بررسی واکنش گیاهان زراعی به تغییرات غلظت دی‌اکسیدکربن و دما در شرایط تغییر اقلیم

اشکان جلیلیان | دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

مقدمه

در طی ۸۰۰ هزار سال گذشته غلظت گاز دی‌اکسیدکربن در اتمسفر کره زمین بین ۱۸۰ تا ۲۸۰ پی‌پی‌ام متغیر بوده است. اما از زمان شروع انقلاب صنعتی غلظت این گاز از حدود ۲۸۰ پی‌پی‌ام به ۳۸۴ پی‌پی‌ام تا سال ۲۰۰۹ افزایش یافته است. این میزان ۳۰ درصد بیشتر از دهه های پیش از انقلاب صنعتی است و به‌دنبال این افزایش، میانگین درجه حرارت کره زمین نیز حدود ۰/۸ درجه سانتی گراد بالاتر رفته است. همچنین نتایج پیش‌بینی های حاصل از مدل‌های گردش عمومی General Circulation Model (GCM) نشان می دهند که تا انتهای قرن بیست‌ویکم غلظت این گاز به حدود ۷۰۰ تا ۸۵۰ پی‌پی‌ام یا بیشتر و میانگین درجه حرارت کره زمین نیز بین ۱/۴ تا ۴ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت. مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی مستلزم برآورد وضعیت اقلیمی آینده است. این برآوردها در حال حاضر به وسیله مدل‌های گردش عمومی و براساس سناریوهای مختلف انجام می گیرد و تلفیق این نتایج با مدل‌های شبیه سازی رشد امکان پیش بینی عملکرد گیاهان زراعی را در شرایط اقلیمی آینده فراهم می‌سازد. گیاهان زراعی از طریق افزایش فتوسنتز و کاهش هدایت روزنه ای به افزایش غلظت CO_2 پاسخ می دهند و سایر اثرات افزایش غلظت این گاز بر گیاه و اکوسیستم ناشی از تغییر در این دو فرایند بنیادی است.

افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر کره زمین منجر به ایجاد پدیده تغییر اقلیم خواهد شد و علاوه بر افزایش میانگین درجه حرارت سالانه کره زمین، تغییر در الگوی جهانی و محلی بارندگی و میزان تشعشع ورودی خورشید به سطح خاک را نیز در پی خواهد داشت که این تغییرات کارکرد بوم نظام‌های طبیعی و کشاورزی و همچنین زندگی بشر را تحت تأثیر قرار خواهد داد. بنابراین جای تعجب نیست که طی چند سال اخیر تحقیقات زیادی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تولیدات محلی، منطقه‌ای و جهانی محصولات زراعی انجام شده است.

نتایج این بررسی ها نشان می دهد که محصولات زراعی مختلف، به‌ویژه گیاهان سه‌کربنه، در صورتی که در شرایطی مطلوبی رشد کنند، در واکنش به افزایش غلظت دی اکسید کربن پاسخ مثبتی نشان می دهند. براساس برآوردهای مجمع بین دول تغییر اقلیم در غلظت های ۵۰۰ تا ۵۵۰ پی‌پی‌ام از گازکربنیک میانگین افزایش فتوسنتز برای گیاهان سه‌کربنه (C۳) ۳۵-۳۰ درصد و برای گیاهان چهار کربنه (C۴) ۲۵-۱۰ درصد می باشد. البته افزایش عملکرد کمتر از این مقدار بوده و برای گیاهان زراعی C۳ و C۴ به ترتیب بین ۲۵-۱۰ و ۱۰-۰ درصد می باشد. اما به نظر می رسد این اثرات مثبت توسط سایر عوامل تغییر اقلیم همچون، افزایش درجه حرارت و تغییر در الگوی بارندگی خنثی یا حتی منفی گردد.

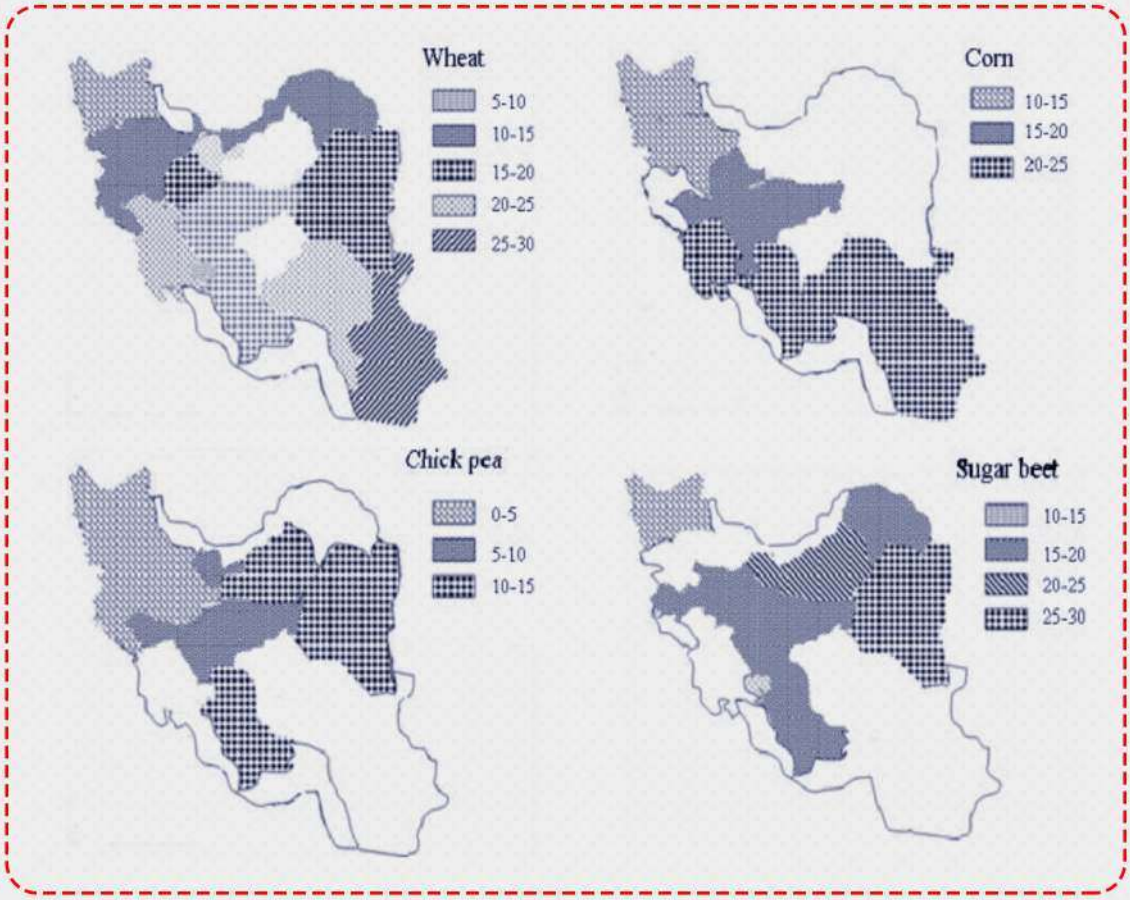
بنابراین لازم است که در ارزیابی واکنش محصولات زراعی نسبت به افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، سایر عوامل اقلیمی به ویژه افزایش متوسط درجه حرارت و برهم‌کنش آن‌ها با سایر عوامل اقلیمی نیز در نظر گرفته شود. طبق بررسی های به عمل آمده، درجه حرارت های بالا از طریق افزایش تنفس نوری منجر به کاهش فتوسنتز خالص در گیاهان سه‌کربنه می‌شود و انتظار می‌رود که افزایش غلظت دی اکسید کربن در درجه حرارت بالا نسبت به درجه حرارت پایین، تأثیر بیشتری بر افزایش فتوسنتز داشته و از این طریق منجر به کاهش اثرات منفی درجه حرارتهای بالا شود. در چنین شرایطی محدوده مطلوب واکنش های فتوسنتزی گیاه به درجه حرارت بالاتر رفته و در پی آن عملکرد نیز تا حدودی بهبود می‌یابد.

بنابراین به نظر می رسد در آینده در مناطقی شاهد افزایش عملکرد ناشی از افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن خواهیم بود که درجه حرارت تا محدوده مطلوب رشد محصولات زراعی افزایش یابد. در عوض در مناطقی که هم اکنون درجه حرارت بالا است، افزایش درجه حرارت به بیش از محدوده مطلوب واکنش های بیولوژیکی گیاه، منجر به کاهش عملکرد خواهد شد. در حقیقت، نتایج پیش بینی های به‌عمل‌آمده از شبیه‌سازی رشد و تولید گیاهان زراعی برای شرایط تغییر اقلیم نیز نشان می دهد که در مناطقی که در عرض های جغرافیایی متوسط به بالا واقع شده اند، افزایش درجه حرارت (۱تا ۳ درجه سانتی‌گراد) توام با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن منجر به بهبود عملکرد و تولید محصولات کشاورزی خواهد شد، در حالی که در مناطق واقع در عرض¬های جغرافیایی پایین تر، حتی افزایش متوسط درجه حرارت سالیانه به میزان یک تا دو درجه سانتی‌گراد نیز دارای اثرات منفی بر تولیدات کشاورزی خواهد بود. لذا ممکن است در آینده پدیده تغییر اقلیم، تولید غذا به‌ویژه در کشور های در حال توسعه را دچار بحران سازد، چرا که بیشتر این کشورها در مناطق گرم و خشک واقع شده اند. به‌عنوان مثال در دانمارک سطح زیر کشت ذرت از ۱۱ هزار هکتار در سال ۱۹۹۳ به ۱۲۰ هزار هکتار در سال ۲۰۰۵ افزایش یافته که ناشی از افزایش دما در طی دوره رشد این گیاه و در نتیجه مناسب شدن شرایط تولید می باشد. در مقابل جونز و تورنتون (۲۰۰۳)، پیش بینی کرده اند که عملکرد ذرت در آفریقا و آمریکای لاتین تا سال ۲۰۵۰ میلادی درحدود ۱۰ درصد کاهش می یابد که ارزش آن معادل ۲ میلیارد دلار آمریکا است. علی‌رغم شواهد موجود مبنی بر اینکه دو برابر شدن غلظت باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی خواهد شد، مطالعات نشان داده است که افزایش مورد انتظار عملکرد با توجه به افزایش درجه حرارت تحقق نخواهد یافت. برای مثال نتایج شبیه‌سازی با فرض افزایش کربن دی‌اکسیدکربن و ثابت بودن درجه حرارت، افزایش عملکرد برنج را تأیید کرده است ولی در صورتیکه درجه حرارت ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، کاهش قابل توجه عملکرد مشاهده خواهد شد.

نتایج مطالعات مورد بررسی

۱- تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان زراعی با محوریت مطالعات داخلی

نتایج مطالعات کوچکی و نصیری محلاتی (۱۳۹۵)، در خصوص تاثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران و با تمرکز بر چهار محصول گندم، ذرت، نخود و چغندر قند نشان داد که در شرایط اقلیمی ۲۰۵۰ میلادی در مقایسه با شرایط فعلی میانگین عملکرد گندم، ذرت، نخود و چغندر در سال هدف در مناطق مختلف کشور به ترتیب ۱۸/۶، ۱۹/۱، ۶/۶ و ۲۰ درصد کاهش خواهد یافت. این کاهش به‌طورعمده به دلیل افزایش دما بوده و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تنها در حدود ۵/۶ درصد از اثرات منفی دمای بالا را جبران می کند. آنالیز رگرسیون بر روی نتایج نشان داد که عملکرد گیاهان تحت بررسی به ازای هر یک درجه سانتی گراد افزایش دما در طی کل دوره رشد بین ۹ تا ۱۷ درصد کاهش می یابد. البته در مورد گندم و ذرت کاهش عملکرد تا حد زیادی تابع میزان افزایش دما در طی دوره پر شدن دانه خواهد بود. افزایش دما، طول کل دوره رشد و نیز طول دوره پر شدن دانه را در گیاهان دانه ای کاهش خواهد داد. نتایج حاکی از این بود که در ذرت و گندم کاهش طول دوره پر شدن دانه و در نخود و چغندر کاهش طول دوره رسیدگی (کاشت تا برداشت) عامل اصلی کاهش عملکرد می باشد. بنابراین راهکارهای سازگاری به شرایط اقلیمی سال هدف باید به گونه ای طراحی شوند که اثرات سوء دماهای بالا به ویژه در مراحل حساس رشد را کاهش یابد. باید توجه داشت که تأثیر توأم افزیش غلظت CO۲ و دما بر عملکرد گیاهان زراعی پیچیده بوده و بسته به موقعیت جغرافیایی متفاوت می باشد، بنابراین درک دقیق وضعیت تولید محصولات زراعی در شرایط اقلیمی آینده مستلزم انجام مطالعات در مقیاس منطقه ای و ملی می باشد. نتایج بررسی دو مدل گردش عمومی شاخص های اقلیمی کشاورزی ایران برای سال ۲۰۵۰ (۱۴۳۰ شمسی) نشان داد که میانگین دمای سالانه مناطق مختلف کشور تا سال ۲۰۵۰ بین ۳/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می یابد، این در حالی است که میانگین بارش سالانه بین ۷ تا ۱۴ درصد کاهش خواهد یافت. به‌علاوه این تغییرات از غرب به شرق و از شمال به جنوب کشور شدیدتر گزارش شده است.



شکل۱- پیش‌بینی درصد کاهش عملکرد در سال ۲۰۵۰ میلادی نسبت به شرایط فعلی برای چهار محصول زراعی در مناطق اصلی کشت آن‌ها در کشور

نتایج مطالعه خصوصیات کمی و کیفی گیاه عدس تحت تاثیر غلظت های ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام دی اکسید کرن بدون در نظر گرفتن افزایش دما نشان داد که افزایش غلظت دی اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ پی‌پی‌ام، به ترتیب باعث افزایش ۲۱ و ۵۰ درصدی عملکرد گیاه می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که دو و سه برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن به ترتیب ۱۲ و ۳۰ درصد تبخیر و تعرق را به‌طور معنی‌داری کاهش می دهد. نتایج تأثیر افزایش دی‌اکسیدکربن بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط رقابت با علف هرز یولاف وحشی زمستانه با سه غلظت ۴۰۰، ۷۰۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام و پنج تراکم ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در مترمربع نشان داد که فزایش غلظت CO۲ باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانهٔ گندم شد، به‌طوری که بیشترین و کمترین میزان این صفات به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰۰ و ۴۰۰ پی‌پی‌ام CO۲ به دست آمد. در همهٔ غلظت های CO۲ مورد بررسی، افزایش تراکم علف هرز یولاف وحشی موجب کاهش معنی دار عملکرد و اجزای عملکرد دانهٔ گندم شد. بنابراین اعمال تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع یولاف وحشی نسبت به تیمار بدون علف هرز در غلظت ۴۰۰، ۷۰۰ و ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام CO۲ به ترتیب باعث ۷۶/۵۰، ۷۸/۲۶ و ۸۸/۸۰ درصد کاهش در میزان عملکرد دانهٔ گندم شد. قربانی و سلطانی (۱۳۹۳)، نیز اثر تغییر اقلیم بر عملکرد سویا در منطقه گرگان را بررسی کردند، نتایج این بررسی نشان داد که عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه نیز برای کشت آبی، اندکی کاهش ولی در کشت دیم در مزارعی که زودتر کشت می شوند، عملکرد افزایش می یابد. در مجموع با توجه به اینکه در عمل کشت دیم سویا در منطقه صورت نمی گیرد می توان بیان نمود که تغییر اقلیم در منطقه گرگان تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر رشد، نیاز آبی و عملکرد سویا نخواهد داشت.

نتایج شبیه سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید نخود در شرایط دیم و آبی کرمانشاه نیز نشان داد که تغییر اقلیم موجب افزایش ۸۹ درصدی عملکرد دانه در شرایط دیم و کاهش ۳۳ درصدی آن در شرایط آبی خواهد شد. اگرچه افزایش غلظت CO۲ محیط به صورت مستقیم اثرات مثبتی بر عملکرد نخود می گذارد اما به نظر می رسد عامل تعیین کننده عملکرد این گیاه در آینده اثرات غیرمستقیم آن به‌ویژه افزایش دما باشد.

۲- تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان زراعی با محوریت مطالعات خارجی

نتایج بررسی تغییر اقلیم و افزایش دی‌اکسیدکربن به همراه دمای محیط نشان داد که تأثیر افزایش دما می‌تواند بیشتر از دی‌اکسیدکربن باشد، و این تأثیر بر گونه های سه‌کربنه نسبت به چهارکربنه بیشتر است. همچنین افزایش دی‌اکسیدکربن می تواند این تأثیر منفی دما را تا حدودی تعدیل کند. با توجه به تغییرات اقلیمی در مناطق مختلف جهان و تغییرات مختلف ایجاد شده، هی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که با توجه به سناریو های مختلف پیش بینی شده (جدول ۱)، افزایش دما در جنوب کانادا می‌تواند باعث بهبود عملکرد ذرت شود، همچنین افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن نیز می‌تواند عملکرد سویا را افزایش دهد. این محققان بیان داشتند که استفاده از ارقام جدید با روز درجه حرارت بالاتر (TDD)، می تواند میانگین عملکرد گندم زمستانه را در مقایسه با ارقام فعلی ۳۹/۵ درصد افزایش دهد.

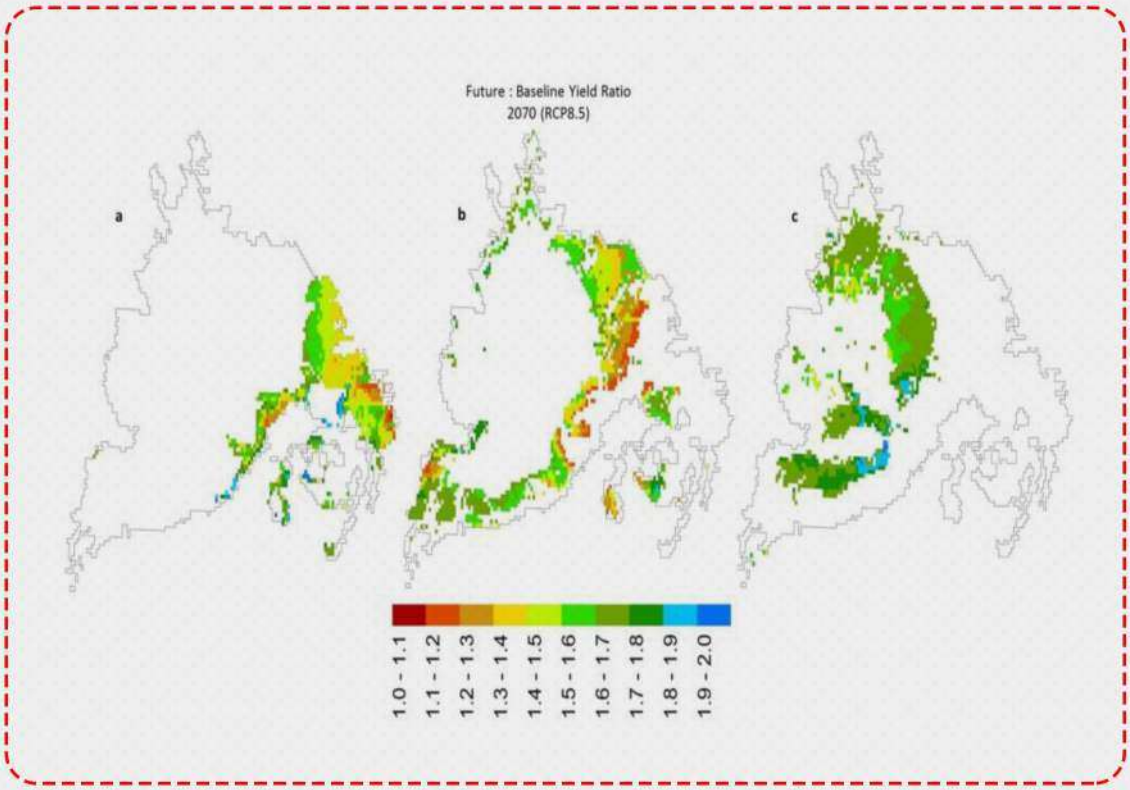
جدول ۱- سناریوهای گرم شدن زمین براساس پیش‌بینی‌های آینده

سناریوها	۲۰۴۶-۲۰۶۵	۲۰۸۱-۲۱۰۰
	میانگین و دامنه تغییرات	میانگین و دامنه تغییرات
RCP2.6	1.0 (0.4 to 1.6)	1.0 (0.3 to 1.7)
RCP4.5	1.4 (0.9 to 2.0)	1.8 (1.1 to 2.6)
RCP6.0	1.3 (0.8 to 1.8)	2.2 (1.4 to 3.1)
RCP8.5	2.0 (1.4 to 2.6)	3.7 (2.6 to 4.8)

گری و برادی (۲۰۱۶)، در مطالعهٔ خود در خصوص اثر تغییر اقلیم بر رشد و توسعهٔ گیاهان بیان داشتند که پاسخ گیاهان به افزایش دی‌اکسیدکربن و دما به مرحله رشدی آنها بستگی دارد، همچنین بیان کردند که افزایش دما و خشکی می‌تواند باعث کاهش طول ریشه و زاویه رشد آن و همچنین کاهش عملکرد دانه گردد، هرچند در خاک‌های کم عمق در پاسخ به افزایش دی‌اکسیدکربن مقدار ماده خشک کل می‌تواند افزایش یابد. مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گیاهان زراعی در آرژانتین نشان داد که در سناریو های تغییر اقلیم برای آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۵)، و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۵۷) در مقایسه با شرایط فعلی، عملکرد گندم کاهش، ولیکن عملکرد ذرت و سویا در دو سناریو RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ افزایش یافت.

نتایج مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر محصولات زراعی جنوب شرقی آمریکا نشان داد که عملکرد ذرت در آینده بین ۳۶ تا ۸۳ درصد افزایش می یابد، هرچند به‌علت افزایش دما در سال های ۲۰۶۶ تا ۲۰۷۰ بازده افزایش عملکرد ۵ تا ۱۳ درصد کاهش می‌یابد. همچنین عملکرد سویا به‌دلیل افزایش دمای محیط و کاهش رطوبت بین ۱ تا ۱۳ درصد کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیق نشان داد که در آینده تغییر اقلیم باعث افزایش تولید گیاهان چهارکربنه نسبت به شرایط فعلی خواهد شد. بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر ذرت در شرایط آب و هوایی غنا که تولید عمده آن ذرت می باشد ۲۰۰۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۸۰ در دو سناریو RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ نشان داد عملکرد ذرت در سال ۲۰۳۰ و در سناریو RCP ۸,۵ ۵۷ تا ۵۹ درصد افزایش می‌یابد که دلیل آن می‌تواند افزایش مقدار دی‌اکسیدکربن و کاهش تنش خشکی در طول دوره رشد محصول باشد. همچنین محققان کاهش طول دوره رشد و تابش خورشیدی را از عوامل محدود کننده در منطقه مورد مطالعه در آینده بیان کردند.

کریمی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی خود بر روی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم دیم در شمال غربی اقیانوس آرام در منطقه آمریکا با دو سناریو تغییر اقلیمی RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ و در بازه زمانی کنونی (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و آینده (۲۰۱۵-۲۰۸۵) نشان داد که در مناطق مختلف مورد بررسی، تغییرات دمایی و دی‌اکسیدکربن متفاوت می‌باشد، همچنین بیان کرد که در مناطق مختلف میزان بارش باران نیز متغیر است و در برخی مناطق در دهه ۲۰۷۰ (۲۰۶۵-۲۰۸۵) میزان بارندگی ۸ تا ۱۲ درصد افزایش می‌یابد. در دهه ۲۰۷۰ نسبت به شرایط فعلی بازده عملکرد در سناریو RCP ۴,۵ از ۱/۲۹ به ۱/۳۵ و در سناریو RCP ۸,۵ از ۱/۴۱ به ۱/۶۴ افزاایش می یابد. این افزایش عملکرد نیز در مناطق مختلف یکسان نیست و تغییرات آب و هوایی در افزایش عملکرد برای تولید کنندگان در مناطق مختلف به‌طور مساوی تقسیم نخواهد شد (شکل ۲).



شکل ۲- توزیع فضایی نسبت تولید گندم زمستانه در سال ۲۰۷۰ در کشت مداوم (a)، استفاده از سیستم کشت آیش (b) و تولید مناطق اگرواکولوژیکی در ۱۲ مدل شبیه سازی گردش عمومی (GCM) در سناریو RCP 8.5 در شمال غربی اقیانوس آرام.

زیمامانا و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات اقلیمی را بر محصولات زراعی، استفاده از زمین، و محیط زیست اروپا بررسی کردند، نتایج این بررسی نشان داد که کشاورزان ناچار به تغییر مدیریت کشاورزی همچون تاریخ کاشت می باشند تا از خسارت های احتمالی جلوگیری کنند. در این تحقیق شش محصول مهم (گندم، جو، ذرت دانه ای، گوجه فرنگی، کلزا و چقندر قند) در ۲۷ کشور اتحادیه اروپا تحت سه سناریو اقلیمی در سال ۲۰۵۰ مورد بررسی قرار گرفت. مدیریت بدون تطابق با شرایط اقلیم نوسانات تولید آن با توجه به افزایش دی‌اکسیدکربن بین ۶- تا ۲۱+ درصد بود، در حالی که رعایت تاریخ کاشت و تطابق با شرایط اقلیمی در سال ۲۰۵۰ می‌تواند نوسانات را بین ۱۲+ تا ۵۳+ قرار دهد. همچنین استفاده از تکنولوژی جدید در شرایط تغییر اقلیم می‌تواند افزایش عملکرد دانه را بین ۱۷ تا ۵۱ درصد افزایش دهد.

نتیجه گیری

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گیری کردکه انسان با مداخلهٔ خود در اکوسیستم‌های طبیعی با تشدید سرعت تغییر اقلیم علاوه بر اینکه حوادثی از جمله خشکی، طوفان‌های شدید، بالا آمدن آب دریاها، بهم خوردن تعادل اکوسیستم‌های آبی، تخریب جنگل‌ها و مراتع را منجر می‌شود، باعث ایجاد مشکلاتی نیز در تولید محصولات زراعی و اکوسیستم های زراعی می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که اثرات افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن، بدون در نظر گرفتن افزایش دما، موجب افزایش عملکرد می‌گردد، در حالی که اثر متقابل دی‌اکسیدکربن و دما، می‌تواند موجب کاهش عملکرد نیز گردد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که در طی چند دهه آینده پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم و به‌ویژه افزایش دما عملکرد محصولات زراعی را در منطقه مختلف جهان با کاهش قابل ملاحظه‌ای مواجه می‌سازد. علی‌رغم عدم قطعیت‌هایی که در پیش بینی‌های مبتنی بر مدل‌سازی وضعیت آینده وجود دارد، در حال حاضر این مدل‌ها تنها ابزار موجود برای مطالعات تغییر اقلیم محسوب می‌شوند. به‌علاوه باید توجه داشت که تأثیر تغییرات اقلیمی در شرایط کنترل شده و یا در هنگام شبیه‌سازی به مراتب کمتر از شرایط واقعی مزرعه است زیرا در شرایط طبیعی وجود انواع تنش های زنده و غیر زنده محیطی ممکن است باعث تشدید اثرات ناشی از گرمایش شوند. علی‌رغم این نگرانی‌ها، به‌نظر می‌رسد که با اتخاذ راهکارهای مناسب می‌توان نظام‌های تولید را به شرایط اقلیمی آینده سازگار کرد. مطالعات عمیق تر در مورد پیامدهای مختلف ناشی از تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی و طراحی راهکارهای سازگاری به حفظ دراز مدت امنیت غذایی کشور کمک خواهد کرد.