

شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود

افشین سلطانی^۱ و منوچهر قلی‌پور^۲

^۱دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه صنعتی شاهرود
تاریخ دریافت: ۸۳/۲/۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۴/۷/۱۵

چکیده

تغییر احتمالی اقلیم در آینده می‌تواند اثرات قابل توجهی بر رشد، عملکرد و مصرف آب گیاهان زراعی داشته باشد. هدف از این تحقیق، بررسی اثر تغییر اقلیم آینده بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود (*Cicer arietinum L.*) تحت شرایط دیم و آبی مراغه (شمال غرب ایران) بود. نتایج مربوط به شبیه‌سازی اقلیم آینده براساس مدل‌های GISS و GFDL برای زمانی که غلظت CO₂ دو برابر می‌شود، نشان داد که در طی فصل رشد نخود، میانگین دما در منطقه مورد بررسی به ترتیب ۳/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و تابش و بارندگی به ترتیب ۲- تا ۴ درصد و ۱۵- تا ۴ درصد تغییر پیدا می‌کنند. شبیه‌سازی رشد و نمو نخود با استفاده از مدل CICER نشان داد که با دو برابر شدن CO₂، و تغییرات اقلیمی ناشی از آن، دوره رشد گیاه در اثر افزایش دما ۱۰ تا ۱۳ درصد کاهش می‌یابد، عملکرد دانه در شرایط دیم ۲۸ تا ۴۵ درصد و در شرایط فاریاب ۴- تا ۱۵ درصد تغییر پیدا می‌کند، مصرف آب تا ۱۵ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که کارایی مصرف آب در شرایط دیم ۳۹ تا ۴۲ درصد و در شرایط آبی ۱۳ تا ۲۲ درصد افزایش پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، دی اکسید کربن، شبیه‌سازی، نخود

مقدمه

غلظت دی‌اکسید کربن از حدود ۲۸۰ میکرومول بر مول در قبل از انقلاب صنعتی به حدود ۳۶۵ میکرومول بر مول در حال حاضر افزایش یافته است (IPPC, ۱۹۹۲). استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی و قطع جنگل‌ها از مهمترین دلایل این افزایش به شمار می‌آیند. افزایش غلظت دی اکسید کربن و نیز سایر گازهای گلخانه‌ای از طریق جذب بیشتر تابش طول موج بلند که از زمین گسیل می‌شود، باعث ایجاد تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما و به تبع آن تغییر الگوی بارندگی و تابش خورشیدی

می‌شود (IPPC, ۱۹۹۲؛ راولینز، ۱۹۹۱؛ روزنسوینگ، ۱۹۸۹).

برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای از مدل‌های عمومی گردش (GCM^۱) استفاده می‌شود (کری و همکاران، ۱۹۹۰؛ هانسن و همکاران، ۱۹۸۸؛ روزنسوینگ، ۱۹۹۳؛ ودرالد و ماناب، ۱۹۸۸). این مدل‌ها، افزایش دما، نسبت تغییر بارندگی و نسبت تغییر تابش را برای زمانی که غلظت دی اکسید کربن دو برابر می‌شود، محاسبه می‌کنند. از معروف‌ترین

1- General Circulation Model

در این زمینه رژیم دمایی و بارندگی فعلی محل مورد نظر بسیار تعیین کننده هستند.

برای مطالعه کمی تأثیر احتمالی تغییر اقلیم بر اکوسیستم‌های زراعی و بر عملکرد گیاهان زراعی می‌توان از مدل‌های شبیه سازی گیاهان زراعی استفاده کرد (کری و همکاران، ۱۹۹۰ الف؛ متیوز و همکاران، ۱۹۹۷؛ سینکلر و سلیگمن، ۱۹۹۵). پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم با استفاده از شبیه سازی رایانه‌ای دارای دو مرحله است. ابتدا آمار هواشناسی موجود متناسب با پیش‌بینی GCM تغییر داده می‌شود و سپس برای شرایط تغییر یافته اقلیمی شبیه سازی صورت می‌گیرد (کری و همکاران، ۱۹۹۰ الف؛ ب؛ متیوز و همکاران، ۱۹۹۷؛ روزنسیوگ، ۱۹۹۳). برخی از محققان، آمار هواشناسی جاری را به صورت دلخواه تغییر داده و سپس برای وضعیت تغییر یافته اقلیمی، رشد و عملکرد گیاه را شبیه سازی می‌کنند (لل و همکاران، ۱۹۹۸؛ نانپل، ۱۹۹۶؛ سینکلر و راولینز، ۱۹۹۳؛ سینکلر و سلیگمن، ۱۹۹۵). نتایج این مطالعات (برای مثال کری و همکاران، ۱۹۹۰ الف؛ ب؛ لل و همکاران، ۱۹۹۸؛ متیوز و همکاران، ۱۹۹۷؛ نانپل، ۱۹۹۶؛ روزنسیوگ، ۱۹۹۳؛ سینکلر و راولینز، ۱۹۹۳؛ سینکلر و سلیگمن، ۱۹۹۵؛ ولف و واندپین، ۱۹۹۵) متفاوت بوده است و کاهش، عدم تغییر و افزایش عملکرد و مصرف آب گزارش شده است.

برای تجزیه و تحلیل تیمارهای مختلف بر عملکرد، می‌توان عملکرد را به‌عنوان تابعی از منبع محیطی محدود کننده به صورت حاصلضرب سه مؤلفه نسبتاً مستقل شامل: الف) مقدار منبع محیطی مثل آب و تابش به دام انداخته شده (گرفته شده، دریافت شده) توسط محصول، ب) کارایی تبدیل منبع محیطی دریافت شده به ماده خشک، و ج) نسبت یا درصد تقسیم ماده خشک تولید شده به اندام اقتصادی (شاخص برداشت) در نظر گرفت. بنابراین در شرایط دیم که منبع محیطی محدود کننده آب می‌باشد، عملکرد را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

$$GY = WI \times TRATIO \times TE \times HI \quad (1)$$

این مدل‌ها می‌توان GISS¹ و GFDL² را نام برد. از نظر پیش‌بینی تغییرات اقلیمی بین این مدل‌ها اختلافاتی وجود دارد که مربوط به ساختار متفاوت آنهاست. بنابراین در مطالعات تغییر اقلیم، استفاده از چند مدل GCM بهتر است زیرا دامنه‌ای از تغییرات را پیش‌بینی می‌کنند.

افزایش غلظت CO₂ به دو طریق بر فرآیندهای گیاه و تولیدات زراعی تأثیر می‌گذارد. یکی تأثیر مستقیم این گاز بر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاه است و دیگری تأثیر غیرمستقیم آن از طریق تغییرات دما، بارندگی و تابش می‌باشد. این تأثیرات به ترتیب به اثرات مستقیم و اثرات اقلیمی (اثرات غیرمستقیم) معروف هستند (کری و همکاران، ۱۹۹۰ الف و ب). از آنجا که CO₂ یک ماده محدود کننده در فتوسنتز به شمار می‌آید، افزایش غلظت آن می‌تواند به افزایش فتوسنتز منجر شود. این افزایش در گیاهان C₃ بیشتر از گیاهان C₄ است، زیرا گیاهان C₄ فاقد تنفس نوری هستند و فتوسنتز آنها کمتر تحت تأثیر غلظت‌های پایین CO₂ قرار می‌گیرد (آلن، ۱۹۹۰). کیمبال و ایدسو (۱۹۸۳) و آلن (۱۹۹۰) با مرور آزمایش‌های گوناگون بر روی گیاهان مختلف نشان دادند که با دو برابر شدن غلظت CO₂، فتوسنتز و عملکرد در گیاهان C₃ و C₄ به ترتیب ۳۴ و ۱۵ درصد افزایش پیدا می‌کند. در مورد تعرق، بررسی آزمایش‌های متفاوت روی گیاهان مختلف توسط آلن (۱۹۹۰) و کیمبال و ایدسو (۱۹۸۳) نشان داده است که بر اثر دو برابر شدن غلظت CO₂، تعرق به میزان ۳۴ درصد کاهش خواهد یافت که ناشی از کاهش هدایت روزنه‌ای است. در نتیجه کارایی مصرف آب (نسبت وزن خشک تولید شده به آب تلف شده از طریق تبخیر و تعرق) نیز بیشتر می‌شود. تأثیر نهایی افزایش غلظت CO₂ و تغییرات آب و هوایی همراه با آن بر گیاهان زراعی کاملاً به شرایط محیطی جاری در محل مورد نظر بستگی دارد، و ممکن است از محلی به محل دیگر متفاوت باشد.

در نخود هیچ مطالعه‌ای در زمینه اثرات تغییر اقلیم انجام نشده است. بنابراین هدف اصلی از این تحقیق شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم احتمالی آینده بر فنولوژی، رشد، عملکرد و مصرف آب نخود تحت شرایط دیم و آبی منطقه مراغه (شمال غرب کشور) بود. هدف دیگر این تحقیق تجزیه و تحلیل تغییرات عملکرد دانه با استفاده از معادلات ۱ و ۲ بود تا دلایل تغییرات مشخص شود.

مواد و روش‌ها

مدل مورد استفاده: برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر فنولوژی، رشد، عملکرد و مصرف آب نخود از مدل **CICER** استفاده شد. برای جزئیات بیشتر درباره نحوه محاسبات فرآیندهای مختلف گیاهی و اجزای موازنه آب خاک به سلطانی و همکاران (۱۳۷۸) مراجعه شود. به طور خلاصه در به کارگیری این مدل، آمار هواشناسی شامل حداکثر و حداقل دما، تابش خورشیدی و بارندگی و همچنین خصوصیات خاک و شرایط مدیریت زراعی مورد نیاز است. فنولوژی گیاه به چهار دوره کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا گلدهی، گلدهی تا شروع پرشدن دانه و شروع پر شدن دانه تا رسیدن فیزیولوژیکی تقسیم می‌شود. طول دوره سبز شدن تا گلدهی تحت کنترل دما و طول روز است، ولی طول سایر مراحل فقط به دما بستگی دارد. گسترش سطح برگ در مراحل اولیه رشد تحت کنترل دما است، ولی در مراحل بعدی توسط مقدار ماده خشک قابل دسترس برای رشد برگ‌ها و وزن مخصوص برگ تعیین می‌شود. پیر شدن برگ به مرحله نمو گیاه، سایه‌اندازی و دما بستگی دارد. تولید روزانه ماده خشک با استفاده از شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی سایه‌انداز (کانوپی) برای تابش فعال فتوسنتزی و کارایی استفاده از تشعشع تعیین می‌گردد. سپس، ماده خشک تولید شده بین اندام‌های مختلف گیاه توزیع می‌شود. توزیع ماده خشک تابع مرحله نمو و روابط منبع - مخزن است.

که در آن **GY** عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار، **WI** مقدار آب وارد شده به مزرعه یعنی مجموع مقدار آب خاک در زمان کاشت و بارندگی در طول فصل رشد گیاه بر حسب میلی‌متر، **TRATIO** نسبت تعرق انجام شده از گیاه به **WI**، **TE** کارایی تعرق بر حسب کیلوگرم ماده خشک بر میلی‌متر آب تعرق یافته و **HI** شاخص برداشت (نسبت دانه تولیدی به کل ماده خشک) هستند. **TRATIO** به سرعت پوشیده شدن زمین توسط گیاه بستگی دارد، به طوری که هرچه پوشش زمین سریع‌تر و بهتر انجام شود نسبت تعرق به **WI** افزایش یافته و در نتیجه **TRATIO** افزایش پیدا می‌کند. به همین ترتیب در شرایط آبی که محدودیت آب و عناصر غذایی وجود ندارد، می‌توان منبع محیطی محدود کننده را تابش دانست و عملکرد دانه را به صورت زیر نشان داد:

$$GY = CIPAR \times FINIT \times RUE \times \quad (2)$$

HI

که در آن **CIPAR** کل تابش فعال فتوسنتزی رسیده (**PAR**) به مزرعه از کاشت تا برداشت بر حسب مگاژول بر متر مربع، **FINIT** نسبت تابش دریافت شده توسط گیاه به کل تابش رسیده (بدون واحد) و RUE^1 کارایی استفاده از تشعشع بر حسب گرم ماده خشک بر مگاژول هستند. در این مورد نیز **FINIT** به سرعت پوشیده شدن زمین توسط گیاه بستگی دارد و هرچه پوشش زمین سریع‌تر و بهتر انجام شود نسبت تابش دریافت شده به تابش رسیده (**FINIT**) افزایش خواهد یافت. در معادلات ۱ و ۲، حاصلضرب دو مؤلفه اول سمت راست معادلات فوق برابر با مقدار منبع محیطی دریافت شده (تعرق کل در معادله ۱ و کل تابش دریافت شده در معادله ۲) خواهد بود. در مطالعات تغییر اقلیم نیز می‌توان از چهارچوب فوق برای تحلیل تغییرات عملکرد و شناسایی دلایل آن بهره گرفت. اما در منابع قابل دسترس چنین استفاده‌ای ملاحظه نشد.

در مدل CICER، اجزای موازنه آب خاک شامل تبخیر از خاک، نفوذ آب به خاک، رواناب، زه‌کشی عمقی و تعرق پیش‌بینی می‌شوند. مقدار تعرق به عنوان تابعی از ماده خشک تولیدی روزانه، ضریب (گیاهی برای) کارایی تعرق و کمبود فشار بخار جو محاسبه می‌شود. عمق مؤثر استخراج آب از خاک پس از سبز شدن به تدریج افزایش می‌یابد و در هنگام شروع پرشدن دانه‌ها متوقف می‌شود. در مدل CICER، سرعت نمو، سرعت تولید ماده خشک، تعرق، رشد و پیری برگ‌ها به کمبود آب خاک حساس هستند و اگر مقدار آب خاک از یک آستانه معین کاهش یابد، این فرآیندها نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

برای استفاده از این مدل در شرایط دو برابر شدن غلظت CO₂ لازم بود تغییرات مناسبی در آن اعمال شود. دو برابر شدن غلظت CO₂ می‌تواند به‌طور مستقیم سه پارامتر مدل یعنی کارایی استفاده از تشعشع (RUE)، ضریب کارایی تعرق (TECOE) و وزن مخصوص برگ را تحت تأثیر قرار دهد. در شرایط دو برابر شدن غلظت CO₂ (۷۰۰ میکرومول بر مول) مقدار استاندارد RUE یعنی ۲ گرم بر مگاژول، ۳۰ درصد افزایش داده شد که اساس آن، گزارش خانای چوپرا و سینها (۱۹۸۷) مبنی بر ۳۰ درصد افزایش در ماده خشک بر اثر دو برابر شدن غلظت CO₂ از ۳۳۰ به ۶۶۰ میکرومول بر مول بود. در مدل CICER تحت شرایط غلظت فعلی CO₂ (۳۵۰ میکرومول بر مول)، مقدار TECOE ۰/۰۵ میلی بار است. دو برابر شدن غلظت CO₂ می‌تواند از طریق افزایش سرعت فتوسنتز و کاهش هدایت روزنه‌ای مقدار TECOE را افزایش دهد. در نخود مشاهدات مستقیم درباره تأثیر افزایش CO₂ بر این پارامتر وجود ندارد، ولی در گندم که یک گیاه C₃ سردسیری (مشابه نخود) می‌باشد، گزارش شده است که دو برابر شدن غلظت CO₂، کارایی مصرف آب را ۳۵ درصد افزایش می‌دهد (گیفورد و مورسون، ۱۹۹۳). بنابراین در شرایط دو برابر شدن غلظت CO₂، مقدار TECOE به میزان ۳۵ درصد افزایش داده شد. مقدار وزن مخصوص برگ (SLW) نیز

که در حالت استاندارد (برای رقم جم) ۵۵ گرم بر مترمربع است، برای حالت دو برابر شدن غلظت CO₂، ۳۰ درصد افزایش داده شد (آکیتا، ۱۹۸۰ و آلن، ۱۹۹۰). همچنین دو برابر شدن غلظت CO₂ به‌طور غیرمستقیم از طریق تغییر دما، تابش و بارندگی بر فرآیندهای گیاه اثر دارد که در مدل CICER، معادلات مناسب برای کمی کردن واکنش‌های مختلف به تغییرات دما، تابش و بارندگی از قبل وجود دارد (سلطانی و همکاران، ۱۳۷۸).

سناریوهای تغییر اقلیم: برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی بر اثر دو برابر شدن غلظت CO₂ از دو مدل GISS (هانسن و همکاران، ۱۹۸۸) و GFDL (ودرالد و ماناب، ۱۹۸۸) که مهم‌تر از مدل‌های دیگر می‌باشند، استفاده شد. ابتدا با استفاده از این مدل‌ها، ضرایب مربوط به مقدار افزایش دما، نسبت تغییر در بارندگی و نسبت تغییر در تابش برای سناریوی دو برابر شدن غلظت CO₂ حاصل شدند. سپس، این ضرایب در آمار هواشناسی روزانه مربوط به سال‌های ۷۴-۱۳۶۰ مراغه (عرض جغرافیایی ۲۴°۳۷' درجه شمالی، طول جغرافیایی ۱۴°۴۶' درجه شرقی، ارتفاع ۱۴۷۷ متر از سطح دریا) اعمال شدند. بدین ترتیب شش سناریو (نوع آمار هواشناسی) به‌شرح زیر به‌دست آمد:

۱- آمار هواشناسی سال‌های ۷۴-۱۳۶۰ شامل حداکثر و حداقل دما، بارندگی و تابش خورشیدی (محاسبه شده از تعداد ساعات آفتابی) همراه با غلظت کنونی CO₂ (۳۵۰ میکرومول بر مول) (STD-۳۵۰).

۲- آمار هواشناسی شامل شرایط نوع اول با غلظت دو برابر غلظت کنونی CO₂ (یعنی ۷۰۰ میکرومول بر مول) (STD-۷۰۰).

۳- آمار هواشناسی تغییر یافته بر مبنای پیش‌بینی‌های مدل GISS همراه با غلظت کنونی CO₂ (۳۵۰-GISS).

۴- آمار هواشناسی تغییر یافته بر مبنای پیش‌بینی‌های مدل GISS همراه با غلظت دو برابر CO₂ (۷۰۰-GISS).

۵- آمار هواشناسی تغییر یافته بر مبنای پیش‌بینی‌های مدل GFDL همراه با غلظت کنونی CO₂ (۳۵۰-GFDL).

۶- آمار هواشناسی تغییر یافته بر مبنای پیش‌بینی‌های مدل GFDL همراه با غلظت دو برابر CO₂ (۷۰۰-GFDL). سناریوی ۷۰۰-STD فقط اثرات مستقیم CO₂ را نشان می‌دهد. سناریوهای ۳۵۰-GISS و ۳۵۰-GFDL فقط نشانگر اثرات غیرمستقیم دو برابر شدن غلظت CO₂ منهای اثرات مستقیم آن هستند. سناریوهای ۷۰۰-GISS و ۷۰۰-GFDL نیز اثرات مستقیم و غیرمستقیم دو برابر شدن غلظت CO₂ را شامل می‌شوند. سناریوهای ۷۰۰-STD، ۳۵۰-GISS و ۳۵۰-GFDL غیرواقعی بوده و فقط برای امکان تفکیک اثرات مستقیم و غیرمستقیم دو برابر شدن غلظت CO₂ طراحی شده‌اند. وقوع سناریوهای ۷۰۰-GISS و ۷۰۰-GFDL در سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۰ محتمل خواهد بود (IPPC, ۱۹۹۳)؛ روزن‌سویگ، ۱۹۸۹؛ روزن‌سویگ، ۱۹۹۳) و در صورت کنترل تولید گازهای گلخانه‌ای زمان وقوع آن به تأخیر خواهد افتاد. علت انتخاب غلظت ۳۵۰ میکرو مول بر مول به عنوان غلظت مرجع آن است که متوسط غلظت CO₂ طی دوره ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۴ به کارگرفته شده در این مطالعه ۳۵۰ میکرو مول بر مول می‌باشد.

شبیه‌سازی‌ها: مدل CICER برای شرایط دیم و آبی مراغه (شمال غرب ایران) و تحت شش سناریوی اقلیمی نامبرده اجرا شد. تاریخ کاشت برای کلیه سناریوها ۱۲ فروردین بود. تراکم بوته در شرایط دیم ۲۵ و در شرایط آبی ۵۰ بوته در مترمربع منظور شد. رقم مورد کاشت جم بود و از ویژگی‌های مربوط به این رقم در مدل استفاده شد (سلطانی و همکاران، ۱۳۷۸). نوع خاک لوم شنی (خاک معمول محل) با عمق ۱۳۰ سانتی متر، آلبیدیوی ۰/۱۳ کسر حجمی آب قابل دسترس ۰/۱۳۲ مترمکعب بر مترمکعب و شماره منحنی (برای محاسبه رواناب با روش اداره حفاظت خاک آمریکا) ۷۰ بود. مقدار آب خاک در شروع شبیه‌سازی‌ها بسته به نوع اقلیم متفاوت بود (زیرا در شرایط تغییر اقلیم، بارندگی تغییر می‌کند) و با اجرای زیر مدل موازنه آب خاک از اول مهر ماه سال قبل تا زمان کاشت، محاسبه شد. در شرایط کشت آبی، وقتی مقدار

آب خاک قابل دسترس در عمق ریشه به کمتر از ۴۰ درصد کاهش می‌یافت، آبیاری انجام می‌شد. کارایی آبیاری ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد.

با اجرای مدل برای هر سال و تحت هر سناریو، عملکرد دانه (با ۱۴ درصد رطوبت) و برخی از صفات دیگر شامل روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، آب مصرفی در تبخیر و تعرق، کارایی مصرف آب در شرایط دیم و آبی و آب وارد شده به مزرعه (شامل مقدار آب خاک در زمان کاشت و بارندگی در طی فصل رشد)، نسبت تعرق به آب وارد شده به مزرعه، و کارایی تعرق در شرایط دیم و کل تابش فعال فتوسنتزی رسیده، نسبت دریافت تابش و کارایی مصرف نور در شرایط آبی از خروجی مدل ثبت شدند. میانگین صفات مربوط به سناریوهای مختلف تغییر اقلیم با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. مدل مورد استفاده برای تجزیه واریانس به‌صورت زیر بود:

$$X_{ij} = \mu + \delta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

در این رابطه X_{ij} هر مشاهده، μ میانگین کل، δ_i اثر

سال، τ_j اثر سناریوی تغییر اقلیم (شش سناریو) و ε_{ij} اشتباه آزمایشی هستند. این مدل تجزیه واریانس را می‌توان مشابه مدل طرح بلوک‌های کامل تصادفی در نظر گرفت که در آن سال‌ها بلوک و سناریوهای تغییر اقلیم تیمار می‌باشند.

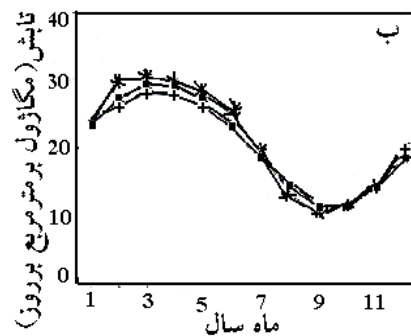
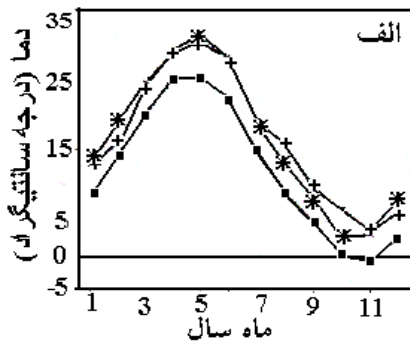
نتایج و بحث

پیش‌بینی تغییرات آینده دما، تابش و بارندگی: شکل ۱ میانگین دما و تابش ماهانه مربوط به سال‌های ۷۴-۱۳۶۰ مراغه و پیش‌بینی تغییرات آنها بر اساس مدل‌های GISS و GFDL را نشان می‌دهد. بر مبنای پیش‌بینی مدل GISS، در شرایط دو برابر شدن غلظت CO₂ میانگین دمای سالانه به طور متوسط ۴/۶ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای کنونی خواهد بود. بر مبنای همین مدل، افزایش دما در طی فصل رشد نخود (ماه‌های ۱ تا ۴: اول فروردین تا

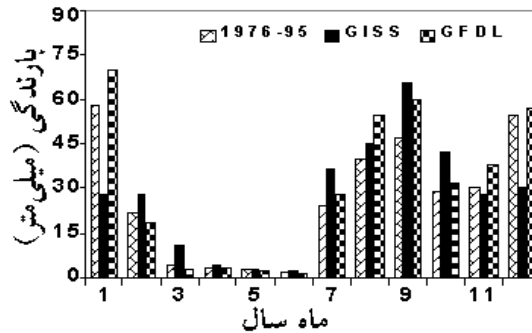
آخر تیرماه) ۳/۵ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس پیش‌بینی مدل GFDL میانگین دما به طور متوسط در کل سال ۴/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد که کمتر از مقدار پیش‌بینی شده با مدل GISS است، ولی بر مبنای پیش‌بینی این مدل (GFDL) افزایش دما در طی فصل رشد نخود ۴/۵ درجه سانتی‌گراد است که ۱ درجه سانتی‌گراد بیشتر از پیش‌بینی مربوط به مدل GISS می‌باشد. در مقایسه با تغییرات دما، تغییر در تابش نسبتاً اندک است و به نظر نمی‌رسد از اهمیت زیادی برخوردار باشد. بیشترین انحراف تابش از میانگین فعلی آن در ماه‌های اول سال و مصادف با فصل رشد نخود است. بر مبنای پیش‌بینی مدل GISS مقدار تابش در طی فصل رشد نخود (۴ ماهه اول سال) ۲ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که مدل GFDL در همین زمان ۴ درصد افزایش در تابش را پیش‌بینی می‌کند.

پیش‌بینی تغییرات بارندگی ماهانه در شکل ۲ نشان داده شده است. تغییرات ماهانه بارندگی دارای الگوی خاصی نیست ولی بر مبنای مدل GISS جمع میزان بارندگی در ۶ ماهه دوم سال یعنی از اول مهر تا آخر

اسفند ۹ درصد افزایش می‌یابد. وقوع بارندگی در طی این مدت، مقدار آب ذخیره شده در خاک در زمان کاشت را تعیین نموده و از اهمیت زیادی برخوردار است. مدل GFDL در همین دوره ۱۸ درصد افزایش بارندگی را پیش‌بینی کرد. با اجرای زیر مدل موازنه آب خاک مشخص شد که مقدار آب ذخیره شده در خاک در زمان کاشت به‌طور متوسط ۱۴۵ میلی‌متر است که بر مبنای مدل‌های GISS و GFDL در زمانی که غلظت CO₂ به دو برابر افزایش می‌یابد، به ترتیب به ۱۵۲ و ۱۵۸ میلی‌متر خواهد رسید. بنابراین تغییر مقدار آب ذخیره شده در خاک اندک خواهد بود و علت آن است که افزایش ۹ تا ۱۸ درصدی در بارندگی در نتیجه افزایش دما و تبخیر تعرق خشی شده است. بر اساس پیش‌بینی این مدل‌ها بارندگی در طی فصل رشد نخود (۴ ماهه اول سال) دچار تغییر خواهد شد. مدل GISS پیش‌بینی می‌کند که جمع بارندگی در طی فصل رشد نخود ۱۵ درصد کاهش یابد. ولی مدل GFDL در همین دوره ۴ درصد افزایش بارندگی را نشان داد که بیشتر مربوط به افزایش بارندگی در ماه اول سال می‌باشد.



شکل ۱- پیش‌بینی میانگین دمای ماهانه (الف) و تابش خورشیدی ماهانه (ب) با استفاده از مدل‌های GISS (+) و GFDL (*) برای زمانی که غلظت CO₂ به دو برابر غلظت کنونی (۳۵۰ میکرومول بر مول) می‌رسد. مربع‌های توپر میانگین‌های مربوط به سال‌های ۷۴-۱۳۶۰ مراغه را نشان می‌دهند.



شکل ۲- پیش‌بینی بارندگی ماهانه مراغه با استفاده از مدل‌های GISS و GFDL برای زمانی که غلظت CO₂ به دو برابر غلظت کنونی (۳۵۰ میکرومول بر مول) می‌رسد. میانگین ماهانه مربوط به سال‌های ۷۴-۱۳۶۰ (معادل ۹۵-۱۹۷۶) نیز نشان داده شده است.

کارایی استفاده از تشعشع (آبی) و کارایی تعرق (دیم) است، ولی اثرات غیرمستقیم افزایش CO₂ از طریق افزایش دما و تغییر تابش و بارندگی که با استفاده از مدل‌های GISS و GFDL برآورد گردید به ترتیب عملکرد بیولوژیک را به میزان ۶ و ۱ درصد در شرایط دیم و ۶ و ۲۰ درصد در شرایط آبی کاهش داد. تأثیر مرکب دو برابر شدن CO₂ بر مبنای مدل‌های مذکور به ترتیب موجب افزایش عملکرد بیولوژیک به میزان ۲۶ و ۲۳ درصد در شرایط دیم و ۲۱ و ۲ درصد در شرایط آبی گردید. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر اقلیم آینده براساس پیش‌بینی مدل‌های GISS و GFDL موجب افزایش تجمع ماده خشک در شرایط دیم و آبی خواهد شد و این افزایش در شرایط دیم بیشتر خواهد بود.

اثر بر عملکرد دانه: تأثیر مستقیم دو برابر شدن CO₂ بر عملکرد دانه عبارت از ۳۵ درصد افزایش عملکرد دانه در شرایط دیم و ۲۶ درصد افزایش عملکرد در شرایط آبی می‌باشد که با شاهد (STD-۳۵۰) اختلاف معنی‌داری دارند (جدول‌های ۱ و ۲). با وجود این، اثر غیرمستقیم افزایش CO₂ از طریق تغییرات دما، تابش و بارندگی متفاوت است. در شرایط دیم ۶ درصد کاهش (براساس پیش‌بینی مدل GISS) و ۶ درصد افزایش (GFDL)، و در شرایط کشت آبی ۱۰ (GISS) و ۱۴ (GFDL) درصد کاهش عملکرد پیش‌بینی شد. اثر مرکب افزایش CO₂ موجب ۲۸ درصد (GISS) و ۴۵ درصد (GFDL) افزایش عملکرد در شرایط دیم و ۱۵ درصد

اثر بر فنولوژی و تجمع ماده خشک: تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی برای شرایط دیم و آبی به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. دو برابر شدن غلظت CO₂ تأثیر مستقیمی بر فنولوژی ندارد و میانگین STD-۳۵۰ و STD-۷۰۰ دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند، ولی تأثیر غیرمستقیم CO₂ از طریق افزایش دما که توسط مدل‌های GISS و GFDL پیش‌بینی می‌شود به طور معنی‌داری روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی را کوتاه‌تر می‌سازد. تفاوت بین GISS و GFDL نیز معنی‌دار است، به طوری که بر مبنای مدل GFDL نسبت به مدل دیگر کاهش بیشتر می‌باشد. مدل‌های GISS و GFDL به ترتیب ۳/۵ و ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش دما در طی فصل رشد نخود را پیش‌بینی کردند. تأثیر مرکب دو برابر شدن CO₂ (شامل اثرات مستقیم و غیرمستقیم) اختلاف معنی‌داری با تأثیر غیرمستقیم آن نداشت. این امر مؤید این نکته است که کاهش روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی تنها ناشی از اثر غیرمستقیم افزایش CO₂ می‌باشد.

جدول‌های ۱ و ۲ تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر تجمع ماده خشک (عملکرد بیولوژیک) را نشان می‌دهند. در این مورد تأثیر مستقیم CO₂ (سناریوی STD-۷۰۰) باعث می‌شود که عملکرد بیولوژیک در شرایط دیم و آبی به ترتیب ۲۳ و ۲۸ درصد افزایش یابد که با شرایط حاضر یعنی سناریوی STD-۳۵۰ اختلاف معنی‌داری دارد (جدول‌های ۱ و ۲) و ناشی از افزایش

افزایش (GISS) و ۴ درصد کاهش (GFDL) عملکرد در شرایط آبی می شود. در این رابطه تجزیه و تحلیل دلایل تغییرات عملکرد تحت تأثیر سناریوها با استفاده از معادلات ۱ و ۲ مفید خواهد بود.

در شرایط دیم اثر مستقیم دو برابر شدن CO₂ (سناریوی STD-۷۰۰) بر WI, TRATIO و HI معنی دار نبود، ولی اثر آن بر TE معنی دار به دست آمد و موجب افزایش آن به میزان ۳۵ درصد شد. بنابراین، افزایش عملکرد به طور عمده از افزایش TE ناشی شده است. تأثیر غیرمستقیم دو برابر شدن CO₂ در سناریوی GISS-۳۵۰ باعث ۴ درصد کاهش عملکرد شد که ناشی از کاهش WI (۴ درصد) و TE (۵ درصد) بود، ولی در سناریوی GFDL-۳۵۰ تأثیر غیرمستقیم افزایش

CO₂ موجب افزایش عملکرد به میزان ۶ درصد شد که ناشی از افزایش TRATIO (۶ درصد) و HI (۸ درصد) بود. قسمتی از افزایش HI، به مقدار آب قابل دسترس در طی دوره بعد از گلدهی بستگی دارد و چون در این سناریو، گیاه زودرس تر شده و بارندگی نیز افزایش می یابد، به احتمال زیاد آب قابل دسترس در طی دوره بعد از گلدهی عامل افزایش عملکرد می شود. در سناریوی GISS-۷۰۰، ۲۸ درصد افزایش عملکرد (شامل اثرات مستقیم و غیرمستقیم افزایش CO₂) از افزایش TRATIO (۱۳ درصد) و TE (۲۷ درصد) ناشی شده است. ولی در سناریوی GFDL-۷۰۰، این امر نتیجه افزایش TRATIO (۶ درصد)، TE (۲۰ درصد) و HI (۱۱ درصد) می باشد.

جدول ۱- تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر روز تا رسیدگی (DTM)، روز تا رسیدگی (DTM)، عملکرد بیولوژیک (BYLD)، کیلو گرم بر هکتار، آب وارد شده به مزرعه (WI، میلی متر)، نسبت تعرق (TRATIO)، کارایی تعرق (TE، گرم بر میلی متر)، شاخص برداشت (%، HI)، عملکرد دانه با ۱۴ درصد رطوبت (YLD، کیلوگرم بر هکتار)، تبخیر و تعرق (ET، میلی متر) و کارایی مصرف آب (WUE، کیلوگرم دانه بر هکتار بر میلی متر) تحت شرایط دیم مراغه.

سناریو	DTF	DTM	BYLD	WI	TRATIO	TE	HI	YLD	ET	WUE
STD-۳۵۰	۶۵a*	۱۰۴a	۳۴۸۴c	۲۵۵a	۰/۵۰c	۲/۸۲d	۲۱b	۸۶۰cd	۲۱۴b	۳/۹۸b
STD-۷۰۰	۶۵a	۱۰۴a	۴۶۶۶a	۲۵۵a	۰/۴۹c	۳/۸۰a	۲۱b	۱۱۶۴b	۲۱۳b	۵/۴۰a
GISS-۳۵۰	۵۶b	۹۳b	۳۲۶۷d	۲۲۰b	۰/۵۶a	۲/۶۷e	۲۱b	۸۰۵d	۱۹۷c	۴/۰۳b
GFDL-۳۵۰	۵۱c	۹۰c	۳۴۴۱cd	۲۶۶a	۰/۵۳b	۲/۵۲f	۲۳a	۹۱۰c	۲۲۰a	۴/۱۰B
GISS-۷۰۰	۵۶b	۹۴b	۴۳۷۶b	۲۲۰b	۰/۵۶a	۳/۵۹b	۲۱b	۱۰۹۸b	۱۹۶c	۵/۵۲a
GFDL-۷۰۰	۵۱c	۹۰c	۴۵۹۶a	۲۶۶a	۰/۵۳b	۳/۳۸c	۲۳a	۱۲۴۹a	۲۲۰a	۵/۶۵A

*: در هر ستون حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

جدول ۲- تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر روز تا گلدهی (DTF)، روز تا رسیدگی (DTM)، عملکرد بیولوژیک (BYLD)، کیلو گرم بر هکتار، کل تابش رسیده (CIRAR، مگاژول بر متر مربع)، نسبت دریافت تابش (FINT)، کارایی مصرف نور (RUE، گرم بر مگاژول)، شاخص برداشت (%، HI)، عملکرد دانه با ۱۴ درصد رطوبت (YLD، کیلوگرم بر هکتار)، تبخیر و تعرق (ET، میلی متر) و کارایی مصرف آب (WUE، کیلوگرم دانه بر هکتار بر میلی متر) تحت شرایط آبی مراغه.

سناریو	DTF	DTM	BYLD	CIRAR	FINT	RUE	HI	YLD	ET	WUE
STD-۳۵۰	۶۶a*	۱۱۸a	۱۰۸۱۸d	۱۴۷۵a	۰/۴۲b	۱/۷۴d	۲۴a	۲۹۶۲c	۵۳۳a	۵/۵۷d
STD-۷۰۰	۶۶a	۱۱۸a	۱۳۷۹۶a	۱۴۷۵a	۰/۴۱c	۲/۲۷a	۲۴a	۳۷۶۵a	۵۱۱c	۷/۳۸a
GISS-۳۵۰	۵۶b	۱۰۷b	۱۰۲۱۳e	۱۳۸۶b	۰/۴۳a	۱/۶۹e	۲۳b	۲۶۷۰e	۵۲۲b	۵/۱۲e
GFDL-۳۵۰	۵۱c	۱۰۲c	۷۶۳۳f	۱۲۱۱c	۰/۴۳a	۱/۶۴f	۲۲b	۲۲۴۳f	۴۷۳e	۴/۷۴f
GISS-۷۰۰	۵۶b	۱۰۷b	۱۳۰۴۳b	۱۳۸۶b	۰/۴۳a	۲/۲۰b	۲۳b	۳۴۰۴b	۵۰۰d	۶/۸۸b
GFDL-۷۰۰	۵۱c	۱۰۲c	۱۰۹۹۴c	۱۲۱۱c	۰/۴۳a	۲/۱۳c	۲۲b	۲۸۵۱d	۴۵۲f	۶/۳۱c

*: در هر ستون حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

در شرایط آبی، تأثیر مستقیم دو برابر شدن CO₂ (سناریوی ۷۰۰-STD) بر CIPAR و HI معنی‌دار نمی‌باشد، ولی FINT را ۲ درصد کاهش (معنی‌دار) و RUE را ۳۰ درصد افزایش (معنی‌دار) می‌دهد. بنابراین افزایش عملکرد به واسطه تأثیر مستقیم CO₂، بیشتر ناشی از افزایش RUE است. کاهش ۱۰ و ۲۴ درصدی در عملکرد در سناریوهای ۳۵۰-GISS و ۳۵۰-GFDL را می‌توان به کاهش معنی‌دار CIPAR (به ترتیب ۶ و ۱۸ درصد در سناریوهای ۳۵۰-GISS و ۳۵۰-GFDL) به علت کاهش دوره رشد، RUE (به ترتیب ۳ و ۶ درصد به علت وقوع دماهای بالاتر از حد مطلوب) و HI (به ترتیب ۵ و ۶ درصد) نسبت داد. در سناریوی ۷۰۰-GISS افزایش ۱۵ درصدی در عملکرد می‌تواند ناشی از افزایش معنی‌دار FINT (۲ درصد) و RUE (۲۶ درصد) باشد، ولی در سناریوی ۷۰۰-GFDL عملکرد ۴ درصد کاهش یافت که آن را می‌توان به کاهش معنی‌دار CIPAR (۱۸ درصد) و HI (۶ درصد) مرتبط دانست که با افزایش FINT (۲ درصد) و RUE (۲۲ درصد) جبران نشده است.

اثر بر مقدار آب مصرفی و کارایی مصرف آب: تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر مقدار آب مصرفی (صرف شده در تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه) و کارایی مصرف آب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. در شرایط دیم، مقدار آب مصرفی در سناریوی ۷۰۰-STD مشابه سناریوی ۳۵۰-STD به دست آمد. در مقابل، در شرایط فاریاب مقدار آن در سناریوی ۷۰۰-STD کمتر (۴ درصد) از سناریوی ۳۵۰-STD بود. به‌طور کلی می‌توان گفت که تغییر در مقدار آب مصرفی اندک است و علت آن افزایش توأم کارایی تعرق و کارایی مصرف نور می‌باشد. اگر فقط کارایی تعرق افزایش پیدا می‌کرد، انتظار کاهش معنی‌دار در مقدار مصرف آب وجود داشت. تأثیر غیرمستقیم افزایش CO₂ از طریق تغییر دما، بارندگی و تابش در شرایط دیم و آبی باعث کاهش آب مصرفی می‌گردد. با وجود این، سناریوی ۳۵۰-GFDL در شرایط دیم یک استثنا به شمار می‌آید. در این سناریو مقدار آب مصرفی ۳ درصد افزایش یافت. تأثیر مرکب دو برابر شدن CO₂ (سناریوهای ۷۰۰-GISS و ۷۰۰-GFDL) نشان

می‌دهد که مقدار آب مصرفی در شرایط دیم و آبی بین ۶ تا ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. در این مورد نیز سناریوی ۷۰۰-GFDL در شرایط دیم استثنا است.

تأثیر مستقیم دو برابر شدن CO₂، کارایی مصرف آب (WUE) را در شرایط دیم و آبی ۳۶-۳۲ درصد افزایش می‌دهد (جدول‌های ۱ و ۲). در شرایط دیم اثر غیرمستقیم CO₂ از طریق تغییر دما، تابش و بارندگی بر WUE معنی‌دار به دست نیامد. در شرایط آبی اثر غیرمستقیم افزایش CO₂، ۸ درصد (GISS) و ۱۵ درصد (GFDL) کاهش کارایی مصرفه آب را به دنبال دارد. با این حال، پیش‌بینی شد که تأثیر مرکب افزایش CO₂ (سناریوهای ۷۰۰-GISS و ۷۰۰-GFDL) در شرایط دیم کارایی مصرف را ۳۹ (GISS) تا ۴۲ (GFDL) درصد و در شرایط آبی ۱۳ (GFDL) تا ۲۲ (GISS) درصد افزایش می‌دهد.

کری و همکاران (۱۹۹۰ الف و ب) اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد سویا و ذرت را در جنوب شرقی آمریکا (منطقه گرمسیری) با استفاده از شبیه سازی رایانه‌ای بررسی نمودند. در شرایط دیم، عملکرد این دو گیاه بسته به نوع مدلی که برای پیش‌بینی تغییر اقلیم استفاده شده بود، بین صفر تا ۵۰ درصد کاهش نشان داد. در شرایط آبی نتایج حاکی از آن بود که عملکرد ذرت ۲۰ درصد کاهش و عملکرد سویا ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نامبردگان نشان داد که تقاضا برای آبیاری به مقدار زیادی افزایش پیدا می‌کند که بر منابع آب و کیفیت آن تأثیر خواهد گذاشت. در یک بررسی دیگر، سینکلر و راولینز (۱۹۹۳) نشان دادند که بر اثر تغییر اقلیم عملکرد ذرت تغییر نمی‌کند، ولی عملکرد سویا افزایش خواهد یافت. روزنسویگ (۱۹۸۹) نتایج مطالعات شبیه سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید گیاهان زراعی را مرور نموده و نتیجه‌گیری می‌کند که عملکرد درنواحی گرمسیری کاهش و در نواحی سردسیری افزایش خواهد یافت.

خلاصه و نتیجه‌گیری: به‌طور خلاصه، بر اثر تغییر اقلیم آینده آن طوری که توسط GISS و GFDL پیش‌بینی می‌شود، عملکرد نخود در شرایط دیم مراغه ۲۸ تا ۴۵ درصد افزایش خواهد یافت، ولی در شرایط آبی ۴ درصد

می‌شود. یکی دیگر از اثرات تغییر اقلیم، افزایش کارایی مصرف آب است که مقدار آن در شرایط دیم دو برابر شرایط فاریاب خواهد بود.

کاهش (GFDL) تا ۱۵ درصد افزایش (GISS) پیش‌بینی می‌شود. بنابراین بازدهی کشت دیم بالاتر خواهد رفت. در مورد مقدار آب مصرفی در شرایط کشت آبی ۶ (GISS) تا ۱۵ (GFDL) درصد کاهش پیش‌بینی

منابع

۱. سلطانی، ا.، رحیم‌زاده خویی، ف.، قاسمی گل‌عذایی، ک. و مقدم، م. ۱۳۷۸. CICER: یک مدل رایانه‌ای برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد نخود. مجله دانش کشاورزی. جلد ۹، شماره ۳، ص.ص ۸۹ تا ۱۰۶.
2. Akita, S. 1980. Studies on the differences in photosynthesis and photorespiration among crops. II: The differential response of photosynthesis, photorespiration and dry matter 3. production to carbon dioxide concentration among species. *Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences* 31: 599-611.
3. Allen, L.H. 1990. Plant responses to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants. *J. Environ. Quality* 19: 15-34.
4. Curry, R.B., Peart, R.M., Jones, J.W., Boote, K.J., and Allen, L.H. 1990a. Simulation as a tool for analyzing crop response to climate change. *Trans. ASAE* 33: 981-990.
5. Curry, R.B., Peart, R.M., Jones, J.W., Boote, K.J., and Allen, L.H. 1990b. Response of crop yield to predicted changes in climate and atmospheric carbon dioxide using simulation. *Trans. ASAE* 33: 1383-1390.
6. Hansen, J., Fung, I., Lacis, A., Lebedeff, S., Rind, D., Rudey, R., Russell, G., and Stone, P. 1988. Global climate changes as forecast by GISS 3-D model. *J. Geophys. Res.* 93: 9341-9364.
7. Gifford, R.M., and Morison, J.I.L. 1993. Crop responses to the global increase in atmospheric carbon dioxide concentration. In: D.R. Buxton, R. Shibles, R.A. Forsberg, B.L. Blad, K.H. Asay, G.M. Paulsen and R.F. Wilson (eds.). *International Crop Science I. CSSA, Madison, WI, USA*, pp. 325-331.
8. IPCC. 1992. IPCC first report on climate change: The 1990 and 1992 IPCC assessment. WMO, Rome, Italy.
9. Khana-Chopra, R., and Sinha, S.K. 1987. Chickpea: Physiological aspects of growth and yield. In: M.C. Saxena and K.B. Singh (Eds.). *The chickpea*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 163-189.
10. Kimball, B.A., and Idso, S.B. 1983. Increasing atmospheric carbon dioxide: Effects on crop yield, water use and climate. *Agric. Water Management* 7: 55-72.
11. Lal, M., Singh, K.K., Rathore, L.S., Srinivasan, G., and Saseendran, S.A. 1998. Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. *Agric. For. Meteorol.* 89: 101-114.
12. Matthews, R.B., Kropff, M.J., Horie, T., and Bachelet, D. 1997. Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation. *Agric. Syst.* 54: 399-425.
13. Nonhebel, S. 1996. Effects of temperature rise and increase in CO₂ concentration on simulated wheat yield in Europe. *Climate Change* 34: 73-90.
14. Rawlins, S.L. 1991. Global environmental change and agriculture. *J. Prod. Agric.* 4: 291-293.
15. Rosenzweig, C. 1989. Global climate change: Predictions and observations. *Am. J. Agric. Econ.* 71: 1265-1271.
16. Rosenzweig, C. 1993. Recent global assessments of crop responses to climate change. In: D.R. Buxton, R. Shibles, R.A. Forsberg, B.L. Blad, K.H. Asay, G.M. Paulsen and R.F. Wilson (eds.). *International Crop Science I. CSSA, Madison, WI, USA*, Pp: 265-272.
17. Sinclair, T.R., and Rawlins, S.L. 1993. Inter-seasonal variation in soybean and maize yields under global environmental change. *Agron. J.* 85: 406-409.
18. Sinclair, T.R., and Seligman, N.G. 1995. Global environment change and simulated forage quality of wheat. I: Nonstressed conditions. *Field Crops Res.* 40: 19-27.
19. Wetherald, R.T., and Manabe, S. 1988. Cloud feedback processes in a general circulation model. *J. Atmos. Sci.* 45: 1397-1415.
20. Wolf, J., and Van Diepen, C.A. 1995. Effects of climate change on grain maize yield potential in the European community. *Field Crops Res.* 29: 299-331.

Simulating the impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea

A. Soltani¹ and M. Gholipour²

¹Associate Prof. Dept., of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, ²Dept., of Agronomy, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Abstract

Future climate change may have major influences on growth, yield and water use of crops. The objective of this study was the evaluation of the effects of climate change on growth, yield and water use of chickpea under rainfed and irrigated conditions of Maragheh (north-west of Iran). Simulating future climate for a doubled CO₂ concentration by using GISS and GFDL models showed that, during chickpea growing season, mean temperature increases by 3.5-4.5°C and solar radiation and rainfall changes by -2 to 4% and -15 to 4%, respectively. Simulations with a computer model for chickpea (CICER) showed that under doubled CO₂ conditions, growing period decreases by 10 to 13% due to warming, grain yield changes by 28 to 45% under rainfed conditions and by -1 to 15% under irrigated conditions, water use reduces by about 15%, but water use efficiency increases by 39-42% and 13-22% under rainfed and irrigated conditions, respectively.

Keywords: Climate change; Carbon dioxide; Simulation; Chickpea