

مقدمه

طبق پنجمین گزارش ارزیابی پانل بین دولتی تغییرات آب و هوایی، میانگین دمای جهانی در دوره (۱۹۰۱-۲۰۱۲) ۰/۸۹ درجه سانتیگراد افزایش یافته است و احتمالاً تا پایان قرن بیست و یکم از ۱/۵ درجه سانتیگراد تجاوز خواهد کرد [۹]. گزارش‌های IPCC [۸ و ۹] نشان می‌دهد که تغییرات آب و هوایی تأثیرات مهمی در مناطق مرطوب، نیمه‌خشک و خشک دارد. از آنجا که تشدید چرخه هیدرولوژیکی، در دسترس بودن آب و همچنین کیفیت آب تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی قرار دارند، مشاهدات و سوابق گرفته‌شده از همه قاره‌ها و اقیانوس‌ها رفتارهای جدیدی را نشان می‌دهند [۲۴]. این رفتارهای جدید در چرخه هیدرولوژیکی را می‌توان به صورت روند یا جهش غیرمنتظره در مقادیر میانگین و تغییرات مشاهده کرد. همچنین، آن‌ها تأثیرات قابل توجهی بر فعالیت‌های مختلف مانند تغذیه آب زیرزمینی، تأمین آب، فعالیت‌های کشاورزی، تولید برق‌آبی و شیوه‌های آبیاری دارند [۲۳ و ۲۲]. بنابراین، نهادها و سازمان‌های ذی‌ربط باید تغییرات داده‌های آب و هواشناسی را بررسی کنند تا بینشی اولیه از تغییرات اقلیمی ارائه شود. از آنجایی که بارندگی عامل اصلی چرخه هیدرولوژیکی است، تغییرات آن تأثیر مستقیمی بر بهره‌وری کشاورزی و همچنین وقوع سیل یا خشک‌سالی دارد [۱]. چون بارش، یکی از اجزای اساسی چرخه آب، و منبع اصلی تأمین آب است. نیازهای به آن در آینده به دلیل رشد جمعیت و توسعه اجتماعی-اقتصادی جوامع افزایش خواهد یافت. تغییرپذیری بارندگی مستقیماً شامل دو حالت شدید خشک‌سالی و سیل است. این دو خطر هواشناسی می‌توانند هم تأمین آب، آبیاری و صنعت را تهدید کنند و هم استراتژی‌های کشور را با ایجاد خسارت‌های فاجعه‌بار، چه انسانی و چه مادی، تغییر دهند [۲۸ و ۳]. بنابراین، بررسی تغییرات بارندگی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و همچنین تهیه طرح‌های مناسب برای مقابله با سیل و شرایط خشک‌سالی ضروری است [۲۰]. از جمله مواردی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین علوم جوی و هیدرولوژی قرار گرفته است شناخت چگونگی روند تغییرات اقلیمی به‌ویژه روند تغییرات بارش و دما است. آگاهی از روند تغییرات بارش یک مکان، می‌تواند بسیاری از مدیران حوزه آب را نسبت به تصمیم‌گیری‌های آینده خود در ارتباط با اجرای پروژه‌های عمرانی یاری دهد، صرف‌نظر از این‌که یک مکان در اقلیم

تحلیل روند بارندگی ماهانه با استفاده از روش نوآورانه گرافیکی و کلاسیک در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه

ایوب میرزائی حسلو^۱، مهدی عرفانیان^{۲*} و خدیجه جوان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۹

DOI: 10.22034/17.62.1

چکیده

در میان متغیرهای آب و هواشناسی، بارندگی یکی از مهم‌ترین آن‌هاست. تحلیل روند یکی از مؤثرترین روش‌های مشاهده اثرات تغییرات آب و هوایی بر بارندگی است. اخیراً روش‌های گرافیکی جدیدی به‌عنوان جایگزینی برای روش‌های تحلیل روند کلاسیک پیشنهاد شده است. تحلیل روند نوآورانه چندضلعی که از تحلیل روند نوآورانه تکامل یافته است، در حال حاضر یکی از روش‌های پیشنهادی است و هیچ پیش‌فرضی در آن وجود ندارد. هدف از این پژوهش مقایسه IPTA، ITA با روش‌های MMK و PETIT است. برای دست‌یابی به این هدف، روند کل بارندگی ماهانه شش ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه، در دوره (۱۳۶۶-۱۳۹۵) بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج آزمون MMK مشاهده شد که فقط در ایستگاه تبریز روند بارندگی صعودی بوده که در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده، و مابقی ایستگاه‌ها روند بارندگی نزولی بوده که ایستگاه‌های مراغه و مهاباد معنی‌دار بوده، هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده از ITA با MMK مطابقت داشته؛ که گویای این است روش ITA می‌تواند برای تحلیل روند متغیرها استفاده شود. با استفاده از روش IPTA شیب انتقال بارندگی از یک ماه به ماه بعدی همراه با مقدار طول روند قابل محاسبه است که با استفاده از روش‌های کلاسیک مانند MMK قابل محاسبه نمی‌باشد.

کلیدواژه‌ها: من‌کندال اصلاح‌شده، تحلیل روند نوآورانه، تحلیل روند نوآورانه چندضلعی، حوضه دریاچه ارومیه.

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران.

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران. پست الکترونیک: erfaniyan.ma@gmail.com

۳- دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ایران.

مرطوب یا خشک، قرار دارد [۱۳]. تغییرات آب و هوا و گرم شدن کره زمین منجر به افزایش چشم‌گیر کاربرد تحلیل روند سری‌های زمانی آبی- هواشناسی مانند دما، رطوبت، بارش، تبخیر و جریان شده است. برای بررسی این متغیرها، یکی از روش‌های مورد استفاده، تحلیل روند است. تعداد تحقیقات تحلیل روند، از زمان کارهای من [۱۴] و کندال [۱۱] افزایش یافته است که این طرح به‌طور کلاسیک به‌عنوان آزمون روند من-کندال MK^1 نامیده می‌شود. این روش به‌طور مکرر در بسیاری از تحقیقات استفاده شده است [۶]. تشخیص روند کل‌نگر، که یک روش روند کلاسیک است، مهم است اما تغییرات دوره‌ای مانند ماهانه را نشان نمی‌دهد، هم‌چنین این روش‌های سنتی تشخیص روند برای تشخیص روند کل‌نگر استفاده می‌شوند و محدودیت‌های اصلی این روش‌ها مفروضاتی مانند استقلال و نرمال بودن در سری‌های زمانی تحت تحلیل است [۲۵]. بنابراین، ویژگی‌های روند، برای به تصویر کشیدن رفتار روند فصلی بسیار مهم هستند. به‌طور خاص، از آنجا که تشخیص روند فصلی می‌تواند به تنظیم یا مدیریت فعالیت‌های کشاورزی و آبیاری و سیستم‌های منابع آب کمک کند، رویکرد جدیدی به نام تحلیل روند نوآورانه چندضلعی $IPTA^2$ توسط شن و همکاران [۲۵] برای بهبود روش ITA^3 پیشنهاد شده است. آن‌ها بیان کردند، که رویکرد $IPTA$ نه تنها به شناسایی روند در یک دنباله خاص کمک می‌کند، بلکه منجر به چندضلعی شدن روند می‌شود که مبنای سازنده‌ای برای تفسیر عددی بهتر و انتقال روند بین قسمت‌های متوالی دو قسمت مساوی از سری زمانی اصلی آب و هواشناسی می‌شود. سان و همکاران [۱۹] تحلیل روند بارندگی ماهانه ۱۵ ایستگاه در حوضه رودخانه (VGTBRB) در ویتنام را با استفاده از روش‌های تحلیل روند نوآورانه (ITA) و تحلیل روند نوآورانه چندضلعی ($IPTA$)، بررسی و نتایج به دست آمده را با روش من کندال مقایسه کردند. تجزیه و تحلیل‌ها نشان می‌دهد که بارش تقریباً در همه ایستگاه‌ها در ماه مارس روند افزایشی و در ژوئن کاهش می‌دهد. $IPTA$ و ITA نسبت به MK در تعیین روند حساس‌تر هستند. درحالی‌که روندها تقریباً در ۹۰ درصد از کل ماه‌ها در $IPTA$ و ITA با آزمون معنی‌داری شناسایی شد، این میزان در آزمون MK تنها ۲۳ درصد بود. سرنکام [۲۶] به بررسی روند دما و بارش با استفاده از روش ITA در حوضه Yesilirmak در ترکیه پرداختند. نتایج نشان داد که ITA تحلیل بصری را با شیب‌های روند کمی برای سطوح پایین، متوسط و بالا با تفاسیر فیزیکی ارائه کرد. بر اساس طبقه‌بندی، بارندگی روند کاهشی قابل توجهی در سطوح کم، متوسط و بالا به ترتیب ۳/۴، ۳/۸ و ۲/۴ درصد دارند. برخلاف روند بارش و مطابق با انتظارات جهانی در تغییرات آب و هوایی، دما در طول حوضه به‌طور قابل توجهی تمایل به افزایش دارند. جوان [۱۰] به

1. Mann-Kendall
2. Innovative Polygon Trend Analysis
3. Innovative Trend Analysis

ارزیابی روند شاخص خشک‌سالی SPI^4 در هشت ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه در دوره ۳۲ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) پرداختند. نتایج آزمون ITA و من-کندال نشان داد که ایستگاه‌های مراغه، سهند، سقز، تکاب و مهاباد دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان پنج درصد در سری‌های SPI ۱۲ و ۲۴ ماهه هستند. در ایستگاه‌های ارومیه، تبریز و سراب، آزمون من-کندال هیچ روند معنی‌داری را نشان نداد؛ درحالی‌که روش ITA روندهای کاهشی و افزایشی معنی‌داری در این ایستگاه‌ها نشان داد. بر اساس نتایج گرافیکی ITA ، روند کاهشی در شرایط مرطوب و نرمال و روند افزایشی در شرایط خشک‌سالی، در اکثر ایستگاه‌های حوضه وجود دارد. با بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی مانند، بارش مشاهده گردید که از روش‌های نا پارامتریک و کلاسیک مانند من-کندال و شیب سن استفاده شده است. که روش‌های مذکور هم پیش‌فرض‌هایی دارند و هم روند کل سری زمانی هیدرولوژیکی را به‌صورت یکنواخت نشان می‌دهند، اما روش نوآورانه، ITA و $IPTA$ علاوه بر روند یکنواخت کل قادر هستند روندهای یکنواخت و جزئی طبقات بارندگی و شیب روند انتقال بارندگی از یک ماه به ماه بعدی را مشخص کند. هدف از این مطالعه بررسی روند داده‌های بارش ماهانه شش ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه برای دوره ۱۹۸۸-۲۰۱۷ است. برای دستیابی به این هدف، دو روش نوآورانه، ITA و $IPTA$ پیشنهاد شده توسط شن و همکاران توسط شن و همکاران [۲۵] استفاده شده و سپس نتایج با آزمون من کندال اصلاح شده، شیب سن و آزمون پتیت مقایسه شد.

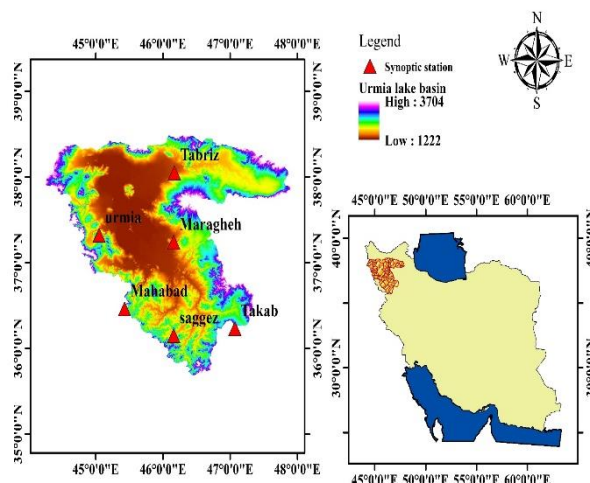
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دریاچه ارومیه با وسعت حدود ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع بین مختصات ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و در شمال‌غربی ایران قرار گرفته است (شکل ۱). این محدوده با مساحت تقریبی ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع پیرامون سه درصد مساحت کل کشور ایران را در برمی‌گیرد. تغییرات بارندگی در حوضه ۲۲۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر و متوسط بارش ۳۱۰ میلی‌متر می‌باشد و از مناطق مرکزی حوضه به سمت مناطق مرتفع پیرامونی بر مقدار بارندگی افزوده می‌شود. در این حوضه مقدار بارندگی در طی چهار دهه (۱۹۶۴-۲۰۰۵) به‌طور میانگین ۹/۲ درصد کاهش یافته و متوسط دمای حداکثر حدود ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است [۵].

در این مطالعه، داده‌های بارش ماهانه شش ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه برای دوره‌ی آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۱ مشخصات جغرافیایی، ارتفاع و میانگین بارندگی سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

4. Standardized Precipitation Index



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig 1. Location of the study area

جدول ۱ - مشخصات ایستگاه‌های منتخب در منطقه‌ی مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of selected stations in the study area

میانگین بارش Average Rainfall	طول جغرافیایی (درجه) Latitude(degrees)	عرض جغرافیایی (درجه) Longitude(degrees)	ارتفاع (M) Altitude	نام ایستگاه Station name
309.72	45.43	36.46	1385	مهاباد Mahabad
302.34	45.05	37.22	1315.9	ارومیه Urmia
315.44	47.07	36.23	1765	تکاب Takab
244.90	46.17	38.05	1361	تبریز Tabriz
276.33	46.16	37.24	1477.7	مراغه Maragheh
422.61	46.16	36.15	1522.8	سقز Saghez

روش تحقیق

آزمون من کندال اصلاح شده^۱

روش من - کندال ابتدا توسط من [۱۴] ارائه و سپس توسط کندال [۱۱] توسعه یافت. فرض صفر آزمون من - کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌هاست. در این روش با مقایسه هر یک از داده‌های یک سری زمانی به ترتیب سال وقوع با تمامی مشاهدات پس از آن، تابع علامت و سپس مقادیر مجموع یا همان پارامتر S محاسبه می‌شود. مقدار Z در نهایت آماره روند افزایشی و مقدار منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهد. اگر قدر مطلق Z بزرگ‌تر از $1/96$ یا $2/58$ شد به ترتیب در سطح پنج و یک درصد فرض صفر یعنی عدم وجود روند، رد و فرض یک که بیانگر وجود روند است، پذیرفته می‌شود. باین‌حال، نتایج آزمون M-K تحت تأثیر همبستگی سریال سری‌های زمانی

قرار می‌گیرد. فرض اصلی بیشتر مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون بر این است که داده‌های نمونه خود همبستگی معنی‌داری ندارند، چنانچه یک سری دارای ضرایب خود همبستگی مثبت باشد، احتمال این‌که آزمون من - کندال وجود روند را در این سری نشان دهد، افزایش می‌یابد. در این صورت فرض صفر، مبنی بر عدم وجود روند، رد می‌شود [۱۵]. برای حذف اثرات خود همبستگی در سری‌های زمانی حامد و راثو [۷] با در نظر گرفتن خود همبستگی در سری‌های آب و هواشناسی، آزمون (MMK) اصلاح‌شده را پیشنهاد کردند. از این رو، آزمون MMK برای تشخیص روند در این مطالعه استفاده شد. سطح معنی‌داری پنج درصد تعیین شد. مقدار مثبت Z نشان‌دهنده روند افزایشی، مقدار منفی Z نشان‌دهنده روند کاهشی و مقدار صفر Z نشان‌دهنده عدم روند است. در این روش، اثر همه ضرایب خود همبستگی معنی‌دار از داده‌ها حذف می‌شود و برای سری‌هایی استفاده می‌شود که ضرایب خود همبستگی آن‌ها در یک یا چند مورد معنی‌دار باشند. ابتدا ضریب خود همبستگی مرتبه K ام از رابطه شماره (۱) محاسبه شد.

1. Modified M-K trend test

(۴۵درجه) نمودار را به دو مثلث مساوی تقسیم می‌کند شکل (۴). مثلث بالا نشان‌دهنده روند افزایشی است، درحالی‌که مثلث پایین نشان‌دهنده روند کاهشی است. برای تخمین روند، آمار S_{ITA} به‌صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۲].

$$S_{ITA} = \frac{2(\bar{X}_i - \bar{X}_j)}{n} \quad (۷)$$

که در آن S_{ITA} مبنای شیب بر اساس روش ITA است. n حجم نمونه است. $\bar{X}_i$ میانگین سری اول، $\bar{X}_j$ میانگین سری دوم، می‌باشد.

آزمون روند نوآورانه چندضلعی (IPTA)^۲

شن و همکاران [۲۵] اخیراً روش گرافیکی IPTA را پیشنهاد کردند و نشان دادند که در مقایسه با سایر روش‌های روند سنتی مزایای خاصی دارد:

- IPTA به شناسایی روند در یک دنباله خاص کمک می‌کند. یک رویکرد نا پارامتریک است و تحت تأثیر وابستگی سری‌های زمانی است.
- IPTA نه تنها روندها، بلکه انتقال آن‌ها (از روند افزایشی به روند کاهشی و بالعکس) را در ماه‌ها / فصل‌های متوالی ارائه می‌دهد.
- شیب و طول روند را می‌توان بین دو ماه / فصل متوالی تعیین کرد.

• IPTA یک تفسیر گرافیکی دقیق و عددی خوب و استنتاج روندها را در قالب یک چندضلعی ارائه می‌دهد.

اگر بیش از یک چندضلعی تشکیل شود، این نشان‌دهنده پیچیدگی و پویایی رویدادهای آب و هواشناسی برای آن ایستگاه است [۲۵].

اگر IPTA برای داده‌های ماهانه بارندگی اعمال شود، که در این مطالعه وجود دارد، پنج مرحله پردازش مورد نیاز است. مرحله (۱): سری زمانی ماهانه (به عنوان مثال ژانویه، فوریه، مارس ...) به دو سری زمانی مساوی تقسیم می‌شود. مرحله (۲): آمار پایه (مثلاً میانگین، حداکثر یا حداقل) یا معیارهای مورد نظر (مثلاً عدم قطعیت) برای هر ماه در هر دو دوره محاسبه می‌شود. مرحله (۳): دوره اول (دوم) بر روی محور افقی (عمودی) در نمودار پراکندگی قرار می‌گیرد و ۱۲ نقطه به مدت ۱۲ ماه مشخص می‌شود. مرحله (۴): نقاط ماه‌های متوالی با خطوط مستقیمی که یک چندضلعی را تشکیل می‌دهند به هم متصل می‌شوند (شکل ۳). مرحله (۵): شیب و اندازه خط بین نقاط متوالی محاسبه می‌شود. شیب و طول روند به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$|AB| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (۸)$$

$$S = \frac{y_2 - x_2}{y_1 - x_1} \quad (۹)$$

S شیب روند است. $|AB|$ طول روند است. x_1 و x_2 دو نقطه متوالی در قسمت اول به صورت افقی هستند، و y_1 و y_2 دو نقطه متوالی در قسمت دوم هستند. در سیستم مختصات دکارتی، یک

$$rk = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X}_t)(X_{t+k} - \bar{X}_t)}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}_t)^2} \quad (۱)$$

Rk ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام و $\bar{X}$ میانگین سری زمانی است. معنی‌داری ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام در سطح ۹۵ درصد از رابطه شماره (۲) بررسی شد.

$$\frac{1 - 1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq rk \leq \frac{1 + 1.96\sqrt{n-k-1}}{n-k} \quad (۲)$$

سپس واریانس اصلاح شده $V(S) *$ آماره Z من کندانال از رابطه (۳) و (۴) به دست می‌آید.

$$V(S) * = V(S) \frac{n}{n^*} \quad (۳)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} * \sum_{k=1}^{n-1} (n-k)(n-k-1)(n-k-2) \quad (۴)$$

در روابط (۳) و (۴) $V(S)$ از رابطه شماره (۵) محاسبه می‌شود.

$$Var(s) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=0}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right] \text{ if } n > 10 \quad (۵)$$

ضریب اصلاحی واریانس سری‌های خود همبسته است. درنهایت آماره Z آزمون من-کندانال با جایگزین واریانس اصلاح شده به جای واریانس به دست آمد.

آزمون شیب سن^۱

در آزمون من-کندانال شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین گر سن [۲۷ و ۲۱] از رابطه نا پارامتری زیر محاسبه می‌گردد:

$$\beta = \text{median} \left(\frac{X_i - X_j}{j - i} \right) \forall i < j \quad (۶)$$

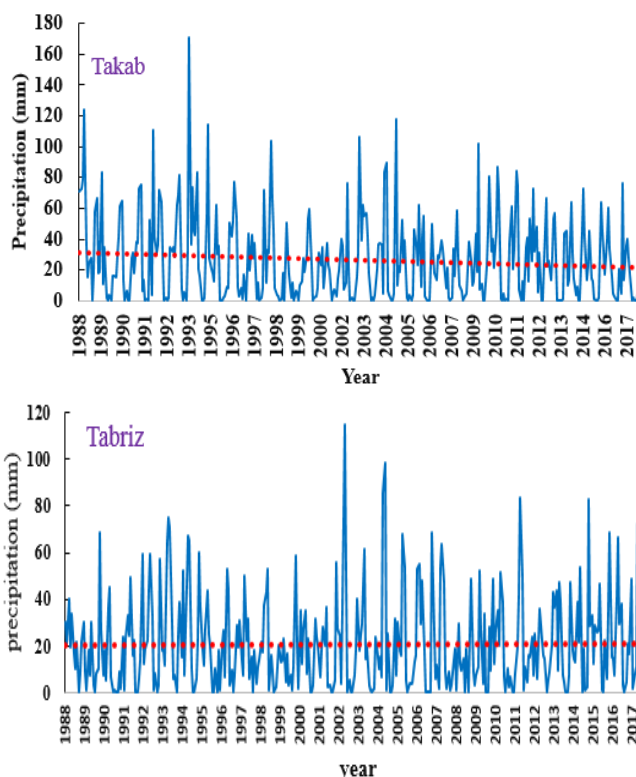
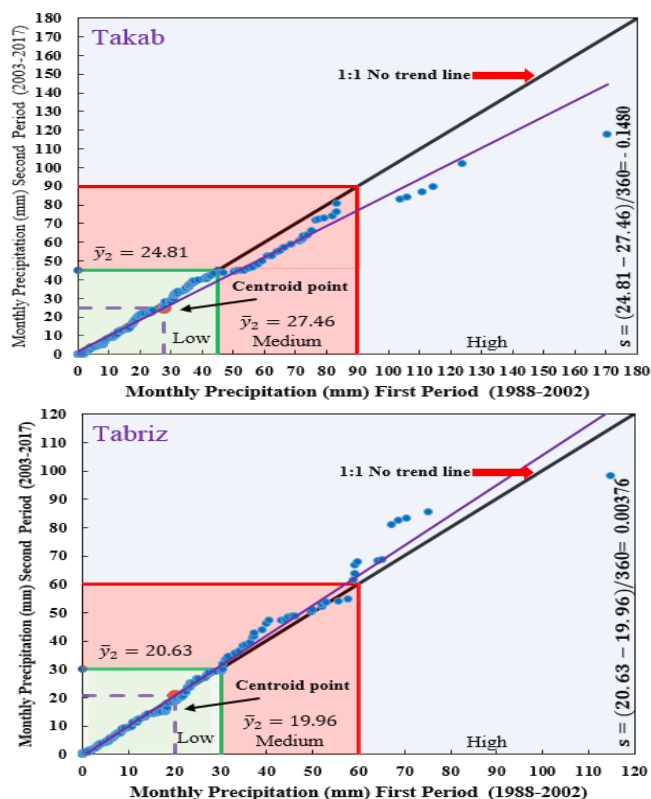
که در این رابطه، β برآوردگر شیب خط روند و X_i و X_j مقادیر داده‌ها به ترتیب در زمان‌های I, J می‌باشد. مقادیر مثبت و منفی به ترتیب نشان‌دهنده روند افزایشی و کاهشی می‌باشد.

آزمون روند نوآورانه (ITA)^۲

مفهوم ITA در ابتدا توسط شن [۲۲] برای تشخیص روندها در سری‌های زمانی پیشنهاد شد. بزرگ‌ترین مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های تعیین روند مانند من-کندانال این است که نیاز به هیچ‌گونه پیش‌فرضی (مانند همبستگی، غیر نرمال بودن توزیع، تعداد داده‌ها و ...) ندارد. در این روش داده‌ها به‌طور مساوی به دو بخش بین تاریخ‌های اول تا آخرین تاریخ تقسیم می‌شوند. هر دو بخش به ترتیب صعودی مرتب شده‌اند و در محور X و Y ارائه شده‌اند. بخش اول $(X_1: i = 1.2 \dots \frac{n}{2})$ در محور افقی ارائه می‌شود، درحالی‌که بخش دوم $(X_1: j = \frac{n}{2} + 1. \frac{n}{2} + \dots n)$ در محور عمودی در سیستم مختصات دکارتی ارائه شده است. یک خط نیمساز ۱:۱

1. Sen's Slope

2. Innovative Trend Analysis (ITA) Method



شکل ۴- روند بارندگی در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش ITA

Fig4. Rainfall trend in synoptic stations of Urmia Lake Basin using ITA method

$$P \approx \text{EXP} \left[\frac{-6n^2}{n^3 + n^2} \right] \quad (12)$$

اگر در آزمون پتیت، p کمتر از سطح معنی داری ۵ درصد باشد، فرض صفر (عدم وجود نقطه‌ی شکست) در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود.

نتایج

مقادیر بارندگی ماهانه و تحلیل روند نوآورانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۴) ارائه شده است. تقریباً تمامی ایستگاه‌ها از سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۶ بیش‌ترین مقدار بارندگی داشته، و از سال ۱۹۹۶ به بعد به تناوب سال‌های مرطوب و خشک تکرار شده است. همچنین بیش‌ترین مقدار بارندگی ماهانه در ایستگاه سقر (۲۶۵/۷۳) و کم‌ترین مقدار در ایستگاه تبریز (۱۱۴/۸۴) رخ داده است. بر اساس نتایج تحلیل روند نوآورانه و آزمون من کندال اصلاح شده که در شکل (۴) و جدول (۳) مشاهده می‌گردد، تنها ایستگاه تبریز روند بارندگی ماهانه صعودی بوده که معنی دار نبوده و مابقی ایستگاه‌ها روند بارندگی نزولی بوده که بر اساس نتایج من کندال اصلاح شده ایستگاه‌های مراغه و مهاباد در سطح ۹۵ درصد معنی دار بوده‌اند. با هدف شناسایی تحلیل روند نوآورانه سری‌های بارندگی ماهانه به دو زیر سری ۱۵ ساله (۳۰/۲=۱۵) از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۲ زیر سری اول و از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ زیر سری دوم تقسیم می‌شوند. خط ۱:۱ (۴۵ درجه) خط بدون روند را نشان می‌دهد. اگر نقطه مرکزی (Centroid Point) و خط روند (خط بنفش) روی خط باشد بدون روند، بالای

خط ۱:۱ (۴۵ درجه) رسم می‌شود، که در آن نقاط زیر (بالا) خط نشان‌دهنده روند کاهشی (افزایشی) هستند [۲۲]. خطوط مستقیمی که نقاط را به هم متصل می‌کنند، اطلاعاتی در مورد تغییرات بین ماه‌های متوالی ارائه می‌دهند. اگر شیب خطوط بین ماه‌های متوالی از یکدیگر دور باشد، سهم تغییرات بین ماه‌ها در میانگین تغییرات سری آب و هواشناسی قابل توجه است و بالعکس.

آزمون پتیت^۱

پتیت آزمونی نا پارامتری است که در سال ۱۹۷۹ توسط پتیت توسعه داده شد [۱۸]. این روش برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی به کار برده می‌شود. آزمودن پتیت آزمونی با پایه رتبه‌ای و بدون توزیع جهت تشخیص تغییرات معنی دار در میانگین سری زمانی است و این موضوع زمانی اهمیت دارد که هیچ فرضیه‌ای در مورد زمان تغییر موجود نباشد. آماره آزمون پتیت بر اساس رابطه (۱۰) قابل محاسبه است.

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (10)$$

در رابطه فوق n تعداد داده‌ها و t شماره ترتیبی داده‌های سری زمانی تا نقطه تغییر و بعد آن است.

$$K_n = \max_{1 \leq t \leq n} |U_{t,n}| \quad (11)$$

1. Petite Test

خط روند صعودی و پایین خط روند نزولی را نشان می‌دهد. در این پژوهش شکل‌های مربوط به دو ایستگاه سینوپتیک تکاب و تبریز به‌عنوان نمونه آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از روش تحلیل روند نوآورانه فقط بارندگی ماهانه ایستگاه تبریز در هر سه طبقه کم، متوسط و زیاد روند مثبت و صعودی دارد. اما ایستگاه تکاب در طبقه کم تقریباً روی خط روند بوده اما در طبقه متوسط و زیاد روند نزولی داشته است. در روش مذکور اگر بارندگی در هر سه طبقه بارشی قرار بگیرد و روندهای متفاوتی داشته باشد نشان از نایک‌نواختی و نامنظم بودن بارندگی دارد. هم‌چنین مشاهده می‌گردد که در هر دو ایستگاه بیش‌ترین مقدار بارندگی در طبقه کم و متوسط قرار گرفته و طبقه فوقانی بارش‌های سنگین محدوده بیشتر و بارندگی کم‌تری را به خود اختصاص داده است. طبقه‌بندی روند بارندگی ماهانه در هر ایستگاه می‌توان به شناسایی مقادیر و روند بارندگی که بر خشک‌سالی و سیلاب تأثیرگذار بوده، کمک کند که با نتایج سرنگام و همکاران [۲۶] مطابقت دارد.

نتایج حاصل از روش ITA مطابقت خوبی با آزمون‌های نا پارامتریک رابج برای هر ایستگاه دارد. بنابراین روش ITA می‌تواند

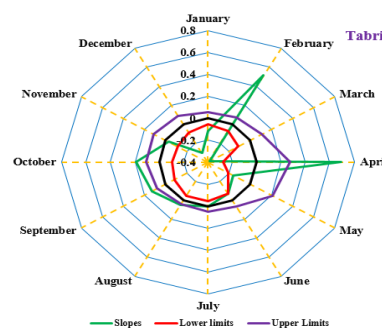
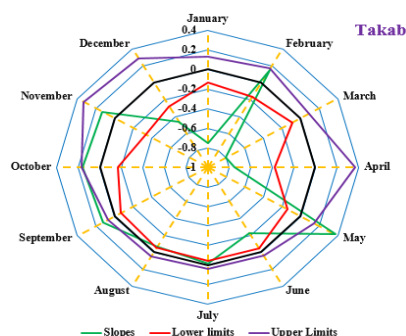
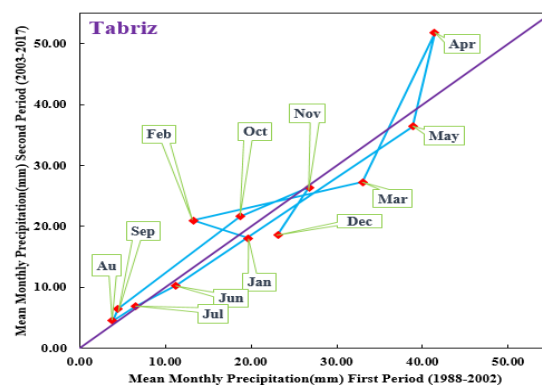
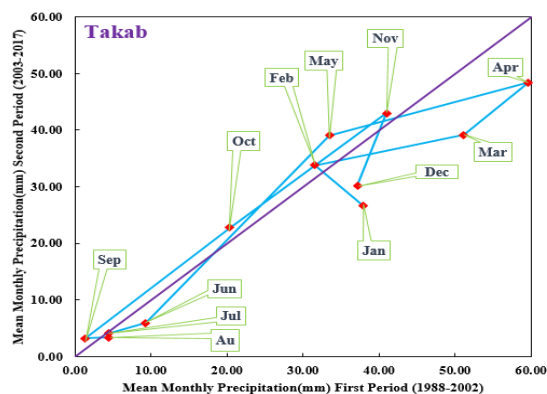
برای تجزیه و تحلیل کمی و تشخیص روندها استفاده شود و هم‌چنین می‌تواند نتایج سایر روش‌های رابج را پشتیبانی کند. نتایج حاصل از آزمون Man-Kendall و برآوردگر Sen کاملاً مشابه هستند. جهت روند در اکثر موارد در هر دو روش یکسان است که با نتایج آجیتی و همکاران [۲] مطابقت دارد.

نتایج تحلیل روند نوآورانه چندضلعی ایستگاه‌های مورد مطالعه، همراه با شیب روند و طول روند در شکل (۵) و جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده گردید که، چندضلعی‌ها در هر ایستگاه نامنظم و پیچیده هستند زیرا میانگین حسابی ثابت نیست و داده‌ها به‌طور سیستماتیک تغییر نمی‌کنند. داده‌های بارش در هر ایستگاه همگن و مشابه نیست و هیچ چندضلعی برابر یا واحد در هیچ ایستگاهی ایجاد نشد و این نشان می‌دهد که داده‌های بارش دارای ناپایداری هستند. هر چقدر تعداد چندضلعی‌های تشکیل شده زیاد باشد، به این معنی است که داده‌های ماهانه کل بارش ثابت نبوده و داده‌ها ناپایدارتر هستند. بر اساس نتایج به‌دست آمده در ایستگاه تبریز ماه‌های آوریل، اکتبر، فوریه، سپتامبر، جولای و آگوست روند نزولی صعودی داشته (مقادیر بالای خط ۱:۱)

جدول ۲- نتایج آزمون‌های روند ITA و من-کندال اصلاح شده بارندگی ماهانه کل دوره منطقه مورد مطالعه

Table 2. Results ITA and modified Mann-Kendall Trend tests of monthly rainfall for the whole period of the study area

ایستگاه Station	ارومیه Urmia	تبریز Tabriz	تکاب Takab	مراغه Maragheh	سقز Saggez	مهاباد Mahabad
میانگین Average	25.19	20.40	26.28	23.02	36.88	32.56
شیب روند Trend Slope	-0.00618	+0.00376	-0.01480	-0.0287	-0.0322	-0.01922
انحراف معیار شیب Standard deviation Slope	0.95	0.75	0.11	0.001	0.00258	0.0084
حد بالا (Lower CL)	-0.00186	-0.00141	-0.00223	-0.00219	-0.05058	-0.00165
حد پایین (Upper CL)	0.001862	0.00141	0.00223	0.00219	0.05058	0.00165
روند ITA Trend ITA	نزولی Descending	صعودی Ascending	نزولی Descending	نزولی Descending	نزولی Descending	نزولی Descending
من کندال اصلاح شده Modified M-K trend test	-1.333	+0.5409	-1.950	-2.478	-0.76090	-2.0012
Z بحرانی Critical Z	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
روند (MK) (MK) Trend	نزولی Descending	صعودی Ascending	نزولی Descending	نزولی Descending	نزولی Descending	نزولی Descending
Sen's Slope	-0.24300	+0.00011	-0.00886	-0.012	-0.0011	-0.00659



شکل ۵- روند بارندگی در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش ITPA

Fig 5. Rainfall trend in synoptic stations of Urmia Lake basin using ITPA method

ایستگاه تبریز ماه می - ژوئن به ترتیب (۳۸/۰۵) و (۰/۴۲) در ایستگاه تکاب ماه می - ژوئن (۴۱/۰۱) و (۰/۵۹-) در ایستگاه مراغه آوریل - می (۳۴/۲۰) و (۱/۱۰+) در ایستگاه سقز اکتبر - نوامبر (۵۱/۰۶) و (۰/۸۴-) و مهاباد ماه سپتامبر - اکتبر (۴۱/۷۸) و (۱۱/۰۴) مشاهده گردید. مقدار آماری شیب روند جدول (۳) با فاصله خطوط انتقال بارندگی بین ماه‌ها مطابقت دارد. همچنین بیش‌ترین مقدار میانگین بارندگی ماهانه با مقدار (۳۳۷/۸۸) در ایستگاه سقز و کم‌ترین مقدار بارندگی در ایستگاه تبریز (۲۰/۴۰) می‌باشد که با مقادیر به دست آمده از جدول ۳ هم‌خوانی دارد و نشان‌دهنده این است که تغییرات مقدار بارندگی ماهانه سقز از یک ماه به ماه بعدی شدیدتر بوده است.

نتایج حاصل از آزمون پتیت نشان می‌دهد که در ایستگاه تبریز در سطح ۹۵ درصد ($P.V=0.38$) بارندگی ماهانه روند صعودی و معنی‌داری داشته و نقطه شکست یا تغییر ناگهانی در فوریه ۲۰۱۱ رخ داده است. مابقی ایستگاه‌های مورد مطالعه روند نزولی داشته که معنی‌دار نبوده، همچنین نقطه شکست ایستگاه‌های مراغه، مهاباد، سقز و تکاب فوریه ۲۰۱۱ بوده که در ایستگاه‌های مذکور زمان نقاط شکست به هم شبیه بوده است. در ایستگاه ارومیه نقطه شکست در ماه می ۱۹۹۶ می‌باشد. از سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۵ در ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه بارندگی روند صعودی داشته و از سال ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۸ الی ۱۹۹۹ بارندگی روند نزولی داشته که از سال ۱۹۹۸ بارندگی مجدداً روند صعودی داشته، که در بیشتر ایستگاه‌ها نقطه شکست در سال ۱۹۹۸ مشاهده گردید.

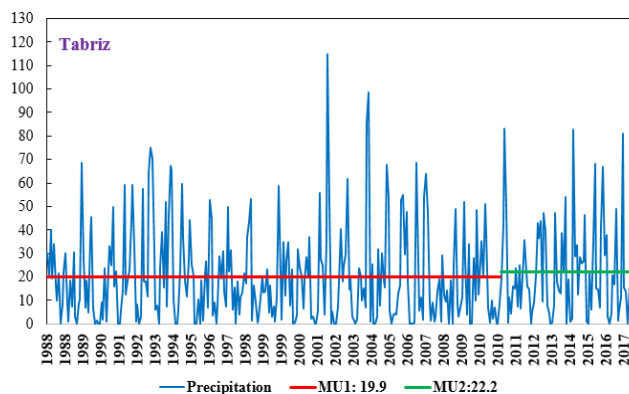
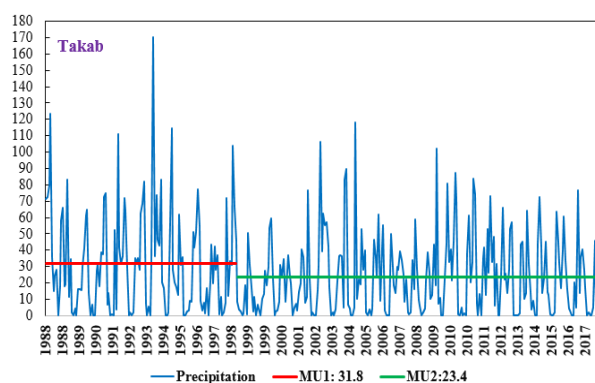
که ماه‌های آوریل با روند (+۰/۶۹) فوریه (+۰/۵۱) بیش‌ترین روند صعودی و ماه مارس با روند (-۰/۳۸) بیش‌ترین روند نزولی را داشته است. همچنین در ایستگاه تبریز ماه‌های نوامبر، می، فوریه، اکتبر، و سپتامبر روند صعودی داشته که ماه می با روند (+۰/۳۷) بیش‌ترین روند صعودی و ماه مارس (-۰/۸۰) بیش‌ترین روند نزولی را داشته است. در شش ایستگاه مورد مطالعه بر اساس آزمون IPTA ماه‌های اکتبر و سپتامبر همواره روند صعودی و ماه‌های مارس، ژانویه و دسامبر روند نزولی و ماه آگوست در همه‌ی ایستگاه‌ها تقریباً نزدیک‌ترین ماه به خط روند (۴۵ درجه) بوده است. از آنجایی که برای هر ایستگاه یک چندضلعی منظم در گرافیک IPTA وجود ندارد، مشاهده می‌شود که داده‌های بارش بر اساس سال‌ها متفاوت است، که این تغییر در برخی ایستگاه‌ها افزایش و در برخی دیگر کاهش می‌یابد. این تغییرپذیری رو به افزایش و کاهش از تغییرات آب و هوایی ناشی می‌شود [۴]. نتایج IPTA می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب در مدیریت خطر سیل در فصول مرطوب، ماه‌هایی با روند افزایش بارندگی و مدیریت خطر خشک‌سالی در فصول خشک ماه‌هایی با روند کاهش بارندگی از یک ماه به ماه دیگری کمک نماید.

اندازه طول روند و شیب روند تنوع بین ماه‌ها را نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده انتقال بین ماه‌ها است که چقدر بین ماه‌ها تغییر وجود دارد. حداکثر مقادیر به عنوان یک انتقال ناگهانی و شدید بین ۲ ماه در نظر گرفته می‌شود. برای ایستگاه ارومیه بیش‌ترین طول روند یا فاصله خط در ماه می - ژوئن (۴۲/۲۹) میلی‌متر با شیب روند (-۱/۱۹)، در

جدول ۳- مقادیر آماری شیب روند (Trend Slope) و طول روند (Trend Length mm) بارندگی ماهانه

Table 3. Statistical values of trend slope and trend of monthly rainfall

Annual	Dec- Jan	Nov- Dec	Oct- Nov	Sep- Oct	Aug- Sep	Jul- Aug	Jun- Jul	May- Jun	Apr- May	Mar- Apr	Feb- Mar	Jan- Feb	ایستگاه Station
188.03	1.20	16.80	19.76	34.86	1.62	5.25	6.45	42.29	19.22	15.21	23.42	1.95	ارومیه Urmia
-	1.187	-1.924	0.142	27.51	0.66	-0.25	-2.59	-1.19	0.222	0.478	3.51	0.561	
161.11	3.44	8.59	9.32	20.84	2.05	3.60	5.84	38.05	15.58	25.93	20.78	7.09	تبریز Tabriz
-	0.373	12.341	-0.12	1.43	2.87	2.13	-0.31	0.42	-0.23	-1.80	-0.75	-4.56	
193.36	3.65	13.32	28.89	27.32	3.08	0.66	5.23	41.01	27.76	12.53	20.34	9.60	تکاب Takab
-	1.623	-3.60	0.78	1.324	-1.90	3.224	0.092	-0.59	-0.47	0.93	-5.31	-0.20	
204.74	5.36	16.42	25.85	23.54	6.04	1.63	5.77	31.34	34.20	21.20	27.15	6.24	مراغه Mragheh
-	0.582	10.21	-0.12	5.20	-0.38	0.69	0.74	0.38	1.10	0.31	53.53	0.052	
236.07	4.80	10.39	51.06	35.63	0.77	3.90	0.48	40.76	42.27	12.82	27.27	10.72	سقز Seggez
-	1.63	1.89	-0.84	-57.4	-0.18	-1.29	2.63	0.10	0.15	0.67	13.15	0.10	
185.69	5.88	13.10	32.95	41.78	2.18	2.29	2.30	4.49	37.91	5.77	27.82	11.52	مهاباد Mahabad
-	1.37	5.92	0.15	11.04	5.83	-0.21	0.26	-1.12	-0.50	0.92	1.18	0.33	



شکل ۷- روند بارندگی بر اساس روش PETIT

Fig 7. Rainfall trend based on PETIT method

بارندگی یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه آب است و غیرقابل پیش‌بینی بودن آن ممکن است به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر کشاورزی، اکوسیستم‌ها و مدیریت منابع آب اثر بگذارد. از سوی دیگر، تغییرات آب‌وهوا در سال‌های اخیر باعث کمبود آب در بسیاری از کشورها شده است. لذا شناسایی تغییرات اقلیمی با استفاده از روش‌هایی که بتواند اطلاعات جامع و صحیحی در اختیار مدیران قرار بدهد حائز اهمیت است. بنابراین، هدف این مطالعه بررسی متقابل روش‌های تحلیل روند گرافیکی کلاسیک و جدید است. برای این منظور بارندگی ماهانه شش ایستگاه سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه با ۳۰ سال داده (۱۹۸۸-۲۰۱۷) انتخاب شد. نتایج آزمون من کندال اصلاح‌شده، شیب سن و ITA نشان داد که فقط ایستگاه تبریز روند مثبت و صعودی داشته که معنی‌دار نبوده و مابقی ایستگاه‌ها روند نزولی داشته‌اند که با نتایج میرزایی حسلو و همکاران [۱۷] مطابقت دارد. هم‌چنین نتایج آزمون پتیت نشان داد که فقط بارندگی ماهانه ایستگاه تبریز صعودی و معنی‌دار بوده و مابقی ایستگاه‌ها روند نزولی و غیر معنی‌داری داشته‌اند و در بیشتر ایستگاه‌ها نقطه شکست بارندگی ماهانه در می ۱۹۹۸ مشاهده گردیده است. رویکرد ITA روندهای طبقه‌بندی را در محدوده داده‌های کم، متوسط و زیاد ارائه می‌کند که روند بارندگی را در دسته‌های مختلف شناسایی می‌کند، که تفاسیر قابل‌اعتمادی را برای مقادیر خشک‌سالی (کم) و سیل (بالا) را برای مدیریت اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت منابع آب در مطالعات آینده ارائه می‌دهد. درحالی‌که سایر روش‌های روند موجود روندهای طبقه‌بندی را ارائه نمی‌کنند، بلکه جزء روند یکنواخت واحد را در سری‌های زمانی ارائه می‌کنند. الگوی IPTA اطلاعات روند بین دو ماه متوالی، شیب و طول آن‌ها، مقادیر در ماه، همگنی‌ها، همسانگردی‌ها و موارد دیگر را ارائه می‌دهد. چنین رویکردی نه تنها به شناسایی روند در یک سری معین کمک می‌کند، بلکه به انتقال روند بین بخش‌های متوالی از دو بخش مساوی از سری زمانی اولیه آب و هواشناسی که منجر به چندضلعی روند می‌شود، کمک می‌کند. که مبنای سازنده‌ای برای تفسیر دقیق‌تر فراهم نموده و، هم‌چنین امکان تفسیر تناوب و رفتار متوالی و هم‌چنین تنوع داخلی زمانی را به‌صورت کمی و کیفی ارائه می‌دهد. مقایسه بین روش نوآورانه گرافیکی و کلاسیک حائز اهمیت است، زیرا در خصوص مبحث تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در سال‌های اخیر روش‌های متعدد در خصوص روند سری‌های هیدرولوژیکی استفاده شده است. بر اساس نتایج ITA روند بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک مهاباد در هر سه طبقه بارندگی روند یکنواخت و نزولی بوده است. اما در سایر ایستگاه‌ها روند بارندگی غیریکنواخت بوده به‌طوری‌که در بیشتر ایستگاه‌ها در طبقه بارشی کم روند خاصی مشاهده نشده و در سایر طبقات روند نزولی یا صعودی بوده، به‌طوری‌که در ایستگاه تبریز در طبقه بارندگی ۶۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر در ابتدا روند صعودی و در انتها روند نزولی داشته است. اما روش‌های کلاسیک نشان می‌دهند که

روند در مجموع بارندگی ماهانه کل دوره مورد مطالعه صعودی یا نزولی بوده و روند را در طبقات مختلف بارندگی نشان نمی‌دهند که با نتایج میرزایی و همکاران [۱۶] مطابقت دارد. که این موضوع توانایی روش ITA را در شناسایی روندهای داخلی و یکنواخت و غیریکنواخت بودن روند بارندگی ماهانه نشان می‌دهد. این موضوع مبین این است که روش نوآورانه گرافیکی روندهای پنهان و جزئی که سایر روش‌های کلاسیک به آن اشاره نمی‌کنند را با بیان جزئیات نشان می‌دهد. زمانی که از یک ماه به ماه دیگر تغییر بارندگی شدید یا کم است، این احتمال وجود دارد که در آینده دوباره این حالت رخ بدهد، لذا استفاده از برنامه‌های مدیریتی و حفاظت از منابع آب در منطقه مورد مطالعه و اطلاع‌رسانی به مردم در مورد مصرف آب از نظر کاهش اثرات تغییرات اقلیمی حائز اهمیت است. نتایج مدل IPTA می‌تواند در مدیریت ریسک سیلاب و خشک‌سالی مورد استفاده قرار بگیرد.

منابع

1. Abdi, A. Hassanzadeh, Y. Talatahari, S. Fakheri-Fard, A. and Mirabbasi, R. 2017. Regional drought frequency analysis using L-moments and adjusted charged system search. *Journal of Hydroinformatics*. 19 (3): 426-442.
2. Achite, M. Ceribasi, G. Ceyhunlu, A. I. Wałęga, A. and Caloiero, T. 2021. The Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) as a Simple Qualitative Method to Detect Changes in Environment—Example Detecting Trends of the Total Monthly Precipitation in Semiarid Area. *Sustainability*. 13(22):12674.
3. Benzater, B. Elouissi, A. Benaricha, B. and Habi, M. 2019. Spatio-temporal trends in daily maximum rainfall in northwestern Algeria (Macta watershed case, Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*. 12(11): 1-18.
4. Ceribasi, G. and Iyad Ceyhunlu, A. 2021. Analysis of total monthly precipitation of Susurluk Basin in Turkey using innovative polygon trend analysis method. *Journal of Water and Climate Change*. 12(5):1532-1543.
5. Delju, A.H. Ceylan, A. Piguet, E. and Rebetez, M. 2013. Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and applied climatology*. 111(1-2): 285-296.
6. Güçlü, Y.S. 2018. Alternative trend analysis: half time series methodology. *Water Resour Manag*. 32(3):2489-2504.
7. Hamed, K.H. and Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data *Journal of Hydrology*. 204(1-4):182-196.
8. IPCC. 2007. IPCC fourth assessment report working group I report "the physical science basis." New York.

18. Pettitt, A.N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Jstor*. 28(2):126–135.
19. Şan, M. Akçay, F. Thi Thuy Linh, N. Kankal, M. and Bao Pham, Q. 2021. Innovative and polygonal trend analyses applications for rainfall data in Vietnam. *Theoretical and Applied Climatology*. 144(3-4):809–822.
20. Sanikhani, H. Kisi, O. Mirabbasi, R. and Meshram, S.G. 2018. Trend analysis of rainfall pattern over the Central India during 1901–2010. *Arabian Journal of Geosciences* .11(15):437
21. Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63(324):1379-1389.
22. Şen, Z. 2012. Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*. 17(9): 1042–1046.
23. Şen, Z. 2014. Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrologic Engineering*. 19(3):635–642.
24. Şen, Z. 2020. Water structures and climate change impact: a review. *Water Resour Manag*. 34(13):4197–4216.
25. Şen, Z. Şişman, E. and Dabanlı, I. 2019. Innovative polygon trend analysis (IPTA) and applications. *Journal of Hydrology*. 575:202–210.
26. Serencam, U. 2019. Innovative trend analysis of total annual rainfall and temperature variability case study: Yesilirmak region, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*. 12(23):704.
27. Thiel, H. 1950. A Rank-invariant Method of LinEAr and Polynomial Regression Analysis, Part 3. *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Academic van Wetenschappen A*. 53:1397-1412.
28. Wang, Y. Xu, Y. Tabari, H. Wang, J. Wwang, Q. Song, S. and HU, Z. 2020. Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall in the Yangtze River Delta, eastern China. *Atmospheric Research* .213(3): 1-14.
9. IPCC. 2013. *Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker TFD, Qin GK, Plattner M, Tignor SK, Allen J, Boschung A, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) Cambridge University press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, 2013.
10. Javan, Kh. 2021. Investigation of hydrological drought trend in the catchment area of Lake Urmia. *Hydrogeomorphology*. 7(25): 117-138. (In Persian).
11. Kendall, MG. 1975. *Rank correlation methods*. Griffin, London.
12. Khan, N. Shahid, S. Ismail, T. Ahmed, K. and Nawaz, N. 2018. Trends in heat wave related indices in Pakistan. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 33(1): 287–302.
13. Khosh Rokh, M. Mir Naseri, M. and pesar kolo, M. 2017. Detection of rainfall trends in the north of the country using my nonparametric test - Kendall. *Water Resources Management Research Center*. 8(16):223-231 (Persian).
14. Mann, HB. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*. 13(3): 245–259.
15. Marofi, S. Khatar, B. Sadeghifar, M. Parsafar, N. and Ildoromi, A.R. 2015. The prediction of drought using the SARIMA time series and index SPI, in the central region of the Hamedan Province, *Journal of Water Research in Agriculture*. 28(1): 213-225. (In Farsi).
16. Mirmoridi, A. Yarahmadi, D. and mirhashemi, H. 2021. An Investigation of spatio-temporal variability of annual rainfall and maximum daily rainfall in western Iran. 53(3):335-349. (In Persian).
17. Mirzayi, A. Abghari, H. and Erfanian, M. 2020. Analysis of Precipitation Trend and Precipitation Concentration Index in Synoptic Stations of Urmia Lake Basin. *Geography and Development*. 18(29):21-40.

Analysis of Monthly Rainfall Trend Using Innovative Graphical and Classical Method in Synoptic Stations of Lake Urmia Basin

A. Mirzaei Hassanlu¹, M. Erfanian² and Kh. Javan³

Received: 04-18 -2022 Accepted: 07-31-2022

Abstract

Rainfall is one of the most important meteorological variables. Trend analysis is one of the most effective methods to observe the impacts of climate change on rainfall. Recently, new graphical methods have been proposed as an alternative to classical trend analysis. Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA), which evolved from innovative trend analysis (ITA), is currently one of the proposed methods and there are no presuppositions in it. The purpose of this study is to compare IPTA and ITA with MMK and PETIT methods. To achieve this goal, the total monthly rainfall trend of six synoptic stations in the Lake Urmia Basin in 1988 to 2017 was examined. Based on the results of MMK test, it was observed that only in Tabriz, the rainfall trend was increasing, which was not significant at the 95% confidence level. In other stations, the rainfall trend was decreasing, which was significant in Maragheh and Mahabad. Also, the results obtained from ITA were consistent with the MMK. This indicates that the ITA method can be used to analyze the trend of meteorological variables. Using the IPTA, the slope of rainfall transfers from one month to the next can be calculated with the amount of trend length, which can not be calculated using classical methods such as MMK.

Keywords: *Modified mann- kendall, Innovative trend analysis, Innovative polygon trend analysis, Lake urmia basin.*

1. Ph.D. Student in Watershed Science and Engineering, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran.

2. Corresponding Author and Associate Professor, Department of Range and Watershed Management. Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran. Email: erfanian.ma@gmail.com.

3. University Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Urmia University, Iran.