

بررسی سری زمانی تغییرات دبی در حوضه آبخیز کرخه با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری

فهمیه مختاری^۱، افشین هنربخش^{۲*}، سعید سلطانی^۳، خدایار عبدالهی^۴، مهدی پژوهش^۴

۱. دانشجوی دکترای گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

۲. دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

۳. استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

۴. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۱/۲۲، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۴/۰۶)

چکیده

بررسی تغییرات دبی رودخانه در مدیریت منابع آب و طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی امری بسیار مهم است. در تحقیق حاضر، روند تغییرات دبی ماهانه، فصلی و سالانه حوضه آبخیز کرخه با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من کندال، سن و تحلیل رگرسیونی ارزیابی شد. به این منظور، از داده‌های دبی در یازده ایستگاه آب‌سنجی حوضه یادشده طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. نتایج تحقیق پیش رو نشان داد دبی سالانه در همه این ایستگاه‌ها به جز سراب سید علی، روند نزولی داشته است. مقادیر این دبی در ایستگاه‌های حمیدیه، پای پل، پل زال، پلدختر، آفرینه، چمانجیر، نورآباد، دوآب مرک، کاکارضا و پلچهر به ترتیب ۴۸، ۳۳، ۱۶، ۵، ۱۵، ۴، ۰/۴، ۱/۴، ۲/۶ و ۱۳ مترمکعب کاهش یافته، در حالی که در ایستگاه سراب سید علی به میزان ۰/۴ مترمکعب افزایش یافته است. بر اساس یافته‌های تحقیق، به کارگیری دو روش ناپارامتری من کندال و سن در تحلیل روند سری‌های دبی ماهانه، فصلی و سالانه نشان داده است که کارایی این دو آزمون در بیشتر اوقات شبیه به هم بوده و در مواقعی که فراوانی داده‌های تکراری زیاد باشد، روش سن می‌تواند جواب واقع‌گرایانه‌تری نسبت به روش من کندال به دست دهد. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در پیش‌بینی خشکسالی‌های آتی، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب منطقه به کار رود.

کلیدواژگان: آزمون پارامتری، حوضه آبخیز کرخه، روش من کندال، روش سن، روش تحلیل رگرسیون، روند دبی.

مقدمه

جریان رودخانه به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در هیدرولوژی و منابع آب در ارتباط متقابل با عناصر اقلیمی است. بنابراین، تغییرات عوامل اقلیمی می‌تواند بر آبدهی رودخانه مؤثر باشد. از این‌رو، بررسی تغییرات دبی رودخانه طی زمان می‌تواند آثار تغییر یا عدم تغییر در شرایط اقلیمی یک منطقه را مشخص کند. یکی از روش‌های متداول به‌منظور تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی هیدرولوژیکی، بررسی وجود داشتن و نداشتن روند در آن‌ها ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا تأثیر فعالیت‌های انسانی است. از محدود تحقیقاتی که در این زمینه در ایران انجام شده است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مساعدی و شریفان از داده‌های دبی روزانه ۷ ایستگاه آب‌سنجی در مسیر رودخانه گرگانرود به منظور بررسی روند فراوانی وقوع سیل استفاده کردند [۱]. نتایج پژوهش آنها نشان داد در بیش‌تر دوره‌ها و تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها، آبدهی رودخانه کاهش یافته است. همچنین، بررسی روند تغییرات آبدهی رودخانه در فصول مختلف بیانگر آن است که آبدهی رودخانه در فصل‌های بهار و تابستان از یک روند کاهشی برخوردار است، در حالی که در فصل‌های زمستان و پاییز متغیر بوده و روند خاصی در مورد کل رودخانه مشاهده نشده است. مساح بوانی و مرید با بررسی آثار تغییر اقلیم بر دما، بارندگی و رواناب در حوضه رودخانه زاینده‌رود به این نتیجه دست یافتند که میزان بارندگی، کاهش و دما، افزایش یافته است، به طوری که میزان کاهش بارندگی ۱۰ و ۱۶ درصد و افزایش دما به میزان ۴/۶ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در سناریوهای A2 و B2 پیش‌بینی شده است [۲]. همچنین، نتایج پژوهش آنها کاهش جریان تا ۵/۸ درصد و افزایش ضریب تغییرات جریان تا ۳ برابر را برای دوره‌های آتی نشان می‌دهد. رهبر و همکاران روند تغییرات رواناب در حوضه آبخیز خررود تا ایستگاه آبگرم واقع در زیرحوضه قزوین را بررسی کردند [۳]. نتایج پژوهش آنها نشان داد در دوره سی‌ساله ۱۳۴۵ - ۱۳۷۴، با وجود ثبات بارش سالانه و اندکی کاهش دمای سالانه، ارتفاع رواناب و همچنین نسبت رواناب به بارش سالانه روندی فزاینده و معنادار داشته است. در سایر نقاط جهان نیز پژوهش‌های متعددی در مورد تحلیل روند تغییرات دبی در حوضه‌های آبخیز صورت گرفته است. وال و توتورلی روند احتمالی در جریان رودخانه در غرب اوکلاهما را

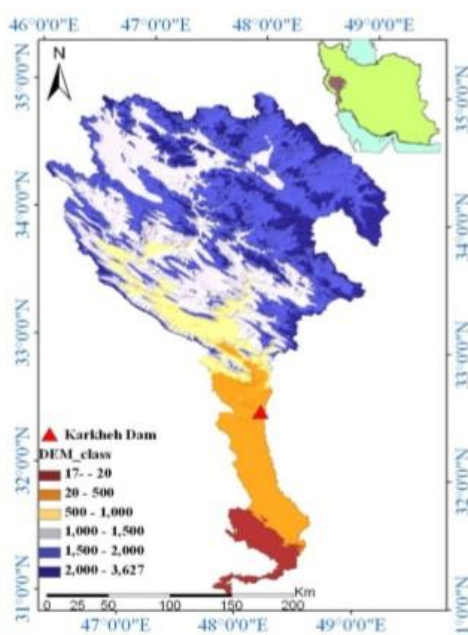
مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که جریان رودخانه‌ای دارای روند کاهشی معنادار بوده است [۴]. مطالعه زو روی آثار تغییر اقلیم بر رژیم جریان رودخانه‌های سوئد نشان داد مقدار جریان در زمستان، به‌طور معناداری افزایش داشته و در فصل‌های بهار و تابستان، کاهش یافته است [۵]. گاربرتچ و همکاران تأثیرات تغییر اقلیم بر بارش، جریان رودخانه‌ای، تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در ۱۰ حوضه آبخیز در آمریکا بررسی کردند [۶]. نتایج پژوهش آنها بیانگر روند افزایش معنادار در هر سه پارامتر یادشده بوده است. زو و همکاران با استفاده از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری، روند تغییرات دما، بارش و دبی را در حوضه آبریز تاریم در چین مطالعه کردند [۷]. نتایج پژوهش آنها نشان داد سری‌های زمانی دما روند معنادار افزایشی بوده و داده‌های بارش نیز افزایش یافته است. اگرچه سری‌های زمانی دبی در سراب رودخانه روند افزایشی معناداری داشته، ولی در بیشتر مسیر رودخانه، این روند کاهشی بوده است. مطالعه تادسون روی آثار تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌های دانمارک طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ نشان داد مقادیر دبی رودخانه‌ها از ماه دسامبر تا آگوست کاهش یافته و در ماه‌های سپتامبر و اکتبر افزایش یافته است [۸]. جیانگ و همکاران روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه را در حوضه رودخانه یانگ‌تسه در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ تجزیه و تحلیل کردند [۹]. نتایج پژوهش آنها یک روند مثبت معنادار را در داده‌های بارندگی فصل تابستان نشان داد. همچنین، نتایج پژوهش آنها نشان داد دبی رودخانه در بیشتر ایستگاه‌ها در دوره آماری ۴۰ ساله به‌طور معناداری افزایش یافته است. تا کنون مطالعات محدودی در زمینه بررسی روند تغییرات دبی رودخانه در ایران انجام شده است.

هدف از تحقیق حاضر، آشکارسازی روند تغییرات دبی ماهانه، فصلی و سالانه در حوضه آبخیز کرخه با استفاده از آزمون‌های آماری من‌کنندال، سن و تحلیل رگرسیون طی دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ است. از محدودیت‌های تحقیق می‌توان به عدم دقت در اطلاعات مورد نیاز یعنی داده‌های دبی ایستگاه‌های مطالعه‌شده اشاره کرد. در خصوص نوآوری تحقیق حاضر می‌توان گفت که بررسی سری زمانی تغییرات دبی به‌ویژه با استفاده از هر دو روش پارامتری و ناپارامتری در تحقیقات داخل کشور بسیار محدود است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

شد. سپس، آمارهای ناقص در این دوره تکمیل شد. آمارهای استفاده شده نقص نسبتاً کمی داشتند. با این وجود، برای بازسازی داده‌های مفقود، از روش رگرسیون خطی ساده استفاده شد. طول دوره آماری به کاررفته در مطالعه حاضر ۲۹ سال (۱۹۹۰-۲۰۱۸) در نظر گرفته شد. در تحقیق حاضر از داده‌های دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبخیز کرخه شامل حمیدیه، پای پل، پل زال، پلدختر، آفرینه، چم انجیر، سراب سید علی، نورآباد، دوآب مرک، کاکارضا و پلچهر استفاده شد که مشخصات جغرافیایی آنها در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه آبخیز کرخه در ایران

رودخانه کرخه سومین رود پرآب در ایران است که بزرگ‌ترین سد مخزنی در ایران و خاورمیانه روی آن ساخته شده است [۱۰]. حوضه آبخیز رودخانه کرخه روی نقشه‌های توپوگرافی در محدوده جغرافیایی ۴۶°، ۶' تا ۴۹°، ۱۰' طول شرقی و ۳۰°، ۵۸' تا ۳۴°، ۵۶' عرض شمالی واقع شده و یکی از حوضه‌های اصلی غرب کشور است. وسعتی حدود ۵۱۵۲۷ کیلومتر مربع دارد، که حدود ۳۳۶۷۴ کیلومتر مربع آن در مناطق کوهستانی قرار دارد و ۱۷۸۵۳/۱۹ کیلومتر مربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهند (شکل ۱). حوضه آبریز پروسعت رودخانه کرخه از شرایط آب‌وهوایی متنوعی برخوردار است. دشت خوزستان و قسمت‌های جنوبی حوضه، نیمه‌خشک با زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم و طولانی است. بخش‌های شمالی و مناطق کوهستانی زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم دارد. دما در حوضه از منفی ۲۵ درجه تا حداکثر ۵۰ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند. متوسط سالانه ریزش‌های جوی در حوضه ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در سال متغیر بوده و اغلب در فصل زمستان است. از نظر آب‌وهوایی حوضه آبریز کرخه به اقلیم مدیترانه‌ای تعلق دارد [۱۱].

به منظور انجام تحقیق حاضر در اولین مرحله طول دوره آماری متفاوت ایستگاه‌ها که مربوط به تأسیس آنها در سال‌های مختلف بود، به یک پایه زمانی مشترک تبدیل

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبخیز کرخه (دوره آماری از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸)

ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه
۲۰	۳۱°۳۰'۰۰"	۴۸°۲۶'۰۰"	حمیدیه
۹۰	۳۲°۲۵'۰۰"	۴۸°۰۹'۰۰"	پای پل
۳۰۰	۳۲°۴۹'۰۰"	۴۸°۰۵'۰۰"	پل زال
۷۰۰	۳۳°۰۹'۴۴"	۴۷°۴۳'۵۰"	پلدختر
۸۲۰	۳۳°۱۹'۵۳"	۴۷°۵۳'۴۱"	آفرینه
۱۱۴۰	۳۳°۲۶'۴۴"	۴۸°۱۴'۵۶"	چم انجیر
۱۵۳۰	۳۳°۴۷'۱۳"	۴۸°۱۲'۰۰"	سراب سید علی
۱۸۰۰	۳۴°۰۵'۰۰"	۴۷°۵۸'۰۰"	نورآباد
۱۲۹۰	۳۳°۴۶'۰۶"	۴۶°۴۷'۰۰"	دوآب مرک
۱۵۳۰	۳۳°۴۶'۰۶"	۴۸°۱۵'۰۶"	کاکارضا
۱۲۸۰	۳۴°۲۱'۰۰"	۴۷°۲۶'۰۰"	پلچهر

آزمون من کندال

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad n \leq 10 \quad (5)$$

که در آن n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است. در یک آزمون دو دامنه برای بررسی روند سری داده‌ها، فرض صفر (نبود روند) در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه ۶ برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (6)$$

نرمال استاندارد در سطح معناداری α است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد، روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. این آزمون به دو روش محاسبه می‌شود: آزمون آماره T من کندال، آزمون نموداری من کندال. در مطالعه حاضر از روش نموداری من کندال برای محاسبه این آزمون استفاده شد. اگر دنباله U و U' بر اساس i به صورت نموداری رسم شود، در حالت معناداری روند، دو نمودار در نقطه شروع پدیده در خارج از محدوده $\pm 1/96$ یکدیگر را قطع کرده و در خلاف جهت یکدیگر حرکت خواهند کرد. به این نقطه برخورد، جهش گفته می‌شود. در حالی که اگر روند وجود نداشته باشد، دو دنباله U و U' تقریباً به صورت موازی حرکت خواهند کرد و یا با چند بار برخورد به طوری که به تغییر جهت منجر نشود، عمل خواهند کرد. در مواردی که $1/96 < U < -1/96$ باشد، سری تصادفی است و روند خاصی نمی‌توان برای آن تصور کرد. در حالی که $1/96 < U < -1/96$ نشان‌دهنده روند مثبت و $U < -1/96$ نشان‌دهنده روند منفی است.

آزمون سن

این آزمون توسط سن [۱۴] ارائه شده است و از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. مزایای برشمرده شده برای آزمون من کندال برای این روش نیز صادق است. همچنین، این آزمون هنگام وجود داده‌های گمشده به راحتی قابل استفاده است [۱۵]. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد. پذیرش فرض یک و یا به بیان دیگر رد فرض صفر، دال بر وجود روند در سری زمانی داده‌هاست. اساس این روش بر محاسبه شیب میانه برای سری زمانی

آزمون من کندال یکی از روش‌های متداول ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به شمار می‌رود. مطالعات مختلف انجام شده با استفاده از این روش بیانگر اهمیت و کاربرد فراوان آن در تحلیل روند سری‌های زمانی است [۱۲]. این آزمون ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه شد و سپس، توسط کندال در سال ۱۹۴۸ توسعه یافت. کاربرد این روش توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شد. از این روش برای آزمون فرض تصادفی بودن توالی داده‌ها در مقابل وجود روند استفاده می‌شود [۱۳]. از قوت‌های روش من کندال می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی‌ای که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد. تأثیرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شوند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است [۱۲]. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌هاست. آماره Z این آزمون توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌شود (رابطه ۱):

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

پارامتر S از طریق محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت به دست می‌آید (رابطه ۲):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (2)$$

که در آن n تعداد مشاهدات سری، X_j و X_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت نیز به صورت معادله ۳ است:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

محاسبه واریانس به وسیله یکی از روابط ۴ یا ۵ انجام می‌گیرد:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad n > 10 \quad (4)$$

نمی‌توان هیچ‌گونه روندی در سطح اعتماد به کار گرفته شده نسبت داد. در غیر این صورت، فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی روند معناداری در سطح اعتماد مورد آزمون دارد [۱۲]. درخور یادآوری است که برای محاسبه آماره‌های آزمون‌های من کندال و سن از نرم‌افزار MAKESENS [۱۶] استفاده شد.

تحلیل رگرسیون

یکی از روش‌های متداول رگرسیونی بر اساس اصل حداقل مربعات است، که در این روش یک مدل رگرسیون خطی با زمان مطابق رابطه ۱۰ بر سری زمانی داده‌های برآزش داده می‌شود و با استفاده از همبستگی پیرسون، معنادار بودن شیب آن در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد ارزیابی می‌شود:

$$Y = a + bX \quad (10)$$

در رابطه یادشده Y متغیر مد نظر، X زمان بر حسب سال یا ماه یا هر مقیاس زمانی دیگر، a عدد ثابت و b شیب خط رگرسیون است. چنانچه علامت شیب منفی باشد، روند داده‌ها، نزولی و در صورت مثبت بودن شیب، روند صعودی خواهد بود [۱۷].

نتایج و بحث

روند تغییرات سالانه دبی

در جدول ۲، نتایج آزمون‌های من کندال (Z)، سن (Q) و تحلیل رگرسیون برای دبی سالانه ایستگاه‌های مطالعه‌شده ارائه شده است. معناداری این آماره‌ها در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد آزمایش شد. در سطح اطمینان ۹۹ درصد، ایستگاه‌های حمیدیه، پل زال، آفرینه و پلچهر توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، اما آزمون سن وجود چنین روندی را رد کرد. در سطح اطمینان ۹۰ درصد، ایستگاه‌های کاکارضا، دوآب مرک و پای پل توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، اما آزمون سن روند معناداری ندارد. در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد، فقط ایستگاه چم انجیر توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، ولی مورد تأیید آزمون سن قرار نگرفت. در سطح اطمینان ۹۵ درصد، فقط ایستگاه نورآباد توسط آزمون من کندال دارای

قضوت کردن در مورد معناداری شیب به‌دست‌آمده در سطوح اطمینان مختلف است. روش محاسبه آزمون سن به صورت معادله ۷ است:

الف) محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای با استفاده از معادله ۷:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (7)$$

که در آن X_t و X_s به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان t و s و t یک واحد زمانی بعد از زمان s است. با اعمال رابطه ۸ برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، به ازای n داده محاسبه شده حاصل می‌شود که از محاسبه میانه N سری زمانی شیب خط روند (Q_{med}) به دست می‌آید. مقدار مثبت Q_{med} بیانگر صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند است.

ب) محاسبه پارامتر C_α در سطوح اعتماد مورد آزمون با استفاده از معادله ۸:

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} * \sqrt{Var(s)} \quad (8)$$

که در آن $Var(s)$ از معادلات ۴ و ۵ محاسبه شده و Z آماره توزیع نرمال استاندارد است.

ج) محاسبه حدود اعتماد بالا و پایین به کمک معادله ۹:

$$\begin{cases} M_1 = \frac{N + C_\alpha}{2} \\ M_2 = \frac{N - C_\alpha}{2} \end{cases} \quad (9)$$

که در آن N تعداد شیب‌های محاسبه‌شده در بند اول است. برای محاسبه حدود اطمینان هر مقدار شیب محاسبه شده، مقادیر شیب از ۱ تا N مرتبه‌بندی شده و به ازای هر مرتبه طبق رابطه ۹ حدود بالا و پایین آن شیب به دست می‌آید. چنانچه شماره M_1 امین و $(M_2 + 1)$ امین شیب‌های مرتبه‌بندی‌شده وجود نداشته باشد، با درونیابی مقادیر شیب‌ها که حدود بالا و پایین را بیان می‌کند، تعیین می‌شود. مرحله نهایی این روش، آزمون کردن حدود اعتماد محاسبه شده است. به این ترتیب که از بین شیب‌های محاسبه‌شده توسط معادله ۷ M_1 امین و $(M_2 + 1)$ امین شیب‌ها استخراج می‌شوند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج‌شده قرار بگیرد، فرض صفر پذیرفته شده و بر سری زمانی مورد آزمون

کرخه است، به همین نتایج دست یافت. براساس شیب خط رگرسیون ارائه شده در جدول ۲ می توان چنین نتیجه گرفت که مقادیر دبی سالانه در ایستگاه های حمیدیه، پای پل، پل زال، پلدختر، آفرینه، چم انجیر، نورآباد، دوآب مرک، کاکارضا و پلچهر به ترتیب ۴۸، ۳۳، ۱۶، ۵، ۱۵، ۴، ۰/۴، ۱/۴، ۲/۶ و ۱۳ مترمکعب کاهش یافته است، در حالی که در ایستگاه سراب سید علی دبی سالانه به میزان ۰/۴ مترمکعب افزایش یافته است.

روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، ولی در آزمون سن روندی دیده نشد. در ایستگاه های سراب سید علی و پلدختر روند معناداری در داده های دبی سالانه برای آزمون های من کندال و سن دیده نشد. در همه ایستگاه ها به جز ایستگاه سراب سید علی، شیب خط رگرسیون مثبت گزارش شد. این در حالی است که کاکولوند [۱۸] نیز در بررسی روند تغییرات بارش دبی با استفاده از روش های ناپارامتریک در حوضه آبخیز کشکان که از زیرحوضه های

جدول ۲. نتایج آزمون های من کندال (Z)، سن (Q) و تحلیل رگرسیون (b) برای دبی سالانه ایستگاه های حوضه آبخیز کرخه (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

ایستگاه	Z	Q	b
حمیدیه	-۲/۹۷**	-۵/۱۶۳	-۴/۸
پای پل	-۱/۹۵+	-۳/۱۹۶	-۳/۲۵
پل زال	-۲/۹۷**	-۱/۶۷۴	-۱/۶۴
پلدختر	-۰/۷۵	-۰/۳۷۳	-۰/۵
آفرینه	-۳/۲۳**	-۱/۳۴۵	-۱/۴۵
چم انجیر	-۴/۵۴***	-۰/۳۷	-۰/۴۱
سراب سید علی	۱/۶۱	۰/۰۹۱	۰/۰۴۳
نورآباد	-۲/۳۳*	۰/۰۳۹	-۰/۰۴
دوآب مرک	-۱/۷۶+	-۰/۱۱۸	-۰/۱۴
کاکارضا	-۱/۹۱+	-۰/۲۱۵	-۰/۲۶
پلچهر	-۳**	-۱/۰۶۶	-۱/۳۲

*** معناداری روند در سطح $\alpha=0.001$ ، ** معناداری روند در سطح $\alpha=0.01$ ، * معناداری روند در سطح $\alpha=0.05$ ، + معناداری روند در سطح $\alpha=0.1$

آزمون سن قرار نگرفت. در ایستگاه های سراب سید علی، پلدختر، دوآب مرک و پای پل روند معناداری در داده های دبی فصل بهار برای آزمون های من کندال و سن دیده نشد. بر اساس نتایج جدول ۳ مقادیر دبی فصل بهار در ایستگاه های حمیدیه، پای پل، پل زال، پلدختر، آفرینه، چم انجیر، نورآباد، دوآب مرک، کاکارضا و پلچهر به ترتیب ۴۷، ۳۷، ۱۳، ۴۹، ۱۹، ۵، ۰/۵، ۱۵، ۵ و ۱۵ مترمکعب کاهش یافته، در حالی که در ایستگاه سراب سید علی دبی فصل بهار به میزان ۰/۲ مترمکعب افزایش یافته است.

بر اساس جدول ۳ همانند سری زمانی فصل بهار، روند کاهشی معناداری در سری های زمانی دبی فصل تابستان در ایستگاه های حمیدیه و پل زال در سطح اطمینان ۹۹ درصد توسط آزمون من کندال مشخص شده است، در حالی که آزمون سن وجود چنین روندی را رد کرد. در سطح اطمینان ۹۰ درصد، فقط ایستگاه پلدختر توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص

روند تغییرات فصلی دبی

نتایج آزمون های من کندال، سن و تحلیل رگرسیون برای دبی فصل های بهار و تابستان ایستگاه های مطالعه شده در جدول ۳ درج شده است. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، مقادیر دبی در فصول بهار و تابستان برای همه ایستگاه ها به جز ایستگاه سراب سید علی کاهش یافته است. کاهش مقادیر دبی با مطالعات تیر صاحب و همکاران [۱۹] و کاکولوند [۱۸] همخوانی مطلوبی دارد. در سطح اطمینان ۹۹ درصد، ایستگاه های حمیدیه، کاکارضا، آفرینه و پلچهر توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شده، اما آزمون سن وجود چنین روندی را رد کرد. در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ایستگاه های پل زال نورآباد توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، ولی آزمون سن روند معناداری نداشت. در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد، فقط ایستگاه چم انجیر توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، ولی مورد تأیید

پلچهر روند معناداری در داده‌های دبی فصل تابستان برای آزمون‌های من کندال و سن دیده نشد. بر اساس نتایج جدول ۳ مقادیر دبی فصل تابستان در ایستگاه‌های حمیدیه، پای پل، پل زال، پلدختر، آفرینه، چم انجیر، نورآباد، دوآب مرک و کاکارضا به ترتیب ۴۹، ۳، ۱۰، ۳۶، ۵، ۲، ۰/۴، ۰/۰۴ و ۱ مترمکعب کاهش یافته، در حالی که در ایستگاه سراب سید علی و پلچهر دبی فصل تابستان به ترتیب به میزان ۰/۲ و ۲ مترمکعب افزایش یافته است.

داده شد، ولی در آزمون سن روندی دیده نشد. در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد ایستگاه‌های آفرینه، چم انجیر و کاکارضا توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، اما آزمون سن روند معناداری نداشت. در سطح اطمینان ۹۵ درصد، فقط ایستگاه نورآباد توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، اما مورد تأیید آزمون سن قرار نگرفت. در ایستگاه‌های سراب سید علی، دوآب مرک، پای پل و

جدول ۳. نتایج آزمون‌های من کندال (Z)، سن (Q) و تحلیل رگرسیون (b) برای دبی فصل‌های بهار و تابستان ایستگاه‌های حوضه آبخیز کرخه (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

ایستگاه	فصل بهار			فصل تابستان		
	Z	Q	b	Z	Q	b
حمیدیه	-۲/۷**	-۵/۱۳	-۴/۷	-۳**	-۵/۰۲۳	-۴/۸۷
پای پل	-۱/۰۱	-۲/۷۵۵	-۳/۷۳	-۰/۹۴	-۰/۵۴۶	-۰/۲۹
پل زال	-۲/۱۸*	-۱/۹۳۱	-۱/۳۴	-۲/۵۹**	-۱/۰۹۵	-۰/۹۹
پلدختر	-۰/۸۳	-۰/۶۶۵	-۰/۴۹	-۱/۸۴+	-۰/۲۸۱	-۰/۳۶
آفرینه	-۳/۱۲**	-۱/۹۶۷	-۱/۹۲	-۳/۴۲***	-۰/۵۰۲	-۰/۵۳
چم انجیر	-۳/۵۳***	-۰/۴۰۸	-۰/۵	-۵/۱۸***	-۰/۱۸۵	-۰/۲
سراب سید علی	۰/۶	۰/۰۳۶	۰/۰۲۴	۰/۴۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲۳
نورآباد	-۲/۵۱*	-۰/۰۴۷	-۰/۰۵	-۲/۵۵*	-۰/۰۴۴	-۰/۰۴
دوآب مرک	-۱/۲	-۰/۱۵۱	-۰/۱۵	-۰/۶	-۰/۰۱۲	-۰/۰۰۴
کاکارضا	-۲/۷**	-۰/۴۹۳	-۰/۵	-۴/۵۴***	-۰/۱۲۴	-۰/۱۳
پلچهر	-۲/۷۴**	-۱/۴۳۳	-۱/۴۸	۱/۱۸	۰/۱۱۵	۰/۲

(*** معناداری روند در سطح $\alpha=0.001$ ، ** معناداری روند در سطح $\alpha=0.01$ ، * معناداری روند در سطح $\alpha=0.05$ ، + معناداری روند در سطح $\alpha=0.1$)

من کندال و سن دیده نشد. بر اساس نتایج جدول ۴ مقادیر دبی فصل پاییز در ایستگاه‌های حمیدیه، پای پل، پل زال، پلدختر، آفرینه، چم انجیر، نورآباد، دوآب مرک و پلچهر به ترتیب ۴۷، ۲۹، ۱۴، ۳، ۸، ۲۹، ۰/۳، ۱۵ و ۱۶ مترمکعب کاهش یافته است، در حالی که در ایستگاه سراب سید علی و کاکارضا دبی فصل پاییز به ترتیب به میزان ۱۲ و ۱۹ مترمکعب افزایش یافته است.

بر اساس جدول ۴ روند کاهشی معناداری در سری‌های زمانی دبی فصل زمستان در ایستگاه دوآب مرک در سطح اطمینان ۹۹ درصد توسط آزمون من کندال مشخص شده است، در حالی که آزمون سن وجود چنین روندی را رد کرد. در سطح اطمینان ۹۰ درصد، ایستگاه پلدختر توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد و در آزمون سن روندی دیده نشد. در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ایستگاه‌های پای پل، حمیدیه، نورآباد

در جدول ۴ نتایج آزمون‌های ناپارامتری من کندال و سن و آزمون پارامتری تحلیل رگرسیون برای دبی فصل‌های پاییز و زمستان ایستگاه‌های مطالعه شده ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، روند کاهشی معناداری در سری‌های زمانی دبی فصل پاییز در ایستگاه‌های حمیدیه و چم انجیر در سطح اطمینان ۹۹ درصد توسط آزمون من کندال مشخص شده است، در حالی که آزمون سن وجود چنین روندی را رد کرد. در سطح اطمینان ۹۰ درصد، ایستگاه‌های پلچهر و دوآب مرک توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، ولی مورد تأیید آزمون سن قرار نگرفت. در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ایستگاه‌های سراب سید علی، نورآباد و پل زال توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، اما در آزمون سن روندی دیده نشد. در ایستگاه‌های پلدختر، آفرینه، پای پل و کاکارضا روند معناداری در داده‌های دبی فصل پاییز برای آزمون‌های

فصل زمستان برای آزمون‌های من کندال و سن دیده نشد. مقادیر دبی فصل زمستان در ایستگاه‌های حمیدیه، پای پل، پل زال، پلدختر، آفرینه، چم انجیر، نورآباد، دوآب مرک، پلچهر و کاکارضا به ترتیب ۴۹، ۶۰، ۲۸، ۱۵، ۲۵، ۶، ۰/۴، ۳، ۶ و ۲/۳۵ مترمکعب کاهش یافته، در حالی که در ایستگاه سراب سید علی دبی فصل زمستان به میزان ۰/۰۸ متر مکعب افزایش یافته است.

و کاکارضا توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد، در حالی که مورد تأیید آزمون سن قرار نگرفت. در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد، ایستگاه‌های آفرینه، پلچهر، چم انجیر و پل زال توسط آزمون من کندال دارای روند نزولی و معنادار تشخیص داده شد و در آزمون سن روند معناداری وجود نداشت. در ایستگاه سراب سید علی روند معناداری در داده‌های دبی

جدول ۴. نتایج آزمون‌های من کندال (Z)، سن (Q) و تحلیل رگرسیون (b) برای دبی فصل‌های پاییز و زمستان ایستگاه‌های حوضه آبخیز کرخه (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

ایستگاه	فصل پاییز			فصل زمستان		
	Z	Q	b	Z	Q	b
حمیدیه	-۳/۱۲**	-۴/۵۶	-۴/۷	-۲/۵۵*	-۵/۰۳۵	-۴/۹
پای پل	-۱/۰۹	-۱/۳۴۷	-۲/۹	-۲/۲۹*	-۵/۸۸۹	-۶
پل زال	-۲/۱۴*	-۰/۸۱۴	-۱/۴	-۳/۶***	-۲/۹۴۱	-۲/۸
پلدختر	-۰/۳	-۰/۰۸۲	۰/۲۹	-۱/۸۸+	-۱/۳۳۴	-۱/۵
آفرینه	-۱/۳۹	-۰/۳۹۷	-۰/۸	-۳/۴۲***	-۲/۳۳۹	-۲/۵
چم انجیر	-۳/۲۳**	-۰/۲۱۳	-۰/۲۹	-۴/۰۵***	-۰/۵۶۹	-۰/۶۴
سراب سید علی	۲/۲۵*	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۴۹	۰/۰۳۵	۰/۰۰۸
نورآباد	-۲/۴*	-۰/۰۳۱	-۰/۰۳	-۲/۲۹*	-۰/۰۳۹	-۰/۰۴
دوآب مرک	-۱/۷۳+	-۰/۰۵۵	-۰/۱۵	-۲/۶۳**	-۰/۲۲۶	-۰/۲۹
کاکارضا	۱/۵۴	۰/۱۸۱	۰/۱۹	-۲/۱*	-۰/۴۹۷	-۰/۵۹
پلچهر	-۱/۷۳+	-۰/۳۶۴	-۱/۶۴	-۳/۵۷***	-۲/۱۴۱	-۲/۳۵

(*** معناداری روند در سطح $\alpha=0.001$ ، ** معناداری روند در سطح $\alpha=0.01$ ، * معناداری روند در سطح $\alpha=0.05$ ، + معناداری روند در سطح $\alpha=0.1$)

آبخیز کرخه مشخص شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، در اغلب ایستگاه‌ها به جز کاکارضا، دوآب مرک، پلچهر و سراب سید علی شیب خط در همه ماه‌های سال منفی است، یعنی دبی آنها کاهش می‌یابد. با توجه به شیب خط رگرسیون (جدول ۷) بیشترین تغییرات دبی ماهانه در دوره آماری مطالعه شده در ایستگاه پای پل مشاهده شده است. به طوری که دبی ماه ژانویه در این ایستگاه به میزان ۹۰ مترمکعب کاهش یافته است. کمترین تغییرات دبی ماهانه در ایستگاه‌های دوآب مرک و سراب سید علی مشاهده شده است. این در حالی است که با توجه به سیلاب‌های اتفاق افتاده در سال ۲۰۱۹ در این حوضه، در صورت در دسترس بودن آمار ماهانه دبی ایستگاه‌های هیدرومتری این سال، شاید نتایج بررسی روند متفاوت‌تر می‌شد.

روند تغییرات ماهانه دبی

نتایج آزمون‌های ناپارامتری من کندال و سن برای دبی‌های ماهانه ایستگاه‌های مطالعه شده در جدول‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. همان گونه که در این جدول‌ها مشاهده می‌شود، استفاده از آزمون سن برای تعیین روند سری‌های زمانی دبی در مقیاس ماهانه مناسب‌تر از آزمون من کندال است. در حالی که همان گونه که در قسمت‌های قبل دیده شد، برای تعیین روند سری‌های زمانی دبی در مقیاس سالانه و فصلی آزمون من کندال مناسب‌تر بود. با بررسی نتایج این جدول‌ها دیده می‌شود که در اغلب ماه‌های سال و در بیشتر ایستگاه‌ها به جز ایستگاه سراب سید علی روند کاهشی در دبی در سطوح اطمینان مختلف وجود دارد. در جدول ۷ شیب خط رگرسیون آزمون پارامتری تحلیل رگرسیون برای دبی‌های ماهانه ایستگاه‌های حوضه

جدول ۵. آماره آزمون من کندانال برای دبی‌های ماهانه ایستگاه‌های حوضه آبخیز کرخه (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
حمیدیه	-۲/۸	-۲/۶	-۲/۶	-۲/۵	-۲/۵	-۲/۲	-۲/۹	-۲/۷	-۲/۷	-۲/۹	-۳	-۳/۱
پای پل	-۳/۴۲	-۲/۶	-۰/۵۶	-۰/۶۸	-۱/۶۵	-۰/۳	-۰/۹۴	-۰/۷۹	-۰/۷۱	-۰/۹	-۱/۶۱	-۱/۱۶
پل زال	-۴/۲۶	-۳/۹	-۳/۴	-۱/۹	-۲/۸	-۲/۸۵	-۲/۷	-۲/۶	-۲/۵	-۲/۳*	-۱/۶۵+	-۱/۸+
پلدختر	-۱/۵	-۰/۹۸	-۲/۱۸	-۱/۳۵	-۰/۳۸	۰	-۰/۹۸	-۱/۸۴	-۳/۵۷	-۳/۱**	-۰/۷۹	۰/۷۹
آفرینه	-۳/۲۳	-۳/۲۷	-۳/۴۹	-۲/۵۹	-۲/۹۷	-۲/۸۹	-۲/۸۲	-۳/۲۷	-۴/۰۹	-۳/۸۷***	-۱/۰۹	-۰/۸۳
چم انجیر	-۳/۶	-۳/۷***	-۳/۶	-۳/۴	-۳/۳	-۳/۸	-۴/۴	-۵/۲	-۵/۲	-۳/۹***	-۳**	-۲/۴*
سراب سید علی	۱/۲	۲	-۱/۸	-۰/۶۸	۰/۹	۰/۳	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۱/۳۵	۲/۳*	۲/۳*
نورآباد	-۲/۳	-۰/۸	-۲/۶	-۲/۴	-۲/۶	-۲/۶	-۲/۶	-۲/۶	-۲/۴	-۲/۴*	-۱/۸+	۱/۲۴
دوآب مرک	-۲/۵	-۲/۳	-۲/۸	-۱/۹	-۱/۱	-۰/۳۴	-۰/۴۱	-۰/۳۸	-۱/۳	-۱/۸+	-۱/۳	-۱/۷+
کاکارضا	-۱/۳	-۲/۳	-۲/۴	-۲/۳	-۲/۴	-۴/۵	-۴/۸	-۴/۵	-۳/۸	-۱/۴	۱/۴	۱/۸+
پلچهر	-۳/۲۳	-۲/۴۴	-۳/۳۸	-۳/۲۷	-۲/۱	-۰/۴۷	۰/۳۲	۱/۶	۰/۹۹	-۰/۶۴	-۲/۴۴*	-۲/۱۴*

(*** معناداری روند در سطح $\alpha=0.001$, ** معناداری روند در سطح $\alpha=0.01$, * معناداری روند در سطح $\alpha=0.05$, + معناداری روند در سطح $\alpha=0.1$)

جدول ۶. آماره آزمون سن برای دبی‌های ماهانه ایستگاه‌های حوضه آبخیز کرخه (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
حمیدیه	-۴/۷**	-۵/۱*	-۵/۲**	-۴/۹*	-۵*	-۵/۵**	-۵/۲**	-۴/۷**	-۵/۱**	-۵/۱	-۴/۷	-۴/۶
پای پل	-۸/۶***	-۶/۹*	-۲	-۲/۴	-۳/۳۴+	-۰/۶	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۲	-۰/۶	-۱/۹۶	-۱/۱
پل زال	-۲/۶***	-۳/۲***	-۲/۹***	-۲/۳+	-۲/۱**	-۱/۷**	-۱/۳**	-۱/۱**	-۰/۹*	-۰/۷	-۰/۷	-۰/۸
پلدختر	-۰/۷۷	-۰/۷۹	-۲/۲*	-۱/۷	-۰/۳	۰	-۰/۲	-۰/۳+	-۰/۴***	-۰/۶	-۰/۱	۰/۶
آفرینه	۱/۴**	-۲/۵۶**	-۲/۶۶***	-۲/۹۴***	-۱/۸**	-۰/۹۶**	-۰/۵۵**	-۰/۴۶**	-۰/۴۹***	-۰/۶۳	-۰/۳۹	-۰/۲۳
چم انجیر	-۰/۴***	-۰/۶***	-۰/۷***	-۰/۶***	-۰/۴***	-۰/۳***	-۰/۲***	-۰/۲***	-۰/۲***	-۰/۲	-۰/۳	-۰/۲
سراب	۰/۱	۰/۲*	-۰/۲۵+	-۰/۱	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۳	۰/۲	۰/۳
نورآباد	-۰/۰۴*	-۰/۰۲	-۰/۰۵*	-۰/۰۴*	-۰/۰۵**	-۰/۰۵**	-۰/۰۵*	-۰/۰۵*	-۰/۰۴*	-۰/۴۰	-۰/۰۳	-۰/۰۲
دوآب	-۰/۱۵*	-۰/۱۶*	-۰/۳۴**	-۰/۲۹+	-۰/۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۱
کاکارضا	-۰/۱۶	-۰/۴*	-۰/۸*	-۰/۷*	-۰/۴*	-۰/۲***	-۰/۲***	-۰/۱***	-۰/۱***	-۰/۱	۰/۱	۰/۳
پلچهر	-۱/۹۴**	-۱/۹*	-۳/۵***	-۳/۱**	-۰/۸*	-۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۱	-۰/۱	-۰/۶	-۰/۷

(*** معناداری روند در سطح $\alpha=0.001$, ** معناداری روند در سطح $\alpha=0.01$, * معناداری روند در سطح $\alpha=0.05$, + معناداری روند در سطح $\alpha=0.1$)

جدول ۷. شیب خط رگرسیون آزمون پارامتری تحلیل رگرسیون برای دبی‌های ماهانه ایستگاه‌های حوضه آبخیز کرخه (۱۹۹۰-۲۰۱۸)

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
حمیدیه	-۴/۷	-۵	-۵	-۴/۷	-۴/۷	-۴/۸	-۴/۹	-۵	-۴/۷	-۴/۸	-۴/۶	-۴/۶
پای پل	-۹	-۶/۴	-۲/۷	-۴/۵	-۵/۱	-۱/۵	-۰/۳۶	-۰/۳۳	-۰/۱۹	-۰/۱	-۴/۶	-۴/۲
پل زال	-۲/۵	-۲/۵	-۲/۹	-۰/۳۶	-۲/۱	-۱/۶	-۱/۲	-۱/۹۶	-۱/۷۹	-۰/۶۴	-۲/۱	-۱/۶
پلدختر	-۰/۵	-۱/۱	-۲/۸	-۱/۳	-۰/۱	-۰/۱	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۵	-۰/۵	۰/۱	۱/۲
آفرینه	-۱/۷	-۲/۵	-۳/۴	-۲/۷	-۲/۱	-۱	-۰/۵۹	-۰/۴۹	-۰/۵	-۰/۵۶	-۱/۱۴	-۰/۴۹
چم انجیر	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۸	-۰/۶	-۰/۶	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۴	-۰/۲
سراب سید علی	۰/۱	۰/۱۸	-۰/۲	-۰/۱	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۱۷
نورآباد	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۰۵	-۰/۰۵	-۰/۰۵	-۰/۰۵	-۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۰۴	-۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۰۲
دوآب مرک	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۴	-۰/۴	-۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۰۴	-۰/۲	-۰/۱۸
کاکارضا	-۰/۲	-۰/۵	-۱/۰۳	-۰/۷	-۰/۵	-۰/۲	-۰/۱۷	-۰/۱۲	-۰/۱	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۳۵
پلچهر	-۲/۱	-۱/۵	-۳/۴	-۲/۶	-۱/۶	-۰/۲	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۳	-۱/۵	-۳/۴

(*** معناداری روند در سطح $\alpha=0.001$, ** معناداری روند در سطح $\alpha=0.01$, * معناداری روند در سطح $\alpha=0.05$, + معناداری روند در سطح $\alpha=0.1$)

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، روندهای سالانه، فصلی و ماهانه داده‌های دبی حوضه آبخیز کرخه طی سه دهه اخیر به صورت زمانی تجزیه و تحلیل شد. به این منظور، با به‌کارگیری داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری این حوضه آبخیز شامل حمیدیه، پای پل، پل زال، پلدختر، آفرینه، چم انجیر، سراب سید علی، نورآباد، دوآب مرک، کاکارضا و پلچهر، روند تغییرات داده‌های یادشده با استفاده از آزمون‌های پارامتری من کندال و سن و نیز آزمون پارامتری تحلیل رگرسیون بررسی شد.

علاوه بر مقدار بارش، عوامل دیگری غیر از بارش (دخالتهای انسان در محیط) در تغییرات دبی سرشاخه‌های رودخانه کرخه که رود اصلی حوضه آبخیز کرخه است، دخیل هستند. چون نسبت حجم بارش زمستانه به مراتب بیشتر از حجم بارش سایر فصل‌های سال است و طبق گزارش‌های چهارم و پنجم اعلام‌شده از سوی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۱ و پژوهش‌های صورت‌گرفته در این مورد [۲۰ و ۲۱]، که تغییر در توزیع زمانی بارش را برگرفته از پدیده گرمایش جهانی می‌دانند، بنابراین تغییر در توزیع زمانی بارش مصادف با تغییر حالت آن نیز بوده است. بنابراین، از آنجا که سطح آب زیرزمینی و دبی خروجی چشمه‌ها دچار افت شده است و به این ترتیب، منابع آبی یادشده نسبت به گذشته سهم کمتری در پایداری دبی‌های سرشاخه‌های کرخه دارند. شایان توجه است که حتی افزایش بارش بهار (که بیشتر به صورت رگباری است) نتوانسته است کاهش بارش و تغییر حالت بارش زمستانه را جبران کند. بنابراین، چون معیشت و شرب ساکنان محلی وابسته به این آب‌هاست ولی برای جبران گذشته به روش‌های دیگری مانند حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و برداشت‌های غیراصولی روی آورده، که این عامل خود سبب تشدید در روند نزولی دبی رودخانه‌ها شده است.

در ارتباط با دخالت انسان در محیط و تغییرات دبی سرشاخه‌های کرخه، با توجه به اینکه رودخانه پلچهر دارای بیشترین تغییرات دبی سالانه در میان سایر سرشاخه‌های رودخانه کرخه است و تأثیر انکارناپذیری که بر تنظیم دبی

و در پی آن، تأمین بخشی از آب آن دارد، به عامل تأثیرگذار بر کاهش دبی این رودخانه طی زمان به صورت اجمالی اشاره می‌شود. با مقایسه جدول‌های ۳ و ۴ دیده می‌شود که دبی این رودخانه بیشترین کاهش را در فصل زمستان دارد (۲۳/۵ مترمکعب)، این در حالی است که بیشترین بارش در فصل زمستان است و دبی در این زمان باید افزایش یابد. به این شکل با توجه به گسترش کشاورزی، سیستم باغداری و توسعه شهرنشینی و نیاز مبرم آنها به آب شیرین در دشت الشتر و ایجاد سدهای انحرافی و انتقال آب رودخانه پلچهر و برداشت‌های غیر اصولی [۱۸]، مشخص می‌شود که اگرچه توزیع زمانی بارش دچار تغییر شده و دبی را دچار افت کرده، اما عامل تأثیرگذار بر تغییرات و کاهش دبی بیانگر وجود عامل مؤثر دیگری است. به بیانی دیگر، با توجه به مراتب یادشده در مورد اقدامات انسان در محیط می‌توان نتیجه گرفت که دخالت بی‌رویه انسان سبب بحرانی‌تر شدن وضعیت دبی سرشاخه‌ها و رودخانه کرخه شده است. بنابراین، چون سرشاخه‌ها نقش زیادی در تأمین دبی رودخانه کرخه دارند، بنابراین هرگونه تغییر کاهشی در آنها می‌تواند حوضه‌های پایین‌دست هر یک از سرشاخه‌ها و سایر حوضه‌های رودخانه کرخه را دچار چالش جدی کند. به طور کلی، می‌توان گفت که تغییرات زمانی بارش و در پی آن، تغییرات فاز بارش سبب تغییرات دبی رودخانه کرخه و سرشاخه‌های آن شده است. در این میان، دخالت انسان در محیط و استفاده غیراصولی و بهره‌برداری بیش از حد از آب رودخانه‌های یادشده و همچنین بی‌توجهی به نقش آب در طبیعت و حوضه‌های پایین‌دست این رودخانه‌ها وضعیت دبی را دچار حالت بحرانی کرده است.

در ارتباط با دخالت انسان در محیط و تغییرات دبی در قسمت‌های پایین‌دست کرخه به‌ویژه ایستگاه‌هایی مانند حمیدیه، پای پل و پل زال که مربوط به سد شهید عباسپور (سد کرخه) می‌شوند، می‌توان گفت که احداث این سازه هیدرولیک سبب کاهش بسیار زیاد دبی در این ایستگاه‌ها (به ترتیب ۴۸، ۳۲ و ۱۶ مترمکعب) شده است. پژوهش‌های صورت‌گرفته در این مورد مانند مطالعه آذرنگ و همکاران [۲۲] درباره آثار احداث سد بزرگ بر شرایط جریان و پارامترهای هیدرولیک رودخانه کرخه بیانگر همین ادعاست که با احداث سد روی رودخانه، کاهش

- from Canton Lake, Western Oklahoma, U. S. Geological Survey, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Reports. 1996; 96:4304.
- [5]. Xu C. Modelling the effects of climate change on water resources in Central Sweden. *Water Resource Manage.* 2000; 14: 177-189.
- [6]. Garbrecht J, Liew MV, Brown GO. Trends in precipitation, streamflow and evapotranspiration in the Great Plains of the United States. *Hydrology.* 2017; 9(5): 360-367.
- [7]. Xu C, Chen Y, Li J, Impact of climate change on water resources in the Tarim river basin. *Water Resource Manage.* 2004; 18: 439-458.
- [8]. Thodsen H. The influence of climate change on stream flow in Danish rivers. *Hydrology.* 2007; 333: 226-238.
- [9]. Jiang T, Su B, Hartmann H. Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin. *Geomorphology.* 2007;85: 143-154.
- [10]. Feizinya S. Applied sedimentology with emphasis on soil erosion and sediment production. 1nd ed. Gorgan: University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publications; 2008 [Persian].
- [11]. Iran Water and Power Resources Development Company. Basic Studies Report of Karkheh Area: *Hydrology.* Final ed. Volume 6-2. 2004 [Persian].
- [12]. Hejam S, Khoshkhoo Y, Shamsodin R. The process of heavy and annual rainfall fluctuations in the Central Zone of Iran using non-parametric methods. *Frequency Research.* 2008; 40(64): 168-157 [Persian].
- [13]. Khalili A, Bazrafshan J. Annual and monthly rainfall trends of Iran in the year and twenty-five years. *Desert.* 2004; 9(1): 33-25 [Persian].
- [14]. Sen P. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *American Statistical Association.* 63, 1379-1389.
- [15]. Bouza-Deano R, Ternero-Rodriguez M, Fernandez-Espinosa A. Trend study and assessment of surface water quality in the Ebro River (Spain). *Hydrology.* 2008; 361: 227-239.
- [16]. https://www.researchgate.net/publication/259357030_MAKESENS_10xls.
- [17]. Delbouri M, Afrasiab P, Mirmadi R. Spatial-temporal analysis of salinity and groundwater depth (Case study of Mazandaran province). *Irrigation and Drainage.* 2010; 4 (3): 359-374 [Persian].

چشمگیری در دبی‌های مشخصه حداقل، متوسط و حداکثر رودخانه ایجاد شده است.

با بررسی جدول‌های نشان‌دهنده روند تغییرات زمانی دبی در هر سه مقیاس زمانی سالانه، فصلی و ماهانه می‌توان به این نتیجه رسید که نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های تحلیل رگرسیون و سن شباهت بیشتری با هم دارند و متفاوت از نتایج به‌دست‌آمده از روش من‌کندال هستند. این نتایج نشان دادند دبی در هر سه مقیاس زمانی سالانه، فصلی و ماهانه در روش من‌کندال روند منفی‌تر از دو روش سن و تحلیل رگرسیون دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش سن نسبت به روش من‌کندال، در بررسی روند تغییرات دبی شباهت بیشتری به واقعیت دارد. علت چنین نتایجی می‌تواند به این صورت باشد که با توجه به وجود داده‌های تکراری صفر در سری داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه، سری‌های دبی ماهانه، فصلی و سالانه که از بارش حاصل شده‌اند نیز دارای داده‌های تکراری می‌شوند و در چنین مواردی روش من‌کندال ممکن است وجود روند را اشتباه تشخیص دهد [۲۳] که این نتیجه توسط تحقیقات پیشین [۱۳] نیز به اثبات رسیده است.

به‌طور کلی، نتایج تحقیق حاضر آثار تغییر اقلیم و دخالت‌های انسانی بر دبی رودخانه‌های حوضه کرخه را تأیید کرده است. نتایجی که برای دیگر حوضه‌های کشور نیز قابل پیش‌بینی است و لزوم توجه به آن از هم‌اکنون مشهود است. نتایج تحقیق حاضر را می‌توان در پهنه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی‌های آتی، طراحی و برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب به کار برد.

منابع

- [1]. Mosaedi A, Sharifian H. Investigating the frequency trend in the Transanrud river. the Myanmar Tribal and the Early Arabian Tribes. 2003 [Persian].
- [2]. Masah Bovani A, Murid S, The impacts of the Zayandehrood river flow on the Oman river, *Agricultural Science and Techniques.* 2005; 4: 27-17 [Persian].
- [3]. Rahbar E, Pakparvar M, Jokar L. Growth of runoff in irrigated Persian Gulf. *Central and Desert Iran.* 2005; 12: 375-357 [Persian].
- [4]. Wahl K, Tortorelli R. Changes in flow the Beaver-North Canadian river basin upstream

- [18]. Kakolvand Y. Forecasting and zoning of rainfall, flow and flood in Kashkan river basin. Master's Degree in Natural Geography. Faculty of Geography and Planning. Tabriz University. 2011 [Persian].
- [19]. Tirsahab M, Pasdar Y, Mesdaghinia A, Naseri S. Impact of industrial and domestic wastewater on water quality of Kashan River. Fourth Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. 1996 [Persian].
- [20]. Ghayyur H. Climate change and water resources, Fifth International Congress of Geographers of the Islamic World. Tabriz University. 2012 [Persian].
- [21]. Alijani B. Climate change effects in the Islamic world. Fifth International Congress of Islamic World Geographers. Tabriz University. 2018 [Persian].
- [22]. Azarang F, Tellori A, Sadeghi H, Shafei M. Effects of large dam construction on flow conditions and hydraulic parameters of Karkheh river. Water and Soil (Agricultural Science and Technology). 2016; 31(1): 27-11 [Persian].
- [23]. Zekâi Ş. Springer International Publishing AG. Library of Congress Control Number. 2017; 4:86.