



مروری بر تأثیر تغییرات اقلیمی بر پراکنش جغرافیایی آفات گیاهی

سیدمحمدعلی رحمانی*، علیرضا عسکریان زاده

گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، ایران

*نویسنده مسئول: eng.smar1365@iran.ir

خلاصه

تغییرات اقلیمی جهانی، شامل افزایش دما، تغییر الگوی بارش و شدت گرفتن رخداد‌های غالب، اثرات گسترده‌ای بر اکوسیستم‌های کشاورزی و به‌ویژه بر پراکنش، پویایی جمعیت و فنولوژی آفات می‌گذارد [3]. افزایش دما با کاهش محدودیت‌های محیطی، امکان گسترش آفات به عرض‌های جغرافیایی و ارتفاعات بالاتر را فراهم کرده و با تسریع رشد و کوتاه‌شدن چرخه زندگی، تعداد نسل‌های سالانه و احتمال طغیان‌های جمعیتی را افزایش می‌دهد [7]. تغییرات بارش نیز از طریق اثر بر فیزیولوژی گیاهان میزبان، شرایط زیستگاهی آفات و تنوع دشمنان طبیعی، بر بقا و تولیدمثل آفات اثرگذار است. ناهم‌زمانی فنولوژیک گیاهان میزبان با بیولوژی آفات و که در نتیجه پاسخ متفاوت به اقلیم رخ می‌دهد، بستگی به شرایط می‌تواند موجب کاهش یا افزایش تغذیه و بقا شود [1]. این تحولات، همراه با افزایش گونه‌های مهاجم و فشار انتخابی برای مقاومت به آفت‌کش‌ها، چالش‌های جدیدی در مدیریت آفات ایجاد کرده و لزوم بازنگری در راهبردهای مدیریت تلفیقی آفات (IPM) سازگار با شرایط اقلیمی متغیر را برجسته می‌سازد [4].

کلمات کلیدی: تغییرات اقلیمی، پراکنش آفات، مدیریت تلفیقی آفات، امنیت غذایی، تنش اقلیمی فنولوژی گیاهی

۱. مقدمه

تغییرات اقلیمی جهانی یکی از بارزترین و چالش برانگیزترین پدیده‌های زیست محیطی قرن بیست و یکم است. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو ناشی از فعالیتهای انسانی مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی و جنگل زدایی منجر به افزایش میانگین دمای کره زمین و دگرگونی در الگوهای آب و هوایی در سراسر جهان شده است [4]. این پدیده که با گرمایش جهانی شناخته می‌شود اثرات گسترده‌ای بر تمامی جنبه‌های حیات از جمله اکوسیستم‌های طبیعی و مصنوعی داشته است. سیستم‌های کشاورزی که به شدت به شرایط اقلیمی وابسته هستند در برابر تغییرات دما الگوهای بارش و وقوع رویدادهای غالب اقلیمی مانند امواج گرما خشکسالی‌ها و سیل‌ها بسیار حساس می‌باشند [4]. آفات گیاهی به طور مداوم یکی از مهمترین عوامل محدود کننده تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان محسوب می‌شوند. خسارات ناشی از آفات می‌تواند به طور چشمگیری عملکرد و کیفیت محصولات را کاهش داده و منجر به زیان‌های اقتصادی قابل توجهی برای کشاورزان و تهدید امنیت غذایی شود. در گذشته پراکنش و پویایی جمعیتی بسیاری از آفات تحت تأثیر محدودیت‌های اقلیمی به ویژه دما و رطوبت قرار داشته و دارای الگوهای منطقه‌ای و فصلی مشخصی بوده‌اند.



با این حال تغییرات اقلیمی در حال حاضر این محدودیت ها را بر هم زده و بستری مناسب برای تغییرات اساسی در رفتار و پراکنش این عوامل خسارت را فراهم آورده است [3].

درک عمیق رابطه بین تغییر اقلیم و آفات گیاهی برای توسعه راهبردهای مؤثر مدیریت آفات و تضمین پایداری بخش کشاورزی در آینده امری ضروری است. این رابطه پیچیده شامل تأثیرات مستقیم بر فیزیولوژی چرخه زندگی و بقای آفات و همچنین اثرات غیر مستقیم از طریق تغییرات در گیاهان میزبان دشمنان طبیعی و کل اکوسیستمهای کشاورزی می باشد [7].

هدف این مقاله ارائه مروری جامع بر اثرات تغییرات اقلیمی بر پراکنش جغرافیایی پویایی جمعیتی بیفنولوژی و تعاملات آفات گیاهی و پیامدهای آن برای کشاورزی و امنیت غذایی است. در بخش های بعدی به تفکیک اثرات افزایش دما تغییر الگوی بارش، تغییرات فنولوژیک گیاهی، اثرات غیر مستقیم روی پویایی جمعیتی آفات مهاجم و دشمنان طبیعی مقاومت به آفت کش ها و در نهایت پیامدهای اقتصادی و مدیریتی مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۲. بحث

تغییرات اقلیمی از طریق مکانیسم های متعدد و پیچیده بر جنبه های مختلف زندگی آفات گیاهی تأثیر می گذارد. در این بخش به تفصیل به بررسی این تأثیرات پرداخته می شود.

۳. تأثیر افزایش دما بر پراکنش جغرافیایی آفات

یکی از واضح ترین و ملموس ترین اثرات تغییرات اقلیمی افزایش میانگین دمای جهانی است. این افزایش دما که به ویژه در سال های اخیر شتاب گرفته است به طور مستقیم بر توزیع جغرافیایی گونه های مختلف آفات تأثیر می گذارد. بسیاری از آفات به خصوص حشرات محدودیت های فیزیولوژیکی مشخصی نسبت به دما دارند [۲]. دمای پایین در عرضهای جغرافیایی بالاتر و ارتفاعات بیشتر یا مناطق شمالی تر به عنوان یک مانع طبیعی برای بقا و تولید مثل بسیاری از این گونه ها عمل می کند.

با افزایش دمای متوسط محدودیت های اقلیمی که قبلاً از مهاجرت و استقرار آفات در مناطق جدید جلوگیری می کردند رفته رفته از بین می روند [8]. این امر موجب میشود که آفات قادر به گسترش دامنه پراکنش خود به عرضهای جغرافیایی بالاتر و ارتفاعات بیشتر شوند. به عنوان مثال، بسیاری از آفات حشره ای که قبلاً به مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری محدود بودند اکنون در مناطق معتدل تر نیز مشاهده میشوند. این پدیده نه تنها در مورد آفات بومی صدق میکند بلکه ورود و استقرار گونه های مهاجم را نیز تسهیل می بخشد [5].

مثال هایی از حشرات کشاورزی و تغییر محدوده پراکنش آن ها :

شپشک آرد آلود مرکبات: (*Pseudococcus citri*) این آفت که قبلاً عمدتاً در مناطق نیمه گرمسیری یافت می شد، با افزایش دما دامنه پراکنش خود را به سمت مناطق معتدل تر گسترش داده است.

سن گندم: (*Sunn pest*) برخی گونه های سن گندم که به طور سنتی در مناطق خاصی محدود بودند، اکنون به دلیل افزایش دما در مناطقی که قبلاً برایشان سرد بوده مشاهده می شوند.

مگس میوه مدیترانه ای (*Ceratitis capitata*): این آفت که به طور گسترده ای در مناطق مدیترانه ای توزیع دارد به دلیل تحمل نسبی به دماهای بالاتر انتظار می رود که با گرمایش زمین دامنه پراکنش خود را به مناطق شمالی تر در اروپا و سایر قاره ها گسترش دهد.



مگس زیتون (*Bactrocera oleae*): افزایش دما به این آفت اجازه بقا و فعالیت طولانی تر در فصول سردتر سال را میدهد و زمینه را برای گسترش آن به مناطق جدید فراهم می آورد. این گسترش جغرافیایی چالش های جدیدی را برای کشاورزان در مناطقی که قبلاً با این آفات مواجه نبوده اند، ایجاد میکند. محصولات زراعی که قبلاً در برابر این آفات مقاوم یا با حداقل خسارت مواجه بودند اکنون در معرض خطر جدی قرار می گیرند.

۴. تأثیر دما بر نرخ رشد بقا و تعداد نسل های سالانه

دمای محیط، یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده نرخ رشد و نمو حشرات و سایر آفات خونسرد است [7]. فعالیت های متابولیکی حشرات، مانند تنفس، تغذیه و حرکت، به طور مستقیم تحت تأثیر دمای محیط قرار دارند. افزایش دما، در محدوده هایی که برای حشرات قابل تحمل است، منجر به تسریع این فرآیندها می شود [2]. افزایش سرعت رشد و کوتاه شدن چرخه زندگی : با افزایش دما مراحل رشدی مختلف آفات مانند تخم لارو پوره و شفیره سریع تر سپری میشوند [7]. این امر باعث میشود که چرخه زندگی کامل یک نسل از آفت کوتاه تر شود. به عنوان مثال مدت زمان لازم برای تبدیل تخم به حشره بالغ ممکن است از چند هفته به چند روز کاهش یابد. افزایش تعداد نسل ها در سال : کوتاه شدن چرخه زندگی، به طور طبیعی، به معنای افزایش تعداد نسل هایی است که یک آفت می تواند در طول یک فصل زراعی تولید کند [9]. این پدیده که افزایش "نسل زایی" نامیده می شود می تواند منجر به انفجارهای جمعیتی ناگهانی و شدید آفات شود. در مناطقی که قبلاً تنها یک یا دو نسل از یک آفت مشاهده میشد ممکن است اکنون سه یا چهار نسل در سال ظاهر شود. توضیح علمی درباره روز درجه و فیزیولوژی رشد حشرات مفهوم روز درجه یکی از ابزارهای کلیدی برای درک رابطه بین دما و رشد حشرات است. روز درجه معیاری برای محاسبه میزان گرمای انباشته شده در محیط است که برای رشد و نمو یک موجود زنده مانند حشره ضروری است. معمولاً دمای پایه که پایین تر از آن رشد متوقف می شود و دمای سقف که بالاتر از آن رشد کاهش یافته یا متوقف میشود برای هر گونه حشره تعیین می گردد. فرمول ساده محاسبه روز درجه مثبت به صورت زیر است:

$$DD = \sum_{i=1}^n \max(0, T_{avg,i} - T_{base})$$

که در آن * DD مجموع روز درجه ها است. * n تعداد روزها است. * $T_{avg,i}$ دمای متوسط روز i است. * T_{base} دمای پایه (آستانه پایین رشد) است.

با افزایش دمای متوسط روزانه ($T_{avg,i}$)، اگر از دمای پایه (T_{base}) بالاتر باشد، روز درجه انباشته شده و به رشد حشره کمک میکند. گونه های مختلف آفات مقادیر متفاوتی از روز درجه را برای تکمیل هر مرحله رشدی نیاز دارند. در شرایط تغییر اقلیم، افزایش دمای متوسط سالانه منجر به انباشت سریع تر روز درجه شده و این امر سرعت رشد و تکمیل مراحل رشدی را برای آفات افزایش می دهد.

فیزیولوژی رشد حشرات نیز به شدت به دما وابسته است. دما بر فعالیت آنزیم های هضمی، نرخ متابولیسم، سرعت تقسیم سلولی و فرآیندهای بیوشیمیایی درون بدن حشره تأثیر می گذارد. در دماهای مطلوب این فرآیندها با راندمان بالاتری انجام شده و منجر به رشد سریع تر و بهینه تر حشره میشود. در مقابل دماهای بسیار بالا یا پایین میتواند این فرآیندها را مختل کرده و باعث کاهش رشد ناهنجاری های رشدی و حتی مرگ شوند.



۵. تأثیر تغییر الگوی بارش و رطوبت

تغییرات اقلیمی نه تنها بر دما، بلکه بر الگوهای بارش و رطوبت نیز تأثیر قابل توجهی دارد [4]. این تغییرات میتوانند به صورت افزایش دوره‌های خشکسالی افزایش شدت بارشهای سیل آسا، یا تغییر در زمان بندی بارشها ظاهر شوند. هر کدام از این پدیده‌ها، اثرات متفاوتی بر آفات و گیاهان میزبان دارند.

۱.۵. تأثیر خشکسالی:

ضعیف شدن گیاهان میزبان: خشکسالی باعث تنش آبی در گیاهان می‌شود. گیاهان ضعیف شده، معمولاً مقاومت کمتری در برابر آفات از خود نشان می‌دهند [9]. بسیاری از آفات مکنده مانند شته‌ها و پسیل‌ها از شیر گیاهی تغذیه می‌کنند و گیاهان ضعیف شده منبع غذایی غنی‌تری را برای آنها فراهم می‌کنند. افزایش جمعیت آفات مکنده: در شرایط خشکی گیاهان ممکن است برای حفظ آب مقاومت بیشتری در برابر گیاه خواران نشان ندهند و جمعیت آفات مکنده مانند کنه‌ها که به سرعت تولید مثل میکنند، افزایش یابد. تأثیر بر رطوبت محیطی: خشکسالی منجر به کاهش رطوبت نسبی محیط می‌شود. این امر میتواند برای برخی آفات که به رطوبت بالا نیاز دارند مضر باشد، اما برای برخی دیگر مانند برخی کنه‌ها که در محیط‌های خشک بهتر عمل میکنند مفید است.

تأثیر بر دشمنان طبیعی خشکسالی میتواند بر بقا و فعالیت دشمنان طبیعی آفات مانند کفشدوزک‌ها و زنبورهای پارازیتوئید تأثیر منفی گذاشته و منجر به کاهش جمعیت آنها شود [6]. این امر تعادل طبیعی بین آفت و دشمنان طبیعی را بر هم می‌زند.

۲.۵. تأثیر بارش شدید:

شستشوی آفات بارشهای شدید و سیل آسا میتوانند برخی آفات را از روی گیاهان شسته و به طور موقت جمعیت آنها را کاهش دهند. این اثر بیشتر برای آفات کوچک و ضعیف صادق است. تأثیر بر بیماری‌های قارچی: افزایش رطوبت ناشی از بارشهای سنگین، محیطی ایده‌آل برای رشد و گسترش بسیاری از بیماریهای قارچی فراهم می‌آورد [9]. این بیماری‌ها می‌توانند به طور مستقیم به گیاهان خسارت وارد کرده و یا با تضعیف گیاه آن را مستعد آفات دیگر کنند. تأثیر بر چرخه زندگی آفات: برخی آفات در مرحله شفیرگی یا تخم‌گذاری به رطوبت خاصی نیاز دارند. تغییرات شدید در رطوبت میتواند بر این مراحل حساس چرخه زندگی تأثیر بگذارد. ایجاد زیستگاه‌های جدید: مناطق سیل زده میتوانند به طور موقت زیستگاه‌هایی برای برخی آفات ایجاد کنند اما اغلب این اثرات کوتاه مدت هستند.

وضعیت فیزیولوژیک گیاه میزبان: تغییرات در میزان و زمان بندی بارش بر وضعیت هیدراتاسیون میزان قندها، ترکیبات نیتروژنی و سایر مواد غذایی در گیاه میزبان تأثیر گذارد. این تغییرات مستقیماً بر جذابیت گیاه برای آفات سرعت رشد و نمو آنها و میزان خسارتی که وارد میکنند اثر گذار است.

وضعیت فیزیولوژیک گیاه میزبان: تغییرات در میزان و زمان بندی بارش بر وضعیت هیدراتاسیون میزان قندها، ترکیبات نیتروژنی و سایر مواد غذایی در گیاه میزبان تأثیر می‌گذارد. این تغییرات مستقیماً بر جذابیت گیاه برای آفات سرعت رشد و نمو آنها و میزان خسارتی که وارد میکنند اثر گذار است.



۶. تغییرات فنولوژیک گیاه و آفت

فنولوژی به مطالعه پدیده‌های دوره‌ای در طبیعت مانند زمان گلدهی گیاهان، زمان خزان، زمان مهاجرت پرندگان و زمان ظهور یا زمستان‌گذرانی آفات اشاره دارد. تغییرات اقلیمی به ویژه افزایش دما بر زمان بندی این رویدادها تأثیر می‌گذارد و می‌تواند منجر به همزمانی (Synchronization) یا ناهمزمانی (Desynchronization) فنولوژیک شود [10].

۱، ۶. مفهوم همزمانی و ناهمزمانی فنولوژیک :

همزمانی فنولوژیک: در شرایط اقلیمی پایدار بسیاری از آفات با زمان بندی ظهور گیاهان میزبان خود یا با زمان بندی فعالیت دشمنان طبیعی خود هم‌زمان هستند. به عنوان مثال حشره‌ای که از گل‌های یک گیاه خاص تغذیه می‌کند، در زمانی ظهور میکند که آن گل‌ها در اوج خود هستند یا یک حشره شکارگر در زمانی فعال میشود که جمعیت طعمه آن در حداکثر است.

ناهمزمانی فنولوژیک: تغییرات اقلیمی میتواند این همزمانی طبیعی را برهم بزند. اگر یک آفت نسبت به تغییرات دما حساس‌تر از گیاه میزبان باشد، ممکن است زودتر از زمان ظاهر شدن غذای خود فعال شود یا دیرتر از زمانی که غذای اصلی‌اش از بین رفته ظاهر شود [1]. به همین ترتیب اگر دشمن طبیعی یک آفت، نسبت به تغییرات اقلیمی پاسخ متفاوتی نشان دهد، ممکن است زمان فعالیت آن با زمان حضور آفت همخوانی نداشته باشد [6].

۲، ۶. چگونگی اثر گذاری تغییرات فنولوژیک بر تغذیه و موفقیت آفات:

ناهمزمانی مثبت (به نفع آفت): در برخی موارد تغییرات اقلیمی باعث می‌شود که آفات زودتر از زمان معمول ظهور کرده و به گیاهان میزبان که هنوز در مراحل اولیه رشد خود هستند مانند برگ‌های جوان و ترد دسترسی پیدا کنند. این برگ‌ها اغلب مغذی‌تر و برای تغذیه آفت مطلوب‌تر هستند. همچنین اگر آفت زودتر ظهور کند و گیاه میزبان هنوز در مراحل اولیه گلدهی یا میوه‌دهی باشد، آفت فرصت بیشتری برای تغذیه و تولید نسل‌های بعدی خواهد داشت. ناهمزمانی منفی (به ضرر آفت): در موارد دیگر ممکن است آفت دیرتر از زمان ظهور گیاه میزبان از زمستان‌گذرانی خارج شود. در این حالت گل‌ها یا میوه‌های مطلوب از بین رفته‌اند و آفت مجبور به تغذیه از برگ‌های مسنن یا بخش‌های کمتر مغذی گیاه شود که موفقیت تولید مثلی آن را کاهش میدهد.

ناهمزمانی با دشمنان طبیعی: اگر دمای افزایش یافته باعث شود آفت زودتر به مرحله بالغ برسد، اما دشمن طبیعی آن (مانند یک زنبور پارازیتوئید) همچنان در چرخه زمستان‌گذرانی خود باقی بماند، آفت فرصت می‌یابد تا جمعیت خود را افزایش دهد قبل از اینکه دشمن طبیعی آن وارد عمل شوند. این وضعیت کنترل طبیعی آفات را تضعیف میکند. تأثیر بر گیاهان غیر میزبان: تغییرات فنولوژیک میتواند باعث شود آفات به گیاهانی که قبلاً میزبان آنها نبوده‌اند، اما اکنون به دلیل شرایط اقلیمی جدید زودتر به مرحله مناسبی برای تغذیه رسیده‌اند روی آورند.

۷. اثرات غیر مستقیم تغییر اقلیم بر اکوسیستم‌های کشاورزی

تأثیر تغییرات اقلیمی بر اکوسیستم‌های کشاورزی تنها به اثرات مستقیم بر آفات محدود نمی‌شود، بلکه اثرات غیر مستقیم نیز از طریق تغییرات گسترده‌تر در محیط زیست رخ می‌دهند [3].



۱،۷. تغییر پوشش گیاهی

تغییر گونه‌های غالب با تغییر دما و الگوهای بارش ممکن است برخی گونه‌های گیاهی که قبلاً غالب بودند نتوانند خود را با شرایط جدید تطبیق دهند و جای خود را به گونه‌های دیگر بدهند. این تغییر در پوشش گیاهی میتواند به طور مستقیم بر انواع آفات که در آن منطقه یافت میشوند تأثیر بگذارد، زیرا برخی آفات به طور خاص به گیاهان میزبان خاصی وابسته هستند.

تغییر در تنوع زیستی گیاهی: کاهش تنوع گونه‌های گیاهی در یک منطقه میتواند منجر به کاهش تنوع گونه‌های آفت نیز شود، اما در برخی موارد، ممکن است برعکس گونه‌های خاصی که توانایی بیشتری در رقابت با شرایط جدید دارند، غالب شده و جمعیت آفات وابسته به آنها را افزایش دهند.

تأثیر بر تراکم پوشش گیاهی: خشکسالی میتواند منجر به کاهش تراکم پوشش گیاهی شود که این امر میتواند دسترسی آفات به منابع غذایی را محدود کند، اما در عین حال ممکن است دفاع گیاه را ضعیف کرده و آن را مستعد ابتلا به آفات کند.

۲،۷. تغییر شبکه‌های غذایی

تأثیر بر شکارگران و یارازیتوئیدها: همانطور که در بخشهای قبلی اشاره شد تغییرات اقلیمی بر دشمنان طبیعی آفات (شکارگران و پارازیتوئیدها) نیز تأثیر می‌گذارد. این تغییرات میتواند شامل کاهش جمعیت تغییر در زمان فعالیت یا تغییر در گونه‌های غالب در این گروه‌ها باشد. کاهش یا تغییر در دشمنان طبیعی به معنای کاهش فشار predation یا parasitism بر جمعیت آفات است که می‌تواند منجر به افزایش جمعیت آفات شود.

تأثیر بر جلبک‌ها و میکروارگانیسم‌ها: تغییر در رطوبت و دما میتواند بر جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک قارچ‌ها و باکتریها تأثیر بگذارد. برخی از این میکروارگانیسم‌ها در کنترل آفات نقش دارند (مانند قارچ‌های پاتوژن حشرات) و تغییر در جمعیت آنها میتواند بر کنترل بیولوژیکی آفات اثر بگذارد.

تأثیر بر حشرات مفید دیگر: تغییرات اقلیمی میتواند بر حشرات گرده افشان حشرات تجزیه کننده و سایر حشرات مفید نیز اثر گذاشته و به طور غیر مستقیم بر سلامت اکوسیستم کشاورزی و پایداری آن تأثیر بگذارد.

۳،۷. تأثیر بر تعادل اکولوژیک

کاهش تنوع زیستی: به طور کلی تغییرات اقلیمی و افزایش رویدادهای غالب منجر به کاهش تنوع زیستی در بسیاری از اکوسیستمها میشود کاهش تنوع زیستی اکوسیستم را شکننده تر کرده و آن را در برابر تغییرات و فشارهای جدید آسیب پذیرتر می‌سازد.

افزایش احتمال طغیان آفات: اکوسیستمهای ناپایدار و با تنوع زیستی پایین مستعدتر به طغیان آفات هستند زیرا مکانیسم‌های کنترل طبیعی آنها تضعیف شده است.

تغییر در الگوهای رقابت: تغییرات اقلیمی میتواند الگوهای رقابت بین گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری را تغییر دهد که این امر به طور غیر مستقیم بر جمعیت آفات و پویایی آنها اثر می‌گذارد.

۸. اثر تغییرات اقلیمی بر پویایی جمعیتی آفات

پویایی جمعیتی یک آفت به عوامل متعددی از جمله نرخ تولد نرخ مرگ و میر نرخ مهاجرت و نرخ زمستان‌گذرانی بستگی دارد [8]. تغییرات اقلیمی با تأثیر بر هر یک از این عوامل می‌تواند به طور چشمگیری بر روند تغییرات جمعیت آفات در



طول زمان تأثیر بگذارد.

۱,۸. افزایش مدت فعالیت فصلی آفات:

فصول زراعی طولانی‌تر: در بسیاری از مناطق افزایش دمای متوسط سالانه منجر به طولانی‌تر شدن فصل رشد گیاهان و همچنین طولانی‌تر شدن دوره فعالیت آفات شده است. این امر به این معنی است که آفات مدت زمان بیشتری در سال فعال هستند و فرصت بیشتری برای تغذیه تولید مثل و آسیب رساندن به محصولات دارند. ظهور زودتر در بهار و دیرتر در پاییز: افزایش دما در فصل بهار باعث میشود که آفات زودتر از زمستان گذرانی خارج شده و فعالیت خود را آغاز کنند. به طور مشابه دمای بالاتر در فصل پاییز باعث میشود که آفات دیرتر وارد مرحله زمستان گذرانی شده و یا حتی در برخی مناطق فرصت برای تولید یک نسل اضافی را پیدا کنند. کاهش فشار زمستان گذرانی: دماهای ملایم‌تر در زمستان باعث کاهش مرگ و میر آفات در طول این فصل میشود. این امر به معنای تعداد بیشتری از بازماندگان برای شروع فصل بعدی و افزایش پتانسیل طغیان است.

۲,۸. افزایش پنجره زمانی تغذیه:

همزمانی طولانی‌تر با گیاه میزبان: با طولانی‌تر شدن فصل رشد گیاهان و همچنین تغییر در زمان بندی مراحل رشدی گیاهان ممکن است پنجره زمانی که گیاه در مرحله‌ای مطلوب برای تغذیه آفت قرار دارد طولانی‌تر شود. این به آفت اجازه می‌دهد که مدت بیشتری از منبع غذایی خود استفاده کرده و جمعیتش را به طور مؤثرتری افزایش دهد. تغییر در منابع غذایی: در برخی موارد تغییرات اقلیمی ممکن است باعث شود که گیاهان یا منابع غذایی دیگری که آفت میتواند از آنها تغذیه کند، برای مدت طولانی‌تری در دسترس باشند که این امر پویایی جمعیتی آفت را تقویت میکند. مثال‌هایی مانند کرم غوزه یا کرم میوه گوجه‌فرنگی (*H. armigera*): یک آفت کلیدی در بسیاری از محصولات زراعی در سراسر جهان است. مطالعات نشان داده‌اند که افزایش دما سرعت رشد و نمو این آفت را تسریع کرده و تعداد نسل‌های سالانه آن را افزایش میدهد. به عنوان مثال در مناطقی که قبلاً تنها ۲ تا ۳ نسل از این آفت مشاهده میشد اکنون ۴ تا ۵ نسل در سال گزارش شده است. همچنین زمستان‌گذرانی موفقیت‌آمیزتر (*H. armigera*) در مناطقی که قبلاً برای بقای آن سرد بود مشاهده شده است. این امر باعث شده است که این آفت به طور فزاینده‌ای در مناطق جدیدی ظاهر شود که قبلاً در معرض خطر آن نبوده‌اند. تأثیر بر پویایی جمعیتی این آفت منجر به افزایش شدید خسارات در محصولات مهمی مانند ذرت پنبه گوجه‌فرنگی و حبوبات شده است و چالش‌های جدی برای مدیریت آن ایجاد کرده است.

۹. آفات مهاجم و گسترش گونه‌های غیر بومی

تغییرات اقلیمی به ویژه افزایش دما نقش مهمی در تسهیل مهاجرت، استقرار و گسترش گونه‌های مهاجم از جمله آفات گیاهی دارد [5]. این گونه‌ها که بومی یک منطقه نیستند در صورت ورود به یک اکوسیستم جدید میتوانند خسارات جبران‌ناپذیری به کشاورزی تنوع‌زیستی و سلامت اکوسیستم وارد کنند.

۱,۹. گرم‌تر شدن اقلیم به عنوان عامل تسهیل‌کننده:

از بین بردن محدودیت‌های اقلیمی: بسیاری از گونه‌های مهاجم برای بقا و تولید مثل در مناطق جدید به شرایط اقلیمی



خاصی نیاز دارند. مناطقی که قبلاً برای استقرار آنها بسیار سرد بوده با افزایش دما به زیستگاه‌های مناسبی برای این گونه‌ها تبدیل می‌شوند.

کاهش رقابت با گونه‌های بومی: گونه‌های مهاجم اغلب دارای ظرفیت رقابت‌پذیری بالایی هستند. در شرایط اقلیمی متغیر گونه‌های بومی که نتوانسته‌اند خود را با شرایط جدید تطبیق دهند ضعیف شده و جای خود را به گونه‌های مهاجم قوی‌تر می‌دهند [5].

تسهیل حمل و نقل: تجارت جهانی و حمل و نقل عامل اصلی ورود گونه‌های مهاجم است. با این حال تغییرات اقلیمی شانس بقا و استقرار این گونه‌ها را پس از ورود به مناطق جدید افزایش می‌دهد. مثال‌هایی از آفات مهاجم و گسترش گونه‌های غیر بومی:

سوسک چوب خوار زمردین (*Emerald Ash Borer – EAB*): این سوسک مهاجم که بومی آسیا است، مسئول نابودی میلیون‌ها درخت زبان گنجشک در آمریکای شمالی بوده است. گرم‌تر شدن زمستان‌ها و تابستان‌های گرم‌تر به این آفت اجازه بقا و گسترش به مناطقی را داده است که قبلاً برای آن سرد بود.

ملخ صحرایی (*Locusta migratoria*): اگرچه ملخ صحرایی در بسیاری از مناطق جهان بومی است، اما تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به تغییر در الگوهای مهاجرت و طغیان‌های بزرگ و غیرمنتظره آن شود. افزایش دما و تغییر الگوهای بارش می‌تواند بر تولید مثل و تجمع این آفت در مناطق خاصی تأثیر گذاشته و منجر به گسترش آن به مناطق جدید یا طغیان‌های گسترده‌تر شود.

کرم شب‌پره شرقی (*Oriental fruit moth - cydia molesta*): این آفت که به درختان میوه هسته‌دار خسارت وارد می‌کند، در حال گسترش به مناطق شمالی‌تر در اروپا و آمریکای شمالی است که این گسترش به تغییرات دمایی نسبت داده شده است.

مگس میوه شرقی (*Bactrocera dorsalis*): این آفت که بسیاری از محصولات میوه‌ای را مورد حمله قرار می‌دهد، به دلیل تحمل نسبی به دماهای بالاتر، پتانسیل گسترش به مناطق جدید را دارد.

گسترش آفات مهاجم چالش‌های نظارتی و مدیریتی بسیار پیچیده‌ای را ایجاد می‌کند، زیرا اغلب راهکارهای کنترلی مؤثر برای آنها در دسترس نیست و خسارات اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی به همراه دارند.

۱۰. تأثیر تغییرات اقلیمی بر دشمنان طبیعی

دشمنان طبیعی آفات شامل گونه‌های شکارگر و پارازیتوئید هستند که نقش حیاتی در کنترل دشمنان طبیعی آفات دارند. تغییرات اقلیمی می‌تواند به طور قابل توجهی بر بقا تولید مثل رفتار و همزمانی اکولوژیک این موجودات با آفات تأثیر بگذارد [6].

۱۰.۱. پارازیتوئیدها و شکارگرها:

پارازیتوئیدها حشراتی هستند که تخم خود را روی یا درون بدن حشرات دیگر می‌زبان قرار می‌دهند. لارو پارازیتوئید از بدن میزبان تغذیه کرده و در نهایت آن را از بین می‌برد. شکارگرها جانورانی هستند که طعمه خود را شکار کرده و می‌خورند. در اکوسیستم‌های کشاورزی این گروه شامل حشراتی مانند کفشدوزک‌ها، بالتوری‌ها، سن‌های شکارگر و عنکبوت‌ها می‌شود.



۲،۱۰. ناهمزمانی اکولوژیک و کاهش کنترل طبیعی:

تفاوت در پاسخ به دما: پارازیتوئیدها و شکارگرها مانند آفات موجوداتی خونسرد هستند و فعالیت آنها به دما وابسته است. با این حال ممکن است پارازیتوئیدها و شکارگرها پاسخ متفاوتی به تغییرات دما نسبت به آفات میزبان خود نشان دهند. ظهور زودتر یا دیرتر: اگر گرمایش زمین باعث شود که آفت زودتر از زمستان گذرانی خارج شود، اما پارازیتوئید آن همچنان در مرحله زمستان گذرانی باقی بماند، آفت فرصت می‌یابد تا قبل از فعال شدن دشمن طبیعی خود جمعیتش را افزایش دهد. این وضعیتی است که منجر به کاهش اثر بخشی کنترل طبیعی می‌شود [6]. کاهش همزمانی با طعمه: اگر شکارگرها در زمان مناسبی فعال نشوند، یا در زمانی که طعمه آنها آفت در حداکثر جمعیت خود است در دسترس نباشند، توانایی آنها در کنترل جمعیت آفت کاهش می‌یابد. تأثیر بر نرخ تولید مثل دماهای بالا میتوانند بر نرخ تخم‌ریزی پارازیتوئیدها و شکارگرها نیز تأثیر بگذارند. در برخی موارد دماهای بالاتر ممکن است نرخ تولید مثل آنها را افزایش دهد، اما در موارد دیگر دماهای بیش از حد بالا میتواند کشته‌شده باشد یا منجر به کاهش تعداد تخم‌های تولید شده گردد. تأثیر بر چرخه زندگی: ممکن است چرخه زندگی پارازیتوئیدها نسبت به آفت طولانی‌تر یا کوتاه‌تر باشد. اگر چرخه زندگی پارازیتوئید نسبت به آفت کندتر باشد فرصت بیشتری برای تکثیر قبل از مواجهه با پارازیتوئید خواهد داشت. در نتیجه ناهمزمانی اکولوژیک که ناشی از پاسخ‌های متفاوت آفات و دشمنان طبیعی آنها به تغییرات اقلیمی است میتواند منجر به کاهش اثربخشی کنترل بیولوژیکی طبیعی و افزایش وابستگی به راهکارهای شیمیایی یا سایر روشهای کنترلی شود.

۱،۱. مقاومت آفات به آفت‌کشها در شرایط تغییر اقلیم

مقاومت آفات به آفت‌کش‌ها یکی از جدی‌ترین چالش‌ها در مدیریت آفات است که منجر به کاهش اثر بخشی سموم و افزایش هزینه‌های تولید میشود. تغییرات اقلیمی میتواند این روند را تسریع کرده و مقاومت را در جمعیت آفات تقویت نماید [9].

۱،۱۱. افزایش فعالیت آنزیم‌های سم‌زدا در دمای بالاتر:

بسیاری از حشرات برای مقابله با مواد سمی طبیعی در گیاهان یا سموم مصنوعی دارای آنزیم‌های ویژه‌ای هستند که این سموم را خنثی یا تجزیه میکنند. این آنزیم‌ها مانند استرازها و گلوکاتایون S- ترانسفرازها در دمای بالاتر فعالیت بیشتری نشان می‌دهند. با افزایش دمای محیط فعالیت این آنزیم‌های سم‌زدا در حشرات افزایش یافته و این امر باعث می‌شود که حشرات در برابر دوزهای معین آفت‌کش مقاومتر شوند. به عبارت دیگر برای کشتن همین حشره با دوز مشابه نیاز به غلظت بالاتری از آفت‌کش است.

۲،۱۱. افزایش سرعت تکامل مقاومت :

تعداد نسل‌های بیشتر: همانطور که در بخش تأثیر دما بر نرخ رشد بقا و تعداد نسل‌های سالانه توضیح داده شد، افزایش دما منجر به افزایش تعداد نسل‌های سالانه آفات میشود. هرچه تعداد نسل‌ها در یک جمعیت بیشتر باشد تعداد دفعاتی که جهش‌های مرتبط با مقاومت میتوانند رخ دهند و در جمعیت پخش شوند بیشتر خواهد بود [7]. فشار انتخابی مداوم استفاده مداوم از یک نوع آفت‌کش فشار انتخابی قوی برای حذف حشرات حساس و حفظ حشرات



مقاوم ایجاد میکند. در جمعیتی که تعداد نسل های بیشتری دارد این فشار انتخابی به طور مکرر اعمال شده و منجر به تکامل سریع تر مقاومت میشود.

مهاجرت و اختلاط ژنتیکی: گسترش جغرافیایی آفات به مناطق جدید، به دلیل تغییرات اقلیمی میتواند منجر به اختلاط ژنتیکی بین جمعیت های مختلف شود. اگر در مناطقی آلهای مقاومت وجود داشته باشند، این آلل ها میتوانند از طریق مهاجرت ژنها به جمعیت های دیگر نیز منتقل شده و مقاومت را در سطح وسیع تری گسترش دهند.

۳،۱۱. پیامدها برای مدیریت آفات:

کاهش اثر بخشی سموم آفت کش هایی که قبلاً مؤثر بودند، به تدریج اثربخشی خود را از دست می دهند. افزایش دوز مصرفی کشاورزان ممکن است برای رسیدن به سطح کنترل مطلوب دوز مصرفی آفت کش ها را افزایش دهند که این امر منجر به افزایش هزینه ها افزایش آلودگی محیط زیست و افزایش خطر باقی مانده سموم در محصولات غذایی می شود. نیاز به ترکیبات جدید: نیاز به توسعه و استفاده از آفت کشهای جدید با مکانیسم اثر متفاوت که کمتر در معرض مقاومت متقابل قرار دارند افزایش می یابد. اهمیت مدیریت تلفیقی آفات: این پدیده اهمیت راهبردهای IPM را که بر استفاده از روشهای ترکیبی و تناوب در استفاده از آفت کش ها تأکید دارند، بیش از پیش برجسته می سازد.

۱۲. پیامدهای اقتصادی و مدیریتی برای کشاورزی

تأثیرات ترکیبی تغییرات اقلیمی بر پراکنش پویایی جمعیتی، فنولوژی گیاه و مقاومت آفات پیامدهای اقتصادی و مدیریتی قابل توجهی برای بخش کشاورزی دارد [4].

۱،۱۲. افزایش خسارت محصولات:

کاهش عملکرد و کیفیت: گسترش آفات به مناطق جدید، افزایش تعداد نسلها و کاهش اثربخشی روشهای کنترلی همگی منجر به افزایش خسارت به محصولات زراعی و باغی میشوند. این امر به طور مستقیم منجر به کاهش عملکرد تولید و کاهش کیفیت محصولات می شود. از دست دادن بازارهای بالقوه: کاهش کیفیت محصولات به دلیل خسارت آفات می تواند منجر به عدم موفقیت در بازارهای داخلی و بین المللی شود. افزایش ریسک کشاورزی: عدم قطعیت ناشی از تغییرات اقلیمی و افزایش بروز طغیان آفات ریسک فعالیت های کشاورزی را افزایش می دهد.

۲،۱۲. افزایش هزینه کنترل آفات:

خرید سموم بیشتر: برای مقابله با افزایش خسارت کشاورزان مجبور به خرید و مصرف بیشتر آفت کش ها میشوند که هزینه تولید را افزایش میدهد. نیاز به فناوری های جدید: توسعه و به کارگیری فناوری های جدید مانند سیستم های پیش آگاهی پایش دقیق آفات و روشهای نوین کنترلی، نیازمند سرمایه گذاری های اولیه قابل توجه است.



هزینه های ناشی از مقاومت: مقاومت آفات به آفت کش ها هزینه های اضافی را برای توسعه ترکیبات جدید یا استفاده از سموم گرانتر تحمیل می کند.

۳،۱۲. ضرورت توسعه سامانه های پیش آگاهی و مدیریت تلفیقی آفات (IPM)

سامانه های پیش آگاهی با توجه به اینکه تغییرات اقلیمی الگوهای سنتی ظهور آفات را بر هم زده است، نیاز به سامانه های پیش آگاهی مبتنی بر مدل های اقلیمی و فنولوژیک بیش از پیش احساس می شود. این سامانه ها با استفاده از داده های هواشناسی و مدل های رشد حشرات زمان تقریبی ظهور آفات را پیش بینی کرده و به کشاورزان امکان آمادگی و اقدامات پیشگیرانه را می دهند.

مدیریت تلفیقی آفات: یک رویکرد جامع برای مدیریت آفات است که بر استفاده ترکیبی از روش های مختلف کنترلی از جمله روش های بیولوژیکی شیمیایی فیزیکی و زراعی تأکید دارد. در شرایط تغییر اقلیم IPM اهمیت بیشتری پیدا میکند زیرا کاهش اتکا به آفت کش های شیمیایی با توجه به افزایش مقاومت و نگرانی های زیست محیطی، IPM به دنبال کاهش مصرف سموم است [1].

استفاده از دشمنان طبیعی: IPM به حفاظت و ارتقای جمعیت دشمنان طبیعی آفات برای کنترل بیولوژیکی توجه دارد. تناوب و تنوع در روش های کنترلی: این رویکرد از بروز مقاومت در آفات جلوگیری کرده و تاب آوری سیستم کشاورزی را افزایش می دهد.

پایش مداوم: IPM بر پایش دقیق جمعیت آفات و شرایط محیطی تأکید دارد تا مداخلات کنترلی در زمان و مکان مناسب انجام شود.

پیامدهای اقتصادی و مدیریتی نشان می دهند که تغییر اقلیم یک عامل مهم در آینده کشاورزی است و نیازمند بازنگری اساسی در رویکردهای سنتی مدیریت آفات و توسعه راهبردهای سازگار با اقلیم می باشد.

۱۳. نتیجه گیری

تغییرات اقلیمی جهانی یکی از اساسی ترین و چالش برانگیزترین نیروهایی است که در حال شکل دهی مجدد اکوسیستم های کشاورزی و نحوه مدیریت آفات گیاهی در سراسر جهان است [8]. این مقاله مرور جامعی بر تأثیرات چند وجهی افزایش دما تغییر الگوهای بارش و رویدادهای غالب اقلیمی بر پراکنش جغرافیایی پویایی جمعیتی فنولوژی گیاه و تعاملات آفات با گیاهان میزبان و دشمنان طبیعی آنها ارائه داد.

نتایج نشان میدهند که گرمایش جهانی محدودیت های جغرافیایی سنتی را برای بسیاری از آفات از بین برده و منجر به گسترش دامنه پراکنش آنها به عرضهای جغرافیایی بالاتر و ارتفاعات بیشتر شده است. افزایش دما سرعت رشد و نمو آفات را تسریع کرده، چرخه زندگی آنها را کوتاه نموده و به طور قابل توجهی تعداد نسل های سالانه را افزایش داده است. این پدیده همراه با طولانی تر شدن فصل فعالیت آفات امکان بروز طغیان های شدید و غیر منتظره را فراهم می آورد.

تغییر در الگوهای بارش چه به صورت خشکسالی و چه بارشهای سیل آسا از طریق تأثیر بر وضعیت فیزیولوژیک گیاهان میزبان و شرایط زیستگاه آفات بر پویایی جمعیتی آنها و همچنین بر بقا و اثربخشی دشمنان طبیعی اثر میگذارد. ناهمزمانی فنولوژیک، ناشی از پاسخ های متفاوت آفات و میزبانها به تغییرات اقلیمی میتواند چرخه تغذیه و موفقیت تولید مثلی آفات را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر این تغییرات اقلیمی با تسهیل استقرار گونه های مهاجم و تضعیف دشمنان طبیعی تعادل اکولوژیک را بر هم زده و شرایط را برای افزایش مقاومت آفات به آفت کش ها فراهم می آورد.

پیامدهای اقتصادی این تغییرات شامل افزایش خسارات محصولات افزایش هزینه های کنترل آفات و تهدید امنیت غذایی



نیازمند بازنگری اساسی در راهبردهای فعلی مدیریت آفات است. در این راستا، انجام پایش اقلیمی مستمر و دقیق، توسعه مدل‌های پیش‌بینی پراکنش آفات بر اساس مدل‌های اقلیمی و طراحی و اجرای روش‌های مدیریتی که با اقلیم متغیر سازگار باشند، امری حیاتی است. تأکید بر اصول مدیریت تلفیقی آفات (IPM) که شامل استفاده از روش‌های بیولوژیکی، زراعی و شیمیایی به صورت هماهنگ و پایدار است، می‌تواند راهکار مؤثری برای مقابله با چالش‌های روزافزون ناشی از تغییرات اقلیمی باشد. در نهایت همکاری‌های بین‌المللی و تبادل دانش در زمینه تحقیقات اقلیم و آفات برای تدوین راهبردهای جهانی مؤثر ضروری است.

منابع

۱. Bale, J. S., et al. (2002). Host-plant interactions: challenges for integrated pest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 357(1427), 1551-1561.
۲. Hance, T., et al. (2007). Impact of a simulated climate change on insect cold hardiness. *Journal of Insect Physiology*, 53(11), 1222-1230.
۳. Hughes, L. (2000). Biological consequences of global warming: a cascade of uncertainty. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(12), 511-515.
۴. IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
۵. Jarošík, V., et al. (2011). Patterns of biological invasions of alien species in Europe. *Biological Invasions*, 13(6), 1331-1339.
۶. Klopfer, J. W. (2007). Biological control of insects. *Annual Review of Entomology*, 52, 355-381.
۷. Porter, J. H., et al. (2014). Climate change impacts on insect pests and implications for agriculture. *Climate Change Biology*, 1, 45-64.
۸. Sutherst, R. W. (2004). Broad-scale dynamics of insect pests in relation to climate change. *Agricultural and Forest Entomology*, 6(3), 157-165.
۹. Thomson, L. J., & Macfadyen, S. (2015). Climate change and insect pests: an overview of impacts on crop production. *Global Change Biology*, 21(7), 2670-2683.
۱۰. Walther, G. R., et al. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389-395.