

کارگاه فنی
اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب
۲۴ بهمن ماه ۱۳۸۶

تحلیل عدم قطعیت مدل‌های جفت شده اقیانوس - اتمسفر - گردش عمومی جو
بر سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی در حوضه زاینده رود

نازنین شاه کرمی^۱، علیرضا مساح بوانی^۲، سعید مرید^۳، هدایت فهمی^۴

۱- چکیده

بارندگی و دما دو عامل اثر گذار بر بسیاری از فرآیندهای مرتبط با مدیریت منابع آب هستند که تغییر در رواناب و نیاز آبی از مهمترین آنها می‌باشد. در این تحقیق سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی در حوضه زاینده رود با استفاده از هفت مدل AOGCM^۵ و سناریوی انتشار A2 تا افق سال ۲۱۰۰ تولید شده‌اند. مدل‌های بکار رفته عبارتند از ECHAM4, CSIRO-MK2, CGCM2, CCSR-NIES, GFDL-R30, HadCM3 و NCAR-DOE PCM که در گزارش سوم IPCC^۶ به آنها اشاره شده است. در ادامه سه دوره آتی شبیه سازی ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰، ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۱ انتخاب و به منظور تعیین سناریوهای تغییر اقلیم در این حوضه، مقادیر مربوط مورد پردازش قرار گرفتند. برای بررسی عدم قطعیت ناشی از بکارگیری مدل‌های مختلف AOGCM، مقادیر این متغیرها در ۷ مدل مقایسه شده، محدوده دما و بارندگی حوضه در دوره های آتی تعیین شد. از طرفی با مقایسه مقادیر ماهیانه متغیرهای دما و بارندگی دوره پایه مربوط به مدل‌های AOGCM با مقادیر مشاهداتی آنها، وزن هر مدل با روش میانگین مشاهداتی دما و بارندگی (MOTP)^۷ در هر ماه مشخص گردید. نتایج حاکی از آن است که مدل‌های CGCM2 بیشترین وزن را در شبیه سازی متغیر دمای ماه‌های زمستان و NCAR برای سایر ماه‌ها دارا می‌باشد. بر این اساس بیشترین تغییرات در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ برای دما خواهد بود

۱- دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس

۲- گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران (پردیس ابوریحان)

۳- گروه سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس

۴- شرکت سهامی مدیریت منابع آب وزارت نیرو

5- Atmospheric-Ocean General Circulation Model
6- Intergovernmental Panel of Climate Change
7 - Mean Observed Temperature Precipitation

که محدوده ۸/۱-۳، ۸/۲-۳/۱، ۶/۹-۳ و ۶/۵-۲/۳ درجه سانتی‌گراد برای فصول بهار تا زمستان را خواهد داشت. برای بارندگی الگوی غالبی در مدل‌ها دیده نشد، هر چند به نظر می‌رسد که مدل HadCM3 عملکرد بهتری را نسبت به سایر مدل‌ها از خود نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، عدم قطعیت، مدل‌های AOGCM، حوضه زاینده رود

۲- مقدمه

میانگین دمای سطح زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش است به طوری که سناریوهای اخیر IPCC افزایش متوسط جهانی دما^۱ را 0.76°C در قرن گذشته و $6/4 - 1/1$ درجه سانتی‌گراد در قرن حاضر و بالا آمدن تراز سطح دریا را به میزان 0.17 متر در قرن گذشته و بین $0.6 - 0.2$ متر تا سال ۲۱۰۰ را پیش‌بینی می‌کنند. علاوه بر تغییر در میانگین متغیرهای اقلیمی، تغییر در مقادیر حدی بارندگی نسبت به مقادیر گذشته آن نیز از دیگر پیامدها خواهد بود که به معنای افزایش در شدت سال‌های خشک یا مرطوب و همچنین سال‌های متوالی وقوع آنها است (IPCC, 2007a). این پدیده که به آن تغییر اقلیم^۲ اطلاق می‌شود، بر بخشهای مختلفی تاثیر خواهد داشت که بخش منابع آب و کشاورزی از اصلی‌ترین آنها می‌باشد. کشور ما نیز از اثرات ناشی از پدیده تغییر اقلیم مصون نبوده و با توجه به قرار گرفتن در عرض‌های جغرافیایی پایین بیشترین تبعات منفی این پدیده را متحمل خواهد شد (IPCC, 2007b). لذا لازم است کارهای تحقیقاتی و مطالعاتی زیادی برای بررسی آن انجام گردد.

تحقیقات انجام شده در زمینه مباحث تغییر اقلیم مانند بررسی اثرات حاصل از این پدیده و یا روش‌های تطبیق با آن بسیار متنوع می‌باشد. اما آنچه در اکثر این تحقیقات مشترک بوده و به عنوان اولین گام تحقیق مطرح می‌باشد، شبیه سازی داده های اقلیمی (مانند دما و بارندگی) برای دوره های آتی است. معتبرترین ابزار موجود در این زمینه استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM می‌باشد. محققین مختلف فراخور نیاز خود، خروجی‌های یک یا چند نمونه از این مدل‌ها را به خدمت گرفته اند که به تعدادی از آنها در جدول (۱) اشاره گردیده است. اما تاکید بر استفاده حداکثر ممکن از آنها به منظور دخالت بیشتر عدم قطعیت‌ها در نتایج تحقیقات است (Jones, 2000a; Wilby and Harris, 2005).

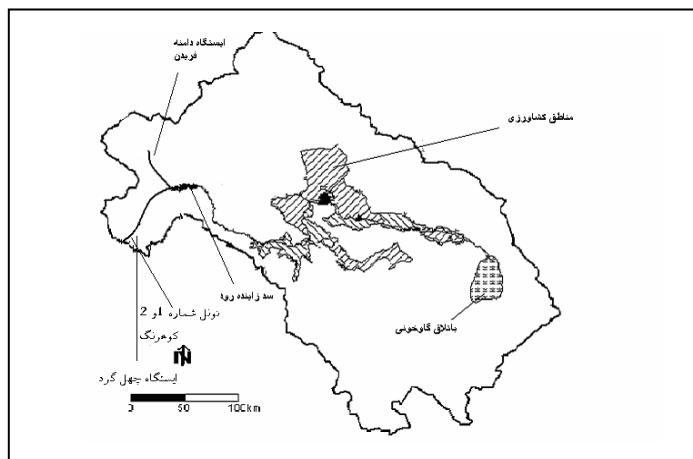
منطقه مطالعاتی این تحقیق، حوضه زاینده رود در طول‌های جغرافیایی $24^{\circ} 50'$ تا $24^{\circ} 53'$ و عرض $31^{\circ} 11'$ تا $33^{\circ} 42'$ واقع شده است. مساحت آن 41500 کیلومتر مربع می‌باشد که بخش عمده استان اصفهان را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). توپوگرافی و شیب حوضه از سمت غرب به سمت شرق کاهش می‌یابد، بطوری‌که سرچشمه‌های آن بیش از 3900 متر ارتفاع از سطح دریا دارد و در انتهای آن - باتلاق گاوخونی - ارتفاع به حدود 1100 متر می‌رسد.

1 - Global Warming

2- Climate Change

جدول (۱): نمونه هایی از تحقیقات انجام شده در زمینه تغییر اقلیم و مدل های AOGCM بکار رفته در آنها

مدل GCM / محققین	منطقه مطالعاتی	دوره زمانی	مدل های AOGCM
Varanou et al., 2002	حوضه Ali Efeni در یونان	۲۰۵۱-۲۰۸۰، ۲۰۲۱-۱۹۹۱، ۲۰۵۰-۲۰۲۰	CGCM, CSIRO, ECHAM, HadCM2
Payne et al., 2004	حوزه رودخانه کلمبیا	۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۴۰-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۳۹	PCM
Rosenweig et al., 2004	آرژانتین، برزیل، چین، مجارستان، رومانی و آمریکا	۲۰۴۰-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۳۹	NCAR
Quinn et al., 2004	حوضه San Joaquin کالیفرنیا	۲۰۸۰-۹۹، ۲۰۵۰-۷۹، ۲۰۱۰-۳۹	PCM, HadCM3
Hoanh et al, 2004	Mekong در جنوب شرقی آسیا	۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۱۰-۲۰۳۹	HadCM3
Klein et al., 2004	Rhine در اروپای غربی	۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۱۰-۲۰۳۹	HadCM3, SRES HA-2
Huber- Lee et al., 2004	Sacramento در آمریکا	۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۱۰-۲۰۳۹	HadCM3
Savoskul et al., 2004	Syr Darya در آسیای مرکزی	۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۱۰-۲۰۳۹	HadCM3, ECHAM4
Andeh et al, 2004	Volta در غنا	۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۱۰-۲۰۳۹	HadCM3, ECHAM4
Jayatillake and Droogers, 2004	Walawe در سریلانکا	۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۱۰-۲۰۳۹	HadCM3
Joyce et al., 2006	حوضه Sacramento در کالیفرنیا	۲۰۰۰-۲۱۰۰	PCM, GFDL
Jones, 2000b	ویکتوریای شمالی در استرالیا	برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۰ با گامهای زمانی ده ساله	CSIRO
Jones and Page, 2001	حوضه Macquarie در استرالیا	۲۰۷۰ و ۲۰۳۰	۹ مدل
مساح بوانی، ۱۳۸۵	حوضه زاینده رود ایران	۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۴۰-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۳۹	۷ مدل پیشنهادی در گزارش سوم IPCC



شکل (۱): موقعیت حوضه زاینده رود

۳- مواد و روش‌ها

قسمت اصلی این تحقیق شامل استخراج محدوده تغییرات متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های AOGCM با لحاظ عدم قطعیت‌های مربوط است. به این منظور نیاز به ابزارها و روش‌های مختلفی می‌باشد که به آنها در ادامه اشاره می‌گردد:

۳-۱- مدل‌های AOGCM

چون پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده تحت پدیده تغییر اقلیم به طور قطعی ممکن نمی‌باشد، راه جایگزین مشخص کردن امکان‌های رخداد گوناگون برای آن است که سناریوی اقلیمی نامیده می‌شود. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های AOGCM می‌باشد. این مدل‌ها بر پایه قوانین فیزیکی بوده که به وسیله روابط ریاضی در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین حل می‌گردند. ۷ مدل CCSR-NIES از مرکز تحقیقات اقلیم ژاپن، CGCM2 از مرکز تجزیه و تحلیل و مدلسازی اقلیم کانادا، CSIRO-MK2 از مرکز تحقیقات صنعتی و علمی استرالیا، ECHAM4 از مرکز تحقیقات آلمان، GFDL R30 از لابراتوار دینامیک سیالات ژئوفیزیک آمریکا، HadCM3 از مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم Hadley انگلستان و NCAR-DOE PCM از مرکز تحقیقات اتمسفر آمریکا از جمله معتبرترین مدل‌های AOGCM هستند که IPCC در گزارش سوم خود در سال ۲۰۰۱ به آنها اشاره کرده است. در تمام این مدل‌ها، هشت متغیر سطحی اقلیمی شامل میزان بارندگی، میانگین فشار سطح دریاها، تابش خورشیدی، دمای میانگین هوا، دمای نقطه شبنم، دمای هوای حداقل، دمای هوای حداکثر و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوهای مختلف انتشار شبیه‌سازی شده‌اند (IPCC-DDC, 1988). در این تحقیق به منظور استخراج متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی دوره های آتی از ۷ مدل فوق الذکر استفاده خواهد شد.

۳-۲- سناریوهای انتشار (Emission scenarios)

سناریو انتشار دربرگیرنده اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است. از دلایل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین می‌توان به افزایش فعالیت‌های اقتصادی جوامع و متعاقب آن رشد صنایع و کارخانه‌ها و تغییرات کاربری اراضی اشاره کرد. IPCC سری اولیه سناریوهای انتشار را در سال ۱۹۹۲ با نام IS92 (IS92a- IS92f) و سری جدید سناریوهای انتشار را در سال ۱۹۹۶ به منظور به‌روز کردن و جایگزینی سناریوهای قبلی با نام 'SRES' ارائه کرد. در این سناریوها در مجموع ۴۰ سناریوی متفاوت که در برگیرنده طیف وسیعی از میزان جمعیت انسان در آینده و عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی موثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق

می‌باشد، ارائه شده است. با توجه به مطالعات مساح بوانی (۱۳۸۵) از مجموعه سناریوهای SRES، سناریوی A2 بحرانی ترین شرایط را برای منطقه مطالعاتی دارا است که در اینجا نیز از آن استفاده می‌شود.

۳-۳- کوچک مقیاس کردن (Downscaling)

یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM در مطالعات ارزیابی اثر تغییر اقلیم در سطوح منطقه‌ای، بزرگ بودن مقیاس مکانی سلول محاسباتی می‌باشد. به این منظور از روش‌های مختلف کوچک مقیاس کردن، جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه ای از خروجی مدل‌های فوق استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها روش وزن دهی عکس فاصله است که در ادامه تشریح می‌گردد.

۳-۳-۱- روش وزن دهی عکس فاصله (IDW)

در روش IDW فرض بر این است که نقاط نزدیک به نقطه مورد درونیابی تاثیر بیشتری را نسبت به نقاط دورتر بر مقدار کمیت مورد درونیابی دارند. در این روش، کمیت مورد نظر بر اساس مقادیر این کمیت در دیگر نقاط محدوده به شکل زیر تخمین زده (درونیابی) می‌شود:

$$Z^*(x_j) = \frac{\sum \frac{Z(x_i)}{(h_{ij} + s)^\rho}}{\sum \frac{1}{(h_{ij} + s)^\rho}} \quad (1)$$

که در آن، $Z^*(x_j)$ مقدار کمیت تخمین زده شده در نقطه j ، $Z(x_i)$ مقدار کمیت اندازه‌گیری شده در نقطه x_i ، h_{ij} فاصله بین نقطه $Z(x_i)$ و $Z^*(x_j)$ ، s فاکتور همواری^۱ و ρ نمای وزن دهی می‌باشد. توان وزن دهی ρ مشخص کننده نرخ کاهش وزن داده شده به نقاط، نسبت به افزایش فاصله آن‌ها از نقطه تخمین می‌باشد. این مقدار معمولاً بین ۱ تا ۵ انتخاب می‌شود. بدیهی است هرچه مقدار ρ بیشتر انتخاب گردد، میزان تاثیر نقاط دورتر بر مقدار تخمین نقطه مورد نظر کمتر خواهد بود. همچنین با توجه به رابطه (۱) مشخص می‌شود که اگر نقطه تخمین منطبق به نقاط نمونه‌گیری شده باشد، در صورت عدم وجود فاکتور s مخرج کسر صفر و یا نزدیک به صفر شده و مقدار کمیت در نقطه تخمین غیر واقعی خواهد شد. لذا انتخاب $s > 0$ باعث می‌شود تا این وضعیت تعدیل گردد.

۳-۴- عدم قطعیت در مباحث تغییر اقلیم

اگرچه تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف انجام پذیرفته و رویکردهای مختلف تطبیقی و نحوه کاهش خسارت مورد بررسی قرار گرفته، ولی در اکثر این تحقیقات عدم قطعیت‌های موجود نادیده گرفته شده و در بررسی‌ها به تحلیل حساسیت (استفاده از سناریوهای مصنوعی) و یا آسیب پذیری سیستم‌ها^۱ نسبت به یک یا چند سناریو از مدل‌های AOGCM بسنده شده است (Alexandrov et al., 2004; Brouyere and Dassargues, 2004; Fowler and Kilsby, 2004). این در حالیست که نادیده گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم، باعث می‌شود تا از میزان قطعیت خروجی نهائی سیستم کاسته شود. یکی از عمده ترین منابع عدم قطعیت در مباحث تغییر اقلیم ناشی از بکارگیری مدل‌های مختلف AOGCM است که خروجیهای متفاوتی را برای متغیرهای اقلیمی تولید می‌کنند. برای دخالت عدم قطعیت مدل‌های AOGCM با توجه به نتایج تحقیقات مساح بوانی (۱۳۸۵) روش MOTP مورد استفاده قرار گرفت که در ادامه تشریح می‌گردد.

۳-۴-۱- روش وزن دهی میانگین مشاهداتی دما و بارندگی (MOTP)^۲

در این روش مدل‌های AOGCM بر اساس مقدار انحراف میانگین دما یا بارندگی شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی وزن‌دهی می‌شوند:

$$W_i = \frac{(1/\Delta T_i)}{\sum_{i=1}^N (1/\Delta T_i)} \quad (2)$$

که در آن W_i وزن هر مدل در ماه مورد نظر و ΔT_i انحراف میانگین طولانی مدت دمای شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشد. با جایگذاری مقادیر بارندگی به جای دما در رابطه بالا، وزن‌های متناظر با متغیر بارندگی نیز بدست می‌آید.

۴- تغییر اقلیم در حوضه زاینده رود

۴-۱- استخراج سناریوهای تغییر اقلیم حوضه زاینده رود

به منظور بررسی پدیده تغییر اقلیم حوضه زاینده رود در دوره های آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰، ۲۰۹۹-۲۰۷۰) با توجه به دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) نیاز به طی گامهایی به منظور استخراج سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی می‌باشد که در ادامه به آنها اشاره می‌گردد:

1 - Vulnerability

2- Mean Observed Temperature-Precipitation

در اولین گام، متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی ماهیانه برای دوره پایه و دوره های آتی از سایت IPCC استخراج شد. در ادامه مقادیر مربوط به سلول اصلی (سلولی که دو ایستگاه دامنه فریدن و چهلگرد در آن قرار گرفته است) و ۸ سلول اطراف آن استخراج شد. سپس برای هر سلول، میانگین ماهیانه طولانی مدت (۳۰ ساله) برای هر دوره استخراج گردید. در گام بعد با کسر مقادیر ماهیانه طولانی مدت دما و بارندگی دوره پایه از مقادیر متناظر آن در دوره های آتی، سناریوهای تغییر اقلیم که آن را تغییر میدان^۱ اطلاق می کنند، برای هر دوره حاصل شد. برای بارندگی این مقادیر از تقسیم تغییرات دوره آتی نسبت به آینده بر دوره پایه حاصل گردید. در مرحله بعد نوبت به کوچک مقیاس کردن سناریوهای تغییر اقلیم می شود که با استفاده از روش IDW انجام می گیرد. در بکارگیری این شیوه از مختصات دو ایستگاه دامنه فریدن و چهلگرد (به ترتیب برای متغیرهای دما و بارندگی) و ۹ سلول محاسباتی که در سیستم مختصاتی کارتزین تصویر شده بودند استفاده گردید. نهایتاً سناریوی تغییر اقلیم محدوده مطالعاتی برای هر مدل در هر دوره حاصل گردید. لازم به ذکر است که کلیه گامهای فوق الذکر در زبان برنامه نویسی FORTRAN و تصویرسازی مختصات جغرافیایی به کارتزین نیز در MATLAB نوشته شد.

۴-۲- بررسی ریسک تغییر اقلیم با استفاده از وزن دهی مدل های AOGCM

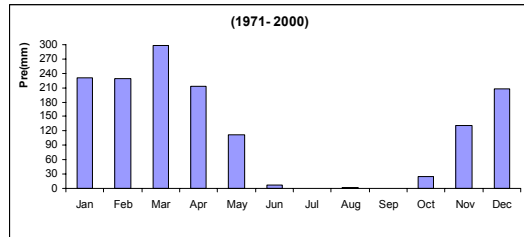
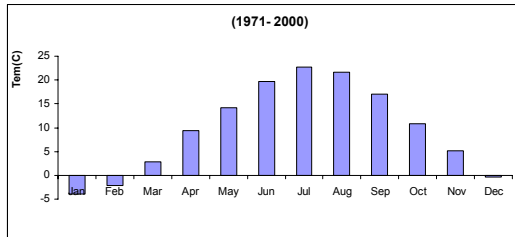
با مقایسه مقادیر حاصل از ۷ مدل می توان محدوده تغییرات متغیرهای اقلیمی ماهیانه طولانی مدت را تعیین کرد. از طرفی هر یک از ۷ مدل AOGCM بکار رفته در این تحقیق، به صورت جداگانه بر اساس روش MOTP برای سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی وزن دهی شدند.

۵- نتایج و بحث

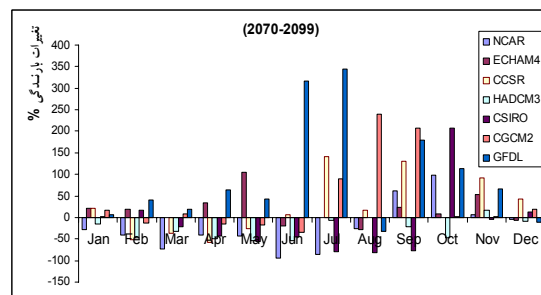
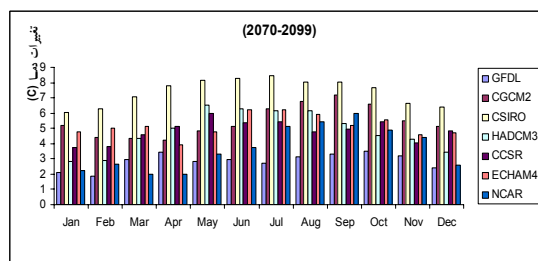
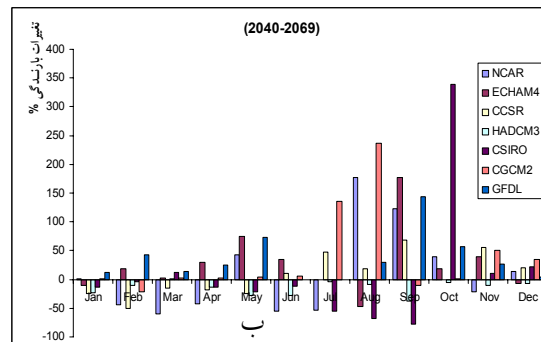
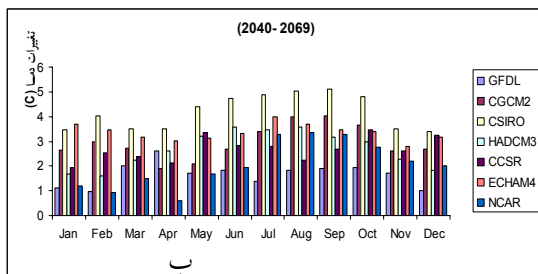
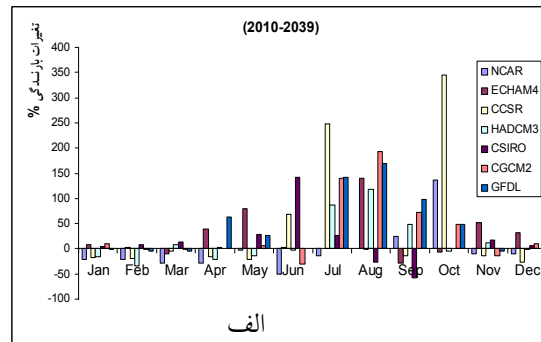
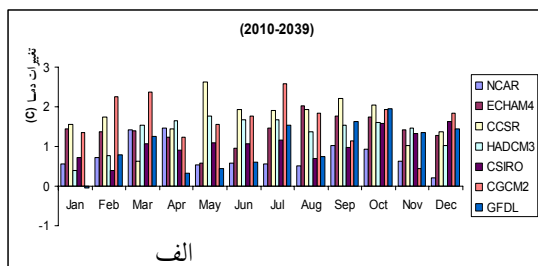
بر اساس مقادیر متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی شبیه سازی شده توسط هر یک از ۷ مدل AOGCM در سه دوره آتی و مقایسه آنها با مقادیر متناظر دوره پایه که در شکل (۲) نشان داده شده است و با توجه به مراحل ذکر شده در قسمت ۴-۱، سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی حاصل شد (شکل های ۳ و ۴). بر این اساس بیشترین تغییرات دما در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ خواهد بود که محدوده ۳ تا ۸/۱، ۳ تا ۸/۲ تا ۶/۹ و ۲/۳ تا ۶/۵ درجه سانتی گراد برای فصول بهار تا زمستان را خواهد داشت. مقادیر متناظر برای درصد تغییرات بارندگی ۵۹/۷- تا ۱۴۱/۵، ۷۹/۲- تا ۴۹۴/۹، ۱۳/۱- تا ۲۸۵/۱ و ۴۷/۴- تا ۲۱/۳ خواهد بود که این تغییرات در تابستان به دلیل کم بودن بارش در آن معنی دار نیست.

نتایج حاکی از وزن گذاری مدل های AOGCM نشان داد که مدل های CGCM2 بیشترین وزن را در شبیه سازی متغیر دمای ماه های زمستان و NCAR برای سایر ماه ها دارا می باشد (جدول ۲)، ولی برای

بارندگی الگوی غالبی در مدل‌ها دیده نشد. هر چند به نظر می‌رسد که مدل HadCM3 عملکرد بهتری را نسبت به سایر مدل‌ها از خود نشان می‌دهد (جدول ۳).



شکل (۲): تغییر میدان ماهیانه متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی در دوره پایه



شکل (۳): سناریوهای تغییر اقلیم دما در سه دوره آتی

شکل (۴): سناریوهای تغییر اقلیم بارندگی در سه دوره آتی

جدول (۲): وزن‌های بدست آمده برای ۷ مدل AOGCM مربوط به متغیر دما

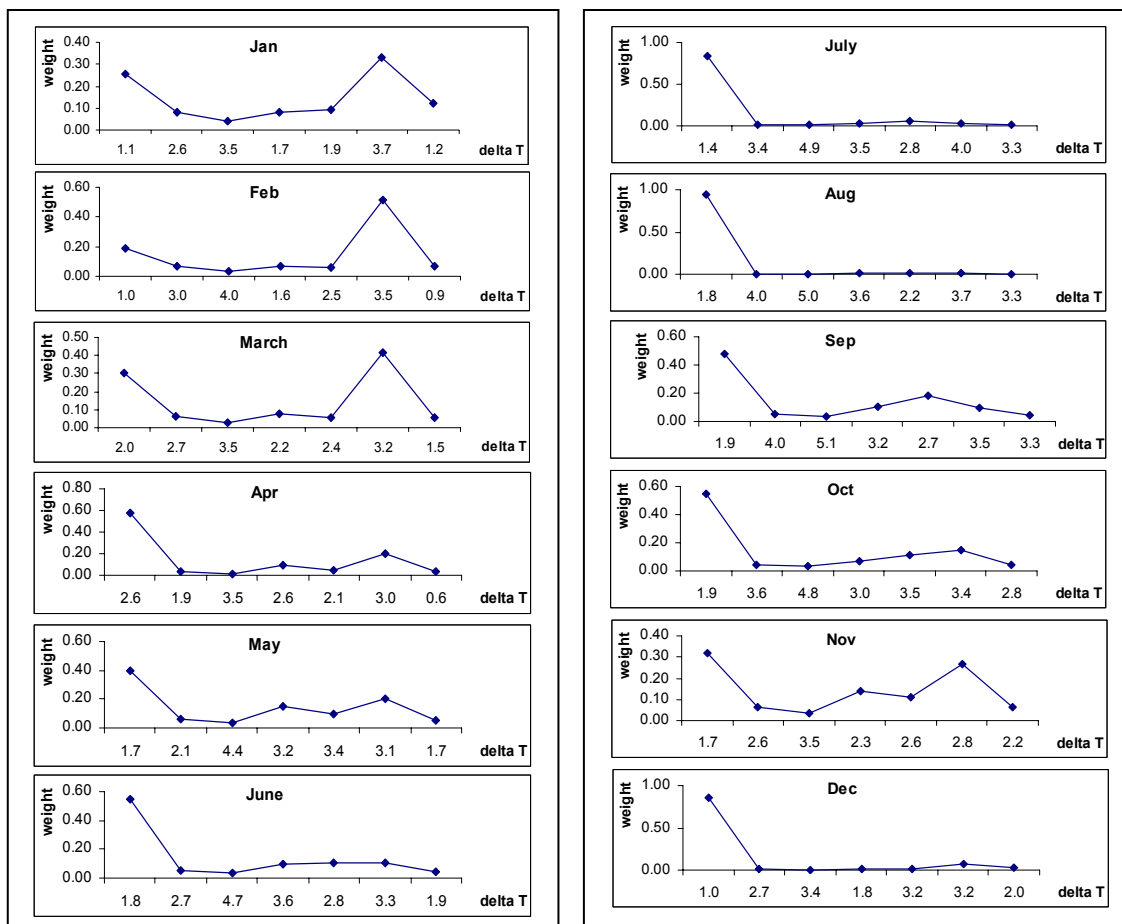
month	NCAR	ECHAM4	CCSR	HADCM3	CSIRO	CGCM2	GFDL
Jan	0.26	0.08	0.04	0.08	0.09	0.33	0.12
Feb	0.19	0.07	0.03	0.07	0.06	0.51	0.07
Mar	0.31	0.06	0.03	0.08	0.06	0.41	0.06
Apr	0.58	0.04	0.02	0.10	0.05	0.19	0.03
May	0.39	0.06	0.04	0.15	0.10	0.20	0.06
Jun	0.55	0.05	0.04	0.10	0.11	0.11	0.05
Jul	0.84	0.02	0.01	0.03	0.05	0.03	0.02
Aug	0.95	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00
Sep	0.48	0.05	0.04	0.11	0.18	0.10	0.05
Oct	0.55	0.05	0.03	0.07	0.11	0.15	0.04
Nov	0.32	0.07	0.04	0.14	0.11	0.26	0.07
Dec	0.85	0.01	0.00	0.01	0.02	0.07	0.03

جدول (۳): وزن‌های بدست آمده برای ۷ مدل AOGCM مربوط به متغیر بارندگی

month	NCAR	ECHAM4	CCSR	HADCM3	CSIRO	CGCM2	GFDL
Jan	0.13	0.14	0.13	0.17	0.14	0.15	0.13
Feb	0.13	0.14	0.14	0.16	0.15	0.15	0.14
Mar	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15
Apr	0.12	0.13	0.13	0.14	0.16	0.17	0.14
May	0.12	0.13	0.12	0.13	0.15	0.20	0.15
Jun	0.12	0.14	0.17	0.29	0.09	0.07	0.12
Jul	0.76	0.04	0.01	0.03	0.00	0.06	0.10
Aug	0.17	0.13	0.03	0.18	0.06	0.19	0.25
Sep	0.30	0.06	0.01	0.07	0.04	0.18	0.35
Oct	0.07	0.22	0.08	0.37	0.07	0.08	0.11
Nov	0.12	0.13	0.12	0.19	0.15	0.14	0.16
Dec	0.13	0.14	0.13	0.17	0.15	0.15	0.14

به منظور محاسبه ریسک تغییر اقلیم حاصل از مدل‌های AOGCM، با ادغام مقادیر حاصل از شکل‌های (۳ و ۴) با وزن‌های بدست آمده برای مدل‌های AOGCM که در جدول (۲) و (۳) به آنها اشاره شده است، برای هر دوره و هر ماه مقادیر وزن دار محدوده های تغییر اقلیم در هر یک از ماه‌های آتی (به صورت میانگین طولانی مدت) بدست می‌آید. به طور نمونه ریسک تغییر اقلیم دما در دوره ۲۰۴۰ - ۲۰۶۹ در شکل (۵) به ترتیب برای مدل‌های NCAR، ECHAM4، CCSR-NIES، HADCM3، CSIRO، CGCM2 و GFDL آمده است. به این وسیله تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی در سه دوره آتی در مقایسه با دوره پایه در داخل یک محدوده قرار گرفته که مقادیر داخل این محدوده دارای ارزش یکسان نبوده بلکه بر اساس توانایی مدل‌های AOGCM در شبیه سازی دوره پایه، وزن گذاری شده اند. از آنجائیکه هر گونه

بررسی اثرات تغییر اقلیم در دوره‌های آبی نیازمند دانستن چگونگی تغییرات متغیرهای اقلیمی (علی‌الخصوص دما و بارندگی) است، دانستن این محدوده احتمالاتی بسیار سودمند است.



شکل (۵): ریسک تغییر دما حاصل از مدل‌های AOGCM در دوره ۲۰۴۰ - ۲۰۶۹

۷- فهرست مراجع

۱. مساح بوانی، ع.، (۱۳۸۵). «ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب، مطالعه موردی حوضه زاینده رود اصفهان»، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

- Alexandrov, V. and Genev, M., (2004). "The effect of climate variability on water resources in Bulgaria". Proceeding of British Hydrological Society, 1: 1-9.
- Andeh, W., Giesen, N., Huber- Lee, A. and Biney, C. A. ,(2004). " Can We Maintain Food Production Without Losing Hydropower? The Volta Basin (West Africa)", In: Aerts, J. and P. Droogers, Climate Change in Contrasting River Basins, CABI Publishing

4. **Bro uyerre, S. and Dassargues, V.,** (2004). *"Spatially Distributed, Physically-Based Modelling for Simulating the Impact of Climate Change on groundwater Reserves"*. Proceeding of British Hydrological Society, 1: 9-15.
5. **Fowler, H.J. and Kilsby, C.G.,** (2004). *"Future increase in UK water resources drought projected by a regional climate model"*. Proceeding of British Hydrological Society, 1: 15-22.
6. **Hoanh, C. T., Guttman, H., Droogers, P. and Aerts, J.,** (2004). *"Will We Produce Sufficient Food under Climate Change? Mekong Basin (South- east Asia)"*, In: Aerts, J. and P. Droogers, *Climate Change in Contrasting River Basins*, CABI Publishing.
7. **Huber- Lee, A., Yates, D. Purkey, D., Yu, W., Young, C. and Runkle, B.,** (2004). *"How can We Sustain Agriculture and Ecosystems? The Sacramento Basin (California, USA)"*, In: Aerts, J. and P. Droogers, *Climate Change in Contrasting River Basins*, CABI Publishing.
8. **IPCC,** (2007a). *"Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability"*, Contribution of Working Group II , Cambridge University Press. New York, USA.
9. **IPCC,** (2007b). *"The scientific Basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change"*, Cambridge University Press. New York, USA.
10. **IPCC-DDC** (1988) <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>
11. **Jayatillake, H. M. and Droogers, P.,**(2004). *" Will There be Sufficient Water under Internal and External Changes? Walawe Basin (Sri Lanka)"*, In: Aerts, J. and P. Droogers, *Climate Change in Contrasting River Basins*, CABI Publishing.
12. **Jones, R. N.,** (2000a). *"Managing uncertainty in climate change projections – issues for impact assessment"*, *Climatic Change*, 45: 403–419.
13. **Jones, R. N.,** (2000b). *"Analyzing the risk of climate change using an irrigation demand model"*, *Journal of Climate Research*, Vol. 14: 89- 100.
14. **Jones, R. N. and Page, C. M.,** (2001). *"Assessing the risk of climate change on the water resources of the Macquarie River Catchment"*, *Modsim 2001 International Congress on Modeling and Simulation, Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand*, Canberra
15. **Joyce, B., Vicuña, S., Dale, L., Dracup, J., Hanemann, M., Purkey, D., and Yates, D.,** (2006). *"Climate change impacts on water for agriculture in California: a case study in the Sacramento valley"*, A Report From: California Climate Change Center.
16. **Klein, H., Douben, K. J., Deursen, W. and Steveninck, E.,**(2004). *" Increasing Climate Variability in the Rhine Basin: Business as Usual?"*, In: Aerts, J. and P. Droogers, *Climate Change in Contrasting River Basins*, CABI Publishing.
17. **Payne, J. T., Wood, A. W., Hamlet, A. F., Palmer, R. N. and Lettenmaier, P.,** (2004). *"Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River"*

18. **Quinn, N. W. T., Brekke, L. D., Miller, N. L., Heinzer, T., Hidalgo, H. and Dracup, J. A.,** (2004). *"Model integration for assessing future hydroclimate impacts on water resources, agricultural production and environmental quality in the San Joaquin Basin, California"*. Journal of Environmental Modeling and Software, 19: 305- 316.
19. **Rosenweig, C., Strzepek, K. M., Major, D. C., Iglesias, A., Yate, D. N., McCluskey, A. and Hillel, D.,** (2004). *"Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies"*. Journal of Global Environmental Change, 14: 345- 360.
20. **Savoskul, O. S., Chevnina, E. V., Perziger, F., Barburin, V. L. and Danshin, A. I. ,** (2004). *" How Much Water will be Available for Irrigation in the Future? The Syr Darya Basin (Central Asia)"*, In: Aerts, J. and P. Droogers, Climate Change in Contrasting River Basins, CABI Publishing
21. **Varanou, E., Gkouvatsou, E., Baltas, E. And Mimikou, M.,** (2002). *"Quantity and quality integrated catchment modeling under climate change with use of soil and water assessment tool model"*, Journal of Hydrologic Engineering 7(3), 228-244.
22. **Wilby, R.L. and Harris, I.,** (2005). *"A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames"*, UK.Water Resources Research.