

تأثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی

پریسا سادات آشفته^{۱*} و علیرضا مساح بوانی^۲

تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۷ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۲۹

۱- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، مهندسین مشاور یکم، تهران

۲- استادیار گروه خاکشناسی، پردیس کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران

* مسئول مکاتبه E-mail: Parisa_ashofteh@yahoo.com

چکیده

این تحقیق تأثیر ناشی از پدیده تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه آیدوغموش را تحت سناریوی اقلیمی A2 و برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی (۲۰۵۰s) با در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به مدل‌های AOGCM مورد بررسی قرار می‌دهد. ابتدا مقادیر دما و بارش ماهانه هفت مدل AOGCM (مدل‌های گزارش TAR) در دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ و دوره آتی، برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. سپس این مقادیر به صورت مکانی و زمانی برای حوضه آیدوغموش کوچک مقیاس شدند. نتایج در مجموع نشان می‌دهد که دمای حوضه در دوره ۲۰۵۰s بین ۱ تا ۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. این افزایش برای فصول زمستان و بهار بین ۱ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد و برای فصول تابستان و پاییز بین ۲ تا ۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این در حالی است که حوضه در دوره ۲۰۵۰s شاهد افزایش بارش عمدتاً برای فصول پاییز و زمستان و کاهش آن برای دیگر فصول بوده و همچنین محدوده تغییرات بارش ۸۰- تا ۱۰۰٪ خواهد بود. توزیع‌های احتمالاتی ماهانه دما و بارش منطقه برای دوره ۲۰۵۰s با استفاده از تکنیک وزن‌دهی Mean Observed Temperature Precipitation تولید گردیدند. نتایج در مجموع نشان می‌دهد که مدل HadCM3 نسبت به سایر مدل‌ها بیشترین وزن را برای هر دو متغیر دما و بارش به خود اختصاص داده است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، حوضه آیدوغموش، عدم قطعیت، وزن‌دهی

Impact of Climate Change Uncertainty on Temperature and Precipitation of Aidoghmoush Basin in 2040-2069 Period

PS Ashofteh^{1*} and AR Massah²

¹MSc in Irrigation and Drainage, Yekom Consulting Engineering Company, Tehran, Iran

²Assistant Professor, Soil Science Department, Aboureihan University College of Agriculture, University of Tehran, Iran

*Corresponding author: E-mail: Parisa_ashofteh@yahoo.com

Abstract

This research work is aimed to investigate temperature and precipitation changes in Aidoghmoush basin considering uncertainty of AOGCM models that may occur due to climate change in time period 2040-2069 (2050s). At first, monthly temperature and precipitation data of TAR-AOGCM models were provided for baseline period (1971-2000) and future period (2040-2069) under the SRES emission scenario, namely A2. Then, these data were downscaled spatially and temporally to Aidoghmoush basin. Results show temperature increase of 1 to 6°C in 2050s relative to the baseline period. On the other hand, in 2050s precipitation shows substantial increase in autumn and winter and decrease in other seasons relative to the baseline. Monthly probability distribution function, of temperature and precipitation in the period 2050s were established by weighting method. Results indicated that the HadCM3 model has the most weighing for simulation of temperature and precipitation than the other models.

Keywords: Aidoghmoush Basin, Climate Change, Uncertainty, Weighting

مقدمه

متغیر می‌باشد. در زیر نمونه‌هایی از مطالعات انجام شده در این خصوص، آورده شده است. در تحقیقی تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی و همچنین سیلاب ۵ حوضه در کشور انگلستان با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مربوط و با استفاده از خروجی هفت مدل AOGCM توسط پرادهوم و همکاران (۲۰۰۱) انجام گرفت. در این تحقیق از سناریوهای انتشار SRES^۱ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشتر سناریوها در این حوضه‌ها شاهد افزایش دما و بارش در دوره‌های آتی خواهد بود.

صنعتی شدن جوامع بشری موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای به خصوص گاز CO₂ شده است. این در حالی است که اگر انتشار این گازها کاهش نیابد متوسط دمای زمین می‌تواند به میزان ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتیگراد تا سال ۲۱۰۰ برسد و باعث پدیده تغییر اقلیم شود (IPCC, ۲۰۰۷). از آنجا که این پدیده برای دوره‌های آتی می‌تواند آثار زیانباری برای جوامع بشری داشته باشد در سال‌های اخیر تحقیقاتی در این مورد صورت گرفته است. با توجه به تاثیر بارزتر متغیرهای دما و بارش (نسبت به دیگر متغیرهای اقلیمی) بر سیستم‌های منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و غیره، مطالعات اولیه در زمینه تاثیر پدیده تغییر اقلیم، عمدتاً بر روی این دو

¹Special reports on emission scenario

در تحقیقی که توسط مساح بوانی و مرید (۱۳۸۵) انجام گرفت، وضعیت آینده اقلیم حوضه زاینده رود تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق عملکرد دو روش زمین آماری کریجینگ و وزن دهی عکس فاصله (Inverse Distance Weighting, IDW)، در کوچک مقیاس کردن متوسط ماهانه دما و بارش دوره پایه ۳۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۷۱) تعدادی از مدل‌های AOGCM شامل: CGCM2, ECHAM4, GFDL R30, CSIRO MK2 و OPOYC3, CCSR NIES, NCAR DOE PCM و HadCM3 مورد ارزیابی قرار گرفت. این داده‌ها تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای SRES با تعداد سلول‌های محاسباتی مختلف در اطراف موقعیت مورد نظر که حوضه آبریز زاینده رود بوده است، مورد مقایسه قرار گرفت و نهایتاً روش IDW با هشت سلول محاسباتی انتخاب گردید. سپس بر این اساس، سناریوهای فصلی تغییر اقلیم دما و بارش در سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ از خروجی مدل‌های AOGCM تحت سناریوهای موجود SRES برای منطقه مطالعاتی کوچک مقیاس شدند. نتایج نشان داد که استفاده تنها از خروجی یک مدل AOGCM تحت یک سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای نمی‌تواند نتایجی منطقی برای برنامه‌ریزی‌های مربوط به کاهش اثرات مخرب پدیده تغییر اقلیم داشته باشد.

Andersen و همکاران (۲۰۰۶) در بخشی از تحقیق خود تاثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی در حوضه رودخانه دانمارک را با استفاده از مدل گردش عمومی ECHAM4 OPYC و سناریوی انتشار A2 مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق روش کوچک مقیاس کردن دینامیکی با مدل اقلیمی منطقه‌ای Danish HIRHAM برای دو دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ به کار گرفته شد. در این بررسی شش حوضه با مساحتی حدوده ۴ تا ۴۰ کیلومتر مربع مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. بررسی‌ها افزایش بارش میانگین

اکستروم و همکاران (۲۰۰۳) شبیه‌سازی‌هایی را برای بارش حداکثر در کشور انگلستان با مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای RCM (Regional Climate Model) انجام دادند. در این تحقیق، برای تعیین تغییرات در بارش حداکثر، خروجی مدل گردش عمومی HadRM3 RCM تحت سناریوی A2 از مجموع سناریوی SRES برای سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین این تغییرات، دو روش آنالیز تناوب منطقه‌ای و آنالیز جعبه شبکه‌بندی شده (Grid box) به کار برده شد. نتایج نشان می‌دهد که شدت رخداد‌های کوتاه مدت (۱ تا ۲ روز) و بلند مدت (۵ تا ۱۰ روز) در یک دوره بازگشت معین، به ترتیب ۱۰ و ۳۰٪ افزایش پیدا می‌کند. همچنین برای دوره بازگشت‌های بزرگتر از ۲۵ تا ۵۰ سال، شدت سیلاب افزایش بیشتری خواهد داشت. در بقیه قسمت‌های کشور انگلستان، افزایش کمی در شدت رخداد‌های با تناوب بیشتر از ۱۰٪ و کاهش‌هایی در دوره بازگشت‌های بالاتر (کمتر از ۲۰٪) وجود دارد.

در تحقیقی که توسط ژائو و همکاران (۲۰۰۵) در آفریقای جنوبی انجام شد، واکنش متغیرهای اقلیمی این منطقه نسبت به افزایش گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از خروجی‌های مدل گردش عمومی GELATO GCM, OPA و ARPEGE تحت سناریوی B2 از مجموع سناریوی SRES و روش کوچک مقیاس کردن آماری (Statistical Downscaling) استفاده شد. به منظور بررسی توانایی GCM در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در زمان حاضر و شبیه‌سازی تغییرات بارش تا پایان قرن ۲۱م، از روش آنالیز همبستگی استاندارد (Canonical Correlation Analysis, CCA) استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش CCA قادر به ایجاد برقراری رابطه مناسب بین بارش و میانگین فشار در سطح دریا، می‌باشد. شبیه‌سازی‌های به عمل آمده در بیشتر بخش‌های جنوبی آفریقا نشان می‌دهد که تا پایان قرن ۲۱م، بارش به میزان ۸/۲٪ کاهش خواهد یافت.

منطقه مطالعاتی و دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی به عنوان بازه زمانی انتخاب شده است.

مواد و روش‌ها

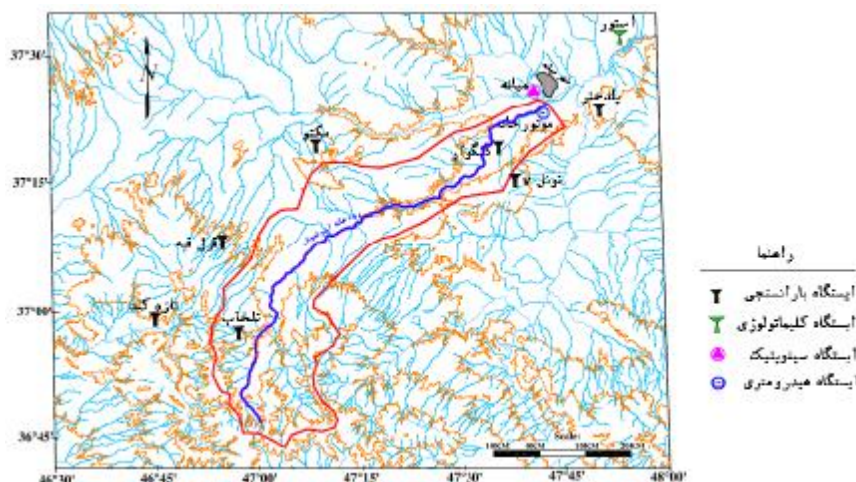
در این قسمت در ابتدا خصوصیات منطقه مطالعاتی تحقیق معرفی می‌شود. سپس روش‌های مورد نیاز برای این تحقیق که عبارتند از تولید سناریوهای تغییر اقلیم و سناریوهای اقلیم، کوچک مقیاس کردن خروجی مدل‌های AOGCM، آنالیز عدم قطعیت و وزن‌دهی به مدل‌ها ارائه خواهد شد.

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی این تحقیق، حوضه آیدوغموش است که در استان آذربایجان شرقی و در موقعیت جغرافیایی ۵۲°-۴۶° تا ۴۵°-۴۷° طول شرقی و ۳۶°-۳۴° تا ۲۶°-۳۷° عرض شمالی قرار گرفته است. وسعت این حوضه ۱۸۰۲ کیلومتر مربع و آبدهی سالانه آن ۱۷۰ میلیون متر مکعب است. هم‌چنین متوسط بارش در کل حوضه ۳۳۶/۲ میلی‌متر می‌باشد. رودخانه آیدوغموش با طول حدود ۸۰ کیلومتر از ارتفاعات گرگرد (قور-قور) از توابع هشت‌رود سرچشمه گرفته و به رودخانه قزل‌اوزن می‌ریزد. ارتفاع این حوضه از ۱۱۰۰ متر تا ۲۵۰۰ متر متغیر است (شکل ۱).

سالانه ۴۷ میلی‌متر یا ۵٪ و افزایش در دمای میانگین سالانه $3/2^{\circ}\text{C}$ یا ۴۳٪ را نشان داد.

در بخشی از تحقیق تاثیر تغییر اقلیم در دوره ۲۱۰۰ - ۲۰۷۱ بر دما و بارش حوضه Hindukush-Karakorum واقع در هیمالیا تحت سناریوی انتشار A2 مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از مدل اقلیمی منطقه‌ای PRECIS RCM که دارای مقیاس مکانی ۲۵*۲۵ کیلومتر است استفاده شد. نتایج این تحقیق در مجموع نشان داد که دما و بارش تا پایان قرن ۲۱ میلادی افزایش پیدا خواهند کرد (اختر و همکاران ۲۰۰۸). گرچه تحقیق‌های انجام شده قبلی روش‌های قابل قبولی را به منظور بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی رودخانه ارائه می‌کنند ولی در اکثر مطالعات، مباحث مربوط به عدم قطعیت که می‌تواند تاثیر بارزی بر نتایج نهائی بگذارد نادیده گرفته شده است. از طرف دیگر در تحقیق‌های دیگر (مانند پرادهوم و همکاران ۲۰۰۱) علی‌رغم این‌که سعی شده عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در محاسبات لحاظ شود اما تمامی مدل‌های AOGCM به کار رفته با وزن یکسان اعمال شده‌اند. در این تحقیق سعی شده است تا این دو نقیصه با ارائه روشی جدید برطرف گردد. بدین منظور حوضه آیدوغموش واقع در استان آذربایجان شرقی به عنوان



شکل ۱- حوضه رودخانه آیدوغموش و جانمایی ایستگاه‌های هواشناسی

این دو ایستگاه (ایستگاه مینا و ایستگاه مورد نظر فاقد آمار)، میانگین بارش در سال‌های مشترک آماری (سال‌هایی که هر دو ایستگاه دارای آمار هستند) برای دو ایستگاه را تعیین کرده و مطابق با رابطه ۱ مقدار بارش برای هر یک از روزهای فاقد آمار، برای ایستگاه مورد نظر تعیین می‌گردد:

$$p_{ai} = p_{bi} \times \frac{P_A}{P_B} \quad [1]$$

در رابطه فوق p_{ai} بارش مفقود شده برای ایستگاه مورد نظر در روز i ام، p_{bi} بارش ایستگاه مینا در همان روز i ام، P_A میانگین بارش در سال‌های مشترک آماری برای ایستگاه مورد نظر و P_B میانگین بارش در سال‌های مشترک آماری برای ایستگاه مینا می‌باشد (علیزاده، ۱۳۷۷).

برای تکمیل داده‌های دما از روش تفاضل‌ها استفاده می‌شود که اساساً مشابه روش نسبت‌ها می‌باشد و مطابق رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$t_{ai} = t_{bi} + (\bar{T}_A - \bar{T}_B) \quad [2]$$

در این رابطه t_{ai} دمای مفقود شده برای ایستگاه مورد نظر در روز i ام، t_{bi} دمای ایستگاه مینا در همان روز i ام، \bar{T}_A میانگین دما در سال‌های مشترک آماری برای ایستگاه مورد نظر و \bar{T}_B میانگین دما در سال‌های مشترک آماری برای ایستگاه مینا می‌باشد (علیزاده، ۱۳۷۷).

جهت بررسی و تعیین دمای متوسط حوضه، به دلیل عدم وجود اطلاعات ایستگاهی کافی در داخل محدوده، برای محاسبه میانگین دمای حوضه از خطوط هم‌دما استفاده شد. این خطوط هم‌دما با استفاده از آمار ۲۵ ساله ایستگاه‌های اطراف منطقه و همچنین مدل رقومی - ارتفاعی (Dem)، برای هر ماه به طور جداگانه ترسیم شده است. در ادامه براساس این خطوط هم‌دما، رابطه همبستگی بین دما و ارتفاع که به صورت رابطه ۳ معرفی شده مورد استفاده قرار گرفت:

$$T = a - (b \times H) \quad [3]$$

داده‌های دما و بارش حوضه برای دوره پایه

به طور کلی منشأ اصلی بارش‌های جبهه‌ای در منطقه مورد مطالعه، عبور توده هوای مدیترانه‌ای، توده هوای قطبی اروپایی و نیز توده هوای قطبی سیبری می‌باشد. البته با توجه به بارش‌های بهاره می‌توان گفت که نوع بارش منطقه، شبه مدیترانه‌ای است. همچنین بارش‌های اروگرافیک، به علت وجود ارتفاعات در قسمت‌های شمالی منطقه مطالعاتی قابل ملاحظه است. میانگین بارش سالانه در سطح حوضه ۳۳۶/۲ میلی‌متر بوده که پر باران‌ترین ماه‌ها مربوط به ماه‌های فروردین و اردیبهشت می‌باشد.

میانگین درجه حرارت سالانه در این حوضه ۱۱/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر مطلق دما ۳۱/۹ درجه سانتی‌گراد در تیر ماه و حداقل آن به میزان ۱۶/۸- درجه سانتی‌گراد در بهمن ماه مشاهده شده است. موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در جدول ۱ آورده شده است.

طبق توصیه‌های هیات بین دول تغییر اقلیم^۱ IPCC، در مطالعات تغییر اقلیم لازم است تا دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ میلادی به عنوان دوره پایه مطالعات انتخاب گردد و در صورتی که آمار ایستگاه‌ها این دوره را تحت پوشش نداشتند دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ مد نظر قرار می‌گیرد (IPCC-TGCI, 1999). ولی در این تحقیق به دلیل آن‌که اکثر ایستگاه‌های موجود در حوضه تنها داده‌های مربوط به دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ را پوشش می‌دهند لذا این دوره به عنوان دوره پایه محاسبات انتخاب گردید. در ابتدا لازم بود داده‌های دما و بارش تطویل و تکمیل شوند. روشی که ما در تکمیل داده‌ها استفاده کردیم روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها می‌باشد. روش نسبت‌ها بیشتر برای داده‌های بارش به کار برده می‌شود و روش آن به این صورت است که یک ایستگاه را که آمار آن کامل و مورد اطمینان باشد در همان منطقه به عنوان ایستگاه مینا انتخاب می‌کنیم. با مقایسه آمار موجود بین

¹Intergovernmental Panel of Climate Change

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
تلخاب	باران‌سنجی	۲۵۰۰	۴۶°-۵۷'	۳۶°-۵۷'
میانه تونل ۷	باران‌سنجی	۱۱۰۰	۴۷°-۳۷'	۳۷°-۱۴'
استور	کلیما تولوژی	۱۲۰۰	۴۷°-۵۴'	۴۷°-۳۰'
پل دختر	باران‌سنجی	۱۲۰۰	۴۷°-۴۹'	۳۷°-۲۱'
موتور خانه	باران‌سنجی	۱۰۶۰	۴۳°-۴۷'	۲۳°-۳۷'
تازه کند	باران‌سنجی	۱۸۵۰	۴۶°-۴۵'	۳۶°-۵۹'
کنگوار	باران‌سنجی	۱۳۲۰	۴۷°-۳۶'	۳۷°-۱۸'
قزل قیه	باران‌سنجی	۱۴۹۹	۴۷°-۳۲'	۳۷°-۱۶'
مکتو	باران‌سنجی	۱۶۹۰	۴۷°-۱۳'	۳۷°-۱۸'
میانه	سینوپتیک	۱۱۰۰	۴۷°-۴۲'	۳۷°-۲۷'

ایستگاه و رقوم متوسط حوضه آیدوغموش و با استفاده از گرادیان دما و ارتفاع، داده‌های دمای مربوط به متوسط (معرف) حوضه محاسبه گردید. برای متغیر بارش نیز پس از تطویل و تکمیل داده‌های روزانه برای تمامی ایستگاه‌های موجود، بارش روزانه متوسط (معرف) حوضه از طریق لحاظ نمودن رقوم هر ایستگاه نسبت به رقوم متوسط حوضه به دست آمد.

در این رابطه T دما برحسب درجه سانتی‌گراد، H ارتفاع بر حسب متر و a و b ضرایب رابطه در ماه‌های مختلف می‌باشد که مقادیر آنها در جدول ۲ آورده شده است (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۸۵). در گام بعد می‌بایست دما و بارش معرف حوضه تعیین گردد. برای متغیر دما، داده‌های دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک میانه به‌عنوان مبنا انتخاب گردید. سپس با توجه به اختلاف رقوم این

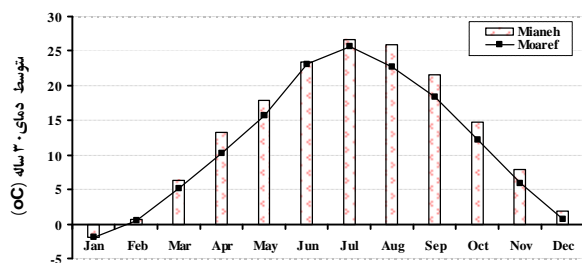
جدول ۲- ضرایب رابطه همبستگی بین دما و ارتفاع حوضه برای ماه‌های مختلف

پارامتر	ضرائب	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
متوسط	a	۲۲/۳۰	۱۳/۷۲	۷/۴۷	۱/۷۷	۲/۷۹	۹/۴۷	۱۶/۸۲۹	۲۲/۰۲	۲۷/۹۳	۳۲/۵۰	۳۰/۲۷	
دما	b	۰/۰۱	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶

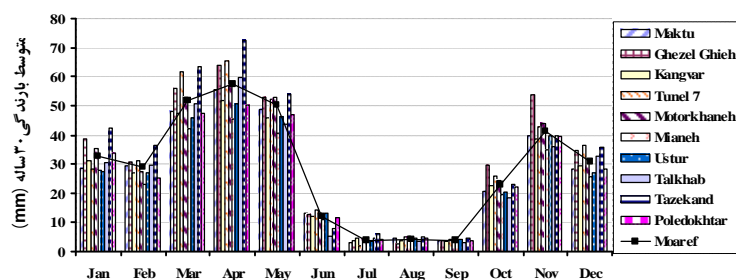
را تجربه می‌کنند. با توجه به این شکل نتیجه می‌گردد که میزان بارش در ایستگاه‌های تازه‌کند، قزل قیه و تونل ۷ تاثیر بیشتری را در رواناب حوضه آیدوغموش در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و اسفند دارد. از طرف دیگر همانند وضعیت اقلیمی مناطق دیگر در کشور ایران، ملاحظه می‌شود که اکثر بارش‌ها در فصول زمستان و بهار بوده و میزان بارش در فصل تابستان نزدیک به صفر می‌باشد. بدیهی است با توجه به دمای نزدیک به صفر ماه ژانویه و فوریه، بارش‌های جوی در این ماه‌ها عمدتاً به‌صورت برف صورت می‌گیرد.

بررسی میانگین نرمال ماهانه دما در حوضه مورد نظر نشان می‌دهد که در ماه ژانویه دمای هوا زیر صفر درجه سانتی‌گراد بوده و به حداکثر $-۱/۷۹$ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. در فصول دیگر نرمال دمای ماهانه بالای صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد و در فصل تابستان از ۲۵ درجه سانتی‌گراد نیز فراتر می‌رود (شکل ۲).

شکل ۳ وضعیت نرمال ماهانه بارش را در طول دوره آماری برای متوسط حوضه و ایستگاه‌های موجود در منطقه طرح نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، برای تمام ایستگاه‌های موجود در منطقه اکثر ماه‌های فصول زمستان و بهار بارش بیش از ۳۰ میلی‌متر در ماه



شکل ۲- نرمال ماهانه دمای متوسط حوضه و ایستگاه میانه



شکل ۳- میانگین ماهانه بارش در متوسط حوضه و ایستگاه‌های موجود

ارائه شده که آن‌ها را سناریوهای انتشار^۲ می‌نامند. در این تحقیق از خروجی هفت مدل AOGCM شامل CCSR-NIES، CGCM2، CSIRO-MK2، ECHAM4-OPYC3، GFDL-R30، HadCM3 و PCM تحت سناریوهای A2 از NCAR DOE تحت سناریوهای انتشار استفاده شده است (IPCC-TGCI, 1999 و IPCC-DDC, 1988). از ورودی‌های مورد نیاز این مدل‌ها، مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی می‌باشد. IPCC تاکنون سناریوهای متفاوتی را ارائه نموده که SRES از جدیدترین آنها می‌باشد. هر کدام از زیر سناریوهای SRES مربوط به یکی از گروه‌های A1، A2، B1 و B2 می‌باشد. در خانواده A2 تاکید بر رسوم خانوادگی، رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت اقتصادی و در خانواده B2 تاکید بر راه حل‌های

تولید سناریوهای اقلیمی برای دوره آتی

معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو^۱ AOGCM می‌باشد (لین و همکاران ۱۹۹۹، میشل ۲۰۰۳ و ویلی و هریس ۲۰۰۶). این مدل‌ها بر پایه قوانین فیزیکی که به وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شود استوار می‌باشند. این روابط در یک شبکه سه بعدی با مقیاس مکانی افقی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر و ۱۰ تا ۲۰ لایه در اتمسفر و ۳۰ لایه در اقیانوس در سطح کره زمین حل می‌گردند. از آنجا که مهم‌ترین ورودی این مدل‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره آتی بوده و از طرفی تعیین میزان انتشار این گازها در دوره‌های آتی به طور قطعی امکان پذیر نمی‌باشد، از این‌رو سناریوهای مختلفی که در برگزیده چگونگی تغییرات این گازها در آینده می‌باشد،

²Emission Scenario

¹Atmosphere- Ocean General Circulation Model

کوچک مقیاس کردن^۳ مکانی و زمانی

یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی^۴ آن‌ها، به لحاظ مکانی و زمانی نسبت به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCM وجود دارد که به این روش‌ها کوچک مقیاس کردن گفته می‌شود. در این تحقیق به منظور کوچک مقیاس کردن داده‌های طرح به لحاظ مکانی از روش تناسبی استفاده می‌شود. در این روش، متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM از اطلاعات مربوط به سلولی استخراج می‌شود که منطقه مورد مطالعه در آن قرار می‌گیرد (ویلیبی و هریس ۲۰۰۶). به منظور کوچک مقیاس کردن داده‌های طرح به لحاظ زمانی از روش عامل تغییر^۵ استفاده می‌شود. در سناریوی اقلیمی در آینده، سناریوهای تغییر اقلیم به مقادیر مشاهداتی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) افزوده می‌شود:

$$T = T_{obs} + \Delta T \quad [۶]$$

$$P = P_{obs} \times \Delta P \quad [۷]$$

در رابطه [۶]، T_{obs} بیانگر سری زمانی دمای مشاهداتی (در اینجا روزانه) در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰)، T سری زمانی دما حاصل از پدیده تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و ΔT سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده می‌باشد. در رابطه ۷ برای بارش نیز موارد ذکر شده برقرار می‌باشد.

آنالیز عدم قطعیت مربوط به مدل‌های مختلف AOGCM به دلیل وجود عدم قطعیت در سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش حاصل از مدل‌های مختلف AOGCM، به کاربردن تنها یک سناریوی تغییر اقلیم نمی‌تواند

منطقه‌ای برای تقویت مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست، با سرعت تغییرات تکنولوژی کمتر، اما با تنوع بیشتر می‌باشد (IPCC, 2007). به دلیل انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای در خانواده A2، در این تحقیق از این سناریوها استفاده می‌شود.

تولید سناریوی تغییر اقلیم^۱

به دلیل بزرگ بودن سلول‌های محاسباتی در مدل‌های AOGCM، شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی با اغتشاش^۲ همراه است. به منظور حذف این اغتشاشات، معمولاً به جای استفاده مستقیم از داده‌های AOGCM در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره‌ای ۳۰ ساله این داده‌ها استفاده می‌شود. لذا برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل مقادیر "اختلاف" برای دما (رابطه ۴) و "نسبت" برای بارش (رابطه ۵) برای متوسط درازمدت هر ماه در دوره آتی در این‌جا (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل (۲۰۰۰-۱۹۷۱) برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌گردد (جونز و هولم ۱۹۹۶).

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{GCM, fut, i} - \bar{T}_{GCM, base, i}) \quad [۴]$$

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}_{GCM, fut, i}}{\bar{P}_{GCM, base, i}} \right) \quad [۵]$$

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارش برای میانگین درازمدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $\bar{T}_{GCM, fut, i}$ میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی هر ماه (در اینجا ۲۰۴۰-۲۰۶۹) و $\bar{T}_{GCM, base, i}$ میانگین ۳۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی (۱۹۷۱-۲۰۰۰) برای هر ماه می‌باشد. برای بارش نیز موارد ذکر شده برقرار می‌باشد.

³Downscaling

⁴Resolution

⁵Change Factor

¹ Climate Change Scenario

² Noise

Data Program (GCM-RDP), GCM-Retrieve استفاده شده که می‌تواند پس از وارد کردن مختصات مکانی موقعیت مورد نظر و طول دوره آماری مورد نیاز، سری زمانی متغیر اقلیمی مربوط به سلولی که منطقه مورد مطالعه در آن واقع شده را استخراج نماید. پس از آن، میانگین ۳۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۷۱) ماهانه دما و بارش سلول مذکور از مدل فوق محاسبه شد. نهایتاً این مقادیر با میانگین ۳۰ ساله ماهانه دما و بارش مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. شکل‌های ۴ و ۵، مقایسه بین مدل و داده‌های مشاهداتی را برای دما و بارش نشان می‌دهد.

همان‌طور که شکل ۴ و ۵ نشان می‌دهد اکثر مدل‌ها، میانگین دما و بارش ماهانه کمتری را نسبت به داده‌های مشاهداتی شبیه‌سازی می‌کند. به منظور بررسی عملکرد مدل، معیارهای عملکرد ضریب تعیین R^2 ، جذر میانگین مربعات خطا $RMSE$ و متوسط خطای مطلق MAE استفاده شد. نتایج در جدول ۳ آورده شده است. این نتایج نشان از بالا بودن ضریب همبستگی و پایین بودن نسبی شاخص‌های خطا دارد.

از طرفی مدل‌های HadCM3 و CCSR NIES دارای بهترین عملکرد در شبیه‌سازی دما دارد. همچنین مدل‌های GFDL R30 و HadCM3 دارای بهترین عملکرد و مدل NCAR DOE PCM دارای کمترین عملکرد در شبیه‌سازی بارش می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که این مدل‌ها توانایی نسبتاً خوبی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی حوضه داشته و می‌توان به خروجی‌های آن برای حوضه اعتماد داشت.

محاسبه سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش در دوره آتی برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم، ابتدا سری زمانی دما و بارش ماهانه حاصل از مدل‌های مختلف AOGCM تحت سناریوی A2 به وسیله برنامه GCM-

بیانگر محدوده جواب نهائی باشد. از این‌رو در ابتدا، می‌بایست با استفاده از نتایج هفت مدل AOGCM محدوده سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش تعیین شده سپس توزیع احتمالاتی (pdf) مربوطه مشخص گردد. برای این‌کار هر یک از مدل‌ها، براساس مقدار انحراف میانگین دما و بارش شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی وزن‌دهی می‌شوند. روش وزن‌دهی مذکور، روش میانگین مشاهداتی دما و بارش^۱ نام دارد که توسط مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) ارائه شده و طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$R_i = \frac{\frac{1}{B_{x,i}}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{B_{x,i}}} \quad [8]$$

در این رابطه $B_{x,i}$ انحراف میانگین دما یا بارش شبیه‌سازی شده توسط هر یک از مدل‌های AOGCM در دوره پایه در ماه (\bar{x}) از میانگین داده‌های مشاهداتی، N تعداد مدل‌های AOGCM و R_i وزن داده شده به هر یک از این مدل‌ها می‌باشد.

نتایج

بررسی عملکرد مدل‌های AOGCM در شبیه‌سازی دما و بارش حوضه آیدوغموش در دوره پایه

به منظور بررسی عملکرد مدل‌های AOGCM در شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش حوضه، در ابتدا داده‌های دما و بارش روزانه ایستگاه‌های حوضه آیدوغموش مورد تصحیح و تکمیل قرار گرفته و سپس سری زمانی متوسط حوضه محاسبه گردید.

پس از آن فایل داده‌های ماهانه دما و بارش مدل‌های AOGCM که حاوی سری زمانی متغیرهای اقلیمی سلول‌های محاسباتی محاط بر کره زمین است از سایت پایگاه اطلاع رسانی IPCC در دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ تهیه گردید (IPCC-DDC, 1988). در این تحقیق از برنامه

² Coefficient of Determination

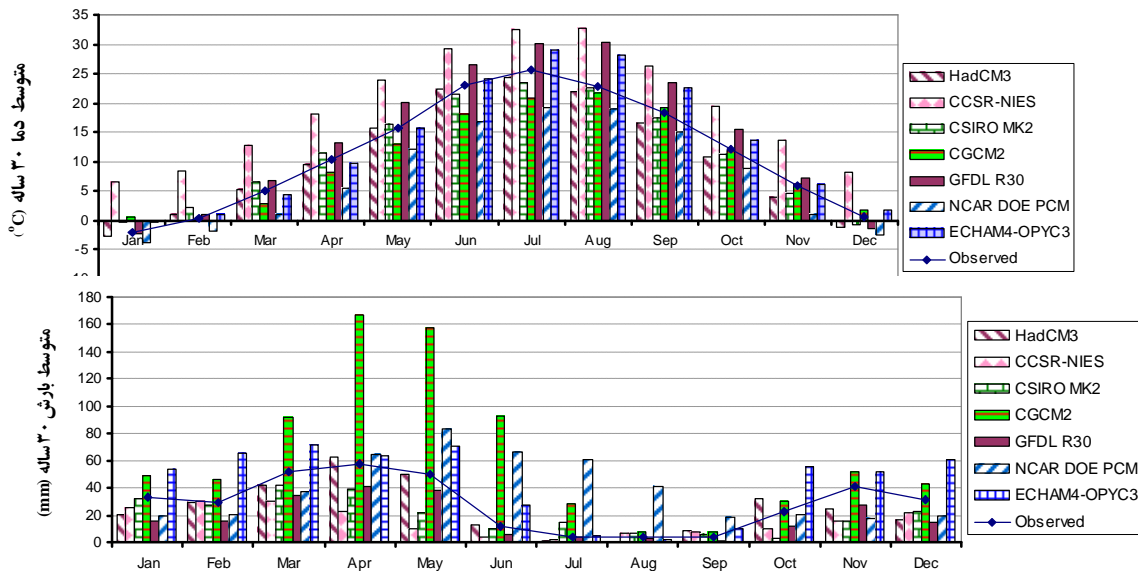
³ Root Mean Square Error, RMSE

⁴ Mean Absolute Error, MAE

¹ Mean Observed Temperature-Precipitation

سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش منطقه طرح محاسبه گردید که نتایج در شکل‌های ۶ و ۷ آورده شده است. لازم به ذکر است به دلیل پایین بودن شاخص‌های عملکرد مدل NCAR DOE PCM سناریوی تغییر اقلیم این مدل برای منطقه مورد مطالعه محاسبه نگردیده است.

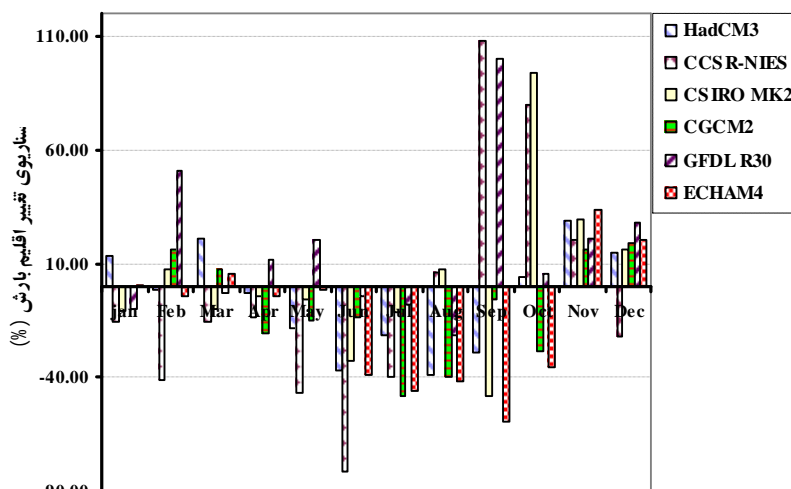
RDP تهیه شده و سپس برای حوضه آیدوغموش کوچک مقیاس گردید. پس از آن متوسط درازمدت دما و بارش هر ماه در دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل (۲۰۰۰-۱۹۷۱) محاسبه گردید. نهایتاً با استفاده از روابط ۴ و ۵



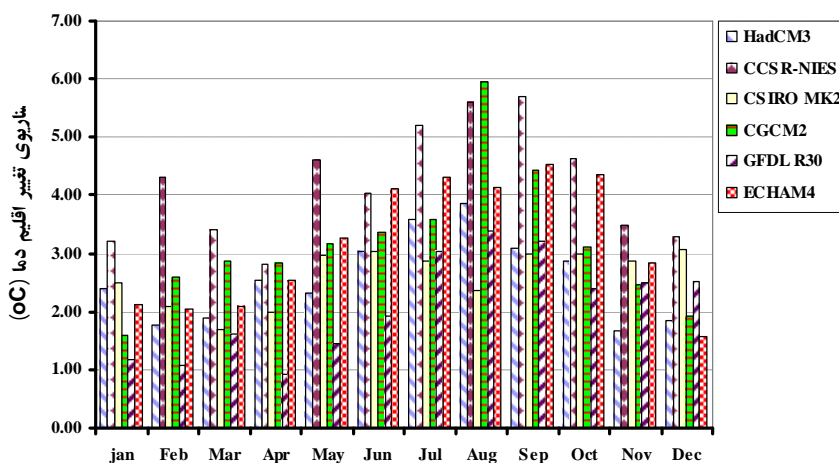
شکل ۵- میانگین ۳۰ ساله ماهانه بارش مشاهده‌ای متوسط حوضه و مدل‌های مختلف AOGCM

جدول ۳- شاخص‌های عملکرد مدل‌های مختلف AOGCM نسبت به داده‌های مشاهده‌ای دما و بارش

بارش		دما		متغیر اقلیمی		مدل
MAE (mm)	RMSE (mm)	R ² (%)	MAE (°C)	RMSE (°C)	R ² (%)	
۶/۸۲	۸/۶۷	۹۱/۰	۱/۰۰	۱/۱۸	۹۹/۶	HadCM3
۱۴/۳۰	۱۹/۱۲	۶۷/۰	۷/۸۴	۷/۸۹	۹۹/۶	CCSR-NIES
۱۰/۹۳	۱۴/۶۰	۷۷/۰	۱/۲۵	۱/۳۴	۹۹/۱	CSIRO MK2
۳۶/۱۲	۵۲/۶۴	۷۷/۰	۱/۹۴	۲/۵۰	۹۷/۹	CGCM2
۱۰/۶۷	۱۲/۳۰	۹۷/۰	۳/۱۴	۳/۷۴	۹۹/۴	GFDL R30
۲۳/۰۰	۲۸/۹۱	۱۶/۰	۳/۹۹	۴/۲۰	۹۹/۴	NCAR DOE PCM
۱۶/۷۹	۲۰/۲۴	۸۹/۰	۱/۷۲	۲/۳۷	۹۸/۹	ECHAM4-OPYC3



شکل ۶- سناریوهای تغییر بارش از مدل‌های مختلف AOGCM



شکل ۷- سناریوهای تغییر اقلیم دما از مدل‌های مختلف AOGCM

تمامی ماه‌ها، دمای آبی بیشتری را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. همچنین مدل GFDL-R30 در اغلب ماه‌ها کمترین افزایش را برای دمای آبی نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد که این تفاوت نشان‌دهنده لحاظ نمودن عدم قطعیت مدل‌های مختلف AOGCM می‌باشد. از طرف دیگر همان‌طور که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود، مدل‌های مختلف در تخمین میزان تغییر بارش دوره آبی نسبت به پایه هماهنگ نبوده و برخی از مدل‌ها بارش

همان‌طور که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود، تمامی مدل‌ها دمای بیشتری را برای دوره آبی نسبت به دوره پایه تخمین می‌زنند. به طوری که انتظار می‌رود دمای حوضه در دوره ۲۰۵۰S بین ۱ تا ۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش یابد. این افزایش برای فصول زمستان و بهار بین ۱ تا ۴/۵ درجه و برای فصول تابستان و پاییز بین ۲ تا ۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از طرف دیگر در مقایسه با سایر مدل‌ها، مدل CCSR-NIES در

واقع در استان آذربایجان شرقی در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ با لحاظ نمودن عدم قطعیت‌های مربوط به مدل‌های مختلف AOGCM تحت سناریوی A2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج در مجموع نشان از افزایش دمای دوره آتی نسبت به دوره پایه دارد. به طوری که انتظار می‌رود، دمای ماه‌های مختلف بین ۱ تا ۶ درجه سانتیگراد افزایش داشته باشد. این در حالی است که فصول پاییز و زمستان شاهد افزایش بارش و فصول تابستان و بهار شاهد کاهش بارش خواهند بود. نتایج این قسمت از تحقیق نشان داد که در تحقیقات موجود در زمینه تغییر اقلیم، نمی‌توان تنها به نتایج حاصل از یک مدل AOGCM بسنده کرد. چرا که مدل‌های مختلف نتایج مختلفی را برای متغیرهای اقلیمی برای یک منطقه در دوره‌های آتی شبیه‌سازی می‌کنند.

پس از مشخص شدن محدوده تغییرات ممکن برای متغیرهای اقلیمی منطقه در دوره آتی، سوال اصلی در احتمال رخ دادن هر یک از جواب‌های محدوده تغییرات می‌باشد. در تحقیقات انجام شده تاکنون، تمامی جواب‌ها با احتمال رخ دادن یکسان در نظر گرفته می‌شده است. به عبارت دیگر یک توزیع یکنواخت برای محدوده جواب در نظر گرفته می‌شد. در این تحقیق سعی شد تا توزیع قابل قبول‌تری برای این محدوده در نظر گرفته شود. این کار با استفاده از روش وزندهی انجام گردید. بدین منظور توزیع‌های احتمالاتی (pdf) ماهانه دما و بارش برای دوره ۲۰۵۰S به وسیله وزندهی مدل‌های AOGCM و با استفاده از روش میانگین مشاهداتی دما و بارش تولید گردید.

سپاسگزاری

مولفان از جناب آقای مهندس ناصر جمالی وردوق به جهت همکاری و مساعدت و آقایان مهندس سید فخرالدین فخرایی و مهندس حسن شنطیا به جهت راهنمایی‌های ارزنده‌شان کمال تشکر و قدردانی را دارند.

دوره آتی را نسبت به دوره پایه بیشتر و برخی نیز کمتر نشان می‌دهند. با این وجود می‌توان نتیجه گرفت که به طور کلی حوضه، در دوره ۲۰۵۰S شاهد افزایش بارش عمدتاً برای فصول پاییز و زمستان و کاهش آن برای دیگر فصول خواهد بود. در این میان مدل CCSR-NIES در مقایسه با سایر مدل‌ها، دارای بیشترین دامنه نوسان میزان بارش آتی نسبت به پایه بوده و مدل CGCM2 دارای کمترین دامنه نوسان می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود گرچه مدل CGCM2 در دوره پایه بارشی بیشتر از مشاهداتی تولید کرده ولی در دوره آتی نسبت به سایر مدل‌ها تغییرات کمتری برای بارش منطقه را نشان می‌دهد.

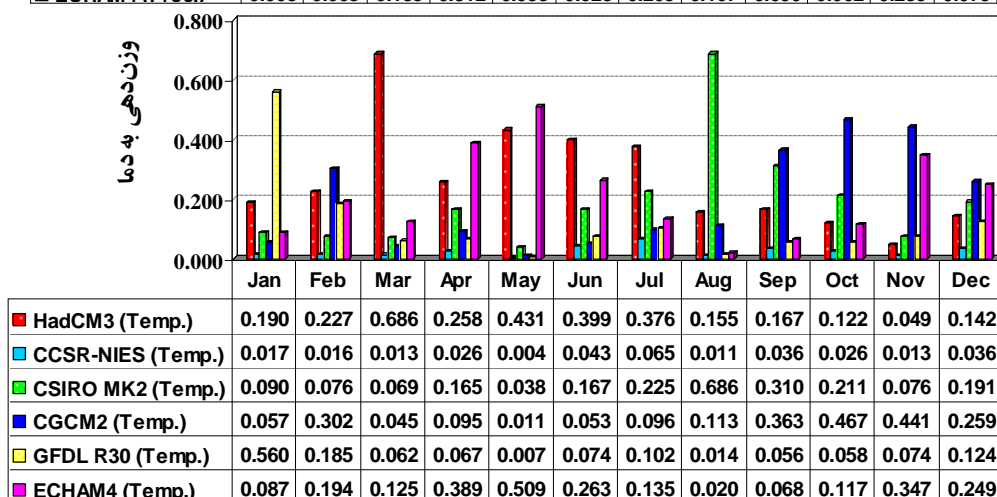
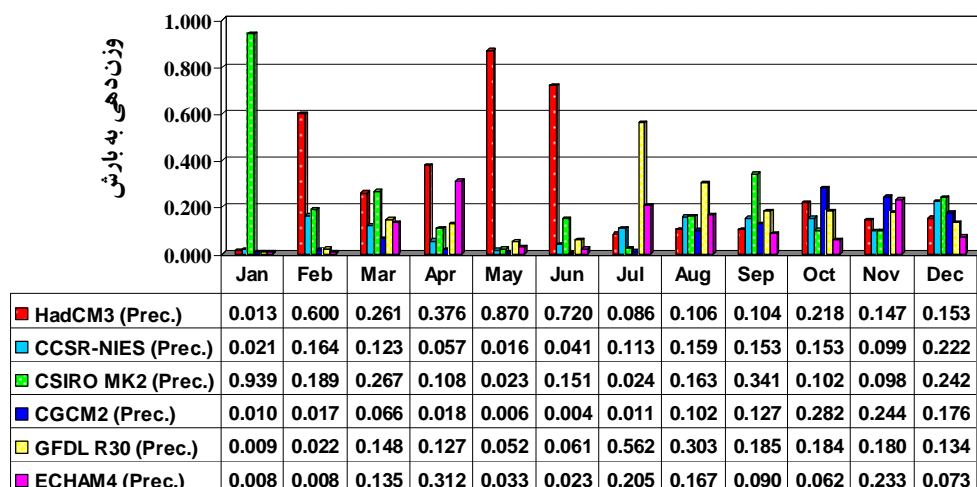
وزندهی مدل‌های AOGCM

بعد از تعیین محدوده‌های سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش ماهانه، هر یک از سناریوها براساس روش میانگین مشاهداتی دما و بارش (رابطه ۸) وزن دهی شده و pdfهای ماهانه این دو متغیر محاسبه شدند که نتایج در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شده است. پس از به دست آوردن مقادیر سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش حوضه آیدوغموش در دوره آتی، با استفاده از روابط ۶ و ۷، سری زمانی روزانه این دو متغیر برای حوضه محاسبه گردید.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مجموع مدل HadCM3 نسبت به سایر مدل‌ها بیشترین وزن را برای هر دو متغیر دما و بارش به خود اختصاص داده است. همچنین مدل CCSR-NIES کمترین وزن را برای دما و مدل CGCM2 کمترین وزن را برای بارش اختیار کرده است. بنابراین مدل HadCM3 می‌تواند بیشترین تاثیر را بر بارش و دما منطقه طرح داشته باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی دما و بارش حوضه رودخانه آیدوغموش



شکل ۹- وزندگی به مدل‌های مختلف AOGCM برای متغیر دما

منابع مورد استفاده

علیزاده، ا، ۱۳۷۷. اصول هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

مساح بوانی ع ر و مرید س، ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره چهارم.

مساح بوانی ع ر و مرید س، محمدزاده م و گودس ک، ۱۳۸۵. وضعیت آینده اقلیم حوضه زاینده رود تحت تاثیر تغییر اقلیم: مقایسه بین سناریوهای مدل مختلف AOGCM. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب.

مهندسین مشاور یکم. ۱۳۸۵. گزارش هواشناسی مطالعات طراحی کشاورزی آیدوغموش.

Akhtar M, Ahmad N and Booij MJ, 2008. The impact of climate change on the water resources of Hindukush- Karakorum- Himalaya region under different glacier coverage scenarios, Journal of Hydrology, 355: 148- 163

- Andersen HE, Kronvang B, Larsen SE, Hoffmann CCh, Jensen TS and Rasmussen EK, 2006. Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish Lowland river basin. *Science of the Total Environment*, 365: 223-237
- Ekstrom M, Fowler HJ, Kilsby GG and Jones PD, 2003. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies. *Journal of Hydrology*, 300: 234-251
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers, in: *Climate Change 2007*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z Chen, M Marquis KB Averyt, M.Tignor and HL Miller (eds.) (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 1-18
- IPCC-DDC, 1988. <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>
- IPCC-TGCI, 1999. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter TR, Hulme M and Lal M, Version 1, 69pp. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment.
- Jones PD and Hulme M, 1996. Calculating regional climatic times series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, 16: 361-377
- Lane ME, Kirshen PH and Vogel RM, 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. *Journal of Water Resource Planning and Management*. ASCE. 125(4): 194-204
- Mitchell TD, 2003. Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. *Climatic Change* 60: 217-242
- Prudhomme Ch, Jakob D and Svensson C, 2001. Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments. *Journal of Hydrology*, 277: 1-23
- Wilby RL and Harris I, 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research* (in press).
- Zhao Y, Camberlin P and Richard Y, 2005. Validation of a coupled GCM and projection of summer rainfall change over South Africa, using a statistical downscaling method. *Climate Research*, 28: 109-122.