

تحلیل تغییرات ناگهانی و ناهمگنی متغیرهای هیدرو- اقلیمی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آجی چای)

مجید کاظم‌زاده^۱، آرش ملکیان^{۲*}، علی‌رضا مقدم‌نیا^۲، شهرام خلیقی سیگارودی^۲

۱. دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری- آب، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۹/۱۴؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۰/۲۷)

چکیده

تحلیل روند و تغییرات ناگهانی و ناهمگنی متغیرهای هیدرو- اقلیمی اهمیت زیادی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب دارد. بدین منظور برای تحلیل روند و ناهمگنی بیشترین و کمترین دما از ۲ ایستگاه باران‌سنجی، برای بارش از ۷ ایستگاه باران‌سنجی و برای دبی از ۷ ایستگاه آب‌سنجی با طول دوره آماری ۴۰ سال (۱۳۵۱ تا ۱۳۹۰) استفاده شد. در تحلیل روند بیشترین و کمترین دمای سالانه نتایج نشان داد هر دو ایستگاه روند افزایشی معنادار در سطح ۱ درصد داشته است. نتایج تحلیل روند تغییرات بارش نشان داد روند تغییرات بارش هم از لحاظ زمانی و هم از لحاظ مکانی تغییرات مشخصی طی چهار دهه گذشته نداشته است و تعیین الگوی دقیق تغییرات نسبت به متغیرهای دیگر در منطقه دشوار است. از ۷ ایستگاه بررسی شده آب‌سنجی، ۵ ایستگاه روند کاهش معنادار داشته است. بنابراین، دبی بیشترین روند تغییرات کاهش را در بین متغیرهای بررسی شده در منطقه داشته است. تحلیل تغییرات ناگهانی پارامترهای هیدرو- اقلیمی توسط چهار آزمون ناهمگنی مشخص شد که به طور متوسط ۵۰/۵۰ درصد از سری‌های زمانی بیشترین دما، ۶۲/۵۰ درصد از سری‌های زمانی کمترین دما، ۲۶/۲۵ درصد از سری‌های زمانی بارش و ۴۵ درصد از سری‌های زمانی دبی ناهمگنی در سطح اطمینان ۹۵ درصد در ایستگاه‌های مطالعه شده داشتند. بررسی تغییرات ناگهانی در داده‌های بیشترین و کمترین دما نشان داد همه تغییرات در جهت مثبت است یا به بیانی تغییرات ناگهانی افزایشی بوده است. در مقایسه با داده‌های دما، تغییرات ناگهانی داده‌های بارش همانند روند تغییرات آنها از الگوی خاصی پیروی نمی‌کردند. در حالت کلی از لحاظ زمانی، تغییرات ناگهانی متغیرها در بیشتر موارد در دهه ۱۳۷۰ اتفاق افتاده است.

کلیدواژگان: آجی چای، بارش، تغییرات ناگهانی، هیدرو- اقلیمی.

مقدمه

تغییر اقلیم از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بخش‌های مختلف زندگی انسان را روی کره زمین تحت تأثیر قرار داده است. شرایط اقلیمی گرم‌تر سبب تشدید چرخه آب، تغییر بارش و تغییر در مقدار و زمان ظهور رواناب می‌شود. برهم‌خوردن تعادل سامانه اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای بر اهمیت مطالعه اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرولوژیکی از جمله رواناب می‌افزاید. از سوی دیگر، پیش‌بینی‌های اقلیمی در حوضه‌های آبخیز برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور ضروری به‌نظر می‌رسند [۱]. بدین‌منظور، تحلیل روند متغیرهای هیدرو-اقلیمی برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب اهمیت زیادی دارد. به‌بیانی، بیشتر پروژه‌های منابع آب، طرح‌های عمرانی، طراحی‌ها و بهره‌برداری‌ها به الگوی تاریخی مقدار آب موجود، کیفیت و تقاضای آن وابسته است. بنابراین، پژوهش‌های اخیر درباره احتمال تغییرات اقلیم در آینده و تأثیر این تغییرات روی منابع آب اهمیت بسزایی دارند [۲]. بنابراین، در این خصوص پژوهش‌های زیادی برای مطالعه و تحلیل روند سری‌های زمانی بارش، دما با استفاده از آزمون‌های پارامتری و غیرپارامتری انجام شده است.

همچنین به‌منظور بررسی روند تغییرات، مطالعه تغییرات ناگهانی و ناهمگنی متغیرهای هیدرو-اقلیمی کمک زیادی در تحلیل، شناسایی و دامنه تغییرات متغیرهای یادشده خواهد کرد. تغییرات ناگهانی اقلیمی^۱ اشاره به یک تغییر ناگهانی در رژیم اقلیمی منطقه دارد. تغییرپذیری اقلیمی نیز شامل تغییرپذیری در مشخصات آماری شامل انحراف معیار، میانگین و وقوع وقایع حدی در مقیاس زمانی و مکانی است [۳]. بنابراین، تحلیل همگنی متغیرهای هیدرو-اقلیمی اهمیت زیادی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، مطالعات منابع آب و تغییر اقلیم دارد. به دلایل طبیعی و غیرطبیعی (انسانی)، متغیرهای هیدرو-اقلیمی اعم از بارش، دما و دبی نایستا هستند و تغییرات زیادی را نشان می‌دهند، به‌طوری که میانگین یا میانه آنها برای مدت طولانی ثابت نمی‌ماند. در بعضی موارد امکان دارد با وجود شرایط طبیعی در منطقه، سری‌های زمانی هیدرولوژیکی تغییرات ناگهانی و ناهمگنی داشته باشند [۴]، که در این

موارد باید علت این تغییرات را در عوامل غیرطبیعی از جمله ایجاد کانال‌های انحرافی، احداث سازه‌های رودخانه‌ای، تغییرات محل ایستگاه‌های ثبت داده‌ها، تغییر کاربری اراضی و غیره جست‌وجو کرد.

تلاب و همکارانش (۲۰۱۳) روند تغییرات پارامترهای هیدرو-اقلیمی را در حوضه نیل بررسی کردند. آنها برای تحلیل روند داده‌های بارش، دما و دبی از روش‌های آماری من-کندال و پیتیت استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد داده‌های دما و جریان رودخانه دارای روند و نقاط جهشی است، ولی داده‌های بارش روند معناداری را نشان ندادند [۵]. دل ریو و همکارانش (۲۰۱۳) روند تغییرات دمای میانگین را از طریق آزمون‌های من-کندال و شیب خط شن در پاکستان مطالعه کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد به‌طور کلی روند دمای میانگین در همه مقیاس‌های زمانی مطالعه‌شده طی دهه‌های گذشته افزایشی و مقدار افزایش به‌طور متوسط ۰/۳۶ درجه سانتی‌گراد به‌ازای هر دهه بوده است [۶]. عبقری و همکارانش (۲۰۱۳) روند تغییرات دبی رودخانه را تحت تأثیر تغییرپذیری بارش با استفاده از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری (اسپیرمن، کندال-تائو، من-کندال، کندال و همبستگی پیرسون) در غرب ایران را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها در ۶ ایستگاه آب‌سنجی مطالعه‌شده، روند کاهشی معناداری در سطح ۵ درصد نشان داد که بیشترین روند کاهشی در ماه‌های اکتبر و نوامبر بوده است. از طرف دیگر، روند تغییرات بارش سالانه در منطقه اگرچه افزایشی بوده است، معنادار نیست. همچنین نتایج تحقیق آنها نشان داد ارتباط و همبستگی زیادی بین تغییرات بارش و دبی وجود دارد [۷].

کاظم‌زاده و همکارانش (۱۳۹۳) روند جریان‌های رودخانه‌ای را با استفاده از رویکردهای آماری پارامتری (همبستگی پیرسون، شیب خط رگرسیون) و ناپارامتری (من-کندال، کندال-تائو، همبستگی اسپیرمن، شیب خط شن و آزمون پتیت) در استان اردبیل را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد روند تغییرات دبی رودخانه‌ها در مقیاس سالانه در همه ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد کاهشی بود و در مقیاس فصلی نیز غیر از فصل تابستان در بقیه فصل‌ها روند کاهشی معنادار داشتند. همچنین نتایج بررسی آزمون‌های مختلف نشان داد رویکردهای آماری پارامتری و ناپارامتری در بیشتر موارد نتایج یکسانی داشتند [۸]. فتاحیان و همکارانش

میزان بارندگی سالانه در حوضه آبخیز آجی‌چای ۳۴۶ میلی‌متر و حجم کل بارش سالیانه ۳۹۷۵ میلیون مترمکعب است. در این تحقیق در مجموع از ۱۶ ایستگاه آب‌سنجی و باران‌سنجی به‌صورت ماهانه و سالانه در حوضه آبخیز آجی‌چای استفاده شده است (شکل ۱). برای بررسی روند و همگنی پارامترهای هیدرو- اقلیمی، ایستگاه‌های آب‌سنجی و باران‌سنجی به‌صورت ماهانه با دوره آماری ۴۰ سال (۱۳۵۱ تا ۱۳۹۰) در نظر گرفته شده است.

در این مطالعه برای تحلیل روند پارامترهای هیدرو- اقلیمی از آزمون‌های من- کندال و شیب خط‌شن استفاده می‌شود که معتبرترین روش‌های تحلیل درازمدت روند هستند [۱۱].

آزمون من- کندال^۳

این آزمون ابتدا توسط من^۴ (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال^۵ (۱۹۷۵) تکامل یافت. این روش به‌طور گسترده در مباحث هیدرولوژیکی و هواشناسی کاربرد دارد. یکی از روش‌های مهم برای تحلیل روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از مزایای این روش اثرپذیری کم از مقادیر حدی است [۱۱-۱۳]. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک و رد فرض صفر دال بر وجود روند در سری داده‌هاست [۱۴].

شیب خط‌شن^۶

شن^۷ (۱۹۶۸) با توسعه و بسط یک سری مطالعات آماری که تیل^۸ (۱۹۵۰) به انجام رسانده بود یک روش ناپارامتری را برای تحلیل سری‌های زمانی ارائه کرد. این آزمون در مواردی که روند خطی فرض می‌شود، نشان‌دهنده تغییر برای هر واحد زمانی است. این روش همانند روش من- کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. قوت‌هایی که در روش من- کندال یاد شده است، در این روش نیز وجود دارد. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت کردن درباره معناداری شیب به‌دست‌آمده در سطوح اعتماد مختلف است [۱۱، ۱۴، ۱۵ و ۱۶].

(۲۰۱۴) مطالعه‌ای با عنوان «تحلیل روند پارامترهای هیدرو- اقلیمی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه» به‌منظور شناسایی علل احتمالی تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه انجام دادند. آنها برای تحلیل روند با روش‌های من- کندال، شیب خط‌شن و آزمون اسپیرمن از ۹۵ ایستگاه باران‌سنجی، دماسنجی و آب‌سنجی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد هرچند روند تغییرات بارش از الگوی مشخصی پیروی نمی‌کرد، روند دما در سراسر حوضه آبخیز افزایشی معنادار و روند تغییرات جریان رودخانه‌ای کاهش معنادار بوده است. مقدار تغییرات روند دما در منطقه ۱/۴-۰/۲ درجه سانتی‌گراد، بارش (۳۸- (-۷۵) میلی‌متر، دبی (-۴) - (-۰/۱) مترمکعب بر ثانیه به‌ازای هر دهه بوده است. همچنین نتایج پژوهش آنها نشان داد جریان رودخانه‌ای نسبت به بارش بیشتر تحت تأثیر دمای منطقه بوده است. در کل، می‌توان گفت که افزایش دما و بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی علل کاهش سطح آب دریاچه ارومیه بوده است [۹]. حسین‌زاده طلایی و همکارانش (۲۰۱۳) به‌منظور بررسی کیفیت و صحت داده‌های بارش ایران از سه آزمون همگنی انحراف معیار تجمعی^۱، بیزین^۲ و فن نیومن استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد در بسیاری موارد داده‌های بارش کشور همگن بوده است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر مطالعه و تحلیل روند تغییرات متغیرهای هیدرو- اقلیمی و تغییرات ناگهانی و همگنی متغیرهای یادشده در حوضه آبخیز آجی‌چای است [۱۰].

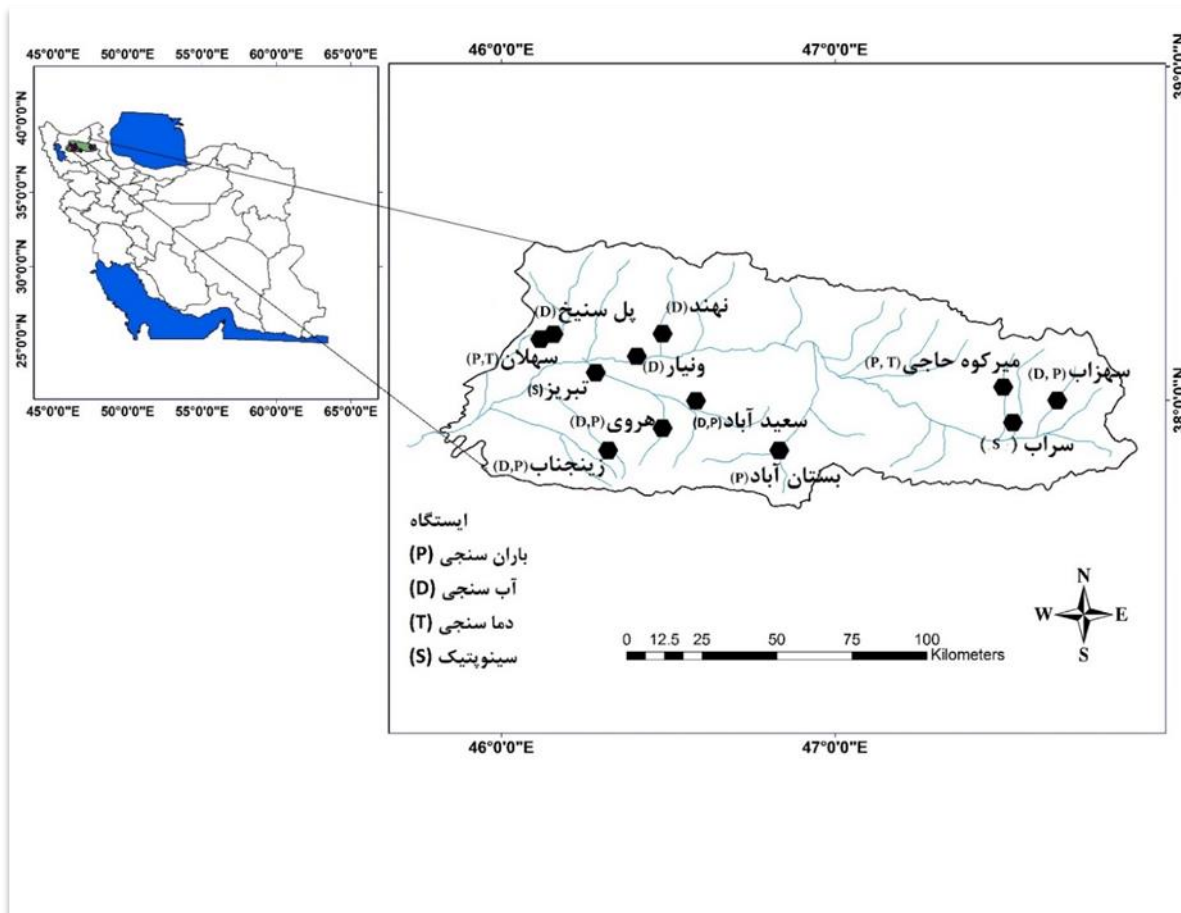
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده

حوضه آبخیز آجی‌چای در شمال غرب ایران از مهم‌ترین زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است و به‌لحاظ موقعیت جغرافیایی بین عرض‌های جغرافیایی ۳۷° ۴۲' تا ۳۸° ۳۰' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۵° ۴۰' تا ۴۷° ۵۳' شرقی واقع شده است. این حوضه آبخیز حدود ۱۱۴۵۷ کیلومتر مربع مساحت دارد و حدود ۲۲ درصد از کل مساحت حوضه آبخیز دریاچه ارومیه را در بر می‌گیرد. مرتفع‌ترین نقطه در این حوضه ۳۸۵۰ متر از سطح دریا و پست‌ترین محل دریاچه ارومیه با ۱۲۷۴ متر ارتفاع از سطح دریاست. شیب متوسط این حوضه آبخیز ۸/۷۲ درصد برآورد شده است.

3. Mann – Kendall
4. Mann
5. Kendall
6. Sen's Slope Estimaor
7. Sen
8. Theil

1. Cumulative Deviations
2. Bayesian



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های در نظر گرفته شده در حوضه آبخیز آجی چای

داشته باشد، مقدار N به ۲ نزدیک می‌شود [۱۸]. این آزمون همگنی به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۹]:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

آزمون بوشانت یا انحرافات تجمعی^۲

این آزمون یک آزمون ناپارامتری است که توسط بوشانت در سال ۱۹۸۲ برای سری‌های زمانی ارائه شده و مراحل محاسبه آن به شرح زیر است:

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}), \quad k = 1, \dots, n, \quad S_n^* = 0 \quad (2)$$

به طوری که x_i مقادیر مشاهداتی، \bar{X} میانگین سری زمانی و n تعداد سال است. شایان یادآوری است مقادیر S_k^{**} از تقسیم S_k^* به انحراف معیار داده‌ها (D_X) به دست می‌آید.

با توجه به اهمیت موضوع بررسی همگنی سری‌های زمانی، در این مطالعه از چهار آزمون همگنی رایج برای تحلیل و بررسی همگنی سری‌های زمانی بیشترین دما، کمترین دما، بارش و دبی استفاده می‌شود. علت استفاده از چهار آزمون این است که هر یک از آزمون‌ها حساسیت خاصی را به روند تغییرات ناگهانی در سری‌های زمانی از خود نشان می‌دهند. آزمون‌های همگنی نیز برای داده‌های ماهانه و سالانه پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی در ۱۶ ایستگاه حوضه آبخیز آجی چای با طول دوره ۴۰ ساله استفاده شد.

آزمون نسبت فن نیومن^۱

این آزمون از نسبت اختلاف مربع ترتیبی داده‌ها به واریانس داده‌ها به دست می‌آید [۱۷]. اگر سری زمانی نقطه شکست داشته باشد، مقدار N کمتر از مقدار مورد انتظار می‌شود و اگر سری زمانی تغییرات زیادی در میانگین

2. Buishand or Cumulative Deviations

1. Von Neumann ratio

بعد از آنکه مقادیر x_1, x_2, \dots, x_j به صورت یک سری صعودی مرتب شد M_i رتبه داده مشاهده نام است. نقطه تغییر در سری زمانی در نقطه ای روی می دهد که U_k به بیشترین مقدار خود می رسد.

$$X_E = \max |U_k| \quad 1 \leq k \leq n \quad (9)$$

یافته ها

تحلیل روند تغییرات پارامترهای هیدرو- اقلیمی

نتایج آزمون من- کندال برای دمای (جدول ۱) نشان داد ۱۲ سری از ۲۶ سری زمانی بیشترین دما و ۱۱ سری از ۲۶ سری زمانی کمترین دما روند افزایشی معنادار در سطح ۱ درصد طی چهار دهه گذشته داشته اند. به منظور تحلیل روند تغییرات بارش از ۷ ایستگاه با طول دوره آماری ۴۰ ساله در حوضه آبخیز آجی چای استفاده شد که نتایج آنها در جدول ۱ نشان داده شده است. آزمون من- کندال نشان داد از ۹۱ سری داده های بارش ماهانه و سالانه ۳۳ سری دارای روند کاهشی و ۵۸ سری دارای روند افزایشی هستند. بیشتر ایستگاه های باران سنجی روند کاهشی در ماه آذر و روند افزایشی در ماه های آبان، بهمن، تیر، مرداد و شهریور نشان دادند. نتایج تحلیل روند تغییرات بارش در ایستگاه های باران سنجی بررسی شده در حوضه آبخیز آجی چای نشان داد روند تغییرات بارش از لحاظ زمانی و مکانی دارای تغییرات مشخصی طی چهار دهه گذشته نبوده و تعیین الگوی دقیق تغییرات نسبت به پارامترهای دیگر دشوار است. همچنین در جدول ۱ نتایج آزمون روند تغییرات دبی در هفت ایستگاه آب سنجی طی ۱۳۵۱-۱۳۹۰ ارائه شده است که از ۹۱ سری زمانی ماهانه و سالانه، ۱۵ سری روند افزایشی و ۷۶ سری روند کاهشی را نشان می دهند. بیشترین روند کاهشی معنادار در ایستگاه های سعیدآباد و ونیبار، و کمترین روند معنادار در ایستگاه های سهزاب و زینجناب بوده است. ماه های نیمه اول سال آبی نسبت به ماه های نیمه دوم روند کاهشی معنادار زیادی را نشان دادند که ممکن است به علت کم بودن جریان آب در این ماه ها یا به بیانی مربوط به نبود جریان آب باشد. از لحاظ زمانی بیشترین روند کاهشی معنادار در سطح اطمینان ۹۹ درصد در دی ماه است.

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_X}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

بنابراین، مقادیر بیشتر Q مشخص کننده ناهمگنی سری زمانی است.

$$Q = \max |S_k^{**}|, \quad 0 \leq k \leq n \quad (4)$$

آزمون همگنی نرمال استاندارد^۱

این آزمون همگنی بسیار حساس به شکست های ابتدایی و انتهایی است. به طوری که در این آزمون \bar{Y} میانگین سری، Y_i سری داده ها و s انحراف معیار داده ها است. آماره $T(k)$ در این آزمون توسط الکساندرسون^۲ (۱۹۸۶) به شرح زیر تعریف می شود [۲۰]:

$$T(k) = k\bar{z}_1^{-1} + (n-k)\bar{z}_2^{-1} \quad k = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\bar{z}_1^{-1} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) / s, \quad (6)$$

$$\bar{z}_2^{-1} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y}) / s$$

$$T_0 = \max T_k \quad 1 \leq n \leq n \quad (7)$$

بنابراین، میانگین k سال ابتدایی و $n-k$ سال انتهایی محاسبه شده است و هنگامی که مقادیر محاسباتی T_0 بیشتر از مقادیر بحرانی بیشتر باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی ناهمگن است.

آزمون پتیت^۳

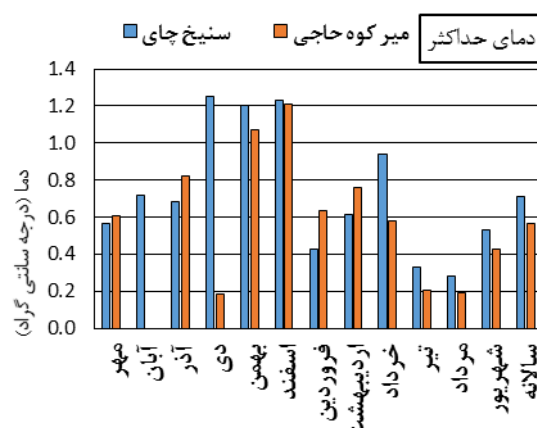
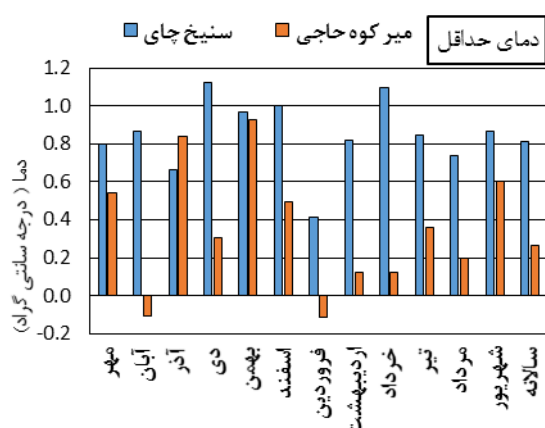
این آزمون یکی از آزمون های ناپارامتری است که توسط پتیت (۱۹۷۹) ارائه شده است. این آزمون برای تعیین نقطه جهش (تغییر ناگهانی) در سری زمانی استفاده می شود که آن را به دو قسمت تفکیک می کند و معنادار بودن آن را بررسی می کند. این آزمون به شرح زیر تعریف می شود [۲۱]:

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 به کار می رود. U_k از راه زیر محاسبه می شود:

$$U_k = 2 \sum_{i=1}^k M_i - k(N+1) \quad (8)$$

جدول ۱. نتایج تحلیل روند تغییرات پارامترهای هیدرو- اقلیمی با استفاده از آزمون من- کندال

بیشترین دما	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
سهلان	۲/۵۹	۲/۳۲	۱/۷۴	۲/۵۸	۳/۰۳	۳/۴۳	۱/۷۱	۲/۰۹	۳/۷۱	۱/۵۸	۱/۶۵	۲/۶۸	۴/۵۳
میرکوه حاجی	۲/۳۸	-۰/۱۲	۱/۸۲	۰/۲۶	۲/۶۰	۳/۴۶	۲/۲۳	۳/۳۱	۲/۸۴	۱/۰۳	۰/۹۷	۱/۸۴	۴/۰۷
کمترین دما	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
سهلان	۳/۷۲	۳/۳۹	۲/۲۰	۱/۵۳	۲/۱۰	۳/۵۶	۱/۶۹	۴/۴۴	۴/۵۶	۳/۴۳	۳/۵۵	۵/۰۴	۴/۳۷
میرکوه حاجی	۲/۷۲	-۰/۲۴	۱/۴۰	۰/۵۸	۲/۱۱	۱/۸۳	-۰/۳۸	۰/۹۶	۰/۶۲	۱/۷۷	۰/۸۳	۲/۸۰	۱/۶۹
بارش	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
سهراب	۰/۸۷	۲/۷۷	-۰/۲۲	-۱/۹۷	۰/۶۸	-۰/۱۰	۲/۲۸	۰/۴۳	-۱/۶۳	۲/۵۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۹
بستان آباد	۱/۶۲	۲/۷۰	۰/۱۲	۰/۳۳	۲/۴۷	۰/۴۲	۰/۷۶	-۰/۳۸	۰/۳۶	۲/۴۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۰
سعیدآباد	-۰/۰۴	۱/۷۵	-۱/۰۸	-۰/۷۰	۰/۴۵	-۰/۷۸	۰/۹۲	-۲/۸۲	-۰/۲۴	۲/۱۸	۲/۳۹	۲/۴۷	-۱/۳۶
هروی	-۰/۴۲	۱/۹۲	-۲/۷۶	-۱/۹۹	۱/۱۱	-۲/۷۰	۰/۱۷	-۱/۰۴	۰/۰۴	۳/۰۰	۱/۸۱	۱/۲۳	-۰/۶۲
سهلان	-۱/۴۵	۲/۰۶	-۱/۰۳	۱/۷۰	۰/۸۰	-۱/۴۱	-۰/۹۳	۰/۱۴	-۰/۴۸	۱/۳۹	۲/۲۲	۰/۴۳	۰/۵۸
زینجان	-۰/۶۳	۲/۳۱	-۰/۷۵	-۰/۱۹	۲/۴۰	-۰/۵۸	۱/۲۷	-۱/۴۱	-۱/۱۵	۰/۸۱	۰/۷۷	۱/۸۴	۰/۶۳
میرکوه حاجی	-۰/۶۷	۲/۴۴	-۰/۶۸	۰/۲۱	۰/۳۸	۱/۷۹	۱/۰۸	-۰/۴۳	-۱/۵۰	۱/۱۴	۳/۱۱	۲/۲۷	۱/۴۱
دبی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
سهراب	۰/۵۱	۰/۰۸	-۱/۷۲	-۰/۲۲	-۱/۲۹	-۱/۱۵	-۲/۰۴	۰/۵۹	-۱/۶۷	-۲/۳۹	-۰/۴۹	-۱/۳۹	-۰/۳۴
نهند	-۲/۹۵	-۰/۳۱	-۱/۷۱	-۱/۸۵	-۲/۷۸	-۰/۳۸	-۰/۳۸	-۰/۱۷	-۱/۵۷	-۰/۷۹	۱/۳۵	-۱/۹۱	-۰/۸۰
سعیدآباد	-۳/۵۲	-۴/۵۹	-۳/۳۹	-۴/۶۱	-۳/۹۳	-۳/۱۶	-۳/۵۸	-۴/۵۳	-۴/۲۶	-۲/۴۶	-۲/۶۰	-۱/۷۴	-۵/۱۴
ونیار	-۱/۶۹	-۳/۲۳	-۴/۰۷	-۳/۸۳	-۳/۸۵	-۳/۵۳	-۴/۰۹	-۲/۸۵	-۲/۹۲	-۱/۶۲	۱/۲۹	۰/۲۳	-۴/۳۰
هروی	-۱/۵۳	-۱/۸۹	۱/۰۱	-۲/۶۱	-۲/۴۰	-۲/۸۵	-۱/۵۷	-۰/۴۵	-۲/۰۶	-۲/۸۷	-۲/۲۴	-۲/۹۹	-۲/۳۴
پل سنخ	-۱/۵۳	-۲/۵۲	-۲/۹۲	-۲/۸۸	-۱/۹۹	-۲/۴۶	-۳/۱۸	۰/۰۱	-۰/۴۵	۰/۶۲	-۰/۱۹	-۰/۰۹	-۲/۹۲
زینجان	-۰/۵۲	-۰/۵۶	-۰/۳۰	۱/۶۰	۱/۷۸	۰/۲۱	-۰/۸۶	۰/۵۷	-۲/۴۴	-۲/۰۲	-۱/۶۳	۰/۶۲	-۰/۲۲



شکل ۲. مقدار تغییرات بیشترین دما و کمترین دما براساس شیب خط شن به ازای هر دهه طی ۴۰ سال گذشته

حدود ۱ درجه سانتی گراد به ازای هر دهه بوده است. از طرف دیگر، کمترین مقدار افزایش بیشترین دما در ماه های تیر، مرداد و شهریور (فصل تابستان) با مقدار حدود ۰/۲۵ درجه

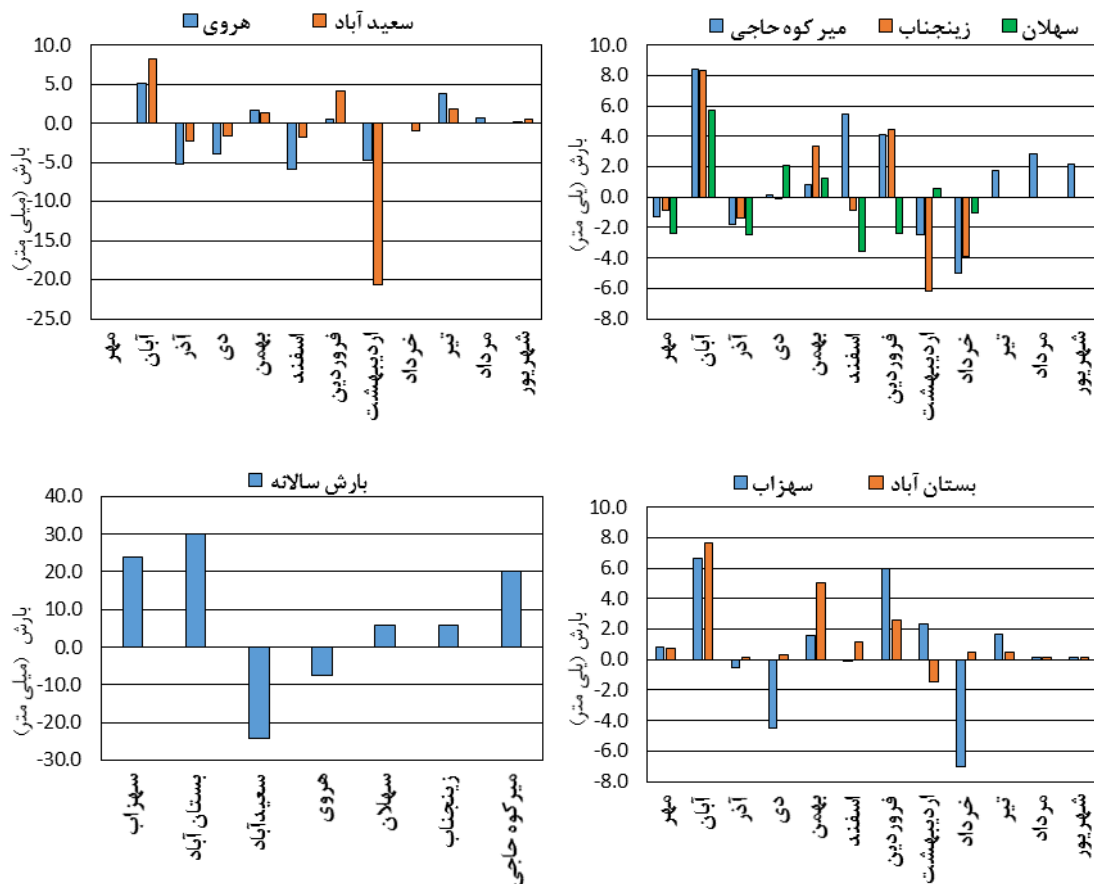
تحلیل مقدار روند تغییرات پارامترهای هیدرو- اقلیمی نتایج شیب خط شن برای بیشترین دما نشان داد بیشترین مقدار افزایش در ماه های دی، بهمن و اسفند (فصل زمستان)

ایستگاه‌های هروی و سعیدآباد مقدار بارش به ترتیب ۷/۵ و ۲۴ میلی‌متر به‌ازای هر دهه کاهش یافته است. همچنین ایستگاه‌های بستان‌آباد و سهزاب بیشترین مقدار روند افزایشی را به ترتیب ۳۰ و ۲۳ میلی‌متر داشته‌اند.

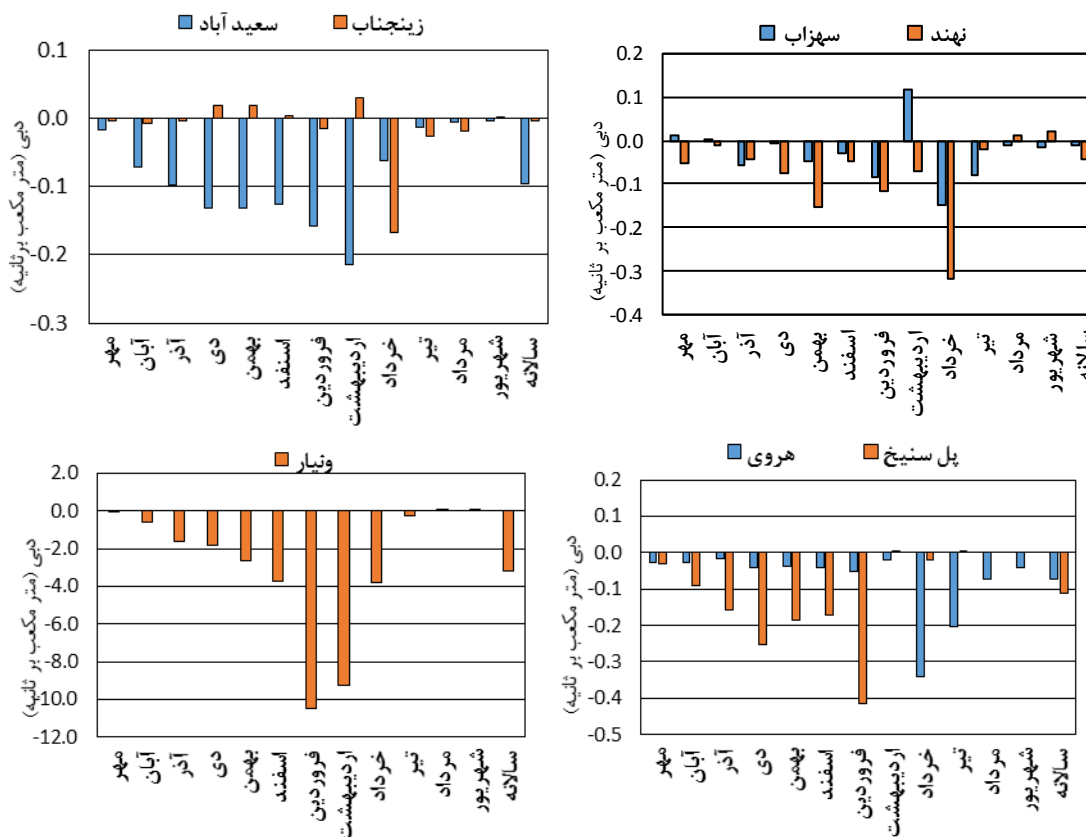
نتایج آزمون شیب خط شن برای مقادیر دبی ماهانه و سالانه در شکل ۴ نمایش داده شده است. روند تغییرات دبی رودخانه‌ها در بیشتر ماه‌های سال طی چهار دهه گذشته کاهش یافته است. بیشترین مقدار کاهش جریانی آب به‌ازای هر دهه در ایستگاه نیار با مقدار حدود ۱۰ مترمکعب بر ثانیه در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بوده است. ایستگاه زینجناب کمترین مقدار تغییرات را در بین ایستگاه‌های مطالعه‌شده، با مقدار حدودی ۰/۱ مترمکعب بر ثانیه به‌ازای هر دهه داشته است. با توجه به شیب خط شن می‌توان گفت که بیشترین مقدار کاهش دبی در بیشتر ایستگاه‌ها در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد (فصل بهار) بوده است.

سانتی‌گراد به‌ازای هر دهه بوده است. نتایج کمترین دما هم نشان داد در ایستگاه میرکوه‌حاجی در ماه‌های آبان و فروردین روند کاهشی با مقدار حدود ۰/۱- درجه سانتی‌گراد بوده است. همانند نتایج بیشترین دما، بیشترین مقدار افزایشی روند کمترین دما در ماه‌های فصل زمستان با مقدار حدودی ۰/۸۰ درجه سانتی‌گراد بوده است (شکل ۲).

شکل ۳ نتایج آزمون شیب خط شن را برای متغیر بارش در هفت ایستگاه باران‌سنجی حوضه آبخیز آجی‌چای به‌صورت ماهانه و سالانه نشان می‌دهد. نتایج این آزمون برای بارش همانند آزمون من- کندال روند مشخصی را نشان نمی‌دهد و تغییرات بارش از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند. البته، شایان یادآوری است که مقدار تغییرات در نیمه اول سال آبی (شش ماه اول) نسبت به نیمه دوم سال (شش ماه دوم) بیشتر بوده است. همچنین در مقیاس ماهانه بیشترین مقدار تغییرات حدود ± 10 میلی‌متر به‌ازای هر دهه بوده است. در مقیاس سالانه نتایج نشان داد در



شکل ۳. مقادیر تغییرات بارش براساس شیب خط شن به‌ازای هر دهه طی ۴۰ سال گذشته



شکل ۴. مقدار تغییرات دبی براساس شیب خط سن به‌ازای هر دهه طی ۴۰ سال گذشته

تحلیل تغییرات ناگهانی و ناهمگنی پارامترهای هیدرو-اقلیمی

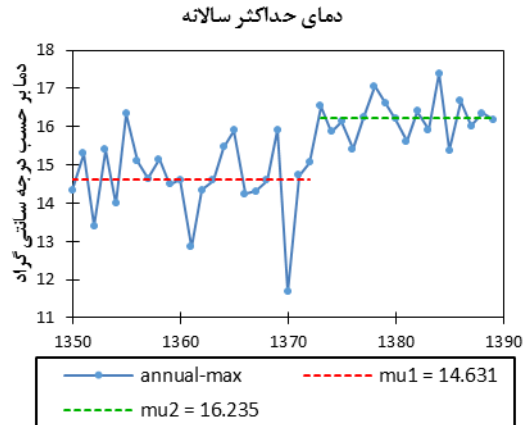
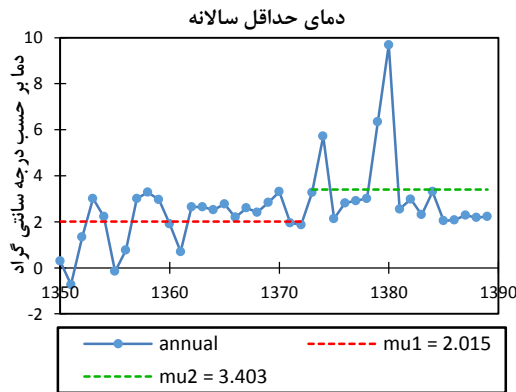
در این بخش ناهمگنی متغیرهای هیدرو-اقلیمی طی چهار دهه گذشته با استفاده از آزمون‌های فن نیومن، بوشانت، همگنی نرمال استاندارد و پتیت بررسی شدند. با توجه به اینکه هریک از این آزمون‌ها حساسیت متفاوتی نسبت به روند تغییرات سری دارند، بنابراین در تحقیق حاضر از چهار آزمون تحلیل همگنی استفاده شد. جدول ۲ نتایج چهار آزمون همگنی برای پارامترهای بیشترین دما و کمترین دما را در ایستگاه‌های منطقه مطالعه شده نشان می‌دهد. بیشترین ناهمگنی در سری‌های بیشترین دما در ماه‌های مهر، اسفند و خرداد، و کمترین ناهمگنی در ماه‌های آذر، تیر و مرداد براساس چهار آزمون همگنی در سطح معناداری ۵ درصد بوده است. نتایج بررسی ناهمگنی بیشترین دما نشان داد آزمون‌های فن نیومن، بوشانت، همگنی نرمال استاندارد و پتیت به ترتیب ۳۸، ۵۳، ۳۸ و ۷۳ درصد از سری‌های دمایی را ناهمگن شناسایی کرده و به‌بیانی تغییرات ناگهانی داشته‌اند. بنابراین، به طور متوسط نتایج آزمون‌ها نشان داد ۵۰/۵۰

درصد از سری‌های بیشترین دما دارای ناهمگنی در ایستگاه‌های مطالعه شده داشتند. نتایج آزمون‌های همگنی برای کمترین دما هم نشان‌دهنده ناهمگنی ۶۵، ۵۷، ۶۱ و ۶۵ درصد از سری‌ها به ترتیب توسط آزمون‌های فن نیومن، بوشانت، نرمال استاندارد و پتیت است. به‌بیانی به‌طور متوسط ۶۲/۵۰ درصد از سری‌های کمترین دما دارای ناهمگنی براساس آزمون‌های همگنی در سطح ۵ درصد بودند. به‌طور مثال، در شکل ۵ نتایج آزمون‌های پتیت و بوشانت برای بیشترین دما و کمترین دمای ایستگاه میرکوه حاجی نمایش داده شده است که نشان‌دهنده تغییر ناگهانی در سال ۱۳۷۲ در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. همچنین نتایج نشان داد بیشترین تغییرات ناگهانی در دهه ۷۰ در منطقه مطالعه شده اتفاق افتاده است.

نتایج آزمون‌های همگنی برای سری‌های زمانی بارش به‌صورت ماهانه و سالانه در حوضه آبخیز آجی‌چای در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد براساس آزمون فن نیومن ۱۶/۵ درصد از سری‌های بارش در هفت ایستگاه باران‌سنجی مطالعه شده ناهمگن و ۸۳/۵ درصد سری‌ها همگن بودند.

۳۷ درصد از سری‌ها ناهمگن تشخیص دادند. نتایج نشان می‌دهد بیشترین همگنی در مهرماه و کمترین همگنی داده‌های بارش در شهریورماه بوده است. بنابراین، به‌طور متوسط ۲۶/۲۵ درصد از سری‌های زمانی بارش براساس چهار آزمون همگنی ناهمگنی داشتند.

مقدار بحرانی آزمون بوشانت برای رد کردن فرض صفر در سطح ۵ درصد، ۷/۹۶ بوده و توسط این آزمون در ۲۷ درصد سری‌ها فرض صفر رد شده و سری‌ها ناهمگن تشخیص داده شدند. همچنین مقادیر بحرانی آزمون‌های نرمال استاندارد و پتیت در سطح ۵ درصد به ترتیب ۸/۱۰ و ۱۶۷ بوده که ۲۵ و



شکل ۵. نتایج آزمون پتیت برای بیشترین دما و آزمون بوشاند برای کمترین دما در ایستگاه میرکوه حاجی

جدول ۲. نتایج آزمون‌های همگنی برای بیشترین دما و کمترین دما طی چهار دهه گذشته

بیشترین دما													ایستگاه	
آزمون	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور سالانه		
۱/۲۵	۲/۳۷	۱/۷۲	۱/۹۷	۱/۲۲	۲/۱۵	۱/۴۶	۲/۱۵	۱/۴۶	۲/۱۵	۲/۰۳	۱/۷۶	۲/۱۵	۱/۳۶	von Neumann
۱۰/۵۱	۳/۹۰	۸/۵۱	۵/۶۲	۸/۰۵	۹/۹۷	۱۰/۸۰	۱۰/۰۵	۱۰/۶۹	۳/۷۸	۶/۵۸	۶/۳۴	۱۳/۶۸	۱۳/۶۸	Buishand
۱۱/۸۵	۲/۳۲	۷/۳۶	۳/۱۱	۷/۱۷	۶/۸۰	۱۱/۵۷	۱۱/۵۰	۱۱/۲۵	۱/۷۷	۴/۴۸	۳/۹۳	۱۸/۶۸	۱۸/۶۸	SNHT
۲۹۳/۰۰	۵۵/۰۰	۱۷۵/۰۰	۱۱۸/۰۰	۱۹۰/۰۰	۱۸۲/۰۰	۲۵۷/۰۰	۲۵۶/۰۰	۲۳۷/۰۰	۱۱۲/۰۰	۱۶۱/۰۰	۲۰۰/۰۰	۳۴۸/۰۰	۳۴۸/۰۰	Pettitt
۱/۱۰	۲/۱۴	۱/۶۴	۱/۲۲	۱/۹۰	۲/۴۴	۱/۳۴	۲/۰۶	۱/۲۴	۱/۸۱	۲/۰۸	۱/۹۰	۲/۱۴	۲/۱۴	von Neumann
۱۰/۱۰	۸/۳۷	۷/۱۸	۹/۷۴	۴/۳۷	۵/۰۶	۱۳/۰۱	۵/۵۶	۱۲/۲۳	۶/۳۶	۳/۳۰	۹/۱۸	۵/۹۳	۵/۹۳	Buishand
۱۰/۸۶	۶/۹۳	۵/۵۰	۹/۳۵	۵/۳۸	۳/۶۷	۱۶/۶۶	۳/۰۹	۱۴/۷۴	۵/۰۰	۱/۰۷	۸/۴۰	۳/۵۰	۳/۵۰	SNHT
۲۵۶/۰۰	۲۰۲/۰۰	۱۴۹/۰۰	۲۲۲/۰۰	۲۱۳/۰۰	۳۱۲/۰۰	۲۱۳/۰۰	۱۱۸/۰۰	۱۸۶/۰۰	۱۵۷/۰۰	۲۰۹/۰۰	۲۱۴/۰۰	۳۱۵/۰۰	۳۱۵/۰۰	Pettitt
کمترین دما													ایستگاه	
آزمون	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور سالانه		
۱/۸۹	۱/۷۴	۱/۳۰	۰/۹۷	۱/۰۰	۱/۸۹	۱/۸۵	۱/۷۶	۱/۸۴	۱/۱۵	۱/۲۱	۱/۶۲	۱/۱۳	۱/۱۳	von Neumann
۷/۹۷	۷/۶۸	۸/۲۴	۷/۳۳	۷/۳۴	۶/۱۴	۳/۶۳	۶/۳۷	۶/۱۵	۷/۲۶	۷/۰۲	۸/۷۰	۸/۰۹	۸/۰۹	Buishand
۶/۲۰	۳/۳۴	۱۰/۷۵	۱۶/۰۱	۱۷/۳۰	۴/۶۱	۱/۸۴	۴/۰۰	۳/۹۷	۶/۱۲	۴/۹۱	۷/۳۸	۷/۹۲	۷/۹۲	SNHT
۲۷۵/۰۰	۱۲۶/۰۰	۱۸۱/۰۰	۱۳۵/۰۰	۱۴۹/۰۰	۱۷۴/۰۰	۹۲/۰۰	۱۲۸/۰۰	۱۳۹/۰۰	۱۸۸/۰۰	۱۴۷/۰۰	۲۴۰/۰۰	۲۴۰/۰۰	۲۴۰/۰۰	Pettitt
۱/۱۶	۱/۲۴	۱/۳۶	۱/۹۷	۱/۲۶	۱/۵۹	۱/۲۳	۰/۶۶	۰/۹۹	۱/۳۰	۱/۳۲	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۱	von Neumann
۱۲/۰۸	۱۲/۸۵	۸/۸۷	۷/۹۸	۷/۵۱	۹/۳۶	۶/۶۰	۱۱/۵۴	۱۱/۵۸	۹/۷۳	۱۰/۷۲	۱۳/۳۴	۱۲/۵۲	۱۲/۵۲	Buishand
۱۵/۲۶	۱۹/۱۹	۱۵/۱۴	۱۰/۶۹	۱۷/۲۳	۱۰/۲۸	۱۷/۳۵	۱۹/۵۸	۱۵/۱۳	۱۱/۵۶	۱۱/۴۶	۱۹/۳۱	۱۹/۸۵	۱۹/۸۵	SNHT
۲۹۰/۰۰	۲۷۰/۰۰	۲۰۶/۰۰	۱۵۲/۰۰	۱۷۹/۰۰	۲۰۹/۰۰	۱۳۱/۰۰	۲۸۷/۰۰	۲۸۷/۰۰	۲۱۶/۰۰	۲۷۶/۰۰	۳۲۰/۰۰	۳۰۸/۰۰	۳۰۸/۰۰	Pettitt

مقادیر پررنگ و زیر خطدار نشان‌دهنده معنادار بودن در سطح ۵ درصد

به ترتیب ۳۴، ۴۱، ۴۶ و ۶۰ درصد داده‌های دبی ناهمگن بودند و به‌طور متوسط ۴۵ درصد از داده‌های دبی تغییرات ناگهانی و ناهمگنی داشتند.

جدول ۴ نتایج آزمون‌های همگنی را برای دبی ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه مطالعه‌شده طی چهار دهه گذشته نشان می‌دهد. در سطح ۹۵ درصد، آزمون‌های فن نیومن، بوشانت، نرمال استاندارد و پتیت نشان دادند

جدول ۳. نتایج آزمون‌های بررسی همگنی بارش طی چهار دهه گذشته در منطقه مطالعه‌شده

ایستگاه	آزمون	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
میرکوه حاجی	Von..	۲/۱۷	۱/۷۳	۲/۱۶	۲/۰۸	۲/۲۸	۱/۹۰	۲/۴۷	۱/۵۶	۱/۶۷	۲/۲۷	۱/۵۶	۱/۲۱	۱/۷۲
	Buishand	۵/۲۱	۵/۵۶	۳/۹۳	۶/۱۷	۳/۸۳	۷/۱۵	۴/۹۸	۴/۶۳	۷/۷۰	۴/۰۶	۸/۹۲	۸/۱۹	۸/۹۱
	SNHT	۲/۷۱	۸/۳۸	۲/۸۰	۴/۲۳	۲/۰۷	۸/۰۲	۲/۷۶	۷/۴۰	۶/۷۹	۴/۹۴	۸/۵۲	۱۸/۲	۱۰/۳۲
	Pettitt	۱۱۴/۰	۱۶۳/۰	۹۳/۰	۱۳۷/۰	۶۹/۰	۱۵۴/۰	۱۱۴/۰	۱۰۶/۰	۱۸۱/۰	۱۲۰/۰	۲۴۰/۰	۱۷۳/۰	۲۰۲/۰
زینجاناب	von ...	۱/۹۴	۲/۲۳	۲/۴۰	۱/۸۸	۱/۳۷	۲/۲۵	۱/۸۱	۱/۸۹	۱/۹۲	۲/۲۵	۱/۳۹	۱/۲۰	۲/۱۴
	Buishand	۵/۸۸	۷/۰۴	۳/۱۱	۳/۵۵	۸/۸۳	۵/۵۸	۷/۵۱	۴/۰۷	۶/۰۷	۳/۱۹	۵/۸۵	۸/۶۴	۵/۵۴
	SNHT	۳/۴۵	۵/۵۱	۱/۸۸	۱/۶۴	۷/۷۸	۵/۹۵	۵/۵۲	۳/۱۷	۶/۳۴	۲/۷۷	۴/۷۸	۱۸/۸	۲/۹۹
	Pettitt	۱۱۵/۰	۱۸۳	۷۸/۰	۸۹/۰	۲۴۴	۱۰۷/۰	۲۰۷/۰	۱۱۹/۰	۱۴۰/۰	۱۴۳/۰	۱۵۲/۰	۱۷۷/۰	۱۳۲
سهلان	von ...	۱/۷۸	۲/۰۱	۲/۲۱	۲/۲۴	۲/۱۷	۱/۸۳	۱/۵۲	۱/۹۳	۲/۵۱	۱/۸۳	۱/۹۱	۱/۳۶	۲/۰۷
	Buishand	۷/۹۰	۷/۵۶	۶/۳۸	۷/۲۰	۳/۹۴	۸/۲۴	۴/۱۳	۳/۶۸	۳/۲۲	۵/۴۷	۶/۸۸	۸/۰۴	۳/۶۴
	SNHT	۶/۰۹	۶/۳۶	۵/۱۱	۵/۲۶	۱/۸۴	۸/۸۳	۳/۴۰	۳/۰۹	۳/۶۵	۵/۱۵	۵/۰۸	۱۷/۵	۱/۶۷
	Pettitt	۱۶۵/۰	۲۰۳/۰	۱۳۶/۰	۱۷۷	۹۴/۰	۱۸۸/۰	۱۱۸/۰	۸۴/۰	۱۰۲/۰	۱۵۶/۰	۱۹۵/۰	۱۳۰/۰	۹۶/۰
هروی	von ...	۲/۲۱	۱/۶۹	۱/۴۴	۹/۲۴	۱/۰۸	۱/۵۵	۱/۷۰	۱/۹۸	۲/۰۷	۱/۸۹	۱/۵۶	۱/۴۴	۱/۴۴
	Buishand	۵/۹۸	۶/۱۳	۱۰/۱۷	۸/۴۶	۵/۰۱	۹/۹۷	۸/۳۱	۴/۲۴	۲/۹۴	۸/۹۱	۷/۴۵	۷/۳۳	۶/۸۳
	SNHT	۳/۴۶	۶/۰۵	۱۰/۱۱	۶/۹۹	۴/۶۳	۱۱/۹۳	۸/۹۸	۲/۳۰	۲/۱۵	۸/۰۷	۵/۷۷	۱۵/۳	۵/۷۱
	Pettitt	۱۱۹/۰	۱۶۴/۰	۲۴۶	۱۶۹/۰	۱۳۴/۰	۲۲۱/۰	۱۴۴/۰	۱۱۷/۰	۶۶/۰	۲۵۷	۱۹۵/۰	۱۴۳/۰	۱۱۴
سعیدآباد	von ...	۲/۰۷	۲/۱۹	۱/۶۷	۱/۷۹	۱/۴۷	۱/۴۶	۲/۶۱	۱/۸۵	۲/۳۰	۲/۱۰	۲/۱۱	۱/۹۶	۲/۰۳
	Buishand	۶/۷۲	۵/۹۱	۶/۶۳	۶/۸۱	۴/۲۴	۶/۳۵	۲/۹۹	۸/۸۹	۵/۷۰	۵/۱۲	۵/۹۹	۴/۳۷	۸/۷۴
	SNHT	۴/۴۱	۴/۸۸	۴/۴۷	۵/۱۲	۱۰/۹۲	۰/۹۶	۴/۴۸	۰/۹۶	۳/۳۸	۲/۷۲	۴/۶۷	۶/۶۴	۷/۹۶
	Pettitt	۱۳۴/۰	۱۴۱/۰	۱۵۶/۰	۱۶۰/۰	۱۱۲/۰	۱۶۱/۰	۱۲۵/۰	۲۰۱/۰	۶۰/۰	۱۷۳/۰	۱۸۷	۱۶۶/۰	۲۰۱/۰
بستان آباد	von ...	۱/۸۱	۱/۵۸	۱/۸۹	۱/۶۱	۱/۴۰	۱/۸۱	۲/۰۵	۱/۶۵	۱/۷۳	۲/۰۵	۱/۵۰	۱/۸۰	۱/۵۴
	Buishand	۴/۲۴	۸/۳۰	۳/۵۱	۵/۱۸	۹/۴۳	۴/۹۲	۴/۷۳	۴/۰۵	۵/۰۶	۶/۸۶	۱۰/۵۱	۷/۹۶	۸/۸۱
	SNHT	۴/۰۲	۸/۱۸	۱/۵۱	۴/۲۸	۱۱/۱۳	۴/۶۲	۲/۶۰	۴/۸۹	۴/۶۱	۴/۷۵	۱۰/۸۰	۱۲/۱۲	۹/۴۹
	Pettitt	۱۴۰/۰	۱۹۱/۰	۸۰/۰	۱۲۱/۰	۲۱۶/۰	۱۴۵/۰	۱۱۴/۰	۱۰۲/۰	۱۱۵/۰	۲۱۲/۰	۲۶۳	۱۷۶/۰	۲۱۹/۰
سهراب	von ...	۲/۲۱	۱/۷۲	۱/۴۰	۱/۶۱	۱/۸۷	۱/۹۸	۱/۵۷	۱/۴۱	۱/۵۲	۲/۰۱	۱/۸۳	۰/۱۹	۰/۱۹
	Buishand	۴/۱۹	۹/۹۰	۵/۰۱	۶/۷۴	۳/۴۷	۴/۳۷	۹/۲۴	۷/۳۵	۸/۲۳	۷/۸۳	۸/۵۷	۱۰/۳۲	۸/۷۰
	SNHT	۳/۱۶	۹/۶۵	۳/۶۵	۴/۶۹	۲/۰۷	۳/۲۳	۸/۳۵	۸/۲۷	۸/۲۸	۶/۲۶	۷/۱۸	۳۱/۱۶	۷/۳۷
	Pettitt	۱۰۵/۰	۲۱۳/۰	۱۲۳/۰	۱۷۶/۰	۱۰۱/۰	۱۲۹/۰	۲۱۳/۰	۱۴۰/۰	۱۹/۰	۲۴۰/۰	۱۹۵/۰	۲۳۰/۰	۲۱۶/۰

مقادیر پیرنگ و زیر خطدار نشان‌دهنده معنادار بودن در سطح ۵ درصد

جدول ۴. نتایج آزمون‌های بررسی همگنی دبی طی چهار دهه گذشته در منطقه مطالعه‌شده

ایستگاه	آزمون	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
سعیدآباد	von. ..	۱/۶۴	۱/۲۲	۱/۵۰	۰/۶۶	۰/۸۳	۱/۰۵	۱/۱۰	۰/۹۹	۱/۲۱	۲/۲۸	۱/۵۷	۲/۱۰	۰/۵۰
	Buishand	۹/۳۴	۱۱/۶۸	۹/۴۳	۱۵/۴۶	۱۳/۶۳	۱۱/۹۲	۱۲/۳	۱۲/۳۰	۹/۷۷	۵/۲۳	۵/۰۷	۴/۲۸	۱۴/۷۴
	SNHT	۸/۵۴	۱۴/۹۲	۹/۲۵	۲۴/۸	۱۹/۹۲	۱۳/۱	۱۲/۸۱	۱۵/۷	۱۲/۲۱	۴/۰۷	۲/۹۹	۲/۵۶	۲۳/۸
	Pettitt	۲۴۰/۰	۳۳۵	۲۸۹/۰	۳۶۰/۰	۳۱۷/۰	۲۵۰	۲۷۹	۲۲۵	۲۸۰/۰	۱۷۱/۰	۲۶۰/۰	۱۷۸/۰	۳۶۰/۰
زینجان	von. ..	۱/۸۳	۲/۱۳	۱/۹۰	۱/۹۵	۱/۹۵	۱/۸۵	۱/۶۸	۲/۱۸	۱/۶۲	۲/۱۵	۱/۶۵	۲/۰۲	۱/۹۵
	Buishand	۵/۹۴	۳/۲۶	۴/۴۷	۳/۳۶	۶/۰۴	۵/۵۲	۳/۶۴	۴/۰۳	۹/۲۹	۵/۲۵	۵/۰۹	۴/۹۸	۳/۰۸
	SNHT	۳/۹۲	۲/۶۸	۳/۵۶	۴/۷۱	۶/۲۱	۸/۲۵	۳/۳۴	۲/۴۸	۸/۶۰	۲/۹۶	۲/۸۸	۲/۵۷	۱/۰۶
	Pettitt	۱۵۲/۰	۱۲۲/۰	۹۵/۰۰	۱۶۱/۰	۱۵۷/۰	۱۱۲	۱۴۹/۰	۱۰۰/۰	۲۰۷/۰	۲۱۴/۰	۱۲۹/۰	۱۵۶/۰	۹۳/۰۰
بل سنج	von. ..	۱/۰۹	۱/۸۵	۱/۴۳	۱/۳۳	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۱۴	۱/۵۵	۱/۵۴	۱/۰۷	۲/۰۸	۱/۲۰
	Buishand	۷/۰۶	۷/۶۷	۱۰/۶۷	۹/۶۸	۸/۶۱	۹/۴۰	۱۱/۲۸	۳/۲۶	۴/۶۴	۵/۵۶	۵/۹۲	۵/۷۶	۱۰/۱۳
	SNHT	۱۱/۱۱	۵/۷۸	۱۱/۵۶	۱۲/۰۲	۱۱/۲۳	۸/۷۰	۱۳/۲	۳/۶۷	۲۵/۳	۳/۰۲	۳۸/۰۱	۱۱/۶۷	۱۳/۳
	Pettitt	۱۳۸	۲۳۱/۰	۲۳۸	۲۱۴/۰	۲۲۰	۲۸۴	۸۱/۰۰	۱۰۴/۰	۱۰۸/۰	۷۶/۰۰	۹۲/۰۰	۲۷۲/۰	
هروی	von. ..	۱/۷۰	۲/۰۴	۱/۶۰	۱/۲۰	۱/۶۶	۱/۷۸	۲/۰۱	۲/۱۷	۱/۰۷	۱/۵۳	۱/۷۲	۱/۱۵	۱/۲۸
	Buishand	۶/۰۴	۵/۷۵	۷/۴۱	۹/۷۰	۶/۸۴	۱۰/۴۱	۷/۲۵	۲/۹۶	۱۰/۰۴	۸/۸۵	۶/۰۰	۸/۲۰	۱۰/۳۴
	SNHT	۴/۲۴	۳/۶۷	۵/۴۷	۹/۳۰	۱۲/۶۸	۱۲/۰	۸/۰۱	۱/۲۳	۱۲/۲۵	۷/۹۵	۴/۴۸	۱۵/۴۳	۱۰/۸۷
	Pettitt	۱۷۴/۰	۱۶۲/۰	۱۶۸/۰	۲۲۷/۰	۲۱۲/۰	۲۴۵	۱۹۸/۰	۱۲۲/۰	۲۳۴	۲۲۵/۰	۱۷۵/۰	۲۲۹/۰	۲۴۰/۰
ونار	von. ..	۱/۸۶	۲/۰۷	۰/۹۷	۱/۳۴	۱/۳۷	۱/۰۷	۱/۳۸	۱/۵۶	۱/۴۵	۲/۱۴	۲/۱۷	۲/۱۰	۱/۰۲
	Buishand	۷/۸۴	۹/۶۱	۱۲/۳۹	۱۰/۵۷	۱۰/۱۹	۱۱/۶۶	۱۲/۴۰	۱۰/۲۸	۹/۱۲	۷/۰۸	۵/۰۵	۶/۱۲	۱۳/۷
	SNHT	۳/۹۶	۹/۳۷	۱۵/۸۲	۱۱/۶۲	۱۰/۳۵	۱۵/۱۱	۱۵/۹	۱۰/۹۹	۹/۶۶	۸/۵۰	۲/۸۳	۱۳/۱۶	۱۹/۶۳
	Pettitt	۱۹۵/۰	۳۰۷/۰	۳۲۴/۰	۳۰۷/۰	۲۷۵/۰	۲۸۹	۲۲۲	۲۴۵	۲۴۵	۱۴۷/۰	۱۵۱/۰	۱۲۱/۰	۳۳۱/۰
نهند	von. ..	۱/۶۳	۱/۷۲	۱/۶۴	۱/۶۳	۱/۷۹	۲/۱۱	۱/۸۳	۱/۸۲	۱/۹۱	۲/۲۶	۲/۰۸	۲/۱۰	۱/۹۲
	Buishand	۷/۹۷	۵/۸۶	۷/۱۷	۷/۹۷	۹/۵۱	۲/۹۱	۶/۱۵	۴/۵۹	۶/۷۱	۴/۴۵	۵/۵۶	۸/۶۳	۶/۰۹
	SNHT	۶/۵۴	۳/۵۸	۵/۵۲	۷/۰۴	۱۰/۰۶	۲/۶۴	۴/۲۰	۲/۳۴	۴/۴۹	۳/۰۶	۱۰/۸۶	۷/۷۵	۴/۱۳
	Pettitt	۲۸۳	۱۵۹/۰	۲۰۵/۰	۲۲۷/۰	۲۴۳/۰	۷۹/۰	۱۲۹/۰	۹۵/۰۰	۱۴۷/۰	۸۸/۰۰	۱۵۷/۰	۱۹۱/۰۰	۱۳۷/۰
سپهران	von. ..	۱/۴۸	۱/۴۳	۰/۸۹	۱/۶۵	۱/۱۷	۱/۵۴	۱/۷۷	۱/۳۳	۱/۷۴	۱/۵۰	۱/۹۸	۱/۱۵	۱/۱۵
	Buishand	۴/۵۱	۴/۱۰	۸/۷۷	۳/۶۲	۶/۳۸	۶/۳۴	۷/۷۹	۵/۹۹	۷/۵۵	۷/۶۴	۵/۶۰	۶/۳۰	۶/۷۶
	SNHT	۳/۸۹	۲/۵۷	۸/۲۵	۲/۸۲	۶/۷۴	۴/۱۸	۶/۷۳	۶/۳۹	۵/۹۳	۷/۷۵	۳/۴۸	۳/۹۱	۴/۹۹
	Pettitt	۱۱۵/۰	۱۱۴/۰	۲۵۵/۰	۱۴۱/۰	۱۹۴/۰۰	۱۵۰	۲۱۱/۰	۱۰۷/۰	۱۷۸/۰	۲۲/۰۰	۱۳۵/۰	۲۱/۰۰	۱۴۲/۰

مقادیر پرتنگ و زیر خطدار نشان‌دهنده معنادار بودن در سطح ۵ درصد

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای تحلیل روند تغییرات بیشترین و کمترین دما از ۲ ایستگاه باران‌سنجی، بارش از هفت ایستگاه باران‌سنجی و برای دبی از هفت ایستگاه آب‌سنجی با طول دوره آماری ۴۰ سال (۱۳۵۱ تا ۱۳۹۰) استفاده شد. در تحلیل روند بیشترین و کمترین دمای سالانه نشان داد هر دو ایستگاه روند افزایشی معنادار در سطح ۱ درصد داشته است. بنابراین، افزایش معنادار بیشترین و کمترین دما طی ۴ دهه

گذشته می‌تواند تأثیر زیادی روی تبخیر- تعرق، کاهش رطوبت خاک، وقوع و تشدید خشک‌سالی‌های مختلف اعم از هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی و اجتماعی منطقه داشته باشد. همچنین از مهم‌ترین پارامترهایی که می‌تواند دلالت بر تغییر اقلیم منطقه داشته باشد افزایش بیشترین و کمترین دمای منطقه است. از طرف دیگر، افزایش دما در فصل زمستان سبب ذوب برف و یخچال‌های کوچک یخی در مناطق کوهستانی حوضه آبخیز می‌شود و روشن است که به‌علت فرصت تماس زیاد برف با خاک، نفوذ آب به

نشان دادند به‌طور کلی روند دمای میانگین در همه مقیاس‌های زمانی مطالعه‌شده در طول دهه‌های گذشته افزایشی بوده و مقدار افزایش به‌طور متوسط ۰/۳۶ درجه سانتی‌گراد به‌ازای هر دهه بوده است [۶].

تحلیل تغییرات ناگهانی پارامترهای هیدرو-اقلیمی توسط چهار آزمون ناهمگنی مشخص شد که به‌طور متوسط ۵۰/۵۰ درصد از سری‌های زمانی بیشترین دما، ۶۲/۵۰ درصد از سری‌های زمانی کمترین دما، ۲۶/۲۵ درصد از سری‌های زمانی بارش و ۴۵ درصد از سری‌های زمانی دبی دارای ناهمگنی در سطح اطمینان ۹۵ در ایستگاه‌های مطالعه‌شده بودند. بررسی تغییرات ناگهانی در داده‌های بیشترین و کمترین دما نشان داد همه تغییرات در جهت مثبت بوده یا به‌بیانی تغییرات ناگهانی افزایشی بوده است. در مقایسه با داده‌های دما، تغییرات ناگهانی داده‌های بارش همانند روند تغییرات آنها از الگوی خاصی پیروی نمی‌کردند و گاهی افزایشی و گاه تغییرات ناگهانی کاهشی داشتند. در حالت کلی از لحاظ زمانی، تغییرات ناگهانی در بیشتر موارد در دهه ۱۳۷۰ اتفاق افتاده است. همچنین بررسی تغییرات ناگهانی در ایستگاه‌های آب‌سنجی نشان دادند بیشتر این تغییرات ناگهانی کاهشی بوده و در دهه ۱۳۷۰ به‌خصوص طی سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۷۵ اتفاق افتاده‌اند.

منابع

- [1]. Azari M, Moradi HR, Saghaian B, Faramarzi M. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gorganroud River Basin. *Journal of Water and Soil*. 2013; 27(3); 537-547.
- [2]. Abdul Aziz O I, Burn D H. Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin. *Journal of Hydrology*. 2006; 319; 282-294.
- [3]. IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC), Climate Change 2007-Synthesis Report of the Forth Assessment Report. 2007.
- [4]. Wong H, Hu B Q, Ip W C, Xia J. Change-point analysis of hydrological time series using grey relational method. *Journal of Hydrology*. 2006; 324; 323-338.
- [5]. Teleab D, Mohamed Y, Uhlenbrook S. Hydro-climatic trends in the Abay/Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth*. 2013; 61-62; 32-42.

خاک از طریق ذوب برف بیشتر از آب باران است در نهایت با کاهش برف در یک منطقه، به کاهش منابع آب زیرزمینی منجر می‌شود [۱۵]. نتایج تحقیق کوثری و همکارانش (۲۰۱۴) در این خصوص نشان داد دمای هوا در ایران روند افزایشی و روند افزایشی کمترین دما بیشتر از دمای حداکثر بوده که ممکن است به‌علت افزایش گازهای گلخانه‌ای و انرژی دریافتی زمین در طول شب باشد [۲۲].

نتایج بررسی روند تغییرات بارش در هفت ایستگاه باران‌سنجی بررسی‌شده در حوضه آبخیز آجی‌چای نشان داد هیچ‌یک از ایستگاه‌های باران‌سنجی در مقیاس سالانه روند کاهش یا افزایشی معناداری نداشتند و در مقیاس ماهانه نیز در بعضی ماه‌ها روند افزایشی و در بعضی ماه‌ها کاهش‌ی بوده است. بنابراین، نتایج تحلیل روند تغییرات بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی بررسی‌شده در حوضه آبخیز نشان‌دهنده این است که روند تغییرات بارش از لحاظ زمانی و مکانی تغییرات مشخصی طی چهار دهه گذشته نداشته است و تعیین الگوی دقیق تغییرات نسبت به پارامترهای دیگر در منطقه دشوار است. پژوهش‌های بررسی روند بارش در کشور در بیشتر موارد نشان داده است که روند تغییرات بارش از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند [۱۳] که مطابق نتایج این تحقیق است. فاتحیان و همکارانش (۲۰۱۴) پژوهشی با عنوان «تحلیل روند پارامترهای هیدرو-اقلیمی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه» به‌منظور شناسایی علل احتمالی تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه انجام دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد هرچند روند تغییرات بارش از الگوی مشخصی پیروی نمی‌کرد، روند دما در سراسر حوضه آبخیز افزایشی معنادار بوده است و همچنین نتایج آنها نشان داد جریان رودخانه‌ای نسبت به بارش بیشتر تحت تأثیر دمای منطقه بوده است [۹]. در حالت کلی روند تغییرات دبی سالانه نشان داد از هفت ایستگاه بررسی‌شده، پنج ایستگاه روند کاهش معنادار داشته است. بنابراین، دبی بیشترین روند تغییرات کاهش را در بین متغیرهای بررسی‌شده در منطقه داشته است.

نتایج تحلیل روند تغییرات در این تحقیق با بیشتر مطالعات موردی نیز که در جهان در این زمینه انجام شده است، همخوانی دارد. تلاب و همکارانش (۲۰۱۳) در حوضه نیل نشان دادند داده‌های دما و جریان رودخانه دارای روند و نقاط جهشی است، ولی داده‌های بارش روند معناداری را نشان ندادند [۵]. دل ریو و همکارانش (۲۰۱۳) در پاکستان

- [6]. del Rio S, Anjum Iqbal M, Cano-Ortiz A, Herrero L, Hassan A, Penas A. Recent mean temperature trends in Pakistan and links with teleconnection patterns. *Int. J. Climatol.* 2013; 33; 277–290.
- [7]. Abghari H, Tabari H, Hosseinzadeh Talaei P. River flow trends in the west of Iran during the past 40 years: Impact of precipitation variability. *Global and Planetary Change.* 2013; 101; 52–60.
- [8]. Kazemzadeh M, Malekian A, Rasoulzadeh A. River flow trend analysis based on the parametric and nonparametric approaches in Ardebil province. *Erath Science Reserch.* 2014; 4(15); 51-63.
- [9]. Fathian F, Morid M, Kahya E. Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. *Theor Appl Climatol.* 2014; 14; 1120-40.
- [10]. Hosseinzadeh Talaei P, Kouchakzadeh M, Shifteh Some'e B. Homogeneity analysis of precipitation series in Iran. *Theor Appl Climatol.* 2013.
- [11]. Mann H B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica.* 1945; 13; 245–259.
- [12]. Kendall M G. Rank Correlation Measures, Charles Griffin. London. 1975.
- [13]. Hojam S, Khoshkhoo Y, Shamsadin Vandi Y. Annual And Seasonal Precipitation Trend Analysis of Some Selective Meteorological Stations In Central Region of Iran Using Non-Poarametric Methods. *Geographic Research.* 2008; 64; 157-168.
- [14]. Karpouzou D K, Kavalieratou S, Babajimopoulos C. Nonparametric trend analysis of precipitation data in Pieria Region (Greece). *European Water.* 2010; 30; 31-40. 12
- [15]. Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association.* 1968; 39; 1379 –1389.
- [16]. Theil H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis Part 3. *Proceedings of Koninialijke Nederlandse Akademie van Weinenschatpen A53.* 1950; 1397-1412.
- [17]. Von Neumann J: Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. *Ann Math Stat.* 1941: 13: 367–395.
- [18]. Bingham C, Nelson L S. An approximation for the distribution of the Von Neumann ratio. *Technometrics.* 1981; 23; 285–288.
- [19]. Buishand T A. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology.* 1982; 58; 11-27.
- [20]. Alexandersson H: A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climate.* 1986; 6; 661–675.
- [21]. Pettit A N. A non-parametric approach to the change-point detection. *Applied Statistics.* 1979; 28; 126–135.
- [22]. Kousari M R, Ekhtesasi M R, Tazeh M, Saremi Naeini M A, Asadi Zarch M A. An investigation of the Iranian climatic changes by considering the precipitation, temperature, and relative humidity parameters. *Theor Appl Climatol.* 2011; 103; 321–335.