

## الگوی روند و ایستایی سری‌های زمانی جریان سطحی در دامنه جنوبی البرز

- ❖ **مهسا میردشتوان؛** دانش‌آموخته دکترای گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ❖ **علی نجفی‌نژاد\*؛** دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ❖ **امیر سعدالدین؛** دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

### چکیده

تجزیه و تحلیل روند و ایستایی متغیرهای هیدرولوژیک، ابزارهایی مفید برای درک تغییرات اقلیمی هستند و می‌توانند اطلاعات مفیدی را در مورد تغییرات محتمل در آینده فراهم نمایند. از آنجایی که نایستایی سری‌های زمانی می‌تواند به دلایل مختلفی نظیر وجود روند در داده‌ها رخ دهد، در تحقیق حاضر ابتدا آزمون ناپارامتری من-کندال همراه با روشی برای اصلاح تأثیر همبستگی سریالی بر روند (TFPW)، مورد استفاده قرار گرفتند؛ هم‌چنین به جهت ارزیابی رابطه میان روند و ایستایی سری‌های زمانی مورد بررسی، ایستایی سری‌های زمانی توسط آزمون‌های ایستایی بررسی گردید. یافته‌های پژوهش حاضر نشان دادند که جریان سطحی در تمامی رودخانه‌های اصلی مورد مطالعه در دامنه‌های جنوبی البرز دارای روند کاهشی است. در ایستگاه‌هایی که روند کاهشی معناداری از خود نشان دادند (لتیان و فیروزکوه)، استفاده از روش TFPW معناداری روند جریان سطحی را در ایستگاه‌های مذکور از بین برد. نتایج آزمون‌های ایستایی حاکی از ایستا بودن تمامی سری‌ها پس از حذف همبستگی سریالی موجود در آن‌ها است که این امر می‌تواند متأثر از عدم وجود روند معنادار در این سری‌ها باشد؛ با این حال ایستگاه فیروزکوه پس از اعمال روش TFPW نایستایی معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد از خود نشان داد که این امر ممکن است ناشی از وجود جهش در سری داده‌های این ایستگاه باشد. یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند به برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران در عرصه‌های گوناگون مرتبط با برنامه‌ریزی منابع آب کشور در انطباق با تغییرات اقلیمی در آینده یاری رساند.

**کلید واژگان:** ایستایی، تغییر اقلیم، جریان سطحی، دامنه‌های جنوبی البرز، روند



## ۱. مقدمه

گزارش‌های ارزیابی متوالی هیئت بین دول تغییرات اقلیمی<sup>۱</sup> [۱، ۲، ۳] نشان می‌دهند که انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث تغییرات اقلیمی (گرمایش جهانی) می‌شوند که این پدیده متعاقباً دارای اثراتی بر سیستم‌های گوناگون از جمله منابع و پهنه‌های آبی است. از آنجایی که تعیین و شناسایی روند تغییرات جریان سطحی به جهت توسعه و مدیریت آینده‌ی منابع آبی ضروری است، بنابراین پژوهشگران روش‌های گوناگونی را به منظور بررسی روند متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیک به کار می‌برند. یکی از ابزارهای مهم برای آزمودن وجود یک عامل سیستماتیک در مقابل تغییرات طبیعی و تصادفی بودن متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیک، تجزیه و تحلیل روند آن‌ها است. شناسایی روند متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیک با استفاده از روش‌های متعددی که بدین منظور ارائه شده‌اند، صورت می‌گیرد. این روش‌ها عمدتاً در دو گروه اصلی دسته‌بندی می‌شوند: روش‌های شناسایی روند پارامتری و روش‌های شناسایی روند ناپارامتری [۴]. روش‌های ارائه شده سعی در پاسخ‌گویی به دو مسئله‌ی اصلی را دارند که عبارتند از: ارزیابی معناداری آماری روند و تعیین شکل روند شناسایی شده [۵]. در میان روش‌های متعدد شناسایی روند، روش‌های پارامتری به دلیل فرضیاتی نظیر نرمال بودن، ایستایی و مستقل در نظر گرفتن متغیرها، برای بررسی روند در متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیک مناسب نیستند. از میان آزمون‌های ناپارامتری، آزمون من-کندال آزمونی متداول است که برای شناسایی روند در یک سری زمانی به کار

می‌رود حتی اگر مؤلفه‌ی فصلی<sup>۲</sup> در سری زمانی موجود باشد. با این حال من-کندال در مقابل نوسانات دوره‌ای سری‌های زمانی و همبستگی سریالی<sup>۳</sup> که ممکن است بر روی آماره‌های آزمون من-کندال تأثیر بگذارند عملکرد قدرتمندی ندارد و هم‌چنین قادر به تعیین شکل مشخص روند نیز نمی‌باشد [۵، ۶، ۷].

روش‌های متعددی برای اصلاح اثرات همبستگی سریالی در سری‌های زمانی پیشنهاد شده است از جمله: پیش سفید کردن داده‌ها<sup>۴</sup>، اصلاح واریانس و غیره [۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲]. در کارهای پژوهشی ذکر شده، روش پیش سفید کردن برای از بین بردن مؤلفه‌ی همبستگی سریالی موثر است با این حال در حین استفاده از این روش ممکن است بخشی از روند موجود از بین برود [۱۱]؛ لذا از بین بردن روند<sup>۵</sup> مقدم بر پیش سفید کردن، برآورد صحیح‌تری از همبستگی سریالی را فراهم می‌کند؛ بنابراین روشی جایگزین به نام TFPW<sup>۶</sup> برای اصلاح روند معنادار در سری‌های دارای مؤلفه‌ی همبستگی سریالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پژوهش‌های متعددی از روش‌های پارامتری و ناپارامتری و هم‌چنین روش‌های اصلاح‌کننده‌ی همبستگی سریالی سری‌های زمانی در زمینه‌های مختلف از جمله متغیرهای اقلیمی [۴، ۱۳، ۱۴] متغیرهای هیدرولوژیک [۵، ۸، ۱۵] و کیفیت آب [۱۶، ۱۷] بهره‌جسته‌اند.

عدم ایستایی<sup>۷</sup> موضوع دیگری است که می‌تواند به صورت روند تدریجی و یا تغییر ناگهانی در متغیرهای اقلیمی رخ دهد. واژه‌ی "ایستایی"<sup>۸</sup> بدین معناست که متغیرهای اقلیمی به لحاظ مقادیر میانگین و واریانس نسبت به زمان، ثابت و بدون تغییر هستند. نایستایی سری‌های زمانی می‌تواند به دلایل مختلفی نظیر وجود

<sup>2</sup> Seasonal component

<sup>3</sup> Serial correlation

<sup>4</sup> Pre-whitening

<sup>5</sup> De-trending

<sup>6</sup> Trend Free Pre-Whitening

<sup>7</sup> Non-stationarity

<sup>8</sup> Stationarity

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

## ۲. روش شناسی

### ۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

استان تهران با مساحتی بالغ بر ۱۲۹۸۱ کیلومتر مربع در دامنه های جنوبی البرز واقع شده است. این استان در حدود ۱۸ درصد از جمعیت کشور را در خود جای داده است. بر اساس سیستم طبقه بندی اقلیمی کوپن-گرایگر، اقلیم استان تهران در مناطق جنوبی گرم و خشک است. در حالی که در مناطق شمالی و کوهستانی سرد و نیمه خشک می باشد. گرم ترین ماه های سال ماه های تیر و مرداد هستند که در طول این ماه ها دامنه های میانگین درجه حرارت بین ۲۸ تا ۳۰ درجه سانتی گراد است، هم چنین سردترین ماه سال دی ماه است که دما در این ماه تا ۱۵- درجه سانتی گراد نیز گزارش شده است [۱۸]. استان تهران در بخش هایی از دو حوزه آبخیز دریاچه نمک و کویر مرکزی قرار گرفته است، با این حال در حدود ۷۰ درصد از مساحت استان در حوضه دریاچه نمک واقع شده است. رودخانه های دائمی و فصلی متعددی در سطح استان وجود دارند که به جهت مصارف خانگی، کشاورزی و صنعت مورد بهره برداری قرار می گیرند. از مهم ترین جریان های سطحی استان می توان به حبله رود، رود شور، رود لار، جاجرود، رود طالقان و رودخانه کرج اشاره کرد.

ارزیابی روند و ایستایی تغییرات اقلیمی نیازمند آمار طولانی مدت و با کیفیت بالای متغیرهای اقلیمی است. در مطالعه حاضر، سری های زمانی سالانه داده های دبی جریان سطحی متعلق به ایستگاه های هیدرومتری تحت نظارت و بهره برداری وزارت نیرو در سطح آبراهه های اصلی استان تهران که دارای استانداردهای لازم برای استفاده در آزمون های تعیین روند هستند جمع آوری گردید و مورد استفاده قرار گرفت. در انتخاب ایستگاه ها معیارهایی از قبیل طول مدت آمار، کیفیت آمار موجود و پراکنش مناسب ایستگاه ها مدنظر قرار گرفته است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه ی مورد مطالعه در ایران و ایستگاه های مورد بررسی را نشان می دهد؛ هم چنین

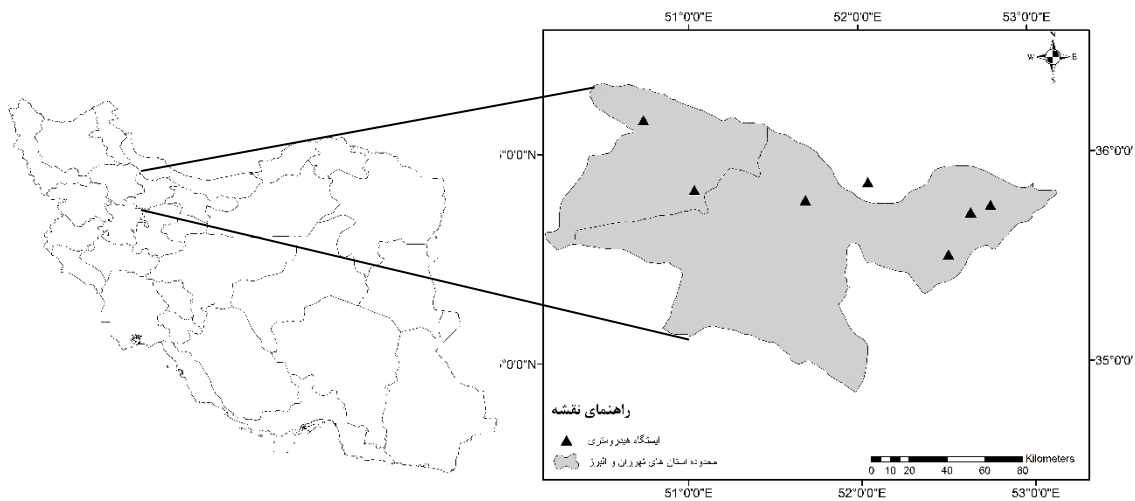
روند، تناوب فصلی<sup>۱</sup> و یا پرش رخ دهد. روش های گوناگونی برای تعیین ایستایی و نایستایی یک سری زمانی وجود دارند که در برخی از آنها فرض صفر ( $H_0$ ) دلالت بر ایستایی سری زمانی دارد (نظیر آزمون KPSS) در حالی که در برخی دیگر تأیید فرض صفر به معنای عدم ایستایی سری زمانی مورد مطالعه است (نظیر آزمون ریشه واحد دیکی-فولر). براساس مطالعات مختلف، نایستایی می تواند در نتیجه ی وجود روند تدریجی و یا تغییر ناگهانی در متغیرها رخ دهد، هم چنین می تواند به عنوان نشانه ای از تغییر اقلیم محسوب گردد. از آنجایی که ارزیابی و بررسی ایستایی یا نایستایی سری های زمانی، پیش از مدل سازی، از ملزومات است و ضروری است تا پیش از هرگونه مدل سازی در صورت نایستایی بودن داده ها ابتدا داده ها ایستا شوند و سپس مدل سازی صورت بگیرد لذا آزمون ایستایی سری های زمانی و یافتن منبع نایستایی از ضروریات است.

تعیین و شناسایی روند و ایستایی در سری های زمانی به درک گرایش بالقوه ی این تغییرات در آینده کمک می کند و در زمینه ی مدیریت سیستم ها و منابع و از جمله منابع آبی و به ویژه تأمین پایدار آب موثر است؛ بنابراین پژوهش حاضر سه هدف را دنبال می کند: (۱) استفاده از آزمون های ناپارامتری روند برای شناسایی روند سالانه ی سری های زمانی هیدرولوژیک و تعیین مقادیر روند در صورت وجود (۲) مقایسه ی نتایج آزمون روند پیش و پس از اعمال روش TFPW برای تعیین اثر همبستگی سریالی داده ها در تغییرات یکنواخت<sup>۲</sup> (۳) اعمال آزمون های ایستایی برای مطالعه ی وضعیت ایستایی سری های زمانی مورد بررسی در مقایسه با روند آن ها. به طور کلی هدف اصلی پژوهش حاضر، مطالعه ی الگوی روند و ایستایی در سری های زمانی جریان سطحی آبراهه های اصلی استان تهران، واقع در دامنه های جنوبی البرز است.

<sup>1</sup> Seasonality

<sup>2</sup> Monotonic changes

جدول (۱) ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه را به اختصار نمایش می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و ایستگاه‌های مورد بررسی

جدول ۱. خلاصه ویژگی‌های ایستگاه‌های منتخب

ارتفاع از سطح آب‌های آزاد (متر)	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه)	دوره آماری	ایستگاه	رودخانه
۲۲۶۵	۰۳-۵۲	۵۲-۳۵	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	پلور	لار
۱۷۷۰	۴۴-۵۰	۱۰-۳۶	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	گلینک	شاهرود
۱۳۶۰	۰۲-۵۱	۵۰-۳۵	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	بیلقان	کرج
۱۵۶۰	۴۱-۵۱	۴۷-۳۵	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	لتیان	جاجرود
۱۹۱۰	۴۶-۵۲	۴۵-۳۵	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	فیروزکوه	فیروزکوه
۱۸۱۰	۳۹-۵۲	۴۳-۳۵	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	نمرود	نمرود
۱۴۳۵	۳۱-۵۲	۳۱-۳۵	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	سیمین دشت	حبله‌رود

می‌گیرد و عملکرد آزمون پیش و پس از اصلاح مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

### ۱.۲.۲. آزمون من-کندال

آزمون تعیین روند من-کندال جزو روش‌های ناپارامتری تعیین روند محسوب می‌شود. این آزمون حتی در صورت وجود مولفه‌ی تناوب فصلی در سری‌های زمانی قابل استفاده است. آزمون من-کندال نخست توسط من [۱۹] برای تعیین روند داده‌ها ارائه شد و توسط کندال [۲۰] توسعه یافت و بعدتر سایر محققان امکان محاسبه‌ی

### ۲.۲. تعیین روند

در مطالعه‌ی حاضر شناسایی روند با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال کلاسیک صورت می‌گیرد. از آن-جایی که آزمون من-کندال قادر به محاسبه‌ی شیب روند به دست آمده نیست؛ لذا برای محاسبه‌ی کمی روند موجود از روش تخمین گر شیب سن-تایل استفاده می-گردد؛ هم‌چنین آزمون تعیین روند من-کندال در مقابل همبستگی سریالی سری‌های زمانی عملکرد قدرتمندی ندارد و در نتیجه برای اصلاح اثرات همبستگی سریالی در سری‌های زمانی، روشی به نام TFPW مورد استفاده قرار

در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر برقرار باشد:

$$|Z| < Z_{\alpha/2} \quad (۶)$$

در معادله (۶)،  $\alpha$  سطح معناداری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود،  $Z_{\alpha}$  آماره‌ی توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری  $\alpha$  است که با توجه به دو دامنه‌ای بودن آزمون، از  $\alpha/2$  استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر این آزمون برای سطح اعتماد ۹۵ درصد به کار گرفته شده است. در صورتی که آماره‌ی  $Z$  مثبت باشد روند سری داده‌ها افزایشی و در صورت منفی بودن آن روند کاهشی در نظر گرفته می‌شود [۱۳].

#### ۲.۲.۲. روش TFPW

اگر در سری داده‌ها همبستگی سریالی وجود داشته باشد این موضوع می‌تواند فرآیند تعیین روند را بسیار پیچیده کند و حتی ممکن است منجر به خروجی‌های نادرست از آزمون من-کنندال گردد [۱۰]. روش‌های متعددی برای از بین بردن همبستگی سریالی از سری-های زمانی وجود دارد که در این میان روش پیش سفید کردن داده‌ها از سایر روش‌ها متداول‌تر است، با این حال پژوهشگران مختلفی [۱۱، ۲۱] نشان داده‌اند که پیش سفید کردن داده‌ها ممکن است بخشی از روند موجود در داده‌ها را در حین فرآیند از بین بردن همبستگی سریالی از بین ببرد؛ بنابراین روش دیگری به نام TFPW ارائه گردید. این روش تلاش می‌کند تا همبستگی سریالی را که متعلق به روند است از بقیه‌ی همبستگی سریالی موجود جدا کند و همبستگی سریالی را که جدای از روند است حذف کند. در پژوهش حاضر گام‌های زیر برای اصلاح آزمون تعیین روند من-کنندال انجام می‌شود: (۱) حذف روند خطی از سری‌های زمانی خام:

$$Y_t = X_t - \beta_t \quad (۷)$$

که در این معادله  $X_t$  مقادیر سری زمانی در زمان  $t$ ،  $\beta$  شیب رگرسیون خطی روند داده‌های خام و  $Y_t$  سری

روند، در صورت وجود، تناوب فصلی را به آن افزودند [۱۶]. در آزمون من-کنندال فرض صفر ( $H_0$ ) بر عدم وجود روند در سری زمانی دلالت دارد، در حالی که فرض جایگزین ( $H_a$ ) بر وجود روند مثبت یا منفی در سری داده‌ها تأکید دارد. در این روش ابتدا اختلاف میان هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس از آن محاسبه شده و پارامتر  $S$  مطابق رابطه زیر به دست می‌آید:

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

در معادله (۱)،  $n$  تعداد داده‌ها در سری زمانی، و  $x_k$  و  $x_j$  به ترتیب داده‌های  $k$ ام و  $j$ ام سری هستند. تابع علامت  $\text{sgn}$  نیز از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌گردد:

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

در مرحله‌ی بعد محاسبه‌ی واریانس  $S$  توسط یکی از روابط (۳) یا (۴) که به تعداد داده‌های موجود در سری زمانی بستگی دارد محاسبه می‌گردد:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{if } n > 10 \quad (۳)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{if } n < 10 \quad (۴)$$

در معادلات (۳) و (۴)،  $n$  و  $m$  تعداد دنباله‌هایی هستند که در آن‌ها حداقل یک داده‌ی تکراری وجود دارد،  $t$  نیز بیان‌گر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک دنباله (تعداد گره‌ها) است. در پایان، آماره‌ی  $Z$  توسط یکی از معادله‌های زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} && \text{if } S > 0 \\ Z &= 0 && \text{if } S = 0 \\ Z &= \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} && \text{if } S < 0 \end{aligned} \quad (۵)$$

با فرض دو دامنه‌ای بودن آزمون روند، فرضیه‌ی صفر

$$y_t = \rho y_{t-1} + X_t \delta + u_t \quad (10)$$

که در آن دامنه‌ی  $t$  از یک تا  $N$  است و  $u_t$  سری تصادفی نرمال و مستقل است. اگر  $|\rho| < 1$  باشد سری زمانی  $y_t$  ایستا بوده و اگر  $\rho = 1$  باشد سری نایستا است. مقدار  $\hat{\rho}$  با استفاده از روش بیشینه‌ی درست نمایی از طریق معادله‌ی (۱۱) محاسبه می‌گردد:

$$\hat{\rho} = \left( \sum_{t=2}^N Y_{t-1}^2 \right)^{-1} \sum_{t=2}^N Y_{t-1} Y_t \quad (11)$$

که در آن  $\hat{t}$  از طریق معادله‌ی (۱۲) به دست می‌آید:

$$\hat{t} = \frac{\hat{\rho} - 1}{\hat{\sigma}_p} \quad (12)$$

$\hat{\sigma}_p$  خطای استاندارد حداقل مربعات برای ضریب  $\hat{\rho}$  است. در این آزمون حد توزیع آزمون  $t$  در شرایط فرض  $H_0$  و  $H_a$  عبارتند از:

$$H_0: \rho = 1 \\ H_a: |\rho| < 1$$

در صورت رد فرض  $H_a$ ، سری نایستا بوده و در شرایط رد فرض  $H_0$ ، سری ایستا است.

### ۲.۳.۲. آزمون KPSS

در این آزمون سری  $\{X_t\}$  به عنوان سری داده‌های مشاهداتی در نظر گرفته می‌شود که در آن  $t = 1, 2, 3, \dots, N$ . اگر سری زمانی را به یک روند مشخص<sup>۲</sup>، یک گردش تصادفی<sup>۳</sup> و خطای ایستایی تجزیه کنیم مدل رگرسیونی موجود در معادله‌ی (۱۳) به دست می‌آید [۲۲]:

$$X_t = r_t + \beta_t + \varepsilon_t \quad (13)$$

که در آن  $r_t$  گردش تصادفی،  $\beta_t$  روند معین و  $\varepsilon_t$  خطای ایستایی است. در این آزمون سری زمانی حول یک روند معین ایستا فرض می‌شود در صورتی که فرض

زمانی است که روند آن حذف شده است.

(۲) حذف همبستگی سریالی در صورت معنادار بودن آماره ضریب همبستگی سریالی با تأخیر زمانی یک (lag-1) در سطح پنج درصد:

$$Y'_t = Y_t - r_1 Y_{t-1} \quad (8)$$

که در آن  $Y'_t$  سری زمانی فاقد روند و پیش سفید شده است که تحت عنوان "سری‌های باقی مانده"<sup>۱</sup> شناخته می‌شود.

(۳) اضافه کردن روند خطی به داده‌ها که در گام (۱) حذف شده بود:

$$Y''_t = Y'_t - \beta_t \quad (9)$$

که در آن  $Y''_t$  سری داده‌ی اصلاح شده توسط روش TFPW است.

### ۳.۲. ایستایی

در پژوهش حاضر، آزمون ایستایی سری‌های زمانی با استفاده از سه روش متداول ریشه واحد دیکی-فولر (DF)، KPSS و فیلیپس-پرون (PP) صورت می‌گیرد. از آنجایی که ممکن است سری‌های زمانی به دلایلی نظیر وجود روند، تناوب فصلی و همبستگی سریالی نایستا شوند لذا در پژوهش حاضر اثرات موارد مذکور بر ایستایی سری‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۱.۳.۲. آزمون دیکی-فولر

آزمون ریشه واحد دیکی-فولر از متداول‌ترین آزمون‌های تعیین ایستایی است. این آزمون آماره‌ای را معرفی می‌کند که دارای توزیع حدی است. عملکرد این آزمون با استفاده از مدل‌های رگرسیونی صورت می‌گیرد [۲۲]:

<sup>2</sup> Deterministic trend

<sup>3</sup> Random walk

<sup>1</sup> Residual series

که در آن  $\hat{\alpha}$  ضریب تخمینی،  $t_\alpha$  نرخ تغییرات  $\hat{\alpha}$ ،  $se(\hat{\alpha})$  ضریب خطای استاندارد  $\hat{\alpha}$ ،  $s$  خطای استاندارد رگرسیون،  $f_0$  تابع باقی مانده در فرکانس صفر است و  $\gamma_0$  از رابطه‌ی (۱۹) به دست می‌آید:

$$\gamma_0 = (T - S)S^2/T \quad (19)$$

که در آن  $K$  تعداد رگسورها است. حدود بحرانی در این آزمون مشابه آزمون ریشه واحد دیکی- فولر است [۲۲].

### ۳. نتایج

#### ۳.۱. تعیین روند

در تحقیق حاضر روند داده‌های جریان سطحی هفت رودخانه‌ی اصلی دامنه‌های جنوبی البرز در هفت ایستگاه هیدرومتری، در مقیاس زمانی سالانه مطالعه گردید. از آنجایی که وجود عواملی نظیر همبستگی سریالی میان سری داده‌ها بر روی نتایج بررسی روند آن‌ها تأثیر می‌گذارد لذا پیش از اعمال آزمون روند بر روی داده‌ها، وجود و یا عدم وجود عامل همبستگی سریالی در میان داده‌ها مورد آزمون قرار گرفت (جدول ۲). شکل (۲) نمودار خود همبستگی جزئی را در ایستگاه‌هایی که عامل همبستگی با تأخیر زمانی یک (lag-1) در آن‌ها در سطح پنج درصد معنادار است را نشان می‌دهد.

از میان هفت ایستگاه مورد بررسی، سری داده‌های متعلق به چهار ایستگاه پلور (رودخانه‌ی لار)، بیلقان (رودخانه‌ی کرج)، فیروزکوه (رودخانه‌ی فیروزکوه) و نمرود (رودخانه‌ی نمرود) دارای همبستگی سریالی بودند. با استفاده از روش TFPW همبستگی موجود میان داده‌ها حذف شده است و سپس آزمون روند بر روی داده‌ها اعمال گردید.

صفر به صورت  $\sigma^2_u = 0$  باشد. در حالت ایستایی حول یک روند معین، باقی مانده‌های  $e_t$  از رگرسیون  $X$  و زمان بوده و  $\varepsilon_t = e_t$  خواهد شد.

حالت دیگر در این آزمون، ایستایی پیرامون یک سطح است که در این حالت فرض صفر به صورت  $\beta = 0$  است. در ایستایی پیرامون یک سطح ثابت، باقی مانده‌های  $e_t$  از طریق رابطه‌ی  $e_t = \bar{X}_t - \bar{X}$  به دست می‌آید. در معادله-ی (۱۴)،  $S$  برابر با مجموع  $e_t$  است:

$$S = \sum_{j=1}^t e_j \quad (14)$$

در صورتی که  $\sigma^2$  واریانس  $e_t$  باشد:

$$\sigma^2 = \lim N^{-1} E[S^2_N] \quad (15)$$

با استفاده از باقی مانده‌ها، از طریق معادله‌ی (۱۶)، برآوردی محاسبه می‌گردد:

$$(16)$$

$$\hat{\sigma}^2(p) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N e_t^2 + \frac{2}{N} \sum_{j=1}^p \omega_j(p) \sum_{t=j+1}^N e_t e_{t-1}$$

در این رابطه،  $p$  مقدار تأخیر و  $\omega_j(p) = 1 - \frac{j}{(p+1)}$  است. در نهایت آماره‌ی آزمون KPSS با استفاده از معادله‌ی (۱۷) به دست می‌آید:

$$KPSS = N^{-2} \sum_{t=1}^N \frac{S_t^2}{\hat{\sigma}^2(p)} \quad (17)$$

در این آزمون اگر فرض صفر ( $H_0$ ) به صورت  $\rho < 1$  باشد، سری زمانی ایستا است.

#### ۳.۳.۲. آزمون فیلیپس-پرون

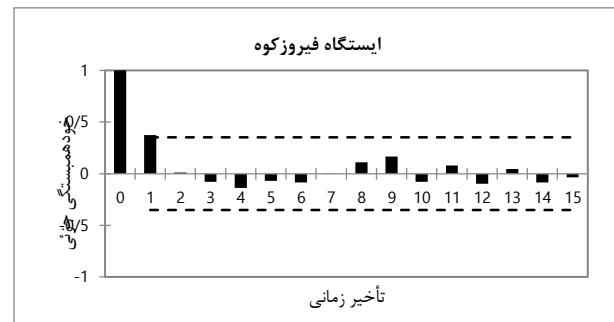
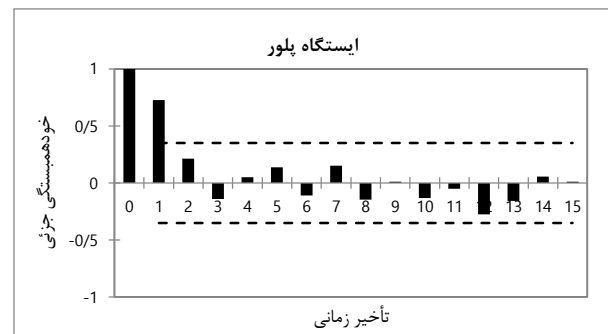
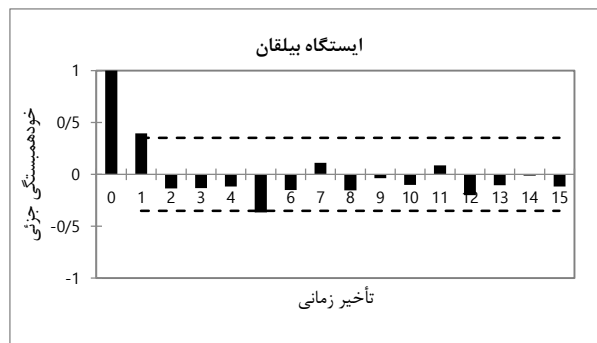
این آزمون توسط فیلیپس و پرون برای بررسی ایستایی سری‌های زمانی ارائه گردید. آماره‌ی این آزمون در معادله‌ی (۱۸) ارائه شده است:

$$\hat{t}_\alpha = t_\alpha \left( \frac{\gamma_0}{f_0} \right)^{1/2} - \frac{T(f_0 - \gamma_0)(se(\hat{\alpha}))}{2f_0^{1/2} S} \quad (18)$$



جدول ۲. ویژگی‌های آماری سری‌های زمانی جریان سطحی

ACF(1)	کشیدگی	چولگی	ضریب تغییرات	میانگین ( $m^3/s$ )	دوره‌ی آماری (سال آبی)	رودخانه (ایستگاه)
۰/۷۲۵	-۰/۶۷۸	۰/۶۱۳	۰/۷۳۰	۳/۲۰۴	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	لار (پلور)
۰/۱۷۱	-۰/۷۳۰	-۰/۲۰۹	۰/۲۸۴	۱۲/۶۴۷	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	شاهرود (گلینک)
۰/۳۹۴	-۱/۰۵۷	۰/۱۴۹	۰/۲۷۷	۱۵/۲۶۷	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	کرج (بیلقان)
۰/۲۷۸	-۱/۰۶۲	۰/۳۲۱	۰/۶۱۶	۵/۶۹۴	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	جاجرود (لتیان)
۰/۳۷۵	۳/۹۲۲	۱/۴۹۵	۰/۴۴۲	۱/۰۰۰	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	فیروزکوه (فیروزکوه)
۰/۴۷۸	۰/۷۵۹	۰/۷۷۳	۰/۲۹۰	۳/۹۸۹	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	نمرود (نمرود)
۰/۲۲۷	-۰/۰۵۵	۰/۳۳۰	۰/۳۵۴	۵/۵۶۰	۱۳۶۰-۶۱ تا ۱۳۹۰-۹۱	حبله رود (سیمین دشت)



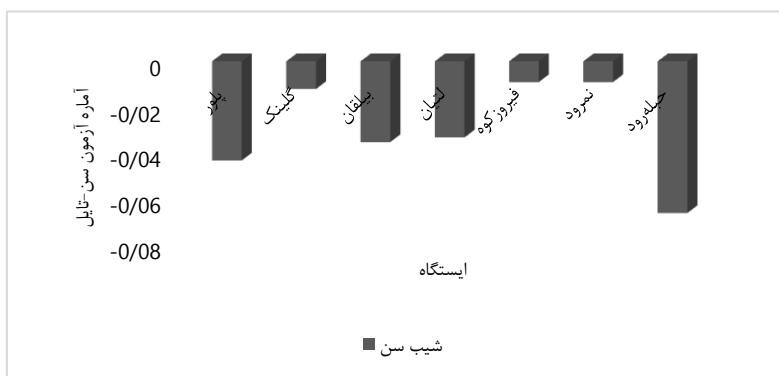
شکل ۲. نمودار خودهمبستگی جزئی سری‌های زمانی جریان سطحی ایستگاه‌های دارای عامل همبستگی سریالی معنادار در سطح اطمینان ۹۵٪.

آزمون سن-تایل را که برای برآورد شیب روند مورد استفاده قرار گرفته است نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است بیشترین شیب منفی متعلق به ایستگاه حبله‌رود (رودخانه‌ی حبله‌رود) است که در جنوب شرقی منطقه‌ی مورد مطالعه قرار دارد.

یافته‌های حاصل از آزمون من-کنندال در جدول (۳) نشان داده شده‌اند. نتایج این آزمون نشان می‌دهد سری داده‌های جریان سطحی در تمامی رودخانه‌های مورد بررسی از روندی کاهشی تبعیت می‌نمایند؛ با این حال این روند کاهشی در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد بررسی به لحاظ آماری معنادار نیست. شکل (۳) نتایج آماره‌ی

جدول ۳. نتایج آزمون‌های تعیین روند و شیب سری‌های زمانی جریان سطحی

ایستگاه	آماره‌ی آزمون من-کندال (Kendall's tau)		سطح معنی‌داری (p-value)		وجود روند معنی‌دار		آماره‌ی آزمون سن (Sen's slope)	
	قبل از اصلاح	بعد از اصلاح	قبل از اصلاح	بعد از اصلاح	قبل از اصلاح	بعد از اصلاح	قبل از اصلاح	بعد از اصلاح
پلور	-۰/۵۵۷	-۰/۱۸۲	<۰/۰۰۰۱	۰/۱۶۴	*	x	-۰/۱۹۸	-۰/۰۴۳
گلینک	-۰/۰۱۹	-	۰/۸۹۲	-	x	-	-۰/۰۱۲	-
بیلقان	-۰/۰۳۷	-۰/۰۴۴	۰/۷۸۶	۰/۷۴۸	x	x	-۰/۰۳۸	-۰/۰۳۵
لتیان	-۰/۰۵۴	-	۰/۶۸۳	-	x	-	-۰/۰۳۳	-
فیروزکوه	-۰/۳۳۶	-۰/۱۶۸	۰/۰۰۸	۰/۱۹۹	*	x	-۰/۰۱۹	-۰/۰۰۹
نمرود	-۰/۲۰۹	-۰/۰۱۱	۰/۱۰۳	۰/۹۴۳	x	x	-۰/۰۴۱	-۰/۰۰۹
حبله‌رود	-۰/۲۵۲	-	۰/۰۴۹	-	x	-	-۰/۰۶۶	-



شکل ۳. آماره‌ی آزمون تخمین‌گر شیب سن در ایستگاه‌های مورد مطالعه

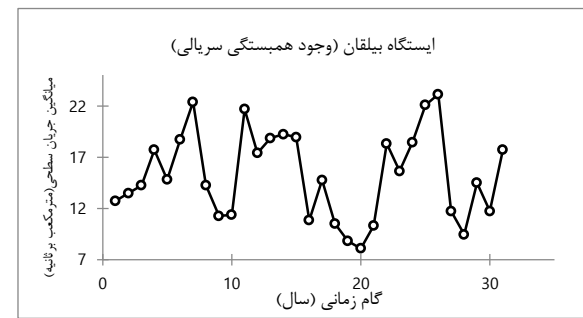
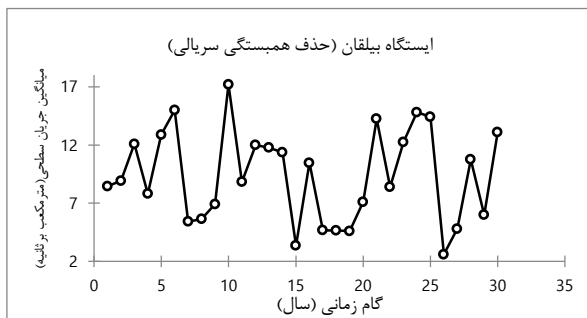
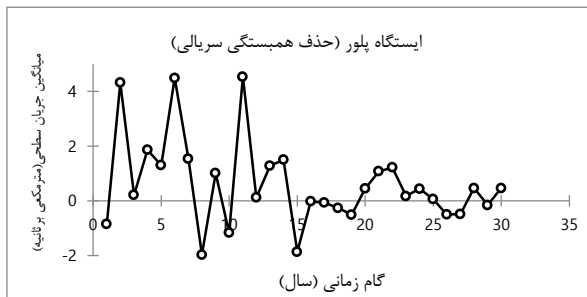
مورد اعداد منفی شکل (۴) بایستی به این نکته اشاره گردد که سری‌های زمانی نظیر جریان سطحی به سطوح (سیگنال‌های) مختلفی تجزیه می‌شوند که شامل توابع حالت ذاتی<sup>۱</sup>، روند و اجزای باقی مانده<sup>۲</sup> است [۵]. در واقع IMF نشان دهنده داده‌ی پایه است که مجموع آن با مقدار روند و باقی مانده‌ی کل یک سری زمانی را تشکیل می‌دهند. در شکل (۴) پس از اعمال آزمون TFPW روند ناشی از همبستگی سریالی از سری داده‌ها حذف شده است که در حقیقت این امر باعث منفی شدن مقادیر

همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد وجود همبستگی سریالی میان سری‌های زمانی ممکن است بر آماره‌های آزمون روند تأثیر بگذارد؛ به عبارت دیگر وجود همبستگی سریالی مثبت میان داده‌ها، احتمال رد فرضیه‌ی صفر در آزمون روند را افزایش می‌دهد در حالی که وجود همبستگی سریالی منفی، احتمال رد فرضیه‌ی صفر را کاهش می‌دهد که این امر منجر به ارائه‌ی نتایج نادرست در بررسی و تشخیص روند موجود در سری داده‌ها می‌گردد. برای درک بهتر تأثیر وجود همبستگی سریالی موجود میان داده‌ها بر روند سری‌های زمانی، نتایج آزمون روند دو ایستگاه پلور و بیلقان از میان ایستگاه‌های مورد بررسی انتخاب و در شکل (۴) نشان داده شده‌اند. در

<sup>1</sup> Intrinsic Mode Functions (IMF)

<sup>2</sup> Residuals

داده‌ها در سطح پنج درصد معنادار است. سری‌های زمانی متعلق به ایستگاه پلور پیش از حذف عامل همبستگی سریالی توسط آزمون TFPW از خود روند کاهشی معنادار در سطح پنج درصد نشان می‌دهند با این حال پس از اعمال روش مذکور و حذف عامل خود همبستگی میان سری داده‌ها، معناداری این روند کاهشی از بین می‌رود. ایستگاه بیلقان جزو ایستگاه‌های است که روند کاهشی سری‌های جریان سطحی در آن مشهود است با این حال این روند کاهشی در سطح پنج درصد معنادار نیست، پس از اعمال آزمون TFPW و حذف عامل همبستگی نیز تغییری در نتایج آزمون روند حاصل نمی‌گردد و تنها مقدار روند کاهشی موجود تغییر می‌کند (جدول ۳).



شکل ۴- تغییرات روند سری‌های جریان سطحی پیش و پس از حذف همبستگی سریالی با استفاده از آزمون TFPW در سطح ۵٪

۹۵ درصد ایستا هستند، بنابراین فرض ریشه واحد در آزمون‌های DF و PP در سطح پنج درصد پذیرفته نمی‌شود؛ همچنین فرض ایستایی پیرامون یک روند معین توسط آزمون KPSS در سطح پنج درصد برای تمامی

جریان سطحی شده است زیرا بایستی به این نکته توجه داشت که در واقع مجموع سه عامل مذکور است که یک سری زمانی را تشکیل می‌دهد. در این جا نیز با حذف روند ناشی از همبستگی سریالی میان داده‌های ایستگاه پلور مقادیر جریان سطحی منفی شده‌اند که در واقع این امر به معنای منفی بودن جریان سطحی نیست بلکه نشان دهنده‌ی آن است که با حذف یکی از اجزای سری زمانی در سری‌های زمانی ایستگاه مذکور یعنی روند، مقادیر آن منفی می‌شود (به بیانی دیگر بخشی از ارزش یا عدد نشان دهنده‌ی روند بوده است که حذف می‌گردد) که در نهایت نشان دهنده‌ی روند منفی سری‌های زمانی مذکور است. همان گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد نتیجه‌ی بررسی وجود عامل همبستگی سریالی میان

### ۲.۳. آزمون‌های ایستایی

یافته‌های حاصل از آزمون‌های ایستایی در جدول (۴) قابل مشاهده است. تمامی سری‌های زمانی سالانه (به جز ایستگاه لتیان در آزمون PP) به طور معناداری با اطمینان

هرگونه همبستگی سریالی موجود میان سری داده‌ها حذف گردیده است و با توجه به این که ایستگاه مذکور فاقد هرگونه روند معناداری است، وجود ناپیوستایی در سری داده‌های ایستگاه لتیان احتمالاً به دلیل وجود جهش در سری داده‌ها است.

ایستگاه‌های مورد بررسی نیز پذیرفته می‌شود. در ایستگاه لتیان سری داده‌های جریان سطحی برای هر دو آزمون DF و KPSS ایستایی معناداری را در سطح پنج درصد نشان می‌دهد با این حال نتیجه‌ی آزمون PP در سطح پنج درصد حاکی از ناپیوستایی در سری‌های زمانی است. از آنجایی که پیش از آزمون ایستایی سری‌های زمانی

جدول ۴- نتایج آزمون‌های ایستایی سری‌های زمانی جریان سطحی

ایستگاه	KPSS		PP		DF	
	P-value	Eta	P-value	Tau	P-value	Tau
پلور	۰/۸۱۴	۰/۰۳۹	<۰/۰۰۰۱	-۷/۲۹۶	<۰/۰۰۰۱	-۷/۱۹۹
گلینک	۰/۵۳۵	۰/۰۵۸	۰/۰۰۸	-۴/۳۶۶	۰/۰۰۸	-۴/۳۹۶
بیلقان	۰/۵۹۹	۰/۰۵۴	۰/۰۰۴	-۴/۷۲۰	۰/۰۰۳	-۴/۷۵۸
لتیان	۰/۴۶۰	۰/۰۶۴	۰/۰۵۴	-۳/۵۳۴	۰/۰۴۵	-۳/۶۱۸
فیروزکوه	۰/۶۸۹	۰/۰۴۸	۰/۰۰۰	-۵/۵۳۲	۰/۰۰۰	-۵/۵۳۴
نمرود	۰/۱۶۹	۰/۱۰۳	۰/۰۰۱	-۵/۴۳۹	۰/۰۰۱	-۵/۴۳۹
حبله‌رود	۰/۱۹۸	۰/۰۹۷	۰/۰۰۰	-۵/۷۰۱	۰/۰۰۰	-۵/۶۳۷

KPSS و PP جهت مطالعه‌ی ایستا بودن سری داده‌ها استفاده گردید.

نتایج به دست آمده از تعیین روند سری‌های زمانی جریان سطحی نشان دهنده‌ی وجود روند کاهشی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه است، با این حال روند کاهشی مشاهده شده در هیچ کدام از ایستگاه‌های مورد بررسی به لحاظ آماری در سطح پنج درصد معنادار نیست؛ هم‌چنین یافته‌های به دست آمده از تخمین‌گر شیب سن-تایل حاکی از کاهش شیب روند منفی پس از اعمال آزمون TFPW بر روی سری‌های زمانی دارای همبستگی سریالی معنادار در سطح پنج درصد است. بررسی الگوهای ایستایی جریان سطحی در منطقه نشان داد که فرآیندهای جریان سطحی در مقیاس زمانی سالانه در ایستگاه‌های مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۵٪ اساساً ایستا هستند.

نسبت دادن وجود هرگونه روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیک نظیر جریان سطحی صرفاً به عنوان پیامد

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت زیاد منابع آب سطحی در ایران و لزوم مدیریت بهینه‌ی این منابع، تحقیق در مورد تغییرات این منابع جهت شناخت و مدیریت صحیح آن‌ها از الویت زیادی برخوردار است. رویکرد اصلی این تحقیق بررسی وجود و یا عدم وجود روند و هم‌چنین بررسی ایستایی جریان سطحی جهت کمک به مدیریت بهتر و صحیح منابع آب در منطقه‌ی مورد مطالعه است. بدین منظور در تحقیق حاضر، فرآیندهای جریان سطحی هفت رودخانه‌ی اصلی در هفت ایستگاه در دامنه‌های جنوبی البرز که عمدتاً جزو منابع آب سطحی اصلی استان‌های تهران و البرز محسوب می‌گردند، جهت مطالعه‌ی روند و ایستایی مورد مطالعه قرار گرفتند. روند سری‌های زمانی جریان سطحی در مقیاس زمانی سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و پس از اعمال روش TFPW به جهت اصلاح خود همبستگی میان سری‌های مورد بررسی صورت گرفت؛ هم‌چنین از آزمون‌های ایستایی DF،

عموماً از لحاظ آماری به طور معناداری تحت تأثیر این فرآیند قرار نگرفته‌اند. وجود روند کاهشی در سری‌های زمانی جریان سطحی رودخانه‌های واقع در دامنه‌ی جنوبی البرز می‌تواند به دلیل کاهش مشاهده شده در مقادیر بارش و تا حدودی وجود روند افزایشی متغیر دما باشد [۴، ۱۴]؛ با این حال برای تصمیم‌گیری صحیح‌تر در مورد علت وجود روند در سری‌های زمانی جریان سطحی علاوه بر ضرورت استفاده از سایر روش‌های تعیین روند و مقایسه‌ی نتایج آن‌ها با یکدیگر نیاز است تا به طور دقیق ارتباط این متغیر هیدرو-اقلیمی با سایر متغیرهای اقلیمی نظیر بارش و دما و هم‌چنین ویژگی‌های فیزیکی منطقه مورد مطالعه قرار گیرد. یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند به برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران در عرصه‌های گوناگون مرتبط با برنامه‌ریزی منابع آب کشور و به ویژه منطقه در انطباق با تغییرات اقلیمی در آینده، از طریق مطالعه و بررسی منابع و اطلاعات پایه‌ای که در این تحقیق به دست آمده است یاری رساند.

تغییر اقلیم، همان‌گونه که در نتیجه‌گیری‌های بیش‌تر مطالعات مرتبط با تعیین روند و الگوی جریان سطحی صورت می‌گیرد نادرست است. به طور کلی وجود روند در یک متغیر هیدرو-اقلیمی سطحی می‌تواند به عواملی نظیر اثرات گازهای گلخانه‌ای، اثرات جزایر گرمایشی شهری<sup>۱</sup>، آئروسول‌ها و پدیده‌ی گرمایش جهانی مرتبط باشد [۲۲]؛ اگر چه نتایج تجزیه و تحلیل روند در بیش‌تر تحقیقات بیان‌گر ارتباط میان روند جریان سطحی و تغییرات متغیرهای اقلیمی (دما و بارش) است؛ با این حال صرفاً با تجزیه و تحلیل روند متغیرهای اقلیمی نمی‌توان به طور کامل تغییر در جریان سطحی را توضیح داد و باید سایر ویژگی‌های حوضه مورد نظر قرار گیرد. برای مثال تغییر کاربری اراضی می‌تواند تأثیر مهمی بر جریان سطحی سالانه و فصلی بگذارد ولی باید توجه داشت که اقلیم یک عامل غالب به لحاظ تأثیر بر جریان سطحی در مقیاس زمانی سالانه است [۲۳]. نتایج به دست آمده در این تحقیق در خصوص روند کاهشی در سری‌های زمانی جریان سطحی در منطقه‌ی مورد مطالعه با نتایج به دست آمده طی مطالعات مشابه در حوضه‌ها و مناطق دیگر مطابقت دارد [۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۵].

همان‌گونه که در گزارش هیئت بین دول تغییر اقلیم اشاره شده است [۱] برخی از سیستم‌های هیدرولوژیک همانند رودخانه‌هایی که از ذوب برف تغذیه می‌شوند تحت تأثیر افزایش میزان جریان سطحی قرار خواهند گرفت. با این حال رودخانه‌های تحت مطالعه‌ی تحقیق حاضر وابستگی کمی به آب حاصل از ذوب برف دارند و بنابراین کم‌تر تحت تأثیر افزایش دما قرار می‌گیرند؛ به علاوه فرآیندهای جریان سطحی در محدوده‌ی مورد بررسی به طور اساسی تحت تأثیر فرآیندهای بارش هستند. نتایج این پژوهش بیان‌گر این موضوع است که برخلاف گرمایش جهانی مشاهده شده، فرآیندهای جریان سطحی در دامنه‌های جنوبی البرز با وجود روند کاهشی،

<sup>1</sup> Urban heat islands

## References

- [1] C. Field, V. Barros, D. Dokken, K. Mach, M. Mastrandrea, T. Bilir, M. Chatterjee, K. Ebi, Y. Estrada and R. Genova, "IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.
- [2] J. Houghton, Y. Ding, D. Griggs, M. Noguer, P. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. Johnson, "IPCC 2001: Climate Change 2001," The Climate change Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, vol. 159, 2001.
- [3] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor and H. Miller, "IPCC, 2007: summary for policymakers," *Climate change*, pp. 93-129, 2007.
- [4] V. Feizi, M. Maryam, M. Farajzadeh and G. Azizi, "Spatial and Temporal Trend Analysis of Temperature and Precipitation in Iran," *ECOPERSIA*, vol. 2, no. 4, pp. 727-742, 2014.
- [5] Y.-F. Sang, Z. Wang and C. Liu, "Comparison of the MK test and EMD method for trend identification in hydrological time series," *Journal of Hydrology*, vol. 510, pp. 293-298, 2014.
- [6] K. Adamowski, A. Prokoph and J. Adamowski, "Development of a new method of wavelet aided trend detection and estimation," *Hydrological Processes*, vol. 23, no. 18, p. 2686, 2009.
- [7] Q. Shao and M. Li, "A new trend analysis for seasonal time series with consideration of data dependence," *Journal of hydrology*, vol. 396, no. 1, pp. 104-112, 2011.
- [8] O. I. A. Aziz and D. H. Burn, "Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin," *Journal of hydrology*, vol. 319, no. 1, pp. 282-294, 2006.
- [9] D. H. Burn and M. A. H. Elnur, "Detection of hydrologic trends and variability," *Journal of hydrology*, vol. 255, no. 1, pp. 107-122, 2002.
- [10] D. H. Burn, J. M. Cunderlik and A. Pietroniro, "Hydrological trends and variability in the Liard River basin/Tendances hydrologiques et variabilité dans le bassin de la rivière Liard," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 49, no. 1, pp. 53-67, 2004.
- [11] S. Yue, P. Pilon, B. Phinney and G. Cavadias, "The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series," *Hydrological Processes*, vol. 16, no. 9, pp. 1807-1829, 2002.
- [12] K. Hamed, "Enhancing the effectiveness of prewhitening in trend analysis of hydrologic data," *Journal of hydrology*, vol. 368, no. 1, pp. 143-155, 2009.
- [13] P. Hosseinzadeh Talaei, "Iranian rainfall series analysis by means of nonparametric tests," *Theor Appl Climatol*, vol. 116, p. 597-607, 2014.
- [14] B. S. Some'e, . A. Ezani and H. Tabari, "Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran," *Atmospheric Research*, vol. 113, pp. 1-12, 2012.
- [15] M. Birsan, L. Zaharia, V. Chendes and E. Branescu, "Seasonal trends in Romanian streamflow," *Hydrological Processes*, vol. 28, no. 15, pp. 4496-4505, 2014.
- [16] R. M. Hirsch, R. B. Alexander and . R. A. Smith, "Selection of methods for the detection and estimation of trends in water quality," *Water resources research*, vol. 27, no. 5, pp. 803-813, 1991.
- [17] P. Gao, X.-M. Mu, F. Wang and R. Li, "Changes in streamflow and sediment discharge and the response to human activities in the middle reaches of the Yellow River," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 15, no. 1, pp. 1-10, 2011.
- [18] H. B. M. K. H. a. M. T. Eskandari, "Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change," *Solid Earth*, vol. 7, no. 3, pp. 905-915, 2016.
- [19] H. B. Mann, "Nonparametric tests against trend," *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp. 245-259, 1945.

- [20] M. Kendall, *Multivariate analysis*, Charles Griffin, 1975.
- [21] G. C. Blain, "The influence of nonlinear trends on the power of the trend-free pre-whitening approach," *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 37, no. 1, pp. 21-28, 2015.
- [22] W. V. G. P. a. V. J. Wang, "Trend and stationarity analysis for streamflow processes of rivers in western Europe in the 20th century," in *IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance Rethymno, Greece*, 2005.
- [23] H. Chen, S. Guo, C.-y. Xu and V. P. Singh, "Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin," *Journal of hydrology*, vol. 344, no. 3, pp. 171-184, 2007.
- [24] Z. Xu, K. Takeuchi and H. Ishidaira, "Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation," *Journal of hydrology*, vol. 279, no. 1, pp. 144-150, 2003.