

مقاله پژوهشی

بررسی روند شاخص‌های دبی کم جریان در رودخانه‌های منتخب استان لرستان

یعقوب دین پژوه*^۱، پگاه حیدری^۲، سعید صمدیان فرد^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۷

۱-دانشیارگروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۳-استادیارگروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: dinpashoh@yahoo.com

چکیده

مطالعه روند شاخص‌های کم آبی در مدیریت بهینه منابع آب اهمیت فراوانی دارد. در این مطالعه، روند دو شاخص کم آبی (چندک‌های ۵ و ۱۰ درصد) برای رودخانه‌های قلیان، سرخاب، آب‌سبزه، دره‌تخت، کمندان، کاکاشرف، سراب‌سفید و گله‌رود در استان لرستان تحلیل شده است. بدین‌منظور از داده‌های دبی کم آبی ایستگاه‌های منتخب در دوره‌های آماری متفاوت از ۲۶ تا ۶۲ سال استفاده گردید. روند هر کدام از سری‌های کم آبی با روش من-کندال مرسوم (نوع یک) و نوع دو، پس از حذف اثر ضریب خودهمبستگی مرتبه یک معنی‌دار تحلیل شد. همچنین شیب خط روند در هر یک از ایستگاه‌های آب‌سنجی با استفاده از روش تخمین‌گر سن بدست آمد. نتایج نشان داد که مقادیر دبی کم آبی رودخانه قلیان و رودخانه گله‌رود، به ترتیب، در ایستگاه‌های سکانه‌نهایی و ونایی، با داشتن مقدار آماره Z برابر با $-۴/۷۶$ و $-۳/۹۸$ روند نزولی معنی‌دار در سطح یک درصد داشتند. نتایج نشان داد که روند دبی‌های کم آبی چندک‌های ۵ و ۱۰ درصد رودخانه آب‌سبزه (در ایستگاه چم‌چیت) به ترتیب دارای مقدار آماره Z برابر با $۴/۵۲$ و $۴/۴۶$ (معنی‌دار در سطح ۱٪) بود. روند دبی‌های کم آبی سایر ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. تحلیل روند ایستگاه‌های با دوره آماری مشترک نشان داد که تغییرات روند دبی‌های کم آبی در رودخانه‌های استان لرستان مشابه یکدیگر نیستند.

واژه‌های کلیدی: تخمین‌گر سن، دبی کم آبی، لرستان، من-کندال

Trends in Low Flows of the Selected Rivers in Lorestan Province

Y Dinpashoh^{*1}, P Heidari², S Samadianfard³

Received: August 17, 2019

Accepted: April 6, 2021

1- Assoc. Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

2- M.Sc student of Water Resources Engineering, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

3- Assist. Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

Corresponding Author, E-mail: dinpashoh@yahoo.com

Abstract

Background and Objectives

Detection of trends in streamflow characteristics such as low flows is so important in optimal water resources management. This is especially true in arid and semi-arid climates that water is vital for human being and all other living things. Lorestan province, located in the west part of Iran was considered as the study area. Daily mean streamflow data of hydrometric stations during the time period provided by Lorestan Regional Water Company located in Khorramabad city. Eight hydrometric stations selected for this purpose. The altitude of the chosen stations varied between 770 and 2050 m above the mean sea level. Literature review on this subject indicated that low flow trends in Lorestan province river has not been before studied. On the other hand, such a study is so important for better management of fresh water in the region, therefore, conducting this study seems to be necessary.

Methodology

In the first step of this study, flow duration curves (FDC) plotted for the stations. Two indices including the $Q_{0.05}$ and $Q_{0.10}$ were considered here as measures of low flows. The $Q_{0.05}$ index value extracted from the FDC as a five percent low flow quantile. This index shows that the streamflow discharge is less than that in five percent of the days in a year. In addition to $Q_{0.05}$ the second measure namely $Q_{0.10}$ is read from FDC of the selected sites. Therefore, for each site, these two indices were gathered during the used time period. Then, trends of the mentioned indices are analyzed using the Mann-Kendall method. In this regard the effect of serial correlations removed from the time series. Moreover, the slope of trend lines estimated using the Sen's estimator approach. Then the selected quantiles fitted for suitable statistical distributions. In this regard the well-known method namely Kolmogorov—Smirnov was used. The parameters of the selected distribution estimated using the maximum likelihood method. Finally, at each site the values of low flows corresponding to different return periods i.e. 2, 5, 10, 25 and 50 years were estimated. It is worthy to mention that the missing data are not reconstructed here, because the used approach (Mann-Kendall) is a non-parametric method and no need for reconstruction of the missed values.

Findings

Results showed that two stations namely Sokaneh-Nahaee and Cham-Chit had significant first-lag serial correlation for $Q_{0.10}$ time series. The other six sites had no significant serial correlation for this quantile. Furthermore, in the case of $Q_{0.05}$, three sites showed significant first-lag serial correlations. So, the modified Mann-Kendall method was used for these time series. This analysis indicated that the mentioned series auto-

correlation was significant in 5% level. The conventional MK method was used to detect trends in other time series which their serial correlations are not significant. Results showed that trends of $Q_{0.10}$ quantile series in four out of the eight hydrometric stations were downward and two of them were statistically significant at 1% level. The two others had no significant trends. At the same time the other sites showed upward trends in $Q_{0.10}$ series. However, among these series one station namely Cham-Chit had statistically upward trend at 1% level. Trends in the other three sites are not statistically significant. In the case of $Q_{0.05}$ series, the six out of the eight stations showed negative trends, in which two sites had statistically significant trends at 1% level. The names of these sites are Sokaneh-Nahae and Vanaee. In contrast, the two other time series showed positive trends, in which only one of them (namely Cham-Chit station) had statistically significant trend at 1% level. The trend line slopes of $Q_{0.10}$ quantile time series are ranged between -0.0844 (in Sokaneh-Nahae) and +0.12 (in Cham-Chit). However, in the case of $Q_{0.05}$, this range was between -0.0885 (in Sokaneh-Nahae) and +0.008 (in Cham-Chit station).

Conclusion

Some of the stations showed upward trends in low flows in Lorestan province rivers and some others showed downward trends. It is worthy to note that the time periods of the used data of the stations are not same. Although Masih et al. (2011) reported that the mean daily stream flows (i.e. $Q_{0.50}$ or 50th quantile also called median) of Zagros Mountain rivers had downward trends. Investigation of sites location indicated that no obvious pattern in trends of low flows existed in the area under studied. This is true for both two low flow indices (i.e. $Q_{0.05}$ and $Q_{0.10}$) used for hydrometric stations. The findings of this study would be helpful in better management of surface water in Lorestan province.

Keywords: Sen's estimator, Low flow, Lorestan, Mann-Kendall, Auto-correlation

مقدمه

نتیجه ضررهای مالی قابل توجهی به بار آورد (کورموس و همکاران ۲۰۱۶).

از مشخصه‌های مهم جریان رودخانه‌ها، می‌توان به میانگین دبی روزانه و مقادیر دبی کم‌آبی در طول سال اشاره کرد. روند تغییرات میانگین دبی روزانه در تعدادی از رودخانه های استان آذربایجان شرقی مطالعه شده است (قزل‌سفلو و همکاران ۲۰۱۲). با این حال، روند دبی‌های کم‌آبی در ایران کمتر مورد توجه واقع شده است. دبی‌های کم‌آبی را می‌توان با محاسبه چندک‌های $Q_{0.05}$ و یا $Q_{0.1}$ در هر سال تخمین زد. این دبی‌ها از سالی به سال دیگر تغییر می‌کنند. هرگونه تغییر، می‌تواند به افزایش گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن گرم شدن جو زمین و دیگر فعالیت‌ها از جمله جنگل-زدایی، بیابان‌زایی و تغییر کاربری اراضی نسبت داده شود. در گذشته، این موضوع توجه بسیاری از

در خشکسالی هیدرولوژیکی معمولاً دبی جریان رودخانه‌ها و به تبع آن دبی‌های کم‌آبی^۱ کاهش می‌یابد، که اغلب ناشی از کمبود بارش است. کاهش در دبی کم‌آبی بر روی برنامه‌ریزی و طراحی پروژه‌های آبرسانی تأثیر می‌گذارد (گین و همکاران ۲۰۱۱). کاهش دبی کم‌آبی تأثیر منفی بر اکوسیستم‌های آبی، کشاورزی، تامین آب شرب و صنعت دارد. کاهش در دبی کم‌آبی ممکن است معلول کاهش بارش، افزایش دما و تبخیر-تعرق، افزایش برداشت از رودخانه‌ها، کاهش ذخیره آب و برف در بلندی‌های حوضه‌های آبریز باشد. ترکیبی از این عوامل ممکن است منجر به تشدید کاهش در دبی کم‌آبی شود که می‌تواند محدودیت‌هایی را برای تقاضای آب ایجاد کند و در

^۱- Low Flow Discharge

۲۰۰۰ و در فصول زمستان و تابستان مورد بررسی قرار دادند. گوتسچالک و همکاران (۲۰۱۳) شرایط جریان‌های کم‌آبی در شرق ایالات متحده را مورد ارزیابی قرار دادند. در اروپا اثر افزایش تعداد سدها روی دبی‌های کم در رودخانه‌های حوضه راین^۶ توسط تونگال و همکاران (۲۰۱۳) بررسی شد. کخ و مدیرو (۲۰۱۶) روند جریان‌های کم‌آبی (۲۰۰۹-۱۹۴۹) را با استفاده از داده‌های دبی روزانه ۶۰ ایستگاه در اسپانیا بررسی کردند. برای این کار از دو شاخص جریان کم-آبی شامل جریان حداقل سالانه (حاصل از میانگین متحرک هفت روزه) و چندک ۱۰٪ قرائت شده از منحنی تداوم جریان (FDC^۷) استفاده نمودند. در تحقیقی که توسط لی و همکاران (۲۰۱۷) صورت گرفت، معلوم شد که برخی از فعالیت‌های بشری مانند سدسازی، رژیم جریان رودخانه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تحلیل جریان‌های کم‌آبی در ایالت کبک^۸ کانادا با استفاده از چندک‌ها و شاخص‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است (رکونا و همکاران ۲۰۱۸). دین پژوه و همکاران (۲۰۱۹) اثرات تغییر اقلیم بر جریان‌های رودخانه‌های استان گیلان در دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۲ مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از روند نزولی اکثر ایستگاه‌ها در جریان‌های کم‌آبی بوده است.

در تحقیقی که با استفاده از داده‌های ۲۰ ایستگاه آب سنجی در نواحی کویری (در مرکز ایران) توسط کشتکار (۲۰۱۵) انجام شد، مقادیر دبی‌های کم‌آبی با روش گشتاورهای خطی ارزیابی شد. توزیع جریان‌های کم‌آبی رودخانه‌های استان مازندران با روش گشتاورهای خطی مورد مطالعه قرار گرفت (مدرس ۲۰۰۸). روند تغییرات دبی جریان در ۱۳ ایستگاه آب سنجی منتخب از حوضه آبریز کشف‌رود توسط وفاخواه (۲۰۱۲) مطالعه شد. نتایج وی نشان داد که تغییرات دبی جریان در دو ایستگاه، فاقد روند معنی‌دار

دانشمندان را به خود جلب کرده است (یو و یانگ ۲۰۰۴، ووگل و کرول ۱۹۹۱، کرول و همکاران ۲۰۰۴، تیان و همکاران ۲۰۱۹، آهن و مرواد ۲۰۱۷، هنافورد و مارش ۲۰۰۶، داگلاس و همکاران ۲۰۰۰).

مقادیر دبی‌های کم‌آبی متأثر از عوامل اقلیمی و فعالیت‌های بشری می‌باشند و در سال‌های اخیر، مطالعه روند آنها موضوع تحقیقات بسیاری از هیدرولوژیست‌ها بوده است. دویت و همکاران (۲۰۰۷) اثر تغییر اقلیم را روی تغییرات میانگین دبی حوضه رودخانه میوز^۲ با وسعت ۳۳۰۰۰ کیلومترمربع که بخش‌هایی از کشورهای فرانسه، لوکزامبورگ، بلژیک، آلمان و هلند را در بر می‌گیرد، مطالعه کردند. احسان‌زاده و آداموفسکی (۲۰۰۷) روند جریان‌های کم را با استفاده از روش من-کندال اصلاح شده بر روی ۵۷ ایستگاه آب‌سنجی در کشور کانادا بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که ۷۱ درصد از ایستگاه‌ها دارای روند نزولی و ۲۹ درصد ایستگاه‌ها دارای روند صعودی جریان‌های کم‌آبی هستند. همچنین ایشان نشان دادند که جریان‌های کم‌آبی در ایستگاه‌های با آمار طولانی‌تر، بیشتر وجود داشته است. انگلند و هیس‌دال (۲۰۰۹) تخمین جریان‌های کم‌آبی در ۲۱ حوضه واقع در جنوب غرب نروژ را مورد بررسی قرار داده‌اند. در شمال غرب ایتالیا، منطقه‌بندی براساس دبی‌های کم‌آبی و با استفاده از شاخص $Q_{0.95}$ توسط وزا و همکاران (۲۰۱۰) به انجام رسید. محققان بدین منظور، از روش رگرسیون خطی چند متغیره (MLR^۳) بهره گرفته و اثر احتمالی تغییر اقلیم را روی پارامترهای موثر بر دبی جریان تحلیل نمودند. این روش، توسط جعفری و همکاران (۲۰۱۶) تشریح شده است. آسانی و همکاران (۲۰۱۱) در ۱۸ رودخانه واقع در حوضه سنت لارنس^۴ ایالت کبک^۵ کانادا، مقادیر جریان‌های کم‌آبی ۷ روزه را طی سال‌های ۱۹۳۴ تا

2- Meuze

3- Multiple Linear Regression

4- Sent Laurence

5- Kebec

6- Riyeen

7- Flow Duration Curve

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان لرستان است که در حد فاصل طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی قرار دارد. وسعت استان حدود ۲۸۵۵۹ کیلومتر مربع است. این استان از شمال به استان‌های مرکزی و همدان، از جنوب به خوزستان، از شرق به اصفهان و از غرب به استان‌های کرمانشاه و ایلام محدود است. استان لرستان از معدود استان‌های کشور می‌باشد که از منابع آب سطحی غنی برخوردار است. داده‌های شامل میانگین دبی‌های جریان روزانه در هشت ایستگاه آب‌سنجی استان لرستان بود که از شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان اخذ گردید. معیار انتخاب ایستگاه‌ها داشتن داده کافی (حداقل به مدت ۲۶ سال) بصورت روزانه و از طرف دیگر، نبودن سد (یا مخزن) در بالادست ایستگاه‌ها بوده است. کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از رسم نمودار سری زمانی برای شناسایی داده‌های پرت مورد بررسی قرار گرفت و برای پر کردن داده‌های گمشده، از روش ایجاد رگرسیون خطی ساده با اطلاعات ایستگاه همسایه استفاده شد. جدول ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های آب سنجی منتخب استان لرستان و شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های آب سنجی را نشان می‌دهد.

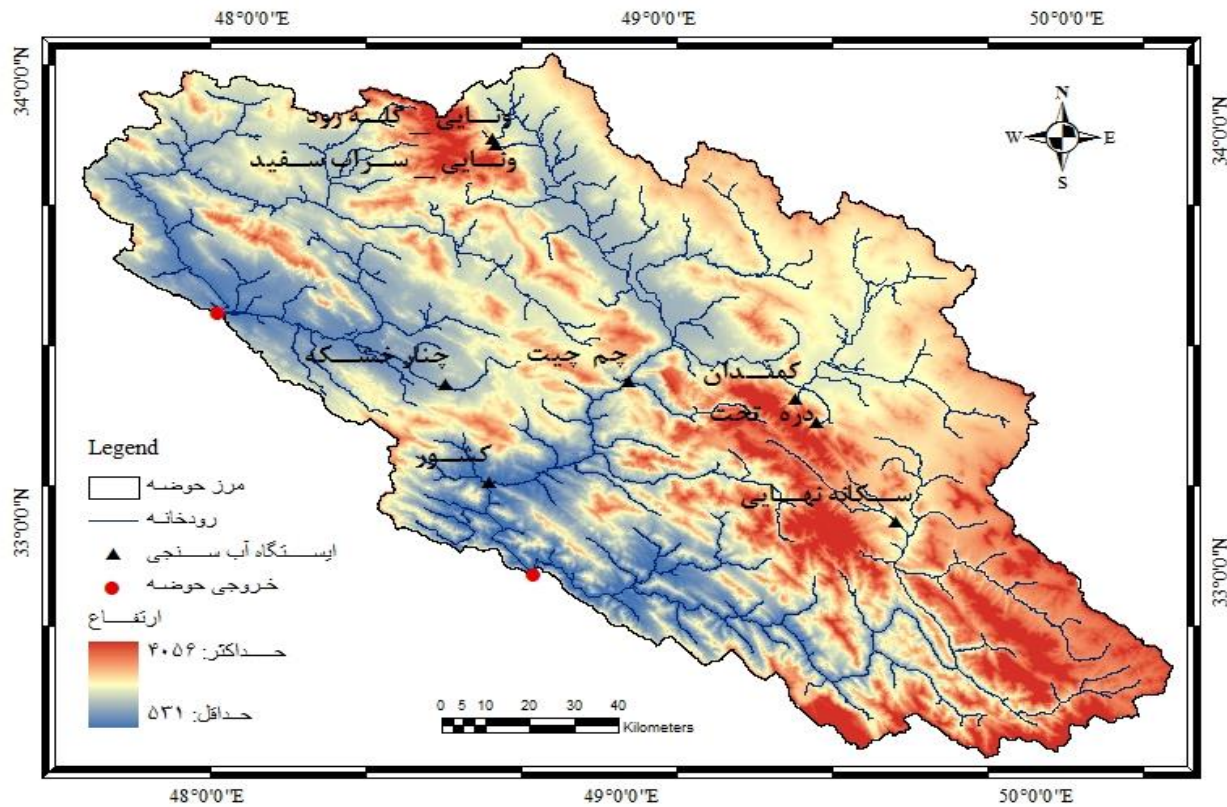
بوده، ولی در مابقی ایستگاه‌ها روند کاهشی بر دبی جریان حکم‌فرما بود. اثر تغییر اقلیم روی دبی‌های کم-آبی رودخانه‌های جاری در سپیددشت سزار (بخشی از حوضه کارون) بررسی گردید (مزین و همکاران ۲۰۱۵). نتایج نشان داد که مقادیر دبی‌های کم‌آبی (چندک $Q_{0.95}$) حدود ۴۰٪ نسبت به ابتدای دوره آماری کاهش یافته است. قیصوری و همکاران (۲۰۱۸) روند تغییرات پارامترهای اقلیمی بر جریان حوضه آبریز گدارخوش را با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار داده‌اند. کنعانی و همکاران (۲۰۱۸) تحلیل روند جریان در ایستگاه‌های رودخانه لیقوان واقع در استان آذربایجان شرقی را با استفاده از روش من-کندال انجام داده‌اند. شیخ و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات زمانی-مکانی خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه دریاچه نمک را بر پایه شاخص‌های فصلی منحنی تداوم جریان (FDCSI) بررسی کردند.

به‌طوری که از بررسی پیشینه پژوهش برمی‌آید، روند شاخص‌های دبی کم جریان رودخانه‌های استان لرستان مورد بررسی قرار نگرفته است و از سویی با توجه به اهمیت موضوع، در مدیریت بهینه عرضه و تقاضا برای آب شیرین استان (به‌ویژه در اوقات کم‌آبی) انجام چنین مطالعه‌ای ضروری بنظر می‌رسد. بنابراین، هدف مطالعه حاضر، استفاده از روش شیب سن و من-کندال نوع یک و دو و تعیین روند تغییرات جریان‌های کم‌آبی شامل: چندک $Q_{0.05}$ ، چندک $Q_{0.1}$ در هشت رودخانه (قلیان، سرخاب، آب‌سبزه، دره‌تخت، کمندان، کاکاشرف، سراب‌سفید و گله‌رود) در استان لرستان می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های آب سنجی منتخب در استان لرستان.

ردیف	رودخانه	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	دوره آماری	میانگین دبی سالانه ($m^3 s^{-1}$)	حداکثر دبی سالانه ($m^3 s^{-1}$)	حداقل دبی سالانه ($m^3 s^{-1}$)
۱	قلیان	سکانه نهایی	۴۹ ۳۷ ۵۱	۳۳ ۰۵ ۰۰	۱۷۵۰	۱۳۶۱-۱۳۹۵	۹/۳۶۱	۲۳۶	۰/۰۱
۲	سرخاب	کشور	۴۸ ۳۸ ۱۷	۳۳ ۰۸ ۰۸	۷۷۰	۱۳۴۲-۱۳۹۵	۵/۵۷۹	۴۳۲	۰/۰۱۵
۳	آب سبزه	چم چیت	۴۸ ۵۷ ۵۷	۳۳ ۲۲ ۴۲	۱۲۹۰	۱۳۳۴-۱۳۹۵	۷/۱۹۹	۶۲/۵	۲/۵
۴	دره تخت	دره تخت	۴۹ ۲۲ ۲۳	۳۳ ۲۱ ۱۴	۱۹۴۰	۱۳۳۴-۱۳۹۵	۱/۵۳۲	۶۲	۰/۰۰۶

۰/۰۸	۱۹/۲	۱/۴۷۴	۱۳۴۶-۱۳۹۵	۲۰۵۰	۳۳ ۱۸ ۱۴	۴۹ ۲۵ ۳۶	کمندان	کمندان	۵
۰/۰۱	۷۸/۱۶	۱/۱۵۳	۱۳۷۰-۱۳۹۵	۱۴۲۰	۳۳ ۲۱ ۱۷	۴۸ ۳۱ ۰۰	چنارخشکه	کاکاشرف	۶
۰/۶۳۸	۱۸/۱	۱/۷۴۵	۱۳۵۲-۱۳۹۵	۱۹۷۰	۳۳ ۵۴ ۵۱	۴۸ ۳۵ ۵۴	ونایی	سراب سفید	۷
۰/۱۸	۳۷/۱۲	۲/۱۵۴	۱۳۴۸-۱۳۹۵	۱۹۷۰	۳۳ ۵۴ ۰۷	۴۸ ۳۶ ۲۳	ونایی	گله رود	۸



شکل ۱- نقشه DEM منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی منتخب.

روش‌های مورد استفاده

منحنی تداوم جریان (FDC) نشان دهنده درصدی از روزهای سال است که دبی جریان رودخانه از مقدار معینی بیشتر است (ووگل و فنسی ۱۹۹۰). برای رسم منحنی‌های FDC در ایستگاه‌های منتخب، داده‌های دبی روزانه ثبت شده (در کل طول دوره آماری یا یک سال معین بسته به هدف) به صورت نزولی مرتب شدند. در دستگاه مختصات دکارتی، محور افقی به درصد اوقات (یا درصد روزهای دوره یا یکسال) و محور قائم به دبی‌های مرتب شده نسبت داده شدند و منحنی‌های FDC به طور جداگانه در هر سال برای

ایستگاه‌های مختلف رسم گردید. آنگاه ۵٪ داده‌ها از پایین در نظر گرفته شد و عدد نظیر آن به عنوان دبی کم‌آبی (که فقط در ۵٪ اوقات سال دبی از آن کمتر است) به عنوان چندک $Q_{0.05}$ در آن سال لحاظ شد. به همین ترتیب چندک $Q_{0.1}$ نیز با در نظر گرفتن ۱۰٪ داده‌های مرتب شده از پایین بدست آمد و عدد نظیر آن، به عنوان دبی کم‌آبی که در ۱۰٪ اوقات سال، دبی از آن کمتر است به عنوان چندک $Q_{0.1}$ لحاظ گردید. به این ترتیب به تعداد سال‌های آماری در هر ایستگاه دو سری نظیر کمیت‌های $Q_{0.05}$ و $Q_{0.1}$ حاصل شدند. در اینجا، منظور از $Q_{0.05}$ مقدار دبی جریان در رودخانه، که در

این روش در ایران در مطالعات متعدد از جمله میرعباسی و دین پژوه (۲۰۱۳) مورد استفاده واقع شده است. در این روش Γ_1 از رابطه زیر بدست آمد:

$$r_1 = \frac{\left(\frac{1}{(n-1)}\right) \sum_{t=1}^{n-1} [X_t - E(X_t)][X_{t+1} - E(X_{t+1})]}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [X_t - E(X_t)]^2} \quad [2]$$

$$E(X_t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t \quad [3]$$

در فرمول‌های فوق X_t داده‌های مشاهداتی در زمان t ، X_{t+1} داده‌های مشاهداتی در زمان $t+1$ ، $E(X_t)$ میانگین داده‌های مشاهداتی، n تعداد داده‌های مشاهداتی می‌باشد. معنی داری Γ_1 آزمایش شد. در صورت معنی‌دار بودن آن (در سطح ۱۰٪) سری جدید بشرح زیر بدست آمد:

$$Y_t = X_t - r_1 X_{t-1} \quad [4]$$

آنگاه سری جدید دیگری بصورت زیر حاصل شد:

$$y_i = Y_i + (\beta \times i) \quad [5]$$

که در آن، Y_i از (ϵ) و β از (۱) بدست آمد. به سری جدید y_i آزمون MK1 اعمال گردید و معنی‌داری روند آزمایش شد. پس از آن، مقادیر $Q_{0.05}$ و $Q_{0.1}$ مورد تحلیل فراوانی واقع شدند. برای این منظور، سری نظیر داده‌های مربوط به $Q_{0.05}$ و $Q_{0.1}$ با توزیع‌های آماری رایج در هیدرولوژی برآزش داده شده و مناسب‌ترین آن با آماره کلموگروف-اسمیرنوف انتخاب گردید و پارامترهای توزیع با روش حداکثر راست نمایی انتخاب گردید. آنگاه مقادیر $Q_{0.05}$ و $Q_{0.1}$ در هر ایستگاه به ازای دوره‌های برگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال تخمین زده شدند.

نتایج و بحث

شکل ۲ منحنی‌های FDC را برای هشت ایستگاه آب سنجی منتخب نشان می‌دهد. در شکل، محور قائم مقیاس لگاریتمی و محور افقی با مقیاس طبیعی در نظر گرفته شده است. این منحنی‌ها به نوعی نشان دهنده

۹۵٪ اوقات سال دبی جریان بیشتر از آن و در ۵٪ اوقات کمتر از آن است، می‌باشد. مقادیر شاخص‌های مذکور در هر سال برای هر یک از ایستگاه‌های منتخب به‌دست آمد و مورد تحلیل روند قرار گرفت.

روش من-کندال مرسوم (MK1)

آزمون غیرپارامتری من-کندال به‌صورت گسترده برای ارزیابی روند در داده‌های سری زمانی پارامترهای آب و هواشناسی استفاده می‌شود. در آزمون من-کندال هر مقدار در سری زمانی، پیوسته و پشت‌سرهم با بقیه مقادیر سری‌زمانی مقایسه می‌شود (کندال ۱۹۴۸، من ۱۹۴۵). این روش ناپارامتری بوده و نیازی به بازسازی داده‌های گم‌شده ندارد. ضمناً به داده‌های پرت حساسیت نداشته و لازم نیست که داده‌ها از توزیع آماری خاص تبعیت کنند (قزل‌سفلو و همکاران ۲۰۱۲). اگر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول داده‌ها که با r_1 نشان داده می‌شود، معنی‌دار نباشد، از این روش می‌توان استفاده کرد. در غیر این‌صورت، باید از ویرایش اصلاح شده آن استفاده گردد.

یک روش مفید برای تخمین شیب خط روند، روش تخمین‌گر Sen می‌باشد. مقدار شیب خط روند از رابطه زیر برآورد شد:

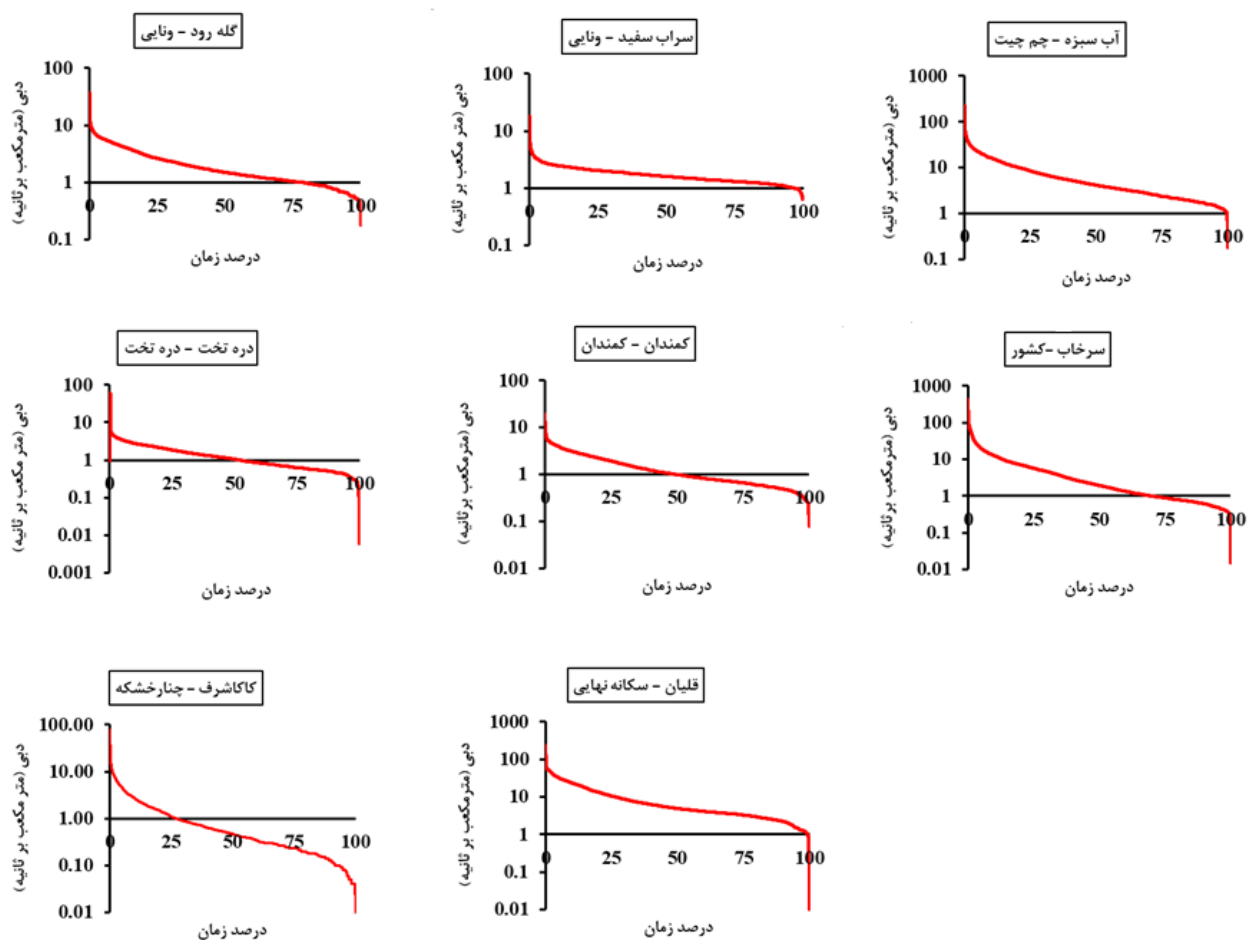
$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_j - x_l}{j - l} \right) \quad \forall l < j \quad [6]$$

که در آن، x_j و x_l مقادیر داده‌ها به ترتیب در زمان‌های j و l ($j > l$) می‌باشد. نماد Median () نیز در واقع میانه مقادیر مشاهداتی می‌باشد. مقادیر مثبت و منفی این آماره بترتیب، نشان دهنده روند افزایشی و کاهش‌ی است.

روش من-کندال اصلاح شده (MK2)

کم دبی رودخانه در طول سال می‌باشد. برعکس، هرچقدر این منحنی دارای شیب تند باشد، دبی جریان از نوسانات زیادی برخوردار است. بنابراین، قابلیت اطمینان برداشت از آب رودخانه برای نیازها کاهش می‌یابد.

فرم تابع احتمال تراکمی جریان رودخانه نیز هستند. علت اینکه محور قائم به صورت لگاریتمی رسم شده است این است که نوسانات دبی کم‌آبی دارای دامنه تغییرات زیادی است. در شکل‌های مذکور، هرچه منحنی FDC به خط افقی شباهت داشته باشد، حاکی از تغییرات



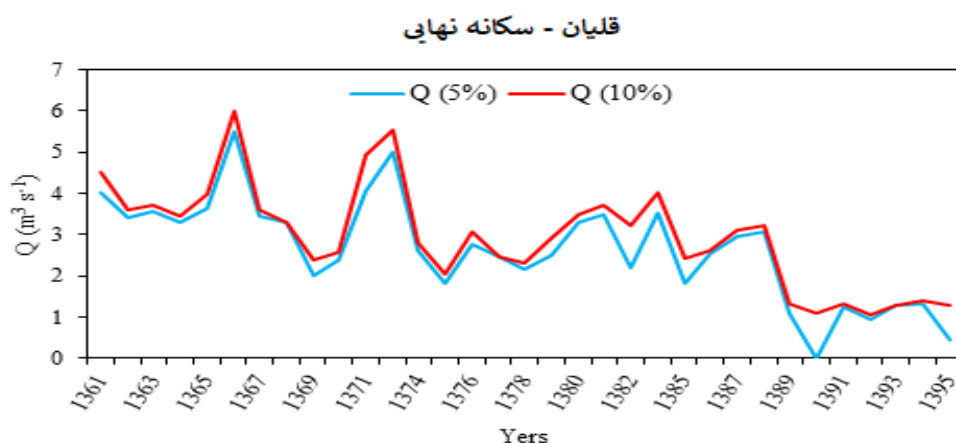
شکل ۲- منحنی‌های تداوم جریان (FDC) برای ایستگاه‌های مربوط به رودخانه‌های منتخب در منطقه مورد مطالعه.

مختلف کم‌آبی، مانند چندک‌های پنج و ده درصد با همدیگر همبسته‌اند، این واقعیت را می‌توان به آسانی از شباهت نمودارهای رسم شده برای سری‌های زمانی چندک‌های پنج و ده درصد در شکل‌های ۳ و ۴ ایستگاه سکانه نهایی و ونایی (گله‌رود) مشاهده کرد. شکل ۴ نیز نمودار سری زمانی چندک‌های ده و پنج درصد را برای رودخانه آب‌سبزه در ایستگاه چم‌چیت (۱۳۹۵-۱۳۳۴) نشان می‌دهد. برخلاف ایستگاه سکانه‌نهایی، در این

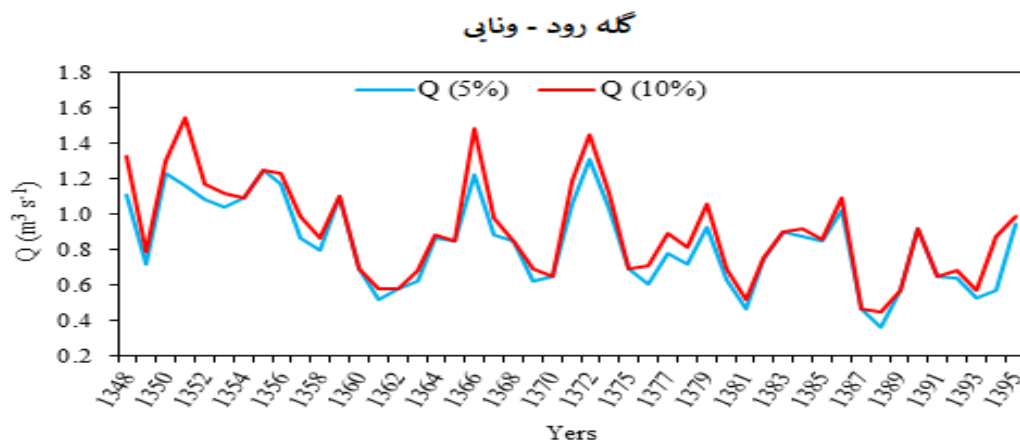
شکل‌های ۳ و ۴ نمودار سری زمانی چندک‌های ده و پنج درصد، به ترتیب برای رودخانه قلیان (در ایستگاه سکانه نهایی) و رودخانه گله‌رود (در ایستگاه ونایی) به ترتیب در دوره‌های ۱۳۶۱-۱۳۹۵ و ۱۳۴۸-۱۳۹۵ را نشان می‌دهند. به طوری که از شکل برمی‌آید، علیرغم نوسانات دبی کم‌آبی، روند نزولی معنی‌دار (در سطح ۰/۰۱) به وضوح قابل مشاهده است. همان‌طور که در گزارش اسماختین (۲۰۰۱) اشاره شده، شاخص‌های

تغییرات اقلیمی روی دبی‌های کم‌آبی در رودخانه‌های مورد مطالعه می‌باشد. شکل ۶ نیز نوسانات میانگین دبی روزانه را در دو رودخانه شامل الف) آب سبزه (در چم‌چیت و دوره ۱۳۳۴-۱۳۹۵) و ب) قلیان (در سکانه نهایی و دوره ۱۳۶۱-۱۳۹۵) نشان می‌دهد.

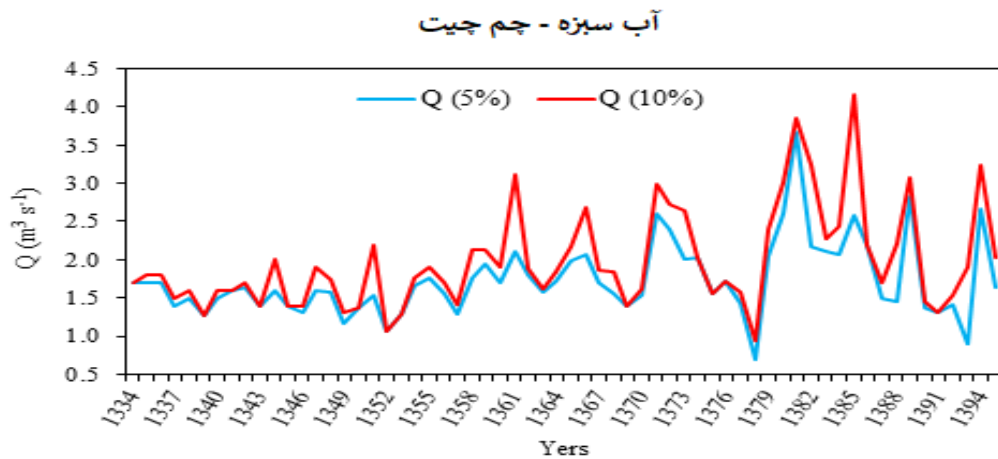
ایستگاه روند دبی‌های کم‌آبی صعودی و معنی‌دار (در سطح ۰/۰۱) بود به عبارت دیگر، شیب خط روند تغییرات چندک‌های مورد مطالعه در رودخانه آب‌سبزه (در ایستگاه چم‌چیت) صعودی است درحالی‌که این شیب در شکل ۳ برای رودخانه قلیان (در سکانه نهایی) نزولی است. این نتیجه حاکی از عدم تاثیر یکسان



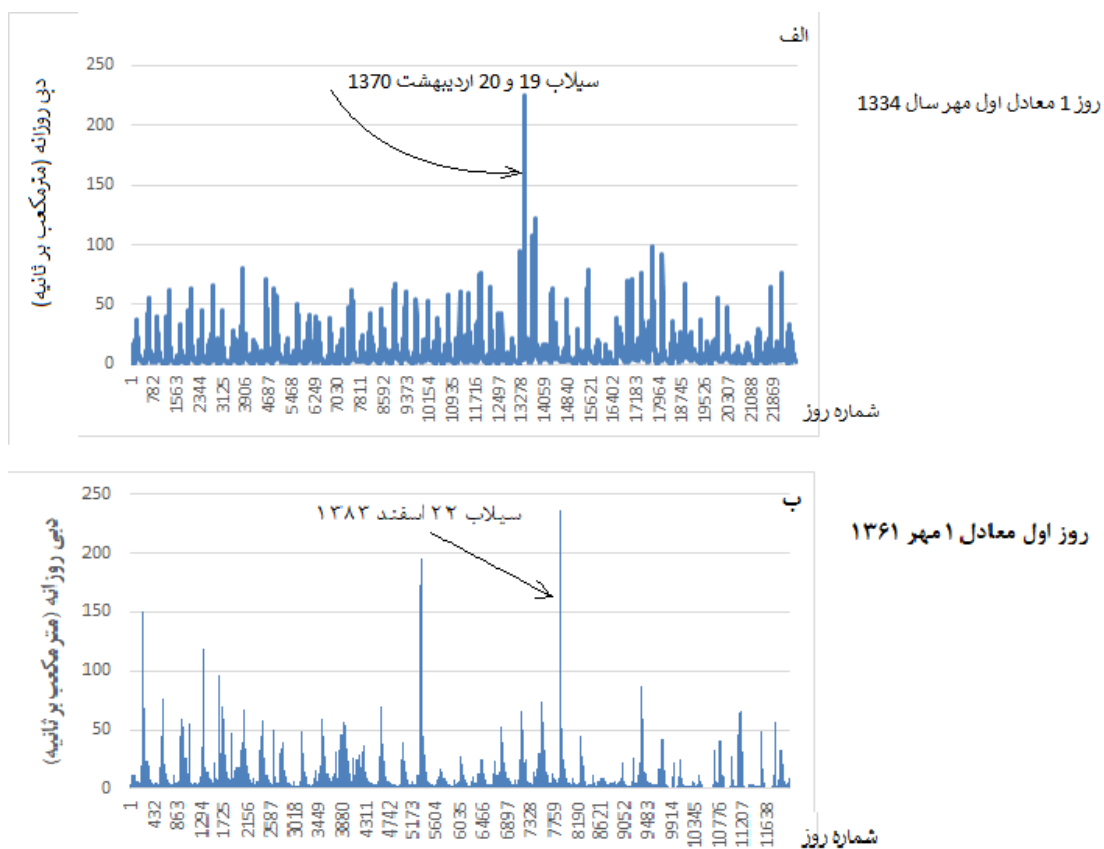
شکل ۳- نمودار سری زمانی نظیر دبی‌های کم‌آبی (چندک‌های ۵ و ۱۰ درصد) در رودخانه قلیان در محل ایستگاه آب سنجی سکانه نهایی در دوره آماری ۱۳۶۱-۱۳۹۵.



شکل ۴- نمودار سری زمانی نظیر دبی‌های کم‌آبی (چندک‌های ۵ و ۱۰ درصد) در رودخانه گله‌رود در محل ایستگاه آب سنجی ونایی در دوره آماری ۱۳۴۸-۱۳۹۵.



شکل ۵- نمودار سری زمانی نظیر دبی‌های کم‌آبی (چندک‌های ۵ و ۱۰ درصد) در رودخانه آب‌سبزه در محل ایستگاه آب سنجی چم‌چیت در دوره آماری ۱۳۳۴-۱۳۹۵.



شکل ۶- دو نمونه از هیدروگراف میانگین دبی روزانه در دو رودخانه شامل الف) آب سبزه در محل ایستگاه چم‌چیت در دوره آماری ۱۳۳۴-۱۳۹۵ و ب) قلیان در محل ایستگاه سکنه نهایی در دوره آماری ۱۳۶۱-۱۳۹۵.

ترتیب در رودخانه‌های قلیان، سرخاب، آب‌سبزه، دره-تخت، کمندان، کاکاشرف، سراب‌سفید و گله‌رود ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود آماره Z من-

در جدول ۲ نتایج محاسبات روند برای هشت ایستگاه سکنه‌نهایی، کشور، چم‌چیت، دره‌تخت، کمندان، چنارخشکه، ونایی (گله‌رود) و ونایی (سراب سفید) به

با $0/012$ و $0/008$ (m^3s^{-1}) افزایش یافته است. همچنین، آماره Z من-کندال برای رودخانه دره‌تخت درخصوص سری $Q_{0.1}$ برابر با $1/22$ حاصل شد. این آماره برای $Q_{0.05}$ در همان رودخانه معادل $0/641$ می‌باشد که چون قدرمطلق آن‌ها کمتر از $1/645$ می‌باشد، بنابراین روند دبی‌های کم‌آبی در رودخانه آب‌سبزه حتی در سطح 10% معنی‌دار نیست. در همین رودخانه شیب خط روند برای $Q_{0.1}$ برابر با $0/014$ ($m^3s^{-1}y^{-1}$) بدست آمد. در حالیکه برای $Q_{0.05}$ این شیب معادل $0/006$ ($m^3s^{-1}y^{-1}$) حاصل شد. این نشان می‌دهد که گرچه در مدت یک دهه دبی‌های کم‌آبی رودخانه دره‌تخت با توجه به چندک $Q_{0.1}$ و $Q_{0.05}$ به‌ترتیب، به اندازه $0/014$ و $0/006$ (m^3s^{-1}) افزایش یافته است، ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نیست. آماره Z من-کندال برای رودخانه کمندان درخصوص سری $Q_{0.1}$ برابر با $0/268$ می‌باشد. همچنین این آماره برای $Q_{0.05}$ در همان رودخانه معادل $0/393$ می‌باشد که چون قدرمطلق آن‌ها کمتر از $1/645$ می‌باشد، در سطح 5% معنی‌دار نیست که حاکی از عدم روند معنی‌دار در این رودخانه است. در همین رودخانه شیب خط روند برای $Q_{0.1}$ برابر با $0/004$ ($m^3s^{-1}y^{-1}$) بدست آمد، در حالیکه برای $Q_{0.05}$ برابر با $0/005$ حاصل شد. این نشان می‌دهد که در مدت یک دهه دبی‌های کم رودخانه کمندان با توجه به چندک $Q_{0.1}$ و $Q_{0.05}$ به ترتیب معادل با $0/004$ و $0/005$ (m^3s^{-1}) کاهش یافته است. آماره Z من-کندال برای رودخانه کاکاشرف درخصوص سری $Q_{0.1}$ برابر با $0/083$ می‌باشد، همچنین این آماره برای $Q_{0.05}$ در همان رودخانه معادل $0/6671$ می‌باشد که چون قدرمطلق آن‌ها کمتر از $1/645$ می‌باشد، معنی‌دار نیست که حاکی از ثابت بودن دبی کم‌آبی در این رودخانه است. در همین رودخانه، شیب خط روند برای $Q_{0.1}$ برابر با $0/000$ (m^3s^{-1}) در سال بدست آمد در حالی‌که برای $Q_{0.05}$ برابر با $0/0127$ حاصل شد. این نشان می‌دهد که در مدت یک دهه دبی‌های کم رودخانه

کندال نوع یک برای رودخانه قلیان درخصوص سری $Q_{0.1}$ برابر با $3/9975$ می‌باشد. همچنین این آماره برای $Q_{0.05}$ در همان رودخانه معادل $4/1060$ می‌باشد که چون قدرمطلق هر کدام از آنها بیشتر از $2/33$ می‌باشد، بنابراین در سطح 1% معنی‌دار است که حاکی از روند کاهشی شدید در این رودخانه است. در همین رودخانه، شیب خط روند برای $Q_{0.1}$ معادل $0/0844$ ($m^3s^{-1}y^{-1}$) بدست آمد در حالی‌که برای $Q_{0.05}$ معادل $0/0885$ حاصل شد. این نشان می‌دهد که در مدت یک دهه، دبی‌های کم رودخانه قلیان با توجه به چندک $Q_{0.1}$ و $Q_{0.05}$ به‌ترتیب، معادل با $0/0844$ و $0/0885$ (m^3s^{-1}) کاهش یافته است. مقدار آماره Z من-کندال برای رودخانه سرخاب درخصوص سری $Q_{0.1}$ برابر با $0/529$ بدست آمد. با این حال، این آماره برای $Q_{0.05}$ در همان رودخانه معادل $0/1893$ می‌باشد که حتی در سطح 10% درصد نیز معنی‌دار نیست، که حاکی از ثابت بودن دبی کم‌آبی در این رودخانه است. در همین رودخانه، شیب خط روند برای $Q_{0.1}$ معادل $0/0009$ ($m^3s^{-1}y^{-1}$) و برای $Q_{0.05}$ معادل $0/0000$ (صفر) حاصل شد. این نشان می‌دهد که در مدت یک دهه دبی‌های کم رودخانه سرخاب با توجه به چندک $Q_{0.1}$ معادل با $0/009$ (m^3s^{-1}) کاهش یافته و به ازای چندک $Q_{0.05}$ بدون تغییر بوده است. آماره Z من-کندال برای رودخانه آب‌سبزه درخصوص سری $Q_{0.1}$ برابر با $3/195$ حاصل شد. همچنین این آماره برای $Q_{0.05}$ در همان رودخانه معادل $2/660$ بدست آمد. بنابراین، چون قدرمطلق آماره Z برای $Q_{0.05}$ بیشتر از $2/33$ می‌باشد، بنابراین در سطح 1% معنی‌دار است که حاکی از روند افزایشی شدید در دبی‌های کم‌آبی این رودخانه است. در همین رودخانه، شیب خط روند برای $Q_{0.1}$ $0/012$ ($m^3s^{-1}y^{-1}$) بدست آمد در حالی‌که برای $Q_{0.05}$ این رقم معادل $0/008$ ($m^3s^{-1}y^{-1}$) حاصل شد. این نشان می‌دهد که در مدت یک دهه دبی‌های کم رودخانه آب‌سبزه با توجه به چندک $Q_{0.1}$ و $Q_{0.05}$ به ترتیب معادل

همان رودخانه معادل $3/228$ - است که چون قدرمطلق آنها کمتر از $2/33$ می‌باشد، بنابراین روند دبی‌های کم‌آبی در رودخانه گله‌رود دارای روند معنی‌دار کاهشی شدید است. در همین رودخانه شیب خط روند برای $Q_{0.1}$ برابر با $-0/0095$ ($m^3s^{-1}y^{-1}$) بدست آمد، در حالیکه برای $Q_{0.05}$ برابر با $-0/0088$ حاصل شد، این نشان می‌دهد که در مدت یک دهه دبی‌های کم رودخانه گله-رود با توجه به چندک $Q_{0.1}$ و $Q_{0.05}$ به ترتیب، معادل با $-0/0095$ و $-0/0088$ (m^3s^{-1}) کاهش یافته است. نتیجه مشابه مبنی بر متفاوت بودن جهت روند تغییرات دبی کم‌آبی در رودهای حوضه کرخه توسط عزیزآبادی فراهانی و خلیلی (۲۰۱۳) گزارش شده است. در گزارش ایشان معلوم شده است که در نواحی خشک و نیمه‌خشک برخی از مشخصه‌های فصلی بودن جریانات در دبی‌های کم می‌تواند از یک ایستگاه به ایستگاه دیگر تغییر کند.

کاکاشرف با توجه به چندک $Q_{0.1}$ و $Q_{0.05}$ به ترتیب معادل با $-0/0000$ (بدون تغییر) و $-0/00127$ (m^3s^{-1}) کاهش یافته است. آماره Z من-کندال برای رودخانه سراب سفید درخصوص سری $Q_{0.1}$ برابر با $-0/2284$ می‌باشد، همچنین این آماره برای $Q_{0.05}$ در همان رودخانه معادل $-0/5310$ می‌باشد. بنابراین چون قدرمطلق آماره Z برای $Q_{0.05}$ کمتر از $1/645$ می‌باشد، در سطح 5% معنی‌دار نیست که حاکی از عدم روند معنی‌دار در دبی‌های کم‌آبی این رودخانه است. در همین رودخانه شیب خط روند برای $Q_{0.1}$ برابر با $-0/0008$ ($m^3s^{-1}y^{-1}$) بدست آمد در حالی‌که برای $Q_{0.05}$ برابر با $-0/0028$ حاصل شد. این نشان می‌دهد که در مدت یک دهه دبی‌های کم رودخانه آب‌سبزه با توجه به چندک $Q_{0.1}$ و $Q_{0.05}$ به ترتیب معادل با $-0/0008$ و $-0/0028$ (m^3s^{-1}) کاهش یافته است. آماره Z من-کندال برای رودخانه گله‌رود درخصوص سری $Q_{0.1}$ برابر با $-3/1913$ می‌باشد، همچنین این آماره برای $Q_{0.05}$ در

جدول ۲- مقادیر آماره‌های ضریب خود همبستگی مرتبه اول (r_1) و Z من-کندال و شیب خط روند (مترمکعب بر ثانیه در سال) برای ۸ رودخانه منتخب در استان لرستان.

رودخانه	ایستگاه	آماره r_1 برای	آماره r_1 برای	آماره Z (MK1) برای	آماره Z (MK2) برای	آماره Z (MK2) برای	شیب خط روند	شیب خط روند
		$Q_{0.1}$	$Q_{0.05}$	$Q_{0.1}$	$Q_{0.05}$	$Q_{0.1}$	$Q_{0.1}$	$Q_{0.05}$
قلیان	سکانه نهایی	$0/093$	$0/057$	$-0/106$	$-0/767$	$-0/757$	$-0/0885$	$-0/0844$
سرخاب	کشور	$0/12$	$0/058$	$-0/189$	-	-	$-0/0000$	$0/0009$
آب سبزه	چم چیت	$0/42$	$0/344$	$0/2$	$0/524$	$0/461$	$0/008$	$0/012$
دره تخت	دره تخت	$0/058$	$0/321$	$1/22$	$0/098$	$0/641$	$0/0006$	$0/0014$
کمندان	کمندان	-	-	$-0/393$	-	-	$-0/0005$	$0/0004$
کاکاشرف	چنارخشکه	-	-	$-0/667$	-	-	$-0/00127$	$-0/0000$
سراب سفید	ونایی	$0/491$	$0/432$	$-0/531$	$0/4009$	$0/606$	$-0/0028$	$-0/0008$
گله‌رود	ونایی	$0/457$	$0/479$	$-3/191$	$-0/71$	$-3/979$	$-0/0088$	$-0/0095$

علامت ** نشان‌دهنده روند معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشد.

علامت † نشان‌دهنده این است که ضریب خود همبستگی معنی‌دار در سطح $0/05$ بوده و در نتیجه روند داده‌ها با روش MK اصلاح شده مطالعه شده است.

نتیجه‌گیری کلی

نمک روند کاهش‌ی معنی‌دار داشتند. از سویی در گزارش مسیح و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه‌گیری شده که دبی‌های کم‌آبی رودخانه‌های زاگرس در ایران روند کاهش‌ی داشته است. روند تغییرات دبی‌های کم‌آبی در رودخانه‌های قلیان و گله‌رود دارای روند نزولی معنی‌دار بود. به این ترتیب، می‌توان استنباط کرد که میزان دبی‌های کم-آبی در استان لرستان برای برخی از رودخانه‌ها با گذشت زمان کاهش و برای برخی دیگر افزایش یافته است و لازم است این واقعیت در مدیریت آب رودخانه‌های استان مذکور لحاظ شود تا در تامین آب موردنیاز کشاورزان مشکلی پیش نیاید. چون طول دوره آماری رودخانه‌های استان لرستان که در این مطالعه از آن‌ها استفاده شد، متفاوت بود، لازم است با احتیاط از نتایج این مطالعه استفاده شود.

سپاسگزاری

داده‌های مورد نیاز این مطالعه از سازمان آب استان لرستان تهیه شده که بدینوسیله سپاسگزاری می‌نماید. از داوران محترم که نکات ارزشمندی ارائه فرمودند، صمیمانه قدردانی می‌نماید.

جریان‌های کم‌آبی در هر رودخانه می‌تواند تحت تاثیر تغییرات اقلیمی واقع شود. در مطالعه حاضر، روند تغییرات دبی‌های کم‌آبی با استفاده از دو شاخص $Q_{0.05}$ و $Q_{0.1}$ در رودخانه‌های قلیان، سرخاب، آب‌سبزه، دره‌تخت، کمندان، کاکاشرف، سراب‌سفید و گله‌رود بررسی شد. این کار با روش ناپارامتری MK پس از حذف اثر ضریب همبستگی سریال با یک گام تاخیر به انجام رسید و شیب خط روند با روش تخمین‌گر سن تخمین زده شدند. در این استان، تغییرات روند دبی‌های کم‌آبی الگوی خاصی را ارائه ندارد، زیرا در برخی ایستگاه‌ها روند مثبت و در برخی دیگر روند منفی وجود داشته است. البته این تفاوت می‌تواند ناشی از عدم یکسان بودن دوره‌های آماری باشد، ولی مقایسه نتایج روند ایستگاه‌های ونایی (سراب سفید و گله‌رود) نشان می‌دهد که علی‌رغم دوره آماری نزدیک به یکدیگر، از لحاظ روند جریان‌ات کم‌آبی تفاوت بسیاری با یکدیگر دارند. نتیجه مشابهی برای دبی‌های کم‌آبی در شریان‌های منتهی به حوضه آبریز دریاچه نمک گزارش شده است (شیخ و همکاران ۲۰۲۰). براساس گزارش مذکور، بیش از ۷۲ درصد ایستگاه‌های حوضه دریاچه

منابع مورد استفاده

- Ahn KH and Merwade V, 2017. The effect of land cover change on duration and severity of high and low flows. *Hydrological Processes* 31(1):133-149.
- Assani AA, Chalifour A, Légaré G, Manouane CS and Leroux D, 2011. Temporal regionalization of 7-day low flows in the St. Lawrence watershed in Quebec (Canada). *Water Resources Management* 25(14):3559-3574.
- Azizabadi Farahani M and Khalili D, 2013. Seasonality characteristics and spatio-temporal trends of 7-day low flows in a large, semi-arid watershed. *Water Resources Management* 27(14):4897-4911. (In Persian with English abstract)
- Coch A and Mediero L, 2016. Trends in low flows in Spain in the period 1949–2009. *Hydrological Sciences Journal* 61(3):568-584.
- De Wit MJ, Van Den Hurk BJ, Warmerdam PM, Torfs PJ, Roulin E and Van Deursen WP, 2007. Impact of climate change on low-flows in the river Meuse. *Climatic Change* 82(3):351-372.
- Dinpashoh Y, Singh VP, Biazar SM and Kavehkar S, 2019. Impact of climate change on streamflow timing (case study: Guilan Province). *Theoretical and Applied Climatology* 138(1):65-76.

- Douglas EM, Vogel RM and Kroll CN, 2000. Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology* 240(1-2):90-105.
- Ehsanzadeh E and Adamowski K, 2007. Detection of trends in low flows across Canada. *Canadian Water Resources Journal* 32(4):251-264.
- Engeland K and Hisdal H, 2009. A comparison of low flow estimates in ungauged catchments using regional regression and the HBV-model. *Water Resources Management* 23(12):2567-2586.
- Gain AK, Immerzeel WW, Sperna Weiland FC and Bierkens MF, 2011. Impact of climate change on the stream flow of the lower Brahmaputra: trends in high and low flows based on discharge-weighted ensemble modelling. *Hydrology and Earth System Sciences* 15(5):1537-1545.
- Ghezel saflo M, Dinpashoh Y, Ghorbani M and Fakheri-Fard A. 2012. Trend analysis of streamflows in East Azarbayjan province. *Irrigation Sciences and Engineering* 35(1): 71-82. (In Persian with English abstract)
- Gheisoori M, Soltani-Gerdefaramarzi S and Ghasemi M, 2018. Investigation and prediction of the changing trend of climate parameters on discharge (Case Study: Godarkhosh Sub-basin). *Journal of Natural Environmental Hazards* 7(17): 137-154. (In Persian with English abstract)
- Gottschalk L, Yu KX, Leblois E and Xiong L, 2013. Statistics of low flow: Theoretical derivation of the distribution of minimum streamflow series. *Journal of Hydrology* 481:204-219.
- Hannaford J and Marsh T, 2006. An assessment of trends in UK runoff and low flows using a network of undisturbed catchments. *International Journal of Climatology: Journal of the Royal Meteorological Society* 26(9):1237-1253.
- Jafari M, Dinpashoh Y and Asadi E, 2016. Introduction to multiple linear regression and its application to simulate daily pan evaporation. *Journal of Water and Sustainable Development* 2(2): 67-76. (In Persian with English abstract)
- Kanani R, Fakheri Fard A, Ghorbani MA and Dinpashoh Y, 2021. Trend analysis of the streamflow in the Lighvan River Hydrometric Stations (upstream and downstream). *Journal of Watershed Management Research* 11(22): 11-19. (In Persian with English abstract)
- Kendall MG, 1948. *Rank Correlation Methods*. Griffin.
- Keshtkar AR, 2015. Low flow frequency analysis by L-moments method (Case study: Iranian Central Plateau River Basin). *Desert* 20(2):167-175. (In Persian with English abstract)
- Kormos PR, Luce CH, Wenger SJ and Berghuijs WR, 2016. Trends and sensitivities of low streamflow extremes to discharge timing and magnitude in Pacific Northwest Mountain streams. *Water Resources Research* 52(7):4990-5007.
- Kroll C, Luz J, Allen B and Vogel RM, 2004. Developing a watershed characteristics database to improve low streamflow prediction. *Journal of Hydrologic Engineering* 9(2):116-125.
- Li D, Long D, Zhao J, Lu H and Hong Y, 2017. Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin. *Journal of Hydrology* 551:217-232.
- Mann HB, 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13(3): 245-259.
- 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.
- Mirabassi R and Dinpazhooh Y, 2013. Trend analysis of precipitation of NW of Iran over the past half of the century. *Irrigation Sciences and Engineering* 35(4): 59-73. (In Persian with English abstract)
- Modarres R, 2008. Regional frequency distribution type of low flow in north of Iran by L-moments. *Water Resources Management* 22(7):823-841. (In Persian with English abstract)
- Mozayyan M, Akhoond-Ali AM, Massah-Bavani AR, Radmanesh F and Zohrabi N, 2015. The impact of climate change on low flows (Case Study: Sepid Dasht Sezar). *Irrigation Sciences and Engineering* 38(2):1-9. (In Persian with English abstract)
- Requena AI, Ouarda TB and Chebana F, 2018. Low-flow frequency analysis at ungauged sites based on regionally estimated streamflows. *Journal of Hydrology* 563:523-532.
- Sheikh Z, Yazdani MR and Nia AM, 2020. Spatiotemporal changes of 7-day low flow in Iran's Namak Lake Basin: impacts of climatic and human factors. *Theoretical and Applied Climatology* 139(1):57-73. (In Persian with English abstract)
- Sheikh Z, Yazdani MR and Moghaddam Nia A, 2019. Evaluation of spatio-temporal changes of flow duration curve seasonal indexes (FDCSI) in four decades in Namak Lake basin. *Iran-Water Resources Research* 15(2): 32-56. (In Persian with English abstract)

- Smakhtin VU, 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240(3-4):147-86.
- Tian J, Chang J, Zhang Z, Wang Y, Wu Y and Jiang T, 2019. Influence of Three Gorges Dam on downstream low flow. *Water* 11(1):65-80.
- Tongal H, Demirel MC and Booij MJ, 2013. Seasonality of low flows and dominant processes in the Rhine River. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 27(2):489-503.
- Vafakhah M, Bakhshi TM and Khazaei M, 2012. Analysis of rainfall and discharge trend in Kashafrood watershed. *Geography and Development* 10(29):77-90. (In Persian with English abstract)
- Veza P, Comoglio C, Rosso M and Viglione A, 2010. Low flows regionalization in north-western Italy. *Water Resources Management* 24(14):4049-4074.
- Vogel RM and Fennessey NM, 1990. Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management* 120(4):485-504.
- Vogel RM and Kroll CN, 1991. The value of streamflow record augmentation procedures in low-flow and flood-flow frequency analysis. *Journal of Hydrology* 125(3-4):259-276.
- Yue S and Wang CY, 2004. Scaling of Canadian low flows. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 18(5):291-305.