تغییرات اقلیمی، آفات نوظهور، چالش ها و رویکرد ها

دکتر مجید مرادی

دکتری حشره شناسی کشاورزی، سیستماتیک کنه ها

کارشناس ارشد سازمان حفظ نباتات کشور

تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین یکی از دغدغه‌های مهم کشاورزی در ایران است و یکی از موضوعات مورد بحث در جامعه جهانی است. پارامترهای اقلیمی مانند افزایش دما، افزایش سطح CO_2 جو و تغییر الگوی بارش تأثیرات قابل توجهی بر تولید کشاورزی و آفات کشاورزی دارند. تغییرات آب و هوایی می تواند از جهات مختلف بر حشرات تأثیر بگذارد. این تغییرات می تواند منجر به گسترش پراکندگی جغرافیایی ، افزایش بقا در طول زمستان گذرانی، افزایش تعداد نسل ها، تغییر تعامل بین گونه ای، افزایش خطر تهاجم آفات مهاجر، افزایش بروز بیماری های گیاهی که ناقلین آن ها حشرات هستند و کاهش اثربخشی کنترل بیولوژیکی به ویژه نقش دشمنان طبیعی می گردد. در نتیجه، خطر جدی زیان اقتصادی محصول و همچنین چالشی برای امنیت غذایی انسان وجود دارد. تغییر اقلیم به عنوان محرک اصلی پویایی جمعیت آفات، به استراتژی های مدیریتی سازگار برای مقابله با وضعیت در حال تغییر آفات نیاز دارد. چندین اولویت را می توان برای تحقیقات آینده در مورد اثرات تغییرات آب و هوایی بر آفات حشرات کشاورزی شناسایی کرد. اینها شامل تاکتیک های اصلاح شده مدیریت یکپارچه آفات، نظارت بر آب و هوا و جمعیت آفات، و استفاده از ابزارهای پیش بینی مدل سازی است. اما بر اساس نتایج مطالعات مورد بررسی، پدیدههایی مانند خشکسالی بیش از سایر پدیدهها تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفتهاند. همچنین، تحقیقات نشان دادند که در ایران، بهعنوان کشوری در حال توسعه، در مقایسه با اقتصادهای قدرتمند، تغییر اقلیم بیشتر به بروز مسائل اجتماعی و اقتصادی منجر شده است.

مقـــدمه

تغییر اقلیم به تغییرات جهت دار میانگین پارامترهای اقلیمی در یک دورهٔ طولانی مدت گفته می شود (سازمان جهانی هواشناسی)؛ به همین جهت، تغییر در مقادیر حدی و میانگین های پارامترهای اقلیمی از پیامدهای مهم تغییر اقلیم است(IPCC،2014) که با نوسانات اقلیمی تفاوت علمی دارد. نوسانات اقلیمی دوره ای است و انحرافات پارامترهای اقلیمی از میانگین را بیـان می کند و در دوره های زمانی مختلف می تواند متفاوت باشد؛ ولی تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده درآب وهوای یک منطقه است؛ در حال حاضر، روند گرم شدن دمای کرهٔ زمین بخشی از تغییر اقلیم قلمداد می شود (هاجرپور و همکاران، ۲۰۱۴) افزایش ۲ درجهٔ سانتی گراد دمای شبانه روزی ایران در صد سال گذشته افزایش میانگین دمای کمینه در یک دهه برای تهران تا حدود ۰/۶۸ درجهٔ سانتیگراد نشان دهندهٔ این است که عوامل انسانی و طبیعی اقلیم کرهٔ زمین را دچار تغییر میکنند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۷). حتی تحقیقات ثابت کرده اند که در چهار سدهٔ گذشته مناطق نیمه خشک در ایران به مناطق خشک تبدیل شده اند)غلامی و همکاران، ۲۰۱۷). ایران با انتشار کل گازهای گلخانه ای نزدیک به ۷۴۱،۶۱۶ میلیون تن CO_2 اولین کشور مسئول تغییرات آب وهوایی در خاورمیانه و هفتمین در جهان است. سهم سطح بالای ایران در انتشار گازهای گلخانه ای به تولید قابل توجهی از نفت، گاز، و شهرنشینی سریع بستگی دارد (دانشور و همکاران، ۲۰۱۹). در سال های اخیر، به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی، و خسارات مالی مربوط به رویدادهای جوی، تغییرات اقلیمی اهمیت زیادی پیدا کرده است (محمدی و تقوی، ۱۳۸۴: اکبری و صیاد: ۱۴۰۰).

در طول تاریخ، رشد جمعیت انسان با تغییرات زیادی در زندگی روزمره، فرهنگ، فناوری، علم، اقتصاد و تولیدات کشاورزی همراه بوده است. رشد استثنایی جمعیت در ۱۰۰ سال گذشته پیامدهای نامطلوب زیادی داشته است که (همراه با تغییرات در شرایط محیطی) بر امنیت مواد غذایی تأثیر می گذارد. جمعیت رو به رشد جهان تقاضای فزاینده ای برای تولید محصولات زراعی- باغی تا سال ۲۰۵۰ کشاورزی جهانی دارد. برای پاسخگویی به این تقاضای فزاینده، تولید نیاز به دو برابر شدن خواهد داشت (تیلمن و همکاران، ۲۰۱۱). درخصوص ایجاد امنیت غذایی، افزایش عملکرد محصول در سطح، پایدارترین رویکرد است (گودفری و همکاران، ۲۰۱۰). تغییرات آب و هوایی و رویدادهای شدید آب و هوایی تأثیر عمده ای بر تولید محصولات زراعی و آفات کشاورزی دارد. آفات حشرات به‌عنوان ارگانیسم‌هایی که عموماً سازگار هستند، واکنش‌های متفاوتی به علل مختلف تغییرات آب و هوایی نشان می‌دهند. دما مهمترین عامل محیطی موثر بر پویایی جمعیت حشرات است، انتظار می رود گرم شدن آب و هوای جهانی می تواند باعث گسترش دامنه جغرافیایی آنها، افزایش بقای زمستان گذرانی، افزایش تعداد نسل ها، افزایش خطر گونه های حشرات مهاجم و بیماری های گیاهی قابل انتقال از حشرات شود. از آنجایی که تغییرات آب و هوایی مشکل آفات را تشدید می کند، نیاز زیادی به استراتژی های مدیریت آفات در آینده وجود دارد. اینها شامل نظارت بر آب و هوا و جمعیت آفات، استراتژی های اصلاح شده مدیریت یکپارچه آفات و استفاده از ابزارهای پیش بینی مدل سازی است. با افزایش افت عملکرد در اثر چنین شرایطی، در علم کشاورزی به عوامل غیرزیستی توجه بیشتری می شود. در مورد تولید محصول، تغییرات در الگوهای بارش ممکن است به طور بالقوه اهمیت بالاتری نسبت به افزایش دما داشته باشد، به ویژه در مناطقی که فصول خشک عامل محدود کننده ای برای تولید کشاورزی است (پاری، ۱۹۹۰). یکی از عوامل مهم زیستی آفات هستند که تحت تأثیر تغییرات آب و هوا و اختلالات آب و هوایی نیز قرار می گیرند. افزایش دما به طور مستقیم بر تولید مثل، بقا، انتشار و پویایی جمعیت آفات و همچنین روابط بین آفات، محیط زیست و دشمنان طبیعی تأثیر می گذارد (پراکش،۲۰۱۴). نظارت، پایش و ردیابی آفات بسیار مهم است، زیرا شرایط وقوع آنها می تواند با سرعت زیاد تغییر کند

آیا بین تغییرات آب و هوایی و آفات و بیماری ها ارتباطی وجود دارد؟

اگرچه کشاورزان از آغاز کشاورزی با آفات و بیماری ها مبارزه کرده اند، کارشناسان هشدار می دهند که تغییرات آب و هوایی می تواند گسترش آنها را تسریع یا گسترش دهد. گیاهان وظیفه تولید ۸۰ درصد غذایی که مصرف میکنیم و ۹۸ درصد اکسیژنی که تنفس می کنیم را برعهده دارند و در اصل آنها ستون حیات روی زمین هستند. اما آنها در معرض تهدید هستند. طبق گزارش فائو، سالانه بیش از ۴۰ درصد از محصولات غذایی به دلیل آفات و بیماری های گیاهی از بین می رود. هنگامی .که آفات شیوع پیدا می کنند، اثرات آن می تواند بسیار مخرب باشد (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱)

تغییرات آب و هوایی چگونه بر آفات و بیماری ها تأثیر می گذارد؟

آب و هوا یک عنصر حیاتی است که ویژگی ها و توزیع های مختلف سیستم های مدیریت شده و طبیعی را تعیین می کند، از جمله هیدرولوژی و منابع آب، سرماشناسی، اکوسیستم های دریایی و آب شیرین، اکوسیستم های زمینی، جنگلداری و کشاورزی (روزنویک و همکاران، ۲۰۰۷). می توان آن را به عنوان پدیده ای توضیح داد که شامل تغییرات در عوامل محیطی CO2 مانند دما، رطوبت و بارندگی در طول سالیان متمادی است. در نتیجه افزایش دما، تغییرات شدید آب و هوا، افزایش و همچنین الگوهای بارندگی تغییر یافته، تولید جهانی غذا در معرض تهدید شدید قرار (GHGs) و سایر گازهای گلخانه ای گرفته است (رستها، ۲۰۱۹). گرمایش زمین یک مشکل جدی است که جهان امروز با آن روبرو می باشد و به سطوح بی جهان در ،(WMO) سابقه ای از افزایش دمای جو و سطح دریا رسیده است. بر اساس گزارش سازمان جهانی هواشناسی حال حاضر حدود یک درجه گرمتر از قبل از صنعتی شدن گسترده است(فیلد و همکاران، ۲۰۱۴). بر اساس طیف وسیعی از مدل‌های آب و هوای جهانی و سناریوهای توسعه، انتظار می‌رود که زمین در قرن آینده شاهد گرمایش جهانی ۱.۴ تا ۵.۸ درجه سانتی‌گراد باشد (پاچوری و رزینگر،۲۰۰۷). علت اصلی گرم شدن کره زمین افزایش غلظت گازهای گلخانه ای هستند که در اثر (N2O) و اکسید نیتروژن (CH4) متان ،(CO2) در جو است. شایع ترین گازهای جوی دی اکسید کربن بسیاری از فعالیت های انسانی از جمله سوزاندن سوخت های فسیلی و تغییر کاربری زمین ایجاد می شوند (یورو و دارامولا، ۲۰۲۰). با نگاهی به دوره صنعتی شدن در دو قرن اخیر، غلظت گازهای گلخانه ای نسبت به دوران پیش از صنعتی شدن مهم ترین و فراوان ترین است CO2 ،به شدت افزایش یافته است (روگلج و همکاران، ۲۰۱۸). در بین گازهای گلخانه ای اتمسفر یکی از ثبت شده ترین تغییرات جهانی در جو در نیم قرن گذشته است (دودی، CO2 (روزنویگ،۱۹۸۹). افزایش ۲۰۲۰). غلظت آن در جو به طور چشمگیری به ۴۱۶ پی پی ام افزایش یافته است، در مقابل ۲۸۰ پی پی ام گزارش شده به دلیل جذب CO2 .از دوره پیش از صنعتی شدن، و احتمالاً در سال ۲۱۰۰ دو برابر می شود (پاچوری و رزینگر، ۲۰۰۷) بالای آن در طول موج های خاصی از تابش مادون قرمز حرارتی ساطع شده از سطح زمین، یک گاز گلخانه ای در نظر گرفته می شود. هر چه مقدار گازهای جوی که تشعشعات مادون قرمز حرارتی را از سطح زمین جذب می کنند بیشتر باشد، نسبت تشعشعات ساطع شده از جو به سطح زمین بیشتر است (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). در نتیجه، تعادل موج بلند سطح زمین کمتر منفی می شود، در حالی که انرژی بیشتری برای شار گرمای محسوس و نهان در سطح زمین در دسترس است. همانطور که انرژی بیشتری برای شار گرما در دسترس است، این منجر به افزایش دمای هوا می شود (استرک،۲۰۰۵). از اواسط قرن بیستم تغییرات آب و هوایی شدید و رویدادهای اقلیمی مشاهده شده است. بسیاری از این تغییرات، شامل کاهش شدید دمای سرد، افزایش وقوع افزایشی دمای گرم، افزایش سطح دریا و افزایش فراوانی رویدادهای بارش شدید در مناطق متعدد است. انتظار می‌رود که امواج گرما بیشتر و طولانی‌تر شوند و انتظار می‌رود که رویدادهای بارش شدید در مناطق خاصی شدیدتر و مکرر باشند (فیلد و همکاران، ۲۰۱۴). به احتمال زیاد الگوی بارش تغییر کرده و و از یکنواختی خارج می شود. در عرض های جغرافیایی بالاتر ، به نظر می رسد افزایشی در میانگین بارندگی سالانه وجود دارد. در مناطق خشک میانی و نیمه گرمسیری، میانگین بارش احتمالاً کاهش می یابد، در حالی که در مناطق مرطوب عرض جغرافیایی متوسط، احتمال افزایش میانگین بارش وجود دارد. رویدادهای بارش شدید در اکثر مناطق عرض جغرافیایی متوسط و مناطق گرمسیری مرطوب احتمالاً مکرر و شدیدتر می شوند (فیلد و همکاران، ۲۰۱۴).

تغییرات آب و هوایی یکی از عواملی است که باعث گسترش آفات و بیماری ها و افزایش تجارت جهانی می شود. تغییرات آب و هوایی می تواند بر اندازه جمعیت، میزان بقا و توزیع جغرافیایی آفات، شدت، توسعه و توزیع جغرافیایی بیماری ها تاثیر بگذارد. به گفته کارشناسان، دما و بارندگی عامل اصلی تغییر در نحوه و مکان انتشار آفات و بیماری ها هستند.تک ساپکوتا، دانشمند سیستم‌های کشاورزی و تغییرات آب و هوایی در بین‌المللی ذرت و مرکز بهبود گندم می‌گوید: «به طور کلی، افزایش دما و میزان بارندگی به نفع رشد و توزیع بیشتر گونه‌های آفات از طریق فراهم کردن محیط گرم و مرطوب و تأمین رطوبت لازم برای رشد آنها است.

برای ایجاد امنیت غذایی، افزایش عملکرد محصول در سطح به جای افزایش سطح کشت، پایدارترین رویکرد است (گودفری و همکاران، ۲۰۱۰). تحقیقات علمی و کشاورزی مدرن بر روی تغییرات آب و هوایی و پدیده های مرتبط با آن، افزایش دمای جهانی و غلظت دی اکسید کربن اتمسفر، امواج گرما، سیل، طوفان های شدید، خشکسالی و سایر رویدادهای شدید آب و هوایی متمرکز شده است. از این رو، با افزایش تمایل به کاهش افت عملکرد ناشی از چنین شرایطی، در علم کشاورزی به عوامل غیرزیست مذکور توجه بیشتری می شود. با توجه به تولید محصولات زراعی، تغییرات در الگوهای بارش ممکن است به طور بالقوه اهمیت بالاتری نسبت به افزایش دما داشته باشد، به ویژه در مناطقی که فصول خشک عامل محدود کننده ای برای تولید کشاورزی است (پاری، ۱۹۹۰). یکی از عوامل مهم زیستی آفات هستند که تحت تأثیر تغییرات آب و هوا و اختلالات آب و هوایی نیز قرار دارند. افزایش دما به طور مستقیم بر تولید مثل، بقا، انتشار و پویایی جمعیت آفات و همچنین روابط بین آفات، محیط زیست و دشمنان طبیعی تأثیر می گذارد (پراکش،۲۰۱۴). به این ترتیب، نظارت بر ظاهر و فراوانی آفت بسیار مهم است زیرا شرایط وقوع آنها می تواند با سرعت زیادی تغییر کند. در تولید محصولات زراعی راه‌حل‌های بالقوه ارائه خواهد شد (IPM) برای مسائل فعلی در تولید گیاه، عمدتاً در قالب استراتژی‌های اصلاح شده مدیریت یکپارچه آفات و تولید غذای سالم به روشی سـازگار با محیطزیـست و همچنین تکنیک‌های نظارت و ابزارهای پیـش‌بینی IPM که شامل مدل‌سازی می‌شود(کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱)

تأثیر تغییر اقلیم بر آفات حشرات کشاورزی

تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین یکی از دغدغه های بزرگ کشاورزی در سراسر جهان است و از جمله موضوعـاتی جو و تغییر CO_2 است که در جامعه امروزی مورد بحث قرار گرفته است. پارامترهای اقلیمی مانند افزایش دما، افزایش سطح الگوی بارش تأثیرات قابل توجهی بر تولید کشاورزی و آفات حشرات کشاورزی دارند. تغییرات آب و هوا می تواند به طرق مختلف بر حشرات تأثیر بگذارد. آنها می توانند منجر به گسترش توزیع جغرافیایی خود، افزایش بقا در طول زمستان گذرانی، افزایش تعداد نسل ها، تغییر همزمانی بین گیاهان و آفات، تغییر تعامل بین گونه ای، افزایش خطر حمله آفات مهاجر، افزایش بروز بیماری های گیاهی منتقله از حشرات و کاهش اثربخشی کنترل بیولوژیکی به ویژه دشمنان طبیعی می شود(کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱).

در نتیجه، خطر جدی زیان اقتصادی محصول و همچنین چالشی برای امنیت غذایی انسان وجود دارد. تغییرات اقلیمی به عنوان محرک اصلی پویایی جمعیت آفات، به استراتژی های مدیریتی سازگار برای مقابله با تغییر وضعیت آفات نیاز دارد. چندین اولویت را می توان برای تحقیقات آینده در مورد اثرات تغییرات آب و هوایی بر آفات حشرات کشاورزی شناسایی کرد. اینها شامل تاکتیک های اصلاح شده مدیریت یکپارچه آفات، نظارت بر آب و هوا و جمعیت آفات، و استفاده از ابزارهای پیش بینی مدل سازی است(کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱)

مواد و روش ها

در این مطالعه، با استفاده از روش کتابخانه ای و جست وجو در منابع معتبرISI و علمی پژوهشی به مرور و تحلیل – تحقیقات انجام شده در مورد تغییر اقلیم در دنیا و ایران پرداخته شده و از روش های داده پردازی در این پژوهش استفاده نشده است. به این گونه که تغییرات زمانی و مکانی تغییر اقلیم و تاثیر ان بر ظهور، پراکنش و گسترش آفات کشاورزی در بررسی و تحلیل شده و نتایج بر اساس مطالعات انجام شده در زمینه های مختلف تغییر اقلیم به زیربخش های اقلیم کشاورزی تحلیل شده است.داده های مورد استفاده ماحصل جست وجو در پایگا ه های اینترنتی استنادی علمی نظیر، ScienceDirect ، SID کلیدواژه های مورد جست وجو شامل کلمات تغییر اقلیم، اثرهای تغییر اقلیم،تغییرات اقلیم و ظهور آفات، بوده است

نتایج و بحـــث

دردهه ۱۸۴۰، قحطی سیب زمینی ایرلندی، ناشی از بیماری قارچی، باعث مرگ حدود یک میلیون نفر و مهاجرت میلیون ها نفر دیگر شد. تهاجم اخیر ملخ‌های صحرایی به سرتاسر شاخ آفریقا نشان می‌دهد که محصولات کشاورزی تا چه حد در برابر آفات آسیب‌پذیر هستند. ملخ بیابانی یکی از مخرب ترین آفات در جهان است که یک دسته کوچک در یک کیلومتر مربع را پوشش می دهد که به اندازه ۳۵۰۰۰ نفر در روز غذا می خورد. به گفته فائو، این شیوع حتی می تواند یک بحران انسانی را برانگیزد.تحقیقات نشان می دهد که از سال ۱۹۶۰، با افزایش دما، آفات و بیماری های محصولات کشاورزی به طور متوسط ۳ کیلومتر در سال در جهت قطب شمال و جنوب زمین حرکت می کنند(کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). تحقیقات نشان داده بیماری قارچی Rhytisma acerinum یا لکه تار، یک بیماری بومی آمریکای لاتین است که می تواند تا ۵۰ درصد از عملکرد ذرت را کاهش دهد، این بیمای برای اولین بار در سال ۲۰۱۵ در ایالات متحده شناسایی شد. به طور معمول در آب و هوای گرمسیری شایع است، اما شروع به ظهور در مناطق غیر غیرعادی کرده است. مناطق گرمسیری، از جمله مناطق مرتفع مکزیک مرکزی و بسیاری از ایالات در ایالات متحده امریکا. همچنین می توان به سوسک کاج جنوبی یا Dendroctonus frontalis که یکی از مخرب ترین حشرات مهاجم آمریکای شمالی محسوب می شود اشاره کرد. این آفت با افزایش دما به سمت شمال حرکت می کند و احتمالاً تا سال ۲۰۵۰ در سراسر شمال شرقی ایالات متحده و جنوب شرقی کانادا گسترش می یابد(کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱).

دورنگه داشتن آفات و بیماری های همه گیر: در این خصوص، کارشناسان به طور فزاینده ای نیاز به نظارت بر شیوع آفات و بیماری ها را دارند و این موضوع مستلزم یک سیستم نظارت جهانی بر این موارد و بهبود واکنش ها شده است. ابزارهای به اندازه یک چمدان که پاتوژن هایی مانند زنگ گندم را تقریباً در زمان MARPLE فناوری مدرن مانند آزمایشگاه سیار کمی آزمایش می کنند و در عرض ۴۸ ساعت نتیجه می دهد، امکان تشخیص زودهنگام را فراهم می کند. سیستم‌های هشدار زودهنگام نیز ابزاری حیاتی برای هشدار دادن به کشاورزان، محققان و سیاست‌گذاران در مورد شیوع احتمالی بیماری هستند(کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). پرورش انواع مقاوم به آفات و بیماری ها یکی دیگر از راه حل های سازگار با محیط زیست است، زیرا نیاز به آفت کش ها و قارچ کش ها را کاهش می دهد. در خصوص بیماری هایی نظیر ، از جمله فوزاریوم استفاده از ارقام مقاوم می تواند بسیار (MLN) زنگ گندم، بلاست گندم برای گندم و نکروز کشنده ذرت ،(FHB) هد بلایت موثر باشد(کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). حشرات مفید همچنین می توانند به عنوان یک کنترل آفات طبیعی برای محصولات زراعی عمل کنند. کفشدوزک ها، عنکبوت ها و سنجاقک ها به عنوان شکارچیان طبیعی برای آفاتی مانند شته ها، کرم ها و کرم های ساقه خوار عمل می کنند. راه‌حل‌های دیگر شامل اقدامات کنترل مکانیکی مانند تله‌های نور، تله‌های فرمونی و تله‌های چسبنده و همچنین کنترل‌های عمل کشاورزی مانند تناوب زراعی است(کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). چندین اولویت را می توان برای تحقیقات آینده در مورد اثرات تغییرات آب و هوایی بر آفات کشاورزی شناسایی کرد. اینها شامل تاکتیک های اصلاح شده مدیریت یکپارچه آفات، نظارت بر آب و هوا و جمعیت آفات، و استفاده از ابزارهای پیش بینی مدل سازی .است(کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱)

تاثیر تغییرات آب و هوایی بر تولید محصولات کشاورزی: کشاورزی فعالیتی است که به طور استثنایی در برابر تغییرات آب و هوایی آسیب پذیر است و اثرات تغییرات آب و هوایی با انواع مختلفی از عدم قطعیت مشخص می شود (دشار و کویرالا، ۲۰۱۹). تخمین زده می‌شود که تغییرات آب و هوایی هم تأثیرات مثبت و هم منفی بر سیستم‌های کشاورزی در سطح جهانی .داشته باشد و تأثیرات منفی آن بیشتر از تأثیرات مثبت باشد (مولر،۲۰۱۳)

افزایش دما: اثرات افزایش دما عموماً با سایر عوامل محیطی مانند در دسترس بودن آب، وقوع بادهای شدید و شدت و مدت تابش نور خورشید مرتبط است (رحمان و همکاران، ۲۰۱۵). تأثیر منفی مستقیم دما بر عملکرد می‌تواند به‌علاوه تحت تأثیر تأثیر دمای غیرمستقیم بر این عوامل محیطی باشد. به عنوان مثال، افزایش دما باعث افزایش تقاضای آب اتمسفر می شود که ممکن است منجر به تنش آبی اضافی به دلیل کمبود فشار بیشتر آب شود که متعاقباً باعث کاهش رطوبت خاک و در نهایت کاهش عملکرد می شود (زائو. همکاران، ۲۰۱۷). از دیگر اثرات غیرمستقیم افزایش دما می‌توان به افزایش فرکانس امواج گرما و اثرات آن بر آفات، علف‌های هرز و بیماری‌های گیاهی اشاره کرد(شکل ۱).

تغییر اقلیم: تغییرات آب و هوایی جهانی اثرات قابل توجهی بر کشاورزی و همچنین بر آفات کشاورزی دارد. محصولات کشاورزی و آفات مربوط به آنها به طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی قرار دارند. تأثیرات مستقیم بر تولید مثل، توسعه، بقا و پراکندگی آفات است، در حالی که تغییرات آب و هوایی به طور غیرمستقیم بر روابط بین آفات، محیط زیست آنها و سایر گونه های حشرات مانند دشمنان طبیعی، رقبا، ناقلین و متقابل تأثیر می گذارد (پرکاش و همکاران، ۲۰۱۴). دمای بدن حشرات دمای به دمای محیط بستگی دارد. بنابراین، دما احتمالاً مهمترین عامل محیطی مؤثر بر رفتار، توزیع، رشد و تولید مثل حشرات است (کوکمانکوا و همکاران، ۲۰۱۱). در نتیجه به احتمال زیاد محرک‌های اصلی تغییر اقلیم (افزایش CO2 اتمسفر، افزایش دما و کاهش رطوبت خاک) می‌توانند به طور قابل‌توجهی بر پویایی جمعیت حشرات و در نتیجه درصد خسارت به محصول تأثیر بگذارند (فاند و همکاران،۲۰۱۲). تغییرات اقلیمی، سوله‌های اکولوژیکی جدیدی را ایجاد می‌کند که فرصت‌هایی را برای حشرات ایجاد می‌کند و در مناطق جغرافیایی جدید گسترش می‌یابد و از یک منطقه به منطقه دیگر منتقل می‌شود (فائو،۲۰۲۰). پیچیدگی اثرات فیزیولوژیکی ناشی از افزایش دما و **CO2** می تواند عمیقاً بر تعاملات بین محصولات کشاورزی و آفات تأثیر بگذارد (هر،۱۹۹۲: کولفیلد و بانس، ۱۹۹۴: روت و لیندرو، ۱۹۹۵). در نتیجه پیش بینی می شود در سال های آتی به دلیل تغییر اقلیم با مشکلات جدید و شدید آفات مواجه شویم. فیزیولوژی حشرات به تغییرات دما بسیار حساس است و سرعت متابولیسم آنها با افزایش ۱۰ درجه سانتی گراد تقریباً دو برابر می شود (داکس و همکاران، ۲۰۰۹). در این زمینه، تحقیقات بسیاری از محققان نشان می دهد که افزایش دما باعث افزایش تغذیه، رشد و حرکت حشرات دارد که می‌تواند با تأثیر بر باروری، بقا، زمان تولید، اندازه جمعیت و محدوده جغرافیایی بر پویایی جمعیت تأثیر بگذارد. از توزیع و رفتار حشرات معاصر می توان این فرضیه را مطرح کرد که افزایش دما باید با افزایش گیاه خواری همراه باشد. بنابراین، پیش‌بینی می‌شود که جمعیت حشرات در مناطق گرمسیری کاهش نرخ رشد را در نتیجه گرم شدن آب و هوا به دلیل سطح دمای فعلی تجربه کنند، در حالی که انتظار می‌رود حشرات در مناطق معتدل افزایش نرخ رشد را تجربه می کنند (دوتش و همکاران، ۲۰۱۸). این نظریه با تخمین تغییرات در رشد جمعیت آفات در تولید سه محصول غلات اصلی جهان (گندم، برنج و ذرت) تحت سناریوهای مختلف تغییر آب و هوا مطرح میشود. بر اساس این مطالعه، برای گندم که به طور معمول در آب و هوای معتدل کشت می شود، گرم شدن هوا رشد جمعیت آفات را تسریع می کند. برای برنج های رشد یافته در مناطق گرمسیری، کاهش رشد جمعیت آفات را پیش بینی می شود و برای ذرت در هر دو منطقه معتدل و گرمسیری، پاسخ های متفاوتی به رشد جمعیت آفات می توان انتظار داشت (دوتش و همکاران، ۲۰۱۸).

اثرات افزایش دما برای حشرات بالای زمینی بیشتر از حشراتی است که چرخه زندگی خود را در خاک می گذرانند، زیرا خاک یک محیط عایق حرارتی است که می تواند تغییرات دما را مهار کرده و در نتیجه تاثیر آنها را کاهش دهد (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). برای مثال، در شرایط گرم‌تر، شته‌ها نسبت به فرمون هشدار دهنده که معمولاً هنگام تهدید شکارچیان و پارازیتوئیدها آزاد می‌کنند، کمتر حساس هستند، که می‌تواند منجر به افزایش شکار شود (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). جمعیت مگس سفید در درجه اول توسط عوامل محیطی مانند دما، بارش و به طور کلی رطوبت تنظیم می شود. دمای بالا همراه با رطوبت بالا با افزایش جمعیت مگس سفید ارتباط مثبت دارد (پاتانیا و همکاران، ۲۰۲۰). تغییرات آتی در پویایی جمعیت حشرات به سطح افزایش دمای جهانی در سال های آینده بستگی دارد

مدل‌های آب و هوایی پیش‌بینی می‌کنند که دمای متوسط کره زمین تا پایان قرن جاری بین ۱٫۸ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (جوهانسون،۲۰۰۲: کارل و رنبرت، ۲۰۰۳:کولینز و همکاران،۲۰۰۷). انتظار می رود شدت هجوم آفات تحت سناریوهای گرمایش جهانی افزایش یابد (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). پیامدهای کلی گرمایش جهانی بر پویایی حشرات عبارتند از: گسترش دامنه جغرافیایی افزایش بقای جمعیت های زمستان گذران، افزایش خطر معرفی گونه های مهاجم حشرات، افزایش بروز بیماری های گیاهی منتقله از طریق حشرات به دلیل گسترش دامنه و تکثیر سریع حشرات ناقل، .کاهش اثربخشی عوامل کنترل بیولوژیکی مانند دشمنان طبیعی و غیره

گسترش پراکنش حشرات: به طور کلی، عوامل زیر می توانند توزیع آفات را تحت تاثیر قرار دهند: (۱) جغرافیای زیستی طبیعی. (۲) توزیع محصول؛ (۳) شیوه های کشاورزی (تک کشت، آبیاری، کود، آفت کش ها)؛ (۴) آب و هوا؛ (۵) تجارت؛ و (۶) الگوهای فرهنگی (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). تغییر اقلیم تأثیر عمده ای بر توزیع جغرافیایی آفات خواهد داشت و دمای پایین اغلب در تعیین توزیع جغرافیایی آنها از درجه حرارت بالا مهمتر است (هیل، ۱۹۸۷). بسیاری از گونه های آفات به دلیل تغییرات آب و هوایی، همچنین به دلیل افزایش تجارت بین المللی، که به آنها اجازه می دهد در سراسر جهان پراکنده شوند، دامنه خود را تغییر می دهند. در مورد آفات کشاورزی، این نوع جابجایی می تواند بر تولید کشاورزی تأثیر زیادی بگذارد (مینارد و همکاران،۲۰۱۳). انتظار می رود با افزایش تعداد نسل ها در فلات مرکزی ایران، دامنه آفات تا سال ۲۰۵۵. به ارتفاعات بالاتر تغییر کند

افزایش بقا در زمستان: حشرات موجوداتی خونسرد هستند و بنابراین ظرفیت محدودی برای هموستاز در پاسخ به تغییرات دمای محیط دارند. آنها راهبردهای مختلفی را برای زنده ماندن در شرایط محیطی پر استرس حرارتی ایجاد کرده اند (گونزالس و همکاران، ۲۰۲۰). بحرانی ترین فصل برای بسیاری از آفات زمستان است، زیرا دمای پایین می تواند به طور قابل توجهی مرگ و میر را افزایش دهد و در نتیجه جمعیت را در فصل بعدی کاهش دهد (هیل، ۱۹۸۷). مطالعات نشان داده اند که گرم شدن کره زمین در فصل زمستان در عرض های جغرافیایی بالا بارزتر است (پاچوری و رزینگر،۲۰۰۷). بنابراین، حشراتی که تحت یک دیاپوز زمستانی قرار می گیرند، احتمالاً بیشترین تغییرات را در محیط حرارتی خود تجربه می کنند (بل و هاروارد، ۲۰۱۰). افزایش بقا در طول دوره زمستان گذرانی می تواند منجر به افزایش جمعیت زمستان گذرانی و در نتیجه به فراوانی بیشتر حشرات در گیاهان در طول دوره گرمتر سال شود. در نتیجه، گرم شدن کره زمین باعث افزایش جمعیت حشرات، هجوم اولیه و آسیب ناشی از آفات می شود (یامامورا و یوکوزاوا، ۲۰۰۲). به عنوان مثال، افزایش دما منجر و کرم غوزه پنبه (Helicoverpa zea Boddie) به بالارفتن ریسک ظهور، گسترش دامنه و افزایش بقای زمستانه آفت شده است. در نتیجه، به نظر می رسد که این یک تهدید مهم برای از دست دادن (Helicoverpa armigera Hubner) عملکرد و یک چالش بزرگ برای مدیریت آفات در ذرت، یک محصول غذایی اساسی در کشورمان خواهد بود (دیفن باگ و کروپک، ۲۰۰۸)

افزایش تعداد نسل ها: دما مهمترین عامل محیطی برای حشرات است که عمدتاً بر فنولوژی آنها تأثیر می گذارد. فرضیه انرژی محیط نشان می دهد که رشد و تولید مثل در دماهای بالا بیشتر است. بنابراین، دماهای بالاتر یا گرم شدن کره زمین منجر به افزایش جمعیت می شود که به نوبه خود می تواند منجر به افزایش تعداد گونه ها در تعادل دینامیکی شود (منندز، ۲۰۰۷). پاسخ های مورد انتظار حشرات به افزایش دما شامل پیشرفت در زمان ظهور بالغ و افزایش مدت زمان پرواز است (منندز، ۲۰۰۷). تغییرات voltinism، شروع زودتر دوره پرواز است که می تواند امکان تولید نسل اضافی را فراهم کند (آلترمات، ۲۰۱۰). از آنجایی که حشرات در فصل رشد زودتر پرواز می کنند، افراد نسل اول می توانند زودتر تولید مثل کنند. علاوه بر این، به دلیل دماهای بالاتر، رشد و نمو لارو سریع‌تر اتفاق می‌افتد، بنابراین افراد بیشتری از نسل بعدی می‌توانند در زمانی که دوره نوری و شرایط دما هنوز مساعد هستند، رشد کنند و به آنها اجازه می‌دهد مستقیماً در همان فصل رشد (آلترمات، ۲۰۱۰). زمان ظهور حشرات بالغ را می توان با تله های فرمونی، مکنده یا نوری ثبت کرد. تجزیه و تحلیل داده های بلند مدت در مورد فنولوژی حشرات نشان می دهد که زمان ظهور آفات تحت تغییرات آب و هوا تغییر می کند (پاتاک و همکاران، ۲۰۱۲). تجزیه و تحلیل داده های تله مکنده نشان داده است که پرواز بهاره شته سیب زمینی (Myzus persicae Sulzer) دو هفته زودتر به ازای هر ۱ درجه سانتیگراد افزایش میانگین دما در دی ماه و بهمن ماه آغاز می شود (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). یک گزارش ۵۰ ساله از زمان اولین مهاجران M.persicae که هر سال در یک تله مکنده گرفتار شده بودند (برگرفته از مطالعه ای توسط Rothamsted Research، هارپندن، انگلستان) یک همبستگی قوی با میانگین دمای زمستان در دی و بهمن نشان می دهد (بل و هاروارد، ۲۰۱۰).

کمی سازی دقیق رابطه بین تغییرات آب و هوایی و صفات حشرات، مانند تغییرات در فنولوژی و ولتینیم ها برای گونه های آفت اصلی، می تواند یک چارچوب مفهومی برای چگونگی تجلی این تغییرات خاص در سایر گونه های حشرات فراهم کند. تغییرات مستند در ولتینیسم، سازگاری بالای حشرات با تغییرات محیطی را تأیید می کند، به همین دلیل است که آنها از جمله موجوداتی هستند که به گرمایش جهانی واکنش نشان می دهند (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱).

افزایش خطر گسترش گونه های مهاجم : گونه‌های بیگانه مهاجم (IAS) به عنوان گونه‌هایی تعریف می‌شوند که به طور عمدی (مانند غذا، محصولات زراعی، گیاهان زینتی، حیوانات خانگی، دام) یا به‌طور ناخواسته به دلیل فعالیت‌های انسانی در خارج از زیستگاه طبیعی خود معرفی می‌شوند [۱۳۲]. گونه های مهاجم را به عنوان بزرگترین تهدید برای تنوع زیستی جهانی با هزینه های بالا برای کشاورزی، جنگلداری و اکوسیستم های آبی توصیف می کند (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). برای گونه‌های آفات مهاجم، بسیاری از نویسندگان در مطالعات اخیر، گستره جغرافیایی گسترده و افزایش تراکم جمعیت و ولتینیسم را تحت سناریوهای پیش‌بینی‌شده تغییرات آب و هوایی پیش‌بینی می‌کنند که می‌تواند به زودی منجر به پیامدهای بالقوه شدید برای تولید کشاورزی پایدار شود (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱). با این حال، مهم است که بیان کنیم که تغییر آب و هوا محرک اصلی تهاجم بیولوژیکی نیست. برای مهاجم شدن، حشرات بیگانه باید با موفقیت به یک زیستگاه جدید برسند، در شرایط داده شده جان سالم به در ببرند و رشد کنند. تغییر اقلیم می تواند به طور مثبت یا منفی بر اجزای این مسیر تهاجمی تأثیر بگذارد. آب و هوا، در ترکیب با ویژگی های چشم انداز، محدودیت هایی را برای پراکندگی چنین گونه هایی تعیین می کند و شرایط فصلی را برای توسعه، رشد و بقای آنها در یک زیستگاه جدید تعیین می کند (مسترز و نورگروف، ۲۰۱۰).

فرآینـد تهاجـم حشـرات شـامل زنجیـره ای از رویدادهـا اسـت کـه شـامل انتقـال، معـرفی، اسـتقرار و پراکنـدگی حشـرات مهاجـم بیگانـه اسـت (ریسیـاردی، ۲۰۱۳). گونـه هـای مهاجـم معمـولاً دامنـه تحمـل یـا محـدوده زیسـت اقلیـم وسیـع تـری نسـبت بـه حشـرات بـومی دارنـد کـه بـه حشـرات بیگانـه امـکان می دهـد محـدوده وسیـع تـری از زیسـتگاه هـای مناسـب را پیـدا کننـد (کندزیـک و همـکاران، ۲۰۲۱). گونـه هـای حشـرات بـه شـدت بـه تغییـرات آب و هـوایی حسـاس هسـتند. حسـاسیت از ایـن واقعیـت نـاشی می شـود کـه بیشـتر فرآیندهـای فیزیولوژیـکی آنهـا وابسـته بـه دمـا هسـتند (کندزیـک و همـکاران، ۲۰۲۱)

کاهـش اثربخـشی عوامـل کنتـرل بیولوژیـک – دشـمنان طبیـعی: تغییـرات آب و هـوایی احتمـالاً تأثیـرات شـدیدی بـر فـراوانی، توزیـع و زمـان بنـدی فصـلی آفـات و دشـمنان طبیـعی آنهـا خواهـد داشـت کـه درجـه موفقیـت برنامـه هـای کنتـرل بیولوژیـکی را تغییـر می دهـد (تامسـون و همـکاران،۲۰۱۰). گونـه هـای حشـرات گیاهخـوار بـه طـور طبیـعی بـا مکانیسـم هـای از بـالا بـه پاییـن (دشـمنان طبیـعی) و از پاییـن بـه بـالا (در دسـترس بـودن و کیفیـت گیـاه میزبـان) کنتـرل می شـوند. ایـن مکانیسـم هـای طبیـعی بـرای تأثیرگـذاری بـر پویـایی جمعیـت حشـرات، عملکـرد و رفتـار تأثیـر متقابـل دارند(کندزیـک و همـکاران، ۲۰۲۱)

افزایـش شیـوع بیمـاری هـای گیـاهی منتقـل شـده توسـط ناقلیـن: حشـرات ناقلیـن مهـمی هسـتند کـه بسیـاری از بیماری‌هـای گیـاهی ماننـد ویروس‌هـا، فیتوپلاسـماها و باکتری‌هـا را منتقـل می‌کننـد (بولانـد و همـکاران، ۲۰۰۴). ویـروس هـا عامـل اصلـی بسیـاری از بیمـاری هـای گیـاهی در تولیـد جهـانی غـذا هسـتند. زیـان اقتصـادی تخمیـن زده شـده از ایـن بیمـاری هـا بیـش از ۳۰ میلیـارد دلار در سـال اسـت (ساسـتری و زیتـر، ۲۰۱۴). ویـروس هـا خـارج از ناقـل یـا حشـره میزبـان خـود، غیرقابـل حرکـت هسـتند و بنابرایـن بـرای انتقـال و انتشـار بـه شـدت بـه نـاقلان خـود وابسـته هسـتند. بـرخی از ویروس‌هـا و ناقل‌هـا عمـومی میزبـان هسـتند و بـرخی دیگـر متخصـص بـا روش انتقـال خـاصی هسـتند. ناقـل هـا می تواننـد از نظـر کارایی انتقـال متفـاوت باشـند، بنابرایـن تـداوم، گسـترش و شـیوع ویـروس هـا بـه ناقـل هـای خـاص، گیـاه میزبـان آنهـا و شـرایط آب و هـوایی کـه در آن رشـد می کننـد بسـتگی دارد (هول،۲۰۱۴:تربیـکی و همـکاران، ۲۰۱۶). تغییـرات آب و هـوایی ممکـن اسـت تأثیـر عمـده ای بـر اپیدمیولـوژی ویـروس هـای گیـاهی داشـته باشـد (تربیـکی و همـکاران، ۲۰۱۶). گـرم شـدن کـره زمیـن ممکـن اسـت بـه دلیـل گسـترش جغرافیـایی و افزایـش جمعیـت نـاقلان حشـرات، باعـث بـروز بیمـاری هـای گیـاهی منتقـل شـده از حشـرات شـود (شـارما و همـکاران، ۲۰۰۵: شـارما،۲۰۱۴). بـا تغییـرات آب و هـوایی، افزایـش بیمـاری هـای گیـاهی تـازه معـرفی شـده از طریـق حشـرات پیـش بیـنی می شـود. بنابرایـن وجـود ابزارهـای تشـخیصی و پرسـنل مناسـب بـرای شناسـایی پاتـوژن هـای جدیـد از اهمیـت بـالایی برخـوردار اسـت(کندزیک و همـکاران، ۲۰۲۱)

استراتژی های سازگاری و کاهشی برای مدیریت آفات در زمان تغییر اقلیم: سازگاری با تغییرات اقلیمی را می توان به عنوان یک فرآیند مداوم برای اجرای استراتژی های مدیریت ریسک موجود و کاهش خطر بالقوه ناشی از تأثیرات تغییرات آب و هوایی در نظر گرفت(هودن و همکاران، ۲۰۰۷). انتظار می رود تغییرات آب و هوایی به طور گسترده ای هجوم آفات را غیرقابل پیش بینی تر کند و دامنه جغرافیایی آنها را افزایش دهد.. با تغییر اقلیم و شتاب تجارت جهانی، عدم قطعیت ها و فراوانی بروز آفات موجود و جدید افزایش می یابد. بنابراین افزایش توانایی انطباق سریع با اختلالات و تغییرات آب و هوایی اهمیت بیشتری پیدا می کند (بارزمان و همکاران، ۲۰۱۵). استراتژی‌های سازگاری بالقوه برای کاهش خطرات انتشار آفات و بیماری‌های جدید و کاهش اثرات منفی آفات موجود شناسایی شده‌اند. متداول ترین استراتژی های ذکر شده عبارتند از شیوه های اصلاح شده مدیریت تلفیقی آفات (IPM)، نظارت بر اقلیم و جمعیت آفات پ و استفاده از ابزارهای پیش بینی مدل سازی (رازا و همکاران، ۲۰۱۴).

روش های اصلاح شده مدیریت یکپارچه آفات (IPM): طبق تعریف، IPM به گونه های مضر آفات (عمدتاً حشرات و کنه ها)، پاتوژن ها و علف های هرز اشاره دارد. در زمینه کشاورزی پایدار، تأکید در حفظ نباتات بر اقدامات پیشگیرانه یا غیرمستقیم است که باید قبل از اعمال کنترل یا اقدامات مستقیم، از این اقدامات به طور کامل استفاده شود. تصمیم گیری در مورد نیاز به اقدامات کنترلی باید بر اساس مدرن ترین ابزارها، مانند روش های پیش بینی و آستانه های علمی معتبر باشد. ابزارهای کنترل مستقیم آفات آخرین راه حل زمانی هستند که نمی توان از تلفات غیرقابل تحمل اقتصادی با اقدامات غیرمستقیم جلوگیری کرد (بولر و همکاران، ۲۰۰۴). فائو یک استراتژی دوگانه را مبتنی بر اقدام در سطوح جهانی و منطقه ای و بالاتر از همه سرمایه گذاری قابل توجه در بهبود سیستم های تشخیص و کنترل زودهنگام موجود توصیه می کند. این امر مستلزم توسعه شیوه‌های کشاورزی جدید، معرفی گونه‌های جدید محصولات زراعی و بکارگیری اصول مدیریت یکپارچه آفات برای مهار گسترش است (گومز و همکاران، ۲۰۲۰). در سال‌های اخیر، پیش‌بینی شده است که محققان و تولیدکنندگان باید بسیاری از این تاکتیک‌های IPM را که با دقت ساخته شده‌اند، تغییر دهند تا به تأثیرات مهم گرمایش جهانی پاسخ دهند (بارزمان و همکاران، ۲۰۱۵).

نظارت بر فراوانی و توزیع: یکی از مهمترین پیش نیازها برای تعیین اینکه آیا تغییرات آب و هوایی پویایی جمعیت گونه های آفات را تغییر می دهد یا خیر، دسترسی به داده های بلند مدت است (یاماموراو همکاران، ۲۰۰۲). بدون این داده های پایه مهم، ارزیابی کامل تغییرات در جمعیت آفات تحت رژیم های آب و هوایی در حال تغییر و همچنین پیش بینی پویایی جمعیت در آینده بسیار دشوار است (آندره و هیل، ۲۰۱۷).

پیش بینی آب و هوا و توسعه مدل: طراحی استراتژی های سازگاری پیشینی با تغییر اقلیم برای سناریوهای تغییر اقلیم ملی یا جهانی به دلیل ناهمگونی تغییرات دمای متوسط و سایر پارامترهای آب و هوایی در سراسر جهان غیرممکن است. استراتژی های سازگاری با تغییرات آب و هوایی باید یکی از اجزای یک استراتژی یکپارچه باشد که تمام جنبه های تولید کشاورزی را در نظر بگیرد. استراتژی های مدیریت آفات باید تغییرات آب و هوایی منطقه ای و عدم قطعیت های آن را تحمل کند. برخی از گزینه های موجود شامل تجزیه و تحلیل حساسیت و نتایج ترکیبی به دست آمده با استفاده از سناریوهای تغییرات آب و هوایی پیش بینی شده با تجزیه و تحلیل حساسیت برای یک منطقه معین در طیف گسترده ای از مقادیر متغیر است. این استراتژی می تواند به ابزار مفیدی در اطلاع رسانی به پرسنل مدیریت آفات در هنگام طراحی اقدامات سازگاری برای مدیریت آفات تحت شرایط محیطی جدید تبدیل شود (کندزیک و همکاران، ۲۰۲۱).

نتیـــجه گیری

اگرچه هنوز ناشناخته های زیادی در رابطه با تغییرات آب و هوایی وجود دارد، اما به طور گسترده پذیرفته شده است که این امر بر کشت گیاهان کشاورزی و همچنین آفات مرتبط با آنها تأثیر زیادی می گذارد. برخی از ابهامات مربوط به جنبه‌های مختلف تغییر اقلیم که به آفات مربوط می‌شوند عبارتند از تنوع آب و هوایی در مقیاس کوچک مانند افزایش دما، افزایش **Co2** جو، تغییر الگوهای بارش، رطوبت نسبی و عوامل دیگر. با توجه به ناهمگونی عظیم گونه‌های حشرات، گیاهان میزبان آنها و تنوع آب و هوای جهانی، واکنش‌های ترکیبی گونه‌های حشرات به گرمایش جهانی در نقاط مختلف جهان انتظار می‌رود. اثرات تغییر آب و هوا بر حشرات پیچیده است، زیرا تغییرات آب و هوایی به نفع برخی از حشرات است و برخی دیگر را مهار می کند، در حالی که بر توزیع، تنوع، فراوانی، توسعه، رشد و فنولوژی آنها تأثیر می گذارد. علاوه بر این، به طور کلی انتظار می رود که افزایش کلی در تعداد شیوع آفات که شامل طیف وسیع تری از آفات است، وجود داشته باشد. حشرات احتمالاً توزیع جغرافیایی خود را گسترش می دهند (به ویژه به سمت شمال). با توجه به افزایش میزان بقا در زمستان گذرانی و توانایی رشد نسل های بیشتر، فراوانی برخی از آفات افزایش می یابد. گونه‌های آفات مهاجم احتمالاً با سهولت بیشتری در مناطق جدید مستقر می‌شوند و بیماری‌های گیاهی بیشتر از طریق حشرات منتقل می‌شوند. یکی دیگر از پیامدهای منفی که می تواند در نتیجه تغییرات آب و هوایی رخ دهد، کاهش اثربخشی عوامل کنترل بیولوژیکی – دشمنان طبیعی – است و این می تواند یک مشکل بزرگ در برنامه های مدیریت آفات آینده باشد. اگر عوامل تغییر اقلیم منجر به شرایط مساعد برای هجوم آفات و خسارت به محصول شود، در این صورت با خطر بالایی از ضررهای اقتصادی قابل توجه و چالشی برای امنیت غذایی انسان مواجه خواهیم شد. برای مقابله با این مشکل به یک رویکرد فعال و علمی نیاز است. بنابراین، نیاز زیادی به برنامه ریزی و تدوین استراتژی های سازگاری و کاهش در قالب تاکتیک های اصلاح شده **IPM**، نظارت بر اقلیم و آفات و استفاده از ابزارهای مدل سازی وجود دارد.

منابـع

اکبری، م. و صیاد،، و. (۲۰۲۱) تحلیل مطالعات تغییر اقلیم در ایران. پژوهش های جغرافیای طبیعی, ۵۳(۱), ۳۷-۷۴.
محمدی مزرعه،، ح. و تقوی. (۱۳۸۴) روند شاخص های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش های جغرافیایی، ۳۷(۵۳)، ۱۵۱-۱۷۲.کریمی، م. کاکی، س. و رفعتی، س. (۱۳۹۷) شرایط و مخاطرات اقلیمی آیندهٔ ایران در تحقیقات اقلیمی، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵(۳)، ۱-۲۲

Altermatt, F. (2010) Climatic warming increases voltinism in European butterflies and moths. Proc. R. Soc. B. 277, 1281–1287.

Andrew, N.R., & Hill, S.J. (2017) Effect of climate change on insect pest management. In: Coll M., Wajnberg E., editors. Environmental Pest Management: Challenges for Agronomists, Ecologists, Economists and Policymakers. 1st ed. John Wiley and Sons Ltd.; Hoboken, NJ, USA, 197–215.

Bale, J.S., & Hayward, S.A.L. (2010) Insect overwintering in a changing climate. J. Exp. Biol. 213, 980–994.

Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A.N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., & Kudsk, P. (2015) Eight principles of integrated pest management. Agron. Sustain. Dev. 35, 1199–1215.

Baker, R.A,. Cannon, R.C., & Walters, K.A. (1996) An assessment of the risks posed by selected non-indigenous pests to UK crops under climate change. Asp. Appl. Biol. 45, 323–330.

Boland, G.J., Melzer, M.S., Hopkin, A., Higgins, V., & Nassuth, A. (2004) Climate change and plant diseases in Ontario. Can. J. Plant Pathol. 26, 335–350.

Ciais, P. (2017) Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 114, 9326–9331.

Caulfield, F., & Bunce, J.A. (1994) Elevated atmospheric carbon dioxide concentration affects interactions between Spodoptera exigua (Lepidoptera: Noctuidae) larvae and two host plant species outdoors. Environ. Entomol. 23, 999–1005.

Coulson, S.J., Hodkinson, I.D., Webb, N.R., Mikkola, K., Harrison, J.A., & Pedgley, D.E. (2002) Aerial colonization of high Arctic islands by invertebrates: The diamondback moth Plutella xylostella (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a potential indicator species.

Collins, W., Colman, R., Haywood, J., Manning, M.R., & Mote, P. (2007) The physical science behind climate change. Sci. Am. 297, 64–73.

Daneshvar, M. R. M., Ebrahimi, M. & Nejadsoleymani, H. (2019) An overview of climate change in Iran: facts and statistics. Environmental Systems Research, 8(1), 1-10.

Deshar, R., Koirala, M. (2019) Climate Change and Gender Policy. In: Venkatramanan V., Shah S., Prasad R., editors. Global Climate Change and Environmental Policy: Agriculture Perspectives. 1st ed. Springer Nature Pte Ltd.; Singapore, 411–422.

Deutsch, C.A., Tewksbury, J.J., Tigchelaar, M., Battisti, D.S., Merrill, S.C., Hue,y R.B., & Naylo,r R.L. (2018) Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. Science. 361, 916–919.

Dukes, J.S.D.S., Pontius, J., Orwig, D., Garnas, J.R.G.R., Rodgers, V.L., Brazee, N., Cooke, B., Theoharides, K.A.T.A., Stange, E.E.S.E., Harrington, R. (2009) Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: What can we predict? This article is one of a selection of papers from NE Forests 2100: A Synthesis of Climate Change Impacts on Forests of the Northeastern US and Eastern Canada. Can. J. For. Res. 39, 231–248.

Diffenbaugh, N.S., Krupke, C.H., White, M.A., & Alexander, C.E. (2008) Global warming presents new challenges for maize pest management. Environ. Res. Lett. 3, 044007.

Doody, A. (2020) Pests and diseases and climate change: Is there a connection. Retrieved February, 27, 2020.

Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C. (2014) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects; Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press; Cambridge, UK: New York, NY, USA: 2014. IPCC Summary for policymakers; pp. 1–32.

FAO Climate Related Transboundary Pests and Diseases. [(accessed on 19 December 2020)]; Available online: http://www.fao.org/3/a-ai785e.pdf

Fleming, R.A., & Volney, W.J.A. (1995) Effects of climate change on insect defoliator population processes in Canada's boreal forest: Some plausible scenarios. Water Air Soil Pollut. 82, 445–454.

FAO., Food and Agriculture Organization Plant Pests and Diseases in the Context of Climate Change and Climate Variability, Food Security and Biodiversity Risks. [(accessed on 12 January 2020)]; Available online: http://www.fao.org/3/nb088/nb088.pdf

Gholami, V., Jolandan, M, A. & Torkaman, J. (2017) Evaluation of climate change in northern Iran during the last four centuries by using dendroclimatology. Natural Hazards, 85(3), 1835-1850.

Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., & Toulmin, C. (2010) Food security: The challenge of feeding 9 billion people. Science. 327, 812–818.

Gutierrez, A.P., D'Oultremont, T., Ellis, C., & Ponti, L. (2006) Climatic limits of pink bollworm in Arizona and California: Effects of climate warming. Acta Oecol. 30, 353–364.

Gomez-Zavaglia, A., Mejuto, J.C., & Simal-Gandara, J. (2020) Mitigation of emerging implications of climate change on food production systems. Food Res. Int. 134, 109256.

Hajarpour, A., Yousefi, M. & Kamkar, B. (2014) Assessment of Weather Assimilators of CLIMGEN, LARS-WG and Weather Man in Assimilation of three Different Climatic Parameters of three Different Climate (Gorgan, Gonbad and Mashhad). Geography and Development Iranian Journal, 12(35), 201-216.

Hare, J.D. (1992) Effects of plant variation on herbivore-natural enemy interactions. In: Fritz R.S., Simms E.L., editors. Plant Resistance to Herbivores and Pathogens: Ecology, Evolution, and Genetics. 1st ed. University of Chicago Press; Chicago, IL, USA, 278–298.

Hill, D.S. (1987) Agricultural Insect Pests of Temperate Regions and Their Control. Cambridge University Press; New York, NY, USA.
Harrington, R., Fleming, R.A., Woiwod, I.P. (2001) Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: Can they be predicted? Agric. For. Entomol. 3, 233–240.

Harrington, R., Bale, J.S., Tatchell, G.M. (1995) Aphids in a changing climate. In: Harrington R., Stork N.E., editors. Insects in a Changing Environment. Academic Press; London, UK: 1995. Pp, 125–155.

Hill, M.P., Bertelsmeier, C., Clusella-Trulla,s S., Garnas, J., Robertson, M.P., & Terblanche, J.S. (2016) Predicted decrease in global climate suitability masks regional complexity of invasive fruit fly species response to climate change. Biol. Invasions. 18, 1105–1119.
Hull, R. (2014) Plant Virology. Elsevier/Academic Press; London, UK.

IPCC, Climate Change (2014) Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K., and Meyer, L.A., (eds.)]. 2014, IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Kobayashi, E., Kriegler, E., (2018) Mitigation pathways compatible with 1.5 °C in the context of sustainable development. In: Masson-Delmotte V.P., Zhai H.-O., Pörtner D., Roberts J., Skea P.R., Shukla A., Pirani W., Moufouma-Okia C., Péan R., Pidcock S., et al., editors. Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable De-velopment, and Efforts to Eradicate Poverty. WMO; Geneva, Switzerland.
Karl, T.R., & Trenberth, K.E. (2003) Modern global climate change. Science. 302, 1719–1723.

Kocmánková, E., Trnka, M., Eitzinger, J., Dubrovský, M., Štěpánek, P., Semeradova, D., Balek, J., Skalak, P., Farda, A., & Juroch, J. (2011) Estimating the impact of climate change on the occurrence of selected pests at a high spatial resolution: A novel approach. J. Agric. Sci. 149,185–195.

Masters, G., Norgrove, L. (2010) Climate Change and Invasive Alien Species. CABI; Wallingford, UK: p. 30. CABI Working Paper 1.

Müller, C. (2013) African lessons on climate change risks for agriculture. Annu. Rev. Nutr. 33, 395–411.

Meynard, C.N., Migeon, A., Navajas, M. (2013) Uncertainties in predicting species distributions under climate change: A case study using Tetranychus evansi (Acari: Tetranychidae), a widespread agricultural pest. Plos One. 8, 66445.

Musolin, D.L. (2007) Insects in a warmer world: Ecological, physiological and life-history responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. Glob. Chang. Biol. 2007;13:1565–1585

Menéndez, R., González-Megías, A., Collingham, Y., Fox, R., Roy, D.B., Ohlemüller, R., & Thomas, C.D. (2007) Direct and indirect effects of climate and habitat factors on butterfly diversity. Ecology. 88, 605–611.

Menéndez, R. (2007) How are insects responding to global warming? Tijdschr. Entomol, 150:355.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B.L. (2011) Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proc. Natl. Acad. Sci. USA.108, 20260–20264.

Parry, M. (1990) The potential impact on agriculture of the greenhouse effect. Land Use Policy. 7, 109–123.
Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021) The impact of climate change on agricultural insect pests. Insects, 12(5), 440.

Rosenzweig, C., Major, D.C., Demong, K., Stanton, C., Horton, R., Stults, M. (2007) Managing climate change risks in New York City's water system: Assessment and adaptation planning. Mitig. Adapt. Strat. Glob. Chang. 12, 1391–1409.
Shrestha, S. (2019) Effects of climate change in agricultural insect pest. Acta Sci. Agric. 3, 74–80.

Pachauari, R.K., & Reisinger, A. (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report on Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Geneva, Switzerland: 2007.

Yoro, K.O., & Daramola, M.O. (2020) Chapter 1—CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. In: Rahimpour M.R., Farsi M., Makarem M.A., editors. Advances in Carbon Capture. 1st ed. Woodhead Publishing; Sawston, UK, 3–28.
Rogelj, J.D., Shindell, K., Jiang, S., Fifita, P., Forster, V., Ginzburg, C., Handa, H., Kheshgi, S.,

Streck, N.A. (2005) Climate change and agroecosystems: The effect of elevated atmospheric CO2 and temperature on crop growth, development, and yield. Ciênc. Rural. 35, 730–740.

Rehman, M.U., Rather, G.H., Gull, Y., Mir, M.R., Mi,r M.M., Waida, U.I., & Hakeem, K.R. (2015) Effect of climate change on horticultural crops. In: Hakeem K.R., editor. Crop Production and Global Environmental Issues. Springer International Publishing; Cham, Switzerland, 211–239.

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D.B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., & Fand, B.B., Kamble, A.L., & Kumar, M. (2012) Will climate change pose serious threat to crop pest management: A critical review. Int. J. Sci. Res. 2, 1–14.
Roth, S.K., & Lindroth, R.L. (1995) Elevated atmospheric CO2: Effects on phytochemistry, insect performance and insect-parasitoid interactions. Glob. Chang. Biol. 1, 173–182.

Pathania, M., Verma, A., Singh, M., Arora, P.K., & Kaur, N. (2020) Influence of abiotic factors on the infestation dynamics of whitefly, Bemisia tabaci (Gennadius 1889) in cotton and its management strategies in North-Western India. Int. J. Trop. Insect Sci. 40, 969–981.

Pathak, H., Aggarwal, P.K., & Singh, S.D. (2012) Climate Change Impact, Adaptation and Mitigation in Agriculture: Methodology for Assessment and Applications. Indian Agricultural Research Institute; New Delhi, India.

Thomson, L.J., Macfadyen, S., & Hoffmann, A.A. (2010) Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. Biol. Control. 52, 296–306

Raza, M.M., Khan, M.A., Arshad, M., Sagheer, M., Sattar, Z., Shafi, J., Haq, E.U., Ali, A., Aslam, U., Mushtaq, A. (2014) Impact of global warming on insects. Arch. Phytopathol. Plant Prot.;48, 84–94.

González-Tokman, D., Córdoba-Aguilar, A., Dáttilo, W., Lira-Noriega, A., Sánchez-Guillén, R.A., & Villalobos, F. (2020) Insect responses to heat: Physiological mechanisms, evolution and ecological implications in a warming world. Biol. Rev. 95, 802–821.

Taylor, L.R., Tauber, M.J., Tauber, C.A., & Masaki, S. (1986) Seasonal Adaptations of Insects. Oxford University Press; Oxford, UK.

Pullin A., Bale, J. (1989) Influence of diapause and temperature on cryoprotectant synthesis and cold hardiness in pupae of Pieris brassicae. Comp. Biochem. Physiol. Part A Physiol. 94, 499–503.

Parmesan, C. (2007) Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. Glob. Chang. Biol. 13, 1860–1872.

Yamamura, K., & Yokozawa, M. (2002) Prediction of a geographical shift in the prevalence of rice stripe virus disease transmitted by the small brown planthopper, Laodelphax striatellus (Fallen) (Hemiptera: Delphacidae), under global warming. Appl. Entomol. Zool. 37, 181–190.

Zhou, X.-L., Harrington, R., Woiwod, I.P., Perry, J.N., Bale, J.S., Clark, S.J. (1995) Effects of temperature on aphid phenology. Glob. Chang. Biol. 1, 303–313.

Ricciardi, A. (2013) Invasive species. In: Leemans R., editor. Ecological Systems. 1st ed. Springer; New York, NY, USA, 161–178.
Vermeij, G.J. (1996) An agenda for invasion biology. Biol. Conserv. 78, 3–9.

Sgro, C.M. (2016) Terblanche J.S., Hoffmann A.A. What can plasticity contribute to insect responses to climate change? Annu. Rev. Entomol. 61, 433–451.

Sastry, K.S., & Zitter, T.A. (2014) Plant Virus and Viroid Diseases in the Tropics. Volume 2: Epidemiology and Management. 1st ed. Springer; Dordrecht, The Netherlands.

Trębicki, P., Vandegeer, R.K., Bosque-Pérez, N.A., Powell, K.S., Dader, B., Freeman, A.J., Yen, A.L., Fitzgerald, G.J., & Luck, J.E. (2016) Virus infection mediates the effects of elevated CO2 on plants and vectors. Sci. Rep. 6, 1–11.

Sharma, H.C., Dhillon, M.K., Kibuka, J., Mukuru, S.Z. (2005) Plant defense responses to sorghum spotted stem borer, Chilo partellus under irrigated and drought conditions. Int. Sorghum Millets Newsl. 46, 49–52.

Sharma, H.C. (2014) Climate change effects on insects: Implications for crop protection and food security. J. Crop Improv. 28, 229–259.
Howden, S.M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M., & Meinke, H. (2007) Adapting agriculture to climate change. Proc. Natl. Acad. Sci. USA.104, 19691–19696.

FAO How to Practice Integrated Pest Management. [(accessed on 15 February 2021)]; Available online: http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/compendium/tools-guidelines/how-to-ipm/en/
Yamamura, K., Yokozawa, M., Nishimori, M., Ueda, Y., & Yokosuka, T. (2006) How to analyze long-term insect population dynamics under climate change: 50-year data of three insect pests in paddy fields. Popul. Ecol. 48, 31–48.

Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Prakash, A., Rao, J., Mukherjee, A.K., Berliner, J., Pokhare, S.S., Adak, T., Munda, S., & Shashank, P.R. (2014) Climate Change: Impact on Crop Pests. Applied Zoologists Research Association (AZRA), Central Rice Research Institute; Odisha, India.