

آشکارسازی تغییرات در سری سیلاب حداکثر سالانه در دوره‌های گذشته در حوضه های کارون و دز

نرگس ظهراپی^۱، علیرضا مساح بوانی^۲، سمانه عبدویس^۳

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

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

۳. دانشجوی دکتری هیدرولوژی و منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان- معاونت مطالعات پایه و طرح های جامع منابع آب، اهواز، ایران

چکیده

اولین گام در مطالعات پدیده تغییر اقلیم، آشکارسازی روند تغییرات در متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی و بررسی عامل ایجاد روند است. در این تحقیق سعی گردید آشکارسازی تغییرات در سری سیلاب حداکثر سالانه در دوره‌های گذشته ارایه گردد. بدین منظور آشکارسازی تغییرات در بزرگی سیلاب‌های حداکثر سالانه حوضه کارون و دز در دوره‌های گذشته با استفاده از روش‌های مختلف (تحلیل فراوانی، آنالیز انحراف از استاندارد و آنالیز روند چندگانه من-کندال) به جهت شناسایی روند تغییرات تدریجی و ناگهانی، صورت گرفت. نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف در آشکارسازی روند تغییرات در بزرگی سری‌های سیلاب حداکثر سالانه نشان داد که فراوانی وقوع دبی‌های بزرگ سیلابی ($Q_5 > \text{Annual max flood}$) در ایستگاه‌های مختلف در دو دهه اخیر افزایش یافته است. همچنین در کنار روند افزایشی تدریجی در بزرگی سری سیلاب حداکثر سالانه یک گام تغییر افزایشی در بزرگی این سری حدى در اطراف سال ۱۹۸۳ در بخش‌های مختلف رودخانه‌های کارون و دز دیده شد.

کلمات کلیدی: آشکارسازی، تغییر اقلیم سیلاب، حداکثر سالانه، حوضه های کارون و دز.

۱. مقدمه

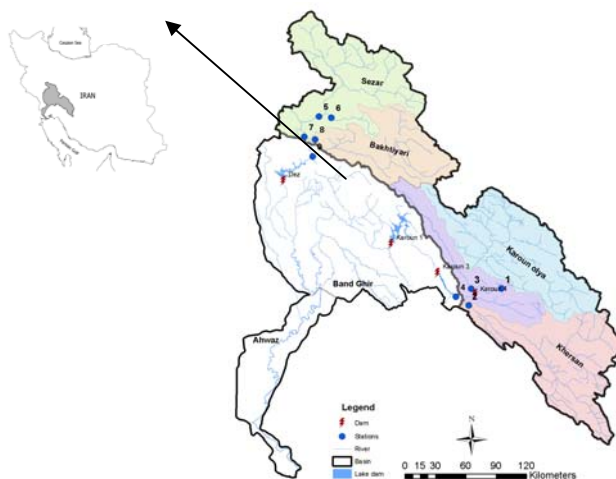
سیلاب یکی از بلایای طبیعی است که وقوع آن سبب بروز آسیب‌های اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و تلفات جانی می‌گردد. سیلاب‌های پی‌درپی و وسیع سبب بروز هزینه‌های فراوانی در مدیریت سیلاب‌ها می‌شود. به همین دلیل است که در تحقیقات، توجه اصلی به مطالعه رخدادهای سیلاب‌های حدى اختصاص یافته است. Bates و همکاران (۲۰۰۸) در اولین کارگروه ارزیابی چهارم IPCC در سال (IPCC-AR4) خطر افزایش مجدد سیلاب‌ها را گزارش کردند. به طوری که تعداد سیلاب‌های ویرانگر متعددی در ۱۰ سال گذشته در سطح جهان رخ داده که تعداد آنها به ازای هر دهه، دو برابر سیلاب‌های رخ داده از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ می‌باشد و در ۲۰ سال اخیر مجموعه‌ای از سیلاب‌های بزرگ مشاهده شده است. در بسیاری از مناطق بیشترین گزارش‌ها درباره فجایع سیلاب است که به طور متوسط در هر سال بر زندگی ۱۴۰ میلیون انسان اثر منفی دارد (WDR, 2003, 2004). نمونه‌ای از این سیلاب‌ها را می‌توان به سیلاب رخ داده در کشور بنگلادش در سال ۱۹۹۸ که حدود ۷۰٪ از مساحت این کشور را تحت تاثیر قرار

داد (Mirza, 2003; Clarke and King, 2004) و سیلاب رخ داده در سال ۲۰۱۰ کشور پاکستان، اشاره کرد. از آنجایی که آسیب‌های ناشی از سیلاب در برابر رشد جمعیت انسانی و یا رشد اقتصادی بیشتر بوده‌اند، سایر عوامل مانند تغییرات اقلیمی باید مورد توجه قرار گیرد. به دنبال گرم شدن جهانی کره زمین افزایش قابل توجه در شدت و فراوانی وقایع سیلاب‌های سهمگین که ناشی از افزایش شدت و فراوانی بارندگی‌های سهمگین است به چشم می‌خورد (Huntington, 2006). این افزایش در شدت و فراوانی وقایع سیلاب در تحقیقات بسیاری از محققان از طریق بررسی موضوع بوسیله مدل‌های گردش عمومی (GCM) برای دوره‌های آتی نیز اذعان شده است (به عنوان مثال Sun et al., 2007). با توجه به آنچه آمد، همچنین وقوع سیلاب‌های بزرگ و ویران‌کننده در گوشه و کنار کشور، اهمیتی که برآورد سیل و تحلیل فراوانی آن در طرح‌های آبی دارد لزوم بررسی و آشکارسازی روند تغییرات، علت‌یابی پارامترها و عوامل دخیل در بروز و تشدید وقایع سیلاب اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

۲. مواد و روش‌ها

۱. منطقه مطالعاتی و مواد تحقیق

منطقه مطالعاتی این تحقیق، حوضه‌های کارون و دز می‌باشند که در طول جغرافیایی $58^{\circ} 47'$ تا $52^{\circ} 00'$ شمالی و عرض جغرافیایی $29^{\circ} 59'$ تا $34^{\circ} 07'$ شرقی در جنوب‌غربی ایران واقع شده است. این حوضه به دلیل در بر گرفتن بزرگترین پتانسیل آبی کشور، واجد بیشترین و عظیم‌ترین طرح‌های آبی کشور نیز می‌باشد. متغیر هیدرولوژیکی مورد بررسی در این تحقیق دبی‌های حداکثر لحظه‌ای می‌باشند که در ایستگاه‌های هیدرومتری برای هر سال یک عدد در هر ایستگاه ثبت می‌گردد و از این به بعد تحت عنوان سیلاب حداکثر سالانه معرفی می‌شوند. مهمترین مسئله در بررسی روند تغییرات در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی در مطالعات مربوط به تغییر اقلیم طبیعی بودن جریان، صحت و درستی داده‌ها و داشتن طول دوره آماری حداکثر می‌باشد (Pilon, 2000). از همین رو تحقیق انجام شده بر روی سری سیلاب‌های حداکثر سالانه در بخش‌های کوهستانی حوضه رودخانه‌های کارون و دز که جریان در این مناطق تحت تاثیر سدهای احداث شده قرار نگرفته است، صورت می‌گیرد. شکل (۱) و جدول (۱) موقعیت و اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب را در حوضه‌های کارون و دز نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در حوضه‌های کارون و دز

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در بخش‌های کوهستانی حوضه‌های کارون و دز

ردیف	بخش‌های مختلف حوضه کارون بزرگ	نام رودخانه	نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی (عرض* طول)	ارتفاع از سطح دریا (M)	مساحت تحت زهکشی (KM ²)	طول دوره آماری موجود سری‌های سیلاب حداکثر سالانه
۱	بخش کوهستانی حوضه کارون	کارون	ارمند	۴۱° ۳۱' - ۴۶° ۵۰'	۱۰۵۰	۹۹۰۰	۱۹۵۷-۲۰۰۹
۲		خرسان	بارز	۳۱° ۳۱' - ۲۵° ۵۰'	۸۶۰	۸۹۰۰	۱۹۵۷-۲۰۰۵
۳		بازفت	مرغک	۳۹° ۳۱' - ۲۸° ۵۰'	۸۱۵	۲۳۵۵	۱۹۷۰-۲۰۰۹
۴		کارون	پل شالو	۴۵° ۳۱' - ۰۸° ۵۰'	۷۰۰	۲۳۴۰۰	۱۹۵۸-۲۰۰۹
۵	بخش کوهستانی حوضه دز	سزار	سپید دشت	۱۳° ۳۳' - ۵۳° ۴۸'	۹۷۰	۷۱۷۴	۱۹۵۶-۲۰۰۹
۶		زاز	سپید دشت	۱۳° ۳۳' - ۵۳° ۴۸'	۹۷۰	۶۸۰	۱۹۵۶-۲۰۰۹
۷		سزار	تنگ پنج	۵۶° ۳۲' - ۴۵° ۴۸'	۶۰۰	۹۴۱۰	۱۹۷۸-۲۰۰۹
۸		بختیاری	تنگ پنج	۵۶° ۳۲' - ۴۶° ۴۸'	۵۴۰	۶۴۳۲	۱۹۵۶-۲۰۰۷
۹		دز	تله زنگ	۴۹° ۳۲' - ۴۶° ۴۸'	۴۸۰	۱۶۲۱۳	۱۹۵۶-۲۰۰۹

۲.۲. آشکارسازی روند تغییرات در سری سیلاب‌های حداکثر سالانه در دوره‌های گذشته

۲.۲.۱. بررسی تغییرات در فراوانی سیلاب‌های تاریخی

ابتدا به منظور بررسی این موضوع که آیا فراوانی وقایع سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در نیم قرن گذشته در حوضه کارون بزرگ تغییر کرده است یا نه، به تحلیل فراوانی سیلاب‌های مشاهداتی در طول دوره آماری پرداخته می‌شود. دو فرضیه اصلی در تحلیل فراوانی سیلاب استقلال و ایستایی سری داده‌ها می‌باشد که با در نظر گرفتن این فرض پس از تکمیل و بررسی صحت آمار دبی‌های حداکثر سالانه، تحلیل فراوانی و میزان انطباق توزیع‌های مختلف آماری بر سری داده‌های دبی سیلاب حداکثر سالانه با استفاده از نرم افزار تحلیل فراوانی هیدرولوژیکی صورت می‌گیرد. برای این منظور از توزیع‌های آماری نرمال، لوگ نرمال دو پارامتری، لوگ نرمال سه پارامتری، گاما دو پارامتری، پیرسون تیپ III، لوگ پیرسون تیپ III و گامبل استفاده خواهد شد. جهت محاسبه پارامترهای توزیع دو روش گشتاور و حداکثر درست نمایی به کار گرفته می‌شوند. بهترین توزیع آماری منطبق بر داده‌ها، براساس حداقل مقدار میانگین انحرافات نسبی مقادیر مشاهده‌ای دبی حداکثر سالانه و مقادیر محاسبه آن در توزیع، میانگین مربع انحرافات نسبی، کای-اسکویر (χ^2) و مقایسه برازش توزیع بر داده‌های مشاهداتی به تفکیک هر ایستگاه انتخاب می‌شود. سپس بر اساس این توزیع اقدام به تعیین سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف می‌گردد. در ادامه دوره‌های دارای دبی‌های بزرگ تر سیلاب را از دوره‌های دارای دبی‌های کوچک تر سیلاب استخراج می‌شوند. برای این منظور از یک نوع تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی استفاده شده است. این تقسیم بندی هیدرولوژیکی توزیع زمانی سیلاب‌ها با بزرگی‌های متفاوت و تجمع این سیلاب‌ها را در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری، نشان می‌دهد. از همین رو با در نظر گرفتن سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف (Q_T)، سال‌هایی را که در آنها دبی کمتر از Q_T ($Annual\ MaxFlood < Q_T$) و بیشتر از Q_T ($Annual\ Max\ Flood > Q_T$) است، همچنین سه عدد از بزرگترین وقایع سیلاب (Top_3) را در هر ایستگاه به منظور آشکارسازی تغییرات تاریخی در فراوانی وقوع سری سیلاب حداکثر سالانه مشخص می‌شوند.

۲.۲.۲. بررسی روند در سری سیلاب‌های حداکثر سالانه‌بیشترین مطالعات بررسی تغییرات تاریخی در جریان،

استفاده از آزمون‌های آماری غیر پارامتری است. بدین منظور در این تحقیق دو روش برای ارزیابی این موضوع در طول دوره آماری در حوضه کارون بزرگ استفاده شده است. یک روش بر اساس آنالیز انحراف از استاندارد و روش دیگر استفاده از آزمون روند من - کندال (Mann, 1945; Kendall, 1975).

۲.۲.۲.۱. آنالیز انحراف از استاندارد (Std)

در این روش بعد از استخراج سری سیلاب حداکثر سالانه در هریستگاه انحراف از استاندارد (Std) این سری، برای هر سال St_{Di} از کم کردن متوسط سری سیلاب‌های حداکثر سالانه از سیلاب حداکثر تقسیم بر انحراف معیار بدست می‌آید. در ادامه St_{Di} بدست آمده در هر سال و برای هر ایستگاه نسبت به طول دوره آماری رسم می‌شود. این آنالیز نوسانات یا تغییرات رخ داده در رژیم سیلاب حداکثر سالانه نسبت به متوسط را نشان می‌دهد همچنین این مقادیر می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که تغییرات رخ داده در این سری زمانی در حول و حوش کدام سال اتفاق می‌افتد. سپس به منظور معنی‌دار بودن تغییرات رخ داده در متوسط سالانه سیلاب از آزمون (t-استیودنت) ۱ در سطح معنی‌داری α_L استفاده می‌شود.

۲.۲.۲.۲. آنالیز من - کندال

یکی از رایج‌ترین روش‌های تعیین روند در سری‌های زمانی استفاده از آزمون‌های غیر پارامتری من - کندال است (Mann, 1945; Kendall, 1975). به منظور بررسی فرضیه نبودن روند در سری زمانی مقادیر مشاهده‌ای، از آماره من - کندال (رابطه ۲) به ترتیب زیر استفاده می‌گردد:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت^۲ و استخراج پارامتر S بصورت زیر:

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

که n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت نیز به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

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

ب) محاسبه واریانس توسط یکی از روابط زیر:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad \text{اگر } n > 10 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{اگر } n < 10 \quad (4)$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نشان‌دهنده فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

ج) نهایتاً آماره Z توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌گردد:

1- Student's t Test
2 Sign Function

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

در یک آزمون دوطرفه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (6)$$

α سطح معنی‌داری برای آزمون و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشند که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است.

۱.۲.۲.۲.۲ بررسی همبستگی سریالی^۱ با استفاده از تست Pre-whitening

اغلب در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی، به خصوص برای زمان‌های کوتاه‌تر از یک سال شدت یک متغیر در زمان‌های خاص بستگی به شدت آن متغیر در زمان بعد و یا زمان‌های قبل خود دارد. این همبستگی را اصطلاحاً همبستگی سریال یا همبستگی به خود^۲ و یا همبستگی درونی گویند. در آنالیز سری‌های زمانی وجود همبستگی سریالی تاثیر زیادی بر نتایج آزمون روند دارد. همبستگی سریال مثبت احتمال تخمین بیش از حد روند و همبستگی منفی احتمال برآورد کمتر را دارد. برای برطرف کردن این موقعیت Von Storch (۱۹۹۵) پیشنهاد نمود که همبستگی سریالی سری زمانی، قبل از استفاده در آزمون روند بررسی شود که این بررسی را با اصطلاح علمی Pre-whitened یا (PW) معرفی نمود. به دنبال این پیشنهاد Zhang و همکاران (۲۰۰۱)، Cunderlik و Burn (۲۰۰۲) و Cundelik و Ourda (۲۰۰۹) و همچنین محققین دیگر از روش PW به منظور تخمین روند در سری‌های زمانی جریان و سیلاب استفاده نمودند. گام‌های اصلی برای انجام دادن این روش به شرح زیر است:

ابتدا ضریب خود همبستگی مرتبه یک (r_1) را برای n داده محاسبه می‌نماییم. مرتبه خود همبستگی مربوط به فاصله زمانی، تاخیر یا گام زمانی^۳ می‌باشد. در همبستگی دبی‌های هر سال با سال قبل از آن گام زمانی یک است. اگر r_1 در سطح معنی‌دار α_L معنی دار نبود از آزمون تعیین روند با استفاده از داده‌های اصلی سری زمانی ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) استفاده می‌شود در غیر اینصورت آزمون تعیین روند به وسیله سری زمانی PW شده به شکل زیر انجام می‌شود:

$$X_t = X_2 - r_1 X_1, \dots, X_3 - r_1 X_2, \dots, X_{n+1} - r_1 X_n \quad (7)$$

۲.۲.۲.۲.۲ آنالیز روند چندگانه^۴

آزمون‌های روند یکنواخت مانند من-کندال نمی‌توانند تغییرات تدریجی از ناگهانی را تنها با داشتن یک سری داده متوالی نشان دهند، به همین دلیل الگوهای زمانی مختلفی از آزمون روند من-کندال برای دوره‌های زمانی مختلف به منظور نشان دادن تغییرات ناگهانی از تدریجی در نظر گرفته شده است. بدین صورت که با استفاده از آنالیز روند

^۱-Serial Correlation
^۲- Auto-correlation
^۳- Lag
^۴- Multiple Trend Analysis

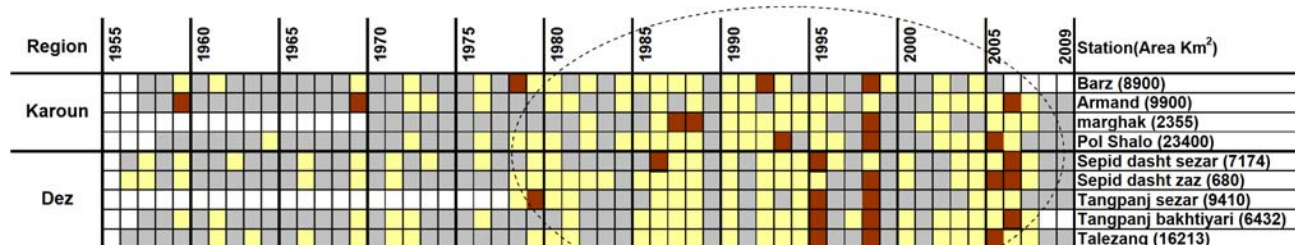
چندگانه ارایه شده توسط McCabe و Wolock (۲۰۰۲)، با تغییر زمان آغاز و پایان سری زمانی در تاخیرهای زمانی ۵ ساله در طول دوره آماری (با حداقل طول آمار ۱۰ سال)، روند (+) و (-) در هر بازه زمانی و برای هر ایستگاه در سطوح معنی‌داری مختلف مشخص شده و در مقابل سال‌های شروع و پایان هر دوره رسم می‌شوند. از این طریق مشخص می‌شود که افزایش یا کاهش در سری زمانی سیلاب حداکثر سالانه از چه دهه‌ای یا از چه سالی به بعد یا حتی قبل، کمتر و بیشتر بوده است.

۳. بحث

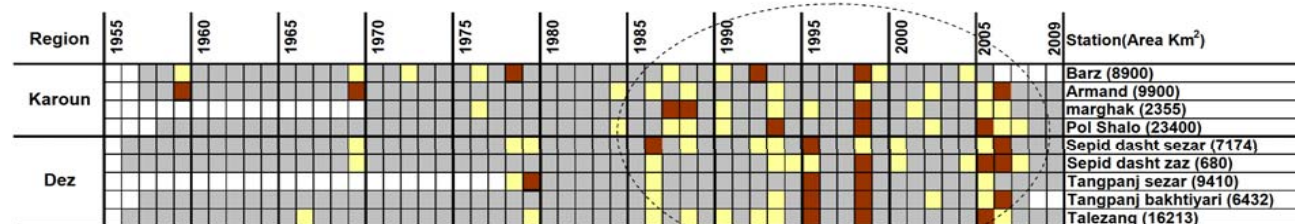
۱. بررسی روند تغییرات در فراوانی سیلاب‌های تاریخی

پس از تکمیل و بررسی صحت آمار دبی‌های حداکثر سالانه، تحلیل فراوانی و میزان انطباق توزیع‌های مختلف آماری بر آنها با استفاده از نرم افزارهای تحلیل فراوانی هیدرولوژیکی (HYFA) صورت گرفت. نتایج نشان داد توزیع لوگ نرمال سه پارامتری یکی از توزیع‌هایی است که برای تمام ایستگاه‌های منتخب برازش خوبی را نشان داده است. بنابراین به عنوان توزیع غالب منطقه در نظر گرفته شد. به منظور نشان دادن تغییرات در فراوانی وقایع سیلاب، یک حد آستانه هیدرولوژیکی براساس دبی با دوره بازگشت‌های مختلف در نظر گرفته شده است. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل فراوانی و بررسی داده‌های سری زمانی سیلاب حداکثر سالانه در بخش‌های مختلف این حوضه، به منظور آشکار نمودن بهتر تغییرات در فراوانی وقایع سیلاب، دبی با دوره بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال انتخاب گردید.

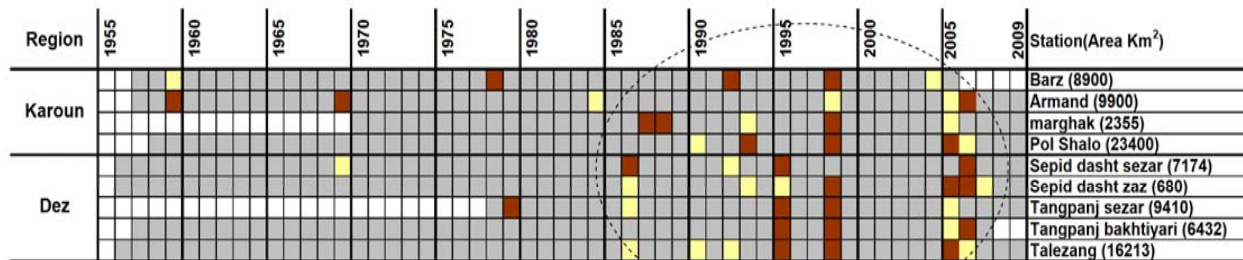
شکل (۲) بررسی زمانی و مکانی سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله در دوره‌های گذشته برای ایستگاه‌های منتخب در حوضه‌های کارون و دز، بر اساس کل دوره آماری موجود در هر ایستگاه را نشان می‌دهد. در این تقسیم بندی سال‌هایی که دبی سیلاب با دوره بازگشت T کمتر از هر کدام از این آستانه‌ها است ($Annual\ flood < Q_T$) با رنگ خاکی، سال‌هایی که دبی بزرگ‌تر از هر کدام از این آستانه‌ها است ($Annual\ flood > Q_T$) با رنگ زرد و سه رخداد بزرگ در هر سری زمانی سیلاب حداکثر سالانه (Top_3) با رنگ قرمز برای هر ایستگاه مشخص شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد سیلاب‌های بزرگ‌تر از هر حد آستانه در تمام زمان‌ها اتفاق افتاده و تقریباً از نیمه دوم دهه ۱۹۸۰ به بعد انباشتگی سیلاب‌های بزرگ‌تر از هر حد آستانه افزایش یافته است. با افزایش فراوانی وقوع سیلاب از دبی با دوره بازگشت ۲ ساله (Q_2) به سمت دبی با دوره بازگشت ۱۰ ساله (Q_{10})، محدوده زمانی که شامل این سیلاب‌ها است بیشتر به سمت سال‌های اخیر متمایل شده است. همانگونه که مطالعات انجام‌شده در این زمینه نشان می‌دهد، تعیین دقیق دبی سیلاب ممکن نیست از همین رو سیلاب‌های تاریخی را به صورت سیلاب‌های متوسط، بزرگ و حاد تقسیم بندی می‌کنند (Schmocker-Fackel and Naef, 2010). با بررسی‌های به عمل آمده و تجربه تاریخی بزرگی دبی‌های سیلابی در حوضه کارون بزرگ به نظر می‌رسد که دبی با دوره بازگشت ۵ ساله، آستانه مناسبی برای بیان سیلاب‌های بزرگ در این منطقه می‌باشد. به این معنی که سیلاب‌های بزرگ‌تر از حد دبی با دوره بازگشت ۵ ساله ($Annual\ max\ flood > Q_5$) به عنوان سیلاب‌های بزرگ و کوچک‌تر از دبی با دوره بازگشت ۵ ساله ($Annual\ max\ flood < Q_5$) به عنوان سیلاب‌های متوسط معرفی می‌گردند. همانگونه که در شکل (۲) مشهود است، فراوانی وقوع سیلاب‌های بزرگ همچنین سه عدد از بزرگترین سیلاب‌های مشاهده شده (Top_3) در دو دهه اخیر افزایش یافته است. به گونه‌ای که بزرگترین وقایع حدی سیلاب (Top_3) و هم‌زمانی وقوع آنها در اکثر ایستگاه‌های در نظر گرفته شده در این سال‌ها است. این موضوع در حوضه دز ملموس‌تر از حوضه کارون می‌باشد. و این شاید نشان دهنده این است که رفتار رژیم جریان سیلابی در بخش‌های مختلف رودخانه دز به دلیل نوع اقلیمی که دارند همانندتر و با ثبات‌تر است.



■ Top 3 event ■ Annual max flood > Q₂ ■ Annual max flood < Q₂



■ Top 3 event ■ Annual max flood > Q₅ ■ Annual max flood < Q₅



■ Top 3 event ■ Annual max flood > Q₁₀ ■ Annual max flood < Q₁₀

شکل (۲): تغییرات زمانی و مکانی سیلاب‌های حداکثر سالانه در دوره‌های گذشته در حوضه‌های کارون و دز (دبی با دوره بازگشت های Q₂ , Q₅ , Q₁₀)

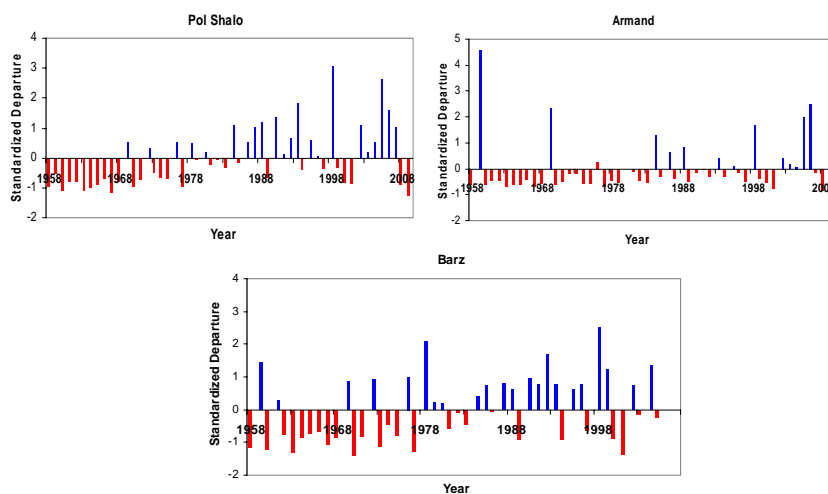
نتایج نشان می‌دهد که تا قبل از سال ۱۹۸۵ دبی‌های بزرگ سیلابی در ایستگاه‌های مختلف کمتر مشاهده شده و یا اینکه اصلاً دیده نشده است در حالیکه از آن به بعد تقریباً در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی، دبی‌های بزرگ‌تر دارای فراوانی بیشتری است، به گونه‌ای که در طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۸۵ فراوانی سیلاب‌های با مقادیر بزرگ افزایش و در فاصله سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۰ فراوانی سیلاب‌های بزرگ کاهش یافته است. این در حالی است که مجدداً در فاصله سال‌های ۲۰۰۷ - ۲۰۰۵ به خصوص در حوضه دز وقوع سیلاب‌های بزرگ دوباره زیاده شده‌اند (شکل ۲ دبی با دوره بازگشت ۵ سال). از همین رو تقریباً بعد از یک دوره دارای دبی‌های بزرگ‌تر سیلاب، یک دوره دارای دبی‌های کوچک‌تر سیلاب مشاهده شده است. لازم به یادآوری است که در دو سال اخیر در تمامی ایستگاه‌هایی که آمار آنها موجود بود سیلاب‌های بزرگ‌تر از حد آستانه‌های مورد نظر اصلاً دیده نشده است.

۳.۲. نتایج تحلیل روند در بزرگی سری سیلاب‌های حداکثر سالانه

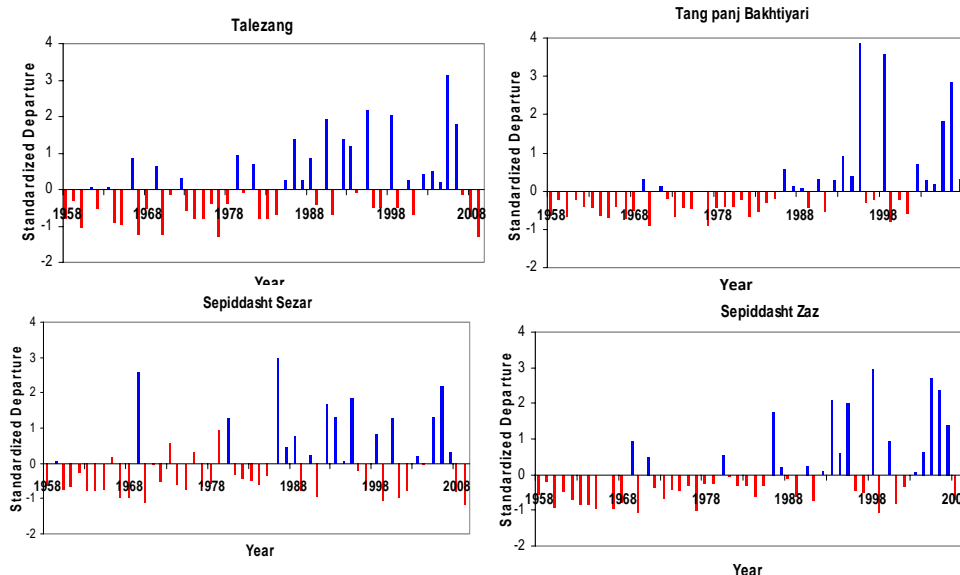
به منظور تشخیص چگونگی تغییرات روند از تدریجی به ناگهانی در سری سیلاب‌های حداکثر سالانه، از آنالیز انحراف از استاندارد و آزمون روند چندگانه من- کندال استفاده شد که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد:

۳.۲.۱. آنالیز انحراف از استاندارد

ابتدا انحراف از استاندارد سری زمانی سیلاب حداکثر سالانه برای هر ایستگاه محاسبه گردید و این مقدار با کم کردن میانگین سیلاب طول دوره آماری موجود از مقادیر سیلاب در هر سال و تقسیم بر انحراف معیار به دست آمد. به منظور بررسی تغییرات در بزرگی سری سیلاب حداکثر سالانه در یک دوره زمانی یکسان، از ایستگاه‌هایی با حداکثر طول دوره آماری مشترک؛ یعنی، دوره (۱۹۵۸-۲۰۰۹)، استفاده شده است. شکل‌های (۳) و (۴) نمایش مقادیر انحراف از استاندارد سری سیلاب حداکثر سالانه در بخش‌های مختلف حوضه‌های کارون و دز را نشان می‌دهند. این الگوی نمایشی نوسانات زمانی در بزرگی سری سیلاب حداکثر سالانه، افزایش ناگهانی در رژیم سیلاب سالانه را در اطراف سال ۱۹۸۳ نسبت به روند افزایش تدریجی که در طول دوره آماری موجود است، نشان می‌دهد. تقریباً تمام ایستگاه‌ها تغییری را در محدوده سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۸۳ از انحراف اولیه، منفی (قرمز) به مثبت (آبی) نشان می‌دهند.



شکل (۳): انحراف از استاندارد سری سیلاب‌های حداکثر سالانه در ایستگاه‌های منتخب حوضه کارون



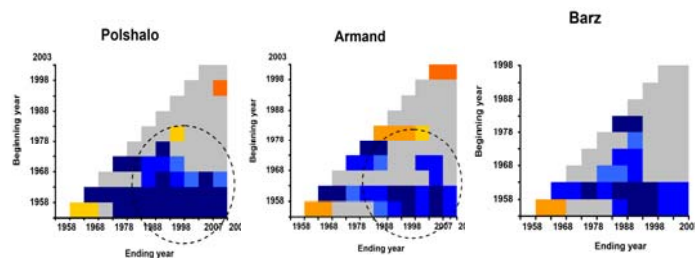
شکل(۴): انحراف از استاندارد سری سیلاب‌های حداکثر سالانه در ایستگاه‌های منتخب حوضه دز

به منظور بررسی معنی‌دار بودن تفاوت‌ها در متوسط بزرگی سیلاب بین سال‌های قبل و بعد از سال ۱۹۸۳ از آزمون t -استیودنت استفاده شد. نتایج این آزمون در سطوح معنی‌داری مختلف نشان داد که به جز یک ایستگاه سایر ایستگاه‌ها تفاوت‌های بزرگ معنی‌داری را در سطوح ۱ و ۵ درصد بین متوسط بزرگی سیلاب حداکثر سالانه دوره (۱۹۵۸-۱۹۸۳) و بعد از آن (۲۰۰۹-۱۹۸۴) از خود نشان داده و متوسط دوره دوم نسبت به دوره اول بیشتر است. ملاحظه می‌گردد که این تفاوت‌ها با نتایج به دست آمده از بررسی تحلیل فراوانی مبنی بر افزایش سیلاب‌های بزرگ از نیمه دوم دهه ۱۹۸۰ به بعد همخوانی دارد.

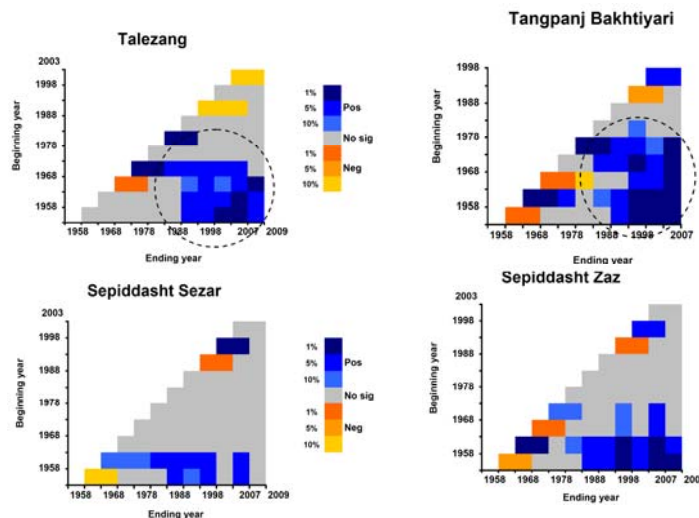
۲.۲.۳. نتایج تحلیل روند چندگانه در سری سیلاب‌های حداکثر سالانه

همان‌گونه که اشاره شد روند های خطی و آزمون‌های روند یکنواخت مانند من-کندال نمی‌توانند تغییرات تدریجی از ناگهانی را تنها با داشتن یک سری داده متوالی نشان دهند. به همین خاطر الگوهای زمانی مختلفی از آزمون روند من-کندال برای دوره‌های زمانی مختلف به منظور شناسایی تغییرات تدریجی از ناگهانی در سری سیلاب حداکثر سالانه در نظر گرفته شده است. در تحلیل چندگانه روند، با استفاده از آزمون روند من-کندال و در نظر گرفتن همبستگی سریالی با استفاده از تست Pre-whitening پیشنهاد شده توسط Von Storch (۱۹۹۵) نسبت به تعیین روند در سطوح معنی‌داری مختلف (۱، ۵ و ۱۰ درصد) در بازه‌های زمانی متفاوت با تغییر زمان شروع و پایان هر دوره (تاخیر زمانی ۵ ساله با حداقل طول دوره ۱۰ ساله) در طی سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۵۸ اقدام شد و نتایج به دست آمده در مقابل سال شروع و پایان هر دوره رسم گردید. شکل‌های (۵) و (۶) نتایج این تحلیل را در بخش‌های مختلف حوضه‌های کارون و دز نشان می‌دهد. بررسی نتایج حاصل از آنالیز روند چندگانه در سری سیلاب‌های حداکثر سالانه نشان می‌دهد که در حوضه کارون، تقریباً در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی اغلب دوره‌هایی که قبل از سال ۱۹۸۳ شروع و بعد از آن پایان می‌یابند، روند مثبت (افزایشی) در سطح معنی‌دار ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهند. این در حالی است که در این حوضه تنها چند روند منفی مشاهده گردید که اغلب مربوط به ابتدا و انتهای دوره آماری است. در حوضه دز ایستگاه تله‌زنگ و تنگ‌پنج بختیاری نیز برای اغلب دوره‌هایی که شروع آنها قبل از سال ۱۹۸۳ و پایان آنها بعد از سال ۱۹۸۸ است روند مثبت (افزایشی) معنی‌داری در سطوح ۱ و ۵ درصد نشان می‌دهند. ایستگاه‌های دیگر بررسی شده در حوضه

دز (سپیددشت سزار و زاز) همین روند را برای دوره‌هایی که پایان آنها بعد از سال ۱۹۸۳ است نشان می‌دهد. برای بیشتر ایستگاه‌ها به ویژه زمانی که دوره ۲۰۰۷-۲۰۰۳ لحاظ می‌گردد روند همچنان مثبت (افزایشی) در سطح معنی‌داری یک درصد است اما در برخی دوره‌ها اضافه کردن سال‌های اخیر ۲۰۰۹-۲۰۰۸ موجب کاهش سطح معنی‌داری روند شده است. بیشتر روندها برای دوره‌های که شروع و پایان آن پیش از سال ۱۹۸۳ است افزایشی بوده و روندهای منفی دیده شده اغلب تا پیش از سال ۱۹۷۸ است. به طور کلی این نتایج تقریباً نبودن روند، کاهش روند مثبت و حتی روند منفی را از ابتدای طول دوره آماری تا سال ۱۹۸۳ و سپس افزایش روند تا سال ۲۰۰۷ را به خوبی نشان می‌دهد. به عبارتی نتایج این بخش از تحقیق نشان می‌دهد که افزایش در روند بزرگی سیلاب‌های حداکثر سالانه از ابتدای طول دوره آماری تقریباً از سال ۱۹۸۳ به بعد در سطح معنی‌داری (به طور متوسط ۵ درصد) افزایش یافته و این روند تا سال ۲۰۰۷ همچنان ادامه داشته است و اضافه کردن سال‌های اخیر باعث کاهش سطح معنی‌داری روند موجود شده است. این موضوع در بررسی نتایج قسمت‌های پیش، انحراف از استاندارد و تحلیل فراوانی در حد آستانه‌های متفاوت نیز مشهود است. به خصوص که بزرگترین وقایع حدی مشاهده شده در سیلاب‌های حداکثر سالانه در حوضه‌های کارون و دز نیز در همین دوره است.



شکل (۵): تحلیل روند چندگانه در سطوح معنی‌دار مختلف در ایستگاه‌های منتخب حوضه کارون



شکل (۶): تحلیل روند چندگانه در سطوح معنی‌دار مختلف در ایستگاه‌های منتخب حوضه دز

۴. نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر تلاشی جهت آشکارسازی روند تغییرات رخ داده در بزرگی سری سیلاب‌های حداکثر سالانه در دوره‌های گذشته در حوضه‌های کارون و دز است. برای این تحقیق روش‌های مختلف به منظور آشکارسازی تغییرات در بزرگی سری‌های سیلاب حداکثر سالانه مورد استفاده قرار گرفت.

- نتایج تحلیل فراوانی با در نظر گرفتن دو فرض استقلال و ایستایی در سری سیلاب‌های حداکثر سالانه نشان داد که به طور کلی تا قبل از سال ۱۹۸۵ دبی‌های بزرگ سیلابی ($Q_5 > \text{Annual max flood}$) در ایستگاه‌های مختلف کمتر مشاهده شده و یا اینکه اصلاً دیده نشده است. در حالی که بعد از آن تقریباً در کلیه ایستگاه‌های مورد بررسی این دبی‌های بزرگ بیشتر مشاهده شده است. به طوری که بزرگترین وقایع حدی مشاهده شده در سری سیلاب‌های حداکثر سالانه و هم‌زمانی وقوع آنها در اکثر ایستگاه‌های در نظر گرفته شده در این سال‌ها است. این موضوع در حوضه دز ملموس‌تر از حوضه کارون می‌باشد. و این شاید نشان‌دهنده این است که رفتار رژیم جریان سیلابی در بخش‌های مختلف رودخانه دز به دلیل نوع اقلیمی که دارند همانندتر و با ثبات‌تر است.

- نتایج آنالیز انحراف از استاندارد و آزمون روند چندگانه من- کندال برای ۵۲ سال داده‌های سری سیلاب حداکثر سالانه نشان داد که: بیشتر تغییرات در سری سیلاب‌های حداکثر سالانه به صورت افزایشی بوده و تقریباً در اکثر ایستگاه‌ها یک گام افزایشی در اطراف سال ۱۹۸۳ نسبت به تغییر تدریجی در سری سیلاب حداکثر سالانه مشاهده شده است. از طرف دیگر نتایج روند چندگانه این تحقیق افزایش در روند بزرگی سیلاب‌های حداکثر سالانه را تقریباً از سال ۱۹۸۳ به بعد در سطح معنی‌داری (به طور متوسط ۵ درصد) نشان داد این روند تا سال ۲۰۰۷ همچنان ادامه داشته است و اضافه کردن سال‌های اخیر باعث کاهش سطح معنی‌داری روند موجود شده است.

ملاحظه می‌گردد که نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف در شناسایی و آشکار سازی روند تغییرات در بزرگی سری سیلاب‌های حداکثر سالانه همخوانی خوبی باهم داشته و موید این است که در کنار روند افزایشی تدریجی در سری سیلاب‌های حداکثر سالانه، یک گام تغییر افزایشی در بزرگی این سری‌های حدی در اطراف سال ۱۹۸۳ در بخش‌های مختلف رودخانه‌های کارون و دز دیده شده است.

۵. منابع

- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, & J.P. Eds. Palutikof. 2008. *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Clarke, R. & J. King. 2004. *The Atlas of Water*. Earthscan, London, 128 pp.
- Huntington, T.G. 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology* 319 (1-4), pp. 83-95.
- Cunderlik, J.M. & D.H. Burn. (2002). Local and regional trends in monthly maximum flows in southern British Columbia. *Canadian Water Resources Journal* 27 (2), 191-212
- Cunderlik J.M. & T.B.M.J. Ouarda. (2009). Trends in the timing and magnitude of floods in Canada. *Journal of Hydrology* 375, 471-480, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.06.050.
- IPCC AR4, 2007. <http://www.ipcc-data.org/>
- Kendall, M.G. 1975. *Rank correlation methods*. Charles Griffin, London
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 71-84.
- McCabe, G.J., D.M. Wolock. 2002. A Stepp increase in streamflow in the conterminous United States. *Geophysical Research Letters* 29 (24).
doi:10.1029/2002GL015999.
- Mirza, M.M.Q., R.A. Warrick. & Ericksen. 2003. The implications of climate change on floods of the Ganges, Brahmaputra and Meghna Rivers in Bangladesh. *Climatic Change*, 57, 287-318.

- Pilon, P. 2000. Criteria for the selection of stations in climate change detection network. In: Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data (ed. by Z. W. Kundzewicz & A. Robson), 121–131. World Climate Programme—Water, World Climate Data and Monitoring Programme, WCDMP-45, WMO/TD no. 1013, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland
- Schmocker-Fackel, P. & F. Naef. 2010. More frequent flooding? Changes in flood frequency in Switzerland since 1850. *Journal of Hydrology* 381, 1–8.
- Sun, Y., S. Solomon, A. Dai & R.W. Portmann. 2007. How often will it rain? *Journal of Climate*, 20, 4801–4848.
- von Storch, H. 1995. Misuses of statistical analysis in climate research. In: vonStorch, H., Navarra, A. (Eds.), *Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 11–26.
- WDR. 2003. World Disaster Report: Focus on Ethics in Aid. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, 240 pp.
- WDR. 2004. World Disaster Report: Focus on Community Resilience. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, 240 pp.
- Zhang, X., K.D. Harvey., W.D. Hogg. & T.R. Yuzyk. (2001). Trends in Canadian streamflow. *Water Resources Research* 37 (4), 987–998.

Detection of changes in the annual maximum flood in Karoun and Dez basins during the past

Narges Zohrabi*

Assistant professor, Department of irrigation, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Khuzestan, Ahvaz , Iran

Ali Reza Massah Bavani

Assistant professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Abouraihan, University of Tehran Tehran.Iran

Samaneh Abdeveis

Phd Student in hydrology and Water resources , Department of Basic Sciences of Water Resources, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran.

*Corresponding author. E-mail: n.zohrabi@khuzestan.srbiau.ac.ir.

Abstract

The first step in studies of climate change is detecting trend in climatological and hydrological variables and investigate the cause of trend. In this study, detection of changes in the magnitude of the annual maximum flood in Karoun and Dez basins during the past using by different methods (frequency analysis, analysis of standardized departures and multiple trend test Man- Kendall) to identify the trend of gradual And abrupt changes. The results of different methods in detection of trend in the magnitude of the annual maximum flood series showed that the occurrence frequency of large flood discharge (Annual max flood > Q5) in different stations increased in the last two decade. Also, a step increase change in the magnitude of this series around 1983 in different parts of the Karoun and Dez rivers was observed.

Keywords: Annual maximum flood, Climate change, Detection, Karoun and Dez river basin.