نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۴، مهر - آبان ۱۳۸۹، ص. ۷۶۸-۷۵۷

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 4, Sep-Oct 2010, p. 757-768

تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر

رسول میرعباسی نجف آبادی[1*] - یعقوب دین پژوه[2]

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۲۳
تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۹

چکیده

روند جریان رودخانه‌های منطقه شمال غرب ایران در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه با روش من_کندال با حذف اثر کلیه ضرایب خودهمبستگی معنی دار مورد آزمون قرار گرفت. داده‌های مورد استفاده اطلاعات جریان ۱۶ ایستگاه هیدرومتری منتخب در دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۵۳ است. تخمین شیب خط روند جریان با روش تخمین‌گر شیب Sen انجام شده است. سطوح معنی داری ۱درصد، ۵درصد و ۱۰درصد برای انجام آزمون روند استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که جریان رودخانه‌های شمالغرب ایران در مقیاس سالانه در همه ایستگاه‌ها روند نزولی دارند. کمترین شیب خط روند جریان‌های سالانه متعلق به ایستگاه ونیار (۴/۴۹- مترمکعب بر ثانیه در سال) است. روند نزولی معنی دار در مقیاس فصلی، در تمام فصول مشاهده می‌شود که در آن شدیدترین روند متعلق به فصل بهار است. تعداد ماههای با روند منفی در مقیاس ماهانه بیشتر از تعداد ماههای با روند مثبت است. حدود نیمی از ایستگاه‌ها در شش ماهه دوم سال (مهر تا اسفند) روند منفی معنی دار دارند. روند تغییرات رواناب غالب رودخانه‌های منطقه شمالغرب ایران در حالت کلی در سه دهه گذشته نزولی و در سطح ۱۰ درصد معنی دار است.

واژه های کلیدی: روند، جریان رودخانه، من_کندال، آزمون Sen ، خودهمبستگی

مقدمه

دانشمندان معتقدند که دخالت بشر در ترکیب گازهای اتمسفر به علت تغییر در غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی منجر به افزایش میانگین دمای هوای اطراف کره زمین شده است. افزایش دمای هوا می‌تواند منجر به تغییرات در روند برخی از مولفه‌های چرخه هیدرولوژی از جمله بارش و جریان آبراهه‌ای در نقاط مختلف جهان شود. به همین دلیل در دهه‌های اخیر مطالعات زیادی در رابطه با روند تغییرات متغیرهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی انجام شده است (۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۳).

روش‌های ناپارامتری برای بررسی وجود روند در سری‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شوند. شاید دلیل اصلی این است که آزمون‌های ناپارامتری برای سری داده‌هایی که توزیع آماری آنها نرمال نیست و یا دارای داده‌های بریده شده باشند، مناسب تر هستند. آزمون من کندال (MK) یکی از پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری برای تحلیل روند داده‌ها است (من (۱۲) و کندال (۸)). آزمون MK را در سال‌های اخیر، بسیاری از محققین از بین آزمون‌های ناپارامتری مختلف، به عنوان بهترین گزینه برای بررسی وجود روند یکنواخت[1] داده‌ها استفاده نموده‌اند. برای مثال، می توان در این زمینه به کارهای لتنماير و همکاران (۱۱)، پارتال و کایا (۱۳)، کومار و همکاران (۱۰)، کایا و پارتال (۶)، خلیق و همکاران (۹) و کایا و کایجی (۷) اشاره کرد.

فرض اصلی اغلب مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون MK این است که داده‌های نمونه خودهمبستگی معنی داری ندارند، با این حال ممکن است برخی سری‌های هیدرولوژیکی نظیر دبی جریان آب رودخانه‌ها دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشند. چنانچه یک سری دارای ضرایب خودهمبستگی مثبت باشد، احتمال اینکه آزمون MK وجود روند را در این سری نشان دهد افزایش می‌یابد. در این صورت فرض صفر، مبنی بر عدم وجود روند، رد می‌شود. در حالیکه حقیقت این است که فرض صفر نباید رد می‌شد. بنابراین برای حذف اثر خودهمبستگی روی آزمون MK ضروری است که اجزاء خودهمبستگی، از قبیل فرایند خودهمبستگی مرتبه اول ((AR(1))، قبل از اعمال آزمون MK برای ارزیابی معنی‌دار بودن روند از سری

۱و۲- دانشجوی دکتری منابع آب و استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: (E- mail: mirabbasi_r@yahoo.com

1- Monotonic

داده‌ها حذف گردد. این فرآیند اصطلاحاً "پیش سفید کردن[1]" نامیده می‌شود.

داگلاس و همکاران (۲) سعی کردند که اثر خودهمبستگی را از آزمون MK با روش پیش سفید کردن در مطالعه تشخیص روند در خصوص سیلاب‌ها و جریان‌های کم در ایالات متحده کاهش دهند. آنها دریافتند که تعداد روندهای معنی‌دار بعد از پیش سفید کردن کمتر از موارد مشاهده شده قبل از آن بود. این روش در تحلیل روند داده‌های دما و بارش کانادا توسط زانگ و همکاران (۱۶) به‌کار برده شد. به‌طور مشابه، زانگ و همکاران (۱۵) و بورن و هاگ النار (۱) این شیوه را در تحلیل روند جریان آب رودخانه‌های کانادا به‌کار بردند.

اثر وجود خودهمبستگی در داده‌های مورد استفاده در تحلیل روند با روش‌های ناپارامتری توسط حامد و رائو (۴) نیز ارزیابی شد. آنها با ارائه روابط تئوری برای حذف اثر خودهمبستگی در روند داده‌های بارش و جریان نشان دادند که استفاده از روش MK با حذف اثر خودهمبستگی نه تنها از دقت بیشتری برخوردار است، بلکه توان آزمون[2] نیز به قوت خود باقی می‌ماند.

زانگ و همکاران (۱۵) روند تغییرات ۱۱ متغیر هیدروکلیماتولوژی در ۲۴۳ ایستگاه هیدرومتری را در حوزه‌های کانادا با طول دوره آماری ۳۰ تا ۵۰ سال با آزمون MK پس از حذف اثر خودهمبستگی داده‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که میانگین سالانه جریان رودخانه‌ها در منطقه مورد مطالعه بخصوص مناطق جنوبی کانادا دارای روند منفی معنی‌دار است. کایا و کالایجی (۷) روند جریان‌های ماهانه ۲۶ حوزه در ترکیه را در یک دوره ۳۱ ساله با استفاده از آزمون MK مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که به‌طور کلی دبی آب رودخانه‌های حوزه‌های واقع در غرب ترکیه روند کاهشی در سطح معنی‌داری ۵ درصد داشتند در حالیکه حوزه‌های واقع در شرق ترکیه فاقد روند معنی‌دار بودند. جیانگ و همکاران (۵) روند زمانی و مکانی داده‌های بارش روزانه ۱۴۷ ایستگاه بارانسنجی در دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۱ و داده‌های دبی ماهانه ایستگاه‌های واقع در حوزه رودخانه یانگ تسه[3] در چین را مورد بررسی قرار دادند. آنها برای این منظور از روش MK و رگرسیون ساده استفاده نمودند. کومار و همکاران (۱۰) جریان‌های کم و میانگین رواناب روزانه ۳۱ ایستگاه هیدرومتری واقع در ایالت ایندیانا را مطالعه کردند. آنها اشاره کردند که حذف اثر خودهمبستگی بطور معنی‌داری تعداد ایستگاه‌های با روند معنی‌دار را، در مقایسه با آزمون روند بدون حذف اثر خودهمبستگی، کاهش داده است.

از مطالعه پیشینه تحقیق چنین استنباط می‌شود که مطالعه جامعی روی روند جریان رودخانه‌های شمال غرب ایران با در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی داده‌ها انجام نشده است. هدف این مطالعه بررسی روند جریان آب رودخانه‌ها در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه در منطقه شمال غرب ایران با روش ناپارامتری MK اصلاح شده (با حذف کامل اثر ساختار خودهمبستگی داده‌ها) می‌باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب ایران شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی است. گستردگی این منطقه بطور تقریبی از عرض جغرافیایی ۳۷ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۴۹ درجه شرقی است (شکل ۱). توپوگرافی این مناطق اغلب کوهستانی است. بیشترین (کمترین) مقدار بارش سالانه در ارتفاعات مرزی عراق(جلفا) حدود ۱۰۰۰ (۲۱۴) میلی متر در سال است. این منطقه یکی از نواحی مهم کشور از نظر تولید محصولات کشاورزی (بویژه غلات دیم) است.

داده‌های مورد استفاده

داده‌های جریان ماهانه ۱۶ ایستگاه هیدرومتری شمالغرب کشور در این مطالعه با طول دوره آماری ۳۱ سال از ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۳ جمع آوری شده است. دلیل انتخاب این ایستگاه‌ها کامل بودن داده‌ها و پراکنش مکانی قابل قبول آنها در سراسر منطقه مورد مطالعه است. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

روش های مورد استفاده

در این مطالعه روند تغییرات سری زمانی جریان ماهانه، فصلی و سالانه هر یک از ایستگاه‌های مذکور با آزمون ناپارامتری MK مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که قبلاً اشاره شد، شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی دار در سری زمانی داده‌ها است. بنابراین، در این مطالعه از آزمون MK اصلاح شده (آزمون کلاسیک پس از حذف کامل اثر تمام ضرایب خودهمبستگی معنی دار) که از این به بعد با MMK نشان داده می‌شود، در تحلیل روند جریان رودخانه‌های شمال غرب ایران استفاده شد. این آزمون در ادامه شرح داده شده است:

آزمون MK

ابتدا باید آماره S برای انجام آزمون MK با رابطه (۱) بدست آید:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \operatorname{sgn}\left(x_j - x_i\right) \qquad (۱)$$

1- Pre-whitening
2- Power of Test
3- Yangtze River basin

که در آن x_j مقدار داده j ام، n تعداد داده‌ها و $\mathrm{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده که با رابطه (۲) تعیین می‌شود:

$$\mathrm{sgn}(\theta)=\begin{cases}1 & if \quad \theta>0\\ 0 & if \quad \theta=0\\ -1 & if \quad \theta<0\end{cases} \qquad (۲)$$

آماره S به ازای $n\geq 8$ دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن بشرح روابط (۳) و (۴) است:

$$E(S)=0 \qquad (۳)$$

$$Var(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{n} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \qquad (۴)$$

که در آن t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام می‌باشند. آماره آزمون MK یا Z با رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S>0\\ 0 & S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S<0\end{cases} \qquad (۵)$$

فرض صفر (عدم وجود روند در سطح معنی داری α) به شرط $-Z_{1-\alpha/2}\leq Z\leq Z_{1-\alpha/2}$ رد نمی شود و در غیر اینصورت این فرض رد و فرض مخالف (وجود روند در سطح معنی داری α) پذیرفته می‌شود.

آزمون معنی داری ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام

در این آزمون ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام (r_k) از رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$r_k=\frac{\frac{1}{n-k}\sum_{i=1}^{n-k}(x_i-\bar{x})(x_{i+k}-\bar{x})}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \qquad (۶)$$

که در آن $k=1,2,\ldots,\dfrac{n}{4}$ می‌باشد.

اگر $\dfrac{1-1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k}\leq r_k\leq \dfrac{1+1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k}$ باشد، آنگاه داده‌ها در سطح معنی داری ۱۰ درصد مستقل فرض می‌شود. در غیر اینصورت ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام معنی دار فرض می‌شود.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های مورد مطالعه و برخی آماره های سری جریان سالانه آنها (در دوره آماری ۱۳۸۳-۱۳۵۳)

ردیف	نام رودخانه	سطح حوزه (km^2)	ایستگاه	Lat.		Long.		Alt.	Mean (m^3/s)	SD	Cs
				دقیقه	درجه	دقیقه	درجه				
۱	اوجان چای	۵۶۰	بستان آباد	۵۰	۳۷	۵۰	۴۶	۲۱۷۰	۲۰/۵۶	۱۰/۱۱	۰/۲۹
۲	قطورچای	۱۵۴۵	پل یزدکان	۲۹	۳۸	۴۷	۴۴	۱۳۲۰	۶۱/۵۶	۱۸/۷۸	۰/۵۰
۳	گمبرچای	۱۰۳	قرمزی گل	۴۳	۳۷	۰۶	۴۶	۱۸۰۰	۱۰/۸۹	۳/۲۲	۰/۲۹
۴	قزل اوزن	۳۳۰۰۴	پل دختر میانه	۲۱	۳۷	۴۹	۴۷	۱۰۸۰	۷۰۸/۷۲	۲۹۲/۹۵	۰/۴۲
۵	آق چای	۱۲۴۴	قرول علیا	۵۱	۳۸	۴۹	۴۴	۱۲۹۰	۶۳/۹۱	۵۱/۲۶	۰/۸۳
۶	لیقوان چای	۷۶	لیقوان	۵۰	۳۷	۲۶	۴۶	۲۲۰۰	۹/۲۳	۲/۹۰	۰/۵۹
۷	نازلو چای	۱۷۱۵	تیپک	۴۰	۳۷	۵۴	۴۴	۱۴۵۰	۱۵۴/۰۶	۷۶/۲۱	۰/۸۳
۸	سنیخ چای	۲۱۰	پل سنیخ	۱۱	۳۸	۰۹	۴۶	۱۳۸۰	۸/۷۵	۴/۱۳	۰/۶۱
۹	ساری سو	۲۴۰۶	ساری سو	۲۵	۳۹	۲۶	۴۴	۱۴۵۰	۱۸/۲۰	۹/۶۳	۲/۶۷
۱۰	شهرچای	۱۷۵	میر آباد	۲۶	۳۷	۵۲	۴۴	۱۵۲۵	۸۸/۶۰	۲۶/۲۶	۰/۷۶
۱۱	صوفی چای	۲۶۳	تازکند مراغه	۲۸	۳۷	۱۶	۴۶	۱۶۰۰	۴۷/۴۶	۱۵/۵۹	۰/۳۴
۱۲	اهرچای	۲۰۳۵	تازکند اهر	۲۵	۳۸	۱۴	۴۷	۱۲۱۵	۵۰/۲۵	۲۳/۸۵	۰/۲۵
۱۳	آجی چای	۷۴۳۲	ونیار	۰۷	۳۸	۲۶	۴۶	۱۴۵۰	۱۴۲/۵۲	۷۴/۸۱	۰/۲۲
۱۴	زنگمارچای	۱۶۲۰	ماکو	۱۸	۳۹	۳۲	۴۴	۱۲۰۰	۶۰/۷۱	۲۳/۵۲	-۰/۳۱
۱۵	زیلبیرچای	۲۶۵۰	مظفر آباد	۴۶	۳۸	۱۶	۴۵	۹۷۰	۱۲/۱۴	۷/۰۶	۱/۱۳
۱۶	زولاچای	۲۲۰۴	یالقوز آغاج	۱۴	۳۸	۵۶	۴۴	۱۳۰۰	۲۳/۱۶	۱۵/۹۶	۱/۳۵

Lat.، Long.، Alt.، Mean، SD و Cs بترتیب عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، ارتفاع (متر)، میانگین جریان سالانه (مترمکعب بر ثانیه)، انحراف معیار جریان سالانه (مترمکعب بر ثانیه) و ضریب چولگی جریان سالانه (مترمکعب بر ثانیه) می باشند.

آزمون MMK

این روش توسط حامد و رائو (۴) ارائه و توسط کومار و همکاران (۱۰) نیز شرح داده شده است. اثرات همه ضرایب خودهمبستگی معنی دار در این آزمون از سری زمانی حذف می‌شود. برای این کار، ابتدا واریانس اصلاح شده، $V(S)^*$، با رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$Var(S)^* = Var(S)\frac{n}{n^*} \qquad (۷)$$

که $\frac{n}{n^*}$ از رابطه (۸) بدست می‌آید:

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1}(n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \qquad (۸)$$

که در آن r_i ضرایب خودهمبستگی با تأخیر i از رابطه (۶) و $Var(S)$ از رابطه (۴) تخمین زده می‌شوند. حامد و رائو (۱۰) نشان دادند که اگر واریانس اصلاح شده $Var(S)^*$ جایگزین $Var(S)$ شود، آنگاه نتایج دقیق‌تری حاصل می‌شود. برای محاسبه آماره Z من کندال اصلاح شده از این جایگزینی استفاده شده است.

برای سری هایی که r_k آنها معنی دار نمی شد از روش MK و برای سری هایی که r_k آنها معنی‌دار می‌شد، از روش MMK برای تشخیص وجود روند استفاده شد.

تخمین شیب خط روند با روش تخمین‌گر Sen

شیب خط روند با روش تخمین‌گر Sen[1] از رابطه ناپارامتری زیر برآورد شد:

$$\beta = Median\left(\frac{x_j - x_l}{j-l}\right) \quad \forall l < j \qquad (۹)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و x_l مقدار مشاهده lام می‌باشد. مقادیر مثبت (منفی) β نشان دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری داده‌هاست (۱۴).

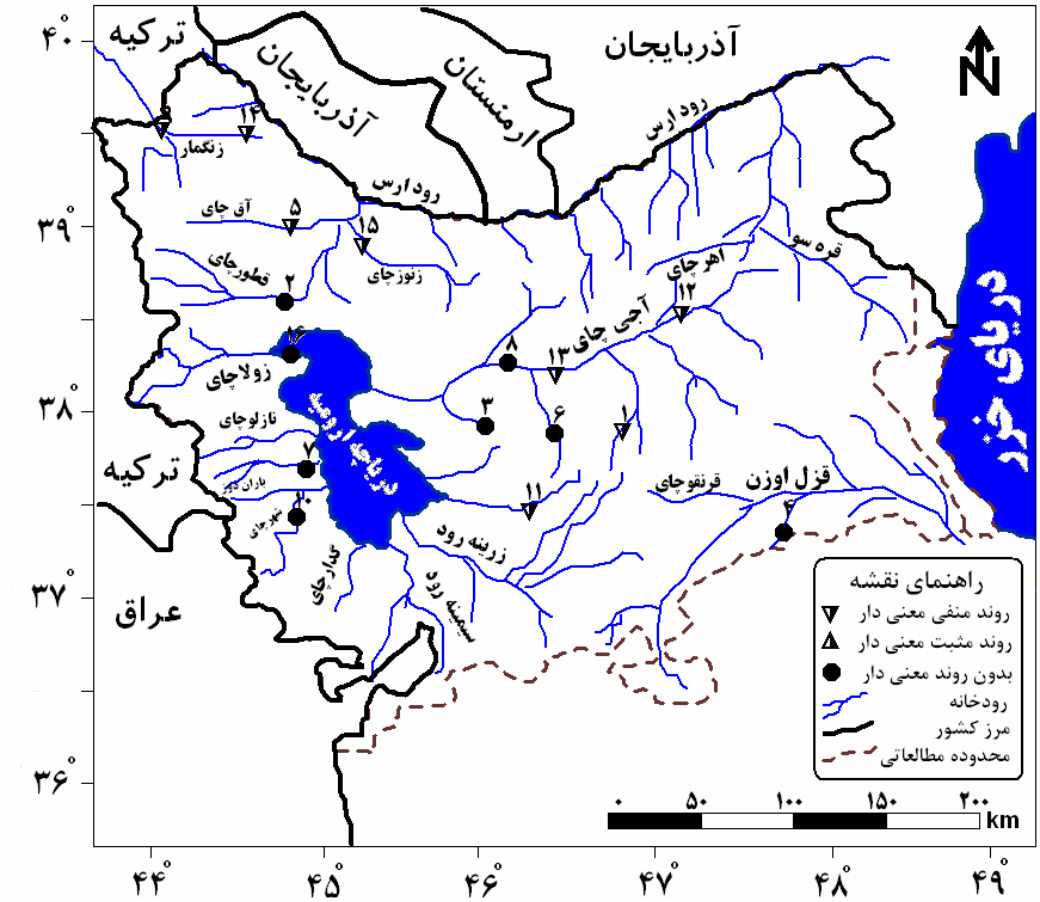
نتایج و بحث

جدول (۲) نتایج بررسی روند جریان رودخانه‌های شمال غرب ایران را (شامل ۱۲ سری در مقیاس ماهانه، ۴ سری در مقیاس فصلی و یک سری در مقیاس سالانه) برای هر یک از ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه پس از حذف اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی دار نشان می‌دهد. همانگونه که از این جدول می‌توان استنباط کرد، همه سری‌های جریان آب رودخانه‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف دارای روند منفی هستند. همه ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه در مقیاس سالانه دارای روند منفی بودند که از این تعداد، روند نیمی از ایستگاه‌ها معنی‌دار بود. شدیدترین روند منفی متعلق به رودخانه ساری سو در محل ایستگاه بازرگان در شمال آذربایجان غربی است. آب این رودخانه به رودخانه ارس می‌ریزد. روند دبی میانگین رواناب سالانه ایستگاه‌های بازرگان، بستان آباد و مظفر آباد در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه منفی و بسیار معنی‌دار (در سطح ۱درصد) بودند، همچنین روند دبی میانگین رواناب سالانه ایستگاه‌های قرول علیا، ونیار و ماکو منفی و در سطح ۵درصد معنی دار بودند. افزون بر این، در مقیاس سالانه روند منفی معنی دار در سطح ۱۰درصد برای ایستگاه‌های تازکند مراغه و تازکند اهر مشاهده شد. شکل (۱) الگوی تغییرات مکانی روند جریان آب رودخانه‌ها را در مقیاس سالانه و در ایستگاه-های هیدرومتری شمال غرب ایران نشان می‌دهد. به‌طوریکه از این شکل استنباط می‌شود، بجز ایستگاه‌های حاشیه دریاچه ارومیه و یک ایستگاه روی رودخانه قزل اوزن (ایستگاه پل دختر میانه) بقیه ایستگاه‌ها دارای روند نزولی معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد هستند.

در مقیاس فصلی نیز دبی جریان همه رودخانه‌های مورد مطالعه در منطقه شمال غرب ایران روند منفی را تجربه کرده‌اند. در مقیاس فصلی، تعداد ۲۶ مورد آماره Z من کندال از کل ۶۴ مورد آماره مربوط به ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه، روند منفی معنی دار در سطح ۱۰درصد یا کمتر تجربه کرده‌اند. شدیدترین روند منفی در مقیاس فصلی، متعلق به ایستگاه بازرگان با آماره $Z = -۳/۷۸$ بوده که در فصل بهار اتفاق افتاده است. پس از بازرگان، به ترتیب ایستگاه‌های ونیار، بستان آباد، ماکو و قرول علیا شدیدترین روند منفی را در سطح معنی داری ۱درصد داشته اند. به‌طوریکه از جدول (۲) استنباط می‌شود، فصل پائیز بحرانی ترین فصل از نظر کاهش آب رودخانه‌های شمال غرب ایران است. در فصل پائیز بیشترین تعداد ایستگاه (۹ مورد) روند نزولی معنی‌دار در سطح ۱۰درصد یا کمتر را تجربه کرده‌اند. در این فصل شدیدترین روند متعلق به ایستگاه ونیار با آماره $Z = -۳/۵۲$ و پس از آن ایستگاه های مظفر آباد، ماکو و قرول علیا روند منفی معنی‌دار در سطح ۱ درصد را تجربه کرده‌اند. علاوه بر این، ایستگاه‌های بستان آباد، بازرگان، یالقوز آغاج، پل سنیخ و تازکند مراغه روند منفی معنی دار در سطح ۱۰ درصد را تجربه کرده‌اند.

در فصل زمستان از کل ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه، تعداد ۷ ایستگاه روند منفی معنی‌داری داشتند. در این فصل، شدیدترین روند منفی معنی‌دار (در سطح ۱درصد) متعلق به ایستگاه قرول علیا با آماره $Z = -۲/۶۲$ بوده است. پس از قرول علیا ایستگاه‌های مظفر آباد و تازه کند اهر بیشترین روند منفی را در سطح ۱درصد تجربه کرده‌اند.

1- Sen's estimator



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و الگوی مکانی روند تغییرات میانگین رواناب سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری شمال غرب ایران

۱- بستان آباد ۲- پل یزدکان ۳- قرمزی گل ۴- قزل اوزن ۵- قرول علیا ۶- لیقوان ۷- تیپک ۸- پل سنیخ ۹- بازرگان ۱۰- میر آباد ۱۱- تازکند مراغه ۱۲- تازکند اهر ۱۳- ونیار ۱۴- ماکو ۱۵- مظفرآباد ۱۶- یالقوز آغاج

مثلث های رو به پائین روند نزولی معنی دار، مثلث های رو به بالا روند صعودی معنی دار و دوایر نشان دهنده فقدان روند معنی دار در سطح ۱۰درصد می‌باشند.

همچنین ایستگاه‌های ونیار، ماکو و پل یزدکان روند منفی معنی داری را در سطح ۵درصد تجربه کرده اند. افزون بر این ایستگاه بستان آباد نیز روند منفی معنی داری را در سطح ۱۰درصد تجربه کرده است.

فصل بهار که فصل پرآب رودخانه‌های منطقه شمال غرب ایران است، روند رواناب تعداد ۷ ایستگاه از کل ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه نزولی و در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار بودند. شدیدترین روند متعلق به ایستگاه بازرگان با آماره $Z = -3/78$ بود. پس از آن، ایستگاه های بستان آباد و ونیار شدیدترین روند نزولی جریان آب رودخانه‌های شمال غرب را به خود اختصاص داده‌اند، آماره Z من کندال این ایستگاه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. افزون بر این ایستگاه‌های تازکند مراغه، تازه کند اهر، ماکو و مظفر آباد نیز روند نزولی را در سطح معنی داری ۱۰درصد تجربه کرده‌اند. در فصل تابستان که خشک ترین فصل رودخانه‌های شمال غرب ایران محسوب می‌شود، سه ایستگاه قرول علیا، مظفر آباد و بستان آباد روند نزولی معنی داری را تجربه کرده‌اند. روند دو ایستگاه اول (قرول علیا و مظفر آباد) در سطح ۵درصد و ایستگاه آخر (بستان آباد) در سطح ۱درصد نزولی و معنی‌دار بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در هر یک از فصول چهارگانه نه تنها هیچ یک از ایستگاه‌های شمال غرب ایران شاهد افزایش جریان رودخانه (بطور معنی دار) نبوده‌اند، بلکه غالب ایستگاه-ها روند نزولی معنی‌داری را تجربه کرده‌اند که این امر تولیدات کشاورزی منطقه را تحت تأثیر خود قرار داده است.

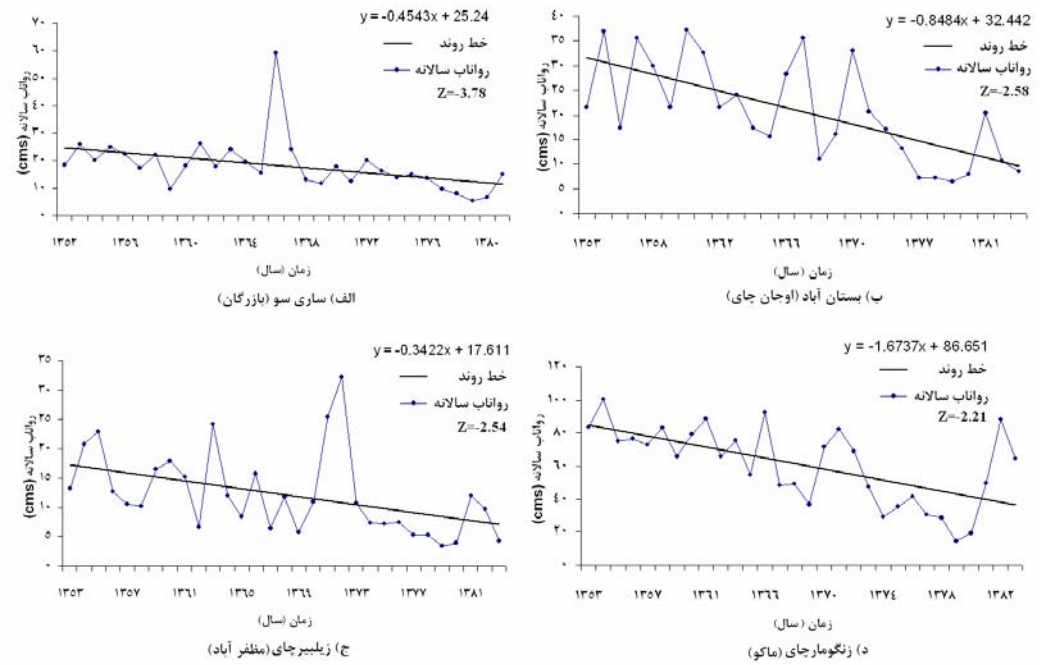
میانگین دبی رواناب هیچ ایستگاهی روند مثبت معنی‌داری (در سطح ۱۰درصد و کمتر) را در مقیاس ماهانه تجربه نکرده است (جدول ۲). بیشترین تعداد ایستگاه با روند منفی متعلق به ماه‌های مهر، آذر، دی، بهمن و اسفند بوده است. تعداد ۸ ایستگاه از کل شانزده ایستگاه روند منفی معنی‌دار (در سطح ۱۰درصد یا کمتر) را در هر یک از این ماه‌ها تجربه کرده‌اند. شدیدترین روند نزولی متعلق به ایستگاه تازه کند اهر (در ماه بهمن) با آماره $Z = -4/25$ بوده که در

سطح ۱درصد معنی دار بود. در مقیاس ماهانه از کل تعداد ۱۹۲ آماره Z (۱۲×۱۶) تعداد ۷۳ مورد روند نزولی معنی دار (در سطح ۱۰درصد) و بقیه آنها (۱۱۹ مورد) فاقد روند معنی‌دار بودند. در نتیجه هیچ موردی مبنی بر وجود روند مثبت معنی‌دار در دبی رواناب ماهانه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه مشاهده نشده است. شدیدترین روند منفی در ماه مهر متعلق به ایستگاه یالقوز آغاج بر روی رودخانه زولاچای با آماره $Z = -3/84$ بوده است. شدیدترین روند منفی در ماه‌های آبان و آذر متعلق به ایستگاه ونیار بود که آماره Z من کندال در این ماه‌ها به ترتیب ۲/۹۲- و ۲/۵۲- بودند. در ماه‌های دی، بهمن و اسفند شدیدترین روند نزولی به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های مظفر آباد، تازه کند اهر و بستان آباد با آماره‌های ۳/۶۲-، ۴/۲۵- و ۲/۴۵- بوده که همه در سطح ۱درصد معنی دار بودند. در ماههای فروردین، اردیبهشت و خرداد شدیدترین روند نزولی متعلق به ایستگاه بازرگان بوده است که آماره Z من کندال در این ایستگاه در ماه‌های مذکور به ترتیب برابر ۳/۸۴-، ۳/۷۵- و ۲/۵۳- بوده است. در ماه تیر شدیدترین روند نزولی متعلق به ایستگاه های ونیار و در ماه‌های مرداد و شهریور متعلق به مظفرآباد است که آماره Z آنها به ترتیب برابر با ۱/۹۷-، ۲/۵۴- و ۳/۸۵- بود که در سطح ۵ درصد معنی دار هستند.

شکل (۲) روند تغییرات میانگین رواناب سالانه ایستگاه‌های بازرگان، بستان آباد، مظفرآباد و ماکو را نشان می‌دهد. روند منفی رواناب سالانه چهار ایستگاه فوق در این شکل به وضوح مشهود است.

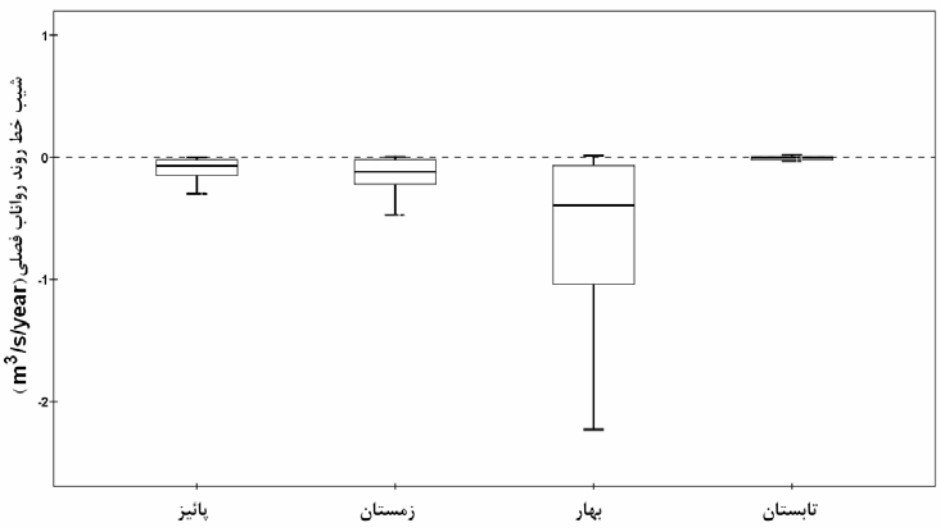
جدول (۳) مقادیر شیب خط روند داده‌های جریان ماهانه، فصلی و سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه را در شمال غرب ایران نشان می‌دهد. به‌طوریکه از این جدول استنباط می‌شود، فراوانی شیب‌های منفی به مراتب بیشتر از فروانی نظیر شیب‌های مثبت است. بیشترین شیب منفی خط روند در مقیاس سالانه متعلق به ایستگاه ونیار معادل ۴/۴۹ مترمکعب بر ثانیه در سال است. ایستگاه‌های تیپک و ماکو پس از این ایستگاه به ترتیب بیشترین شیب خط روند منفی را به خود اختصاص داده‌اند.

مقادیر شیب‌های خط روند در مقیاس فصلی (بجز فصل تابستان) غالباً منفی است. شکل (۳) نمودار جعبه و خط مربوط به شیب خط روند رواناب ایستگاه‌های مختلف را در ناحیه شمال غرب ایران در سه دهه اخیر در مقیاس فصلی نشان می‌دهد. همانطور که از این نمودار می‌توان استنباط کرد، میانه شیب‌های خطوط روند در هر یک از سه فصل پائیز، زمستان و بهار منفی است. افزون بر این، می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به اینکه قسمت فوقانی جعبه ها (مربوط به سه ماه فوق الذکر) همه در زیر خط افقی شیب صفر قرار دارند، بنابراین شیب خط روند در سه ماه مذکور برای ۷۵ درصد ایستگاه‌های ناحیه مورد مطالعه منفی است. به عبارت دیگر، دبی آب رودخانه‌های شمالغرب ایران در فصول مذکور به سمت خشک شدن سوق پیدا می‌کنند.



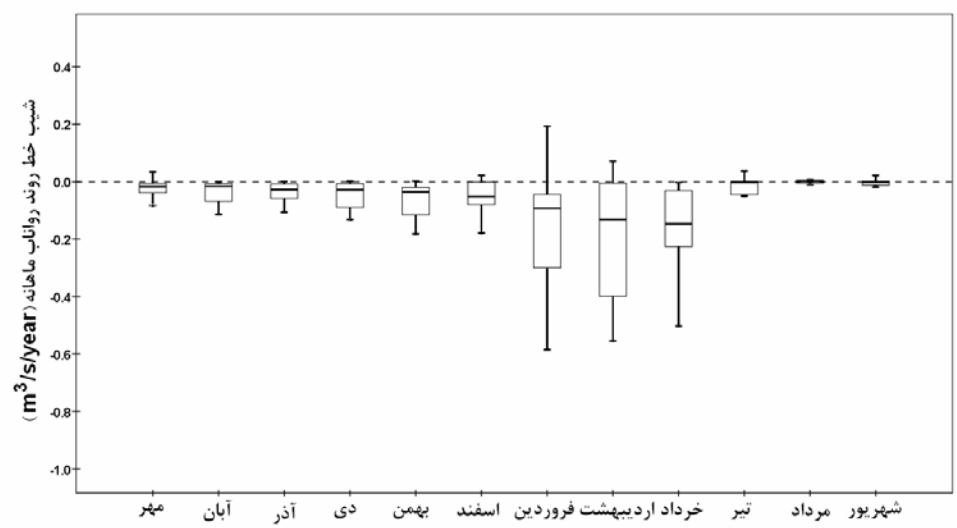
شکل ۲- روند تغییرات رواناب سالانه ایستگاه های الف) بازرگان، ب) بستان آباد، ج) مظفرآباد و د) ماکو در دوره آماری (۱۳۸۳-۱۳۵۳)

در فصل تابستان فاصله خط زیرین و فوقانی جعبه (۲۵ و ۷۵ درصد) در مقایسه با دیگر فصول سال بسیار کم است. این نشان می‌دهد که شیب خط روند بسیاری از ایستگاه‌ها (۵۰ درصد) نزدیک به میانه شیب‌ها است. میانه شیب‌ها در این فصل در حدود صفر بوده که نسبت به دیگر فصول سال بالاتر است. برعکس در فصل بهار فاصله خطوط ۲۵ و ۷۵ درصد شیب‌ها به مراتب از دیگر فصول سال بیشتر است. این نشان می‌دهد که تغییرات شیب روند رواناب فصل بهار در ایستگاه‌های مورد مطالعه به مراتب بیشتر از سایر فصول سال است. میانه شیب‌ها در این فصل نسبت به دیگر فصول سال پائین‌تر بوده و نشان دهنده روند رو به خشک شدن آب بیشتر رودخانه‌های منطقه است. به‌طور خلاصه با توجه به شیب خطوط روند می‌توان نتیجه گرفت که دبی آب رودخانه‌های شمال غرب ایران در طول سه دهه گذشته کاهش یافته است. بیشترین کاهش ابتدا در فصل بهار و سپس در فصول زمستان و پائیز اتفاق می‌افتد.



شکل ۳- نمودار جعبه و خط برای شیب خط روند میانگین رواناب روزانه در فصول مختلف در ایستگاه های هیدرومتری شمال غرب ایران

خطوط انتهای جعبه (پائین و بالای مستطیل) به ترتیب نشان دهنده مقادیر شیب نظیر صدک ۲۵و ۷۵ و خط موجود در درون جعبه نشان دهنده مقدار نظیر میانه شیب ها می‌باشد. خطها (خطوط افقی کرانه ای) نشان دهنده مقادیر شیب نظیر صدک ۵ و ۹۵ تعداد ایستگاه‌ها هستند.



شکل ٤- نمودار جعبه و خط برای شیب خط روند میانگین رواناب روزانه در ماههای مختلف در ایستگاه های هیدرومتری شمال غرب ایران

خطوط انتهای جعبه (پائین و بالای مستطیل) به ترتیب نشان دهنده مقادیر شیب نظیر صدک ۲۵و ۷۵ و خط موجود در درون جعبه نشان دهنده مقدار نظیر میانه شیب ها می‌باشد. خطها (خطوط افقی کرانه ای) نشان دهنده مقادیر شیب نظیر صدک ۵ و ۹۵ تعداد ایستگاه‌ها هستند.

جدول ۲- مقادیر آماره Z پس از حذف اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی دار برای سری داده های رواناب ماهانه، فصلی و سالانه شمال غرب ایران (۱۳۸۳-۱۳۵۳)

ردیف	ایستگاه	ماهانه												فصلی				سالانه
		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	پائیز	زمستان	بهار	تابستان	سال
۱	بستان آباد	-2.89**	-1.87*	-1.69	-1.70	-2.15*	-2.45**	-2.78**	-2.83**	-2.03*	-1.17	-0.28	-2.05*	-1.91	-1.69	-2.69**	-1.88	-2.58**
۲	پل یزدکان	-0.75	-1.50	-2.19*	-2.57**	-2.23*	-1.88	-1.01	-0.75	-1.25	-0.22	0.68	-1.74	-1.31	-2.07*	-1.24	0.05	-1.44
۳	قرمزی گل	-1.53	-0.02	0.31	-1.02	0.90	1.22	0.51	0.03	-0.92	0.00	1.31	0.58	-0.07	0.34	-0.14	0.61	0.03
۴	پل دختر میانه	0.13	0.44	0.63	-0.17	-0.38	0.31	0.04	-0.57	-0.57	0.93	0.93	0.87	0.43	0.18	-0.13	1.19	0.00
۵	قرول علیا	-2.42**	-2.63**	-1.77	-2.65**	-2.33**	-1.83	-0.54	-0.04	-1.25	-1.92	-1.52	-1.96*	-2.54**	-2.62**	-0.54	-2.25*	-1.99*
۶	لیقوان	-0.55	-0.18	-0.84	-0.25	-0.10	-0.22	-0.74	0.92	-0.02	0.07	0.87	0.88	-0.66	0.07	0.17	0.57	0.32
۷	تیپک	-0.94	-0.33	-0.26	0.04	-0.35	-0.71	-2.13*	-1.04	-1.04	-1.00	-0.13	-0.49	-0.49	-0.38	-1.34	-0.83	-1.34
۸	پل سنیخ	-2.36**	-1.46	-1.13	-0.88	-1.67	-1.08	-1.33	0.33	-0.44	0.27	-0.21	-0.86	-1.75	-1.21	-0.17	-0.06	-1.38
۹	بازرگان	-1.58	-1.87*	-1.66	-0.69	-1.10	-2.18*	-3.84**	-3.75**	-2.53**	-0.05	0.16	-1.68	-1.91	-1.62	-3.78**	-0.84	-3.78**
۱۰	میرآباد	-0.83	-0.24	-0.28	-0.21	-0.70	0.00	-0.99	0.40	-0.65	-0.51	0.26	-0.32	-0.44	-0.24	-0.03	-0.07	-0.03
۱۱	تازکند مراغه	-2.24*	-0.60	-1.83	-1.79	-1.38	0.50	-1.88	-1.04	-1.79	-1.17	-0.88	-1.46	-1.66	-0.46	-1.79	-1.54	-1.83
۱۲	تازکند اهر	-0.86	-0.52	-1.50	-2.57**	-4.25**	-1.92	-1.49	-1.75	-2.43**	0.11	1.17	0.77	-1.28	-2.57**	-1.76	0.86	-1.71
۱۳	ونیار	-2.94**	-2.92**	-2.52**	-2.59**	-2.14*	-2.07*	-2.38**	-2.04*	-1.73	-1.97*	1.06	-1.25	-3.52**	-2.18*	-2.41**	-0.83	-1.97*
۱۴	ماکو	-3.27**	-2.89**	-2.42**	-1.98	-2.30*	-2.09*	-2.00*	-2.13*	-1.14	0.36	1.20	0.617	-2.56**	-2.06*	-2.16*	0.72	-2.21*
۱۵	مظفر آباد	-3.20**	-1.82	-2.44**	-3.62**	-2.49**	-2.26*	-3.42**	-0.91	-1.78	-1.21	-2.54**	-3.85**	-2.62**	-2.57**	-1.96*	-2.02*	-2.54**
۱۶	یالقوز آغاج	-3.84**	-2.03*	-1.44	-0.99	-0.92	-0.78	-0.85	-1.37	-1.63	-0.58	-1.45	-1.77	-1.84	-0.70	-1.27	-0.93	-1.22
تعداد ایستگاه با روند مثبت†		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
تعداد ایستگاه با روند منفی		8	7	8	8	8	8	7	4	6	2	1	6	9	7	7	3	8
تعداد ایستگاه بدون روند		8	9	8	8	8	8	9	12	10	14	15	10	7	9	9	13	8

روند معنی دار بصورت ارقام پررنگ در سطح معنی داری ۱۰، ۵ و ۱ درصد به ترتیب بدون ستاره، با یک ستاره و دو ستاره مشخص شده اند. † در شمارش تعداد ایستگاه ها سطح معنی داری ۱۰ درصد یا کمتر در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- مقادیر آماره شیب خط روند (β) سری داده های رواناب ماهانه، فصلی و سالانه شمال غرب ایران (۱۳۸۳-۱۳۵۳)

ردیف	ایستگاه	ماهانه												فصلی				سالانه
		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	پائیز	زمستان	بهار	تابستان	سال
۱	بستان آباد	-0.03	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.06	-0.16	-0.22	-0.04	0.00	0.00	0.00	-0.14	-0.21	-0.46	-0.01	-0.91
۲	پل یزدکان	-0.05	-0.08	-0.06	-0.05	-0.07	-0.05	-0.10	-0.13	-0.18	-0.01	0.03	-0.05	-0.16	-0.17	-0.50	0.00	-0.88
۳	قرمزی گل	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01	0.01
۴	پل دختر میانه	0.03	0.17	0.28	-0.09	-0.18	0.47	0.19	-1.59	-0.5	0.21	0.03	0.10	0.58	0.58	-1.69	0.50	-0.16
۵	قرول علیا	-0.09	-0.11	-0.11	-0.09	-0.08	-0.08	-0.06	-0.01	-0.2	-0.21	-0.08	-0.08	-0.3	-0.24	-0.17	-0.42	-1.13
۶	لیقوان	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	0.00	0.01	0.01	-0.01	0.00	0.01	0.01	0.04
۷	تیپک	-0.08	-0.06	-0.03	0.002	-0.03	-0.08	-0.59	-0.55	-0.5	-0.14	-0.01	-0.02	-0.12	-0.13	-2.23	-0.20	-2.46
۸	پل سنج	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.05	-0.01	0.00	-0.09
۹	بازرگان	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.08	-0.14	-0.07	-0.03	0.00	0.00	-0.01	-0.05	-0.11	-0.24	-0.02	-0.49
۱۰	میرآباد	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.09	0.07	-0.13	-0.05	0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.03
۱۱	تازکند مراغه	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	0.02	-0.14	-0.14	-0.25	-0.05	-0.01	-0.01	-0.05	-0.02	-0.6	-0.07	-0.76
۱۲	تازکند اهر	-0.02	-0.01	-0.06	-0.10	-0.16	-0.18	-0.44	-0.31	-0.2	0.00	0.00	0.00	-0.09	-0.47	-0.94	0.02	-1.46
۱۳	ونیار	-0.02	-0.07	-0.21	-0.24	-0.3	-0.43	-1.05	-1.03	-0.36	-0.04	0.003	0.00	-0.35	-1.00	-2.60	-0.02	-4.49
۱۴	ماکو	-0.07	-0.07	-0.10	-0.13	-0.15	-0.26	-0.51	-0.49	-0.16	0.04	0.07	0.02	-0.25	-0.55	-1.14	0.09	-2.05
۱۵	مظفر آباد	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04	-0.05	-0.09	-0.03	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.06	-0.13	-0.12	-0.03	-0.37
۱۶	یالفور آغاج	0.00	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.09	-0.17	-0.07	0.00	0.00	0.00	-0.08	-0.09	-0.33	0.00	-0.46

شکل (۴) نمودار جعبه و خط را برای شیب خط روند رواناب ماهانه ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. می‌توان در این شکل مشاهده نمود که خط میانه شیب‌ها (بجز در سه ماه تیر، مرداد و شهریور) در بقیه ماه‌های سال منفی و زیر صفر است. این مسئله نشان دهنده این واقعیت است که شیب خط روند رواناب ماهانه نیمی از ایستگاه‌های منطقه منفی است. خط میانه جعبه‌های مربوط به ماههای اردیبهشت، خرداد و فروردین در مقایسه با دیگر ماههای سال در موقعیت پائین‌تری نسبت به دیگر ماه‌های سال قرار دارد. این نشان می‌دهد که شیب خط روند در ماه‌های فصل بهار در مقایسه با دیگر ماه‌های سال شدیدتر است. فاصله خطوط بالا و پائین جعبه‌ها در خصوص ماه اردیبهشت در مقایسه با دیگر ماه‌های سال بیشتر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات شیب خط روند در بین ایستگاه‌های منطقه در ماه اردیبهشت بیشتر از دیگر ماههای سال است.

لتنمایر و همکاران (۱۱) نیز روند افزایشی را برای رواناب رودخانه‌های ایالات متحده از نوامبر تا آوریل گزارش کرده‌اند. جورجیوسکی و همکاران (۳) روند جریان رودخانه‌های مناطق ولگا، دنیپر و ینیسی در روسیه اروپایی و غرب سیبری را در فصل بهار کاهشی گزارش کردند که با نتیجه این مطالعه کاملاً همخوانی دارد. کایا و کالایجی (۷) نیز روند نزولی را برای جریان آب رودخانه‌های غرب ترکیه گزارش کردند که با نتیجه مطالعه حاضر کاملاً همخوانی دارد.

جمع بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه روند تغییرات میانگین دبی آب رودخانه‌های شمال غرب ایران در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه بررسی شد. روش مورد استفاده در این مطالعه، آزمون من کندال پس از حذف اثر کلیه ضرایب خودهمبستگی می‌باشد. برای بررسی شیب خط روند از آزمون برآوردگر سن استفاده شد. برای بررسی داده‌ها دوره آماری یکسان ۱۳۸۳-۱۳۵۳ در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در حالت کلی جریان آب رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه روند نزولی داشته است.

در مقیاس سالانه نیمی از ایستگاه‌ها روند منفی معنی دار در سطح ۱۰ درصد یا کمتر داشته‌اند. در دیگر ایستگاه‌ها روند نزولی و صعودی وجود داشت که معنی دار نبوده است. در مقیاس فصلی در تمام فصول سال روند نزولی معنی دار در بین ایستگاه‌ها مشاهده شد، لیکن بیشترین تعداد ایستگاه‌ها با روند منفی معنی دار در سطح ۱۰درصد به ترتیب به فصول پائیز، زمستان و بهار نسبت داده شد. در مقیاس ماهانه نتایج مشابهی بدست آمد. بیشترین تعداد ایستگاه با روند منفی معنی دار در سطح ۱۰درصد یا کمتر (معادل ۷ یا بیشتر) به ترتیب در ماههای مهر، آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین و آبان مشاهده شد. با این حال در دیگر ماههای سال نیز روند معنی دار در تعدادی از ایستگاه‌ها وجود داشت. در حالت کلی در هیچ یک از ماههای سال روند مثبت و معنی دار در رواناب ایستگاه‌های شمال غرب ایران مشاهده نشد. بیشترین شیب خط روند منفی در مقیاس سالانه متعلق به ایستگاه ونیار بود. در مقیاس فصلی بزرگترین شیب خط روند منفی در فصل بهار و زمستان متعلق به ونیار و در فصول پائیز و تابستان متعلق به ایستگاه پل دختر میانه بود. در مقیاس فصلی، بررسی میانه شیب خطوط روند مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که فصل بهار بیشترین شیب خط روند منفی را به خود اختصاص داده است. پس از آن فصول زمستان و پائیز به ترتیب بیشترین شیب خط روند منفی را در منطقه دارا بودند. در مقیاس ماهانه نتایج شیب خطوط روند نشان داد که در ماههای اردیبهشت، خرداد و فروردین به ترتیب بیشترین کاهش در دبی آب رودخانه‌های شمال غرب ایران در سه دهه گذشته اتفاق افتاده است.

مهمترین اثر کاهش آبدهی رودخانه‌ها، عدم امکان تأمین آب کافی برای مصارف مختلف کشاورزی، شرب و صنعت در منطقه شمال غرب ایران است. همچنین آلوده شدن آب رودخانه ها، کاهش تراز آب سفره های زیرزمینی به دلیل افزایش پمپاژ جهت تأمین آب موردنیاز نیز از تبعات کاهش آبدهی رودخانه های منطقه می‌باشد. در پایان توصیه می‌شود که علل کاهش آب رودخانه‌های این منطقه و روند نزولی آنها به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

1- Burn D.H., and Hag-Elnur M.A. 2002. Detection of hydrologic trend and variability. Journal of Hydrology, 255: 107-122.

2- Douglas E.M., Vogel R.M., and Kroll C.N. 2000. Trends in floods and low flows in the United States: Impact of spatial correlation. Journal of Hydrology, 240:90– 105.

3- Georgiyevsky V.Yu., Yezhov A.V., Shalygin A.L., Shiklomanov A.I., and Shiklomanov I.A. 1996. Evaluation of possible climate change impact on hydrological regime and water resources of the former USSR rivers. Russian Meteorology and Hydrology, 11: 89–99.

4- Hamed K.H., and Rao A.R. 1998. A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of

Hydrology, 204: 182–196.
5- Jiang T., Su B., and Hartmann H. 2007. Temporal and spatial trends of precipitation and River flow in the Yangtze River basin, 1961-2000. Geomorphology, 85: 143-154.
6- Kahya E., and Partal T. 2007. Is seasonal precipitation decreasing or increasing in Turkey?. Online Journal of Earth Sciences, 1 (1): 43-46.
7- Kahya E., and Kalayci S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. Journal of Hydrology 289: 128–144.
8- Kendall M.G. 1975. Rank Correlation Measures. Charles Griffin, London.
9- Khaliq M.N., Ouarda T.B.M.J., and Gachon P. 2009. Identification of temporal trends in annual and seasonal low flows occurring in Canadian rivers: The effect of short- and long-term persistence. Journal of Hydrology, 369: 183–197.
10- Kumar S., Merwade V., Kam J., and Thurner K. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. Journal of Hydrology, 374(1-2): 171-183.
11- Lettenmaier D.P., Wood E.F., and Wallis J.R. 1994. Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948-88. Journal of Climate, 7: 586–607.
12- Mann H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. Econometrica, 13, MathSci Net, pp. 245-259.
13- Partal T., and Kahya E. 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydological Processes, 20: 2011-2026.
14- Sen P.K. 1968. Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, 63: 1379–1389.
15- Zhang X., Harvey K.D., Hogg W.D., and Yuzyk T.R. 2001. Trends in Canadian streamflow. Water Resources Research, 37: 987-998.
16- Zhang X., Vincent L.A., Hogg W.D., and Niitsoo A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. Atmosphere-Ocean, 38: 395- 429.

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 4, Sep-Oct 2010, p. 757-768

نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۴، مهر - آبان ۱۳۸۹، ص. ۷۶۸-۷۵۷

Trend Analysis of Streamflow Across the North West of Iran in Recent Three Decades

R. Mirabbasi Najafabadi[1]* - Y. Dinpashoh[2]

Abstract

Trend analysis conducted on streamflow of the Northwest of Iran rivers in three times span namely month, season and annual after removing the effect of all significant serial correlation. Data used were the information of sixteen hydrometric stations selected from 1353 to 1383. Sen's estimator was used to estimate trend line slope. Three significance levels, 1%, 5% and 10% were used to test trends. Results showed that in annual time scale streamflow of all rivers located in the northwest of Iran had negative trends. The lowest slope of trend line for annual time scale belonged to the Vanyar station, which is equal to -4.49 m^3/s/yr. In seasonal time scale, significant negative trends observed for all stations, in which the strongest belonged to spring. In monthly time scale, the numbers of months with negative trends were great than that of the positive trends and about half of the stations had negative trends in the second six months of the year. In general, trends of streamflow of most of stations were statistically negative at 10% level in the three past decades.

Keywords: Autocorrelation, Mann-Kendall, Sen's Test, Streamflow, Trend

1,2- Ph.D. Candidate and Assistant Professor of Water Resources Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tabriz
(* - Corresponding Author Email: mirabbasi_r@yahoo.com)