



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی

سال دوازدهم، شماره‌ی ۳۷
بهار ۱۳۹۱، صفحات ۹۶-۸۱

فاطمه سرافروزه^۱
مسعود جلالی^۲
طاهره جلالی^۳
ابوالفضل جمالی^۴

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم آینده بر مصرف آب محصول گندم در تبریز

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۱/۲۵

چکیده

در سال ۲۰۰۷ هیات بین‌الدول تغییر اقلیم اعلام نمود که اقلیم در حال تغییر است. از این رو تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف موضوع مهم مورد توجه اخیر در مجامع علمی و سیاسی بوده است. شواهد علمی نشان می‌دهند که هرگونه تغییر معنی دار در اقلیم در مقیاس جهانی، کشاورزی محلی و در نتیجه منابع غذایی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. در تحقیق حاضر اثرات تغییر اقلیم پیش بینی شده توسط مدل گردش عمومی HadCM2 تحت سناریوی A1 طی دو دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ در تبریز بر روی مصرف واقعی آب گیاه گندم با استفاده از مدل CROPWAT ارزیابی شده است. نتایج نشان می‌دهد که در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل سالانه به ترتیب به میزان ۲/۷ و ۲/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش و میانگین بارندگی سالانه به میزان ۸٪ کاهش خواهد داشت. در چنین شرایطی مصرف آب گیاه گندم ۸/۳٪ افزایش

-
- ۱- دانشجوی دکترای جغرافیای طبیعی (اقلیم شناسی)، دانشگاه تبریز. Email: fa_sa777@yahoo.com
۲- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان. E-mail: jalali.masoud@znu.ac.ir
۳- دانشجوی دکترای جغرافیای طبیعی (اقلیم شناسی)، دانشگاه تبریز. Email: t_jalali19045@yahoo.com
۴- دانش آموخته کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی (گرایش اقلیم‌شناسی)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. Email: jamali.@yahoo.com

خواهد یافت. در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل سالانه هر دو به میزان ۴/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش و مقدار بارندگی به میزان ۱۶/۳٪ کاهش خواهد داشت. در چنین شرایطی مصرف آب گیاه گندم ۹/۶٪ افزایش خواهد یافت.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی، HadCM2، مصرف آب، CROPWAT، گندم، تبریز.

مقدمه

نگرانی درباره تغییر اقلیم ابعاد جهانی گرفته و تلاش‌های بین‌المللی از دهه گذشته برای حل این مساله آغاز گردیده است. مطابق داده‌های ثبت شده اقلیمی، متوسط درجه حرارت سطح زمین تا پایان قرن بیستم حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده که بیشترین گرمایش از ۱۹۱۰ تا ۱۹۴۵ و از ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰ اتفاق افتاده است. بر اساس مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای مختلف، پیش بینی می‌شود که متوسط دمای جهان طی دوره ۲۱۰۰-۱۹۹۰ بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد که توأم با تغییراتی در الگوهای مکانی و زمانی بارندگی خواهد بود (IPCC, 2001).

تغییر جهانی اقلیم تا اندازه‌ای در ارتباط با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن می‌باشد (Hengeveld, 2000). دی‌اکسید کربن جزو گازهای گلخانه‌ای است. گازهای گلخانه‌ای اشعه مادون قرمز ساطع شده از زمین را جذب کرده و به زمین برمی‌گرداند و به همین دلیل موجب افزایش دما می‌شوند. میزان دی‌اکسید کربن از حدود ۲۸۰ پی‌پی‌ام در قبل از انقلاب صنعتی به ۳۲۵ پی‌پی‌ام در سال ۱۹۹۰ و ۳۶۰ پی‌پی‌ام در سال ۲۰۰۹ رسیده است. همچنین انتظار می‌رود که غلظت دی‌اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰ به ۶۴۰ پی‌پی‌ام برسد که نسبت به شرایط کنونی افزایشی بیش از ۳۰۰ پی‌پی‌ام دارد (IPCC, 2001).

به منظور شبیه‌سازی واکنش سیستم اقلیم زمین به دو برابر شدن گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی آینده از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود. مدل‌های گردش عمومی پیوندی اقیانوس - اتمسفر (AOGCM) از معتبرترین این مدل‌ها هستند که جزو مدل‌های سه بعدی می‌باشند. مدل‌های گردش عمومی پیوندی جهت شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی آینده زمین، فرایندهای به وجود آورنده وضعیت اقلیمی را بررسی نموده و از طریق قوانین فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی شرایط اقلیمی احتمالی در آینده را پیش بینی می‌نمایند و متغیرهای اقلیمی نظیر دما، بارش، سرعت باد، فشار و ... را برآورد می‌کنند.

تغییر اقلیم همه بخش‌های اقتصادی را تا اندازه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما بخش کشاورزی شاید حساس‌ترین و آسیب‌پذیرترین بخش باشد، چرا که محصولات کشاورزی وابستگی زیادی به منابع اقلیمی دارند. بر اساس شواهد علمی تغییر اقلیم آینده، بویژه اثرات ترکیبی افزایش دما، بالا رفتن غلظت CO₂ جو، افزایش احتمال وقوع حوادث حدی (خشکسالی‌ها، سیلاب‌ها، یخ‌بندان‌ها و ...) و کاهش آب قابل دسترس گیاه می‌تواند اثرات قابل ملاحظه‌ای بر روی محصولات کشاورزی داشته باشد (Chiotti and Johnston, 1995). بالا رفتن دما موجب بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهی می‌شود که نتیجه آن افزایش نیاز آبی گیاهان است.

با توجه به رشد جمعیت و افزایش نیاز به غذا و از سوی دیگر تغییر منابع آب و خاک در نتیجه تغییر اقلیم، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی مصرف آب کشاورزی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این زمینه تحقیقات متعددی صورت گرفته است. لودویگ^۵ و همکاران (۲۰۰۸) اثر تغییر اقلیم اخیر را بر روی هیدرولوژی و تولید محصول گندم در جنوب استرالیا بررسی نمودند. علیرغم کاهش بارندگی، محصول شبیه سازی شده کاهش نداشت. به این دلیل که تغییرات بارندگی منطقه عموماً در دو ماه ژوئن و ژوئیه اتفاق افتاده است که در این دوره مقدار بارندگی، مازاد بر نیاز محصول است.

روی^۶ و همکاران (۲۰۰۹) اثرات تغییر اقلیم آینده را در دو دوره ۲۰۳۰ و ۲۰۷۵ بر روی محصولات دیم جنوب غربی بنگلادش با استفاده از مدل CROPWAT برآورد نمودند. بررسی آنها نشان داد که محصول برنج و سیب زمینی در سال ۲۰۷۵ به ترتیب ۴٪ و ۸/۷٪ نسبت به سال ۱۹۹۰ با کاهش روبرو خواهند شد. در نتیجه تغییر اقلیم امکان به خطر افتادن امنیت غذا وجود دارد و توسعه سیستم آبیاری، پذیرش واریته‌های سازگار با دما، سازگاری عملیات زراعی و آبیاری کشاورزان برای تعدیل تهدید بالقوه کشاورزی ایجاد شده به وسیله تغییر اقلیم ضروری است.

کارانجا^۷ (۲۰۰۶) با استفاده از مدل CROPWAT نیاز آبی گیاهان را در واکنش به تغییر اقلیم آینده در کنیا ارزیابی نمود. مطابق این پژوهش، گیاهان چند ساله (موز، انبه و نیسکر) مقدار تبخیر و تعرق بیشتری نسبت به گیاهان یک ساله داشتند. از بین گیاهان یک ساله، لوبیا کمترین مقدار تبخیر و تعرق را داشت که این احتمالاً به دلیل دوره رشد کوتاه‌تر این محصول می‌باشد.

فرشی و امداد (۱۳۷۸) اثر افزایش دما را بر روی افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهان در سه اقلیم عمده کشور (فراخشک سرد، فراخشک معتدل و نیمه خشک سرد) مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که در اقلیم فراخشک سرد و معتدل تا افزایش ۲ درجه‌ای دما، به ازای هر درجه، نیاز آبی ۷٪ افزایش می‌یابد. پس از آن این افزایش در

5. Ludwig

6. Roy

7. Karanja

اقلیم فراخشک سرد ۱۰٪ و در اقلیم فراخشک معتدل ۵٪ می‌گردد. در اقلیم نیمه خشک سرد شدت افزایش نیاز آبی تا افزایش ۳ درجه، ۴٪ و پس از آن به ۵٪ درصد رسیده است.

سلطانی و همکاران (۲۰۰۱) اثر تغییر اقلیم را بر روی محصول برنج پیش بینی نمودند. نتیجه اینکه در شمال کشور (رشت) نیاز به آبیاری ۵۷٪ افزایش می‌یابد و در جنوب (اهواز) ممکن است نیمی از محصول کاهش یافته و حتی امکان دارد هیچ محصول برنجی باقی نماند مگر اینکه تولید کنندگان گیاه بتوانند گونه بسیار مقاوم به گرما را فراهم کنند.

در تحقیق حاضر اثرات تغییر اقلیم مربوط به دو برابر شدن دی اکسید کربن جو بر روی نیاز آبی گیاه گندم پاییزه با برنامه تک آبیاری که در روز ۲۰ فروردین یعنی ۱۵۵ روز بعد از کشت انجام می‌شود، در شرایط اقلیمی تبریز مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک تبریز که در $38^{\circ} 5'$ عرض شمالی و $46^{\circ} 17'$ طول شرقی واقع شده استفاده گردیده است. متوسط ارتفاع تبریز از سطح دریاهای آزاد ۱۳۶۱ متر می‌باشد. میانگین بارش سالانه آن ۲۸۹ میلی‌متر است که بیش از ۷۱٪ آن در ۶ ماه سرد سال (نوامبر تا می) می‌بارد. متوسط دمای حداکثر سالانه $18/3^{\circ}C$ و متوسط دمای حداقل سالانه نیز $7/3^{\circ}C$ می‌باشد.

به منظور ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده تبریز در شرایط دو برابر شدن دی اکسید کربن جو از مدل گردش عمومی HadCM2 تحت سناریوی A1 از سناریوهای IS92 استفاده شده است. سناریوی A1 به مفهوم توسعه اقتصادی سریع، حداکثر رشد جمعیت در میانه سده و کاهش بعد از آن، ابداع سریع تکنولوژی‌های جدید و بسیار کارآمد و افزایش سالانه ۱٪ گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. مدل HadCM2 مدل تدوین شده در مرکز هدلی انگلستان می‌باشد که در آن واداشت ترکیبی تمام گازهای گلخانه‌ای با غلظت هم تراز با غلظت CO_2 در نظر گرفته شده است. در این مطالعه دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به عنوان دوره پایه در نظر گرفته شده که پیش فرض مدل می‌باشد. تفکیک مکانی این مدل $3/75^{\circ} \times 2/5^{\circ}$ طول و عرض جغرافیایی می‌باشد.

داده‌های دما و بارندگی مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک تبریز برای دوره پایه از سازمان هواشناسی اخذ گردید. همچنین به منظور شبیه سازی تغییرات دما و بارندگی آینده خروجی‌های دما و بارش مدل HadCM2 برای دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و نیز دو دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت سناریوی A1 از مرکز توزیع داده‌های هیئت

بین‌الدول تغییر اقلیم^۸ اخذ گردید. در این تحقیق به منظور تولید سناریوی تغییر اقلیم از روش عامل تغییر^۹ استفاده شده است. بدین ترتیب که ابتدا مقدار تغییر دما و بارندگی در دوره آینده از طریق روابط زیر محاسبه گردید (Diaz and Wilby, 2005):

$$T_i = \bar{T}_{GCM, fut, i} - \bar{T}_{GCM, base, i} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$P_i = \frac{\bar{P}_{GCM, fut, i}}{\bar{P}_{GCM, base, i}} \quad \text{رابطه ۲}$$

در روابط فوق:

T_i و P_i : به ترتیب سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین درازمدت ۳۰ ساله برای هر ماه، $\bar{T}_{GCM, fut, i}$ و $\bar{P}_{GCM, fut, i}$: میانگین ۳۰ ساله دما و بارندگی شبیه سازی شده در دوره آینده برای هر ماه، $\bar{T}_{GCM, base, i}$ و $\bar{P}_{GCM, base, i}$: میانگین ۳۰ ساله دما و بارندگی شبیه سازی شده در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد.

در مرحله بعد با استفاده از روابط زیر، سناریوی تغییر مقادیر دما و بارندگی محاسبه گردید:

$$\bar{T} = T_{Obs} + T_i \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\bar{P} = P_{Obs} \times P_i \quad \text{رابطه ۴}$$

در روابط فوق:

\bar{T} و \bar{P} : به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر دما و بارندگی کوچک مقیاس شده،

T_{Obs} و P_{Obs} : به ترتیب بیانگر سری زمانی دمای و بارندگی مشاهداتی در دوره پایه،

T_i و P_i : به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر دما و بارندگی می‌باشد.

خروجی مدل‌های گردش عمومی برای بکارگیری در برآوردهای منطقه‌ای بزرگ مقیاس می‌باشند. دقت مکانی افقی مدل‌ها در سطح خشکی‌ها ۱۲۵ تا ۲۵۰ کیلومتر و قدرت تفکیک عمودی آنها برابر ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر می‌باشد (عساکره، ۱۳۸۶). اما در مطالعات منطقه‌ای نیاز به داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بالاتر وجود دارد. روش‌های مختلفی برای ایجاد سناریوهای منطقه‌ای ابداع شده است که به این روش‌ها کوچک مقیاس کردن^{۱۰} گفته می‌شود

8. Intergovernmental Panel on Climate Change

9. change factor

10. downscaling

(Alfsen et al, 2007). دو روش اصلی به منظور کوچک مقیاس نمودن داده‌های مدل‌های گردش عمومی وجود دارد که عبارتند از: روش آماری و روش دینامیکی. این روش‌ها در سال‌های اخیر مورد ارزیابی قرار گرفته و توانایی زیاد آنها در ایجاد سناریوهای تغییر اقلیم آینده با قدرت تفکیک بالا اثبات شده است (Wilby et al, 1998; Giorgi and Mearns, 1999; Wilby et al, 2004).

در این تحقیق به منظور کوچک مقیاس کردن مکانی داده‌ها از روش کریجینگ استفاده شده است. روش کریجینگ جزو روش‌های زمین آماری استوکاستیک می‌باشد. کریجینگ تخمین گری خطی نااریب با کمترین مقدار واریانس تخمین است که به هر یک از داده‌ها، وزن (λ_i) نسبت داده می‌شود، به گونه‌ای که ترکیب خطی آنها نااریب و دارای کمترین واریانس گردد (مساح، ۱۳۸۵). روش کریجینگ در واقع یک روش درونیابی است. معادله کلی درونیابی به شکل زیر می‌باشد:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad \text{رابطه ۵}$$

در این رابطه Z^* ، مقدار محاسباتی متغیر مکانی، λ_i وزن آماری که به نمونه (x_i) نسبت داده می‌شود و $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مورد نظر در نقطه (x_i) می‌باشد. معادله کریجینگ به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{ij} - \mu = C_{0j} \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad \text{رابطه ۶}$$

در رابطه فوق، C_{ij} همبستگی بین داده‌ها، μ میانگین، C_{0j} همبستگی بین نقاط جدید و داده‌ها می‌باشد. کریجینگ یکی از بهترین روش‌های زمین آمار است؛ زیرا تخمین گر نااریب با کمترین مقدار واریانس تخمین به شمار می‌رود. شرط نااریب بودن در سایر روش‌های تخمین نیز اعمال می‌شود ولی ویژگی کریجینگ در آن است که در عین نااریب بودن، واریانس تخمین نیز حداقل می‌باشد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳).

جهت برآورد نیاز آبی گیاه گندم از مدل CROPWAT 8.0 استفاده شده است. مدل CROPWAT که اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط FAO تدوین شده، یک مدل ساده بیلان آب است که امکان شبیه سازی تنش رطوبتی روی گیاه و محاسبه میزان کاهش محصول را بر پایه روش‌های مدون برآورد تبخیر و تعرق و عکس‌العمل گیاه به تنش آبی میسر می‌سازد (رضانی و همکاران، ۱۳۸۸).

CROPWAT 8.0 یک برنامه کامپیوتری است که مدل پنمن-مونیت را برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o)، نیاز آبی گیاه (ET_m) و نیاز آبیاری گیاه به کار می‌برد (FAO, 2008). داده‌های اصلی مورد نیاز در این برنامه عبارتند از: داده‌های اقلیمی برای محاسبه ET_o، داده‌های بارش، داده‌های الگوی کشت، داده‌های مربوط به محصول و داده‌های خاک.

داده‌های اقلیمی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، ساعات آفتابی و بارندگی ماهانه می‌باشد. داده‌های مربوط به خصوصیات خاک شامل مقدار کل رطوبت در دسترس، بیشترین میزان بارش نفوذ یافته، بیشترین عمق توسعه ریشه، درصد رطوبت اولیه تخلیه شده خاک و رطوبت اولیه قابل دسترس خاک و خصوصیات گیاه شامل تاریخ کاشت و برداشت، طول دوره رشد، عمق ریشه، ارتفاع گیاه، ضریب گیاهی، ضریب واکنش گیاه و ضریب کاهش عملکرد می‌باشد.

مشخصات گیاه گندم و خاک زراعی

گندم مهم‌ترین محصول زراعی و ماده غذایی کشور است که عمده‌ترین بخش مصرف آن در ایران (حدود ۹۰٪) مربوط به تولید نان است و بخشی نیز به مصرف بذر و مصرف دام می‌رسد. نام علمی گندم *Triticum aestivum* می‌باشد. گندم به دو دسته گندم بهاره و پاییزه تقسیم بندی می‌شود. در اینجا ویژگی‌های گندم پاییزه مورد بررسی قرار می‌گیرد. گندم پاییزه در منطقه آذربایجان معمولاً در اواسط آبان ماه کشت می‌گردد، ابتدا بذر جوانه می‌زند، سپس در فصل زمستان گیاه به صورت گیاه جوان کوچکی باقی می‌ماند و با آغاز فصل بهار، مجدداً رشد و نمو خود را آغاز می‌کند و در اواسط تیر ماه برداشت می‌گردد. گندم پاییزه نسبت به گندم بهاره ریشه‌های عمیق‌تر و پریشت‌تری دارد که تا ۲۰۰ سانتی متر در خاک نفوذ می‌کند. این امر به دلیل فصل رشد طولانی‌تر گندم پاییزه می‌باشد. در جدول ۱ مشخصات گیاه گندم پاییزه نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات گیاه گندم پاییزه

تاریخ برداشت: ۱۲ تیر				تاریخ کشت: ۱۵ آبان	
مجموع	نهایی	میانی	توسعه	اولیه	مراحل رشد
	۰/۲۵	۱/۱۵		۰/۷	ضریب گیاهی (kc)
۲۴۰	۳۰	۴۰	۱۴۰	۳۰	طول دوره رشد (روز)
	۱/۵			۰/۳	عمق ریشه (متر)
	۰/۹۰	۰/۵۵		۰/۵۵	کاهش عملکرد
۱	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۲۰	ضریب واکنش گیاه
		۱			ارتفاع گیاه (متر)

در جدول شماره ۲ مشخصات خاک زراعی درج شده است.

جدول ۲- مشخصات خاک

نوع خاک زراعی : متوسط (لومی)	
۲۹۰	مجموع رطوبت موجود خاک (mm/meter)
۴۰	حداکثر مقدار نفوذ باران (mm/day)
۹۰۰	حداکثر عمق توسعه ریشه (cm)
۰	کسر رطوبت اولیه خاک (%)
۲۹۰	رطوبت اولیه موجود خاک (mm/meter)

اولین مرحله در برآورد نیاز آبی گیاه، برآورد میزان ET_0 (تبخیر و تعرق گیاه مرجع) می‌باشد. در مدل CROPWAT 8.0 برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش فائو- پنمن - مانتیث استفاده شده است:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \text{رابطه ۷}$$

که در آن:

ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)

R_n : تابش خالص در سطح گیاه (میلیون ژول بر متر مربع در روز)

G : جریان گرمای زمین (میلیون ژول بر متر مربع در روز)

T : متوسط دمای روزانه در ارتفاع ۲ متری ($^{\circ}\text{C}$)

U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)

e_s : فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)

e_a : فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)

Δ : شیب منحنی فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)

γ : ثابت سایکرومتریک (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)

در مرحله بعد، مقدار باران مؤثر محاسبه می‌گردد. بخشی از بارندگی که بعد از اتلاف ناشی از رواناب سطحی و نفوذ عمقی به طور مؤثر توسط گیاه مصرف می‌شود، بارش مؤثر نامیده می‌شود. باران مؤثر بارشی است که در نهایت برای تعیین نیاز آبیاری گیاه به کار می‌رود. جهت محاسبه بارش مؤثر از روش درصد ثابت استفاده شده است. به دلیل اینکه در مقادیر بارش کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در ماه، کارایی تقریباً ۸۰٪ می‌باشد (FAO, 2008).

پس از تعیین ET_0 ، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه (ET_c) را می‌توان از طریق رابطه زیر محاسبه نمود:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad \text{رابطه ۸}$$

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع و K_c ضریب گیاهی است (Allen et al., 1998).

ET_c محاسبه شده از طریق رابطه ۶ تبخیر و تعرق گیاهی است که با مدیریت و شرایط زیست محیطی بهینه با موجودیت خوب آب و بدون هیچ محدودیتی رشد می‌کند. تبخیر و تعرق گیاهی که همچنین به عنوان مصرف واقعی آب گیاه شناخته می‌شود، در این تحقیق با استفاده از ضریب فشار آب (K_s) یا تطبیق K_c برای تمام انواع دیگر فشارها و محدودیت‌های زیست محیطی برآورد می‌شود:

$$ET_{ca} = K_s \times ET_c \quad \text{رابطه ۹}$$

ET_{ca} = تبخیر و تعرق واقعی گیاه

K_s = ضریب فشار آب

جهت به دست آوردن k_s ، ابتدا باید ضریب واکنش گیاه (k_y) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردد (FAO, 1979):

$$\left[1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right] = K_y \left[1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right] \quad \text{رابطه ۱۰}$$

با ترکیب معادلات ۷ و ۸ ضریب فشار به دست می‌آید:

$$K_s = 1 - \frac{1}{K_y} \left[1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right] \quad \text{رابطه ۱۱}$$

Y_a = محصول واقعی

Y_m = محصول حداکثر/ بالقوه

K_y = ضریب واکنش گیاه (کاهش نسبی محصول مطابق با کاهش آب خاک).

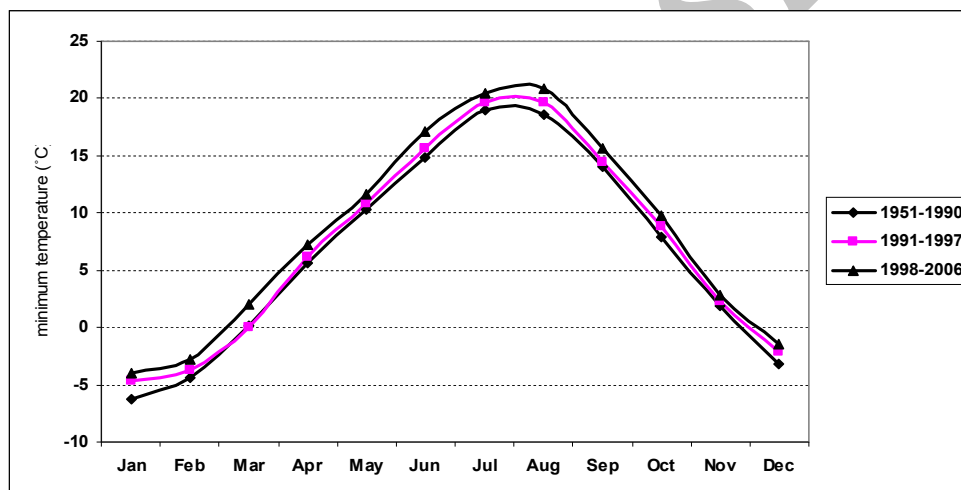
ET_a = تبخیر و تعرق واقعی گیاه

ET_m = تبخیر و تعرق حداکثر/ پتانسیل

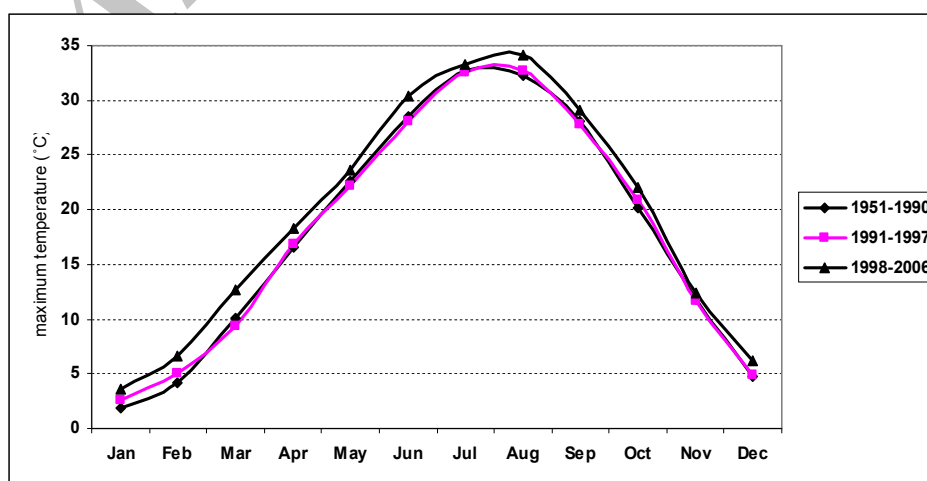
K_s = ضریب فشار آب

یافته‌ها و بحث

محصولات کشاورزی بسیار وابسته به وضعیت اقلیمی هستند و هرگونه تغییر در وضعیت اقلیم ممکن است منجر به تغییر در رشد محصولات گردد. از بین عناصر اقلیمی دو عنصر درجه حرارت هوا و میزان بارندگی برای محصول گندم اهمیت زیادی دارند. با بررسی مقادیر ماهانه متوسط دمای حداقل و حداکثر ایستگاه تبریز در طی سه دوره زمانی اخیر تغییرات این عناصر جوی آشکار می‌شود. همانگونه که در اشکال ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، در ایستگاه تبریز، متوسط درجه حرارت حداقل و حداکثر تمام ماه‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است. متوسط درجه حرارت حداقل سالانه و حداکثر سالانه در دوره ۲۰۰۶-۱۹۹۸ نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۵۱ به ترتیب میزان ۱/۸ و ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده است.



شکل ۴- تغییرات مشاهده شده در میانگین دمای حداقل ماهانه در سه دوره زمانی



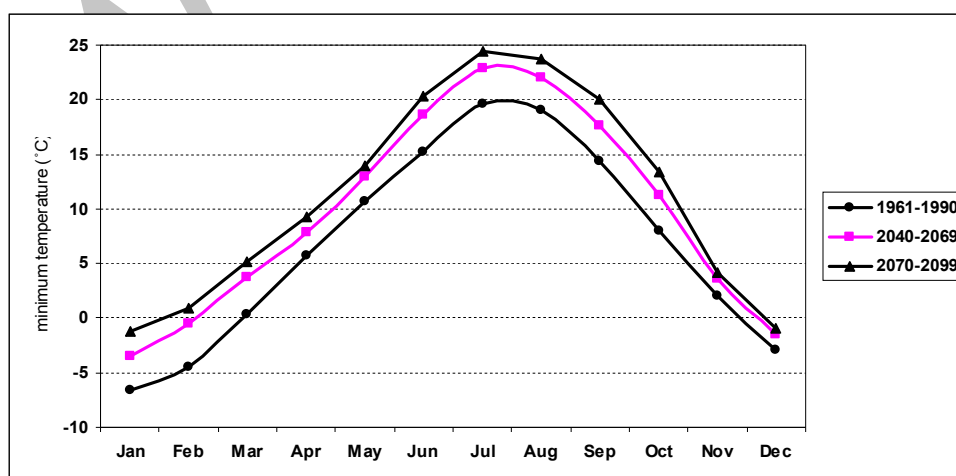
شکل ۵- تغییرات مشاهده شده در میانگین دمای حداکثر ماهانه در سه دوره زمانی

عنصر بارندگی نیز همانند درجه حرارت در طی دهه‌های اخیر تغییر پیدا کرده است. در جدول ۳، درصد تغییر مقادیر بارندگی فصلی مشاهداتی در دو دوره زمانی اخیر مشاهده می‌شود. مطابق جدول مذکور، جهت تغییر بارندگی در تمام فصول منفی بوده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود در دوره ۱۹۹۱-۲۰۰۶ نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۵۱ مقدار بارندگی سالانه ۱۶/۳٪ کاهش داشته است که در این میان بارندگی فصل بهار (ماه‌های مارس، آوریل، می) کمترین درصد کاهش را نشان می‌دهد.

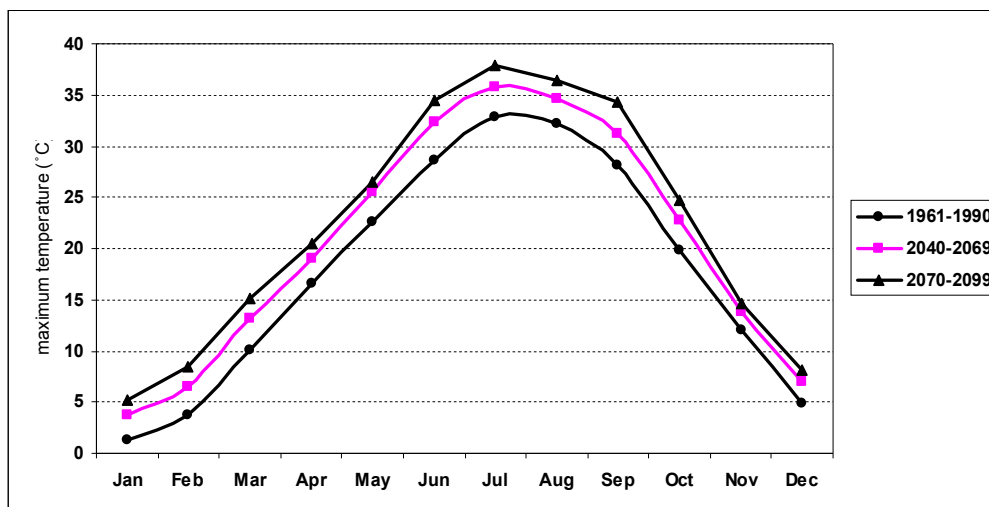
جدول ۳- درصد تغییرات مشاهده شده در بارندگی طی دو دوره زمانی

سالانه	دسامبر، ژانویه، فوریه	مارس، آوریل، می	ژوئن، ژوئیه، اوت	سپتامبر، اکتبر، نوامبر	سالانه
۱۹۵۱-۱۹۹۰	۷۴/۸	۱۳۸/۵	۲۷/۷	۶۱/۸	۳۰۲/۷
۱۹۹۱-۲۰۰۶	۵۹/۷	۱۲۶/۹	۲۰/۱	۴۸/۷	۲۵۵/۵
در صد تغییر	-۲۰	-۸	-۲۷	-۲۱	-۱۶

در این تحقیق از بین مدل‌های گردش عمومی، نتایج حاصل از ریزمقیاس نمایی مدل HadCM2 جهت برآورد تغییرات دما و بارندگی تبریز در آینده به کار برده شده است. مطابق پیش بینی مدل HadCM2 تحت سناریوی A1 در دوره آینده دمای حداقل و حداکثر تبریز در تمام ماه‌ها افزایش خواهد یافت. در شکل ۶ تغییرات متوسط درجه حرارت حداقل ماهانه تبریز در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه نشان داده شده است. مقدار افزایش دمای حداقل سالانه تبریز در طی دو دوره ۳۰ ساله آینده (۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) به ترتیب ۲/۹ و ۴/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



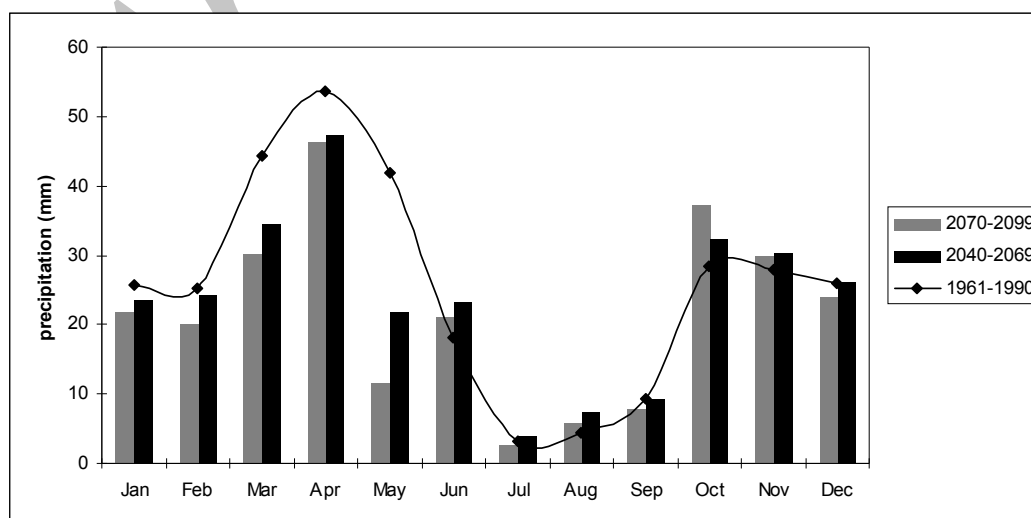
شکل ۶- نمودار تغییرات متوسط دمای حداقل ماهانه تبریز در ۳ دوره زمانی تحت سناریوی A1 مدل HadCM2



شکل ۷- نمودار تغییرات متوسط دمای حداکثر ماهانه تبریز در ۳ دوره زمانی تحت سناریوی A1 مدل HadCM2

شکل ۷ تغییرات میانگین درجه حرارت حداکثر ماهانه را طی ۳ دوره زمانی نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود میانگین درجه حرارت حداکثر نیز در تمام ماه‌ها افزایش یافته است. بر اساس برآورد مدل، میانگین دمای حداکثر سالانه تبریز در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ به میزان ۲/۷ و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به میزان ۴/۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

مطابق برآورد سناریوی A1 مدل گردش عمومی HadCM2 میزان بارندگی سالانه تبریز در دوره آینده کاهش خواهد یافت. شکل ۸ تغییرات متوسط بارش ماهانه تبریز را در سه دوره زمانی مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود جهت تغییر بارندگی در بعضی ماه‌ها منفی و در بعضی ماه‌ها مثبت است.



شکل ۸- نمودار تغییرات متوسط بارندگی ماهانه تبریز در ۳ دوره زمانی تحت سناریوی A1 مدل HadCM2

جدول ۴- درصد تغییرات بارندگی ماهانه تبریز در دوره آینده

دوره آینده				دوره پایه	
(۲۰۷۰-۲۰۹۹)		(۲۰۴۰-۲۰۶۹)		(۱۹۶۱-۱۹۹۰)	
درصد تغییر (%)	بارندگی (mm)	درصد تغییر (%)	بارندگی (mm)	بارندگی (mm)	
-۱/۳	۲۱/۷	-۱۰	۲۳/۴	۲۵/۸	ژانویه
-۱/۷	۲۰/۱	-۵	۲۴/۲	۲۵/۳	فوریه
-۴/۶	۳۰/۱	-۲۸	۳۴/۵	۴۴/۳	مارس
-۲/۴	۴۶/۲	-۱۴	۴۷/۲	۵۳/۶	آوریل
-۹/۸	۱۱/۶	-۹۳	۲۱/۷	۴۱/۹	می
+۱	۲۱/۱	+۲۲	۲۳/۲	۱۸/۱	ژوئن
-۰/۲	۲/۶	+۲۰	۴	۳/۲	ژوئیه
+۰/۵	۶	+۴۰	۷/۳	۴/۴	اوت
-۰/۵	۷/۸	۰	۹/۴	۹/۴	سپتامبر
+۲/۹	۳۷/۳	+۱۴	۳۲/۴	۲۸/۴	اکتبر
+۰/۶	۲۹/۸	+۹	۳۰/۴	۲۸	نوامبر
-۰/۶	۲۴	+۰/۴	۲۶/۱	۲۶	دسامبر
-۱۶/۲	۲۵۸/۳	-۸	۲۸۳/۸	۳۰۸/۴	سالانه

در جدول شماره ۴، درصد تغییر بارندگی در ماه‌های سال درج گردیده است. طبق جدول مذکور درصد تغییرات منفی شدیدتر از درصد تغییرات مثبت می‌باشد. مقدار کاهش بارندگی سالانه تبریز در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره پایه ۸٪ و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ حدود ۱۶/۲٪ برآورد گردیده است. به منظور ارزیابی اثر تغییرات دما و بارش بر روی مصرف آب محصول گندم از مدل CROPWAT 8.0 استفاده شده است. نتایج حاصل از این مدل در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- مقادیر تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاه گندم در طی فصل رشد

Ir.Reg	%change Eta	Eta	ks	Etc	kc	Eto	Eff.rain	
۳۵۶/۳	-	۶۰۵/۵	۰/۹۹	۶۰۷/۷	۰/۹۳	۶۴۹/۵	۲۴۹/۱	۱۹۶۱-۱۹۹۰
۴۳۶/۴	۸/۳۴	۶۵۶	۰/۹۹	۶۵۸/۱	۰/۹۳	۷۰۵	۲۲۱/۷	۲۰۴۰-۲۰۶۹
۴۹۲/۵	۹/۶۲	۶۶۳/۸	۰/۹۶	۶۸۹/۳	۰/۹۳	۷۳۶/۹	۱۹۶/۸	۲۰۷۰-۲۰۹۹

Eff.Rain = باران مؤثر، Eto = تبخیر و تعرق گیاه مرجع، Kc = ضریب گیاهی، Etc = تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه، Ks = ضریب فشار آب، Eta = مصرف واقعی آب گیاه، %change Eta = درصد تغییر مصرف آب گیاه، Irr.Req = نیاز آبیاری گیاه

همانگونه که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد، مصرف واقعی آب گیاه گندم (Eta) در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ به میزان ۸/۳٪ و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به میزان ۹/۶٪ نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. بنابراین نیاز آبیاری گیاه گندم (Irr.Req) در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ به مقدار ۸۰ میلی‌متر و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به میزان ۱۳۶ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

گرمایش جهانی یک واقعیت انکارناپذیر زندگی امروزی بشر است و اثرات آن در سرتاسر جهان به صورت افزایش دما و تغییر الگوی بارندگی مشاهده می‌شود. این تغییرات بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از جمله افزایش درجه حرارت موجب بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهی می‌شود که به تبع آن نیاز آبی گیاهان افزایش می‌یابد. دو عنصر درجه حرارت و بارندگی مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی مؤثر در رشد و نمو گیاه گندم می‌باشند. مطابق پیش بینی مدل HadCM2 تحت سناریوی A1، درجه حرارت حداقل و حداکثر تبریز در تمام ماه‌ها در دوره آینده افزایش می‌یابد. میزان بارندگی ماهانه نیز تغییر پیدا می‌کند. جهت تغییر بارندگی در بعضی ماه‌ها مثبت و در بعضی ماه‌ها منفی است. در مجموع مقدار بارندگی سالانه تبریز در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه ۸٪ و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ حدود ۱۶/۲٪ کاهش می‌یابد. این تغییرات باعث افزایش میزان تبخیر و تعرق گیاه گندم می‌شود که نتیجه آن افزایش نیاز آبی گیاه گندم در دوره آینده نسبت به دوره پایه می‌باشد؛ لذا با توجه به وقوع پدیده تغییر اقلیم و اثرات اجتناب ناپذیر آن بر روی محصولات کشاورزی به ویژه محصولات اساسی نظیر گندم بایستی راهکارها و اقدامات لازم در این زمینه صورت پذیرد. یکی از این راهکارها انتخاب واریته‌های جدید با نیاز کمتر به آب و مقاومت بیشتر در برابر شرایط محیطی و راهکار دوم افزایش بهره‌وری با استفاده از روش‌های نوین آبیاری می‌باشد تا بدین طریق امکان سازگاری با شرایط جدید و مقابله با آثار سوء تغییر اقلیم فراهم گردد.

منابع

- ۱- رمضانی اعتدالی، هادی، بیژن نظری، علیرضا توکلی و مسعود پارسی نژاد (۱۳۸۸)، «ارزیابی مدل CROPWAT در مدیریت کم آبیاری گندم و جو در منطقه کرج»، *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۳، شماره ۱، صص ۱۱۹-۱۲۹.
- ۲- فرشی، علی اصغر و محمدرضا امداد (۱۳۷۸)، «بررسی اثر افزایش درجه حرارت کره زمین در افزایش مصرف آب کشاورزی»، دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم.
- ۳- عساکره، حسین (۱۳۸۶)، «تغییر اقلیم»، انتشارات دانشگاه زنجان، ۲۳۶ ص.
- ۴- مساح بوانی، علیرضا (۱۳۸۵)، «ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان»، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، گروه مهندسی سازه‌های آبی، ۱۹۰ ص.
- ۵- مهدوی، محمد، ابراهیم حسینی چگینی، محمد حسین مهدویان، سیما رحیمی بندرآبادی (۱۳۸۳)، «مقایسه روش‌های زمین آمار در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرقی ایران»، *مجله منابع طبیعی ایران*، جلد ۵۷، شماره ۲.
6. Alfsen K. et al., (2007), "General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment", Version 2, PP66, Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment. IPCC-TGCIA.
7. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., (1998), "Crop Evapotranspiration Guidelines For Computing Crop Water Requirements", FAO Irrigation and Drainage Paper, NO. 56, Rome, Italy.
8. Chiotti, Q.P. and Johnston, T. (1995) "Extending the boundaries of climate change research: A discussion on agriculture", *J. of Rural Studies* 11: 335-350.
9. Diaz-Nieto, J. and Wilby, R.L. (2005), "A comparison of statistical and climate change factor methods: Impacts on low flows in the river Thames, United Kingdom", *Journal of Climate Change*, 69: 245-268.
10. **FAO (Food and Agriculture Organization)**, (1979), "Yield response to water", Authors, Doorenbos J & Kassam AH. Irrigation and Drainage Paper 33. Rome, Italy.
11. **FAO (Food and Agriculture Organization)**, (2008), "Example of the use of CROPWAT 8.0", <http://www.fao.org/ag/AGL/aglw/cropwat.stm>.

12. Giorgi, F. and L. O. Mearns. (1999), "Introduction to special section: Regional climate modeling revisited". *Journal of Geophysical Research*, 104:6335-6352..
13. Hengeveld, H.G. (2000), "Projections for Canada's climate future. A discussion of recent simulations with the Canadian Global Climate Model. CCD 0001, Environment Canada.
14. <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>
15. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2001), "Summary for policymakers". Report of Working Group I. Climate Change 2001: The scientific basis. http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WGI-SPM.pdf.
16. Karanja, K. Fredrick (2006), "CROPWAT Model analysis of crop water use in six districts in Kenya", GEF funded project: Climate Change Impacts on and Adaptation of Agroecological Systems in Africa.
17. Ludwig, F. and S., Asseng, (2006), "Impacts and adaptation to climate change in Western Australian wheat cropping systems", *Agric. Syst.* 90: 159-179.
18. Roy, Kushal, Masudur Rahaman and Uthpal Kumar (2009), "Future Climate Change and Moisture Stress: Impact on Crop Agriculture in South-Western Bangladesh", *Climate Change and Development*, Volume 1 Issue 1.
19. - Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L.O., (2004), "Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods", available from the DDC of IPCC TG CIA, 27 pp.
20. Wilby, R. L. , T. M. L. Wigley, D. Conway, P. D. Jones, B. C. Hewitson, J. Main, and D. S. Wilks. (1998), "Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods". *Water Resources Research*, 34:2995-3008.