

آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری

چکیده

بررسی روند تغییرات دبی رودخانه در مدیریت منابع آب و طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی امری بسیار مهم است. در این تحقیق، روند تغییرات سالانه، فصلی و ماهانه دبی رودخانه مارون با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و سن و همچنین تحلیل پارامتری رگرسیونی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور، از داده‌های دبی رودخانه در پنج ایستگاه آب‌سنجی ایدنک، بهبهان، گرگر، مشراکه و شادگان طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۶۸ استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که دبی سالانه در همه ایستگاه‌ها، دارای روند نزولی در دو دهه اخیر بوده است. برآوردها بیانگر آن است که مقادیر دبی سالانه در ایستگاه‌های بهبهان، مشراکه، گرگر، شادگان و ایدنک به ترتیب به میزان ۸۰، ۴۰، ۲۱، ۱/۴ و ۰/۴ مترمکعب در هر دهه تقلیل یافته است. تحلیل سه آزمون انجام شده بر روی دبی‌های فصلی بیانگر آن است که مقادیر دبی فصل‌های بهار و زمستان، کاهش و فصل تابستان، افزایش یافته است. بیشترین تفاوت نتایج آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری در دبی فصل پاییز مشاهده گردید. به طوری که مقادیر دبی این فصل با توجه به آزمون‌های ناپارامتری، افزایش و بر اساس تحلیل پارامتری کاهش یافته است. نتایج بررسی دبی‌های ماهانه توسط آزمون‌های بکار رفته نشان داد که داده‌های دبی ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و اسفند در تمامی ایستگاه‌ها کاهش یافته است. نتایج این

پژوهش می‌تواند در پیش‌بینی خشکسالی‌های آتی، برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب منطقه بکار رود.

واژه‌های کلیدی: روند، دبی رودخانه مارون، آزمون من-کندال، تخمینگر سن، تحلیل رگرسیون

مقدمه

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای خصوصاً دی‌اکسید کربن سبب تغییر رژیم بارش و دما در دهه‌های اخیر شده است. جریان رودخانه به عنوان 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 این رو، بررسی تغییرات دبی رودخانه در طول زمان می‌توان اثرات تغییر یا عدم تغییر در شرایط اقلیمی یک منطقه را مشخص نماید.

یکی از روش‌های متداول به منظور تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند^۱ در آن‌ها ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی می‌باشد. از محدود تحقیقاتی که در این زمینه در ایران انجام شده است، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. مساعدی و شریفان (۱۳۸۲) از داده‌های دبی روزانه ۷ ایستگاه آب‌سنجی در مسیر رودخانه گرگانرود به‌منظور بررسی روند فراوانی وقوع سیل استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد که در اکثر دوره‌ها و تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها، آبدهی رودخانه کاهش یافته است. همچنین بررسی روند تغییرات آبدهی رودخانه در فصول مختلف حاکی از آن است که آبدهی رودخانه در فصول بهار و

تابستان عموماً از یک روند کاهشی برخوردار بوده در حالی که در فصل‌های زمستان و پاییز متغیر بوده و روند خاصی در مورد کل رودخانه مشاهده نشده است. مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) با بررسی اثرات 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. همچنین نتایج آنها کاهش جریان تا ۵/۸ درصد و افزایش ضریب تغییرات جریان تا ۳ برابر را برای دوره‌های آتی نشان می‌دهد. رهبر و همکاران (۱۳۸۴) روند تغییرات رواناب در حوضه آبریز خررود تا ایستگاه آبگرم واقع در زیرحوضه قزوین را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که در دوره سی ساله ۷۴-۱۳۴۵، با وجود ثبات بارش سالانه و اندکی کاهش دمای سالانه، ارتفاع رواناب و همچنین نسبت رواناب به بارش سالانه روندی فزاینده و معنی‌دار داشته است. مریانجی و همکاران (۱۳۸۷) روند تغییرات دبی رودخانه یالغان و همچنین پارامترهای دما و بارش را در یک دوره آماری ۳۰ ساله مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که داده‌های سالانه دما دارای روند افزایشی معنی‌داری بوده در حالی که روند معنی‌داری در داده‌های بارش و دبی مشاهده نشده است. نیک‌قوجق و یارمحمدی (۱۳۸۷) داده‌های دما، بارش و دبی رودخانه زیارت در استان گلستان را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که میانگین دمای هوا به ازای هر ۱۰ سال ۱/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. در حالی که میانگین بارش در هر سال ۹ میلی-متر و میانگین دبی در هر ۱۰ سال حدود ۰/۲ مترمکعب کاهش یافته است.

در سایر نقاط جهان نیز پژوهش‌های متعددی در مورد تحلیل روند تغییرات دبی رودخانه صورت گرفته است. وال و توتورلی (۱۹۹۶) روند احتمالی در جریان رودخانه^۲ را در غرب اوکلاهما مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که جریان رودخانه‌ای دارای

روند کاهشی معنی‌دار بوده است. مطالعه زو (۲۰۰۰) بر روی اثرات تغییر اقلیم بر رژیم جریان رودخانه‌های سوئد نشان داد که مقدار جریان در زمستان، به‌طور معنی‌داری افزایش و در فصول بهار و تابستان، کاهش یافته است. گاربرتچ و همکاران (۲۰۰۴) اثرات تغییر اقلیم بر بارش، جریان رودخانه‌ای و تبخیر تعرق گیاه مرجع را در ۱۰ حوضه آبریز در آمریکا مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها حاکی از روند افزایشی معنی‌دار در هر سه پارامتر مزبور بوده است. زو و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری^۳، روند تغییرات دما، بارش و دبی را در حوضه آبریز تاریم در چین مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که سری‌های زمانی دما دارای روند معنی‌دار افزایشی بوده و داده‌های بارش نیز افزایش یافته است. اگرچه سری‌های زمانی دبی در سراب رودخانه دارای روند افزایشی معنی‌داری بوده ولی در بیشتر مسیر رودخانه، این روند کاهشی بوده است. مطالعه تادسون (۲۰۰۷) بر روی اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌های دانمارک طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ نشان داد که مقادیر دبی رودخانه‌ها از ماه دسامبر تا آگوست کاهش و در ماه‌های سپتامبر و اکتبر افزایش یافته است. جیانگ و همکاران (۲۰۰۷) روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه را در حوضه رودخانه یانگ‌تسه در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آنها یک روند مثبت معنی‌دار را در داده‌های بارندگی فصل تابستان نشان داد. همچنین نتایج آنها نشان داد که دبی رودخانه در بیشتر ایستگاه‌ها در دوره آماری ۴۰ ساله به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است.

متأسفانه تاکنون مطالعات معدودی در زمینه بررسی روند تغییرات دبی رودخانه در ایران انجام شده است. بنابراین، این تحقیق به منظور آشکارسازی روند تغییرات سالانه،

فصلی و ماهانه دبی رودخانه مارون با استفاده از آزمون‌های من-کندال^۴، سین^۵ و تحلیل رگرسیون^۶ طی دوره آماری ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۷ صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

رودخانه مارون از کوه‌های نیل و چشمه‌سارهای دامنه کوه‌های سادات از ارتفاعات زاگرس سرچشمه گرفته و به هور شادگان می‌ریزد. حوضه آبریز این رودخانه با مساحت تقریبی ۳۸۲۴ کیلومتر مربع، در مختصات جغرافیایی $۴۹^{\circ}۵۰'$ تا $۵۱^{\circ}۱۰'$ طول شرقی و $۳۰^{\circ}۳۰'$ تا $۳۱^{\circ}۲۰'$ عرض شمالی و در ارتفاعات شهرستان بهبهان واقع شده است. حدود ۲۰ درصد مساحت این حوضه را ارتفاعات بیش از ۱۰۰۰ متر و کوهستان‌هایی تشکیل داده‌اند که نقش اساسی در ایجاد آب سطحی حوضه دارند. این حوضه به دلیل کمی پوشش گیاهی در ارتفاعات و شیب زیاد و همچنین سازندهای زمین‌شناختی مرکب از رسوبات تبخیری و مارن، فرسایش پذیر بوده و در نتیجه رسوب رودخانه بسیار زیاد می‌باشد. حوضه آبریز مارون توسط حوضه‌های آبریز رودخانه‌های زهره و کارون در استان‌های خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد احاطه گردیده است.

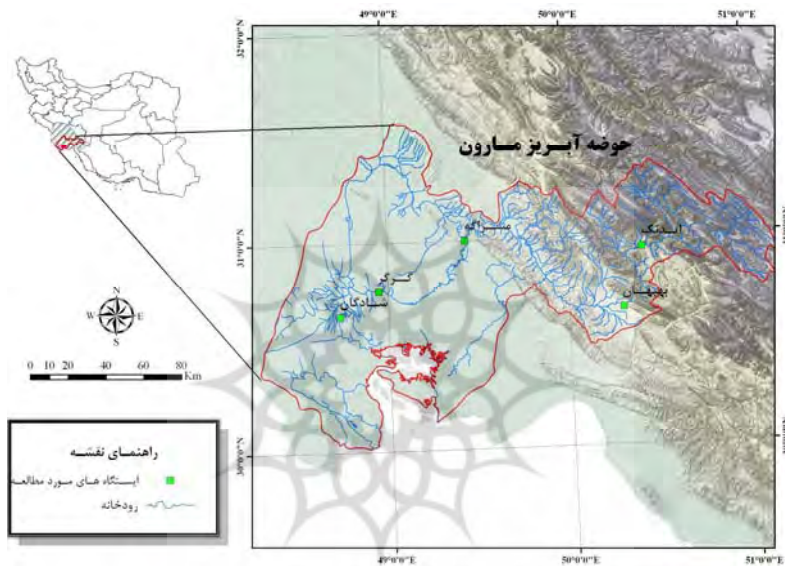
به منظور انجام این تحقیق، در اولین مرحله طول دوره آماری متفاوت ایستگاه‌ها که عمدتاً مربوط به تأسیس آنها در سال‌های مختلف بود، به یک پایه زمانی مشترک تبدیل شد و سپس اقدام به تکمیل آمارهای ناقص این دوره گردید. آمارهای مورد استفاده از نقص نسبتاً کمی برخوردار بودند که برای بازسازی آنها از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها استفاده شد. در این روش بعد از بدست آوردن آمار ایستگاه مبنا یا متغیر مستقل و ایستگاه فاقد آمار یا متغیر وابسته، این داده‌ها را با استفاده از نرم افزارهای EXCEL و SPSS مورد بازسازی قرار دادیم. طول دوره آماری بکار رفته در مطالعه

4 -Mann-Kendall test

5 -Sen's slope estimator

6 -Regression analysis

حاضر ۲۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۸۷) بوده است. در این تحقیق، از داده‌های ماهانه دبی ایستگاه-های آب‌سنجی بهبهان، گرگر، مشراکه، شادگان و ایدنک استفاده گردید که مشخصات جغرافیایی آنها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین مقادیر میانگین فصلی و ماهانه دبی رودخانه مارون در ایستگاه‌های مورد بررسی در دوره آماری مطالعاتی در شکل ۲ ارائه شده است.

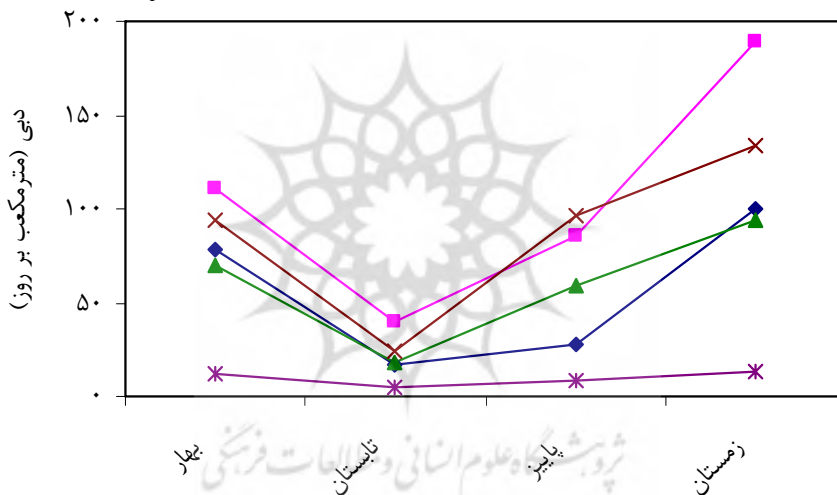
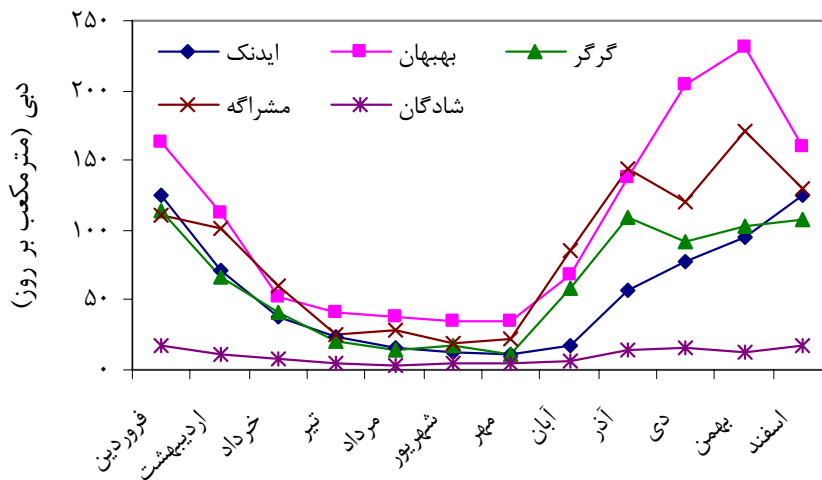


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های آب‌سنجی

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مطالعه

ارتفاع از سطح دریا (متر)	مختصات جغرافیایی		ایستگاه
	عرض	طول	
۵۶۰	۳۰°۵۶'	۵۰°۲۴'	ایدنک
۳۳۳	۳۰°۳۹'	۵۰°۱۷'	بهبهان
۱۷	۳۰°۴۶'	۴۸°۵۷'	گرگر
۳۰	۳۱°۰۰'	۴۹°۲۶'	مشراکه
۶	۳۰°۳۹'	۴۸°۴۴'	شادگان

آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری / ۱۳۱



شکل ۲- مقادیر میانگین فصلی و ماهانه دبی رودخانه مارون در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۳۶۸-۱۳۸۷)

آزمون من-کندال

آزمون من-کندال یکی از متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به شمار می‌رود. مطالعات مختلف انجام شده با استفاده این

روش حاکی از اهمیت و کاربرد فراوان آن در تحلیل روند سری‌های زمانی می‌باشد (حجام و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۵۸). این آزمون ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۴۸ توسعه یافت. کاربرد این روش توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه گردید. از این روش برای آزمون فرض تصادفی بودن توالی داده‌ها در مقابل وجود روند استفاده می‌گردد (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۳، ۲۷). از نقاط قوت روش من-کندال می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی‌ای که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (حجام و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۵۹ و ۱۶۰). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آماره Z این آزمون توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌گردد:

(۱)

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

طریقه محاسبه آماره S و واریانس آن در مقاله حجام و همکاران (۱۳۸۷) و سلمی و همکاران (۲۰۰۲) به تفصیل توضیح داده شده است. در این آزمون، آماره Z بزرگتر از ۱/۹۶ و ۲/۵۸ به ترتیب نشان دهنده روند معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد می‌باشد. همچنین، در صورت مثبت بودن آماره Z ، روند سری داده‌ها، صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

آزمون سین

این آزمون توسط سین (۱۹۶۸) ارائه شده 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 در هنگام وجود داده‌های گمشده، به راحتی قابل استفاده می‌باشد (بوزا دینو و همکاران، ۲۰۰۸، ۲۳۵). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد. پذیرش فرض یک و یا به عبارت دیگر رد فرض صفر، دال بر وجود روند در سری زمانی داده‌ها می‌باشد. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد داری شیب بدست آمده در سطوح اطمینان مختلف می‌باشد. روش محاسبه آماره سین (Q) در مقالات حجام و همکاران (۱۳۸۷) و سلمی و همکاران (۲۰۰۲) ارائه شده است. لازم به ذکر است که برای محاسبه آماره‌های آزمون‌های من-کندال و سین، از نرم افزار MAKESENS استفاده گردید (سلمی و همکاران، ۲۰۰۲).

تحلیل رگرسیون

بر اساس اصل حداقل مربعات^۷، یک مدل رگرسیون خطی با زمان مطابق رابطه زیر بر سری زمانی داده‌های دبی برازش داده شد و با استفاده از همبستگی پیرسون^۸، معنی‌دار بودن شیب آن در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت:

(۲)

$$Y = a + bX$$

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

7-Least squares

8-Pearson correlation

یافته‌های تحقیق

روند تغییرات سالانه دبی

در جدول ۲، نتایج آزمون‌های من-کندال (Z)، سین (Q) و تحلیل رگرسیون برای دبی سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، دبی سالانه در همه ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی در دو دهه اخیر بوده است. لیکن اغلب این روندها معنی‌دار نبوده است. روند معنی‌داری توسط دو آزمون من-کندال و سین در داده‌های دبی سالانه تعیین نشده است. عدم وجود روند معنی‌دار در داده‌های دبی سالانه با نتایج مریانجی و همکاران (۱۳۸۷) همخوانی مطلوبی دارد. تنها روند معنی‌دار مشاهده شده توسط تحلیل رگرسیون در داده‌های دبی سالانه ایستگاه مشراکه بدست آمده است. بر اساس شیب خط رگرسیون ارائه شده در جدول ۲، می‌توان چنین نتیجه گرفت که مقادیر دبی سالانه در ایستگاه‌های بهبهان، مشراکه، گرگر، شادگان و ایدنک به ترتیب به میزان ۸۰، ۴۰، ۲۱، ۱/۴ و ۰/۴ مترمکعب در هر دهه کاهش یافته است. کاهش مقادیر دبی سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه بسیار بیشتر از مقدار گزارش شده (۲ مترمکعب در هر دهه) توسط نیک‌قوجق و یارمحمدی (۱۳۸۷) می‌باشد. مساعدی و شریفان (۱۳۸۲) و وال و توتورلی (۱۹۹۶) نیز در تحقیقات خود، روند کاهشی در مقادیر دبی را نتیجه گرفتند.

روند تغییرات فصلی دبی

نتایج آزمون‌های من-کندال، سین و تحلیل رگرسیون برای دبی فصل‌های بهار و تابستان ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ درج شده است. بر اساس نتایج ارائه شده در این جدول، مقادیر دبی فصل بهار، کاهش و دبی فصل تابستان، افزایش یافته است. کاهش مقادیر دبی فصل بهار با نتایج مطالعه زو (۲۰۰۰) همخوانی مطلوبی دارد. روندهای افزایشی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد در داده‌های دبی فصل بهار ایستگاه‌های بهبهان و مشراکه توسط دو آزمون من-کندال و سین تعیین شده است. در حالی که تحلیل

آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری / ۱۳۵

رگرسیون، فقط در ایستگاه مشراکه این روند معنی‌دار را در سطح ۹۵ درصد مورد تأیید قرار داده است. بر طبق نتایج جدول ۳، مقادیر دبی فصل بهار در ایستگاه‌های بهبهان، مشراکه، گرگر، ایدنک و شادگان به ترتیب به میزان ۹۱، ۵۴، ۲۰، ۹ و ۲ مترمکعب در هر دهه کاهش یافته است.

جدول ۲- نتایج آزمون‌های من-کندال (Z)، سین (Q) و تحلیل رگرسیون برای دبی سالانه

(۱۳۶۸-۱۳۸۷)

ایستگاه	Z	Q	b	P-value
ایدنک	-۰/۷۶	-۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۸۹۷
بهبهان	-۱/۸۵	-۳/۵۱	-۷/۹۶	۰/۰۹۵
گرگر	-۱/۵۹	-۱/۵۳	-۲/۱۰	۰/۰۶۶
مشراکه	-۱/۹۱	-۳/۷۴	-۴/۰۱	۰/۰۳۵
شادگان	-۱/۴۶	-۰/۱۲	-۰/۱۴	۰/۲۸۴

b : شیب خط رگرسیون، * : معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد،

** : معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد و P-value: سطح معنی‌داری

بر اساس جدول ۳، روندهای افزایشی معنی‌داری در سری‌های زمانی دبی فصل تابستان در ایستگاه‌های گرگر، مشراکه و شادگان در سطح اطمینان ۹۵ درصد توسط دو آزمون من-کندال و سین مشخص شده است. روندهای مشاهده شده توسط تحلیل رگرسیون نیز تقریباً مشابه با نتایج دو آزمون فوق بوده است. فقط تفاوت، در دبی فصل تابستان ایستگاه مشراکه مشاهده شده است که تحلیل رگرسیون، روند معنی‌دار افزایشی را در سطح ۹۹ درصد تعیین نموده است. نتایج جدول ۳ نشان داد که مقادیر دبی فصل تابستان ایستگاه‌های مشراکه، گرگر، بهبهان، ایدنک و شادگان به ترتیب به میزان ۲۰، ۸، ۴، ۳ و ۲ مترمکعب در هر دهه افزایش یافته است.

جدول ۳- نتایج آزمون‌های من-کندال، سین و تحلیل رگرسیون برای دبی‌های فصلی

(۱۳۶۸-۱۳۸۷)

فصل تابستان				فصل بهار				ایستگاه
P-value	b	Q	Z	P-value	b	Q	Z	
۰/۹۷۸	۰/۳۱	۰/۱۸	۰/۹۴	۰/۶۰۳	-۰/۸۶	-۰/۳۷	-۰/۲۳	ایدنک
۰/۷۴۹	۰/۴۴	۱/۴۵	۱/۱۰	۰/۰۵۲	-۹/۱۴	*-۵/۲۳	*-۲/۲۴	بهبهان
۰/۰۴۱	۰/۸۷	*۰/۹۲	*۲/۱۱	۰/۲۷۶	-۲/۰۲	-۱/۴۰	-۰/۸۴	گرگر
۰/۰۰۹	۲/۰۴	*۲/۰۷	*۲/۳۱	۰/۰۱۵	-۵/۴۳	*-۴/۹۷	*-۲/۰۵	مشراکه
۰/۰۴۰	۰/۱۶	*۰/۲۰	*۲/۰۵	۰/۳۸۱	-۰/۲۲	-۰/۱۹	-۰/۷۱	شادگان

b: شیب خط رگرسیون، *: معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد،

** : معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد و P-value: سطح معنی‌داری

در جدول ۴، نتایج آزمون‌های ناپارامتری من-کندال، سین و پارامتری تحلیل رگرسیون برای دبی فصول پاییز و زمستان ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، مقادیر دبی فصل زمستان طی دو دهه اخیر کاهش یافته است. همچنین مقادیر دبی فصل پاییز با توجه به آزمون‌های ناپارامتری، افزایش و بر اساس نتایج آزمون پارامتری، کاهش یافته است. تفاوت فاحش نتایج آزمون‌های ناپارامتری و پارامتری در داده‌های دبی فصل پاییز شاید به دلیل تأثیر توزیع آماری داده‌های مزبور باشد. به این معنی که یک یا دو عدد پرت در داده‌ها می‌تواند منجر به ایجاد خطا در ضریب همبستگی خطی بین داده‌ها گردد. نتایج آزمون‌های بکار رفته نشان داد که هیچ روند معنی‌داری توسط سه آزمون بکار رفته در سری‌های زمانی دبی فصل پاییز مشاهده نگردید. بر اساس شیب خط رگرسیون ارائه شده در جدول ۴، بیشترین و کمترین تغییرات دبی فصل پاییز به ترتیب در ایستگاه‌های بهبهان و شادگان مشاهده شده است.

جدول ۴- نتایج آزمون‌های من-کندال، سن و تحلیل رگرسیون برای دبی‌های فصلی

(۱۳۸۷-۱۳۶۸)

فصل زمستان				فصل پاییز				ایستگاه
P-value	b	Q	Z	P-value	b	Q	Z	
۰/۷۵۰	-۰/۱۹	-۰/۳۸	-۰/۶۲	۰/۸۴۳	-۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۳۶	ایدنک
۰/۲۳۶	-۱۲/۲۹	-۳/۸۹	-۱/۲۰	۰/۱۱۹	-۹/۱۰	۰/۲۲	۰/۱۶	بهبهان
۰/۰۳۱	-۵/۷۹	*-۴/۶۵	-۱/۹۵	۰/۵۹۴	-۱/۴۵	۰/۸۵	۰/۷۱	گرگر
۰/۱۰۱	-۶/۷۰	*-۷/۳۵	*-۲/۱۰	۰/۱۹۳	-۷/۹۹	۰/۴۲	۰/۲۹	مشراکه
۰/۳۶۸	-۰/۳۳	-۰/۴۳	-۰/۸۴	۰/۵۶۲	-۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۵۲	شادگان

b: شیب خط رگرسیون، * : معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

** : معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد و P-value: سطح معنی‌داری

بر طبق نتایج مندرج در جدول ۴، آزمون سن دو روند معنی‌دار کاهشی در سطح اطمینان ۹۵ درصد در داده‌های دبی فصل زمستان ایستگاه‌های گرگر و شادگان تعیین نموده است. روندهای کاهشی معنی‌دار داده‌های مزبور در ایستگاه مشراکه توسط آزمون من-کندال و در ایستگاه گرگر توسط تحلیل رگرسیون نیز مورد تأیید قرار گرفته است. مقادیر دبی فصل زمستان در ایستگاه‌های بهبهان، مشراکه، گرگر، شادگان و ایدنک به ترتیب به میزان ۱۲۳، ۶۷، ۵۸، ۳ و ۲ مترمکعب در هر دهه کاهش یافته است (جدول ۴).

روند تغییرات ماهانه دبی

نتایج آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و سین برای دبی‌های ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است. روندهای کاهشی در داده‌های دبی ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و اسفند در تمامی ایستگاه‌ها توسط دو آزمون ناپارامتری تعیین شده است. روندهای کاهشی مشاهده شده در ماه‌های فوق با نتایج تادسون (۲۰۰۷) مطابقت مناسبی دارد. همچنین روند کاهشی در داده‌های دبی بهمن ماه ایستگاه‌های ایدنک، بهبهان، گرگر و مشراکه و دبی دی ماه مشراکه و شادگان توسط این دو آزمون مشخص شده است. روند خاصی در سری زمانی دبی بهمن ماه ایستگاه شادگان و دبی آذرماه ایستگاه گرگر توسط دو آزمون مشاهده نشده است. در بقیه سری‌های زمانی دبی ماهانه روند افزایشی بدست آمد. تادسون (۲۰۰۷) نیز در تحقیق خود، روندهای افزایشی دبی در ماه‌های مهر و آبان را نتیجه گرفت.

نتایج آزمون من-کندال نشان داد که دبی ماه‌های فروردین، بهمن و اسفند ایستگاه مشراکه در سطح ۹۵ درصد و دبی فروردین ماه ایستگاه‌های بهبهان و گرگر و دبی اردیبهشت ماه ایستگاه بهبهان در سطح ۹۹ درصد به طور معنی‌داری در دو دهه اخیر تقلیل یافته است. همچنین روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد در دبی مرداد ماه ایستگاه‌های گرگر و شادگان و دبی شهریور ماه ایستگاه‌های گرگر، مشراکه و شادگان مشاهده شده است.

نتایج آزمون سین در تعیین روندهای معنی‌دار مشابه نتایج آزمون من-کندال بوده است. تنها تفاوت‌ها در سری‌های زمانی دبی خرداد ماه ایستگاه مشراکه، بهمن ماه ایستگاه گرگر و مرداد ماه ایستگاه شادگان مشاهده شده است. به طور کلی آزمون سین روندهای معنی‌دار بیشتری را نسبت به آزمون من-کندال در داده‌های دبی ماهانه تعیین نموده است.

آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری / ۱۳۹

جدول ۵- آماره آزمون من-کندال برای دبی‌های ماهانه (۱۳۶۸-۱۳۸۷)

اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	ایستگاه
-۱/۴۰	۰/۰۰	-۰/۱۶	۰/۶۸	۱/۲۷	۱/۷۵	۰/۲۱۵	۰/۲/۵۷	۱/۳۷	-۰/۱۶	-۱/۲۳	-۰/۶۲	شادگان
۰-۲/۳۸*	۰-۲/۲۴*	-۰/۵۲	۰/۹۴	۰/۳۲	۱/۴۰	۰/۲/۴۷	۱/۷۵	۱/۷۶	-۱/۹۵	-۱/۴۰	۰-۲/۳۷*	مشراکه
۰۰-۲/۹۸	-۱/۹۴	۰/۴۲	۰/۰۰	۰/۲۹	۱/۷۲	۰/۱/۹۹	۰/۲/۳۴	۱/۵۹	-۱/۰۴	-۱/۷۵	-۱/۰۷	گرگر
-۱/۷۵	-۰/۷۷	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۹۴	۱/۸۵	۱/۲۷	۰/۹۴	۰/۴۹	-۰/۸۱	۰-۲/۶۳**	۰-۳/۳۸**	بهبهان
-۰/۰۷	-۱/۰۱	۰/۴۹	۰/۴۹	۱/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۰۱	۰/۷۵	-۰/۱۰	-۰/۲۹	-۰/۱۶	ایدنک

*: معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

** : معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

جدول ۶- آماره آزمون سین برای دبی‌های ماهانه (۱۳۸۷-۱۳۶۸)

ایستگاه	ایزدک	پهپهان	گرگر	مشراکه	شادگان
فروردین	۰۰/۲۴	۰۰-۱۰/۶۲	۰۲/۸۴	۰۰-۵/۶۰	۰۰/۲۲
اردیبهشت	۰۰/۵۴	۰۰-۵/۴۶	۰۲/۲۰	۰۴/۴۸	۰۰/۳۷
خرداد	۰۰/۱۶	۰۰/۹۱	۰۰/۸۴	۰۰-۱/۸۴	۰۰/۰۲
تیر	۰/۴۱	۰/۴۵	۰/۷۴	۱/۴۸	۰/۱۰
مرداد	۰/۲۹	۱/۲۲	۰/۱۰۵	۱/۶۷	۰۰/۲۰
شهریور	۰/۱۰۱	۱/۰۶	۰/۹۸	۱/۳۵	۰/۳۳
مهر	۰/۱۰۵	۰/۸۷	۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۲۴
آبان	۰/۳۰	۰/۸۷	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۰
آذر	۰/۴۶	۰/۰۹	۰/۰۰	۱/۶۰	۰/۲۲
دی	۱/۲۶	۰/۱۳	۲/۰۳	۰۱/۲۳	۰۰/۰۴
بهمن	۰۳/۲۲	۰۲/۱۸	۰۰-۵/۶۲	۰۰-۱۰/۸۳	۰/۰۰
اسفند	۰۰/۱۶	۰۸/۲۳	۰۰-۹/۹۳	۰۰-۱۰/۰۱	۰۵/۰۰

*: معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

** : معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

در جدول ۷، نتایج تحلیل رگرسیون برای دبی‌های ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه درج شده است. نتایج تحلیل رگرسیون حاکی از آن است که دبی ماه‌های فروردین، اریبشت، خرداد، تیر، آبان، آذر، بهمن و اسفند در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه تقلیل یافته است. روند صعودی در بقیه سری‌های دبی ماهانه توسط این آزمون تعیین شده است. بررسی روندهای معنی‌دار تعیین شده توسط این آزمون پارامتری نشان داد که دبی فروردین ماه ایستگاه‌های بهبهان و مشراکه و دبی اسفند ماه ایستگاه شادگان در سطح ۹۵ درصد و دبی اسفند ماه ایستگاه‌های گرگر و شادگان و دبی بهمن ماه ایستگاه شادگان در سطح ۹۹ درصد طی دو دهه اخیر کاهش یافته است. همچنین روندهای صعودی معنی‌دار در سری‌های زمانی دبی تیرماه ایستگاه مشراکه، مرداد ماه ایستگاه‌های گرگر، مشراکه و شادگان، شهریورماه ایستگاه‌های گرگر و شادگان و مهر ماه ایستگاه‌های گرگر و شادگان در سطح اطمینان ۹۵ درصد و در دبی مهر ماه ایستگاه‌های گرگر و شادگان در سطح ۹۹ درصد مشاهده شده است. با توجه به شیب خط رگرسیون (جدول ۷)، بیشترین تغییرات دبی ماهانه در ایستگاه‌های مشراکه و بهبهان در دوره آماری مورد مطالعه مشاهده شده است. به طوری که دبی بهمن ماه ایستگاه مشراکه و دبی آذر ماه ایستگاه بهبهان به ترتیب به میزان ۱۸۹ و ۱۷۷ مترمکعب در هر دهه کاهش یافته است. کمترین تغییرات دبی ماهانه در ایستگاه‌های شادگان و ایدنک در منطقه مطالعاتی مشاهده شده است.

جدول ۷- شیب خط رگرسیون (b) آزمون تحلیل رگرسیون برای دبی‌های ماهانه (۱۳۶۸-۱۳۸۷)

ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
ایذنگ	-۱/۰۵	-۱/۱۲	-۰/۴۱	-۰/۵۴	۰/۳۲	۰/۰۶	۰/۰۸	-۰/۰۱	-۰/۵۳	۰/۹۷	-۲/۴۶	-۳/۰۵
بهبهان	°-۱۵/۸۱	-۹/۳۱	-۳/۱۳	-۰/۷۶	۰/۶۴	۱/۱۸	۰/۱۹	-۵/۴۶	-۱۷/۷۳	۲/۷۲	-۱۷/۰۴	-۱۶/۶۲
گرگر	-۲/۵۰	-۲/۹۴	-۱/۲۹	۰/۵۷	°۱/۰۴	°۰/۹۴	°۰/۹۶	-۱/۲۶	-۴/۷۰	۱/۷۶	-۶/۹/۶	°°-۱۲/۱۷
مشراکه	°-۷/۸۶	-۴/۵۶	-۳/۲۵	°۱/۲۲	°۲/۹۲	°°۱/۷۷	۰/۵۶	-۶/۶۴	-۹/۳۶	۲/۸۳	°°-۱۸/۹۳	°°-۱۰/۵۹
شادگان	-۰/۳۹	-۰/۲۸	-۰/۰۹	۰/۱۰	°۰/۱۵	°۰/۲۰	°۰/۲۷	-۰/۰۲	-۰/۱۶	۰/۱۹	-۰/۱۲	°-۱/۱۶

*: معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

** : معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روندهای سالانه، فصلی و ماهانه داده‌های دبی رودخانه مارون طی دو دهه اخیر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدین منظور با بکارگیری داده‌های ایستگاه‌های آب‌سنجی ایدنک، بهبهان، گرگر، مشراکه و شادگان، روند تغییرات داده‌های مزبور با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و سن و پارامتری تحلیل رگرسیون بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که دبی سالانه در همه ایستگاه دارای روند کاهشی در دو دهه اخیر بوده است. روند معنی‌داری توسط دو آزمون من-کندال و سن در داده‌های دبی سالانه تعیین نشده است. تنها روند معنی‌دار مشاهده شده توسط آزمون تحلیل رگرسیون در داده‌های دبی سالانه ایستگاه مشراکه بدست آمده است مقادیر دبی سالانه در ایستگاه‌های بهبهان، مشراکه، گرگر، شادگان و ایدنک به ترتیب به میزان ۸۰، ۴۰، ۲۱، ۱/۴ و ۰/۴ مترمکعب در هر دهه تقلیل یافته است. کاهش دبی رودخانه مارون را می‌توان به کاهش نزولات جوی خصوصاً برف در ارتفاعات زاگرس در سال‌های اخیر مرتبط دانست. همچنین با افزایش دما، مقدار قابل توجهی از بارش برف به باران تبدیل می‌گردد و به موازات آن، زمان ذوب برف زودتر شده و در نتیجه الگوی جریان در زمستان تغییر می‌کند (منتظری و فهمی، ۱۳۸۲).

نتایج تحلیل صورت گرفته توسط این سه آزمون بر روی دبی‌های فصلی نشان داد که مقادیر دبی فصل‌های بهار و زمستان، کاهش و دبی فصل تابستان، افزایش یافته است. همچنین مقادیر دبی فصل پاییز با توجه به آزمون‌های ناپارامتری، افزایش و بر اساس نتایج آزمون پارامتری، کاهش یافته است. روندهای نزولی معنی‌دار در داده‌های دبی فصل بهار ایستگاه‌های بهبهان و مشراکه و دبی فصل زمستان ایستگاه‌های گرگر و مشراکه و روندهای صعودی در داده‌های دبی فصل تابستان ایستگاه‌های گرگر، مشراکه و شادگان توسط دو آزمون من-کندال و سن تعیین شده است. نتایج آزمون تحلیل رگرسیون نیز وجود روند در داده‌های دبی فصل بهار ایستگاه مشراکه، سری فصل تابستان ایستگاه‌های

مشراکه و گرگر و دبی فصل زمستان فصل گرگر مورد تأیید قرار داده است. تنها تفاوت نتایج آزمون‌های ناپارامتری و پارامتری برای دبی فصول بهار، تابستان و زمستان در سطح معنی‌داری روندها بوده است. با بکارگیری آزمون‌های ناپارامتری و پارامتری، هیچ روند معنی‌داری در سری‌های زمانی دبی فصل پاییز مشاهده نشده است.

نتایج تحلیل رگرسیون نشان داد که مقادیر دبی فصل بهار در ایستگاه‌های بهبهان، مشراکه، گرگر، ایدنک و شادگان به ترتیب به میزان ۹۱، ۵۴، ۲۰، ۹ و ۲ مترمکعب در هر دهه کاهش و مقادیر دبی فصل تابستان ایستگاه‌های مشراکه، گرگر، بهبهان، ایدنک و شادگان به ترتیب به میزان ۲۰، ۸، ۴، ۳ و ۲ مترمکعب در هر دهه افزایش یافته است. بر اساس شیب خط رگرسیون، بیشترین و کمترین تغییرات دبی فصل پاییز به ترتیب در ایستگاه‌های بهبهان و شادگان مشاهده شده است. همچنین مقادیر دبی فصل زمستان در ایستگاه‌های بهبهان، مشراکه، گرگر، شادگان و ایدنک به ترتیب به میزان ۱۲۳، ۶۷، ۵۸، ۳ و ۲ مترمکعب در هر دهه کاهش یافته است.

نتایج بررسی دبی‌های ماهانه توسط سه آزمون نشان داد که داده‌های دبی ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و اسفند در تمامی ایستگاه‌ها کاهش یافته است. همچنین روند کاهشی در داده‌های دبی بهمن ماه ایستگاه‌های ایدنک، بهبهان، گرگر و مشراکه و دبی دی ماه مشراکه و شادگان توسط آزمون‌های ناپارامتری مشخص شده است. روند خاصی در سری زمانی دبی بهمن ماه ایستگاه شادگان و دبی آذرماه ایستگاه گرگر توسط آزمون‌های ناپارامتری مشاهده نشده است. همچنین نتایج تحلیل رگرسیون حاکی از آن است که دبی ماه‌های تیر، آبان، آذر و بهمن در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه تقلیل یافته است. در بقیه سری‌های زمانی دبی ماهانه روند افزایشی توسط سه آزمون بدست آمد. روندهای تعیین شده توسط سه آزمون، فقط در سری‌های زمانی دبی فروردین ماه ایستگاه‌های بهبهان و شادگان، دبی اردیبهشت ماه ایستگاه بهبهان، خرداد ماه ایستگاه مشراکه، تیرماه ایستگاه مشراکه، دبی ماه‌های مرداد و شهریور ایستگاه‌های گرگر،

مشراگه و شادگان، دبی ماه‌های مهر و بهمن ایستگاه‌های گرگر و مشراگه و دبی اسفندماه ایستگاه‌های گرگر، مشراگه و شادگان معنی‌دار بوده است.

تحلیل روندهای معنی‌دار در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که بیشترین روندهای معنی‌دار در سری‌های زمانی فصلی و ماهانه دبی ایستگاه مشراگه مشاهده شده است. این در حالی است که هیچ روند معنی‌داری در داده‌های دبی ایستگاه ایدنک توسط آزمون‌های ناپارامتری و پارامتری مشخص نشده است.

همچنین نتایج این تحقیق حاکی از آن است که بیشترین روندهای معنی‌دار مشاهده شده در مقیاس فصلی در تابستان و در مقیاس ماهانه در مرداد، شهریور و اسفند رخ داده است. این در حالی است که هیچ روند معنی‌داری در پاییز در مقیاس فصلی و در آبان، آذر و دی در مقیاس ماهانه مشاهده نشده است.

به طور کلی نتایج این تحقیق، اثرات تغییر اقلیم بر دبی رودخانه مارون را مورد تأیید قرار داده است. نتایجی که برای دیگر حوضه‌های کشور نیز قابل پیش‌بینی است و لزوم توجه به آن از هم اکنون مشهود می‌باشد. نتایج این تحقیق را می‌توان در پهنه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی‌های آتی، طراحی و برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب بکار برد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

رتال جامع علوم انسانی

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از مسؤولان ذیربط در سازمان آب و برق خوزستان، به دلیل در اختیار گذاشتن اطلاعات اولیه این تحقیق، تقدیر و تشکر نمایند.

منابع

- ۱- خلیلی، علی و بذرافشان، جواد (۱۳۸۳). تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته، بیابان، جلد ۹، شماره ۱، صص ۳۳-۲۵.

- ۲- حجاج، سهراب، خوشخو، یونس و شمس‌الدین وندی، رضا (۱۳۸۷). تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، جلد ۴۰، شماره ۴، صص ۱۶۸-۱۵۷.
- ۳- رهبر، اسماعیل، پاک‌پرور، مجتبی، مسعودی، مسعود و جوکار، لادن (۱۳۸۴). روند تغییرات رواناب در آبخیز خورود، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۱۲، صص ۳۷۵-۳۵۷.
- ۴- مریانجی، زهره، معروفی، صفر و عباسی، حامد (۱۳۸۷). آشکارسازی روند تغییرات دبی و روابط آن با پارامترهای هواشناسی در حوضه یالغان همدان با استفاده از آزمون غیرپارامتریک Mann-Kendall، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.
- ۵- مساح یوانی، علیرضا و مرید، سعید (۱۳۸۴). اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴، صص ۲۷-۱۷.
- ۶- مساعدی، ابوالفضل و شریفان، حسین (۱۳۸۲). بررسی روند فراوانی وقوع سیل در رودخانه گرگانرود، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- ۷- منتظری، مریم و فهمی، هدایت (۱۳۸۲). اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب کشور، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- ۸- نیک قوچق، یعقوب و یارمحمدی، محمد (۱۳۸۷). ارزیابی تغییر اقلیم و بررسی تأثیر آن بر منابع آب سطحی (مطالعه موردی: رودخانه زیارت استان گلستان)، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز.
- 9- Bouza-Deano, R., Ternero-Rodriguez, M. and Fernandez-Espinosa, A.J. (2008). Trend study and assessment of surface water quality in the Ebro River (Spain), *J. Hydrol.*, 361, 227-239.
- 10- Garbrecht, J., Liew, M.V. and Brown, G.O. (2004). Trends in precipitation, streamflow and evapotranspiration in the Great Plains of the United States, *J. Hydrol. Eng.*, 9(5), 360-367.
- 11- Jiang, T., Su, B. and Hartmann, H. (2007). Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, 1961-2000, *Geomorphology*, 85, 143-154.
- 12- Salmi, T., Maatta, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T., 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates. *Publications on Air Quality*, Vol. 31. Helsinki, Finland.
- 13- Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *J. Am. Stat. Assoc.*, 63, 1379-1389.
- 14- Thodsen, H. (2007). The influence of climate change on stream flow in Danish rivers, *J. Hydrol.*, 333, 226-238.
- 15- Wahl, K. and Tortorelli, R.L. (1996). Changes in flow the Beaver-North Canadian river basin upstream from Canton lake, Western Oklahoma, U. S. Geological Survey, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Reports, 96-4304.
- 16- Xu, C.Y. (2000). Modelling the Effects of Climate Change on Water Resources in Central Sweden, *Water Resour. Manage.*, 14, 177-189.
- 17- Xu, C.Y., Chen, Y.N. and Li, J.Y. (2004). Impact of Climate Change on Water Resources in the Tarim River Basin, *Water Resour. Manage.*, 18, 439-458.