

## تحلیل روند جریان‌های رودخانه‌ای با استفاده از رویکردهای آماری پارامتری و ناپارامتری در استان اردبیل

مجید کاظم زاده<sup>۱</sup>، آرش ملکیان<sup>۲\*</sup>، علی رسول زاده<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استادیار دانشگاه تهران

۳- دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۱۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۵/۱۴

### چکیده

جهت بررسی روند تغییرات هیدرولوژیکی که مشترک با تغییر اقلیم در یک منطقه می‌باشد، می‌توان بوسیله تحلیل زمانی روند دبی که کمک به درک بهتر از این تغییرات می‌کند، دست یافت. بنابراین توجه به پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن بر روی پارامترهای هیدرولوژیکی منطقه اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق از رویکرد آزمون‌های ناپارامتری (من-کندال، کندال تائو، همبستگی اسپیرمن، تخمین‌گر سن و آزمون پتی) و آزمون‌های پارامتری (همبستگی پیرسون، شیب خط رگرسیون) برای تحلیل روند سری‌های فصلی و سالانه در ۷ ایستگاه هیدرومتری استان اردبیل طی دوره ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۹ استفاده شد. شرایط استفاده از روش‌های ناپارامتری نرمال بودن سری‌ها و نداشتن خودهمبستگی در سری‌های زمانی می‌باشد. در این مطالعه تمام شرایط و آماده سازی داده‌ها از جمله بررسی همگنی، نرمال بودن و مستقل بودن داده‌ها بررسی شد. نتایج آزمون‌ها برای داده‌های فصلی و سالانه دبی نشان داد که آزمون‌های پارامتری تأیید کننده نتایج آزمون‌های ناپارامتری می‌باشند (شبیه بودن نتایج آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری). نتایج ۷ آزمون، روند کاهشی دبی سالانه در همه ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان می‌دهند و هم‌چنین در مقیاس فصلی به غیر از فصل تابستان بقیه فصل‌ها روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۱ درصد را نشان دادند. بیشترین مقدار روند کاهشی در طول سه دهه گذشته در ایستگاه مشیران با مقدار ۶/۱ متر مکعب بر ثانیه به ازای هر دهه بوده است. در نهایت، نتایج آزمون پتی برای همه ایستگاه‌ها جهش کاهشی را در سطح ۵ درصد طی دهه ۱۳۷۰ نشان داد.

واژه‌های کلیدی: استان اردبیل، تحلیل روند، جریان رودخانه، رویکرد پارامتری

## مقدمه

بررسی وجود یا عدم وجود روند در متغیرهای هیدرولوژی- اقلیمی با استفاده از آزمون‌های آماری، از جمله روش‌های رایج به منظور تحلیل سری‌های زمانی مذکور می‌باشند (فرسنادیا و همکاران، ۱۳۹۱). تحلیل روند متغیرهای هیدرولوژی- اقلیمی جهت مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی آن از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. به عبارتی بیشتر پروژه‌های منابع آب، طرح‌ها، طراحی‌ها و بهره‌برداری‌ها وابسته به الگوی تاریخی مقدار آب موجود، کیفیت و تقاضای آن که با رفتار اقلیم ثابت فرض می‌شود، می‌باشد. بنابراین تحقیقات حال حاضر و احتمال تغییرات اقلیم در آینده و تاثیر این‌ها بر روی منابع آب تا اینکه استراتژی مناسبی اجرا شود، اهمیت به‌سزایی دارد (عبدالعزیز و برن، ۲۰۰۶). بدون شک افزایش فعالیت‌های صنعتی نقش معنی‌داری بر روی تغییرات اقلیم کره زمین دارد. امروزه تغییرات اقلیم تحت تاثیر پدیده گرم شدن جهانی و تیپ بارش کره زمین می‌باشد و از طرفی، افزایش استفاده از آب‌های سطحی بخاطر افزایش فعالیت‌های کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی، رشد جمعیت سبب تغییر دبی رودخانه‌ها شده‌است (رمضانپور و روشنی، ۲۰۱۱). تحقیقات زیادی جهت بررسی و تحلیل سری‌های زمانی بارش، دبی و دما با استفاده از آزمون‌های پارامتری و غیر- پارامتری انجام شده است که برخی از آنها آورده شده است.

زنگ و همکاران (۲۰۰۱) روند تغییرپذیری ۱۱ ایستگاه هیدرومتری را در حوزه‌های آبخیز کانادا محاسبه کردند که نتایج کار آنها نشان داد که حجم جریان روند کاهشی داشته است. کاهیا و کالایکی (۲۰۰۴) جهت تحلیل فصلی جریان روخانه‌ها در ۲۶ حوزه آبخیز ترکیه از سری‌های

زمانی با طول ۳۰ سال طول دوره آماری استفاده کردند. در این تحقیق از چهار روش (Seasonal Kendall، Spearman's rho، Sen's، Mann-Kendall) که به عنوان روش‌های مناسب برای شناسایی روند می‌باشد، استفاده کردند. نتایج نشان داد مناطقی که در غرب ترکیه قرار دارد در حالت کلی روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد داشته‌اند در حالی که مناطق شرقی ترکیه روند معنی‌داری را نشان نداده‌اند که برآوردهای هر چهار آزمون نتایج یکسانی را نشان دادند. حجام و همکاران (۱۳۸۷) روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه در چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش- های ناپارامتری بررسی کردند. دو آزمون Mann-Kendall و Sen's estimator slope که جز متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری به شمار می‌رود جهت تحلیل بکار گرفتند. نتایج دو آزمون برای ۴۸ ایستگاه باران سنجی شبیه هم بودند، و به این نتیجه رسیده‌اند که کارایی روش Sen's estimator slope در تحلیل مشاهداتی که در آنها تعداد داده‌ها صفر (عدم وجود بارندگی) زیاد است بهتر از آزمون Mann-Kendall می‌باشد. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان دهنده وجود روند کاهشی و معنی‌دار توسط هر دو آزمون بکار گرفته شده در برخی از سری‌های زمانی مورد مطالعه بود.

کارپوز و همکاران در سال ۲۰۱۰ در قسمت شمالی یونان تغییری پذیری زمانی داده‌های بارش را به منظور کمک به درک بهتر وضعیت هیدرولوژیکی منطقه، مورد مطالعه قرار دادند. آنها برای مطالعه روند تغییرات بارش از آزمون‌های ناپارامتری (Sequential، Mann-Kendall، Version of Mann-Kendall، Sen's estimator of slope) استفاده کردند. نتایج

تحقیق آنها نشان داد که همه ایستگاه‌های که در ارتفاعات پایین بودند، به عبارتی در زون کشاورزی بودند اگرچه معنی دار نشدند اما روند کاهشی داشته‌اند. معروفی و طبری (۱۳۹۰) از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری (Mann-Kendall، Sen's Regression estimator slope) جهت تحلیل روند تغییرات دبی سالانه، فصلی و ماهانه دبی رودخانه مارون در ۵ ایستگاه با طول دوره ۱۳۸۷-۱۳۶۸ استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که در طول دو دهه مقادیر دبی سالانه نزولی بوده است. تحلیل سه آزمون انجام شده بر روی دبی-های فصلی بیانگر آن است که مقادیر دبی فصل-های بهار و زمستان کاهش و فصل تابستان، افزایش یافته است. بیشترین تفاوت نتایج آزمون-های 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 یافته‌است. رمضانپور و روشنی (۲۰۱۱) تحقیقی در شمال ایران (گیلان) با استفاده از آزمون Mann-Kendall برای سری‌های بارش و دبی طی طول دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۸ انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که سری داده‌ها دارای روند و تغییر ناگهانی<sup>۲</sup> می‌باشند و هم چنین روند تغییرات بارش با دبی برآزش خوبی را نشان داد.

تحقیق آنها نشان داد که همه ایستگاه‌های که در ارتفاعات پایین بودند، به عبارتی در زون کشاورزی بودند اگرچه معنی دار نشدند اما روند کاهشی داشته‌اند. معروفی و طبری (۱۳۹۰) از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری (Mann-Kendall، Sen's Regression estimator slope) جهت تحلیل روند تغییرات دبی سالانه، فصلی و ماهانه دبی رودخانه مارون در ۵ ایستگاه با طول دوره ۱۳۸۷-۱۳۶۸ استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که در طول دو دهه مقادیر دبی سالانه نزولی بوده است. تحلیل سه آزمون انجام شده بر روی دبی-های فصلی بیانگر آن است که مقادیر دبی فصل-های بهار و زمستان کاهش و فصل تابستان، افزایش یافته است. بیشترین تفاوت نتایج آزمون-های 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 یافته‌است. رمضانپور و روشنی (۲۰۱۱) تحقیقی در شمال ایران (گیلان) با استفاده از آزمون Mann-Kendall برای سری‌های بارش و دبی طی طول دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۸ انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که سری داده‌ها دارای روند و تغییر ناگهانی<sup>۲</sup> می‌باشند و هم چنین روند تغییرات بارش با دبی برآزش خوبی را نشان داد.

عبقری و همکاران (۲۰۱۳) روند جریان رودخانه را در غرب ایران تحت تاثیر تغییرپذیری بارش با استفاده از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری (Mann-Kendall tau، Spearman's rho)

## 2- Abrupt change

### مواد و روش ها

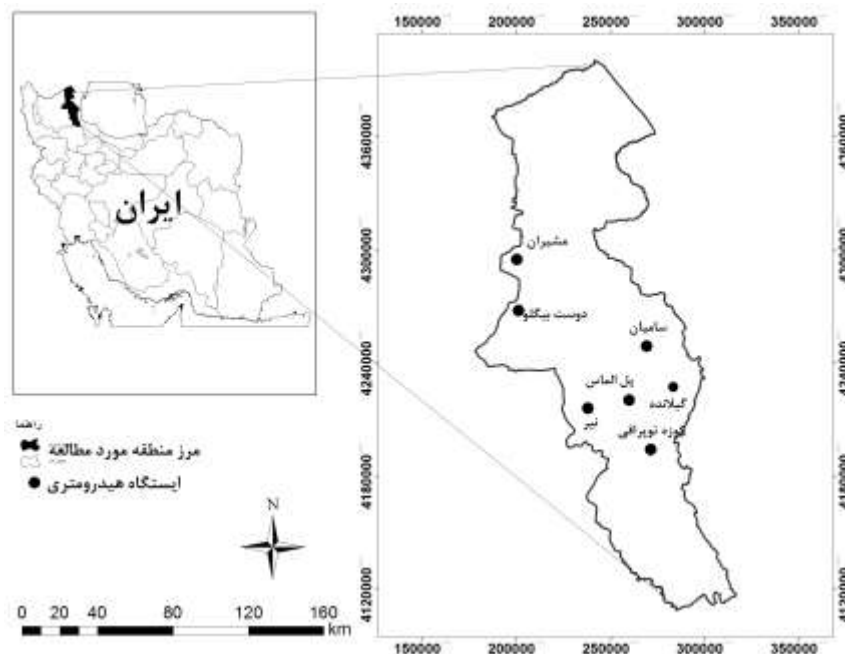
**منطقه مورد مطالعه:** استان اردبیل در منطقه‌ای سردسیر و در شمال غربی فلات ایران با وسعت ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع قرار گرفته است. این استان یک درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد و دارای ۲/۳ درصد بافت کوهستانی با اختلاف ارتفاع زیاد بوده و بقیه مناطق را بخش‌های هموار و پست تشکیل داده است. مرتفع ترین نقطه استان، قله سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر از سطح دریا می-باشد. اقلیم این استان به طور عمده به چهار عامل ارتفاع، عرض جغرافیایی، منابع آبی و توده‌های هوای موثر بستگی دارد. عوامل دیگری نیز نظیر

بعد از اخذ داده‌ها و گرفتن طول مشترک اقدام به انجام بعضی آزمون‌ها شامل: بازسازی داده‌های مفقود با روش همبستگی، انجام آزمون داده‌های پرت، آزمون‌های کلموگراف-اسمیرنوف ( ) با استفاده از نرم‌افزار (SPSS) و جرم مضاعف به منظور بررسی نرمال بودن و همگنی داده‌ها انجام شد و اصلاحات لازم اعمال گردید. در جدول ۱ و شکل ۱ موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه آورده شده است.

پوشش گیاهی، فعالیت‌های کشاورزی صنعتی و معدنی در مقیاس کوچک در اقلیم منطقه تاثیر داشته‌است. استان اردبیل یکی از استان‌هایی است که دارای گستره وسیع شمالی-جنوبی است که نزدیک به سه درجه عرض جغرافیایی اختلاف دارد که این اختلاف بر شرایط جغرافیایی و آب و هوایی استان تاثیر می‌گذارد. در این تحقیق ۷ ایستگاه هیدرومتری، با طول دوره آماری ۳۰ سال (۱۳۶۰ تا ۱۳۸۹) مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

نام ایستگاه	نام رودخانه	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه-ثانیه)	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه-ثانیه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین دبی سالانه (مترمکعب بر ثانیه)
نیر	نیرچای	۴۷-۵۹-۳۸	۳۸-۰۲-۰۲	۱۶۲۴	۱/۸۰
سامیان	قره سو	۴۸-۱۴-۴۸	۳۸-۲۲-۵۳	۱۲۹۰	۴/۶
پل الماس	بالوخلوچای	۴۸-۱۱-۱۹	۳۸-۰۸-۱۶	۱۴۴۰	۳/۲۰
دوست بیگلو	قره سو	۴۷-۳۲-۱۸	۳۸-۳۳-۰۲	۷۸۰	۶/۹۹
کوزه توراقی	قوری سو	۴۸-۲۲-۰۱	۳۸-۰۷-۲۸	۱۳۹۴	۰/۸۲
مشیران	دره رود	۴۷-۳۲-۰۱	۳۸-۴۱-۱۰	۷۰۵	۱۲/۹۰
گیلانده	بالوخلوچای	۴۸-۲۱-۴۳	۳۸-۱۸-۲۶	۳۲۱۳	۲/۲۳



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

هیدرولوژیکی و هواشناسی کاربرد دارد. یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از مزایای این روش اثر پذیری

آزمون Mann-Kendall: این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) تکامل یافت. این روش به طور گسترده در مباحث

د) در یک آزمون دو دامنه برای بررسی روند داده-ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد.

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad \text{رابطه ۶}$$

که  $\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود.  $Z_{\alpha}$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری  $\alpha$  می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون،  $\alpha/2$  استفاده شده است. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

آزمون Spearman's rho: ضریب همبستگی اسپیرمن برای بررسی بین داده‌های با مقیاس رتبه‌ای یا با مقیاس نسبی و فاصله‌ای که نرمال نباشند بکار می‌روند. از جمله شرایط استفاده از این ضریب، این است که دو متغیر دارای سطح زیادی داشته باشند تا رتبه-بندی نمونه معنی پیدا کند (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹).

Sen's slope estimator: سن (۱۹۶۸) با توسعه و بسط یک سری مطالعات آماری که تایل (۱۹۵۰) به انجام رسانده بود روش ناپارامتری را جهت تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود (حجام و همکاران، ۱۳۸۷). این آزمون در مواردی که روند خطی فرض می‌شود، نشان دهنده کمی سازی تغییر برای هر واحد زمانی است (کارپوز و همکاران، ۲۰۱۰). این روش همانند روش من-کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. نقاط قوتی که در روش من-کندال ذکر گردیده در این روش نیز وجود دارد. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنی‌داری شیب بدست آمده در سطوح اعتماد مختلف می‌باشد. مراحل کلی انجام این آزمون به شرح زیر است (حجام و همکاران، ۱۳۸۷):

کم از مقادیر حدی می‌باشد (حجام و همکاران، ۱۳۸۷)، فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری دادها دلالت دارد و پذیرش فرض یک و رد فرض صفر دال بر وجود روند در سری دادها می‌باشد. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر می‌باشد (کارپوز و همکاران، ۲۰۱۰):

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت  $\text{sign function}$  و استخراج پارامتر  $S$  به شرح رابطه ۱ است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه ۱}$$

که  $n$  تعداد مشاهدات سری  $x_j, x_k$  داده‌های  $j$ ام و  $k$ ام می‌باشد و تابع علامت نیز به شرح رابطه ۲ قابل محاسبه می‌باشد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۲}$$

ب) محاسبه واریانس براساس یکی از روابط ۳ یا ۴، اگر  $n$  کوچکتر از ۱۰ باشد:

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{رابطه ۳}$$

اگر  $n$  بزرگتر از ۱۰ باشد:

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n-5) \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t-5)}{18} \quad \text{رابطه ۴}$$

$n$  تعداد مشاهدات سری‌ها،  $m$  تعداد گره‌های که داده مشابه دارند و  $i$  فراوانی داده‌های که ارزش یکسانی دارند.

ج) استخراج آماره  $Z$  بر اساس یکی از روابط ۵ یا ۶:

$$Z = \begin{cases} x = \frac{s-1}{\text{var}(s)} & \text{if } s > 0 \\ x = \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s = 0 \\ x = \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۵}$$

که افزایش یا کاهش یک متغیر با افزایش یا کاهش متغیر دیگر همراه است. رابطه آن بصورت رابطه ۱۰ می‌باشد:

$$\tau = \frac{2S}{N(N-1)} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$\tau$  ضریب همبستگی کندال تاو،  $S$  مجموع تفاوت رتبه‌ها و  $N$  تعداد مشاهده‌ها می‌باشد. برای آزمون ضریب همبستگی کندال تاو از رابطه ۱۱ آماره  $T$  محاسبه می‌شود که بعد از مقایسه آن با  $T$  جدول با درجه آزادی  $n-2$  تصمیم گیری می‌شود (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹).

$$T = \frac{r_s \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_s^2}} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

آزمون همبستگی Pearson: از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس‌های فاصله‌ای و نسبی می‌باشد که دارای توزیع نرمال نیز باشند. این ضریب با علامت  $r$  نمایش داده می‌شود و بین  $+1$  و  $-1$  تغییر می‌کند.

تحلیل رگرسیون: این روش، یک آزمون پارامتری است که فرض نرمال بودن داده‌ها باید برای آن وجود داشته باشد. بر اساس اصل حداقل مربعات یک مدل رگرسیون خطی با زمان برازش می‌دهد.

آزمون Pettit: این آزمون یکی از آزمون‌های ناپارامتری جهت تعیین نقطه جهش (تغییر ناگهانی) که یک سری زمانی را به دو جز سری جدا تفکیک می‌کند و معنی‌دار بودن آن را بررسی می‌کند. این آزمون توسط پتی (۱۹۷۹) ارائه شده است (رابطه ۱۲) (عامریون و همکاران، ۱۳۹۰).

رابطه ۱۲)  $k = \max |u_k| \quad N \geq k \geq l$   
 $U_K$  معادل آماره من-ویتنی است که برای آزمون دو نمونه  $(X_1, X_2, \dots, X_j)$  و  $(X_{j+1}, X_{j+2}, \dots, X_n)$  از یک جمعیت یکسان بکار می‌رود.  $U_K$  به طریق رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود:

$$u_k = 2 \sum_{i=1}^k M_i - k(N+1) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

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

$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s} \quad \text{رابطه ۷}$$

که در آن  $x_t$  و  $x_s$  به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های  $t$ ،  $s$  که  $t$  یک واحد زمانی بعد از زمان  $s$  می‌باشد. با اعمال رابطه (۹) برای هر جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند ( $Q_{med}$ ) بدست می‌آید. مقدار مثبت شیب حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند می‌باشد.

ب) محاسبه پارامتر  $C_\alpha$  در سطوح اعتماد مورد آزمون به کمک رابطه ۸:

$$C_\alpha = Z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\text{var}(s)} \quad \text{رابطه ۸}$$

که در آن  $Z$  آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد و یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اعتماد مورد آزمون می‌تواند مقادیر مختلفی به خود بگیرد. این آماره برای سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به ترتیب  $Z=1.96$  و  $Z=2.58$  در نظر گرفته می‌شود.

ج) برای محاسبه حدود اطمینان بالا و پایین ( $M1, M2$ ) از روابط ۹ استفاده می‌گردد:

$$M1, M2 = \begin{cases} \frac{N' + C_\alpha}{2} \\ \frac{N' - C_\alpha}{2} \end{cases} \quad \text{رابطه ۹}$$

که  $N'$  تعداد شیب‌های محاسبه شده در بند الف) می‌باشد. د) مرحله نهایی این روش، آزمون نمودن حدود اعتماد محاسبه شده است.

آزمون Kendall's tau: ضریب همبستگی رتبه‌ای کندال برای تعیین همبستگی بین دو متغیر رتبه-ای بکار می‌رود. دامنه این ضریب همواره بین  $-1$  تا  $+1$  تغییر می‌کند. این ضریب مشخص می‌کند

است. با توجه نتایج آزمون‌ها، روند دبی سالانه و فصلی در همه ایستگاه‌ها روند کاهشی بوده‌است. روند دبی سالانه در همه ایستگاه‌ها و نتایج همه آزمون‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد روند معنی-داری را نشان می‌دهد. به عبارتی آزمون ناپارامتری و پارامتری نتایج یکسانی را برای سری‌های سالانه داشته‌اند. در سری‌های فصلی، همه ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته اما در سطح اطمینان ۹۹ درصد فقط فصل‌های پاییز و بهار در همه ایستگاه‌ها روند کاهشی نشان داده‌است. هم چنین به جز ایستگاه نیر در فصل زمستان بقیه ایستگاه‌ها در این فصل نیز با ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. با توجه به نتایج آزمون‌ها برای فصل تابستان هر چند در همه ایستگاه‌ها روند کاهشی را نشان داده‌اند، ولی معنی‌دار نمی‌باشند. می‌توان گفت که علت معنی-دار نشدن روند دبی تابستان، مربوط به صفر بودن بیشتر داده‌های فصل تابستان می‌باشد این هم نتیجه کم بودن جریان آب در رودخانه‌های استان در این فصل بوده است. معنی‌داری روند کاهشی در فصل تابستان فقط توسط آزمون من-کندال در سطح ۹۵ درصد اطمینان در ایستگاه سامیان تایید شده است.

بعد از آن که مقادیر  $(X_1, X_2, \dots, X_j)$  بصورت یک سری صعودی مرتب شد  $M_i$  رتبه داده مشاهده  $\hat{M}$  است. نقطه تغییر در سری زمانی در نقطه‌ای روی می‌دهد که  $U_k$  به حداکثر مقدار خود می‌رسد. برای آزمون معنی‌داری نقطه تغییر مقدار محاسبه شده  $k$  با مقدار تئوری آن در سطح احتمال  $\alpha$  محاسبه می‌شود (رابطه ۱۴).

رابطه ۱۴)

$$K_{\alpha} = \sqrt{[-\ln \alpha(N^3 + N^2)]/6}$$

در جای که سری زمانی نقطه تغییر وجود داشته باشد، سری مورد نظر در آن مکان به دو زیر سری تقسیم می‌شود در این مطالعه برای سری‌های سالانه این آزمون انجام گرفته است.

در این مطالعه جهت محاسبه روش‌های ذکر شده از نرم افزارهای SPSS, MAKESENS, Excel استفاده شده است. 21

## نتایج

مقدار دبی و بارش منطقه‌ای برای دوره‌های فصلی و سالانه استان اردبیل در شکل ۲ آمده است. این شکل نشان می‌دهد که در فصل بهار هر چند بارش زیادی نسبت به فصل زمستان اتفاق افتاده است اما جریان آب کمتری نسبت به فصل زمستان دارد. کاملاً روشن است که بهره‌برداری در فصل‌های دیگر از رودخانه‌ها سبب کاهش دبی رودخانه‌ها شده است. نتایج حاصل از بررسی روند دبی فصلی و سالانه در جدول ۲ و ۳ آورده شده

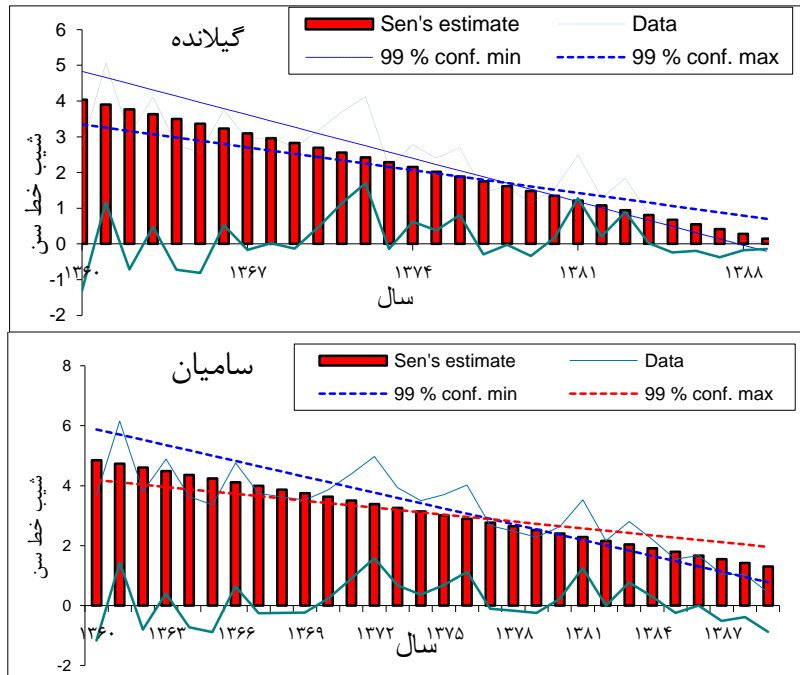


شکل ۲: دبی سالانه، فصلی و مقدار بارش سالانه و فصلی از ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰

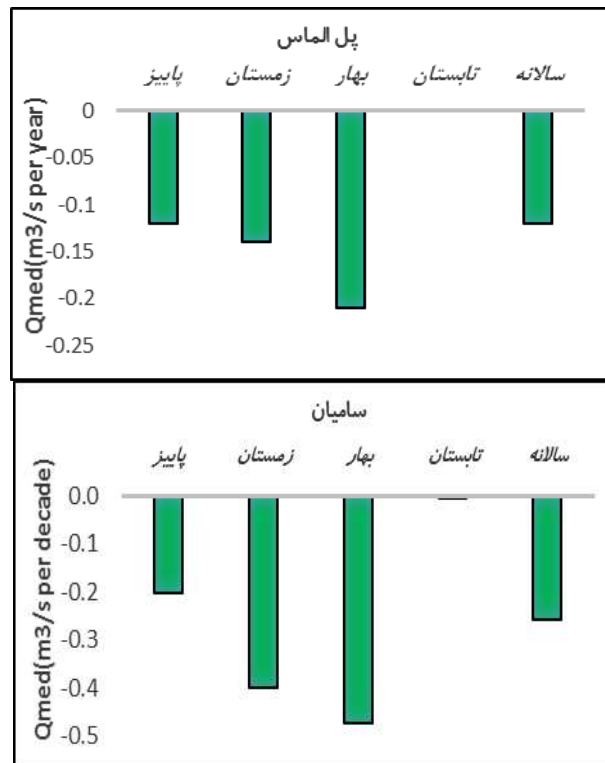
وجود نقطه تغییر در سری داده‌ها را به دو سری متفاوت تقسیم می‌کند عبارتی تغییری در ساختار سری‌های زمانی اتفاق افتاده است (عامریون و همکاران، ۱۳۹۰). تغییر ناگهانی در سری‌های زمانی اطلاعات مهمی در اختیار می‌گذارد. برای مثال با بررسی این تغییرات ناگهانی می‌توان پی برد که عوامل طبیعی هم چون خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی یا عوامل انسانی هم چون برداشت یا انحراف جریان سبب تغییر ناگهانی جریان آب رودخانه‌ها گشته است. بنابراین این آزمون نشان داد که جهش در ایستگاه‌های کوزه توپراقی، مشیران، سامیان، نیر، دوست بیگلو، پل الماس و گیلانده به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۷۶، ۱۳۷، ۱۳۷۶، ۱۳۷۴، ۱۳۷۴ و ۱۳۷۳ اتفاق افتاده است که در همه ایستگاه‌ها در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند. بنابراین در این تحقیق همه ایستگاه‌ها دارای تغییر ناگهانی رو به کاهش در سطح ۹۹ درصد دارا بوده‌اند و این نقاط تغییر در دهه ۱۳۷۰ اتفاق افتاده است.

جهت تعیین مقدار و بزرگی روند کاهشی در ایستگاه‌های مورد نظر در سه دهه گذشته از آزمون سن استفاده شده است. نتایج این آزمون برای ایستگاه‌های گیلانده و سامیان در شکل ۳ و پل الماس و سامیان در شکل ۴، و برای سری‌های فصلی و سالانه در جدول ۲ آورده شده است. این آزمون نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های کوزه توپراقی، دوست بیگلو، مشیران، نیر، سامیان و گیلانده سالانه به ترتیب ۱/۲، ۰/۵، ۳/۸، ۶/۱، ۰/۲، ۲/۵ و ۱/۳ متر معکب بر ثانیه برای هر دهه روند کاهشی داشته است. بیشترین مقدار روند کاهشی در طول سه دهه گذشته در ایستگاه مشیران وجود داشته است که این رودخانه در قسمت شمالی استان واقع شده است. در بین فصل‌های مختلف بیشترین مقدار کاهشی دبی رودخانه‌ها در فصل زمستان و بهار دیده شده است. در نهایت جهت تعیین نقطه تغییر یا جهش در سری‌های زمانی سالانه از آزمون پتی استفاده شد که نمودارهای حاصل برای ایستگاه‌های سامیان و پل الماس در شکل ۵ آورده شده است.



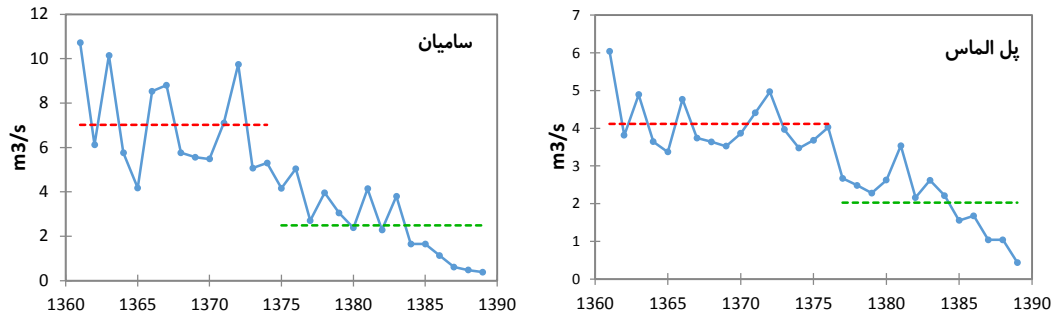


شکل ۳: نمودار آزمون سن برای دبی سالانه (ایستگاههای پل الماس و گیلانده)



شکل ۴: نمودارهای بزرگی مقدار  $Q_{med}$  حاصل از Sen's estimator برای دبی سالانه و فصلی

تحلیل روند جریان های رودخانه‌ای با استفاده از رویکردهای آماری پارامتری و ناپارامتری..... ۶۰



شکل ۵: نمودارهای آزمون پتی برای دبی سالانه ایستگاه‌ها

جدول ۲- نتایج آزمون‌های ناپارامتری ( $Spearman's rho(T)$ ،  $Mann-kendall (Z)$  و  $Sen's estimator of slope(Qmed)$  برای دبی سالانه و فصلی

$Spearman's rho(T)$					$Sen's estimator (Qmed)$					$Mann-Kendall test(Z)$					آزمون
سالانه	تابستان	بهار	زمستان	پاییز	سالانه	تابستان	بهار	زمستان	پاییز	سالانه	تابستان	بهار	زمستان	پاییز	ایستگاه
-۶/۸۸**	-۰/۱۸	-۶/۱۶**	-۶/۱۶**	-۶**	-۰/۱۲	۰	-۰/۲۱	-۰/۱۴	-۰/۱۲	-۴/۸۷**	-۰/۲۸	-۴/۵**	-۴/۴۹**	-۴/۴**	پل الماس
-۵/۳۳**	-۰/۱۵	-۵/۰۸**	-۶**	-۶/۲۷**	-۰/۰۵	۰	-۰/۱۲	-۰/۱۶	-۰/۰۲	-۴/۳۸**	-۰/۷۲	-۳/۸۵**	-۳/۵۳**	-۴/۰۲**	کوزه توپراقی
-۸/۷۴**	-۰/۳۹	-۶/۵۷**	-۶/۸۸**	-۷/۲۳**	-۰/۳۸	-۰/۰۱	-۰/۵۹	-۱/۴۷	-۰/۲۱	-۵/۴۲**	-۰/۱۴	-۴/۳۵**	-۴/۹۹**	-۴/۴۶**	دوست بیگلو
-۶/۱۰**	-۰/۴۲	-۴/۵۶**	-۵/۳۴**	-۴/۱۳**	-۰/۶۱	-۰/۰۳	-۱/۲۰	-۰/۸۴	-۰/۵۰	-۵/۱۰**	-۰/۸۹	-۳/۹۹**	-۵/۱۴**	-۴/۶۴**	مشیران
-۹/۳**	-۰/۲۴	-۶/۳۸**	-۱/۹۰	-۶/۱۷**	-۰/۰۲	-۰/۰۰۱	-۰/۰۳	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۴/۳۵**	-۰/۴۳	-۳/۳۵**	-۱/۵۳	-۳/۲۴**	نیر
-۸/۴۷**	-۱/۵۰	-۶/۶**	-۶/۷۹**	-۷/۳۶**	-۰/۲۵	-۰/۰۱	-۰/۴۷	-۰/۴۰	-۰/۲۰	-۵/۵**	-۲/۱۷*	-۴/۵**	-۴/۵**	-۴/۶۶**	سامیان
-۸/۵۴**	-۰/۶۳	-۵/۴۷*	-۸/۱۶*	-۵/۲۳**	-۰/۱۳	۰	-۰/۲۲	-۰/۱۶	-۰/۱۱	-۵/۳۲**	-۰/۳۸	-۴/۷۱**	-۴/۸۷**	-۴/۸**	گیلانده

\*\* معنی داری در سطح ۹۹ درصد \* معنی داری در سطح ۹۵ درصد

جدول ۳- نتایج آزمون‌های  $Liner Regression(b)$ ،  $Pearson correlation(T)$  و  $Kendall tau(T)$  برای دبی سالانه و فصلی

$Kendall's tau(T)$					$Pearson Correlation(T)$					$Liner Regression(b)$					آزمون
سالانه	تابستان	بهار	زمستان	پاییز	سالانه	تابستان	بهار	زمستان	پاییز	سالانه	تابستان	بهار	زمستان	پاییز	ایستگاه
-۴/۷۶**	-۰/۱۸	-۳/۳۱**	-۳/۳۱**	-۳/۲۳**	-۷/۰۶**	۰/۱۱	-۴/۳۳**	-۴/۷۶**	-۵/۲۷**	-	-۰/۰۰۲	-۰/۲۲**	-۰/۱۵**	-۰/۱۱**	پل الماس
-۳/۸۹**	-۰/۱۸	-۲/۷۱**	-۳/۲۲**	-۳/۴۱**	-۳/۳۵**	-۰/۴۱	-۲/۷۶**	-۳/۳۵**	-۲/۶۲**	-	-۰/۰۰۱	-۰/۱۷**	-۰/۱۹**	-۰/۱۷**	کوزه توپراقی
-۵/۰۸**	-۰/۲۱	-۳/۴۸**	-۴/۳۶**	-۳/۶۶**	-۶/۲۳**	-۰/۰۳	-۴/۵۴**	-۴/۵۴**	-۳/۰۹**	-	-۰/۰۰۴	-۰/۶۳**	-۰/۱۴**	-۰/۲۸**	دوست بیگلو
-۳/۰۶**	-۰/۲۶	-۲/۸۹**	-۴/۰۹**	-۲/۴۹**	-۴/۷۶**	-۰/۴۹	-۳/۴۸**	-۵/۲۷**	-۳/۲۲**	-	-۰/۰۳۰	-۱/۳۳**	-۰/۸۶**	-۰/۴۶**	مشیران
-۵/۰۹**	-۰/۲۶	۳/۴۰**	-۱/۵۵	-۲/۳۵**	-۳/۳۵**	-۰/۲۹	-۲/۵۷**	-۱/۱۳	-۲/۵**	-	-۰/۰۰۲	-۰/۰۵**	-۰/۰۱	-۰/۰۲**	نیر
-۵/۳۳**	-۱/۸۴	-۳/۳۹**	-۳/۳۹**	-۴/۳۹**	-۶/۵۰**	-۱/۶۵	-۴/۷۶**	-۳/۲۲**	-۳/۹۶**	-	-۰/۰۰۹	-۴/۷۶**	-۰/۳۷**	-۰/۲۱**	سامیان
-۴/۴۸**	-۰/۶۴	-۳/۴۸**	-۴/۶۶**	-۳/۷۶**	-۸/۱۰**	-۰/۷۴	-۴/۵۴**	-۵/۸۸**	-۶/۶۲**	**	-۰/۰۰۶	-۰/۲۴**	-۰/۱۷**	-۰/۱۱**	گیلانده

\*\* معنی دار در سطح ۹۹ درصد \* معنی دار در سطح ۹۵ درصد

## بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق جهت بررسی روند دبی سالانه و فصلی رودخانه‌های استان اردبیل طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۹ از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری شامل Mann-Kendall، Sen's estimator of slope، Pettitt test، Linear regression، Spearman's rho، Pearson correlation و Kendall's tau استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که روند کاهشی معنی‌دار در تمام ایستگاه‌ها وجود داشته و علت معنی‌دار نشدن روند کاهشی در فصل تابستان فقدان جریان آب در رودخانه‌های استان در بیشتر اوقات بوده است. در این مطالعه معلوم شد که نتایج روش‌های پارامتری و ناپارامتری شبیه به هم بوده است. نتایج بدست آمده با نتایج میرعباسی و دین پژوه (۱۳۸۹) مطابقت دارد نتایج تحقیقات آنها برای کل سری‌های فصلی و سالانه برای سه دهه اخیر در شمال غرب ایران روند کاهشی دبی رودخانه‌ها را نشان داد. بنابراین آزمون من-کندال بعنوان یکی از بهترین روش‌های ناپارامتری جهت تحلیل روند که قادر به کشف روند در سری‌های زمانی فصلی و سالانه بوده است که نتایج آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری تایید کننده نتایج این آزمون می‌باشد. عبارتی نتایج آزمون‌های پارامتری تایید کننده نتایج آزمون‌های ناپارامتری بوده است.

با توجه به نتایج آزمون سن، مقدار کاهشی روند جریان در ایستگاه‌های کوزه توپراقی، دوست بیگلو، مشیران، نیر، سامیان و گیلانده سالانه به ترتیب ۱/۲، ۰/۵، ۳/۸، ۶/۱، ۰/۲، ۲/۵، ۱/۳ متر مکعب برای هر دهه بوده است. در بین فصل‌های مختلف بیشترین مقدار کاهشی در فصل زمستان و بهار دیده شده است. نتایج آزمون پتی نشان داد که تغییر ناگهانی در ایستگاه‌های کوزه توپراقی، مشیران، سامیان، نیر، دوست بیگلو، پل الماس و

گیلانده به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۷۶، ۱۳۷۶، ۱۳۷۴، ۱۳۷۴ و ۱۳۷۳ اتفاق افتاده است که در همه ایستگاه‌ها در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند. می‌تواند علل طبیعی و غیر طبیعی در این رخداد دخالت داشته باشد از جمله علل انسانی ایجاد کانال‌های مختلف جهت برداشت آب از جریان رودخانه و افزایش بهره برداری‌ها به علت زیرکشت بردن اراضی حاشیه رودخانه‌ها در سال‌های اخیر و ... را نام برد. ثابت شده است که دمای هوا در دهه‌های گذشته در بیشتر مناطق دنیا روند افزایشی داشته است و همین چنین نتایج بررسی دما در کشور نشان داده است که دمای هوا در کشور افزایشی بوده و خشکسالی دهه ۱۳۷۰ توسط محققین زیادی گزارش شده است (یزدانی و حق شنو، ۱۳۸۷).

با افزایش دما مقدار تبخیر و تعرق افزایش یافته و در چرخه هیدرولوژیکی تاثیر می‌گذارد. بنابراین با توجه به این که تغییرات ناگهانی دبی سالانه در رودخانه‌های استان در دهه ۱۳۷۰ اتفاق افتاده بود و از طرفی افزایش دما و خشکسالی‌های دهه ۱۳۷۰، می‌توان گفت که این موضوع ممکن است تحت تاثیر افزایش دما و خشکسالی‌های دهه ۱۳۷۰ بوده‌است که در نتیجه باعث تغییر ناگهانی دبی رودخانه‌ها در این دهه شده است. نتایج بدست آمده با نتایج تحقیقات عبقری و همکاران (۲۰۱۳) در غرب ایران همخوانی دارد. بنابراین با توجه به شدت کاهشی دبی رودخانه‌های استان می‌توان نتیجه گرفت که اگر روند تغییرات بدین صورت پیش رود منابع آب موجود در استان با مشکلات زیادی روبه رو خواهد شد. این موضوع نه تنها تبعات کشاورزی، صنعتی، خانگی و... بلکه تبعات اکولوژیکی زیادی را به دنبال خواهد داشت. بنابراین برای مدیریت منابع آب استان، مدیران و برنامه‌ریزان با در نظر گرفتن کلیه ذینفعان بایستی

حفظ گردد.

بارش در حوضه کارون و دز، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.  
- میر عباسی نجف آبادی، ر. و دین پژوه، ی.، ۱۳۸۹. تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، ص ۷۵۷-۷۶۸.  
- معرفى، ص. و طبری، ح.، ۱۳۹۰. آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲، ص ۱۲۵-۱۴۶.  
- یزدانی، س. و حق شنو، م.، ۱۳۸۷. مدیریت خشکسالی و ارائه راهکارهایی برای مقابله با خشکسالی، ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی. ۸-۹ آبان، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. صفحه‌های ۱ تا ۱۹.

- Abdul Aziz, O. I. and Burn, D.H., 2006. Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin, *Journal of Hydrology*, v. 319, p. 282-294.  
- Abghari, H., Tabari, H. and Hosseinzadeh Talaei, p., 2013. River flow trends in the west of Iran during the past 40 years: Impact of precipitation variability. *Global and Planetary Change*, v. 101, p. 52-60.  
- Kahaya, E. and Kalayci, S., 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey, *Hydrological Sciences Journal*, v. 289, p. 128-144.  
- Karpouzou, D. K., Kavalieratou, S. and Babajimopoulos, C., 2010. Non-parametric trend analysis of precipitation data in Pieria Region

گامی جهت مدیریت یکپارچه آب برداشته و بنا به توسعه پایدار، پایداری جریان‌های رودخانه‌ای

## منابع

- زارع چاهوکی، م.، ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل داده‌ها در پژوهش‌های منابع طبیعی با نرم افزار SPSS، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۲۵۰ ص.  
- فرساد نیا، ف.، رستمی کامرد، م. و مقدم نیا، ع.، ۱۳۹۰. تحلیل روند بارندگی در استان مازنداران با استفاده از روش من-کندال منطقه‌ای، تحقیقات منابع آب، شماره ۲، ص ۶۰-۷۰.  
- حجام، س.، خوشخ، ی. و شمس‌الدین‌وند، ی.، ۱۳۸۷. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، ص ۱۵۷-۱۶۸.  
- عامریون، م.، سالاری جزئی، م.، احمدیان فر، الف. و مسلم زاده، م.، ۱۳۹۰. تحلیل نقطه تغییر و روند در تعدادی از سری‌های زمانی مشخصات (Greece), *European Water*, v. 30, p. 31-40.  
- Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Measures, Charles Griffin, London.  
- Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, v.13, p. 245-259.  
- Ramazanpour, M. and Roshani, M., 2011. Seasonal Trend Analysis of Precipitation and Discharge Parameters in Guilan, North of the Iran, *World Applied Sciences Journal*, v. 14 (9), p. 1286-1290.  
- Sen, P.K., 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, v. 39, p. 1379 - 1389.  
- Theil, H., 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial

regression analysis Part 3. Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen A53. 1397-1412.  
-Tekleab, D., Mohamed, Y. and Uhlenbrook, S., 2013. Hydro-climatic trends in the Abay/Upper Blue Nile

basin, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 61-62, p. 32-42.  
-Zhang, X. B., Harvey, K. D., Hogg, W.D. and Yuzyk, T.R., 2001. Trends in Canadian streamflow, *Water Resources Research*, v. 37, p. 987-998.