

کلیدواژه‌ها: پتیت، تحلیل روند، جریان حداقل حوزه، دریاچه ارومیه، من-کندال

مقدمه

محاسبه جریان حداقل رودخانه و هم‌چنین آگاهی از ویژگی‌های آن در مطالعات هیدرولوژیکی مختلف مانند مدیریت کیفیت آب، تعیین حداقل دبی موردنیاز برای تولید برق، طراحی سیستم‌های آبیاری و ارزیابی تأثیر دوره‌های خشک‌سالی طولانی مدت بر اکوسیستم‌های آبی حائز اهمیت است [۲]. خشک‌سالی که به‌عنوان کمبود آب در دسترس مورد انتظار در سیستم هیدرولوژیک شناخته می‌شود؛ یکی از پرمخاطره‌ترین بلایای طبیعی است که اثرات گسترده اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی به دنبال دارد، به آرامی توسعه یافته و شناسایی دقیق نقطه آغاز و پایان آن بسیار دشوار است [۳]. برآورد دقیق جریان کمینه به‌عنوان معیاری برای اهداف وسیعی در مدیریت منابع آب و مهندسی مانند خشک‌سالی، نیازهای زیست محیطی، کاربری آب و تأسیسات آبی نیاز است [۲۱]. فرهنگ بین‌المللی هیدرولوژی جریان کمینه را به‌عنوان جریان آب رودخانه در طول آب و هوای خشک طولانی مدت تعریف می‌کند. ولی تعریف عمومی‌تر آن کم‌ترین جریان متوسط در چند روز پیاپی از قبیل پنج، هفت، ۳۰، ۶۰ و ۱۸۰ روزه در طول یک سال است [۲۲]. جریان کمینه بخش مهمی از جریان در رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهد و می‌توان آن را تقریبی از جریان آب‌های زیرزمینی قلمداد نمود [۱]. خشک‌سالی هیدرولوژیک معمولاً بر منطقه وسیعی تأثیر گذار است و جریان حداقل رودخانه‌ای شاخص مناسبی برای مطالعه این بحران است [۲۲]. با توجه به این که کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک کره زمین جای دارد و از بیابان‌های آسیای میانه و صحرای خشک و گرم عربستان و آفریقا سخت متأثر است، جزو یکی از خشک‌ترین و کم بارش‌ترین نواحی زمین محسوب می‌گردد [۲۰]. دریاچه ارومیه در شمال‌غرب ایران به‌عنوان دومین دریاچه آب شور دنیا، نمونه بارزی از بی‌توجهی در تأمین الزامات زیست محیطی است. تداوم شرایط خشک‌سالی و اثرات گرمایش جهانی در این حوضه موجب کاهش میزان بارندگی و جریانات سطحی ورودی به دریاچه، ادامه روند کاهش تراز سطح آب دریاچه و ایجاد بحران زیست محیطی در منطقه گردیده است [۹]. به دلیل اهمیت جریان پایه در فرآیندهای هیدرولوژیک و دارا بودن نقش حیاتی در مدیریت منابع آب، برآورد جریان پایه یکی از موضوعات

بررسی روند تغییرات دبی حداقل با تداوم‌های مختلف در شمال‌غرب ایران

سبا مرادی^۱ و آرش ملکیان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۱

چکیده

تغییرات اقلیمی به همراه دخالت‌های انسان در چرخه طبیعی آب، تأمین به‌موقع نیازهای آبی را با چالش جدی روبه‌رو کرده است. برآورد شاخص جریان پایه^۳، یکی از موضوعات مهم در هیدرولوژی بوده است. به‌منظور تحلیل جریان‌های کمینه در این پژوهش ۱۲ ایستگاه هیدرومتری با طول دوره آماری ۳۰ ساله در شمال‌غرب ایران به دلیل وجود دریاچه ارومیه انتخاب شد و سپس محاسبه سری‌های جریان کمینه سالانه با تداوم‌های سه، پنج، هفت، ۱۵ و ۳۰ روزه صورت گرفت. بر اساس آزمون نکویی برازش کلموگراف اسمیرنوف^۴، از میان توزیع‌های مختلف توزیع ویک‌بی^۵، مناسب‌ترین توزیع برازش برای منطقه شناخته شد و بر اساس آزمون من-کندال^۶ ۶۶/۶۷ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند کاهشی دبی حداقل، بر اساس آزمون پتیت^۷ ۷۵ درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی دبی حداقل و بر اساس آزمون فن‌نیومن^۸ ۴۱/۶۷ درصد ایستگاه‌ها در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد دارای روند افزایشی دبی حداقل با تداوم‌های مختلف هستند. نتایج این پژوهش می‌تواند برای تنظیم و برنامه‌ریزی جریان آب به‌ویژه در شرایط حداقل در جهت مدیریت پایدار منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کننده باشد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
۲- نویسنده مسئول و دانشیار، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران. پست الکترونیک: malekian@ut.ac.ir

3. Base flow
4. Kolmogorov-Smirnov
5. Wakeby
6. Mann-Kendall
7. Pettitt
8. Phenomenon

مورد علاقه هیدرولوژیست‌ها بوده است [۱]. لذا مدیریت صحیح منابع آبی کشور به‌خصوص در مناطق بحران‌زده از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد.

در زمینه بررسی روند تغییرات دبی حداقل با تداوم‌های مختلف، مطالعاتی انجام شده است که در ادامه به چند مورد اشاره می‌شود. در مطالعه‌ای با بررسی جریان کم برخی از ایستگاه‌های حوزه آبخیز کرخه به این نتیجه رسیدند که با افزایش فاصله از خروجی بر شدت کم‌آبی افزوده می‌شود [۸]. در تحلیل منطقه‌ای جریان حداقل حوزه کرخه دو عامل مساحت و تراکم زهکش را به‌عنوان تأثیرگذارترین عوامل بر جریان کم معرفی نمودند. طبق نتایج به‌دست آمده توسط آزمون اسپیرمن و من - کندال جریان حداقل در سرشاخه‌های حوزه دارای روند منفی طی دوره مطالعاتی بود [۱۲]. در تحقیقی با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال روند مقادیر جریان کمینه در حوزه سد سفیدرود مورد بررسی قرار گرفت. روند کاهشی محسوسی در مقادیر جریان کمینه شناسایی شد که بطور یکنواخت در سطح حوزه توزیع یافته بود. احداث سازه‌های آبی، افزایش سطح زیرکشت و تغییر کاربری اراضی در بخش‌های بالادست حوزه از دلایل اصلی وقوع این روند ذکر شدند [۵]. در تحقیقی در بلژیک به آنالیز فراوانی جریان کم و ساخت یک مدل جهانی برای بیان شاخص جریان کم بر پایه پارامترهای فیزیکی پرداختند. در این مطالعه توزیع‌های لوگ‌نرمال و گامای دو متغیره بیش‌ترین برازش را با جریان کم داشت [۱۱]. در مطالعه‌ای اثر فعالیت‌های انسانی را بر توزیع فراوانی جریان کم بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های انسانی از جمله پمپ آب زیرزمینی منحنی فراوانی جریان کم را در مدل‌های مخزن خطی و غیرخطی تغییر داد و دگرگونی توزیع فراوانی جریان کم تنها به خاطر تغییرات زیست‌محیطی نبوده است

[۷]. همچنین روشی را به‌منظور ارزیابی روندهای آتی مقادیر جریان کمینه در مقیاس حوضه با استفاده از داده‌های اقلیمی توسعه دادند و ۴۲ سناریوی اقلیمی طی سال‌های ۲۱۰۰-۱۹۶۱ در نظر گرفتند. نتایج حاصله از آزمون من - کندال روند مشخصی در مقادیر جریان کمینه را شناسایی کرد [۶]. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر جریان کمینه در تحلیل خشک‌سالی هیدرولوژیک مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است. بر اساس مطالب ذکر شده در خصوص اهمیت خشک‌سالی هیدرولوژیک و جریان کمینه رودخانه‌ها و دریاچه‌ها در دوره‌های خشک‌سالی و با توجه به تداوم روند خشکی دریاچه ارومیه و تالاب‌های پیرامون آن و عدم تعادل منابع و مصارف آب در دهه گذشته، و گسترش شدت بحران آب در این تحقیق به بررسی روند تغییرات دبی حداقل با تداوم‌های مختلف در شمال غرب ایران به‌منظور تصمیم‌گیری بهتر در خصوص مدیریت منابع آب در این بخش از کشور پرداخته شده است

مواد و روش‌ها

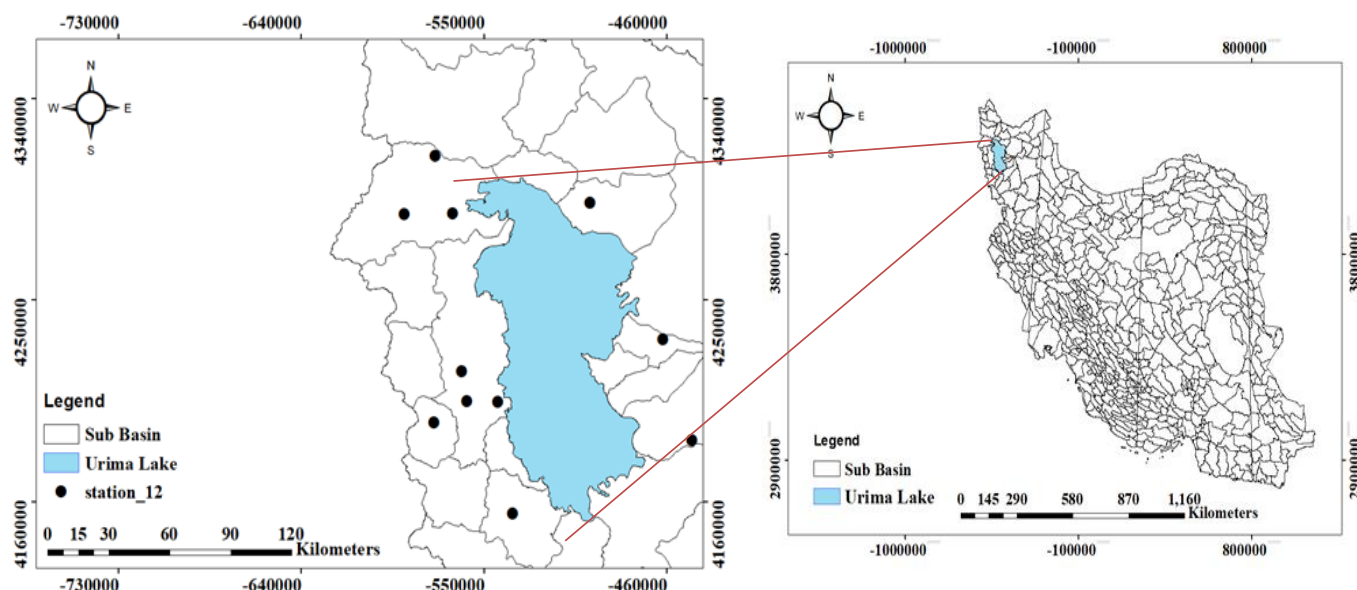
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران واقع شده است که بیش از نیمی از استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، قسمتی از استان کردستان و سطح بسیار کوچکی از استان زنجان را در خود جای داده است (شکل ۱). به‌منظور بررسی روند تغییرات دبی حداقل با تداوم‌های مختلف در شمال غرب ایران از ۱۲ ایستگاه دارای طول دوره آماری ۳۰ ساله استفاده شد و مینیمم داده‌های حداقل دبی روزانه و حداقل میانگین متحرک سه، پنج، هفت، ۱۵ و ۳۰ روزه تعیین شد. در جدول ۱ ویژگی ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه گردیده است.

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. Details of the studied stations

نام ایستگاه	Station name	نام رودخانه	river name	کد ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی (درجه - دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
نام ایستگاه	Station name	نام رودخانه	river name	کد ایستگاه	Station code	Latitude (درجه - دقیقه)	Longitude (درجه - دقیقه)
Altitude (meters)							
اوربان	Ourban	دید علی چای	Did Ali Chai	36-005	38-20	44-44	1640
بابارود	Babaroud	باراندوز چای	Barandoz Chai	35-007	37-24	45-14	1285
بند ارومیه	Urmia Band	شهر چای	Shahr Chai	35-011	37-30	45-01	1390
تمر ارومیه	Tamr Urmia	خرخره چای	Kherkhereh Chai	36-009	38-07	44-52	1410
چکان	Chekan	چکان	Chekan	32-011	37-21	46-19	1550
چهریق علیا	Chahrigh Olia	زولا چای	Zola Chai	36-001	38-05	44-36	1600
دریان	Daryan	دریان	Daryan	38-001	38-14	45-37	1600
دیزج ارومیه	Dizig uemia	باراندوز چای	Barandoz Chai	35-005	37-23	45-04	1320
قرمزیکل	Ghermezgol	گمبر چای	Gambar Chai	31-037	37-44	46-06	1800
لیقوان	Lighvan	لیقوان	Lighvan	31-019	37-50	46-26	2200
نقده	Naghadeh	گادا چای	Gada Chai	34-019	36-58	45-23	1340
هاشم‌آباد بیکران	Hashemabad Bikaran	باراندوز چای	Barandoz Chai	35-003	37-17	44-54	1570



شکل ۱ - موقعیت ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

Fig 1. Location of stations in the study area

روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک و رد فرض صفر دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. در این آزمون اگر $x_1, x_2, \dots, x_n$ مشاهدات مورد نظر باشند، آماره S (رابطه ۱) به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

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

که در آن n تعداد مشاهدات سری $x_1, x_2, \dots, x_n$ داده‌های زام و k می‌باشد و $\operatorname{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده که به صورت زیر (رابطه ۲) تعریف می‌شود:

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

من و کندال نشان دادند که وقتی $n > 8$ باشد، آماره s تقریباً به‌طور نرمال توزیع شده و میانگین و واریانس آن به صورت زیر می‌باشد:

$$E(S) = 0$$

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

آزمون پتیت

زمان ایجاد تغییر معنی‌دار در سری‌های زمانی (نقطه تحول) از اهمیت ویژه‌ای در توصیف رفتار آن‌ها برخوردار است. به‌منظور تشخیص نقطه تحول در روش‌های متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در این تحقیق از روش غیرپارامتری پیشنهاد شده توسط پتیت (۱۹۷۹) استفاده خواهد شد. این روش زمان وقوع تغییر معنی‌دار در میانگین سری‌های زمانی را مشخص می‌کند [۱۶]. آزمون پتیت آزمونی با پایه رتبه‌ای و بدون توزیع جهت تشخیص تغییرات

روش تحقیق

آزمون نیکویی برازش

به‌منظور انجام تحلیل فراوانی به صورت دو متغیره لازم است تا توزیع حاشیه‌ای حاکم بر هر کدام از متغیرهای دبی و حجم تعیین شود. برای این منظور از نرم‌افزار ایزی فیت^۱ که تخمین پارامتر آن بر پایه روش حداکثر درست‌نمایی می‌باشد، استفاده شد [۱]. جهت تشخیص روند در سری‌های زمانی متغیرهای آب‌وهواشناسی از آزمون‌های مختلفی استفاده شده که این آزمون‌ها به دو دسته پارامتری و غیرپارامتری تفکیک می‌شوند. آزمون‌های پارامتری نسبت به آزمون‌های غیرپارامتری توان بیشتری در تشخیص روند دارا هستند و هنگام استفاده از آن‌ها بایستی داده‌ها تصادفی مستقل و دارای توزیع نرمال باشند. از طرف دیگر آزمون‌های غیرپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل استفاده‌اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند [۴].

آزمون من کندال

آزمون ناپارامتری من-کندال که توسط من و کندال ارائه شده است بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار می‌باشد. این آزمون برای بررسی عدم وجود روند در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها است که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و داده‌ها نباید در قالب توزیع خاصی در آیند [۱۹]. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود

1. Easyfit

$$N = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i - Y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})^2} \quad (7)$$

در رابطه ۷، اگر سری زمانی همگن باشد، مقدار مورد انتظار N برابر ۲ است، ولی در غیر این صورت مقدار N کمتر از مقدار مورد انتظار می شود [۱۲].

نتایج

به منظور تحلیل جریان های کمینه در این پژوهش ۱۲ ایستگاه هیدرومتری با طول دوره آماری ۳۰ ساله انتخاب شد و سپس محاسبه سری های جریان کمینه سالانه با تداوم های سه، پنج، هفت، ۱۵ و ۳۰ روزه صورت گرفت، سپس مناسب ترین توزیع برازش یافته برای منطقه شناخته شد. نتایج حاصل از نیکویی برازش داده ها به توزیع های آماری در جدول (۲) آورده شده است. بر اساس آزمون نیکویی برازش کلموگراف اسمیرنوف توزیع ویکی بی مناسب ترین توزیع برازش شناخته شد.

همچنین به منظور تحلیل روند تغییرات دبی حداقل با تداوم های مختلف از آزمون های ناپارامتریک من-کندال و پتیت و آزمون همگنی فن نیومن استفاده شد که نتایج آن ها برای هر ایستگاه در سطح معنی داری ۹۵ درصد ارائه گردید. نتایج حاصل از آزمون من-کندال در جدول ۳ ذکر شده است. ایستگاه های اوربان، بابارود، چکان، چهریق علیا، دیزیج ارومیه، قرمزیکل، لیقوان دارای روند معنی دار در سطح ۹۵ درصد هستند و روند کاهشی را نشان می دهند، همچنین ایستگاه دریان در حداقل میانگین متحرک سه روزه روند معنی داری را نشان می دهد و ایستگاه های بند ارومیه، تمر ارومیه، نقده و هاشم آباد بیکران روند معنی داری نشان نمی دهند. در این آزمون ۶۷/۶۶ درصد ایستگاه ها دارای روند هستند

معنی دار در میانگین سری زمانی است و این موضوع زمانی اهمیت دارد که هیچ فرضیه ای در مورد زمان تغییر موجود نباشد [۲۰]. ابتدا سری زمانی $U_{t,n}$ به صورت رابطه ۴ به دست می آید:

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (4)$$

در رابطه فوق n تعداد داده ها و t شماره ترتیبی داده های سری زمانی تا نقطه تغییر و بعد از آن می باشد. x_j مجموعه اول و x_i مجموعه دوم و تابع $\text{sgn}(\Theta)$ نیز به صورت رابطه ۲ محاسبه می شود. مقدار k از رابطه ۵ محاسبه شده و در رابطه ۶ جایگزین شده و آماره p (رابطه ۶) به دست می آید:

$$K = \max[U_{t,n}] \quad (5)$$

$$P = 2e^{\frac{-6K^2}{n^3 + n^2}} \quad (6)$$

در صورتی که مقدار p محاسبه شده کوچک تر از α یا مقدار سطح معنی داری (۰/۰۵) باشد می توان این نقطه تغییر را در سری، از نظر آماری معنی دار دانست. در واقع مقدار محاسبه شده p مقدار ریسک یا خطای رد کردن فرض H_0 است که اگر این خطا از پنج درصد کمتر باشد می توان این تغییر را معنی دار دانست. در آزمون پتیت با توجه به وجود ناهمگنی می توان به سال شکست رسید.

آزمون فن نیومن

این آزمون برای تحلیل و بررسی همگنی و ناهمگنی سری های زمانی استفاده می شود که در سال ۱۹۴۱ به وسیله فن نیومن ارائه شد و از اختلاف مربع ترتیبی داده ها به واریانس داده ها به دست می آید که در این رابطه Y_i داده مشاهداتی، $\bar{Y}$ میانگین داده های مشاهداتی و N تعداد داده های همگن است..

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون من-کندال بر روی دبی های حداقل با دوره تداوم های مختلف

Table 2. Results of Mann-Kendall test on minimum flows with different continuity periods

نام ایستگاه	بهترین توزیع برازش یافته
Station name	The best fitted distribution
اوربان Ourban	Wakeby
بابارود Babaroud	Johnson sb
بند ارومیه Urmia Band	Wakeby - Phased Bi-Weibull
تمر ارومیه Tamr Urmia	Gen. Extreme value
چکان Chekan	Cauchy
چهریق علیا Chahrigli Olia	Johnson sb
دریان Daryan	Wakeby
دیزیج ارومیه Dizig urmia	Phased Bi-Weibull
قرمزیکل Ghermezizol	Johnson sb - Wakeby
لیقوان Lighvan	Johnson sb
نقده Naghadeh	Wakeby
هاشم آباد بیکران Hashemabad Bikaran	Cauchy

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون من-کندال بر روی دبی‌های حداقل با دوره تداوم‌های مختلف

(خط زیر اعداد نشان‌دهنده وجود روند در سطح ۹۵ درصد است)

Table 3. Results of Mann-Kendall test on minimum flows with different continuity periods

نام ایستگاه Station name	حداقل دبی روزانه Minimum daily flow	حداقل میانگین متحرک ۳ روزه At least 3-day moving average	حداقل میانگین متحرک ۵ روزه At least 5-day moving average	حداقل میانگین متحرک ۷ روزه At least 7-day moving average	حداقل میانگین متحرک ۱۵ روزه At least 15- day moving average	حداقل میانگین متحرک ۳۰ روزه At least 30- day moving average	درصد روند در دوره تداوم‌های مختلف Percentage of trends in different continuity periods
اوربان (Ourban)	-0.28	-0.30	-0.29	-0.29	-0.30	-0.27	100
بابارود (Babaroud)	-0.52	-0.53	-0.54	-0.54	-0.56	-0.58	100
بند ارومیه (Urmia Band)	-0.15	-0.06	-0.04	-0.03	-0.08	-0.19	0
تمر ارومیه (Tamr Urmia)	-0.16	-0.17	-0.19	-0.19	-0.21	-0.13	0
چکان (Chekan)	-0.63	-0.62	-0.62	-0.59	-0.57	-0.57	100
چهریق علیا (Chahrich Olia)	-0.40	-0.40	-0.39	-0.38	-0.32	-0.36	100
دریان (Daryan)	-0.17	-0.23	-0.19	-0.17	-0.15	-0.13	16.33
دیزیج ارومیه (Dizig uemia)	-0.39	-0.41	-0.39	-0.40	-0.40	-0.40	100
قرمزگل (Ghermezgol)	-0.58	-0.56	-0.53	-0.49	-0.50	-0.48	100
لیقوان (Lighvan)	-0.30	-0.34	-0.31	-0.37	-0.32	-0.33	100
نقده (Naghadeh)	-0.67	-0.66	-0.68	-0.70	-0.73	-0.72	0
هاشم آباد بیکران (Hashemabad Bikaran)	-0.16	-0.14	-0.14	-0.14	-0.05	-0.09	0
درصد روند در دوره تداوم‌های مختلف Percentage of trends in different continuity periods	58.33	66.67	58.33	58.33	58.33	58.33	

نتایج حاصل از آزمون پتیت که در جدول ۴ ذکر شده نشان می‌دهد که ایستگاه‌های اوربان، بابارود، تمر ارومیه، چهریق علیا، دیزیج ارومیه، قرمزگل، لیقوان و نقده دارای روند معنی دار در سطح ۹۵ درصد هستند و روند افزایشی را نشان می‌دهند. ایستگاه هاشم‌آباد بیکران نیز در حداقل دبی روزانه و حداقل میانگین متحرک سه روزه روندی معنی‌دار ارائه می‌دهند، ایستگاه‌های بند ارومیه، چکان و حداقل میانگین متحرک پنج، هفت، ۱۵ و ۳۰ روزه روند معنی‌داری نشان نمی‌دهند همچنین در این آزمون بیش‌ترین روند ایستگاه‌ها ۷۵ درصد است و هاشم‌آباد بیکران کم‌ترین روند را دارد.

نتایج حاصل از آزمون فن‌نویمن در جدول ۵ نشان می‌دهد که ایستگاه‌های تمر ارومیه، چهریق علیا و هاشم‌آباد بیکران دارای روند معنی دار در سطح ۹۵ درصد هستند، همچنین ایستگاه‌های لیقوان و دیزیج ارومیه به جز در حداقل میانگین متحرک ۳۰ روزه روند معنی‌داری نشان می‌دهند. در ایستگاه‌های بابارود، بند ارومیه، دریان، قرمزگل و نقده هیچگونه روندی نشان داده نشد، ایستگاه‌های اوربان و چکان در حداقل میانگین متحرک ۳۰ روزه دارای روند هستند و ۴۱/۶۷ درصد ایستگاه‌ها در این آزمون دارای روند هستند.

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون پتیت دبی‌های حداقل با دوره تداوم‌های مختلف

Table 4. Results of Petite test with minimum flow rates with different continuity periods

نام ایستگاه Station name	حداقل دبی روزانه Minimum daily flow	حداقل میانگین متحرک ۳ روزه At least 3-day moving average	حداقل میانگین متحرک ۵ روزه At least 5-day moving average	حداقل میانگین متحرک ۷ روزه At least 7-day moving average	حداقل میانگین متحرک ۱۵ روزه At least 15- day moving average	حداقل میانگین متحرک ۳۰ روزه At least 30- day moving average	درصد روند در دوره تداوم‌های مختلف Percentage of trends in different continuity periods
اوربان (Ourban)	114	119	119	120	120	120	100
بابارود (Babaroud)	210	210	210	210	210	210	100
بند ارومیه (Urmia Band)	69	59	54	56	71	94	0
تمر ارومیه (Tamr Urmia)	120	120	120	120	123	124	100
چکان (Chekan)	120	120	120	120	123	124	0
چهریق علیا (Chahrigh Olia)	188	186	186	186	186	182	100
دریان (Daryan)	166	216	198	192	181	185	0
دیزیج ارومیه (Dizig uemia)	153	149	152	151	155	171	100
قرمزگل (Ghermezgol)	224	224	202	198	200	186	100
لیقوان (Lighvan)	119	120	108	131	118	132	100
نقده (Naghadeh)	209	209	213	217	215	213	100
هاشم‌آباد بیکران (Hashemabad Bikaran)	113	120	110	86	86	102	33.33
درصد روند در دوره تداوم‌های مختلف Percentage of trends in different continuity periods	75	75	66.67	66.67	66.67	66.67	

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمون فن نویمن دبی‌های حداقل با دوره تداوم‌های مختلف

Table 5. Results of Fan Neumann test with minimum flow rates with different continuity periods

نام ایستگاه Station name	حداقل دبی روزانه Minimum daily flow	حداقل میانگین متحرک ۳ روزه At least 3-day moving average	حداقل میانگین متحرک ۵ روزه At least 5-day moving average	حداقل میانگین متحرک ۷ روزه At least 7-day moving average	حداقل میانگین متحرک ۱۵ روزه At least 15-day moving average	حداقل میانگین متحرک ۳۰ روزه At least 30- day moving average	درصد روند در دوره تداوم‌های مختلف Percentage of trends in different continuity periods
اوربان (Ourban)	1.57	1.51	1.50	1.53	1.45	<u>1.38</u>	16.66
بابارود (Babaroud)	1.70	1.72	1.76	1.75	1.65	1.79	0
بند ارومیه (Urmia Band)	1.48	1.61	1.56	1.56	1.61	1.65	0
تمر ارومیه (Tamr Urmia)	<u>0.89</u>	<u>0.86</u>	<u>0.81</u>	<u>0.88</u>	<u>0.75</u>	<u>0.59</u>	100
چکان (Chekan)	1.85	1.69	1.65	1.64	1.56	<u>1.10</u>	16.66
چهریق علیا (Chahrigh Olia)	<u>0.75</u>	<u>0.84</u>	<u>0.79</u>	<u>0.76</u>	<u>0.68</u>	<u>0.72</u>	100
دریان (Daryan)	1.65	1.69	1.71	1.75	1.81	1.94	0
دیزیج ارومیه (Dizig uemia)	<u>1.00</u>	<u>1.04</u>	<u>1.02</u>	<u>1.02</u>	<u>1.24</u>	1.60	83.33
قرمزیکل (Ghermezizol)	1.61	1.56	1.59	1.62	1.58	1.53	0
لیقوان (Lighvan)	<u>1.53</u>	<u>1.27</u>	<u>1.20</u>	<u>1.11</u>	<u>1.32</u>	1.42	83.33
نقده (Naghadeh)	1.34	1.44	1.44	1.45	1.43	1.36	0
هاشم آباد بیکران (Hashemabad Bikaran)	<u>0.96</u>	<u>0.86</u>	<u>0.98</u>	<u>0.98</u>	<u>1.09</u>	<u>1.17</u>	100
درصد روند در دوره تداوم‌های مختلف Percentage of trends in different continuity periods	41.67	41.67	41.67	41.67	41.67	41.67	

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش، در سطح بالایی با واقعیت‌های بیان شده در سطح شمال غرب ایران انطباق دارد از جمله: در مطالعه‌ای که روند جریان‌های رودخانه‌ای را در استان اردبیل بررسی کردند روند کاهشی معنی داری در تمام ایستگاه‌ها نشان داده شد و علت معنی دار نشدن روند کاهشی در فصل تابستان را فقدان جریان آب در رودخانه‌های استان در بیشتر اوقات دانسته‌اند که با نتایج حاصل از آزمون من-کندال مطابقت دارد [۱۵]. نتایج به دست آمده از آزمون‌های شناسایی روند در حوزه دریاچه نمک، حاکی از وجود روند کاهشی محسوس در

پژوهش حاضر به منظور ارائه راهکارهایی جهت برنامه‌ریزی بهتر در مورد میزان جریان کمینه چه در شمال غرب و چه در سطح کشور صورت گرفته است. نتایج به دست آمده نشان داد که آزمون من-کندال روند کاهشی و دو آزمون پتیت و فن‌نویمن روند افزایشی را دارا هستند که می‌تواند ناشی از تغییر رژیم بارش و کاهش جریان آب باشد. با مروری بر تحقیقات و مقایسه نتایج آن‌ها با یافته‌های این پژوهش، می‌توان دریافت که تحلیل‌های صورت گرفته در این

توجه به افت سطح آبخوان‌های حوضه دریاچه ارومیه، اهمیت مؤلفه‌های کمینه جریان رودخانه‌ها در برنامه‌های سیاست‌گذاری تغذیه آبخوان‌ها بایستی مورد توجه ویژه قرار گیرد. علاوه بر این تداوم دوره‌های جریان کمینه، پوشش گیاهی، تنوع و پراکنش آن‌ها و همچنین حیات موجودات آبرزی را نیز تحت تأثیر قرار داده و در درازمدت سبب تغییرات مخرب در اکوسیستم‌های این مناطق می‌گردد. از این‌رو بایستی تأمین حداقل مقادیر دبی رودخانه‌ها در رأس برنامه‌ریزی‌های مدیریتی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه قرار گیرد.

منابع

1. Afsharypour, Z. Abdolhosseini, M. and Bahreman, R. 2016. Evaluation of hydrological design of dam spillway using copula based bivariate return periods (Case study: Golestan 2 dam, Golestan Province). Master Dissertation. Faculty of Natural Resources. Gorgan university, 141 pages. (In Persian)
2. Amini, H. Esmali Ouri, A. Mostafazadeh, R. Sharari, M. and Zabihi, M. 2019. Estimation of monthly low flow rates during different return periods in rivers of ardabil province. Journal of extension and development of watershed management 7(24), 37-45. (In Persian)
3. Barker, L.J. Hannaford, J. Chiverton, A. and Svensson, C. 2016. From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. Hydrology and Earth System Sciences. 20(6): 2483-2505.
4. Chen, H. Guo, S. Xu, C. Y. and Singh, V.P. 2007. Historical Temporal Trends of Hydro-Climatic Variables and Runoff Response to Climate Variability and Their Relevance in Water Resource Management in the Hanjiang Basin. Hydrology. 344(5): 171-184.
5. Dodangeh, S. Soltani, S. and Sarhadi, A. 2012. Trend assessment of extreme flows (low flow and flood) in Sefid-Roud Basin. Journal of Water and Soil Science 15(58), 215-230. (In Persian)
6. Foulon, É. Rousseau, A.N. and Gagnon, P. 2018. Development of a methodology to assess future trends in low flows at the watershed scale using solely climate data. Hydrology. 557(2): 774-790.
7. Gao, S. Liu ming, B. and Cheng, L. 2017. Derivation of low flow frequency distributions under human activities and its implications. Hydrology. 549(3): 294-300.

شاخص‌های فصلی منحنی تداوم جریان این حوضه بود. بطوری‌که شاخص‌های تابستانه روند کاهشی شدیدتری نسبت به جریان زمستانه نشان دادند. توزیع مکانی روند شناسایی شده نیز نشان داد؛ بجز بخش‌های شمال شرقی حوضه، در سایر بخش‌ها روند کاهشی، الگوی غالب بوده و از توزیع یکنواختی در این مناطق برخوردار است. بر پایه‌ی یافته‌های این پژوهش وجود روند کاهشی در مقادیر جریان کمینه در اکثر بخش‌های حوضه نشان‌دهنده‌ی عدم تأمین دبی پایه رودخانه‌ها می‌باشد. تشدید مصرف و برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی، تغذیه واداری در نتیجه افت سطح آبخوان‌ها و همچنین تغییر در رژیم‌های بارشی حوضه از جمله دلایل احتمالی روند کاهشی جریان کمینه فصلی به شمار می‌آیند [۲۳] که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. در مطالعه‌ی دیگر به بررسی تغییرات زمانی مقادیر جریان کمینه و ارتباط آن با متغیرهای اقلیمی در حوضه کرخه پرداختند. آن‌ها بیان داشتند روندهای کاهشی و افزایشی مشاهده شده در مقادیر جریان کمینه می‌تواند با رژیم بارشی حوضه مرتبط باشد اگرچه پارامترهای دیگری نیز می‌تواند در این امر دخیل باشند. [۱۷]. روند هیدرو- اقلیم در حوزه نیل در آفریقا بررسی شد و برای تحلیل روند از داده‌های بارش، دما و جریان رودخانه از روش‌های آماری من- کندال و آزمون پتیت استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که داده‌های دما و جریان رودخانه‌ها دارای روند و نقاط جهشی می‌باشد ولی داده‌های بارش روند معنی‌داری را نشان ندادند [۱۳ و ۲۴].

مناطق خشک و نیمه‌خشک به محیط‌هایی با محدودیت منابع آبی شناخته می‌شوند که در حدود نیمی از وسعت جهان را به خود اختصاص داده‌اند. تغییر در میزان آب در دسترس در این محیط‌های حساس و شکننده می‌تواند پیامدهای جدی در پایداری آن‌ها داشته باشد. افزایش جمعیت و محدودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی، مدیریت بهینه در بهره‌برداری از منابع آب را به یک امر ضروری تبدیل نموده است، بنابراین در مدیریت یکپارچه منابع آب، نیاز به برآورد جریان کمینه در هر نقطه از رودخانه می‌تواند حائز اهمیت باشد. در مطالعه حاضر نتایج حاکی از آن است که برای تمام ایستگاه‌هایی که دارای روند معنی‌دار هستند آزمون من- کندال روندی کاهشی و آزمون پتیت و فن نویمن روندی افزایشی نشان می‌دهند. بر پایه‌ی یافته‌های این پژوهش وجود روند کاهشی در مقادیر جریان کمینه در آزمون من- کندال، نشان‌دهنده عدم تأمین دبی پایه رودخانه‌ها می‌باشد. افزایش برداشت و مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی و تغییر در رژیم‌های بارشی حوضه از جمله دلایل احتمالی روند کاهشی جریان کمینه به شمار می‌آیند. بطور کلی، جریان‌های کمینه از پیچیده‌ترین شاخص‌های جریان محسوب می‌گردند که تحت تأثیر عوامل متنوع اقلیمی، هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی می‌باشند. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بخش اعظم تغذیه آبخوان‌ها از بستر رودخانه‌های موقتی صورت می‌گیرد، بنابراین تداوم دوره‌های جریان کمینه می‌تواند تأثیر بسزایی در تغذیه آن‌ها داشته باشد. با

16. Lingtong, G. Nunes, P. Jantiene, E.M. Baartman, H. Zhang, F. Wang, A. Roo, J. and Ritsema, V. 2019. Assessing the impact of human interventions on floods and low flows in the Wei River Basin in China using the LISFLOOD model. *Science of the Total Environment* 1077-1094.
17. Masih, I. Uhlenbrook, S. Maskey, S. and Smakhtin, V. 2011. Streamflow trends and climate linkages in the Zagros Mountains, Iran. *Climatic Change* .104(2):317-338.
18. Masoudian, S.a. and Darand, M. 2015. Review the trend of frosty days in Iran. *Journal of Geography and development Iran* 13(39), 49-60.(In Persian)
19. Modaresi, F. Araghi Nejad, Sh. Ebrahimi, Q. and Khalghi, M. 2019. Regional study of climate change phenomenon using statistical tests Case study: Gorganrood-Qarahsu watershed. *Journal of Water and soil* 24(3), 476-489.(In Persian)
20. Nazeri-Tahroudi, M. Ahmadi, F. and Khalili, K. 2018. Impact of 30 Years Changing of River Flow on Urmia Lake Basin. *AUT J. Civil Eng.* 2(1): 115-122.
21. Nosrati, K. and Shahbazi, A. Low flow estimation using hybrid method in northeast of Iran. *Journal of Iranian natural resources* 60(3), 829-841.(In Persian)
22. Shamaeizadeh, M. and Soltani, S. 2015. Regional frequency analysis of low flow in northern Karoon watershed. *Journal of Water and Soil Science* 18(70). (In Persian)
23. Sheikh, Z. and Moghaddam Nia, A.R. 2019. Spatio-temporal changes evaluation of flow duration curve seasonal indexes (FDCSI) during four decades in Namak lake basin. *Journal of Iran water resources research* 15(2), 39-56.(In Persian)
24. Tekleab, D. Mohamed, Y. and Uhlenbrook, S. 2013. Hydro-climatic trends in the Abay/Upper Blue Nile basin Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 61(2): 32-42.
8. Ghermez Cheshmeh, B. Mahdi Pour, A. and Heidari Zadeh, M. 2009. Investigation of minimum flows from tributaries to the outlet of Karkheh River in order to manage water resources. 10th National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction.(In Persian)
9. Ghobadi, F. Saghafian, B. and Araghinejad, Sh. 2015. The drought threshold, a realistic water resources management measure for Urmia lake basin. *Journal of Association of water science and engineering* 10(3), 66-76.(In Persian)
10. Ghodoosi, M. Morid, S. and Delavar, m. 2013. Comparison of detrending methods for the temperature and precipitations time series. *Journal of Agricultural meteorology* 1(2), 32-45.(In Persian)
11. Grandry, M. Gailliez, S. Sohier, C. Verstraete, A. and Degre, A. 2013. A method for low-flow estimation at ungauged sites: a case study in Wallonia (Belgium). *hydrology and earth system sciences*. 17(1): 1319-1330.
12. Jahanbakhsh, S. Sari sarraf, B. Ghafouri Roozbahani, M. and Rahmani Bandarabadi, S. 2016. The spatio-temporal analysis of low flow in Karkheh drainage basin. *Journal of Watershed engineering and management* 8(1), 55 - 67.(In Persian)
13. Jie, Yang. Yimin, Wang. Jun, Yao. Jianxia, Chang. Guoxin, Xu. Xin, Wang. and Hui, Hu. 2020. Coincidence probability analysis of hydrologic low-flow under the changing environment in the Wei River Basin. *Natural hazards*. 15(2): 232-248.
14. Karpouzou, D. K. Kavalieratou, S. and Babajimopoulos, C. 2010. Nonparametric trend analysis of precipitation data in Pieria Region (Greece). *European Water*. 30(2): 31-40.
15. Kazemzadeh, M. Malekian, A. and Rasoulzadeh, A. 2013. Analysis of river flow trends using parametric and non-parametric statistical approaches in Ardabil province. *Journal of Researches in earth sciences* 4(3), 51-63.(In Persian)

Investigating the Trend of Low Discharge Changes with Different Durations in Northwestern Iran

S. Moradi¹ and A Malekian²

Received: 30-09-2020 Accepted: 19-02-2021

Abstract

Climate change along with human interventions has changed natural hydrological cycle and consequently the need for more water resources, timely supply of water needs has faced serious challenges. Estimation of basal flow index has been one of the important issues in hydrology. In order to analyze the minimum flows in this study, 12 hydrometric stations with a statistical period of 30 years in northwestern Iran were selected due to the presence of Lake Urmia and then the annual minimum flow series were calculated with durations of 3, 5, 7, 15 and 30 days. Based on the goodness-of-fit test of Kolmogorov-Smirnov, among the various distributions of the Wakeby distribution and based on Mann-Kendall test 66.67 Percent have a decreasing trend of minimum flow, based on Pettitt 75 Percent of the studied stations have an increasing trend of minimum flow and according to Phenomenon test, 41.67 Percent of the stations have a minimum increasing trend of 95 Percent with different continuities. The results can be useful for having an accurate plan for the amount of water consumed and sustainable management of water resources in arid and semi-arid regions.

Keywords: Mann-Kendall, Low flow, Pettitt, Trend analysis, Urmia lake basin

1. Master student, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran
2. Corresponding Author and Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, Email: malekian@ut.ac.ir