



بررسی روند دبی و بار رسوب رودخانه‌ی مردق‌چای با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری

حبیبه عباسی^۱، محمدتقی اعلمی^۲، محمد فرجی^۳

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده‌ی فنی و مهندسی مرند، دانشگاه تبریز، تبریز

۲- استاد گروه آب دانشکده‌ی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، تبریز

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸

چکیده

هدف از این بررسی، تحلیل روند تغییرات تدریجی و سریع دبی جریان و بار رسوب رودخانه‌ی مردق‌چای واقع در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. در این راستا با استفاده از روش‌های ناپارامتری، داده‌های دبی و رسوب ایستگاه هیدرومتری قشلاق امیر در سه مقیاس زمانی سالانه، فصلی و ماهانه بررسی شده است. آزمون من-کندال اصلاح شده جهت تحلیل روند تغییرات تدریجی دبی و رسوب و آزمون تخمین‌گر شیب سن برای تخمین شیب خط روند مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین از آزمون ناپارامتری پتیت برای بررسی تغییرات ناگهانی (سریع) سری زمانی دبی و رسوب رودخانه استفاده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد دبی سالانه، ماهانه و دبی فصل بهار، تابستان و زمستان دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. داده‌های بار رسوب سالیانه و تمام فصول در ایستگاه مردق‌چای نیز دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. همچنین روند کاهشی معنی‌دار رسوب در تمام ماه‌ها به جز ماه‌های March، April و October وجود دارد. نتایج آزمون پتیت نشان می‌دهد. میانگین دبی سالانه در بازه‌ی زمانی بعد از نقطه شکست (۱۹۹۸) به اندازه‌ی ۴۵ درصد نسبت به بازه‌ی زمانی قبل از نقطه شکست کاهش داشته است. همچنین میانگین رسوب سالانه در بازه‌ی زمانی بعد از نقطه شکست (۱۹۹۶) حدود ۵۲ درصد نسبت به بازه‌ی زمانی قبل از آن کاهش یافته است. بر این اساس لازم است تا مدیران با اتخاذ استراتژی‌های مناسب به مدیریت منابع آب حوضه در زمان‌های آتی بپردازند چرا که کاهش دبی، پیامدهای جبران‌ناپذیر زیست محیطی در داخل حوضه بوجود خواهد آورد.

کلمات کلیدی: دبی و رسوب، من-کندال اصلاح شده، تخمین‌گر شیب Sen، آزمون پتیت، استان آذربایجان شرقی.

۱- مقدمه

مهم‌ترین پارامتر مدیریت منابع آب از بین اجزای مختلف چرخه‌ی هیدرولوژیکی یک حوضه‌ی آبریز، دبی رودخانه است؛ الگوی مصرف آب در بخش‌های مختلف صنعت، شهری و خانگی، کشاورزی و غیره، تحت تأثیر تغییرات دبی رودخانه قرار دارد. از طرفی دیگر رسوب‌گذاری و فرسایش خاک جزو بزرگ‌ترین نگرانی‌های زیست‌محیطی در جهان است؛ چراکه فرسایش، منبع اولیه‌ی رسوباتی است که رودخانه‌ها را آلوده کرده و در سدها ته‌نشین می‌شود. در اولویت‌بندی مدیریت حوضه‌های آبریز، تعیین میزان تغییرات دبی و رسوب، دارای اهمیت بسیار است (خوش‌رفتار و مازینی، ۱۳۹۰: ۱۲۱)؛ زیرا تغییرات رسوب و دبی رودخانه‌ها اطلاعات ارزشمندی در مورد رسوبات حوضه‌ای و وقوع فرآیندهای فرسایشی خاک در اختیار ما قرار می‌دهند (سیاکو و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۳۱).

به منظور آشکارسازی تغییرات متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی از دیدگاه آماری، روش‌های خاصی به کار گرفته می‌شود. به طور کلی آزمون‌های آماری را می‌توان به دو بخش آزمون‌های پارامتری و آزمون‌های ناپارامتری تقسیم کرد. مزیت آزمون‌های پارامتری، فرض اولیه آزمون، وجود توزیع نرمال در داده‌ها می‌باشد از آنجایی که بسیاری از داده‌ها در شرایط واقعی دارای چولگی بوده و توزیع نرمال ندارند بنابراین برای اینکه نتیجه بهتری بدست آید ترجیح داده می‌شود از آزمون‌های ناپارامتری، نظیر آزمون من-کندال که جز متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود استفاده گردد.

در سال‌های اخیر، تغییرات رسوب و دبی رودخانه‌ها تبدیل به موضوعی مهم در سطح جهانی شده است. در تحلیل روند متغیرهای اقلیمی نظیر بارش، دما و مؤلفه‌های هیدرولوژیکی مانند رسوب و رواناب و نیز پارامترهای کیفی آب پژوهش‌های بسیاری انجام شده است (بیاتی خطیبی و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۳)، (حاجی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۱). علیجانی و همکاران (۱۳۹۱)، روند سری‌های زمانی بارش ۴۴ ایستگاه سینوپتیک در ایران را در یک دوره‌ی آماری ۳۳ ساله به کمک آزمون ناپارامتری تخمین‌گر شیب سن بررسی کردند. با توجه به نتایج پژوهش آن‌ها، بیشترین تعداد ایستگاه دارای روند در بارش‌های فصلی، مربوط به فصل زمستان بود. همچنین روند کاهش معنادار در ایستگاه‌های کرمان، گرگان، سمنجان، زنجان و خوی در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ بود. در تمام ۴۴ ایستگاه، بارش سالانه‌ی ۱۱ ایستگاه، روند کاهشی معنادار در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ را داشت. پس از آن‌ها انصاری و همکاران (۱۳۹۵)، روند تغییرات بارش، دما و دبی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی کاجو را در استان سیستان و بلوچستان در دوره‌ی آماری ۲۰ ساله بررسی کردند. آن‌ها در مطالعه‌ی خود از آزمون ناپارامتری من-

کندال بهره گرفتند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان‌دهنده‌ی روند نزولی بارش، روند صعودی دما و روند کاهش دبی رودخانه در دوره‌ی آماری بود. محمدی (۱۳۹۸)، در پژوهش دیگری با دوره‌ی آماری ۲۰ ساله، روند تغییرات میزان تابش را در ۱۹ ایستگاه تابش‌سنج کشور به صورت سالانه بررسی کرد. او در پژوهش خود از آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن بهره گرفت. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده‌ی روند افزایشی میزان تابش در اغلب ایستگاه‌های مورد بررسی بود. پرویز و همکاران (۱۴۰۰)، جهت مطالعه و آنالیز روند بارش‌های سنگین استان کرمانشاه برای دوره‌ی آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۷ از آزمون من-کندال بهره گرفتند که نتایج تحقیق آنان نشان داد روند بارش‌های سنگین در اکثر پهنه استان به ویژه کرمانشاه دارای روند کاهش است. همچنین غلامی و همکاران (۱۴۰۰)، روند کیفی و کمی آب زیرزمینی دشت تویسرکان و نیز روند تغییرات بارندگی را با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار دادند و برای هر سری زمانی با استفاده از آزمون شیب سن شیب خط روند را نیز محاسبه کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که دشت از لحاظ کیفی دچار افت شده و روند تغییرات کاهش معنی‌دار در سطح ایستابی دارد و نیز بارش طبق نتایج آنان یک روند کاهش داشت.

یکی از مطالعات خارجی در این زمینه، پژوهش پارتال^۱ و کاهیا^۲ (۲۰۰۶)، است که روند سالانه و ماهانه‌ی داده‌های بارندگی را در ۹۶ ایستگاه بارشی در سرتاسر ترکیه بررسی کرده است. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد بارش سالانه‌ی مناطق جنوب و غرب ترکیه و همچنین امتداد سواحل دریای سیاه، کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. در سال ۲۰۰۷ جیانگ^۳ و هارتمن^۴، داده‌های دبی ماهانه‌ی ۱۴۷ ایستگاه باران‌سنجی در دوره‌ی آماری بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ و نیز روند مکانی و زمانی داده‌های بارش روزانه‌ی این ایستگاه‌ها را در حوضه‌ی رودخانه‌ی یانگ‌تسه‌ی چین مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در پژوهش خود از روش من-کندال بهره گرفتند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها در دوره‌ی آماری دهه‌ی ۱۹۹۰ نشان‌دهنده‌ی روند افزایشی معنادار در بارش تابستانه‌ی اغلب ایستگاه‌ها در ماه‌های ژوئن و ژوئیه به‌خصوص ایستگاه‌های واقع در مرکز و پایین حوضه‌ی رودخانه بود. معاریان و همکاران^۵ (۲۰۱۲)، در دوره‌ی آماری ۲۵ ساله، روند بار رسوب و رواناب حوضه‌ی Langat مالزی را تحلیل کردند. آن‌ها با بهره‌گیری از آزمون‌های من-کندال و پتیت، داده‌های ۳ ایستگاه هیدرومتری را بررسی کردند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد رواناب در زیرحوضه‌ی Hulu Langat و نیز رسوب در زیرحوضه‌ی Semenyih روند صعودی دارد. چن و همکاران^۶ (۲۰۱۴)، در دوره‌ی آماری ۱۹۵۵-۲۰۱۱ روند تغییرات دما، بارش و رواناب حوضه‌ی آبریز یانگ‌تسه‌ی چین را با استفاده از آزمون من-کندال تحلیل کردند. نتایج آن‌ها

1- Partal
2- Kahya
3- Jiang

4- Hartmann
5- Memarian et al.
6- Chen et al.

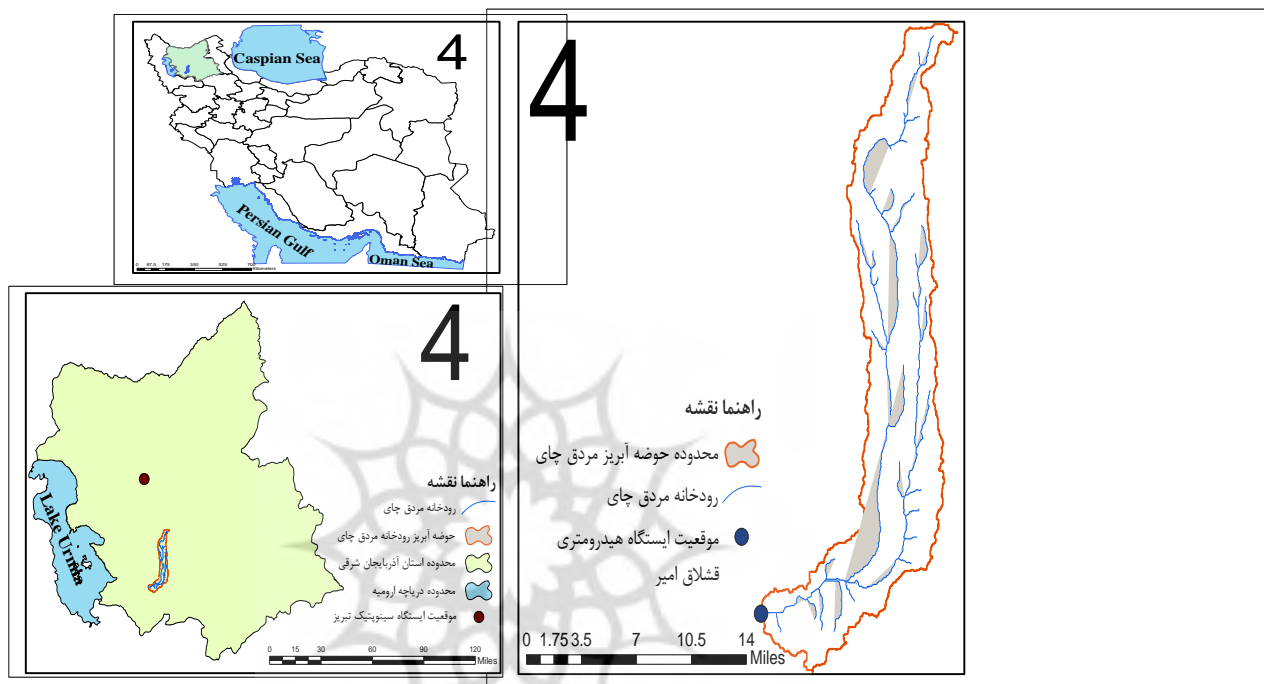
نشان‌دهنده‌ی میانگین روند افزایشی دما و رواناب بود؛ همچنین آن‌ها هیچ تغییر معناداری در روند بارش مشاهده نکردند. در پژوهش دیگری که توسط شی^۱ و وانگ^۲ (۲۰۱۵)، انجام شد، روند تغییرات هیدرولوژیکی حوضه‌ی هوانگفوجوان که جزو زیرحوضه‌های رودخانه‌ی زرد است، بررسی شد. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان‌دهنده‌ی روند کاهشی در هر دو پارامتر رسوب و رواناب بود. روند سری زمانی بار رسوب در حوضه‌های رودخانه‌های استوایی هند در ۷ ایستگاه توسط آدراش و همکاران^۳ (۲۰۱۶)، مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها با بهره‌گیری از روش من-کندال نشان دادند از مجموع ۷ ایستگاه، میزان رسوب در ۵ ایستگاه، روند کاهشی دارد.

با توجه به وقوع تغییرات اقلیمی و افزایش دخالت‌های انسانی و تأثیر آنها بر متغیرهای هیدرولوژیکی حوضه، در سال‌های اخیر، تغییرات رسوب و دبی رودخانه‌ها تبدیل به موضوعی مهم در سطح جهانی شده است. بررسی منابع نشان می‌دهد تاکنون مطالعه جامعی بر روی تغییرات دبی و رسوب رودخانه مردق چای با استفاده از روش من-کندال و من-کندال اصلاح شده و شیب سن انجام نشده است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، هدف این مطالعه، تحلیل و بررسی روند تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه‌ی دبی جریان و رسوب رودخانه‌ی مردق چای است. نتایج این مطالعه به مردم کمک می‌کند تا تأثیر احتمالی تغییر اقلیم و دخل و تصرف‌های بشری احتمالی بر دبی و رسوب رودخانه مورد توجه قرار گیرد. همچنین به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا یک برنامه مدیریتی مناسب را تهیه کند.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز مردق چای از زیرشاخه‌های زربینه‌رود، یکی از رودهای اصلی در بخش شرقی دریاچه‌ی ارومیه است. طول تقریبی رودخانه‌ی مردق چای ۹۵ کیلومتر است. حوضه‌ی آبریز مردق چای در محدوده‌ی سیاسی استان آذربایجان شرقی قرار دارد. این حوضه، برای ساکنان منطقه، منبع آبی مهمی است (فرجی و همکاران ۱۴۰۰). موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت حوضه آبریز مردق چای
Fig (1): Location of Mordagh chay

۲-۲- روش تحقیق

جهت تشخیص روند در سری های زمانی متغیرهای آب و هواشناسی از آزمون های مختلفی استفاده می شود که این آزمون ها به دو دسته پارامتری و ناپارامتری قابل تفکیک می باشند. آزمون های ناپارامتری نسبت به آزمون های پارامتری کاربرد نسبتا وسیع تر و چشمگیرتری دارا هستند، زیرا در روش های پارامتری نیاز است که داده ها مستقل بوده و از توزیع نرمال پیروی کنند. در صورتیکه در روش های ناپارامتری نیاز نیست داده از توزیع نرمال پیروی کنند. این روش ها به داده های پرت و گم شده حساسیت کمتری دارند. نقطه اشتراک دو آزمون پارامتری و ناپارامتری داشتن داده های مستقل است (Hamed & Rao, 1998).

در این پژوهش، پس از اخذ داده های دبی و رسوب ایستگاه هیدرومتری قشلاق امیر، داده ها در مقیاس سالانه و فصلی آماده گردید. در مرحله بعدی کنترل های مختلف کیفی (آزمون شناسایی داده پرت، تغییرات نامتناسب بر اساس آنالیز گرافیکی) صورت گرفت. در مرحله بعدی، روند تغییرات سری زمانی دبی جریان و بار رسوب رودخانه، توسط آزمون ناپارامتری من-کندال اصلاح شده و تخمین گر شیب سن در مقیاس های ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت.

تغییرات سریع در سری‌های زمانی به مفهوم کاهش و یا افزایش ناگهانی در خصوصیات آماری یک سری زمانی طی یک گام زمانی کوتاه است. در این مطالعه، آزمون پتیت به منظور تحلیل تغییرات سریع در سری‌های زمانی دبی و رسوب رودخانه مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه، توضیحات مختصری در خصوص این آزمون‌ها ارائه می‌شود.

۱-۲-۲- آزمون ناپارامتری من-کندال

یکی از روش‌های آزمون داده‌های دارای روند بوده و مبتنی بر فرآیند رتبه‌ای است. از محاسن این روش به تأثیرپذیری کم آن از مقادیر حدی و نیز مناسب بودن برای داده‌های دارای چولگی می‌توان اشاره کرد. همچنین می‌توان از آن در سری داده‌هایی استفاده کرد که دارای توزیع آماری خاص نبوده و حاوی مقادیر باقیمانده و یا روندهای غیرخطی باشند (حیدری، ۱۳۹۵: ۹۲). آماره آزمون من-کندال (S) برای سری داده‌ها که مجموع علامت‌های تفاضلات متوالی مشاهدات می‌باشد، به صورت رابطه‌ی ۱ تعریف می‌گردد:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}(X_j - X_i) \quad \forall 1 \leq i < j \leq n \quad (1)$$

که مقدار داده j ام، n تعداد داده‌ها و $\operatorname{sgn}(\theta)$ تابع علامت است که طبق رابطه‌ی ۲ تعریف می‌شود:

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

وقتی $n \geq 10$ باشد، آماره S تقریباً به طور نرمال توزیع شده دارای میانگین صفر و انحراف معیار زیر است:

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

که t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام است. آماره‌ی آزمون من-کندال (Z-MK) که دارای توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ است، طبق رابطه‌ی ۴ تعریف می‌شود (پاندا و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۴۰):

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

حضور یک روند آماری معنی‌دار با استفاده از مقدار Z ارزیابی شده است. مقدار مثبت (منفی) Z نشان‌دهنده‌ی روند رو به بالا (پایین) است. آماره Z دارای توزیع نرمال است. فرضیه صفر (عدم وجود روند) در سطح معنی‌داری

α می تواند رد شود اگر $|Z| \geq Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ که در این رابطه از جدول توزیع نرمال تجمعی استاندارد به دست می آید (ولنگ و همکاران^۱، ۲۰۱۶: ۱۸۲).

۲-۲-۲-۲-آزمون معنی داری خود همبستگی

در آزمون معنی داری خود همبستگی، خود همبستگی k ام r_k از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i+k} - \bar{x})^2} \quad (5)$$

چنانچه ضریب خود همبستگی مرتبه k ام به صورت $\frac{-1+1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{-1-1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k}$ باشد، در آن صورت داده ها در سطح ۵ درصد مستقل فرض می شود و بالعکس (چن و همکاران^۲، ۲۰۱۶).

۲-۲-۳-روش من-کندال اصلاح شده^۳

تصادفی بودن داده ها و عدم وجود خود همبستگی در سری زمانی مورد بررسی، فرض صفر آزمون من-کندال است. با این حال وجود خود همبستگی در سری زمانی مورد بررسی می تواند بر نتایج آنالیز روند اثرات معنی داری داشته باشد. بر این اساس روش من-کندال برای اثر خود همبستگی اصلاح گردید. روش من-کندال اصلاح شده مورد استفاده در این تحقیق توسط حامد و راو (۱۹۹۸) ارائه شده است. در این روش تمامی ساختارهای خود همبستگی در سری های زمانی در نظر گرفته می شود و واریانس اصلاح شده $(V(S))^*$ برای محاسبه آماره Z من-کندال مطابق رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \quad (6)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (7)$$

که در آن، $V(S)$ بر اساس معادله ی ارائه شده برای روش من-کندال محاسبه می شود. حامد و راو (۱۹۹۸) نشان دادند که این روش در تشخیص روند بسیار کاراتر از روش من-کندال عمل می کند بدون آنکه قدرت آزمون کاهش یابد.

۲-۲-۴-تخمین شیب خط روند با روش سن:

سن (۱۹۶۸) با توسعه و بسط یکسری مطالعات آماری که تیل (۱۹۵۰) به انجام رسانده بود یک روش ناپارامتری

1- Wang et al.

2- Chen et al.

3- Modified Mann-Kendall

را برای تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود. این روش تمام نقاط قوت روش من-کندال را دارا بوده بعلاوه اینکه در تحلیل روند سری‌های زمانی که در آنها فراوانی داده‌های تکراری زیاد می‌باشد از ارجحیت بیشتری نسبت به من-کندال برخوردار است و نتایج قابل قبول‌تری به دست می‌دهد. مقدار شیب خط روند (β) طبق رابطه‌ی ۵ قابل محاسبه است:

$$\beta = \text{median} \left[\frac{x_j - x_i}{j - i} \right] \quad \forall (j > i) \quad (5)$$

مقادیر مثبت β نشان‌دهنده‌ی شیب صعودی (روند افزایشی) و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده‌ی شیب نزولی (روند کاهش) می‌باشد (کنعانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۹۷).

۵-۲-۲- تجزیه و تحلیل تغییرات سریع ۱ سری‌ها زمانی با استفاده از آزمون پتیت:

تغییرات سریع در سری‌های زمانی به مفهوم کاهش و یا افزایش ناگهانی در خصوصیات آماری یک سری زمانی طی یک گام زمانی کوتاه است. در این مطالعه آزمون پتیت به منظور تحلیل تغییرات سریع در سری زمانی دبی رودخانه مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه توضیحات مختصری در خصوص این آزمون ارائه می‌شود. برای بررسی وقوع روند سریع در سری‌های زمانی روش‌هایی پیشنهاد شده که از آن جمله می‌توان به آزمون پتیت (Pettitt Test) اشاره نمود که جزء روش‌های ناپارامتری بوده و در مطالعه روند متغیرهای هیدروکلیماتولوژی مورد استفاده قرار گرفته است. مزیت اصلی این روشها، قابلیت آنها در تعیین زمان وقوع این تغییرات در سری زمانی مورد بررسی می‌باشد. تست پتیت آزمونی ناپارامتری است که در سال ۱۹۷۹ توسط پتیت توسعه داده شد (پتیت ۲، ۱۹۷۹، ۱۲۶). این روش برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی به کار برده می‌شود. تست پتیت آزمونی جهت تشخیص تغییرات معنی دار در میانگین سری زمانی است و این موضوع زمانی اهمیت دارد که هیچ فرضیه‌ای در مورد زمان تغییر موجود نباشد. آماره‌ی آزمون پتیت به شرح زیر است.

ابتدا سری زمانی U_{zn} از رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌شود:

$$U_{zn} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad \text{if } z = 2 \dots n \quad (6)$$

t طول دوره‌ی آماری و n تعداد رخداد در سری آماری می‌باشد. تابع $\text{sgn}(\theta)$ نیز به صورت رابطه‌ی ۲ بیان می‌شود.

مقدار K با استفاده از رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌شود:

$$K = \max|U_{zn}| \quad (7)$$

در مرحله بعد مقدار K در رابطه‌ی ۸ جایگزین شده و آماره p محاسبه می‌گردد:

$$p = \exp\left[\frac{-6(K_n)^2}{n^3+n^2}\right] \quad (8)$$

هر چه آماره p به صفر نزدیک‌تر باشد اختلاف میانگین سری قبل از پرش و بعد از پرش معنادارتر می‌شود و معمولاً اگر $p < 0.05$ معنادار تلقی می‌شود (عباسی و ملکانی، ۱۳۹۸: ۴۷۵). همچنین فرض صفر در این آزمون زمانی است که نقطه تحول معنی‌داری در سری زمانی وجود نداشته باشد (قدوسی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۲).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- نتایج تحلیل روند

۳-۱-۱- نتایج تحلیل روند من-کندال اصلاح شده و نتایج آزمون تخمین گر شیب سن برای دبی رودخانه مردق چای

همانطور که در قسمت‌های قبلی توضیح داده شد، پس از بررسی کیفی داده‌های فصلی و سالانه دبی جریان ایستگاه هیدرومتری قشلاق امیر، جهت بررسی روند تغییرات دبی جریان از آزمون من-کندال اصلاح شده استفاده گردید. شکل ۲ تغییرات دبی سالانه مشاهداتی در ایستگاه هیدرومتری قشلاق امیر را بین سال‌های ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۷، نشان می‌دهد. بیشترین دبی سالانه در سال ۱۹۹۱ و کمترین دبی سالانه در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۷ اتفاق افتاده است. مقادیر آماره S ، واریانس S ، p -value در روش من-کندال اصلاح شده و همچنین میزان انحراف استاندارد داده‌ها در جدول ۲ آورده شده است. میزان ضریب خودهمبستگی مرتبه ۱۱ بر اساس رابطه‌ی ۵ محاسبه شده است (جدول ۲).

بررسی جدول مذکور نشان می‌دهد ضرایب خود همبستگی دبی سالیانه، دبی فصل بهار، پاییز و زمستان در محدوده محاسبه شده از قسمت‌های قبلی، $0/31$ - و $0/27$ قرار ندارد و دارای خودهمبستگی می‌باشد. ضریب خودهمبستگی دبی تابستان در محدوده‌ی $0/22$ - و $0/27$ قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد که دبی پاییز دارای خودهمبستگی معنی‌دار نمی‌باشد. بررسی نتایج روش من-کندال اصلاح شده که تاثیر خودهمبستگی داده‌ها را در نظر می‌گیرد، نشان می‌دهد دبی سالانه، دبی فصل بهار، تابستان و زمستان دارای روند معنی‌دار در سطح ۵ درصد بوده و با توجه به شیب خط سن دارای روند کاهشی می‌باشد، در صورتی که دبی فصل پاییز دارای روند معنی‌دار در سطح ۵ درصد نمی‌باشد.

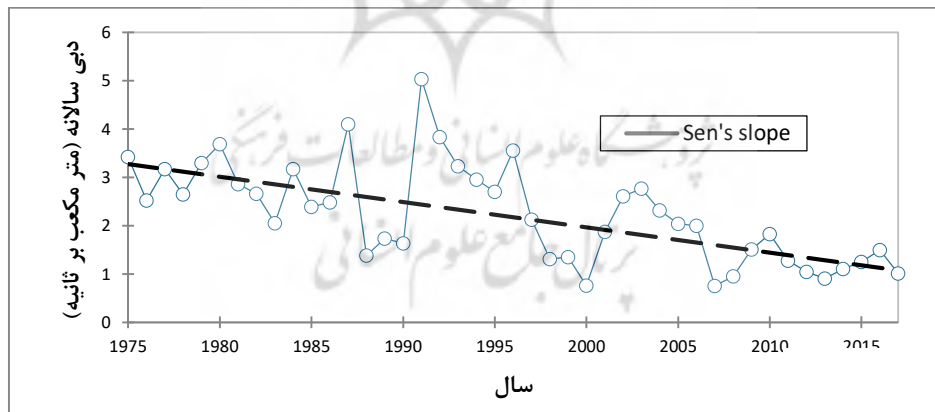
در ادامه روند دبی‌های ماهانه نیز با استفاده از روش من-کندال اصلاح شده بررسی گردید. آنالیز نتایج نشان می‌دهد روند معنی‌دار در کاهش دبی تمام ماه‌ها وجود دارد. جدول ۳ مقدار P -value هر یک از ماه‌های سال

که با روش من-کندال اصلاح شده محاسبه شده است را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقادیر P-value کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد روند کاهشی دبی‌های ماهانه معنی‌دار می‌باشد و با توجه به منفی بودن شیب سن روند کاهشی در دبی ماهانه ایستگاه قشلاق امیر وجود دارد.

جدول (۲): مشخصات آماری دبی ایستگاه هیدرومتری قشلاق امیر

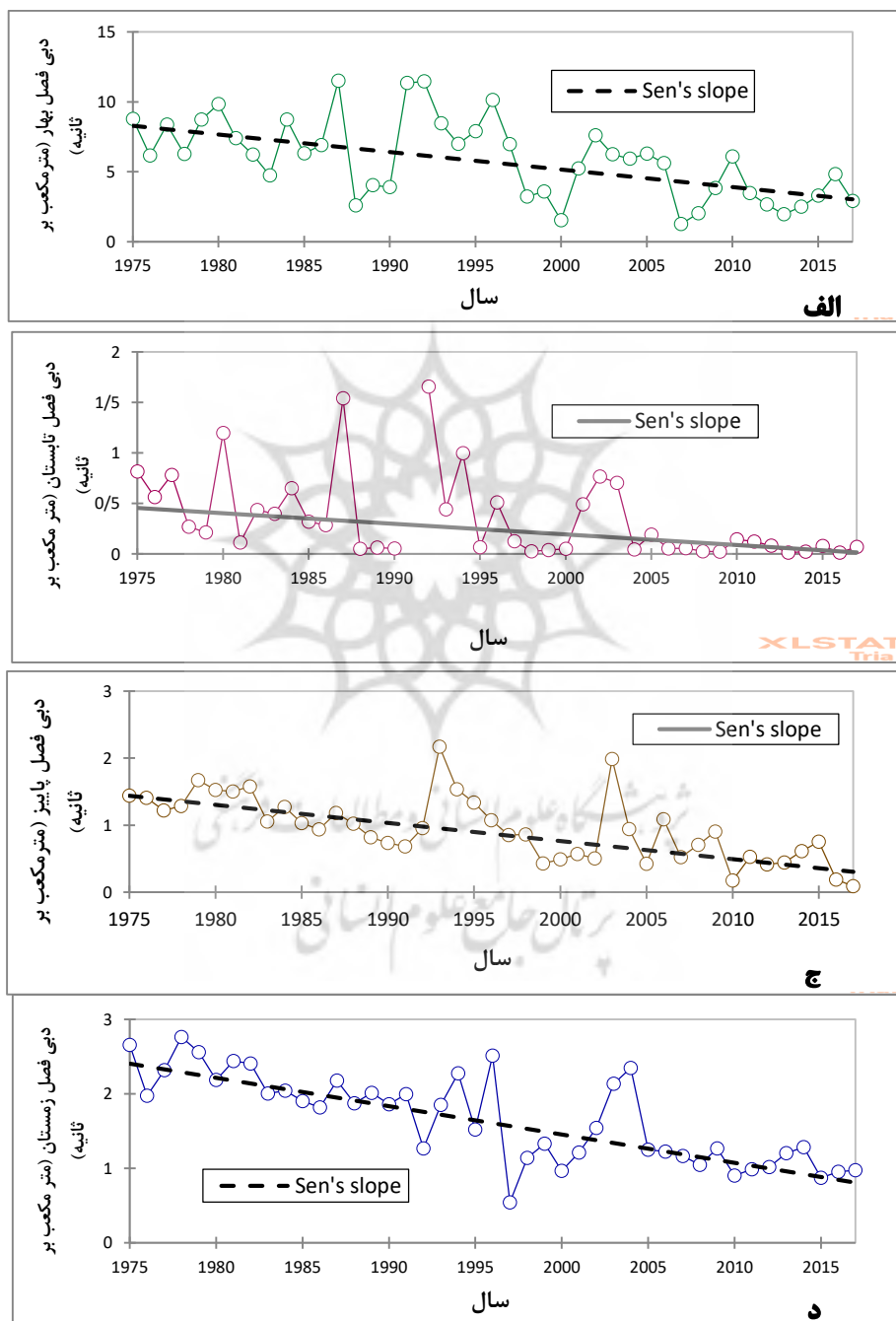
Table (2): Statistical specifications of runoff of Gheshlagh Amir hydrometric station

دبی زمستان	دبی پاییز	دبی تابستان	دبی بهار	دبی سالانه	
۱/۶۷	۰/۹۵۹	۰/۳۵	۵/۹	۲/۲۵	میانگین (m ³ /s)
۰/۵۹	۰/۵۱	۰/۱۹	۰/۴۸	۰/۵۳۸	ضریب خودهمبستگی ام
۰/۳۵	۰/۵	۱/۱۹	۰/۴۷	۰/۴۵	ضریب تغییرات (CV)
-۵۳۵	-۴۸۷	-۳۵۵	-۳۷۹	-۴۴۷	S
۵۶۴۱	-۷۰۰	۲۵۳۲	۹۵۵۷	۶۸۹۰	V(S) من-کندال
<۰/۰۰۰۱	۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰	<۰/۰۰۰۱	P-value اصلاح شده
-۰/۰۳۷	-۰/۰۲۶	-۰/۰۱	-۰/۱۲۵	-۰/۵۲	شیب سن
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	سطح اطمینان



شکل (۲): تغییرات دبی سالانه ایستگاه هیدرومتری قشلاق امیر

Fig (2): Changes in the annual discharge of Qeshlaq Amir hydrometric station



شکل (۳): تغییرات دبی فصلی، بهار (الف)، تابستان (ب)، پاییز (ج) و زمستان (د) رودخانه مردق چای در ایستگاه قشلاق امیر
Fig (3): Seasonal changes of runoff, spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d) of Mordagh Chay River in Qeshlagh Amir Station

جدول (۳): بررسی روند دبی ماهانه مردق چای از روش من-کندال اصلاح شده و تخمین گر شیب سن
Table (3): Analysis of the monthly discharge trend of Qeshlaq Amir hydrometric station using the modified Mann-Kendall method and the Sen's slope estimator

سری زمانی ماهانه	p-value	شیب سن	سری زمانی ماهانه	p-value	شیب سن
January	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۸	July	<۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۱
February	<۰/۰۰۰۱	-۰/۰۳۹	August	<۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۱
March	۰/۰۰۱	-۰/۰۲۸	September	<۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۵
April	۰/۰۰۶	-۰/۱۶	October	<۰/۰۰۰۱	-۰/۰۳۶
May	<۰/۰۰۰۱	-۰/۱۴	November	<۰/۰۰۰۱	-۰/۰۳۹
June	<۰/۰۰۰۱	-۰/۰۲۷	December	<۰/۰۰۰۱	-۰/۰۴۱

۲-۱-۳- نتایج تحلیل من-کندال اصلاح شده و نتایج آزمون تخمین گر شیب سن برای رسوب رودخانه مردق چای: پس از بررسی کیفی داده‌های فصلی و سالانه بار رسوب ایستگاه هیدرومتری قشلاق امیر، جهت بررسی روند تغییرات بار رسوب از آزمون من-کندال اصلاح شده استفاده گردید. مقادیر آماره‌ی S، واریانس S، و p-value در روش من-کندال اصلاح شده و همچنین میزان انحراف استاندارد داده‌ها در جدول ۲ آورده شده است. میزان ضریب خودهمبستگی مرتبه ۱۱ام بر اساس رابطه‌ی ۵ محاسبه شده است (جدول ۴).

بررسی جدول مذکور نشان می‌دهد ضرایب خود همبستگی بار رسوب سالانه، فصل بهار، زمستان در محدوده محاسبه شده از قسمت‌های قبلی، ۰/۴- و ۰/۳۴ قرار ندارد و دارای خودهمبستگی می‌باشد. ضریب خودهمبستگی بار رسوب سایر فصول در محدوده‌ی ذکر شده قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد که بار رسوب آنها دارای خودهمبستگی معنی دار نمی‌باشد.

بررسی نتایج P-value روش من-کندال اصلاح شده نشان می‌دهد که داده‌های بار رسوب سالیانه و تمام فصول در ایستگاه مردق چای؛ کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد و در نتیجه دارای روند معنی دار در سطح ۵ درصد بوده و با توجه به شیب منفی خط سن دارای روند کاهشی می‌باشد (جدول ۵). روند تغییرات رسوب سالانه رودخانه قشلاق امیر در شکل ۴ آورده شده است.

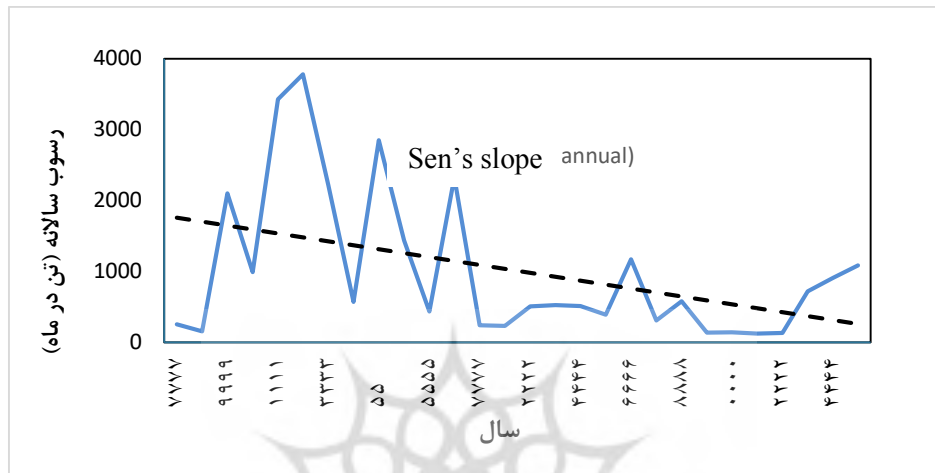
جدول (۴): مشخصات آماری رسوب ایستگاه هیدرومتری قشلاق امیر

Table (3): Statistical characteristics of sediment of Qeshlaq Amir hydrometric station

بار رسوب سالانه	بار رسوب بهار	بار رسوب تابستان	بار رسوب پاییز	بار رسوب زمستان	
۱۵۱۵	۳۱۹۹	۱۸/۸	۳۵۲	۱۴۱۵	میانگین (تن در ماه)
۰/۶۵	۰/۳۱	۰/۰۵۴	۰/۱۴۷	۰/۵۷	ضریب خودهمبستگی ام
۰/۹۲	۱/۰۶	۱/۲	۱/۱	۰/۹	ضریب تغییرات (CV)
-۶۹	-۸۶	-۷۲	-۸۵	-۱۴۹	S
۱۴۰۱	۱۸۳۳	۹۵۰	۱۴۳۳/۷	۲۳۰۱	من-کندال V(S)
۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۰/۰۱۹	۰/۰۲۵	۰/۰۰۲	اصلاح شده P-value
-۷۵	-۷۱/۷۷	-۰/۸۳۱	-۱۶/۱۵	-۵۱/۳	شیب سن
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	سطح اطمینان

همانطور که از جدول ۴ مشخص است میزان ضریب تغییرات بار رسوب بیشتر است و نشان می‌دهد داده‌های رسوب دارای پراکندگی بالایی هستند. با توجه به اینکه اندازه‌گیری بار رسوب به صورت محدود انجام می‌شود و بار رسوب لحظه‌ای به کل ماه تعمیم داده می‌شود و ممکن است در برخی از ماه‌ها امکان اندازه‌گیری بار رسوب وجود نداشته باشد، بنابراین داده‌های بار رسوب دارای پراکندگی بالا و عدم قطعیت بالایی نسبت به دبی جریان می‌باشند.

در ادامه روند رسوب ماهانه نیز با استفاده از روش من-کندال اصلاح شده بررسی گردید. آنالیز نتایج نشان می‌دهد روند معنی‌دار در کاهش رسوب در تمام ماه‌ها به جز ماه‌های April، March و October وجود دارد. جدول ۵ مقدار P-value هر یک از ماه‌های سال که با روش من-کندال اصلاح شده محاسبه شده است را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقادیر P-value کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد روند کاهشی رسوب ماهانه در این ماه‌ها معنی‌دار می‌باشد و با توجه به منفی بودن شیب سن، روند کاهشی در رسوب ماهانه ایستگاه قشلاق امیر وجود دارد.



شکل ۴: تغییرات رسوب سالانه رودخانه مردق چای در ایستگاه قشلاق امیر

Fig (5): Changes in the annual sediment of Mardagh Chai River at Qeshlaq Amir Station

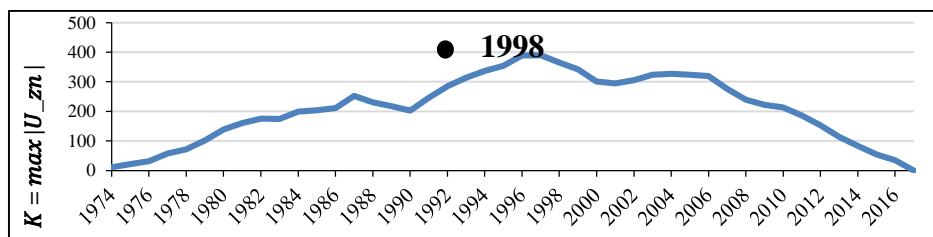
جدول (۵): بررسی روند رسوب ماهانه مردق چای از روش من-کندال اصلاح شده و تخمین گر شیب سن

Table (3): Analysis of the monthly sediment trend of Qeshlaq Amir hydrometric station using the modified Mann-Kendall method and the Sen's slope estimator

سری زمانی ماهانه	p-value	شیب سن	سری زمانی ماهانه	p-value	شیب سن
January	۰/۰۰۳	-۲۳	July	۰/۰۱۹	-۰/۷
February	۰/۰۰۹	-۳۱	August	<۰/۰۰۰۱	-۰/۴۱
March	۰/۲۸۶	۱۲/۷	September	<۰/۰۰۰۱	-۳/۶۵
April	۰/۹۵	-۲۵	October	۰/۱۲	-۹/۱۵
May	۰/۰۴	-۱۲۰	November	۰/۰۰۲	-۶۲
June	۰/۰۰۴	-۲/۶	December	۰/۰۰۱	-۳۶

۳-۲- بررسی تغییرات سریع دبی و رسوب ایستگاه هیدرومتری قشلاق امیر:

تغییرات سریع در سری‌های زمانی به مفهوم کاهش و یا افزایش ناگهانی در خصوصیات آماری یک سری زمانی طی یک گام زمانی کوتاه است. در این مطالعه آزمون پتیت به منظور تحلیل تغییرات سریع در سری زمانی دبی و رسوب رودخانه مردق چای مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل ۵ نمودار تغییرات در میانگین سری زمانی دبی سالانه ایستگاه قشلاق امیر که توسط این آزمون به دست آمده است را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان گفت تغییر سریع در میانگین سری زمانی دبی (نقطه شکست) در سال ۱۹۹۸ اتفاق افتاده است. بدین معنا که روند کاهشی که در آزمون من-کندال برای دبی سالانه ایستگاه به دست آمده بود از سال ۱۹۹۸ به بعد آغاز می‌گردد.

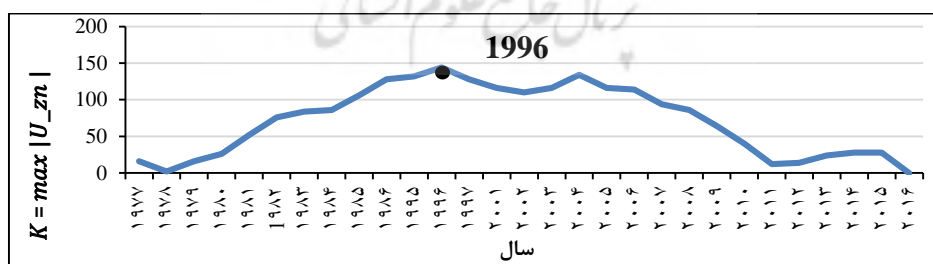


شکل ۵: تغییرات در میانگین سری زمانی دبی سالانه با روش پتیت

Fig (7): Changes in the average annual flow time series with the Pettitt test

میانگین دبی سالانه در بازه‌ی زمانی قبل از نقطه شکست ۲/۷۸ متر مکعب بر ثانیه و در بازه‌ی زمانی بعد از نقطه شکست ۱/۵۲ متر مکعب بر ثانیه محاسبه شده است. می‌توان چنین نتیجه گرفت که میانگین دبی سالانه در بازه‌ی زمانی بعد از نقطه شکست به اندازه ۴۵ درصد نسبت به بازه زمانی قبل از نقطه شکست کاهش داشته است. کاهش میزان دبی می‌تواند به خاطر تغییر اقلیم و دخالت‌های بشری اتفاق بیفتد.

همچنین در این مطالعه از آزمون پتیت جهت آنالیز تغییرات سریع در سری زمانی رسوب رودخانه مردق چای استفاده شده است. شکل ۶ نمودار تغییرات در میانگین سری زمانی بار رسوب سالانه ایستگاه قشلاق امیر که توسط این آزمون به دست آمده است را نمایش می‌دهد. با توجه به این نمودار می‌توان گفت تغییر ناگهانی در میانگین سری زمانی (نقطه شکست) در سال ۱۹۹۶ اتفاق افتاده است. به طوریکه بعد از سال ۱۹۹۶ برآیند میانگین سری زمانی رسوب تا آخر دوره شبیه‌سازی کاهشی است. به عبارت دیگر می‌توان گفت روند کاهشی که در آزمون من-کندال برای رسوب سالانه ایستگاه به دست آمده بود از این نقطه به بعد آغاز می‌گردد.



شکل ۶: تغییرات در میانگین سری زمانی رسوب سالانه با روش پتیت

Fig (9): Changes in the average annual sedimentation time series with the Pettitt test

میانگین رسوب سالانه در بازه‌ی زمانی قبل از نقطه شکست ۲۹۹۳ تن در ماه و در بازه‌ی زمانی بعد از نقطه‌ی شکست ۱۴۴۶ تن در ماه به دست آمده است. در نتیجه می‌توان گفت که میانگین رسوب سالانه در بازه‌ی زمانی بعد از نقطه شکست حدود ۵۲ درصد نسبت به بازه‌ی زمانی قبل از آن کاهش یافته است.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش با بهره‌گیری از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال اصلاح شده، تخمین‌گر شیب سن و پتیت روند تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه‌ی دبی جریان و رسوب رودخانه‌ی مردق‌چای در آذربایجان شرقی را بررسی می‌کند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد دبی سالانه، ماهانه و دبی فصل بهار، تابستان و زمستان به جز پاییز دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. داده‌های بار رسوب سالیانه و تمام فصول در ایستگاه مردق‌چای نیز دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. همچنین روند کاهشی معنی‌دار رسوب در تمام ماه‌ها به جز ماه‌های April، March و October وجود دارد. نتایج آزمون پتیت نشان می‌دهد. میانگین دبی سالانه در بازه زمانی بعد از نقطه شکست (۱۹۹۸) به اندازه ۴۵ درصد نسبت به بازه زمانی قبل از نقطه شکست کاهش داشته است. همچنین میانگین رسوب سالانه در بازه زمانی بعد از نقطه شکست (۱۹۹۶) حدود ۵۲ درصد نسبت به بازه زمانی قبل از آن کاهش یافته است.

روند کاهشی دبی رودخانه‌های زیادی در مطالعات دیگر گزارش شده است (کنعانی ۲۰۱۸، شاکریان ۲۰۱۹ و ...). نتایج این بررسی و مطالعات دیگر در این زمینه به برنامه‌ریزان منابع آب کشور هشدار می‌دهد که در صورت عدم توجه به تغییرات اقلیمی و عدم انطباق برنامه‌های مدیریت منابع آب با روند متغیرهای اقلیمی و نیازهای آبی، در آینده با چالش‌های آبی بزرگتری مواجه خواهیم بود.

۵-منابع

- Abbasi, H., & Malekani, L. (2019). Runoff modeling and Estimation of runoff changes due to climate and human factors, *Iranian Journal of Irrigation and drainage* 2(13): 475-485.
- Adarsh, S., VishnuPriya, M., Narayanan, S., Smruthi, M., George, P., Benjie, N.M., (2016). Trend analysis of sediment flux time series from tropical river basins in India using non-parametric tests and multiscale decomposition, *Modeling Earth Systems and Environment* 2(4): 1-16.
- Alijani, B., Mahmudi, P., & Chogan, A. (2012). Investigating the trend of changes in annual and seasonal rainfall in Iran using non-parametric "Sen's slope estimator" method, *Journal of Climate Research* 3(9): 23-42.
- Ansari, M., Noori, G., & Fotohi, S. (2016). Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan), *Journal of Watershed Management Research* 7(14): 1-16.
- Bayati Khatibi, M., Shahbazi, M., & Heidari, M.A. (2015). Speculations and Analysis on the Changes in Water Quality of Ahar River and its Impacts on Human Health, *Hydrogeomorphology* 1(1): 93-109.
- Chen, J., Wub, X., Finlayson, B., Webber, M., Wei, T., Li, M. (2014). Variability and trend in the hydrology of the Yangtze River, China: Annual precipitation and runoff. *Journal of Hydrology* 513: 403-412.
- Chen, Y., Guan, Y., Shao, G.; Zhang, D. (2016). Investigating Trends in Streamflow and Precipitation in Huangfuchuan Basin with Wavelet Analysis and the Mann-Kendall Test. *Water*, 8, 77. <https://doi.org/10.3390/w8030077>
- Faraji, M. (2020). Analysis of Impacts of Climate Variability and Human Activity on Streamflow and Sediment Load in Mordagh Chay Basin Using the SWAT Model, M.S. Thesis, university of Tabriz.
- Ghodoosi, M., Morid, S., & Delavar, M. (2014). Comparison of detrending methods for the temperature and precipitations time series, *Journal of Agricultural Meteorology* 1(2): 32-45.
- Gholami, F., Zarei, H., Marofi, S. (2021). Trend Analysis of Groundwater Quantity and Quality Parameters (Case Study: Tuyserkan Plain). *Irrigation Sciences and Engineering*, 44(1), 127-140. doi: 10.22055/jise.2021.20618.1487.
- Hamed, K.H. and Rao, A.R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for auto correlated data. *Journal of Hydrology*, 204: 182-196. [DOI:10.1016/S0022-1694(97)00125-X].
- Haji, Kh., Mirzaei, Sh., Mostafazadeh, R., & Nazarnejad, H. (2018). The Monthly Changes of Surface Runoff Intensity and Concentration in the Gorgan-Roud River, Golestan Province, *Hydrogeomorphology* 4(13): 121-146.
- Heidari, H. (2016). The trend analysis of falling snow and rainfall in selected stations of West Azerbaijan province. *Arid Regions Geographic Studies, Journal of Arid Regions Geographic Studies* 7(26): 92-110

- Jiang, T., Su, B., Hartmann, H. (2007). Temporal and spatial trends of precipitation and River flow in the Yangtze River basin, 1961-2000, *Geomorphology* 85: 143-154.
- Kanani, R., Fakheri-Fard, A., Ghorbani, M.A., & Dinpashoh, Y. (2018). Trend Analysis of Gradual and Rapid Variations of Hydro-Climatological Factors (Case study: Lighvanchai Basin), *Water and Soil Science* 29(1): 97-110.
- Khoshraftar, R., & Mazinee, F. (2011). Statistical Survey of Discharge and Sediment In Gara Sou Drainage Basin (Golestan Province), *GEOGRAPHIC SPACE* 11(33): 101-121.
- Memarian, H., Balasundram, S.K., Talib, J.B., Sood, A.M., Abbaspour, K.C. (2012). Trend analysis of water discharge and sediment load during the past three decades of development in the Langat basin, Malaysia, *Hydrological Sciences Journal* 57(6): 1207-1222.
- Mohammadi, N. (2019). Study of the trend of changes in the amount of radiation in Iranian radiometer stations using Mann-Kendall test and Sen's slope estimator, International Conference on Climate Change, Impacts, Adaptation and Mitigation, Kharazmi University.
- Panda, D.K., Mishra, A., Jena, S., James, B., Kumar, A. (2007). The influence of drought and anthropogenic effects on groundwater levels in Orissa, India, *Journal of hydrology* 343: 140-153.
- Partal, T., Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data, *Hydrological Processes: An International Journal* 20(9): 2011-2026.
- Parviz, J., Borna, R., Asadian, F. (2021). Analysis of heavy precipitation in Kermanshah province by my Kendall method (Case study: Kermanshah Province during 1970-2017). *Journal of Climate Research*, 1400(45), 81-96.
- Pettitt, A.N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem, *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)* 28(2): 126-135.
- SHAKERIAN, S., & Torabi Podeh, H., & SHAHINEJAD, B., & NAGHAVI, H. (2019). Investigation of the Rainfall and Flow River Trend in the Great Karun Basin Using the TFPW-MK. *IRAN-WATER RESOURCES RESEARCH*, 15(3), 272-282.
- <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=726703>
- Shi, H., & Wang, G. (2015). Impacts of climate change and hydraulic structures on runoff and sediment discharge in the middle Yellow River, *Hydrological Processes* 29(14): 3236-3246.
- Siakeu, J., Oguchi, T., Aoki, T., Esaki, Y., Jarvie, H.P. (2004). Change in riverine suspended sediment concentration in central Japan in response to late 20th century human activities, *Catena* 55(2): 231-254.
- Wang, H., Chen, L., Yu, X. (2016). Distinguishing human and climate influences on streamflow changes in Luan River basin in China. *Catena* 136: 182-188.