

تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری با آن در کشاورزی

نادر حیدری^{*۱}

چکیده

تغییر اقلیم واقعی است که در بیشتر مناطق جهان و از جمله کشور ایران در حال وقوع است. افزایش گازهای گلخانه‌ای (به طور عمده گاز دی‌اکسید کربن)، افزایش دما و نوسانات بارش از مؤلفه‌های تغییر اقلیم می‌باشند که عملکرد محصولات زراعی و در مجموع تولید در بخش کشاورزی را در آینده دستخوش تغییرات زیادی خواهد نمود. شناخت تأثیرات این پدیده بر گیاهان زراعی و تأثیر آن‌ها بر عملکرد محصول و همچنین شناسایی راهکارهای سازگاری با این پدیده در بخش کشاورزی از لحاظ مسائل مصرف آب، تولید و تأمین امنیت غذایی کشور حائز اهمیت است. در میان روش‌های سازگاری با تغییر اقلیم تغییرات در نوع محصول و الگوی کشت و تولید یا ایجاد ارقام محتمل به تنش‌های محیطی (خشکی، شوری، گرما - حرارتی) نقش مهمی ایفا می‌نمایند. در این مقاله با مطالعه و جمع بندی منابع معتبر جهانی و داخلی اثرات تغییر اقلیم بر محصولات زراعی، از جنبه‌های تنش‌های حرارتی، افزایش نیاز آبی، واکنش گیاهان به گاز CO₂ و در مجموع کارایی مصرف آب و تولید در بخش کشاورزی شناسایی و بحث شده و همچنین روش‌ها و راهکارهای مواجهه و سازگاری با آن به همراه تعدادی راهکار در این زمینه ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، آب، گیاه، سازگاری.

مقدمه

بر اساس گزارش ریسک‌های جهانی، تغییر اقلیم در سال ۲۰۱۱ پنجمین ریسک جهانی از نظر احتمال وقوع بوده و بر اساس همین گزارش این پدیده از لحاظ میزان اثرات آن بر جهان و محیط‌زیست، رتبه دوم را در بین سایر ریسک‌ها و در این سال به خود اختصاص داده است (The Global Risk Report, 2018).

بر اساس مدل‌ها و مطالعات جهانی متأسفانه کشور ما در اثر تغییر اقلیم گرم‌تر و خشک‌تر خواهد شد و اثرات نامطلوب این تغییرات در بخش کشاورزی به صورت افزایش تنش حرارتی و افزایش نیاز آبی گیاهان زراعی می‌باشد که در مجموع به کاهش عملکرد محصول و کاهش تولیدات کشاورزی و در خطر افتادن امنیت غذایی کشور منجر خواهد شد (خورسندی و همکاران، ۱۳۸۷).

اقلیم جهان در شرایط‌گذاری قرار دارد و چشم‌انداز مبهمی از آینده آن پیش‌رو می‌باشد. در این راستا روش‌های مختلفی به منظور تولید سناریوهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش آماری، روش تولید سناریوهای مصنوعی و روش قیاسی^۳ اشاره کرد. اما در حال حاضر معتبرترین ابزار در این زمینه استفاده از

به طور کلی، تغییر اقلیم^۲ عبارت است از تغییر بلندمدت در شرایط آب و هوایی (تغییر در دما، بارش، باد و دیگر شاخص‌ها). عامل تغییر اقلیم ممکن است ناهنجاری‌های طبیعی و یا فعالیت‌های انسانی باشد. تغییر اقلیم واقعیت گریزناپذیری است که در بخش‌های مختلفی از جهان و از جمله کشور ایران در حال وقوع بوده و این مناطق را دستخوش تغییرات نموده است. تأثیرات تغییر اقلیم بر انسان و بالعکس دوسویه و متقابل می‌باشد. اثرات انسان بر اقلیم شامل؛ تمامی فعالیت‌های روزانه، تصمیمات و رفتارهای ما می‌باشد. از طرفی دیگر تغییر اقلیم بر سلامت سیاره زمین تأثیر گذار بوده و در حال ایجاد تغییرات در جهان است. تغییر اقلیم موجب افزایش بلایای طبیعی و مشکلات زیست‌محیطی شده که در نتیجه‌ی آن مشکلاتی برای بخش کشاورزی که متولی تولید غذا می‌باشد، ایجاد کرده و خواهد کرد.

^۱ دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی؛ البرز، ایران.
(* نویسنده مسئول: nrheydari@yahoo.com.)

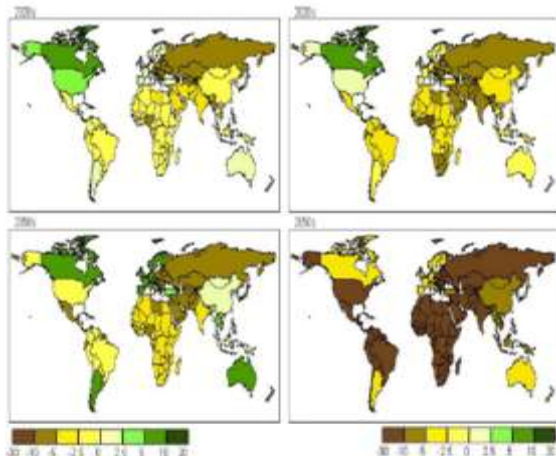
تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۵

^۳ Analogue

^۲ Climate Change

۲۰۵۰ وضعیت بسیار نامناسبی پیش‌بینی شده است. مقایسه دو شکل ۱-الف و ۱-ب نقش دخالت اثر مثبت گاز CO₂ را بر کاهش خسارت (نه ترمیم کامل آن) نشان می‌دهد. از این‌روست که هم‌اکنون طرح‌های زیادی برای ترسیب کربن در اراضی^۶ در کشورهای مختلف هم به‌منظور تخفیف و کنترل غلظت گازهای گلخانه‌ای جو و هم برای بهبود عملکرد در دستور کار است.



شکل ۱- تأثیر ممکن (%) تغییر اقلیم بر تولید غلات برای افق ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ در مقایسه با ۱۹۹۰ در سناریوی HadCM3 تحت سناریوی A1F1 (الف) بدون اثر CO₂ و (ب) با اثر CO₂ (Parry et al., 2004)

مطالعه مذکور در ادامه به مقایسه وضعیت کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته از لحاظ تغییرات متوسط عملکرد غلات می‌پردازد و نتیجه‌گیری می‌نماید که تفاوت آشکار در وضعیت کشورهای توسعه‌یافته نسبت به در حال توسعه وجود دارد. در هیچ‌یک از سناریوها وضعیت منفی برای کشورهای توسعه‌یافته وجود ندارد در حالی که در گروه دوم کاهش تولید تا ۱۱ درصد را نیز شاهد خواهند بود.

عوامل مرتبط در تولید محصولات کشاورزی شامل آب قابل دسترس، خاک حاصلخیز، گیاه مناسب، اقلیم، آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز، تغییرات CO₂ اتمسفر، دما، بارش و رطوبت خاک به‌طور مجزا و یا با همدیگر می‌توانند باعث تغییر در نوع، کمیت و کیفیت محصول شوند. بنابراین تغییر پارامترهای اقلیمی در آینده بر تولید محصولات زراعی (سالانه یا دائمی) کشورها تأثیرگذار خواهند بود. موارد مطلوب احتمالی از تغییر اقلیم عبارتند از اثرات کودی CO₂ بر خاک، افزایش فصل رشد و افزایش بارندگی در برخی نقاط محدود می‌باشد. از طرف دیگر وقوع بیشتر خشکسالی‌ها، افزایش آفات و بیماری‌ها، افزایش تنش‌های حرارتی، کاهش فصل رشد در برخی نواحی و

خروجی مدل‌های جفت شده اتمسفر اقیانوس گردش عمومی جو یا به اختصار AOGCM^۱ می‌باشد (مساح بوانی، ۱۳۹۷).

برای تولید متغیرهای هواشناسی در دوره‌های آتی توسط مدل‌های AOGCM نیاز به سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۱۰۰ (و یا بیش از آن) می‌باشد. تاکنون سه سری از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده است. سری اول این سناریوها در سال ۱۹۹۲ با عنوان IS92 با شش سناریو ارائه شد در سال ۲۰۰۰ دومین سری سناریوها تحت عنوان SRES^۲ با ۴۰ سناریو منتشر شد. این سناریوها در سومین گزارش IPCC^۳ در سال ۲۰۰۱ و چهارمین گزارش IPCC که در سال ۲۰۰۷ منتشر شد نیز مورد استفاده قرار گرفتند. به دلیل تعداد بالای سناریوهای انتشار SRES و هزینه بالای اجرای آن‌ها توسط مدل‌های AOGCM در حال حاضر سناریوهای جدید RCP^۴ ارائه شده است. همچنین در این سناریوها برخلاف سناریوهای SRES میزان آلاینده‌های گازی، تغییرات کاربری اراضی و اعمال سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای برای چشم‌اندازهای وضعیت گازهای گلخانه‌ای در سال‌های آتی مدنظر قرار می‌گیرد. سناریوهای جدید RCP عبارتند از RCP6.5، RCP6، RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 (مساح بوانی، ۱۳۹۷).

تاکنون مطالعات مختلفی در سطح جهان برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات راهبردی کشاورزی و بخصوص گندم صورت پذیرفته شده است. یکی از این مطالعات با حمایت بخش محیط‌زیست، غذا و مناطق شهری انگلستان^۵ به انجام رسید (Parry et al., 2004). این مطالعه تلاش کرد تا تبعات تغییر اقلیم بر تولید تعدادی از محصولات راهبردی غله‌ای در سطح جهان و ارتباط آن با سناریوهای اقلیمی را بررسی کند که برای آن از مدل جهانی HadCM3 تحت سناریوهای مختلف انتشار A1F1، A2، B1 و B2 استفاده گردید. بخشی از نتایج این کار و برای مدل A1F1 در شکل ۱ نمایش داده شده است که موقعیت کشور ما نیز در آن قابل ملاحظه است.

شکل ۱ نشان می‌دهد که در اغلب کشورها، چشم‌انداز مناسبی را نمی‌توان از تولید محصولات کشاورزی ملاحظه نمود. تنها قاره آمریکا، استرالیا و بخش‌هایی از غرب اروپا وضعیت نسبی بهتری دارند. برای منطقه کشور ما بخصوص برای افق

^۱ Atmosphere-Ocean General Circulation Model

^۲ Special Report on Emission Scenarios

^۳ Intergovernmental Panel on Climate Change

^۴ Representative Concentration Pathways

^۵ UK Department of Environment, Food and Rural Areas

^۶ Carbon sequestration

مطالعات مختلفی به اهمیت نقش سازگاری با تغییر اقلیم^۴ در بخش کشاورزی پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای که با حمایت مالی اتحادیه اروپا و بنیاد علوم آمریکا و به استناد تعدادی از مطالعات جهانی انجام گرفت، نشان داده شده است که منطقه خاورمیانه جزو مناطقی از جهان است که بخش کشاورزی آن بالنسبه خسارات سنگینی را از بابت تغییر اقلیم متحمل خواهد شد. نتایج حاکی از آن هستند که در صورت افزایش دمای جهانی ناشی از تغییر اقلیم و به میزان ۲/۵ درجه سانتی‌گراد، منطقه خاورمیانه می‌تواند تا ۴۰ درصد از تولیدات بخش کشاورزی خود را از دست دهد. از طرفی سازگاری با این پدیده می‌تواند جهت این مسیر را تغییر دهد و در مجموع این منطقه حتی رشدی معادل ۱۰ درصد در تولیدات کشاورزی داشته باشد (Tol, 2002).

در این مقاله با توجه به جدید بودن موضوع تغییر اقلیم و اهمیت سازگاری با آن در کشاورزی کشور تلاش خواهد گردید تا بر اساس نتایج مطالعات و تحقیقات بین‌المللی و داخلی ابتدا ضمن تعریفی از پدیده تغییر اقلیم و آشنایی با آن، اثرات این پدیده بر تولید گیاهان زراعی از جنبه‌های مختلف از جمله واکنش گیاه به درجه حرارت و تأثیر آن بر عملکرد گیاه، اثرات تغییر اقلیم بر افزایش نیاز آبی، مصرف آب گیاه، کارایی مصرف آب گیاه و در نهایت اثرات این پدیده بر تولید در بخش کشاورزی تبیین و تشریح شود. به دنبال آن، تعدادی راهکار سازگاری با این پدیده در بخش کشاورزی ارائه خواهد گردید. راهکارهای ارائه شده شامل دامنه‌ای از راهکارهای مرتبط با مدیریت آب و خاک و شناخت بهتر رابطه آب و خاک-گیاه-اتموسفیر، افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، توسعه گیاهان متحمل به تغییرات اقلیمی، شیفت و جابجایی گیاهان متعارف الگوی کشت فعلی به ارقام و گونه‌های گیاهی جدید (نظیر گیاهان دارویی و یا گیاهان فراموش شده در الگوی کشت نظیر کنجد و گلرنگ و ...) و اجرای برنامه‌های آموزشی ترویجی در خصوص مدیریت و حفاظت از منابع آب و خاک در شرایط تغییر اقلیم است.

اثرات تغییر اقلیم بر گیاه از دیدگاه تغییرات درجه حرارت و تأثیر نامطلوب آن بر عملکرد

گونه‌های گیاهی مختلف از لحاظ دامنه درجه حرارت بحرانی موردنیاز برای چرخه زندگی خود تفاوت دارند. یک درجه حرارت کمینه پایه وجود دارد که گیاه در آن شروع به رشد می‌کند. لیکن در درجه حرارت بهینه، رشد گیاه سریع و حداکثر

افزایش موارد سیل و توسعه اراضی شور از اثرات نامطلوب احتمالی تغییر اقلیم در بعضی از نقاط جهان از جمله کشور ایران خواهد بود (خورسندی و همکاران، ۱۳۸۷).

بسیاری از ارقام و گونه‌های گیاهی در اقلیم‌ها، مناطق و خاک‌های مختلف کشور رشد می‌کنند. مشخصه‌های آب و هوایی و اقلیمی از قبیل درجه حرارت، میزان بارش، میزان گاز دی‌اکسیدکربن (CO₂) و موجودیت و دسترسی به آب به‌طور مستقیم بر رشد و سلامت گیاه و همچنین تولید مزارع تأثیرگذار هستند. همچنین توزیع گیاهان زراعی در یک منطقه معین به‌وسیله منابع اقلیمی تعیین می‌شود. لذا در مناطق دچار تغییر اقلیم می‌توان با کشت محصولات کشاورزی و حتی تولیدات دامی سازگار از این تغییرات استفاده زیادی برد. اصولاً اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی و تولید محصولات کشاورزی را باید از زاویه واکنش گیاهان زراعی به تولید و باروری نگاه نمود. در این میان واکنش گیاهان به درجه حرارت، فتوسنتز و تولید ماده گیاهی (بیوماس)^۱ ناشی از تغییرات میزان گاز دی‌اکسیدکربن هوا، تغییرات نیاز آبی و در مجموع کارایی مصرف آب و بهره‌وری آب و تولید می‌باشد (Hatfield et al., 2008).

بر اساس بیانیه روز جهانی غذا در سال ۲۰۱۶، هفت حوزه مرتبط با کشاورزی و تولید غذا وجود دارد که به منظور تأمین غذای گرسنگان باید تغییرات لازم مرتبط با سازگاری با تغییر اقلیم در آن‌ها ایجاد شود. این حوزه‌های هفت‌گانه عبارتند از کشاورزی (زراعت و باغبانی)، جنگل، مدیریت تولیدات دامی، تلفات و ضایعات غذا، منابع طبیعی، شیلات، و سیستم‌های غذا (FAO, 2016).

برای مواجهه با تغییر اقلیم دو رویکرد توأم و کلی وجود دارد: ۱- "تسکین"^۲ - "سازگاری"^۳. تسکین تغییر اقلیم به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (به‌طور عمده دی‌اکسید کربن) مربوط می‌باشد درحالی‌که هدف سازگاری در درجه اول ملایم نمودن اثرات غیرقابل اجتناب ناشی از تغییر اقلیم است که از طریق طیف گسترده‌ای از اقدامات در یک سیستم آسیب‌پذیر مورد توجه قرار می‌گیرد. سازگاری با تغییر اقلیم بیشتر جنبه محلی دارد و عملی‌تر هستند ولی راهکارهای تسکین تغییر اقلیم به فعالیت‌های وسیع و تعامل با فعالیت‌های جهانی و سایر کشورها نیاز دارد. لذا این مقاله با توجه به هدف از تهیه و مخاطبان آن با تمرکز بر رویکرد دوم یعنی سازگاری با تغییر اقلیم تدوین شده است.

^۱ Biomass

^۲ Mitigation

^۳ Adaptation

^۴ Adaptation to Climate Change

برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت با استفاده از مدل APSIM^۳ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که در بین تمام مناطق مورد بررسی، عملکرد دانه ذرت روند کاهشی خواهد داشت. بیشترین درصد تغییرات عملکرد دانه ذرت در مقایسه با دوره پایه و تحت سناریوی ۴°C، در شهرستان‌های امیدیه ۵۲ درصد و آبادان ۴۳ درصد به دست آمد. کمترین تغییرات عملکرد دانه نیز در مقایسه با دوره پایه در شهرستان مسجد سلیمان (۲۹ درصد) برآورد گردید.

در مورد گندم و سایر غلات دانه‌ریز، دوره پرشدن دانه با افزایش درجه حرارت به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. درجه حرارت بهینه برای عمل فتوسنتز در گندم بین ۳۰-۲۰°C می‌باشد (Hatfield et al., 2008). هرگونه افزایش دما بالاتر از دامنه ۳۵-۲۵°C، که معمولاً در دوره پر شدن دانه گندم اتفاق می‌افتد، سبب کوتاه شدن دوره پرشدن دانه و نهایتاً کاهش عملکرد خواهد شد. با فرض عدم تفاوت در میزان فتوسنتز روزانه گیاه، با کوتاه شدن دوره پر شدن دانه ناشی از افزایش درجه حرارت، عملکرد محصول به نسبت مستقیم کاهش می‌یابد. این تأثیر درجه حرارت، یکی از دلایل اصلی عملکرد پتانسیل کمتر گندم در منطقه "مید-وست" آمریکا نسبت به اروپا حتی در شرایط عدم وجود کمبود آب و تنش رطوبتی هست. بر اساس مطالعات انجام شده در "گریت پلین" آمریکا، کاهش عملکرد (بدون در نظر گرفتن کاهش فتوسنتز) ناشی از افزایش یک درجه دمای هوا در بازه دمای هوای ۲۱-۱۸°C، ۷ درصد و در دمای هوا بالاتر از ۲۱ درجه، برابر ۴ درصد می‌باشد. همچنین گزارش شده است که یک درجه افزایش دما باعث کاهش دوره زایشی گندم به میزان ۶ درصد و دوره پر شدن دانه به میزان ۵ درصد شده و می‌تواند عملکرد دانه و شاخص برداشت (HI)^۵ را به همین نسبت‌ها کاهش دهد. بر اساس مطالعات انجام شده در تعداد ۹ سایت در اروپا مشخص گردید به ازای هر ۱°C افزایش دما عملکرد گندم ۶ درصد کاهش می‌یابد. مطالعات انجام شده همچنین کاهش عملکرد جهانی گندم را به ازای هر ۱°C افزایش درجه حرارت ۵/۴ درصد گزارش نموده‌اند. همچنین علاوه بر کاهش عملکرد در اثر افزایش درجه حرارت، اندازه دانه گندم و سایر غلات نیز کاهش می‌یابد (Hatfield et al., 2008). کوچکی و نصیری (۱۳۸۷) تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی کشور را با استفاده از مدل شبیه‌سازی SUCROS و بر اساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بررسی نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که میانگین افزایش درجه

می‌شود. به‌طور معمول با افزایش درجه حرارت رشد گیاه در چرخه زندگی آن (فنولوژی گیاه) شدت و شتاب می‌یابد و این شتاب در رشد تا درجه حرارت بهینه گیاه که بستگی به گونه و رقم گیاهی دارد ادامه می‌یابد. اگر دمای محیط از دمای بهینه فراتر رود گیاه با کاهش رشد در اندام‌های خود روبرو خواهد شد. بسته به درجه حرارت بحرانی هرگونه گیاهی، واکنش عملکرد آن به درجه حرارت متفاوت خواهد بود. گیاهانی که دامنه دمای بهینه آن‌ها شامل دماهای خنک‌تری است، کاهش عملکرد در آن‌ها در اثر افزایش حرارت به بیش از حد بهینه، قابل ملاحظه‌تر خواهد بود. با این وجود، کاهش عملکرد در مزرعه ممکن است تنها ناشی از دما نباشد، زیرا دماهای بالا در بسیاری از اقلیم‌ها با کاهش یا فقدان بارندگی نیز همراه است.

واکنش بیولوژیکی گیاه به تغییرات و افزایش درجه حرارت یک واکنش خطی نیست. بنابراین هرچه افزایش درجه حرارت محیط بیشتر باشد، این تأثیرات بیشتر و قابل ملاحظه‌تر خواهد بود. همچنین ارتباط درجه حرارت و کمبود آب به صورت منفی عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به عنوان مثال در ایالت ایلی نویز^۱ آمریکا، عملکرد شبیه‌سازی شده ذرت با افزایش درجه حرارت به میزان ۲ درجه سلسیوس (°C)، به میزان ۸-۵ درصد کاهش یافت. همچنین پیش‌بینی می‌گردد با افزایش درجه حرارت به میزان ۱/۲°C در طی ۳۰ سال آینده در منطقه "مید-وست"^۲ آمریکا، عملکرد ذرت ۴ درصد تحت شرایط آبیاری و مدیریت خوب رطوبت خاک کاهش یابد.

پیش‌بینی شده است که افزایش هر یک درجه سلسیوس دما در آمریکا منجر به ۱۷ درصد کاهش عملکرد در محصولات ذرت و سویا خواهد شد (Hatfield et al., 2008). البته بعضی از منابع اظهار داشته‌اند که این درصد کاهش ممکن است اتفاق نیفتد زیرا اثرات پیچیده بارندگی و درجه حرارت در نظر گرفته نشده است. در ارزیابی‌های جدید واکنش تولید جهانی ذرت به درجه حرارت توأم با در نظر گرفتن اثرات بارندگی پیش‌بینی گردیده است که طی سال‌های آماری ۲۰۰۲-۱۹۶۱ با ۱/۰°C افزایش دما، عملکرد محصول ذرت ۸/۳ درصد کاهش خواهد یافت (Hatfield et al., 2008).

ظاهر طلوع دل و همکاران (۱۳۹۳) اثر درجه حرارت‌های بالا ناشی از تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت در پنج شهرستان استان خوزستان (آبادان، امیدیه، اهواز، دزفول و مسجد سلیمان) را پیش‌بینی نمودند. در مناطق مذکور، سناریوهای اقلیمی افزایش درجه حرارت به میزان ۱، ۲، ۳ و ۴ درجه سانتی‌گراد

^۳ Agricultural Production Systems Simulator

^۴ Great Plain

^۵ Harvest Index

^۱ Illinois

^۲ Midwest

زعفران به ازای هر یک درجه افزایش میانگین درجه حرارت نسبت به شرایط فعلی حداقل ۳۲ و حداکثر ۳۸ روز افزایش خواهد داشت. بنابراین در صورتی که گرمایش جهانی ناشی از تغییر اقلیم باعث افزایش میانگین درجه حرارت هوا به میزان ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد شود، زمان ظهور گل در مناطق تولید زعفران در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی بسته به شدت گرمایش تا اواخر آذرماه به تعویق افتاده و کاهش عملکرد این محصول را در بر خواهد داشت.

اثرات تغییر اقلیم از دیدگاه واکنش گیاه به گاز دی‌اکسید کربن و تأثیر آن بر عملکرد محصول

تأثیر گاز دی‌اکسید کربن بر گیاه به‌طور عمده بر فرآیند فتوسنتز می‌باشد. این تأثیر بسته به نوع گیاه از لحاظ قرار گرفتن گیاه در گروه کربن ۳ (C₃) یا کربن ۴ (C₄) تفاوت می‌نماید. بررسی‌های اولیه نشان داده‌اند که در گیاهان نوع C₃ در سناریو افزایش ۲ برابری در میزان CO₂ (از ۳۳۰ به ۶۶۰ قسمت در میلیون -ppm)، ۳۳ درصد عملکرد افزایش خواهد یافت. این اثر افزایشی بیشتر روی عملکرد و اجزای عملکرد نظیر افزایش پنجه‌زنی بوده است و بر کیفیت ظاهری دانه تأثیر کمتری داشته است (دانه تولیدی درشت‌تر نشده است). برای گیاهان C₄ (نظیر ذرت)، تأثیر دو برابر شدن میزان دی‌اکسید کربن بر عملکرد کمتر بوده است و حداکثر تا حد ۱۰ درصد افزایش گزارش شده است. البته حتی اگر کل ماده گیاهی تولیدشده از اثرات افزایش دی‌اکسید کربن سود برده و افزایش یافته باشد، تنش حرارتی زیاد در طول دوره زایشی می‌تواند تأثیر مثبت و سودمند دی‌اکسید کربن بر عملکرد را خنثی کند. همچنین برای استفاده حداکثر از اثرات سودمند دی‌اکسید کربن باید محدودیتی برای توسعه رشد گیاه وجود نداشته، تغذیه گیاهی در حد بهینه و کنترل علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها نیز در حد عالی باشد. بر اساس نتایج تحقیقات، علف‌های هرز از نوع C₃ از افزایش دی‌اکسید کربن بیشتر از سایر گونه‌های گیاهان زراعی نوع C₃ سود می‌برند و رشد می‌نمایند (Hatfield et al., 2008). تحقیقات مزرعه‌ای انجام‌شده در خصوص تأثیرات افزایش گاز CO₂ بر گیاهان همچنین تحقیقات انجام‌شده در فضای بسته را تأیید می‌نماید. به‌رحال در بعضی از نتایج مزرعه‌ای واکنش عملکرد گیاه به دی‌اکسید کربن کمتر از موارد گزارش شده قبلی است. در جدول ۱ اثرات دو برابر شدن میزان دی‌اکسید کربن بر میزان فتوسنتز برگ، تولید ماده گیاهی، عملکرد دانه یا میوه، هدایت روزنه‌ای و دمای تاج گیاه^۱ و تبخیر و تعرق (ET) گیاهان زراعی مختلف که تحت تنش آبی نبوده‌اند، ارائه گردیده است.

حرارت سالانه در مناطق مختلف کشور علیرغم اختلاف بین دو مدل گردش عمومی جو مورد استفاده، (GISS و GFDL) در محدوده ۳/۵ تا ۴/۴ درجه سانتی‌گراد قرار داشته و شدت افزایش دما از غرب به شرق و از شمال به جنوب کشور افزایش می‌یابد. این الگوی گرمایش باعث خواهد شد تا فراوانی درجه حرارت‌های بالاتر از ۳۰C در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی گندم در اغلب مناطق تولید گندم کشور در مقایسه با شرایط فعلی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی با افزایش میانگین دمای روزانه به میزان ۳°C یا بیشتر، عملکرد گندم حتی با افزایش غلظت گاز CO₂ (در شرایط تغییر اقلیم) نیز کاهش خواهد یافت. پیش‌بینی عملکرد برای سال هدف ۲۰۵۰ میلادی حاکی از آن است که عملکرد گندم آبی در مناطق مختلف تولید آن در کشور بین ۱۴ الی ۲۱ درصد کاهش خواهد یافت. در تحقیق مذکور همچنین از راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم برای جلوگیری از افت عملکرد گندم، به‌عنوان نمونه تغییر تاریخ کاشت و اصلاح ارقامی از گندم با دامنه مقاومت بالاتر به گرما (۲ تا ۴ درجه در مرحله گلدهی) معرفی شده است.

در خصوص اثر افزایش دمای هوا بر کاهش عملکرد برنج مطالعات زیادی انجام‌شده است. درجه حرارت بهینه برای تشکیل دانه و عملکرد مناسب گیاه برنج پایین‌تر از ۲۵°C هست و درجه حرارت متوسط هوا در طی دوره رشد پر شدن دانه برنج در تابستان در جنوب ایالات متحده و بسیاری دیگر از مناطق حاره مشابه در حدود ۲۷-۲۶°C می‌باشد که از حدود درجه حرارت بهینه این محصول (۲۵°C) بیشتر است. بر اساس مطالعه انجام‌شده، در آمریکا و بسیاری از مناطق حاره با افزایش دمای هوا به میزان ۱C بالاتر از دمای بهینه برنج، عملکرد محصول به میزان یک درصد کاهش می‌یابد و با افزایش ۱/۲°C، کاهش عملکرد ۱۲ درصد خواهد بود (Hatfield et al. 2008).

کوچکی و همکاران (۱۳۸۸) با اجرای آزمایش در محیط کنترل شده رفتار گلدهی زعفران در پاسخ به افزایش درجه حرارت در مراحل نمو^۱ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش درجه حرارت در دوره تلقیح، تغییراتی در رفتار گلدهی زعفران بروز نموده بطوریکه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بدون توجه به طول دوره تلقیح، گلدهی انجام نشد. افزایش طول دوره تلقیح نیز اثرات منفی بر ظهور گل‌ها داشت و در دوره تلقیح ۱۲۰ روزه گلدهی تنها در رژیم دمایی ۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی با مدل‌های رگرسیونی نشان داد که افزایش میانگین دمای روزانه در محدوده ۰/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش سرعت نمو و در نتیجه افزایش طول هر دو مرحله از گلدهی گیاه خواهد شد. یافته‌های تحقیق مذکور حاکی از آن است که طول دوره نمو

^۱ Canopy

جدول ۱- درصد تغییرات واکنش فتوسنتز برگ، کل ماده گیاهی تولیدی، عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای و درجه حرارت تاج گیاه یا تبخیر و تعرق نسبت به دو برابر شدن غلظت گاز CO₂ (Hatfield et al., 2008)

گیاه	تغییرات فتوسنتز برگ (%)	تغییرات کل ماده گیاهی تولیدی (%)	تغییرات عملکرد دانه (%)	تغییرات هدایت روزنه‌ای (%)	درجه حرارت (T) و تبخیر و تعرق (ET)
ذرت	۳**	۴	۴	-۳۴	n. a.
سویا	۳۹	۳۷	۳۸ و ۳۴	-۴۰	۱۲** و -۹
گندم	۲۵	۱۵-۲۷	۲۱	-۴۳** و -۳۳	-۸*
برنج	۳۶	۳۰	۳۰	n. a.	-۱۰
سورگوم	۹**	۳**	۸ و **	-۳۷**	-۱۳**
پنبه	۳۳	۳۶	۴۴	-۳۶	-۸
بادامزمینی	۲۷	۳۶	۳۰	n. a.	n. a.
لوبیا	۵۰	۳۰	۲۷	n. a.	n. a.

* معمولاً ۷۰-۳۵۰ پی پی ام، اما در بعضی موارد ۶۶۰-۳۳۰ پی پی ام می‌باشد
 ** مربوط به واکنش گیاه تحت شرایط افزایش CO₂ از ۵۷۰ - ۵۵۰ پی پی ام می‌باشد.
 n. a. داده‌ای موجود نیست.

لینک اطلاعات و تصمیم سازی برای بهبود امنیت غذایی، تهیه شده است.

با کاربرد مدل های گیاهی به عنوان نمونه برآورد شده است عملکرد سویا در ایالت آیوا^۲ آمریکا طی سال های ۲۰۰۰-۱۹۵۸، به میزان ۹/۱ درصد افزایش داشته است و طی این مدت میزان CO₂ از ۳۱۵ تا ۳۷۰ پی پی ام نیز افزایش یافته است. لذا نتیجه گیری شده است که قسمتی از نرخ افزایش عملکرد سویا در این ایالت ناشی از تغییرات جهانی گاز دی اکسید کربن بوده است و نه نوآوری ها در فناوری کشت و تولید این محصول.

اثرات تغییر اقلیم بر میزان مصرف آب و کارایی مصرف آب گیاه

مصرف آب از طریق تبخیر و تعرق گیاهان (ET) یک فرآیند فیزیکی است؛ اما می تواند تحت تأثیر مشخصه های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه نیز قرار گیرد. یکی از روش های محاسبه ET استفاده از معادله پنمن مانیت است. در این معادله مکانیزم های مختلف اثرگذار بر ET آمده است که بیشتر آن ها می تواند از پارامترهای تغییر اقلیم یعنی دما، گاز CO₂ و حتی میزان گاز اوزون (O₃) تأثیر پذیرفته و لذا در مجموع این پارامترها می توانند بر میزان مصرف آب و کارایی مصرف آب در شرایط تغییر اقلیم تأثیرگذار باشند. این تأثیرات به عنوان نمونه شامل: ۱- تأثیر مستقیم بر روی رشد گیاه و میزان سطح برگ، ۲- ایجاد اختلالات و تأثیر در بازشدگی روزنه های برگ و در نتیجه هدایت آن ها و خروج تلفات آب از گیاه به صورت بخار، ۳- ایجاد تغییرات فیزیکی در فشار بخار داخل برگ ها که بر روی میزان شیب جریان تعرق از برگ ها تأثیر گذارند. در مراحل اولیه

مدل های شبیه سازی گیاهی مختلف می توانند برای پیش بینی واکنش عملکرد گیاه به افزایش دی اکسید کربن از گذشته تا حال و میزان آن در آینده مورد استفاده قرار گیرند. در بحث اثرات تغییر اقلیم بر گیاه و تولید آن، مدل های گیاهی مختلفی در منابع علمی مشاهده می گردند که تعدادی از آن ها کاربردهای عمومی و جهانی یافته اند مانند مدل های CERES-MAIZE و CERES-Wheat و AquaCrop و یکسری نیز به تناسب تحقیقات و موضوعات مختلف اثرات خاص تغییر اقلیم بر رشد محصولات کشاورزی و تنش های رطوبتی، حرارتی، افزایش گاز CO₂ و غیره نیز تهیه شده اند. یعنی مدل های گیاهی مختلف این قابلیت را نیز دارند تا عملکرد گیاه را در واکنش گیاه به افزایش گاز CO₂ از سطوح گذشته تا مقادیر فعلی و آینده پیش بینی نمایند. اصولاً کاربرد مدل ها برای شناخت اثرات تغییر اقلیم مفید است. مدل ها ارتباطات پیچیده، ترکیبی، و وسیع بسیاری از عوامل بیوفیزیکی متاثر از رفتارها و عملیات مدیریتی را شبیه سازی نموده و می توانند اثرات این رفتارها را در مقیاس های زمانی طولانی آینده که بتوانیم نشانه هایی از اثرات و تغییرات در آینده را بر اساس آزمایش های و داده های کوتاه مدت متوجه شویم را فراهم می سازند. به عنوان نمونه سیستم مدلینگ برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی (MOSAICC)^۱، بسته جامع مدلی می باشد که برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی، شامل تغییرات در عملکرد محصولات کشاورزی و تأثیر آن بر اقتصاد ملی تهیه شده است (Karajeh and Pasquale, 2014). این مدل توسط سازمان فائو (FAO) و در چارچوب برنامه EC/FAO یعنی

^۱ Modeling System for Agriculture Impacts of Climate Change

^۲ Iowa

آبی گیاهان از ابعاد منطقه‌ای و جهانی را بررسی نموده‌اند. نتایج این مطالعات حاکی از آن است که تا سال ۲۰۷۰ میلادی نیاز آبی خالص گیاه (خالص تعرق گیاهی) بین ۵ درصد الی ۸ درصد در سطح جهانی افزایش یابد. درحالی‌که در سطح منطقه‌ای مثلاً جنوب شرق آسیا برآوردها تا ۱۵ درصد افزایش را نیز نشان می‌دهند (Bates et al., 2008). مطالعات دیگری ضمن تأکید بر اثرات مثبت افزایش گاز دی‌اکسید کربن بر روی کارایی مصرف آب گیاه، برآورد نموده‌اند که تا سال ۲۰۸۰ میلادی نیاز آبی گیاه در سطح جهانی تا ۲۰ درصد نیز افزایش خواهد یافت و این تأثیرات افزایش نیاز آبی بر مناطق توسعه‌یافته بیشتر از مناطق درحال توسعه خواهد بود، زیرا تغییر اقلیم علاوه بر افزایش پتانسیل تبخیر موجب افزایش طول دوره و فصل رشد محصولات کشاورزی این مناطق نیز می‌شود.

در تحقیقی اثرات ناشی از سناریوهای اقلیمی دما و بارندگی تا افق سال ۲۱۰۰ میلادی بر نیاز آبی چهار محصول عمده در حوضه آبریز زاینده‌رود (شامل گندم، جو، چغندرقد و سیب‌زمینی) بررسی گردید (شاه کرمی و همکاران، ۱۳۸۶). نتایج حاکی از افزایش معنادار تقاضا برای آب در بخش کشاورزی بود. در بین محصولات مذکور، سیب‌زمینی حساسیت کمتری را به پدیده تغییر اقلیم از خود نشان داد. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که هرچه به پایان قرن حاضر نزدیک می‌شویم احتمال افزایش میزان نیاز آبی محصولات در منطقه افزایش می‌یابد. این افزایش برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی تا حدود ۸ درصد با احتمال ۵۰ درصد و برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۷ تا ۲۲ درصد خواهد رسید. اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد کشت گندم دیم در دوره‌های زمانی آینده برای منطقه بهشهر در استان گلستان با استفاده از مدل جفت شده اقیانوسی-جویی CGCM3^۲ و تحت سناریوی A2 از سری سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای که در مرکز مدل‌سازی و تحلیل اقلیم کانادا (CCCMA^۳) توسعه یافته است، تعیین گردید (سلیمانی نندگانی، ۱۳۹۰). نتایج نشان داد که بارندگی‌ها در فصل پاییز افزایش یافته اما در فصل‌های زمستان و بهار کاهش می‌یابد. درحالی‌که درجه حرارت در تمامی ماه‌های سال افزایش بین ۱ الی ۲ درجه سانتی‌گراد تا پایان سال ۲۱۰۰ خواهد داشت. لذا نیاز خالص آبیاری (تکمیلی) محصولات اصلی الگوی کشت (گندم و جو) با جابجایی تاریخ کشت به سمت فصل زمستان افزایش یافته که این افزایش در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم تشدید خواهد شد. اثر تغییر اقلیم بر روی مصرف آب گیاه

رشد گیاه یعنی وقتی که گیاهان هنوز جوان هستند و به فواصل زیاد از هم قرار گرفته‌اند، افزایش در سطح برگ تقریباً متناسب با میزان رشد گیاه است و تعرق گیاهی نیز به تناسب افزایش می‌یابد. از آن مهم‌تر طول مدت و دوام سطح برگ نیز بر نیاز آبی کل فصل رشد گیاه تأثیرگذار است. بنابراین طولانی شدن دوره رشد ناشی از گرمایش حاصل از تغییر اقلیم، احتمالاً نیاز آبی گیاه از این طریق را افزایش خواهد داد. از طرف دیگر برای تعدادی از گیاهان از خانواده غلات، افزایش درجه حرارت می‌تواند بلوغ و رسیدگی گیاه را سریع‌تر نموده و بنابراین طول عمر برگ را کوتاه‌تر نموده و احتمالاً نیاز آبی کل گیاه در طول دوره رشد کمتر خواهد شد.

افزایش غلظت دی‌اکسید کربن موجب بسته شدن نسبی روزنه‌های گیاهی می‌شود که موجب کاهش هدایت آب و کاهش تلفات آب به شکل بخار از برگ‌ها به سمت اتمسفر می‌گردد. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده، به‌طور متوسط با ۲ برابر شدن گاز CO₂، (از ۳۴۰-۶۸۰ پی پی ام) هدایت روزانه‌ها ۳۴ درصد کاهش می‌یابد. که البته این نرخ در گیاهان از نوع کربن ۳ (C₃) و کربن ۴ (C₄) متفاوت است. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در شرایط آزمایش‌های مزرعه‌ای (در حدود ۵۵۰ پی پی ام یعنی ۱۸۰ پی پی ام بالاتر از آزمایش‌های در فضای محدود) میزان مصرف آب گیاه را بسته به نوع رقم گیاهی، ۲ الی ۱۳ درصد کاهش داده است.

فشار بخار آب درون برگ‌ها (e) بستگی زیادی به دمای برگ (T) دارد و با آن به صورت نمایی افزایش می‌یابد. بنابراین هر عاملی که بیان انرژی و دمای سطح برگ را تحت تأثیر قرار دهد، موجب تأثیر در فشار بخار آب درون برگ و در نهایت میزان مصرف آب توسط گیاه می‌گردد. در نتیجه اگر تا زمانی که سایر عوامل تعدیل‌کننده وجود نداشته و یا تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سایر عوامل (نظیر رطوبت هوا) اتفاق نیفتد، مطمئناً افزایش دمای هوا ناشی از تغییر اقلیم موجب افزایش دمای تاج گیاه و افزایش فشار بخار آب درون برگ‌ها شده و نهایتاً میزان تبخیر و تعرق (ET) افزایش خواهد یافت. به‌عنوان نمونه بر اساس تحقیقات انجام شده، افزایش دمای هوا به میزان ۱/۲ درجه با رطوبت نسبی ثابت، که می‌توان در طی ۳۰ سال آینده آن را ثابت فرض کرد، موجب افزایش ET گیاه مرجع یونجه به میزان ۱/۸ درصد در فصل تابستان می‌گردد (Hatfield et al., 2008).

صرف‌نظر از اثرات مثبت افزایش گاز CO₂ بر کارایی مصرف آب (WUE)^۱ گیاهان زراعی، تأثیر تغییر اقلیم بر افزایش نیاز آبی گیاه زیاد است. مطالعات زیادی تأثیر تغییر اقلیم بر افزایش نیاز

^۲ Coupled General Circulation Model^۳ Canadian Center for Climate Modeling and Analysis^۱ Water Use Efficiency(WUE)

دانه و کیفیت محصول، کاهش داده و خنثی نماید. همچنین مشابه افزایش تقاضای آب گیاه در شرایط گرم شدن هوا ممکن است اثرات مثبت مورد انتظار از افزایش دی‌اکسید کربن بر تولید گیاه را کاهش دهد (Bates et al., 2008). در گندم دیم رشد داده شده در محیطی با غلظت CO_2 برابر ۴۵۰ پی‌پی‌ام، عملکرد محصول تا حد افزایش دما برابر 0.8°C افزایش یافته است ولی با افزایش درجه حرارت فراتر از 1.5°C آن کاهش یافته و آبیاری بیشتری نیاز بوده است تا این اثرات منفی افزایش درجه حرارت را تعدیل نماید (Bates et al., 2008).

سرانجام فیزیولوژیست‌های گیاهی و مدل‌کننده‌های گیاهی، مشابه به این نتیجه رسیده‌اند که اثرات افزایش دی‌اکسید کربن در شرایط آزمایشگاهی اندازه‌گیری گردیده و در مدل‌های گیاهی مختلف استفاده شده‌اند، ممکن است واکنش گیاه در شرایط قطعه زراعی و یا مزرعه را بیش از حد تخمین زده باشند. این امر ناشی از بسیاری عوامل محدودکننده‌ای (نظیر آفات و بیماری‌ها، وجود علف‌های هرز، رقابت برای مصرف آب، کیفیت آب‌و‌خاک و هوا) می‌باشد که در شرایط واقعی مزرعه عمل می‌نمایند. این عوامل محدودکننده مهم به شکل ضعیفی در آزمایش‌های بزرگ‌مقیاس بررسی شده و بنابراین به شکل و مقادیر مناسبی در مدل‌های ریاضی و پیشرفته گیاهی وارد و به کار برده نشده‌اند. در نتیجه درک و شناخت دینامیک‌های کلیدی مشخص‌کننده روابط متقابل افزایش دی‌اکسید کربن و ارتباط رشد گیاه با عوامل محدودکننده نظیر وجود علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها، تغییرات اقلیمی و حساسیت اکوسیستم‌ها، هنوز به‌عنوان عوامل مهم و اولویت‌هایی برای شناخت تأثیرات آینده تغییر اقلیم در مدیریت سیستم‌ها باقی می‌ماند (Bates et al., 2008).

سازگاری با تغییر اقلیم در کشاورزی و راهکارهای آن

قاره آسیا، بزرگ‌ترین قاره جهان می‌باشد که تقریباً در چهار منطقه اقلیمی (سرد، خشک و نیمه‌خشک، حاره و معتدل) گسترده شده است. در این قاره نیز تغییر اقلیم بخش‌های مختلف (شامل منابع آب، کشاورزی، امنیت غذایی، اکوسیستم‌ها، تنوع زیستی، سلامت انسان و مناطق ساحلی) را تحت تأثیر قرار خواهد داد. در این قاره بسیاری از مشکلات محیط زیستی و توسعه‌ای به‌وسیله تغییر اقلیم تشدید خواهد شد. بر اساس اطلاعات بین‌المللی کشورها، اطلاعات آسیب‌های محتمل تغییر اقلیم به کشورهای درحال توسعه و در بخش‌های اقتصادی مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. همچنان که از جدول ۲ نمایان است، دامنه، فعالیت‌ها و عملکردهایی که می‌تواند برای

گندم در منطقه تبریز در استان آذربایجان شرقی بررسی گردید (سرافروزه و همکاران، ۱۳۹۱).

در چنین شرایطی مصرف آب گیاه گندم $8/3$ درصد افزایش می‌یابد. در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل سالانه هردو به میزان $4/4$ درجه سانتی‌گراد افزایش و مقدار بارندگی به میزان $16/3$ درصد کاهش خواهد داشت و لذا در چنین شرایطی مصرف آب گیاه گندم $9/6$ درصد افزایش خواهد یافت. بر اساس نتایج تحقیق اشرف و همکاران (۱۳۹۱)، نیاز آبی گیاه گندم در تربت‌جام و فریمان، برای سه سناریو اقلیمی مختلف (A1B و A2 و B1) افزایشی برابر ۱۷، ۱۴ و ۱۸ درصد و برای چغندر قند افزایشی برابر ۱۹، ۱۸ و ۱۸ درصد خواهد داشت. این تغییرات برای دشت سرخس به ترتیب برابر ۱۴، ۱۵ و ۱۵ درصد برای گندم و ۶ درصد برای چغندر قند خواهد بود.

میزان دی‌اکسید کربن اتمسفر با مصرف آب گیاه نیز رابطه دارد. افزایش غلظت دی‌اکسید اتمسفر بر روی عملکرد گیاهان زراعی از لحاظ تأثیر آن بر مصرف منابع آب می‌تواند مفید باشد زیرا WUE در محل برگ‌های گیاه می‌تواند به دلیل افزایش مقاومت روزنه‌ای^۱ برگ‌ها در شرایط افزایش دی‌اکسید کربن نسبت به حالت نرمال افزایش یابد. برای گونه‌های گیاهی از نوع کربن سه (C_3) که شامل اکثر گیاهان زراعی مورداستفاده برای غذا (نظیر بعضی از غلات) می‌باشد، تأثیر دی‌اکسید کربن ممکن است برای گیاهانی که تحت تأثیر تنش رطوبتی هستند، نسبت به گیاهانی که خوب آبیاری شده‌اند، بیشتر باشد. به‌رحال اثرات بزرگ مقیاس اثرات متقابل آب و دی‌اکسید کربن (در سطح گیاه، مزرعه و سطح منطقه‌ای) از عدم قطعیت و اطمینان بسیار برخوردار است. به‌طور کلی انتظار می‌رود که اثرات مثبت افزایش دی‌اکسید کربن در روابط آب گیاه به‌وسیله افزایش پتانسیل تبخیر و تعرق گیاه ناشی از افزایش درجه حرارت در شرایط تغییر اقلیم خنثی شود. نتایج بسیاری از تحقیقات اخیر حاکی از آن هستند که تغییرات دما و بارش در دهه‌های آینده اصلاح شده و اغلب اثرات مستقیم دی‌اکسید کربن بر گیاهان را محدود خواهد کرد. به‌عبارت دیگر تأثیر مثبت افزایش دی‌اکسید کربن بر روی افزایش رشد و تولید محصول بستگی زیادی به نوع محصول داشته و از طرفی ممکن است به دلیل افزایش درجه حرارت، افزایش تبخیر و افزایش تنش آبی در گیاه این اثر مثبت خنثی شود. به‌عنوان نمونه درجه حرارت بالا (تنش حرارتی) در زمان گل‌دهی گیاه ممکن است اثرات افزایش دی‌اکسید کربن بر گیاه را با کاهش تعداد دانه‌های تشکیل شده (کاهش شاخص برداشت یا ضریب باروری)، اندازه

^۱United Nations Framework Convention on Climate Change

^۱ Stomatal Resistance

چهارچوب خوبی برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی جهان باشد. هم‌چنین نتایج مدل‌ها حاکی از آن هستند که افزایش تقاضای آب ناشی از بخش‌های مختلف مصرف از جمله بخش کشاورزی و تغییرات در تأمین آب بالقوه ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند تا حدی با بهبود ارقام گیاهی متحمل، فناوری‌های آبیاری و زهکشی، مدیریت بهتر آب و سرمایه‌گذاری‌های کافی جبران و انطباق داده شود.

بر اساس مرور منابع علمی مختلف، راهکارهای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم از جنبه مدیریت آب کشاورزی جمع‌بندی و در جدول ۳ به صورت خلاصه ارائه شده‌اند. البته این راهکارها بالقوه بوده و انتخاب و کاربرد آن‌ها بستگی به شرایط محلی دارد و به اصطلاح باید بومی شوند که در بخش بعدی به آن پرداخته شده است.

در جدول ۴ تعدادی از راهکارهای محلی سازگاری با تغییر اقلیم در کشاورزی^۱ و برگرفته از نظرات بهره‌برداران و کارشناسان آب و کشاورزی کشور ارائه گردیده است.^۲

سازگاری با تغییر اقلیم به کار رود، در بین این کشورها متنوع است.

نتایج تحقیقات انجام‌شده بر انطباق کشاورزی با تغییر اقلیم با استفاده از مدل شبیه‌سازی ارقام گیاهی مختلف نشان داد، بعضی از ارقام گیاهی حساسیت کمتری نسبت به کشت آن در مراحل مختلف سال دارند، درحالی‌که ارقام دیگر تحت شرایط گرم‌تر عملکرد پتانسیل بیشتری خواهند داشت. یک رقم قادر است تا اثرات کاهش عملکرد ناشی از سناریوهای تغییر اقلیم را جبران نماید، در حلیکه رقم دیگر به تاریخ کشت حساس نبوده و ثبات بیشتری در تولید دارد (Rosenzweig et al., 2004). از نقطه نظر مصرف آب و نیاز گیاه به آب نیز رقم‌های گیاهی مختلف نیازها و واکنش‌های مختلفی از خود نشان داده‌اند. بنابراین مشاهده می‌گردد که ارقام گیاهی مختلف و خصوصیات آن‌ها نقش مهمی به تحمل‌پذیری برای اثرات تغییر اقلیم دارد. جمع‌بندی کلی نتایج تحقیقات مختلف (Rosenzweig et al., 2004) نشان داده است که مدل‌سازی می‌تواند یک

جدول ۲- راهکارهای سازگاری در بخش کشاورزی در کشورهای در حال توسعه* (FAO-OECD, 2012)

راهکارهای سازگاری فعال و در دست اقدام	راهکارهای سازگاری مورد انتظار و قابل پیش‌بینی برای آینده
- ذخیره آب برای آبیاری (با احداث سد، استخر و ...)	- توسعه گیاهان مقاوم/ متحمل (مقاوم و متحمل به خشکی و خشکسالی، شوری و آفات و بیماری‌ها)
- تغییرات در نوع و نحوه کاربرد و مصرف کودهای شیمیایی	- گسترش تحقیقات و مطالعات مرتبط
- توجه به تغذیه خاک و بهبود آن	- مدیریت آب‌و خاک و شناخت بهتر رابطه آب و خاک-گیاه - اتمسفر
- تغییرات در زمان کاشت و برداشت محصولات کشاورزی	- ایجاد تنوع در محصولات زراعی مورد کشت
- گذار و جابجایی به استفاده از ارقام و واریته‌های گیاهی جدید	- ایجاد و توسعه سیستم‌های پیش‌آگاهی
- اجرای برنامه‌های آموزشی و برون‌سازمانی در خصوص مدیریت و حفاظت از منابع آب، خاک و گیاه	

* صرفاً موارد مرتبط با مدیریت‌های زراعی و گیاهی در شرایط تغییر اقلیم

^۱ مطالب این قسمت به‌طور عمده برگرفته از نتایج بازبینی میدانی، نظرات کارشناسی، و تکمیل پرسشنامه در جریان پروژه تحقیقاتی خاص نگارنده تحت عنوان "بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی از دیدگاه مدیریت منابع آب" در منطقه پایلوت حوضه آبریز طشک-بختگان در استان فارس و همچنین دفاتر ستادی معاونت‌های آب‌و خاک، زراعت، و باغبانی وزارت جهاد کشاورزی می‌باشد.

^۲ البته لازم به ذکر است که تعدادی از این راهکارها در مناطق پایلوت در کشور و در سطوح محدودی در حال اجرا هستند.

جدول ۳- راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم به استناد منابع علمی جهانی* (Iglesias and Garroteb, 2015)

عنوان راهکار	تیپ راهکار سازگاری
افزایش راندمان آبیاری	۱- راهکارهای وابسته به مصرف آب محصولات کشاورزی
افزایش کارایی مصرف آب	
تغییر در روش و عملیات آبیاری (مثلاً استفاده از سیستم‌های آبیاری صرفه‌جو و ...)	
ارائه آموزش‌های فنی به بهره‌برداران در زمینه مدیریت بهتر آب	
ترویج و استفاده از دستگاه‌های شوری‌زدایی آب در مناطق با آب شور	
لایروبی کانال‌های آبیاری از رسوبات و علف‌های هرز	
افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک	
ایجاد مخازن آب کوچک در مزارع	
بهبود ظرفیت مخازن آب	
بهبود فعالیت‌های افزایش نگهداشت رطوبت در خاک	
تغییر و جابجایی در تقویم عملیات زراعی	۲- راهکارهای زراعی و گیاهی
داشتن تناوب زراعی مناسب	
تغییر ارقام و گونه‌های گیاهی و ترویج و استفاده از بذور اصلاح‌شده ارقام سازگار با شرایط خشکی	
ارائه و ترویج ارقام اصلاح‌شده متناسب با شرایط جدید	
معرفی ارقام گیاهی مقاوم به خشکی و خشکسالی	
ارائه آموزش‌های فنی در زمینه مدیریت عملیات زراعی (تقویم کشت، روش کشت، عملیات کاشت و داشت و برداشت)	
مدیریت بهتر نهاده‌های کشاورزی (کود، سم، علف‌کش و بذر و ...)	
انجام کشت ترکیبی مخلوط	
انجام روش‌های کشاورزی حفاظتی و بی خاک‌ورزی حفاظتی (بی/کم خاک‌ورزی و ...)	
استفاده بیشتر از کودهای آلی و مدیریت بقایای گیاهی (افزایش مواد آلی خاک)	

* صرفاً موارد مرتبط با مدیریت‌های به-زراعی و گیاهی در شرایط تغییر اقلیم

جدول ۴- راهکارهای پیشنهادی سازگاری با تغییر اقلیم بر اساس نظرات بهره‌برداران و کارشناسان آب و کشاورزی کشور*

عنوان راهکار	تیپ راهکار سازگاری
<ul style="list-style-type: none"> - تغییر شیوه آبیاری و توسعه سیستم های آبیاری تحت فشار - احداث استخرهای ذخیره آب - جلوگیری از تلفات غیر مثمر آب با اجرای آبیاری‌های نوین، تسطیح و یکپارچه‌سازی اراضی، لایروبی قنوات، پوشش کانال‌ها - توسعه استفاده از روش تسطیح لیزری در مزارع - انتقال لوله با آب - یکپارچه‌سازی اراضی، ایجاد سامانه‌های نوین آبیاری، ایجاد شبکه‌های فرعی آبیاری - توسعه روش‌های آبیاری میکرو (قطره‌ای و ...) 	۱- راهکارهای وابسته به مصرف آب محصولات کشاورزی
<ul style="list-style-type: none"> - ایجاد تناوب‌های زراعی مناسب (با کشت‌های کم آب بر) توأم با کشت آیش - توسعه گونه‌های دیم و استفاده از ارقام و گونه‌های زراعی و باغی مقاوم به تنش‌های خشکی و شوری - تغییر در تاریخ کاشت (در برخی از محصولات نظیر سیب‌زمینی و پیاز که از بارش‌های زمستانه استفاده شود) - توسعه کشت گیاهان پائیزه - توسعه گیاهان زودرس و متحمل به تنش‌های محیطی (خشکی و شوری)، - توسعه کشت‌های گلخانه‌ای - و کشت گیاهان با نیاز آبی کمتر و ارزش اقتصادی بالا (نظیر کشت گیاهان دارویی، گل رنک، زعفران، کتجد، سرخارگل، کشت باغات پسته، گسترش کشت‌های گلخانه‌ای و ایجاد باغ‌های انگور به روش داربستی و ...) - استفاده از ارقام زودرس و میان‌رس در مزارع ذرت - انتقال بعضی از کشت از پائیزه به بهاره - توسعه کشت انتظاری در حبوبات دیم مانند نخود و عدس جهت استفاده از بارش‌ها - توسعه کشت زراعت‌های جایگزین در شرایط کم‌آبی (مانند سورگوم و ارزن) - توسعه کشت‌های نشایی (به‌خصوص برای دانه‌های روغنی) 	۲- راهکارهای زراعی و گیاهی
<ul style="list-style-type: none"> - حفظ بقایای گیاهی محصول قبل در سطح خاک با استفاده از فناوری‌های مناسب برای کشاورزی حفاظتی - افزایش دقت در کاربرد نهاده‌ها (کود، سم، آب و ...) متناسب با نیاز گیاه در هر نقطه از مزرعه و در زمان مناسب با استفاده از فناوری‌های کشاورزی دقیق و هوشمند و ماشین‌های باقابلیت تغییر در میزان کاربرد نهاده‌ها بر اساس نیاز گیاه در هر نقطه - بهبود رشد و نمو و پایداری گیاه با افزایش میزان دقت ماشین‌های متداول برای انجام عملیات در فرایند تولید محصول - تشخیص سریع و به‌موقع اثرات ناشی از تغییر اقلیم بر گیاه در طول فصل رشد با استفاده از فناوری‌های پایش و سنجش هوایی و غیرمخرب برای واکنش به‌موقع 	۳- راهکارهای مکانیزاسیون کشاورزی

* صرفاً موارد مرتبط با مدیریت‌های به-زراعی و گیاهی در شرایط تغییر اقلیم

بحث و نتیجه گیری

واکنش عملکرد گیاهان به درجه حرارت بستگی به نیاز بحرانی (دمای بحرانی رشد) هر گیاه به درجه حرارت دارد. در گیاهانی که دامنه دمای بهینه آن‌ها کم است و به اصطلاح سرمادوست هستند، خسارت کاهش عملکرد ناشی از تغییر اقلیم (افزایش دما) بیشتر است و این افزایش خسارت با تنش آبی (کاهش بارندگی‌ها) تشدید می‌شود. به عنوان نمونه برای گندم تأثیرات مخرب افزایش دما علاوه بر کاهش فتوسنتز، از عواملی نظیر کاهش دوره زایشی، دوره پر شدن دانه، کاهش اندازه دانه و کاهش شاخص برداشت نیز ناشی می‌شود.

تأثیر گاز دی‌اکسید کربن بر گیاه به‌طور عمده بر فرآیند فتوسنتز است. این تأثیر بسته به نوع گیاه از لحاظ قرار گرفتن گیاه در گروه کربن ۳ (C₃) (نظیر گندم و جو) یا کربن ۴ (C₄) (نظیر ذرت) متفاوت است. افزایش گاز دی‌اکسید کربن در شرایط تغییر اقلیم موجب افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد (بیشتر اجزای عملکرد از طریق افزایش پنجه‌زنی) بوده ولی دانه‌های درشتی تولید نمی‌شوند. این تأثیرات روی گیاهان از نوع C₃ بیشتر بوده در حالی که تأثیر آن در گیاهان از نوع C₄ کمتر است. ولی به هر حال تأثیرات سودمند افزایش CO₂ اتمسفر بر گیاه به دلیل افزایش دما و کاهش رطوبت و میزان آب مورد نیاز گیاه در شرایط تغییر اقلیم تا حد زیادی خنثی می‌شود.

تغییرات اقلیمی (دما، میزان CO₂ و ...) اثرات پیچیده‌ای را در تلفیق با یکدیگر و بر روی عملکرد گیاه می‌گذراند تأثیر تغییر اقلیم بر افزایش نیاز آبی گیاه از طریق افزایش تبخیر، زیاد است. به هر حال رابطه پیچیده‌ای از نظر تغییر اقلیم بر مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب گیاه (از طریق افزایش گاز CO₂ و افزایش فتوسنتز)، افزایش درجه حرارت و در نتیجه بلوغ و رسیدگی سریع‌تر گیاه و به تبع آن کاهش دوره رشد و کاهش نیاز آبی کل دوره رشد گیاه وجود دارد. ولی به هر حال تغییر اقلیم (افزایش دما) موجب افزایش تقاضا و مصرف آب مناطق سرد-سیر می‌شود. زیرا علاوه بر افزایش پتانسیل تبخیر موجب افزایش طول دوره مناسب رشد برای محصولات مختلف کشاورزی و تنوع کشت محصولات در این مناطق می‌گردد.

تأثیرات مخرب تغییرات اقلیمی با تلاش‌ها برای بهبود بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، از طریق فعالیت‌های به-زراعی، به-تژادی، زیست‌فناوری، افزایش راندمان آبیاری و بهبود کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی ناشی از کاربرد فناوری‌های نوین، می‌تواند دستخوش تغییرات شده و تا حدی تعدیل شود. همچنین با توجه به این که کشاورزی فاریاب نقش مهمی در تولید داشته و بیش از ۷۵ درصد از مصرف منابع آب تجدید پذیر کشور را به خود اختصاص داده است، اثرات تغییرات اقلیم بر کشاورزی ایران در مقایسه با سایر کشورهای پرآب

شدیدتر خواهد بود و این مسئله در آینده در تحقیقات و فرایند مدل سازی و انتخاب سناریوها و همچنین راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم در کشاورزی باید مدنظر قرار گیرد. زمینه‌های مورد نیاز توجه بیشتر برای سازگاری با تغییر اقلیم در کشاورزی عبارتند از:

- افزایش بقایای گیاهی و مواد آلی خاک
 - حفظ رطوبت خاک
 - تغییر الگوی کشت و کشت محصولات مقاوم به کم‌آبی و با ارزش اقتصادی بالا
 - گنجاندن گیاهان کم‌بهره برداری شده و یا حتی جدید در الگوی کشت و در راستای پایداری تولید و سازگاری با تغییر اقلیم
 - گسترش کشت در محیط‌های کنترل شده (گلخانه)
 - گسترش کشت ارقام با طول دوره رشد کوتاه
 - تنظیم تقویم کشت محصولات مختلف زراعی مطابق با شرایط اقلیمی و منابع خاک
- در خاتمه باید خاطرنشان شود که پدیده تغییر اقلیم پدیده پیچیده‌ای است و راهکارهای ارائه شده در این مقاله باید در مقیاس محلی ارزیابی و بومی‌سازی شوند. لذا ضرورت دارد در ارزیابی‌های تغییر اقلیم و سازگاری با آن ریز مقیاس‌نمایی‌های لازم انجام شود. همچنین ضرورت دارد تحقیقات و مطالعات خاص تغییر اقلیم در کشور گسترش یافته و نتایج محلی و خاص بیشتری در آینده برای استفاده برنامه ریزان و بهره‌برداران در قالب نشریات فنی و ترویجی ویژه ارائه شود.

مراجع

- اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ. و داوری، ک. ۱۳۹۱. ارزیابی تغییر مصرف آب گندم و چغندر قند با توجه به اثرات تغییر اقلیم در دو دهه آتی در دشت‌های منتخب استان خراسان رضوی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، (۲): ۶-۱۱۷-۱۰۵.
- خور سندی، ف.، پورنگ، ن.، شاهی فر، ر.، عزیزی زهان، ع.ا. و سراییان، ل. ۱۳۸۷. ارزیابی آسیب‌پذیری و سازگاری بخش کشاورزی، دامپروری و شیلات نسبت به تغییر اقلیم در ایران، گزارش ارائه شده به کارگروه آسیب‌پذیری بخش کشاورزی دامپروری و شیلات، سازمان حفاظت از محیط‌زیست، شهریور ۱۳۸۷.
- سرافروزه، ف.، جلالی، م.، جلالی، ط. و جمالی، ا. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر مصرف آب محصول گندم در تبریز. فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، (۱۲): ۳۷-۸۱-۹۶.

- FAO. 2016. Climate is changing: Food and agriculture must too. Food and Agriculture Organization of the United Nations Activity Work, on the Occasion of the World Food Day, 16 October, 2016.
- FAO-OECD. 2012. Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector. Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop. 23–24 April 2012, Rome, Italy.
- Global Risks Report. 2018. The Global risk report, 13th Edition, World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 2018.
- Hatfield, J.L., Boote, K.J., Kimball, B.A., Wolfe, D.W., Ort, D.R., Izaurralde, R.C., Thomson, A.M., Morgan, J.A., Polley, H.W., Fay, P.A., Mader, T.L. and Hahn, G.L. 2008. The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States. U.S. Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 4.3, Chapter 2: Agriculture. USDA ARS, May 2008.
- Karajeh, F. and Steduto, P. 2014. Using AQUACROP to support climate change impact assessment in key agricultural sectors. 6th Expert Group Meeting on the Regional Initiative Water Resources and Socio-Economic Vulnerability in the Arab Region (RICCAR), 7-8 December 2014, Cairo, Egypt.
- Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. and Fischer, G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14: 53–67.
- Iglesias, A. and Garroteb, L. 2015. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management*, 155:113-124.
- Rosenzweig, C., Strzepek, K.M., Major, D.C., Iglesias, A., Yates, D.N., McCluskey, A. and Hillel, D. 2004. Water resources for agriculture in a changing climate: International case studies. *Global Environmental Change*, 14:345-360.
- Tol, R.S.J. 2002. Estimates of the damage costs of climate Change: Part 1: Benchmark Estimates. *Environmental and Resource Economics*, 21(1):47-73
- سلیمانی ننادگانی، م.، پارسى نژاد، م.، عراقى نژاد، ش. و مساح بوانى، ع. ۱۳۹۰. تأثير تغيير اقليم بر نياز خالص آبيارى و عملكرد گندم ديم: مطالعه موردى بهشهر. نشریه آب و خاک (علوم و صنايع کشاورزى)، (۲)۲۵: ۳۸۹-۳۹۷.
- شاه كرمى، ن.، مريد، س.، مساح بوانى، ع. و فهمى، ه. ۱۳۸۶. تحليل ريسك تغيير در نياز آبى محصولات کشاورزى در اثر پديده تغيير اقليم در شبكه آبيارى زابنده رود. كارگاه فنى اثرات تغيير اقليم در مديريت منابع آب، ۲۴ بهمن ماه ۱۳۸۶. تهران، ايران.
- طاهر طلوع دل، پ.، صوفى زاده، س.، ديهيم فرد، ر. و كامبوزيا، ج. ۱۳۹۳. پيش بينى اثرات افزايش درجه حرارت ناشى از تغيير اقليم آينده بر عملكرد ذرت در استان خوزستان. مجموعه مقالات اولين همایش الكترونيكى يافته هاى نوين در محيط زيست و اكوسيستم هاى کشاورزى.
- كوچكى، ع. و نصيرى، م. ۱۳۸۷. تأثير تغيير اقليم همراه با افزايش غلظت بر عملكرد گندم در ايران و ارزشيابى راهكارهاى سازگارى. مجله پژوهش هاى زراعى ايران، (۱)۶: ۱۵۳-۱۳۹.
- كوچكى، ع.، نصيرى محلاتى، م.، عليزاده، ا. و گنجعلى، ع. ۱۳۸۸. مدل سازى تأثير تغيير اقليم بر رفتار گلدهى زعفران. مجله پژوهش هاى زراعى ايران، (۲)۷: ۵۸۳-۵۹۳.
- مساح بوانى، ع. ۱۳۹۷. تدوين راهبردها و برنامه ملي سازگارى با تغيير اقليم در بخش آب. گزارش مطالعات بخش اول: مفاهيم، تجارب و رويكردهاى سازگارى با تغيير اقليم (فصل ۸: مرورى بر اثرات تغيير اقليم بر دما و بارش جهان و ايران به استناد گزارش هاى بين المللى و رويكردهاى روش شناسى). گزارش پروژه پژوهشكده منابع آب، موسسه تحقيقات آب، وزارت نيرو (در دست چاپ).
- Bates, B., Kundzewicz, Z.W. and Palutikof, J. 2008. Climate change and water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Technical paper VI, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.

Climate Change and Its Adaptation Measures for Agriculture

N. Heydari^{*}

Abstract

Climate change is a reality which is occurring in most of the world countries, e.g. Iran. Increase in Greenhouse gases (mainly CO₂), air temperature rise, and variability (mostly decrease) in precipitations are parameters of climate change which will affect greatly crop yield, crop water requirement, and crop production in agricultural sector in future. Therefore study of its impacts on agriculture and also the methods of adaptation to this phenomenon in agriculture, in regard to crop production, water consumption, and food security issues, are crucial. Among the different approaches and measures of adaptation to climate change are changes in crop type and cropping pattern together with breeding of crop cultivars resistance to different environmental stresses (e.g., drought, heat, and salinity) are of important ones. The current paper provides an analytical review of important international and national references on the impacts of climate change on agricultural crops from the heat stress, water requirement, response of crop to atmospheric CO₂, and overall crop water use efficiency and production aspects in agriculture. Moreover, some measures and policies on adaptation to climate in agriculture are provided.

Key words: Climate change, Water, Crop, Adaptation

[\] Associate Prof., Iranian Agricultural Engineering Research Institute (AERI); Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. (* Corresponding author, Email: nrheydari@yahoo.com)

Received: 31 Des, 2017

Accepted: 14 Feb, 2018