

مقاله پژوهشی:

اثر تغییر اقلیم بر آبدهی سه قنات شاخص شهرستان خوسف

فرزانه گویا^۱، حسین خزیمه نژاد^{۲*}، مصطفی یعقوب زاده^۳، مهدی امیرآبادی زاده^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۴- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

* نویسنده مسئول: Hkhozeymeh@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

چکیده

تغییر در دما و بارندگی اثرات زیادی بر کمیت و کیفیت منابع آب به خصوص مناطق خشک مانند ایران دارد. در این پژوهش به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دبی قنات‌های شاخص شهرستان خوسف شامل سه قنات گیو، ماژان و وحدآباد پرداخته شد. بدین منظور ابتدا دمای کمینه و بیشینه و بارش در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) با استفاده از مدل بزرگ مقیاس CANESM2 و دو سناریو انتشار RCP۵/۴ و RCP۵/۸ برآورد گردید. سپس این داده‌ها توسط دو مدل LARS-WG و SDSM ریزمقیاس شده و با هم مقایسه گردیدند. با استفاده از داده‌های بارش برای دوره آتی، دبی ۳ قنات مورد مطالعه برای دوره‌های آتی برآورد گردید. نتایج نشان داد، دمای کمینه و بیشینه در سناریوی RCP۸/۵ نسبت به RCP۴/۵ در نتایج هر دو روش ریزمقیاس و برای هر دو دوره آتی بیشتر است. متغیر بارش نیز دارای تغییرات اندکی برای دو سناریوی RCP۵/۸ و RCP۵/۴ در دوره آتی و دوره پایه خواهد بود. همچنین در مقایسه دو روش ریزمقیاس سازی، مدل LARS-WG تغییرات دما را نسبت به مدل SDSM بیشتر و تغییرات بارش را کمتر برآورد کرده است. نتایج حاصل از تغییرات دبی قنات‌ها در دوره آتی نیز نشان داد که در همه قنات‌ها، میانگین ماهانه دبی مربوط به دوره آتی نسبت به دوره پایه کمتر می‌باشد. همچنین سناریوی RCP۵/۴ نسبت به RCP۵/۸ در دو روش ریزمقیاس LARS-WG و SDSM، دبی بیشتری را تخمین زده است. با اطلاع از تغییرات دبی در آینده می‌توان راهکارهای مدیریتی برای مقابله با خشکسالی‌های احتمالی اتخاذ نمود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، LARS-WG، SDSM، قنات، دبی.

مقدمه

ولی در دیگر فصل‌های سال و نیمه دوم سال دارای روندی کاهشی می‌باشد (Ghorbani et al. 2016).

در پژوهشی به بررسی روند تغییرات بارش و دبی در غرب دریاچه ارومیه پرداخته شد. نتایج نشان داد بارش در بعضی از ایستگاه‌ها بدون روند و در بعضی دیگر دارای روند کاهشی است. اما دبی در بیشتر موارد دارای روند کاهشی معنی‌داری می‌باشد (Bahremand et al. 2013).

در پژوهشی به منظور ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دبی تحت سناریوهای RCP، دو مدل SWAT و SDSM با هم ادغام شده و دبی جریان را در حوضه رودخانه شین برآورد گردید؛ نتایج نشان داد که مدل کالیبره SWAT فرآیندهای هیدرولوژیکی آینده را در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه دقیق‌تر به تصویر می‌کشد. مدل‌های گردش عمومی جو بر مبنای مدل کالیبره SDSM نشان داد که دما به طور پیوسته در منطقه افزایش می‌یابد، اگرچه بارندگی در آینده پیچیده‌تر و نامعین می‌شود (Zhang et al. 2016).

در پژوهشی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در دلتای مکونگ تحت تأثیر سناریوهای RCP پرداخته شد، پژوهشگران با استفاده از مدل WETSPASS، دبی آب زیرزمینی و تغییرات ویژه آن را تخمین زده و سطح آب زیرزمینی و ذخیره بوسیله MODFLOW و شرایط اقلیمی آینده در منطقه را به وسیله داده‌های ریزمقیاس‌نمایی مدل گردش عمومی جو توسعه دادند که بر این اساس پیش‌بینی می‌شود دمای متوسط سالانه ۵/۱ درجه سانتیگراد و ۹/۴ درجه سانتیگراد در اواخر قرن ۲۱ به ترتیب تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 افزایش، بارندگی در آینده در فصل مرطوب افزایش و در فصل خشک کاهش و دبی جریان در کوتاه مدت و بلند مدت کاهش یابد. در نتیجه پیش‌بینی می‌شود که سطح آب زیرزمینی و ذخیره در آینده کاهش یابد (Shrestha et al. 2016).

در پژوهشی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب یک روش دو مرحله‌ای بر مبنای سیستم مدل‌سازی و مدل استنتاج هیدرولوژیکی بکار گرفته شد. پیش‌بینی دما و بارش آینده بر اساس سناریوهای A2 و B2 تغییر اقلیم صورت گرفت. نتایج نشان داد که حتی اگر کل بارش

گزارش‌های IPCC^۱ حاکی از آن است که به دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته در جو زمین، خروج امواج حرارتی (طول موج بلند) از زمین با موانع بیشتری روبه‌رو شده که افزایش دمای هوا را به دنبال داشته است. این افزایش به میزان ۳/۰ تا ۶/۰ درجه سانتی‌گراد در طول قرن گذشته بوده که در دهه‌های اخیر شتاب بیشتری یافته است. این در حالی است که اگر انتشار این گازها کاهش نیابد متوسط دمای سطحی کره زمین می‌تواند به میزان ۱ تا ۵/۳ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ افزایش یابد. طبق گزارش‌های IPCC، تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی در چند دهه اخیر در سطح جهان شده به گونه‌ای که احتمال مواجهه با رخداد‌های حداکثر اقلیمی مانند سیلاب افزایش یافته است. از آنجا که افزایش این احتمال برای دوره‌های آتی می‌تواند آثار زیانباری را برای جوامع بشری و همچنین اثراتی که می‌تواند روی منابع آب داشته باشد، در سال‌های اخیر این مهم برای حوضه‌های آبریز مختلف در سطح کره زمین مد نظر قرار گرفته است. شواهدی در دست است که نشان‌دهنده اثرات تغییر اقلیم بر روی پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌باشد که در قسمت ذیل به توضیح مختصری درباره آن‌ها پرداخته شده است. از آنجایی که پژوهش‌هایی در مورد اثرات تغییر اقلیم بر روی دبی قنات و یا سایر اجزای قنات صورت نگرفته است، لذا در این بحث به بررسی منابع مشابه با دبی قنات مانند دبی رواناب و تأثیر تغییر اقلیم بر آن پرداخته شده است.

در پژوهشی به منظور تشخیص روند تغییرات دبی ناشی از تغییر اقلیم، در حوضه آبریز گالیکش از حوضه‌های سیل-خیز در استان گلستان، دما و بارش برای دوره اقلیمی آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) براساس مدل HADCM3 و توسط LARS-WG تحت سناریوهای مختلف اقلیمی تولید و به عنوان ورودی به مدل واسنجی شده IHACRES وارد شد تا دبی برای دوره‌های اقلیمی آینده شبیه‌سازی شود. نتایج نشان داد تحت سناریوهای مختلف اقلیمی، دبی در فصل بهار و نیمه اول سال در سطح ۵ درصد بدون روند،

^۱ Intergovernmental Panel on Climate Change

آب قنات گیو شیرین و EC آن ۱۰۰۰ میلی‌موس است. آبدهی آن نیز حدود ۴۵ تا ۵۰ لیتر در ثانیه نیز تعیین شده است. یکی از مهم‌ترین عواملی که می‌توان به عنوان کاهش دبی آب قنات گیو برشمرد، خشکسالی‌های چند ساله می‌باشد. قرار داشتن مادرچاه در سفره آبریز دشت آهک که هیچ‌گونه قنات و یا منبع آبی جهت برداشت وجود ندارد و از طرفی با وجود سد خاکی سلم‌آباد و ورود آبهای فصلی روخانه‌های عیلمکی و شهرستانک به داخل سد در آبدهی پایه قنات گیو تأثیر به‌سزایی داشته است.

قنات ماژان: واقع در روستای ماژان در شهرستان خوسف و در فاصله ۶۵ کیلومتری مرکز استان (شهرستان بیرجند) قرار گرفته است. در سنوات گذشته، قنات ماژان از آبدهی بسیار خوبی برخوردار بوده است که از آب قنات در آن زمان برای آسیاب آبی استفاده می‌شده است.

قنات وحدآباد: واقع در روستای وحدآباد در جنوب بخش ماژان شهرستان خوسف در فاصله ۳۵ کیلومتری مرکز استان (شهرستان بیرجند) قرار دارد. این روستا در مجاورت روستاهای حسین آباد و کوشه قیس‌آباد قرار گرفته است. طول قنات حدود ۲ کیلومتر می‌باشد. با توجه به خشکسالی‌های چندین ساله، آب قنات کاهش یافته و دبی چندان زیادی ندارد. در چند سال اخیر عملیات کول‌گذاری و ساخت استخر سیمانی آن صورت گرفته و اهالی و کشاورزان، آب قنات را در استخر ذخیره و پس از لبریز شدن به داخل هدایت می‌نمایند. کیفیت آب (EC) آن مطلوب نمی‌باشد.

سالانه در آینده تغییر معنی‌داری نکند، توزیع سالانه بارش به احتمال بسیار زیاد تغییر می‌کند. انتظار می‌رود در دسترس بودن آب در زمستان افزایش پیدا کند در حالی که در تابستان به احتمال زیاد کمتر از تراز رودخانه حوضه آبریز است و استراتژی‌های انطباق ضروری خواهد بود (Li et al. 2016).

در این پژوهش سعی شد به بررسی و برآورد دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش برای دوره‌های آتی به کمک دو مدل ریزمقیاس LARS-WG و SDSM پرداخته شود و با استفاده از رابطه بارش با دبی قنات، دبی سه قنات برای دوره آینده برآورد خواهد شد.

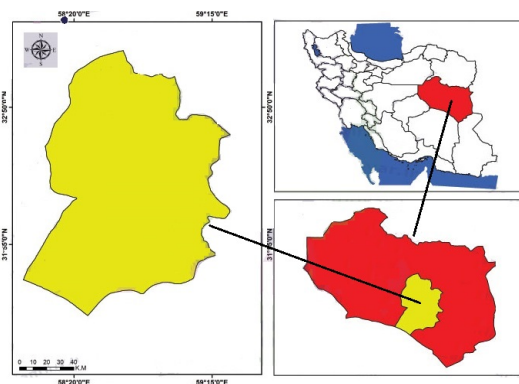
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

شهرستان خوسف یکی از شهرستان‌های استان خراسان جنوبی است (شکل شماره ۱).

قنات‌های گیو، ماژان و وحدآباد به دلیل ویژگی‌هایی نظیر دبی بالاتر آن نسبت به سایر قنات‌ها، کامل‌بودن و صحت داده‌ها، وجود روابط قابل قبول بین داده‌های بارش و دبی و سایر ملاحظات فنی دیگر به عنوان قنات‌های مورد مطالعه (قنات‌ها شاخص در این پژوهش) انتخاب شدند.

قنات گیو: در حوزه استحفاظی شهرستان خوسف، بخش ماژان در فاصله ۸۵ کیلومتری جنوب مرکز استان (شهرستان بیرجند) قرار دارد. مادر چاه آن در محلی به نام دشت آهک در مجاورت روستاهای شهرستانک و سلم‌آباد واقع است. مظهر قنات در شمال روستای گیو قرار دارد. طول مسیر قنات حدود ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر می‌باشد.



شکل (۱) - موقعیت شهرستان خوسف در ایران
Figure(1)- Location of Khosf city in Iran

در این مطالعه، سعی شد بین داده‌های دما و بارش با دبی

روش تحقیق:

جدول (۱) - میانگین ماهانه دبی قنات‌های شاخص (L/S)
Table (1)- Monthly average discharge in index qanats(L/s)

| ماه | گیو | ماژان | وحدآباد |
|----------|-------|-------|---------|
| اردیبهشت | ۹۶/۵۰ | ۷۸/۱۰ | ۷۵/۱ |
| مرداد | ۱۱/۴۶ | ۲۲/۱۰ | ۵۵/۱ |
| بهمن | ۱۴/۵۱ | ۰۴/۱۱ | ۰۰/۲ |

نتایج و بحث

۱-مقایسه داده‌های دما و بارش دو مدل LARS-SDSM و WG

در این بخش، میانگین دما و بارش هر ماه به صورت جداگانه در یک سال گرفته شده و این روند برای تمام سال‌های دوره آتی تکرار شده است. ابتدا میانگین ماه اول و به همین ترتیب دوم و سوم بین سالها گرفته شد. نتایج تحت دو سناریوی RCP۵/۴ و RCP۵/۸ طی دو دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و (۲۰۷۰-۲۱۰۰) در جدول (۲) آمده است.

قنات‌ها رابطه‌ای بدست آید. علاوه بر بارش از ابتدای سال آبی، بارش سه ماه قبل و یک ماه قبل برای دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۰) محاسبه گردید. برای بارش یک ماه قبل، سه ماه قبل و بارش از ابتدای مهر و میانگین دبی در هر یک از ماه‌ها به طور جداگانه رگرسیونی بسته شد که از بین سه ماه بهمن، اردیبهشت و مرداد، ماه بهمن رابطه بهتری را با بارش از ابتدای مهر نشان داد. برای تخمین دبی در دوره آتی نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و دور (۲۱۰۰-۲۰۷۰) از رابطه رگرسیونی که بین داده‌های مشاهداتی بارش و دبی در دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۰) وجود داشت، استفاده گردید. در این پژوهش نیز، پیش‌بینی داده‌های بارش به وسیله دو مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و SDSM برای دو دوره آتی نزدیک و دور صورت گرفت. سپس با استفاده از داده‌های بارش تخمین‌زده شده در آینده و رابطه‌ای که در دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۰) بدست آمده، دبی قنات‌های شاخص در دوره آتی پیش‌بینی گردید.

در جدول (۱) میانگین ماهانه آبدهی قنات‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول (۲) - مقایسه دمای کمینه دو مدل LARS-WG و SDSM تحت سناریوی RCP۵/۴ و RCP۵/۸ در دوره آتی نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰)

Table (2)- Comparison of minimum temperature of LARS-WG and SDSM models under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in the near future (2030-2060) and far (2070-2100)

| سناریو | RCP۴/۵ | | RCP۸/۵ | |
|---------|---------|-------|---------|-------|
| | LARS-WG | SDSM | LARS-WG | SDSM |
| ژانویه | -۲۱۰۰ | -۲۰۶۰ | -۲۱۰۰ | -۲۰۶۰ |
| فوریه | -۲۱۰۰ | -۲۰۶۰ | -۲۱۰۰ | -۲۰۶۰ |
| مارس | ۲۰۷۰ | ۲۰۳۰ | ۲۰۷۰ | ۲۰۳۰ |
| آوریل | ۸۶/۲ | ۵۶/۰ | ۰۹/۱ | -۰۸/۱ |
| می | ۸۲/۳ | ۹۸/۱ | ۹۹/۱ | ۸۵/۱ |
| ژوئن | ۶۷/۹ | ۷/۹۲ | ۹۹/۷ | ۷۰/۷ |
| جولای | ۹۱/۱۴ | ۴۱/۱۲ | ۶۲/۱۳ | ۳۶/۱۲ |
| آگوست | ۲۷/۱۷ | ۴۴/۱۶ | ۹۴/۱۶ | ۳۶/۱۶ |
| سپتامبر | ۶۲/۱۹ | ۵۸/۲۰ | ۹۳/۱۸ | ۹۶/۱۸ |
| | ۵۴/۲۵ | ۳۴/۲۳ | ۰۱/۲۴ | ۷۸/۲۲ |
| | ۸۳/۳۰ | ۵۹/۲۰ | ۸۶/۲۸ | ۱۹/۵۶ |
| | ۳۸/۲۶ | ۸۴/۱۶ | ۳۴/۲۵ | ۵۵/۱۵ |

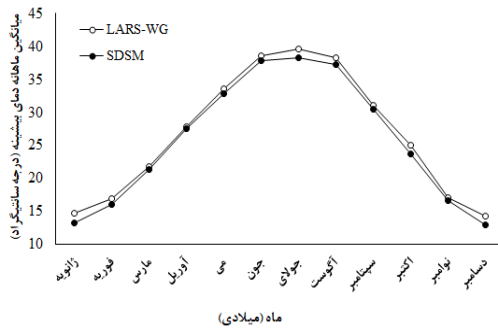
| | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| اکتبر | ۹۰/۸ | ۷۴/۹ | ۷۷/۱۰ | ۹۱/۱۰ | ۷۴/۱۰ | ۷۳/۱۵ | ۶/۱۱ | ۲۸/۱۷ |
| نوامبر | ۰۸/۴ | ۱۱/۵ | ۹۲/۵ | ۱۱/۶ | ۲۰۴/۲ | ۱۴/۸ | ۱۵/۳ | ۳۶/۹ |
| دسامبر | -۹۹/۰ | -۹۹/۰ | ۱۶/۱ | ۴۳/۰ | -۷۶/۰ | -۴۲/۰ | ۰۴/۱ | ۱۳/۱ |

ماه جولای و در سناریوی RCP۵/۸ ماه آگوست می‌باشد. میانگین ماهانه دمای کمینه از ماه ژانویه تا آگوست افزایش و از ماه آگوست تا دسامبر کاهش می‌باشد. اختلاف بین مقادیر دو مدل LARS-WG و SDSM در سناریوی ۵/۴ بین ۰/۷ و ۴۵/۱ و در سناریوی ۵/۸ بین ۳/۰ و ۹/۱ درجه سانتیگراد متغیر است. همانطور که انتظار می‌رود، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM از LARS-WG کمتر است.

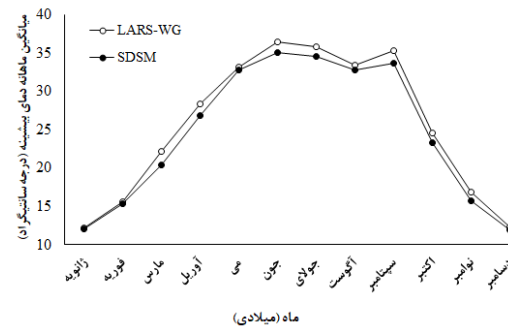
در شکل (۲) مقایسه دمای بیشینه دو مدل LARS-WG و SDSM تحت سناریوی RCP۵/۴ و RCP۸/۵ در دوره آتی نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و (۲۰۷۰-۲۱۰۰) آورده شده است.

همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، در هر دو مدل در دوره آتی نزدیک، میانگین ماهانه دمای کمینه در ماه‌های زمستان از بقیه ماه‌ها کمتر است. روند تغییرات دمای کمینه از ماه ژانویه تا جولای، افزایشی و از ماه آگوست تا دسامبر کاهشی است. اختلاف بین مقادیر دو مدل LARS-WG و SDSM در سناریوی ۵/۴ بین ۰/۲ و ۲ و در سناریوی ۵/۸ بین ۰/۴ و ۸/۱ متغیر است. همانطور که انتظار می‌رود، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM از LARS-WG کمتر است.

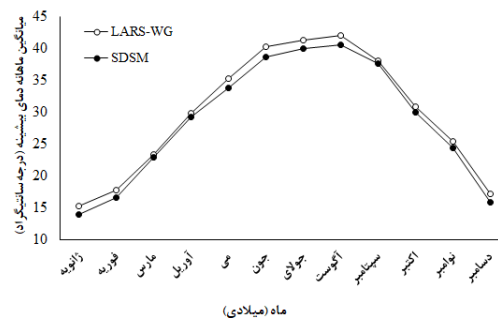
برای دوره آتی دور مشخص است که میانگین ماهانه دمای کمینه در فصل تابستان از همه بیشتر است. در سناریوی RCP۵/۴ کمترین مقادیر مربوط به ماه ژانویه و در سناریوی RCP۵/۸ مربوط به ماه دسامبر و بیشترین مقادیر در سناریوی RCP۵/۴، مربوط به



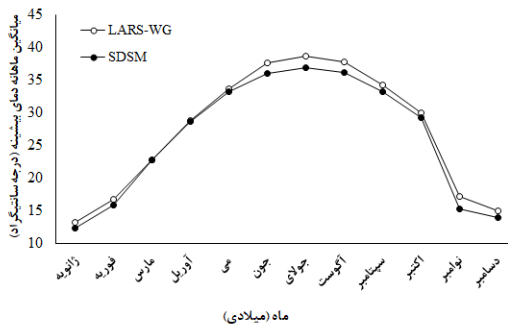
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل (۲) - مقایسه دمای بیشینه دو مدل LARS-WG و SDSM

الف) تحت سناریوی RCP۵/۴ طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۶۰ (ب) تحت سناریوی RCP۵/۴ طی دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰

ج) تحت سناریوی RCP۸/۵ طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۶۰ (د) تحت سناریوی RCP۸/۵ طی دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰

Figure(2)- comparison of maximum temperature of LARS-WG and SDSM

a) RCP4.5 scenario during 2030 and 2060 b) RCP4.5 scenario during 2070 and 2100

c) RCP8.5 scenario during 2030 and 2060 d) RCP8.5 scenario during 2070 and 2100

WG بین ۳۷/۰ و ۵۸/۱ قرار می‌گیرد. کمینه اختلاف در ماه سپتامبر و بیشینه آن در ماه ژوئن اتفاق می‌افتد. مقادیر شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG بین دو عدد ۳۲/۱۵ و ۹۹/۴۱، و برای مدل SDSM بین ۹۳/۱۳ و ۵۹/۴۰ متغیر است. میانگین ماهانه دمای بیشینه که توسط مدل LARS-WG بدست آمده از مدل SDSM بزرگ‌تر می‌باشد.

میانگین فصلی بارش در دوره‌های آتی (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و (۲۰۷۰-۲۱۰۰) تحت سناریوهای RCP۵/۴ و ۵/۸ RCP در جدول (۳) آمده است. در این جدول مشخص است که میانگین فصلی بارش در فصل تابستان کمینه و در زمستان بیشینه است. همان‌طور که انتظار می‌رفت خروجی‌های مدل LARS-WG نسبت به مدل SDSM مقادیر کمتری شده است. همچنین سناریوی RCP۵/۸ وضعیت بدبینانه‌تری را نسبت به سناریوی ۵/۴ RCP پیش‌بینی می‌کند یعنی کاهش بارندگی که در جدول کاملاً مشهود است. در سناریوی RCP۵/۴ بیش‌ترین میزان اختلاف مقادیر LARS-WG و SDSM در فصل پاییز (۴۲/۰) و کمترین آن در فصل زمستان (۳۱/۰) می‌باشد. برای سناریوی RCP۵/۸ این مقادیر به ترتیب در فصل بهار (۴۴/۰) و تابستان (۲۶/۰) اتفاق می‌افتد. با توجه به جدول (۳) می‌شود به این نتیجه رسید که بیشینه اختلاف بین نتایج دو مدل SDSM و LARS-WG در سناریوی ۵/۴، ۶۱/۰ (فصل پاییز) و در سناریوی ۵/۸، ۶۲/۰ (فصل پاییز) و کمینه اختلاف در سناریوی ۵/۴، ۲۵/۰ (فصل تابستان) و در سناریوی ۵/۸، ۱۴/۰ (فصل تابستان) می‌باشد. بدیهی است که تغییرات بارش از بهار تا تابستان روند کاهشی و از تابستان تا زمستان روند افزایشی داشته باشد. همان‌طور که در جدول زیر دیده می‌شود سناریوی RCP۵/۴ نسبت به سناریوی ۵/۸ RCP وضعیت خوش بینانه‌تری را پیش‌بینی می‌کند (Dusti et al. 2014) و همچنین (Zhang et al. 2016) به همین نتایج رسیدند.

با توجه به شکل، برای سناریو RCP۴/۵، مقادیر میانگین ماهانه دمای بیشینه دو مدل LARS-WG و SDSM در ماه ژانویه اختلاف چندانی با هم ندارند. این اختلاف روند افزایشی و کاهشی دارد و بیشترین اختلاف بین مقادیر دو مدل در ماه مارس می‌باشد. مقادیر میانگین ماهانه دمای بیشینه در هر دو مدل از ماه ژانویه تا ژوئن روند افزایشی و از ماه ژوئن تا دسامبر روند کاهشی داشته است. اختلاف نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM و LARS-WG بین ۰/۹ و ۷/۱ متغیر است. در دوره آتی دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) مشخص است که اختلاف چندانی بین مقادیر شبیه‌سازی شده میانگین ماهانه دمای بیشینه توسط دو مدل LARS-WG و SDSM وجود ندارد. بیش‌ترین میزان اختلاف بین مقادیر خروجی دو مدل در ماه ژانویه (۳۳/۱) و کمترین آن در ماه آوریل (۲۷/۰) اتفاق می‌افتد. بیش‌ترین مقادیر میانگین ماهانه دمای بیشینه در هر دو مدل در ماه جولای و کمترین آن در ماه دسامبر می‌باشد. روند افزایشی از ماه ژانویه تا جولای و روند کاهشی از ماه جولای تا دسامبر می‌باشد.

برای سناریو RCP۸/۵ مشخص است که نمودار در ماه نوامبر دچار کاهش ناگهانی شده است و در ماه‌های دیگر دارای روند کاهشی و افزایشی با شیب ملایمی است. این افزایش از ماه ژانویه تا جولای و روند کاهشی از ماه جولای تا پایان سال می‌باشد. بیش‌ترین مقادیر شبیه‌سازی شده در هر دو مدل در ماه جولای و کمترین آن در ماه دسامبر می‌باشد. تفاوت بین خروجی‌های دو مدل از ۰/۷ تا ۹۳/۱ متغیر است. مقادیر شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG از مدل SDSM بزرگ‌تر است. در دوره آتی دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) مشخص است که خروجی‌های دو مدل LARS-WG و SDSM در ماه‌های مارس، آوریل و سپتامبر تفاوت زیادی با هم ندارند. منحنی میانگین ماهانه دمای بیشینه در هر دو مدل دارای روند افزایشی (ژانویه تا آگوست) و کاهشی (آگوست تا دسامبر) می‌باشد. اختلاف نتایج مدل SDSM با LARS-

جدول (۳)- مقایسه بارش دو مدل LARS-WG و SDSM تحت سناریوی ۴/۵ و ۵/۸ طی دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰
 Table (3)- Comparison of precipitation in LARS-WG and SDSM under 4.5 and 8.5 scenarios during 2070-2100

| مدل | دوره | بهار | تابستان | پاییز | زمستان |
|---------|-----------|------|---------|-------|--------|
| LARS-WG | ۲۰۳-۲۰۶۰ | ۳۵/۰ | ۰/۱۰ | ۶۷/۰ | ۳۲/۱ |
| LARS-WG | ۲۰۷۰-۲۱۰۰ | ۳۴/۰ | ۰/۰۱ | ۵۲/۰ | ۱۳/۱ |
| SDSM | ۲۰۳-۲۰۶۰ | ۷۴/۰ | ۳۶/۰ | ۰۹/۱ | ۶۴/۱ |
| SDSM | ۲۰۷۰-۲۱۰۰ | ۶۹/۰ | ۲۶/۰ | ۱۴/۱ | ۵۱/۱ |
| LARS-WG | ۲۰۳-۲۰۶۰ | ۲۹/۰ | ۰/۰۱ | ۶۲/۰ | ۱۵/۱ |
| LARS-WG | ۲۰۷۰-۲۱۰۰ | ۳۱/۰ | ۰/۰۱ | ۵۱/۰ | ۱۳/۱ |
| SDSM | ۲۰۳-۲۰۶۰ | ۷۳/۰ | ۲۷/۰ | ۰۶/۱ | ۵۹/۱ |
| SDSM | ۲۰۷۰-۲۱۰۰ | ۶۳/۰ | ۱۵/۰ | ۱۳/۱ | ۴۹/۱ |

استفاده از کد R محاسبه شده، آورده شده است. بهترین همبستگی در بین قنات‌ها در قنات وحدآباد با R^2 برابر ۰/۸۴ و کمترین همبستگی در قنات گیو مشاهده شد.

۲- ارزیابی دبی قنات‌های مورد مطالعه در دوره پایه

در جدول (۴)، نتایج همبستگی دبی با بارش که با

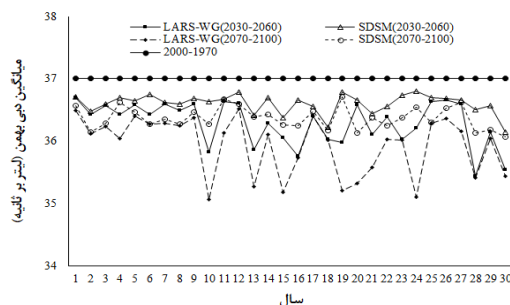
جدول (۴)- نتایج حاصل از ارزیابی خطا بین داده‌های دبی قنات‌های مورد مطالعه و بارش

Table (4) - Results of error assessment between Qanat discharge and precipitation

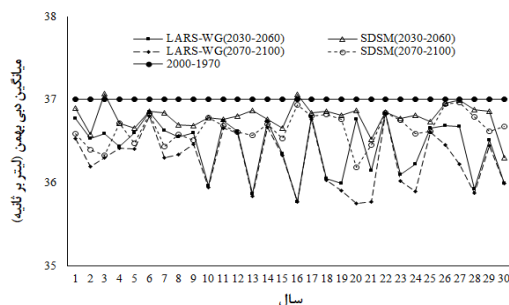
| قنات | R^2 |
|-------|-------|
| گیو | ۵۳/۰ |
| ماژان | ۶۹/۰ |

۳- اثر تغییر اقلیم بر روی دبی قنات

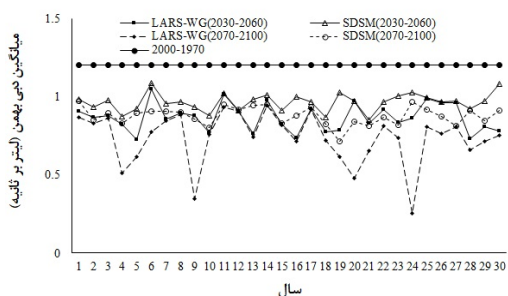
در شکل زیر منحنی‌های مربوط به مقایسه دوره پایه با دو دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و دور (۲۱۰۰-۲۰۷۰) برای دو سناریوی RCP۵/۴ و RCP۵/۸ آورده شده است. در همه قنات‌ها، میانگین ماهانه دبی مربوط به دوره پایه از دو مدل بیشتر است و به ندرت پیش آمده که خروجی حاصل از مدل SDSM مربوط



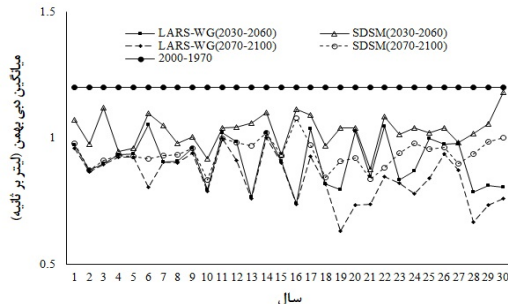
(ب)



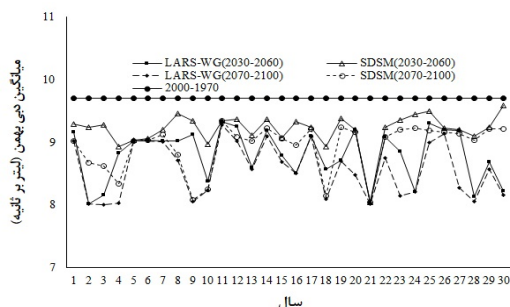
(ف)



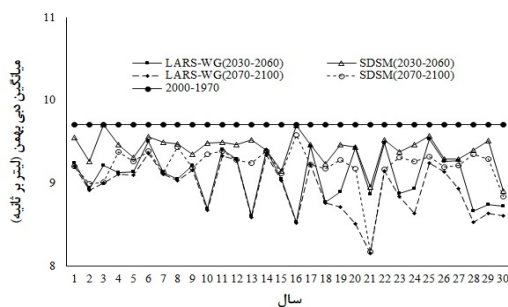
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل (۳)- مقایسه میانگین دبی بدست آمده از داده‌های دو مدل LARS-WG و SDSM با دوره پایه در دو دوره آبی نزدیک و دور در قنات

الف) گیو تحت سناریوی ۵/۴ ب) گیو تحت سناریوی ۸/۵ ج) وحدآباد تحت سناریوی ۴/۵ د) وحدآباد تحت سناریوی ۸/۵ ه) ماژان تحت سناریوی ۴/۵ و) ماژان تحت سناریوی ۸/۵

Figure(3)- Comparison of discharge from LARS-WG model in two near and far future periods

a) Giv under RCP 4.5 scenario

b) Giv under RCP 8.5 scenario

c) Vahdabad under RCP 4.5 scenario

d) Vahdabad under RCP 8.5 scenario

e) Majan under RCP 4.5 scenario

f) Majan under RCP 8.5 scenario

مدل SDSM در دوره آبی نزدیک از نتایج مدل SDSM در دوره آبی دور بیشتر به دست آمده است. همچنین نتایج حاصل از مدل LARS-WG در دوره آبی نزدیک نسبت به دوره آبی دور بیشتر شده است. دبی نیز در دوره پایه از مقادیر دبی بدست آمده از داده‌های دو مدل LARS-WG و SDSM نیز بیشتر می‌باشد. در سناریوی RCP ۸/۵، اختلاف دبی تخمین زده شده توسط داده‌های مدل SDSM در هر دو دوره آبی نسبت به سناریوی ۵/۴ RCP کمتر است.

در شکل (۴)، مقایسه دبی قنات‌های شاخص حاصل از داده‌های بارش که توسط مدل LARS-WG و تحت دو سناریوی ۴/۵ RCP و ۸/۵ RCP در دو دوره آبی

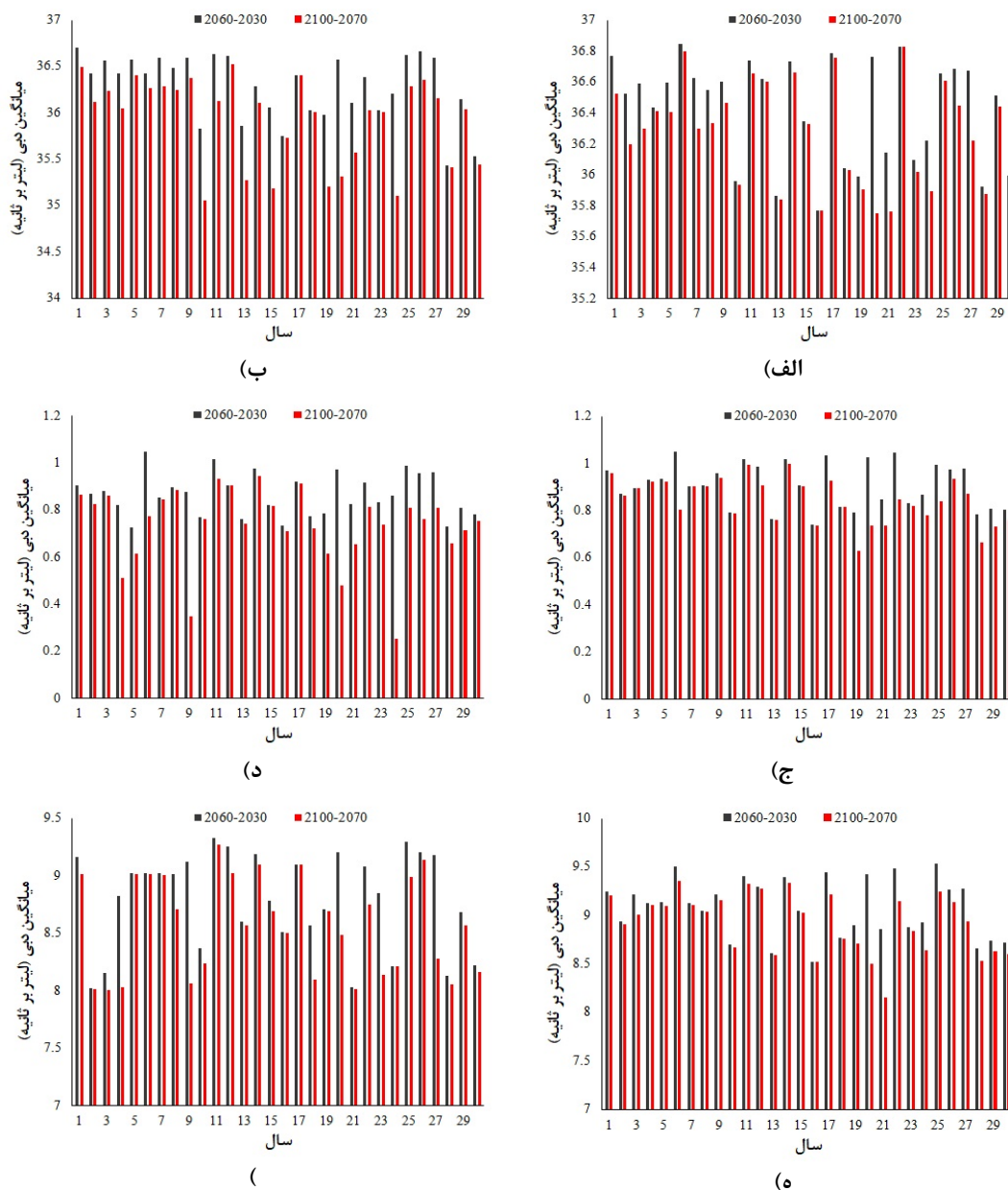
در سناریوی ۴/۵ RCP در همه قنات‌ها، اختلاف دوره پایه با دو مدل LARS-WG و SDSM، نسبت به سناریوی ۴/۵ RCP و دوره آبی نزدیک به دبی دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۰) نزدیک شده، از آن بیشتر گردیده یا بر آن منطبق شده باشد که این می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری داده‌های مشاهداتی یا خطای مدل باشد. شکل (۲) مقایسه میانگین دبی بدست آمده از داده‌های دو مدل LARS-WG و SDSM با دوره پایه در دو دوره آبی نزدیک و دور تحت سناریوی ۴/۵ RCP و ۸/۵ RCP را برای قنات‌های گیو، وحدآباد و ماژان را نشان می‌دهد. سناریوی ۸/۵ RCP کمتر است. همانطور که در شکل دیده می‌شود برای هر دو سناریو نتایج حاصل از

۵/۸ در سال ۲۰۳۹ به وقوع می‌پیوندد. در سال ۲۰۴۶ سناریوی RCP۵/۴ و در سال ۲۰۴۷ سناریوی ۵/۸ RCP اختلاف بین دو دوره به کمینه می‌رسد. و همانطور که مشاهده می‌گردد میانگین دبی در پایان هر دو دوره در هر دو سناریو کاهش یافته است شکل (۵) مقایسه دبی را که از داده‌های بارش مدل SDSM در دو دوره آتی نزدیک و دور و تحت دو سناریو برای قنات گیو، وحدآباد و ماژان بدست آمده را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از قنات گیو نشان می‌دهد که مقادیر خروجی توسط مدل SDSM در سناریوی RCP۵/۴ اختلاف کمتری با هم دارند. در سناریوی ۵/۴، بیشینه اختلاف ۷۴/۰ (سال ۲۰۳۳ و ۲۰۷۳) و در سناریوی RCP۵/۸ این اختلاف ۵۱/۰ (سال ۲۰۶۰ و ۲۱۰۰) اتفاق می‌افتد. بر اساس این شکل ملاحظه می‌شود که دبی قنات در سالهای ابتدایی، میزان آن بیشتر و در آخر دوره مقدار آن کاهش می‌یابد. اختلاف بین دو دوره در سناریو RCP۵/۴ بین دو عدد ۸×10^{-۴} و $۷۴/۰$ و برای سناریو RCP۵/۸ بین $۲/۱ \times 10^{-۳}$ و $۵۱/۰$ قرار می‌گیرد. سناریوی RCP۵/۴ وضعیت بهتری نسبت به سناریوی RCP۵/۸ پیش‌بینی می‌کند. همچنین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM از LARS-WG بزرگ‌تر است. در نمودار قنات وحدآباد مشخص می‌شود که خروجی‌های مدل SDSM در هر دو دوره و هر دو سناریو اختلاف زیادی ندارند. در سناریوی ۵/۴ این اعداد در محدوده ۵×10^{-۳} و $۲/۰$ و در سناریوی ۵/۸ بین اعداد $۸/۱ \times 10^{-۳}$ و $۳۱/۰$ قرار می‌گیرد. همانطور که در نمودار مشهود است در سال ۲۰۴۹ سناریوی RCP۵/۸ افزایش ناگهانی دبی طی این دوره مشاهده می‌شود که میزان آن $۸/۱ \times 10^{-۳}$ می‌باشد (اختلاف بیشینه در سناریوی RCP۵/۸). میانگین دبی در دوره (۲۰۷۰-۲۱۰۰) نسبت به دور (۲۰۳۰-۲۰۶۰) کاهش یافته است.

(۲۰۳۰-۲۰۶۰) و (۲۰۷۰-۲۱۰۰) برای قنات‌های گیو، وحدآباد و ماژان آورده شده است. برای قنات گیو، همانطور که انتظار می‌رود و در هر دو نمودار مشخص است، میانگین دبی در دوره (۲۰۷۰-۲۱۰۰) نسبت به دوره (۲۰۳۰-۲۰۶۰) کاهش می‌یابد. در هر دو نمودار قنات گیو، میانگین دبی روند ثابتی ندارد و ترکیبی از کاهش و افزایش دبی در آن دیده می‌شود. همچنین در انتهای هر دوره دبی نسبت به ابتدای دوره کمی کاهش می‌یابد. در سناریوی RCP۵/۴، اختلاف محسوسی بین دبی پیش‌بینی شده در دوره آتی نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) مشاهده می‌گردد. این بیشینه اختلاف در سال ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ و به اندازه ۰/۱ می‌باشد. همچنین برای سناریوی ۵/۸، بیشینه اختلاف به اندازه ۲۶/۱ و در سال ۲۰۵۰ و ۲۰۹۰ اتفاق می‌افتد. خروجی‌های شبیه‌سازی شده در سناریوی RCP۵/۴ به هم نزدیک‌ترند.

در نتایج قنات وحدآباد واضح است که در هر دو سناریو سیر صعودی و نزولی در داده‌ها وجود دارد. بیش‌ترین مقدار دبی پیش‌بینی شده در سناریوی RCP۵/۴ و ۵/۸ در سال ۲۰۳۶ و ۲۰۸۴ اتفاق می‌افتد. بیشینه اختلاف بین دو دوره در سناریوی RCP۵/۴، ۲۹/۰ (سال ۲۰۵۰) و در سناریوی ۵/۸، ۶۰/۰ (سال ۲۰۵۴) روی می‌دهد.

در نتایج حاصل از دبی در قنات ماژان می‌توان به این نتیجه رسید که میانگین دبی دوره آتی نزدیک نسبت به دوره آتی دور در هر دو سناریو بیشتر است. روند تغییرات دبی نیز برای هر دو سناریو ترکیبی از سیر صعودی و نزولی است. اختلاف دو دوره در سناریو RCP۵/۴ بین دو عدد $۰/۰۳$ و $۰/۹۱$ و در سناریوی ۵/۸ بین اعداد $۰/۰۲$ و $۰/۶۱$ قرار می‌گیرد. کاهش ناگهانی میانگین دبی در سناریوی RCP۵/۴ در سال ۲۰۵۰ و در سناریوی



شکل (۴) مقایسه دبی بدست آمده از داده‌های مدل LARS-WG در دو دوره آبی (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و (۲۰۷۰-۲۱۰۰) الف) گیو تحت سناریوی ۵/۴ RCP ب) گیو تحت سناریوی ۸/۵ RCP ج) وحدآباد تحت سناریوی ۵/۵ RCP د) وحدآباد تحت سناریوی ۸/۵ RCP ه) ماژان تحت سناریوی ۴/۵ RCP و) ماژان تحت سناریوی ۵/۵ RCP

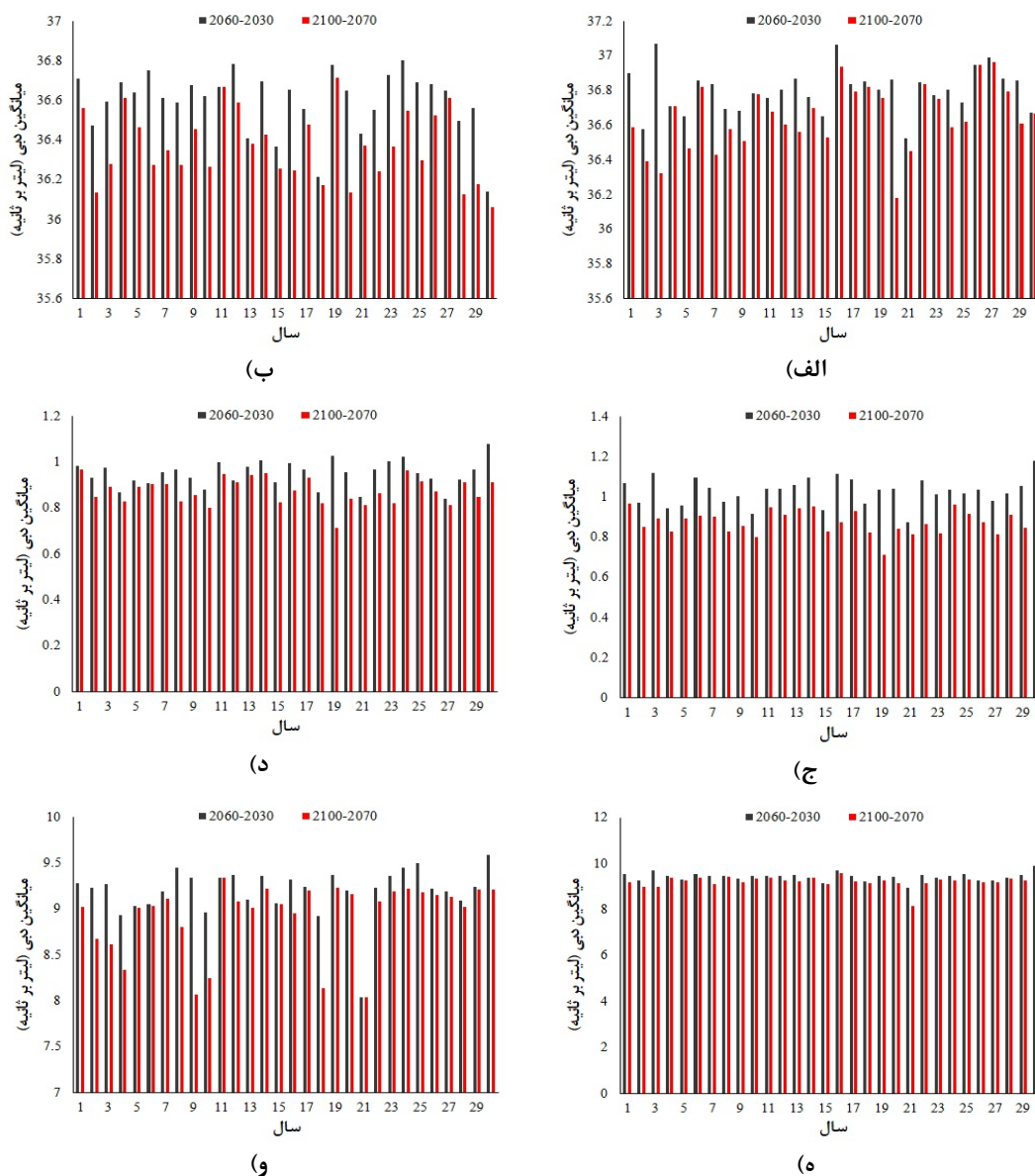
Figure(4) Comparison of discharge from LARS-WG model in two future periods (2030-2060) and (2070-2100)
 a) Giv under RCP 4.5 scenario
 b) Giv under RCP 8.5 scenario
 c) Vahdabad under RCP 4.5 scenario
 d) Vahdabad under RCP 8.5 scenario
 e) Majan under RCP 4.5 scenario
 f) Majan under RCP 8.5 scenario

۱۱/۰ است. برای سناریوی ۸/۵ RCP در نمودار سیر صعودی و نزولی به تناوب دیده می‌شود. در دوره آبی دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) سناریوی ۵/۸ کاهش ناگهانی میانگین دبی در سال ۲۰۸۸ و برای دوره آبی نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۳۰) این کاهش ناگهانی در سال ۲۰۵۱ به وقوع

از نمودار قنات ماژان می‌توان به این نتیجه رسید که در سناریوی ۵/۴ بین دو دوره آبی اختلاف چندانی وجود ندارد. بیشینه این اختلاف ۰۷/۱ است که در سال ۲۰۶۰ (دوره آبی نزدیک) و ۲۱۰۰ (دوره آبی دور) اتفاق می‌افتد. کمترین میزان اختلاف بین دو دوره در سناریوی ۴/۵،

می‌گیرد. مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل SDSM از مقادیر پیش‌بینی شده توسط LARS-WG بیشتر است.

می‌پیوندد. اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده دو دوره آتی در سناریوی ۵/۸ بین دو مقدار ۰.۰۱/۰ و ۲۶/۱ قرار



شکل (۵) مقایسه دبی بدست آمده از داده‌های مدل SDSM در دو دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و (۲۱۰۰-۲۰۷۰) گیبو تحت سناریوی RCP۵/۴ (ب) گیبو تحت سناریوی RCP۵/۸ (ج) وحدآباد تحت سناریوی RCP۴/۵ (د) وحدآباد تحت سناریوی RCP۸/۵ (ه) مازان تحت سناریوی RCP۴/۵ (و) مازان تحت سناریوی RCP۸/۵

Figure(5) Comparison of discharge from SDSM model in two future periods (2030-2060) and (2070-2100)

- a) Giv under RCP 4.5 scenario
- b) Giv under RCP 8.5 scenario
- c) Vahdabad under RCP 4.5 scenario
- d) Vahdabad under RCP 8.5 scenario
- e) Majan under RCP 4.5 scenario
- f) Majan under RCP 8.5 scenario

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر تغییر اقلیم بر دبی قنات‌های شاخص شهرستان خوسف استان خراسان جنوبی در دوره آتی نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و دور (۲۱۰۰-۲۰۷۰) با استفاده از دو مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM تحت سناریوهای RCP۵/۴ و RCP۵/۸ و همچنین مقایسه داده‌های دمای کمینه و بیشینه و بارش توسط این دو مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. دمای کمینه و بیشینه در سناریوی RCP۸/۵ نسبت به سناریوی RCP۴/۵ در نتایج هر دو روش ریزمقیاس و برای هر دو دوره آتی بیشتر می‌شود. بارش در سناریوی RCP۵/۸ و

RCP۵/۴ دوره آتی نزدیک دارای تغییرات کم نسبت به هم و نسبت به دوره پایه هستند و در دوره آتی دور نتایج مدل SDSM و دوره پایه به هم نزدیک و از مدل LARS-WG بزرگ‌ترند. روش LARS-WG دما را بیشتر و بارش را کمتر از SDSM برآورد می‌کند. نتایج حاصل از مقایسه دبی در دو دوره آتی نزدیک و دور نشان می‌دهد که با کاهش بارش در آینده، دبی قنات‌ها کاهش خواهد یافت که این روند کاهش دبی در هر دوره نیز مشخص می‌شود. همچنین مدل SDSM به دلیل اینکه بارش را از مدل LARS-WG بیشتر برآورد کرده بود، دبی قنات را نیز از مدل LARS-WG برای دوره آتی بیشتر تخمین زده است.

منابع

34. [In Persian].
- 4- Li, Z., Huang, G., Wang, X., Han, J and Fan Y. (2016). Impacts of future climate change on river discharge based on hydrological inference: A case study of the Grand River Watershed in Ontario, Canada, *Science of the Total Environment*, 548-549: 198-210.
- 5- Shrestha, S., Viet Bach, T and Prasad Pandey, V. (2016). Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios, *Environmental Science & Policy*, VOL. 26. In Press, Corrected Proof.
- 6- Zhang, Y., You, Q., Chen, C and Ge, J. (2016). Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China, *Atmospheric Research*, 178-179: 521-531.
- 1- Bahreman, A., Hamdamin, G. and Sainyi, E., (2013). Long-Term changes trend analysis in rainfall and discharge in west Lake Urmia. *Journal of watershed management research* Vol. 4, No. 8. 43-57. [In Persian].
- 2- Dusti, M., Habibnezhad roshan, M., Shahedi, K., Miryaghoubzade, M., (2014). Study of climate indices of Tamar River basin Golestan Province in terms of climate change using by LARS-WG model. Vol. 39. Issue. 4. No. 4. 177-189. [In Persian].
- 3- Ghrbani, Kh., Sohrabian, E., Salarijazi, M. and Abdolhoseini, M., (2016). Prediction of climate change impact on monthly river discharge trend using IHACRES hydrological model (case study: Galikesh watershed). *Journal of water and soil resources conservation*. VOL. 5. No. 4. 18-



Original Article:

The effect of climate change on the discharge of 3 special Qanats in Khosf city

Farzaneh Gooya¹, Hossein Khozaymehzad^{2*}, Mostafa Yaghoobzadeh³ and Mahdi Amirabadizadeh⁴

¹M.Sc. Graduate, Hydraulic Structures, University of Birjand, Birjand, Iran.

²Associate professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

³Assistant professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

⁴Assistant professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

*Corresponding Author E-mail: Hkhozaymeh@birjand.ac.ir

Received: 20-09-2020; Accepted: 23-01-2021

Abstract:

Changes in temperature and rainfall have a large impact on the quantity and quality of water resources, especially in arid regions such as Iran. In this research, the effects of climate change on the development of special Qanats in Khosf city (Giw, Mazhan and Vahad-Abad) were investigated. For this purpose, minimum and maximum temperature and precipitation were firstly estimated in the two near future (2030-2060) and far future (2070-2100) using the CANESM2 large scale model and two emission scenarios of RCP4.5 and RCP8.5. These data were then quantified by two downscaling models of LARS-WG and SDSM. Using rainfall data for the upcoming period, Discharge value for 3 qanats were estimated for future periods. The results showed that the minimum and maximum temperatures in the RCP8.5 Scenario would be higher than RCP4.5 in the results of both downscaling methods and will increase for both future periods. Rainfall also has slight variations for two scenarios of RCP8.5 and 4.5 for the upcoming period and the base period. Also, comparing two methods of downscaling, the LARS-WG model estimates the temperature changes less than the SDSM model and less changes in rainfall. The results of qanat change in the upcoming period also showed that in all qanats, the discharge average for the coming period is less than the base period. Also, the RCP4.5 scenario compared to RCP8.5 in two methods of LARS-WG and SDSM is estimated to be greater. Given the changes in discharge in the future, management strategy can be adopted to deal with possible droughts.

Keywords: Climate Change, LARS-WG, SDSM, Qanat, Discharge