تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های استان آذربایجان غربی و تأثیر ضریب خودهمبستگی بر روند تغییرات جریان

بهادر عباسپور[1]، حسن ترابی پوده[2]

۱- گروه سازه‌های آبی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
۲- گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰

چکیده

روند تغییرات جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی در دو مقیاس فصلی و سالانه با استفاده از آزمون‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های ۸ ایستگاه هیدرومتری منتخب در دوره ۲۰ ساله آماری (۱۳۶۹-۱۳۸۹) مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق ابتدا شیب‌خطی روند در داده‌های نمونه با استفاده از روش TSA تخمین و سپس با استفاده از روش TFPW ضریب خودهمبستگی از داده‌ها حذف و سری‌های زمانی آبدهی اصطلاحاً پیش سفید گردید. سپس روند تغییرات جریان در سری‌های زمانی اصلی و سری‌های پیش سفید شده به روش مذکور با استفاده از آزمون من کندال MK مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی روند ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس روش MK_TFPW در دو مقیاس فصلی و سالیانه ارائه گردید. نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه یک ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار در سطح ۱ درصد و یک ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد که بیانگر وجود روند منفی و یا به عبارتی کاهش آبدهی در ایستگاه‌های مذکور است. در این بین ٦ ایستگاه دیگر بدون روند و یا فاقد روند معنی‌دار تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: ***آزمون MK، روند، خودهمبستگی، جریان، پیش سفید کردن.***

مقدمه

منابع آب امری پیچیده است. با توجه به محدود و ثابت بودن منابع آب نحوه مدیریت برای بالا بردن راندمان استفاده از منابع آب بسیار مهم است. رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین می‌باشند. افزایش دما می‌تواند منجر به تغییرات در روند برخی از مؤلفه‌های 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.

اسمیت و ریچمن[1] (۱۹۹۳) اشاره کردند به آزمون‌های تعیین روند که به دو نوع تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارتند از روش پارامتریک و روش ناپارامتریک در آزمون‌های پارامتریک فرض بر این است که سری زمانی موجود تابع یک توزیع آماری (غالباً خطی) می‌باشند. آزمون‌های پارامتریک علاوه بر تشخیص وجود روند قابلیت تعیین شدت آن را نیز دارد. در آزمون‌های نا پارامتریک فرض بر آن است که

1-Smith and Richman

سری‌ها فاقد توزیع آماری مشخصی هستند. بدلیل اینکه اکثر سری‌های هیدرولوژیکی از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند، این آزمون‌ها در این زمینه از کاربرد بیشتری برخوردارند. آزمون من- کندال ناپارامتریک می‌باشد روش آماری مناسبی برای اثبات وجود روند در سری‌های هیدروکلیمایی است. در سال‌های اخیر بسیاری از محققین از این آزمون به عنوان بهترین گزینه جهت بررسی وجود روند یکنواخت داده‌ها استفاده نموده‌اند[۷].

داگلاس[1] و همکاران (۲۰۰۰) سعی کردند که اثر خودهمبستگی را از آزمون من_کندال با روش پیش سفید کردن در مطالعه تشخیص روند در خصوص سیلاب‌ها و جریان‌های کم در ایالت متحده کاهش دهند. آن‌ها دریافتند که تعداد روندهای معنی‌دار بعد از پیش سفید کردن کمتر از موارد مشاهده قبل از آن بود این روش در تحلیل روند داده‌های دما و بارش کانادا توسط زانگ و همکاران به کار برده شد[۳].

یو و پیلتون[2](۲۰۰۳) با استفاده از آزمون MK و استفاده از روش TFPW (MK-TFPW) روند تغییرات رودخانه‌های کانادا را برای مینیمم، ماکزیمم و متوسط دبی سالیانه بررسی کردند[۹]. زانگ و همکاران (۲۰۰۷) روند تغییرات ۱۱ متغیر هیدروکیلیماتولوژی در ۲۴۳ ایستگاه هیدرومتری را در حوزه‌های کانادا با طول دوره آماری ۳۰ تا ۵۰ سال با آزمون من_کندال پس از حذف اثر خودهمبستگی داده‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین سالانه جریان رودخانه‌ها در منطقه مورد پژوهش بخصوص مناطق جنوبی کانادا دارای روند منفی معنی‌دار است[۱۱].

کتیرایی[3] و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران در ۳۸ ایستگاه طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱ را مورد پژوهش قرار داده‌اند که برای بررسی روند از آزمون من_کندال و برای برآورد اندازه روند از روش خطی حداقل مربعات استفاده کرده‌اند نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که بارش سالانه اغلب ایستگاه‌های واقع در منطقه غرب و شمال غرب دارای روند منفی و بیشتر ایستگاه‌های واقع در نواحی جنوبی و مرکزی دارای روند مثبت می‌باشند[۵].

عبقری[4] و همکاران (۲۰۱۲) مطالعه‌ای را بر روی گرایش و شدت تغییر دبی متوسط سالانه۱۰ ایستگاه هیدرومتری استان مازندران در طی یک دوره زمانی ۳۶ ساله (۱۳۸۳-۱۳۴۸) با استفاده از آزمون ناپارامتری من_کندال و آزمون تخمین شیب sen تعیین شده است که نتایج نشان داد از ۱۰ ایستگاه مورد مطالعه، روند تغییرات دبی پنج ایستگاه طبق آزمون من _کندال معنی‌دار است. [۱].

در این تحقیق روند تغییرات جریان در دبی متوسط سالانه ۸ ایستگاه هیدرومتری استان آذربایجان غربی در طی یک دوره زمانی ۲۰ ساله از سال (۱۳۸۹-۱۳۶۹) با استفاده از روش‌های MK-TFPW و MK که می‌تواند به منظور یافتن دلایل کاهش یا افزایش احتمالی رواناب طی این دوره زمانی و همچنین برنامه‌ریزی جهت کنترل اثرات ناشی از تغییرات دبی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان غربی با مساحت حدود ۴۳۶۶۰ کیلومترمربع (با احتساب دریاچه ارومیه) یکی از مناطق کوهستانی کشور است. در این استان چین‌خوردگی‌های بزرگی وجود دارد که اکثر مراتع

1- Douglas
2- Yue and Pilton
3- Katiraei
4- Abghari

ییلاقی آذربایجان، در دامنه‌های این کوه‌ها قرار گرفته و در بعضی از آن‌ها معادن غنی وجود دارد. رشته‌کوه‌های شمال غربی ایران در آذربایجان، ادامه رشته کوه‌های قفقاز می‌باشند. این ارتفاعات توسط فرورفتگی‌های عمیقی از هم جدا می‌شوند. این کوه‌ها عبارتند از چند رشته متمایز که از شمال غربی به جنوب شرقی امتداد یافته‌اند. شاخه‌های متعددی که از رشته‌های اصلی جدا شده‌اند، دره‌های کوهستانی و هامون‌های بسته‌ای به وجود می‌آورند که در یکی از آن‌ها دریاچه کوهستانی ارومیه قرار دارد و قسمت‌های دیگر جلگه‌های کوچک و بزرگی را تشکیل داده‌اند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و برخی آماره‌های سری جریان سالیانه آن‌ها (دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۴۸)

ردیف	نام رودخانه	ایستگاه	میانگین دبی	ضریب تغییرات (Cv)	انحراف معیار	ضریب چولگی
1	بارون چای	قلعه جوق	2.75	0.58	1.61	0.27
2	زنگبار	ماکو	3.84	0.47	1.79	0.31
3	غازان چای	موسی قلی	0.64	0.74	0.47	1.41
4	زیلبیر چای	مظفرآباد	0.78	0.78	0.61	2.26
5	آق چای	مراکند	2.81	0.55	1.54	0.50
6	قطور چای	میله مرزی	1.2	0.38	0.46	0.29
7	قره سو	بدوی	1.11	0.46	0.51	-0.18
8	الند چای	بدلان	3.83	0.45	1.71	0.28

روش‌های مورد استفاده

در این مطالعه روند تغییرات سری زمانی، فصلی و سالانه برای هر یک از ایستگاه‌های مذکور با آزمون ناپارامتری MK مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که اشاره شد،شرط لازم برای استفاده از این آزمون مستقل بودن داده‌ها و عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها است. بنابراین در این مطالعه با استفاده از روش‌های PW، TFPW و VCA که در ادامه توضیح داده خواهد شد، ابتدا اثر تمام ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از سری زمانی حذف و سپس بر روی سری مذکور آزمون MK انجام گرفت.

الف) آزمون MK بر روی سری زمانی بدون حذف ضریب خودهمبستگی (پیش سفید نشده):

آزمون MK یکی از پر کاربرترین آزمون‌های ناپارامتری برای تحلیل روند داده‌ها است و از این آزمون به طور گسترده در تشخیص روند در سری‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. فرض صفر H_0 مستقل بودن و یکنواختی توزیع داده‌های نمونه $\{X_i,\ i = ,2 \dots, n\}$ و فرض مقابل H_1 وجود یک روند یکنواخت در داده‌ها. جهت انجام این آزمون ابتدا باید آماره S را با رابطه زیر محاسبه نمود.

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

که در آن x_j مقدار داده j ام، n تعداد داده‌ها و $\operatorname{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده و با رابطه زیر قابل محاسبه است.

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

من (۱۹۴۵) و کندال (۱۹۷۵) نشان دادند که برای $n \geq 8$ آماره S دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن از روابط زیر بدست می آید.

$$E(S) = 0$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^{n} t_m(t_m-1)(2t_m+5)}{18} \quad (۳)$$

که در آن m_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام می‌باشد. آماره آزمون MK یا Z با رابطه زیر محاسبه می شود.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

احتمال آماره Z آزمون MK را می توان با استفاده از توزیع تجمعی نرمال محاسبه نمود.

ب) آزمون MK بر روی سری زمانی پیش سفید شده به روش وان استورچ (PW-MK):

وان استورچ این روش را جهت حذف ضریب خودهمبستگی و به عبارتی جهت پیش سفید کردن سری زمانی پیشنهاد نمود. این روش توسط کولکارنی و وان استورچ (۱۹۹۵)، داگلاس و همکاران (۲۰۰۰)، ژانگ و همکاران (۲۰۰۰ و۲۰۰۱) و بورن و هاگ النور (۲۰۰۱) بکار برده شد. در این روش با استفاده از فرمول زیر سری زمانی پیش سفید می‌گردد.

$$Y_t = X_t - r_1 X_{t-1} \quad (۵)$$

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k}\sum_{t=1}^{n-k}[X'_t - E(X'_t)][X_{t+k} - E(X'_t)]}{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}[X'_t - E(X'_t)]^2} \quad (۸)$$

$$E(X'_t) = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} X'_t \quad (۹)$$

r_k ضریب خودهمبستگی مرتبه k داده‌های نمونه سری بدون X'_t و $E(X'_t)$ میانگین داده‌های نمونه می‌باشد.

ج) آزمون MK بر روی سری زمانی پیش سفید شده به روش TFPW:

روش TFPW-MK جهت شناسایی روند در یک سری زمانی دارای خودهمبستگی توسط yue et al 2002 به صورت زیر ارائه گردید.

شیب روند در داده‌های نمونه با استفاده از روش TSA (Theil, 1950a–c; Sen, 1968) به صورت زیر برآورد می شود.

$$b = Median\left(\frac{X_j - X_l}{j-l}\right) \quad \forall l < j \quad (۶)$$

اگر شیب تقریبا برابر صفر بود آنگاه دیگر نیازی به ادامه انجام آنالیز روند نیست، اما اگر مقدار آن برابر با صفر نبود، آنگاه روند بصورت خطی فرض شده و داده‌های نمونه بصورت زیر نوشته و بدون روند می شوند.

$$X'_t = X_t - T_t = X_t - bt \quad (۷)$$

ضریب خودهمبستگی مرتبه اول سری بدون روند X'_t با استفاده از معادلات زیر برآورد می‌گردد.

پس از محاسبه ضریب خودهمبستگی با مرتبه اول، خودهمبستگی مرتبه اول AR(1) با استفاده از معادله زیر حذف می‌گردد.

$$Y'_t = X'_t - r_1 X'_{t-1} \quad (۱۰)$$

این روش پیش سفید کردن پس از حذف روند از سری ها روش پیش سفید کردن بدون روند نامیده می شود (TFPW). سری باقیمانده ها پس از انجام روش TFPW یک سری مستقل می‌باشد.

روند شناخته شده T_t و سری باقیمانده ها Y_t' به صورت زیر با هم ترکیب می‌گردد.

$$Y_t = Y_t' + T_t \qquad (۱۱)$$

بدیهی است که سری حاصل Y_t روند واقعی را حفظ کرده و اثر ضریب خودهمبستگی نیز حذف شده است.

آزمون MK بر روی سری ترکیبی Y_t جهت برآورد روند واقعی انجام می‌گردد.

د) توسعه نرم افزار

با توجه به عدم وجود نرم افزاری مناسب جهت انجام محاسبات و به منظور انجام کلیه محاسبات مربوط به روند تغییرات آبدهی نرم افزاری در محیط ویژوال بیسیک توسعه داده شد. این نرم افزار روند تغییرات پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژی را توسط آزمون‌های MK، PW-MK، TFPW-MK و MK-VCA مورد بررسی قرار داده و نتایج نهایی را ارائه می نماید. در این نرم افزار کاربر کلیه داده‌های ورودی را در نرم افزار Excel وارد می نماید و پس از ورود اطلاعات نرم افزار اجرا می‌گردد. داده‌های خروجی نرم افزار در همان فایل ورودی نرم افزار Excel ولی در کاربرگ های دیگر ارائه می‌گردد.

نتایج و بحث

در این قسمت ابتدا با استفاده از نتایج بدست آمده از مطالعه موردی حاضر به بحث پیرامون توانایی روش TFPW جهت حذف اثر ضرایب خودهمبستگی پرداخته و سپس در خصوص روند تغییرات آبدهی در منطقه مذکور بحث خواهد شد. با استناد به مقاله شنگ یو[1] و همکاران (۲۰۰۲) نیز دقت روش‌های VCA و PW را در حذف ضریب خودهمبستگی از سری‌های زمانی مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که روش‌های مذکور روش‌های مناسبی نبوده و بنابراین روش TFPW را ارائه کردند. بنابراین در ادامه نتایج بر اساس روش TFPW_MK ارائه می‌گردد.

روند تغییرات در مقیاس سالیانه

نتایج بررسی روند تغییرات جریان با استفاده از روش TFPW_MK در رودخانه‌های منتخب آذربایجان غربی روند تغییرات جریان در جدول شماره (۲) در مقیاس سالانه به روش‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود در مقیاس سالانه از ۸ ایستگاه هیدرومتری موجود، ۲ ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار می‌باشد. از این ۸ ایستگاه یک ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار در سطح ۱ درصد و یک ایستگاه دارای روند منفی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد که بیانگر وجود روند منفی و یا به عبارتی کاهش آبدهی در ایستگاه‌های مذکور است. شدیدترین روند منفی مربوط به ایستگاه موسی قلی بر روی رودخانه غازان چای با آماره Z= -2.939 می‌باشد که در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. در این بین ۶ ایستگاه دیگر بدون روند و یا فاقد روند معنی‌دار تشخیص داده شد.

1-Sheng Yue

جدول ۲- مقایسه نتایج تشخیص روند سالیانه با استفاده از روش‌های MK، TFPW_MK

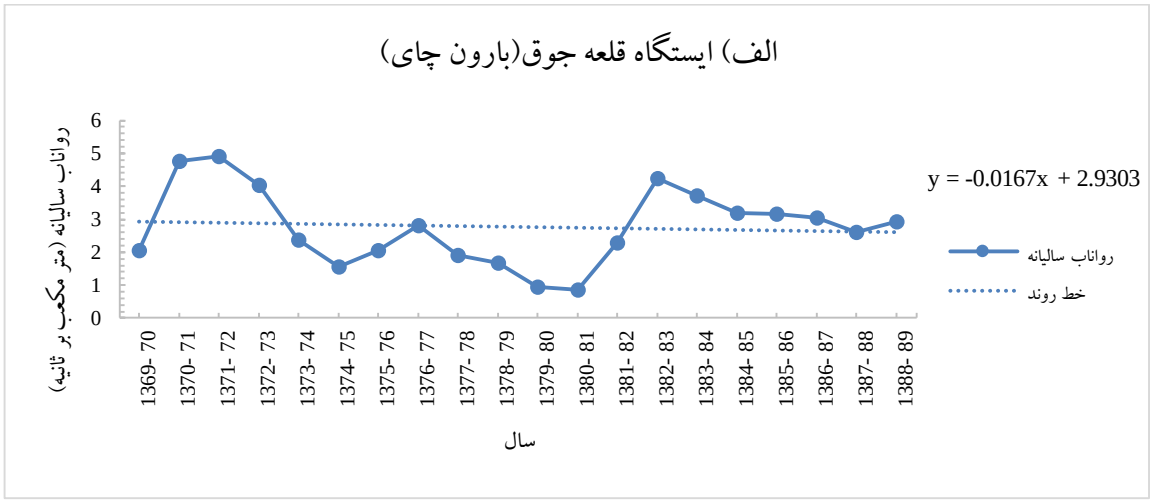
نام ایستگاه	r1	حدود r1		شیب		آزمون من کندال			
		حد بالایی	حد پایینی	b	Pc	داده‌های اصلی		TFPW	
						Z	P	Z	P
قلعه جوق (بارون چای)	0.619	-0.420	0.315	-0.034	-343	-0.29	23.2	-0.350	26.99
ماکو (زنگبار)	0.567	-0.420	0.315	-0.030	-304	-0.36	27.74	-0.7	51.29
موسی قلی (غازان چای)	0.778	-0.420	0.315	-0.042	-422	-3.21	99.85	-2.939	99.67
مظفر آباد (زیلبیر چای)	0.51	-0.420	0.315	-0.017	-174	-1.40	83.69	-1.19	76.40
مراکند (اق چای)	0.605	-0.420	0.315	-0.063	-629	-0.55	42.11	-0.910	63.45
میله مرزی (قطور چای)	0.357	-0.420	0.315	-0.003	33	0.00	0	-0.140	10.74
بدوی (قره سو)	0.636	-0.420	0.315	-0.037	374	1.46	85.58	-2.169	96.96
بدلان (الند چای)	0.402	-0.420	0.315	-0.041	-408	-0.75	54.37	-0.700	51.29

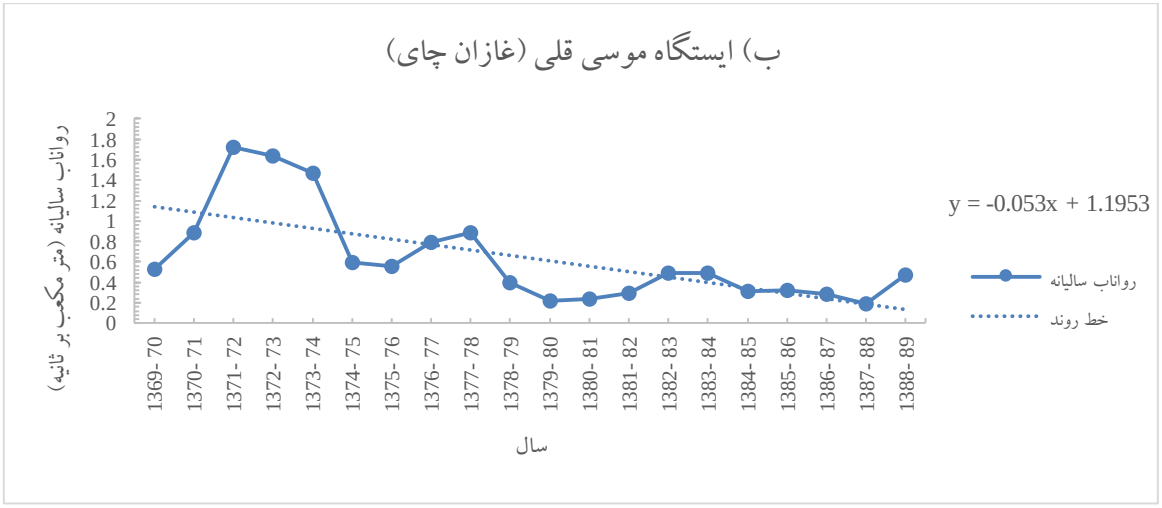
روند تغییرات در مقیاس فصلی

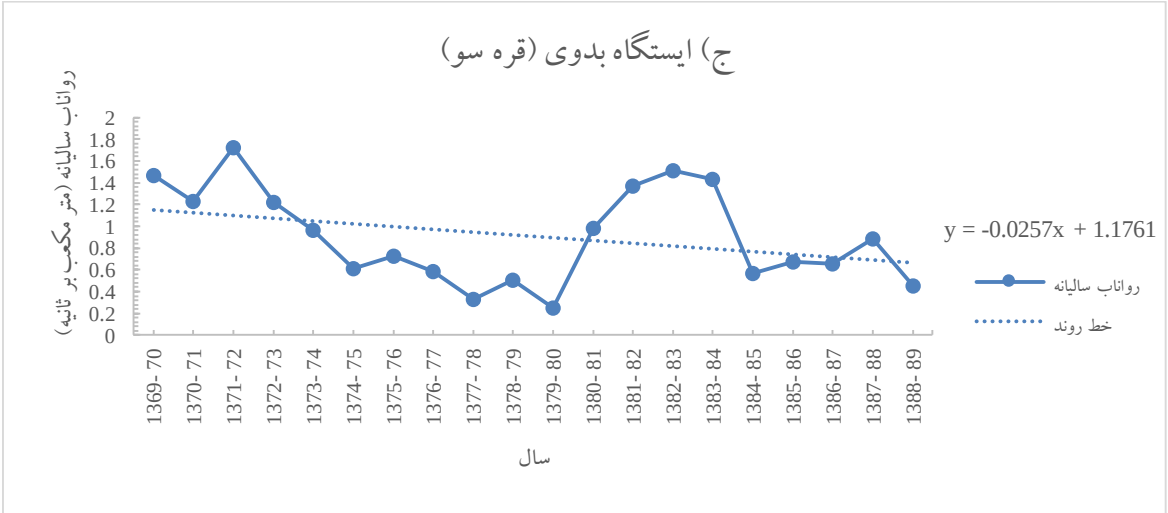
در مقیاس فصلی تغییرات منفی روند فصل تابستان تعداد ۲ ایستگاه دارای روند منفی در سطح ۱۰ درصد، تعداد ۱ ایستگاه دارای روند منفی در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. تغییرات منفی روند مربوط به فصل پاییز دو ایستگاه دارای روند منفی بوده که یکی در سطح ۵ درصد و دیگری در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار می‌باشد. تغییرات منفی روند مربوط به فصل زمستان ۲ ایستگاه دارای روند منفی در سطح ۵ درصد و ۱ ایستگاه دارای روند منفی در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. تغییرات منفی روند مربوط به فصل بهار فقط یک ایستگاه دارای روند منفی در سطح ۵ درصد می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه روند تغییرات جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری استان آذربایجان غربی در دو مقیاس فصلی و سالانه بررسی شد. روش مورد استفاده در این مطالعه، آزمون من کندال پس از حذف کلیه ضرایب همبستگی با استفاده از روش TFPW می‌باشد جهت بررسی شیب‌خط روند از روش TSA استفاده شد. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های ۸ ایستگاه هیدرومتری منتخب در دوره ۲۰ ساله آماری (۱۳۸۹-۱۳۶۹) در استان آذربایجان غربی می‌باشد. نتایج نشان داد که آبدهی در محدوده مورد مطالعه دارای روند نزولی است. در مقیاس سالانه دو ایستگاه روند نزولی کاهش میزان جریان یکی در سطح ۱ درصد و یکی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. در مقیاس فصلی بیشترین تغییرات منفی روند مربوط به فصل تابستان و زمستان می‌باشد و کمترین تغییرات منفی روند مربوط به فصل بهار می‌باشد. کاهش میزان آبدهی رودخانه‌ها می‌تواند تبعات نامطلوبی از جمله افزایش آلودگی، کاهش تراز سفره آب زیرزمینی و... بشود. بنابراین در پایان توصیه می‌گردد که علل کاهش آبدهی رودخانه‌های این منطقه و روند نزولی آن‌ها به دقت مورد بررسی قرار گیرد.







شکل ۲- روند تغییرات سالانه تعدادی از ایستگاه‌های منتخب

منابع

1-Abghari, H., Ebrahimi, H., Rahimi nasab, A.A. and Saerchenari, K. (2012). The study of changes trend of annual discharges averages for selected river stations in Mazandaran province. The Seventh Iran's National Conference on Science and Watershed Engineering (in Persian).

2-Burn, D. H. and Hag Elnur, M. A. (2002). Detection of hydrological trends and variability. J. Hydrol. 255(1–4), 107–122.

3-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. J. Hydrol. 240, 90–105.

4-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.

5-Katiraei, P., S. Hejam and P. Irannejad. (2007). Share of changes in precipitation frequency and intensity of precipitation in Iran for the period 1960_2001. Journal of the land physics and space, 33: 67-83(in Persian).

6-Lins, H. F. and Slack, J. R. (1999). Streamflow trends in the United States. Geophys. Res. Lett. 26(2), 227–230.

7-Smith, K. and Richman, M. B. (1993). Recent hydroclimatic fluctuations and their effects on water resources in Illinois.Climate Change 24, 249–269.

8-Yue, S., Pilton, P. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. Hydrological Processes 16 (9), 1807–1829.

9-Yue S., Pilon P., and Phinney R. (2003). Canadian Streamflow trend detection: impacts of serial and cross-correlation. J. Hydrology. Sci. 48 (1): 51–63.

10-Zhang, X., Harvey, K. D., Hogg, W. D. and Yuzyk, T. R. (2001). Trends in Canadian streamflow. Water Resour. Res. 37(4), 987–998.

11-Zhang, X., K.D. Harvey, W.D. Hogg and T.R. Yuzyk. (2007). Trends in Canadian stream flow. Water Resource. Res. 37(4):987–998.