دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی شاخص خشکسالی SPEI و تحلیل روند با استفاده از روش‌های ناپارامتریک در ایستگاه‌های منتخب حوزه آبریز دریاچه ارومیه

ایوب میرزایی حسنلو[۱]، هیراد عبقری[۲] و مهدی عرفانیان[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، (نویسنده مسوول: h.abghari@urmia.ac.ir)
۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱/۲۹
صفحه: ۱۷۵ تا ۱۸۷

چکیده

شناخت روند و هم‌چنین ویژگی‌های خشکسالی نقش مهمی در توسعه و مدیریت منابع آب دارد. در این پژوهش ویژگی‌های زمانی- مکانی شاخص‌خشکسالی SPEI در مقیاس کوتاه‌مدت، میان مدت، بلند مدت و سالانه (SPEI3, SPEI6, SPEI9) بر اساس داده‌های دما و بارش در ۴ ایستگاه سینوپتیک منتخب (تبریز، ارومیه، مهاباد، اهر) طی دوره ۲۶ ساله (۲۰۱۳-۱۹۸۸) در حوزه دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین به منظور بررسی روند شاخص SPEI از آزمون من-کندال و روش گرافیکی LOWESS به ترتیب در مقیاس ماهانه، سالانه، استفاده شده است. که در تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب حوزه دریاچه ارومیه با توجه به افزایش روند مقدار دما و کاهش روند بارندگی، خشکسالی روند افزایشی داشته و شاخص SPEI ماهانه نیز در هر سه مقیاس زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت روند نزولی (افزایش خشکسالی) داشته است و تعدادی از ماه‌ها روند نزولی در سطح ۹۵٪ معنی‌دار بوده و با افزایش مقیاس زمانی روند معنی‌داری ماه‌های مورد مطالعه ایستگاه‌های منتخب افزایش می‌یابد. هم‌چنین روند سالانه خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک مهاباد دارای شیب نزولی بیش‌تری (افزایش خشکسالی) بوده و در هر سه مقیاس زمانی نیز روند خشکسالی در ایستگاه مهاباد روند نزولی نسبت به سایر ایستگاه‌های منتخب داشته است و بر اساس نتایج سالانه شاخص SPEI طولانی‌ترین دوره رطوبتی از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵ قابل تشخیص می‌باشد که شروع خشکسالی از سال ۱۹۹۵ می‌باشد که شدیدترین مقدار خشکسالی مربوط به ایستگاه‌های ارومیه و اهر می‌باشد که در سال ۲۰۰۱ اتفاق افتاده است. هم‌چنین طولانی‌ترین دوره خشکسالی (متوسط، شدید، بسیار شدید) در هر سه مقیاس زمانی مربوط به ایستگاه مهاباد می‌باشد که ایستگاه مهاباد اولویت اول را از نظر افزایش روند خشکسالی و ایستگاه ارومیه اولویت آخرین را دارد.

واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال، حوزه دریاچه ارومیه، خشکسالی، روش گرافیکی LOWESS

مقدمه

در سال‌های اخیر وقوع خشکسالی‌های متعدد در سراسر جهان منجر به آن شده است که تحقیقات زیادی در این زمینه انجام پذیرد. خشکسالی نه تنها در کشورهای با اقلیم خشک و نیمه خشک مانند ایران، بلکه در سطح کشورهای مرطوب اتحادیه اروپا به عنوان یک مسئله مهم شناخته شده است (۱۶). خشکسالی یکی از بلایای طبیعی است که امکان پیشگیری رخداد آن وجود ندارد. مهم‌ترین تفاوت خشکسالی با دیگر بلایای طبیعی این است که به آرامی شروع می‌شود و بعد از آن، علاوه بر منطقه‌ای که در آن رخ داده است، مناطق مجاور را تحت تاثیر قرار می‌دهد. اثرات نامطلوب این پدیده در همه بخش‌ها مانند منابع آب، کشاورزی، محیط زیست و اجتماع به تدریج خود را نمایان می‌سازد (۱۱). خشکسالی یک پدیده مطلق نبوده، بلکه کمبود نسبی رطوبت می‌باشد. خشکسالی باید در مقایسه با شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی متوسط در دراز مدت مورد ارزیابی قرار گیرد. به علاوه زمان و تاثیر بارش نیز مهم می‌باشد. دیگر پدیده‌های اقلیمی مانند درجه حرارت زیاد و رطوبت نسبی کم نیز در اغلب موارد با خشکسالی در بسیاری از مناطق جهان توام می‌باشد و می‌توانند به‌نحو قابل ملاحظه‌ای شدت آن را افزایش دهند. خشکسالی را نباید تنها به‌عنوان یک پدیده فیزیکی یا طبیعی در نظرگرفت و اثر آن روی اجتماع، حاصل اندرکنش میان یک پدیده طبیعی و نیاز آبی مردم می‌باشد. انسان‌ها موجب تشدید اثرات خشکسالی می‌شوند. خشکسالی‌های اخیر در کشور در حال توسعه بوده است و عواقب اقتصادی و زیست محیطی آن‌ها به وضوح آسیب‌پذیری تمامی جوامع را به یک خطر طبیعی نشان می‌دهد (۳۰). در مناطق حساس خشک و نیمه خشک که کمبود بارندگی اثرات شدیدی بر منابع آب می‌گذارد و در اغلب موارد خشکسالی‌های اقلیمی به وقوع سایر انواع خشکسالی‌ها منتهی می‌شوند (۵). بارش و تبخیر و تعرق، دو پارامتر مهم و ضروری برای پایش خشکسالی‌های هواشناسی می‌باشند (۱). از این رو شاخص‌هایی که علاوه بر بارش، مقدار تبخیر و تعرق را نیز در نظر می‌گیرند؛ می‌توانند برای پایش تغییرات اقلیمی دوره‌های فعلی و دوره‌های آتی نیز به‌کار روند. شاخص‌های مختلفی از متغیرهای بارش و تبخیر و تعرق برای پایش خشکسالی بهره می‌گیرند که شاخص‌های شاخص بارش استانداردشده SPI و شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده SPEI از آن جمله هستند. ویژگی‌های خشکسالی ممکن است با گذشت زمان در اثر تغییرات اقلیمی، دچار تغییر شوند. با پایش وضعیت رطوبتی دوره حال حاضر می‌توان به مدیریت این پدیده جهت کاهش اثرات و شدت خسارات آن در سطوح مختلف جامعه کمک و راهکارهایی برای سازگاری با پیشامدهای محتمل به دست آورد (۱۲).

بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که وزن بارش در شاخص‌های خشکسالی، به تنهایی ۸۰٪ از تغییرات شاخص‌ها را توصیف می‌کند (۱۸). در شاخص‌های اولیه بارش، تنها پارامتر مورد استفاده جهت بررسی وضعیت خشکسالی بوده است. به مرور با افزایش آگاهی از پدیده‌ی خشکسالی و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]

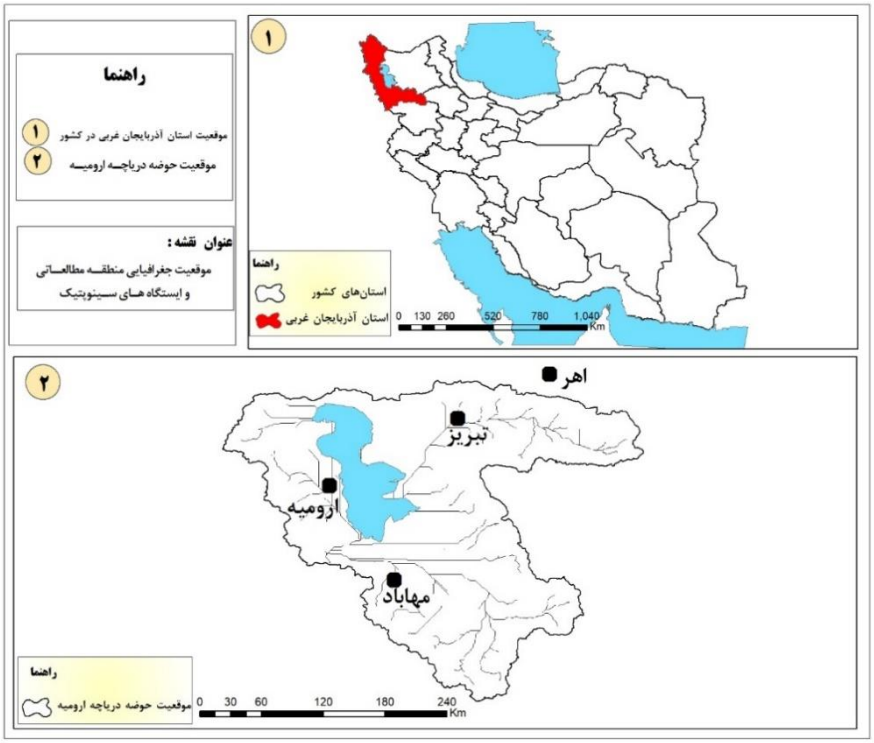
تاثیرگذاری سایر عوامل جوی، در توسعه شاخص‌های جدیدتر، سعی در دخالت این عوامل در محاسبات شده است (۲۶). با توجه به محدودیت‌های شاخص‌های SPI، شاخص جدیدی به نام شاخص بارش تبخیر تعرق استاندارد شده SPEI به منظور پایش خشکسالی توسط وینسنت سرانو و همکاران ارائه گردید. این شاخص بر مبنای تفاوت بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل بنا شده است. مهم‌ترین برتری شاخص SPEI نسبت به سایر شاخص‌های پرکاربرد خشکسالی، توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر دما و تبخیر و تعرق در ارتباط با گرمایش جهانی می‌باشد(۳۴). تاج بخش و همکاران (۳۱) با بررسی روند تبخیر و تعرق و روند خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI بیان کردند کاهش بیش از۳۰ ٪ و افزایش بیش از ۵۰ ٪ تبخیر و تعرق، نقش مهمی را در شدت خشکسالی ایفا می‌کند. تاکنون روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه گردیده اند که این روش‌ها در دو دسته کلی روش‌های پارامتری و ناپارامتری قابل تقسیم بندی می‌باشند که روش‌های ناپارامتری از کاربرد نسبتاً وسیع‌تر و چشمگیرتری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند (۳۲). بذرافشان و همکاران (۴) در مقایسه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی SPEI, RDI, SPI در مناطق خشک و نیمه خشک ایران در دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۹۶ بیان کردند که روند شدت، مدت، و فراوانی خشکسالی با استفاده از آماره من کندال نشان می‌دهد که روند خشکسالی در اقلیم‌های گرم و خشک رو به افزایش است و در اقلیم‌های سرد و خشک رو به کاهش است و شاخص SPEI مقدار روند را با شدت بیشتری برآورد نموده است. حسینی پژوه و همکاران (۱۴) در ارزیابی شاخص‌های بارش استاندارد شده و بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده در تشخیص ترسالی بیان کردند که شاخص SPEI به دلیل استفاده از داده دما و به تبع آن و محاسبه تبخیر و تعرق بخصوص در انتهای بهار و تابستان تا حدودی بهتر از شاخص SPI در حوزه کسیلیان با رژیم برفی بارانی دارد. ذبیحی و همکاران (۳۵) تحلیل شدت و تداوم دوره‌های خشک و مرطوب را بر اساس شاخص‌های مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کردستان بررسی کردند و نشان دادند که شاخص SPEI متوسط شدت بیشتری را برای دوره‌های خشک و مرطوب در تمام ایستگاهای منطقه مورد مطالعه برآورد نموده است و شاخص SPEI و SPI در تعیین دوره‌های طولانی خشک و مرطوب تفاوت معنی‌داری ندارند. طبری و همکاران (۲۹) روند تغییرات سالانه تبخیر تعرق گیاه مرجع و همچنین پارامترهای هواشناسی را با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال در دو اقلیم گرم و خشک و سرد نیمه خشک ایران مورد بررسی قرار دادند. از پارامترهای مورد مطالعه، بیش‌ترین نوسان‌ها به ترتیب در بارش و سرعت باد و کم‌ترین آن در دما مشاهده شد. نتایج حاصله نشان داد که نوع اقلیم در شیب روند پارامترهای هواشناسی خصوصا دما و بارندگی بسیار مؤثر است. داس و همکاران (۸) در پژوهش خود، روند و تغییرات خشکسالی هواشناسی (۲۰۰۸-۱۹۰۱) در هند را با استفاده از SPEI و آزمون من- کندال برای روند یکنواخت در هر سطح شبکه مورد استفاده قرار گرفت، در حالی که مقدار آن با استفاده از روش سن- سیل بر آورده شده است. پوتاب و همکاران (۲۴) با استفاده از داده‌های ۱۸۴ ایستگاه در جمهوری چک به تحلیل مکانی خصوصیات خشکسالی و روند آن‌ها در مقیاس‌های مختلف زمانی بر اساس شاخص SPEI پرداختند. آن‌ها روند منفی را برای وقایع خشکسالی در بیشتر ایستگاه‌ها مورد بررسی گزارش کردند. لرنزو لاکروز و همکاران (۱۹) تاثیر تغییرات اقلیمی بر وضعیت منابع آب حوزه رودخانه تاگوس با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI بررسی کردند. بر اساس شاخص‌های مذکور شروع خشکسالی‌ها از سال ۱۹۷۰می‌باشد و پاسخ‌های تخلیه‌ای و ذخیره رودخانه بر اساس شاخص SPEI نسبت به SPI کمی بیشتر بدست آمد. هدف این پژوهش تحلیل خشکسالی ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه بر اساس شاخص خشکسالی SPEI در سه مقیاس (کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت) و تحلیل روند شاخص بر اساس آزمون‌های ناپارامتریک، آزمون من-کندال، روش گرافیکی LOWESS و هم‌چنین بررسی نقش عوامل اقلیمی (بارش و تبخیر و تعرق) در روند خشکسالی دریاچه ارومیه در دوره زمانی ۲۶ ساله (۲۰۱۳-۱۹۸۸) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

حوزه آبریز دریاچه ارومیه

حوزه آبریز دریاچه ارومیه از نظر جغرافیایی بین ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و۵۰ دقیقه طول شرقی و با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع یکی از شش حوزه آبریز اصلی کشور است شکل (۱). این حوزه بین استان‌های آذربایجان غربی (۴۶٪) آذربایجان شرقی (۴۳٪) و کردستان (۱۱٪) قرار دارد. میانگین بارش سالانه این حوزه ۳۹۸ میلی متراست (۱۱). ۱۴ رودخانه بزرگ و کوچک دائمی به دریاچه ارومیه می‌ریزد که زرینه رود یکی از مهم‌ترین آن‌ها است. این دریاچه عمدتا از رودخانه‌های زرینه رود، سیمینه رود، تلخه رود، گدار، باراندور، شهرچایی، نازلو و زولا تغذیه می‌کند (۱۷). دریاچه ارومیه با حجم تقریبی ۳۳ میلیارد متر مکعب دارای عمق متوسط ۵/۴ متر می‌باشد. حداکثر عمق دریاچه ۱۳ متر می‌باشد که در شمال آن اندازه‌گیری شده است (۲). از نظر آب و هوایی جزو مناطق نیمه خشک و خشک سرد محسوب می‌شود حداقل و حداکثر درجه حرارت مشاهده شده در سطح حوزه دریاچه ارومیه در ۳۰ سال گذشته ۳۳- و ۴۴+ درجه سلیسیوس و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱ درجه سیلسیوس است (۲۵). آمار و اطلاعات مورد نیاز برای انجام این پژوهش در دوره آماری ۲۶ ساله (۲۰۱۳-۱۹۹۸) از اداره هواشناسی استان ارومیه تهیه شده است. در بین ایستگاه‌های سینوپتیک در حوزه دریاچه ارومیه فقط چهار ایستگاه منتخب که دارای آمار بلند مدت بوده در این پژوهش انتخاب شدند که ایستگاه مهاباد دارای بیش‌ترین مقدار بارندگی متوسط سالانه و ایستگاه تبریز نیز دارای بیش‌ترین مقدار درجه حرارات متوسط سالانه می‌باشد (جدول ۱).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of Study Area

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه (۲۰۱۳-۱۹۸۸)
Table 1. Characteristic of synoptic stations in Uremia Lake Basin (1988-2013)

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (m)	متوسط بارندگی سالانه (mm)	متوسط درجه حرارت سالانه (سانتی گراد)
ارومیه	۳۷ ۴۰	۴۵ ۳	۱۳۲۸	۳۰۶/۴۰	۱۱/۴۸
تبریز	۳۸ ۰۵	۴۷ ۷۰	۱۳۶۱	۲۴۱/۲	۱۳/۲۴
مهاباد	۳۶ ۴۵	۴۵ ۴۳	۱۶۴۱	۳۹۸/۹۷	۱۳/۱۷
اهر	۳۸ ۲۶	۴۷ ۴	۱۳۹۰	۲۸۵/۴۸	۱۱/۰۲

محاسبه شاخص استاندارد شده بارش-تبخیر و تعرق (SPEI) در حوزه آبریز دریاچه ارومیه

شاخص SPEI را نخستین بار ویسنته سرانو و همکاران در ۲۰۰۹ به کار بردند. شاخص SPEI شاخص چند کمیتی است که در آن داده‌های بارش و دما ترکیب می‌شوند. نحوه محاسبه شاخص پیش گفته همانند شاخص SPI است اما در شاخص SPEI مقادیر اختلاف بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر در واقع معرف تعادل اقلیمی بیلان آبی است که در شاخص SPEI مدنظر قرار گرفت (۲۳). براساس نتایج ماوروماتیس (۲۱) مبنی برتشابه روش‌های ساده و پیچیده‌ای برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، ویسنته سرانو از روش تورنت وایت (۲۸) بدین منظور استفاده کرد (۲۱،۳۴). شاخص SPEI بر اساس روابط زیر بدست آورد.

$$\mathrm{PET} = 16\mathrm{NM}\left(\frac{10\mathrm{TM}}{\mathrm{I}}\right)^{\mathrm{A}} \quad (۱)$$

$$A = (675 * (10^{-9})I^3) - (771 * (10^{-7})I^2) + (179 * (10^{-4}) * I) \quad (۲)$$

$$I = \sum_{\mathrm{M}-1}^{12} \mathrm{IM} \quad (۳)$$

$$IM = \left(\frac{\mathrm{TM}}{5}\right)^{1.514} \quad (۴)$$

که در این روابط، PET تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه به میلی متر، NM ضریب تصحیح، TM دمای متوسط ماهانه به سانتی گراد، I شاخص حرارتی سالانه که عبارت است مجموع شاخص‌های ۱۲ماهه TM .

$$D_I = P_I - PET_I \quad (۵)$$

با توجه به آنکه مقادیر D_I ازکران پائین به مقادیر منفی منتهی می‌شوند توابع احتمال دو پارامتری نمی‌توانند برای این امر انتخاب شوند. ویسنت سرانو و همکاران(۳۴) با بررسی توابع مختلف سه پارامتری، تابع چگالی احتمال لوگ-لوجستیک سه پارامتری را دارای بهترین برازش بر مقادیر

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]

تشخیص دادند. فرم کلی تابع چگالی احتمال این تابع به صورت رابطهٔ می‌باشد:

$$f(x)=\frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x-\Upsilon}{\alpha}\right)^{\beta-1}\left[1+\left(\frac{x-\Upsilon}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \quad (۶$$

که در آن پارامترهای α و β وΥ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل، و اصلی برای مقادیر D_i در دامنه $(\Upsilon<D<\infty)$ می‌باشند. شکل تابع احتمالی لوگ- لوجستیک سه پارامتری نیز مطابق رابطه زیر می‌باشد.

$$f(x)=\left[1+\left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^{\beta}\right]^{-1} \quad (۷$$

در گام نهائی مقادیر احتمال تجمعی برای مقادیر D_I به تابع نرمال استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ تبدیل می‌شود که برابر مقدار شاخص SPEI می‌باشد.

جدول ۲- طبقه بندی شاخص SPEI

Table 2. SPEI Index Classification

طبقات شاخص	وضعیت
بیشتر از ۲	ترسالی بسیار زیاد
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی زیاد
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹- تا ۰/۹۹	نرمال
۱- تا ۱/۴۹-	خشکسالی متوسط
۱/۵- تا ۱/۹۹-	خشکسالی شدید
کمتر از ۲-	خشکسالی بسیار شدید

تحلیل روند شاخص SPEI در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه

آزمون من کندال (M.K)[1]

جهت تشخیص روند در سری‌های زمانی متغیرهای آب و هواشناسی از آزمون‌ها مختلفی استفاده می‌گردد که این آزمون‌ها به دو دسته پارامتری و غیر پارامتری قابل تفکیک می‌شوند. آزمون‌های پارامتری نسبت به آزمون‌های غیر پارامتری توان بیشتری در تشخیص روند دارا هستند و هنگام استفاده از آن‌ها بایستی داده‌ها تصادفی مستقل و دارای توزیع نرمال باشند. از طرف دیگر آزمون‌های غیرپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل استفاده‌اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند (۶). آزمون من-کندال آزمونی غیر پارامتری رتبه‌ای است که توسط من و کندال (۲۰، ۱۸) ارائه شده است و برای تعیین معنی‌داری روندهای خطی و غیر خطی مناسب می‌باشد در این آزمون فرض صفر(H0) و فرض مقابل (H1) به‌ترتیب معادل بدون روند و وجود روند درسری زمانی داده‌های مشاهده‌ای است.

مراحل محاسبه این آزمون به شرح زیر است:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک داده‌های شاخص‌های خشکسالی (SPEI) در ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه، تبریز، اهر، مهاباد، دارای آمار ۲۶ ساله طی دوره (۲۰۱۳-۱۹۸۸) و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S که از رابطه ۸ بدست می‌آید.

$$S=\sum_{I=1}^{N-1}\sum_{J=I+1}^{N}\operatorname{sgn}(x_j-x_i) \quad (۸$$

$$\operatorname{sgn}(x_j x_i)=\begin{cases}+1 & \text{اگر } (x_j-x_i)>0\\ 0 & \text{اگر } (x_j-x_i)=0\\ 1 & \text{اگر } (x_j-x_i)<0\end{cases} \quad (۹$$

$$\operatorname{var}(s)=\frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5)-\sum_{p-1}^{q}t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right] \quad (۱۰$$

$$VAR(s)=\frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (۱۱$$

$$z=\begin{cases}\frac{s-1}{\sqrt{\operatorname{var}(s)}} & \text{اگر } s>0\\ 0 & \text{اگر } s=0\\ \frac{s+1}{\sqrt{\operatorname{var}(s)}} & \text{اگر } s<0\end{cases} \quad (۱۲$$

که در روابط فوق N تعداد داده‌های مشاهده‌ای(طول دوره آماری)، XI و XJ به ترتیب I امین وj امین داده مشاهده‌ای، وQ تعداد گروهای ایجاد شده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو)، TP تعداد داده‌های برابر در P امین گروه، وZ مقدار آماره آزمون من-کندال است. در صورت مثبت بودن آماره Z، روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. اگر قدر مطلق آماره Z در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ بزرگتر از۱/۹۶= $Z_{0.05}$ باشد در این صورت فرض صفر رد شده و در حقیقت روند وجود داشته و معنی‌دار است. مقدار منفی آمار Z نشان‌دهنده روند کاهشی و مقدار مثبت Z نشان‌دهنده روند افزایشی است (۲۷).

روش گرافیکی LOWESS[2]

روش‌های گرافیکی مولفه‌ی مهمی را در تجزیه و تحلیل سری‌های آماری تشکیل می‌دهند. بسیاری از روش‌های گرافیکی از روش LOWESS بهره می‌برند. روش LOWESS یک روش آماری گرافیکی ناپارامتریک است که برای نشان دادن روند در سری زمانی داده‌ها استفاده می‌شود. این روش هیچ رابطه یا مدل معینی را برای سری داده‌ها تصور نمی‌کند. در عوض یک الگوریتم رگرسیون وزنی متناوب را برای برآورد هر کدام از داده‌های سری زمانی با استفاده از داده‌های مجاور استفاده می‌کند. وزن اختصاص داده شده برای هر کدام از داده‌های مجاور متناسب با دوری و نزدیکی آن‌ها به داده‌ای است که مقدار آن برآورد می‌گردد (۱۳). درحقیقت این روش هیچ رابطه یا مدل معینی را برای

1- Mann-kendall

2- Locally Weighted Scatter plot smoothing

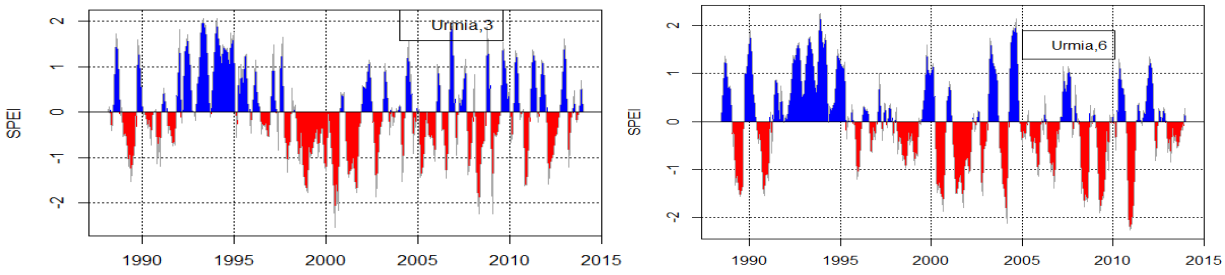
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]

سری داده‌ها تصور نمی‌کند بلکه از یک الگوریتم رگرسیون وزنی متناوب برای برآورد هر کدام از داده‌های سری زمانی با استفاده از داده‌های مجاور استفاده می‌کند. وزن اختصاص داده شده برای هر کدام از داده‌های مجاور متناسب با دوری و نزدیکی آن‌ها به داده‌ای است که مقدار آن برآورد می‌گردد. ظاهرا این روش شبیه روش میانگین متحرک است با این تفاوت که در میانگین متحرک هر کدام از داده‌ها با میانگین وزنی داده‌های اطراف جایگزین می‌شود ولی در روش LOWESS از رابطه رگرسیونی برای برآورد هر کدام از داده‌های سری زمانی استفاده می‌شود. سپس داده‌های برآورد شده به یکدیگر وصل می‌شوند تا منحنی هموار LOWESS بدست آید. سپس از روی منحنی هموار شده می‌توان تغییرات زمانی یا روند داده‌ها را با مشاهده چشمی تشخیص داد (۱۳).

نتایج و بحث

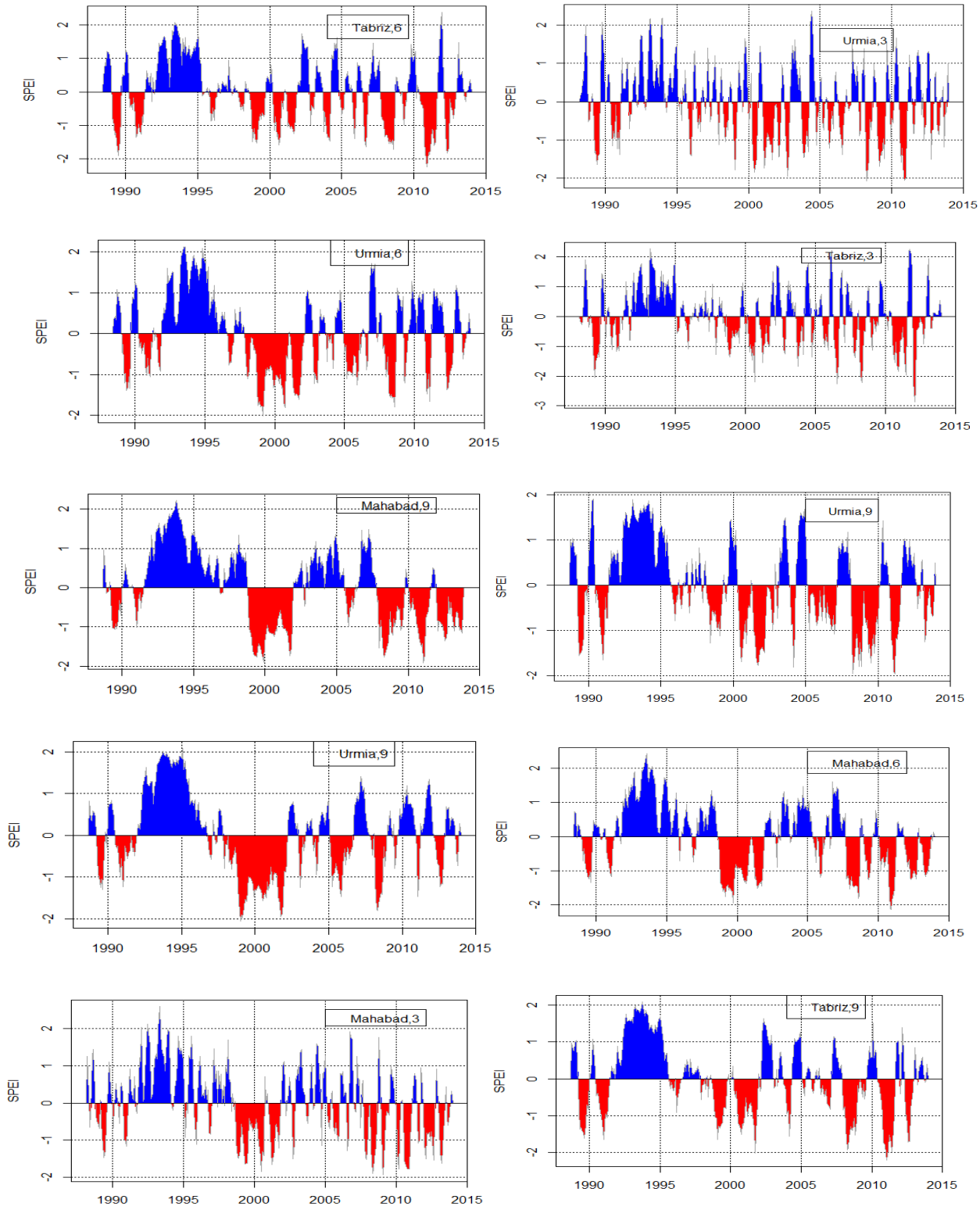
تعیین دوره های ترسالی و خشکسالی

شاخص SPEI سه، شش و نه ماهه برای ایستگاه‌های سینوپتک حوزه دریاچه ارومیه به طور جداگانه محاسبه شده و شکل (۲) توزیع زمانی SPEI را در ایستگاه‌های ارومیه، مهاباد، تبریز، و اهر در مقیاس (۹، ۶ و ۳) را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب زیاد است. با افزایش مقیاس‌های زمانی فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش می‌یابد اما تداوم آن‌ها افزایش پیدا می‌کند. دریاچه ارومیه به‌رغم تجربه خشکسالی در برخی سال‌ها، با دریافت بارش‌های مناسب در سال‌های بعدی و مقیاس‌های مختلف زمانی با در نظرگرفتن وضعیت بارش ماه‌های قبل از هر ماه و تاثیر گذاری بر ماه مد نظر، بررسی شدت و تداوم انواع خشکسالی‌ها را از دیدگاه مختلف ممکن می‌سازد. بنابراین با اعمال مقیاس زمانی مختلف روی هر ماه، تاثیرات ماه‌های قبل از آن ماه نیز نشان داده می‌شود. به طوری که مقیاس زمانی ۳ ماه، تاثیرات ۲ ماه قبل از هر ماه، و مقیاس زمانی ۶ ماهه آثار ۵ ماه قبل از هر ماه و سایر مقیاس‌های ۹،۱۲،۱۸،۲۴،۴۸ ماهه به ترتیب یاد شده آثار ماه‌های قبل را به تناسب مقیاس‌های منتخب در ماه مدنظر لحاظ می‌کند. به همین علت مقیاس‌های زمانی مختلف می‌تواند روند خشکسالی، ترسالی، سال‌های نرمال، شدت وقوع و تاثیرات بر منابع آب را نشان می‌دهد (۲۲). معمولا تمامی ایستگاهای سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه از سال ۱۹۹۰ تا سال ۱۹۹۵ الی ۱۹۹۶ یک دوره ترسالی شدید در سطح حوزه دریاچه ارومیه را تجربه نموده‌اند. و از سال ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸ شاهد یک دوره ترسالی اما با شدت تقریبا کمتر از ترسالی قبلی بوده است. اما از ۱۹۹۸ تا نیمه سال ۲۰۰۳ شاهد یک دوره ترسالی در سطح حوزه دریاچه بوده‌ایم. که از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ تقریبا دریاچه ارومیه در یک سطح تقریبا نرمال نسبت به سال‌های قبل بوده است. اما از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ مجدد وارد فاز خشکسالی متوسط تا شدیدی شده است و از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ یک دوره ترسالی نسبتا نرمال دارد که با نتایج شکوهی و مروتی (۲۸) مشابهت دارد. میزان کل بارش در حوزه دریاچه ارومیه در طول مدت (۱۹۸۶-۲۰۱۰) در بیش‌ترین حالت حدود ۵۲۰ میلی متر طی سال‌های ۱۹۹۳-۱۹۹۴ می‌باشد و در کم‌ترین حالت ۲۲۰ میلی متر در سال ۱۹۹۹ می‌باشد (۷). بر اساس گزارش FAO در سال (۲۰۰۶) طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱یک خشکسالی بلند مدت و شدید بر نقاط مختلف کشور سیطره یافت و بیش از نیمی از جمیعت کشور را با بحران آب و غذا روبرو کرد و موجب افت شدید آب‌های سطحی و زیرزمینی و کاهش تولیدات کشاورزی گردید که نتایج ما با نتایج FAO (۱۰) هم‌خوانی کامل دارد. طولانی‌ترین دوره ترسالی در مقیاس ۹ماهه در ایستگاه مهاباد از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۷ و طولانی‌ترین دوره خشکسالی در ایستگاه مهاباد از ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۰۱ مشاهده گردیده است. با توجه به شاخص SPEI در مقیاس زمانی کوتاه مدت (۳ماهه) شدیدترین ترسالی در می ۱۹۹۳ در ایستگاه مهاباد و شدیدترین خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک تبریز در فوریه ۲۰۱۱ مشاهده گردیده و در مقیاس زمانی میان مدت (۶) شدیدترین ترسالی در آگوست ۱۹۹۳ در ایستگاه مهاباد و شدیدترین خشکسالی در ایستگاه اهر در دسامبر ۲۰۱۰ و در مقیاس زمانی بلند مدت (۹ماهه) شدیدترین خشکسالی در فوریه ۲۰۱۱ در ایستگاه تبریز و شدیدترین ترسالی در نوامبر ۱۹۹۳ در ایستگاه مهاباد مشاهده گردیده است.



شکل ۲- توزیع زمانی SPEI۳, SPEI۶, SPEI۹ در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه
Figure 2. Temporal distribution of SPEI3, SPEI6, SPEI9 in synoptic stations in Urmia Lake Basin

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]



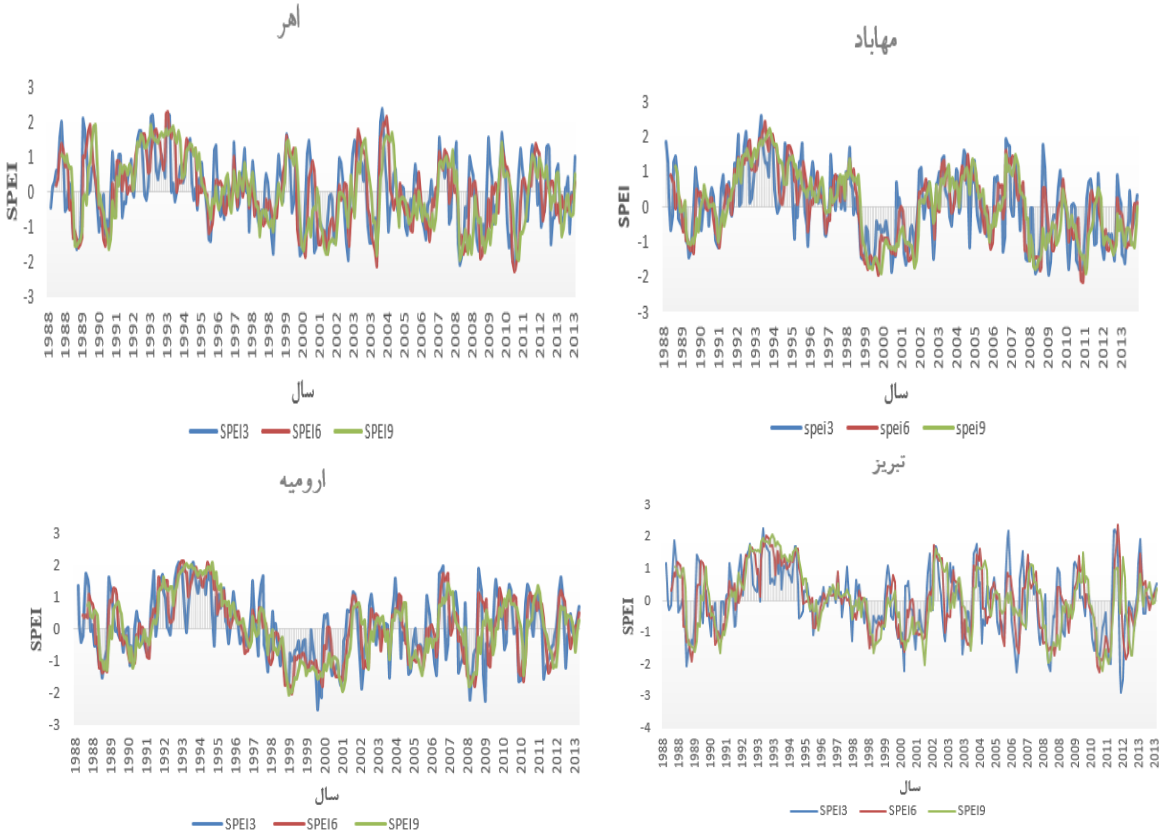
ادامه شکل۲- توزیع زمانیSPEI۳, SPEI۶, SPEI۹ در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه

Countinued Figure 2. Temporal distribution of SPEI3, SPEI6, SPEI9 in synoptic stations in Urmia Lake Basin

شکل (۳) مقایسه توزیع زمانیSPEI3, SPEI6, SPEI9 در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارمیه را نشان می‌دهد. تعداد وقایع خشکسالی بلند مدت در ایستگاه سینوپتیک اهر (۱۹) و تبریز (۱۸) و تعداد وقایع خشکسالی میان مدت در ارومیه (۲۳) و اهر (۲۱) و تعداد وقایع خشکسالی کوتاه مدت در اهر (۳۴) و ارومیه (۳۳) بیشتر از سایر ایستگاه‌های

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]

سینوپتیک بوده است چهار ایستگاه سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه (ارومیه، تبریز، اهر، مهاباد) محاسبه و با هم مقایسه شدند. که تقریبا ۳۱رویداد خشکسالی کوتاه مدت، ۱۹ رویداد خشکسالی میان مدت و۱۴رویداد خشکسالی بلند مدت در طول حوزه دریاچه ارومیه که تعداد وقایع خشکسالی در هر سه مقیاس زمانی در اهر نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشتر بوده است.



شکل ۳ –مقایسه توزیع زمانی SPEI۳, SPEI۶, SPEI۹ در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه
Figure 3. Comparison of temporal distribution of SPEI3, SPEI6, SPEI9 in synoptic stations of Urmia Lake Basin

برای تحلیل و پایش خشکسالی، شاخص SPEI بر اساس آمار ۲۶ ساله (۲۰۱۳–۱۹۸۸) بارش و تبخیر و تعرق برای ۴ ایستگاه سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه در پکیج R محاسبه گردید. و سپس مقادیر ۳، ۶، ۹ ماهه و سالانه در نرم‌افزار R محاسبه گردید و به صورت جداول (۳،۴،۵) مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که در مقیاس زمانی سه ماهه شدیدترین خشکسالی در ایستگاه تبریز (۲/۸۶–) و شدیدترین ترسالی در ایستگاه مهاباد (۲/۵۸) می‌باشد و در مقیاس ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی در ایستگاه اهر (۲/۲۶–) و شدیدترین ترسالی در ایستگاه مهاباد (۲/۴۲) می‌باشد و در مقیاس زمانی ۹ ماهه شدیدترین خشکسالی در ایستگاه تبریز (۲/۲۱–) و شدیدترین ترسالی در ایستگاه مهاباد (۲/۲۳) می‌باشد همچنین در هر سه مقیاس زمانی سه ماهه (کوتاه مدت)، شش ماهه (میان مدت)، ۹ ماهه (بلند مدت) و در تمامی ایستگاه‌ها بیش‌ترین وضعیت خشکسالی در کلاس نرمال بوده است. با توجه به درصد فراوانی نسبی طبقات خشکسالی نشان‌دهنده این است که در حوزه دریاچه ارومیه در تمامی ایستگاه‌ها تقریبا ۶۵٪ خشکسالی اتفاق افتاده در بازه (۰/۹۹ تا ۰/۹۹–) بوده که نشان‌دهنده خشکسالی نرمال بوده که این اطلاعات بدست آمده مربوط به بارندگی و دمای سطح حوزه بوده است که نشان از خشکسالی نرمال در سطح حوزه بوده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]

جدول ۳- ماه‌های ترسالی و خشکسالی ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه (۳ ماهه)
Table 3. Wet and droughts months in synoptic stations of Urmia Lake Basin (3 Months)

شاخص SPEI	ایستگاه / آماره	اهر	مهاباد	تبریز	ارومیه
	حداکثر	۲/۳۶	۲/۵۸	۲/۲۹	۲/۰۷
	حداقل	−۲/۰۷	−۱/۹۳	−۲/۸۶	−۲/۵۳
	تعداد ماه‌های خشک	۱۵۱	۱۵۰	۱۵۰	۱۶۴
	تعدا ماه‌های مرطوب	۱۵۹	۱۶۰	۱۶۰	۱۴۶
	شدید بسیار ترسالی	۷	۳	۵	۲
۳ ماهه	شدید ترسالی	۱۲	۱۸	۱۹	۲۳
	متوسط ترسالی	۲۹	۳۱	۳۰	۴۰
	نرمال	۲۰۳	۱۹۹	۲۰۲	۱۹۴
	متوسط خشکسالی	۳۵	۳۶	۳۲	۳۲
	شدید خشکسالی	۱۶	۲۲	۱۲	۱۴
	شدید بسیار خشکسالی	۲	۰	۷	۴

جدول ۴- ماه‌های ترسالی و خشکسالی ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه (۶ ماهه)
Table 4. Wet and droughts months in synoptic stations of Urmia Lake Basin (6 Months)

شاخص SPEI	ایستگاه / آماره	اهر	مهاباد	تبریز	ارومیه
	حداکثر	۲/۲۴	۲/۴۲	۲/۳۸	۲/۱۲
	حداقل	−۲/۲۶	−۲/۱۳	−۲/۲۴	−۲
	تعداد ماه‌های خشک	۱۵۴	۱۴۴	۱۴۴	۱۴۷
	تعدا ماه‌های مرطوب	۱۴۳	۱۶۳	۱۶۳	۱۶۰
	شدید بسیار ترسالی	۳	۴	۳	۴
۶ ماهه	شدید ترسالی	۲۰	۱۵	۱۶	۲۱
	متوسط ترسالی	۳۵	۳۰	۳۷	۲۲
	نرمال	۱۹۳	۱۹۰	۱۹۲	۲۰۰
	متوسط خشکسالی	۲۹	۴۹	۳۸	۳۷
	شدید خشکسالی	۱۹	۱۴	۱۸	۱۵
	شدید بسیار خشکسالی	۳	۲	۲	۱

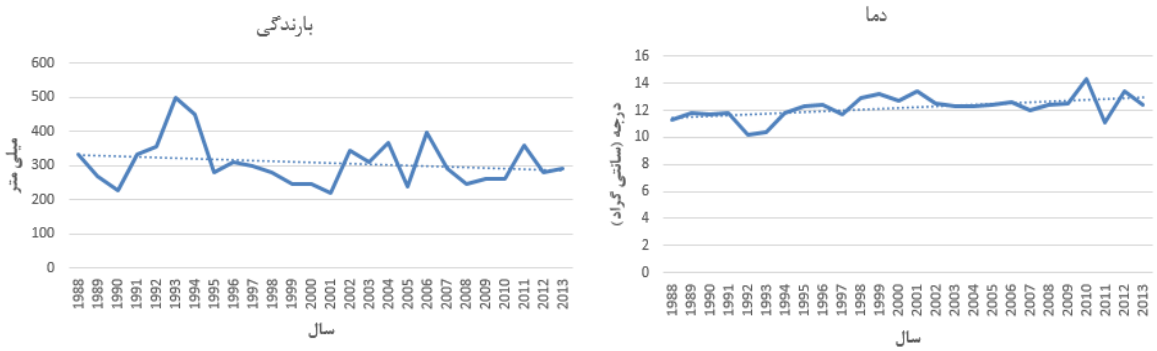
جدول ۵- ماه‌های ترسالی و خشکسالی ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه (۹ ماهه)
Table 5. Wet and droughts months in synoptic stations of Urmia Lake Basin (9 Months)

شاخص SPEI	ایستگاه / آماره	اهر	مهاباد	تبریز	رومیه
	حداکثر	۱/۹۰	۲//۲۳	۲/۰۹	۲/۰۸
	حداقل	−۱/۹۶	−۱/۹۱	−۲/۲۱	−۲/۰۵
	تعداد ماه‌های خشک	۱۶۱	۱۴۴	۱۵۴	۱۴۸
	تعدا ماه‌های مرطوب	۱۵۳	۱۶۰	۱۵۰	۱۵۶
	ترسالی بسیار شدید	۰	۲	۱	۲
۹ ماهه	ترسالی شدید	۲۱	۱۴	۲۵	۲۲
	ترسالی متوسط	۳۴	۳۴	۳۰	۲۳
	نرمال	۱۹۲	۱۸۷	۱۹۴	۲۰۰
	خشکسالی متوسط	۳۴	۴۴	۳۲	۳۸
	خشکسالی شدید	۱۸	۱۷	۱۸	۱۴
	خشکسالی بسیار شدید	۱	۰	۳	۱

شکل ۴ میانگین بارندگی و دما سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک در بازه زمانی ۲۶ ساله را نشان می‌دهد که دما در سطح حوزه روند صعودی و معنی‌داری با آماره من کندال (۲/۸۶+) و میانگین بارندگی سالانه در سطح حوزه روند نزولی و غیرمعنی‌داری (۰/۶۲−) را تجربه کرده است. که با نتایج جعفری و همکاران (۱۵) که نشان دادند تغییرات دما در سطح حوزه دریاچه ارومیه در طول دوره (۱۹۸۴-۲۰۱۴)، از ۱۱/۳۷ به درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۸۷ به ۱۳/۲۹ درجه سانتی‌گراد در سال در ۲۰۱۴ رسیده که ۱/۹۲درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است که این روند افزایش دما محسوس نبوده و با افزایش دمای کره زمین همزمان بوده است و بارندگی روند نزولی و غیر معنی‌داری بوده است و همچنین با نتایج عرفانیان

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]

و بابایی حصار (۹) که بیان کردند روند سری‌های بارندگی در بیشتر ایستگاه‌های حوزه دریاچه ارومیه دارای روند کاهشی است تطابق دارد. و باتوجه به این‌که ۶۵ ٪ خشکالی‌ها نرمال بوده است، پس عواملی غیر از عوامل اقلیمی در خشک شدن روند دریاچه ارومیه نقش داشته‌اند.



شکل۴ – میانگین بارندگی و دمای سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه
Figure 4 . Average Precipitation and Annual Temperature of Urmia Lake Synoptic Stations

جدول (۶،۷،۸) روند ماهانه SPEI3, SPEI6, SPEI9 به دست آمده در سطح اطمینان ۹۵٪ حاصل از آزمون من کندال در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. با توجه به آزمون من-کندال مقادیر بزرگتر،کوچکتر از ۱/۹۶ نشان‌دهنده روند افزایشی،کاهشی معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده تحلیل روند شاخص SPEI در هر سه مقیاس تقریبا در تمامی ماه‌ها دارای روند نزولی (افزایش خشکسالی) بوده است که در مقیاس زمانی سه ماهه ایستگاه اهر در تمامی ماه‌ها دارای روند نزولی (افزایش خشکسالی) اما در هیچ کدام روند معنی‌داری در سطح ۹۵٪ مشاهد نشده است. در ایستگاه مهاباد در ماه‌های (سپتامبر، آگوست و مارس) داری روند نزولی و معنی‌داری در سطح ۹۵٪ بوده است و در دو ایستگاه تبریز و ارومیه در سطح ۹۵٪ در مقیاس ۳ ماهه روند معنی‌داری مشاهده نشده است و ماه مارس بیش‌ترین روند خشکسالی را تجربه کرده است و در مابقی ماه‌ها روند نزولی بوده که در ماه نوامبر روند صعودی و غیر معنی‌داری داشته است و در مقیاس سه ماهه تمامی ایستگاه‌ها در ماه‌های نوامبر و دسامبر روند خشکسالی کمتری داشته‌اند. هم‌چنین در مقیاس زمانی شش ماهه ایستگاه‌های مهاباد در ماه‌های آگوست و مارس و ایستگاه اهر در ماه مارس دارای روند نزولی و معنی‌داری بوده است و مابقی ایستگاه‌ها داری روند نزولی و غیر معنی‌داری بوده است. در مقیاس زمانی نه ماهه ایستگاه اهر در ماه‌های مارس و ایستگاه مهاباد در ماه‌های فویه، مارس، آوریل، سپتامبر و اکتبر دارای روند نزولی و معنی‌دار بوده است اما دو ایستگاه تبریز و ارومیه روند صعودی و نزولی معنی‌داری را تجربه نکرده‌اند در مجموع با توجه به شکل (۴) و افزایش روند صعودی دما و کاهش روند بارندگی در سطح حوزه، شاخص SPEI می‌تواند شاخص مناسبی برای تشخیص تغییر روند وقوع دوره‌ای خشکی با در نظر گرفتن عامل درجه حرارت در شدت‌های متفاوت و مناطق مختلف باشد که با نتایج انصاری و همکاران (۳) و ذبیحی و همکاران (۳۵) تطابق دارد.

جدول ۶- آماره آزمون من-کندال SPEI۳ ماهه در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه
Table 6. Mann-Kendall test SPEI 3-months statistics at synoptic stations in Urmia Lake Basin

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اهر	-۰/۰۸۸	-۰/۷۴۹	-۱/۴۹۹	-۰/۸۸۲	-۰/۶۱۷	-۰/۱۳۲	-۰/۶۱۷	-۱/۰۱۴	-۱/۰۵۸	-۱/۴۱۱	-۰/۶۶۱	-۰/۵۲۹
مهاباد	-۱/۲۷۸	-۱/۴۵۵	-۲/۶۴۵	-۱/۷۶۳	-۱/۲۳۴	-۰/۴۸۵	-۰/۸۸۲	-۳/۱۷۴	-۳/۰۸۶	-۱/۲۳۴	۰/۰۸۸	-۰/۵۷۳
تبریز	-۹۷۰	-۰/۵۷۳	-۱/۶۳۱	-۰/۵۲۹	-۱/۱۹۰	-۰/۹۲۶	-۱/۷۶۳	-۱/۱۴۶	-۰/۷۴۹	-۰/۹۷۰	۰	-۰/۳۵۳
ارومیه	-۰/۳۰۹	-۱/۱۴۶	-۱/۹۴۰	-۰/۶۶۱	-۰/۷۹۳	-۰/۱۷۶	-۰/۴۸۵	-۰/۸۳۸	-۰/۳۰۹	-۰/۳۵۳	۰/۵۷۳	۰

جدول ۷- آماره آزمون من-کندال SPEI۶ ماهه در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه
Table 7. Mann-Kendall test SPEI 6 -months statistics at synoptic stations in Urmia Lake Basin

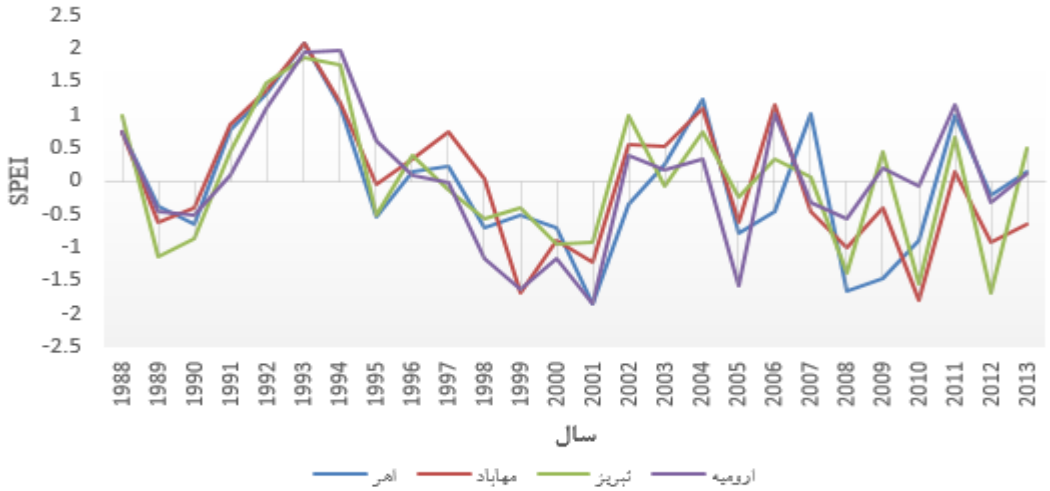
ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اهر	-۱/۱۰۲	-۱/۱۰۲	-۲/۶۴۵	-۰/۳۷۵	-۰/۸۳۸	-۱/۱۰۲	-۰/۸۸۲	-۱/۱۰۲	-۰/۳۹۷	-۱/۵۸۷	-۱/۴۱۱	-۰/۷۰۵
مهاباد	-۱/۴۹۹	-۱/۴۵۵	-۲/۰۲۸	-۱/۴۹۹	-۱/۴۱۱	-۱/۷۱۹	-۱/۷۶۳	-۲/۱۶۰	-۱/۲۷۸	-۰/۹۲۶	-۰/۸۸۲	-۱/۱۹۰
تبریز	-۰/۶۶۱	-۰/۰۴۴	-۱/۱۹۰	-۰/۶۱۷	-۱/۰۵۸	-۱/۵۴۳	-۱/۳۶۷	-۱/۶۳۱	-۰/۶۶۱	-۱/۵۴۳	-۰/۷۰۵	-۱/۱۴۶
ارومیه	-۰/۴۸۵	-۰/۱۳۲	-۱/۱۰۲	-۰/۵۲۹	-۱/۱۹۰	-۱/۱۴۶	-۰/۹۲۶	-۰/۸۳۸	-۰/۳۰۹	-۰/۱۷۶	-۰/۰۴۴	-۰/۲۲۰

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]

جدول ۸- آماره آزمون من-کندال SPEI۹ ماهه در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه
Table 8. Mann-Kendall test SPEI 9 -months statistics at synoptic stations in Urmia Lake Basin

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اهر	-۱/۳۴۵	-۱/۶۷۵	-۲/۱۶۰	-۱/۸۵۱	-۱/۵۴۳	-۱/۵۴۳	-۰/۷۴۹	-۱/۰۱۴	-۱/۱۰۲	-۱/۵۸۷	-۱/۳۶۷	-۰/۷۹۳
مهاباد	-۱/۳۶۷	-۲/۰۷۲	-۲/۲۹۲	-۲/۰۷۲	-۱/۵۴۳	-۱/۵۸۷۱	-۱/۶۳۱	-۱/۴۱۱	-۲/۲۰۴	-۲/۰۲۸	-۱/۴۵۵	-۱/۲۷۸
تبریز	-۱/۳۶۷	-۱/۲۳۴	-۱/۰۵۸	-۰/۵۲۹	-۰/۸۸۲	-۱/۱۰۲	-۱/۱۴۶	-۱/۱۰۲	-۱/۲۷۸	-۱/۱۰۲	-۰/۹۷۰	-۰/۶۶۶۱
ارومیه	۰/۰۴۴	-۰/۱۳۲	-۱/۰۵۸	-۰/۷۹۳	-۰/۴۸۵	-۰/۴۴۱	-۰/۵۲۹	-۰/۹۲۶	-۱/۱۹۰	-۰/۹۷۰	-۰/۲۲۰	۰/۳۵۳

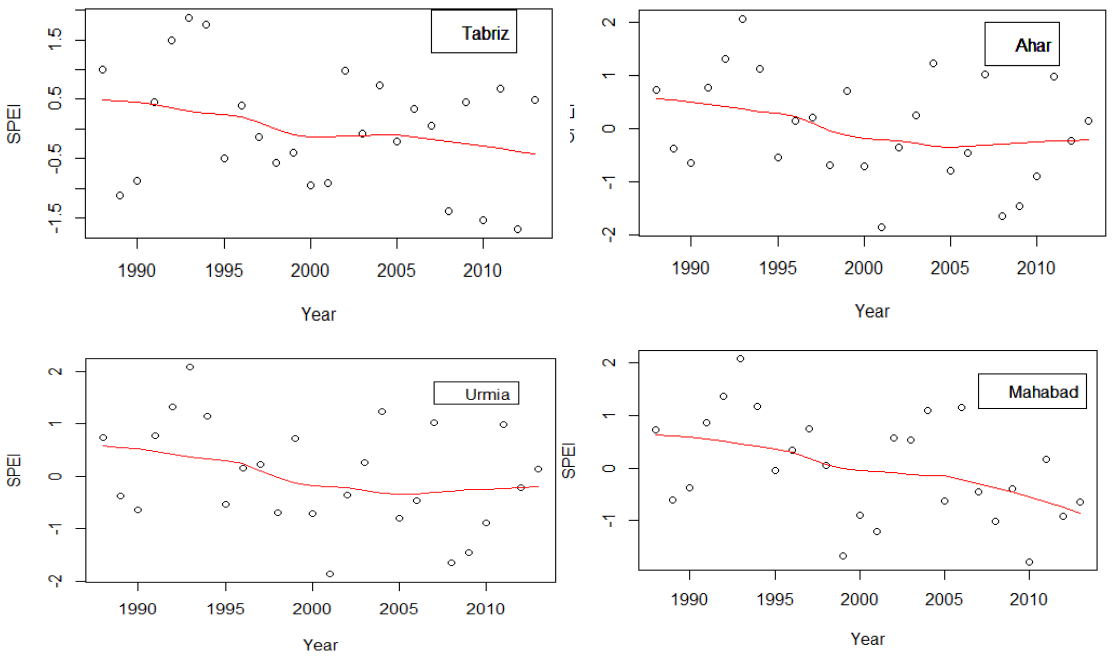
شکل (۵) شاخص خشکسالی SPEI سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد که در مقیاس سالانه از سال ۱۹۹۰تا ۱۹۹۵ دارای روند نزولی (کاهش خشکسالی) و از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱ دارای روند نزولی (افزایش خشکسالی)، و از سال ۲۰۰۱روند خشکسالی دریاچه ارومیه تسریع شده است و از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ به تناوب خشکسالی بیشتر حالتی تکراری داشته است که در مقیاس سالانه شدیدترین مقدار خشکسالی در ایستگاه‌های اهر و ارومیه با مقدار (۱/۸۵-) در سال ۲۰۰۱ می‌باشد.



شکل ۵- شاخص SPEI سالانه در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه
Figure 5. Annual SPEI index at synoptic stations in the Urmia Lake Basin

جدول (۹) آماره من کندال سالانه شاخص SPEI سالانه را نشان می‌دهد که ایستگاه مهاباد در سطح ۹۵ ٪ روند نزولی و معنی‌داری داشته است و مابقی ایستگاه‌ها داری روند نزولی بوده که ایستگاه ارومیه در وضعیت بهتری و خشکسالی کمتر نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده است. به منظور تعیین روند شاخص SPEI سالانه از روش گرافیکی LOWESS شکل (۶) استفاده گردید که مقادیر SPEI در هر سال در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه نشان داده شده است که دارای دوره آماری ۲۶ ساله ۱۹۸۸-۲۰۱۳ می‌باشد با بررسی شکل منحنی ترسیم شده بر مقادیر SPEI در سال‌های مختلف نشان می‌دهد که در تمامی ایستگاه‌ها از شروع سال ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۴الی ۱۹۹۵ دارای یک دوره ترسالی بوده است که در واقع خشکسالی از سال۱۹۹۵ شیب بیشتری داشته است و شکل منحنی در ایستگاه ارومیه شکل مقعری داشته که شدیدترین خشکسالی در سال۲۰۰۳ داشته که از آن به بعد دارای یک روند نزولی بوده است در ایستگاه تبریز از سال ۲۰۰۰ به بعد خشکسالی دارای یک روند یکنواخت بوده و در ایستگاه اهر تقریبا از شروع سال ۱۹۸۸تا ۲۰۰۵ منحنی LOWESS روند نزولی داشته که نشان از خشکسالی کمتر نسبت به سایر سال‌ها بوده است و هم‌چنین در ایستگاه مهاباد روند شاخص SPEI سالانه از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ دارای روند نزولی بوده که نشان‌دهنده این است که خشکسالی همواره در حال پیشرفت می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت با توجه به جداول (۶،۷،۸) روند خشکسالی در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه همواره روند افزایشی خشکسالی داشته که با نتایج زینالی و همکاران (۳۶) که بیان کردند روند خشکسالی در حوزه دریاچه ارومیه افزایشی بوده و دما با شدت بیشتری روند افزایشی داشته است تطابق دارد و هم‌چنین ایستگاه مهاباد در هر سه مقیاس زمانی روند خشکسالی بیشتر بوده و ایستگاه سینوپتیک ارومیه نسبت به ایستگاه‌های بررسی شده، خشکسالی روند کم‌تری داشته که روند سالیانه شاخص SPEI در جدول ۹ این موضوع این موضوع را تایید می‌کند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]



شکل۶- منحنی‌های LOWESS شاخصSPEI در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های سینوپتیک دریاچه ارومیه
Figure 6. LOWESS curves SPEI Indicator On an annual scale at synoptic stations of Lake Urmia

جدول ۹- آماره آزمون من-کندال SPEI سالانه در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه
Table 9. The Mann-Kendall test SPEI test statistics at synoptic stations in Urmia Lake Basin

ایستگاه	اهر	مهاباد	تبریز	ارومیه
آماره من - کندال	-۱/۴۱	-۲/۰۷	-۰/۹۷	-۰/۵۷

منابع

1. Ahmadi, M., K. Nosrati and H. Solki. 2013. Drought and relationship with soil moisture. J Geograph. Iranian Geograph Assoc, 11(38): 77-9 (In Persian).
2. Anonymous. 2011. A report on: describing the Urmia Lake base conditions. The International Plan for Iranian Wetland Conservation, 111 pp.
3. Ansari, M., Gh. Noori and S. Fotohi. 2016. Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). Journal of Watershed Management Research, 7: 152-158 (In Persian).
4. Bazrafshan, O., F. Mahmoudzadeh, A. Asgari Nezhad and J. Bazrafshan. 2019. Adaptive Evaluation of SPI, RDI and SPEI indices in Analyzing the Trend of Intensity, Duration and Frequency of Drought in Arid and Semi-Arid Regions of Iran. Irrigation Sciences and Engineering (JISE), 42(3): 117-131.
5. Bazrafshan, O., F. Mahmudzadeh and J. Bazrafshan. 2017. Evaluation of temporal trends of the drought indices SPIm and SPEI in the Southern Coast of Iran. Desert Management, 4(8): 54-69 (In Persian).
6. Chen, H., S. Guo, C.Y. Xu and V.P. Singh. 2007. Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin. Journal of hydrology, 344(3-4): 171-184.
7. Darvishi Khatooni, J., A. Salehipour and A. Mohammadi. 2011. Polymorphism and Paleolymology Report of Urmia Lake Climate, Geology, Hydrology and Remote Sensing (In Persian).
8. Das, P.K., D. Dutta, J.R. Sharma and V.K. Dadhwal. 2016. Trends and behaviour of meteorologicaldrought (1901–2008) over Indian region using standardized precipitation–evapotranspiration index. International Journal of Climatology, 36(2): 909-916.
9. Erfanian, M. and S. Babaei Hessar. 2016. Trend analysis of reference evapotranspiration (ET0) andprecipitation at some synoptic stations of the Lake Urmia basin, Iranian Water Research Journal (IWRJ), 10(1): 153-162 (In Persian).
10. FAO. 2005. http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_iran/en#tcN90064.
11. Ghorbani Aghdam, M., Y. Dinpazhuh, A. Fakherifard and S. Darbandi. 2012. Regionalization of Urmia Lake basin from the view of drought using factor analysis. Journal of Water and Soil, 26: 1268-1276 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]

12. Gidden, J.J., R. Denson, D.M. Liyanage and J.O. Lay. 2009. Lipid compositions in Escherichia coli and Bacillus subtilis during growth as determined by MALDI-TOF and TOF/TOF mass spectrometry. International journal of mass spectrometry, 283(1): 178-184.
13. Helsel, D.R. and R.M. Hirsch. 1992. Statistical methods in water resources. Elsevier.
14. Hosseini Pazhouh., N, Kh. Ahmadaali and A.R. Shokoohi. 2019. Assessment of standardized precipitation and standardized precipitation-evapotranspiration indices for wet period detection. Jornal of water and Soil Conservation, 25(6): 207-222 (In Persian).
15. Jafari, F., A. Hatami and M. moeznai. 2017. An analysis of the drying of Lake Urmia with an emphasis on human factors. Coastal Human Geography Studies, 1(1): 87-113 (In Persian).
16. Kampragou, E., S. Apostolaki, E. Manoli, J. Froebrich and D. Assimacopoulos. 2011. towards the harmonization of water-related policies for managing drought risks across the EU. Environmental Science and Policy, 14(7): 815-824.
17. Karbassi, A., G. Nabi Bidhendi, A. Pejman and M. Esmaeili Bidhendi. 2010. Environmental impact of desalineation on the ecology of Lake Urmia. Journal of Great Lakes Researches, 36: 419-424 (In Persian).
18. Kendall, M.G. 1975.RankCorrelationMethods.Griffin, London, UK.
19. Lorenzo-Lacruz. J., S.M. Vicente-Serrano, J.I. López-Moreno, S. Beguería, J.M. García-Ruiz and J.M. Cuadrat. 2010. The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). Journal of Hydrology, 386(1): 13-26.
20. Mann, H.B. 1945. Nonparametric test against trend. Econometrica, 13: 245-259.
21. Mavromatis, T. 2007. Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece, International J. of Climatology, 27: 911-924.
22. Montazi, M., A. Nurjo, J. Bahmanesh and M. Akbari. 2018. Wet and Drought Detection in the Southern Basins of Lake Urmia (Case Study: Zarrineh Rud and Siminrood watersheds). Ecohydrology, 1(5): 202-189 (In Persian).
23. Mostafazadeh, R. and M. Zabihi. 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). Journal of the Earth and Space Physics, 42(3): 633-63(in Persian).
24. Potop, V., C. Boroneant, M. Mozny, P. Stepanek and P. Skalak. 2014. Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. Theoretical and Applied Climatology, 115: 563-581.
25. Rasouli. A.A., M. Rezaei Banafsheh, A.R. Msah Bovany, A.M. Khorshiddoust and B. Qermzcheshmeh. 2014. Investigation Impact of Morpho-Climatic Parameters on Aaccuracy of LARS-WG Model, Journal of Science and Watershed Engineering, 8(24): 18-9 (In Persian).
26. Richard, R. and J.R. Heim. 2002. A review of twentieth- century drought indices used in the United States. American meteorological society, 1149-1165.
27. Sabziparvar, A.A. and M. Shadmani. 2011. Trends Analysis of Reference Evapotranspiration Rates by Using the Mann Kendall and Spearman Tests in Arid Regions of Iran. Journal of Water and Soil, 25(4): 823-834 (In Persian).
28. Shokoohi, A. and R. Morovati. 2014. An investigation on the Urmia Lake Basin drought using RDI and SPI indices. Watershed Engineering and Management, 6(3): 232-246 (In Persian).
29. Tabari H., A.A. Sabziparvar and S. Marofi. 2008. Investigating Trends of Annual Meteorological Parameters in Cold and Warm Climates of Iran. Agricultural research: water, soil, plant in agriculture, 8(1) (In Persian).
30. Taghvaei Abrishami, A. 2008. Coexistence with drought, challenges and strategies. Journal of Research Project Coordination Coexistence with Drought, 2: 23-35 (In Persian).
31. Taj bakhsh, S., N. Isa khani and A. Fazl Kazemi. 2015. Meteorological drought assessment in Iran using the standardized rainfall and spatial index (SPEI). Earth and Space Physics, 2(41): 321-313 (In Persian).
32. Takeuchi, H. Ishidaira. 2003. Monitoring Trend Step Changes in Precipitation in Japanese Precipitation. Journal of hydrology, 279: 144-150.
33. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev, 38: 55-94.
34. Vicente-Serrano, S., M.S. Begueria and J.I. Lopezmoreno. 2010. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index-SPEI, Journal. of Climate, 23(7): 1696-1718.
35. Zabihi, M., R. Mostafazadeh and M. Sharari. 2017. Analysis of Wet and Dry Spells Intensity and duration using Precipitation-Based and Evapotranspiration Influenced Indices. Journal of Watershed Management Research, 8(15): 125-136 (In Persian).
36. Zynali, B., S. asghari saraskanroud and V. saffarian zangir. 2017. Monitoring and Forecast of Drought in Urmia Lake Basin by SEPI Index and ANFIS Model. Jsaeh, 4(1): 73-96 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]

Evaluation of SPEI Drought Index and Trend Analysis Using Nonparametric Methods in the Selected Stations of Urmia lake Basin

Ayub Mirzayi hasanlo[1], Hirad Abghari[2] and Mehdi Erfanian[3]

1- M.Sc. Student of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran,
(Correspondig auother: h.abghari@urmia.ac.ir)
3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran
Received: May 12, 2019 Accepted: April 17, 2020

Abstract

Identification of trend and drought characteristics play an important role in the development and management of water resources. In this study, the spatio-temporal characteristics of SPEI index in short, medium, long and annual scales (SPEI3, SPEI6 and SPEI9) in Urmia Lake basin were investigated. for this purpose, temperature and precipitation data from 4 synoptic stations of Tabriz, Urmia, Mahabad, Ahar during 26 years (1988-1983) were used. Mann-Kendall test and LOWESS graphical method on monthly, yearly scale were used to evaluate SPEI index trend. Drought trend increased in all synoptic stations studied and monthly SPEI index decreased in all three short, medium and long term time scales (drought increase).The annual drought trend at Mahabad Synoptic Station also increased drought, and at all three time scales the drought trend at Mahabad station was downward compared to other selected stations. Based on the annual results of the SPEI index, the longest humidity period from 1990 to 1995 is detectable. The most severe drought was in 2001 in Urmia and Ahar stations. Also, the longest drought period (moderate, severe, very severe) on the time scales is at Mahabad Station. and Mahabad station is the first priority in terms of increasing drought process and Urmia station is the last priority.

Keywords: Drought, Lowess Graphical Method, Man-Kendall Test, Urmia Lake Basin

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.21.7]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.175]