



دانشگاه گورگان و منابع طبیعی گورگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و سوم، شماره ششم، ۱۳۹۵  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## بررسی پاسخ هیدرولوژیکی جریان رودخانه به تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد دز)

### رویا سادات موسوی<sup>۱</sup> و \* صفر معروفی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۷

#### چکیده

**سابقه و هدف:** در سال‌های اخیر به دلیل مشاهده شواهد وقوع تغییر اقلیم در متغیرهای آب و هوایی و همچنین هیدرولوژیکی، نگرانی در خصوص تغییرات منابع آب تجدیدشونده و دسترسی به منابع آب در آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم افزایش یافته است. از آنجا که آگاهی از تأثیرات محتمل پدیده تغییر اقلیم بر میزان آب سطحی و نیز رژیم جریان از منظر سازگاری با پدیده تغییر اقلیم بسیار دارای اهمیت می‌باشد، بنابراین در این پژوهش تغییرات آورد حوضه آبریز سد دز طی دهه‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته و نیز پیش‌بینی جریان تحت سناریوهای تغییر اقلیم برای افق‌های زمانی آینده انجام شده است.

**مواد و روش‌ها:** از روش من- کندال جهت آشکارسازی روند و روش‌های پتی و بویشتند جهت شناسایی نقاط تغییر ناگهانی در سری زمانی رواناب در انتهای ۴ زیرحوضه درود، ماربره، سزار و بختیاری استفاده شده است. همچنین برای پیش‌بینی جریان در قرن ۲۱ تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم از خروجی دو مدل گردش عمومی جو CCSM3 و ECHAM5-OM برای سه سناریوی تغییر اقلیم بدبینانه A2، حالت میانه A1B و خوشبینانه B1 بهره گرفته شده است. ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های بزرگ‌مقیاس در سطح منطقه مورد مطالعه توسط مدل LARS-WG انجام شده و داده‌های ریزمقیاس‌شده به‌عنوان ورودی به مدل هیدرولوژیکی HBV جهت شبیه‌سازی جریان آینده وارد شده است.

**یافته‌ها:** آزمون من- کندال وجود روند معنی‌دار منفی (کاهش جریان) را در سه زیرحوضه درود، ماربره و سزار نشان داد و برای زیرحوضه بختیاری روند معنی‌داری مشاهده نشد. به‌علاوه آزمون‌های نقطه تغییر نیز رخداد افت ناگهانی جریان را در سه زیرحوضه مذکور نشان داد در حالی‌که در زیرحوضه بختیاری تغییر در جهت مثبت اتفاق افتاده است. مقدار این تغییرات بسیار قابل توجه بوده و بین ۱۴/۷ در زیرحوضه بختیاری و ۴۳/۳ درصد در زیرحوضه ماربره متغیر می‌باشد. همچنین بر اساس خروجی مدل هیدرولوژیکی با بارش و دمای مربوط به افق‌های زمانی آینده ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ جریان سالانه در تمامی زیرحوضه‌ها کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. همچنین جریان فصل‌های بهار، پاییز و زمستان در زیرحوضه‌های تیره، ماربره و سزار کاهش و در فصل تابستان افزایش می‌یابد. جریان‌های فصلی افق‌های زمانی آینده در زیرحوضه بختیاری نیز در تمام فصول به‌جز فصل پاییز با کاهش قابل توجهی همراه است. به‌طور کلی

\* مسئول مکاتبه: [marofisafar59@gmail.com](mailto:marofisafar59@gmail.com)

شبیه‌سازی جریان آینده تحت سناریوهای مفروض تغییر اقلیم در حوضه آبریز سد دز کاهش شدید پتانسیل آورد سالانه حوضه (تا بیش از یک میلیارد مترمکعب) را نشان می‌دهد.

**نتیجه‌گیری:** بررسی جریان دهه‌های گذشته حوضه آبریز سد دز تغییرات شدید جریان را چه به صورت تدریجی و چه ناگهانی نشان می‌دهد که این تغییرات عمدتاً در جهت کاهش پتانسیل رواناب حوضه می‌باشد. به‌علاوه بررسی جریان آینده نیز با سناریوهای مختلف کاهش جریان تحت‌تأثیر تغییر اقلیم را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به این شواهد به‌نظر می‌رسد این حوضه در آینده با کم شدن آورد روبرو خواهد شد و این نتایج بر لزوم بازنگری و تغییر استراتژی‌های مدیریت منابع آب در جهت سازگاری با وقوع تغییر اقلیم تأکید می‌نماید.

**واژه‌های کلیدی:** گرمایش جهانی، تغییر اقلیم، روش‌های ناپارامتری، رژیم جریان

### مقدمه

در سال‌های اخیر بسیاری از پژوهش‌ها بر گرمایش جهانی و پیامدهایش به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه قرار گرفته و نتایج پژوهش‌ها بیانگر سیطره خشکی، افزایش دما و تبخیر و تعرق و کاهش بارش و رواناب در این مناطق بوده است (۱۴، ۱۹، ۲۴، ۳۷). این امر منجر به افزایش نگرانی درباره آب در دسترس شده و از این‌رو بسیاری از پژوهش‌ها بر تغییرات گذشته و آینده چرخه هیدرولوژیکی و تغییر اقلیم متمرکز شده است. در ایران نیز مطالعات بسیاری سیطره آب و هوای گرم و خشک‌تر، افزایش طول دوره‌های خشکی و کاهش مقدار و شدت وقایع بارندگی را نشان می‌دهند (۱، ۳، ۹، ۱۲، ۲۳، ۲۹، ۳۲، ۳۴، ۳۹).

پژوهش‌های فراوانی تغییر اقلیم و رواناب را در مقیاس حوضه‌ای نشان داده‌اند. هو و همکاران (۲۰۱۱) و لی و همکاران (۲۰۱۴) به روند منفی جریان و کاهش شدید رواناب زمستان در حوضه رودخانه زرد و سانگه‌وای چین اشاره کردند (۱۷، ۲۶). شهزاد ختاک و همکاران (۲۰۱۱) نیز بیان کردند که روند افزایش دمای زمستان منجر به افزایش رواناب در زمستان و بهار و کاهش رواناب در تابستان و بروز مشکلات بهره‌برداری از سدها می‌گردد (۴۲).

کھیا و کایالچی (۲۰۰۴) نیز روند منفی جریان را در

غرب ترکیه گزارش کردند (۱۸).

در ایران اغلب پژوهش‌ها در زمینه مطالعه روند

متغیرهای مهم چرخه هیدرولوژیکی مانند دما، تبخیر

و تعرق و بارش بیانگر افزایش دما و نیاز آبی و

کاهش رطوبت نسبی و بارندگی هستند (۱۰، ۲۹، ۳۲،

۲۴، ۴). این یافته‌ها با نتایج سایر پژوهش‌ها که

افزایش خشکسالی را در سال‌های اخیر نشان داده‌اند،

مطابقت دارد (۳، ۱۲، ۳۴). به‌علاوه مطالعه روند جریان

رودخانه در جنوب غرب ایران تغییرات معنی‌دار جریان

(افزایشی و کاهش) را نشان داده است (۱، ۳۰).

معاضد و همکاران (۲۰۱۰) نیز تغییرات تدریجی و

ناگهانی سری‌های زمانی بارش را با آزمون‌های

ناپارامتری پتی و من- کندال در حوضه کارون و دز

ارزیابی نموده و بر ضرورت مشخص ساختن نقاط

تغییر در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی تأکید نمودند

(۳۱). زارع‌نیستانک و همکاران (۲۰۱۴) نیز با بررسی

تغییرات سری‌های بلندمدت بارش و دما در جنوب

غرب ایران، افزایش تدریجی و ناگهانی دمای حداقل

و دمای روزانه را در فصول تابستان و بهار نشان دادند

(۵۰). ایشان همچنین برای افق‌های زمانی آینده نیز

افزایش دما به‌خصوص در فصول بهار و تابستان را

پیش‌بینی نمودند (۵۱). مالمیر و همکاران (۲۰۱۶) نیز

°C ۸/۶، بارش تا ۱۳۹٪ و رواناب فصلی تا ۳۰۴٪ و افزایش جریان‌های حدی و تغییر فصلی جریان و رفتار هواشناسی و هیدرولوژیکی متفاوت حوضه‌ها را گزارش نمودند (۴۷). این نتایج متفاوت و گاه متناقض مطالعات مختلف ضرورت پژوهش در مقیاس حوضه‌ای را نشان می‌دهد.

دسترسی به آب سطحی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر حوضه سد دز بسیار مهم و آگاهی از تغییرات اخیر و پیش‌بینی آن امری ضروریست. با توجه به تغییرات اقلیمی، اهمیت اکولوژیک، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی حوضه و با توجه به این‌که آب سطحی آن جهت تولید انرژی، کشاورزی، صنعت و شرب برنامه‌ریزی شده، بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بسیار مهم است. بنابراین این پژوهش به تغییرات اخیر جریان به‌منظور آگاهی از نحوه تغییر رژیم جریان و درک بهتر اثر تغییر اقلیم بر آب قابل‌دسترس و نیز پیش‌بینی جریان پرداخته است. این اطلاعات می‌تواند مبنای سازگاری استراتژی‌های مدیریت منابع آب قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه (حوضه آبریز سد دز): حوضه آبریز سد دز در جنوب غرب ایران در منطقه نیمه‌خشک کوهستانی و بالادست حوضه کارون بین طول‌های ۴۸ درجه و ۹ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۱۸ دقیقه و ۳۷ ثانیه شرقی و عرض‌های ۳۱ درجه و ۳۵ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۷ دقیقه و ۴۶ ثانیه شمالی قرار دارد و دارای ۴ زیرحوضه تیره (۱)، ماربره (۲)، سزار (۳) و بختیاری (۴) است (جدول ۱) (جهت اختصار از این پس به‌جای نام زیرحوضه‌ها از شماره آن‌ها استفاده می‌گردد). دو شاخه سزار و بختیاری در این حوضه جریان دارند و در تنگ‌پنج بهم پیوسته و رود دز را تشکیل می‌دهند. سد

تحت‌تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم A2 و B2 افزایش دما، کاهش بارندگی و رواناب را در حوضه قره‌سو پیش‌بینی نمودند (۲۷).

تغییر اقلیم می‌تواند رژیم هیدرولوژیکی را تحت‌تأثیر قرار دهد (۲، ۱۱، ۱۳، ۲۵) و افزایش دما و تغییرات بارش در قرن ۲۱ منجر به تغییرات قابل‌توجه رواناب خواهند شد (۴۶). به‌علاوه شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی در نواحی واقع در عرض‌های پایین و میانی کاهش آب سطحی را نشان می‌دهد (۵، ۳۶). افزایش جریان زمستانه و کاهش جریان بهار به‌دلیل افزایش دما و ذوب سریع‌تر و کاهش توده برف در بهار مکرراً گزارش شده است (۵، ۲، ۳۶). پژوهش وان‌ویلت و همکاران (۲۰۱۳) بر جریان رودخانه با سناریوهای A2 و B1 افزایش تغییرپذیری فصلی جریان رودخانه را در جهت افزایش مقدار جریان‌های زیاد و کاهش مقدار جریان‌های کم را در بیش از یک‌سوم زمین نشان داد (۴۵). مطالعه کربای و همکاران (۲۰۱۶) بر روی آب قابل‌دسترس آینده در بنگلادش افزایش نیاز آبیاری، افت آب زیرزمینی، تغییرپذیری باران و رواناب (افزایش و کاهش) را نشان داد (۲۲). هبتز و همکاران (۲۰۱۳) منابع آب آینده را در دو حوضه فرانسه بررسی و نتیجه‌گیری کردند که این حوضه‌ها  $2/1^{\circ}\text{K}$  افزایش دما و ۳٪ کاهش بارش را تجربه می‌کنند که منجر به ۱۴٪ کاهش رواناب و ۲/۵ متر افت سطح آب زیرزمینی می‌گردد (۱۵). کیم و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که بر اساس سناریوی ۲ برابر شدن  $\text{CO}_2$  در جو، رواناب حوضه یونگدام در کره به‌میزان ۷/۶ درصد کاهش می‌یابد (۲۱). موسا و همکاران (۲۰۱۵) با پنج GCM و سناریوهای SRES در کنیا تغییر قابل‌توجه رواناب را نشان دادند (۳۳). زو و لو (۲۰۱۵) با هفت GCM و سناریوی AIB در مناطق نیمه‌خشک و مرطوب چین تغییر شدید دما تا

بارش و تبخیر ایستگاه‌های سینوپتیکی و کلیماتولوژی از سازمان هواشناسی کشور و از شرکت مدیریت منابع آب ایران دریافت شد. در برخی نقاط حوضه پراکنش ایستگاه‌ها مناسب نبوده و برخی از ایستگاه‌ها تعطیل شده و عدم وجود آمار بلندمدت با پراکنش مناسب یکی از چالش‌های اساسی این پژوهش بوده است.

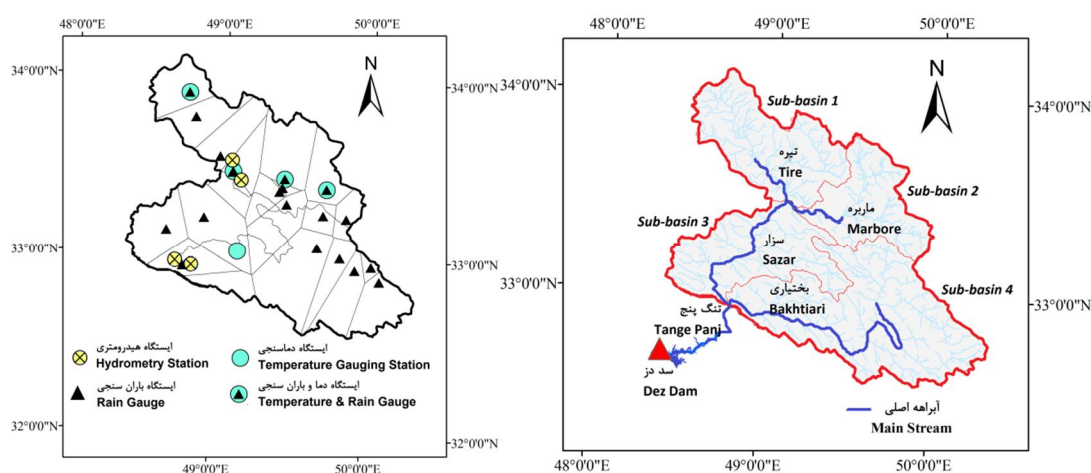
چندمنظوره دز تأمین‌کننده آب شرب، صنعت، کشاورزی و تولید نیروی برقآبی در پایین‌دست تنگ‌پنج قرار دارد (شکل ۱).

داده‌های مورد استفاده: داده‌های بلندمدت روزانه دبی انتهای زیرحوضه‌های حوضه سد دز (جدول ۲) از شرکت مدیریت منابع آب ایران مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های بلندمدت (۱۹۸۱-۲۰۱۰) دما،

جدول ۱- مشخصات زیرحوضه‌های حوضه آبریز سد دز.

Table 1. Identification of Sub-basins of the Dez Dam Basin.

زیرحوضه Sub-basin	مساحت (Km <sup>2</sup> ) Area	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع متوسط (m) Average elevation	اقلیم Climate
تیره Tire (1)	3477	33.68	48.97	1551	نیمه‌خشک Semi-arid
ماربره Marbore (2)	2553	33.55	49.51	1943	نیمه‌خشک Semi-arid
سزار Sazar (3)	3281	33.25	48.92	1574	نیمه‌خشک Semi-arid
بختیاری Bakhtiari (4)	5973	32.96	49.52	2460	نیمه‌خشک Semi-arid



شکل ۱- محدوده مطالعاتی حوضه آبریز سد دز و ایستگاه‌های هیدرومتری، باران سنجی و دماسنجی.

Figure 1. Study area of the Dez Dam Basin and rain gauge, hydrometry and temperature gauging stations.

جدول ۲- بازه زمانی مشاهداتی و متوسط آورد سالانه حوضه‌های مورد مطالعه در حوضه دز.

**Table 2. Observation period and average annual flow from the studied sub-basins in the Dez dam basin.**

زیرحوضه Sub-basin	دوره مشاهداتی Observation Period	آورد سالانه (Mm <sup>3</sup> ) Annual Flow (Mm <sup>3</sup> )
1	1956-2011	486
2	1956-2011	282
3	1955-2011	3231
4	1977-2011	4830

که در آن‌ها،  $X_i$  و  $X_k$  مقادیر داده هستند. پس از محاسبه  $S$  و یافتن میانگین و واریانس آن مقدار آماره  $Z_{MK}$  از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

اگر  $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z_{MK} \leq Z_{1-\alpha/2}$  فرض صفر (عدم وجود روند) پذیرفته می‌شود. مقدار  $Z_{1-\alpha/2}$  از مقدار بحرانی  $Z$  از توزیع نرمال در سطح معنی‌داری  $\alpha$  به دست می‌آید. مقادیر منفی و مثبت ضریب تاو ( $\tau$ ) نشان‌دهنده روند منفی و مثبت است. از آنجا که همبستگی سریالی نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴۸) از روش از بین بردن اثر همبستگی سریالی (۴۹) و نیز از کندال فصلی (۱۶) برای از بین بردن نوسانات فصلی استفاده شد. این روش تغییرات کوتاه‌مدت را به دلیل فصلی بودن در نظر می‌گیرد (۳۵).

**آزمون نقطه تغییر:** برای یافتن نقاط تغییر در سری زمانی جریان از روش‌های پتی و بوشند استفاده شده است. از آنجا که هرکدام از روش‌ها قابلیت معرفی نقاط تغییر متفاوتی را دارند استفاده هم‌زمان از آن‌ها امکان شناسایی چند نقطه تغییر را فراهم می‌کند.

آزمون‌های آماری ناپارامتری روند و نقطه تغییر در سری زمانی: آزمون‌های آماری جهت نشان دادن روند و نقطه تغییر ناگهانی در سری زمانی به دو دسته پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. روش‌های ناپارامتری فرضی در مورد توزیع داده‌ها نداشته و این جهت آشکارسازی روند تحت تأثیر تغییر ناگهانی در سری زمانی قرار نمی‌گیرد. از این‌رو در مطالعه متغیرهای هیدرولوژیکی که تمایل به توزیع غیرنرمال داشته و ناهمگند مناسب‌تر هستند.

**آزمون روند من - کندال:** آزمون ناپارامتری من - کندال به‌طور گسترده برای تشخیص روند یکنواخت در سری‌های زمانی هیدروکلیماتولوژیکی به کار می‌رود (۲۰، ۲۸). مبنای آزمون آماره  $S$  می‌باشد (رابطه‌های ۱ و ۲) و برای تعداد داده بیش از ۸ قابل استفاده است. در این حالت  $S$  تقریباً به صورت نرمال با میانگین ۰ و واریانس  $Var(S)$  (رابطه ۳) توزیع یافته است (۴۸).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (3)$$

$$S_0^* = 0 \text{ and } S_y^* = \sum_{i=1}^y (Y_i - \bar{Y}), \quad y = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

مقدار  $S_y^*$  وجود شکست در سری زمانی را نشان می‌دهد. مقدار نزدیک به صفر نشان‌دهنده همگنی بوده و مقادیر حدی حداکثر (حداقل) نشان‌دهنده وجود نقطه تغییر منفی (مثبت) می‌باشد. بازه R اصلاح و تغییر مقیاس شده از رابطه ۱۱ به دست می‌آید.

$$R = \frac{\left( \max_{0 \leq y \leq n} S_y^* - \min_{0 \leq y \leq n} S_y^* \right)}{s} \quad (11)$$

جهت تعیین سطح معنی‌داری نقطه تغییر مقدار  $R/\sqrt{n}$  با مقدار حدی که توسط بوشند (۱۹۸۲) ارائه شده مقایسه می‌گردد (۸).

مجموعه مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای مورد استفاده: مدل‌های بزرگ مقیاس اقلیمی (GCM) با فرض‌های محتمل IPCC (سناریوهای انتشار) امکان بررسی اثر تغییر اقلیم را فراهم می‌کنند و پیش‌بینی GCMها مبتنی بر این فرضیات و نیز بر اساس میزان گاز گلخانه‌ای نظیر CO<sub>2</sub>، متان، اکسید نیتروژن، بخار آب و ذرات سولفات می‌باشد. در این پژوهش برای فراهم آوردن امکان بررسی حالت‌های مختلف محتمل اقلیمی و مقایسه نتایج، دو GCM (جدول ۳) و سناریوهای انتشار گزارش چهارم IPCC (SRES) استفاده شده است (۴۴). سناریوهای بدبینانه (A2)، خوشبینانه (B1) و حالت میانه (A1B) جهت شبیه‌سازی جریان آینده به کار گرفته شده‌اند.

آزمون پتی (Pettit): این آزمون بر اساس تست U من-ویتی می‌باشد و برای شناسایی معنی‌دارترین نقطه تغییر در سری زمانی استفاده می‌شود. این روش فرض می‌کند که مشاهدات از یک دنباله مرتب و پشت‌سرهم می‌آید (۳۸). آماره این آزمون توسط رابطه‌های ۵ تا ۷ محاسبه می‌گردد. حداکثر مقدار  $|U_{t,T}|$  معنی‌دارترین نقطه تغییر  $K_t$  را در سری زمانی معرفی می‌نماید (رابطه ۸).

$$U_{t,T} = \begin{cases} V_{1,T}, & \text{if } t = 1 \\ U_{t-1,T} + V_{t,T}, & \text{if } t = 2, T, \end{cases} \quad (5)$$

$$V_{t,T} = \sum_{j=1}^T \text{sgn}(x_t - x_j) \quad (6)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$K_t = \max |U_{t,T}| \quad (8)$$

اگر احتمال معنی‌داری نقطه تغییر ( $P_t$ ) بیش از حد معنی‌داری  $\alpha$  باشد، سری زمانی فاقد نقطه تغییر معنی‌دار است (رابطه ۹).

$$P_t = 1 - \exp\left(\frac{-6U_{t,T}^2}{T^3 + T^2}\right) \quad (9)$$

آزمون بوشند (Buishand): روش بوشند بر اساس جمع جزئی اصلاح شده  $S_y^*$  است که توسط رابطه ۱۰ محاسبه می‌گردد (۸).

جدول ۳- معرفی GCMهای مورد استفاده.

Table 3. Applied GCMs introduction.

سناریوهای SRES	تفکیک مکانی	مخفف GCM	مدل اقلیمی	کشور	مرکز تحقیقات
SRES Scenarios	Resolution	Acronym	GCM	Country	Research centre
A1B, A2, B1	1.4×1.4°	CCSM	CCSM3	آمریکا USA	مرکز ملی تحقیقات جوی National Centre for Atmospheric Research
A1B, A2, B1	1.9×1.9°	ECHAM5	ECHAM5-OM	آلمان Germany	مؤسسه هواشناسی ماکس-پلانک Max-Planck Institute for Meteorology

مدل‌سازی حوضه‌های متشکل از چند زیرحوضه را به‌صورت نیمه‌توزیعی و با تعریف ارتباط میان زیرحوضه‌ها فراهم می‌نماید. این مدل جریان را با ورودی‌های دما، بارش و تبخیر شبیه‌سازی می‌کند و دارای رویه‌های ذوب برف، رطوبت خاک، تابع پاسخ هیدرولوژی و روندیابی می‌باشد. واسنجی مدل معمولاً با سعی و خطا انجام می‌شود (۷). برای ارزیابی مدل از ضرایب نش- ساتکلیف ( $R_{eff}$ )، نش- ساتکلیف لگاریتم داده‌ها ( $R_{eff}(\log Q)$ ) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) استفاده شده است. هرچه  $R_{eff}$  و  $R_{eff}(\log Q)$  به ۱ نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده برازش بهتر مدل است. مقدار  $R^2$  نزدیک به ۱ نیز نشان‌دهنده برازش بهتر مدل است.

### بحث و نتیجه‌گیری

آزمون روند و نقطه تغییر در سرهای دبی در حوضه سد دز: وجود روند در سری‌های ماهانه، فصلی و سالانه توسط روش من- کندال بررسی شد. نتایج روند کاهشی معنی‌داری را در سری ماهانه در زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داد اما در زیرحوضه ۴ روند معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). روندها در سری‌های فصلی نیز بررسی شد که جز روند کاهشی معنی‌دار در سری جریان تابستانه در زیرحوضه ۲، در بقیه موارد روند معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول ۴- آماره‌های آزمون من- کندال (مقادیر آماره P پررنگ معنی‌دار هستند).

Table 4. Mann-Kendall trend test statistics (P-values in bold are significant).

سالانه Annual		فصلی Seasonal		ماهانه Monthly		زیرحوضه Sub-basin
P	Tau	P	Tau	P	Tau	
0.511	-0.099	<b>0.046</b>	-0.119	0.038	-0.098	1
0.625	-0.072	<b>0.008</b>	-0.157	0	-0.175	2
0.097	-0.303	<b>0.018</b>	-0.191	0.003	-0.2	3
0.61	0.076	<b>0.345</b>	0.06	0.3	0.055	4

ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی‌های مدل‌های اقلیمی گردش عمومی جو: به‌منظور تعمیم اطلاعات بزرگ‌مقیاس GCMها روش‌های متنوعی مانند روش‌های نسبت/ تفاوت، آماری و دینامیکی به‌کار می‌روند. هزینه محاسباتی و زمانی بالا عامل محدودیت مدل‌های دینامیکی است. مدل‌های آماری با سرعت و دقت بالا قادر به تولید سری زمانی آینده براساس فرضیات سناریوی اقلیمی و ویژگی‌های سری زمانی پایه می‌باشند و در مطالعات کاربردی مطلوب‌ترند.

### مولد هواشناسی LARS-WG: مدل LARS-WG

یک مدل مولد تصادفی پرکاربرد است که برای ریزمقیاس‌نمایی و تولید مقادیر بارش، تابش، دمای حداکثر و حداقل به‌کار می‌رود. این مدل برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای به‌کار می‌برد و برای طول دوره خشک و تر، بارش و تابش از توزیع نیمه‌تجربی و برای دما از سری فوریه استفاده می‌کند (۶).

### مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز سد دز: در این

پژوهش از مدل مفهومی نیمه‌توزیعی HBV-LIGHT برای شبیه‌سازی جریان بهره گرفته شد. مبنای این مدل، روابط توسعه داده شده توسط برگستروم (۱۹۹۲) می‌باشد و توسط سیبرت با ایجاد اصلاحاتی به‌صورت بسته نرم‌افزاری توسعه داده شده است (۷، ۴۱). نسخه مورد استفاده در این پژوهش امکان

تغییرات تدریجی کاهشی جریان با نتایج سایر پژوهش‌های انجام شده در حوضه که نشان‌دهنده روند افزایش دما و تبخیر و تعرق و کاهش بارش بوده‌اند، سازگار است (۲۹، ۵۰، ۵۱). علاوه بر کاهش‌های تدریجی جریان، مقایسه جریان در سال‌های قبل و بعد سال ۱۹۹۵ به‌عنوان یک سال شاخص در زیرحوضه‌های ۱ تا ۴ به‌ترتیب ۳۹/۴، ۴۳/۳، ۳۶/۱ و ۱۴/۷ درصد تغییر را نشان می‌دهد.

سالاری جزئی و همکاران (۲۰۱۲) نیز تغییرات سری‌های جریان حداقل، حداکثر و متوسط سالانه رودخانه کارون در ایستگاه هیدرومتری اهواز را با آزمون‌های ناپارامتری پتی و من-کندال مورد بررسی قرار داده و با تفکیک سری‌های زمانی مربوط به قبل و بعد از نقطه شکست روند کاهشی جریان را در هر دو سری زمانی مشخص ساختند (۴۰).

آزمون نقطه تغییر هم بر روی سری‌های مورد مطالعه انجام شد. نتایج بیانگر آنست که در بیش‌تر سری‌های مورد مطالعه تغییرات ناگهانی معنی‌دار به‌وقوع پیوسته است. تغییرات ناگهانی منفی در سری‌های ماهانه تمام زیرحوضه‌ها، به‌جز زیرحوضه ۴، مشاهده شد. آماره‌های مربوط به آزمون‌های پتی و بوشند و زمان وقوع و مقدار تغییرات در جدول ۵ نشان داده شده است.

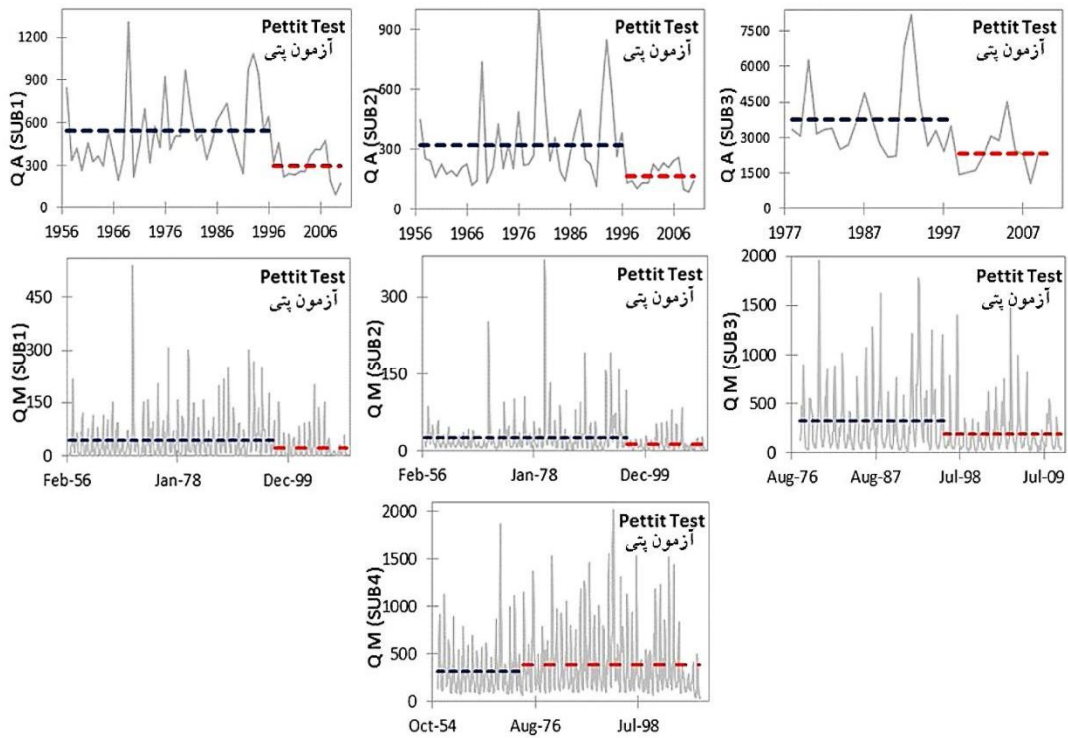
نکته قابل‌توجه رخداد این تغییرات ناگهانی در بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۹۸ می‌باشد. به‌طوری‌که ارزیابی‌های بیش‌تر بر روی سری فصلی نیز وقوع یک کاهش ناگهانی را در سال‌های بعد از نقطه تغییر به نسبت سال‌های پیشین تأیید نمود. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود تغییرات عمدتاً در جهت کاهش جریان می‌باشد. البته زیرحوضه ۴ رفتار متفاوتی را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقادیر آماره آزمون‌های نقطه تغییر پتی و بوشند (مقادیر آماره P پررنگ معنی‌دار هستند).

Table 5. Shift change point Pettit and Buishand tests statistics (P-values in bold are significant).

بوشند Buishand				پتی Pettit				سری جریان	زیرحوضه
مقدار تغییر Change Magnitude	نقطه تغییر Change point	P	R	مقدار تغییر Change Magnitude	نقطه تغییر Change point	p	Kt	Flow series	Sub-basin
-254.7	1996	0.019	10.46	-254.7	1996	0.007	372	سالانه Annual	1
-21.8	May 1997 می	< 0.0001	56.11	-21.8	May 1997 می	< 0.0001	24126	ماهانه Monthly	
-	1996	0.081	8.59	-154.9	1996	0.024	322	سالانه Annual	2
-13.2	May 1996 می	0	55.1	-13.2	July 1997 ژوئیه	< 0.0001	33656	ماهانه Monthly	
-1458	1994	0.018	7.94	-1435	1998	0.008	168	سالانه Annual	3
-135.3	May 1994 می	< 0.0001	44.17	-134.7	June 1996 ژوئن	< 0.0001	10579	ماهانه Monthly	
-	1968	0.22	7.22	-	1973	0.139	258	سالانه Annual	4
97	Feb 1968 فوریه	0.033	36.46	68	Jan 1974 ژانویه	0.031	14374	ماهانه Monthly	





شکل ۲- نقاط تغییر معنی دار معرفی شده توسط آزمون پتی در سری های زمانی جریان های سالانه ( $Q_A$ ) و ماهانه ( $Q_M$ ) (میلیون مترمکعب).  
**Figure 2. Significant shift change points identified by Pettit test in annual ( $Q_M$ ) and monthly ( $Q_A$ ) timeseries (MCM).**

شبیه سازی در بردارنده رخداد های هیدرولوژیکی متنوعی باشد.

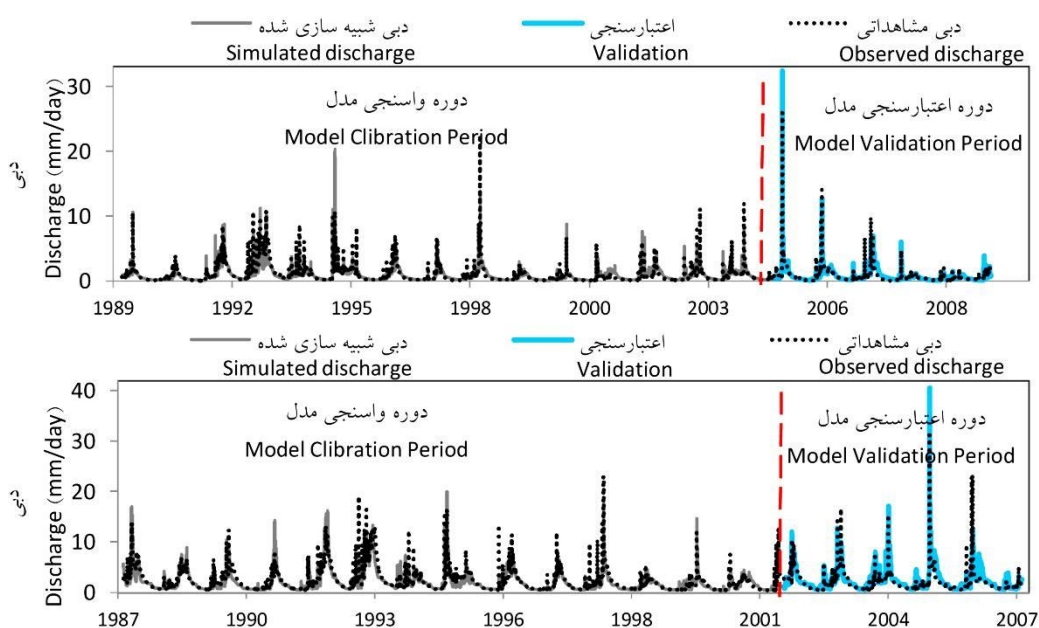
شکل ۳ مقادیر دبی مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل را در زیرحوضه های ۳ و ۴ در دوره های واسنجی و اعتبارسنجی نشان می دهد. همچنین آماره های ارزیابی برازش مدل در جدول ۶ برای تمامی زیرحوضه ها دقت قابل قبول مدل را در شبیه سازی جریان نشان می دهد. پس از حصول اطمینان از کارایی مدل، سری های زمانی جریان برای افق های زمانی آینده شبیه سازی شد.

مدلسازی هیدرولوژیکی: مدلسازی هیدرولوژیکی با ورودی دما، بارش و تبخیر روزانه دوره پایه توسط مدل HBV انجام شد. با توجه به این که خروجی زیرحوضه های ۱ و ۲ از مرز بالایی زیرحوضه ۳ وارد آن زیرحوضه می شوند (شکل ۱)، مدلسازی زیرحوضه های ۱، ۲ و ۳ به صورت نیمه توزیعی و مدلسازی زیرحوضه ۴ به صورت توده ای انجام شد. آزمون مدل با پارامترهای واسنجی شده برای یک دوره مستقل جهت اطمینان از اعتبار مدل در شبیه سازی شرایط متنوع ضروری بوده و سعی شده دوره اعتبارسنجی (۵ تا ۶ سال انتهایی) مانند دوره

جدول ۶- آماره‌های کارایی مدل در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی.

Table 6. Statistics of the efficiency of the model for calibration and validation periods.

اعتبارسنجی Validation				واسنجی Calibration				زیرحوضه Sub-basin
Diff (mm/year)	$R_{eff}(\log Q)$	$R^2$	$R_{eff}$	Diff (mm/year)	$R_{eff}(\log Q)$	$R^2$	$R_{eff}$	
-26	0.362	0.794	0.638	9	0.43	0.697	0.678	1
-26	0.265	0.776	0.43	9	0.532	0.622	0.617	2
-30	0.598	0.634	0.5	10	0.787	0.635	0.632	3
-146	0.569	0.595	0.451	18	0.765	0.684	0.651	4



شکل ۳- دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل HBV در دوره‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی برای زیرحوضه‌های ۳ و ۴.  
Figure 3. Observed and simulated discharge by HBV model for calibration and validation periods in subbasins 3 and 4.

شده است. نتایج به‌دست آمده براساس خروجی هر دو GCM مورد مطالعه بیانگر کاهش جریان در بیش‌تر فصول سال به‌جز فصل تابستان است که در زیرحوضه‌های ۱ تا ۳ با افزایش جریان همراه بوده است. به‌علاوه مقایسه نتایج در افق‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که در دوره‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ افت‌های شدیدتری نسبت به دوره ۲۰۲۰ پیش‌بینی می‌گردد.

پیش‌بینی جریان آینده حوضه آبریز سد دز تحت شرایط تغییر اقلیم: در این مرحله به‌منظور پیش‌بینی جریان در افق‌های زمانی آینده تحت سناریوهای تغییر اقلیم از داده‌های ریزمقیاس شده توسط مدل LARS-WG به‌عنوان ورودی مدل هیدرولوژیکی استفاده شد. تغییرات جریان نسبت به دوره پایه در فصول مختلف و به‌صورت سالانه در جدول ۷ ارائه

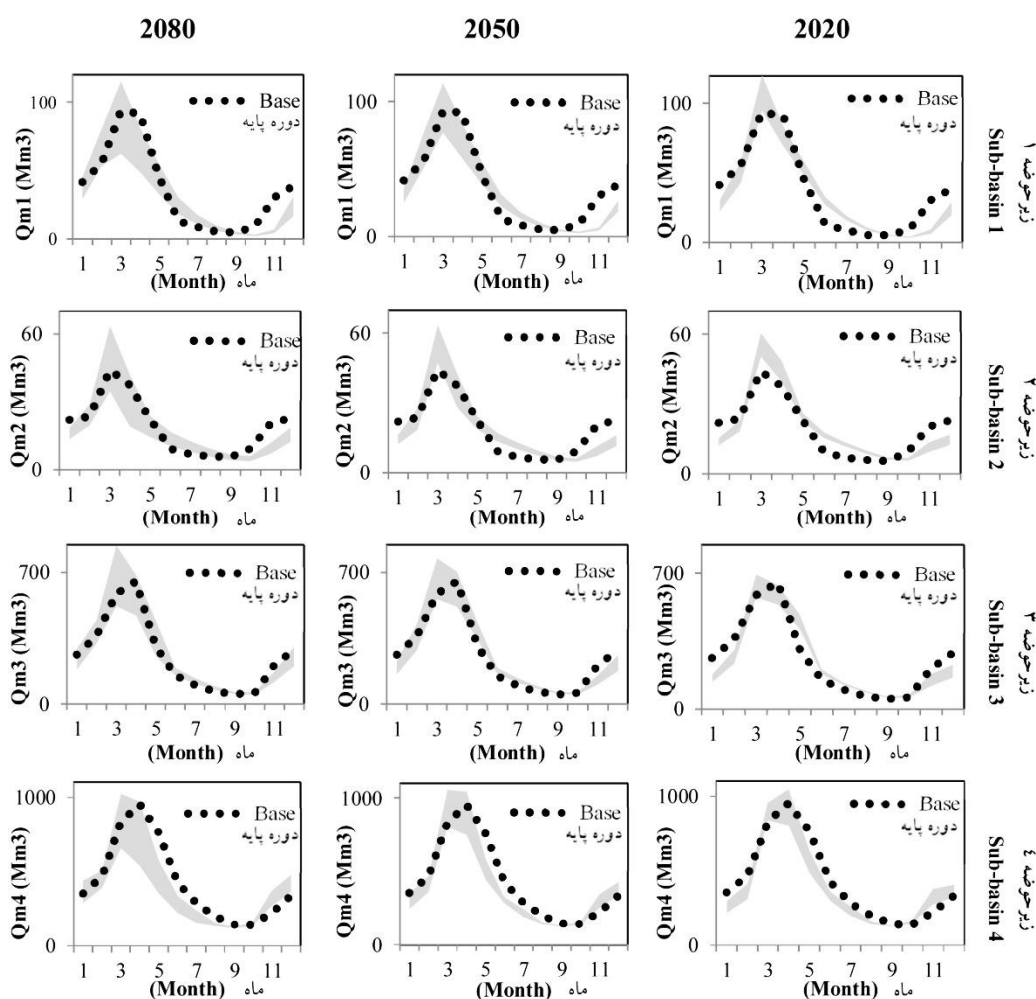
جدول ۷- درصد تغییرات جریان در افق زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه و پتانسیل حوضه (میلیارد مترمکعب).

**Table 7. Percentage of the flow change in 2020, 2050 and 2080 compared to base period and basin potential (BM<sup>3</sup>).**

HadCM3			CCSM3						GCM						Sub-basin زیر حوضه				
B1-80	A2-80	A1B-80	B1-50	A2-50	A1B-50	B1-20	A2-20	A1B-20	B1-80	A2-80	A1B-80	B1-50	A2-50	A1B-50		B1-20	A2-20	A1B-20	سناریو-افق زمانی Scenario - time horizon
-24	-20	-1	-15	-17	-13	-3	12	-5	-8	-17	-18	0	-7	-16	-3	12	-5	بهار (Spring)	1
58	63	103	78	71	79	99	124	99	89	69	74	107	92	72	99	124	99	تابستان (Summer)	
-74	-76	-64	-75	-72	-72	-67	-59	-66	-68	-70	-72	-68	-71	-71	-67	-59	-66	پاییز (Fall)	
-9	5	-23	-27	-11	-6	-31	-13	-30	-11	3	-13	-29	-24	-22	-31	-13	-30	زمستان (Winter)	
-19	-13	-8	-19	-15	-12	-4	-8	-8	-9	-11	-16	-9	-13	-18	-12	-4	-13	سالانه (Annual)	
-21	-29	16	-4	-4	-8	16	27	13	7	-17	-11	18	4	-3	16	27	13	بهار (Spring)	2
28	18	72	46	47	44	70	84	70	59	33	41	72	56	46	70	84	70	تابستان (Summer)	
-45	-56	-30	-51	-40	-43	-34	-22	-33	-33	-40	-41	-35	-39	-38	-34	-22	-33	پاییز (Fall)	
-22	-21	-26	-38	-23	-21	-31	-20	-30	-20	-12	-22	-32	-30	-28	-31	-20	-30	زمستان (Winter)	
-20	-26	2	-17	-10	-12	3	-1	2	-2	-14	-14	0	-8	-11	-1	11	-2	سالانه (Annual)	
-6	-1	5	0	-2	4	5	15	2	8	1	2	12	9	0	5	15	2	بهار (Spring)	3
13	18	25	18	17	20	24	34	24	24	18	20	28	24	16	24	34	24	تابستان (Summer)	
-22	-27	-14	-34	-19	-21	-19	-2	-16	-10	-9	-17	-18	-20	-16	-19	-2	-16	پاییز (Fall)	
-11	11	-31	-29	-16	-11	-34	-23	-34	-16	6	-11	-31	-24	-23	-34	-23	-34	زمستان (Winter)	
-7	2	5	-10	-6	-1	-3	-6	-5	1	3	-2	-2	-2	-7	-7	4	-8	سالانه (Annual)	
-30	-34	-5	-14	-20	-20	-5	-2	-30	-14	-27	-22	-5	-11	-19	-5	-2	-30	بهار (Spring)	4
-37	-42	-19	-27	-29	-32	-20	-15	-37	-26	-38	-35	-23	-29	-32	-20	-15	-37	تابستان (Summer)	
11	5	25	0	13	11	19	33	11	27	29	22	18	17	22	19	33	11	پاییز (Fall)	
-3	16	-17	-16	-5	-1	-21	-13	-3	-5	11	-1	-18	-11	-12	-21	-13	-3	زمستان (Winter)	
-21	-20	-7	-15	-15	-15	-6	-8	-7	-10	-15	-15	-9	-11	-15	-9	-3	-21	سالانه (Annual)	
6.9	7.2	7.1	7.1	7.2	7.4	7.8	7.6	7.7	7.7	7.5	7.3	7.7	7.5	7.2	7.5	8.1	6.9	پتانسیل حوضه Basin potential flow	

توسط دو GCM بازه وسیعی را پوشش می‌دهد. به‌علاوه این بازه در افق زمانی ۲۰۸۰ مقادیر متنوع‌تری را دربرمی‌گیرد که نشان‌دهنده عدم قطعیت بیش‌تر شبیه‌سازی در این افق زمانی است. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده با جریان دوره پایه وقوع زود هنگام‌تر حداکثر رواناب را نشان می‌دهد.

با مقایسه پتانسیل آورد سالانه دوره پایه حوضه که برابر ۸۰۶۱ میلیون مترمکعب می‌باشد، تغییر اقلیم پتانسیل کاهش جریان حوضه سد دز تا بیش از ۱ میلیارد مترمکعب را دارد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده بازه مقادیر شبیه‌سازی شده در افق‌های زمانی آینده تحت سناریوهای تغییر اقلیم مورد مطالعه



شکل ۴- بازه مقادیر شبیه‌سازی شده جریان ماهانه  $Q_m$  ( $Mm^3$ ) در افق‌های زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ توسط مجموعه GCMها و سناریوها. Figure 4. Range of simulated Monthly flow ( $Mm^3$ ) for 2020, 2050 and 2080 horizons by all GCMs and scenarios.

مالمیر و همکاران (۲۰۱۶) بر اساس خروجی‌های حاصل از سناریوهای A2 و B2، کاهش رواناب را در سرشاخه‌های حوضه کرخه در افق‌های زمانی آینده نشان دادند (۲۷).

مطالعات مشابه در زیرحوضه گالیکش توسط سهرابیان و همکاران (۲۰۱۵) افت‌های قابل‌توجه جریان را در افق‌های زمانی آینده، تحت سناریوهای تغییر اقلیم SRES، نشان داده است (۴۳). همچنین

### نتیجه گیری

در این پژوهش تغییرات اخیر جریان در زیرحوضه‌های حوضه آبریز سد دز توسط روش‌های آماری ناپارامتری مورد بررسی قرار گرفت. همچنین جریان آینده حوضه در سه افق زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر اساس خروجی به‌دست آمده با به‌کارگیری دو GCM و سناریوهای A1B، A2 و B1 توسط مدل HBV شبیه‌سازی شد. نتایج تحلیل روند و شناسایی نقاط تغییر در سری‌های زمانی بلندمدت دوره پایه کاهش تدریجی جریان و نیز وقوع افت‌های ناگهانی جریان را بین ۱۴/۷ درصد در زیرحوضه بختیاری تا ۴۳/۳ درصد در زیرحوضه ماربره نشان می‌دهد. بر اساس پیش‌بینی‌ها با فرض وقوع تغییر اقلیم تحت هر سه سناریوی بدبینانه، حالت میانه و خوش‌بینانه جریان سالانه در بیش‌تر موارد تمایل به کاهش قابل‌توجهی را نشان می‌دهد و این کاهش بیش‌تر به‌دلیل کاهش جریان در بهار، پاییز و زمستان

است که زیرحوضه‌ها افت شدیدی را تجربه خواهند نمود. بر اساس خروجی مدل‌ها و سناریوها، پتانسیل کل جریان سالانه شبیه‌سازی شده حوضه در افق‌های زمانی آینده بین ۶/۹ تا ۸/۱ میلیارد مترمکعب می‌باشد که به‌جز خروجی مدل CCSM3، تحت سناریو A2 در افق زمانی ۲۰۲۰، در بقیه موارد کاهش جریان پیش‌بینی می‌شود.

نتایج این پژوهش وقوع کاهش جریان در گذشته و امکان افت بیش‌تر آن را در آینده در حوضه آبریز سد دز نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت این حوضه از نظر تولید انرژی برقی و نیز تأمین آب مورد نیاز شرب، صنعت و کشاورزی، ضروریست گام‌هایی در جهت بازنگری سیاست‌گذاری در بخش آب این حوضه و نیز اتخاذ استراتژی‌های سازگاری با تغییر اقلیم برداشته شود.

### منابع

1. Abghari, H., Tabari, H., and Hosseinzadeh Talaei, P. 2013. River flow trends in the west of Iran during the past 40 years: Impact of precipitation variability. *Global Planet. Change.* 101: 52-60.
2. Adam, J.C., Hamlet, A.F., and Lettenmaier, D.P. 2009. Implications of global climate change for snowmelt hydrology in the twenty-first century. *Hydrol. Process.* 23: 962-972.
3. Ahani, H., Kherad, M., Kousari, M.R., Roosmalen, L.V., Aryanfar, R., and Hoseini, S.M. 2013. Non-parametric trend analysis of the aridity index for three large arid and semi-arid basins in Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 112: 53-564.
4. Akhavan, S., Ghabaei Sough, M., and Mosaedi, A. 2015. Investigation of the effect of climate change on net irrigation requirement of main crops of Hamadan-Bahar plain using LARS-WG downscaling model. *J. Water. Soil Cons.* 22: 4. 24-46. (In Persian)
5. Arnell, N.W., and Gosling, S.N. 2013. The impacts of climate change on river flow regimes at the global scale. *J. Hydrol.* 486: 351-364.
6. Babayian, I., Najafinik, Z., Zabol Abbasi, F., Habibi Nokhandan, M., Adab, H., and Malboosi, S. 2010. Climate change assessment over Iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G Model. *Geography and Development.* 7-16: 135-152. (In Persian)
7. Bergström, S. 1992. The HBV-Model-Its Structure and Applications. SMHI Reports RH No. 4, Norrköping, 44p.
8. Buishand, T.A. 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrol.* 58: 11-27.
9. Darand, M. 2014. Analysis of variations in extreme temperature and precipitation in Oromieh indices as the signs of climate change. *J. Water. Soil Cons.* 21: 2. 1-29. (In Persian)

10. Dinpashoh, Y., Jhajharia, D., Fakheri-Fard, A., Singh, V.P., and Kahya, E. 2011. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *J. Hydrol.* 399: 3-4. 422-433.
11. Gan, R., Luo, Y., Zuo, Q., and Sun, L. 2015. Effects of projected climate change on the glacier and runoff generation in the Naryn River Basin, Central Asia. *J. Hydrol.* 523: 240-251.
12. Golian, S., Mazdiyasi, O., and AghaKouchak, A. 2015. Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 119: 679-688.
13. Graham, L.P., Hagemann, S., Jaun, S., and Beniston, M. 2007. On interpreting hydrological change from regional climate models. *Climatic Change.* 81: 97-122.
14. Guo, Y., and Shen, Y. 2015. Quantifying water and energy budgets and the impacts of climatic and human factors in the Haihe River Basin, China: 2. Trends and implications to water resources. *J. Hydrol.* 527: 251-261.
15. Habets, F., Boé, J., Déqué, M., Ducharne, A., Gascoïn, S., Hachour, A., Martin, E., Pagé, C., Sauquet, E., Terray, L., Thiéry, D., Oudin, L., and Viennot, P. 2013. Impact of climate change on the hydrogeology of two basins in northern France. *Climatic Change.* 121: 4. 771-785.
16. Hirsch, R.M., and Slack, J.R. 1984. A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence. *Water Resour. Res.* 20: 727-732.
17. Hu, Y., Maskey, S., Uhlenbrook, S., and Zhao, H. 2011. Streamflow trends and climate linkages in the source region of the Yellow River, China. *Hydrol. Process.* 25: 22. 3399-3411.
18. Kahya, E., and Kalaycı, S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. *J. Hydrol.* 289: 1-4. 128-144.
19. Kallis, G. 2008. Droughts. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 33: 1. 85-118.
20. Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods.* Griffin, London, 202p.
21. Kim, B.S., Kim, H.S., Ha, S.B., and Kim, N.W. 2007. Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment.* 21: 355-373.
22. Kirby, J.M., Mainuddin, M., Mpelasoka, F., Ahmad, M.D., Palash, W., Quadir, M.E., Shah-Newaz, S.M., and Hossain, M.M. 2016. The impact of climate change on regional water balances in Bangladesh. *Clim. Change.* 135: 481-491.
23. Kousari, M.R., Ahani, H., and Hendi-zadeh, R. 2013. Temporal and spatial trend detection of maximum air temperature in Iran during 1960-2005. *Global Planet. Change.* 111: 97-110.
24. Kousari, M.R., and Asadi Zarch, M.A. 2011. Minimum, maximum, and mean annual temperatures, relative humidity, and precipitation trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Arab J. Geosci.* 4: 907-914.
25. Lalika, M.C., Meire, P., Ngaga, Y.M., and Chang'a, L. 2015. Understanding watershed dynamics and impacts of climate change and variability in the Pangani River Basin, Tanzania. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 15: 26-38.
26. Lee, A., Cho, S., Kang, D.K., and Kim, S. 2014. Analysis of the effect of climate change on the Nakdong river stream flow using indicators of hydrological alteration. *J. Hydro. - Environ. Res.* 8: 234-247.
27. Malmir, M., Mohamadrezapour, O., Sharifazari, S., and Ghandehari, Gh. 2016. The effect of climate change on stream flow used Statistical downscaling of HADCM3 model and Artificial Neural Networks. *J. Water. Soil Cons.* 23: 3. 317-326. (In Persian)
28. Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica.* 13: 245-259.
29. Marofi, S., Soleymani, S., Salarijazi, M., and Marofi, H. 2012. Watershed-wide trend analysis of temperature characteristics in Karun-Dez watershed, southwestern Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 110: 1-2. 311-320.
30. Masih, I., Uhlenbrook, S., Maskey, S., and Smakhtin, V. 2011. Streamflow trends and climate linkages in the Zagros Mountains, Iran. *Climatic Change.* 104: 2. 317-338.
31. Moazed, H., Salarijazi, M., Moradzadeh, M., and Soleymani, S. 2010. Changes in rainfall characteristics in Southwestern Iran. *Afric. J. Agric. Res.* 7: 18. 2835-2843.

32. Modares, R., and Silva, V.P.R. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *J. Arid Environ.* 70: 344-355.
33. Musau, J., Sang, J., Gathenya, J., and Luedeling, E. 2015. Hydrological responses to climate change in Mt. Elgon watersheds. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 3: 233-246.
34. Nasri, M., and Modarres, R. 2009. Dry spell trend analysis of Isfahan Province, Iran. *Int. J. Climatol.* 29: 1430-1438.
35. Nielsen, D. 2006. *Practical Handbook of Environmental Site Characterization and Ground-Water Monitoring*, second edition, Taylor and Francis Group, Florida.
36. Nohara, D., Kitoh, A., Hosaka, M., and Oki, T. 2006. Impact of Climate Change on River Discharge Projected by Multimodel Ensemble. *J. Hydrometeorol.* 7: 1076-1089.
37. Pervez, M.D.S., and Henebry, G.M. 2014. Projections of the Ganges–Brahmaputra precipitation-Downscaled from GCM predictors. *J. Hydrol.* 517: 120-134.
38. Pettitt, A.N. 1979. A nonparametric approach to the change-point problem. *Appl. Stat.* 28: 126-135.
39. Sabziparvar, A.A., Mirmasoudi, S.H., Tabari, H., Nazemosadat, M.J., and Maryanaji, Z. 2011. ENSO teleconnection impacts on reference evapotranspiration variability in some warm climates of Iran. *Int. J. Climatol.* 31: 1710-1723.
40. Salarijazi, M., Akhond-Ali, A.M., Adib, A., and Daneshkhah, A. 2012. Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun River at the Ahvaz hydrometric station. *Afric. J. Agric. Res.* 7: 32. 4540-4552.
41. Seibert, J., and Vis, M.J.P. 2012. Teaching hydrological modelling with a user-friendly catchment-runoff-model software package. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16: 3315-3325.
42. Shahzad Khattak, M., Babel, M.S., and Sharif, M. 2011. Hydro-meteorological trends in the upper Indus River basin in Pakistan. *Climate Res.* 46: 103-119.
43. Sohrabian, E., Meftah Halaghi, M., Ghorbani, Kh., Golian, S., and Zakerinia, M. 2015. Effects of climate change on the discharge basin hydrology model (Case study: Galikesh Watershed in Golestan). *J. Water. Soil Cons.* 22: 2. 111-125. (In Persian)
44. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., and Miller, H.L. 2007. 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.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996p.
45. Van Vliet, M.T.H., Franssen, W.H.P., Yearsley, J.R., Ludwig, F., and Haddeland, I. 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environ. Change.* 23: 450-464.
46. Vezzoli, R., Mercogliano, P., Pecora, S., Zollo, A.L., and Cacciamani, C. 2015. Hydrological simulation of Po River (North Italy) discharge under climate change scenarios using the RCM COSMO-CLM. *Science of the Total Environment.* 521-522: 346-358.
47. Xu, H., and Luo, Y. 2015. Climate change and its impacts on river discharge in two climate regions in China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19: 4609-4618.
48. Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., and Cavadias, G. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrol. Processes.* 16: 1807-1829.
49. Yue, S., and Wang, C. 2004. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resour Manag.* 18: 201-218.
50. Zarenistanak, M., Dhorde, A., and Kripalani, R. 2014. Trend analysis and change point detection of annual and seasonal precipitation and temperature series over southwest Iran. *J. Earth Syst. Sci.* 123: 2. 281-295.
51. Zarenistanak, M., Dhorde, A.G., and Kripalani, R.H. 2014. Temperature analysis over southwest Iran: trends and projections. *Theor Appl. Climatol.* 116: 103-117.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(6), 2017*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Investigation of the hydrologic response of river flow to climate change (Case study: Dez Dam Basin)**

**R.S. Mousavi<sup>1</sup> and \*S. Marofi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Water Engineering, Bu-Ali Sina University,

<sup>2</sup>Professor, Dept. of Water Engineering, Bu-Ali Sina University

Received: 10/17/2016; Accepted: 02/05/2017

### **Abstract**

**Background and Objectives:** In the recent years due to observing evidences of climate change in meteorological and hydrological variables, concerns arisen regarding variations of renewable water resources and future water availability under climate change condition. Due to the importance of possible effects of climate change on surface water resources and flow regime, the present study investigates river flow variations during last decades as well as projections of future discharge of Dez dam basin.

**Materials and Methods:** Nonparametric Mann-Kendal trend test and two shift change point detection tests of Pettit and Buishand were applied to the discharge time-series at the outlet of Tire, Marbore, Sazar and Bakhtiari sub-basins to identify monotonic and abrupt changes. Also to project the discharge in 21<sup>st</sup> century considering the impact of climate change the outputs of two Global Circulation Models of CCSM3 and ECHAM5-OM for three pessimistic (A2), average (A1B) and optimistic (B1) scenarios, were used. To downscale the outputs of GCMs to the study area LARS Weather Generator were applied and the downscaled data fed to the HBV hydrological model to simulate the future flow.

**Results:** The Mann-Kendall test showed significant negative (decreasing) trend of the flow in three sub-basins of Tire, Marbore and Sazar but no significant trend were detected for Bakhtiari. Also shift change point detection tests identified occurrence of downward shifts in the three aforementioned sub-basins; while upward shift were detected for Bakhtiari sub-basin. The magnitude of these changes is noticeable and ranges between 14.7% in Bakhtiari to 43.3% in Marbore sub-basin. Also based on the results of the hydrological model by using the precipitation and temperature obtained for future time horizons of 2020, 2050 and 2080 as input, the annual flows show significant reductions in all sub-basins. Also, seasonal flows of Tire, Marbore and Sazar decreases in spring, autumn and winters but increases in summers. Seasonal flows of Bakhtiari basin also decreases in all seasons except for autumns. Generally, future simulation of the flow under the given climate change scenarios in the Dez Dam Basin shows drastic decrease (more than 1 billion cubic meters) of the annual potential discharge of the basin.

**Conclusion:** Investigation of the flow of Dez Dam Basin in the past decades shows significant monotonic and abrupt changes which is mostly toward decreasing the basin's potential runoff. Additionally, assessment of future flow by different scenarios show reduction of flow due to impact of climate change. Considering these evidences it is likely that the basin face with discharge reduction in future and results emphasize on modification of water resources management strategies to adapt with climate change.

**Keywords:** Global warming, Climate change, Nonparametric methods, flow regime

---

\* Corresponding Author; Email: marofisafar59@gmail.com