



بررسی روند خشکسالی هیدروژئولوژیک در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه

خدیجه جوان*

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۳

چکیده

در سال‌های اخیر، کاهش آب دریاچه ارومیه مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. این دریاچه از سال ۱۹۹۵ با حدود ۸ متر کاهش سطح آب مواجه بوده است. خشکسالی‌ها به عنوان رویدادهای حدی آب و هوایی مخرب، بر محیط طبیعی یک منطقه تأثیر می‌گذارند. تحت سناریوی تغییر اقلیم، شناسایی روند خشکسالی در درجه اول برای مدیریت و استفاده بهینه از منابع آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است. ارزیابی روند خشکسالی توسط شاخص‌های خشکسالی، که شاخص استاندارد بارش (SPI) محبوب‌ترین آن است، راهی منطقی است، زیرا شاخص‌های خشکسالی با توجه به شدت، مدت و فراوانی، ناهنجاری‌های اقلیمی را اندازه‌گیری می‌کنند. در این مطالعه، روند خشکسالی هیدروژئولوژیک در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از سری‌های SPI ۱۲ و ۲۴ ماهه بررسی شد. سری SPI با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۳۲ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) در ۸ ایستگاه منتخب حوضه، تعیین شد. آشکارسازی روند با استفاده از روش تحلیل روند نوآورانه (ITA) و روش من-کندال صورت گرفت و برای شناسایی روندهای معنی‌دار، از آزمون‌های معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ استفاده شد. نتایج آزمون‌های ITA و من-کندال نشان داد که ایستگاه‌های مراغه، سهند، سقز، تکاب و مهاباد دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/۰۵ در سری‌های SPI ۱۲ و ۲۴ ماهه هستند. در ایستگاه‌های ارومیه، تبریز و سراب، آزمون من-کندال هیچ روند معنی‌داری را نشان نداد؛ در حالی که 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. همچنین نتیجه گرفته شد که روش ITA، ابزاری ارزشمند برای استنباط اطلاعات کیفی است. از نتایج این تحقیق می‌توان برای مدیریت منابع آب و درک ویژگی‌های تغییر اقلیم در منطقه استفاده کرد.

کلمات کلیدی: خشکسالی هیدروژئولوژیک، تحلیل روند، تحلیل روند نوآورانه (ITA)، من-کندال، حوضه آبریز دریاچه ارومیه

۱- مقدمه

تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر یکی از موضوعات بسیار مهم بوده است. تعداد زیادی از مطالعات مرتبط با این موضوع، در مقیاس جهانی و منطقه‌ای انجام شده است (IPCC^۱، ۲۰۱۳). بسیاری از این مطالعات بر تغییر در میانگین متمرکز شده‌اند (وانگ و همکاران^۲، ۲۰۱۳؛ ۴۰۱). اخیراً، وقایع و رویدادهای حدی اقلیمی، مانند طوفان، امواج گرمایی، خشکسالی و سیل در جهان گزارش شده است (حبیب و همکاران^۳، ۲۰۱۵؛ ۱۶۵۱). این رویدادهای حدی به احتمال زیاد تأثیرات مخربی بر اکوسیستم، جامعه و اقتصاد به همراه خواهند داشت (هالگیت و همکاران^۴، ۲۰۱۳؛ ۸۰۲؛ ترنبرث و همکاران^۵، ۲۰۱۵؛ ۷۲۵). بنابراین، نگرانی در مورد تغییرات در وقایع حدی به شدت در حال افزایش است (جانگ و همکاران^۶، ۲۰۱۷؛ ۸۰۹). در این میان، خشکسالی‌ها به دلیل تأثیر مستقیم بر توسعه اقتصادی-اجتماعی و تخریب محیط زیست نقش برجسته‌تری دارند. بنابراین، درک خشکسالی برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی مهم است (ییلماز^۷، ۲۰۱۹؛ ۳۳۲۵). پدیده‌ی خشکسالی مختص ناحیه‌ای خاص نبوده و مناطق مختلف جهان از آن متأثر می‌باشد (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ ۱۸۱).

تاکنون شاخص‌های مختلفی به منظور پایش خشکسالی ارائه شده‌اند. سازمان جهانی هواشناسی (WMO^۸) و مشارکت جهانی آب (GWP^۹) گزارشی از شاخص‌های خشکسالی برای پژوهشگران حوزه‌های مختلف مانند هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و ... منتشر کرده‌اند (WMO و GWP، ۲۰۱۶). بدون شک شناخته‌شده‌ترین شاخص خشکسالی، شاخص SPI است که توسط مک‌کی و همکاران^{۱۰} در سال ۱۹۹۳ پیشنهاد شده و WMO، این شاخص را به عنوان شاخص اصلی خشکسالی هواشناسی برای نظارت بر پایش خشکسالی توصیه کرده است. این شاخص در کشورهای مختلف به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (ماناتسا و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۰؛ پاتل و یاداو^{۱۲}، ۲۰۱۵؛ سادا و ابورومن^{۱۳}، ۲۰۱۷؛ ترابی‌پوده و همکاران، ۱۳۹۷).

از طرف دیگر، بررسی تغییرات ویژگی‌های خشکسالی، در شناسایی و درک تأثیر تغییرات آب و هوا بر چرخه هیدرولوژیکی بسیار مهم است. برای این منظور، تحلیل روند SPI، که اطلاعات علمی را برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بهتر پدیده‌ی مورد نظر ارائه می‌دهد، بسیار مهم است (گلیان و همکاران، ۲۰۱۵؛ ۶۷۹). تاکنون پژوهشگران زیادی به بررسی روند تغییرات SPI در مناطق مختلف جهان پرداخته‌اند (پائولو و همکاران^{۱۴}، ۲۰۱۲؛

1- Intergovernmental Panel on Climate Change
 2- Wang et al.
 3- Habeeb et al.
 4- Hallegatte et al.
 5- Trenberth et al.
 6- Jung et al.
 7- Yilmaz

8- World Meteorological Organization
 9- Global Water Partnership
 10- McKee et al.
 11- Manatsa et al.
 12- Patel and Yadav
 13- Saada and Abu-Romman
 14- Paulo et al.

باجانلی^۱، ۲۰۱۷؛ خان و همکاران^۲، ۲۰۱۸). در ایران ابرقویی و همکاران (۲۰۱۱) روند تغییرات SPI را با استفاده از آزمون من-کندال در سراسر ایران بررسی و مطالعه کردند. طبری و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن به بررسی روند خشکسالی‌های هواشناسی در نیمه‌ی شرقی ایران پرداختند. مرادی دشت‌پاگردی و همکاران (۲۰۱۵) روند تغییرات شاخص خشکسالی‌های هواشناسی SPI را در مناطق خشک و نیمه خشک مرکزی و شرقی ایران با استفاده از آزمون من-کندال مطالعه کردند. گلیان و همکاران (۲۰۱۵) به مطالعه‌ی روند خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی در ایران با استفاده از آزمون من-کندال پرداختند. ابطحی و همکاران (۱۳۹۳) روند خشکسالی در حوضه دریاچه نمک را با استفاده از آزمون پارامتری رگرسیون خطی و آزمون ناپارامتری من-کندال بررسی کردند. کوثری و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی روند خشکسالی‌های بلندمدت در مناطق خشک، نیمه خشک و فراخشک جهان با استفاده از آزمون من-کندال پرداختند. بذرافشان و همکاران (۱۳۹۵) به پایش خشکسالی سواحل جنوبی ایران با استفاده از SPI و SPEI و تحلیل روند آنها با آزمون‌های من-کندال و من-کندال اصلاح شده پرداختند. مجیدی و همکاران (۱۳۹۷) روند خشکسالی هواشناسی استان همدان را با استفاده از آزمون‌های من-کندال و سن مطالعه کردند.

مروری بر تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که تحلیل روند خشکسالی عمدتاً با استفاده از آزمون‌های پارامتری مانند رگرسیون خطی و آزمون‌های ناپارامتری مانند من-کندال، اسپیرمن، برآوردگر شیب سن و من-کندال اصلاح شده صورت گرفته است. موهرجی و همکاران^۳ (۲۰۱۷) با بررسی روش‌های تحلیل روند نتیجه‌گیری کردند که این روش‌ها نیاز به اعتبارسنجی فرض‌هایی مانند ساختار همبستگی سریالی، توابع توزیع احتمال و روند فصلی دارند. با این حال تقریباً تمام داده‌های هیدروکلیمایی حداقل در بازه‌های کوتاه‌مدت، همبستگی سریالی دارند؛ بنابراین مدیریت کارآمد، مؤثر و بهینه‌ی سیستم‌های زمینی نه تنها به شناسایی روندهای یکنواخت داده‌ها، بلکه به بررسی روندهای جداگانه مقادیر پایین، متوسط و زیاد نیز نیاز دارند (شن^۴، ۲۰۱۲: ۱۰۴۲؛ شن، ۲۰۱۷: ۹۳۹). به همین دلیل شن (۲۰۱۲) روش تحلیل روند نوآورانه (ITA^۵) را پیشنهاد کرد که نیاز به هیچ فرضی ندارد و بر اساس مقایسه‌ی دو نیمه‌ی صعودی مرتب شده، به تحلیل روند سری‌ها می‌پردازد. این روش کاربرد زیادی در تحقیقات هیدروکلیمایی پیدا کرد و مورد استفاده‌ی محققان قرار گرفت.

شن (۲۰۱۴) از روش ITA برای شناسایی روند داده‌های دما در منطقه‌ی مرمره در ترکیه استفاده کرد. آی و کیسی^۶ (۲۰۱۵) از آزمون من-کندال و ITA برای بررسی روند بارش ماهانه‌ی شش استان مختلف در ترکیه

1- Bacanlı
2- Khan et al.
3- Mohorzi et al.

4- Şen
5- Innovative Trend Analysis
6- Ay and Kisi

استفاده کردند. دابانلی و همکاران^۱ (۲۰۱۶) به بررسی روند متغیرهای دما، بارش، رطوبت نسبی و رواناب در حوضه‌ی ارگن^۲ در شمال-غرب ترکیه با استفاده از آزمون من-کندال و روش ITA پرداختند. نتایج نشان داد که روش نوآورانه، روند مقادیر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد را نشان می‌دهد. روند مقادیر بسیار زیاد در مطالعات سیل و روند مقادیر بسیار کم در مطالعات خشکسالی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. از توپال و شن^۳ (۲۰۱۷) به بررسی روند جزئی سری‌های زمانی بارش در ترکیه با استفاده از روش ITA پرداختند. نورانی و همکاران (۲۰۱۸) برای بررسی روند ماهانه، فصلی و سالانه میزان بارندگی، جریان، دما و رطوبت در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه از دو روش ترکیبی موجک و من-کندال و روش شن استفاده کردند. کالویرو^۴ (۲۰۱۸) به شناسایی دوره‌های خشک و مرطوب در نیوزیلند با استفاده از شاخص SPI و تحلیل روند آنها با استفاده از روش ITA پرداخت. ییلماز (۲۰۱۹) به تحلیل روند خشکسالی هیدرولوژیکی در منطقه جنوب‌شرق ترکیه با استفاده از SPI ۱۲ و ۲۴ ماهه پرداخت. او از روش گرافیکی ITA برای شناسایی روندهای مقادیر کم، متوسط و زیاد سری‌های زمانی استفاده کرد. مالیک و همکاران^۵ (۲۰۲۰) در بررسی روند خشکسالی در هند به این نتیجه رسیدند که روش ITA قادر به تشخیص زیاد سری‌های معنی‌دار نسبت به روش من-کندال می‌باشد.

در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه، ارزیابی تأثیرات تغییرات آب و هوایی (به عنوان مثال سیل و خشکسالی) بر منابع آب بسیار مهم است. بدین منظور، تحلیل روند، که اطلاعات علمی را برای مدل‌سازی بهتر، پیش‌بینی دقیق‌تر و مکانیسم کنترل بهتر پدیده‌های مورد نظر فراهم می‌کند، حائز اهمیت است. این مطالعه با هدف شناسایی مناطق مستعد خشکسالی در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه از طریق استفاده از سری‌های زمانی SPI به دست آمده برای مقیاس‌های زمانی مختلف و با استفاده از روش تحلیل روند نوآورانه شن (ITA)، امکان شناسایی روندهای کم، متوسط و زیاد را فراهم می‌کند. بدین منظور ابتدا مقادیر SPI در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه بر اساس داده‌های بارش ۳۲ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۷) در ۸ ایستگاه سینوپتیک در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه محاسبه شده و سپس روند سری‌های SPI با استفاده از روش ITA مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت نتایج این روش با نتایج آزمون من-کندال مقایسه شد.

۲- مواد و روش

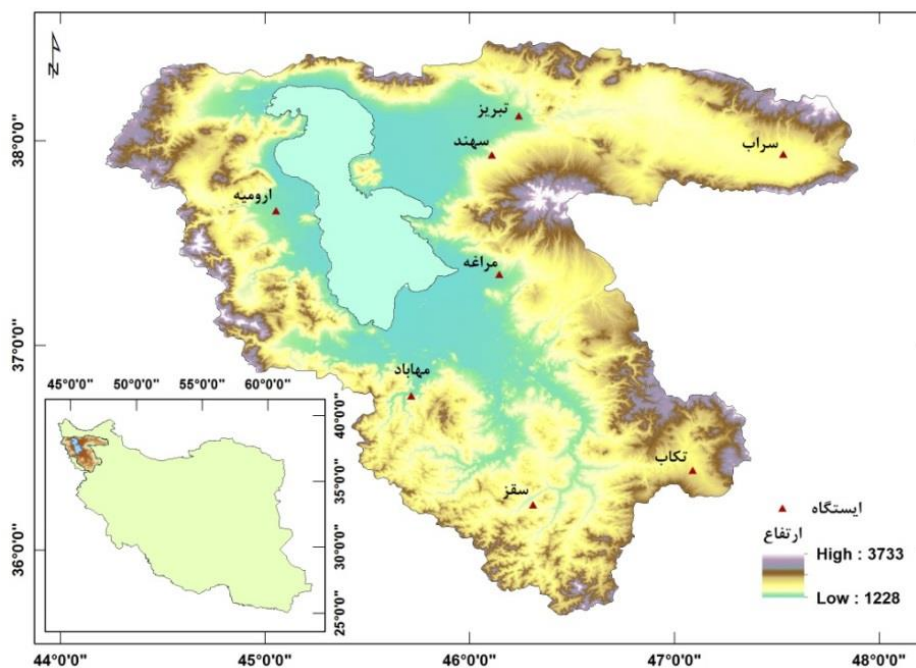
۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌ها

حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه با وسعت حدود ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع 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

1- Dabanlı et al.
2- Ergene Basin
3- Öztopal and Şen

4- Caloiero
5- Malik et al.

شمال غربی ایران قرار گرفته است (شکل ۱). 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) به طور میانگین ۹/۲ درصد کاهش یافته و متوسط دمای حداکثر حدود ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (دلجو، ۲۰۱۳: ۲۸۵). یکی از معضلات مهم این منطقه کاهش تراز آب دریاچه‌ی ارومیه به‌طور پیاپی در سال‌های اخیر است که به‌نظر می‌رسد علاوه بر ساخت سدهای متعدد و گسترش باغات و کشاورزی، تغییر اقلیم نیز در آن مؤثر است (ضرغامی، ۲۰۱۱: ۸۷؛ خزایی و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۰۵). از این‌رو، بررسی تغییرات اقلیمی و لزوم آشکارسازی رخداد پدیده‌های حدی مانند خشکسالی به ویژه در محدوده‌ی مورد نظر که به یک بحران محیطی تبدیل شده (آقاچوکچ و همکاران، ۲۰۱۵: ۳۰۷)، ضرورت پیدا نموده است.



شکل (۱): موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه
Fig (1): The study area

در این مطالعه، داده‌های بارش ماهانه ۸ ایستگاه سینوپتیک حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه برای دوره‌ی آماری ۲۰۱۷-۱۹۸۶ مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۱ مشخصات جغرافیایی، ارتفاع و میانگین بارندگی سالانه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های منتخب در منطقه‌ی مورد مطالعه
Table (1): Characteristics of selected stations in the study area

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع (m)	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	میانگین بارش (mm)
۱	ارومیه	۱۳۱۵/۹	۳۷ ۳۲	۴۵ ۰۵	۳۰۹/۳
۲	تبریز	۱۳۶۱	۳۸ ۰۵	۴۶ ۱۷	۲۵۰/۱
۳	تکاب	۱۷۶۵	۳۶ ۲۳	۴۷ ۰۷	۳۲۹/۴
۴	سراب	۱۶۸۲	۳۷ ۵۶	۴۷ ۳۲	۲۳۹/۳
۵	سقز	۱۵۲۲/۸	۳۶ ۱۵	۴۶ ۱۶	۴۴۹/۱
۶	سهند	۱۶۴۱	۳۷ ۵۶	۴۶ ۰۷	۲۲۹/۸
۷	مراغه	۱۴۷۷/۷	۳۷ ۲۴	۴۶ ۱۶	۲۸۷
۸	مهاباد	۱۳۸۵	۳۶ ۴۶	۴۵ ۴۳	۳۹۳/۳

۲-۲- روش‌ها

شاخص بارش استاندارد (SPI)

از بین شاخص‌های کمی در تحلیل خشکسالی، شاخص SPI به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای دوره‌های متفاوت زمانی و همچنین مقیاس‌های مکانی مختلف، به عنوان شاخص مناسب برای تحلیل خشکسالی مقبولیت جهانی یافته است. این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص، بارندگی است (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳: ۱۸۱). این شاخص معمولاً در مقیاس‌های زمانی مشخصی محاسبه می‌شود.

شاخص SPI قابلیت انعکاس تأثیر خشکسالی بر منابع آب را دارد. جریان رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی نشان‌دهنده ناهنجاری‌های بلندمدت بارش است، در حالی که شرایط رطوبت خاک به ناهنجاری‌های کوتاه‌مدت بارش بستگی دارد (تساکری و ونگلیس^۱، ۲۰۰۴: ۴). در یک طبقه‌بندی کلی می‌توان از SPI ۱ تا ۳ ماهه برای خشکسالی هواشناسی، SPI ۳ تا ۶ ماهه برای خشکسالی کشاورزی و SPI ۱۲ تا ۲۴ ماهه برای تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی استفاده کرد (بوناکروس و همکاران^۲، ۲۰۰۳: ۲۷۶). در این تحقیق از مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده شده است. برای تعیین درجه خشکسالی با استفاده از این شاخص جدول (۲) استفاده می‌شود.

1- Tsakiris & Vangelis

2- Bonaccorso

جدول (۲): طبقات خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص SPI (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۵)

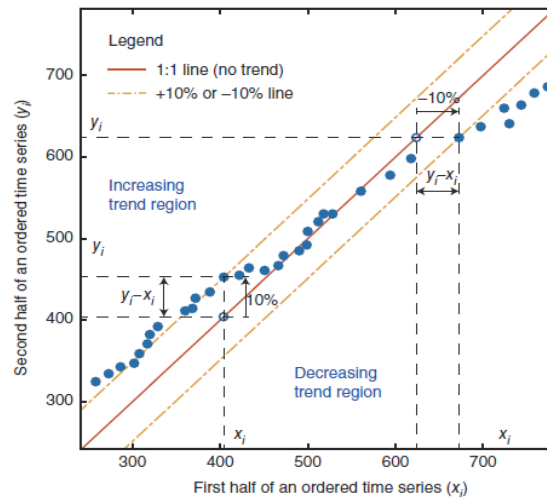
Table (2): Drought classifications based on SPI

مقادیر SPI	طبقات خشکسالی
۲ و بالاتر	ترسالی خیلی شدید
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱/۰۰ تا ۱/۴۹	ترسالی ملایم
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
-۱/۰۰ تا -۱/۴۹	خشکسالی ملایم
-۱/۵۰ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۲/۰۰ و پایین‌تر	خشکسالی خیلی شدید

۳-۲- روش تحلیل روند نوآورانه (ITA)

این روش اولین بار توسط شن (۲۰۱۲) ارائه شد. بزرگ‌ترین مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های تعیین روند مانند من-کندال این است که نیاز به هیچ‌گونه پیش‌فرضی (مانند همبستگی سریالی، غیرنرمال بودن توزیع، تعداد داده‌ها و ...) ندارد. در این شاخص سری‌های زمانی به دو قسمت مساوی تقسیم شده و هر کدام از زیرسری‌ها به صورت صعودی مرتب می‌شوند. سپس، زیرسری اول (x_i) در محور افقی و زیرسری دوم (y_i) در محور عمودی قرار داده می‌شود (شکل ۲). اگر داده‌های دو زیرسری یکسان باشد نشان‌دهنده عدم وجود روند در سری زمانی می‌باشد، در این صورت نقاط بر روی خط بهترین برازش ۱:۱ (45°) قرار می‌گیرند. اگر نقاط در بالای خط ۱:۱ قرار گیرند می‌توان گفت سری زمانی، روند افزایشی را نشان می‌دهد و اگر نقاط در پایین خط ۱:۱ قرار گیرند می‌توان نتیجه گرفت که سری زمانی دارای روند کاهشی می‌باشد (شن، ۲۰۱۴: ۶۳۷). علاوه بر این، مقادیر کم، متوسط و زیاد پارامترها را می‌توان به صورت گرافیکی با این روش ارزیابی کرد (دابانی و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۱۹۵؛ ازتوپال و شن، ۲۰۱۷: ۷۳۰).

آزمون معنی‌داری آماری روش ITA نیز توسط شن (۲۰۱۷) پیشنهاد شده است. این آزمون بر اساس ایجاد فواصل اطمینان و با در نظر گرفتن تفاوت بین دو میانگین سری داده‌ها انجام می‌شود. مراحل این روش در روابط ۱-۴ آورده شده است: در این روابط، \bar{y}_1 : میانگین سری اول، \bar{y}_2 : میانگین سری دوم، n : تعداد کل داده‌ها، s : مقدار شیب روند، ρ : همبستگی بین سری اول و دوم داده‌ها، σ : انحراف معیار کل داده‌ها، σ_s : انحراف معیار شیب روند، S_{crit} : مقدار Z بحرانی در فرضیه‌ی یک‌دامنه در سطح اطمینان ۹۵٪ ($\alpha = 0.05$) و CL : حدود اطمینان می‌باشد.



شکل (۲): توضیح روش ITA (شن، ۲۰۱۴)
Fig (2): ITA method

$$s = \frac{2(\bar{y}_2 - \bar{y}_1)}{n} \quad (1)$$

$$\rho_{\bar{y}_2 \bar{y}_1} = \frac{(\bar{y}_2 \bar{y}_1) - \bar{y}_2 - \bar{y}_1}{\sigma_{\bar{y}_2} \sigma_{\bar{y}_1}} \quad (2)$$

$$\sigma_s = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \sigma \sqrt{1 - \rho_{\bar{y}_1 \bar{y}_2}} \quad (3)$$

$$CL_{(1-\alpha)} = 0 \pm s_{cri} \sigma \quad (4)$$

حدود اطمینان بالا و پایین که در رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود برای آزمون فرضیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرض صفر این آزمون بر عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک، دال بر وجود روند می‌باشد. اگر مقدار شیب (s) بین حدود اطمینان بالا و پایین قرار گیرد، فرضیه‌ی صفر (H_0) تأیید می‌شود؛ در غیر این صورت، فرضیه تحقیق (H_1) پذیرفته می‌شود. نوع روند به علامت شیب بستگی دارد. مقدار شیب می‌تواند مثبت یا منفی باشد؛ این بدان معنی است که روند افزایشی (+) یا کاهش (-) در سری‌های زمانی وجود دارد (شن، ۲۰۱۷: ۸؛ ییلماز، ۲۰۱۹: ۳۳۳۲).

۲-۴- آزمون من-کندال (MK)

آزمون ناپارامتری من-کندال یکی از پرکاربردترین روش‌های آشکارسازی روند سری‌های زمانی است. از مزایای روش‌های ناپارامتری این است که وجود داده‌های پرت، نتیجه روند را کمتر از روش‌های پارامتری تحت تأثیر

قرار می‌دهد. افزون بر این، برای داده‌هایی مناسب‌تر است که طول آنها کم و توزیع آماری آنها نرمال نیست و یا داده‌های مفقوده داشته باشند (پارتال و کایا، ۲۰۰۶: ۲۰۱۴). مراحل محاسبه‌ی این آزمون به شرح زیر است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (5)$$

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

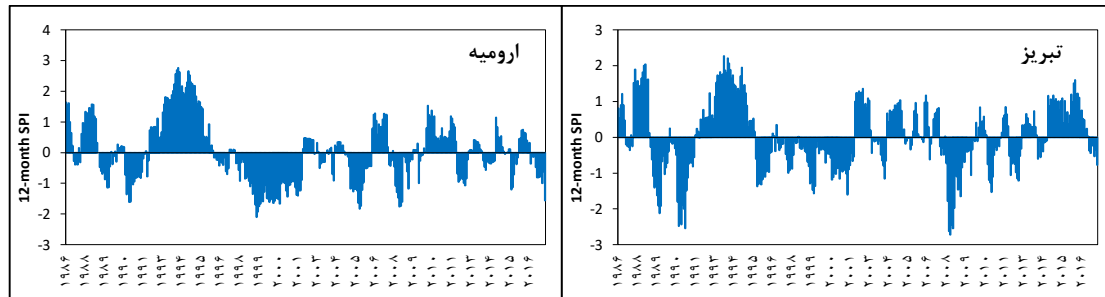
$$\text{Var}(s) = \left\{ [n(n-1)(2n+5)] - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right\} / 18 \quad (7)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

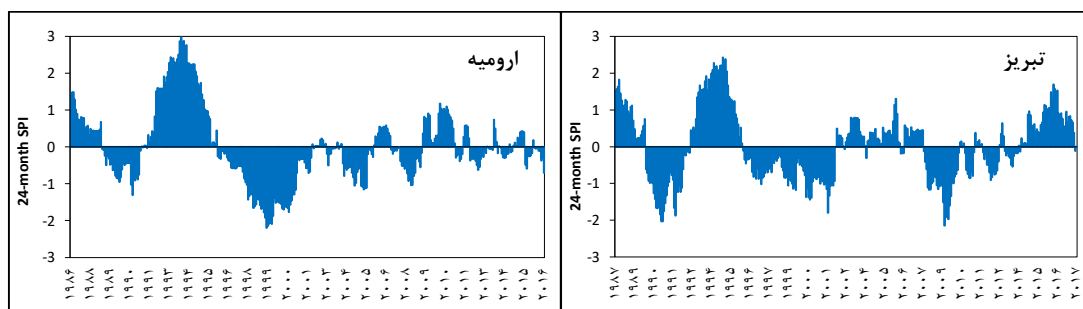
که در آن‌ها S آماره آزمون، sign تابع علامت، n تعداد داده‌های سری، X_j و X_k به ترتیب داده‌های زام و kام، $\text{Var}(s)$ واریانس آماره، m تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد، t_i فراوانی داده‌های با ارزش یکسان و Z مقدار نرمال شده آماره است. مقادیر مثبت و منفی Z به ترتیب نشانگر صعودی و نزولی بودن روند سری است. در این آزمون سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر قدر مطلق Z، بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد در سطح اطمینان ۹۵٪ و اگر بزرگ‌تر از ۲/۵۸ باشد، روند در سطح ۹۹٪ معنادار است (طبری و طلائی، ۲۰۱۱: ۳۱۶؛ عزیززاده و جوان، ۲۰۱۵: ۴).

۳- یافته‌ها و بحث

سری‌های زمانی مقادیر شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه به عنوان نمونه در دو ایستگاه ارومیه و تبریز در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. مشاهده می‌گردد که ایستگاه‌های مذکور طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۷ طولانی‌ترین دوره‌ی ترسالی و طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ طولانی‌ترین دوره‌ی خشکسالی را تجربه کرده‌اند. شدیدترین خشکسالی ۱۲ ماهه در تبریز در سال ۲۰۰۸ و در ارومیه در سال ۱۹۹۹ رخ داده است (شکل ۳). شدیدترین خشکسالی ۲۴ ماهه در تبریز در سال ۲۰۰۹ و در ارومیه در سال ۲۰۰۰ رخ داده است (شکل ۴). این نتایج با نتایج مطالعات منتصری و همکاران، ۱۳۹۵ و داورپناه و همکاران، ۲۰۲۱ مطابقت دارد.

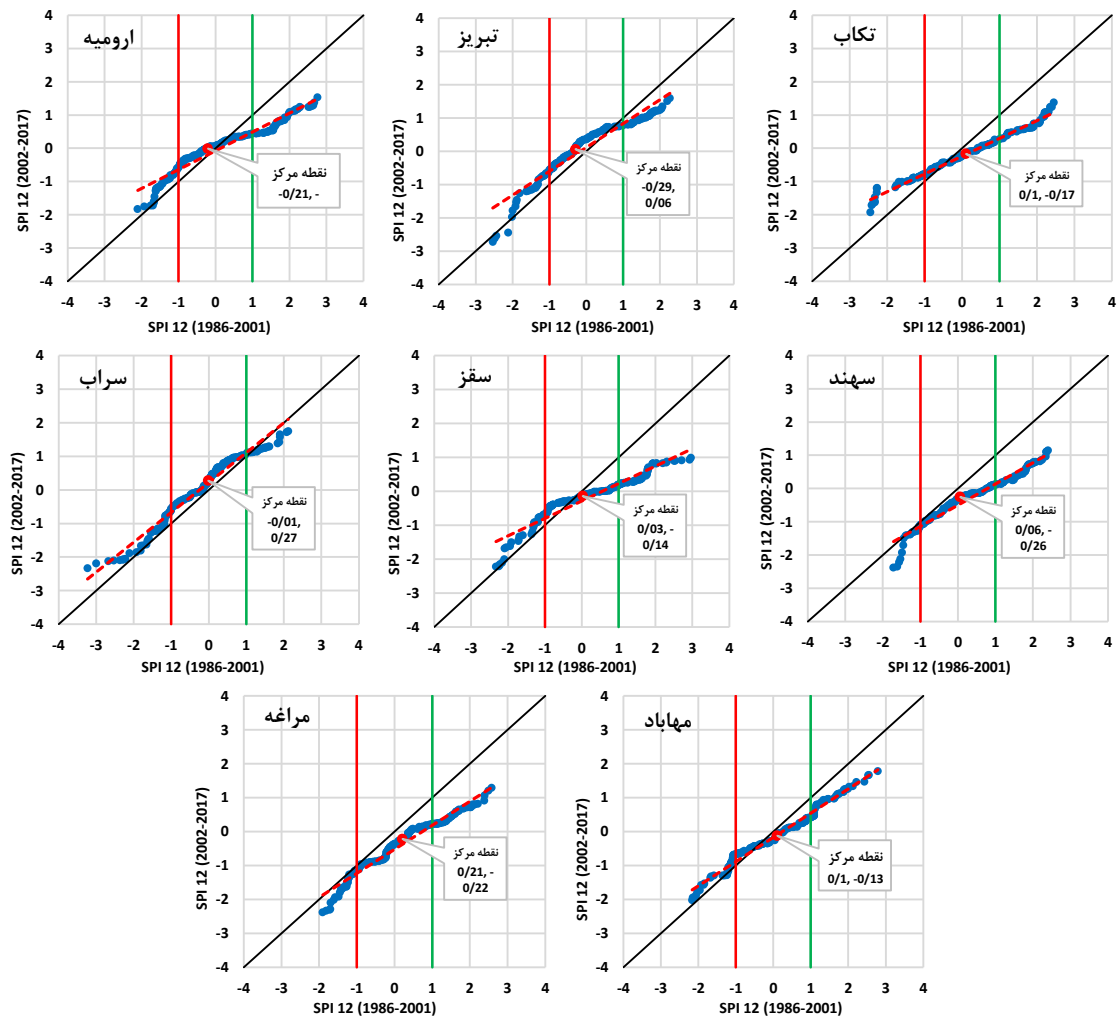


شکل (۳): سری زمانی SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در دو ایستگاه نمونه ارومیه و تبریز
Fig. (3): Time series of 12-month SPI in two stations of Urmia and Tabriz

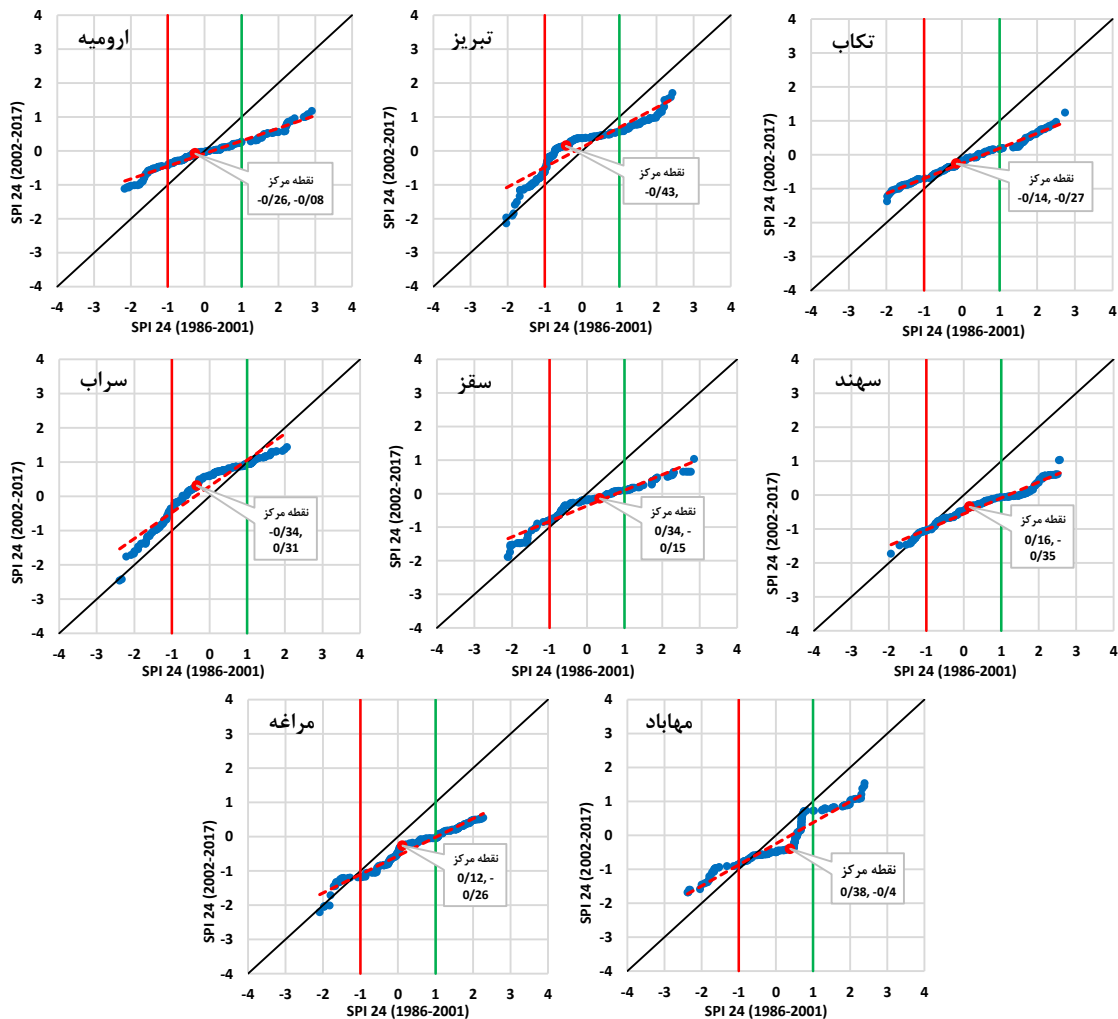


شکل (۴): سری زمانی SPI در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه در دو ایستگاه نمونه ارومیه و تبریز
Fig. (4): Time series of 24-month SPI in two stations of Urmia and Tabriz

با هدف شناسایی روند خشکسالی در ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه، از روش ITA برای سری‌های SPI در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده شد. تمام سری‌های SPI به دو زیرسری ۱۶ ساله تقسیم می‌شوند: از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۱ و از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷. به منظور شناسایی آسان‌تر و بهتر روند احتمالی شرایط خشکسالی، نرمال و ترسالی، دو خط عمودی به نمودارها اضافه شده است (شکل ۵ و ۶). خط قرمز بیانگر محدوده خشکسالی ($SPI = -1$) و خط سبز نشان‌دهنده محدوده شرایط ترسالی ($SPI = 1$) و ناحیه بین دو خط بیانگر شرایط نرمال می‌باشد. در شکل‌ها، خط ۱:۱ خط خنثی (بدون روند) را نشان می‌دهد و در صورت عدم روند، نقطه مرکز (نقطه ثقل) بر روی خط ۱:۱ می‌افتد.



شکل (۵): روند ۱۲ SPI ماهه در ایستگاه‌های حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از روش ITA
Fig. (5): 12-Month SPI trends at Lake Urmia basin stations by ITA method



شکل (۶): روند ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش ITA
 Fig. (6): 24-Month SPI trends at Lake Urmia basin stations by ITA method

۳-۱- ارزیابی روند خشکسالی ۱۲ ماهه

نتایج تحلیل روند مقادیر خشکسالی ۱۲ ماهه با روش ITA در ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه در شکل ۵ آورده شده است. در جدول ۴ نیز تمام محاسبات ضروری آزمون معنی‌داری روند روش‌های ITA و من-کندال ارائه شده است. بر اساس شکل ۵، دوره‌های خشکسالی ($SPI \leq -1$) و نرمال در ایستگاه‌های ارومیه، سقز و مهاباد روند افزایشی را نشان می‌دهند، اما مقادیر شاخص برای شرایط مرطوب ($SPI + 1 \geq$) روند کاهش را دنبال می‌کنند. بر این اساس، دوره‌های مرطوب ضعیف‌تری در این ایستگاه‌ها اثبات می‌شود. در تبریز روند افزایشی در

دوره‌های خشکسالی ضعیف و شرایط نرمال مشاهده می‌شود. در حالی که روند کاهشی در خشکسالی‌های شدید قابل مشاهده است. در این ایستگاه روند کاهشی ضعیفی نیز در دوره‌های مرطوب دیده می‌شود. در ایستگاه تکاب، روند افزایش شدید در کمترین مقادیر SPI (خشکسالی شدید) چشمگیر است، درحالی‌که دوره‌های مرطوب روند کاهشی شدیدی را نشان می‌دهد.

در ایستگاه سراب روند افزایشی ملایمی دیده می‌شود. به‌خصوص، در کمترین مقادیر SPI روند افزایشی وجود دارد و این نشان می‌دهد که سراب در دوره ۲۰۱۷-۲۰۲۰ نسبت به دوره‌ی ۲۰۰۱-۱۹۸۶ خشکسالی کمتری تجربه کرده است. کاهش ملایم شرایط مرطوب نیز در این ایستگاه چشمگیر است. در ایستگاه‌های سهند و مراغه، روند کاهشی در تمام مقادیر SPI وجود داشته است که منجر به خشکسالی شدیدتر و دوره‌های مرطوب ضعیف‌تری می‌شود. روش ITA، که مبتنی بر تحلیل گرافیکی روند سری‌های زمانی می‌باشد، امکان تجزیه و تحلیل کیفی روند را برای شرایط خشکسالی، نرمال و ترسالی برای تمام ایستگاه‌های حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه امکان‌پذیر می‌سازد.

تحلیل معنی‌داری آماری روش‌های ITA و من-کندال در جدول ۳ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سری‌های زمانی SPI ۱۲ ماهه و بر اساس روش ITA، تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه روند معنی‌داری را نشان می‌دهند که این روند در ایستگاه‌های تبریز و سراب، افزایشی و در سایر ایستگاه‌ها کاهشی می‌باشد. در حالی که روش من-کندال در ایستگاه‌های ارومیه، تبریز و سراب فاقد روند معنی‌دار بود و در سایر ایستگاه‌ها، روند معنی‌دار کاهشی را نشان داد.

۳-۲- ارزیابی روند خشکسالی ۲۴ ماهه

در تحلیل روند مقادیر SPI ۲۴ ماهه با روش ITA، تقریباً همان نتایج به‌دست آمد. با این حال، لازم به ذکر است که افزایش شیب روند برای همه‌ی ایستگاه‌ها وجود دارد (شکل ۶). به عبارت دیگر، هنگامی که روند خشکسالی با یک مقیاس زمانی طولانی (به‌عنوان مثال ۲۴ ماه) تجزیه و تحلیل می‌شود، مقدار پایین SPI در اکثر ایستگاه‌های حوضه، به استثنای تبریز و سراب، روند کاهشی معنی‌دارتری نسبت به مقادیر ۱۲ ماه دنبال می‌کند. نکته مهم دیگر این است که افزایش معنی‌داری در شرایط مرطوب در ایستگاه‌های حوضه وجود ندارد.

بر اساس شکل ۶ روند افزایشی دوره‌های خشکسالی شدید در ایستگاه‌های ارومیه، تکاب و سقز بسیار بارزتر از روند سری‌های ۱۲ ماهه است. این موضوع در مورد روند کاهشی دوره‌های مرطوب و نرمال نیز صادق است. در تبریز روند افزایشی در دوره‌های خشکسالی و شرایط نرمال مشاهده می‌شود. در این ایستگاه روند کاهشی در دوره‌های مرطوب نیز شدیدتر شده است. در ایستگاه‌های سراب و سقز همان روند سری ۱۲ ماهه با کمی افزایش

شیب دیده می‌شود. برای مراغه و سهند، اگرچه روند کاهشی برای دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس ارزیابی SPI ۱۲ ماهه وجود دارد، اما نتایج ITA برای SPI ۲۴ ماهه، علاوه بر روند کاهشی شدید در شرایط مرطوب و نرمال، روند افزایشی جزئی نیز در شرایط خشکسالی نشان می‌دهد.

جدول (۳): نتایج آزمون‌های روند ITA و من-کندال برای SPI ۱۲ ماهه
Table (3): Results of ITA and MK trend tests for 12-month SPI

پارامترها	ارومیه	تبریز	تکاب	سراب	سقز	سهند	مراغه	مهاباد
میانگین (y)	۰/۰۰۳۲۲	۰/۰۰۶۰۳	۰/۰۰۳۵۲	۰/۰۰۸۷۹	۰/۰۰۱۸۵	۰/۰۰۰۴۰	۰/۰۰۵۴۵	۰/۰۰۴۷۵
شیب (s)	-۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۷۲	-۰/۰۰۰۱۶۷	۰/۰۰۰۱۲۲	-۰/۰۰۰۲۰۳	-۰/۰۰۰۳۳	-۰/۰۰۰۳۳	-۰/۰۰۰۱۱
انحراف معیار (σ)	۰/۹۹۹۳۱	۰/۹۷۷۱۸	۰/۹۹۹۹۹۶	۰/۹۹۰۸۱	۱/۰۰۰۱۸	۱/۰۰۰۲۳۶	۰/۹۹۵۹۲	۰/۹۹۸۱۵
همبستگی (ρ)	۰/۹۶۳۷۳	۰/۹۵۷۸۲	۰/۹۹۳۹۰	۰/۹۸۲۵۷	۰/۹۵۳۳۳	۰/۹۷۸۴۴	۰/۹۷۹۹۱	۰/۹۹۱۲۳
انحراف معیار شیب (σ_s)	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۳
حد پایین (Lower CL)	-۰/۰۰۰۱۲	-۰/۰۰۰۱۳	-۰/۰۰۰۰۵	-۰/۰۰۰۰۸	-۰/۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۰۹	-۰/۰۰۰۰۹	-۰/۰۰۰۰۶
حد بالا (Upper CL)	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۶
فرضیه (H_1 یا H_0)	H_1	H_1	H_1	H_1	H_1	H_1	H_1	H_1
نوع روند (ITA)	کاهشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی	کاهشی	کاهشی	کاهشی	کاهشی
Z محاسبه شده	-۱/۸۶	۰/۷۴	-۶/۷۱	۰/۰۷	-۵/۶۶	-۷/۰۹	-۸/۷۲	-۴/۹۳
Z بحرانی	$\pm 1/96$	$\pm 1/96$	$\pm 1/96$	$\pm 1/96$	$\pm 1/96$	$\pm 1/96$	$\pm 1/96$	$\pm 1/96$
فرضیه (H_1 یا H_0)	H_0	H_0	H_1	H_0	H_1	H_0	H_1	H_1
نوع روند (MK)	بدون روند	بدون روند	کاهشی	بدون روند	کاهشی	کاهشی	کاهشی	کاهشی

در جدول ۴، خلاصه کلی نتایج آزمون ITA و من-کندال آورده شده است. مشابه نتایج SPI ۱۲ ماهه و بر اساس هر دو روش، ایستگاه‌های تکاب، سقز، سهند، مراغه و مهاباد روند کاهشی معنی‌داری را نشان می‌دهند و تنها تفاوت در میزان شیب بیشتر ITA و مقادیر بالاتر Z من-کندال در این ایستگاه‌ها می‌باشد. در حالی که در ایستگاه‌های ارومیه، تبریز و سراب، هیچ تطابقی بین دو روش وجود ندارد؛ زیرا برای مقادیر SPI ۲۴ ماهه، روش من-کندال سری‌های بدون روند را نشان می‌دهد در حالی که روش ITA، روند معنی‌دار کاهشی را می‌پذیرد.

برای اطمینان از تجزیه و تحلیل، همبستگی بین مقادیر شیب روند (ITA) و مقادیر Z (من-کندال) محاسبه شد. ضرایب همبستگی (r) برای SPI ۱۲ و ۲۴ ماهه به ترتیب ۰/۹۵۴ و ۰/۹۳۶ به دست آمد. این امر همبستگی بالایی بین آزمون من-کندال (آزمون کمی، ناپارامتری و آماری) و روش ITA (آزمون کیفی و گرافیکی) را نشان می‌دهد.

جدول (۴): نتایج آزمون‌های روند ITA و من-کندال برای SPI ۲۴ ماهه
Table (4): Results of ITA and MK trend tests for 24-month SPI

پارامترها	ارومیه	تبریز	تکاب	سراب	سقز	سهند	مراغه	مهاباد
میانگین (Y)	۰/۰۰۴۱۵	۰/۰۰۴۳۶	۰/۰۰۳۰۰	۰/۰۰۷۷۲	۰/۰۰۱۳۶	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۳۴۷	۰/۰۰۳۱۹
شیب (S)	-۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۰۰۷۲	-۰/۰۰۱۹۸	۰/۰۰۱۸۴	-۰/۰۰۰۲۷	-۰/۰۰۰۴۱	-۰/۰۰۰۴۰	-۰/۰۰۰۱۷
انحراف معیار (σ)	۰/۹۸۱۹۰	۰/۹۶۲۹۴	۱/۰۰۰۲۸	۰/۹۹۳۳۶	۱/۰۰۰۲۰۱	۱/۰۰۰۲۸	۰/۹۹۹۵۲	۱/۰۰۰۸۴
همبستگی (ρ)	۰/۹۸۴۶۶	۰/۹۲۳۸۶	۰/۹۹۴۱۷	۰/۹۵۴۹۲	۰/۹۶۳۹۰	۰/۹۸۲۵۶	۰/۹۸۱۵۶	۰/۹۶۰۶۹
انحراف معیار شیب (σ _S)	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۸
حد پایین (Lower CL)	-۰/۰۰۰۰۸	-۰/۰۰۰۱۸	-۰/۰۰۰۰۵	-۰/۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۲	-۰/۰۰۰۰۹	-۰/۰۰۰۰۹	-۰/۰۰۰۱۳
حد بالا (Upper CL)	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۱۳
فرضیه (H ₁ یا H ₀)	H ₁	H ₁	H ₁	H ₁	H ₁	H ₁	H ₁	H ₁
نوع روند (ITA)	کاهشی	افزایشی	کاهشی	افزایشی	کاهشی	کاهشی	کاهشی	کاهشی
Z محاسبه شده	-۱/۳۱	۱/۴۷	-۷/۴۰	۰/۸۶	-۷/۵۰	-۸/۰۴	-۱۰/۱۳	-۶/۸۰
Z بحرانی	± ۱/۹۶	± ۱/۹۶	± ۱/۹۶	± ۱/۹۶	± ۱/۹۶	± ۱/۹۶	± ۱/۹۶	± ۱/۹۶
فرضیه (H ₁ یا H ₀)	H ₀	H ₀	H ₁	H ₀	H ₁	H ₁	H ₁	H ₁
نوع روند (MK)	بدون روند	بدون روند	کاهشی	بدون روند	کاهشی	کاهشی	کاهشی	کاهشی

۴- نتیجه‌گیری

تحلیل روند امکان پایش و پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی، هواشناسی و هیدرولوژیکی را از مشاهدات گذشته تا تغییرات آینده فراهم می‌کند. آزمون روند من-کندال در صورت وجود همبستگی سریالی داده‌ها، ممکن است گمراه‌کننده باشد؛ با این حال، روش تحلیل نوآورانه (ITA) نیازی به پیش‌فرض ندارد و براساس مقایسه دو نیمه صعودی مرتب شده، به تحلیل روند سری‌های زمانی می‌پردازد. همچنین امکان شناسایی روندهای معنی‌دار مقادیر کم، متوسط و زیاد را فراهم می‌کند. علاوه بر این، به دلیل سادگی، می‌تواند به‌عنوان اولین گام در تحقیقات دقیق تغییر اقلیم، برای به‌دست آوردن یک ایده‌ی کلی در مورد منطقه‌ی مورد مطالعه، در نظر گرفته شود.

در این مطالعه، برای نشان دادن روند خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه دریاچه ارومیه، از سری‌های زمانی SPI (۱۲ و ۲۴ ماهه) در دوره‌ی آماری ۲۰۱۷-۱۹۸۶ و آزمون‌های روند من-کندال و ITA استفاده شد. از آنجا که کسری بارندگی پس از مدت زمان طولانی در منابع آب منعکس می‌شود، بنابراین می‌توان از شاخص SPI ۱۲ و ۲۴ ماهه برای نشان دادن خشکسالی هیدرولوژیک استفاده کرد که به کمبود منابع آب در آب‌های زیرزمینی، در مخازن یا جریان‌ها اشاره دارد.

نتایج آزمون‌های ITA و من-کندال نشان داد که ایستگاه‌های مراغه، سهند، سقز، تکاب و مهاباد دارای روند کاهشی معنی‌دار در سری‌های SPI ۱۲ و ۲۴ ماهه هستند. در ایستگاه‌های ارومیه، تبریز و سراب، آزمون من-کندال هیچ روند معنی‌داری را نشان نداد؛ در حالی که روش ITA، روندهای کاهشی و افزایشی معنی‌داری در این ایستگاه‌ها نشان داد. از نتایج این تحقیق می‌توان برای مدیریت منابع آب و درک ویژگی‌های تغییر اقلیم در منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده کرد.

این مطالعه نشانگر روش تحلیل روند نوآورانه مقادیر SPI است. با این حال، پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده با روش فوق و استفاده از سایر شاخص‌های خشکسالی که از تبخیر و تعرق استفاده می‌کنند (مانند شاخص RDI و SPEI) صورت گیرد. هنگامی که نتایج این مطالعه با نتایج پژوهش‌های آتی همراه شود، می‌تواند اطلاعات قابل اعتمادتری برای مدیران و سیاستگذاران بخش منابع آب فراهم کند. علاوه بر این، ترکیب این آزمون‌های روند با سناریوهای جهانی تغییر اقلیم می‌تواند موضوع تحقیقات آتی باشد.

۵- منابع

- Abtahi, M., Seif, A. & Khosroshahi, M. (2014). Assessment of temperature and precipitation trends in Kashan Namak lake basin during the last half-century, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 21(1), 1-12.
- Bazrafshan, O., Mahmudzadeh, F. & Bazrafshan, J. (2017). Evaluation of temporal trends of the drought indices SPI and SPEI in the Southern Coast of Iran, *Desert Management*, 4(8), 54-69.
- Kousari, M. R. Ekhtesasi, M. R. & Malekinezhad, H. (2017). Investigation of long-term drought trend in semi-arid, arid and hyper-arid regions of the world, *Desert Management*, 4(8), 36-53.
- Montaseri, M., Amirataee, B., & Khalili, K. (2016). Identification of trend in spatial and temporal dry and wet periods in northwest of Iran based on SPI and RAI indices. *Journal of Water and Soil*, 30(2), 655-671.
- Majidi, A., Radfar, M., Mirabbasi Najafabadi, R. & Marofi, F. (2018). Technical Report: Trend Analysis of Meteorological Drought Characteristics in Hamedan Province, *Journal of Watershed Management Research*, 9(17), 295-305.
- sobhani, B., Jafarzadehaliabad, L., Safarianzengir, V. (2020). Modelling, Analysis, and Prediction of Drought Phenomenon in Iran. *Hydrogeomorphology*, 6(21), 181-202.
- torabipodeh, H., Shahinejad, B., Dehghani, R. (2018). Drought Estimate Using Artificial Network Estimation Drought Using Intelligent Networks. *Hydrogeomorphology*, 5(14), 179-197.
- Abarghouei, H. B., Zarch, M. A. A., Dastorani, M. T., Kousari, M. R., & Zarch, M. S. (2011). The survey of climatic drought trend in Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(6), 851.
- AghaKouchak, A., Norouzi, H., Madani, K., Mirchi, A., Azarderakhsh, M., Nazemi, A., ... & Hasanzadeh, E. (2015). Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: call for action. *Journal of Great Lakes Research*, 41(1), 307-311.
- Ay, M., & Kisi, O. (2015). Investigation of trend analysis of monthly total precipitation by an innovative method. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(3-4), 617-629.
- Azizzadeh, M., & Javan, K. (2015). Analyzing trends in reference evapotranspiration in northwest part of Iran. *Journal of Ecological Engineering*, 16(2).
- Bacanli, Ü. G. (2017). Trend analysis of precipitation and drought in the Aegean region, Turkey. *Meteorological Applications*, 24(2), 239-249.
- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., & Sutera, A. (2003). Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily. *Water resources management*, 17(4), 273-296.

Caloiero, T. (2018). SPI trend analysis of New Zealand applying the ITA technique. *Geosciences*, 8(3), 101.

Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleğen, M. Ö., Şişman, E., Selek, B., & Güçlü, Y. S. (2016). Trend assessment by the innovative-Şen method. *Water resources management*, 30(14), 5193-5203.

13. Davarpanah, S., Erfanian, M., & Javan, K. (2021). Assessment of Climate Change Impacts on Drought and Wet Spells in Lake Urmia Basin. *Pure and Applied Geophysics*, 1-19.

Delju, A. H., Ceylan, A., Piguet, E., & Rebetz, M. (2013). Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. *Theoretical and applied climatology*, 111(1-2), 285-296.

Golian, S., Mazdiasni, O., & AghaKouchak, A. (2015). Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 119(3-4), 679-688.

Habeeb, D., Vargo, J., & Stone, B. (2015). Rising heat wave trends in large US cities. *Natural Hazards*, 76(3), 1651-1665.

Hallegette, S., Green, C., Nicholls, R. J., & Corfee-Morlot, J. (2013). Future flood losses in major coastal cities. *Nature climate change*, 3(9), 802-806.

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.* Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Jung, Y., Shin, J. Y., Ahn, H., & Heo, J. H. (2017). The spatial and temporal structure of extreme rainfall trends in South Korea. *Water*, 9(10), 809.

Khan, M. I., Liu, D., Fu, Q., & Faiz, M. A. (2018). Detecting the persistence of drying trends under changing climate conditions using four meteorological drought indices. *Meteorological Applications*, 25(2), 184-194.

Khazaei, B., Khatami, S., Alemohammad, S. H., Rashidi, L., Wu, C., Madani, K., ... & Aghakouchak, A. (2019). Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land-use changes to better understand the Lake Urmia tragedy. *Journal of hydrology*, 569, 203-217.

Malik, A., Kumar, A., Pham, Q. B., Zhu, S., Linh, N. T. T., & Tri, D. Q. (2020). Identification of EDI trend using Mann-Kendall and Şen-Innovative Trend methods (Uttarakhand, India). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18), 1-15.

Manatsa, D., Mukwada, G., Siziba, E., & Chinyanganya, T. (2010). Analysis of multidimensional aspects of agricultural droughts in Zimbabwe using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Theoretical and Applied Climatology*, 102(3-4), 287-305.

- McKee, T. B. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. *In Proceedings of 9th Conference on Applied Climatology*, Boston, 1995.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Mohorji, A. M., Şen, Z., & Almazroui, M. (2017). Trend analyses revision and global monthly temperature innovative multi-duration analysis. *Earth Systems and Environment*, 1(1), 9.
- Moradi Dashtpajardi, M., Kousari, M. R., Vagharfard, H., Ghonchepour, D., Hosseini, M. E., & Ahani, H. (2015). An investigation of drought magnitude trend during 1975–2005 in arid and semi-arid regions of Iran. *Environmental earth sciences*, 73(3), 1231-1244.
- Öztopal, A., & Şen, Z. (2017). Innovative trend methodology applications to precipitation records in Turkey. *Water resources management*, 31(3), 727-737.
- Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(9), 2011-2026.
- Patel, N. R., & Yadav, K. (2015). Monitoring spatio-temporal pattern of drought stress using integrated drought index over Bundelkhand region, India. *Natural Hazards*, 77(2), 663-677.
- Paulo, A. A., Rosa, R. D., & Pereira, L. S. (2012). Climate trends and behaviour of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(5), 1481-1491.
- Saada, N., & Abu-Romman, A. (2017). Multi-site modeling and simulation of the standardized precipitation index (SPI) in Jordan. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 14, 83-91.
- Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042-1046.
- Şen, Z. (2014). Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 635-642.
- Şen, Z. (2017). Innovative trend significance test and applications. *Theoretical and applied climatology*, 127(3-4), 939-947.
- Tabari, H., Abghari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P. (2012). Temporal trends and spatial characteristics of drought and rainfall in arid and semiarid regions of Iran. *Hydrological Processes*, 26(22), 3351-3361.

Tabari, H., & Talaei, P. H. (2011). Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005. *Journal of Hydrology*, 396(3-4), 313-320.

Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., & Shepherd, T. G. (2015). Attribution of climate extreme events. *Nature Climate Change*, 5(8), 725-730.

Tsakiris, G., & Vangelis, H. (2004). Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water resources management*, 18(1), 1-12.

Wang, W., Shao, Q., Yang, T., Peng, S., Yu, Z., Taylor, J., ... & Sun, F. (2013). Changes in daily temperature and precipitation extremes in the Yellow River Basin, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(2), 401-421.

WMO and GWP (World Meteorological Organization and Global Water Partnership) (2016): Handbook of Drought Indicators and Indices. Integrated Drought Management Programme (IDMP): Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2, No. 1173. – WMO, Geneva-Switzerland .

Yilmaz, B. (2019). Analysis of Hydrological Drought Trends in the Gap Region (Southeastern Turkey) by Mann-Kendall Test and Innovative Şen Method. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 3325-3342.

Zarghami, M. (2011). Effective watershed management; case study of Urmia Lake, Iran. *Lake and Reservoir Management*, 27(1), 87-94.