York.
36. Masters, G., Baker, P. & Flood, J. (2010). Climate change and agricultural commodities. *CABI Work*, 2, 1-38
37. Mawby, W. D. & Gold, H. J. (1984). A stochastic simulation model for large-scale southern pine beetle (*Dendroctonus frontalis* Zimmerman) infestation dynamics in the southeastern United States. *Researches in Population Ecology*, 26, 275-283.
38. Newman, J. A., Gibson, D. J., Parsons, A. J. & Thornley, J. H. M. (2003). How predictable are aphid population responses to elevated CO₂. *Journal of Animal Ecology*, 52, 556-566.
39. Parker, M. & Warmund, M. (2011). Effect of Temperature on Apple Trees - eXtension. Extension. <http://articles.extension.org/pages/60619/effect-of-temperature-onapple-trees>.
40. Savary, S., Teng, P. S., Willocquet, L., Nutter Jr., F. W. (2006). Quantification and modeling of crop losses: a review of purposes. *The Annual Review of Phytopathology*, 44, 89-112.
41. Whish, J. P. M., Herrmann, N. I., White, N. A., Moore, A. D. & Kriticos, D. J. (2015). Integrating pest population models with biophysical cropmodels to better represent the farming system. *Environmental Modelling & Software*, 72, 418-425.
42. Wiedner, C. & Rucker, J. (2007). Climate change affects timing and size of populations of an invasive cyanobacterium in temperate regions. *Oecologia*, 152(3), 473-484.
43. Yang, X. B. & Navi, S. S. (2005). First report of charcoal rot epidemics caused by *Macrophomina phaseolina* in soybean in Iowa. *Plant Diseases*, 89, 526.