تغییر اقلیم و تأثیر آن بر رشد و نمو گیاهان زراعی

ثریا نوید[1]

دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی

دانشگاه تهران

غذا ازجمله نیازهای بنیادی جامعه بشری است که تأمین آن در مقوله امنیت غذایی نهفته است. بنا بر تعریف سازمان ملل، امنیت غذایی عبارت است از دسترسی همه مردم در تمام اوقات به غذای کافی، سالم و مغذی به‌منظور داشتن زندگی سالم و فعال می‌باشد و تأمین امنیت غذایی برای جامعه یکی از اهداف کلان برنامه‌ریزی‌های اقتصادی و اجتماعی است.

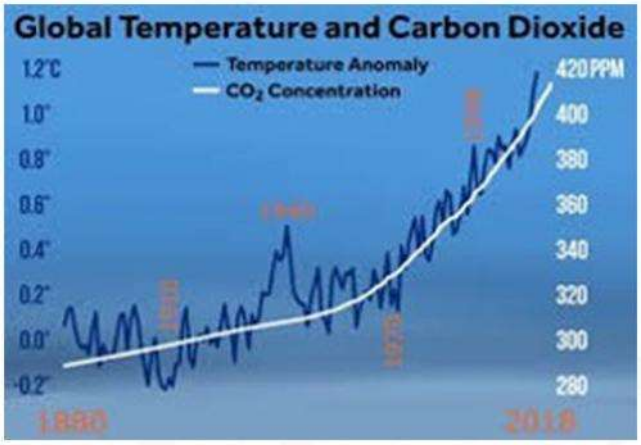
سازمان فائو با توجه به چشم‌انداز امنیت غذایی، تولید مواد غذایی در قرن حاضر را با مشکلاتی پیش‌بینی نموده است. چالش‌های پیش‌روی دستیابی به امنیت غذایی در جهان شامل افزایش جمعیت، پدیده‌ی تغییر اقلیم، تخریب خاک (فرسایش، شور شدن، تخلیه مواد آلی و عدم تعادل عناصر غذایی)، کاهش منابع آبی و آب قابل‌دسترس، رقابت بر سر زمین‌های زراعی برای شهرسازی و مصارف غیر کشاورزی می‌باشند. بی‌تردید، در میان این چالش‌ها، پدیده‌ی تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین مشکلات تولید محصولات کشاورزی و دستیابی به امنیت غذایی محسوب می‌شود و به‌شدت مناطق مختلف جهان ازجمله مناطق خشک و نیمه‌خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

شکل ۱- چالش‌های پیش روی تأمین امنیت غذایی

1. navid.sorayya@yahoo.com

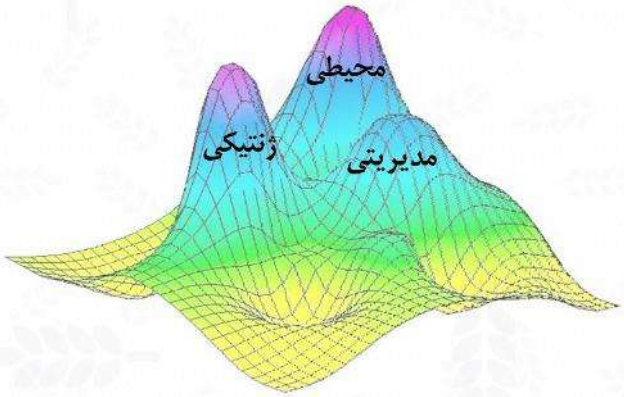
اثرات تغییر اقلیم در برخی مناطق به‌ویژه کشورهای واقع در عرض‌های بالایی می‌تواند مثبت باشد، درحالی‌که این اثرات برای مناطق واقع در عرض‌های جغرافیایی میانی که ایران هم جزء آن می‌باشد، عمدتاً اثر منفی روی عملکرد محصولات کشاورزی می‌گذارد.

در سه دهه گذشته تغییرات اقلیمی ناشی از تجمع گازهای گلخانه ای که خود باعث تغییراتی در پراکنش و مقدار نزولات جوی و دمای محیط شده، موردتوجه دانشمندان قرار گرفته است.
مقدار گازهای گلخانه‌ای ازجمله دی‌اکسید کربن به دلیل فعالیت‌های مختلف انسانی در سه دهه‌ی گذشته با شتاب بیشتری نسبت به قرون گذشته افزایش نشان داده است. میزان گاز کربنیک از ۲۸۰ پی پی‌ام از قبل از دوران صنعت به ۴۲۰ پی پی‌ام در سال ۲۰۱۸ رسیده است.



شکل ۲- تغییرات جهانی غلظت دی‌اکسید کربن و درجه حرارت

غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر به‌طور متوسط تا ۵۰ سال آینده در خوش‌بینانه‌ترین به ۴۵۰ پی‌پی‌ام خواهد رسید که استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی و از بین بردن جنگل‌ها از مهم‌ترین دلایل این افزایش به‌شمار می‌آیند. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و نیز سایر گازهای گلخانه‌ای از طریق جذب بیشتر تابش طول‌موج بلند که از زمین گسیل می‌شود، باعث ایجاد تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما و به‌تبع آن تغییر الگوی بارندگی و تابش خورشیدی می‌شود.
رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی تحت تأثیر خصوصیات اقلیمی، ژنتیکی و مدیریتی گیاه است (شکل ۳). دسترسی به نور، آب، دما، مواد غذایی و پویایی گیاه در جذب دی‌اکسید کربن و تبدیل آن به ماده خشک و توزیع آن به بخش‌های مختلف گیاه مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاه می‌باشند و در این بازه تشعشع، آب و دی اکسید کربن سه جزء اساسی موردنیاز گیاهان برای رشد و نمو بوده و در یک دامنه‌ی وسیع، افزایش هر سه جزء باعث افزایش رشد و بهره‌دهی گیاهان می‌گردد. به‌طورکلی افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به دو طریق بر فرآیندهای گیاه و تولیدات زراعی تأثیر می‌گذارد؛ یکی تأثیر مستقیم این گاز بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه است و دیگری اثرات غیرمستقیم (اثرات اقلیمی) آن از طریق تغییرات دما، بارندگی و تشعشع است که گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (شکل ۴). ازآنجاکه دی‌اکسید کربن یک ماده محدودکننده در فتوسنتز به‌شمار می‌آید، افزایش غلظت آن می‌تواند باعث افزایش فتوسنتز شود. این افزایش در گیاهان سه کربنه بیشتر از گیاهان چهار کربنه است، زیرا گیاهان چهار کربنه فاقد تنفس نوری هستند و فتوسنتز آن‌ها کمتر تحت تأثیر غلظت‌های پایین دی‌اکسید کربن قرار می‌گیرد.



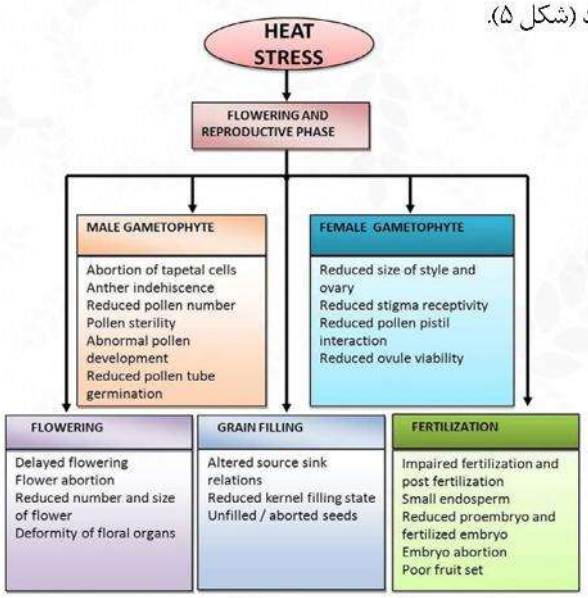
شکل ۳- عوامل مؤثر بر رشد و نمو گیاهان زراعی

شکل ۴- جنبه‌های اصلی تغییر اقلیم

تغییر در الگوی بارشی و تغییر در الگوی زیستی نیز دو جنبه مهم دیگر تغییر اقلیم است که با ایجاد تنش‌های زیستی اثراتی روی رشد گیاهان خواهد داشت. تأثیر بارندگی بر رشد و عملکرد گیاهان را می‌توان در دو حالت مختلف شامل تأثیر آن روی وقوع خشکسالی و ایجاد حالت تنش خشکی بر گیاه از یکسو و وقوع بارش زیاد و ایجاد حالت غرقابی و تنش ماندابی ناشی از آن از سویی دیگر مورد مطالعه قرار داد. تنش خشکی با تحت تأثیر قرار دادن فاکتورهای مختلف مؤثر بر رشد گیاه نظیر تبخیر - تعرق، میزان رطوبت خاک قابل‌دسترس گیاه، توزیع ریشه و میزان شاخص سطح برگ گیاه می‌تواند کاهش در میزان عملکرد را با خود به همراه داشته باشد. از اثرات جانبی تنش خشکی روی گیاه نیز می‌توان به بسته شدن روزنه‌های گیاه و متعاقب آن کاهش میزان ورود دی‌اکسید کربن به گیاه و درنتیجه کاهش میزان فتوسنتز اشاره نمود که درنهایت باعث کاهش عملکرد گیاه خواهد شد.

تنش ماندابی نیز که در اثر بارش شدید با وقوع سیل اتفاق می‌افتد، می‌تواند با کاهش میزان اکسیژن در ناحیه توسعه ریشه، سبب کاهش تنفس گیاه و کاهش فعالیت ریشه و نیز تسریع در روند پیر شدن ریشه و در نهایت مرگ گیاه گردد. همچنین تنش ماندابی سبب کاهش میزان جذب آب توسط ریشه گردیده و بنابراین همانند تنش خشکی سبب کاهش در میزان عملکرد گیاه می‌گردد. تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی تنها محدود به افزایش متوسط مقادیر درجه حرارت و بارش نمی‌شود، چنان‌که فراوانی و شدت تغییر پارامترهای هواشناسی در فصل رشد از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد که بدون تردید درجه حرارت هوا مهم‌ترین پارامتر هواشناسی است که فرآیندهای مختلف رویشی و زایشی گیاهان را تحت کنترل دارد. درجه حرارت اصلی‌ترین عامل محیطی کنترل‌کننده بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان ازجمله فتوسنتز و تنفس بوده و علاوه بر این نمو گیاهان که اصلی‌ترین مرحله آن گل‌دهی می‌باشد نیز توسط درجه حرارت محیط تنظیم می‌شود.

در حالت کلی، افزایش درجه حرارت تا یک حد بهینه با افزایش سرعت رشد و توسعه گیاه توأم بوده، اما اگر درجه حرارت فراتر از حد آستانه گیاه شود (تنش گرمایی)، رشد گیاه روند کاهشی به خود می‌گیرد و در چنین شرایطی عملکرد گیاهان احتمالاً به علت کوتاه شدن سیکل فنولوژیک در گیاه یا تسریع مراحل فنولوژیک، افزایش سرعت تنفس شبانه، کاهش جذب مواد غذایی، افزایش احتمال ناباروری سنبلچه، تشکیل دانه‌های کمتر و کاهش ظرفیت مخزن هنگام پر شدن دانه، کاهش خواهد یافت. همچنین با کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد ناشی از افزایش دما، میزان تابش جذب‌شده کاهش یافته و زمان کمتری برای تجمع ماده خشک در اختیار گیاه خواهد بود (شکل ۵).



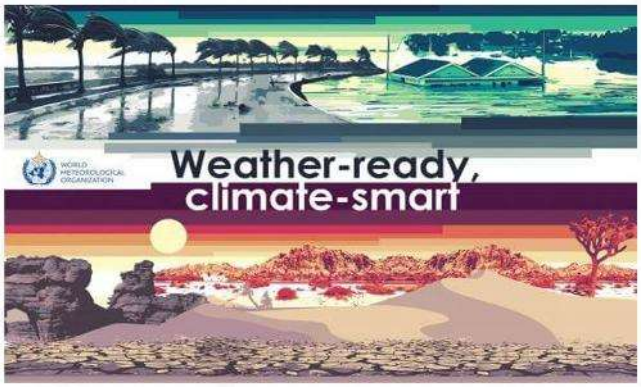
شکل ۵- تأثیر تنش گرمایی بر مراحل فنولوژیک گیاهان زراعی

راه‌کارهای سازگاری (Adaptation) و تخفیف (Mitigation) جهت کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم

ازآنجایی‌که تولید محصولات زراعی مستقیماً به شرایط اقلیمی وابسته است، کشاورزی یکی از اولین بخش‌هایی است که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد. اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند ولی مدیریت و تغییر در فاکتورهایی چون آبیاری، خاک، رقم، فعالیت‌ها و تکنولوژی های مورد استفاده در کاشت محصولات زراعی می‌توانند در کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی نقش به سزایی داشته باشد.

سازگاری و **تخفیف** دو روش شناخته‌شده برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم می‌باشند. استراتژی‌های تخفیف به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق فعالیت‌های مدیریتی مختلف از قبیل کاهش کارکرد کودهای شیمیایی، مکانیزاسیون، افزایش ترسیب کربن، کشت و کار گیاهان زراعی با هدف تولید سوخت های زیستی، حرکت به سمت کشاورزی ارگانیک و غیره اشاره دارد. منظور از سازگاری نیز استراتژی‌هایی است که رشد و نمو گیاه طوری تنظیم شود که کمتر در معرض تغییرات اقلیمی قرار گیرد.

راه‌کارهـای سـازگاری بسـته بـه سیسـتم کشـاورزی، منطقـه و سـناریوهای غیراقلیمـی متفـاوت می‌باشـد. ازجملـه ایـن اسـتراتژی هـا می‌تـوان بـه تغییـر تاریـخ کاشـت، تراکـم کاشـت، انتخـاب رقـم مناسـب، زراعـت حفاظتـی، اسـتفاده از بقایـای گیاهـی به‌عنـوان مالچ و غیره اشاره نمود.



روش‌هـای مطالعـه تغییـر اقلیـم و تأثیـر آن بـر رشـد و نمـو گیاهان زراعی

بـا توجـه بـه اهمیـت تغییـر اقلیـم و تأثیـر آن بـر رشـد، نمـو و عملکـرد گیاهـان زراعـی ابزارهـای متنوعـی بـرای بررسـی ایـن اثرات توسـعه یافته‌انـد. یکـی از معتبرتریـن و کم‌هزینه‌تریـن ابـزار جهـت بررسـی اثـرات پدیـده تغییـر اقلیـم بـر سیسـتم‌های مختلـف، اسـتفاده از دانـش مدل‌سـازی اسـت. آزمایش‌هـای انجام‌شـده در محیط‌هـای کنترل‌شـده، اطلاعـات ارزشـمندی در مـورد تأثیـر افزایـش درجـه حـرارت و غلظـت دی‌اکسـید کربـن بـر رشـد گیاهان و فرآیندهـای نمـوی را ایجـاد کـرده اسـت، ولـی این مطالعات بسـیار پرهزینه بوده و اجرای آن‌ها به ابزار دقیق بستگی دارد.

روش‌هـای مطالعـه اثـرات تغییـرات اقلیمی بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی

- داده‌های تجربی

اسـتفاده از آزمایش‌هـای کنترل‌شـده کـه مسـتلزم داشـتن امکانات ویژه و صرف هزینه‌های سنگین.

- مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول (فرآیند گرا)

بیـان مفاهیـم به‌صـورت کمّـی، جلوگیـری از تکـرار برخـی آزمایش‌ها و صرفه‌جویی در وقت و هزینه.

توسـعه‌ی روش‌هـای مدل‌سـازی روشـی جایگزیـن مناسـب و کـم هزینـه بـرای ایـن نـوع مطالعـات اسـت کـه در حـال حاضـر موردتوجـه محققیـن قـرار گرفتـه اسـت. مدل‌هـای گـردش عمومـی ابـزار مناسـب و درعین‌حـال دقیقـی بـرای پیش‌بینـی شـرایط اقلیمـی آینـده بـوده و داده‌هـای لازم بـرای اجـزای مدل‌هـای شـبیه سـازی رشـد و نمـو محصـولات زراعـی تحـت شـرایط تغییر اقلیـم را فراهـم می‌کننـد؛ بنابرایـن بـا در اختیـار داشـتن اطلاعـات خروجـی از مدل‌هـای رشـد گیاهـان زراعـی می‌تـوان فرآیندهـای مرتبـط بـا تغییـر اقلیـم را بـا سـرعت زیـاد و هزینـه کمتـر پیش‌بینـی نمـود. بااین‌حـال ایـن مطالعـات در ایـران باسـابقه چندانـی برخـوردار نیسـت و اطلاعـات اندکـی در مـورد پاسـخ محصـولات زراعـی بـه شرایط اقلیمی آینده ایران در اختیار می‌باشد.

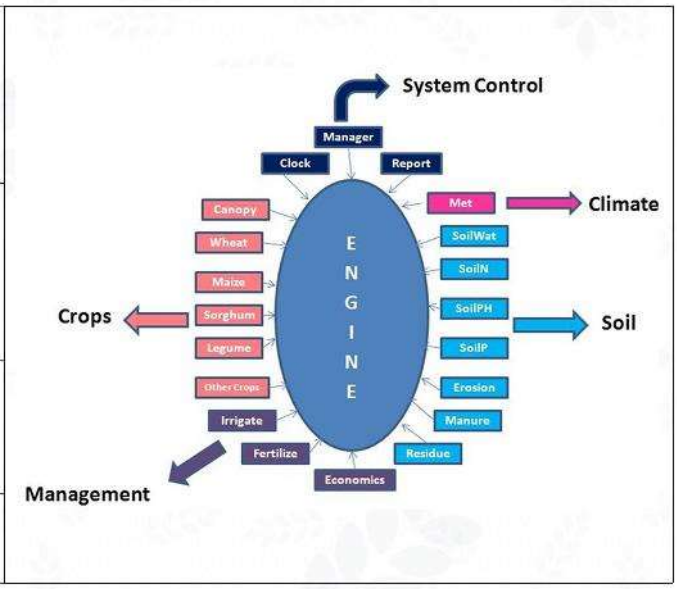
مدل‌سـازی گیاهـان زراعـی یکـی از شـاخه‌های زراعـت و فیزیولـوژی گیاهـان زراعـی اسـت کـه تاریخچـه پیدایـش بسـیاری از مدل‌هـای زراعـی بـه دهـه ششـم قـرن بیسـتم و پـس‌ازآن برمـی گـردد. مدل‌هـا در حقیقـت شـمایی ساده‌شـده از سیسـتم‌های واقعـی هسـتند و بسـیار شـبیه بـه آن‌هـا عمـل می‌نماینـد. مـدل هـای زراعـی به‌طـور قابل‌ملاحظـه‌ای موجـب افزایـش درک کشـاورزان و متخصصـان از روابـط موجـود میـان گیـاه زراعـی و محیـط پیرامـون و کمـک بـه اتخـاذ راهکارهـای مدیریتـی مناسـب هسـتند. شبیه‌سـازی نیـز، رشـد، نمـو و عملکـرد گیاهـان زراعـی را پیش‌بینـی می‌کنـد و بـرای انجـام مطالعـات مختلـف ازجملـه انتخـاب گیـاه و رقـم مناسـب بـرای یک منطقـه، تعییـن خصوصیات مطلـوب گیاهـی، تعییـن بهتریـن مدیریـت زراعـی، پیش‌بینـی اثـر تنـوع و تغییـر اقلیـم بـر رشـد و عملکرد محصـول و تخمیـن عملکرد بالقوه استفاده می‌شوند.

بنابرایـن در سیسـتم‌های کشـاورزی بـا توجـه بـه این‌کـه عملکـرد و بهـره‌وری گیاهـان بسـته بـه شـرایط محیطـی و عوامـل آب و هوایـی متفـاوت اسـت لـذا مدل‌هـای مختلفـی بـرای تشـخیص شـکاف عملکردی و بهینه‌سازی پتانسیل تولید توسعه یافته‌اند.

ازجملـه ایـن مدل‌هـا می‌تـوان بـه مدل‌هـای APES، APSIM، CERES، CROPGRO، CropSyst، DAISY، DSSAT، EPIC، FASSET، HERMES، RZWQM، STICS، SWAP، SOYGRO و WOFOST می‌تـوان اشـاره کـرد کـه برخـی از آن‌هـا ازجملـه مـدل پرقدرت استرالیایی APSIM قادر است وضعیت یک مزرعه را ازنظر شرایط خاکـی و گیاهـی بـا جزئیـات مناسـب شبیه‌سـازی نمایـد و رشـد و نمـو بیـش از ۲۰ گیـاه متفـاوت را شبیه‌سـازی کنـد و شـامل زیـر مدل‌هـای اختصاصـی بـرای گنـدم، ذرت، سـورگوم، ارزن،

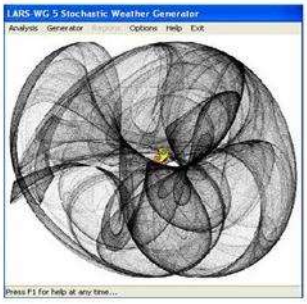
لگوم‌هـای دانـه‌ای متنـوع، آفتاب‌گـردان، کتـان، چغندرقنـد و یونجه می‌باشد.

ایـن مدل‌هـا ابـزاری کارآمـد بـرای آزمـون فرضیه‌هایـی هسـتند کـه آزمایـش آن‌هـا در سیسـتم‌های زراعـی واقعـی ممکـن اسـت سـال هـا بـه طـول بینجامـد. در دهه‌هـای اخیـر مطالعـات زیـادی در مورد اثـر تغییـر اقلیـم بـر کشـاورزی و تولیـد گیاهـان زراعـی در سـطح دنیـا انجـام شـده کـه در بسـیاری از ایـن مطالعـات، ترکیبـی از مدل‌هـای گیـاه زراعـی و مدل‌هـای اقلیمـی اسـتفاده شده‌اسـت، بنابرایـن در مدل‌سـازی لازم اسـت تـا علـوم مختلـف (بیولـوژی، فیزیـک، شـیمی، اقتصـاد و ریاضـی) بـا یکدیگـر تلفیـق شـده تـا بتـوان اثـرات متقابـل بیـن جنبه‌هـای مختلـف فیزیکـی (آب‌وهـوا، تشعشـع و رطوبـت خـاک)، شـیمیایی (غلظـت CO2 و عناصـر غذایـی) و بیولوژیـک (آفـات، بیماری‌هـا، علف‌هـای هـرز و سایر گیاهان موجود در جامعه) سیستم طبیعی را کمّی کرد.



اقلیمی	داده‌های اقلیمی بلندمدت (حداقل ۳۰-۲۰ ساله) شامل کمینه و بیشینه‌ی دمای روزانه برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد، بارندگی روزانه برحسب میلی‌متر و شدت تشعشع روزانه خورشیدی برحسب مگا ژول در مترمربع در روز
خاکی	بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن)، وزن مخصوص ظاهری، ضرایب نگهداری آب در خاک شامل نقطه‌ی اشباع، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم و محتوای نیتروژن معدنی خاک در عمق توسعه ریشه.
گیاهی	مراحل فنولوژیک مهم (مشتمل بر تاریخ کاشت، تاریخ سبز شدن، وقوع گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک) عملکرد دانه و وزن خشک به تفکیک اندام
مدیریتی	تاریخ کاشت، تراکم کاشت، فاصله بین ردیف، میزان کود دهی، زمان کود دهی، آبیاری، رقم و زمان برداشت

جدول ۱ ورودی‌های مدل‌های اقلیمی و زراعی



ازجملـه راه‌هـای مطالعـه و پیش‌بینـی تغییـرات اقلیـم نیـز اسـتفاده از مدل‌هـای گـردش عمومـی جـو (GCM) می‌باشـد، ایـن مدل‌هـا سـه‌بعدی بـوده و قادرنـد سیسـتم اقلیمـی را بـا لحـاظ نمـودن اکثـر فرآینـدها در مقیـاس جهانـی و یا قـاره‌ای شبیه‌سـازی کنند. مدل‌هـای گـردش عمومـی جـو بـر پایـه قوانیـن فیزیکـی کـه به‌وسـیله روابـط ریاضـی ارائـه می‌شـوند، اسـتوار هستند.

تاکنـون مدل‌هـای گـردش عمومی مختلفـی در مراکـز مختلـف تحقیقـاتی تـدوین و طراحـی شـده اسـت. از آن جملـه مـی‌تـوان بـه مدل‌های CCSR-NIES، CGCM2، CSIRO MK2، ECHAM۴ OPYC3، GFDL R30، HadCM3، GISS-E-R، IPSL-CM4 و CNRM-CM4 اشـاره کـرد کـه بـا نرم‌افزارهـای اقلیمی LARS و MarkSim قابل اجرا هستند.

منابع:

- Fallon, P. and Betts, R. 2010. "Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation-The importance of an integrated approach." Science of the Total Environment 408: 5667-5687.

- Holzworth, D. Huth, N. Devoil, P. Zurcher, E. Herrmann, N. Mclean, G. Chenu, K. and Keating, B. 2014. "APSIM-evolution towards a new generation of agricultural systems simulation.« Environtal Model Softwer, 62: 327-350.

- IPCC. 2014. "Climate change: Synthesis report. In: Pachauri, R.K. and Meyer, L.A. (EDS). Contribution of working groups. I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.« IPCC, Geneva. P, 151.

- Lal, R. 2013. "Food security in a changing climate." Ecohydrology and Hydrobiology 13: 8-12.

- Luo, Q. 2011. "Temperature thresholds and crop production: a review." Climate Change 109(3): 583-598.

- Manshadi, A.Soufizadeh, S. and Deihimfard, R. 2010. "The role and importance of crop modeling in improving crop production in Iran." In: proceeding 11th Iranian Crop Science Congress. July 24-26. Tehran, Iran pp. 234-247.

- Reidsma, P. Ewert, F., Lansink, A. O. and Leemans, R. 2010. "Adaption to climate change and climate variability in Euroupean agriculture: The importance of farm level responses." Europ Agronomy Journal 32: 91- 102.

- Rosenzweig, C. and Tubiello, F.N. 2007. "Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies." Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 12: 855-873.

- Tingem, M. and Rivington, M. 2009. Adaption for crop agriculture to climate change in Cameroon: Turning on the heat. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. Climate Change, 14: 153-168.

- Uyttendaele, M., Boeck, E.D., and Jacxsens, L. 2016. "Challenges is food safety as part of food security: lessons learnt on food safety in a globalized world." Procedia Food Science 6: 16-22.