

تحلیل روند تغییرات بارندگی و ارزیابی خشکسالی‌های حوضه آبخیز جازموریان با استفاده از روش‌های روندیابی و شاخص‌های بهینه

سکینه لطفی نسب اصل^{۱*}، محمد خسروشاهی^۲، زهرا سعیدی‌فر^۳ و فاطمه درگاهیان^۴

۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: s.lotfinasab@rifr-ac.ir

۲- دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- دانشجوی دکترای بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران

۴- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۱

چکیده

تحلیل روند تغییرات زمانی بارش و خشکسالی به دلیل توجه روزافزون به پدیده تغییر اقلیم یکی از موضوعات مورد بحث قرن اخیر در جوامع علمی است. از این رو، این تحقیق به بررسی و تحلیل روند تغییرات بارندگی و وضعیت خشکسالی متأثر از آن در حوضه آبخیز جازموریان به کمک روش ناپارامتریک من-کندال و مقایسه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی بارش استاندارد شده (SPI)، دهک‌ها (DI)، درصد نرمال (PNI)، Z چینی (CZI) و عدد Z (ZSI) با استفاده از آمار بارندگی ۲۴ ایستگاه بارانسنجی با پایه مشترک آماری ۳۰ ساله طی سالهای آبی ۶۳-۱۳۶۲ تا ۹۲-۱۳۹۱ می‌پردازد. بدین منظور پس از محاسبه شاخص‌های خشکسالی، بر اساس معیارهای شباهت و همبستگی آماری دسته‌بندی آنها به کمک تحلیل خوشه‌ای انجام شد. نتایج تحقیق وجود جهش مثبت و معنی‌دار در میزان بارندگی در سال‌های ۷۱ و ۷۴ را به اثبات رساند و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که در سال‌های ۷۱، ۷۴ و ۸۳ بیشترین میزان بارندگی و در سال‌های ۶۲، ۷۹، ۸۲ و ۸۴ نیز کمترین میزان بارندگی در سطح حوضه رخ داده است. تحلیل خوشه‌ای نشان داد که شاخص‌های ZSI و PN با ۱۰۰ درصد شباهت در تشخیص دوره‌های خشک و تر، شدت، مدت و تداوم آنها کاملاً مشابه عمل نموده و حداکثر شباهت را در میان تمامی گروه‌ها دارند. نتایج همچنین نشان داد که شاخص‌های CZI و SPI با ۹۹/۵ درصد شباهت در رتبه دوم از لحاظ بیشترین همانندی قرار داشتند. اعتبارسنجی نتایج از طریق مقایسه عددی دو شاخص CZI و SPI حکایت از روند تقریباً یکسان این دو شاخص و اختلاف کم آنها در ارائه وضعیت خشکسالی در حوضه آبریز جازموریان با یکدیگر داشت اما از سویی نشان داد در ارزیابی شدت خشکسالی‌ها شاخص CZI خشکسالی‌ها را شدیدتر نشان می‌دهد. به‌طور کلی نتایج بیانگر تمرکز بیشتر خشکسالی در نواحی جنوب‌شرقی و جنوبی حوضه بوده و گویای وجود استعداد تمامی مناطق حوضه در رویارویی با این پدیده می‌باشد. از این رو شناخت پدیده خشکسالی در حوضه آبخیز جازموریان از طریق مطالعه شاخص‌های CZI و SPI به‌منظور اتخاذ سیاست‌های درست و بهینه در مدیریت و حفظ منابع آبی و افزایش بهره‌وری آب در بخش‌های مختلف با توجه به محدودیت‌های آبی در منطقه مورد بررسی و مدیریت خطرهای ناشی از آن از جنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبخیز جازموریان، تغییرات بارندگی، شاخص‌های خشکسالی، تحلیل خوشه‌ای، آزمون روندیابی من کندال.

مقدمه

اقتصادی اجتماعی جوامع است. البته به تازگی تعریف دیگری از خشکسالی تحت عنوان خشکسالی اکولوژیک ارائه شده که به بررسی کمبود آب در طبیعت و چرخه هیدرولوژی آن که تنش‌های متعددی را در سرتاسر انواع اکوسیستم ایجاد می‌کند، می‌پردازد. یکی از علل عمده و اصلی ایجاد انواع دیگر خشکسالی‌ها که کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن و منابع آب زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، بهره‌کشی از آب‌های زیرزمینی و در نهایت تأثیرات اقتصادی اجتماعی، اکولوژیک و زیست محیطی را در پی دارد، وقوع خشکسالی هواشناسی است. از این رو بررسی و پایش این نوع از خشکسالی، مدت، شدت و تداوم آن از ضروریات اولیه در بررسی رخداد خشکسالی در هر منطقه از ایران و جهان محسوب می‌شود. از جمله نخستین تحقیقاتی که در زمینه خشکسالی هواشناسی در دنیا انجام شده، تحقیقات Herbst و همکاران (۱۹۶۶) می‌باشد که روش آنها بعدها توسط Mohan و Rangacharia در سال ۱۹۹۱ اصلاح شد. Karimi و همکاران (۲۰۰۱) نیز با استفاده از این روش به بررسی وقایع خشکسالی هواشناسی در استان فارس پرداختند. امروزه محققان، شاخص‌های مختلفی را به منظور ارزیابی و پایش وضعیت خشکسالی هواشناسی و بررسی اثرهای کمی ناشی از آن توسعه داده‌اند که هر یک از این شاخص‌ها بر اساس به کارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند (Richard et al., 2002). شاخص‌های خشکسالی، شدت خشکسالی پالمر (PDSI)، شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، دهک‌ها (DI)، شاخص ناهنجاری بارش (RAI)، درصد بارش نرمال (PN)، شاخص (RDI) و شاخص معیار بارش سالانه (SIAP) از این جمله‌اند. Hong و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند یک شاخص خشکسالی زمانی مفید است که بتواند ارزیابی کمی، ساده و روشنی از خصوصیات اصلی خشکسالی یعنی تداوم، شدت، فراوانی و سطح درگیر با خشکسالی ارائه دهد. Zhanga و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی پدیده خشکسالی در اقلیم ایالات متحده در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ با استفاده از شاخص‌های

خشکسالی به عنوان یکی از فراگیرترین و پرخسارت‌ترین بلایای طبیعی نامحسوس در سطح جهانی است که از نظر اقتصادی به طور متوسط سالانه موجب خسارت ۸-۶ میلیارد دلاری در سطح جهان شده و زندگی مردم بی‌شماری را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. در ایران نیز طبق گزارش‌های مرکز ملی خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ پدیده خشکسالی به ترتیب ۳/۵ و ۲/۶ میلیارد دلار خسارت وارد نموده است. از اوایل دهه ۱۹۸۰ تاکنون بیش از ۱۵۰ تعریف برای خشکسالی در کتاب‌ها و مقالات مختلف منتشر شده است که این تعاریف از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است ولی تمامی آنها به طور کلی خشکسالی را نتیجه کمبود بارش در طی یک دوره ممتد زمانی معمولاً از چندماه تا چندین سال می‌دانند که موجب کمبود و فقدان آب مورد نیاز برای برخی فعالیت‌ها، گروه‌ها و محیط‌زیست می‌شود. به عبارتی خشکسالی به فرونشست هوا، ایجاد مراکز پرفشار و گرم شدن هوا که خود توان بارندگی را کاهش می‌دهد، مربوط می‌شود (طالبی و همکاران، ۱۳۸۹). از دیگر پدیده‌های اقلیمی که به مقادیر قابل توجهی شدت این پدیده گذرا و موقت اقلیمی را افزایش داده و اغلب با آن همراهند درجه حرارت زیاد و رطوبت نسبی کم می‌باشند. برای بررسی پدیده خشکسالی بر حسب هدف از مطالعه نوع خشکسالی باید شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی متوسط و درازمدت مورد ارزیابی و سنجش قرارگیرند. خشکسالی پدیده‌ای است که علاوه بر تأثیر بر جوامع انسانی خود نیز از اثرهای فعالیت‌های انسانی متأثر شده و تشدید می‌شود، از این رو پنداشتن آن تحت عنوان یک پدیده صرف فیزیکی و طبیعی تصوری نادرست است. بر این اساس Wilhite و Glantz (۱۹۹۵)، خشکسالی را به چهار دسته خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی اجتماعی دسته‌بندی کردند که سه دسته اول به دنبال بررسی و اندازه‌گیری خشکسالی به عنوان یک پدیده فیزیکی هستند؛ در حالی که مورد چهارم خشکسالی را پدیده‌ای می‌داند که به دنبال بررسی میزان عرضه و تقاضای آب مورد نیاز و ردیابی تأثیر کاهش منابع آب بر روی سیستم‌های

متفاوت در کشور یونان از سه شاخص عددی Z، ناهنجاری بارش و بارش استاندارد استفاده کردند. آنان نتیجه گرفتند که هر سه شاخص برای مقیاس زمانی ماهانه روند یکسانی داشته و همچنین مطابقت خوبی با شاخص پالم PDSI دارند.

Mckee و همکاران (۱۹۹۵) با مقایسه ضرایب همبستگی شاخص استاندارد بارش و روش پالم در مقیاس‌های زمانی مختلف نتیجه‌گیری کردند که این دو شاخص حداکثر میزان همبستگی را در مقیاس زمانی نزدیک به ۱۲ ماه دارند. در ایران نیز Zare Abyaneh و همکاران (۲۰۰۴) به تحلیل و پایش خشکسالی هواشناسی منطقه سیستان و بلوچستان با استفاده از شاخص‌های SDI، PNPI، ZI، RAI و PC پرداختند. نتایج آنان نشان داد که شاخص SDI در مقایسه با سایر روش‌ها در مقیاس فصلی و سالانه برآوردهای قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد. Shokoohi و Morovati (۲۰۱۴) به بررسی اثر خشکسالی بر خشک شدن تدریجی دریاچه ارومیه به کمک دو شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) پرداختند. مقایسه این دو شاخص برای موارد خشکسالی شدید و بسیار شدید حادث شده در منطقه نشان از حساس‌تر بودن شاخص RDI نسبت به شاخص SPI در ارزیابی خشکسالی‌های حدی داشت. Piri و Ansari (۲۰۱۳) به بررسی شدت خشکسالی دشت سیستان با استفاده از چهار شاخص DPI، RDI، RAI، SPI و PN و انتخاب بهترین شاخص برای پایش خشکسالی در منطقه و تأثیر این خشکسالی بر تالاب‌های هامون پرداختند. نتایج آنان نشان داد که شاخص PN با ضریب همبستگی یک نسبت به شاخص‌های دیگر بهتر توانسته است خشکسالی منطقه را بیان کند. نتایج این تحقیق چنین نشان می‌دهد که این عامل باعث خشک شدن دریاچه هامون و در نتیجه اثرهای مخرب روی محیط‌زیست طبیعی، فیزیکی و اقتصادی اجتماعی منطقه داشته است.

Piri و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی کارایی نمایه‌های خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان و انتخاب مناسب‌ترین نمایه پرداختند. برای دستیابی به این هدف، از شاخص‌های درصد نرمال PN، دهک‌های بارندگی DPI و

مختلف خشکسالی پرداختند. نتایج آنان نشان داد که شاخص‌های مختلف دارای نقاط قوت و ضعف در اقلیم‌های مختلف در سراسر منطقه هستند. در بررسی شاخص‌های مختلف این نتیجه حاصل شد که شاخص وضعیت رطوبت خاک (SMCI) دارای یک ارتباط خوب با SPI کوتاه‌مدت است و حساسیت SMCI به شدت وابسته به خشکی است؛ به طوری که در مناطق با پوشش درختی متراکم نسبت به مناطق با تراکم پایین پوشش گیاهی، ضعیف‌تر عمل می‌کند. همچنین شاخص‌های TCI، VCI، PDI و MPDI بیشتر شبیه به داده‌های SPI ۳ ماهه هستند، اما ارتباط ضعیفی با شاخص‌های مبتنی بر ایستگاه‌های واقع در مناطق با بارش بالا، نفوذپذیری بالاتر خاک، کشاورزی در مقیاس بزرگ و جنگلی دارد. معیارهای خشکسالی مبتنی بر شاخص (PCI، TCI، VCI، SMCI، VHI، SDCI، SDCI، MIDI، OVDI، OMDI) نیز بهتر از گروه‌های دیگر معیارهای خشکسالی اجرا می‌شوند و استفاده از تجزیه و تحلیل مجموعه‌های زمانی ممکن است عامل بسیار مهمی در این تفاوت در عملکرد باشد. Liu و همکاران (۲۰۱۲) به تحلیل خشکسالی هیدرواقلمی و پیش‌بینی آنها با استفاده از سه شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی SPI، PDSI و SRI پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که به‌منظور پیش‌بینی و ارزیابی خطر پدیده خشکسالی تحت تأثیر آب و هوای به طور فزاینده گرم دو شاخص PDSI و SRI مناسبترین شاخص‌ها بوده، اما به‌منظور ارائه یک تصویر کامل از خشکسالی و اثرهای بالقوه آن به صورت پویا در ترکیب با سیستم طبیعت-انسان شاخص‌های خشکسالی بیشتری از جنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی باید مورد بررسی و مقایسه قرار گیرند. Quiring (۲۰۱۰) به بررسی هفت شاخص ارزیابی خشکسالی هواشناسی PDSI، SPI، Z، EDI، VCI، درصد نرمال و دهک‌ها/درصد در آمریکا پرداخت. ارزیابی شاخص‌ها نشان داد که شاخص بارش استاندارد شده و دهک‌ها/درصد برای پایش خشکسالی‌های هواشناسی مناسب می‌باشد. Loukas و همکاران (۲۰۰۳) برای مطالعه خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های زمانی

مورد تأیید قرار نگرفت. Ensafi Moghaddam (2007) طی پژوهشی به بررسی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و مشخص نمودن مناسبترین شاخص حوضه در دریاچه نمک پرداخت. نتایج تحقیق او نشان داد که شاخص SPI و دهک در جایگاه اول، شاخص ZSI در جایگاه دوم و شاخص درصد نرمال در جایگاه سوم قرار دارد. khalighi و همکاران (۲۰۰۹) نیز مدل بارش استاندارد شده (SPI) را به دلیل داشتن قابلیت‌های بیشتر از جمله تفکیک دقیق‌تر طبقه‌ها در هریک از پدیده‌های ترسالی و خشکسالی، دقت بالاتر در جداسازی دوره‌های مرطوب و خشک و حساسیت بیشتر به تغییرات بارش بهترین مدل به‌منظور تعیین خصوصیات آماری بارش (شدت و فراوانی) و تفکیک ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در استان مازندران تشخیص دادند. Morid و همکاران (۲۰۰۴) به پایش خشکسالی‌های استان تهران با استفاده از شاخص‌های DI, PN, SPI, CZI, MCZI و EDI پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های SPI و EDI نسبت به شاخص‌های دیگر نتایج بهتری ارائه می‌دهد. Khalili و Bazrafshan (۲۰۰۴) نمایه‌های خشکسالی هواشناسی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که نمایه دهک‌های بارندگی DPI و نمایه معیار بارندگی سالانه SIAP بهترین کاربرد را برای ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی در ایران دارند. Nazari و khosroshahi (۲۰۱۳) نیز به چنین نتیجه‌ای در استان همدان دست یافتند. Farajzadeh و همکاران (۱۹۹۵) با بررسی نمایه‌های مختلف خشکسالی، نمایه درصد نرمال بارندگی را به‌علت سادگی، جامعیت و انعطاف‌پذیری به‌عنوان نمایه مناسب انتخاب نمودند و به بررسی خشکسالی‌ها در داخل کشور پرداختند. هدف از انجام این مطالعه، بررسی و تحلیل روند تغییرات بارندگی با روش‌های رندیبایی و ارزیابی خشکسالی در حوضه آبخیز جازموریان به کمک شاخص‌های هواشناسی و مقایسه تطبیقی روش‌های ارزیابی شاخص‌ها و اعتبارسنجی این روش‌ها برای انتخاب بهترین شاخص به‌منظور تعیین دقیق و مطمئن دوره‌های تر، خشک و تحلیل میزان فراوانی، شدت، مدت و تداوم دوره‌های خشکسالی در آن حوضه است.

بارش استاندارد SPI، ناهنجاری‌های بارش RAI در هفت ایستگاه هواشناسی استان سیستان و بلوچستان خشکسالی مورد بررسی قرار گرفته و پهنه‌بندی گردید. برای انتخاب مناسب‌ترین نمایه از ضریب همبستگی اسپیرمن بین شاخص خشکسالی و تغییرات بارندگی در دوره آماری مورد مطالعه استفاده گردید. نتایج نشان داد، در شهرهای زهک، زابل، ایرانشهر و چابهار شاخص PN با ضریب همبستگی یک، در شهرهای زاهدان و سراوان شاخص RAI با ضریب ۰/۸۴ و ۰/۹۹ و در خاش شاخص SPI با ضریب همبستگی یک توانسته خشکسالی شدید و بسیار شدید را نسبت به دیگر شاخص‌ها بهتر نشان دهند و در ارزیابی روابط همبستگی نمایه‌های زوج شده PN-SPI، PN-RAI و SPI-RAI در بیشتر ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد ($P < 0/01$) از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار بودند.

Simani (۲۰۱۱) به بررسی و تحلیل وقوع پدیده‌های خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص دهک‌ها و شاخص‌های درصد بارش نرمال در استان کرمان پرداخت. نتایج او نشان داد نمایه دهک‌های بارندگی سالانه مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی رخداد خشکسالی بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌های تحت مطالعه گزارش نموده و از نظر تعیین تصویر خشکسالی بسیار شدید هواشناسی کارایی بیشتری نسبت به نمایه دیگر داشته است. گندمکار و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی روند تغییرات بارش ایستگاه زابل در طی ۴۰ سال نتیجه گرفتند که در طول این دوره، مقدار بارش دارای نوسانهای بدون روند صعودی و نزولی مشخص بوده، اما ضریب تغییرپذیری آن طی سالهای اخیر نسبت به دوره‌های قبل افزایش داشته است. Hojati و همکاران (۲۰۰۸) به تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری من‌کنندال و سن پرداختند. نتایج بدست‌آمده از این تحقیق نشان‌دهنده وجود روند کاهشی و معنی‌دار توسط هر دو آزمون بکارگرفته شده در برخی از مجموعه‌های زمانی مورد مطالعه بود، ولی هیچ روند افزایشی و معنی‌داری به صورت توأم توسط دو آزمون بکارگرفته شده

مواد و روش‌ها

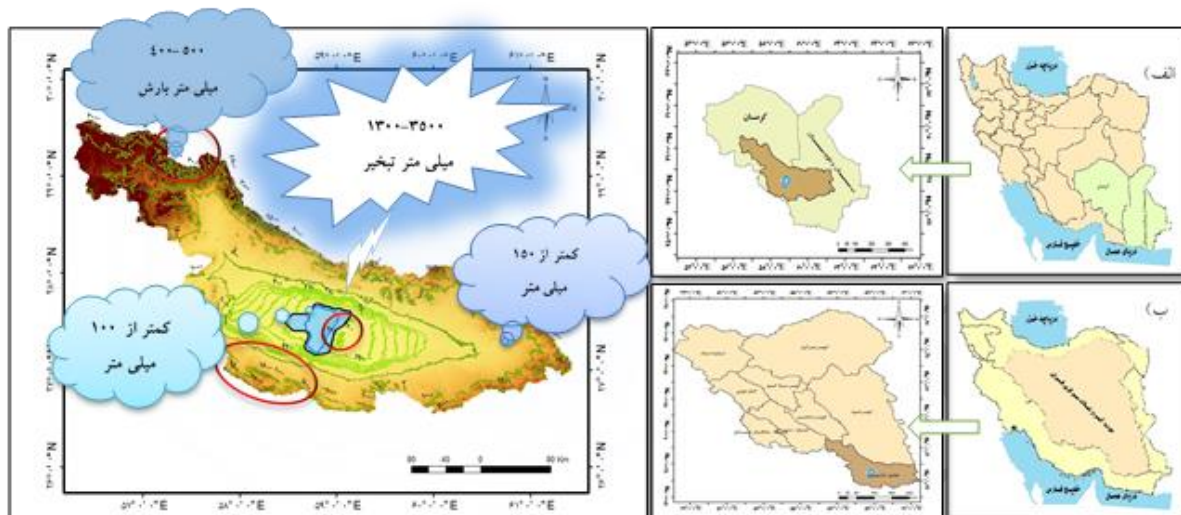
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز هامون جازموریان با وسعت حدود ۶۹۶۹۱ کیلومتر مربع در جنوب شرقی ایران در مختصات جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۲۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی در محدوده تقسیمات سیاسی استان کرمان و در مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۲۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۲۸ درجه عرض شمالی در محدوده تقسیمات سیاسی استان سیستان و بلوچستان قرار گرفته است. ۴۹ درصد آن را مناطق کوهستانی، ۴۸ درصد آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها و ۳ درصد آن را شوره‌زار و باتلاق تشکیل می‌دهد. دشت‌های حاصلخیز جیرفت، فاریاب و رودبار جیرفت در استان کرمان و دشت‌های ایرانشهر، بمپور، سردگان، دلگان، سرتختی و اسپکه در استان سیستان و بلوچستان در این حوضه واقع شده‌اند. آب و هوای این منطقه متأثر از ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی است و دارای اقلیم بیابانی و گرم و خشک است. بلندترین نقطه حوضه که در دیواره‌های کوهستانی شمال آن واقع است، حدود ۳۵۰۰

متر از سطح دریا ارتفاع دارد و کمترین ارتفاع آن در چاله جازموریان (حدود ۳۶۰ متر) واقع شده است و در جهت جنوب بر ارتفاع اراضی افزوده می‌شود. میزان بارش سالانه در بلندی‌های شمال حوضه جازموریان حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر و میزان بارش بخش شرقی در شرق شهر ایرانشهر بیشتر از ۱۵۰ میلی‌متر و میزان بارندگی جنوب‌غربی کمتر از یکصد میلی‌متر در سال است و میانگین تبخیر سالانه بین ۱۳۰۰ تا ۳۷۵۰ میلی‌متر است. شکل ۱ ارتباط بین توپوگرافی، میزان بارش و تبخیر را در سطح حوضه آبخیز جازموریان نشان می‌دهد.

روش تحقیق

در این تحقیق اطلاعات بارش ماهانه ایستگاه‌های بارانسنجی مبناء وزارت نیرو در حوضه آبخیز جازموریان از بدو تأسیس تا پایان سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ جمع‌آوری گردید و بعد یک پایه مشترک زمانی ۳۰ ساله از سال‌های ۶۳-۱۳۶۲ تا ۹۲-۱۳۹۱ در نظر گرفته شد و بر این اساس ۲۴ ایستگاه انتخاب گردید (جدول ۱ و شکل ۲).



شکل ۱- نقشه موقعیت (الف: در تقسیمات سیاسی، ب: تقسیمات هیدرولوژیکی) و توپوگرافی حوضه آبخیز جازموریان و رابطه آن با میزان بارش و تبخیر از سطح حوضه

Archive of SID

جدول ۱- ایستگاه‌های بارانسنجی منتخب وزارت نیرو در حوضه آبخیز جازموریان

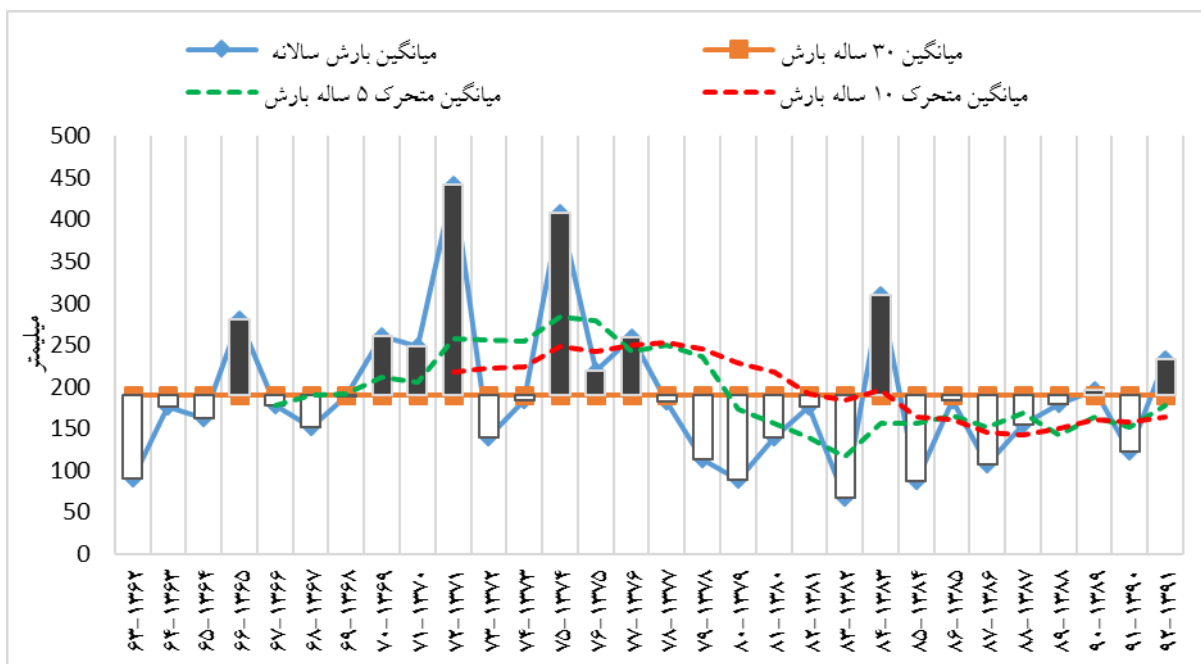
ردیف	استان	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	کرمان	امور آب بافت	۵۶-۳۴-۵۷	۲۹-۱۳-۵۴	۲۲۶۷
۲	سیستان و بلوچستان	پایاب سد بمپور	۶۰-۳۵-۱۹	۲۷-۱۱-۰۲	۵۲۰
۳	کرمان	جمیل‌آباد	۵۶-۲۹-۰۸	۲۹-۱۴-۴۴	۲۲۵۸
۴	کرمان	جیرفت	۵۷-۴۴-۱۲	۲۸-۴۱-۰۵	۶۸۴
۵	کرمان	چشمه شاه	۵۷-۴۴-۰۲	۲۸-۲۳-۰۹	۵۶۶
۶	کرمان	چهریگان	۵۷-۳۴-۲۷	۲۷-۵۷-۰۵	۵۲۴
۷	کرمان	حیدرآباد	۵۷-۳۷-۲۴	۲۸-۱۵-۲۹	۵۹۰
۸	کرمان	خریشت	۵۷-۵۲-۲۳	۲۸-۲۹-۱۲	۶۱۳
۹	کرمان	خرمشاهی	۵۷-۳۹-۳۷	۲۸-۵۸-۰۹	۱۶۶۱
۱۰	سیستان و بلوچستان	دامن	۶۰-۴۶-۳۲	۲۷-۲۰-۰۶	۷۰۲
۱۱	کرمان	دشت کوچ	۵۷-۴۹-۳۷	۲۸-۴۱-۱۰	۷۰۹
۱۲	کرمان	دولت‌آباد - اسفندقه	۵۷-۰۸-۳۲	۲۸-۴۳-۱۱	۱۷۳۴
۱۳	کرمان	دهرود	۵۷-۴۴-۵۹	۲۸-۵۱-۵۷	۱۰۶۰
۱۴	کرمان	سلطانی	۵۶-۳۱-۵۵	۲۹-۰۴-۳۲	۲۰۷۰
۱۵	کرمان	شاه‌آباد	۵۸-۰۶-۰۴	۲۷-۵۵-۱۶	۴۴۶
۱۶	کرمان	فتح‌آباد اسفندقه	۵۷-۰۹-۱۲	۲۸-۳۹-۳۲	۱۷۵۵
۱۷	کرمان	قلعه گنج	۵۷-۵۳-۰۸	۲۷-۳۱-۳۲	۴۲۰
۱۸	کرمان	کراد دلفارد	۵۷-۳۶-۵۷	۲۸-۵۹-۳۰	۱۹۲۵
۱۹	کرمان	کهنوج	۵۷-۴۳-۰۰	۲۷-۵۷-۰۰	۵۱۰
۲۰	کرمان	کیسکان	۵۶-۴۱-۰۰	۲۹-۲۳-۰۰	۲۸۰۰
۲۱	سیستان و بلوچستان	گلمورتی-دلگان	۵۹-۲۷-۱۴	۲۷-۲۹-۱۴	۳۸۸
۲۲	کرمان	گنج‌آباد سرخ قلعه	۵۷-۵۳-۰۸	۲۷-۳۱-۳۲	۴۲۳
۲۳	کرمان	میانه	۵۷-۴۸-۵۸	۲۸-۳۶-۱۸	۶۴۱
۲۴	کرمان	نمداد کوهستان	۵۷-۲۵-۰۳	۲۸-۰۰-۴۳	۴۷۰

جدول ۲- شاخص‌های خشکسالی هواشناسی

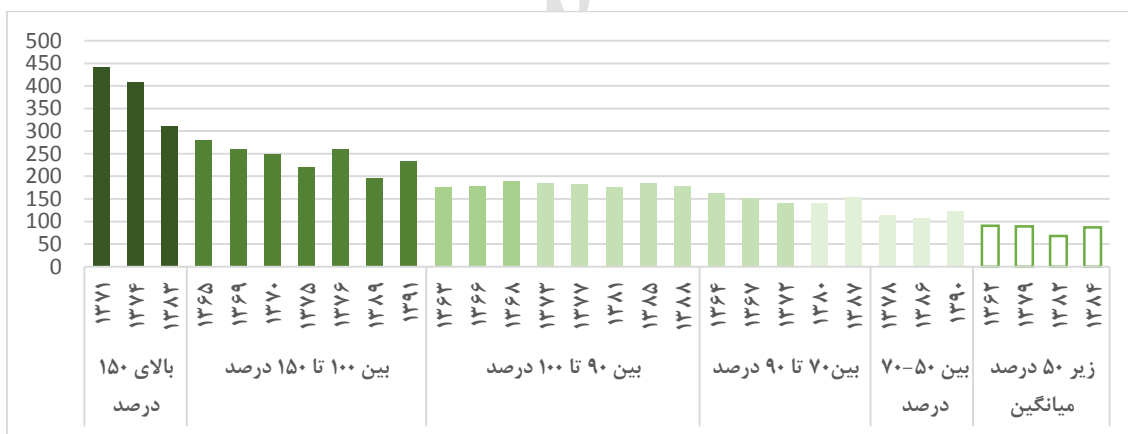
نام شاخص	علامت اختصاری	پارامتر مورد استفاده	واحد زمانی ارزیابی
درصد نرمال بارندگی	PN	بارندگی	ماهانه، فصلی و سالانه
دهک‌ها	DI	بارندگی	ماهانه، فصلی و سالانه
نمره استاندارد شده	ZSI	بارندگی	سالانه و میانگین متحرک
بارش استاندارد شده	SPI	بارندگی	سالانه و میانگین متحرک
Z چینی	CZI	بارندگی	سالانه و میانگین متحرک
Z چینی تعدیل یافته	MCZI	بارندگی	سالانه و میانگین متحرک

جدول ۳- طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص‌ها (Macce و همکاران، ۱۹۹۵) شاخص‌ها

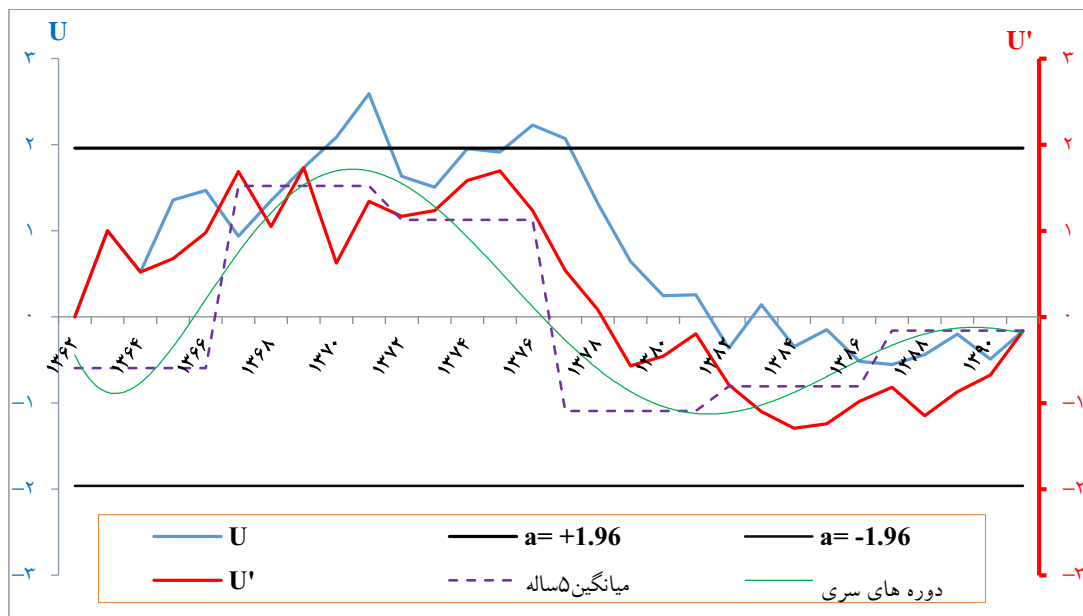
ZSI, CZI, SPI		DI		PN	
دامنه امتیازدهی	وضعیت رطوبتی	دامنه امتیازدهی	وضعیت رطوبتی	دامنه امتیازدهی	وضعیت رطوبتی
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید	کمتر از ۱۰ درصد	خیلی زیاد کمتر از نرمال	۷۰ تا ۸۰ درصد	خشکسالی جزبی
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید	۱۰ تا ۲۰ درصد	خیلی کمتر از نرمال	۷۰ تا ۵۵ درصد	خشکسالی متوسط
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی ملایم تا متوسط	۲۰ تا ۳۰ درصد	کمتر از نرمال	۵۵ تا ۴۰ درصد	خشکسالی شدید
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نزدیک نرمال	۳۰ تا ۴۰ درصد	اندکی کمتر از نرمال	کمتر از ۴۰ درصد	خشکسالی بسیار شدید
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی ملایم تا متوسط	۴۰ تا ۵۰ درصد	نرمال		
۱/۵ - تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید	۵۰ تا ۶۰ درصد	نرمال		
کمتر از ۲-	خشکسالی بسیار شدید	۶۰ تا ۷۰ درصد	اندکی بالاتر از نرمال		
بیشتر از ۲	ترسالی بسیار شدید	۷۰ تا ۸۰ درصد	بالاتر از نرمال		
		۸۰ تا ۹۰ درصد	خیلی بالاتر از نرمال		
		۹۰ تا ۱۰۰ درصد	خیلی زیاد و بالاتر از نرمال		



شکل ۳- مقایسه میانگین بارش سالانه با میانگین ۳۰ ساله بارش طی سال‌های ۶۳-۱۳۶۲ تا ۹۲-۱۳۹۱ در حوضه جازموریان



شکل ۴- بررسی وضعیت بارش سالانه درازمدت نسبت به میانگین ۳۰ ساله (۱۳۶۲-۱۳۹۱)



شکل ۵- نمودار تحلیل روند میانگین بارش به روش من کندال

نتایج

بررسی آماری داده‌ها

به منظور بررسی وضعیت بارندگی و توزیع بارش، طی سال‌های مورد مطالعه، میانگین سالانه بارش هر ایستگاه محاسبه و نتایج با میانگین ۳۰ ساله بارش، میانگین متحرک ۵ ساله و ۱۰ ساله کلیه ایستگاه‌ها مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

بررسی روند داده‌ها

در این پژوهش برای بررسی وجود روند مجموعه زمانی، آزمون آماری-گرافیکی من کندال مورد استفاده قرار گرفت و معنی داری روند مجموعه زمانی بارش سالانه و فصلی بررسی شد. جدول ۴ و شکل ۵ نتایج حاصل از بررسی روند داده‌های بارش را نشان می‌دهد.

جدول ۴- بررسی وجود روند داده‌های بارش به تفکیک فصلی و سالانه

دوره	آماره آزمون	من-کندال T(t)	p-value	روند معنی دار	رابطه رگرسیون خطی	R	وجود روند	نوع روند
پاییز	-۰,۰۴۹	۰,۳۶	ندارد	$y = -15,488x + 22,055$	۰,۰۲	ضعیف	کاهشی	
زمستان	-۰,۱۰۸	۰,۲۱	ندارد	$y = -33,589x + 48977$	۰,۰۱	ضعیف	کاهشی	
بهار	-۰,۰۲۵	۰,۴۳	ندارد	$y = 3,2874x - 3783,4$	۰,۰۰	ضعیف	افزایشی	
تابستان	۰,۰۱۵	۰,۵۵	ندارد	$y = 1,3578x - 1577,3$	۰,۰۰	ضعیف	افزایشی	
۳۰ ساله	-۰,۰۸۹	۰,۲۶	ندارد	$y = -4443,2x + 65671$	۰,۰۲	ضعیف	کاهشی	

مقادیر ۱ و ۱- تغییر می‌کند، به گونه‌ای که مقادیر مثبت نشان‌دهنده ارتباط مستقیم و مقادیر منفی نشان‌دهنده ارتباط معکوس بین داده‌ها هستند و هرچه این مقادیر به عدد یک نزدیکتر باشند بیانگر همبستگی قوی‌تر بین داده‌های مورد بررسی است. همانطور که در جدول ۵ مشخص شده تمامی شاخص‌های مورد مطالعه با ۹۹٪ اطمینان (سطح معنی‌داری ۱٪) دارای همبستگی مثبت و قوی با یکدیگر بوده و شاخص‌های جفتی SPI-DI, SPI-ZSI, PN-ZSI و CZI-SPI از ضریب همبستگی قوی‌تری برخوردار بوده‌اند (جدول ۵).

تعیین شاخص مناسب ارزیابی خشکسالی در حوضه به‌منظور تعیین شاخص مناسب و بررسی ارتباط بین شاخص‌ها در این تحقیق از سه روش بررسی همبستگی بین شاخص‌ها با ضریب همبستگی پیرسون، بررسی مطابقت نمودارهای مقادیر شاخص‌ها و روش تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید.

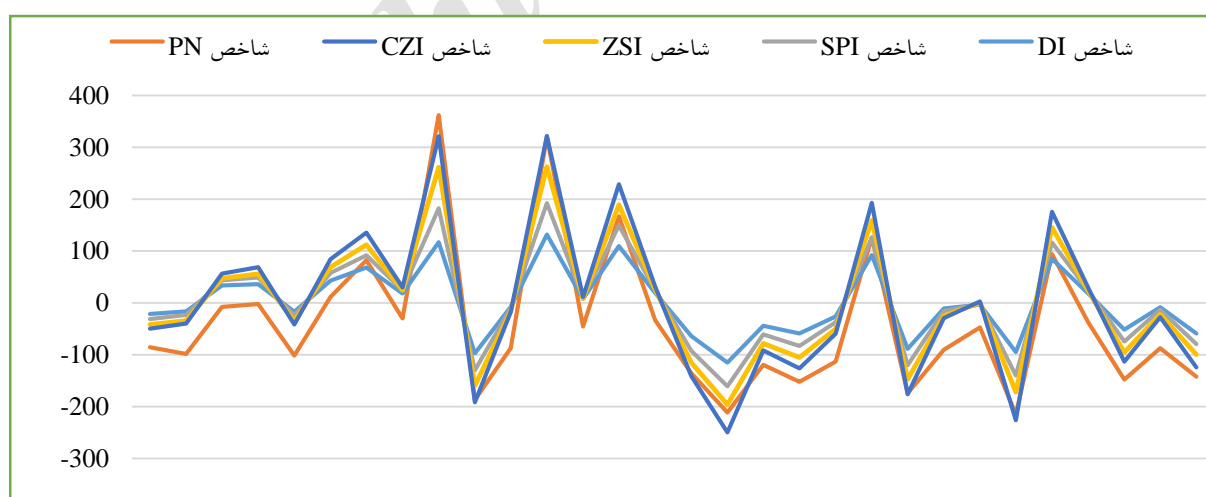
-بررسی همبستگی بین شاخص‌ها
برای بررسی ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. ضریب همبستگی پیرسون بین

جدول ۵- ماتریس همبستگی شاخص‌های خشکسالی مورد مطالعه

CZI	ZSI	SPI	PN	DI	ضریب همبستگی پیرسون
۰,۹۱۹**	۰,۹۲۱**	۰,۹۶۷**	۰,۷۹۷**	۱	DI
۰,۷۷۴**	۰,۸۶۶**	۰,۸۳۴**	۱	۰,۷۹۷**	PN
۰,۹۴۹**	۰,۹۶۴**	۱	۰,۸۳۴**	۰,۹۶۷**	SPI
۰,۹۰۷**	۱	۰,۹۶۴**	۰,۸۶۶**	۰,۹۲۱**	ZSI
۱	۰,۹۰۷**	۰,۹۴۹**	۰,۷۷۴**	۰,۹۱۹**	CZI

** معنی‌داری در سطح یک درصد

* معنی‌داری در سطح پنج درصد



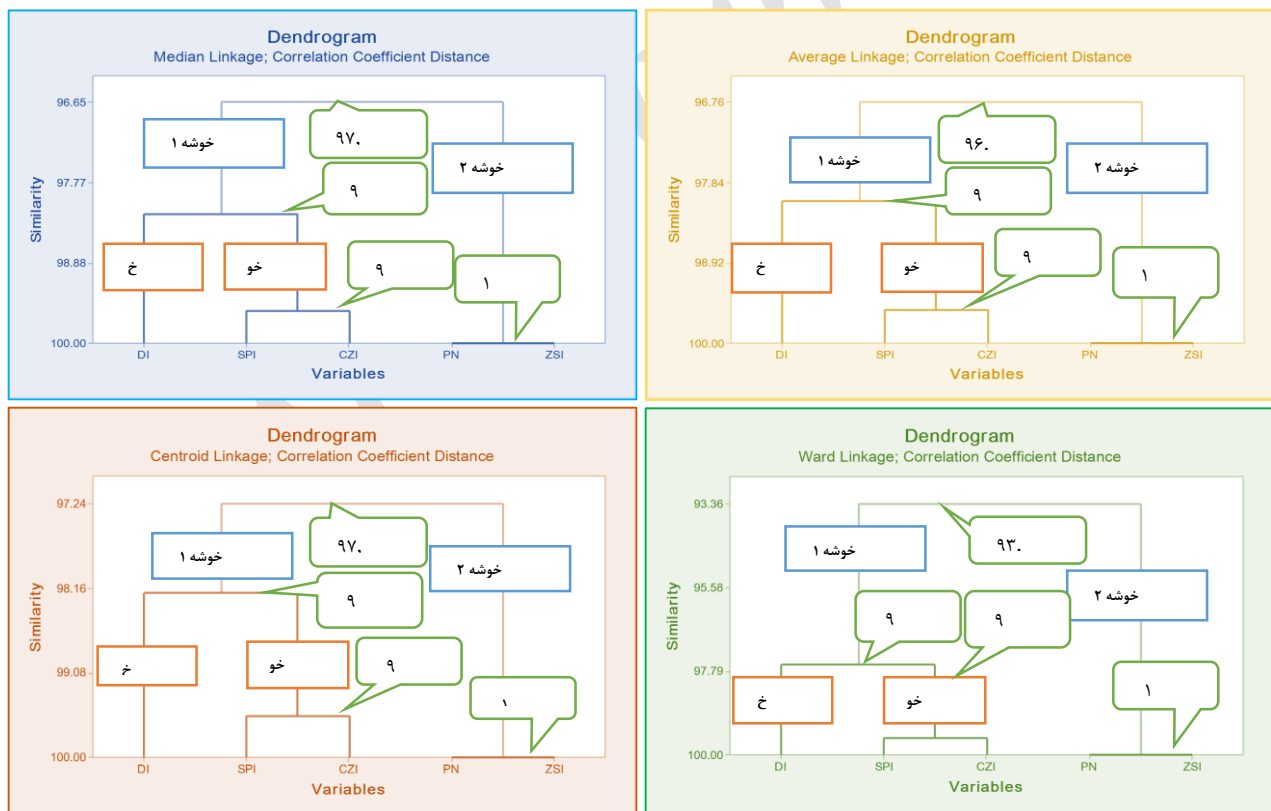
شکل ۶- نمودار روی هم‌گذاری مقادیر شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی

تعیین شده توسط این روش، گروهی از شاخص‌ها را دربرمی‌گیرد که حداکثر همانندی را با یکدیگر دارند. از این رو با هدف شناسایی شاخص‌هایی که دارای بیشترین همانندی و کمترین فاصله از یکدیگر هستند، فرایند تحلیل خوشه‌ای بر روی مقادیر حاصل از شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه اعمال و ۲ خوشه اصلی در منطقه تعیین گردید. نتایج حاصل از این تحلیل به صورت نمودار درختی در شکل ۷ نشان داده شده است.

در ادامه با توجه به تشخیص همانندی فراوان بین دو شاخص SPI و CZI در هر دو روش همبستگی پیرسون و تحلیل خوشه‌ای به اعتبارسنجی نتایج به دست آمده و بررسی وضعیت منطقه با کمک این دو شاخص پرداخته شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات ایستگاه‌های حوضه با کمک دو شاخص SPI و CZI در جدولهای ۶، ۷ و ۸ و شکل ۸ نشان داده شده است.

رویه هم‌گذاری و بررسی نوسان‌های شاخص‌ها مقایسه نمودار مقادیر شاخص‌های خشکسالی نشان‌دهنده انطباق زیاد نوسانهای کلیه شاخص‌ها با یکدیگر بوده و همبستگی بالای بین شاخص‌ها را تأیید می‌کند (شکل ۶).

تحلیل خوشه‌ای شاخص‌ها طبقه‌بندی موضوعات متشابه به گروه‌ها یک فعالیت مهم است. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، یک روش آماری برای گروه‌بندی داده‌ها یا مشاهدات، با توجه به شباهت یا درجه نزدیکی آنهاست. به منظور گروه‌بندی شاخص‌های خشکسالی از نظر شباهت بین مجموعه‌ها از روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی استفاده گردید. از انواع الگوریتم‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی رایج که در این تحقیق از آن استفاده شده است، می‌توان به الگوریتم‌های Ward Linkage، Average Linkage، Median Linkage و Centroid Linkage اشاره کرد. هر خوشه



شکل ۷- نمودارهای درختی سلسله مراتبی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه آبخیز جازموریان

جدول ۶- خلاصه نتایج آماری تحلیل شرایط خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان با استفاده از شاخص‌های SPI و CZI

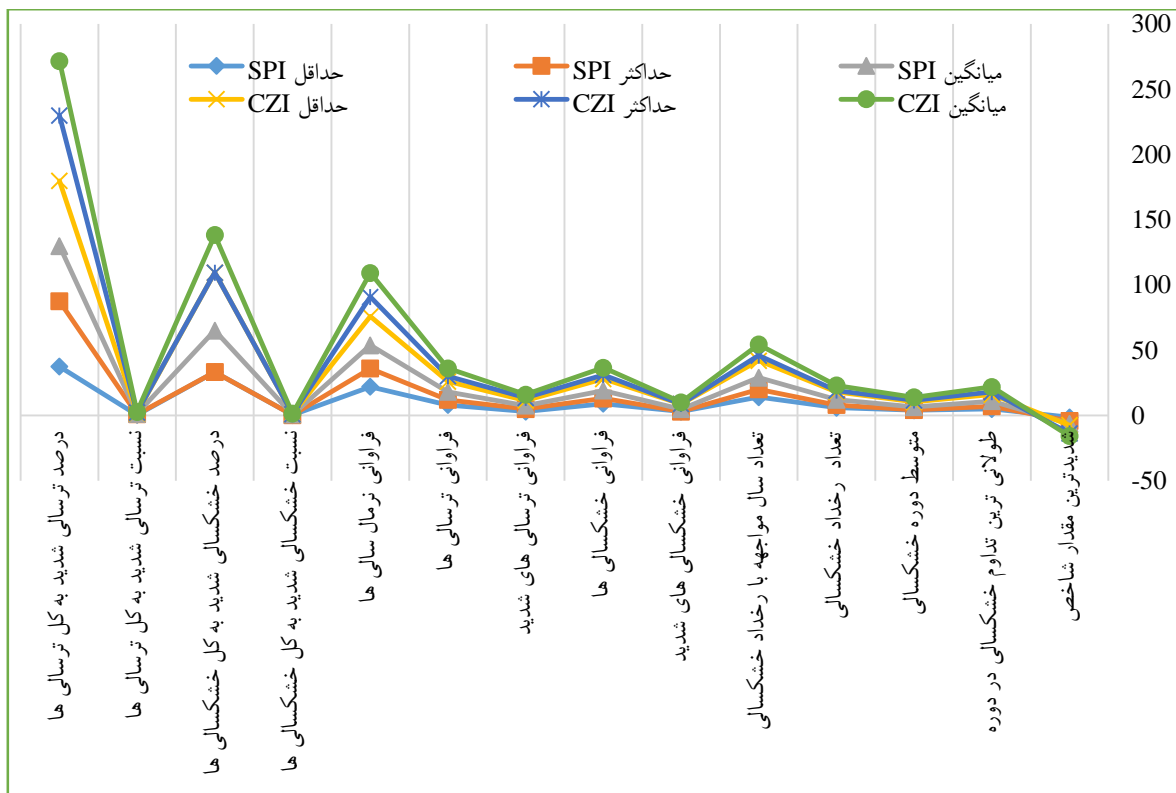
شاخص	شدیدترین مقدار شاخص	طولانی‌ترین تداوم خشکسالی در دوره شاخص	متوسط دوره خشکسالی	تعداد رخداد خشکسالی	تعداد سال مواجهه با رخداد خشکسالی	فراوانی خشکسالی‌های شدید	فراوانی خشکسالی‌ها	فراوانی ترسالی‌های شدید	فراوانی ترسالی‌ها	فراوانی نرمال سالی‌ها	نسبت خشکسالی شدید به کل خشکسالی‌ها	درصد خشکسالی شدید به کل خشکسالی‌ها	نسبت ترسالی شدید به کل ترسالی‌ها	درصد ترسالی شدید به کل ترسالی‌ها
SPI	حداقل	-۱,۴	۲,۰	۰,۲	۲,۰	۶,۰	۴,۰	۰,۰	۴,۰	۱۴,۰	۰,۰	۰,۰	۰,۴	۲۷,۵
	حداکثر	-۲,۹	۵,۰	۴,۰	۶,۰	۱۴,۰	۹,۰	۳,۰	۸,۰	۲۲,۰	۰,۲	۳۴,۳	۰,۵	۵۰,۰
	میانگین	-۲,۴	۴,۰	۲,۲	۴,۱	۹,۰	۶,۱	۱,۸	۶,۱	۱۷,۸	۰,۲	۳۱,۷	۰,۴	۴۲,۲
CZI	حداقل	-۱,۲	۲,۰	۱,۲	۱,۰	۴,۰	۳,۰	۰,۰	۴,۰	۱۵,۰	۰,۰	۰,۰	۰,۵	۵۰,۰
	حداکثر	-۶,۲	۵,۰	۴,۰	۶,۰	۱۳,۰	۹,۰	۴,۰	۸,۰	۲۲,۰	۰,۴	۴۴,۴	۰,۵	۵۰,۰
	میانگین	-۲,۲	۳,۹	۲,۳	۳,۹	۸,۴	۵,۵	۱,۴	۶,۰	۱۸,۵	۰,۲	۲۸,۹	۰,۴	۴۱,۹

جدول ۷- تحلیل شرایط خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان با شاخص SPI

ردیف	ایستگاه	SPI		سال مشاهده شدیدترین مقدار شاخص	شدیدترین مقدار شاخص	طولانی ترین تداوم خشکسالی در دوره	متوسط دوره خشکسالی	تعداد رخداد خشکسالی	تعداد سال مواجهه با رخداد خشکسالی	فراوانی خشکسالی های شدید	فراوانی خشکسالی های ترسالی ها	فراوانی ترسالی های شدید	فراوانی نرمال سالی ها	نسبت خشکسالی شدید به کل خشکسالی ها	درصد خشکسالی شدید به کل ترسالی ها	نسبت ترسالی شدید به کل ترسالی ها	درصد خشکسالی شدید به کل ترسالی ها
		مقدار	شاخص														
۱	امورآب بافت	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۴۶	۴	۲.۳	۴	۹	۴	۲	۶	۲	۶	۱۸	۰.۳	۳۳.۳	۰.۳	۳۳.۳
۲	پایاب سد بمپور	۱۳۷۸-۷۹	-۱.۴۳	۵	۲.۵	۵	۱۰	۴	۱	۷	۲	۷	۱۶	۰.۱	۱۴.۳	۰.۳	۲۸.۶
۳	جمیل آباد	۱۳۷۸-۷۹	-۲.۱۶	۴	۴.۰	۴	۸	۲	۳	۴	۲	۴	۲۲	۰.۸	۷۵.۰	۰.۵	۵۰.۰
۴	جیرفت	۱۳۷۴-۷۵	-۱.۳۶	۳	۱.۸	۳	۷	۴	۴	۶	۳	۵	۱۹	۰.۷	۶۶.۷	۰.۶	۶۰.۰
۵	چشمه شاه	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۲۲	۴	۲.۴	۴	۱۲	۵	۲	۶	۲	۵	۱۹	۰.۳	۳۳.۳	۰.۴	۴۰.۰
۶	چهریگان	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۹۱	۴	۱.۸	۴	۷	۴	۲	۴	۳	۶	۲۰	۰.۵	۵۰.۰	۰.۵	۵۰.۰
۷	حیدر آباد	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۲۳	۴	۲.۰	۴	۸	۴	۲	۶	۲	۶	۱۸	۰.۳	۳۳.۳	۰.۳	۳۳.۳
۸	خرپشت	۱۳۸۶-۸۷	-۱.۹۹	۴	۱.۷	۴	۱۰	۶	۰	۶	۳	۷	۱۷	۰.۰	۰.۰	۰.۴	۴۲.۹
۹	خرمشاهی	۱۳۸۶-۸۷	-۱.۹۶	۴	۱.۸	۴	۷	۴	۱	۶	۳	۶	۱۸	۰.۲	۱۶.۷	۰.۵	۵۰.۰
۱۰	دامن	۱۳۶۲-۶۳	-۲.۵۴	۵	۲.۳	۵	۹	۴	۳	۶	۲	۶	۱۸	۰.۵	۵۰.۰	۰.۳	۳۳.۳
۱۱	دشت کوچ	۱۳۸۳-۸۴، ۱۳۸۴-۸۵	-۱.۴۱	۴	۳.۰	۴	۹	۳	۰	۶	۲	۷	۱۷	۰.۰	۰.۰	۰.۳	۲۸.۶
۱۲	دهرود	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۲	۴	۲.۳	۴	۹	۴	۱	۷	۲	۷	۱۶	۰.۱	۱۴.۳	۰.۳	۲۸.۶
۱۳	دولت آباد اسفندقه	۱۳۷۸-۷۹	-۲.۱۳	۵	۲.۷	۵	۸	۳	۲	۴	۳	۶	۲۰	۰.۵	۵۰.۰	۰.۵	۵۰.۰
۱۴	سلطانی	۱۳۸۶-۸۷	-۱.۴۵	۴	۳.۰	۴	۹	۳	۱	۶	۳	۵	۱۹	۰.۲	۱۶.۷	۰.۶	۶۰.۰
۱۵	شاه آباد	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۰۳	۴	۲.۰	۴	۶	۳	۲	۵	۲	۷	۱۸	۰.۴	۴۰.۰	۰.۳	۲۸.۶
۱۶	فتح آباد اسفندقه	۱۳۷۸-۷۹	-۲.۶۱	۴	۱.۸	۴	۷	۴	۲	۶	۲	۵	۱۹	۰.۳	۳۳.۳	۰.۴	۴۰.۰
۱۷	قلعه گنج	۱۳۷۹-۸۰	-۱.۸۷	۴	۰.۲	۴	۱۱	۵	۱	۹	۳	۷	۱۴	۰.۱	۱۱.۱	۰.۴	۴۲.۹
۱۸	کراد دلفاراد	۱۳۹۱-۹۲	-۱.۴۷	۴	۲.۰	۴	۱۰	۵	۱	۸	۲	۴	۱۸	۰.۱	۱۲.۵	۰.۵	۵۰.۰
۱۹	کهنوج	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۶۵	۴	۱.۸	۴	۹	۵	۲	۶	۳	۶	۱۸	۰.۳	۳۳.۳	۰.۵	۵۰.۰
۲۰	کیسکان	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۳۲	۴	۲.۳	۴	۷	۳	۳	۵	۳	۶	۱۹	۰.۶	۶۰.۰	۰.۵	۵۰.۰
۲۱	گلمورتنی دلگان	۱۳۸۹-۹۰	-۲.۰۷	۲	۱.۸	۲	۱۱	۶	۲	۷	۳	۷	۱۶	۰.۳	۲۸.۶	۰.۴	۴۲.۹
۲۲	گنج آباد سرخ قلعه	۱۳۸۶-۸۷	-۱.۷۹	۴	۲.۳	۴	۷	۳	۳	۷	۲	۸	۱۵	۰.۴	۴۲.۹	۰.۳	۲۵.۰
۲۳	میابنده	۱۳۷۱-۷۲	-۱.۶	۴	۲.۲	۴	۱۱	۵	۱	۶	۳	۵	۱۹	۰.۲	۱۶.۷	۰.۶	۶۰.۰
۲۴	نمداد کوهستان	۱۳۸۹-۹۰	-۲.۱	۴	۲.۸	۴	۱۴	۵	۲	۷	۳	۸	۱۵	۰.۳	۲۸.۶	۰.۴	۳۷.۵

جدول ۸- تحلیل شرایط خشکسالی حوضه جازموریان با شاخص CZI

ردیف	CZI	سال مشاهده شدیدترین مقدار شاخص	شدیدترین مقدار شاخص	طولانی ترین تداوم خشکسالی در دوره	متوسط دوره خشکسالی	تعداد رخداد خشکسالی	تعداد سال مواجهه با رخداد خشکسالی	فراوانی خشکسالی های شدید	فراوانی ترسالی های خشکسالی ها	فراوانی ترسالی های شدید	فراوانی ترسالی ها	فراوانی نرمال سالی ها	نسبت خشکسالی	درصد خشکسالی	نسبت ترسالی	درصد ترسالی
													خشکسالی ها	خشکسالی ها	خشکسالی ها	ترسالی ها
۱	امورآب بافت	۱۳۸۶-۸۷	-۶.۱۸	۴	۲.۰	۴	۸	۲	۵	۲	۶	۱۹	۰.۴	۴۰.۰	۰.۳	۳۳.۳
۲	پایاب سد بمپور	۱۳۷۷-۷۸	-۱.۵۷	۵	۲.۵	۴	۱۰	۱	۸	۲	۷	۱۵	۰.۱	۱۲.۵	۰.۳	۲۸.۶
۳	جمعیل آباد	۱۳۷۷-۷۸	-۳.۴۴	۴	۳.۵	۲	۷	۴	۴	۲	۴	۲۲	۱.۰	۱۰۰.۰	۰.۵	۵۰.۰
۴	جیرفت	۱۳۷۴-۷۵	-۱.۲۷	۳	۱.۸	۴	۷	۲	۴	۳	۵	۲۱	۰.۵	۵۰.۰	۰.۶	۶۰.۰
۵	چشمه شاه	۱۳۸۶-۸۷	-۱.۹۹	۴	۲.۸	۴	۱۱	۲	۵	۲	۵	۲۰	۰.۴	۴۰.۰	۰.۴	۴۰.۰
۶	چهریگان	۱۳۸۶-۸۷	-۱.۹۹	۴	۱.۸	۴	۷	۱	۶	۴	۶	۱۸	۰.۲	۱۶.۷	۰.۷	۶۶.۷
۷	حیدر آباد	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۲۱	۴	۳.۵	۴	۸	۱	۵	۲	۶	۱۹	۰.۲	۲۰.۰	۰.۳	۳۳.۳
۸	خریشت	۱۳۸۶-۸۷	-۱.۷۸	۴	۱.۷	۵	۸	۱	۶	۳	۶	۱۸	۰.۲	۱۶.۷	۰.۵	۵۰.۰
۹	خرمشاهی	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۷۱	۴	۱.۸	۴	۷	۱	۶	۲	۶	۱۸	۰.۲	۱۶.۷	۰.۳	۳۳.۳
۱۰	دامن	۱۳۶۲-۶۳	-۱.۵۵	۵	۲.۳	۴	۹	۱	۶	۲	۵	۱۹	۰.۲	۱۶.۷	۰.۴	۴۰.۰
۱۱	دشت کوچ	۱۳۸۳-۸۴	-۱.۱۶	۴	۴.۰	۱	۴	۰	۴	۲	۷	۱۹	۰.۰	۰.۰	۰.۳	۲۸.۶
۱۲	دهرود	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۰۳	۴	۲.۳	۴	۹	۱	۶	۲	۶	۱۸	۰.۲	۱۶.۷	۰.۳	۳۳.۳
۱۳	دولت آباد اسفندقه	۱۳۹۰-۹۱	-۲.۵	۵	۲.۷	۳	۸	۲	۶	۳	۶	۲۱	۰.۷	۶۶.۷	۰.۳	۳۳.۳
۱۴	سلطانی	۱۳۷۸-۷۹	-۲.۱۶	۴	۳.۰	۳	۹	۲	۶	۲	۸	۱۶	۰.۳	۳۳.۳	۰.۳	۲۵.۰
۱۵	شاه آباد	۱۳۸۶-۸۷	-۱.۹۵	۴	۲.۰	۳	۶	۲	۶	۳	۶	۲۱	۰.۷	۶۶.۷	۰.۳	۳۳.۳
۱۶	فتح آباد اسفندقه	۱۳۷۱-۷۲	-۱.۸۷	۲	۱.۲	۵	۶	۲	۶	۲	۵	۱۹	۰.۳	۳۳.۳	۰.۴	۴۰.۰
۱۷	قلعه گنج	۱۳۷۹-۸۰	-۱.۱۷	۴	۲.۲	۵	۱۱	۰	۹	۴	۶	۱۵	۰.۰	۰.۰	۰.۷	۶۶.۷
۱۸	کراد دلفاراد	۱۳۸۶-۸۷	-۴.۷	۲	۱.۵	۶	۹	۲	۷	۲	۵	۱۸	۰.۳	۲۸.۶	۰.۴	۴۰.۰
۱۹	کهنوج	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۱۱	۴	۱.۸	۵	۹	۱	۶	۳	۶	۱۸	۰.۲	۱۶.۷	۰.۵	۵۰.۰
۲۰	کیسکان	۱۳۸۶-۸۷	-۲.۰۷	۴	۲.۳	۳	۷	۳	۵	۳	۶	۱۹	۰.۶	۶۰.۰	۰.۵	۵۰.۰
۲۱	گلمورتنی دلگان	۱۳۸۹-۹۰	-۱.۳۸	۳	۲.۰	۶	۱۲	۰	۷	۳	۷	۱۶	۰.۰	۰.۰	۰.۴	۴۲.۹
۲۲	گنج آباد سرخ قلعه	۱۳۸۶-۸۷	-۱.۵	۴	۱.۲	۳	۷	۱	۶	۳	۸	۱۶	۰.۲	۱۶.۷	۰.۳	۲۵.۰
۲۳	میانه	۱۳۷۱-۷۲	-۱.۵۷	۴	۲.۵	۴	۱۰	۱	۶	۳	۵	۲۱	۰.۳	۲۵.۰	۰.۶	۶۰.۰
۲۴	نمداد کوهستان	۱۳۸۶-۸۷	-۱.۲۶	۴	۳.۳	۴	۱۳	۰	۶	۳	۷	۱۷	۰.۰	۰.۰	۰.۴	۴۲.۹



شکل ۸- مقایسه نتایج آماری بررسی وضعیت خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان با استفاده از شاخص‌های SPI و CZI

بحث

شیب خط منفی بوده و کاهش میزان بارندگی را به‌عنوان متغیر وابسته با افزایش سال به‌عنوان متغیر مستقل به میزان $1/79$ میلیمتر در هر سال نشان داده، تأیید می‌شود. این کاهش می‌تواند در بلندمدت به‌عنوان تهدیدی جدی برای منابع آبی حوضه محسوب شود. بررسی میانگین متحرک ۵ ساله بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز نشان می‌دهد با توجه به میانگین بارش سالانه چند دوره ترسالی و خشک‌سالی را در حوضه شاهد بوده‌ایم و طولانی‌ترین دوره خشکسالی بین سال‌های ۸۲-۷۷ اتفاق افتاده است. از سویی میانگین متحرک ۱۰ ساله بارش نشان می‌دهد که شروع خشکسالی در ۲۰ ساله اخیر منتهی به سال ۹۱-۹۲ از سال ۷۷ بوده، به گونه‌ای که از این سال روند کاهش بارندگی‌ها آغاز شده و پس از طی یک وقفه و افزایش بارندگی در سال ۸۳ دوباره این روند کاهشی با اوج‌گیری در سال ۸۷ تکرار شده است. در سال‌هایی که شیب خط میانگین متحرک صعودی باشد دوره ترسالی و زمانی که نزولی باشد دوره‌های خشکسالی است.

با بررسی آمار هواشناسی سالانه بارش برای تمامی ایستگاه‌ها، مطابق شکل‌های ۳ و ۴ نتایج نشان داد که میانگین سی‌ساله بارش در منطقه $190/42$ میلی‌متر می‌باشد که از متوسط بارندگی کشور (250 میلی‌متر) پایین‌تر بوده که نشان‌دهنده اقلیم خشک منطقه است. بررسی توزیع بارش سالانه در حوضه نشان می‌دهد که توزیع بارش متوسط سالانه حوضه در طول دوره آماری نوسانهای کوتاه‌مدت به همراه روند کاهشی را تجربه کرده، به‌طوری‌که تعداد سال‌هایی که مقدار بارش از میانگین ۳۰ ساله بیشتر است (ترسالی‌ها) از تعداد سال‌هایی که مقدار بارش از میانگین ۳۰ ساله کمتر است (خشک‌سالی‌ها) کمتر بوده، اما شدت ترسالی‌ها از شدت خشکسالی‌ها بیشتر بوده است. بررسی روند میانگین بارش در دوره آماری مورد مطالعه بیانگر نوسانهای کوتاه‌مدت بارش در حوضه بوده که به‌طور کلی روند کاهشی را دنبال می‌کند. این موضوع با توجه به رابطه رگرسیون بین داده‌ها که دارای

افزایشی در نمودار U ، میانگین متحرک پنج ساله نیز افزایش یافته و از سال ۷۷ هر دو نمودار با شیب تندی روند کاهشی به خود گرفتند. وجود این روندهای افزایشی و کاهشی متوالی در منطقه با نتایج حاصل از مطالعات Modares و همکاران (۲۰۰۷) همخوانی دارد. معادلات حاصل از رگرسیون خطی برای میانگین داده‌های فصلی و سالانه بیانگر روندهای بسیار ضعیف و به ترتیب افزایشی در فصول بهار و تابستان و کاهشی در فصول پاییز و زمستان و سالانه بود. همچنین وجود روند فصلی در داده‌ها با نتایج حاصل از مطالعات Hennssy و همکاران (۱۹۹۹) و خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۳) مطابقت دارد. به‌طور کلی استفاده از آزمون من‌کنندال علاوه بر اثبات نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون مبنی بر عدم وجود روند معنی‌دار و قوی، وجود جهش در داده‌ها را به اثبات رساند. مطابق با شکل ۷، نتایج حاصل از چهار الگوریتم سلسله مراتبی مورد استفاده در تحلیل خوشه‌ای بسیار مشابه بوده و خوشه اول شامل شاخص‌های DI ، CZI و SPI می‌باشد که خود به دو زیرخوشه تقسیم گردید و خوشه دوم نیز شامل شاخص‌های PN و ZSI می‌باشد. نتایج نشان داد که در تمامی الگوریتم‌های مورد استفاده شاخص‌های PN و ZSI با ۱۰۰ درصد مشابهت، کاملاً برهم منطبق بوده و حداکثر مشابهت را بین تمامی گروه‌ها داشتند. همچنین شاخص‌های CZI و SPI نیز که در یک خوشه و زیرخوشه واقع شده‌اند با ۹۹/۵ درصد شباهت در رتبه دوم از لحاظ بیشترین همانندی قرار دارند. وجود شباهت‌های درون خوشه‌ای بیشتر نسبت به شباهت برون خوشه‌ای نشان‌دهنده خوشه‌بندی مناسب شاخص‌ها می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از خوشه‌بندی با نتایج حاصل از جدول ماتریس همبستگی تا حدود زیادی تطابق دارد. مقایسه نتایج نشان داده شده در جدول ۶ و شکل ۸ حکایت از روند تقریباً یکسان این دو شاخص و اختلاف کم آنها در ارائه وضعیت خشکسالی در حوضه آبریز جازموریان با یکدیگر دارد. در ارزیابی شدت خشکسالی‌ها، شاخص CZI خشکسالی‌ها را شدیدتر نشان می‌دهد که این موضوع با نتایج حاصل از تحقیق هدایتی و صداقت کردار (۱۳۸۶) مطابقت دارد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که این دو شاخص برای بررسی وضعیت

استمرار این روند نزولی در سال‌های متوالی ممکن است خشکسالی‌های هیدرولوژیکی را نیز دربرداشته باشد. با توجه به این موضوع در سال‌های ۶۹-۷۰ تا ۷۱-۷۲ و ۷۴-۷۶ شاهد دوره‌های ترسالی در منطقه بوده‌ایم و در سایر سال‌ها نیز در منطقه خشکسالی با شدت‌های متفاوت حاکم بوده است. همچنین مطابق شکل ۴ در سال‌های ۷۱، ۷۴ و ۸۳ بیشترین میزان بارندگی در حوضه رخ داده که این میزان بسیار بالاتر از میانگین منطقه می‌باشد و در سال‌های ۶۲، ۷۹، ۸۲ و ۸۴ نیز کمترین میزان بارندگی در منطقه رخ داده که کمتر از ۵۰ درصد میانگین منطقه در بین سال‌های ۶۲-۹۱ می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی روند توسط آزمون من‌کنندال بر روی داده‌های فصلی و سالانه بارش نشان داد که مقادیر آماره آزمون من‌کنندال (T) در تمامی موارد در محدوده $T < +T(t)$ ، $-T(t) = 0/21$ (آماره بحرانی) قرار داشته (محدوده عدم وجود روند $0/21 < T < -0/21$)، محدوده روند افزایشی (T بزرگتر از $0/21$) و محدوده روند کاهشی (T کوچکتر از $-0/21$)؛ از این رو عنصر اقلیمی بارش در دو مقیاس فصلی و سالانه طی دوره آماری مورد مطالعه دارای روند معنی‌داری نبوده است (جدول ۴). برای تعیین نوع و زمان تغییرات در داده‌های سالانه بارش نمودار من‌کنندال با استفاده از مؤلفه‌های U و U' ترسیم گردید. آزمون گرافیکی من‌کنندال در مقیاس سالانه نشان داد در سال ۱۳۶۹ به عبارتی محل تلاقی دو منحنی U و U' ، میزان بارندگی با روند افزایشی کوتاه‌مدت به سمت سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۷۱ و ۱۳۷۲ تغییری ناگهانی را به همراه داشته است که این تغییر در سال ۱۳۷۲-۱۳۷۱ به اوج خود رسیده است و پس از آن روند کوتاه‌مدت کاهشی را تا سال ۱۳۷۲ و ۱۳۷۳ طی نموده است. در سال ۱۳۷۴ دوباره یک روند کوتاه‌مدت مقطعی افزایشی آغاز شده و تا سال ۱۳۷۷ ادامه یافته و پس از آن مقادیر بارش بدون وجود روند معنی‌داری کاهش یافته است. بررسی تطبیقی نمودارهای من‌کنندال با میانگین متحرک پنج ساله حوضه نیز به درستی تأییدکننده روندهای افزایشی و کاهشی کوتاه‌مدت، بدون معنی‌داری و به‌طور مقطعی و در نتیجه وقوع ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در حوضه است؛ به‌طوری‌که همزمان با روند

معرض خشکسالی قرار گرفته و هیچ ایستگاهی فاقد خشکسالی نبوده است. همچنین به طور میانگین بین ۳۳-۴۴ درصد خشکسالی‌ها و ۳۷-۵۰ درصد ترسالی‌های محاسبه شده در منطقه از نوع شدید می‌باشند. ولی تفاوت در فراوانی و شدت محاسبه شده خشکسالی در ایستگاه‌های مختلف نشان از استعداد متفاوت مناطق مختلف حوضه در رویارویی با این پدیده دارد.

سپاسگزاری

از مدیریت محترم شرکت مطالعات پایه منابع آب به دلیل مساعدت‌های بی‌دریغ‌شان در ارائه آمار و اطلاعات لازم، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

منابع مورد استفاده

- 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 Reseach, 14 (2):271-288.
- Farajzadeh, M., MovahedDanesh, A. A. and Ghaemi, H., 1995. Drought in Iran using some statistical indicators. Journal of Agricultural Science, 5(1&2):52-31.
- Gandomkar, A. and Khadem Al-Husseini, A., 2009. Study the trend of changes in precipitation in Zabol. Quaterly Environmental Based Territorial Planning (Amayesh), 2(6): 65-76.
- Hennessy K. J., Suppiah R. and Page, C. M., 1999. Australian rainfall changes 1910-1995. Australian Meteorology Magazine, 48: 1-13.
- Herbst, P. H., Bredencamp, D. B. and Baker, H. M. G., 1966. A technique for the evaluation of drought from rainfall data. Journal of Hydrology Science, 4(4):264-272.
- Hojam, S., Khoshkhoo, y. and Shamsudinvasdi, R., 2008. Analyzing the trend of seasonal and annual rainfall variations of several selected stations in the central region of Iran using nonparametric methods. Geographic Research, 6: 168-157.
- Hong, W., Hayes, M. J., Welss, A. and Hu, Q., 2001. An evaluation the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. International Journal of Climatology, 21:745-758.
- Karimi, V., Kamkar Haghighi, A., Sepaskhah, A. and khaili, D., 2001. Drought Investigation in Fars province. Journal of Agricultural Science and Technology, 5(105): 4-16.

خشکسالی و تعیین دوره‌های خشک و تر تفاوت چندانی از نظر عملکرد با یکدیگر ندارند اما در بررسی شدت خشکسالی‌ها به‌ویژه خشکسالی‌های حدی و بسیار شدید، شاخص CZI عملکرد بهتری دارد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از این دو شاخص در تحلیل شرایط منطقه، می‌توان به این رهیافت دست یافت که در تمام منطقه مورد مطالعه، ایستگاه‌های پرباران و خشک نشان‌دهنده توالی ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در منطقه می‌باشد. سال‌های ۸۶-۸۷ و ۷۷-۷۸ به ترتیب خشک‌ترین سال‌ها طی سال‌های ۹۱-۹۲ در سطح حوضه بوده و ۴۶ درصد حوضه در سال ۸۶-۸۷ دارای خشکسالی از نوع شدید تا بسیار شدید بوده است. بیشترین تعداد خشکسالی در ایستگاه‌های گلمورتی و خریشت و کمترین آن در ایستگاه جمیل‌آباد و دشت کوچ مشاهده شد، در حالی‌که طول دوره خشکسالی در ایستگاه جمیل‌آباد و دشت کوچ ۲ برابر ایستگاه‌های مذکور بود. ایستگاه امور آب بافت شاهد بیشترین شدت خشکسالی و ایستگاه‌های جیرفت و دشت کوچ شاهد کمترین شدت خشکسالی طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۶۲ بوده‌اند. طولانی‌ترین خشکسالی در منطقه با طول ۵ سال متوالی در ایستگاه‌های پایاب سد بمپور و دامن در شرق حوضه و ایستگاه دولت‌آباد اسفندقه در شمال‌غربی حوضه مشاهده گردید که بیانگر وجود خشکسالی‌های طولانی‌تر در شرق حوضه نسبت به غرب آن می‌باشد و متوسط دوره خشکسالی در کل حوضه بین ۲/۳-۲/۱۹ سال بوده است. فراوانی خشکسالی در ایستگاه قلعه‌گنج، بیشترین مقدار را داشت و ایستگاه‌های گنج‌آباد، سرخ قلعه و نمداد کوهستان، بیشترین فراوانی وقوع رخداد ترسالی را داشتند. به‌طور کلی متوسط فراوانی خشکسالی‌ها در حوضه بیشتر از ترسالی‌ها بوده اما متوسط خشکسالی‌ها و ترسالی‌های شدید از فراوانی یکسانی برخوردار بوده است. با توجه به پراکنش ایستگاه‌ها شرایط موجود نشان‌دهنده تمرکز بیشتر خشکسالی در نواحی جنوب‌شرقی و جنوبی حوضه می‌باشد ولی در نواحی شمالی و بالادست حوضه تمرکز خشکسالی‌ها کمتر بوده است.

اما به‌طور کلی می‌توان گفت که تمامی مناطق حوضه در

- Piri, H. and Ansari, H., 2013. Study of drought in Sistan plain and its impact on Hamoun international wetland. *Journal of Wetland Ecobiology*, Islamic Azad University Ahvaz Branch, 15: 63-74.
- Piri, H., Rahdari, V. and Maleki, S., 2013. Study and compare performance of four meteorological drought index in the risk management droughts in Sistan and Baluchestan province. *The Iranian Society of Irrigation & Water Engineering*, 11: 96p.
- Quiring, S .M., 2009. Monitoring drought: an evaluation of meteorological drought indices. *Texas A & M University. Geography Compass*, 3(1): 64-88.
- Richard, R. H., 2002. A review of twentieth century drought Indices used in the United States. *American Meteorological Society*, 1149-1165p.
- Shokoohi, A. and Morovati, R., 2014. An investigation on the Urmia Lake Basin drought using RDI and SPI indices. *Watershed Engineering and Management*, 6 (3): 232-246.
- Simani, N., 2011. Investigation and analysis of occurrence of dry and wet year phenomena using several precipitation indices: Case study; Kerman province. *Second National Conference on Desertification and Sustainable Development of Iran's Desert wetland*, Islamic Azad University of Arak, 130p.
- Talebi, A., Akbari, Z., Dasturani, T. and Mahjubi, J., 2010. Evaluation of the efficiency of decision trees in estimating suspended sediments (case study: Ilam Dam Basin). *The first National Conference on Natural Resources Research*.
- Wilhite, D. A. and Glantz, M. H., 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10(3):111-120.
- Zare Abianeh, H. and Mahboobi A. A., 2004. Evaluation of drought situation and its process in Hamadan region on the basis of drought statistical indexes. *Journal of Pajouhesh & Sazandegi*, 64: 2-7.
- Zhanga, L., Jiaoa, W., Zhanga, H., Huanga, C. and Tonga, Q., 2017. Studying drought phenomena in the continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 190(1): 96-106.
- Khalighi Sigaroudi, Sh., Sadeghi Sangdehi, S. A., Awsati, Kh. and GHavidel Rahimi Y., 2009. The Study of Drought and Wet Year Assessment models for Stations in Mazandaran province, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 16(1):44-54.
- Khalili, A. and Bazr Afshan, J., 2003. Evaluation the efficiency of several indicators of meteorological drought in different climatic samples of Iran. *Newvar, Spring and Summer (48 & 49): 93-79*.
- Khalili, A. and Bazrafshan, J., 2004. A trend analysis of of annual, seasonal and monthly precipitation over Iran during the last 116 years. *Journal of Desert*, 9(1): 23-35.
- Loukas, A., Vailiades, L. and Dalezios, N. R., 2003. Inter comparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece. *8th international conference on Environmental Science and Technology Lemons Island*, 8-10 September: 484-491.
- Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, C. N., Yong, B., Shafer, M. A. and Riley, R., 2012. Hydro climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin Oklahoma. *Water Resources Management*, 26(10): 2761-2779.
- Mckee, T. B., Doesken N. J. and Kleist, J., 1995. "Drought monitoring with multiple time scales. *9th Conference in Applied climatology*, 15 - 20 Jan, Dallas 233 - 236p.
- Modarres, R. and Rodriguesda silva, V. D. P ., 2007. Rainfall trends in arid and semiarid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*, 70: 344-355
- Mohan, S. and Rangacharia, N.C., 1991. A modified method for drought identification. *Journal of Hydrology Science*, 36(1):11-21.
- Morid, S., Ghaemi, E., Moghadasi, M. and Paymozd, Sh., 2004. Design of drought monitoring system for Tehran province. *Research Project. Ministry of Energy*.
- Nazari Pouya, H. and Khosroshahi. M., 2013. Determining the most appropriate meteorological drought index for evaluation of drought in Hamedan province. *Iranian journal of Range and Desert Reseach*, 20(4): 625-633.

Precipitation trend analysis and drought assessment of Jazmorian Basin using trend analysis methods and optimized drought indices

S. Lotfinasabas^{1*}, M. Khosroshahi², Z. Saeedifar³ and F. Dargahiyan⁴

1*-Corresponding author, Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: s.lotfinasab@rifr-ac.ir

2-Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3-Ph.D. Candidate, Faculty of Desert Studies, University of Semnan, Iran

4-Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Accepted: 7/12/2017

Received: 11/12/2018

Abstract

Precipitation temporal trend analysis and study of the drought condition have been of great concern during the past century because of the attention given to global climate change by the scientific community. The aim of present study was to investigate and analyze the rainfall trends and its affected drought conditions in Jazmorian basin using non-parametric mann-kendall method and multidimensional comparison of drought indices including Standardized Precipitation (SPI), deciles (DI), the percentage of normal (PNI), Chinese Z (CZI) and the Z score (ZSI) with rainfall data from 24 gauged stations for the period of 1983 to 2013. For this, the drought indices were calculated, and then categorization was performed on the basis of similarity and correlation using cluster analysis method. The results proved a positive and significant increase in the rainfall amount of 1992-1993 and 1995-1996 years. Statistical analysis showed that the highest amount of rainfall occurred in the years of 1992-93, 1995-96 and 2004-2005 and the lowest in the years of 1983, 2000, 2003 and 2005 in the basin. Cluster analysis showed that the ZSI and PN indices with similarity of hundred percent in the diagnosis of wet and dry periods, intensity, duration and continuity were completely similar and had the highest similarity among all the groups. The CZI and SPI with 99.5 percent similarity were in the second level of similarity as well. Validation of the results through the numerical comparison of SPI and CZI indicates the same trend of two indicators and little differences in presenting the drought conditions of Jazmorian basin. However, in assessing the severity of droughts, CZI showed more severe drought condition. Overall, the results showed a greater focus of the drought in the southern east and southern parts of the basin indicating the high probability of drought occurrence potential of the basin. Therefore, the study of drought through CZI and SPI indices in the basin of Jazmorian is suggested for the proper policy making and management of water resources regarding conservation and increasing of the productivity from environmental, economic and social point of views.

Keywords: Jazmorian Basin, trend of precipitation, drought indices, cluster analysis, Mann-Kendall Trend Test.