پژوهش و فناوری محیط زیست، 1402، (13)8، 23-39

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

شاپا الکترونیکی: 3060-2676

پژوهشکده محیط زیست

# بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر محیط زیست و کشاورزی

**بهاره رفیعی[1]، حامد کیومرثی[2]، رضا ناصری هرسینی[2*]، سید محمدرضا مهدویان[3]**

1- بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

2- بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

3- بخش تحقیقات اقتصادی- اجتماعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
پژوهشی

**تاریخ دریافت:**
1402/02/31

**تاریخ پذیرش:**
1402/04/11

**دسترسی آنلاین:**
1402/05/10

**کلید واژه‌ها:**
امنیت غذایی،
تغییر اقلیم،
تنوع زیستی،
زیست بوم،
کشاورزی پایدار

**چکیده**

طی قرن گذشته، علم و فناوری رشد و توسعه چشم‌گیری داشته و این پیشرفت در کنار تمامی مزایا و ارزش‌های افزوده برای کیفیت زندگی بشر، اثرات نامناسبی بر محیط زیست به همراه داشته است. متأسفانه، درگیری بشر با مشکلاتی که برای کره زمین ایجاد کرده است، از جمله جنگ‌ها و بیماری-های جدید، سبب توجه کمتر به بررسی تأثیر تغیرات آب و هوایی بر محیط زیست و به ویژه فعالیت-های کشاورزی وابسته به آن شده است. اگر بخش کشاورزی در پرتو چالش تغییرات آب و هوایی قرار گیرد و قادر به تأمین نیازهای غذایی بشر نباشد، زندگی به نقطه پایانی خویش نزدیک خواهد شد. فعالیت‌های کشاورزی از یک سوی در معرض این تغییرات قرار دارند و از طرف دیگر با به جای گذاشتن تأثیرات احتمالی منفی بر محیط زیست به این تغییرات دامن می‌زنند. تهدید امنیت غذایی، کاهش تنوع زیستی، از بین رفتن خاک، کاهش منابع آبی و تبدیل جنگل‌ها به مزارع و سپس نابودی این مزارع، زمین را به منطقه‌ای غیرقابل حیات همراه با طوفان‌ها، سیل‌ها و تغییرات دمایی غیرقابل پیش‌بینی تبدیل خواهد کرد. از این رو، بررسی تأثیر مؤلفه‌های تغییرات آب و هوایی بر زیست‌بوم‌ها و گونه‌های مختلف که کشاورزی را تحت شعاع قرار می‌دهند، می‌تواند گامی به سوی دستیابی به سازوکارهای جدید مدیریتی به منظور کاهش و سازگاری با این تغییرات و رسیدن به محیط زیست و کشاورزی پایدار باشد.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: r.naseri@areeo.ac.ir

Journal of Environmental Research and Technology, 8(13)2023. 23-39

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

# Investigating the impact of climate change on environment and agriculture

**Bahare Rafiei[1], Hamed Kioumarsi [2], Reza Naseri Harsini[*2], Seyed Mohammad Reza Mahdavian[3]**

1- Department of Plant Protection Research, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
2- Department of Animal Science Research, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
3- Department of Economic, Social and Extension Research, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

**Article Info**

**Article type:**
Research Article

**Article history:**
**Received:**
21/05/2023
**Accepted:**
02/07/2023
**Available online:**
01/08/2023

**Keywords:**
Food security,
Climate change,
Biodiversity,
Ecosystem,
Sustainable agriculture

**Abstract**

During the last century, science and technology have grown and developed significantly, however, this development, along with all the advantages and added values for the quality of human life, has brought inappropriate effects on the environment. Unfortunately, the human conflict with the problems which has created for the planet, including wars and new diseases, has caused less attention to the impact of climate change on environment and especially the related agriculture activities. If the agricultural sector exposed by climate change and will not be able to meet human food needs, life will be near to its end point. Agricultural activities are not only exposed to these changes, but also by leaving possible negative effects on environment lead to these changes. Threatening food security, the reduction of biological diversity, the loss of soil, the reduction of water resources, and the conversion of forests into farms and their gradual destruction, turn the earth into an unlivable area with the unpredictable occurrence of storms, floods and temperature changes. Therefore, investigating the impact of climate change and its components on different ecosystems and species that affect agriculture can be a step towards achieving new management mechanisms to reduce and adapt to these changes and achieving sustainable environment and agriculture.

**طرح مسئله**

بر اساس تعریف ارائه شده هیئت بین‌دولتی تغییرات آب و هوایی (IPCC[1])، تغییر اقلیم شامل تغییر در میانگین و یا نوسان مؤلفه‌های آب و هوایی برای یک دوره طولانی (چند دهه و یا بیشتر) است که علت آن ناهنجاری‌های طبیعی و یا فعالیت‌های انسانی است. کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل متحد (UNFCCC)، این پدیده را شامل تغییراتی در اقلیم می‌داند که به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم به‌واسطه فعالیت‌های بشری ایجاد شده است، به نحوی که موجب تغییر در ترکیبات اتمسفر جهانی شده است و متمایز از نوسانات طبیعی اقلیمی در گذشته است.

بخش کشاورزی شامل: زیربخش‌های زراعت، دامپروری، باغبانی، خاکشناسی، شیلات و جنگلداری است. موضوع قابل توجه این است که فعالیت‌های کشاورزی هم بر تغییرات آب و هوایی اثر می‌گذارد و هم از این تغییرات تأثیر می‌پذیرد و بخش کشاورزی یکی از آسیب‌پذیرترین بخش‌ها در برابر تغییرات آب و هوایی به شمار می‌رود. کاشت محصول و دامپروری منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه تغییرات آب و هوایی می‌شود (یاداو[2] و همکاران، 2017) و از طرف دیگر تغییرات اقلیمی سبب کاهش تولید محصولات زراعی و افزایش هجوم آفات می‌شود (اسکندژیک[3] و همکاران، 2021). با وجود پیشرفت‌های فناوری در نیمه دوم قرن بیستم، از جمله انقلاب سبز، آب و هوا همچنان عامل کلیدی در تعیین میزان بهره‌وری کشاورزی در بیشتر مناطق جهان است. گرمایش جهانی و تغییر الگوهای بارندگی، همچنین تأثیر آن‌ها بر دسترسی به منابع آبی، رویدادهای شدید آب و هوایی (سیل، خشکسالی و ...)، هجوم آفات و بیماری‌ها، پتانسیل تولید کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (برواینسما[4]، 2003).

تغییرات آب و هوایی بر موجودات زنده یک زیست‌بوم به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم تأثیرگذار است. مؤلفه‌های اصلی تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما، افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییر الگوهای بارش است (اسکندژیک و همکاران، 2021)؛ به نحوی که افزایش گازهای گلخانه‌ای بروز تغییرات اقلیمی را دامن زده و در نتیجه این تغییرات، دمای محیط با نوسان همراه خواهد شد و تغییر در دمای هوا اختلال در بارندگی‌ها را در پی خواهد داشت. تغییرات در الگوهای بارش به‌طور بالقوه اهمیت بیشتری نسبت به افزایش دما دارد، به‌ویژه در مناطقی که فصول خشک یک عامل محدود کننده برای تولیدات کشاورزی است (هاتفیلد[5] و پروگر[6]، 2015). بر اساس مطالعات جهانی، ایران در اثر تغییر اقلیم گرم‌تر و خشک‌تر خواهد شد و آثار نامطلوب این تغییرات در بخش کشاورزی به صورت افزایش تنش حرارتی و افزایش نیاز آبی گیاهان زراعی بروز خواهد یافت که به کاهش تولیدات کشاورزی و در خطر افتادن امنیت غذایی کشور می‌انجامد (حیدری، 1396). زیست‌شناسی و اکولوژی حشرات آفات، به‌ویژه گونه‌های مهاجم، متأثر از متغیرهای آب و هوایی است و می‌تواند یک مشکل بزرگ در تولید محصول به شمار آید. مشکل آفات در پرتو تغییرات آب و هوایی تشدید می‌شود، که این امر سبب خسارت اقتصادی قابل‌توجهی به محصولات کشاورزی می‌شود و چالش بزرگی برای امنیت غذایی در سراسر جهان ایجاد می‌کند. همچنین مصرف آفت‌کش‌ها در بسیاری موارد به دلیل افزایش دما و بارندگی شدید افزایش می‌یابد که این امر خطر افزایش باقی‌مانده سموم در محصولات کشاورزی و محیط زیست را به دنبال دارد (اسکندژیک و همکاران، 2021).

در بخش دامپروری استرس حرارتی اثر مستقیم بر سلامت، رشد و تولیدمثل دام دارد. تغییرات در محیط زیست، کاهش کمیت و کیفیت منابع غذایی (میزان و در دسترس بودن خوراک دام و کیفیت مراتع و علوفه دام)، می‌تواند به صورت غیرمستقیم بر پرورش دام تأثیر داشته باشد. تغییرات اقلیم، انتقال بیماری‌ها و عفونت‌ها را در دام تحت تأثیر قرار می‌دهد و علاوه بر این به روش‌های مختلفی شیوع بیماری‌های مشترک انسان و دام را موجب خواهد شد (محمودی میمند و مظاهری، 1393). تغییرات اقلیمی بر آبزی‌پروری نیز تأثیرگذار است. این تغییرات شامل گرمایش جهانی، نفوذ آب‌شور، افزایش سطح دریاها، کاهش تولیدات اقیانوسی (افزایش دی‌اکسیدکربن اسیدیته اقیانوس را تغییر می‌دهد)، وقوع رویدادهای شدید آب و هوایی، افزایش بیماری‌ها و تأثیر بر تأمین خوراک آبزیان پرورشی است (سلمان[7]،

1 . Intergovernmental Panel on Climate Change
2 . Yadav
3 . Skendžic
4 . Bruinsma
5 . Hatfield
6 . Prueger
7 . Salman

2021). با توجه به تأثیر تغییرات آب و هوایی بر بخش‌های مختلف کشاورزی، در آینده استفاده از سازوکارها و اقدامات جدید مدیریتی جهت مقابله با این تغییرات الزام خواهد داشت. در این بررسی، به تأثیر مؤلفه‌های تغییرات آب و هوایی بر زیست‌بوم‌ها و راهکارهای مواجه با آن‌ها پرداخته شده است.

## بررسی تأثیر مؤلفه‌های تغییرات آب و هوایی

- **افزایش دما**

گرمایش زمین چالشی بزرگ در جهان امروز است. در سال‌های اخیر افزایش بی‌سابقه دمای اتمسفر مشهود است. بر اساس گزارش سازمان هواشناسی جهانی، دمای کره زمین در حال حاضر حدود یک درجه بالاتر از دوره قبل از صنعتی شدن است. سه دهه گذشته به طور فزاینده‌ای گرم‌تر بوده است. براساس مدل‌های آب و هوای جهانی، انتظار می‌رود که زمین در طول قرن آینده، گرمایش جهانی 1/4 تا 5/8 درجه سانتی‌گرادی را تجربه کند (پچواری[1] و ریزینگر[2]، 2007).

دما یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر توزیع موجودات زنده در زیست‌بوم‌ها است. الگوهای فراوانی گونه‌ها به دلیل محدودیت‌های فیزیولوژیکی هر گونه، تحت تأثیر تغییرات دمایی قرار می‌گیرند و این تغییرات یک عامل محدودکننده کشت محصولات در مناطق مختلف جغرافیایی است که علاوه بر الگوی کشت، بر سرعت رشد و عملکرد محصول نیز تأثیرگذار است (پارمزان[3] و یوهی[4]، 2003). افزایش دمای هوا در فصل بهار و تابستان، برای تولید محصول در مناطق شمالی مفید است، درصورتی‌که طول فصل رشد، یک عامل محدودکننده است (توبی‌الو[5] و همکاران، 2002). افزایش دما عموماً با سایر عوامل محیطی مانند در دسترس بودن آب، وقوع بادهای شدید، شدت و مدت تابش نور خورشید مرتبط است و سبب افزایش تقاضای آب در اتمسفر می‌شود و تنش آبی را به دنبال دارد. علاوه بر این، افزایش دما رطوبت خاک را کاهش داده و در نهایت افت عملکرد را به دنبال خواهد داشت (ژاو[6] و همکاران، 2017). کاهش دوره نمو و افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی بر اثر افزایش درجه حرارت و نیز بازداری فرایندهای کلیدی تأثیرگذار بر رشد و عملکرد گیاه، مانند فتوسنتز، از دیگر مسیرهای افت عملکرد محصول بر اثر افزایش دما هستند (مالهی[7] و همکاران، 2021).

اثر افزایش درجه حرارت بین گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است. درجه حرارت بهینه برای فتوسنتز برگ‌ها و رشد گیاه در گونه‌های C4 بیشتر از گونه‌های C3 است. گونه‌های C4 در مقایسه با گونه‌های C3 دارای سرعت فتوسنتز و رشد بیشتری هستند (بلانگر[8] و همکاران، 2002). برخی از گیاهان با سازوکار فتوسنتزی C4 که دارای دماهای مطلوب بالاتری هستند از این شرایط بهره می‌برند؛ در صورتی که در مجموع، افزایش دمای شبانه از طریق افزایش تنفس و هدر رفت منابع کربنی تثبت شده در طی روز، سبب از بین رفتن مزیت اشاره شده می‌شود. تا نیمه قرن آینده، گرمایش جهانی به دو صورت ذوب یخ‌های قطبی و یخچال‌ها، باعث بالا آمدن سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها تا حد 0/1 تا 0/5 متر خواهد شد. بالا آمدن سطح دریاها به دلیل سرریز شدن آب شور به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و ایجاد اختلال در تأمین آب آبیاری از این منابع، تهدید جدی برای کشاورزی در مناطق ساحلی کم ارتفاع محسوب خواهد شد (رضوی، 1388).

افزایش دما، به ویژه زمستان گرم و غیرمعمول در شرایط آب و هوایی معتدل، ورود و استقرار ارگانیسم‌های ناخواسته از جمله بندپایان، عوامل بیماری‌زا و علف‌های هرز را تسهیل می‌کند. علاوه بر این، تجارت بین‌المللی و حمل و نقل محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر، همراه با افزایش دما، شرایط مساعدی را برای مهاجرت، تهاجم و استقرار آفات در سراسر جهان ایجاد کرده است. غالب پژوهش‌های منتشر

1 . Pachauari
2 . Reisinger
3 . Parmesan
4 . Yohe
5 . Tubiello
6 . Zhao
7 . Malhi
8 . Belanger

شده نشان می‌دهد، خطر هجوم آفات در زیست‌بوم‌ها تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی افزایش می‌یابد (گولینو[1] و همکاران، 2022). حشرات آفت واکنش‌های متفاوتی به تغییرات آب و هوایی نشان می‌دهند. دما مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر نوسانات جمعیت حشرات است. گرم شدن آب و هوای جهانی سبب گسترش دامنه انتشار جغرافیایی آفات، افزایش بقای زمستان‌گذرانی، افزایش تعداد نسل، خطر حمله گونه‌های مهاجم و بیماری‌های گیاهی قابل انتقال از طریق حشرات می‌شود؛ از سوی دیگر، این تغییرات بر روابط متقابل آفات و گیاهان میزبان و همچنین دشمنان طبیعی آن‌ها تأثیرگذار است (اسکندژیک و همکاران، 2021).

فیزیولوژی حشرات به تغییرات دما بسیار حساس است. سوخت‌وساز آن‌ها با افزایش هر 10 درجه سانتی‌گراد به طور تقریبی دو برابر می‌شود. در این زمینه، بسیاری از محققان بیان داشته‌اند که افزایش دما باعث تسریع مصرف مواد غذایی به وسیله حشرات می‌شود. به عبارت دیگر، افزایش دما با افزایش حمله آفات گیاه‌خوار همراه خواهد بود که نتیجه آن افزایش خسارت به محصولات کشاورزی است. این موضوع پویایی جمعیت آفات را با تأثیرگذاری بر باروری، بقا، فراوانی جمعیت و پراکنش جغرافیایی آن‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد (بیل[2] و همکاران، 2002). گونه‌هایی که نمی‌توانند با افزایش دما سازگاری داشته باشند و تکامل یابند، نمی‌توانند جمعیت خود را حفظ کنند؛ در حالی که گونه‌های مقاوم می‌توانند به سرعت رشد کنند. دما نقش مهمی در سوخت‌وساز، دگردیسی، تحرک و در دسترس بودن میزبان دارد (دوییش[3] و همکاران، 2018). به واسطه تغییرات فیزیولوژیک و در رأس آن‌ها آنزیم‌های سم‌زدای حشرات، آفات نسبت به دشمنان طبیعی مقاومت نشان داده و بدین‌ترتیب کاهش اثربخشی کنترل بیولوژیکی آفات و طغیان آن‌ها بروز واهد کرد (رینک[4] و تیری[5]، 2016). مطالعه‌ای که روی گندم در آب و هوای معتدل صورت گرفته است نشان می‌دهد که گرمایش، رشد آفات این محصول را تسریع می‌کند (دوییش و همکاران، 2018). تغییر اقلیم بر آفات بومی نیز تأثیرگذار است و سبب افزایش گونه‌های گرمادوست و خشکی‌دوست می‌شود. در 20 تا 50 سال آینده، این تغییرات بر ترکیب گونه‌ها و حشرات آفت تأثیرگذار خواهد بود (لاستوکا[6]، 2009).

با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، دمای سطحی کره زمین افزایش خواهد یافت. دهه گذشته (2011-2020) گرم‌ترین دهه ثبت شده در جهان بوده است. از دهه 1980 به بعد، هر دهه میانگین دمایی بالاتر از دهه پیشین خود را ثبت کرده است؛ به طوری که تقریباً تمامی نواحی کره زمین با تجربه روزهای گرم و موج‌های گرمایی بیشتری مواجه هستند. افزایش دما سبب افزایش شیوع بیماری‌های مرتبط با دما شده و فعالیت در مشاغل زراعی و دامپروری را با مشقت بیشتری همراه ساخته است. با افزایش دمای محیط، آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها در دفعات بیشتری رخ داده و با سرعت و سهولت بیشتری انتشار می‌یابند. از سوی دیگر، بررسی‌ها نشان می‌دهد که دمای هوا در قطب شمال با نرخی حداقل دو برابر سریع‌تر از میانگین جهانی افزایش یافته و این امر ذوب‌شدن یخچال‌های طبیعی با سرعتی بیش از آنچه انتظار می‌رفت را به دنبال داشته است. با افزایش دما و تشدید تبخیر رطوبت، وقوع بارندگی‌های شدید و جاری شدن سیلاب‌ها در نقاط مختلف افزایش خواهد یافت. فراوانی و گستردگی طوفان‌های استوایی نیز متأثر از گرم‌شدن اقیانوس‌هاست. افزایش دما بر میزان دسترسی به منابع آب‌های سطحی نیز تأثیرگذاشته و کمبود این منابع را در غالب مناطق سبب می‌شود و بدین نحو میزان افت تولید محصولات زراعی و نیز آسیب‌پذیری زیست‌بوم‌ها را افزایش می‌دهد. بیابان‌زایی‌های متأثر از این پدیده وقوع طوفان‌های شن را تشدید کرده و جابجایی میلیون‌ها تن شن به مناطق دیگر را سبب خواهد شد. علاوه بر ذوب‌شدن یخچال‌های طبیعی بر اثر افزایش دمای کره زمین، حجم آب اقیانوس‌ها در نتیجه بالارفتن دمای آب نیز افزایش یافته و این دو پدیده مخاطرات بسیاری را برای جوامع ساحل‌نشین و ساکنان جزایر به همراه دارند (سازمان ملل متحد، 2019).

- **افزایش گازهای گلخانه‌ای**

1 . Gullino
2 . Bale
3 . Deutsch
4 . Reineke
5 . Thiéry
6 . Laštůvka

علت اصلی گرمایش جهانی افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو است. رایج‌ترین گازهای اتمسفر، دی‌اکسیدکربن ($CO_2$)، متان ($CH_4$) و اکسید نیتروژن ($N_2O$) هستند، که با بسیاری از فعالیت‌های بشر از جمله سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی تولید و در جو انتشار می‌یابند. نگاهی به دوره صنعتی شدن در دو قرن اخیر نشان می‌دهد، غلظت گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با دوران پیش از صنعتی شدن به شدت افزایش یافته است. در بین گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسیدکربن بیشترین میزان را دارد و مهم‌ترین آن‌هاست. افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفر بیشترین تغییرات جهانی جو را در نیم قرن گذشته به همراه داشته است (یورو[1] و دارامولا[2]، 2020).

از زمان انقلاب صنعتی، غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر از 280 پی‌پی‌ام به بیش از 410 پی‌پی‌ام افزایش یافته است که رشدی معادل 45 درصد را نشان می‌دهد. این غلظت بالا از دی‌اکسیدکربن، همراه با افزایش غلظت سایر گازهای گلخانه‌ای، منجر به افزایش 0/8 درجه سانتی‌گرادی در میانگین دمای سالانه جهانی تا سال 2017 شده است (دوسنگ[3] و همکاران، 2019). پیش‌بینی‌ها غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر تا پایان قرن را بین 550 تا 1000 پی‌پی‌ام اعلام می‌دارد که منجر به افزایش میانگین دمای جهانی در دامنه 1/0 تا 3/7 درجه سانتی‌گراد بیش از رقم ثبت شده در سال 2017 خواهد شد. گرم‌شدن در برخی مناطق با شدت بیشتری رخ خواهد داد، به این ترتیب که عرض‌های جغرافیایی بالا تا سال 2100 تا 10 درجه سانتی‌گراد گرم‌تر می‌شوند، در حالی که نواحی استوایی شاهد افزایش دمای کمتر از 3 تا 4 درجه سانتی‌گراد خواهند بود. گرم‌شدن هوا در طول ماه‌های زمستان و در شب نیز بیشترین میزان را خواهد داشت. افزایش میانگین 10 درجه سانتی‌گراد دمای هوا در قطب شمال می‌تواند منجر به افزایش 12 درجه سانتی‌گرادی در حداقل دمای زمستان شود (سیایس[4] و همکاران، 2013).

دامپروری و کشاورزی از جمله فعالیت‌های بشری است که با افزایش جمعیت کره زمین و به منظور تأمین منابع غذایی رشد چشم‌گیری یافته است. این فعالیت‌ها سالانه مقادیر زیادی گازهای گلخانه‌ای را وارد جو می‌کنند. مقدار گاز گلخانه‌ای تولید شده در این بخش‌ها در کل جهان از سهم بخش حمل و نقل بیشتر است. در حدود 28 درصد متان ورودی به جو ناشی از نشخوار دام‌ها است (یاداو و همکاران، 2017). فرایند تخمیر میکروبی در دستگاه گوارش دام‌ها، کودهای دامی، روش‌های مدیریت خاک (کودهای شیمیایی و شخم‌زدن زمین) و کاشت برنج از جمله منابع تولید گازهای گلخانه‌ای است (میرزایی و همکاران، 1400).

در کشاورزی، عملیات مدیریت خاک مانند خاک‌ورزی، تغییر کاربری اراضی، کاربرد کودهای شیمیایی و دامی، سوزاندن بقایا و ... منجر به تولید دی‌اکسیدکربن می‌گردد. این عملیات، سبب تجزیه ماده آلی خاک و آزادسازی گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود (میچل[5] و همکاران، 2019). مصرف سوخت‌های فسیلی و سوزاندن بقایای گیاهی منشأ دیگر انتشار کربن به اتمسفر است. فعالیت عوامل میکروبی، تنفس ریشه، فرآیندهای تجزیه شیمیایی و تنفس هتروتروفی موجودات خاکزی نیز سبب تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شود (سیسوردا[6] و همکاران، 2011). دی‌اکسیدکربن ترکیب شیمیایی ضروری برای فتوسنتز است، فرآیندی که در آن آب و دی‌اکسید کربن در حضور انرژی خورشیدی به قند و نشاسته تبدیل می‌شوند. فتوسنتز در رنگدانه‌های سبز برگ‌ها رخ می‌دهد و دی‌اکسید کربن از طریق دهانه روزنه وارد برگ می‌شود. از آنجایی که کربن عنصر کلیدی در ساختار گیاه است، زمانی که غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد، رشد سریع‌تر گیاه را به دلیل جذب سریع کربن امکان‌پذیر می‌کند (اسکندژیک و همکاران، 2021). در اثر افزایش دی‌اکسیدکربن در بافت گیاهان تعرق گیاه کاهش یافته و راندمان مصرف آب و نور بهبود می‌یابد و در نتیجه سرعت فتوسنتز افزایش خواهد یافت. در نتیجه، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر می‌تواند با تحریک رشد و نمو گیاهان تأثیر مستقیمی بر زیست‌بوم‌ها داشته باشد (دراک[7] و همکاران، 1997).

هرچند غلظت دی‌اکسیدکربن بالاتر می‌تواند عملکرد محصول را افزایش دهد، اما تأثیر آن روی گیاهان C3 و C4 متفاوت از یکدیگر است. مفهوم فتوسنتز C3 به این مطلب اشاره دارد که اولین محصول به دست آمده طی فتوسنتز یک مولکول 3 کربنی است، در حالی که در فتوسنتز C4، اولین محصول فتوسنتزی یک مولکول 4 کربنی است. فتوسنتز C4 در گونه‌های گیاهی بسیار توسعه‌یافته‌تر رخ می‌دهد و

1 . Yoro
2 . Daramola
3 . Dusenge
4 . Ciais
5 . Mitchell
6 . Syswerda
7 . Drake

گونه‌های اصلی گیاهی C4 عبارتند از ذرت، سورگوم و نیشکر که همگی منشاء گرمسیری دارند. تنها سه درصد از کل گیاهان گلدار، گیاهان C4 هستند و با این حال حدود 50 درصد از 10000 گونه علف را تشکیل می‌دهند. گیاهان گروه C4 حساسیت کمتری به افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر نسبت به گیاهان C3 دارند (توبی‌الو و همکاران، 2002؛ وانگ[1] و همکاران، 2012). دی‌اکسیدکربن می‌تواند سرعت فتوسنتز و ترکیب شیمیایی بافت‌های گیاهی را تغییر دهد (گوتسشیک[2]، 2007). تولید زیست‌توده در گیاهانی که تحت سطوح بالای دی‌اکسیدکربن رشد می‌کنند افزایش می‌یابد. تحریک فتوسنتز تحت سطوح دی‌اکسیدکربن بالا منجر به کاهش سطوح نیتروژن کل می‌شود و در حالی که کربوهیدرات‌ها در شاخ و برگ گیاهان انباشته می‌شوند، تولید کربن بالاتر نسبت به نیتروژن سبب افزایش نسبت کربن به نیتروژن در برگ شده و در نهایت کیفیت محصول کاهش می‌یابد (زاوالا[3] و همکاران 2013). حشرات آفات گیاهخوار وقوع این افت کیفیت را با افزایش تغذیه از گیاهان جبران می‌کنند و این موضوع سبب افزایش خسارت به محصولات کشاورزی می‌شود (رینک و تیری، 2016). همچنین، افزایش دی‌اکسیدکربن سبب تغییر در متابولیت‌های ثانویه و سازوکار دفاعی گیاهان می‌شود و می‌تواند آن‌ها را در مقابل آفات حساس‌تر کند. در برخی مطالعات نشان داده شده حشراتی که از این گیاهان تغذیه می‌کنند زادآوری بیشتری دارند (سان[4] و همکاران، 2011).

متان تحت شرایط غیرهوازی، طی تجزیه میکروبی ماده آلی خاک همراه با ایجاد شرایط مطلوب شامل غرقاب مداوم، فراهم بودن مقدار زیاد کربن و کاربرد کود دامی تازه در خاک‌های مرطوب تولید می‌گردد. در مقیاس جهانی سهم متان در پتانسیل گرمایش جهانی در حدود 16 درصد است و در حال حاضر سهم آن نسبت به دوره قبل از صنعتی‌شدن سه برابر شده است (سوفی[5] و همکاران، 2018). شالیزارهای برنج محیطی مناسب برای رشد و فعالیت باکتری‌ها هستند. برخی از این باکتری‌ها با تجزیه بی‌هوازی مواد آلی و زیستی، گاز متان تولید می‌کنند. میانگین گاز متان منتشر شده به ازای هر هکتار از شالیزارهای کشور0/19 تن در سال برآورد شده است (مرادی و امینیان، 1391).

فرآیندهای نیترات‌سازی و نیترات‌زدایی مسئول حدود 87 درصد انتشار سالیانه اکسیدنیتروژن است که در این بین سهم خاک‌های طبیعی 35 درصد، کشاورزی 27 درصد و اقیانوس‌ها 25 درصد است. منشاء غیرزیستی (احتراق سوخت، سوزاندن زیست‌توده و فرآیندهای صنعتی) نیز مسئول تولید 13 درصد باقیمانده است. فراهمی نیتروژن معدنی عامل اصلی در تعیین شدت این فرآیندها است که از طریق کاربرد کودهای شیمیایی و آلی تأمین می‌گردد. بزرگ‌ترین منشاء انتشار اکسید نیتروژن مربوط به کودهای شیمیایی است که منجر به انتشار مستقیم 22 درصدی این گاز گلخانه‌ای می‌شود (میرزایی و همکاران، 1400). بیش از 51 درصد مقادیر انتشار اکسید نیتروژن از مسیر فعالیت‌های کشاورزی مربوط به سوزاندن زیست‌توده و بقایای گیاهی است. اراضی کوددهی شده منجر به انتشار 3/3 تراگرم اکسید نیتروژن در سال و 1/4 تراگرم نیتروزاکساید- نیتروژن در سال در سطح جهانی می‌شود. به طور کلی، بررسی‌ها نشان می‌دهد بخش قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی تولید می‌شود که مدیریت آن می‌تواند نقش مهمی در کاهش تغییرات آب و هوایی داشته باشد (میرزایی و همکاران، 1400).

تغییرات اقلیمی و افزایش وقوع رویدادهای شدید آب‌وهوایی از جمله دلایل افزایش گرسنگی و فقر تغذیه‌ای در جهان هستند. ماهی-گیری، زراعت و پرورش احشام در نتیجه این اتفاقات و بسته به مناطق مختلف متوقف یا با کاهش بهره‌وری مواجه خواهند شد. با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و افزایش جذب دی‌اکسیدکربن در آب اقیانوس‌ها، اسیدیته این منابع آبی افزایش یافته و منابع غذایی دریایی که تغذیه و حیات میلیون‌ها نفر به آن وابسته است با کمبود مواجه خواهند شد. تنش گرمایی ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند موجب کاهش منابع آب‌های سطحی و مراتع موجود برای چرای احشام شده و از سوی دیگر با کاهش سطح زیر کشت و نیز کاهش بهره‌وری اراضی زراعی موجب تشدید کمبود منابع خوراکی مورد استفاده در تغذیه دام و طیور شود. از سوی دیگر، افزایش وقوع سیل در کنار خشکی و موج‌های گرمایی ناشی از افزایش دمای جهانی نیز در افزایش شیوع آفات و کاهش بیش از پیش محصولات زراعی مشارکت خواهد داشت.

1 . Wang
2 . Gutschick
3 . Zavala
4 . Sun
5 . Sofi

در حال حاضر میلیون‌ها نفر از فقدان امنیت غذایی رنج می‌برند و این در حالی است که طبق پیش‌بینی‌ها مقدار تولید محصولات زراعی در سطح جهانی در هر دهه در حدود دو تا شش درصد کاهش خواهد یافت (لیتل[1]، 2019). برآورد ارائه شده توسط براس[2] و همکاران (2021) بیان می‌دارد که شدت تأثیر موج گرما و خشکسالی بر میزان تولید محصولات زراعی در اروپا در 50 سال گذشته نسبت به دوره پیشین آن در حدود سه برابر افزایش یافته و از افت 2/2 درصدی طی دوره 1990-1964 به 7/3 درصد در حدفاصل 2015-1991 افزایش یافته است. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن انمسفر به نوبه خود با افزایش تولید محصولات زراعی و در عین حال با کاهش ارزش تغذیه‌ای محصولات تولیدی (کاهش غلظت ریزمغذی‌ها) همراه بوده است. تغییر جمعیت آفات زراعی و بروز بیماری‌های گیاهی بر اثر تغییرات اقلیمی نیز کاهش تولید محصولات زراعی و کاهش بیش از پیش ارزش تغذیه‌ای آن‌ها را سبب شده است. از طرف دیگر، کاهش وسعت اراضی زراعی به دلیل بالا آمدن سطح آب دریاهای آزاد نیز یکی دیگر از اثرات غیرمستقیم تغییرات اقلیمی بر میزان تولید محصولات زراعی در جهان به شمار می‌آید. افزایش فرسایش خاک بر اثر وقوع سیلاب‌ها و کاهش باروری خاک در نتیجه شسته‌شدن سطحی خاک یا افزایش دمای آن و نیز تغییر طول دوره فصل رشد بر اثر افزایش دما از دیگر اثرات تغییرات اقلیمی بر بخش کشاورزی است که افت محصول تولیدی را به دنبال خواهند داشت (اتحادیه ژئوفیزیک آمریکا[3]، 2022). با افزایش دمای محیط، اتلاف محصولات زراعی در دوره پس از برداشت نیز به واسطه افزایش رشد قارچ‌ها -که تولید مایکوتوکسین‌ها را در پی خواهد داشت- و نیز باکتری‌هایی مانند سالمونلا افزایش یافته و این امر تهدید بیشتری را متوجه امنیت غذایی خواهد کرد. کاهش منابع آبی در دسترس بر اثر افزایش دمای جهانی نیز تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر افت تولید محصولات زراعی خواهد داشت (لیو[4] و همکاران، 2022).

- **تغییر الگوهای بارش**

از اواسط قرن بیستم، تغییرات شدید در رویدادهای آب و هوایی مشاهده شده است. افزایش بارندگی‌های شدید در مناطق متعدد و بروز خشکسالی در مناطق دیگر از جمله این تغییرات است. در عرض‌های جغرافیایی بالاتر و در اقیانوس آرام، میانگین بارندگی سالانه افزایش یافته است. در خشکی‌های مناطق میانی و نیمه‌گرمسیری، میانگین بارش کاهش یافته است، در حالی که در مناطق مرطوب در عرض جغرافیایی متوسط، احتمال افزایش میانگین بارش وجود دارد. بارش شدید مکرر در اکثر مناطق عرض جغرافیایی متوسط و مناطق گرمسیری مرطوب مشاهده شده است (فیلد[5] و همکاران، 2014).

تولید محصول به شدت تحت تأثیر در دسترس بودن آب است. تغییرات آب و هوایی موجب تغییر الگوهای بارندگی، ذخیره رطوبت خاک، تبخیر و رواناب می‌شود. برآوردها بیان می‌دارد آب مورد نیاز بیش از 80 درصد از کل تولید جهانی محصولات زراعی از طریق بارندگی تأمین می‌شود و بنابراین تغییر در بارندگی فصلی و الگوهای بارش از اهمیت ویژه‌ای در روند تولید محصولات کشاورزی برخوردار است (السن[6] و بیندی[7]، 2002). کاهش رطوبت خاک علاوه بر کاهش عملکرد گیاهان سبب حساسیت بیشتر در برابر بیماری‌ها و آفات می‌شود (زایان[8]، 2019).

در سال‌های اخیر پیامدهای تغییرات اقلیمی در ایران به‌صورت سیلاب‌های ویرانگر و خشکسالی‌های ادواری خود را نمایان ساخته و خسارات زیادی به بار آورده است. تغییر الگوهای بارش فصلی، به شدت بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به اینکه ایران در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود و میانگین بارندگی آن کمتر از یک سوم متوسط جهانی است، در نتیجه نسبت به بسیاری از پدیده‌های ناشی از تغییرات اقلیمی، از جمله سیل و خشکسالی، آسیب‌پذیر است (محمد قره‌قول و احمدی، 1395). تغییرات بارندگی تأثیر زیادی بر فراوانی و تنوع حشرات آفت و دشمنان طبیعی خواهد داشت. در صورت وقوع خشکسالی شدید،

1 . Little
2 . Brás
3 . American Geophysical Union
4 . Liu
5 . Field
6 . Olesen
7 . Bindi
8 . Zayan

ترکیب زیست‌بوم (محیط زیست و موجودات) تغییر پیدا می‌کند. زیستگاه‌ها در اثر خشکسالی به واحدهای کوچک‌تری تبدیل شده و مساحت آن‌ها کاهش می‌یابد. چنین تغییراتی می‌تواند تأثیر بسزایی در ترکیب گونه‌های یک منطقه بگذارد. با توجه به تغییرات آب و هوایی، نرخ انقراض فعلی 100 تا 1000 برابر بیشتر از آنچه که پیشتر اتفاق افتاده است، خواهد بود و روزانه نزدیک به 45 تا 275 گونه در خطر انقراض قرا می‌گیرند (شارما[1] و همکاران، 2010). مطالعاتی که روی گونه‌های حشرات برگ‌خوار و ریشه‌خوار انجام شده، نشان می‌دهد با افزایش بارندگی، فراوانی این آفات افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، در خشکسالی حساسیت میزبان‌های گیاهی افزایش می‌یابد، این در حالی است که تحت این شرایط اغلب فعالیت و فراوانی دشمنان طبیعی آفات کاهش می‌یابد که نتیجه آن افزایش بیش از پیش خسارت به محصولات کشاورزی خواهد بود (وار[2] و همکاران، 2016).

- **تغییر اقلیم، محیط زیست و تنوع زیستی**

درک اثرات رویدادهای شدید آب و هوایی یکی از بزرگترین چالش‌های حفاظت از محیط زیست در عصر تغییرات جهانی است (فیلازولا[3] و همکاران، 2021). رویدادهای شدید آب و هوایی می‌توانند به طور قابل توجهی بر عملکرد و خدمات زیست‌بوم به رفاه انسان تأثیر گذارند. به عنوان مثال، افزایش طول روزها با گرمای شدید منجر به کاهش تنوع زنبورهای گرده افشان می‌شود که نقش مهمی در کشاورزی و سامانه‌های طبیعی ایفا می‌کنند. انتشار گازهای گلخانه‌ای انسان‌محور عامل افزایش میانگین دمای جهانی به میزان 1/1 درجه سانتی‌گراد بالاتر از سطح قبل از صنعتی شدن است (سانچز-لوگو[4] و همکاران، 2017). اثرات این افزایش شامل افزایش تعداد روزها و شب‌های گرم، افزایش رویدادهای شدید اقلیمی (مانند خشکسالی و موج گرما) و تسریع در افزایش سطح آب دریاها است. گرمایش جهانی همچنین ناهمگونی قابل توجهی را به نمایش گذاشته است، به صورتی که منجر به گرمایش بیشتر زمستان در مقابل تابستان و گرمایش بیشتر شب در مقابل روز گشته است (NOAA, 2019). افزایش تبخیر ناشی از گرم شدن نیز منجر به افزایش بارندگی کلی جهانی شده است، اگرچه به دلیل تغییرات خاص منطقه‌ای، برخی مناطق خشک‌تر شده‌اند. اگر روند فعلی انتشار گازهای گلخانه‌ای ادامه یابد، میانگین دمای جهانی می‌تواند تا پایان قرن به میزان 4 تا 5 درجه سانتی‌گراد افزایش یابد که منجر به تشدید تغییرات ذکر شده خواهد شد (IPCC, 2018).تغییرات آب و هوایی در حال حاضر فراگیر است و پنج سال گذشته یکی از گرم‌ترین سال‌ها از زمان شروع ثبت دما در سال 1880 بوده است (NOAA, 2020). در طول تاریخ، آب و هوا به طور مداوم تغییر کرده است، اما با سرعتی بسیار کندتر از آنچه در حال حاضر مشاهده می‌شود. این تغییرات در حال حاضر بر جمعیت جانوران و گیاهان در سراسر جهان تأثیر گذاشته و پیامدهایی برای تاریخچه زندگی، اکولوژی و تکامل آن‌ها خواهد داشت (آنجیلتا[5]، 2009). تغییرات آب و هوایی با اثرگذاری بر تولیدات محیط زیست، تنوع زیستی گونه‌های مختلف جانوری را نیز با محدودیت و چالش مواجه می‌کند.

تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان اثرات منفی خواهد گذاشت. برای فرآیندهای فیزیولوژیکی کارآمد مانند رشد، نمو و تولیدمثل، هر محصول دارای محدوده دمایی ایده‌آلی است و عملکرد گیاه به‌طور نامطلوبی تحت تأثیر دمای بالاتر یا پایین‌تر از آن محدوده قرار می‌گیرد. گرم‌شدن سریع آب و هوا باعث ایجاد تنش در دمای بالا (گرم شدن بیش از حد آستانه برای یک دوره معین) شده که منجر به آسیب غیرقابل برگشت به رشد گیاهان (مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی) می‌شود (خان[6] و همکاران، 2019). اثرات تغییر اقلیم بر تنوع زیستی حشرات نیز مشهود است. تغییرات اقلیم در جنبه‌های مختلف رخ می‌دهد و رویدادهای شدید آب و هوایی مانند باران‌های شدید و سیل می‌توانند لانه‌های زیرزمینی حشرات را به خطر بیندازند. افزایش دوره‌های خشکسالی یکی دیگر از پیامدهای مهم تغییرات اقلیمی است که با افزایش دما منجر به تشدید سرعت سوخت‌وساز و در نتیجه از دست دادن مقدار بیشتری آب از بدن حشرات می‌گردد (گیبز[7] و همکاران، 2003). برخی حشرات با تنظیم لایه هیدروکربنی کوتیکولی خود، مقدار از دست دادن آب را مدیریت می‌کنند. اما این سازوکار برای همه

1 . Sharma
2 . War
3 . Filazzola
4 . Sánchez-Lugo
5 . Angilletta
6 . Khan
7 . Gibbs

حشرات امکان‌پذیر نیست و حشرات فاقد آن، از این مسئله آسیب خواهند دید (هادلی[1]، 1994؛ منـزل[2] و همکـاران، 2019). حشـرات از نظر تعداد، تنوع، حجم زیست توده و اهمیت آن‌ها برای زیست‌بوم‌های فعال، با دارابودن قریب به یک میلیـون گونـه شـناخته شـده، تمـام اشکال دیگر حیات جانوری روی زمین را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. حشرات با تعداد گونه‌هایی که به طور رسمی توصیف شده‌اند، متنـوع-ترین گروه موجودات روی زمین هستند. به طور کلی، حشرات 55 درصد از کل گونه‌های جانوری شناسایی شده روی زمین را شامل مـی-شوند (بلک[3]، 2018). وجود حشرات برای عملکرد زیست‌بوم‌ها بسیار حیاتی است و فواید بسیاری را به همراه دارند که چهار مورد از مهم-ترین آن‌ها عبارت از دفن سرگین، کنترل آفات، گرده افشانی و تغذیه حیات وحش است (لوسی[4] و واوگان[5]، 2006). تغییرات اقلیمی یـک تهدید بزرگ برای تنوع زیستی جهانی حشرات است که در حال حاضر باعث کاهش شدید جمعیت‌هـا و گونـه‌هـای حشـرات شـده اسـت (رافرتی[6]، 2017؛ دیاموند[7] و همکاران، 2017؛ مِنزل[8] و فلدمیر[9]، 2021). این انتظار وجود دارد که گرم‌شدن آب و هـوا بـرای بسـیاری از جمعیت‌های حشرات و زیست‌بوم‌هایی که در آن‌ها زندگی می‌کنند تغییراتی ایجاد کند (استانژ[10] و آیـرس[11]، 2010). همچنـین شـواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد رویدادهای آب و هوایی شدید ناشی از تغییرات اقلیمی در دهه‌های آینده احتمالاً تأثیراتی بر توزیـع حشـرات خواهد داشت (فاریستر[12] و همکاران، 2010). توصیف این که چگونه "حشرات" تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرنـد دشـوار اسـت. برخی از گونه‌ها از آب و هوای گرم‌تر سود می‌برند، در حالی که برخی دیگر به دلیل تغییرات آب و هوایی از دست می‌روند و نمی‌تواننـد بـا شرایط جدید سازگار شوند یا حرکت کنند (بلـک، 2018). بـه دلیـل چرخـه زنـدگی کوتـاه، تحـرک، پتانسـیل تولیـدمثلی و حساسـیت فیزیولوژیکی به دما، حتی تغییرات آب و هوایی در حد متوسط نیز ممکن است بر توزیع و فراوانی بسیاری از حشرات جنگلی تأثیر بگـذارد (آیرس و لومباردرو[13]، 2000). پیش‌بینی شده است که مجموعه‌ای از عوامل از جمله تغییـر اقلـیم، از دسـت دادن زیسـتگاه و اسـتفاده از آفتکش‌ها ممکن است 40 درصد از گونه‌های حشرات جهان را در چند دهه آینده از بین ببرد و منجر به فروپاشی فاجعه بار زیست‌بوم‌های طبیعت شود (هالمان[14] و همکاران، 2017؛ لیستر[15] و گارسیا[16]، 2018؛ لگر[17]، 2021).

**استفاده از حشرات به‌عنوان خوراک دام**

تمامی موجودات برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار مهم هستند. اگرچه در دستور کار پیشنهادی توسعه پایدار که توسط سـازمان ملـل متحد به تصویب رسیده است، این نقش چندان مورد توجه قرار نگرفته، اما گزارش جدید از سیاسـت‌گـذاران بـین‌المللـی مـی‌خواهـد کـه اصلاحاتی در این زمینه صورت گیرد (هدمن[18] و کوریا[19]، 2022). بخش حشرات می‌تواند با بستن چرخه‌های مواد مغذی و انرژی، تقویـت امنیت غذایی و به حداقل رساندن تغییرات آب و هوایی و از دست دادن تنوع زیستی، به یکـی از اجـزای مهـم کشـاورزی دایـره‌ای پایـدار تبدیل شود و از این طریق به توسعه پایدار کمک کند. سطوح بالای تعامل بخـش حشـرات بـا اهـداف توسـعه پایـدار و اثـرات مسـتقیم و

1 . Hadley
2 . Menzel
3 . Black
4 . Losey
5 . Vaughan
6 . Rafferty
7 . Diamond
8 . Menzel
9 . Feldmeyer
10 . Stange
11 . Ayres
12 . Forister
13 . Lombardero
14 . Hallmann
15 . Lister
16 . Garcia
17 . Leger
18 . Hedman
19 . Correa

غیرمستقیم آن، نیاز به تجزیه و تحلیل دارد (موروزو[1] و همکاران، 2021). در این بین، استفاده از حشرات به‌عنوان خوراک دام و نقش آن در صنعت دامپروری نیز اهمیت بسیاری دارد. نقش دامپروری در تأمین نیازهای غذایی و اقتصادی جامعه انکارناپذیر است. رشد جمعیت جهانی، افزایش ثروت و شهرنشینی، به ویژه در آسیا و آفریقا، تغییراتی را در الگوهای مصرف جهانی، سبک زندگی و غذا ایجاد کرده و این تغییرات رو به فزونی است. گرایش تغذیه‌ای پدیدار شده در این جوامع منجر به افزایش تقاضای پروتئین حیوانی شده است. این امر بر تقاضای دام تأثیر گذاشته و به ناچار فشار زیادی بر منابع محدود مورد استفاده در تغذیه دام وارد می‌کند (کیومرثی[2] و همکاران، 2008؛ کیومرثی و همکاران، 2011؛ ون‌هیوس[3]، 2013). برآورد انجام شده توسط فائو نشان می‌دهد که تولید مواد غذایی باید 70 درصد افزایش یابد تا بتوان روند تغذیه جمعیت جهانی را تداوم بخشید. انتظار می‌رود در سال 2050 تولید گوشت (گوشت گاو، مرغ و خوک) تا دو برابر افزایش یابد. افزایش تقاضا منجر به کمبود پروتئین و جستجوی منابع جایگزین می‌شود (هدمن و کوریا، 2022). یکی از محدودیت‌های اصلی در تولید پروتئین حیوانی بحث هزینه‌های خوراک است. جریان‌های خوراک معمول پاسخگوی نیاز دامپروران نبوده و نوسان قیمت این نهاده‌ها مشکلات زیادی برای بخش دامپروری ایجاد می‌کند که استفاده از حشرات به‌عنوان خوراک دام تا حدی می‌تواند از این مشکلات بکاهد و کاهش تولید نهاده‌های خوراک دام باعث کاهش مصرف آب، کاهش تخریب خاک و منابع طبیعی و جلوگیری از تغییرات مضر اقلیمی خواهد شد.

**راه‌کارهای کاهش تأثیر نامطلوب تغییرات آب و هوایی**

دو رویکرد " کاهش" و "سازگاری" برای مقابله با تغییرات اقلیمی وجود دارد. رویکرد کاهش تغییرات اقلیمی شامل راه‌کارهایی برای محدودکردن میزان تغییرات آب و هوایی، به ویژه گرمایش جهانی در درازمدت، است که کاهش تأثیر فعالیت‌های بشری بر پدیده تغییرات آب و هوایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را مدنظر دارد. در این راستا، برای کاهش مستمر این تغییرات می‌توان ظرفیت چاهک‌های کربن (مخزنی طبیعی یا مصنوعی است که برخی از ترکیبات شیمیایی کربن‌دار را برای یک دوره نامحدود در خود نگاه می‌دارد) از طریق عملیاتی مانند احیای جنگل‌ها افزایش داد (ماوهورا[4] و همکاران، 2017).

کنترل آتش‌سوزی در جنگل‌ها و جلوگیری از آتش زدن بقایای گیاهی پس از برداشت محصول می‌تواند تأثیر بسزایی بر کاهش دی-اکسیدکربن داشته باشد. برای کاهش انتشار گازهای متان و اکسید نیتروژن می‌توان مدیریت مناسب آب در شالیزارها، مدیریت مناسب فضولات دامی، کاربرد مناسب کودهای شیمیایی در اراضی زراعی و تصفیه فاضلاب‌های شهری به منظور تغذیه آبخوان‌ها و استفاده برای آبیاری در کشاورزی را انجام داد (میرزایی و همکاران، 1400). ترسیب کربن در اراضی کشاورزی یک گزینه کوتاه مدت است که غلظت گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن در اتمسفر را کاهش می‌دهد. ترسیب کربن در خاک از طریق فعالیت‌هایی نظیر بهبود مدیریت بقایای گیاهی، استفاده از روش کشاورزی حفاظتی، ایجاد پوشش گیاهی دائم روی خاک، کاهش عملیات خاک‌ورزی، استفاده از اراضی نامطلوب برای توسعه جنگل‌ها و کاهش تناوب زراعی می‌تواند صورت بگیرد که تمامی این موارد در مجموع به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی کمک می‌کند (مورگان و همکاران، 2010).

با بررسی مطالعات انجام شده می‌توان به این نتیجه رسید که یکی از راه‌کارهای کاهش اثرات نامطلوب تغییرات آب و هوایی، اجرا و توسعه کشاورزی طبیعت‌مدار است. کشاورزی طبیعت‌مدار در جهت حفظ امنیت غذایی، تنوع زیستی و محیط‌زیست انجام می‌شود (قیاسی و همکاران، 1394). کشاورزی طبیعت‌مدار شامل کشاورزی اکولوژیک یا بوم‌شناختی، کشاورزی آلی یا ارگانیک، کشاورزی پویا یا بیودینامیک، کشاورزی جایگزین، کشاورزی طبیعی و ... است و هدف نهایی این کشاورزی تولید بالا، بدون صدمه به منابع و امنیت غذایی است که این عمل اساس و شالوده کشاورزی پایدار است. بکارگیری یکی از این روش‌های کشاورزی در مسأله امنیت غذایی بسیار حائز اهمیت است (کیانی قلعه سرد و همکاران، 1398). کشاورزی طبیعت‌مدار از طریق جلوگیری از تبدیل اراضی جنگلی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش حاصلخیزی خاک با مصرف کود ارگانیک، کشت بقولات، تناوب محصولات زراعی، کاهش آیش تابستانه،

1 . Moruzzo
2 . Kioumarsi
3 . van Huis
4 . Mavhura

خاک‌ورزی حفاظتی و نیز از طریق کمک به جذب دی‌اکسیدکربن به وسیله خاک و گیاهان می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد (سرابیان و نیک‌پور، 1388).

هیئت بین‌دولتی تغییرات آب و هوایی، سازگاری با تغییرات آب و هوایی را، تعدیل و اصلاح سامانه‌های طبیعی یا انسانی در پاسخ به محرک‌های تغییرات آب و هوایی تعریف می‌کند، به نحوی که آسیب را تعدیل و یا به فرصت تبدیل کند. سازگاری و تطبیق با تغییرات آب و هوایی به ویژه در کشورهای در حال توسعه از اهمیت زیادی برخوردار است. ظرفیت و پتانسیل تطابق بشر (ظرفیت تطبیقی) به طور یکنواخت در مناطق مختلف و جمعیت‌ها توزیع شده است. این هیئت ظرفیت تطبیقی را پتانسیل یا توانایی یک سامانه، منطقه و یا جامعه برای سازگاری با تغییرات آب و هوایی (از جمله تنوع آب و هوا و رویدادهای شدید اقلیمی) در نظر می‌گیرد. ظرفیت تطبیقی ارتباط نزدیکی با توسعه اجتماعی و اقتصادی دارد و عواملی چون سطح رفاه و سلامتی، فناوری، تحصیلات، دسترسی به منابع، مدیریت و مسائل سیاسی- اجتماعی، تأثیر بسزایی در ایجاد آن دارد. همچنین، مسائلی چون گسترش جمعیت، کاهش منابع و فقر باعث افزایش فشار بر بسیاری از جوامعی هستند که می‌خواهند با تغییرات اقلیمی مقابله کنند. این موضوع سبب می‌شود کشورهای در حال توسعه ظرفیت انطباقی کمتری در مقایسه با کشورهای توسعه یافته داشته باشند (اسمیت[1] و پیلیفوساوا[2]، 2003).

افزایش تراکم جمعیت، رقابت بیشتر بر سر منابع، تخریب محیط زیست و از دست رفتن تنوع زیستی، سبب می‌شود که میلیون‌ها نفر نسبت به پدیده تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیر شوند. به منظور توسعه سازوکارهای انطباق و سازگاری با این تغییرات، باید ارزیابی درستی از "آسیب‌پذیری نسبت به تغییرات اقلیمی" انجام شود که بدین منظور دسترسی به داده‌های جامع، در مقیاس مناسب، لازم است (فیلد و همکاران، 2014).

تغییرات اقلیمی تأثیر زیادی بر تنوع زیستی دارد. مطالعات روی حشرات آفات گیاهان نشان می‌دهد این موجودات سازگاری بسیار بالایی با تغییرات شرایط محیطی دارند و این ویژگی آن‌ها را قادر می‌سازد تا در شرایط نامساعد نیز به حیات و فعالیت خود ادامه دهند. حشرات در این شرایط در زیست‌بوم‌های کشاورزی به سرعت زیستگاه‌های مناسب و سرزمین‌های جدید را اشغال می‌کنند و قادرند فروانی و گسترش جغرافیایی خود را افزایش دهند. چنین ویژگی‌هایی سبب می‌شود حشرات نسبت به سایر گونه‌ها برتری داشته باشند (اسکندژیک و همکاران، 2021). زیست‌بوم‌های زراعی در رابطه با آفات، به چندین روش به تغییرات آب و هوایی پاسخ می‌دهند: 1) تغییر در توزیع جغرافیایی حشرات آفات؛ 2) محدودیت دمایی آفات و گونه‌های دشمن طبیعی؛ 3) انتخاب سویه‌های جدید؛ 4) اثرات متفاوت بر دشمنان طبیعی و آفت به نحوی که برآیند آن کاهش کنترل بیولوژیک خواهد بود؛ 5) تغییرات در میزان دسترسی به مواد غذایی که منجر به جابجایی آفات می‌شود؛ 6) تغییر در روابط آفات و گیاهان؛ 7) تغییر در رقابت بین محصولات زراعی و علف‌های هرز. تمامی این موارد منجر به افزایش فراوانی برخی از گونه‌های آفت، ناپدید شدن برخی دیگر و توزیع گسترده‌تر آفات ثانویه می‌شود (وار و همکاران، 2016).

برای کاهش تأثیر تغییرات آب و هوایی بر آفات باید راه‌کارهایی در پیش گرفته شود. به این ترتیب که آموزش کشاورزان در مورد پیامدهای تغییرات آب و هوایی برای بهره‌وری مطلوب از کشاورزی باید در اولویت قرار گیرد. کشاورزان باید در مورد روش‌های مختلف سازگاری برای مقابله با هجوم آفات محصولات عمده منطقه فعالیت خود که در نتیجه تغییر آب و هوا پدیدار شده است، آموزش ببینند (پاریک[3] و همکاران، 2017). علاوه بر این، باید کشت ارقام مقاوم گیاهی جدید که در برابر استرس‌های زیستی و غیرزیستی کمترین واکنش را از خود نشان می‌دهند گسترش داد. با توجه به شروع دیرهنگام زمستان و یا کوتاه‌تر شدن طول فصل‌های سرد، محصولات زراعی می‌توانند رشد خود را با تأخیر شروع کنند و طول رشد را کوتاه کنند. از این‌روی تمرکز بر روی کاشت ارقام دیررس ایده‌آل است و می‌تواند شرایط نامطلوب اقلیمی را تحمل و همچنین در برابر آفات مقاومت کند و میزان خسارت ناشی از تغییرات آب و هوایی را کاهش دهد. توسعه شبکه‌های ارتباطی بین محققان و کشاورزان برای انتشار داده‌های تحولات هواشناسی و خدمات مشاوره کشاورزی مبتنی بر تغییرات آب و هوایی، برای ارتقای تصمیمات عملیاتی در سطح مزرعه ضروری است. ترکیب علم و دانش فنی و بومی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، باید به عنوان یک راهکار اتخاذ شود. دانش فنی-بومی در کاهش اثرات منفی تغییرات آب و هوایی مفید واقع

1 . Smit
2 . Pilifosova
3 . Pareek

خواهد شد. به عنوان مثال، استفاده از مالچ‌های طبیعی به سرکوب آفات و نیز به تنظیم دمای خاک و حفاظت از رطوبت خاک کمک می‌کند. لازم است تا مطالعات علمی بیشتری در مورد چگونگی ادغام ابتکارات بومی در سازوکارهای سازگاری جهانی با تغییرات اقلیمی انجام شود (ایلیک[1] و آباجو[2]، 2020). تقویم کاشت محصول باید با توجه به تغییر اقلیم به روزسانی شود. کشاورزان باید مدیریت آفات را تغییر دهند و اقداماتی مطابق با تغییرات مورد انتظار در بروز آفات و میزان تلفات محصول در پرتو تغییر اقلیم انجام دهند (پاریک و همکاران، 2017).

تجزیه آفت‌کش‌ها به شدت تحت تأثیر رطوبت بالا، درجه حرارت بالا و قرار گرفتن در معرض نور مستقیم خورشید است. به علاوه، تسریع تبخیر آفت‌کش‌ها، سبب کاهش غلظت محیطی آن‌ها می‌شود. همچنین، افزایش بارش با اتلاف آفت‌کش‌ها و کاهش تأثیر آن‌ها همراه است. از این‌روی در پرتو تغییرات اقلیمی، خطر ناشی از باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در محصولات کشاورزی افزایش می‌یابد و سبب در معرض قرار گرفتن مصرف‌کنندگان که در انتهای زنجیره غذایی قرار دارند، می‌شود. با توجه به این موضوع، بررسی ترکیبات جدید و آفت‌کش‌های زیستی در مدیریت آفات یکی از مهم‌ترین موضوعات در بحث مدیریت آفات است (دلکور[3] و همکاران، 2015).

استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزاری برای نظارت بر وقوع آلودگی با حشرات است. این فن‌آوری حشره‌شناسان را قادر می‌سازد تا گسترش آفات در مناطق جغرافیایی مختلف را بررسی کنند و با پیش‌بینی و ترسیم الگوهای تغییرات توزیع جغرافیایی، آفات را پایش کرده و برنامه‌های مدیریتی را بر اساس پویایی جمعیت آفات طراحی کنند (یاداو و همکاران، 2017). اصول جدید مدیریت آفات کشاورزی نه تنها زمان‌بندی کشت محصولات زراعی با تغییر اقلیم را تنظیم می‌کنند، بلکه در مواقع لزوم و با تغییر سامانه‌های کشت، استفاده از محصولاتی نوین که برای شرایط جدید از سازگاری بهتری برخوردارند (با در نظر گرفتن بازارها) موجب افزایش انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات آب و هوایی می‌شوند. هر چند بهبود کارآیی مدیریت آفات کشاورزی در این زمینه مستلزم خلق مجموعه‌ای از سازوکارها در مبارزه با آفات به منظور دستیابی به تولید پایدار تحت تغییرات آب و هوایی است (ایلیک و آباجو، 2020).

تهدید امنیت غذایی از موضوع‌های مهم در ارتباط با تغییرات اقلیم است. کاهش دسترسی به مواد غذایی در میان افراد جامعه، بیش از هر چیز پروتئین، شکل غالب این تهدید است. جهت سازگاری با تغییرات آب و هوایی می‌توان از افزایش جمعیت حشرات به عنوان یک فرصت استفاده کرد. حشرات می‌توانند چالش تولید غذای سالم برای مصرف به‌عنوان خوراک انسان و دام را کاهش دهند. حشرات سرشار از پروتئین (63-37 درصد) و چربی (40-20 درصد) بوده و منابع خوبی برای اسیدهای آمینه، اسیدهای چرب، مواد معدنی و ویتامین‌ها محسوب می‌شوند (دیکی[4]، 2018). در مقایسه با دام‌های معمول، تولید حشرات به دلیل نیاز محدود به محیط زیست، تأثیر کمتری بر زیست‌بوم دارد که این موضوع سبب می‌شود برای پرورش این منابع خوراکی زمین کمتری اشغال و آب کمتری مصرف شود و به طور کلی منابع کمتری برای تولید نیاز دارند. در نتیجه، انتشار دی‌اکسیدکربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای نیز کاهش خواهد یافت (دیکی، 2018).

دام‌ها به طور مستقیم سهم بزرگی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان دارند و حدود 9 درصد از کل انتشار دی‌اکسیدکربن (بدون در نظر گرفتن تنفس)، 37 درصد متان و 65 درصد اکسید نیتروژن را به دام‌ها نسبت می‌دهند. سهم کل تأثیر دام‌ها در تغییرات آب و هوایی حدود 18 درصد برآورد شده است. این در حالی است که تولید گازهای گلخانه‌ای به وسیله حشرات مقدار بسیار کمتری را نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای تجزیه و تحلیل هزینه-فایده پنج حشره خوراکی بررسی و در آن تولید گازهای گلخانه‌ای به عنوان هزینه محیط زیستی و تولید غذا به عنوان فایده در نظر گرفته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد پرورش چهار گونه حشره (*Tenebrio molitor*، *Blaptica dubia*، *Acheta domesticus*، *Locusta migratoria*) انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری نسبت به خوک‌ها و نشخوارکنندگان (بر اساس کیلوگرم افزایش جرم) در پی داشته است. به طور مشابه، سطوح آمونیاک حاصل از پرورش حشرات کمتر از دام‌های معمول بود. مقدار کم آب مورد نیاز، قابلیت پرورش در نهرها و توانایی رشد در آب و هوای گرم، می‌تواند دوام و پایداری تولید حشرات در شرایط نامساعد آب و هوایی را تضمین کند (اونینکس[5] و همکاران، 2010). حشرات می‌توانند به جلوگیری از کاهش تنوع زیستی کمک کنند. پرورش حشرات

1 . Ileke
2 . Abajue
3 . Delcour
4 . Dicke
5 . Oonincx

به دلیل روش‌های پرورش آسان و ارزان و امکان پرورش روی بقایای آلی راهکار مهمی برای مقابله با ناامنی غذایی است. پرورش حشرات نیازی به اشغال زمین‌های جدید نداشته و می‌توان آن‌ها را در مکان‌هایی که پیش‌تر مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، پرورش داد. بنابراین، اگر حشرات به عنوان جایگزینی برای دام‌های معمول در نظر گرفته شوند، پرورش آن‌ها کاهش استفاده از زمین را به دنبال داشته و حتی سبب بازسازی زیست‌بوم‌ها می‌شود. به علاوه، حشرات را می‌توان به عنوان خوراک در تولیدات دامی مورد استفاده قرار داد. در دامپروری زنجیره تأمین خوراک یکی از مهم‌ترین زنجیره‌های محیط زیستی است و کاهش تولید گیاهانی مانند سویا و ذرت برای خوراک دام، می‌تواند به افزایش تنوع زیستی و مبارزه با بیابان‌زایی کمک کند. پرورش حشرات همچنین می‌تواند به پایداری منابع دریایی کمک کند. پرورش حشرات آبزی می‌تواند سبب کاهش صید بی‌رویه از طریق جایگزینی (جزئی یا کامل) پودر ماهی و روغن ماهی در خوراک دام شود. در واقع، بخش بزرگی از آبزی‌پروری در حال حاضر برای تأمین خوراک دام انجام می‌شود که بار محیط زیستی بسیار زیادی به همراه دارد. پرورش حشرات می‌تواند به طور غیرمستقیم به کاهش این اثرات نامطلوب کمک کند (موروزو و همکاران، 2021).

## نتیجه‌گیری

امروزه سازوکارهای مدیریت تلفیقی آفات به سمت تولید غذای سالم به روشی سازگار با محیط زیست و همچنین روش‌های نظارت بر جمعیت آفات پیش می‌رود. این راه‌کارها شامل بررسی تغییرات آب و هوایی و نوسانات جمعیت آفات و نیز استفاده از ابزارها و مدل‌های پیش‌آگاهی آفات است. اقدامات پیشگیرانه، کلیدی برای کاهش خطر آفات در کشاورزی، باغبانی و جنگلداری است. بنابراین، به مدیریت پایدار آفات نیاز است و باید راه‌حل‌های جامع، از جمله سامانه‌های تشخیصی و نظارتی، مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل خطر آفات و آمادگی برای مدیریت آفات در سطح جهانی در پیش گرفته شود. از سوی دیگر، روند در حال تشدید تغییرات اقلیمی به صورت مستقیم و غیرمستقیم اثرات نامطلوب بسیاری را بر میزان تولید محصولات زراعی، به واسطه کاهش سطح اراضی قابل کشت و نیز کاهش بهره‌وری اراضی، به دنبال داشته و لذا نیاز است تا در قدم نخست با شناخت و معرفی مؤلفه‌های تأثیرگذاری تغییرات اقلیمی بر امنیت غذایی، راهکارهایی مناسب برای مواجهه با این تغییرات و نیز جلوگیری از تشدید آن‌ها را ارائه داد. این در حالی است که فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری نه تنها متأثر از تغییرات اقلیمی بوده، بلکه خود به عنوان یکی از عوامل مهم در بروز این تغییرات به شمار می‌روند و با نیل به سوی کشاورزی پایدار، می‌توان در جهت کاهش اثرات دوجانبه تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های کشاورزی گام برداشت. در نهایت با توجه به راه‌کارهای ارائه شده در مطالعه حاضر برای مقابله با تأثیرات نامطلوب تغییرات آب و هوایی بر بخش کشاورزی و دستیابی به امنیت غذایی و کشاورزی پایدار، باید ویژگی‌های هر منطقه مورد بررسی قرار گیرد و راهکارهای مدیریتی مؤثری طراحی و برنامه‌ریزی شود.

## منابع


حیدری، ن. (1396). تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری با آن در کشاورزی. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. 4(2): 13-26.

رضوی، م. (1388). تغییر آب و هوا و تأثیر آن بر کشاورزی. ویژه نامه تغییر اقلیم. صفحه 27-23.

سرابیان، ل.؛ نیکپور، ع. (1388). نقش کشاورزی طبیعت‌مدار بر کاهش تغییر اقلیم. ویژه نامه تغییر اقلیم، صفحه 20-15.

قیاسی، م.؛ امیرنیا، ر.؛ فاضلی منش، م. (1394). اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی رایج. سومین همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست. ارومیه. 525-521.

کیانی قلعه سرد، س.؛ شهرکی، ج.؛ اکبری، ا.؛ سردار شهرکی، ع. (1398). اثر تغییرات اقلیمی بر تولید بخش کشاورزی ایران: مطالعه موردی محصول گندم. نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی. 32(4): 127-109.

محمد قره‌قول، آ.؛ احمدی، س. م. (1395). بررسی تشدید مخاطرات تغییرات اقلیمی و تهدید امنیت غذایی با آسیب به محیط زیست کشاورزی. نشریه سنبله. 254، 10 صفحه.

محمودی میمند، م.، مظاهری، م. (1393) تغییرات اقلیمی و ایمنی غذایی. 7(2): 21-33.

مرادی، ا.؛ امینیان، م. (1391). میزان نشر گازهای گلخانه‌ای ایران در سال 1389. نشریه نشاء علم. 3(1): 59-55.

میرزایی، م.؛ گرجی، م.؛ مقیسه، ا.؛ اسدی، ح.؛ رضوی طوسی، ا. (1400). مدیریت پایدار خاک و نقش آن در کاهش انتشار گازهای گلخانه-ای. نشریه علمی مدیریت اراضی. 9(2): 187-205.

American Geophysical Union (2022). Water scarcity predicted to worsen in more than 80% of croplands globally this century.

Angilletta Jr, M. J. (2009). Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis. Oxford online edn, Oxford Academic. DOI:10.1093/acprof:oso/9780198570875.001.1

Ayres, M. P., & Lombardero, M. J. (2000). Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. Science of the Total Environment, 262(3), 263-286.

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.

Belanger, G., Rochette, P., Castonguay, Y., Bootsma, A., Mongrain, D., & Ryan, D. A. J. (2002). Climate change and winter survival of perennial forage crops in eastern Canada. Agronomy Journal, 94, 1120-1130.

Black, S. H. (2018). Insects and climate change: Variable responses will lead to climate winners and losers. In: Encyclopedia of the Anthropocene, 95-101. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809665-9.10265-4

Brás, T. A, Seixas, J., Carvalhais, N., & Jägermeyr, J. (2021). Severity of drought and heatwave crop losses tripled over the last five decades in Europe. Environmental Research Letters, 16(6), 065012.

Bruinsma, J. (2003). World Agriculture: Towards 2015/2030: an FAO perspective. Earthscan, London and FAO, Rome, London, 432 pp.

Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R. B., Piao, S., & Thornton, P. (2013). Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: Climate Change 2013. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 465-570.

Delcour, D., Spanoghe, P., & Uyttendaele, M. (2015). Literature review: Impact of climate change on pesticide use. Food Research International, 68, 7-15.

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

Diamond, S. E., Chick, L., Penick, C. A., Nichols, L. M., Cahan, S. H., Dunn, R. R., & Gotelli, N. J. (2017). Heat tolerance predicts the importance of species interaction effects as the climate changes. Integrative and Comparative Biology, 57(1), 112-120.

Dicke, M. (2018). Insects as feed and the Sustainable Development Goals. Journal of Insects as Food and Feed, 4, 147-156.

Drake, B. G., Gonzàlez-Meler, M. A. & Long, S. P. (1997). More efficient plants: A consequence of rising atmospheric $CO_2$? Annual Review of Plant Biology, 48, 609-639.

Dusenge, M. E., Duarte, A. G., & Way, D. A. (2019). Plant carbon metabolism and climate change: elevated $CO_2$ and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. New Phytologist, 221, 32-49.

Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R. & White, L. L. (2014). Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1-32. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.003

Filazzola, A., Matter, S. F., & MacIvor, J. S. (2021). The direct and indirect effects of extreme climate events on insects. Science of the Total Environment, 769, 145-161.

Forister, M. L., McCall, A. C., Sanders, N. J., Fordyce, J. A., Thorne, J. H., O'Brien, J., & Shapiro, A. M. (2010). Compounded effects of climate change and habitat alteration shift patterns of butterfly diversity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(5), 2088-2092.

Gibbs, A. G., Fukuzato, F., & Matzkin, L. M. (2003). Evolution of water conservation mechanisms in Drosophila. Journal of experimental biology, 206(7), 1183-1192.

Gullino, M. L., Albajes, R., Al-Jboory, I., Angelotti, F., Chakraborty, S., Garrett, K. A., Hurley, B. P., Juroszek, P., Lopian, R., & Makkouk, K. (2022). Climate change and pathways used by pests as challenges to plant health in agriculture and forestry. Sustainability, 14(19), 12421. https://doi.org/10.3390/su141912421

Gutschick, V. P. (2007). Plant acclimation to elevated $CO_2$ from simple regularities to biogeographic chaos. Ecological Modelling, 200, 433-451.

Hadley, N. F. (1994). Water relations of terrestrial arthropods Academic Press. San Diego, CA, 356.

Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., & de Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLOS ONE, 12(10), e0185809.

Hatfield J. L., & Prueger J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes, 10, 4-10.

Hedman, S., & Correa, R. (2022). Animals vital to achieving sustainable development goals. Avalable at: https:// www. ifaw. org/international/ press-releases/ animals- vital- achieving-sdgs

Ileke, K. D., & Abajue, M. C. (2020). Understanding and mitigating the impact of climate change on insect pests and food security. The impact of climate change on insect pests and food security. 30 pp.

IPCC, 2018. Intergovernmental Panel on Climate Change. Special report on global warming of 1.5◦C. "Summary for Policymakers". https://report.ipcc.ch/sr15/pdf /sr15_spm_final.pdf.

Khan, S., Anwar, S., Ashraf, M. Y., Khaliq, B., Sun, M., Hussain, S., & Alam, S. (2019). Mechanisms and adaptation strategies to improve heat tolerance in rice. A review. Plants, 8(11), 508-517.

Kioumarsi, H., Jafari Khorshidi, K., Zahedifar, M., Seidavi, A. R., Yahaya, Z. S., Rahman W. A., & Mirhosseini, S. Z. (2008). Estimation of relationships between components of carcass quality and quantity in taleshi lambs. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances, 3(5), 337-343. 10.3923/ajava.2008.337.343.

Kioumarsi, H., Yahaya, Z. S., Rahman W. A., & Chandrawathani, P. (2011). A new strategy that can improve commercial productivity of raising boer goats in malaysia. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances, 6(5), 476-481. 10.3923/ajava.2011.476.481.

Laštůvka, Z. (2009). Climate change and its possible influence on the occurrence and importance of insect pests. Plant Protection Science, 45, S53-S62

Leger, R. J. S. (2021). Insects and their pathogens in a changing climate. Journal of Invertebrate Pathology, 184, 107644.

Lister, B. C., & Garcia, A. (2018). Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(44), E10397-E10406.

Little, A. (2019). Climate change is likely to devastate the global food supply. but there's still reason to be hopeful. Time. Retrieved.

Liu, X., Liu, W., Tang, Q., Liu, B., Wada, Y., & Yang, H. (2022). Global agricultural water scarcity assessment incorporating blue and green water availability under future climate change. Earth's Future, 10 (4).

Losey, J. E., & Vaughan, M. (2006). The economic value of ecological services provided by insects. Bioscience, 56(4), 311-323.

Malhi G. S., Kaur, M., & and Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. Sustainability, 13(3), 1318

Mavhura, E., Manatsa, D., & Matiashe, M. (2017). Adapting smallholder farming to climate change and variability: household strategies and challenges in Chipinge district, Zimbabwe. Climate Change, 3, 903-913.

Menzel, F., & Feldmeyer, B. (2021). How does climate change affect social insects? Current Opinion in Insect Science, 46, 10-15.

Menzel, F., Morsbach, S., Martens, J. H., Räder, P., Hadjaje, S., Poizat, M., & Abou, B. (2019). Communication versus waterproofing: the physics of insect cuticular hydrocarbons. Journal of Experimental Biology, 222(23), jeb210807.

Mitchell, J. P., Reicosky, D. C., Kueneman, E. A., Fisher, J., & D. Beck, (2019). Conservation agriculture systems. CAB Reviews, 14(001), 1-25.

Morgan, J. A., Follett, R. F., Allen, L. H., Jr., Grosso, S. D., Derner, J. D., Dijkstra, F., Franzluebbers, A., Fry, R., Paustian, K., & Schoeneberger, M. M. (2010). Carbon sequestration in agricultural lands of the United States. Journal of Soil and Water Conservation, 65(1), 6A-13A.

Moruzzo, R., Mancini, S., & Guidi, A. (2021). Edible insects and sustainable development goals. Insects, 12, 557-564.
NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration (2019). Global Climate Report. https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913.
NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. (2020). Climate at a Glance: Global Time Series.
Olesen, J. E., & Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European Journal of Agronomy, 16, 239-262.
Oonincx, D. G. A. B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J. J. A., & van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. PLOS ONE, 5, e14445.
Pachauari, R. K., & Reisinger, A. (2007). Climate Change. 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.
Pareek, A., Meena, B. M., Sharma, S., Tetarwal, M. L., Kalyan, R. K., &Meena, B. L. (2017). Impact of climate change on insect pests and their management strategies, IOP Publishing Ltd, Temple Circus, UK, 254–275.
Parmesan, C., &Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature Cell Biology, 421, 37-42.
Rafferty, N. E. (2017). Effects of global change on insect pollinators: multiple drivers lead to novel communities. Current Opinion in Insect Science, 23, 22-27.
Reineke, A., & Thiéry, D. (2016). Grapevine insect pests and their natural enemies in the age of global warming. Journal of Pest Science. 16pp
Salman, N. A. (2021). Impact of climate change on fisheries and aquaculture activities in southern Iraq. Journal of Survey in Fisheries Sciences, 7(3), 41-50.
Sánchez-Lugo, A., Morice, C. P., Berrisford, P., & Argüez, A. (2017). Global surface temperatures [in "State of the Climate in 2016"]. Bulletin of the American Meteorological Society, 98(8), S11-S13.
Sharma, H. C., Srivastava, C. P., Durairaj, C., & Gowda, C. L. L. (2010). Pest management in grain legumes and climate change. In: Yadav, S. S., McNeil, D. L., Redden, R., Patil, S. A. (Eds.), Climate Change and Management of Cool Season Grain Legume Crops. Springer Science + Business Media, Dordrecht, The Netherlands, 115-140.
Skendžić, S., Zovko M., Živković I. P., Lešić V. and Lemí D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. Insects, 12, 440.
Smit, B., & Pilifosova, O. (2003). Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. Sustainable Development, 879-906.
Sofi, P. A., Baba, Z. A., Hamid, B., & Meena, R. S. (2018). Harnessing soil rhizobacteria for improving drought resilience in legumes. In: Legumes for Soil Health and Sustainable Management. pp. 235-275.
Stange, E. E., & Ayres, M. P. (2010). Climate change impacts: insects. In: ELS. https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0022555.
Sun, Y. C., Yin, J., Chen, F. J., Wu, G., & Ge, F. (2011). How does atmospheric elevated $CO_2$ affect crop pests and their natural enemies? Case histories from China. Insect Science, 18(4), 393-400.
Syswerda, S. P., Corbin, A. T., Mokma, D. L., Kravchenko, A. N., & Robertson, G. P. (2011). Agricultural management and soil carbon storage in surface vs. deep layers. Soil Science Society of America Journal, 75(1), 92-101.
Tubiello, F., Rosenzweig, C., Goldberg, R., Jagtap, S., & Jones, J. (2002). Effects of climate change on US crop production: Simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, potato, maize, and citrus. Climate Research, 20, 259-270.
United nations. https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change
van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security, Annual Review of Entomology, 58(1), 563-583.
Wang, C., Guo, L., Chuanli, W., & Wang, Z. (2012). Systematic comparison of C3 and C4 plants based on metabolic network analysis. BMC Systematic Biology, 6, S9.

War, A. R., Taggar, G. K., War, M. Y., & Hussain, B. (2016). Impact of climate change on insect pests, plant chemical ecology, tritrophic interactions and food production. International Journal of Clinical and Biological Sciences, 1(2), 16-29.

Yadav, R. K., Yadav, M. R., Kumar, R., Parihar, C. M., Yadav, N., Bajiya, R., Ram, H., Meena, R. K., Yadav, D. K., & Yadav, B. (2017). Role of biochar in mitigation of climate change through carbon sequestration. International Journal of Current Microbiology and Applied Science, 6(4), 859-866.

Yoro, K.O., & Daramola, M. O. (2020). $CO_2$ emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. Sawston, UK, 3-28.

Zavala, J. A., Nabity, P. D., & DeLucia, E. H. (2013). An emerging understanding of mechanisms governing insect herbivory under elevated $CO_2$. Annual Review of Entomology, 58, 79-97.

Zayan, S. A. (2019). Impact of climate change on plant diseases and IPM strategies. In: Plant Pathology and Management of Plant Diseases, Topolovec-Pintaríc, S., Ed., Intechopen: London, UK, 13pp.

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., & Ciais, P. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114, 9326-9331.