

## بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به آبگیر سد درودزن در استان فارس طی دوره‌های آتی

فرشید صف شکن<sup>۱\*</sup>، علی محمد آخوندعلی<sup>۲</sup>، علی حقیقی<sup>۳</sup>، حیدر زارعی<sup>۴</sup>  
تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۲۸

### چکیده

ارزیابی دگرگونی و آسیب‌پذیری ناشی از تغییر اقلیم جهت برنامه‌ریزی آینده منابع آب ضروری می‌باشد. در این تحقیق، شبیه‌سازی‌های اقلیمی با کاربرد ۴ شبیه‌ساز گردش عمومی (GCM) ارائه شده در گزارش چهارم ارزیابی تحت دو نمایشنامه‌ی انتشار A2 و B1 انجام شده است. نتایج نشان دادند که میانگین تغییرات دما بین ۰/۱۳- تا ۰/۹۶ و ۰/۷۲ تا ۱/۸۵ درجه‌ی سانتیگراد به ترتیب برای دوره‌های ۲۰۱۶-۲۰۳۸ و ۲۰۳۹-۲۰۶۱ می‌باشد. علاوه بر این، میانگین تغییرات بارندگی ماهانه‌ی شبیه‌سازی شده دوره‌های مذکور نسبت به دوره‌ی مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۸) به ترتیب بین ۳/۵- تا ۱۸۲ و ۲۰/۷- تا ۱۲۳ درصد است. همچنین، شبیه‌سازی بارش - رواناب روزانه با کاربرد شبیه‌ساز IHACRESS انجام شد، چنان‌که میزان  $R^2$  برای واسنجی و صحت‌سنجی در بهینه‌ترین حالت به ترتیب برابر با ۰/۶۸۴ و ۰/۶۳۵ به دست آمده است. به طور کلی، میانگین حجم رواناب سالانه ورودی به آبگیر سد درودزن طی دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی پایه به ترتیب به میزان ۸/۴ و ۲۸/۱۵ درصد کاهش خواهد یافت. علاوه بر این، بیشترین کاهش در میانگین حجم رواناب ماهانه‌ی حوضه طی دوره‌های آتی به ترتیب برابر با ۴۲/۳۴ و ۵۴/۱۳ درصد در نوامبر نسبت به دوره‌ی پایه پیش‌بینی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، جریان ورودی به حوضه، حوضه‌ی سد درودزن، ریزمقیاس نمایی

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده ی علوم آب - دانشگاه شهید چمران اهواز  
Email: safshekan.2020@yahoo.com تلفن: ۰۹۱۷۸۱۶۱۷۵۰، ۰۴۴۹-۳۷۳۱۰-۰۷۱

<sup>۲</sup> استاد گروه هیدرولوژی و مهندسی منابع آب، دانشکده ی علوم آب - دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده ی مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز

<sup>۴</sup> استادیار گروه هیدرولوژی و مهندسی منابع آب، دانشکده ی علوم آب - دانشگاه شهید چمران اهواز

## مقدمه

گرم شدن زمین و تغییر اقلیم به عنوان یکی از چالش‌های عمده در زمینه‌ی مدیریت منابع آب در قرن بیست و یکم شناخته شده است (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). از میان بخش‌های مختلفی که تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند، منابع آب نگرانی عمده‌ای را ایجاد کرده اند (فریدریک و ماجور، ۱۹۹۷). تغییر اقلیم و توان اثرات آبی آن به‌طور فزاینده‌ای باعث افزایش عدم قطعیت در منابع آب می‌شوند (میدلکوپ و همکاران، ۲۰۰۱). بنابراین، سامانه‌های آبی می‌توانند بر اثر عدم تعادل ایجاد شده، به وسیله‌ی شرایط تغییر اقلیم و افزایش جمعیت، در عرضه و تقاضا آسیب پذیر شوند.

تغییر اقلیم می‌تواند شدیداً "آب‌شناسی یک حوضه‌ی آبخیز را تحت تاثیر قرار دهد؛ بنابراین، تهدیدی جدی برای جوامع انسانی، کشاورزی، تولید برق آبی و بوم‌نظامها محسوب گردد. برای ارزیابی و شبیه‌سازی اثرات توان تغییر اقلیم شبیه‌سازی‌های آبی نیازمند متغیرهای هواشناسی مطمئن برای شرایط اقلیمی جاری و آتی می‌باشند. شبیه‌سازی‌های گردش عمومی جو - اقیانوس<sup>۵</sup> چنین اطلاعاتی را فراهم می‌کنند، اما مقیاس مکانی آنها برای مطالعات اثر منطقه‌ای خیلی بزرگ بوده، و لازم است که خروجی این شبیه‌سازها از طریق ریزمقیاس‌نمایی<sup>۶</sup> به مقیاسی کوچک‌تر تبدیل گردند (تئوتسچین و سیبارت، ۲۰۱۲).

در پژوهشی جهت پیش‌بینی جریان آبراهه در سه حوضه‌ی گرین، سان‌وان و گانیسون واقع در حوضه‌ی رود کلرادو در ایالات متحده‌ی آمریکا تحت شرایط تغییر اقلیم از شبیه‌ساز آبی NWSRFS و شبیه‌ساز اقلیمی CMIP3 تحت نمایشنامه‌های انتشار A2, B1, A1B استفاده شد. نتایج کاهش ۶ تا ۱۳ درصدی رواناب در حوضه‌ی گانیسون و ۱۰ تا ۱۵ درصدی در حوضه‌ی سان‌وان تا سال ۲۰۹۹ نشان داده بود، در حالی‌که برای حوضه‌ی رود گرین افزایش روانابی حدود ۶ تا ۸ درصد تا سال ۲۰۹۹ پیش‌بینی شده بود (مایلر و همکاران، ۲۰۱۱).

لوی و همکاران (۲۰۰۴) برای برآورد اثر تغییر اقلیم در مورد منابع آب حوضه‌ی منطقه سن‌واکین در کالیفرنیا از

پیش‌بینی‌های دو شبیه‌ساز اقلیمی Hadcm2 و Pcm استفاده کردند. نتایج آنها نشان‌دهنده‌ی افزایش میانگین جریان ورودی سالانه به آبرگیر سن‌واکین تحت شبیه‌ساز HadCM2 در افق ۲۰۲۵ و ۲۰۶۵ و کاهش میانگین جریان ورودی تحت شبیه‌ساز PCM بودند.

در پژوهشی، ۴ شبیه‌ساز اقلیمی GCM تحت نمایشنامه‌های 20C3M برای شرایط جاری، و نمایشنامه‌ی A2 برای شرایط آینده، در حوضه‌ی ابرو استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش ماهانه‌ی جریان رود حدود ۳۰-۲۵ درصد در طول پائیز و بهار، و ۲۰-۱۵ درصد در زمستان بودند (میلانو و همکاران، ۲۰۱۳).

بویج و همکاران (۲۰۰۶) بده‌ی رود نیل را بر اساس وضعیت فعلی و شبیه‌سازهای مختلف تغییر اقلیم پیش‌بینی نموده و با استفاده از شبیه‌ساز RIBASIM مدیریت منابع آب آتی را شبیه‌سازی کردند. در این مطالعه مشخص شد که تغییر اقلیم با اثرگذاری بر دما، بارش و تبخیر - تعرق، به میزان قابل توجهی جریان رود را در آینده تغییر خواهد داد. به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم آینده بر میزان پاسخ آبی حوضه‌ی رود صوفی‌چای برای دو دوره‌ی آتی ۲۰۲۰ و ۲۰۵۵ میلادی از شبیه‌ساز اقلیمی HadCM3 تحت دو نمایشنامه‌ی انتشار A2 و B1، شبیه‌ساز ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG، شبیه‌ساز آبی IHACRES و شبیه‌ساز هوشمند مبتنی بر برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده به عمل آمد. در مجموع نتیجه‌گیری شد که حتی تحت نمایشنامه‌ی B1، که کاهش جریان کمتری برای دوره‌ی ۲۰۵۵s پیش‌بینی می‌شود، آبرگیر سد علویان توانایی لازم را برای تأمین نیاز پر اهمیت شرب براساس مبانی طراحی در برخی ماه‌ها نخواهد داشت (حسینی، ۲۰۱۲).

آشفته و مساح بوانی (۲۰۱۲) اثر تغییر اقلیم را بر رواناب حوضه‌ی قرنقو در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ بررسی نمودند. نتایج آنها حاکی از افزایش متوسط رواناب سالانه‌ی دراز مدت طی دوره‌ی آتی به میزان ۱/۷۳ و ۰/۴۴ مترمکعب بر ثانیه به ترتیب برای A2 و B2 نسبت به دوره‌ی مشاهداتی بود.

<sup>6</sup>downscaling

<sup>5</sup> Atmospheric- Ocean General Circulation Models

تغییر اقلیم و همچنین، شبیه‌سازی جریان ورودی به آبگیر سد درودزن طی دوره‌های آبی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ و ۲۰۶۱-۲۰۳۹ با بررسی شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی تحت نمایشنامه‌های انتشار A2 و B1 می‌باشد.

## مواد و روشها

### ۱- انتخاب منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد آبی حوضه‌ها، حوضه‌ی آبخیز رود کر - بختگان در بالادست سد درودزن مورد بررسی قرار گرفت. کل مساحت حوضه‌ی آبخیز رود کر در بالادست این سد ۴۵۶۲/۵ کیلومتر مربع می‌باشد که با احداث سد جدید ملاصدرا در فاصله‌ی ۵۵ کیلومتری بالادست آن این مساحت به ۲۰۹۰ کیلومتر مربع تقلیل یافته است. نقشه‌ی موقعیت قرارگیری این سد در استان فارس به صورت شکل (۱) می‌باشد. ارتفاع متوسط محدوده‌ی مورد مطالعه ۲۲۲۵/۹ متر است. اهداف احداث سد درودزن تنظیم آب مورد نیاز کشاورزی اراضی پایاب، شرب، صنعت و تولید برق می‌باشد. متوسط جریان ورودی دراز مدت سالانه به آبگیر ۳۰/۸۶ مترمکعب بر ثانیه، و آبدهی حداقل و حداکثر آن به ترتیب ۶/۰۲ و ۲۱۸/۰۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است (عمادی و خادمی، ۲۰۱۱). در محدوده‌ی مورد مطالعه، تعدادی ایستگاه تخیرسنجی، بارانسنجی و آب سنجی مختلف وجود دارد (فارساب صنعت، ۲۰۰۸). در این تحقیق داده‌های روزانه بارش و دما به صورت میانگین‌گیری از طریق چند ضلعی‌های تیسن و اطلاعات بدهی جریان ورودی به آبگیر سد درودزن به وسیله‌ی ایستگاه آب‌سنجی (خط‌کش در محل ورودی به آبگیر سد) در دوره‌ی پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۸ جهت مطالعه تغییر اقلیم و شبیه‌سازی بارش- رواناب استفاده شدند. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده را در این تحقیق نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی و آب‌سنجی مربوط به حوضه‌ی آبخیز سد درودزن از شرکت سهامی آب منطقه‌ای، واحد مطالعات، تهیه گردیده‌اند.

### ۲ - شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی

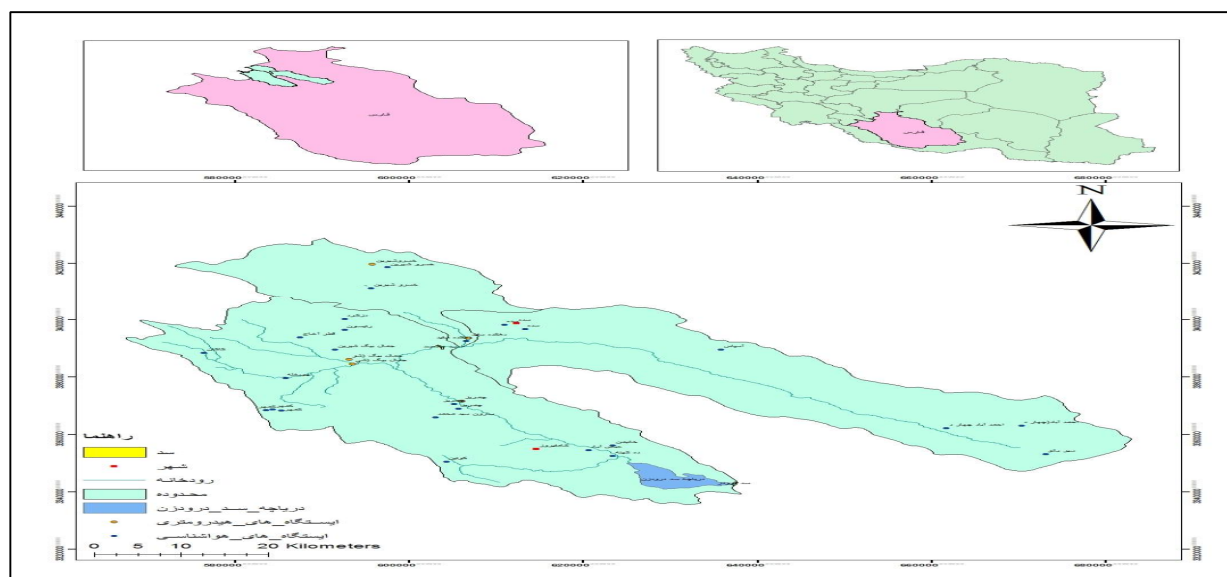
در تحقیقی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط آبی حوضه‌ی گرگانرود با کاربرد شبیه‌ساز SWAT و خروجی‌های سه شبیه‌ساز چرخش عمومی جو (SCIRO و HadCM3 و CGCM1) تحت نمایشنامه‌های A1F1 و B1 بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش مقدار رواناب سطحی به میزان ۰/۴ تا ۷/۷ درصد برای دوره‌ی زمانی ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بودند (آذری و همکاران، ۲۰۱۳).

آشفته و بزرگ حداد (۲۰۱۴)، به منظور تحلیل آثار منفی پدیده‌ی تغییر اقلیم، با ارائه‌ی رویکردی جدید احتمالی به ارزیابی اثرات بر جریان رود با استفاده از شبیه‌ساز HadCM3 تحت نمایشنامه‌ی انتشار A2 پرداختند. شبیه‌سازی جریان بلندمدت با کاربرد شبیه‌ساز IHACRES انجام شد. نتایج نشان دادند که متوسط رواناب سالانه‌ی بلندمدت در سه دوره‌ی آبی نسبت به دوره‌ی پایه، کاهش خواهد یافت.

در گزارشی قاسمی و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر پدیده‌ی تغییر اقلیم را بر وضعیت رواناب حوضه‌ی شهرچای ارومیه در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به شبیه‌سازهای AOGCM مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها حاکی از افزایش دمای حوضه بین ۲/۵۳-۰/۱ و نوسانهای بارش بین ۳۴- تا ۴۶ درصد بودند. در حالی که بده شبیه‌سازی شده نسبت به بده‌ی مشاهداتی در دوره‌ی پایه در فصول پائیز و زمستان روندی افزایشی، و در فصل بهار دارای روند کاهشی داشت.

در تحقیق دیگری، از ۸ شبیه‌ساز AOGCM در افرق‌های ۲۰۴۰، ۲۰۷۰ و ۲۱۰۰ در حوضه‌ی آبخیز رود شش‌پیر استفاده شد. نتایج حاکی از کاهش آورد آبی حاصل از شبیه‌ساز AWBM در دوره‌های ۲۰۴۰، ۲۰۷۰ و ۲۱۰۰ به ترتیب به میزان ۳۹، ۴۳ و ۳۲ درصد بود (فرج زاده، ۲۰۱۳).

از آنجا که در مطالعات پیشین در حوضه‌ی آبخیز سد درودزن تا به حال سوابق تحقیقی در مورد بررسی تغییر اقلیم، و به خصوص شبیه‌سازی بارش- رواناب، آن هم در بازه‌ی زمانی روزانه تحت پیش‌بینی‌های آینده‌ی فراسنج‌های اقلیمی انجام نگردیده، در این پژوهش به این موضوع پرداخته شده است. هدف اصلی از انجام این تحقیق پیش-بینی فراسنج‌های اقلیمی نظیر دما و بارندگی تحت شرایط



شکل ۱ - موقعیت حوضه‌ی سد درودزن واقع در استان فارس.

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در این تحقیق (فارساب صنعت، ۲۰۰۸).

| نام ایستگاه   | نوع ایستگاه | دوره آماری | ارتفاع | عرض جغرافیایی (درجه) | طول جغرافیایی (درجه) |
|---------------|-------------|------------|--------|----------------------|----------------------|
| جمالینگ شیرین | بارانسنجی   | ۱۳۴۷-۹۲    | ۲۰۱۰   | ۳۰/۶۱۷               | ۵۱/۹۵                |
| کمهر          | تبخیر سنجی  | ۱۳۵۵-۹۰    | ۲۳۷۷   | ۳۰/۴۵                | ۵۱/۸۸                |
| چوبخله        | بارانسنجی   | ۱۳۵۱-۹۱    | ۲۰۵۶   | ۳۰/۵۵                | ۵۱/۹                 |
| دشتک          | بارانسنجی   | ۱۳۶۳-۹۲    | ۲۰۳۱   | ۳۰/۲۹                | ۵۲/۴۷                |
| خسرو شیرین    | بارانسنجی   | ۱۳۶۶-۹۱    | ۲۳۴۰   | ۳۰/۹                 | ۵۲/۰۱                |
| سده           | بارانسنجی   | ۱۳۶۵-۹۰    | ۲۱۹۲   | ۳۰/۷۲                | ۵۲/۱۶                |
| درودزن        | تبخیر سنجی  | ۱۳۶۷-۹۰    | ۱۶۶۱   | ۳۰/۲                 | ۵۲/۴۴                |
| چمریز         | بارانسنجی   | ۱۳۴۵-۹۰    | ۱۸۴۰   | ۳۰/۴۷                | ۵۲/۱                 |
| دهکده سفید    | تبخیر سنجی  | ۱۳۴۹-۸۷    | ۱۷۴۰   | ۳۰/۶۴                | ۵۲/۱۳                |
| دهکده شهید    | بارانسنجی   | ۱۳۴۵-۸۹    | ۲۲۵۶   | ۳۰/۸۴                | ۵۱/۷۴                |
| عباس آباد     | بارانسنجی   | ۱۳۶۵-۹۰    | ۱۷۱۰   | ۳۰/۳۲                | ۵۲/۲۶                |
|               | تبخیر سنجی  |            |        |                      |                      |

در حال حاضر یکی از متداولترین و مناسبترین روشها برای ارزیابی اقلیم آینده، استفاده از شبیه‌سازهای سه بعدی گردش عمومی جو می‌باشد. هدف اصلی این شبیه‌سازها، محاسبه شاخص‌های سه بعدی اقلیم در شبکه‌های مشخص است. این شبیه‌سازها، ابزاری مناسب و توانا برای مطالعه و ارزیابی خطرات تغییرات اقلیمی مانند وقوع دوره‌های خشک، بارشهای رگباری و سیل آسا و ... می‌باشند. این شبیه‌سازها با استفاده از نمایشنامه‌های تأیید شده ی هیئت بین الدول تغییر اقلیم قادر به ایجاد گروه‌های زمانی بلندمدت بارش، دماهای حداقل، حداکثر، تابش و تبخیر - تعرق در مقیاس-های روزانه می‌باشند. برای درک ماهیت پیچیده‌ی جو، و پیش بینی تغییرات آن در آینده، ممکن است پرداختن به شبیه‌سازهای آماری سنتی، به دلیل این پیچیدگی‌ها، گمراه کننده باشد، لذا دانشمندان اقلیم شناس برای درک بهتر پدیده‌ها، و پیش‌بینی دقیق تر آنها، به استفاده از قوانین و روابط ریاضی بین فراسنج‌های مختلف اقلیمی روی آوردند، از این رو، طراحی شبیه‌سازهای اقلیمی درجه‌ای جدید را در تبیین تغییرات اقلیمی در آینده گشود. پیچیده بودن محاسبات ایجاب می‌کند تا پای ابرایانه‌ها نیز به این مقوله گشوده شود و بدین ترتیب از روشهای عددی در حل معادلات مربوطه استفاده گردید (ویلای و هاریس، ۲۰۰۶). در این تحقیق، از خروجی ۴ شبیه‌ساز گردش عمومی جفت شده‌ی جوی- اقیانوسی شامل BCM2 (توسعه یافته به وسیله‌ی مرکز تحقیقات اقلیمی دانشگاه برگن نروژ که به نام شبیه‌ساز اقلیمی برگن شهرت یافته است)، HADCM3

هرگونه تغییر در میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین، باعث برهم خوردن تعادل بین اجزای سامانه‌ی اقلیم کره زمین می‌گردد. اما این که در آینده چه مقدار از گازهای گلخانه‌ای به وسیله‌ی جوامع بشری وارد جو زمین شده، و به تبع آن چه وضعیتی برای سامانه‌ی اقلیم کره زمین رخ خواهد داد، معین و قطعی نیست، و تحت نمایشنامه‌های مختلفی ارائه شده است. این نمایشنامه‌ها به دو بخش، یعنی نمایشنامه‌های غیراقلیمی و نمایشنامه‌های اقلیمی قابل تفکیکند. یک نمایشنامه‌ی غیراقلیمی حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی- اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو کره‌ی زمین است. در این نمایشنامه‌ها مقادیر گازهای گلخانه‌ای با نرخی ثابت تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابند (هیئت بین الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). هر کدام از این نمایشنامه‌ها مربوط به یکی از خانواده‌های A1, A2, B1 و B2 می‌باشد. براساس میزان تولید کارمایه‌ی تابشی تا سال ۲۱۰۰، نمایشنامه‌ی A1F1 بیشترین و نمایشنامه‌ی B1 کمترین کارمایه را تولید کرده و نمایشنامه‌ی A2 در بین آنها قرار می‌گیرد (بویج و همکاران، ۲۰۰۶). از طرفی، چون پیش‌بینی وضعیت اقلیم مشکل می‌باشد، راه جایگزین، مشخص کردن وضعیت‌های ممکن آینده است که نمایشنامه‌های اقلیمی نامیده می‌شوند. اما باید توجه داشت که نمایشنامه‌ی اقلیمی، یک پیش‌بینی کننده‌ی آب و هوا نیست (هیئت بین الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷).

## جدول ۲- مشخصات شبیه‌سازهای اقلیمی مورد استفاده در این تحقیق.

| نام شبیه ساز | گروه مؤنسس   | نمایشنامه‌های انتشار | تفکیک جوی (درجه‌ی طولی و عرضی) | تفکیک اقیانوسی (درجه‌ی طولی و عرضی) |
|--------------|--|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| HADCM3       | HCCPR (UK)   | A2, A1B, B1          | ۲/۷۵*۲/۷۵                      | ۱/۲۵*۱/۲۵                           |
| GGDL-CM2     | Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA                      | A2, A1B, B1          | ۲/۵*۲                          | ۱*۱                                 |
| BCM2         | BCCR( Bergen, Norway)  | A2, A1B, B1          | ۱/۹*۱/۹                        | ۱/۹*۱/۹                             |
| CNRM-CM3     | Centre National Recherches Meteorologiques, Meteo France, France | A2, A1B, B1          | ۱/۹*۱/۹                        | ۲*۰/۵ (در استوا)<br>۲*۲ (در قطب)    |

هر ماه،  $\bar{T}_{GCM,fut,i}$  میانگین ۲۳ ساله‌ی دمای شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه‌سازهای گردش عمومی جو در دوره‌ی آتی برای هر ماه (در اینجا ۲۰۱۰-۱۹۸۸)،  $\bar{T}_{GCM,base,i}$  میانگین ۲۳ ساله‌ی دمای شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه‌سازهای گردش عمومی جو در دوره‌ی مشابه با دوره‌ی مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۸۸ برای هر ماه می‌باشد. برای بارندگی نیز مطابق رابطه‌ی (۲) موارد ذکر شده برقرار است.

## ۲-۲ - کوچک مقیاس‌نمایی

به منظور کوچک مقیاس‌نمایی مکانی داده‌های منطقه - مورد مطالعه، متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه‌سازهای گردش عمومی جو از سلولی استخراج می‌شود که منطقه‌ی مورد مطالعه در آن قرار می‌گیرد. به منظور کوچک مقیاس‌نمایی زمانی داده‌ها از روش آماری تولید آب و هوا استفاده شده است، که این کار با کاربرد نرم افزار ریزمقیاس‌نمایی LARS- WG انجام شده است. در این پژوهش، بعد از استخراج داده‌های موجود از پایگاه شبکه‌ی تغییر اقلیم کانادا نمایشنامه‌های اقلیمی برای دوره‌های آتی در پرونده‌ای مجزا تهیه و با فراخوانی به شبیه‌ساز LARS- WG پس از تجزیه و تحلیل داده‌های ایستگاهی به وسیله‌ی خود شبیه‌ساز اقدام به تولید داده‌های اقلیمی مورد نظر برای دوره‌های آتی گردید.

به‌طور کلی، فرایند پیش‌بینی داده‌ها در زمان آینده به وسیله - ی این شبیه‌ساز طی چهار مرحله انجام می‌گیرد:

۱- تحلیل داده‌های پایه: تجزیه و تحلیل ویژگیهای آماری داده‌های مشاهداتی به منظور تعیین ویژگیهای آماری داده - ها.

۲- تولید اولیه‌ی داده: داده، به صورت مصنوعی به وسیله‌ی شبیه‌ساز در دوره‌ی پایه تعیین، و خصوصیات آماری داده - های مصنوعی تولید می‌شود.

۳- مقایسه‌ی آماری: تطبیق و مقایسه‌ی ویژگیهای آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های مصنوعی تولیدشده.

۴- تولید داده‌های روزانه در آینده: استفاده از ویژگیهای آماری داده‌های پایه و نمایشنامه‌های انتشار گازهای گلخانه - ای، و خروجی شبیه‌سازهای گردش عمومی در تولید گروه

(توسعه یافته در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس، که قدرت تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی و هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی از مهمترین مزایای این شبیه ساز محسوب می‌شود)، CNRM-CM3 (توسعه یافته به وسیله‌ی مرکز ملی مطالعات جوی فرانسه که در دو مؤلفه‌ی جوی و اقیانوسی طراحی شده) و GFDL-CM2 (توسعه یافته در آزمایشگاه پویایی سیالات ژئوفیزیک آمریکا) تحت نمایشنامه - های انتشار A2 و B1 استفاده شده است، که تفاوت شبیه - سازهای مذکور در قدرت تفکیک مکانی (اقیانوسی و جوی) آنها مطابق جدول (۲) می‌باشد. نمایشنامه‌ی انتشار A2 حاکی از انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای به دلیل تاکید بر رسوم خانوادگی، رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی می‌باشد، در حالی که نمایشنامه‌ی انتشار B1 تاکید بر استفاده از کارمایه‌های پاک جهت دستیابی به راه‌حل‌های جهانی در مورد مسائل زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی (این نمایشنامه مزایای نمایشنامه‌ی A1 را در کنار توسعه‌ی پایدار در نظر می‌گیرد) دارد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). جدول (۲) مشخصات شبیه‌سازهای اقلیمی مورد استفاده را در این تحقیق نشان می‌دهد.

## ۲-۱ - تولید نمایشنامه‌های تغییر اقلیم

با توجه به بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی شبیه‌سازهای گردش عمومی جو (جدول ۲)، و حذف اغتشاش در شبیه‌سازی نوسان‌های اقلیمی، معمولاً به جای استفاده مستقیم از داده‌های نمایشنامه‌های اقلیمی در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره‌ای دراز مدت این شبیه‌سازها استفاده می‌شود (جونز و هالمی، ۱۹۹۶).

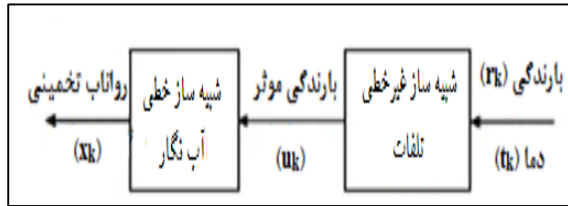
در این پژوهش، نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم در هر شبیه‌ساز برای دما و بارندگی به ترتیب با کاربرد روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌گردد:

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{GCM,fut,i} - \bar{T}_{GCM,base,i}) \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \left( \frac{\bar{P}_{GCM,fut,i}}{\bar{P}_{GCM,base,i}} \right) \quad (2)$$

در روابط فوق به ترتیب  $\Delta T_i$  بیانگر نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم مربوط به دما برای میانگین درازمدت ۲۳ ساله برای

اول با مقداردهی اولیه به وسیله‌ی کاربر و سه فراسنج دیگر به وسیله‌ی شبیه‌ساز واسنجی می‌گردد که معیارهای کارایی متفاوتی جهت انتخاب ضرایب بهینه و توقف عملیات واسنجی وجود دارد (شکل ۲).



شکل ۲- شبیه‌سازی فرایند بارش- رواناب در شبیه‌ساز IHACRESS

### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- بررسی عملکرد شبیه‌سازهای اقلیمی AOGCM در شبیه‌سازی دما و بارندگی حوضه طی دوره‌های آتی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ و ۲۰۶۱-۲۰۳۹

به منظور بررسی وضعیت متغیرهای اقلیمی دما و بارش در حوضه‌ی مورد مطالعه، ابتدا گروه‌های زمانی دما و بارش دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۸۸ به صورت میانگین منطقه‌ای (متوسط بارندگی و دمای به دست آمده با استفاده از آمار ایستگاه‌های موجود در منطقه به وسیله‌ی چندضلعی‌های تیسن) استخراج گردید. در ادامه، گروه زمانی متغیرهای دما و بارندگی ماهانه شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه‌سازهای گردش عمومی جو در دوره‌های پایه و آتی (از پایگاه [www.cccsn.ec.gc.ca/?page=dd-gcm](http://www.cccsn.ec.gc.ca/?page=dd-gcm)) به صورت ماهانه از سلولی که منطقه‌ی مورد نظر در آن واقع است استخراج شده است. آن‌گاه میانگین ۲۳ ساله‌ی دما و بارش سلول مذکور با میانگین ۲۳ ساله‌ی دما و بارش در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۸) جهت تولید پرونده‌ی نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم به منظور فراخوانی به نرم افزار LARS-WG مورد استفاده قرار گرفت.

جهت ریزمقیاس‌نمایی و تولید داده‌های اقلیمی طی دوره‌های آتی با کاربرد نرم افزار LARS-WG، ابتدا داده‌های روزانه بارندگی، دماهای حداقل و حداکثر میانگین‌گیری شده دوره‌ی پایه به نرم افزار معرفی گردید. آن‌گاه با توجه به خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی (استخراج شده به

های زمانی روزانه منتقل شده به آینده با همان خصوصیات آماری داده‌های پایه (صلاحی و همکاران، ۲۰۱۴).

#### ۳-۲- وزن‌دهی شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی

شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی را می‌توان براساس مقدار انحراف میانگین دما و بارش شبیه‌سازی شده در دوره‌ی پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی، از نظر ایجاد بحرانی‌ترین شرایط اقلیمی وزن دهی نمود. در این تحقیق، جهت وزن‌دهی شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی از روش وزن‌دهی ایجاد شده به وسیله‌ی مساح بوانی و مرید (۲۰۰۶) استفاده گردیده است، که میانگین مشاهداتی دما و بارش نام داشته و به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$R_i = \frac{1}{\frac{B_{X,i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{B_{X,i}}}} \quad (3)$$

در رابطه‌ی فوق  $B_{X,i}$  انحراف میانگین دما یا بارش شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی در دوره‌ی پایه از داده‌های مشاهداتی در ماه  $x$ ،  $N$  تعداد شبیه‌سازهای اقلیمی و  $R_i$  وزن داده شده به هر یک از شبیه‌سازها می‌باشد.

#### ۳-۲-۴- شبیه‌سازی بارش رواناب با استفاده از شبیه‌ساز IHACRESS

در این مطالعه، به منظور جستجوی اثرات تغییر اقلیم آینده بر جریان ورودی به آبیگر سد درودزن شبیه‌ساز بارش- رواناب IHACRES به کار گرفته شده است. این شبیه‌ساز به وسیله‌ی جکمن و هورنبرگر در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است که بر اساس بارش مازاد می‌باشد. مبنای این روش شبیه‌ساز غیرخطی تلفات و شبیه‌ساز خطی آب‌نگار واحد است. به این منظور، ابتدا بارندگی و دما در هر گام زمانی با کاربرد شبیه‌ساز غیرخطی به بارندگی موثر تبدیل، و آن‌گاه به وسیله‌ی شبیه‌ساز خطی آب‌نگار واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل شده است (آشفته، ۲۰۰۸). فراسنج‌های این شبیه‌ساز جهت واسنجی عبارتند از سرعت خشک شدن خاک در دمای مرجع ( $t_w$ )، وابستگی دمایی سرعت خشک شدن خاک ( $f$ )، دمای مرجع ( $t_{ref}$ )، آستانه‌ی رطوبتی خاک برای تولید جریان ( $I$ ) و توان رطوبتی خاک ( $P$ ) می‌باشد. دو فراسنج

در کاهش بارندگی به وسیله شبیه‌سازهای GFDL-CM2 و CNRM-CM2 تحت نمایشنامه‌ی B1 پیش‌بینی شده است. به طور کلی، متوسط تغییرات ماهانه‌ی بارندگی طی دوره‌ی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ در ترکیب شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی، و دو نمایشنامه‌ی انتشار A2 و B1، ۳/۵- تا ۱۸۲+ درصد نسبت به مقدار مشاهده‌ای می‌باشد، درحالی‌که تغییرات متوسط بارندگی ماهانه طی دوره‌ی ۲۰۶۱-۲۰۳۹ بین ۲۰/۷- تا ۱۲۳+ درصد نسبت به دوره‌ی مشاهداتی پیش‌بینی می‌شود. تغییرات نامنظم افزایشی و کاهش‌ی در پیش‌بینی دما و بارندگی با کاربرد شبیه‌سازهای اقلیمی مختلف ناشی از عوامل متعددی، از جمله خصوصیات ذاتی شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی، دخیل نمودن فراسنج‌های هواشناسی مختلف، تفکیک‌های مکانی (اقیانوسی و جوی) و زمانی متفاوت این شبیه‌سازها دانست.

### ۳-۲- نتایج حاصل از شبیه‌سازی بارش- رواناب دوره های آتی با استفاده از شبیه ساز IHACRESS

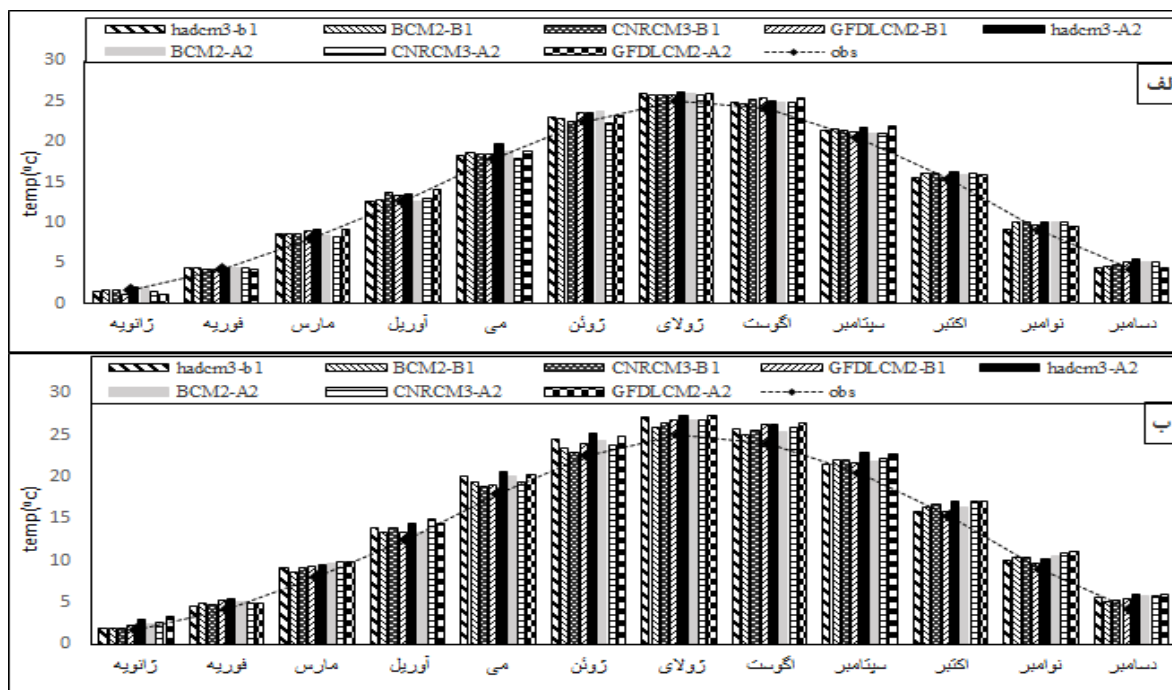
در این تحقیق، به منظور بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به آبرگیر سد درودزن، از شبیه‌ساز بارش- رواناب IHACRESS استفاده گردید. این نرم افزار جهت شبیه‌سازی بارش- رواناب در گام زمانی روزانه نیازمند داده‌های روزانه متوسط دما، بارندگی و رواناب می‌باشد. در ابتدا حدود ۷۰ درصد داده‌های مشاهداتی مربوط به دوره‌ی زمانی ۲۰۰۳-۱۹۸۸ جهت واسنجی شبیه‌ساز استفاده شده است. پس از کسب مقادیر بهینه جهت فراسنج‌های شبیه‌ساز، شبیه‌ساز با ۳۰ درصد باقیمانده‌ی اطلاعات مربوط به دوره‌ی ۲۰۱۰-۲۰۰۴ مورد ارزیابی قرار گرفت.

در بهینه‌ترین حالت، میزان  $R^2$  در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی شبیه‌ساز به ترتیب برابر با ۰/۶۸۴ و ۰/۶۳۵ حاصل شده است، که کارایی قابل قبول این شبیه‌ساز را در شبیه‌سازی فرایند بارش- رواناب در مقیاس روزانه نشان می‌دهد. همچنین، میزان جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و متوسط قدرمطلق خطای نسبی (MARE) به ترتیب برابر با ۲۷/۱۷ و ۳/۴۴ در مرحله‌ی واسنجی و ۱۷/۸۴ و ۱/۲ در مرحله‌ی صحت‌سنجی حاصل گردیده‌اند. نتایج حاصل از

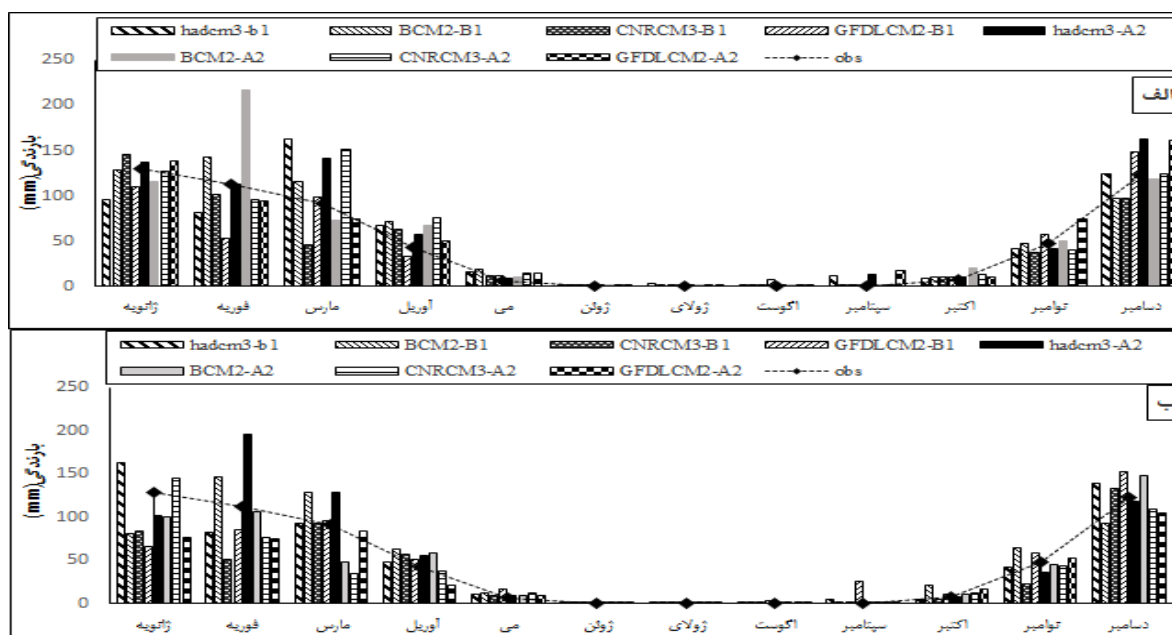
وسیله‌ی نرم افزار (LARS-WG)، و با توجه به نمایشنامه‌ی اقلیمی ساخته شده برای هر کدام از شبیه‌سازهای اقلیمی استفاده گردیده تحت هر دو نمایشنامه‌ی انتشار A2 و B1 در دوره‌های آتی، فراسنج‌های اقلیمی دمای حداکثر، دمای حداقل و بارندگی روزانه برای دوره‌های آتی تولید شدند. مطابق شکل (الف-۳) ملاحظه می‌شود که تمامی شبیه‌سازها تحت هر دو نمایشنامه‌ی انتشار، افزایش دما را برای دوره‌ی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ نسبت به دوره‌ی پایه نشان می‌دهند. چنان که انتظار می‌رود، میانگین دمای حوضه بین ۰/۰۸ تا ۰/۹۳ درجه‌ی سانتیگراد تحت نمایشنامه‌ی انتشار B1، و بین ۰/۰۳ تا ۱/۱۱ درجه‌ی سانتیگراد تحت نمایشنامه‌ی انتشار A2 در دوره‌ی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ نسبت به دوره‌ی پایه افزایش می‌یابد. همچنین، با توجه به شکل (ب-۳) برای دوره‌ی آتی ۲۰۶۱-۲۰۳۹ تمامی شبیه‌سازها به خصوص HADCM3-A2 و B1-GFDL-CM2 افزایش دما را در این دوره نسبت به دوره‌ی پایه نشان می‌دهند. چنان‌که میانگین افزایش دمای دوره‌ی ۲۰۶۱-۲۰۳۹ برای این شبیه‌سازها تحت نمایشنامه‌ی انتشار A2 و B1 به ترتیب بین ۰/۲۲ تا ۱/۶۲ و ۰/۷۷ تا ۲/۲۴ خواهد بود. به‌طورکلی میانگین تغییرات ماهانه دما در ترکیب ۴ شبیه‌ساز اقلیمی و دو نمایشنامه‌ی انتشار بین ۰/۱۳- تا ۰/۹۶+ درجه‌ی سانتیگراد برای دوره‌ی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ و ۰/۷۲+ تا ۱/۸۵+ درجه‌ی سانتیگراد برای دوره‌ی ۲۰۶۱-۲۰۳۹ پیش‌بینی شده است.

بر خلاف نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم دما، نمایشنامه‌ی تغییر اقلیم بارش برای شبیه‌سازهای مذکور از الگوی منظمی تبعیت نکرده، و برخی شبیه‌سازها افزایش و بعضی دیگر کاهش را در میزان بارش ماهانه نشان داده‌اند (شکل ۴). به طوری‌که مطابق شکل (الف-۴) طی دوره‌ی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ بیشترین افزایش بارندگی با کاربرد شبیه‌ساز BCM2 تحت نمایشنامه‌ی A2، و کمترین کاهش در میزان بارندگی میانگین ماهانه با کاربرد شبیه‌ساز GFDL-CM2 تحت نمایشنامه‌ی انتشار B1 حاصل گردیده است. درحالی‌که مطابق شکل (ب-۴)، طی دوره‌ی ۲۰۶۱-۲۰۳۹، بیشترین میزان افزایش بارندگی نسبت به دوره‌ی پایه توسط شبیه‌ساز HADCM3 تحت نمایشنامه A2 در فوریه، و بیشترین میزان





شکل ۳- متوسط ماهانه‌ی دمای پیش‌بینی شده به وسیله‌ی شبیه‌سازهای اقلیمی و نمایشنامه‌های انتشار A2 و B1 برای الف) دوره‌ی ۲۰۱۶-۲۰۳۸ (ب) دوره‌ی ۲۰۰۹-۲۰۳۹ در مقایسه با دوره‌ی ۱۹۸۸-۲۰۱۰.

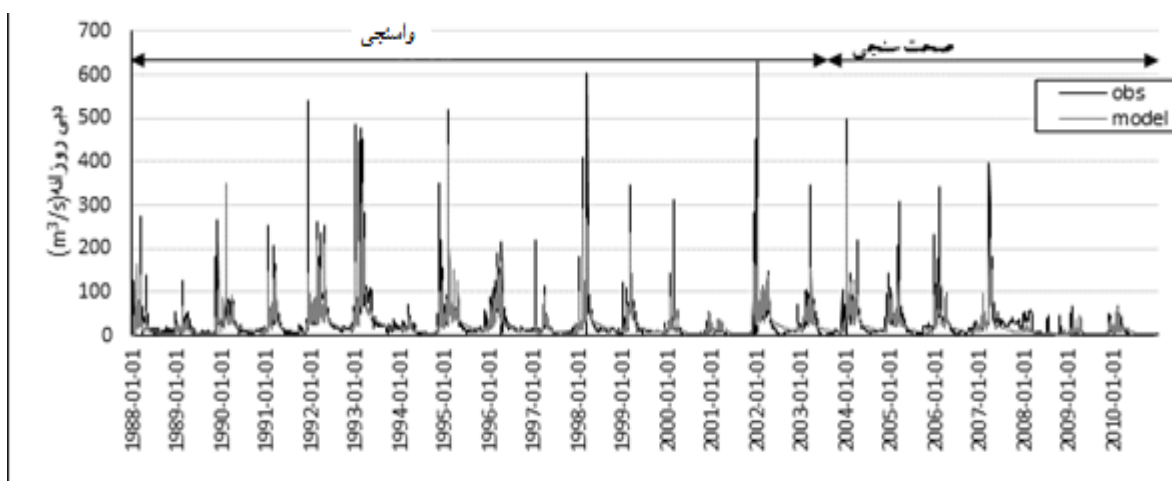


شکل ۴- متوسط ماهانه‌ی بارندگی پیش‌بینی شده به وسیله‌ی شبیه‌سازهای اقلیمی تحت نمایشنامه‌های انتشار A2 و B1 برای الف) دوره‌ی ۲۰۱۶-۲۰۳۸ (ب) دوره‌ی ۲۰۰۹-۲۰۳۹ در مقایسه با دوره‌ی ۱۹۸۸-۲۰۱۰.

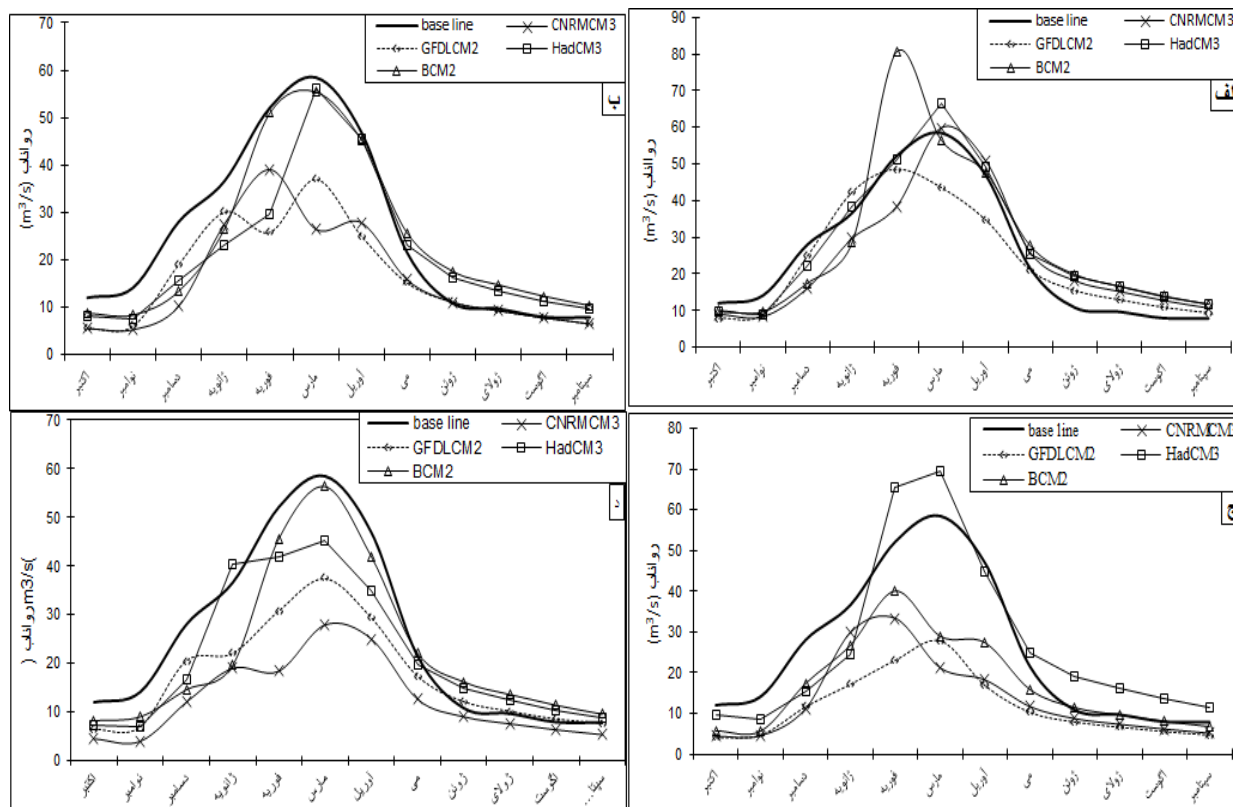
ماهانه را کمتر از میانگین مشاهده‌ای پیش‌بینی کرده‌اند (۶-ب). همچنین، برای دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۶۱، مطابق شکل (۶-ج)، اکثر شبیه‌سازها به استثنای شبیه‌ساز HADCM3 تحت نمایشنامه‌ی انتشار A2 میزان رواناب ماهانه را کمتر از مقدار میانگین ماهانه پیش‌بینی کرده‌اند. چنان‌که در شکل (۶-د) تمامی شبیه‌سازها تحت نمایشنامه‌ی انتشار B1 پیش‌بینی رواناب ورودی به آبرگیر سد در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۶۱ کمتر از دوره‌ی مشاهداتی می‌باشد.

همان‌طور که دیده می‌شود، رواناب پیش‌بینی گردیده با کاربرد نمایشنامه‌های مختلف اقلیمی دارای تغییرات افزایشی و کاهش‌ی نامنظمی می‌باشند، که خود ناشی از وجود چنین تغییراتی در شبیه‌سازی فراسنج‌های اقلیمی مورد نیاز (نشان داده شده در گام قبل) جهت شبیه‌سازی فرایند بارش- رواناب است. همچنین، در شکل (۷) نمودار جعبه‌ای مربوط به تغییرات متوسط رواناب ماهانه‌ی پیش‌بینی شده دوره‌های آبی با کاربرد شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی نسبت به متوسط رواناب ماهانه‌ی مشاهده‌ای در دوره‌ی پایه نشان داده شده است.

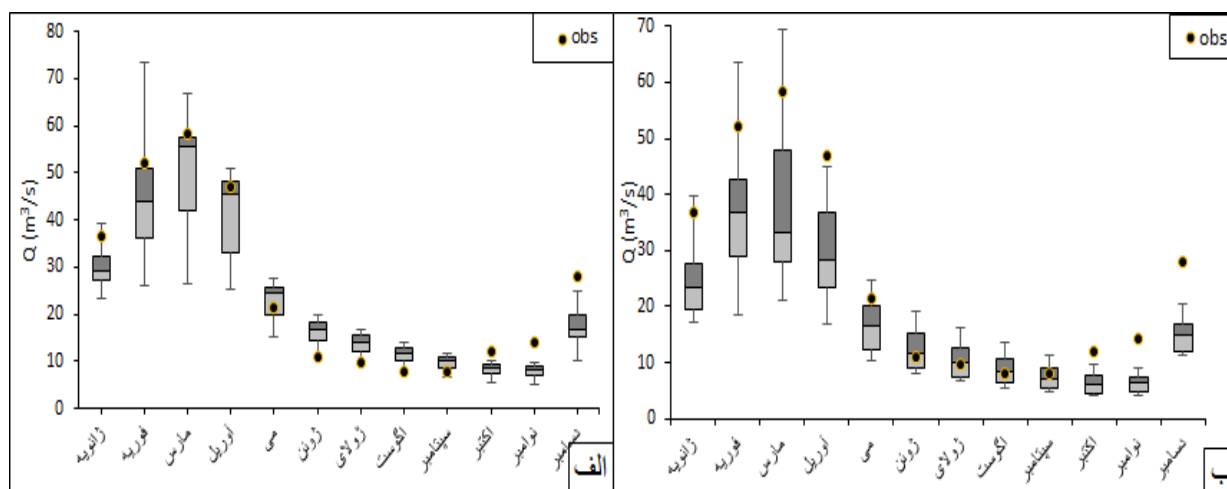
واسنجی و صحت‌سنجی شبیه‌ساز در شکل (۵) ارائه شده‌اند. این شبیه‌ساز دارای ۶ پارامتر می‌باشد که سه فراسنج مربوط به شبیه‌ساز تلفات غیرخطی و سه فراسنج دیگر مربوط به شبیه‌ساز خطی تبدیل بارش به رواناب می‌باشد. با استفاده از مقادیر بهینه شده‌ی فراسنج‌های شبیه‌ساز در مرحله واسنجی، و با استفاده از داده‌های بارش و دمای روزانه‌ی تولید شده با کاربرد شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی تحت نمایشنامه‌های انتشار A2 و B1، میزان رواناب روزانه در دوره‌های آبی شبیه‌سازی گردید. میانگین طولانی مدت رواناب ماهانه‌ی ورودی به آبرگیر سد درودزن با کاربرد شبیه‌سازهای اقلیمی مورد استفاده تحت دو نمایشنامه‌ی انتشار طی دوره‌های آبی نسبت به دوره‌ی پایه در شکل (۶) ارائه شده است. مطابق شکل (۶-الف)، برای دوره‌ی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ تمام شبیه‌سازهای اقلیمی به استثنای شبیه‌ساز GFDL-CM2 مورد استفاده تحت نمایشنامه‌ی انتشار A2، میزان رواناب متوسط ماهانه را بزرگتر یا مساوی رواناب دوره‌ی مشاهده‌ای پیش‌بینی نموده‌اند، در حالی‌که برای همین دوره، شبیه‌سازهای HADCM3، GFDL-CM2 و CNRM-CM2 تحت نمایشنامه‌ی انتشار B1 میزان رواناب میانگین



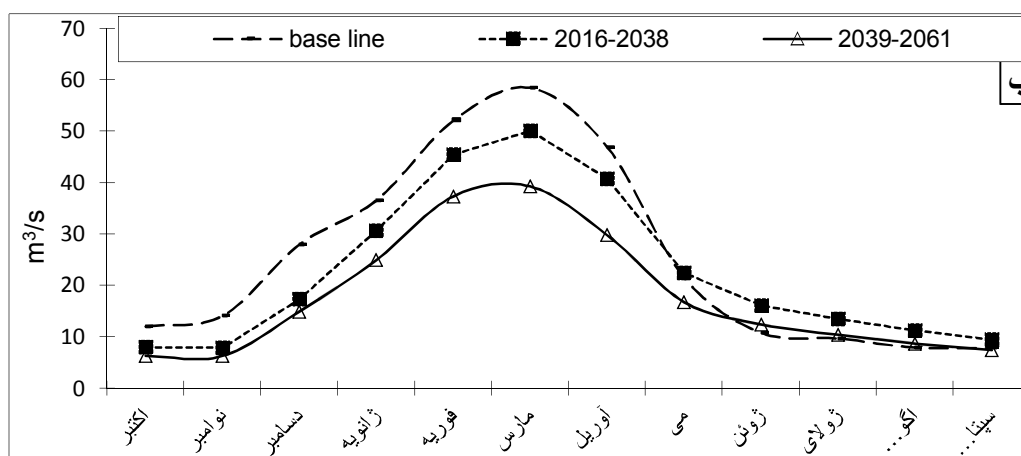
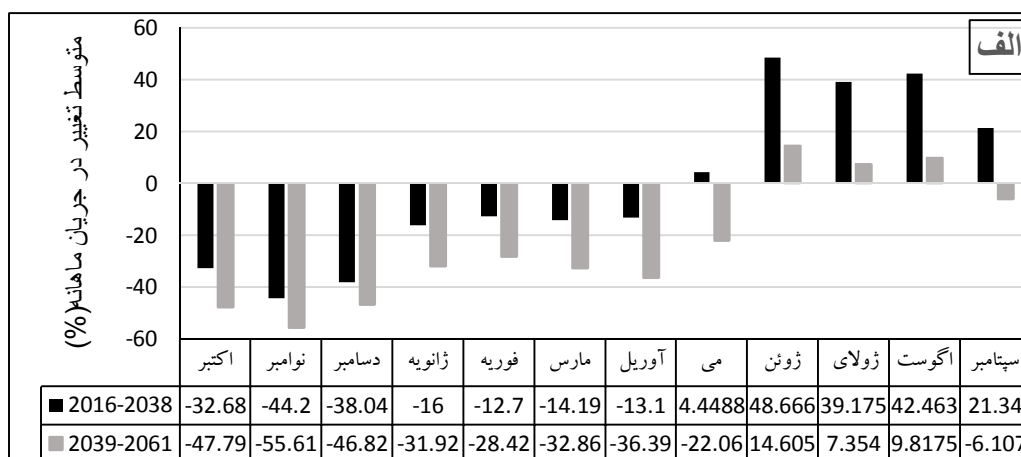
شکل ۵- مقایسه‌ی رواناب مشاهداتی با رواناب شبیه‌سازی شده به وسیله‌ی شبیه‌ساز IHACRESS در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی.



شکل ۶- مقایسه‌ی میانگین ماهانه‌ی رواناب ورودی به آبرگیر سد درودزن طی دوره‌ی ۲۰۱۶-۲۰۳۸ تحت نمایشنامه‌ی انتشار (الف) A2 و (ب) B1 و طی دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۶۱ تحت نمایشنامه‌ی انتشار (ج) A2 و (د) B1 نسبت به دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۸۸.



شکل ۷- نمودار جعبه‌ای تغییرات متوسط رواناب ماهانه‌ی پیش بینی شده با کاربرد شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی طی دوره‌ی (الف) ۲۰۱۶-۲۰۳۸ و (ب) ۲۰۳۹-۲۰۶۱.



شکل ۸ - مقایسه‌ی الف) میزان و درصد تغییرات (ب) متوسط ماهانه‌ی رواناب شبیه‌سازی شده دوره‌های آتی براساس میانگین ترکیبات شبیه‌سازی‌های مختلف اقلیمی و نمایشنامه‌های انتشار A2 و B1 نسبت به دوره‌ی پایه.

سرد سال دارای روندی کاهشی، و در فصول گرم دارای روندی تقریباً افزایشی می‌باشد.

با توجه به اینکه شبیه‌سازی‌های مختلف اقلیمی در شبیه‌سازی رواناب دوره‌های آتی تفاوت‌های آشکاری را با هم دارند، یا به عبارت دیگر در ارائه‌ی رواناب دوره‌های آتی با عدم قطعیت زیادی همراهند، متوسط رواناب شبیه‌سازی شده حاصل از ترکیب شبیه‌سازی‌های مختلف اقلیمی تحت نمایشنامه‌های انتشار A2 و B1 مبنای برآورد جریان ورودی به آبگیر سد درودزن در دوره‌های آتی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، میزان و درصد تغییرات (افزایش یا کاهش) متوسط ماهانه‌ی رواناب ورودی به آبگیر سد طی دوره‌های آتی نسبت به مقادیر متناظر طی دوره‌ی مشاهداتی به ترتیب

مطابق شکل (۷) متوسط ماهانه‌ی رواناب پیش‌بینی شده با کاربرد شبیه‌سازی‌های اقلیمی مورد استفاده تحت دو نمایشنامه‌ی انتشار مذکور در تمامی ماه‌ها به استثنای می، ژوئن، ژولای، اگوست و سپتامبر دارای روندی کاهشی نسبت به متوسط ماهانه دوره‌ی مشاهده‌ای می‌باشد که شدت این کاهش برای دوره‌ی ۲۰۶۱-۲۰۳۸ بیشتر از دوره‌ی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ است، درحالی‌که در ماه‌های مذکور، میانه‌ی پیش‌بینی‌های انجام شده با کاربرد شبیه‌سازی‌های اقلیمی مورد استفاده طی دوره ۲۰۳۸-۲۰۶۱ منطبق بر متوسط مشاهده‌ای در دوره‌ی پایه می‌باشد. نهایتاً، نتیجه گرفته شده است که متوسط رواناب ماهانه‌ی پیش‌بینی شده با کاربرد شبیه‌سازی‌های اقلیمی مورد استفاده طی دوره‌های آتی در فصول

وزن را برای متغیر بارش و دما به خود اختصاص داده‌اند، بنابراین، می‌توانند بیشترین تاثیر را بر بارش و دمای، و در نتیجه رواناب تولیدی در منطقه‌ی طرح داشته باشند. در نهایت، توصیه می‌شود که از پیش‌بینی‌های این دو شبیه‌ساز تحت نمایشنامه‌ی انتشار A۲، که یک نمایشنامه برای ارائه‌ی شرایط بحرانی می‌باشد در جهت برنامه‌ریزی‌های آینده در منطقه طرح استفاده گردد.

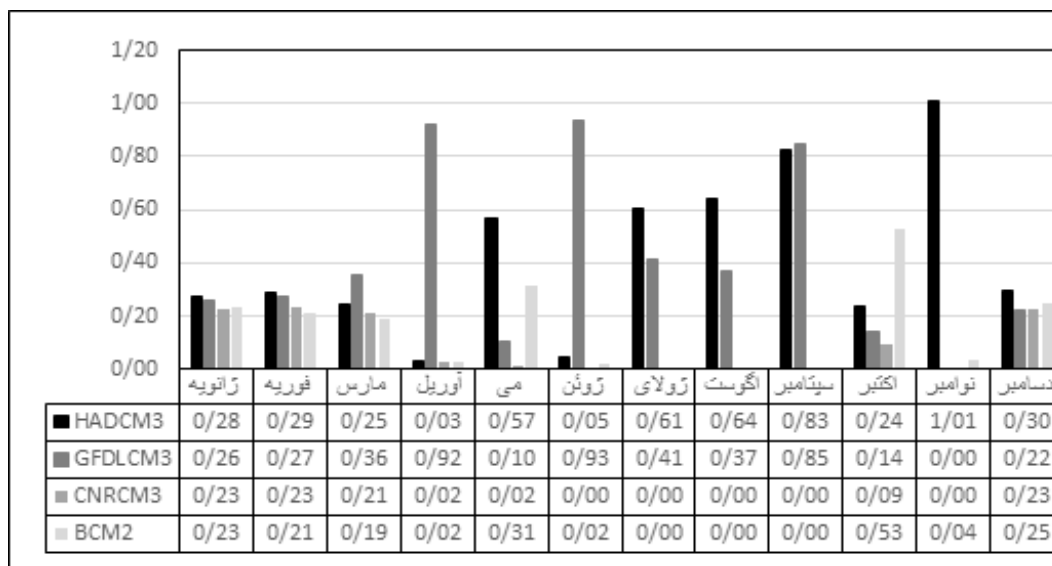
### نتیجه گیری

در این تحقیق نتیجه گرفته شده است که تغییر اقلیم به طور کلی باعث افزایش دما و کاهش بارندگی در دوره‌های آتی خواهد شد. علاوه بر این، براساس نتایج شبیه‌سازهای اقلیمی مختلف، میزان رواناب دوره‌های آتی نسبت به دوره‌ی پایه نیز کاهش خواهد یافت، به طوری که بر اساس متوسط کلی تمام نمایشنامه‌های اقلیمی، و با توجه به میزان متوسط ماهانه‌ی رواناب حاصله طی دوره‌های آتی می‌توان پیش‌بینی نمود که متوسط حجم رواناب سالانه‌ی ورودی به آبگیر سد درودزن طی دوره‌های ۲۰۱۶-۲۰۳۸ و ۲۰۳۹-۲۰۶۱ نسبت به دوره‌ی پایه به ترتیب به میزان ۸/۴ و ۲۸/۱۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین، بیشترین میزان کاهش در متوسط حجم رواناب ماهانه‌ی حوضه ۴۲/۳۴ درصد طی دوره‌ی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ و ۵۴/۱۳ درصد طی دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۶۱ در نوامبر پیش‌بینی شده است.

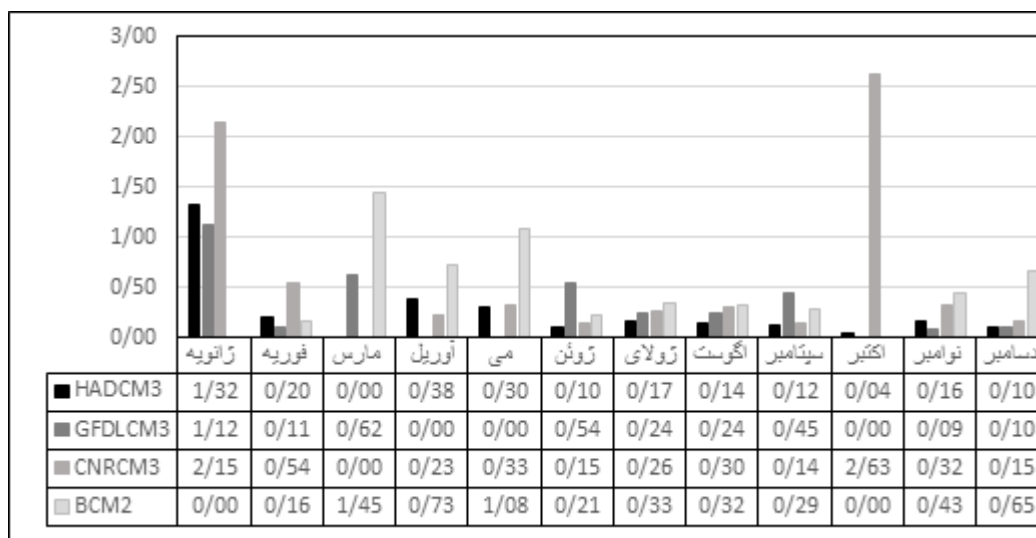
در شکل‌های (الف-۸) و (ب-۸) نشان داده شده‌اند. مطابق این شکل‌ها، به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که طی دوره‌های آتی میزان متوسط رواناب ماهانه نسبت به دوره‌ی مشاهده‌ای در ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، اکتبر، نوامبر و دسامبر کاهش می‌یابد، در حالی که در بقیه‌ی ماه‌ها افزایش میزان رواناب نسبت به دوره‌ی پایه مشاهده می‌شود. البته، شدت افزایش یا کاهش میزان رواناب ورودی به آبگیر سد نسبت به دوره‌ی پایه طی دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۶۱ نسبت به دوره‌ی ۲۰۱۶-۲۰۳۸ شدیدتر است. بیشترین میزان کاهش رواناب مربوط به نوامبر به ترتیب برابر با ۴۴/۲ و ۵۵/۶ درصد طی دو دوره می‌باشد. بیشترین میزان افزایش مربوط به ژوئن به میزان ۴۸/۶۸ درصد برای دوره‌ی ۲۰۳۸-۲۰۱۶ و ۱۴/۶ درصد برای دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۶۱ می‌باشد.

### ۳-۳- نتایج حاصل از وزن‌دهی شبیه‌سازهای اقلیمی

در این تحقیق، براساس انحراف مقادیر میانگین دما و بارش شبیه‌سازی شده شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی با داده‌های مشاهداتی در دوره‌ی پایه، میزان وزن نسبی هر یک از شبیه‌سازها تعیین گردید. میزان وزن نسبی هر یک از شبیه‌سازها برای دو فراسنج دما و بارش در شکل‌های (۹) و (۱۰) نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که دو شبیه‌ساز HADCM3 و GFDL-CM2 بیشترین



شکل ۹- وزن‌دهی به شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی برای متغیر بارش.



شکل ۱۰- وزن‌دهی به شبیه‌سازهای مختلف اقلیمی برای متغیر دما.

- 5) Booij, M. J., Huisjes, and M., Hoekstra, A. Y. 2006. Uncertainty in Climate Change Impacts on Low Flows. IAHS-AISH Publ. 308:401-
- 6) Farajzadeh, M. 2013. Analysis of the Effects of Climate Change on River Pollution Case Study: Sheshpar River. Geography and Environmental Planning 49: 17-36 (In Persian).
- 7) Faresab Sanat, Consulting Engineers. 2008. Updating studies on the water resources of the Tashk - Bakhtegan and Maharlou lakes watersheds: first volume of statistics and preliminary studies. M 2-001-71-RPT-WR-10034. Fars Regional Water Authority (In Persian).
- 8) Emadi, A. and Khademi, M. 2012. Rule curve of the Doroodzan Reservoir Dam using a yield model. Soil and Water, 25: 1058-1068. (In Farsi)
- 9) Frederick, K.D., Major, D.C. 1997. Climate change and water resources. Climatic Change 37: 7e23.
- 10) Ghasemi, E., Fattahi, E., and Babaie, O. 2013. Impact of Climate Change on Feature Runoff Approach to Uncertainty of AOGCMs. Arid Regions Geographic Studies 13:37-53(In Persian).
- 11) Hosseini, S. H., 2012. Evaluation of the effects of climate change on river flow and pond performance (Case study: Alavian Dam Basin). Master's thesis, Irrigation Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University (In Persian).
- 12) IPCC, 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.
- 13) Jakeman, A.J., and Hornberger, G.M. 1993. How Much Complexity Is Warranted in a Rainfall-

## تقدیر و تشکر

در انتهای این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را از کارشناسان مطالعات آب های سطحی شرکت سهامی آب منطقه ای فارس به خاطر در اختیار قراردادن آمار و اطلاعات دارم. همچنین سپاسگزاری می‌کنم از اساتید محترم راهنما و مشاور که در هدایت این تحقیق راهنمایی های لازم را ارائه نمودند.

## منابع

- 1) Ashofteh, P. S., and Massah, A. R. 2012. Investigation of AOGCM Model Uncertainty and Emission Scenarios of Greenhouse Gases Impact on the Basin Runoff under Climate Change, Case study Gharanghu Basin, East Azerbaijan. Journal of Water Resources Research 8: 36-47 (In Persian).
- 2) Ashofthe, P. S., and Bozorg Haddad, O. 2014. A New Probabilistic Approach for Evaluation of the Effects of Climate Change on Water Resources. Journal of Water Resources Engineering 19: 51-66(In Persian).
- 3) Ashofthe, P. S. 2008. An Analysis of the Uncertainty of Climate Change Effects on the Flood Regime with the Bayesian Approach; Case Study: Aydoghmoos Basin, East Azarbaijan. Master thesis, Department of Irrigation and Drainage, University of Tehran (In Persian).
- 4) Azari, M., Moradi, H.R., Saghafian, B., and Faramarzi, M. 2013. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gorganroud River Basin. J. Water Soil 27:537-547 (In Persian).

Runoff Model? *Water Resources Research* 8: 2637-2649.

14) Jones, P.D., and Hulme, M. 1996. Calculating regional climatic times series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International Journal of Climatology*. 16: 361-377.

15) Levi, D., Brekke, Norman, L., Miller, Kathy, E. Bashford, Nigel W.T. Quinn, and John A. Dracup. 2004. Climate change impacts uncertainty for water resources in the San Joaquin river basin, California. *Journal of the American Water Resources Association*. low flow scenarios for the River Thames, UK,” *Water Resources Research*. 2: 1-10.

16) Massah Bavani, A. R, and Morid, S. 2006. Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh Rud Basin in Isfahan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 4: 17-28 (In Persian).

17) Middelkoop, H., Daamen, K., Gellens, D., Grabs, W., Kwadijk, J.C.J., Lang, and H., Parmet, B.W.A.H., Schadler, B., Schulla, J., Wilke, K. 2001. Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine Basin. *Climatic Change* 49 (1e2):105e128.

18) Milano, M., Ruelland, D., Dezetter, A., Fabre, J., Ardoin-Bardin, S., and Servat, E. 2013. Modeling the current and future capacity of water resources to meet water demands in the Ebro basin. *Journal of Hydrology* 500:114-126.

19) Miller, P., Piechota, T. C., Gangopadhyay, S., And Pruitt, D. 2011. Development of streamflow projections under changing climate conditions over Colorado River basin headwaters. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15: 2145-2164.

20) Salahi, B., Fatemina, F. S and Hosseini, S. M. 2014. Estimation of future climate change in Isfahan Province using 2 BCM and 3 HADCM simulators in LARS-WG. *Geographical Studies of Arid Regions*. 16: 55-71 (In Persian).

21) Teutschbein, C., and Seibert, j. 2012. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *J Hydrol* 456–457, 12–29, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.05.052.

22) Wilby, R.L., and Harris, I. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research* 2: 1-10.