

تحلیل آماری بلندمدت روند خشکسالی هواشناسی استان اصفهان

هادی زارع پور^۱، عباسعلی ولی^{۲*}، حمید قربانی^۳، سید جواد ساداتی نژاد^۴، سید حسن علوی نیا^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷

چکیده:

خشکسالی هواشناسی یکی از بزرگ‌ترین بلاهای طبیعی است که وجود یک سیستم نظارت مؤثر برای تحلیل روند خشکسالی و کاهش اثرات آن نیاز ضروری است تا بتوان به کمک آن اقدام مؤثری برای مدیریت این بحران انجام داد. هدف از این پژوهش، تحلیل روند خشکسالی استان اصفهان با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۱۰ ایستگاه همدیدی با طول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰)، شاخص معیار استاندارد (ZSI) در مقیاس‌های زمانی متفاوت و آزمون‌های ناپارامتری من-کندال، پتیت و سن می‌باشد. در مجموع نتایج آماری برای مقیاس‌های زمانی متفاوت شاخص ZSI نشان داد که در سطح ۵٪ روند خشکسالی براساس آزمون من-کندال در ۵۸٪ از ایستگاه‌ها، بر اساس آزمون پتیت در ۸۱٪ از ایستگاه‌ها و بر اساس آزمون سن در ۵۶٪ از ایستگاه‌ها روند معنی‌دار نزولی دارد. بارش ماهانه در هیچ ایستگاهی روند معنی‌دار ندارد. از تحلیل سری‌های زمانی در مقیاس‌های مختلف مشخص شد که سری زمانی‌های بلندمدت روند تغییرات خشکسالی را بهتر آشکار می‌کنند. بنابراین با توجه به نتایج روندیابی خشکسالی در استان اصفهان مشخص شد خشکسالی در استان با روند نزولی مواجه است. به نظر می‌رسد افزایش فراوانی خشکسالی و بروز خشکسالی‌های شدید بر اکوسیستم منطقه مطالعاتی و در نتیجه آن برخورداری از خدمات اکوسیستم‌ها تأثیر نامطلوب داشته باشد. در نتیجه، نیاز به سازگاری برای نفی تأثیرات دوره‌های خشک شدید مکرر در استان وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: استان اصفهان، آزمون پتیت، آزمون سن، آزمون من-کندال، تحلیل روند، خشکسالی، شاخص ZSI

۱. دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان، vali@kashanu.ac.ir

۳. استادیار دانشکده علوم ریاضی دانشگاه کاشان

۴. دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

۵. استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه کاشان است.

مقدمه

خشکسالی^۱ پدیده‌ای خزننده است که در اثر کمبود رطوبت محیطی ناشی از کاهش میزان بارش و افزایش دما به وقوع می‌پیوندد (متظری و همکاران، ۲۰۱۵). خشکسالی جزء ناشناخته‌ترین حوادث اقلیمی می‌باشد که باعث بحران دوره‌ای آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران نیز شده است. افزایش جمعیت و افزایش تقاضای آب از یک سو و بحران خشکسالی از سوی دیگر مشکلات زیادی را در تأمین آب مورد نیاز برای انسان ایجاد می‌کند (مرادی دشتپاگردی و همکاران، ۲۰۱۴).

این رخدادهای محیطی سالانه موجب وارد آمدن زیان و آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی فراوانی به جوامع انسانی می‌شود (ناصرزاده و احمدی، ۲۰۱۲). خشکسالی به اشکال مختلفی نظیر هواشناسی، هیدرولوژیکی^۲، کشاورزی^۳ و اقتصادی اجتماعی^۴ تقسیم می‌شود (بایسی^۵ و همکاران، ۲۰۲۱) و تعیین نوع آن در بررسی آثار این پدیده ضروری است. خشکسالی هواشناسی به معنای کاهش بارش در یک بازه زمانی معین نسبت به میانگین بلندمدت بارش می‌باشد (مسعودیان، ۲۰۱۱).

خشکسالی هواشناسی نشانه روشنی از تغییرات و ناهنجاری اقلیمی می‌باشد که برای پیش و بررسی علمی این پدیده نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب برای مقابله با مشکلات ناشی از کمبود آب ضروری است (میشرا و سینگ^۶، ۲۰۱۰). لذا به منظور ارزیابی روند خشکسالی هواشناسی وجود آمار و اطلاعات موثق جهت بررسی شدت و مدت خشکسالی در یک منطقه برای تصمیم‌گیری مناسب برای جلوگیری از اثرات مخرب ضروری است. در گذشته معمولاً برای ارزیابی خشکسالی از آمار توصیفی استفاده می‌کردند (فاضل دهکردی و همکاران، ۲۰۱۶) اما در دهه اخیر از شاخص‌های مختلف برای بیان کمی خشکسالی استفاده می‌شود (فاضل دهکردی، ۲۰۱۳). برای تحلیل و اندازه‌گیری کمی خشکسالی، وجود یک شاخص

مشخص برای تعیین دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (رجبی و همکاران، ۲۰۰۵). شاخص‌های خشکسالی هواشناسی ابزارهای مؤثری برای ارزیابی و پایش کیفی و اثرات خشکسالی هستند که برای مدیریت خشکسالی دارای کارایی بالایی هستند (بذرافشان، ۲۰۰۲). که بین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی می‌توان به یکی از شاخص‌های پرکاربرد خشکسالی، شاخص معیار استاندارد^۷ (ZSI) اشاره کرد. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی با استفاده از این شاخص در دنیا انجام شده که می‌توان به این مطالعات اشاره کرد:

انصافی مقدم (۲۰۰۷) طی تحقیقی به منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص خشکسالی در حوضه دریاچه نمک به ارزیابی کارایی برخی از شاخص‌های متداول اقلیمی مانند شاخص درصد نرمال^۸ (PNPI)، شاخص دهک‌ها^۹ (DI)، شاخص معیار استاندارد (ZSI) و شاخص بارش استاندارد شده^{۱۰} (SPI) روی ۳۴ ایستگاه هواشناسی حوضه پرداخت و با بررسی آزمون فرضیه‌ها نشان داد که شاخص دهک‌ها و شاخص بارش استاندارد شده مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید را نشان می‌دهد و کارایی بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها از جنبه نمایش خشکسالی بسیار شدید دارند. بنابراین شاخص معیار استاندارد در جایگاه دوم و شاخص درصد نرمال در جایگاه سوم قرار گرفت (انصافی مقدم، ۲۰۰۷).

خوش‌روش و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی روند تغییرات بارش ماهانه، فصلی و سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی شمال ایران در سه دوره ۳۰، ۴۰، ۵۰ ساله و در سه سطح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹٪ با آزمون ناپارامتری من-کندال پرداختند و به این نتایج رسیدند که در فصول سرد سال، روندهای نزولی و در فصول گرم سال، روندهای صعودی وجود دارد که حاکی از وجود تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و لزوم شناخت هر چه بیشتر تغییرات متغیرهای اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب، محیط زیست و سایر بخش‌های مرتبط را می‌طلبد (خوش‌روش و همکاران، ۲۰۱۵)

1. Drought
2. Hydrological Drought
3. Agricultural Drought
4. Socio/Economic Drought
5. Bayissa
6. Mishra and Singh

7. Z-Score Index
8. Percent of Normal Precipitation Index
9. Deciles Index
10. Standardized Percipitation Index

گرفتند (شارما و گوپال^۷، ۲۰۲۰) آزمون‌های سن^۸، پتیت^۹ و من-کندال^{۱۰} نمونه‌ای از آزمون‌های ناپارامتری هستند که آزمون من-کندال یکی از عمومی‌ترین و اغلب به‌عنوان آشناترین روش در تشخیص روند سری‌های هیدرومتئولوژیکی^{۱۱} مورد استفاده قرار می‌گیرد (آلاشان^{۱۲}، ۲۰۲۰)، این آزمون ابتدا توسط من (من^{۱۳}، ۱۹۴۵) و بعد توسط کندال (کندال^{۱۴}، ۱۹۷۵) بر اساس رتبه داده‌ها در یک سری زمانی ایجاد شد (یو^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۲). مزایای این آزمون بدین شرح است: الف. داده‌های پرت نیز در محاسبات در نظر می‌شوند؛ ب. برای داده‌های آماری که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند مانند بارش، مناسب است که در مطالعات برای بررسی روند داده‌های اقلیمی به دلیل عدم نرمال بودن توزیع داده‌های آماری از این آزمون استفاده کنند؛ ج. بزرگی نسبی (رتبه‌بندی) به جای مقادیر کمی در محاسبات لحاظ می‌شود که این شرایط را فراهم می‌کند تا داده‌های خارج از محدوده روند حداقلی نیز در تحلیل مورد استفاده قرار گیرند؛ د. مقادیر پرت که در برخی از داده‌های آماری مشاهده می‌شود، اثرپذیری ندارد. فرض صفر در آزمون من-کندال بر نبود روند معنی‌دار دلالت دارد و فرض مقابل به معنی وجود روند معنی‌دار، در سری زمانی داده‌ها اشاره می‌کند (دوهان و پاندی^{۱۶}، ۲۰۱۳).

آزمون پتیت توسط پتیت ارائه شد (پتیت^{۱۷}، ۱۹۷۹). این آزمون برای تعیین نقطه عطف یا شکست^{۱۸} (تغییر ناگهانی) مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ به این ترتیب که یک سری داده‌های آماری را به دو جزء سری جدا تقسیم کرده و سپس معنی‌دار بودن آن‌ها را بررسی می‌کند (کای^{۱۹} و همکاران، ۲۰۲۰)، در صورت معنی‌دار شدن وجود نقطه شکست در سری، نسبت مقادیر میانگین سری، قبل و بعد از نقطه تغییر، برای ارزیابی شکست به

زابلون^۱ و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی و ارزیابی خشکسالی خشکسالی شمال شرقی کنیا با استفاده از بارش دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ و شاخص‌های خشکسالی، بارش استاندارد و شاخص ترکیبی خشکسالی^۲ (CDI) پرداختند؛ نتایج نشان داد این دو شاخص همبستگی بالایی داشته و شاخص ترکیبی خشکسالی در تجزیه و تحلیل خشکسالی در مقایسه با شاخص بارش استاندارد شده موفق‌تر است چون خشکسالی را با جزئیات بیشتر نشان می‌دهد (زابلون و همکاران، ۲۰۱۹).

بوستانی و یوکی^۳ (۲۰۲۰) به مطالعه تحلیل خشکسالی حوضه رودخانه یسلیرمک^۴ که به دریای سیاه می‌ریخت پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های هواشناسی منطقه با طول دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۴ و ۷ شاخص مختلف خشکسالی هواشناسی (SPI و MCZI، CZI، ZSI، RAI^۵، DI، PNPI) در ۷ مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهه مورد بررسی قرار دادند. با مقایسه‌ای که بین شاخص‌های خشکسالی و دوره‌های زمانی موجود انجام دادند در نهایت، شاخص بارش استاندارد شده ۱۲ ماهه به‌عنوان بهترین شاخص در آن مقیاس زمانی برای حوضه انتخاب شد و مشخص گردید در کل حوضه طی سال‌های ۱۹۷۴، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۴ خشکسالی بسیار شدید حاکم بوده است (بوستانی و یوکی، ۲۰۲۰).

با توجه به خشکسالی‌های بسیار شدیدی که در اکثر مناطق دنیا در دهه اخیر به‌واسطه پدیده گرمایش جهانی به وجود آمده، نشان از تغییر در روند برخی آیت‌های چرخه هیدرولوژی مانند بارش می‌باشد که بر خشکسالی مؤثر است. به همین دلیل مطالعات زیادی برای بررسی روند تغییرات بارش و خشکسالی با آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری توسط محققان انجام شده که در این بین آزمون‌های ناپارامتری به دلیل اینکه به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند مورد استقبال بیشتر قرار گرفتند (مجیدی و همکاران، ۲۰۱۸؛ جاین و کوما^۶، ۲۰۱۲). آزمون‌های پارامتری به دلیل اینکه هنگام استفاده از آن‌ها بایستی داده‌ها تصادفی (مستقل) و دارای توزیع نرمال باشند، کمتر مورد استفاده قرار

7. Sharma and Goyal
8. Sen's Slope Test
9. Pettitt's Change Point Test
10. Mann-Kendall Test
11. Hydrometeorological
12. Alashan
13. Mann
14. Kendall
15. Yue
16. Duhan and Pandey
17. Pettitt
18. Change Point
19. Cai

1. Zablou
2. Composite Drought Index
3. Boustani and Ulke
4. Yesilirmak River
5. Rainfall Anomaly Index
6. Jain and Kumar

در منطقه خاورمیانه، مرکز استرالیا و غرب آمریکا بیشتر مشهود است. افزایش شدت خشکسالی‌ها می‌تواند به محدودیت بیشتر منابع آب، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه دامن بزند (کوثری و همکاران، ۲۰۱۷).

شارما و گوپال (۲۰۲۰) به تحلیل روند خشکسالی کشور هند با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده خشکسالی و آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و سن در ۵۶۶ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری ۱۰۱ ساله (۱۹۰۱-۲۰۰۲) پرداخته و مشخص شد که روند خشکسالی در مناطق شرقی، شمال شرقی و منتهی‌الیه جنوبی کشور هند افزایش می‌باشد و در مناطق شمالی و جنوبی کشور هند روند خشکسالی کاهش می‌باشد (شارما و گوپال، ۲۰۲۰).

درودی و همکاران (۲۰۲۱) برای تحلیل ترسیمی روند خشکسالی کوتاه‌مدت ۱۱ ایستگاه واقع در استان سیستان بلوچستان با طول دوره آماری ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶، از آزمون ناپارامتری من-کندال و SPEI شاخص استفاده کردند. نتایج نشان داد روند خاصی در میانگین بارندگی سالانه ایستگاه‌ها وجود ندارد، اما سری زمانی میانگین دمای سالانه، در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹٪ دارای روند افزایشی معنی‌دار است. مقادیر شاخص SPEI نیز در بیشتر ایستگاه‌ها روند منفی و معنی‌دار نشان داد که مؤید وقوع دوره‌های خشک و بحرانی‌تر در سال‌های اخیر است. بر اساس نتایج، بیشترین شدت خشکسالی به‌دست آمده مربوط به ایستگاه خاش و بیشترین شدت ترسالی نیز مربوط به ایستگاه چابهار است (درودی و همکاران، ۲۰۲۱).

هدف از این مطالعه ارزیابی و تحلیل روند خشکسالی استان اصفهان با استفاده از شاخص ZSI در مقیاس‌های زمانی مختلف و آزمون‌های متعدد در همه ایستگاه‌های همدیدی استان با طول دوره آماری ۳۰ ساله می‌باشد تا بتوان با استفاده از نتایج این پژوهش وضعیت روند خشکسالی استان را مشخص و خسارت‌های وارد بر منابع آبی را جلوگیری و برنامه‌ریزی کاربردی نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان در مختصات جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا

کار گرفته می‌شود. برای سری‌های زمانی که نقطه شکست معنی‌داری را نشان می‌دهد، آزمون روند بر روی جزء سری‌ها و در صورت عدم معنی‌داری نقطه شکست، آزمون روند بر روی کل سری اعمال می‌شود (دی لاسمه^۱ و همکاران، ۲۰۲۰)

از آزمون‌های ناپارامتری دیگر که تیل توانست با توسعه یک سری محاسبات آماری آن را ارائه کند، آزمون سن است (تیل^۲، ۱۹۵۰). چنانچه بتوان روند را خطی فرض کرد، تغییر در روند به‌ازای تغییر یک واحدی در زمان، کمی‌سازی انجام می‌شود (کارپوز^۳ و همکاران، ۲۰۱۰). این روش مانند روش من-کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره‌مند می‌شود. روش سن برای تخمین شیب واقعی یک روند خطی استفاده می‌شود که حتی با وجود داده‌های گمشده نیز قابل استفاده است (گیلبرت^۴، ۱۹۸۷).

رحمت سیتی نازاهیه^۵ و همکاران (۲۰۱۲) به تحلیل روند خشکسالی هواشناسی ویکتوریا با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در مقیاس زمانی ۳ ماهه و ۱۲ ماهه و آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و سن پرداختند. آن‌ها با استفاده از آزمون من-کندال به این نتیجه رسیدند که برای هر دو مقیاس زمانی ۳ ماهه و ۱۲ ماهه روند خشکسالی به‌صورت نزولی معنی‌داری برای همه ایستگاه‌ها می‌باشد و همچنین با استفاده از آزمون سن به این نتیجه رسیدند برای مقیاس زمانی ۳ ماهه، سه ایستگاه از پنج ایستگاه و برای مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، تمام ایستگاه‌ها دارای خشکسالی با روند نزولی معنی‌دار هستند (سیتی نازاهیه و همکاران، ۲۰۱۲).

کوثری و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی روند خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی در مناطق فراخشک، خشک و نیمه‌خشک جهان با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت ۱، ۳ و ۶ ماهه در طول دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۴ پرداختند. نتایج نشان داد که خیلی از مناطق بدون روند بوده و روندهای منفی SPI که نشان‌دهنده افزایش خشکسالی‌هاست،

1. De Lasme
2. Thil
3. Karpouzou
4. Gilbert
5. Siti Nazahiyah

مانند گاما یا پیرسون نوع III مطابق آنچه در SPI انجام می‌گردد، نیاز ندارد (میرزایی و سبغه، ۲۰۱۱). نمایه ZSI برای هر منطقه بر پایه آمار بلندمدت بارندگی (حداقل ۳۰ ساله)، در مقیاس‌های زمانی مختلف نظیر یک دوره سه‌ماهه، شش‌ماهه و... می‌تواند استفاده شود. مراحل محاسبه شاخص معیار استاندارد به‌صورت زیر است:

۱. مرتب کردن سری زمانی داده‌های بارندگی به‌صورت صعودی.

۲. تعیین میانگین و انحراف استاندارد سری زمانی داده‌ها.

۳. تعیین شاخص معیار استاندارد برای هر یک از دوره‌های آماری (عیوضی و همکاران، ۲۰۰۹).

برای محاسبه ZSI از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

$$ZSI = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad (1)$$

که Z نمره استاندارد بارش یا متغیر استاندارد شده، X_i میانگین بارش کل دوره، \bar{X} میانگین بارش ماهانه و S انحراف از معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی است (بوستانی و یوکی، ۲۰۲۰). دامنه تغییرات و طبقه‌بندی ZSI برای بیان شدت خشکسالی در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس نمایه ZSI

(زارعی و اسلامیان، ۲۰۱۷)

Table (2): Drought classification based on ZSI index

طبقات شدت خشکسالی	شاخص معیار استاندارد شده (ZSI)
نرمال	+۱ تا ۰
خشکسالی ضعیف	-۱ تا ۰
خشکسالی متوسط	-۱/۵ تا -۱
خشکسالی شدید	-۲ تا -۱/۵
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲

تشخیص روند با استفاده از آزمون من-کندال

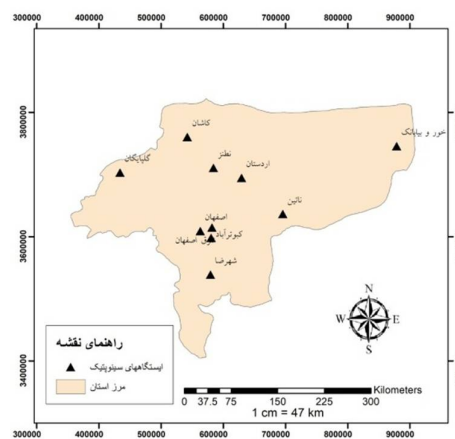
برای محاسبه آزمون من-کندال ابتدا داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب شده سپس هر داده با تمام داده‌های قبل از خود بدون در نظر گرفتن تأثیر توزیع آن‌ها مقایسه می‌شود. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و فرض مقابل دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد (زارعی و اسلامیان، ۲۰۱۷). برای

۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱) و مساحتی حدود ۱۰۷۱۴۵ کیلومتر مربع را داراست. میانگین بارندگی استان اصفهان برابر ۱۳۰ میلی‌متر در سال است. طبقه‌بندی اقلیمی ایستگاه‌های استان را بر اساس روش دومارتن (دومارتن، ۱۹۲۶) دارای سه اقلیم عمده نیمه‌خشک گرم و خشک و بیابانی ارزیابی شده است (سلطانی و مدرس، ۲۰۰۶).

جدول (۱): ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان اصفهان

Table (1): Stations studied in Isfahan province

ایستگاه‌های استان	طول جغرافیایی (درجه - دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه - دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال شروع آماربرداری بارش
اصفهان	۵۱° ۷۰'	۳۳° ۱۵'	۱۵۵۰/۴	۱۹۵۱
شرق اصفهان	۵۱° ۸۶'	۳۳° ۷۴'	۱۵۵۱/۹	۱۹۷۶
کاشان	۵۱° ۴۸'	۳۳° ۹۶'	۹۵۵	۱۹۶۶
خوروبیانک	۵۵° ۰۸'	۳۳° ۷۷'	۸۴۲/۲	۱۹۸۶
کبوترآباد	۵۱° ۸۳'	۳۳° ۵۱'	۱۵۴۲/۵	۱۹۸۷
گلپایگان	۵۰° ۲۸'	۳۳° ۴۶'	۱۸۷۰	۱۹۹۰
شهرضا	۵۱° ۸۱'	۳۱° ۹۸'	۱۸۵۸	۱۹۹۰
نطنز	۵۱° ۰۹'	۳۳° ۵۳'	۱۶۸۵	۱۹۹۰
اردستان	۵۲° ۳۷'	۳۳° ۳۵'	۱۲۵۵/۵	۱۹۹۰
ناین	۵۳° ۰۷'	۳۳° ۸۵'	۱۵۷۳/۷	۱۹۹۰



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان اصفهان

Figure (1): Geographic location of the stations studied in Isfahan province.

شاخص معیار استاندارد یا ZSI

برای محاسبه شاخص ZSI به تبدیل داده‌ها و برآزش توزیع

(ویلارانی^۳ و همکاران، ۲۰۰۹) آماره آزمون پتیت طبق رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$k = \max |u_k|, \quad 1 \leq k \leq N \quad (6)$$

u_k معادل آماره من-ویتنی است که برای آزمون دو نمونه (x_1, x_2, \dots, x_T) و $(x_{T+1}, x_{T+2}, \dots, x_N)$ از یک جمعیت یکسان به کار می‌رود که N تعداد کل داده و T شماره ترتیب داده‌ای است که آماره آزمون پتیت به حداکثر مقدار خود رسیده است و u_k طبق رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$u_k = 2 \sum_{i=1}^k M_i - K(n+1) \quad (7)$$

M_i رتبه داده i ام است. نقطه شکست در سری زمانی در نقطه‌ای روی می‌دهد که در آن u_k به حداکثر مقدار خود می‌رسد. برای آزمون معناداری آماری نقطه تغییر مقدار محاسبه شده k_α با مقدار تئوری آن در سطح احتمال α طبق رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود.

$$k_\alpha = \left[\frac{-\ln \alpha (N^3 + N^2)}{6} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

$$p \approx \exp \left[\frac{-6k^2}{N^3 + N^2} \right]$$

اگر در آزمون پتیت p کمتر از سطح معناداری ۵٪ باشد، فرض صفر (عدم وجود نقطه شکست) رد می‌شود (روننگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۳).

آزمون شیب سن

اندازه روند در یک سری زمانی با استفاده از این روش تعیین می‌شود (شاما و گویال، ۲۰۲۰). اساس آزمون سن بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و آزمون معنی‌داری شیب به‌دست‌آمده در سطوح مختلف اطمینان است. مراحل کلی انجام این آزمون به شرح زیر است:

الف. محاسبه شیب بین هر جفت داده با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s} \quad (9)$$

که X_t و X_s به ترتیب داده در زمان‌های t و s بوده که t یک

محاسبه آماره این آزمون ابتدا پارامتر S با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

که n در آن تعداد مشاهدات سری و x_i و x_j به ترتیب داده‌های j ام و i ام سری هستند، تابع علامت نیز طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

انحراف معیار S نیز طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$\text{VAR}(S) = \quad (4)$$

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

که در آن q تعداد گروه‌های دارای گروه (گروه‌دار عبارت است از داده‌های برابر و با بیش از دو عضو)، t_p تعداد داده‌های برابر در p امین گروه می‌باشد. در نهایت آماره Z آزمون ناپارامتری من-کنندال با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$Z_m = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

مقادیر منفی و مثبت Z_m به ترتیب بیانگر روند کاهشی و روند افزایشی در سری داده‌هاست. با توجه به سطح اطمینان ۹۵٪ اگر $|Z_m| > 1/96$ باشد، فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در سری زمانی مورد مطالعه، رد و در این صورت وجود روند در سری داده‌ها پذیرفته می‌شود (ذاکری، ۲۰۱۹).

آزمون ناپارامتری پتیت^۱

ناایستایی در سری‌های زمانی را می‌تواند با تغییرات ناگهانی در میانگین یا واریانس سری مشخص کرد. برای شناسایی جابه‌جایی‌های احتمالی، روش‌های استاندارد نقطه تغییر برای چندین سری زمانی در علوم زمین از جمله بارش و دما اعمال شده است (تام و میراندا^۲، ۲۰۰۴) یکی از انواع آزمون همگنی (نقطه تغییر) آزمون پتیت (پتیت، ۱۹۷۹) است که یک آزمون ناپارامتری است که نیاز به فرضیه‌ای در توزیع آماری دارد

3. Villarini
4. Rouge

1. PT:Pettitt test
2. Tome and Miranda

ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه بر اساس Z آزمون معناداری من-کندال، مقدار معناداری (یا p -value) آزمون پتیت Z و آزمون معناداری شیب سن را نشان می‌دهد. در این جدول علامت ستاره نشان دهنده روند منفی (برای Z های کمتر از $-1/96$) و روند مثبت (برای Z های بیشتر از $1/96$) در سطح اطمینان 95% است.

نتایج آزمون من-کندال

نتایج محاسبه آزمون من-کندال در مقیاس زمانی ماهانه در سطح اطمینان 95% ، در بین کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان اصفهان، ایستگاه نائین و کبوترآباد با ZSI به ترتیب مقدار $-1/99$ و $-2/04$ دارای روند معنادار بوده از آنجا که مقدار Z کمتر از $1/96$ می‌باشد، نشان‌دهنده روند نزولی در ایستگاه نائین و کبوترآباد است اما بارش در تمام ایستگاه‌های استان در مقیاس زمانی ماهانه روند معنی‌دار وجود ندارند.

بر اساس آزمون من-کندال ایستگاه شهرضا در سری‌های زمانی ZSI روند معنی‌دار ندارند، ایستگاه اصفهان فقط در سری زمانی ۴۸ ماهه دارای روند منفی بوده و در سایر سری‌های زمانی ZSI روند معناداری ندارند. ایستگاه‌های نائین و کبوترآباد در تمام سری‌های زمانی دارای روند منفی بوده به‌طوری که در مقیاس زمانی یک ماهه فقط ایستگاه‌های نائین و کبوترآباد در بین تمام ایستگاه‌ها دارای روند ZSI می‌باشند. همچنین در مقیاس ۳ ماهه نیز در ایستگاه‌های اردستان، اصفهان، نائین و کبوترآباد دارای روند ZSI معنی‌دار بوده است به‌طوری که کبوترآباد دارای بیشترین روند منفی و اردستان و اصفهان دارای روند کمتر معنی‌دار هستند. ایستگاه‌های خور و بیابانک و شرق اصفهان به‌جز در مقیاس کوتاه‌مدت ۱ و ۳ ماهه در مابقی سری‌های زمانی روند منفی از خود نشان می‌دهند. در مقیاس ۶ ماهه ایستگاه‌های اردستان، نائین، خور و بیابانک و شرق اصفهان دارای روند ZSI معنادار است به‌طوری که اردستان و شرق اصفهان دارای بیشترین روند نزولی و خور و بیابانک دارای روند کمتر معنی‌دار می‌باشد.

ایستگاه‌های اردستان، شرق اصفهان، کبوترآباد، نائین و خور و بیابانک در سری زمانی ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه دارای روند منفی در مقدار ZSI هستند که در این بین

واحد زمانی بعد از زمان S می‌باشد. با اعمال این رابطه برای هر دو جفت داده، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه‌شده به دست می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند (Q_{med}) حاصل می‌آید. مقدار مثبت Q_{med} حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن نشان‌دهنده نزولی بودن روند است.

ب. محاسبه پارامتر C_α برای سطح اطمینان مورد نظر طبق رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$(10)$$

$$C_\alpha = z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\text{var}(s)}$$

که در آن، Z چندک توزیع نرمال استاندارد است (سالمی و همکاران، ۲۰۰۲).

ج. محاسبه حدود اطمینان بالا و پایین (M_1 و M_2) به کمک روابط (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$\begin{cases} M_1 = \frac{N^l - C_\alpha}{2} \\ M_2 = \frac{N^l + C_\alpha}{2} \end{cases} \quad (11)$$

که N^l تعداد شیب‌های محاسبه‌شده در بند (الف) است.

د. برای بررسی حدود اطمینان، از بین شیب‌های محاسبه‌شده توسط رابطه (۸)، M_1 امین و (M_2+1) امین شیب‌ها استخراج می‌شوند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج‌شده فوق قرار گیرد، فرض صفر پذیرفته شده و سری زمانی بدون روند است (مجیدی و همکاران، ۲۰۱۸).

برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه سری ماهانه بارندگی و سری‌های خشکسالی در مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه بر اساس شاخص ZSI استخراج و در نهایت ۹۰ سری زمانی ایجاد گردید. برای تعیین روند، تجزیه و تحلیل نتایج و تعیین روند خشکسالی در استان اصفهان از آزمون‌های ناپارامتری پتیت، سن و من-کندال، از نرم‌افزار R استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمون‌های من-کندال، شیب سن و پتیت برای سری‌های زمانی مختلف ZSI و بارش ماهانه در تمام ایستگاه‌ها محاسبه شد. در جدول (۳) سری‌های زمانی ZSI_1 ، ZSI_3 ، ZSI_6 ، ZSI_9 ، ZSI_{12} ، ZSI_{18} ، ZSI_{24} و ZSI_{48} و بارش ماهانه در

ایستگاه‌های اردستان و اصفهان دارای بیشترین مقدار در روند منفی می‌باشند.

ایستگاه کاشان فقط در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه دارای روند منفی است. ایستگاه‌های گلپایگان و نطنز نیز فقط در مقیاس‌های زمانی ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه دارای روند منفی و در مابقی سری‌های زمانی فاقد روند معنی‌دار هستند.

نتایج آزمون سن

نتایج محاسبه آزمون سن در مقیاس زمانی ماهانه در سطح اطمینان ۹۵٪، نشان داد در بین کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان اصفهان، میزان بارش روند کاهشی یا افزایشی معنی‌دار ندارد و مقدار ZSI برای ایستگاه‌های کبوترآباد و نایین با مقدار ۰/۰۴ دارای روند معناداری بوده؛ از آنجا که مقدار p-value مربوط به آزمون سن کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، روند نزولی در ایستگاه‌های کبوترآباد و نایین در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. در سایر ایستگاه‌های استان اصفهان مقدار ZSI ماهانه روند معنی‌داری را از خود نشان نداد. بر اساس آزمون سن برای ایستگاه‌های کبوترآباد و نایین در تمام سری‌های زمانی دارای روند نزولی می‌باشند و در مقیاس ۳ ماهه ایستگاه‌های اردستان، اصفهان، کبوترآباد و نایین دارای روند ZSI معناداری با روند نزولی می‌باشند. در مقیاس ۶ ماهه ایستگاه‌های اردستان، شرق اصفهان، نایین، خور و بیابانک و کبوترآباد دارای روند ZSI معناداری با روند نزولی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ هستند.

ایستگاه‌های خور و بیابانک و شرق اصفهان به‌جز مقیاس زمانی ماهانه و ۳ ماهه دارای روند نزولی هستند. ایستگاه اصفهان نیز در سری زمانی ۳ ماهه و ۴۸ ماهه دارای روند بوده و در مابقی سری‌های زمانی دارای روند منفی نیستند.

ایستگاه کاشان فقط در مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه دارای روند منفی است و همچنین ایستگاه‌های گلپایگان و نطنز نیز فقط در مقیاس‌های زمانی ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه دارای روند منفی می‌باشند و در مابقی سری‌های زمانی روند معنی‌دار ندارند.

گفتنی است در هیچ‌یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه روند معنی‌دار با روند صعودی در سطح اطمینان ۹۵٪ مشاهده نشد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سری‌های زمانی طولانی‌مدت بهتر از سری‌های کوتاه‌مدت می‌توانند روند را نشان دهند. با افزایش مقیاس‌های زمانی شاخص ZSI، گسترش شرایط خشکسالی افزایش یافته و با کاهش مقیاس زمانی شاخص، دوره‌های خشک با مدت زمان طولانی کمتر تکرار می‌شوند (جمالی^۱ و همکاران، ۲۰۱۸).

نتایج بر اساس آزمون پتیت

نتایج محاسبه آزمون پتیت در مقیاس زمانی ماهانه در سطح اطمینان ۹۵٪، در بین کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان اصفهان، ایستگاه نایین با مقدار صفر برای شاخص ZSI دارای روند معنی‌دار بوده و از آنجا که مقدار p-value مربوط به آزمون پتیت کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، نشان‌دهنده روند نزولی در ایستگاه نایین است. در ایستگاه‌های استان اصفهان مقدار بارش ماهانه روند معنی‌دار ندارند. در سری‌های زمانی ۱۲، ۱۸ و ۲۴ و ۴۸ ماهه بر اساس شاخص ZSI مقدار ZSI در تمام ایستگاه‌ها دارای روند معنی‌دار با روند نزولی هستند.

شایان ذکر است در بین کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان اصفهان روند خشکسالی در ایستگاه نایین در تمام سری‌های زمانی دارای روند نزولی معنادار بوده و در ایستگاه‌های اردستان، شرق اصفهان، شهرضا و کبوترآباد به‌جز مقیاس زمانی ماهانه، در مابقی سری‌های زمانی دارای روند نزولی هستند.

در ایستگاه‌های گلپایگان و خور و بیابانک به‌جز مقیاس زمانی ماهانه و سه ماهه، در مابقی سری‌های زمانی دارای روند نزولی هستند. در ایستگاه اصفهان نیز به‌جز مقیاس زمانی ماهانه و ۶ ماهه، روند نزولی در مابقی سری‌های زمانی برقرار است.

در ایستگاه کاشان فقط در مقیاس‌های زمانی ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴

جدول (۳): نتایج حاصل از آزمون روند من-کندال، آزمون شیب سن و آزمون پتیت برای سری‌های زمانی مختلف ZSI و بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۵٪

Table (2): The results of Mann-Kendall trend test, Sen's slope Test and Pettitt test for different ZSI time series and monthly precipitation of the studied stations at 95% confidence level

نام ایستگاه	آزمون‌ها	ZSI _۱	ZSI _۲	ZSI _۳	ZSI _۴	ZSI _۵	ZSI _۶	ZSI _۷	ZSI _۸	ZSI _۹	بارش ماهانه
اردستان	Z من-کندال	-۱/۲۶	-۲/۰۵*	-۳/۴۹*	-۴/۷۵*	-۵/۷۷*	-۵/۱۷*	-۸/۴۵*	-۱۱/۷۸*	۰/۴۷	
	p-value آزمون سن	۰/۲۰	۰/۰۴*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۶۳	
	p-value آزمون پتیت	۰/۲۶	۰/۰۱**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۵۵	
اصفهان	Z من-کندال	-۰/۳۱	۰/۴۸	۰/۱۵	-۰/۶۸	-۱/۰۲	۱/۴۰	-۱/۸۶	-۹/۱۰*	-۰/۳۹	
	p-value آزمون سن	۰/۷۵	۰/۰۴*	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۶۹	۰/۹۹	۰/۷۵	۰/۰*	۰/۴۱	
	p-value آزمون پتیت	۰/۸۹	۰/۰۱**	۰/۰۶	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۷۱	
شرق اصفهان	Z من-کندال	-۱/۲۵	۰/۴۸	-۳/۴۹*	-۴/۷۵*	-۵/۷۲*	-۷/۱۷*	-۸/۵۸*	-۱۱/۷۸*	-۰/۷۵	
	p-value آزمون سن	۰/۲۰	۰/۶۲	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۴۵	
	p-value آزمون پتیت	۰/۲۶	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۹۲	
شهرضا	Z من-کندال	-۰/۳۵	۰/۴۸	۱/۱۶	۰/۷۹	۰/۳۶	-۰/۲۳	-۰/۶۳	۱/۰۴	-۱/۱۲	
	p-value آزمون سن	۰/۷۲	۰/۶۲	۰/۲۴	۰/۴۲	۰/۷۱	۰/۸۱	۰/۵۲	۰/۲۹	۰/۲۶	
	p-value آزمون پتیت	۰/۱۹	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۱۴	
کیوترا آباد	Z من-کندال	-۲/۰۴*	-۲/۴۵*	-۳/۲۸*	-۴/۶۵*	-۵/۲۰*	-۶/۲۱*	-۷/۵۸*	-۹/۱۶*	-۱/۲۸	
	p-value آزمون سن	۰/۰۴*	۰/۰۱*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۱۹	
	p-value آزمون پتیت	۰/۱۵	۰/۰۳**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۵۷	
گلبایگان	Z من-کندال	-۱/۳۷	-۰/۹۵	-۰/۸۴	-۱/۵۲	-۱/۷۵	-۲/۱۵*	-۲/۵۶*	-۴/۳۵*	-۰/۸۰	
	p-value آزمون سن	۰/۱۷	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۳*	۰/۰۱*	۰/۰*	۰/۴۲	
	p-value آزمون پتیت	۰/۲۹	۰/۱۴	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۶۸	
نائین	Z من-کندال	-۱/۹۹*	-۲/۰۸*	-۲/۲۸*	-۳/۳۳*	-۴/۲۵*	-۵/۹۸*	-۷/۶۴*	-۸/۶۶*	-۱/۲۳	
	p-value آزمون سن	۰/۰۴*	۰/۰۳*	۰/۰۲*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۲۱	
	p-value آزمون پتیت	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۱۰	
نطنز	Z من-کندال	-۰/۴۶	-۰/۰۷	۰/۷۱	-۰/۲۰	-۰/۹۴	-۵/۸۳*	-۳/۵۳*	-۶/۷۳*	-۰/۲۹	
	p-value آزمون سن	۰/۶۴	۰/۹۴	۰/۴۷	۰/۸۳	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۰*	۰/۰*	۰/۷۶	
	p-value آزمون پتیت	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۹۶	
خور و بیابانک	Z من-کندال	-۰/۵۸	-۱/۰۲	-۲/۱۸*	-۳/۳۶*	-۴/۴۹*	-۶/۳۰*	-۷/۹۷*	-۹/۷۴*	-۰/۲۹	
	p-value آزمون سن	-۰/۵۸	۰/۳۰	۰/۰۲*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۷۶	
	p-value آزمون پتیت	۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۷۲	
کاشان	Z من-کندال	۰/۳۷	۰/۹۰	-۰/۰۸	-۱/۳۳	-۲/۸۲*	-۵/۸۳*	-۵/۶۷*	-۹/۶۷*	۰/۵۴	
	p-value آزمون سن	۰/۷۰	۰/۳۶	۰/۹۳	۰/۱۸	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۰*	۰/۵۴	
	p-value آزمون پتیت	۱	۰/۴۰	۰/۲۵	۰/۰۴**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۰/۰**	۱	

* معناداری روند در سطح ۵٪، ** معناداری نقطه شکست

نتیجه گیری

به طور کلی شاخص خشکسالی ZSI در سری های طولانی مدت زمانی یعنی ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و به ویژه ۴۸ ماهه و در تمامی ایستگاه ها به جز شهرضا دارای روند معنی دار است و می توان نتیجه گرفت که تغییرات در سری های زمانی بلندمدت بهتر نمایان می شود؛ زیرا بر اساس نتایج به دست آمده سری های زمانی طولانی مدت بهتر از سری های کوتاه مدت می توانند روند را نشان دهند. نتایج پژوهش حاضر با پژوهش های پاتل و همکاران (۲۰۰۷)، زارع و اسلامیان (۲۰۱۷) و جمای و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی دارد. همچنین نتایج نشان داد بیش از ۸۰٪ ایستگاه ها دارای روند منفی افزایشی بوده که این نشانگر افزایش خشکسالی طی سال های آینده در استان اصفهان است. نتیجه افزایش روند خشکسالی در سال های آینده با نتایج مطالعات مجیدی و همکاران (۲۰۱۸) و کوثری و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت داشته است، به نحوی که کوثری و همکاران (۲۰۱۷) طی تحقیقی به این نتیجه رسیدند که روند و شدت خشکسالی ها در سطح ایران افزایش بوده که شرایط آب را در ایران بحرانی تر خواهد نمود. نتایج این پژوهش پیامدهای گسترده ای نه تنها برای نحوه برخورد ما با تأثیرات فاجعه خشکسالی برای چگونگی تأثیر این تأثیرات بر امنیت اجتماعی - اقتصادی و اکولوژیکی دارد بلکه بر سیاست گذاری ها و تعیین راهبردهای مؤثر در ترسیم چشم انداز پایدار برای آیندگان نیز تأثیر دارد.

نتایج حاصل از این مطالعه که با هدف بررسی وجود روند در سری های زمانی شاخص خشکسالی معیار استاندارد شده (یا ZSI) در استان اصفهان، با استفاده از آزمون های ناپارامتری من - کندال، آزمون نقطه تغییر پتیت و آزمون شیب سن نشان می دهد که رفتار روند بر اساس هر سه آزمون در همه ایستگاه های منطقه مورد مطالعه، شاخص ZSI دارای روند معنی دار داشته به طوری که بر اساس آزمون من - کندال در همه ایستگاه ها خشکسالی دارای روند افزایشی معنی دار منفی بوده، اما در ایستگاه های اصفهان و شهرضا در سری زمانی های مختلف دارای روند افزایشی منفی می باشند، به طوری که ایستگاه اصفهان و شهرضا در سری های زمانی به ترتیب با دوره های ۱۸ ماهه و ۴۸ ماهه دارای روند افزایشی مثبت هستند. بر اساس آزمون نقطه تغییر پتیت، روند خشکسالی در همه ایستگاه های منطقه مورد مطالعه در سری زمانی های مختلف دارای روند معنی دار بوده است. بررسی روند بارش ماهانه در استان اصفهان نشان داد بارش در هیچ ایستگاهی دارای روند معنی دار نیست.

همچنین روند خشکسالی بر اساس آزمون شیب سن، در همه ایستگاه های استان اصفهان به جز ایستگاه شهرضا در سری های زمانی شاخص ZSI، روند خشکسالی با شیب افزایشی معنادار منفی بوده، اما در ایستگاه اصفهان فقط در سری زمانی ۴۸ ماهه خشکسالی دارای روند معنی دار با شیب افزایشی منفی است.

منابع

- Alashan, S., 2020. Combination of modified Mann-Kendall method and Şen innovative trend analysis. *Engineering Reports*, 2(3), p.e12131.
- Bayissa, Y., Moges, S., Melesse, A., Tadesse, T. and Abiy, A. Z., Worqlul, A., 2021. Multi-Dimensional Drought Assessment in Abbay/Upper Blue Nile Basin: The Importance of Shared Management and Regional Coordination Efforts for Mitigation, *j remote sensing*, 13, 1835. <https://doi.org/10.3390/rs13091835>
- Bazrafshan, J., 2002. A comparative study of several meteorological drought indices in some climatic zones of Iran. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Faculty of Agriculture, Agricultural Meteorology Group, 23-36 (In Persian).
- Boustani, A. and Ulke, A., 2020. Investigation of Meteorological Drought Indices for Environmental Assessment of Yesilirmak Region, *Journal of Environmental Treatment Techniques*, Volume 8, Issue 1, Pages: 374-381.
- Cai, G., Chen, S., Liu, Y., Sun, H., Chen, C., Gui, D. and Yan, D., 2020. Using multiple indexes to analyze temporal and spatial patterns of precipitation and drought in Xinjiang, China, *Journal Theoretical and Applied Climatology*, 142(5895).
- Darroudi, H., Khosroshahi, M. and Shahabi, M., 2021. Analysis of drought and climatic factors trend

- variations in Sistan and Baluchestan Province. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, pp.3-4 (In Persian).
7. De Lasme, O. Z., Koffi, A. S. and Cedric, D. G., 2020. Assessment of Groundwater Resource in Climate Variability Context at Sinematiali (North of Côte d'Ivoire), *European Journal of Environment and Earth Sciences*, Vol 1(5), DOI: 10.24018/ejgeo.2020.1.5.73.
 8. De Martonne, E. 1926. L'indice d'aridité. *Bulletin de l'Association de géographes français*, 3: 3-5.
 9. Duhan. D. and Pandey, A., 2013. Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901–2002 at Madhya Pradesh, India. *Atmospheric Research*, 122: 136-149.
 10. Eivazi, M., Mosaedi, A. and Dehghani, A. A., 2009. Comparison of different approaches for predicting SPI. *Journal of Water and Soil Conservation*, Vol. 16(2), 145-167 (In Persian).
 11. Ensafi Moghaddam, T., 2007. An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. *Iranian journal of Range and Desert Research*, Vol. 14, No. 2, 277-288 (In Persian).
 12. Fazel Dehkordi, L., 2013. Drought risk warning for optimal rangelands management. Ph.D. Thesis, University of Tehran. Pp: 397 (In Persian).
 13. Fazel Dehkordi, L., Sohrabi, T. S., Ghanavizbaf, M. H. and Ghazavi, R., 2016. Drought Monitoring by Using of MODIS Satellite Images in Dry Lands (Case study: Isfahan Rangelands). *Journal of Geography and Environmental Planning*, Vol 27, No. 3, Ser No. (63), 176-190 (In Persian).
 14. Villarini, G., Serinaldi, F., Smith, J. A. and Krajewski, W. F., 2009. "On the stationarity of annual flood peaks in the continental United States during the 20th century," *Water Resources Research*, Vol. 45, No. 8, article W08417.
 15. Gilbert, R. O., 1987. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New Van Nostrand Reinhold, New York, 320 pp.
 16. Jain, S.K. and Kumar, V., 2012. Trend analysis of rainfall and temperature data for India. *Current Science*, 102 (1), 37–49.
 17. Jemai, S., Kallel. A. and Abida, H., 2018. Drought distribution using the standard precipitation index: case of Gabes Basin, South Tunisia, *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 11(23), pp: 1- 31.
 18. Karpouzou, D. K., Kavalieratou, S. and Babajimopoulos, C., 2010. Non- parametric trend analysis of precipitation data in Pieria Region basin Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 61-62, p. 32-42.
 19. Kendall, M. 1975. *Rank Correlation Methods*. Griffin & Co, London: ISBN 0-85264-199-0.
 20. Khoshravesh, M., Mirnaseri, M. and Pesarakloo, M., 2017. Change Detection of Precipitation Trend of Northern Part of Iran using Mann-Kendall Non-Parametric Test. *Journal of Watershed Management Research*, 8(16): 223-231 (In Persian).
 21. Kousari, R. M., Ekhtesasi, M. R. and Maleikenzhad, H., 2017. Investigation of meteorological and agricultural drought trends in hyper-arid, arid and semi-arid regions of the world. *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 6(14), 91-105 (In Persian).
 22. Majidi, A. Radfar, A., Mirabbasi, M., Najafabadi, R. and Marofi, S., 2018. Trend Analysis of Meteorological Drought Characteristics in Hamedan Province. *Journal of Watershed Management research*, Vol. 9, no. 17, 295-305 (In Persian).
 23. Mann, H., 1945. Non-Parametric Tests against Trend. *Econometrica*, 13: 245-259.
 24. Masoudian, A., 2011. *The Weather of Iran*. Sharie Toos, Mashhad, Iran. (In Persian).
 25. Meteorological Organization of the country., 2021. *Meteorological Calendar of Isfahan Province*. 31-149 (In Persian).
 26. Mirzaei, A. A. and Sabe, Gh. A., 2015. *Water engineering specialized software*. Kian Academic Publication, Tehran, Iran. (In Persian).
 27. Mishra, A. K, and V. P. Singh. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391: 202-216.
 28. Moradi Dashtpajardi, M., Kousari, M. R., Vagharfard, H., Ghonchepour, D., Hosseini, M. E. and Ahani, H., 2014. An investigation of drought magnitude trend during 1975–2005 in arid and semi-arid regions of Iran. *Environmental Earth Sciences* 73, 1231-1244. (In Persian).
 29. Nasserzadeh M. H. and Ahmadi E., 2012. Investigating the Performance of Meteorological Drought Indicators in Drought Evaluation and its Zoning in Qazvin Province, *Journal of Applied Geographical Sciences*, Vol. 12, No. 27, 141-162 (In Persian).
 30. Patel, N. R., Chopra, P. and Dadhwal, V. K., 2007. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. *Meteorological Applications*, 14: 329-336.
 31. Pettitt, A. N., 1979. A non-parametric approach to changepoint problem, *Applied Statistics*, vol. 28, no. 2, pp. 126–135.
 32. Rajabi, M., Moradi, H. R. and Farajzadeh, M., 2005. Investigating the relationship between severity, duration and frequency of meteorological droughts in Fars province. *International Conference of Earth Hazards, Natural Disasters and Strategies to Deal with Them*, University of Tabriz, Tabriz, Iran (In Persian).
 33. Rahmat, S.N., Jayasuriya, N. and Bhuiyan, M., 2012, November. Trend analysis of drought using standardised precipitation index (SPI) in Victoria, Australia. In *Hydrology and Water Resources Symposium* (p. 441).
 34. Rouge, C., Ge, Y., and Cai, X., 2013. "Detecting Gradual and Abrupt Changes in Hydrological

- Records," *Advances in Water Resources*, Vol. 53, pp. 33-44.
35. Zakeri, S., Samkhaniani, A., Adeli, S. and Nikraftar, Z., 2019. Evaluation Of Long Term Trend Of Different Drought Indices Using Mann-Kendall And Sen's Slope Estimator Over Iran, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4/W18, *GeoSpatial Conference 2019 – Joint Conferences of SMPR and GI Research*, 12-14 October 2019, Karaj, Iran (In Persian).
36. Montazeri, M., Gandomkar, A. and Momeni, M., Salehvand, I., 2015. Evaluation of Meteorological Drought Index for Drought Assessment and Mapping in Lorestan Province in Iran, *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 2(1): 24-36 (In Persian).
37. Sharma, A. and Goyal, M. K., 2020. Assessment of drought trend and variability in India using wavelet transform, *Journal Hydrological Sciences*, Vol. 65, No. 9, pp. 1539-1554, DOI: 10.1080/02626667.2020.1754422.
38. Soltani, S. and Modares, R., 2006. Investigation and Analysis of the Severity and Frequency of Meteorological Drought in Isfahan Province, *Journal of Natural Resources Research*, No. 1, Volume 59: 26-16.
39. 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.
40. Tome, A. R. and Miranda, P. M. A., 2004. "Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters," *Geophysical Research Letters*, vol. 31, no. 2, p. L02207.
41. Yue, S., Pilon, P. and Cavadias, G., 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259 (1-4), 254-271. Doi: 10.1016/S0022-1694 (01)00594-7.
42. Zablou, W. Sh., Ongoma, V. and Njagi, M., 2019. Applicability of Combined Drought Index in drought analysis over North Eastern Kenya, *Journal Natural Hazards*, Vol. 99, Issue 1, pages 379-389, DOI: 10.1007/s11069-019-03745-7.
43. Zarei, A. R. and Eslamian, S., 2017. Trend assessment of precipitation and drought index (SPI) using parametric and non-parametric trend analysis methods (case study: arid regions of southern Iran), *Journal Hydrology Science and Technology*, Vol. 7, No. 1.

Long-Term Statistical Analysis of Meteorological Drought Trends in Isfahan Province

Hadi Zarepour¹, Abbas Ali Vali^{*2}, Hamid Ghorbani³, Seyed Javad Sadatinejad⁴, Seyed Hassan Alavinia⁵

Received: 29/11/2021

Accepted: 16/02/2020

Extended Abstract

Introduction: As one of the greatest natural disasters, meteorological drought has traditionally affected human life. Considering the fact that the consequences of drought and its socio-economic damages increase with increasing population, it is necessary to have an effective monitoring system to analyze the drought process and reduce its adverse effects, thereby taking effective measures to manage the crisis.

Materials and methods

The study area and data: This study was conducted in Isfahan province, located at latitudes of 30° 43' to 34° 27'N and longitudes of 49° 38' to 55° 32' E with an area of 107145 km² (equivalent to 3.6 percent of the total area of Iran), whose annual precipitation rate is 130 mm which is less than half the country's average rainfall rate and one sixth of the average global rate. This study used 30-year precipitation data collected from 10 meteorological stations and neighboring areas with appropriate statistical quality to investigate the drought indices of the Isfahan province.

Case Study Indicators: Trend analysis of precipitation and drought data plays a significant role in the future development and management of water resources. Therefore, this study sought to analyze the trends of meteorological droughts and monthly precipitation rate for the period of 1990-2020 extracted from 10 synoptic stations in Isfahan province, including Ardestan, East Isfahan, Golpaygan, Isfahan, KabootarAbad, Kashan, Khorobianbanak, Naein, Natanz, Shahreza. Moreover, to investigate the variability of the Z-Score Index (ZSI) for different time intervals, the ZSI values of all these stations were calculated at multiple scales of 1, 3, 6, 9, 12, 24 and 48 monthly scales, whose trends were analyzed for all stations by applying the non-parametric Mann-Kendall at 5% significance level. The magnitudes of the trends were also computed and tested using the Sen's slope estimator method.

Results and discussion: It should be noted that the purpose of the Mann-Kendall test is to statistically assess the existence of monotonic upward or downward trend of the intended variable over time. A monotonic upward (downward) trend means that while the variable consistently increases (decreases) over time, the trend may be either linear or non-linear.

To identify a linear trend, the slope is usually estimated by computing the least squares estimates using linear regression. However, this is only valid when there is no serial correlation. Moreover, the least squares method is very sensitive to outliers. Therefore, as a robust method against those two least square assumptions, non-

1. Ph.D. Student of Faculty of Natural Resources and Earth sciences, University of Kashan

2. Associate Professor of Faculty of Natural Resources and Earth sciences, University of Kashan; vali@kashanu.ac.ir

3 Assistant Professor of Faculty of Mathematical Sciences, University of Kashan

4 Associate Professor of Faculty of New Sciences and Technolgiest, University of Tehran

5 Assistant Professor of Faculty of Natural Resources and Earth sciences, University of Kashan

DOI: 10.22052/deej.2021.11.34.1

parametric Sen's slope estimator was used to analyze ZSI Indices and detect the possible trend.

Further trend analysis was also applied to detect possible single change-point using Pettitt's test, which helped investigate significant abrupt changes in the level of time series at 5% significance level for all stations and different ZSI monthly scales. All statistical analyses were carried out via R statistical software and the facilities of its packages.

Discussion and Conclusion: The results of applying Mann-Kendall and Sen's slope tests based on ZSI Index for 9, 12, 18, 24, and 48-month scales indicated that the drought trend was significantly increasing for all stations out of Esfahan and Shahreza stations. In Isfahan station, the drought trend was significantly decreasing in the 48-month scale, and in Shahreza station, the drought trend was significantly increasing in all time periods. Moreover, the results of Mann-Kendall and Sen's slope tests for a one-month period revealed a is significantly increasing trend in terms of ZSI Index in Naein and KabootarAbad stations only. Furthermore, applying Mann-Kendall test on monthly precipitation rates of all stations showed an insignificant downward trend.

Finally, the results of the Pettitt's change point test for 9, 12, 18, 24, and 48-month scales indicated the existence of a significant change point in terms of the ZSI Index. However, no change point was observed for all stations' monthly precipitation rates throughout the same periods.

In short, considering the ZSI drought index, it could be said about 58% of all stations showed significant downward trend according to the results of the Mann-Kendall test, 56% of all stations showed a significant slope trend according to the Sen's slope test, and 81% of all stations showed a significant change point according to the results of the Pettitt's test. In general, it could be argued that drought trends are better analyzed and displayed in terms of the ZSI index for over six-month periods, and that under six-month scale are unable to produce significant results.

Considering what discussed above, it should be reiterated that Isfahan province is facing a water crisis, requiring very urgent water demand management.

Keywords: Drought, Isfahan Province, Mann-Kendall Test, Pettitt's Change Point Test, Sen's Slope Test, Z-Score Index, Trend Analysis.