بررسی تغییرات اقلیم و تأثیرات آن بر روی گیاهان

فرناز طباطبایی

دانشجوی کارشناسی ارشد محیط‌زیست

دانشگاه تهران

Far.tabatabaie@ut.ac.ir

چکیده

اقلیم کرهٔ زمین می‌تواند به‌طور طبیعی یا تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی تغییر کند. انسان مدرن با استفاده از سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای گلخانه‌ای به این تغییرات اقلیمی دامن زده و سرعت گرمایش جهانی را تسریع کرده است. ازاین‌رو کشاورزی نیاز خواهد داشت تا به‌منظور تضمین بقا و پایداری خود، نسبت به این تغییرات سازگار گردد. به‌منظور شناخت و درک تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر کشاورزی و به‌منظور ارزیابی استراتژی‌های سازگاری با آن، با توجه به سامانه‌های کشاورزی و نیز طبیعت پیچیده تغییر اقلیم، معمولاً از مدل‌های گیاهی استفاده می‌شود. این مقاله، مروری بر مطالعات انجام‌گرفته در زمینه اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصولات کشاورزی دارد. در این مطالعات، مدل‌های شبیه‌ساز رشد به‌عنوان ابزاری کارآمد برای تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی از دیدگاه‌های مختلف مورد استفاده قرارگرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تا نیمه‌ی قرن حاضر پدیده تغییر اقلیم، پیآمدهای قابل‌توجهی را بر بسیاری از شاخص‌های اقلیمی مرتبط با کشاورزی به همراه خواهد داشت، ازآنجاکه اهمیت هریک از این شاخص‌ها بر گونه گیاهی متفاوت است، ارزیابی پاسخ گیاهان زراعی به این تغییرات مستلزم انجام مطالعات موردی خواهد بود. در این زمینه اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصولات کشاورزی نشان از اثر معنی‌دار این پدیده بر محصولات کشاورزی دارد. ازآنجاکه رابطه‌ی بین اقلیم و حیات زنده یک رابطه دوطرفه است، بشر امروزی دو راهکار اصلی را برای مقابله و یا کنار آمدن با پدیده‌ی تغییر اقلیم انتخاب کرده است که عبارت‌اند از: سازگاری و کاهش شدت. سازگاری به فقدان محیط زندگی و کاهش شدت به جلوگیری از ایجاد یا تقلیل شدت آن اطلاق می‌گردد.

مقدمه

اقلیم کره‌ی زمین حاصل برهم‌کنش‌های پیچیده‌ی موجود بین اجزای مؤثر نظیر اقیانوس‌ها، اتمسفر، زمین‌کره، قطب‌ها و زیست‌کره است. فراتر از این اجزا، اقلیم کره‌ی زمین تابعی از تابش خورشیدی است که بر اجزای مذکور تأثیر به سزایی دارد. به‌طورکلی، هرگونه تغییر و دگرگونی در نوع و ماهیت اجزاء و یا در نوع برهم‌کنش بین آن‌ها می‌تواند باعث تغییر در اقلیم زمین گردد در سال‌های اخیر، مفهومی با عنوان تغییرات اقلیمی مورد توجه قشر دانشگاهی و سازمان‌های مدیریتی دنیا قرارگرفته است. بر اساس تعریف ارائه‌شده منظور از تغییرات اقلیمی، تغییر و دگرگونی پایدار و بلندمدت در الگوهای آب‌وهوایی کره زمین (ناشی از تغییر در اجزای اقلیمی و روابط بین آن‌ها) است که می‌تواند به‌صورت طبیعی رخ دهد یا از فعالیت‌های انسانی ناشی گردد (ویژگی بلندمدت بودن اشاره به بازه‌های زمانی دهه یا قرن دارد.) شواهد روزافزونی وقوع تغییرات بارز در سیستم اقلیمی زمین را تأیید می‌کنند (Croll, James, 2012).

آژانس حفاظت از محیط‌زیست[1] ایالات‌متحده‌ی آمریکا ۲۲ شاخص برای پایش تغییرات اقلیم ارائه نموده است که مربوط به پنج مقوله کلی گازهای گلخانه‌ای، آب‌وهوا و اقلیم، اقیانوس‌ها، یخ و برف و درنهایت اکوسیستم و جامعه است (EPA, 2001).

افزایش دمایی در اکوسیستم‌های مختلف خشکی و آبی، تغییرات الگوهای بارشی در مناطق مختلف جهان، بالاآمدن سطح آب دریاها از مهم‌ترین شاخص‌های تغییرات اقلیمی هستند که در پراکنش و تراکم پوشش گیاهی نقش عمده‌ای دارند. همبستگی شدید و ارتباط تنگاتنگ بین پوشش گیاهی و پارامترهای اقلیمی به‌گونه‌ای است که تغییر در هرکدام از آن‌ها، تأثیر شدیدی بر دیگر کارکردهای اکوسیستم می‌گذارد (کرم پور و همکاران، ۱۳۹۴).

گرمایش جهانی با تأثیر بر چرخه‌های هیدرولوژیکی کره زمین، الگوهای بارش را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. باوجودی که نتایج اکثر پیش‌بینی‌ها نشان داده است که میانگین بارش جهان در شرایط اقلیمی آینده تا حدودی افزایش می‌یابد، ولی این افزایش عمدتاً در عرض‌های جغرافیایی شمالی بوده و مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان با کمبود جدی بارش مواجه خواهند بود (Rosenzweig C,1993). ازآنجاکه تقریباً تمامی شاخص‌های اقلیمی مرتبط با کشاورزی بر اساس دما و بارش محاسبه می‌شوند، تغییرات اقلیمی آینده با تأثیر بر این شاخص‌ها شرایط رشد و نمو گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار خواهند داد. در مقیاس منطقه‌ای تکامل اکوسیستم‌های کشاورزی و تنوع آن‌ها در جهان تابع اقلیم است، درحالی‌که در مقیاس کوچک‌تر تغییرات درون فصلی و بین فصلی، رشد و نمو گیاهان توسط شرایط آب و هوایی کنترل می‌گردد (Ortiz R et al., 2008). براین اساس می‌توان نتیجه گرفت که بروز هرگونه تغییر احتمالی اقلیمی در آینده، تولیدات کشاورزی را در سطوح مختلف دستخوش تغییرات جدی خواهد کرد و نظام‌های زراعی فعلی را که تحت شرایط اقلیمی موجود تکامل‌یافته‌اند را به‌طور قابل ملاحظه‌ای متحول خواهد ساخت. بدیهی است میزان این تأثیر تابع مستقیمی از شدت تغییرات اقلیمی آینده خواهد بود. مقابله با این تغییرات احتمالی و یافتن راه‌حل‌هایی جهت سازگار کردن سیستم‌های فعلی تولید با این تغییرات مستلزم شناخت دقیق علل به وجود آورنده این تغییرات و پیش‌بینی احتمال وقوع آن‌ها در آینده است. باوجوداینکه محققین با استفاده از روش‌های برون‌یابی سعی در تعمیم یافته‌های خود در مقیاس جهانی دارند، ولی انجام مطالعات منطقه‌ای به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه ازجمله اولویت‌های پژوهشی تعیین‌شده توسط سازمان‌های بین‌المللی است (Rosenzweig C, 1993).

واکنش گیاهان به تغییر اقلیم:

جنبه‌های مختلف تغییر اقلیم مانند افزایش

[1] Environmental Protection Agency (EPA)

دی‌اکسید کربن، افزایش دما و تغییر مقدار و واریانس بارش، اثرات متفاوتی بر تولیدات گیاهی دارند. در ترکیب، این اثرات می‌توانند باعث افزایش یا کاهش تولیدشده و درنهایت اثر خالص تغییر اقلیم بر روی تولید محصولات کشاورزی به اثر متقابل بین این عناصر بستگی دارد (Liancourt, Pierre, et al., 2013).

غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر:

غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر هم از جهت رشد و تولید گیاهان و هم از جهت خواص تابشی اتمسفر و اقلیم از اهمیت زیادی برخوردار است. افزایش سریع‌تر غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر یکی از جنبه‌های قطعی تغییر اقلیم در دهه‌های پیشروی بوده و آن‌چنان‌که از گزارش‌های اخیر می‌توان دریافت، تجمع دی‌اکسید کربن در اتمسفر نسبت به آنچه انتظار می‌رفت سریع‌تر بوده است (Jentsch, Anke, 2007). بر اساس نمودار کیلینگ که بر پایه آمار مرکز معتبر مائونالوئا در هاوایی رسم می‌گردد، میزان کربن دی‌اکسید اتمسفر زمین (بر اساس واحد بخش در میلیون) از ۲۸۰ در سال ۱۹۵۱ به ۳۷۹ در سال ۲۰۱۰ افزایش یافته است. به‌طور مشابه، دمای سطحی کره زمین در بازه‌ی زمانی بین سال‌های ۱۱۵۰ تا ۲۰۰۰ حدود ۴۴/۰ درجه سانتی‌گراد افزایش‌یافته است که شتاب افزایش دما در ۵۰ سال اخیر تقریباً دو برابر بازه‌ی زمانی قبل از ۱۹۵۰ است (Marx W, Haunschild, 2017).

افزایش دی‌اکسید کربن اتمسفر، باعث افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در فضای بین سلولی می‌شود که خود منجر به افزایش شدت فتوسنتز و کاهش قدرت انتقال استومات‌ها می‌گردد. در بسیاری از گیاهان وجود پوشش قشر کوتین (کوتیکول) روی بافت اپیدرمی آن را نسبت به آب و گازها غیرقابل نفوذ ساخته، تنها استمات‌ها در بافت اپیدرمی راه ارتباط بافت‌های درونی و یا بخش‌های داخلی گیاه با محیط خارج برای تبادلات گازی و دفع مازاد آب جذب‌شده، هستند. استمات‌ها تقریباً در تمام سطح اندام‌های گیاه به‌جز در ریشه و ساقه‌های مسن که از چوب‌پنبه پوشیده شده‌اند، پراکنده‌اند. درنهایت افزایش شدت فتوسنتز و کاهش قدرت انتقال استومات‌ها، مقدار تعرق را کاهش می‌دهد، ازاین‌رو افزایش غلظت دی‌اکسید کربن باعث افزایش تولید زیست‌توده و محصول نهایی می‌شود (بنایان اول، ۲۰۱۰).

نسبت به این افزایش غلظت، گونه‌های C3[1] مثل (گندم، سویا، سیب‌زمینی و آفتابگردان) و C4[2] مثل (ذرت و سورگوم) واکنش متفاوتی نشان می‌دهند. در حقیقت، دو برابر شدن غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر باعث افزایش فتوسنتز به میزان ۳۰ تا ۵۰ درصد در گونه‌های C3 و ۱۰ تا ۲۵ درصد در گونه‌های C4 می‌شود (Lobell, D.B, et al., 2007).

در این میان، افزایش مقدار محصول نهایی کمتر از افزایش مقدار فتوسنتز است، بااین‌حال، در غلظت‌های بین (۵۰۰–۵۵۰ ppm[3]) عملکرد دانه‌های گونه‌های C3 همچنان به میزان ۱۰تا۲۰ درصد افزایش می‌یابد و این مقدار در گونه‌های C4 در حدود ۱۳ درصد است. همچنین لوبل و فیلد (۲۰۰۷) نشان داده‌اند عملکرد دانه به ازای هر واحد افزایش دی‌اکسید کربن در حدود ۰/۰۷ درصد افزایش می‌یابد (Lobell, D.B, et al., 2007).

بیشترین اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن زمانی حاصل می‌شود که شرایط محدودیت رطوبت وجود داشته باشد زیرا غلظت بیشتر دی‌اکسید کربن باعث افزایش راندمان کاربرد رطوبت در برگ‌ها و دیگر بخش‌های گیاه می‌گردد. کمبود مواد مغذی می‌تواند اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن را کاهش دهد. به دلیل وجود عوامل محدودکننده تولید، اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در مقیاس مزرعه احتمالاً کمتر از مقدار مشاهده‌شده در شرایط کاملاً کنترل‌شده‌ی آزمایشگاهی است. یک اثر غیرمستقیم و مهم افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، کاهش غلظت مواد مغذی در بدنه‌ی گیاه است که می‌تواند موجب کاهش کیفیت محصول شود.

---

[1] سه کربنه
[2] چهار کربنه
[3] Part per million

اثـر غیرمسـتقیم دیگـر افزایـش غلظـت دی‌اکسـید کربـن، افزایـش دمـای تـاج گیـاه (ناشـی از کاهـش قـدرت انتقـال اسـتوماترها) اسـت. بنابرایـن، کاهـش قـدرت انتقـال اسـتومات هـا ناشـی از افزایـش غلظـت دی‌اکسـید کربـن ممکـن اسـت تأثیـری مشـابه تأثیـر افزایـش درجـه حـرارت بـر رشـد و توسـعه گیـاه داشـته باشـد (Long, Stephen P., et al., 2004).

درجه حرارت:

درجـه حـرارت، اغلـب فرآیندهـای مرتبـط بـا تخمیـن مقـدار محصـول را تحـت تأثیـر قـرار می‌دهـد. درجایـی کـه محصـولات در نزدیکـی حـد بـالای درجـه حـرارت قابل‌تحمـل کشـت می‌شـوند، وقـوع دوره‌هـای بسـیار گـرم می‌توانـد بـرای گیـاه کشـنده باشـد درحالی‌کـه در مناطـق خنک‌تـر ماننـد شـمال شـرقی چیـن، افزایـش متوسـط سـالانه‌ی درجـه حـرارت از سال‌های دهـه ۱۹۸۰ باعـث افزایـش تولیدشـده اسـت. دماهـای بالاتـر می‌تواننـد اثـر مخربـی در مقـدار تولیـد محصـولات داشـته باشـند، زیـرا باعـث افزایـش فنولـوژی گیـاه شـده و زمـان تجمـع زیسـت‌توده را کاهـش می‌دهنـد (منـزل و همـکاران، ۲۰۰۹). بـا بررسـی اطلاعـات phenology [۱] گیـاه در ۲۰ کشـور اروپـا دریافتنـد کـه بـرای دوره ۱۹۷۱–۲۰۰۰ در ۷۸ درصـد مـوارد، جوانه‌زنـی، گلدهـی و میـوه دهـی زودتـر انجام‌شـده اسـت. سـادراس و مونـزون(۲۰۰۶) اثـر تغییـرات واقعـی درجـه حـرارت را بـر روی توسـعه فنولوژیکـی گنـدم شبیه‌سـازی کردنـد و نشـان دادنـد کـه گلدهـی پیـش از موعـد امـا قابـل پیش‌بینـی اتفـاق افتـاده، امـا تغییـری در طـول دوره گل‌دهـی تـا تکامـل گیـاه ایجـاد نشـده اسـت (انتقـال زمـان گلدهـی بـه ماه‌هـای خنک‌تـر سـال). به‌عنـوان یکـی از اثـرات تغییـر اقلیـم، نه‌تنهـا مقـدار متوسـط دمـا افزایـش می‌یابـد، بلکـه بـه دلیـل ایـن افزایـش در مقـدار متوسـط دما، روزهایـی بـا درجـه حرارت‌هـای بـالا بیشـتر بـه وقـوع می‌پیوندنـد. ایـن درجـه حرارت‌هـای بـالا می‌تواننـد اثـر منفـی زیـادی بـر رشـد و تولیـد محصـول داشـته باشـند (Sadras, V.O, et al., 2006). به‌عنوان‌مثـال درمـورد گنـدم افزایـش درجـه حـرارت در نزدیکـی دوره جوانه‌زنـی می‌توانـد وزن دانه‌هـا را کاهـش داده و باعـث کاهـش محصـول شـود. افزایـش متوسـط درجـه حـرارت می‌توانـد خسـارات ناشـی از یخبنـدان را کاهـش دهـد (کاهـش تواتـر روزهـای بسـیار سـرد). بااین‌حـال، اثـر غیرمسـتقیم درجـه حـرارت می‌توانـد در برخـی مناطـق باعـث افزایـش ریسـک ناشـی از یخبنـدان شـود. سـادراس و مونـزون (۲۰۰۶) نشـان دادنـد کـه انتقـال زمـان گلدهـی بـه ماه‌هـای خنک‌تـر سـال ناشـی از افزایـش سـرعت فنولـوژی گیـاه حاصـل از افزایـش درجـه حـرارت می‌توانـد ریسـک ناشـی از وقـوع یخبنـدان در دوره گلدهـی را افزایـش دهـد (Sadras, V.O, et al., 2006). از طرفـی بلانگـر و همـکاران (۲۰۰۲) نشـان دادنـد کـه افزایـش درجه حـرارت می‌توانـد باعـث کاهـش خسـارات ناشـی از سـرمازدگی در پاییـز را کاهـش دهـد. در اقلیم‌هـای سـردتر و در ارتفاع‌هـای بالاتـر، افزایـش درجـه حـرارت می‌توانـد طـول فصـل پتانسـیل رشـد را افزایـش دهـد (Belanger, G, et al., 2002).

اثـر افزایـش درجـه حـرارت بیـن گونه‌هـای مختلـف گیاهـی، متفـاوت اسـت. درجـه حـرارت بهینـه بـرای فتوسـنتز برگ‌هـا و رشـد گیـاه در گونه‌هـای C4 بیشـتر از گونه‌هـای C3 اسـت. گونه‌هـای C4 در مقایسـه بـا گونه‌هـای C3 دارای کارایـی بیشـتر، سـرعت فتوسـنتز بیشـتر و سـرعت رشـد بالاتـری هسـتند. گونه‌هایـی بـا دمـای پایـه‌ی بـالا بـرای جوانه‌زنـی، ماننـد ذرت[۲]، ارزن[۳]، آفتابگـردان[۴] و برخـی از بقـولات ماننـد لوبیـای هنـدی می‌تواننـد از اثـرات مثبـت افزایـش درجـه حـرارت در مناطـق خنک‌تـر بهره‌منـد شـوند. اغلـب غـلات ریزدانـه، برخـی بقـولات ماننـد نخودفرنگـی و عـدس کـه دارای دمـای پایـه‌ی پایین‌تـری هسـتند شـاهد افزایـش سـرعت فنولـوژی خواهنـد بـود (Belanger, G, et al., 2002).

به‌عنوان‌مثـال، سـادراس و مونـزون (۲۰۰۶) نشـان دادنـد کـه شـروع گل‌دهـی گنـدم در اقلیم‌هـای مختلـف، بـه ازای هـر درجـه افزایـش درجـه حـرارت، در حـدود ۷ روز زودتـر اتفـاق می‌افتـد (Sadras, V.O, et al., 2006).

در شـرایطی کـه حداقـل و حداکثـر دمـا بـا شـدت

---

[۱] فنولوژی (پدیده شناسی)

[۲] نام علمی: *Sorghum*

[۳] نام علمی: *Panicum miliaceum*

[۴] نام علمی: *Helianthus annuusm*

متفاوتی دچار تغییر می‌شوند تغییر دامنه تغییرات درجه حرارت روزانه بر روی برخی گیاهان اثر می‌گذارد. لوبل (۲۰۰۷) با تحلیل اطلاعات تاریخی مقدار محصول گندم، برنج و ذرت نشان داد که افزایش دامنه تغییرات درجه حرارت روزانه، در بسیاری از مناطق دنیا، موجب کاهش مقدار محصول برنج و ذرت شده است. این مسئله، نشان‌دهنده‌ی واکنش غیرخطی محصول به درجه حرارت است که احتمالاً از تنش‌های حرارتی بزرگ‌تر در روزهای بسیار گرم حاصل می‌شود (Lobell, D.B., 2007). پنگ و همکاران (۲۰۰۴) نیز دریافتند که محصول برنج به ازای هر واحد افزایش حداقل درجه حرارت، ۲ % کاهش می‌یابد (به دلیل تعرق شبانه)، اما این نتیجه‌گیری در مطالعات دیگر با چالش روبرو شده است (Peng, S.B, et al., 2004).

یکی دیگر از اثرات گرمایش زمین، افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی ناشی از افزایش درجه حرارت و کاهش مقادیر بارش است که می‌تواند تولید محصول را کاهش دهد. در کشاورزی دیم، این مسئله می‌تواند رشد محصول را محدود کند، در حالیکه در کشاورزی فاریاب، افزایش درجه حرارت می‌تواند باعث افزایش نیاز آبیاری و افزایش تلفات ناشی از تبخیر گردد. بااین‌حال، درصورتی‌که تغییرات آتی درجه حرارت مشابه تغییرات آن در ۵۰ سال گذشته باشد (افزایش حداقل درجه حرارت با سرعت ۲ برابر افزایش حداکثر درجه حرارت) (Berner, Robert A, 2018).

بارندگی:

گرمایش زمین به‌احتمال‌زیاد مقدار و الگوی بارش را در سطح کره تغییر می‌دهد. مجموعه‌ی بارندگی سالانه در عرض‌های بالایی و در نزدیکی استوا افزایش می‌یابد، در حالیکه در مناطق نیمه حاره‌ای، مقدار بارش کاهش‌یافته و تغییرات آن بیشتر می‌شود تغییر مقادیر بارش می‌تواند اثرات متفاوتی بر تولیدات کشاورزی داشته باشد (فراهانی و همکاران، ۱۳۹۷). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزایش بارندگی باعث افزایش رشد محصول شده، حال‌آنکه کاهش بارش می‌تواند تولید محصول را با محدودیت مواجه سازد. در مقابل، در مناطق مرطوب، افزایش بارندگی می‌تواند باعث آب‌گرفتگی خاک شده و رشد محصول را با مشکل مواجه سازد و یا باعث آبشویی مواد مغذی از خاک‌های شنی شود. در چنین مناطقی، کاهش بارندگی می‌تواند اثرات منفی ماندابی و آبشویی مواد مغذی را کاهش دهد. توزیع بارش نیز نقش مهمی در تعیین مقدار محصول نهایی دارد. بارندگی در زمان جوانه‌زنی و اطمینان از وجود منابع آب در طول دوره‌های شکل‌گیری و پر شدن دانه‌ها، را افزایش می‌دهد و این مسئله به‌ویژه برای محصولات یک‌ساله اهمیت زیادی دارد (Levine, Jonathan, et al., 2008).

بنابراین، تغییرات آتی در توزیع بارندگی فصلی بر رشد و مقدار تولید محصول اثرگذار خواهد بود. ایجاد تعادل بین رشد و آب مصرفی قبل و بعد از جوانه‌زنی یکی از روش‌های مقابله با توزیع غیریکنواخت بارش و کمبود آب آبیاری است. راهکارهای مدیریتی برای تغییر در نیاز آبی گیاهان، شامل تغییر زمان کاشت، مدیریت مواد مغذی، تراکم کشت و انتخاب رقم مناسب محصول است (Levine, Jonathan, et al., 2008).

تابش خورشیدی:

کاهش تابش خورشیدی می‌تواند تأثیر منفی شدیدی بر تولیدات کشاورزی داشته باشد، که البته می‌تواند به‌صورت کامل یا جزئی توسط افزایش درصد پراکنش نور جبران شود (اسدی و همکاران، ۲۰۱۹).

سلول‌های گیاهی انرژی خورشیدی را به قند تبدیل می‌کنند و کاهش تابش می‌تواند به‌صورت بالقوه میزان فتوسنتز و رشد گیاه را کاهش دهد. بااین‌حال، مقدار و شدت فتوسنتز معمولاً تحت تأثیر مقدار مواد مغذی و رطوبت موجود دچار محدودیت است (اسدی و همکاران، ۲۰۱۹).

کاهش تابش خورشیدی هم‌چنین باعث کاهش پتانسیل تبخیر می‌شود در مناطق دچار کمبود آب، این مسئله می‌تواند افزایش رطوبت موجود

بـرای گیـاه و افزایـش تولیـد محصـول را درپـی داشـته باشـد. هم‌چنیـن، کاهـش تبخیـر و تعـرق می‌توانـد مقـدار زهکشـی و آبشـویی مـواد مغـذی را کـه اثـرات منفـی شـدیدی بـر اکـو سـامانه‌ها دارنـد، کاهـش دهـد (Kläring, H-P, 2013).

ازن:

(O_3) شـکلی از اکسـیژن اسـت کـه جـز آلاینده‌هـای اتمسـفر در سـطح زمیـن محسـوب می‌شـود. در حـدود ۹۰ درصـد ازن موجـود در اتمسـفر در طبقـه فوقانـی جـو قـرار دارد و باقـی آن، در طبقـه پاییـن جـو توزیـع شـده اسـت.

ازن موجـود در لایه‌هـای مختلـف اتمسـفر، اثـر متفاوتـی در زندگـی بـر روی سـطح زمیـن دارنـد. ازن واقـع در طبقـه فوقانـی، نقـش مثبتـی در جـذب اشـعه مـاورا بنفـش (UV-B) دارد و اجـازه رسـیدن آن بـه سـطح زمیـن را نمی‌دهـد. بـا تخریـب لایـه ازن موجـود در ایـن بخـش از اتمسـفر، مقـدار اشـعه مـاورا بنفـش اندازه‌گیـری شـده در سـطح زمیـن نیـز در طـی دهه‌هـای گذشـته افزایـش پیداکـرده اسـت. ایـن افزایـش، باعـث کاهـش توسـعه‌ی برگ‌هـا و تجمیـع زیسـت‌توده در گیاهـان شـده اسـت و می‌توانـد موجـب افزایـش تـوان تحمـل گیاهـان نسـبت بـه آفـات شـود.

ازن، یـک اکسـیدکننده بسـیار قـوی اسـت. بنابراین، ازن نزدیک‌تـر بـه سـطح زمیـن به‌صـورت بالقـوه بـرای گیاهـان مضـر اسـت. در محصـولات کشـاورزی، ازن می‌توانـد باعـث افزایـش سـرعت پیـر شـدن گیاهـان شـود. درمجمـوع، افزایـش

جدول ۱. خلاصه‌ای از وضعیت تغییر اقلیم و اثر آن بر محصولات کشاورزی

متغیر اقلیمی	روند واقعی	روند آتی	اثر کلی بر رشد محصولات
دی‌اکسید کربن	۱/۴ ppm/year ۳۷۹ppm در سال۲۰۰۶	۱/۳ ppm/year ۴۵۰ ppm در سال۲۰۵۰	افزایش شدت فتوسنتز تولیدزیست‌توده و راندمان تعرق کاهش تعرق افزایش دمای تاج گیاه کاهش غلظت مواد مغذی در گیاه
حداکثر دما	از ۱۹۰۶تا ۲۰۰۵، ۵۶٪درجه	۰۲٪ درجه در سال(۳/۱ تا ۷/۱ درجه تا سال ۲۰۵۰)	افزایش تنش حرارتی
متوسط دما	از ۱۹۰۶تا ۲۰۰۵، ۷۴٪ درجه	۰۲٪ درجه در سال(۳/۱ تا ۷/۱ درجه تا سال ۲۰۵۰)	افزایش شدت فتوسنتز و رشد گیاه
حداقل دما	از ۱۹۰۶تا ۲۰۰۵، ۹۲٪ درجه	۰۲٪ درجه در سال(۳/۱ تا ۷/۱ درجه تا سال ۲۰۵۰)	کاهش خطر یخبندان
بارندگی	۰/۱۱ mm/year	متغیر در سطح کره زمین . به‌طورکلی، افزایش در عرض‌های بالایی و کاهش در عرض‌های پایینی	اثر مثبت یا منفی، بسته به جهت و مقدار تغییرات و تغییر سایر عوامل
تابش خورشیدی	کاهش تابش خورشیدی و افزایش جزء پخشیده شده نور ۶۰۰۵ W/m۲ در سال ۲۰۰۵	کاهش تابش خورشیدی و افزایش جزء پخشیدهٔ نور	امکان افزایش فتوسنتز به دلیل افزایش جزء پخشیدهٔ نور وجود دارد امکان کاهش فتوسنتز به دلیل کاهش تابش خورشیدی وجود دارد
ازن در لایه تروپوسفر	۰/۵ تا ۲/۵ درصد در سال	۰/۵ تا ۲/۵ درصد در سال	افزایش صدمه به برگ‌ها کاهش میزان رشد و تولید محصول
ازن در لایه استراتوسفر	۰/۶ درصد در سال	۰/۱ تا ۰/۲ در سال	کاهش توسعه برگ‌ها کاهش تجمع زیست‌توده

غلظت دی‌اکسید کربن می‌تواند باعث افزایش رشد گیاه شود، اما افزایش مقدار ازن در مقدار ثابت دی‌اکسید کربن، می‌تواند مقدار محصول را در بسیاری از گونه‌ها کاهش دهد. این تأثیر منفی از کاهش جذب کربن فتوسنتزی ناشی می‌شود. پلیزل و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کرده‌اند که غلظت N[1] دردانه محصولات، با افزایش میزان ازن افزایش پیدا کرده است و منجر به بهبود کیفیت نان در گندم بهاره گردیده است. بااین‌حال، افزایش ازن می‌تواند بر کیفیت سیب‌زمینی اثر منفی داشته باشد. به‌طورکلی، افزایش غلظت ازن بر روی رشد گیاهان، اثر منفی داشته و مقدار افزایش محصول ناشی از افزایش غلظت دی‌اکسید کربن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ashmore, M. R., 2005).

اثر ترکیبی تغییر اقلیم:

به‌منظور تدوین استراتژی‌های سازگاری با تغییر اقلیم، درک روابط متقابل تغییر در درجه حرارت، بارش و غلظت دی‌اکسید کربن از اهمیت زیادی برخوردار است. این مسئله، در مطالعه صحرایی اثر دی‌اکسید کربن و مقدار آب موجود بر روی گندم و اثر متقابل دی‌اکسید کربن و درجه حرارت بر روی نوعی چمن مورد ارزیابی قرارگرفته است (امیر نژاد و همکاران، ۲۰۱۷).

ویلر و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که اثر مثبت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تا مرز ۷۰۰ ppm در انگلستان، توسط افزایش درجه حرارت بین ۱ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گراد خنثی می‌شود. درک این مسئله مهم است که روابط متقابل عناصر موجود در ارزیابی اثر تغییر اقلیم، پیش از تدوین استراتژی‌های سازگاری مشخص شود. به‌عنوان‌مثال، روش سازگاری با درجه حرارت‌های بالا می‌تواند با روش سازگاری با کاهش مقادیر بارش متفاوت باشد (Vilà, Montserrat, et al., 2021).

نتیجه‌گیری:

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تا نیمه‌ی قرن حاضر پدیده تغییر اقلیم، پیامدهای قابل‌توجهی را بر بسیاری از شاخص‌های اقلیمی مرتبط با کشاورزی به همراه خواهد داشت. ازآنجاکه اهمیت هریک از این شاخص‌ها بر گونه گیاهی، متفاوت است، ارزیابی پاسخ گیاهان زراعی به این تغییرات مستلزم انجام مطالعات موردی خواهد بود. در زمینه اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصولات کشاورزی نشان از اثر معنی‌دار این پدیده بر محصولات کشاورزی دارد. ازآنجاکه اقلیم یکی از عوامل تعیین‌کننده‌ی امکان و کیفیت زیست موجودات زنده به‌ویژه انسان است، تغییر اقلیم اثراتی جهانی، برگشت‌ناپذیر و تدریجی بر روی تنوع زیستی و حیات زنده، برخلاف سایر تهدیدهای انسانی نظیر آلودگی، افزایش گازهای گلخانه‌ای یا تغییر کاربری اراضی، اعمال می‌کند. شاید مهم‌ترین شاخص‌های تغییر اقلیمی در اکوسیستم‌ها رخداد تغییر در فنولوژی، پراکندگی و فراوانی موجودات زنده است. باید دقت داشت که رابطه‌ی بین اقلیم و حیات زنده یک رابطه دوطرفه است. بشر امروزی دو راهکار اصلی را برای مقابله و یا کنار آمدن با پدیده‌ی تغییر اقلیم اختیار کرده است که عبارت‌اند از:

۱) سازگاری

۲)کاهش شدت

سازگاری به فقدان محیط زندگی و کاهش شدت به جلوگیری از ایجاد یا تقلیل شدت آن اطلاق می‌گردد.

از میان شاخص‌های اقلیمی افزایش غلظت CO_2 به دو روش بر فرایندهای گیاه و تولیدات زراعی تأثیر می‌گذارد، یکی تأثیر مستقیم این گازها بر فرایندهای گوناگون فیزیولوژیکی گیاه است و دیگری تأثیر غیرمستقیم از راه تغییرات دما، بارندگی و تابش است. این تأثیرات به ترتیب به اثرات مستقیم و اثرات اقلیمی (اثرات غیرمستقیم) معروف هستند و با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان بیان کرد که اثر مستقیم این گاز در ایران بیشتر بوده و باعث افزایش فرایند فتوسنتز و کاهش تعرق شده است.

[1] نیتروژن

تغییر اقلیم و اثر CO_2 ممکن است از یک منطقه به منطقه‌ای دیگر و یا حتی در یک مقیاس کوچک‌تر اثری متفاوت داشته باشد. لذا، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و باوجود ارتباطی مثبت و معنی‌دار که بین انتشار CO_2 و گونه‌های گیاهی به وجود آمده است، نباید پیش‌بینی‌هایی که در مطالعات علمی داخلی و خارجی و گزارش‌های IPCC که حاکی از افزایش دمای کشور ایران در آینده است را نادیده گرفت؛ چراکه یکی از مهم‌ترین عوامل گرم شدن زمین افزایش گازهای گلخانه‌ای است. این عامل، باعث تأثیرات اقلیمی که درواقع همان افزایش دما است، خواهد شد و منجر به کاهش تولید محصولات زراعی حساس به دما می‌شود. لذا، دولت باید از انتشار بیش‌ازحد این گازها جلوگیری کند. ازاین‌رو توصیه می‌شود که به‌جای استفاده از سوخت‌های فسیلی از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و باد در سطحی گسترده در کشور استفاده شده و برای جذب بیشتر CO_2 به‌وسیله منابع طبیعی، مانع از نابودی جنگل‌ها و برداشت بی‌رویه درختان جنگلی شده و در کشور طرح‌های درختکاری اجرا و نهادینه شود.

منابع

۱. امیر نژاد، حمید، اسد پور کردی. "بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم ایران." فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی۹،۳۵ (۲۰۱۷): ۱۶۳-۱۸۲.

۲. اسدی، زارع ابیانه، حمید، دلاور، اسدی، آذر. اثر پدیده‌ی تغییر اقلیم بر فرا سنجه‌های اقلیمی همدان. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیطزیست. (۲۰۱۹) ۲۲Nov;۱:۲۱۹-۴.

۳. نوده فراهانی، محمدعلی، راسخی، آنا، پرماس بهنام، کشوری عبدالرحمان. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشک‌سالی های دوره آتی حوضه شادگان،(۱۳۹۷).

٤. بنایان اول، محمد. "ارزیابی کارایی مدل‌های رشد، نمو گیاهان زراعی در شرایط افزایش CO_2."آب‌وخاک ۲۳ (۲۰۱۰).

5. Ababaei, B., Ramezani Etedali, H., 2013. Climate Change Trend across the World and Crops Responses to It. Civilica, Publisher of Iranian Journals and Conference Proceedings.

6. Ashmore, M. R. "Assessing the future global impacts of ozone on vegetation." Plant, Cell & Environment28.8 (2005): 949-964.

7. Abler D, Amir S, Assel R, Barron EJ, Bonsal BR, Brovkin V, Burkett V, Claussen M, Corell RW, Cronk K, Darwin R. K Climatic Change 57: 363, 2003.

8. Berner, Robert A. "Chemical weathering and its effect on atmospheric CO2 and climate." Chemical weathering rates of silicate minerals (2018): 565-584.

9. 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.

10. Croll, James. Climate and time in their geological relations: a theory of secular changes of the Earth's climate. Cambridge University Press, 2012.

11. Epa, U. S. "United States environmental protection agency." Quality Assurance Guidance Document-Model Quality Assurance Project Plan for the PM Ambient Air2 (2001).

12. IPCC. 2007. Climate Change 2007. Cambridge University Press, New York.

13. Jentsch, Anke, Jürgen Kreyling, and Carl Beierkuhnlein. "A new generation of climate-change experiments: events, not trends."

21. Motha, Raymond P., and Wolfgang Baier. "Impacts of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temperate regions: North America." Climatic Change70.1 (2005): 137-164.

22. Ortiz R, Sayre KD, Govaerts B, Gupta R, Subbarao GV, Ban T, Hodson D, Dixon JM, Ortiz-Monasterio JI, Reynolds M. Climate change: can wheat beat the heat?. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2008 Jun 1;126(1-2):46-58.

23. Peng, S.B., Huang, J.L., Sheehy, J.E., Laza, R.C., Visperas, R.M., Zhong, X.H., Centeno, G.S., Khush, G.S., Cassman, K.G.,. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. Proc. Natl. Acad. Sci .(2004): 101, 9971-9975.

24. Rosenzweig C, Parry ML, Gischer G, Frohberg K. Climate change and world food supply. Research Report-Environmental Change Unit, University of Oxford (United Kingdom). 1993.

25. Sadras, V.O., Monzon, J.P.,. Modelled wheat phenology captures rising temperature trends: Shortened time to flowering and maturity in Australia and Argentina. Field Crops Researchs. (2006)99, 136-146

26. Thomas Chris D. "Climate, climate change and range boundaries." Diversity and Distributions 16.3 (2010): 488-495.

27. Vilà, Montserrat, et al. "Understanding the combined impacts of weeds and climate change on crops." Environmental Research Letters16.3 (2021): 034043.

Frontiers in Ecology and the Environment 5.7 (2007): 365-374.

14. Janjua, Pervez Zamurrad, Ghulam Samad, and Nazakatullah Khan. "Climate change and wheat production in Pakistan: an autoregressive distributed lag approach." NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences68 (2014): 13-19.

15. Kläring, H-P., and A. Krumbein. "The effect of constraining the intensity of solar radiation on the photosynthesis, growth, yield and product quality of tomato." Journal of Agronomy and Crop Science199.5 (2013): 351-359.

16. Liancourt, Pierre, et al. "Plant response to climate change varies with topography, interactions with neighbors, and ecotype." Ecology94.2 (2013): 444-453.

17. Long, Stephen P., et al. "Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future." Annu. Rev. Plant Biol. 55 (2004): 591-628.

18. Lobell, D.B., 2007. Changes in diurnal temperature range and national cereal yields. Agricultural and Forest Meteorology.145, 229-238.

19. Levine, Jonathan M., A. Kathryn McEachern, and Clark Cowan. "Rainfall effects on rare annual plants." Journal of Ecology96.4 (2008): 795-806.

20. Marx W, Haunschild R, French B, Bornmann L. Slow reception and under-citedness in climate change research: A case study of Charles David Keeling, discoverer of the risk of global warming. Scientometrics. 2017 112(2):1079-92.