

نشان نداد. در نتیجه می‌توان اظهار داشت که حداقل در سه دهه اخیر تغییرات محسوسی در میزان بارش و خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در حوزه آبخیز بار وجود نداشته و نمی‌توان کاهش دبی رسوب در حوزه آبخیز بار را به شرایط خشکسالی و اقلیمی در دوره منتهی به نقطه تغییر نسبت داد. با توجه به اینکه اوج گیری فعالیت‌های آبخیزداری در حوزه آبخیز بار از سال ۱۳۸۴ (تقریباً مصادف با نقطه تغییر در سری زمانی رسوب معلق حوزه) شروع شده و تا ۱۳۸۹ بصورت رسمی ادامه داشته است می‌توان روند کاهش در سری زمانی رسوب معلق حوزه را بیشتر مرتبط با فعالیت‌های سازه‌ای (گابیونی، خشکه چین، بند خاکی و تورکینست) عملیات آبخیزداری از اواخر دهه ۷۰ تا کنون دانست.

کلید واژه‌ها: آزمون خودهمبستگی، آزمون مان-کندال، آزمون پتیت، دبی آب، دبی رسوب، عملیات آبخیزداری

مقدمه

در آبخیزداری مطالعات فرسایش و رسوب از اهمیت زیادی برخوردار است. مقدار رسوب حاصل از فرسایش در حوزه‌های آبخیز مختلف متفاوت است. رسوب حوزه‌های آبخیز تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند اقلیم، پستی و بلندی و فعالیت‌های انسانی است. تغییرات رسوب‌دهی در حوزه‌های آبخیز، چگونگی تغییرات زمانی و مکانی آن، اندازه و دانه بندی رسوب از مهمترین متغیرهای رسوب دهی حوزه‌های آبخیز هستند [۱]. آگاهی از مقدار تولید رسوب آبخیزها و بررسی رسوب‌دهی رودخانه در شناسایی مناطق بحرانی اهمیت زیادی دارد [۶].

در بسیاری از مناطق، فرسایش خاک باعث تأثیر گذاری بر پایداری اکوسیستم‌ها شده که اغلب موجب تخریب غیر قابل بازگشت اراضی شده است [۴۰]. از طرف دیگر تغییرات محیطی - انسانی در مقیاس جهانی موجب افزایش فعالیت فرآیندهای زمین ریختی و جریان‌های رسوبی در قسمت‌های زیادی از جهان شده است [۳۸]. بطور مثال با از بین بردن پوشش گیاهی فرسایش اراضی تشدید و حجم زیادی از مواد رسوبی وارد رودخانه می‌شود. هرساله بالغ بر ۲۰ تا ۵۲ میلیارد تن رسوب توسط رودخانه‌های جهان انتقال می‌یابد و در آبهای ساکن ته نشین می‌شود [۱۰].

رودخانه‌های ایران در مقایسه با رودخانه‌های جهان بدلیل شرایط

بررسی آماری روند رسوب معلق در ارتباط با عملیات اجرایی آبخیزداری با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بار نیشابور)

مرضیه سبحانی^۱، سید محمد تاجبخش^۲ و هادی معماریان^۳
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۵

چکیده

فرسایش، انتقال رسوب، رسوب گذاری و کیفیت آب از مسائل بسیار مهم در مدیریت حوزه‌های آبخیز می‌باشند. از آنجاییکه بسیاری از حوزه‌های آبخیز در اکثر کشورها از جمله ایران فاقد ایستگاه رسوب سنجی هستند استفاده از روش‌های آماری برای تحلیل آمار رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز یکی از رهیافت‌های مهم بررسی روند رسوب زایی در حوزه‌های آبخیز است. بر همین اساس هدف از این مطالعه بررسی آماری روند رسوب معلق در ارتباط با عملیات اجرایی آبخیزداری با استفاده از تحلیل سری زمانی در حوزه آبخیز بار نیشابور می‌باشد. در این مطالعه آمار رسوب‌دهی ایستگاه بار اریه در دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۴۶ با استفاده از آزمون‌های مان-کندال و پتیت مورد بررسی قرار گرفت. بررسی آماری سری زمانی پیوسته و گسسته دبی رسوب نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی دبی رسوب در سطح پنج درصد معنی‌دار و کاهشی است. تغییرات ناگهانی سری زمانی دبی رسوب در سطح پنج درصد معنی‌دار است که نقطه تغییر آن سال ۱۳۸۲ می‌باشد که میانگین رسوب از ۳۱۷/۶۲ تن در روز به میزان ۱۷/۲۵ تن در روز، در دوره بعد از سال ۱۳۸۲ کاهش یافته است. تحلیل روند آماری سری زمانی بارندگی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری کارخانه قند، ماروسک و بار اریه بعنوان ایستگاه‌های معرف اقلیمی حوزه و سری زمانی دبی آب در دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۴۶ روند معنی‌داری را در سطح پنج درصد

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه بیرجند. پست الکترونیک: marzieh.sobhani1395@gmail.com

۲. نویسنده مسئول و استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند، پست الکترونیک: Tajbakhsh.m@birjand.ac.ir

۳. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند. پست الکترونیک: hadi_memarian@birjand.ac.ir

آب و هوایی، هیدرولوژیکی، زمین شناسی و فشار بیش از حد به اراضی حوزه‌های آبخیز، رسوبات بالاتری را حمل می‌کنند که همواره آسیب‌ها و خسارت‌های زیادی را به دنبال دارند. از آنجا که خسارات وارده توسط رسوبات رودخانه‌ای به طبیعت، کشاورزی، سازه‌های آبی ساخته شده بر روی یا در رودخانه‌ها بسیار گسترده و زیان آور است، شناخت دقیق آن از اهداف مهم محققین و مهندسان در این رابطه می‌باشد.

با برقراری و توسعه برنامه‌های اندازه‌گیری می‌توان مقدار رسوب انتقالی در رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داد [5]. رسوبات رودخانه‌ای به دو صورت منتقل می‌شوند: یا این مواد درون جریان آب غوطه‌ور هستند و همراه با آب در حرکت می‌باشند که به آنها مواد رسوبی معلق گفته می‌شود و میزان مواد رسوبی معلق را که در واحد زمان از یک مقطع رودخانه عبور کند، بار معلق می‌نامند، یا اینکه به یکی از صور لغزش، غلتیدن، پرش حرکت می‌نمایند که به آنها بار بستر می‌گویند [33]. چون در بسیاری از رودخانه‌ها بخش رسوب معلق قسمت اعظم بار کل رسوب را تشکیل می‌دهد و بار بستر بیشتر از فرسایش رودخانه‌ای ناشی می‌شود و همچنین به علت مشکلات عملی در اندازه‌گیری بار بستر تقریباً در تمام موارد، اندازه‌گیری رسوب مربوط به بار معلق می‌باشد [24].

در گذشته داده‌های رسوب معلق معمولاً فقط در مطالعه‌ها و پژوهش‌های مرتبط با فرسایش و رسوب، مدیریت منابع آب و مهندسی منابع آب مورد استفاده قرار می‌گرفتند، ولی اخیراً از دیدگاه زیست محیطی، نقش رسوبات معلق در انتقال عناصر غذایی، سموم و همچنین منشاء یابی رسوبات و آلاینده‌های غیر نقطه‌ای مورد توجه بیشتری قرار گرفته و ارزش و اهمیت این داده‌ها را دو چندان کرده است [2].

رسوب معلق رودخانه تا حد زیادی پیام‌آور وضعیت بالادست است. گروه‌های زیادی نیاز به این داده‌ها دارند. از این اطلاعات می‌توان رابطه بین فرایندهای فرسایش حوزه و رسوب معلق را مطالعه کرد [17]. بنابراین بخش رسوب معلق در ارتباط نزدیک با تحقیقات فرسایش خاک قرار دارد [43] و از اطلاعات آن می‌توان برای ارزیابی، اصلاح و بهبود مدل‌های برآورد رسوب و کمک به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در مورد تأثیر کاربری اراضی و استراتژی‌های کنترل آلودگی استفاده کرد. همچنین محاسبات حجم مرده مخازن ناشی از پرشدن مواد رسوبی و طراحی حوضچه‌های رسوب، عملیات رسوب‌زدایی و غیره همگی بر پایه اطلاعات رسوب شناسی حوزه استوارند [4].

تحلیل آماری رسوب معلق در حوزه‌های آبخیز به منظور بررسی عوامل تأثیر گذار و ارائه مدل منطقه‌ای توسط محققین مختلفی انجام شده است. پورخلعتبری و سهیلی، [28]؛ قدیمی آروس محله و سبحانی، [11]؛ رستمی، [30]؛ نجفی، [25]، وفاخواه، [39] هر کدام به ذکر عوامل تأثیر گذار و توجه به آن در کنترل فرسایش و رسوب پرداخته اند.

مطالعه هیده [16] روی حوضه‌ای در غرب کلرادوی مرکزی در

آمریکا نشان داد که احداث سد‌های رسوبگیر بر روی آبراهه اصلی و شاخه‌های مهم آن، مقدار رسوب را در طول 11 سال در حدود 90 درصد کاهش داده است. یوو همکاران [48] توانایی آزمون مان-کندال¹ و اسپیرمن آراچ² را برای تعیین روند هیدرولوژیکی حوزه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که توانایی هر دو آزمون با شیب روند، میزان و سطح معنی‌دار از پیش تعیین شده آزمون تناسب مستقیم دارد و تناسب معکوس با ناپایداری سری زمانی دارد. ژانگ و همکاران [49] تغییرات ناگهانی در سری زمانی دبی آب و رسوب را برای حوزه آبخیز سوشی (رودخانه مروارید) در چین بررسی کردند. آنها از آزمون مان - کندال بعنوان آزمون روند تغییرات تدریجی و از آزمون پتیت³ بعنوان آزمون شناخت تغییرات ناگهانی داده‌های دبی آب سالیانه و بار رسوب از سال 2004-1950 در نه ایستگاه هیدرومتری استفاده کردند. مطالعات آنها نشان داد که تغییرات طولانی مدتی در دبی آب سالیانه بیشتر توسط تغییرات در بارش کنترل می‌شود و روند کاهشی بار رسوب در همه ایستگاه‌های هیدرومتری نیز عمدتاً تحت تأثیر ساخت و ساز مخزن سد می‌باشد. والینگ و فان [42] با تحلیل روند رسوب سالانه 145 رودخانه مهم جهان با استفاده از روش مان-کندال نشان دادند مقدار رسوب سالانه در 50 درصد این رودخانه‌ها دارای روند افزایشی یا کاهشی هستند. بعنوان نمونه، رودخانه دانوب، می‌سی سی پی و رودخانه زرد دارای روند کاهشی و چند رودخانه در شوروی سابق دارای روند افزایشی بار رسوبی هستند. رودریگر بلانسو و همکاران [29] تغییرات زمانی رسوب معلق در حوزه آبخیز آتلانتیک⁴ واقع در شمال غرب اسپانیا را بررسی کرده و از داده‌های رسوب معلق و دبی جریان در طی مدت سه سال (2004-2007) در مقیاس‌های زمانی مختلف (فصلی، ماهانه و سالانه) استفاده نمودند. نتایج تحقیق حاکی از این بود که تغییر در مقدار تولید رسوب معلق با تعداد و شدت وقایع رواناب رابطه معنی‌داری دارد. هو و همکاران [18] در تحقیق خود با عنوان تغییرات زمانی و مکانی منحنی سنجه رسوب در حوزه چانگ چیان⁵ رودخانه یانگ تسه⁶، غلظت رسوب معلق را در سه بازه از رودخانه شامل بالادست، میانه و پایین دست در دوره‌های متفاوت زمانی از سال 1955 تا 2007 محاسبه کردند و تغییرات زمانی و مکانی منحنی سنجه رسوب را نسبت به تأثیر فعالیت‌های انسانی و ویژگی‌های حوزه آبخیز تحلیل کردند. نتایج نشان داد که تعرضات و فعالیت‌های انسانی به طبیعت تأثیر اصلی را بر روی پارامترهای منحنی سنجه رسوب دارد. نصری و همکاران [26] به بررسی آماری تغییرات رسوب معلق و تحلیل عوامل مؤثر در حوزه آبخیز مندرجان پرداختند. در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات

- 1- Mann- Kendall trend
- 2- Spearman's rho
- 3- Pettit
- 4-Atlantic
- 5- Changjiang
- 6- Yangtze

$$\text{Var}(S)^* = \text{Var}(S) \frac{n}{n^*} \quad (3)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} *$$

$$\sum_{j=1}^{n-1} (n-k)(n-k-1)(n-k-2)r_k \quad (4)$$

در رابطه ۳: $\text{Var}(S)$ واریانس آماری داده اصلی، n تعداد نمونه، n^* اندازه مؤثر داده‌ها و $\frac{n}{n^*}$ ضریب تصحیح بخاطر وجود همبستگی متوالی نمونه داده‌ها است.

در رابطه ۴: r_k ضریب خودهمبستگی با تأخیر k روی داده‌ها است و K ضریب تأخیر خودهمبستگی می‌باشد.

تحلیل روند تدریجی با استفاده از آزمون مان-کندال از میان روش‌های غیر پارامتری شناسایی روند، آزمون مان - کندال از عمومیت بیشتری برای شناسایی روندهای یکنواخت برخوردار است. معمولاً روش‌های غیرپارامتری در مقایسه با روش‌های پارامتری از دقت و قابلیت اعتماد بیشتری برخوردار می‌باشد. این آزمون ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه شده است و سپس توسط کندالدر سال ۱۹۷۵ توسعه یافته است [۳۲]. مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و نیازی نیست که داده‌ها در قالب توزیع خاصی درآیند. از دیگر مزایای این روش اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی موجود در داده‌های سری زمانی می‌باشد [۳۷]. آزمون مان-کندال براساس آزمون آماره S که به صورت رابطه ۵ بیان شده است می‌باشد [۲۳]:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (5)$$

به طوریکه x_j مقدار داده‌های متوالی و n طول دوره آماری می‌باشد $\text{sgn}(\theta)$ نیز به صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (6)$$

در این روش هرگاه تعداد داده‌ها بزرگتر یا مساوی ۸ باشد آماره S تقریباً دارای توزیع نرمال با میانگین واریانس به صورت رابطه ۷ می‌باشد:

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n r_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (7)$$

آماره استاندارد Z نیز به صورت رابطه ۸ محاسبه می‌گردد.

می‌باشد. محیط حوزه آبخیز ۵۴ کیلومتر و شیب متوسط آن ۱۱/۹ درصد محاسبه گردیده است. زمان تمرکز حوزه آبخیز بار با استفاده از تحلیل آب‌نگار و باران‌نگار مشاهداتی ۲/۹ ساعت برآورد شد. در حوزه موردنظر، رودخانه فصلی بار با طول آبراهه اصلی ۲۲/۵ کیلومتر و شیب متوسط ۴/۲ درصد جریان داشته که به دشت نیشابور منتهی می‌گردد. آب و هوای منطقه نیمه خشک و متوسط درجه حرارت آن ۵/۴ درجه سانتی گراد و میزان متوسط بارندگی سالانه آن ۳۳۰/۴ میلی‌متر است. متوسط دبی آن ۰/۶۶ متر مکعب برثانیه و ضریب روان‌آب متوسط سالانه آن ۳۴/۸ درصد می‌باشد [۳۵].

تحلیل سری‌های زمانی در تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هیدرولوژیکی مراحل زیر طی شد:

بررسی خودهمبستگی در سری‌های زمانی یک روش برای بیان وابستگی زمانی در ساختار یک سری، تعریف تابع خودهمبستگی می‌باشد. رابطه تابع خودهمبستگی 1 (ACF) با تأخیر K به صورت رابطه ۱ نشان داده می‌شود [۱۹].

$$\rho_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (z_i - \bar{z})(z_{i+k} - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad -1 \leq \rho_k \leq 1 \quad (1)$$

که در این رابطه ρ_k مقدار تابع خودهمبستگی سری زمانی با تأخیر K ، Z_i و Z_{i+k} مقادیر متغیرها یا داده‌های سری زمانی در مرحله زمانی i و مرحله با تأخیر زمانی k و \bar{z} مقدار میانگین مربوط به متغیرها می‌باشد.

روش دیگر برای عنوان نمودن وابستگی زمانی در ساختار یک سری زمانی، تعریف تابع خودهمبستگی جزئی می‌باشد. اگر ϕ_k تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیر k باشد، تابع خودهمبستگی جزئی 2 (PACF) به صورت رابطه ۲ نشان داده می‌شود:

$$\rho_k(k) = \frac{\rho_k - \sum_{i=1}^{k-1} \phi_i(k-1)\rho_{k-1}}{1 - \sum_{i=1}^{k-1} \phi_i(k-1)\rho_i} \quad (2)$$

که در این رابطه ϕ_k مقدار تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیر k می‌باشد.

در این مطالعه، تحلیل روند داده‌هایی که دارای خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی می‌باشند بروش حامد^۳ و رائو^۱ [۱۳] انجام شد. در روش حامد و رائو اثرات همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از داده‌ها حذف می‌شود و برای سری‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ضرایب همبستگی آنها در یک یا چند مورد معنی‌دار باشد. در این روش ابتدا واریانس اصلاح شده $V(S)^8$ به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود [۳۶]:

- 1- Autocorrelation function
- 2- Partial autocorrelation function
- 3- Hamed
- 4- Rao

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

آماره Z استاندارد شده آزمون مان-کندال، از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک تبعیت می‌کند [۴۱]. برای محاسبه آماره Z در روش مان - کندال اصلاح شده، در رابطه ۸ واریانس اصلاح شده $(\text{Var}(S))^*$ جایگزین واریانس اولیه داده ها $(\text{Var}(S))$ می‌شود [۹].

تشخیص نقاط تغییر در سری داده ها با استفاده از آزمون همگنی پتیت

آزمون همگنی پتیت (۱۹۷۹) یک آزمون ناپارامتری است که نیازمند فرض نرمال بودن سری زمانی نمی‌باشد. این آزمون نیز دارای فرض صفر به صورت استقلال مقادیر مختلف سری زمانی از یکدیگر و همگنی آنها است. در مقابل در صورتی که شکستگی و ناپیوستگی در مقدار میانگین سری زمانی وجود داشته باشد، مطابق فرض یک این آزمون، سری زمانی ناهمگن است. این روش آزمون همگنی در یافتن ناهمگنی‌های نقاط میانی سری زمانی توانایی بیشتری داشته و از جمله آزمون‌هایی است که زمان بروز ناهمگنی را گزارش می‌کند. در این آزمون، ابتدا مقادیر Y_i در سری زمانی براساس مقدارشان مرتب می‌شوند و رتبه‌های I_i برای مقادیر متناظر Y_i مشخص می‌شوند. سپس، با استفاده از روابط ۹ و ۱۰ مقدار آماره X_k محاسبه شده و با مقادیر بحرانی ارائه شده توسط پتیت (۱۹۷۹) مقایسه می‌شوند. در صورت عبور آماره از مقادیر بحرانی، زمان مربوط به داده بیشینه X_k معادل زمان بروز ناهمگنی خواهد بود [۱۲].

$$\chi_y = 2 \sum_{i=1}^y r_i - y(n+1), \quad y = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$\chi_k = \max_{1 \leq y \leq n} |\chi_y| \quad (10)$$

گردآوری داده‌ها

به منظور بررسی آماری تغییرات رسوب معلق حوزه بار نیشابور با استفاده از تحلیل سری زمانی، ابتدا داده‌های دبی آب، دبی رسوب و بارندگی روزانه آب‌نگار و باران‌نگار موجود در منطقه، با مراجعه به سازمان‌های هواشناسی کشور، تحقیقات منابع آب (تماب)، آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی و اداره جهاد کشاورزی نیشابور گردآوری شد. ایستگاه آب سنجی ثبات بار اریه با ارتفاع ۱۵۶۰ متر از سطح دریا در سال ۱۳۲۹ روی رودخانه بار و در خروجی این حوزه آبخیز تأسیس شده است. علاوه بر ایستگاه باران سنجی بار، از دو ایستگاه باران نگاری ماروسک و کارخانه قند نیشابور با فاصله به ترتیب کمتر از ۳ و ۵/۵ کیلومتر (شکل ۱) در خارج و

نزدیکی حوزه آبخیز مطالعاتی برای استخراج آمار بارش روزانه استفاده گردید. ایستگاه بارانسنجی ماروسک و کارخانه قند به ترتیب با ارتفاع ۱۹۰۰ و ۱۰۷۴ متر از سطح دریا در سال ۱۳۶۹ و ۱۳۶۵ شروع بکار کردند. به دلیل وجود نواقص آماری موجود در داده‌های بارندگی ایستگاه بار اریه از داده‌های بارندگی ایستگاه باران سنجی ماروسک که همبستگی بیشتری با بارندگی رخ داده در منطقه داشت، برای بازسازی داده‌های بارندگی ایستگاه بار اریه استفاده شد. به طور میانگین در هر سال ۱۰-۵ رکورد رسوب در محل ایستگاه ثبت شده است، که از این داده‌ها در تحلیل‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

تحلیل سری زمانی پیوسته بارندگی روزانه ایستگاه‌های کارخانه قند، ماروسک و بار اریه

نتایج نشان داد (شکل ۲) در سری بارندگی روزانه ایستگاه‌های کارخانه قند، ماروسک و بار اریه میزان خود همبستگی معنی‌دار بوده که باید پیش از تحلیل روند اثر آن بروش پیشنهادی حامد و رائو حذف شود.

جدول ۱ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روند سری زمانی پیوسته بارندگی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری کارخانه قند، ماروسک و بار اریه را با استفاده از آزمون مان - کندال نشان می‌دهد. نتایج تحلیل سری زمانی پیوسته بارندگی روزانه در ایستگاه کارخانه قند در دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۶۵، ایستگاه ماروسک در دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۴۶ نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی موجود در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست. در نتیجه می‌توان اظهار داشت که حوزه آبخیز بار نیشابور حداقل در طی سه دهه اخیر تغییرات محسوسی را در میزان بارش و خشکسالی هواشناسی تجربه نکرده است.

تحلیل سری زمانی پیوسته دبی آب ایستگاه بار اریه آزمون خود همبستگی جزئی سری پیوسته دبی آب ایستگاه بار اریه (شکل ۳) نیز حاکی از وجود خودهمبستگی معنی‌دار در سری داده‌های دبی آب ایستگاه هیدرومتری بار اریه می‌باشد.

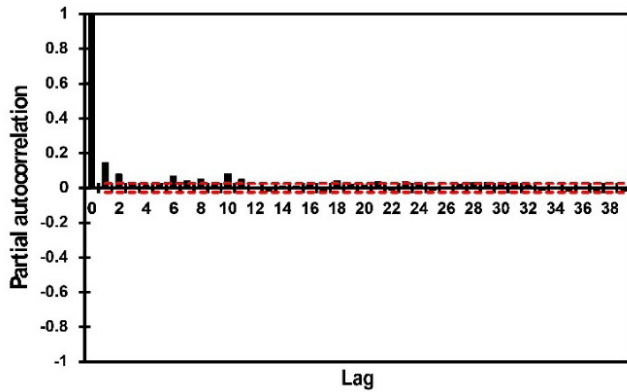
جدول ۲ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روند سری زمانی پیوسته دبی آب ایستگاه هیدرومتری بار اریه را با استفاده از آزمون مان-کندال نشان می‌دهد. نتایج تحلیل سری زمانی پیوسته دبی آب ایستگاه بار اریه در دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۴۶ نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی موجود در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست، این بدین معنی است که حوزه آبخیز بار اریه نیشابور حداقل در طی سه دهه اخیر تغییرات محسوسی را در آبدی و خشکسالی هیدرولوژیک تجربه نکرده است.

تحلیل سری زمانی گسسته دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری بار اریه

آزمون خود همبستگی جزئی سری دبی رسوب بار اریه در دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۴۶ حاکی از وجود خودهمبستگی معنی‌دار در

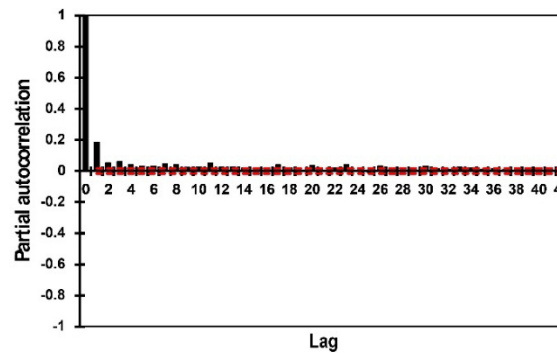
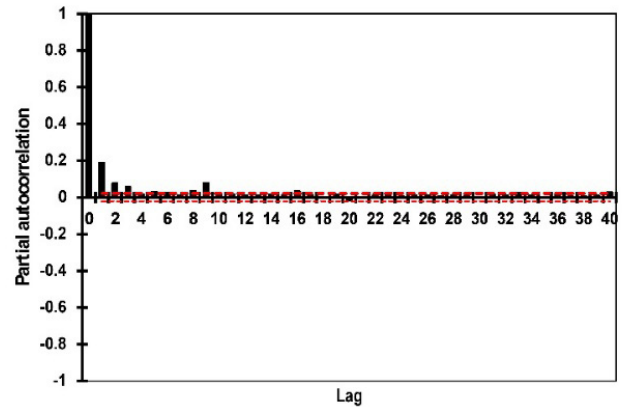
ایستگاه ماروسک

Marusk



ایستگاه کارخانه قند

Karkhane ghand



ایستگاه بار اریه

Bar arieh

شکل ۲: نمودارهای حاصل از آزمون خودهمبستگی جزئی سری زمانی پیوسته بارندگی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری کارخانه قند، ماروسک و بار اریه

Fig 2. Partial autocorrelation charts of continuous daily rainfall at the gauging stations Karkhane ghand, Marusk and Bar arieh

جدول ۱- نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته بارندگی روزانه ایستگاه‌های کارخانه قند، ماروسک و بار اریه با استفاده از آزمون مان-کندال

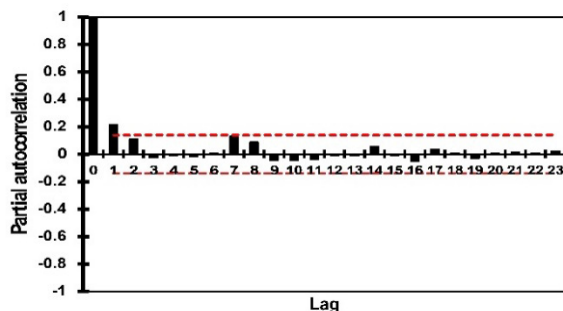
Table1. Mann-Kendall test results of the continuous time series of daily rainfall at the stations Karkhane ghand, Marusk and Bar arieh

ایستگاه Station	دوره آماری Period	تست روند MK MK trend test		
		Tau	p	Trend
کارخانه قند Karkhane ghand	1365-1393	-0.009 n.s.	0.650	↓
ماروسک Marusk	1369-1393	0.011 n.s.	0.801	↑
بار اریه Bar Arie	1346-1393	-0.013 n.s.	0.926	↓

n.s.: غیر معنی‌دار ؛ ↑: رو به بالا؛ ↓: رو به پایین
n.s.: not significant; ↑: Upward; ↓: Downward

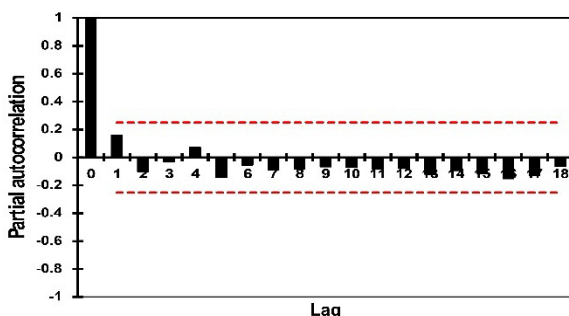
الف- سری دبی رسوب در دوره آماری ۱۳۴۶-۱۳۹۳

A-Sediment load during 1346-1393



ب- سری دبی رسوب در دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۹۳

B- Sediment load during 1382-1393



شکل ۴- نمودار حاصل از آزمون خودهمبستگی جزئی سری

زمانی گسسته دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری بار اریه

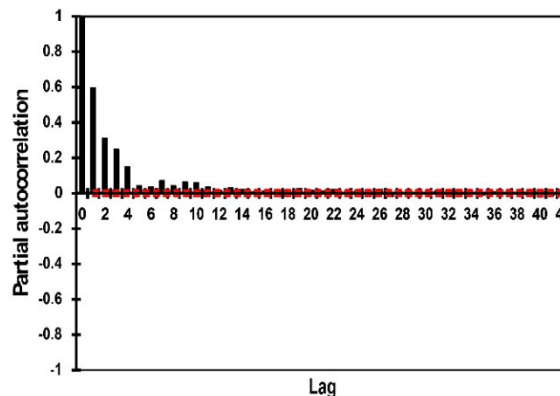
Figure 4: Diagram of the partial autocorrelation test on the discrete time series of sediment load at the hydrometric station Bar arieh

جدول ۳- نتایج تحلیل روند سری زمانی گسسته دبی رسوب و دبی آب ایستگاه هیدرومتری بار اریه با استفاده از آزمون روند مان- کندال

Table3. Mann-Kendall test results of the discrete time series of water discharge and sediment load at the hydrometric station Bar arieh

پارامتر Parameter	دوره آماری Period	تست روند MK MK trend test		
		Tau	p	Trend
دبی رسوب sediment load	1346-1393	-0.167 *	0.037	↓
	1383-1393	-0.288 *	0.001	↓
دبی آب water discharge	1346-1393	-0.055 n.s.	0.411	↓
	1383-1393	-0.064 n.s.	0.583	↓

n.s.: not significant; * : Trend is significant at the 0.05 level ↑: Upward; ↓: Downward



شکل ۳- نمودار حاصل از آزمون خودهمبستگی جزئی سری زمانی پیوسته دبی آب ایستگاه هیدرومتری بار اریه

Figure 3. Diagram of the partial autocorrelation test on the continuous time series of water discharge at the hydrometric station Bar arieh

جدول ۲- نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته دبی آب ایستگاه هیدرومتری بار اریه با استفاده از آزمون مان- کندال

پارامتر Parameter	دوره آماری Period	تست روند MK MK trend test		
		Tau	p	Trend
دبی آب water discharge	1346-1393	-0.128 n.s.	1.000	↓

n.s.: not significant; ↑: Upward; ↓: Downward

سری داده هاست (شکل ۴ - الف) .

بررسی آماری سری زمانی گسسته دبی رسوب در محل

ایستگاه هیدرومتری بار اریه نشان می دهد که تغییرات تدریجی

دبی رسوب در طی دوره زمانی ۱۳۴۶-۱۳۹۳ در سطح پنج درصد

معنی دار و کاهشی است (جدول ۳).

نتایج حاصل از آزمون همگنی پیت برای تشخیص نقاط تغییر

در سری زمانی گسسته دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری بار اریه در

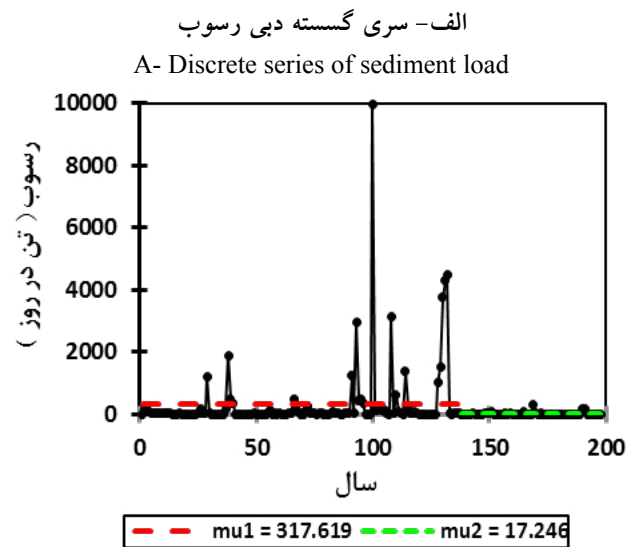
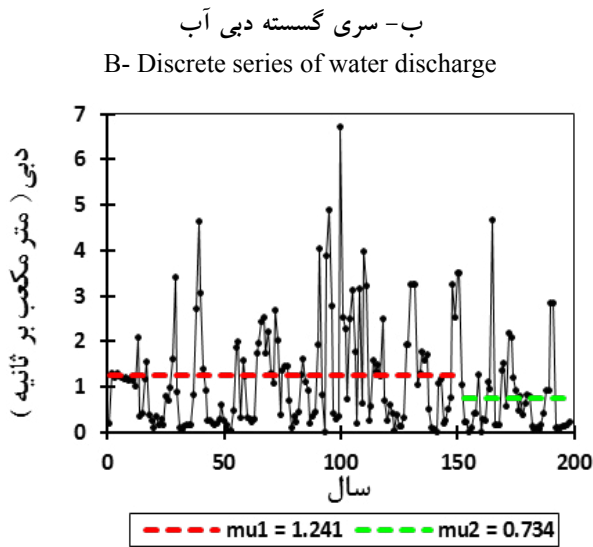
شکل ۵ (الف) و جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن

است که تغییرات ناگهانی سری زمانی گسسته دبی رسوب در سطح

پنج درصد معنی دار است که نقطه تغییر آن سال ۱۳۸۲ می باشد که

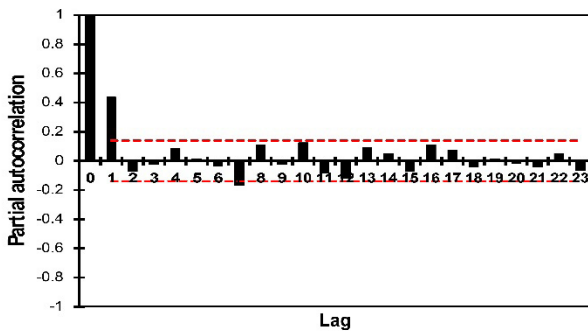
میانگین رسوب از ۳۱۷/۶۲ تن در روز به میزان ۱۷/۲۵ تن در روز،

بعد از سال ۱۳۸۲ کاهش یافته است.

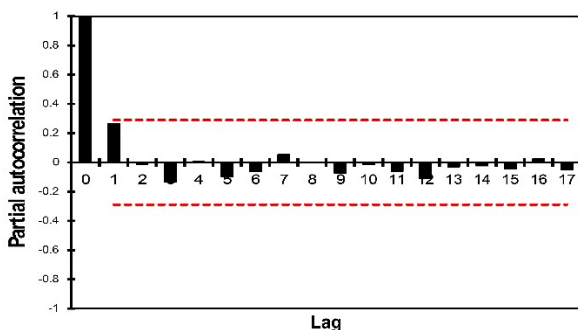


شکل ۵- تغییرات ناگهانی در میانگین سری گسسته دبی رسوب و دبی آب ایستگاه هیدرومتری بار اریه در سطح معنی دار ۵٪
Fig5. Abrupt changes in the mean of discrete time series of sediment load and water discharge at the hydrometric station Bar arieh based on the significance level of 0.05

الف- سری دبی آب در دوره آماری ۱۳۴۶-۱۳۹۳
A- Series of water discharge during 1346-1393



ب- سری دبی آب در دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۹۳
B- Series of water discharge during 1383-1393



شکل ۶- نمودار حاصل از آزمون خودهمبستگی جزئی سری زمانی گسسته دبی آب ایستگاه هیدرومتری بار اریه
Figure 5. Diagram of the partial autocorrelation test on discrete time series of water discharge at the hydrometric station Bar arieh

جدول ۴- نتایج بدست آمده از آزمون پتیت در سری زمانی گسسته دبی رسوب و دبی آب ایستگاه هیدرومتری بار اریه
Table 4. Results of the Pettit test on discrete time series of sediment load and water discharge at the hydrometric station Bar arieh

پارامتر Parameter	KT	P	Shift	T
دبی رسوب sediment load	3935	0.0001 *	↓	1382-1383
دبی آب water discharge	2243	0.033 *	↓	1383-1384

تحلیل سری زمانی گسسته دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری بار اریه بعد از نقطه تغییر (۱۳۸۲-۱۳۸۳) آزمون خودهمبستگی سری زمانی دبی رسوب بعد از نقطه تغییر (۱۳۸۲-۱۳۸۳) در دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۹۳ حاکی از عدم وجود خودهمبستگی معنی دار در سری داده ها است (شکل ۴- ب) که تحلیل روند در این سری بروش معمول مان-کندال انجام شد. تحلیل سری زمانی دبی رسوب بعد از نقطه تغییر با استفاده از آزمون روند مان - کندال در دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۹۳ نشان می دهد که تغییرات تدریجی سری داده ها به لحاظ آماری معنی دار بوده و روند کاهشی آن در طول دوره ادامه داشته است (جدول ۳).
تحلیل سری زمانی گسسته دبی آب ایستگاه هیدرومتری بار اریه

آزمون خودهمبستگی سری زمانی گسسته دبی آب در دوره آماری ۱۳۴۶-۱۳۹۳ نشان از وجود خودهمبستگی معنی دار در داده

هاست اما این خودهمبستگی در سری زمانی بعد از نقطه تغییر ۱۳۸۳ معنی‌دار نبود (شکل ۶-الف).

بررسی آماری سری زمانی گسسته دبی آب با استفاده از آزمون روند مان-کندال در محل ایستگاه هیدرومتری باراریه نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی دبی آب در طی دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۴۶ در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست (جدول ۳). اما نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت نشان می‌دهد که تغییرات ناگهانی سری زمانی گسسته دبی آب در سطح پنج درصد معنی‌دار است که نقطه تغییر آن سال ۱۳۸۳ می‌باشد که میانگین دبی آب از ۱/۲۴ متر مکعب بر ثانیه به میزان ۰/۷۳۴ متر مکعب بر ثانیه بعد از سال ۱۳۸۳ کاهش یافته است (شکل ۵-ب و جدول ۴).

تحلیل سری زمانی گسسته دبی آب ایستگاه هیدرومتری باراریه بعد از نقطه تغییر (۱۳۸۳-۱۳۸۲)

آزمون خودهمبستگی سری زمانی گسسته دبی آب در دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۸۳ نشان داد که حداقل ضریب همبستگی در سطح ۵ درصد معنادار نیست (شکل ۶-ب). تحلیل سری زمانی دبی آب بعد از نقطه تغییر منطبق بر سال ۱۳۸۳ نشان می‌دهد که هرچند تغییرات تدریجی سری داده‌ها به لحاظ آماری معنی‌دار نیست ولی تغییرکاهشی آن در طول دوره ادامه داشته است (شکل ۵-ب و جدول ۳).

منحنی جرم تغییرات دبی آب در مقابل دبی رسوب نیز نشان می‌دهد که سه مرحله زمانی مشخص قابل تفکیک در داده‌ها است

که نقطه تغییر دوم یعنی سال ۱۳۸۲ منطبق بر نقطه تغییرات ناگهانی دبی آب و رسوب در سری زمانی مورد بررسی است (شکل ۷). تحلیل سری زمانی پیوسته بارندگی روزانه ایستگاه‌های باران سنجی کارخانه قند، ماروسک و باراریه بعد از نقطه تغییر تحلیل آماری سری زمانی بارندگی روزانه ایستگاه‌های کارخانه قند، ماروسک و بارپس از نقطه تغییر سری زمانی رسوب (سال ۱۳۸۳-۱۳۸۲) نشان می‌دهد که روند معنی‌داری در داده‌ها وجود ندارد، بنابراین تغییر تدریجی معنی‌داری در میزان بارش حوزه حتی پس از نقطه تغییر رخ نداده است (جدول ۵).

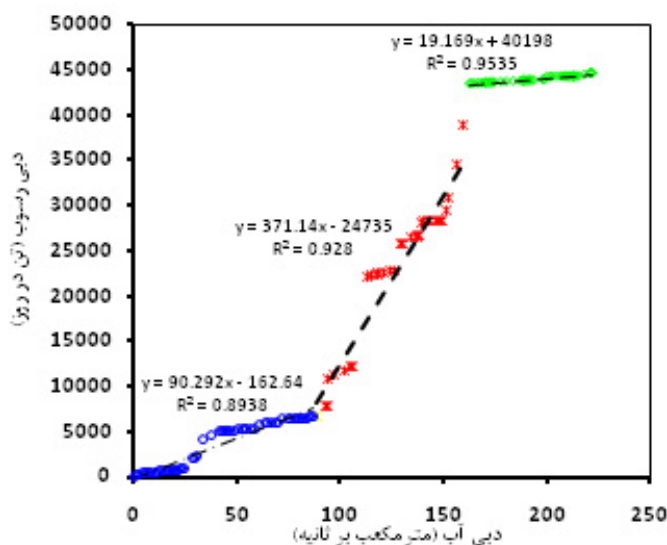
شواهد و مطالعات نشان می‌دهد که حوزه آبخیز بار در ارتفاعات بینالود با متوسط بارندگی بالا با توجه به شرایط فیزیوگرافی خاص، به ندرت در سال‌های منتهی به ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ با خشکسالی شدید مواجه بوده است. بررسی‌های محلی و مطالعات هواشناسی نیز نشان دهنده آن است که اوج خشکسالی‌ها در سال‌های منتهی به نقطه تغییر دبی رسوب و دبی آب، سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ بوده است. بررسی متوسط بارندگی از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۲ نیز حاکی از حداقل ۲۰۰ میلیمتر و عموماً بیش از ۳۰۰ میلیمتر بارندگی در حوزه بوده و تنها در سال ۱۳۷۹-۱۳۷۸ متوسط بارندگی سالانه به ۱۰۰ میلیمتر رسیده است. مصاحبه‌های انجام شده با آبخیزنشینان نیز موید این نکته است که نمی‌توان کاهش دبی رسوب در حوزه را به شرایط خشکسالی و اقلیمی در دوره منتهی به نقطه تغییر (۱۳۸۳-۱۳۸۲) نسبت داد. به منظور پشتیبانی نتایج تحلیل سری زمانی گسسته دبی

جدول ۵- نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته بارندگی روزانه ایستگاه‌های کارخانه قند، ماروسک و باراریه بعد از نقطه تغییر با استفاده از آزمون مان-کندال

Table 5. Mann-Kendall test results of the continuous time series of daily rainfall at the stations Karkhane ghand, Marusk and Bar arieh after change point

ایستگاه Station	دوره آماری Period	تست روند MK MK trend test		
		Tau	p	Trend
کارخانه قند Karkhane ghand	1382-1393	-0.016 n.s.	0.732	↓
ماروسک Marusk	1382-1393	0.002 n.s.	0.962	↑
باراریه Bar arie	1382-1393	-0.035 n.s.	1.000	↓

n.s.: n.s.: n.s.: n.s.:
n.s.: not significant; ↑: Upward; ↓: Downward



شکل ۷- منحنی جرم تغییرات دبی آب در مقابل دبی رسوب
Figure 7. Mass curve of water discharge v.s. sediment load

رسوب، سری پیوسته دبی رسوب با استفاده از معادله منحنی سنجه رسوب بشکل معادله $Q_s = aQ_w^b$ بازیابی شد. که در این رابطه Q_s دبی رسوب برحسب تن در روز و Q_w دبی آب بر حسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. ضرایب a و b نیز به ترتیب ۳٫۱۲ و ۴٫۱۹ بدست آمد. معادله سنجه بر سری زمانی پیوسته دبی آب در دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۴۶ اعمال شد و سری زمانی پیوسته دبی رسوب محاسبه شد. سری زمانی پیوسته دبی رسوب در دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۴۶ با استفاده از آزمون مان-کندال مورد بررسی قرار گرفت. بررسی آماری سری زمانی پیوسته دبی رسوب نشان می‌دهد که تغییرات آن در سطح پنج درصد معنی‌دار و کاهشی است که میزان p -value برابر با ۰٫۰۰۱ و میزان آماره مان-کندال ۰٫۱۲۸- می‌باشد. نتایج بدست آمده حاکی از وجود روند کاهشی معنی‌دار در سری پیوسته داده‌های دبی رسوب بویژه در دهه اخیر می‌باشد. عملیات آبخیزداری اجراشده در حوزه آبخیز

عملیات اجرایی آبخیزداری بصورت رسمی در سال ۱۳۸۴ با هدف کنترل سیل و رسوب در سطح زیرحوزه‌های فاز ۱ و ۲ حوزه آبخیز باراریه نیشابور آغاز شد (شکل ۸) که خلاصه‌ای از اقدامات آن در جدول‌های ۶ و ۷ آورده شده است. بررسی عملیات اجرایی آبخیزداری نشان‌دهنده این است که بیشترین حجم عملیات سازه‌ای در سال ۱۳۸۴ (۲۸۱۹ مترمکعب) بوده که می‌تواند حدود ۲۱۸۶۶ متر مکعب رسوب را تله اندازی نماید. عملیات اجرایی سازه‌های آبخیزداری تا سال ۱۳۸۹ نیز ادامه داشته که این حجم عملیات در مجموع می‌تواند بیش از ۳۳۱۰۶ مترمکعب رسوب را تله اندازی نماید. متوسط رسوبدهی حوزه با در نظر گرفتن ضریب جریان سیلابی در طول سال حدود ۷۰۰۰ مترمکعب در سال می‌باشد که در اینصورت عمر مفید سازه‌ها ۴-۵ سال می‌باشد. یکی دیگر از عوامل کاهش رسوبدهی علاوه بر شدت گیری فعالیت‌های آبخیزداری در حوزه بار، احداث بندهای خاکی و تورکینست‌ها در بالادست باغ‌ها و مزارع حوزه می‌باشد (شکل ۹ و جدول ۶) که توانسته نقش موثری در تله اندازی رسوب، بخصوص رسوب منشا گرفته از سازندهای مارنی بالادست آن‌ها داشته باشد که با توجه به اینکه اینگونه فعالیت‌ها اکثرا مشارکتی بوده و توسط مردم محلی انجام شده است، اطلاعات دقیقی از حجم عملیات و سال اجرای آن‌ها در دسترس نیست ولی شواهد نشان می‌دهد که اکثرا در سال‌های انتهایی دهه ۷۰ و اوایل دهه ۸۰ انجام شده‌اند. در مجموع و با توجه به تحلیل‌های آماری ذکر شده در بخش‌های قبلی، می‌توان تغییرات در سری زمانی رسوب معلق حوزه بار را بیشتر مرتبط با فعالیت‌های سازه‌ای آبخیزداری در آن دانست که مشاری و همکاران [۲۲] نیز در شبیه سازی رواناب حوزه آبخیز بار اریه نیشابور به این نتیجه رسیدند که اختلاف بین دبی مشاهداتی محاسباتی و زمان تا اوج مشاهداتی و محاسباتی بخاطر احداث بندهای خاکی و تورکینست‌ها در سرشاخه‌های حوزه می‌باشد که توانسته هیدرولوژی و شرایط سیلخیزی و بار رسوبی حوزه را تحت تأثیر قرار دهد. این یافته‌ها با

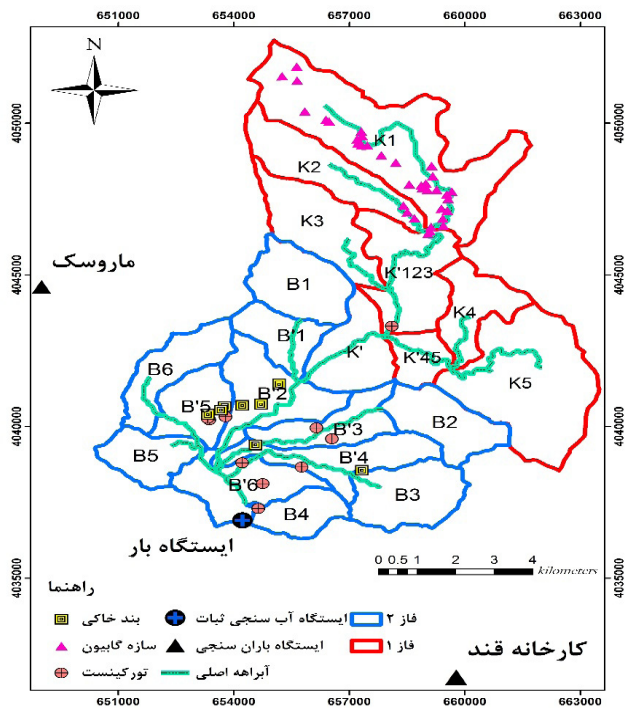
نتایج مطالعات والینگ و فانگ [۴۲]؛ احمدی و همکاران [۳]؛ نصری و همکاران [۲۶]؛ معماریان و همکاران [۲۳] و شایان و همکاران [۳۴] نیز همخوانی دارد.

همانطور که می‌دانیم یکی از عوامل مؤثر در عملکرد سازه‌های کنترلی آبخیزداری، کاهش شیب آبراهه و افزایش پهنای آن نسبت به عمق در جهت پایین دست است. بنابراین جریان سیلابی در مقطع پهن تری قرار می‌گیرد و شعاع هیدرولیک به مقدار بیشتری کاهش خواهد یافت و در نتیجه آن موجب ته نشست رسوبات معلق می‌گردد. اهمیت اجرای این سازه‌ها در آبراهه های یک واحد هیدرولوژیک به گونه‌ای است که در زمان وقوع دوره‌های ترسالی و رخداد بارش با سطوح احتمال کم- که باعث افزایش جریان در مسیر آبراهه گردیده - علاوه بر کاهش بده پیک سیلاب در محل ایستگاه بار، در کنترل رسوب نیز تأثیر مهمی داشته است (پارسا مهر [۲۷]؛ اسماعیلی نامقی و حسنی، [۸] و نصری و همکاران [۲۶]).

این مطالعه توانست توانایی آزمون مان-کندال و آزمون پتیت را برای ارزیابی و تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرولوژیک اثبات کرده که با نتایج مطالعات انجام شده توسط محققان دیگر نیز سازگار بوده و پشتیبانی می‌شود (حامد و رائو [۱۳]؛ سو و همکاران [۴۸]؛ کاهیا و کالایسی [۲۰]؛ چانگ [۷]؛ حامد [۱۴]، [۱۵]؛ خلیق و همکاران [۲۱]؛ ساهو و اسمیت [۳۱]؛ یانگ و تیان [۴۶]؛ ویلسون و همکاران، [۴۴]؛ ینیلمز و همکاران [۴۷]؛ نصری و همکاران [۲۶]؛ معماریان و همکاران [۲۳]).

نتیجه گیری

این تحقیق به منظور بررسی آماری روند رسوب معلق با استفاده از تحلیل سری زمانی بارندگی روزانه، دبی آب و دبی رسوب حوزه آبخیز بار اریه نیشابور انجام شد که به بررسی خودهمبستگی در سری‌های زمانی، تحلیل روند تدریجی با استفاده از آزمون مان - کندال و تشخیص نقاط تغییر در سری داده‌ها با استفاده از آزمون همگنی پتیت در سه ایستگاه کارخانه قند، ماروسک و بار اریه پرداخته شد. نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی پیوسته بارندگی روزانه ایستگاه‌های کارخانه قند (۱۳۹۳-۱۳۶۵)، ماروسک (۱۳۹۳-۱۳۶۹) و بار اریه (۱۳۹۳-۱۳۴۶) نشان داد که تغییرات تدریجی موجود در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست. تحلیل روند سری زمانی پیوسته و گسسته دبی آب ایستگاه بار اریه (۱۳۹۳-۱۳۴۶) نشان داد که روند معنی‌داری در سطح پنج درصد وجود ندارد. نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت سری گسسته دبی آب، تغییرات تدریجی معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان داد که نقطه تغییر آن منطبق بر سال ۱۳۸۳ بوده و در این نقطه دبی آب از میانگین ۱/۲۴ متر مکعب بر ثانیه قبل از نقطه تغییر به میزان ۰/۷۳۴ متر مکعب در ثانیه بعد از آن رسیده است. از طرفی تغییرات تدریجی سری گسسته و پیوسته دبی رسوب (۱۳۹۳-۱۳۴۶) روند کاهشی معنی‌داری را در سطح پنج



شکل ۸- نقشه جانمایی عملیات اجرایی سازه ای در حوزه آبخیز بار نیشابور

Figure 8. Geographic locations of structural operation within the Bar watershed, Neyshabur

جدول ۶- حجم عملیات اجرایی آبخیزداری زیرحوزه‌های فاز ۱ و ۲ حوزه آبخیز بار نیشابور

Table 6. Volume of executive watershed management operations in the Bar watershed (Phase I and II), Neyshabur

		نوع عملیات Operation type				فاز Phase	سال اجرا Execution year			
		بیولوژیکی (هکتار) Biological (ha)	بیومکانیکی (هکتار) Biomechanical (ha)	مکانیکی (مترمکعب) Mechanical (m ³)						
کود پاشی Fertilizer casting	مرمت و نگهداری بیولوژیک Maintenance	نخال کاری Seedling	حفاظت و قرق Protection	بذر پاشی Seeding	کپه کاری Sowing	کتور فارو Contour furrowing	سریز گابیونی Gabion spillway	خشکه چین Rock checkdam	گابیون بندی checkdam	
				362		740	2819	1	1384	
			500	68		134	134	1	1385	
			1000					1	1386	
				50	100	50	200	169	1	1387
100			1400	100	180		300	924	1	1388
			1000	200	60		620	713	1	1389
	109								2	1390
				75					1	1393

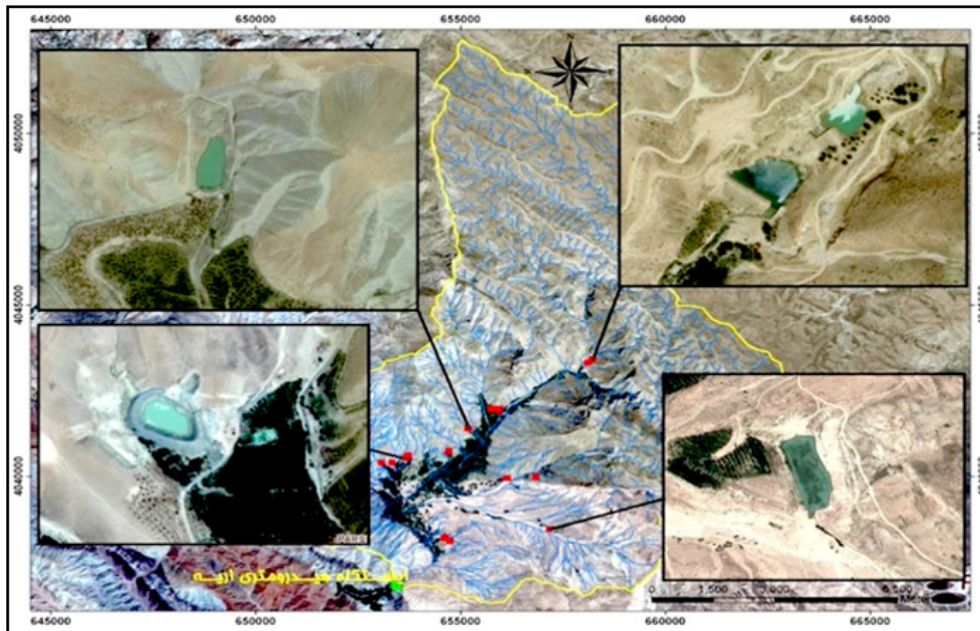
جدول ۷- حجم عملیات مکانیکی (گابیونی) و حجم رسوب پشت سازه (گابیون) (بر حسب مترمکعب) در زیرحوزه‌های فاز ۱ حوزه آبخیز بار

Table 7. Volume of mechanical operation (Gabion) and trapped sediment (in m³) in the subbasins of Bar watershed (Phase I), Neyshabur

زیرحوزه Sub-basin	شماره سازه Structure #	حجم سازه Volume of structure	حجم رسوب پشت سازه Volume of trapped sediment	سال اجرا Execution year
K1	1	116	731.25	
K1	2	129	77.88	
K1	3	17	33.33	
K1	4	150	375	
K1	5	128	159.37	
K1	6	163	2200	
K1	7	1222	1181.25	
K1	8	149	1406.25	
K1	9	133	431.25	
K1	10	94	956.25	
K1	11	134	1462.25	
K1	12	166	2400	1384
K1	13	102	1012.5	
K1	14	68	731.25	
K1	15	68	25.731	
K1	16	120	1881.25	
K1	17	120	1881.25	
K1	18	120	1881.25	
K1	19	123	900	
K1	20	123	1800	
K1	21	52	180	
K1	22	79	506.25	
K1	23	121	566.66	
K1	24	67	180	
K1	25	134	1462.5	1385
K1	26	169	2600	1387
K123	27	345	468.75	
K123	28	413	975	1388
K1	29	166	2400	
K1	30	100	956.25	
K1	31	52	3000	
K1	32	52	900	
K2	33	185	244.44	1389
K2	34	139	733.33	
K2	35	185	200	

۱۳۸۲ کاهش یافته است. ضمن اینکه نتایج منحنی جرم تغییرات دبی آب در مقابل دبی رسوب نیز منطبق بر نقطه تغییرات ناگهانی دبی آب و دبی رسوب در سری زمانی مورد بررسی است. تحلیل روند سری زمانی پیوسته بارندگی روزانه و سری گسسته دبی آب بعد از

درصد نشان داد. همچنین نتایج حاصل از آزمون پتیت سری زمانی گسسته دبی رسوب تغییرات ناگهانی را نشان داد که در سطح پنج درصد معنی دار بود. نقطه تغییر آن سال ۱۳۸۲ بود که میانگین رسوب از ۳۱۷/۶۲ تن در روز به میزان ۱۷/۲۵ تن در روز، بعد از سال



شکل ۹- موقعیت ایستگاه هیدرومتری بار اریه و بندهای احداث شده در بالادست حوزه [۲۲]

Figure 9. Geographic location of the Bar hydrometric station and soil dams constructed in upstream [22]

3. Ahmadi, H. Nazari samani, A. Ghoddsi, J. and Ekhtesasi, M. 2003. A model developing for evaluation of watershed management practices, Journal of Iran natural resources 56(4), 337-349. (In Persian)

4. Alizadeh, A. 1997. Principles of applied hydrology (2th Ed.) .The Tehran University Press, Tehran, Vol. 2, 620P. (In Persian)

5. Arabkhedri, M. 2005. A Study on the Suspended Sediment Yield in River Basins of Iran. Journal of Research in Water Resources 1(2), summer, 51-60. (In Persian)

6. Brushkeh, A. Sokuti, R. and Arabkhedri, M. 2004. Estimation of sediment yield in upstream using sediment measurement in sediment storage dams (West Azerbaijan province), First conference on watershed management and water and soil resourced management, Kerman University, (in Persian).

7. Chang, H. 2008. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. Water Research, 42 (13): 3285–3304.

8. Esmaili-e-Nameghi, A. and Hasanli, A. M. 2007. Investigation of sediment storage dams efficiency with loose stone structure in streams in deposition of fine particles (case study: Dorudzan dam basin), Iran, Iranian journal of sciences and techniques of

نقطه تغییر (۱۳۸۲-۱۳۸۳) نشان داد که روند در سطح پنج درصد معنی دار نیست. با این وجود تغییر کاهشی در طول دوره در سری گسسته دبی آب ادامه دارد. اما سری گسسته دبی رسوب بعد از نقطه تغییر (۱۳۸۲) روند کاهشی معنی داری را در سطح پنج درصد نشان داد. بنابراین با توجه به نتایج، روند کاهشی معنی دار رسوب معلق حوزه بار را نمی توان به تغییرات بارش در حوزه نسبت داد. جمع بندی نهایی حاکی از آن است با توجه به اینکه حوزه آبخیز بار اریه در طی سه دهه اخیر تغییرات محسوسی در آبدهی، بارش و خشکسالی هیدرولوژیک و هواشناسی تجربه نکرده است، می توان اظهار داشت که روند کاهشی در سری زمانی رسوب معلق حوزه مرتبط با فعالیت های آبخیزداری است که بطور غیر رسمی از اواخر دهه ۷۰ شروع شده و اجرای توام عملیات بیولوژیک و مکانیکی و بیومکانیکی در زیر حوزه های بالادست از سال ۱۳۸۴ به بعد توانسته در کاهش فرسایش آبی و رسوبدهی حوزه مؤثر باشد.

منابع

1. Ahmadi, H. 1999. Applied geomorphology (vol. 1. water erosion), Tehran university publications.688p (in Persian)

2. Ahmadi, H. Malekian, A. and Abedi, R. 2012. The most Appropriate Statistical Method for Suspended Sediment Estimation of Rivers (Case Study: Roodak Station of the Jajrood Basin). Journal Environmental Erosion Researches, No.2, 78-88. (In Persian)

Random Modeling Application in River Flow Simulation and Estimation of Mean Annual River Discharge by Time Series Analysis, International Conference on Water Resources (ICWR), 9P. (In Persian)

20. Kahya, E. and Kalayci, S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey, *Journal of Hydrology* 289 (1-4): 128-144.

21. Khaliq, M.N. Ouarda, T.B.M.J. Gachon, P. Sushama, L. and St-Hilaire, A. 2009. Identification of hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: a review of selected methods and their application to annual flow regimes of Canadian rivers, *Journal of Hydrology* 368 (1-4): 117-130.

22. Mashari Eshghabadi, S. Nohegara, A. Omidvar, A. 2012. Runoff Simulation Using moment geomorphological unit hydrograph, *Journal Environmental Erosion Researches*, No.6, 115-126. (In Persian)

23. Memarian, H. Balasundram, S. K. Talib, J. B. Sood, A. M. and 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.

24. Mirzaei, M. R. ArabKhedri, M. Feiznia, S. and Ahmadi, H. 2005. A Comparison of Methods of Estimation of Suspended Sediment in Rivers. *Iranian Journal of Natural Resources* 58(2), 301-315. (In Persian)

25. Najafi, A. 2003. Prioritization of Esfahan and Sirjan sub basins in sediment yield using regional analysis, Msc thesis in watershed management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University 76 pages. (In Persian)

26. Nasiri, M. Feiznia, S. Jafari, M. Ahmadi, H. and Soltani, S. 2011. Statistical Assessment of Sediment Change and the Effective Factors (Case Study: Menderjan Station). *Journal of Range and Watershed Management*. *Iranian Journal of Natural Resources* 64(1), 95-106. (In Persian)

27. Parsamehr, M. R. 2000. Investigation of efficiency of control structure in sediment collection, case study:

agriculture and natural resources, Year. 11, No. 1, 13-23. (In Persian)

9. Esmaeilpour, M. Dinpazhooh, Y. 2014. Analyzing long term trend of potential evapotranspiration in the Southern parts of the Aras river basin, *Journal Geography and Environmental Planning*, Year23, 47(3). 193-210. (In Persian)

10. Feiznia, S. Majdabadi Farahani, F. Mohseni Saravi M. and Arabkhedri, M. 2002. Evaluation of the proper length of record for estimation of mean annual sediment yield, climate, geology and vegetation cover. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources Gorgan* 9(3), 3-15. (In Persian)

11. Ghadimi Arusmahale, F. and Sobhani, A. 1999. Determination of statistical distribution of suspended sediment yield in Namak lake basin, *Iranian journal of research and developing*, No. 44. 931-943. (in Persian)

12. Ghajarnia, N. Liaghat, A. and Daneshkar Arasteh, P. 2014. Verifying precipitation data of TAMAB and meteorology institute in Urmia basin, *Journal of water resources Conservation and Soil* 4(1), 91-109. (In Persian)

13. Hamed, K. H. and Rao, A. R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1): 182-196.

14. Hamed, K.H. 2008. Trend detection in hydrologic data: the Mann- Kendall trend test under the scaling hypothesis, *Journal of Hydrology* 349 (3-4): 350-363.

15. Hamed, K.H., 2009. Enhancing the effectiveness of pre-whitening in trend analysis of hydrologic data. *Journal of Hydrology*, 368(1-4):143-155.

16. Heede, B. H. 1979. Deteriorated watersheds can be restored: A case study. *Environ. Manag*, vol 3:271-281.

17. Hicks, D.M. Gomez, B. and Trustrum, N.A. 2000. Erosion Thresholds and Suspended Sediment Yields, Waipaoa River Basin, New Zealand, *Water Resources Research* 36(4): 1129-1142.

18. Hu, B.W. Yang, Z. And Sun, X. 2011. Temporal and Spatial variations of sediment rating curves in the Changjiang (Yangtze River) basin and their implications. *Quaternary International*, Vol 230: 34-43.

19. Javidi Sabbaghian, R. and Sharifi, M. 2009.

36. Torabi Poodeh, H. and Emamgholizadeh, S. 2015. Trend analysis changes discharge of riveres of river basin kerkhe and the effect of autocorrelation coefficient on Process flow changes, Iranian Water Research Journal 1(9), 143-151. (In Persian)
37. Turgay, P., and Ercan, K. 2005. Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydrological Processes published online in wileyInterscience (www.interscience.wiley.com), Hydrol. Process. 20: 2011–2026.
38. Turner, B.L. Clark, W.C. Kates, R.W. Richards, J.F. Matthews, J.T. and Meyer, W.B. 1990. The Earth as Transformed by Human Action, Cambridge UnivPress, Cambridge. 14-22.
39. Vafakhah, M. 2002. Developing mathematic model for estimation of sediment yield in north region of Iran (Mazandaran and Gorgan regions), proceedings of sixth international seminar on river engineering, Ahwaz Shahid Chamran University, vol. 1. 147-159. (in Persian)
40. Verstraeten, G. Poesen, J. De Vente, J. and Koninckx, X. 2003. Sediment yield variability in Spain: a quantitative and semiquantitative analysis using reservoir sedimentation rates, Geomorphology 50: 327–348.
41. Vorosmarty, C. Green, J. P. Salisbury, J. and Lammers, R. B. 2000. Global water resource: Vulnerability from climate change and population grow, bull. Am. Met. Soc. 289: 284-288.
42. Walling, D. E. and Fang, D. 2003. Recent trends in the suspended sediment loads of the World Rivers. Global and Planetary Change, 39: 111-126.
43. Walling, D.E. 1998. Measuring Sediment Yield From River Basins, in: R, 39-73pp.
44. Wilson, D. Hisdal, H. and Lawrence, D. 2010. Has streamflow changed in the Nordic countries? Recent trends and comparisons to hydrological projections. Journal of Hydrology, 394 (3–4): 334–346.
45. Xu, Z.X. Takeuchi, K. and Ishidaira, H. 2003. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation, Journal of Hydrology 279 (1–4): 144–150.
46. Yang, Y. and Tian, F. 2009. Abrupt change of Ghaz mahalleh basin in Kordkuy Township, Golestan province, Iran, proceedings of second conference on erosion and sediment, Khorramabad, Lorestan University, 257-264. (In Persian)
28. Purkhalatbari, M. and Soheili, M. 1997. Investigation of regional suspended sediment yield in Mazandaran province rivers, Bulletin of water resources conditions in Iran country, No. 15, Power ministry, water resources researches organization ,(in Persian)
29. Rodriguez-belanco, M.L. Taboada-Castro, M.M. Palleiro, L. Taboada-Castro, M.T. 2010. Temporal chages in suspended sediment transport in an Atlantic catchment, NW Spain, Geomorphology 123: 181–188
30. Rostami, M. Ardeshir, A. Abrishamchi, A. Moradi, M. H. and Arabkhedri, M. 2002. Prediction of suspended sediment yield in ungauged basin in comparison with statistical and fuzzy cluster methods, proceedings of sixth international seminar on river engineering, Ahwaz Shahid Chamran University, vol. 1. 9-17. (in Persian)
31. Sahoo, D. and Smith, P.K. 2009. Hydroclimatic trend detection in a rapidly urbanizing semi-arid and coastal river basin, Journal of Hydrology 367 (3–4): 217–227.
32. Serrano, A. Mateos, V.L. and Garcia, J.A. 1999. Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995, phys. Chem. EARTH (B) 24(1-2): 85-90.
33. Shafai Bajestan, M. 1994. Hydraulic deposition. The Martyr Chamran Ahvaz University Press, Ahvaz, 483P. (In Persian)
34. Shayan, S. Zare, Gh. Yamani, M. Sharifikiya, M. and Soltanpor, M. 2013. Trend analysis Statistical changes discharge and sediment Mand Catchment and its application in environmental planning, Journal of Applied Geomorphology Iran, Year 1, No.2, 37-50. (In Persian)
35. Tavasoli, A. Sadeghi, H. and Moradi, H. 2010. Simulation inside of Shower changes runoff coefficient using components of rainfall in the watershed Bar Nishapur. Iran – Watershed Management Science & Engineering 10(4) , 21-33. (In Persian)

49. Zhang, S. Lua, X. X. Higgitt, D. L. Chen, C. Han, J. and Sun, H. 2008. Recent changes of water discharge and sediment load in the Zhujiang (Pearl River) basin, China. *Global and Planetary Change*, 60 (3-4): 365-380.
- runoff and its major driving factors in Haihe River Catchment, China. *Journal of Hydrology* 374 (3-4): 373-383.
47. Yenilmez, F. Keskin, F. and Aksoy, A. 2011. Water quality trend analysis in Eymir Lake, Ankara. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36 (5-6): 135-140.
48. Yue, S. Pilon, P. and Cavadias, G. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259 (1-4): 254-271.

Abstract

Statistical Trend Analysis of Suspended Sediment Load in Association with Watershed Management Practices (Case Study: Bar Watershed, Neyshabur, Iran)

M. Sobhani¹, S. M. Tajbakhsh² and H. Memarian³

Received: 2016/0/13 Accepted: 2016/11/05

Erosion, sediment transport, sedimentation and water quality are considered as very important controversial issues in watershed management. Since many watersheds in countries including Iran don't have any sediment gauging station, using statistical techniques to analyze erosion/sediment process is one of the important strategies for evaluating the trend of sediment yield. According the purpose of this study was to statistically evaluate the trend of suspended sediment load by using time series analysis in the Bar watershed, Neyshabur. In this work, the sediment load statistical records of the Bar hydrometric station during the period 1967-2012 were analyzed through the Mann-Kendall and Pettit tests. Results showed that the gradual change of sediment load was decreasing and significant at the level of 5%. Abrupt change of sediment load time series was also significant at the level of 5%. The change point was matched with the year 2003 in which the average sediment load of 317.62 tonnes per day declined by 17.25 tonnes per day after that. The statistical trend analysis of daily rainfall at the representative stations "Karkhane Ghand", "Marusk" and "Bar" and water discharge time series at the Bar hydrometric station for the period 1967-2012 showed no significant trend at the level of 0.05. As a result, it can be stated that at least in the last three decades, there was no marked changes in rainfall and water yield and consequently meteorological and hydrological drought in the watershed. Therefore, we cannot attribute the decreasing trend of sediment load of the Bar watershed to meteorological drought conditions in the period leading up to the change point. Investigations revealed that watershed management operations in the Bar basin started in 2005 (corresponding with the change point in time series of suspended sediment load) and officially continued until 2010. Therefore, the downward trend in the time series of suspended sediment load can be associated with structural operations (Gabion, rock and soil check dams) from the late 90's until now which trap a considerable part of sediments.

Keywords: *Autocorrelation test, Mann-Kendall test, Pettitt test, Water discharge, Sediment load, Watershed management practices*

1. M.Sc Student, Watershed Management Engineering, University of Birjand. Email: marzieh.sobhani1395@gmail.com

2. Assistant Professor, Fac. Natural Resources and Environment, University of Birjand. Corresponding Author. Email: Tajbakhsh.m@birjand.ac.ir

3. Assistant Professor, Fac. Natural Resources and Environment, University of Birjand. Email: hadi_memarian@birjand.ac.ir.