



**Climate Change Detection and Green House Gases Attribution to it Using AOGCMs Models and Two-Dimensional Normal Distribution (Case Study; Large Karoon River Basin)**

*N. Zohrabi<sup>1\*</sup>, A.R. Massahbavani<sup>2</sup>, A.Telvari<sup>3</sup> and H. Sedghi<sup>4</sup>*

**Abstract**

In most climate change studies, the first step is to detect climate change and to attribute the causes. In this study we attempt firstly to detect the trends of temperature and precipitation of Large Karoon basin in and secondly discover the main cause(s) of the detected trends (e.g. trends due to internal forcing or greenhouse gasses). Then the range of variability due to internal forcing such as interactions between each elements of climate system (e.g. atmosphere, biosphere, cryosphere and ...). The temperature and precipitation of control runs of two different AOGCMs (HadCM3 and CGCM3) were extracted from IPCC website that contains 1000-year of monthly data. Based on these data, the range of internal variability of temperature and precipitation of the basin were calculated using two-dimensional normal distribution. Results showed that, with 95% confidence the temperature anomaly of the basin is less than 1.5°C and the precipitation anomaly is less than 70%. The range of internal variability was compared with the observed temperature and precipitation anomalies of Karoon basin in past periods. The results showed that for the past 50 years, the trend of temperature is positive and the trend of precipitation is negative. On the other hand the recent years are located outside the range of internal variability which means the impact of climate change on Karoon basin is meaningful for these years.

**Keywords:** Internal climate variability, Climate change, HadCM3 and CGCM3 Models, Climate Variable, Large Karoon basin.

Received: January 9, 2010

Accepted: February 19, 2013

**آشکارسازی تغییر اقلیم و نسبت دهی آن به گازهای گلخانه‌ای با استفاده از مدل‌های گردش عمومی اقیانوس- اتمسفر و توزیع نرمال دو متغیره در حوزه آبریز کارون بزرگ**

نرگس ظهرابی<sup>۱\*</sup>، علیرضا مساح بوانی<sup>۲</sup>، عبدالرسول تلوری<sup>۳</sup> و حسین صدقی<sup>۴</sup>

**چکیده**

در اکثر مطالعات تغییر اقلیم، معمولاً اولین سوال پیش روی محققین، آشکارسازی تغییر اقلیم منطقه مطالعاتی در دوره‌های گذشته و نسبت دهی آن به گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. در این تحقیق در نظر است آشکارسازی و نسبت دهی تغییر اقلیم به جهت تفکیک تغییر اقلیم ناشی از گازهای گلخانه‌ای نسبت به نوسانات درونی در حوضه کارون بزرگ انجام گیرد. بدین منظور در ابتدا لازم بود تا محدوده تغییرات متغیرهای اقلیمی منطقه، ناشی از اندرکنش بین سیستم‌های اقلیم کره زمین (اتمسفر، بیوسفر، و ...) محاسبه شود. برای این کار از آمار درازمدت (۱۰۰۰ ساله) دما و بارش حاصل از اجرای کنترلی (ثابت ماندن گازهای گلخانه‌ای) مدل‌های AOGCM (HadCM3 و CGCM3) برای حوضه کارون بزرگ استفاده شد. سپس بر اساس توزیع نرمال دو متغیره، محدوده نوسانات درونی سالانه اقلیم منطقه مورد مطالعه به صورت نمودارهای دو بعدی دما- بارندگی ترسیم گردید. در ادامه به منظور آشکارسازی تغییر اقلیم در دوره‌های گذشته در حوضه کارون بزرگ و نسبت دهی آن به گازهای گلخانه‌ای، مقادیر آنومالی سالانه دما و بارندگی مشاهداتی ایستگاه‌های مختلف حوضه با محدوده نوسانات درونی اقلیم منطقه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج روند دو بعدی آنومالی دما و بارندگی برای نیم قرن اخیر نسبت به دوره پایه هر یک از قسمت‌های حوزه آبریز کارون بزرگ، نشان از روند افزایشی دما و کاهش بارندگی دارد. از طرف دیگر به احتمال ۹۵ درصد، مقادیر آنومالی نوسانات درونی توأم دما - بارندگی در حوضه کارون بزرگ به ترتیب کمتر از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و کمتر از ۷۰ درصد می‌باشد. که در تمامی قسمت‌های حوضه کارون بزرگ تقریباً سال‌های انتهایی این دوره در خارج از محدوده نوسانات درونی اقلیم قرار گرفته و نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تغییر اقلیم در این سال‌ها می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** نوسانات درونی اقلیم، تغییر اقلیم، مدل‌های HadCM3 و CGCM3، متغیرهای اقلیمی، حوضه کارون بزرگ

تاریخ دریافت مقاله: ۱۹ دی ۱۳۸۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱ اسفند ۱۳۹۱

1- Assistant Professor, Irrigation and Drainage Dept., Science and Research Branch, Islamic Azad University, Khouzestan, Ahvaz, Iran, Email: n.zohrabi@khouzestan.srbiau.ac.ir

2- Assistant Professor, Irrigation and Drainage Engineering Dept., College of Aburaiyhan, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Civil Engineering Dept., Islamic Azad University, Ahvaz branch, Ahvaz, Iran

4- Professor, Water and Sciences Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

\*- Corresponding Author

۱- استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان، اهواز، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران

۴- استاد گروه علوم و مهندسی آب - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

\*- نویسنده مسئول

Zhenmei et al. (2008) در تحلیل تأثیرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه در شمال چین، به بررسی روند تغییرات جریان سالانه در ۵۰ سال گذشته با استفاده از آزمون من کندانال پرداختند و تخمین زدند که تغییر اقلیم باعث کاهش متوسط جریان سالانه به میزان ۶۴ درصد و همچنین کاهش بارندگی شده است. همچنین میزان حساسیت جریان به تغییر در میزان بارندگی بیش از تخیل است می‌باشد.

برای آشکارسازی تغییر اقلیم در دوره‌های گذشته، با استفاده از آزمون روند من-کندانال و یا روش‌های مشابه، گرچه بررسی وجود روند در داده‌ها امکان پذیر است. ولی ضعف عمده آن این می‌باشد که ممکن است روند اثبات شده مربوط به نوسانات درونی اقلیم منطقه بوده و ارتباطی به عوامل گازه‌ای گلخانه‌ای نداشته باشد. در این راستا رویکرد تحقیق مساح بوانی (۱۳۸۵) بر حوزه آبریز زاینده‌رود، محدوده نوسانات درونی اقلیم حوضه را به خوبی مشخص می‌نماید. ولی نادیده گرفتن عدم قطعیت در محاسبات نوسانات درونی اقلیم از یکسو و عدم مقایسه وضعیت داده‌های مشاهداتی با محدوده نوسانات بدست آمده، آشکارسازی تغییر اقلیم و نسبت‌دهی آن به گازه‌ای گلخانه‌ای، را میسر نمی‌سازد. در تحقیق حاضر در نظر است آشکارسازی تغییر اقلیم در دوره‌های گذشته با در نظر گرفتن اختلاف موجود در محاسبه نوسانات طبیعی و چگونگی نسبت دهی آن به گازه‌ای گلخانه‌ای شرح داده شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

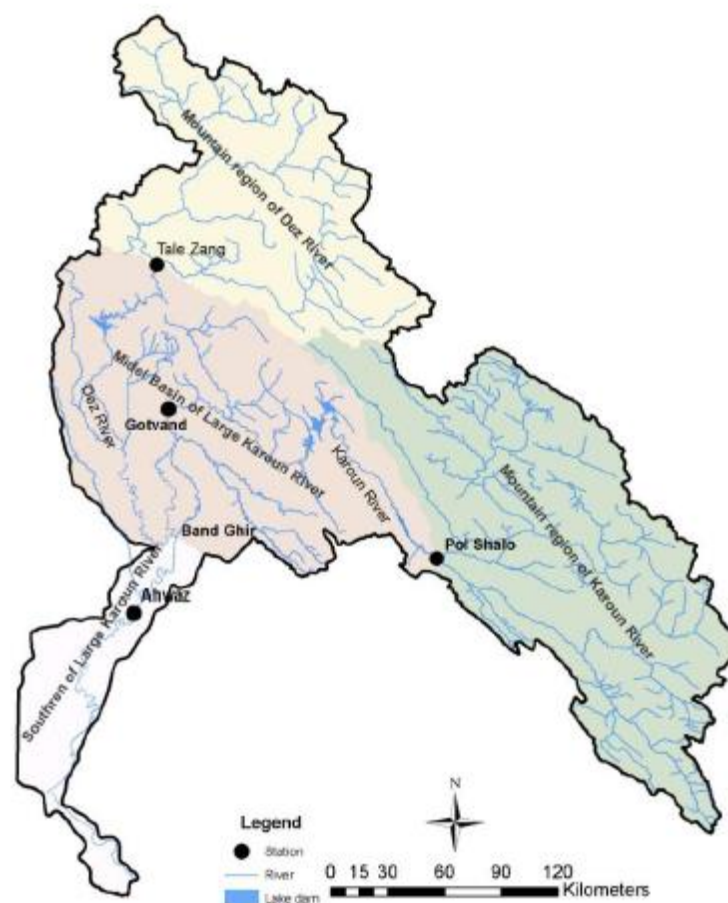
حوضه کارون بزرگ در جنوب غربی ایران واقع شده است و به دلیل در بر گرفتن بزرگترین پتانسیل آبی کشور، واجد بیشترین و عظیم‌ترین طرح‌های آبی کشور ایران می‌باشد. مساحت این حوضه ۶۷۲۵۷ کیلومترمربع است که حدود ۵ درصد از مساحت کل ایران را شامل می‌شود. از این مساحت، ۶۷ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۳۳ درصد مابقی را دشت‌های مرتفع تشکیل داده است. دو شاخه عمده آن یعنی کارون و دز پس از طی مسیرهای پر پیچ و خم کوهستانی بطور جداگانه وارد دشت خوزستان شده و در محل بند قیر واقع در ۵۰ کیلومتری شمال اهواز به یکدیگر متصل می‌شوند و در نهایت به خلیج فارس می‌ریزد (شکل ۱).

تنوع اقلیمی در حوضه کارون بزرگ بسیار گسترده بوده و در آن انواع اقلیم‌های خشک بیابانی، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب، مرطوب، خیلی

عوامل مختلفی باعث برهم خوردن شرایط حاکم بر اجزاء مختلف سیستم اقلیمی کره زمین می‌شود که می‌تواند تأثیراتی را بر اجزاء دیگر داشته باشد. این عوامل به دو بخش عوامل درونی و خارجی قابل تقسیم می‌باشند. به تغییراتی که نتیجه واکنش‌های درونی بین اجزاء سیستم اقلیم می‌باشد، نوسانات درونی<sup>۱</sup> اطلاق می‌شود که از آن جمله می‌توان به پدیده النینو و انسو اشاره کرد (Wang and Schimel, 2003; Hegerl et al., 2007). از طرف دیگر تابش‌های خورشیدی و فعالیت‌های آتشفشانی به عنوان دو عامل طبیعی خارجی بر سیستم اقلیم کره زمین تأثیر می‌گذارند. به این مجموعه باهم، نوسانات طبیعی<sup>۲</sup> اقلیم اطلاق می‌گردد. از طرفی عاملی به صورت غیر طبیعی بر سیستم اقلیم کره زمین تأثیر گذار است افزایش گازه‌ای گلخانه‌ای می‌باشد. به عقیده بسیاری از دانشمندان علت اصلی گرمای سطح زمین نیز افزایش غلظت این گازها می‌باشد (Wang and Schimel, 2003; Hegerl et al., 2007; Baede et al., 2001). این افزایش سبب می‌شود تا امواج فرسوخ گسیل شده از زمین بیش از پیش توسط گازه‌ای گلخانه‌ای جذب شده و باعث گرمتر شدن اتمسفر کره زمین شود که بنوبه خود بر وضعیت اجزاء دیگر سیستم اقلیم تأثیر گذاشته و پدیده تغییر اقلیم را موجب می‌گردد (Baede et al., 2001).

بر اساس چهارمین گزارش ارزیابی IPCC در سال ۲۰۰۷ روند افزایشی متوسط دمای کره زمین طی ۱۰۰ سال (۱۹۰۶-۲۰۰۵) حدود ۰/۷۴ (۰/۹۲-۰/۵۶) درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این مقدار نسبت به ۰/۶ (۰/۴-۰/۸) درجه سانتی‌گراد ارائه شده در سومین گزارش ارزیابی IPCC مربوط به سال‌های (۱۹۰۱-۲۰۰۰)، افزایش را نشان می‌دهد. بر اساس همین گزارش از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ بارندگی در بخش‌های شمالی و جنوبی آمریکا، شمال اروپا، شمال و مرکز آسیا بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش داشته است اما در برخی مناطق ساحلی همچون سواحل مدیترانه، جنوب آفریقا و قسمت‌هایی از جنوب آسیا کاهش یافته است. همچنین در سطح جهانی از دهه ۱۹۷۰ به بعد وقوع خشکسالی‌ها افزایش یافته است.

چن و همکاران (Chen et al., 2007) در بررسی روندهای موجود در داده‌های مشاهداتی متغیرهای اقلیمی و واکنش رواناب به این تغییرات در حوضه هانجینگ چین با استفاده از آزمون من کندانال نشان دادند که بارندگی روندی نداشته اما درجه حرارت روند افزایشی قابل ملاحظه داشته است. همچنین متوسط جریان سالانه، بهار و زمستانه روندی نزولی داشته است. در تحقیقی دیگر،



شکل ۱- حوزه آبریز کارون بزرگ

می‌توان به نواحی مختلف همان بخش نسبت داد. ولی کلاً هدف تحلیل منطقه‌ای نبوده است و صرفاً به دلیل ذکر شده در هر بخش یک ایستگاه معرف در نظر گرفته شده است.

شکل‌های ۲ و ۳ تغییرات متوسط درجه حرارت و بارندگی سالانه در ایستگاه‌های منتخب حوزه کارون بزرگ را نشان می‌دهند. بررسی روند تغییرات درجه حرارت متوسط سالانه در قسمت‌های مختلف حوزه حاکی از افزایش در متوسط سالانه درجه حرارت می‌باشد.

مرطوب مدیترانه‌ای و سرد مرطوب یافت می‌شود. رژیم بارش این حوضه، مدیترانه‌ای می‌باشد؛ به این مفهوم که فصل خشک منطبق بر تابستان و فصل بارندگی متمرکز بر زمستان است. حدود ۹۶ درصد بارش‌ها در فاصله ماه‌های آبان لغایت اردیبهشت رخ می‌دهد که از ۱۸۰۰ میلی‌متر در سال در ارتفاعات تا ۱۵۰ میلی‌متر در سال در نواحی پست جلگه‌ای متغیر است (Jamab, 1999). برای این تحقیق ۴ ایستگاه مطابق جدول ۱ انتخاب گردید که می‌توانند به شکلی معرف بخش‌های مختلف حوضه مطابق زیر باشند.

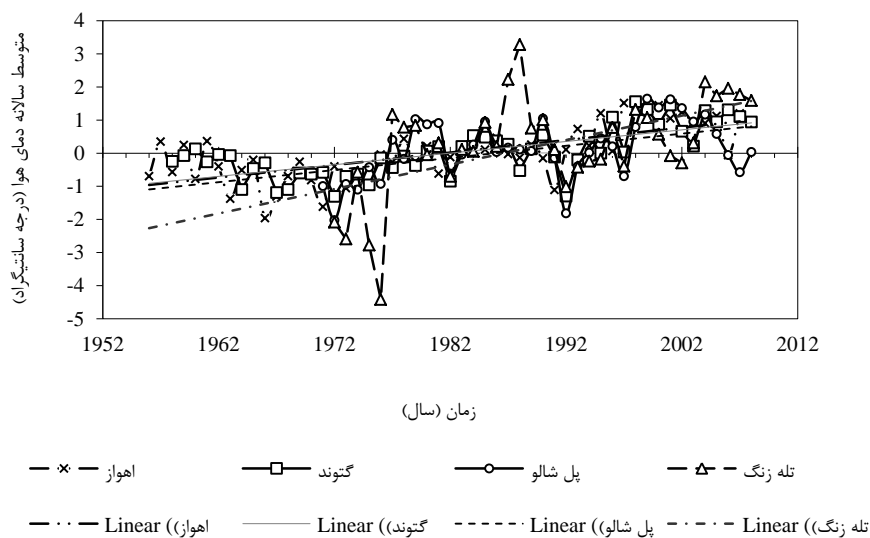
## ۲-۲- شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های گذشته توسط مدل‌های HadCM3 و CGCM3

یکی از روش‌های پیش بینی نوسانات درونی اقلیم یک منطقه، بررسی سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی در یک دوره آماری بلندمدت (بیش از چند صد سال) است. به دلیل عدم وجود داده‌های مشاهداتی بلند مدت در مناطق مختلف دنیا، راه جایگزین استفاده از شبیه‌سازی‌های مدل‌های آماری می‌باشد.

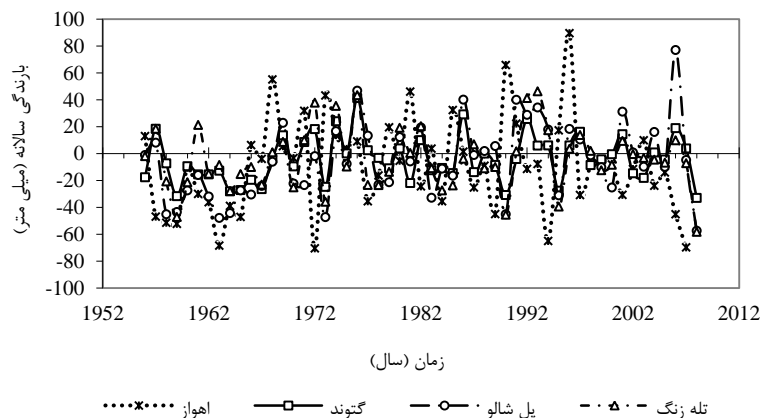
باید ذکر شود که هدف این مقاله تحلیل منطقه‌ای نبوده است و هر کدام از این ایستگاه‌ها به عنوان معرف بخش‌های مختلف در نظر گرفته شده‌اند البته طول دوره آماری موجود هر کدام نیز در انتخاب موثر بوده چون هدف این بوده که نیم قرن اخیر را پوشش دهند. لازم به توضیح است که در اکثر مطالعات مربوط به حوضه کارون بزرگ معمولاً این تقسیم‌بندی ۴ گانه صورت می‌گیرد (Jamab, 1999; Arab, 2009). چرا که به دلیل طبیعت منطقه رفتار اقلیمی و هیدرولوژیکی مربوط به هر بخش یا قسمت را نسبتاً

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در حوضه کارون بزرگ

حوضه آبریز	نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی (عرض* طول)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع ایستگاه	شروع دوره آماری
شمال حوضه آبریز کارون	پل شالو	$۳۱^{\circ}۴۵' - ۵۰^{\circ}۰۸'$	۷۰۰	بارانسنجی و تبخیرسنجی	۱۹۵۶-۲۰۰۸
شمال حوضه آبریز دز	تله زنگ	$۳۳^{\circ}۴۹' - ۴۸^{\circ}۴۶'$	۴۸۰	بارانسنجی و تبخیرسنجی	۱۹۵۶-۲۰۰۸
حوضه میانی	گتوند	$۳۳^{\circ}۱۵' - ۴۸^{\circ}۴۹'$	۱۴۰	بارانسنجی و تبخیرسنجی	۱۹۵۶-۲۰۰۸
بخش جنوبی	اهواز	$۳۱^{\circ}۲۰' - ۴۸^{\circ}۴۰'$	۲۲/۵	سینوپتیک	۱۹۵۶-۲۰۰۸



شکل ۲- آنومالی درجه حرارت متوسط سالانه نسبت به متوسط دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ در ایستگاه‌های منتخب حوضه کارون بزرگ



شکل ۳- آنومالی بارندگی سالانه نسبت به متوسط دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ در ایستگاه‌های منتخب حوضه کارون بزرگ

بارندگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. از سویی دیگر به منظور محاسبه محدوده نوسانات درونی اقلیم حوضه مورد مطالعه، طول دوره‌های آماری موجود ایستگاه‌ها کافی نمی‌باشد. همچنین احتمالاً داده‌های مشاهداتی در چند دهه اخیر تحت تأثیر نیروی تابشی حاصل از افزایش گازهای گلخانه‌ای قرار گرفته و امکان جدا سازی نوسانات درونی از تغییر اقلیم در آن‌ها مشکل می‌باشد. بنابراین، برای نشان دادن وضعیت نوسانات درونی در هر منطقه از آمار دراز مدت (۱۰۰۰ ساله) حاصل از اجرای کنترلی مدل‌های AOGCM استفاده می‌شود (Ruosteenoja et al., 2002) که در بخش قبل به آن پرداخته شد. برای بررسی محدوده نوسانات درونی دو متغیر دما و بارش منطقه مورد مطالعه، ابتدا آنومالی سری زمانی سالانه آن‌ها نسبت به میانگین دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) (آنومالی دما عبارت است از اختلاف دما از یک دمای مبنا و آنومالی بارندگی عبارتست از نسبت اختلاف بارندگی از یک بارندگی مبنا) محاسبه می‌شود. سپس فرض می‌شود که سری زمانی این دو متغیر از توزیع نرمال دو متغیره تبعیت می‌کند. با این فرض رابطه حاکم بر توزیع نرمال دو متغیره آنومالی دما و بارندگی به صورت زیر خواهد بود (Von Storch and Zwiers, 2002):

$$\frac{1}{1-\rho^2} \left\{ \frac{T'^2}{\sigma_T^2} - 2\rho \frac{T' R'}{\sigma_T \sigma_R} + \frac{R'^2}{\sigma_R^2} \right\} = \chi^2 \quad (1)$$

در این رابطه  $T'$  و  $R'$  به ترتیب برابر آنومالی دما و بارندگی،  $\sigma_T$  و  $\sigma_R$  به ترتیب برابر انحراف معیار دما و بارندگی و  $\rho$  همبستگی بین آنومالی دما و بارندگی می‌باشد. مقدار  $\chi^2$  از توزیع مربع کای با درجه آزادی ۲ تبعیت می‌کند که معمولاً برای سطح ۹۵٪ اطمینان از جداول مربوط استخراج می‌شود ( $\chi^2=5.99$ ,  $df=2$ ,  $95\%$ ). با ترسیم رابطه (۱) برای سطح ۹۵ درصد اطمینان، مدارهای بیضی ماندنی حاصل می‌گردد که محدوده درون آن نمایانگر محدوده مربوط به نوسانات درونی سیستم اقلیم منطقه برای متغیرهای دما و بارندگی و محدوده خارج از آن نشان‌دهنده تغییرات مربوط به عواملی به غیر از آن می‌باشد (مساح بوانی، ۱۳۸۵).

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تقریب سالانه نوسانات درونی سیستم اقلیم در منطقه مورد مطالعه

همانطور که در قسمت‌های قبل اشاره شد به منظور بررسی محدوده نوسانات درونی سیستم اقلیم، داده‌های سری زمانی ۱۰۰۰ ساله دما و بارندگی از اجرای کنترلی مدل‌های CGCM3 و HadCM3 تهیه گردید. با محاسبه میزان اختلاف سری‌های زمانی بدست آمده از

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید متغیرهای اقلیمی، استفاده از شبیه‌سازی‌های مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس - اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM) می‌باشد (Wilby and Harris, 2006; Mitchell, 2003; Lane et al. 1999). در این تحقیق نیز به منظور شبیه‌سازی این متغیرها برای دوره گذشته از این مدل‌ها استفاده شده است. این مدل‌ها بر پایه قوانین فیزیکی که بوسیله روابط ریاضی ارائه می‌شوند، استوار می‌باشند. این روابط در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین حل می‌گردند. به منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین فرایندهای اصلی اقلیمی (اتم‌سفر، کریوسفر، بیوسفر و هیدروسفر) در مدل‌های فرعی جداگانه شبیه‌سازی می‌شوند. تا کنون مدل‌های گردش عمومی مختلف در مراکز تحقیقاتی تدوین و طراحی شده است. از آن جمله می‌توان به مدل‌های UKMO\_HadCM3, CCCma, CGCM3, GFDL\_CM2, CM2.1, IPCC- (NCAR\_PCM, CCSM3, CSIRO-MK3, AR4, 2007). در این تحقیق به منظور در نظر گرفتن تفاوت خروجی‌ها در این مدل‌ها، از خروجی‌های دو مدل CGCM3 و HadCM3<sup>۵</sup> که داده‌های آنها به ترتیب در مقیاس ۳/۷۵ (عرض جغرافیایی) در ۳/۷۵ (طول جغرافیایی) و ۲/۵ (عرض جغرافیایی) در ۳/۷۵ (طول جغرافیایی) می‌باشد، استفاده شده است. اطلاعات مربوط به این مدل‌ها برای محدوده مورد مطالعه مستقیماً از سایت IPCC (<http://www.ipcc-data.org/>) تهیه شده است.

در نوع خاصی از شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط این مدل‌ها، مقدار گازهای گلخانه‌ای در طول زمان شبیه‌سازی در سطح مقادیر مشاهداتی آن در سال ۱۸۵۰، ثابت نگه داشته می‌شود. در این شبیه‌سازی، که به اجرای کنترل<sup>۶</sup> مشهور می‌باشد، معمولاً متغیرهای اقلیمی تحت یک دوره ۱۰۰۰ ساله شبیه‌سازی می‌شوند. بدیهی است، بدلیل ثابت ماندن مقادیر گازهای گلخانه‌ای در این شبیه‌سازی‌ها سری زمانی متغیر مورد مطالعه تنها تحت تأثیر عوامل درونی سیستم اقلیم قرار گرفته و نتیجتاً مشخص کننده نوسانات درونی سیستم اقلیم می‌باشند. در صورتی که فرض شود در دوره‌های آتی (صد سال آینده) تغییری در میزان عوامل خارجی (تابش خورشیدی و فعالیت‌های آتشفشانی) رخ ندهد، می‌توان گفت این شبیه‌سازی بیانگر نوسانات طبیعی اقلیم نیز می‌باشد. (مساح بوانی، ۱۳۸۵, Oldenborgh et al., 2005; Lambert et al., 2005).

#### ۳-۲- محاسبه نوسانات درونی اقلیم

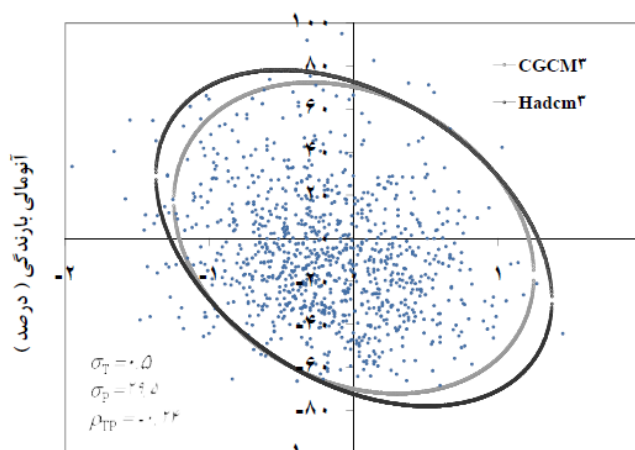
به منظور تفکیک تغییر اقلیم ناشی از گازهای گلخانه‌ای نسبت به نوسانات درونی، در ابتدا محدوده نوسانات مربوط به دو متغیر دما و

محدوده نوسانات طبیعی متغیرهای اقلیمی که به وسیله داده‌های ۱۰۰۰ ساله محاسبه می‌گردد در مناطق همجوار دارای تغییرات جزئی بوده و استفاده از یک سلول کفیسست به عبارت دیگر می‌توان برای کل حوضه کارون بزرگ یک محدوده نوسانات طبیعی را در نظر گرفت (Hulme and Brown 1998).

پس از مشخص شدن محدوده نوسانات درونی اقلیم منطقه مورد مطالعه به منظور بررسی معنی‌دار بودن تغییر اقلیم در نیم قرن اخیر (نسبت دهی آن به گازهای گلخانه‌ای)، مقادیر این نوسانات، با آنومالی سالانه دما و بارندگی مشاهداتی در هر یک از ایستگاه‌های ذکر شده حوضه کارون بزرگ مقایسه گردید. شکل‌های (۵ الی ۸) روند دو متغیره آنومالی دما و بارندگی طی دوره آماری که حدود نیم قرن است به همراه محدوده نوسانات درونی اقلیم را نشان می‌دهد (نقاط آمده در شکل‌ها). مشابه آنچه برای داده‌های کنترل مدل‌های AOGCM انجام شد، داده‌های این دوره نیز نسبت به دوره ۲۰۰۰ - ۱۹۷۱ نرمال شده‌اند و نقاط مربع در شکل به دوره ده سال اخیر اشاره دارد.

با توجه به آن‌که محدوده درون هر یک از بیضی‌های ترسیم شده نشان‌دهنده محدوده نوسانات درونی توام دما و بارندگی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بنابر این در صورتی‌که نقطه‌ای در خارج از این محدوده قرار گیرد نشان‌دهنده این مطلب است که تغییرات دما - بارندگی حاصل، وابسته به عواملی غیر از نوسانات درونی سیستم اقلیم منطقه خواهد بود.

میانگین ۳۰ ساله دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱، سری زمانی آنومالی نوسانات طبیعی ۱۰۰۰ ساله برای هر متغیر بطور جداگانه محاسبه گردید. دوره ۳۰ ساله بدین دلیل انتخاب شده است که اولاً دوره نرمال توصیه شده توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO)<sup>۷</sup> بوده و ثانیاً این دوره معقولی برای نمایش دادن نوسانات اقلیمی یک منطقه می‌باشد. نهایتاً برای سری زمانی آنومالی سالانه، مقادیر انحراف معیار دما و بارندگی و همبستگی بین این دو متغیر محاسبه شد. در ادامه بر اساس توزیع نرمال دو متغیره (رابطه ۱) محدوده نوسانات درونی سالانه اقلیم منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن محدوده ۹۵ درصد اطمینان محاسبه شده و بصورت نمودارهای دو بعدی دما- بارندگی ترسیم گردید (شکل ۴). در این شکل محور افقی تغییرات دما و محور عمودی تغییرات بارندگی را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل مشخص است، اکثر نقاط که مشخص کننده آنومالی سالانه می‌باشند، در درون بیضی‌های ترسیم شده قرار گرفته و در غیر این صورت نیز نزدیک به محیط بیضی می‌باشند. این بدان معنی است که محدوده نوسانات اقلیمی منطقه به خوبی توسط بیضی‌ها ترسیم شده است. همچنین در مجموع شکل ترسیم شده بدلیل چولگی کم، نشان از قابل قبول بودن فرض توزیع نرمال دو متغیره دما و بارندگی، برای به تصویر کشیدن محدوده نوسانات درونی سیستم اقلیم منطقه مورد مطالعه دارد. از طرف دیگر همپوشانی خوب محدوده بدست آمده از هر کدام از دو مدل نشان از عدم معنی‌داری اختلاف در آنها دارد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که به احتمال ۹۵ درصد مقادیر آنومالی نوسانات درونی توام دما - بارندگی در حوضه کارون بزرگ به ترتیب کمتر از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و کمتر از ۷۰ درصد می‌باشد. لازم به توضیح است که

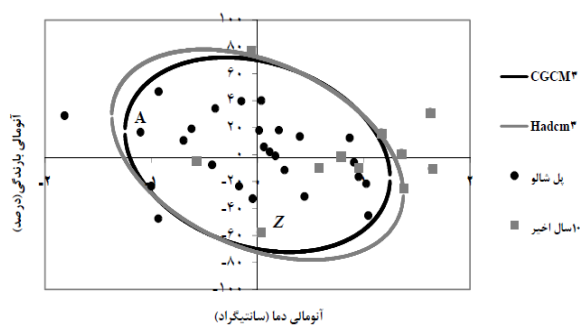


شکل ۴- نمودار نوسانات درونی سالانه دما - بارندگی در حوضه کارون بزرگ

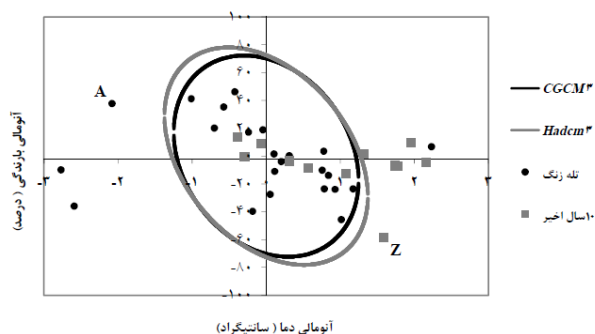
با توجه به اینکه نقطه A سال ابتدایی و نقطه Z سال انتهایی دوره آماری ایستگاه است، نتایج روند دو بعدی آنومالی دما و بارندگی برای نیم قرن اخیر نسبت به دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ هر یک از ایستگاه‌ها در شکل‌های (۵ الی ۸) نشان داده شده است. به عبارتی روند افزایشی دما و کاهش بارندگی در تمامی ایستگاه‌هایی که در قسمت‌های مختلف حوزه آبریز کارون بزرگ قرار دارند مشاهده شده و همچنین تقریباً سال‌های انتهایی این دوره در خارج از محدوده نوسانات درونی اقلیمی قرار گرفته که نشان دهنده معنی‌دار بودن تغییرات (وابسته بودن این تغییرات به افزایش گازهای گلخانه‌ای) در این سال‌ها می‌باشد. کما اینکه خشکسالی‌های اتفاق افتاده در سال‌های انتهایی خود می‌تواند موید موضوع باشد. در این میان، سال‌های آبی ۷۸-۷۹ (۲۰۰۰)، ۷۹-۸۰ (۲۰۰۱)، ۸۶-۸۷ (۲۰۰۸) سال‌های بسیار خشکی بوده‌اند. بررسی تغییرات میزان بارندگی سالانه در ایستگاه‌های معرف قسمت شمالی حوضه کارون و دز (پل شالو و تله زنگ) در این سال‌ها نشان‌دهنده بیش از ۵۰ درصد کاهش در بارندگی نسبت به شرایط نرمال است که با توجه به زیاد بودن حجم بارش‌ها در این قسمت از حوضه نسبت به بخش‌های پایین دست، تاثیر قابل توجهی بر کاهش آوردهای حوضه به ویژه در بالا دست سد دز و کارون ۳ داشته است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

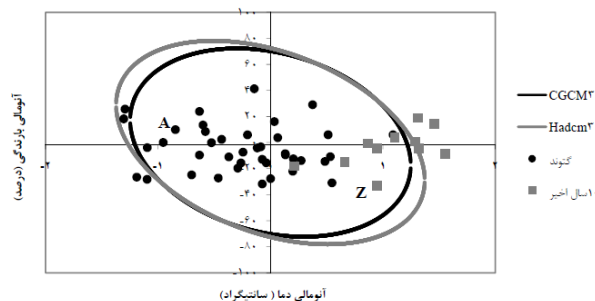
در این تحقیق آشکارسازی و نسبت‌دهی تغییر اقلیم به جهت تفکیک تغییر اقلیم ناشی از گازهای گلخانه‌ای نسبت به نوسانات درونی در حوضه کارون بزرگ انجام گردید. در این راستا ابتدا محدوده نوسانات درونی اقلیم منطقه (مربوط به عوامل طبیعی) با استفاده از داده‌های اجرای کنترلی دو مدل AOGCM مشخص گردید. استفاده از داده‌های دو مدل به دلیل بررسی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM در نوسانات درونی اقلیم منطقه مورد مطالعه می‌باشد. برای اینکار فرض شد که تابع احتمالاتی مربوط به دما و بارش یک توزیع دو متغیره نرمال باشد. با این فرض محدوده نوسانات طبیعی منطقه مشخص گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که اولاً فرض نرمال بودن تابع احتمالاتی دما-بارش به دلیل چولگی کم محدوده ترسیم شده فرض قابل قبولی است. و ثانیاً بین مدل‌های AOGCM در تخمین محدوده نوسانات طبیعی منطقه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در ادامه مقایسه روند دو بعدی دما و بارش مشاهداتی منطقه با محدوده نوسانات درونی نشان داد که روند دما در نیم قرن اخیر در حوضه کارون به سمت کاهش بارش و افزایش دما بوده است. این در حالی است که اثرات گازهای گلخانه‌ای در سال‌های انتهایی دوره مشاهداتی به‌خوبی از نتایج قابل



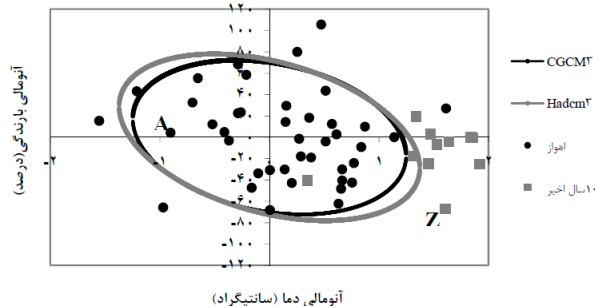
شکل ۵ - روند دو بعدی آنومالی دما و بارندگی نیم قرن اخیر نسبت به دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ (پل شالو)



شکل ۶- روند دو بعدی آنومالی دما و بارندگی نیم قرن اخیر نسبت به دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ (تله زنگ)



شکل ۷- روند دو بعدی آنومالی دما و بارندگی نیم قرن اخیر نسبت به دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ (گتوند)



شکل ۸- روند دو بعدی آنومالی دما و بارندگی نیم قرن اخیر نسبت به دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ (اهواز)

Hulme M and Brown O (1998) Portraying climate scenario uncertainties in relation to tolerablregional climate change, *Climate Research* 10: 1-14.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2007) *The Synthesis Report, Observed changes in climate and their effects*, *Climate Change* 1, 30.

Jamab (1999) *Comprehensive assessment of national water resources: Karoun And Dez River Basin*, JAMAB Consulting Engineers in Association with Ministry of Energy, Iran. (In Farsi).

Lambert FH, Gillett NP, Stone DA and Huntingford C (2005) Attribution studies of observed land precipitation changes with nine coupled models, *Geophysical Research Letters* 32(18): 1-4.

Lane ME, Kirshen PH and Vogel RM (1999) Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources, *ASCE, Journal of Water Resources Plan and Managment* 125(4): 194-204.

Mitchell TD (2003) Pattern Scaling: An examination of the accuracy of the technique for describing future climates, *Climatic Change* 60: 217-242.

Oldenborgh GJ, Philip SY and Collins M (2005) El Niño in a changing climate: a multi-model study, *Ocean Science* 1: 81-95.

Ruosteenoja K, Carter TR, Jylhä K and Heikki T (2002) *Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios*, Finnish Environment Institute Publishing. Finland

Von Storch H and Zwiers FW (2002) *Statistical Analysis in Climate Research*, Cambridge University Press. UK. 494.

Wilby RL and Harris I (2006) A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research* 42, W02419, doi:10.1029/2005WR004065.

Wang G and Schimel D (2003) Climate change, climate modes, and climate impacts, *Annual Review of Environment Research* 28: 1-28.

Zhenmei Ma, Shaozhong Kang Lu Zhang, Ling Tong and Xiaoling S (2008) Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China, *Journal of Hydrology* 352: 239-249.

استنتاج است. به طور کلی روش استفاده شده در این تحقیق می‌تواند جایگزین روش‌های متداول استفاده تنها از آزمون‌های روند در داده‌ها (مثلا من-کندال) در تحقیقات آشکارسازی تغییر اقلیم در دوره‌های گذشته شود.

## پی‌نوشت‌ها

- 1- Internal variability
- 2- Natural Variability
- 3- Atmosphere- Ocean General Circulation Model
- 4- Canadian General Circulation Model 3
- 5- Hadlilly Center of Circulation Model3
- 6- Control Run
- 7- World Meteorological Organization

## ۶- مراجع

مساح بوانی ع ر (۱۳۸۵) ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

Arab DR (2009) Analysis drought experiance of 2008-2009 water year in the Large Karoun River Basin and introduce the wayesfor the future. Rhbord Daneshpoya Consulting Engineers in Association with KHzestan Water and Power Authority Ministry of Energy, Iran (InPersian).

Baede APM, Ahlonsou E, Ding Y and Schimel D (2001) *The Climate System: an Overview*. In: *Climate Change 2001, The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton et al. (eds.)]*, Cambridge University Press. Cambridge and New York, 525-582.

Hegerl GC, Zwiers FW, Braconnot P, Gillett NP, Luo Y, Marengo Orsini JA, Nicholls N, Penner JE and Stott PA (2007) Understanding and attributing climate change. *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the FAR of the IPCC*. Cambri. Uni, 667.

Chen H, Guo Sh, Xu Chyu and Singh VP (2007) Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin, *Journal of Hydrology* 344: 171-184.