

بررسی ویژگی‌های خشکسالی در منطقه خشک و نیمه‌خشک ایران

طیب رضیئی^{۱*}

^۱ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۰۵

چکیده

با استفاده از داده‌های بارش ۶۹ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۵ پدیده خشکسالی در بخش خشک و نیمه‌خشک مرکز و شرق کشور مورد بررسی قرار گرفت. پس از کنترل کیفی داده‌ها نمایه SPI در مقیاس‌های زمانی سه، شش و ۱۲ ماهه برای همه ایستگاه‌ها محاسبه شد. با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی و چرخش به روش وریمکس منطقه مورد مطالعه بر اساس تغییرات زمانی SPI سه و ۱۲ ماهه به دو منطقه و بر اساس تغییرات زمانی SPI شش‌ماهه به سه منطقه کاملاً همگن تقسیم شد. شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌ها برای هر یک از مقیاس‌های یاد شده محاسبه و تغییرات مکانی آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتیجه بررسی نشان داد که فراوانی خشکسالی‌های با شدت‌های مختلف در نیمه شمالی منطقه بیشتر از دیگر نقاط می‌باشد، در حالی که جنوب شرق منطقه بیشتر در معرض وقوع خشکسالی‌های شدید تا بسیار شدید قرار دارد. نتیجه این بررسی همچنین، نشان داد که منطقه مورد مطالعه در ۲۳/۵ درصد از سال‌های مورد بررسی با خشکسالی فراگیر روبه‌رو بوده است که در بیشتر این سال‌ها نسبت ایستگاه‌های متاثر از خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید کمتر از ایستگاه‌های متاثر از خشکسالی‌های ملایم تا متوسط بوده است که نشان می‌دهد، هر چه خشکسالی شدیدتر باشد، از سطح مساحت درگیر با خشکسالی کاسته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مولفه‌های اصلی، تغییرات زمانی، داده‌های بارش، روش وریمکس، SPI

مقدمه

زمین از تکرار شرایط خشکسالی رنج می‌برند، اما این وضعیت در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان که به‌طور نامنظم به‌وسیله سیستم‌های سینوپتیکی باران‌زا تحت تاثیر قرار می‌گیرند، بسیار چشمگیرتر می‌باشد. خشکسالی را می‌توان به چهار دسته هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی گروه‌بندی کرد (Wilhite و Glantz, ۱۹۸۵). خشکسالی هواشناسی در اثر کمبود بارش در یک دوره معین از زمان به‌وجود می‌آید، در حالی که خشکسالی کشاورزی نتیجه کمبود رطوبت خاک است که بر اثر

خشکسالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی است که در اثر کاهش بارش نسبت به شرایط نرمال اقلیمی یک منطقه پدید می‌آید. در این دوره که می‌تواند از چند ماه تا چندین سال به درازا بکشد، مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه درگیر با خشکسالی به حد قابل توجهی کاهش می‌یابد (Rodier و Beran, ۱۹۸۵). کاهش نم نسبی هوا، افزایش دما و افزایش سرعت و زمان وزش باد نیز در چنین شرایطی می‌تواند بر شدت خشکسالی و نیاز آبی محیط بی‌افزاید. همه مناطق کره

احتمالاتی نتایج، مناسبترین و کاراترین نمایه خشکسالی است. نمایه SPI را می‌توان مناسبترین نمایه برای تحلیل مکانی خشکسالی نامید، چرا که برای محاسبه آن تنها داده‌های بارش مورد نیاز است که در دسترس‌ترین داده هواشناسی در سطح جهان می‌باشد. در یک تحلیل مقایسه‌ای Paulo و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند که PDSI بیشترین ضریب همبستگی را با نمایه SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه دارا می‌باشد.

در پژوهشی دیگر Keyantash و Dracup (۲۰۰۲) با تعریف و استفاده از شش معیار مقایسه‌ای، دقت و کارایی نمایه‌های مختلف خشکسالی را در تعیین و شناخت دوره‌های خشک و تر ارزیابی نموده و به این نتیجه رسیدند که نمایه SPI و دهک‌ها مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین نمایه در میان نمایه‌های مختلف خشکسالی هواشناسی است. اگر چه برای محاسبه SPI تنها متغیر بارش مورد نیاز است، اما بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که این متغیر بالاترین وزن را در نمایه‌های پیچیده‌ای چون PDSI دارا بوده و ۷۰ درصد تغییرات این گونه نمایه‌ها را توضیح می‌دهد (Guttman, ۱۹۹۸, ۱۹۹۹, Keyantash و Dracup, ۲۰۰۲). سادگی محاسبه، قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی و استفاده از تنها یک متغیر اقلیمی (بارش) سبب استفاده بسیار گسترده این نمایه در سطح جهان شده است. بسیاری از پژوهشگران مانند Lloyd-Hughes و Saunders (۲۰۰۲)، Lana و همکاران (۲۰۰۱) و Bordi و همکاران (۲۰۰۹) برای بررسی و تحلیل خشکسالی از این نمایه استفاده نموده‌اند.

کشور ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است و از منابع رطوبتی بسیار دور می‌باشد. از این رو سامانه‌های باران‌آور زمانی به ایران می‌رسند که بخش بزرگی از رطوبت خود را از دست داده و توان کافی برای ایجاد بارش در بخش‌های مرکزی و شرقی ایران را ندارند. علاوه بر این، رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز اگرچه موجب تقویت سامانه‌های باران‌زای وارد شده به کشور می‌شوند، ولی با قرار گرفتن در مسیر جریان‌های هوایی باعث فرسایش توده‌های هوایی باران‌زا پیش از رسیدن به منطقه مرکزی و شرقی کشور می‌شوند. بی‌نظمی و نوسان شدید بارش از سالی

به هم خوردن تعادل میان تامین آب و هدر رفت آن از طریق تبخیر و تعرق پدید می‌آید. اگر خشکسالی هواشناسی مدت زیادی ادامه پیدا کند، منجر به وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی می‌شود که در آن حجم جریان رودخانه‌ها یا سطح آب‌های زیرزمینی به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد. سرانجام خشکسالی اجتماعی-اقتصادی آخرین فاز پدیده خشکسالی است که پس از استیلاهی یک دوره درازمدت خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی پدیدار شده و موجب قحطی، مرگ و میر و کوچ گسترده انسان‌ها می‌شود (Wilhite, ۱۹۹۷, Lloyd-Hughes و Saunders, ۲۰۰۲).

تاکنون نمایه‌های زیادی برای بررسی ویژگی‌های خشکسالی معرفی شده است که از این میان نمایه Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, ۱۹۶۵) و Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee و همکاران, ۱۹۹۵) کاربرد گسترده‌ای در سطح جهان پیدا کرده‌اند. استفاده از نمایه PDSI به‌علت نیاز به داده‌های متغیرهای محیطی مختلف در بسیاری از کشورها مانند ایران مورد استقبال قرار نگرفته است، چرا که داده‌های لازم برای استفاده از آن در همه نقاط کشور موجود نیست. نمایه‌های (RDI) Reconnaissance Drought Index (Tsakiris) و Standardized precipitation- (Vicente-) evapotranspiration index (SPEI) (Serrano و همکاران, ۲۰۱۰) نیز که بعدها ارائه شده‌اند، همانند SPI عمل می‌کنند و همبستگی آن‌ها با نمایه SPI در اغلب ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۹۹ می‌باشد. در این نمایه‌ها کوشش شده است تا نقش متغیر دما به‌عنوان عامل ایجاد و تشدید تبخیر و تعرق در کنار متغیر بارش در نظر گرفته شود. با این حال نمایه SPI به‌علت استفاده از تنها یک متغیر (بارش) که در همه ایستگاه‌های کشور وجود دارند، همچنان به‌عنوان مناسب‌ترین نمایه برای مطالعه خشکسالی در ایران به شمار می‌رود.

Guttman (۱۹۹۸) با استفاده از تحلیل طیفی، دقت و کارایی نمایه PDSI را با نمایه SPI مقایسه و به این نتیجه رسید که نمایه SPI به‌دلیل سادگی محاسبه، مناسب بودن برای تحلیل‌های مکانی و بیان

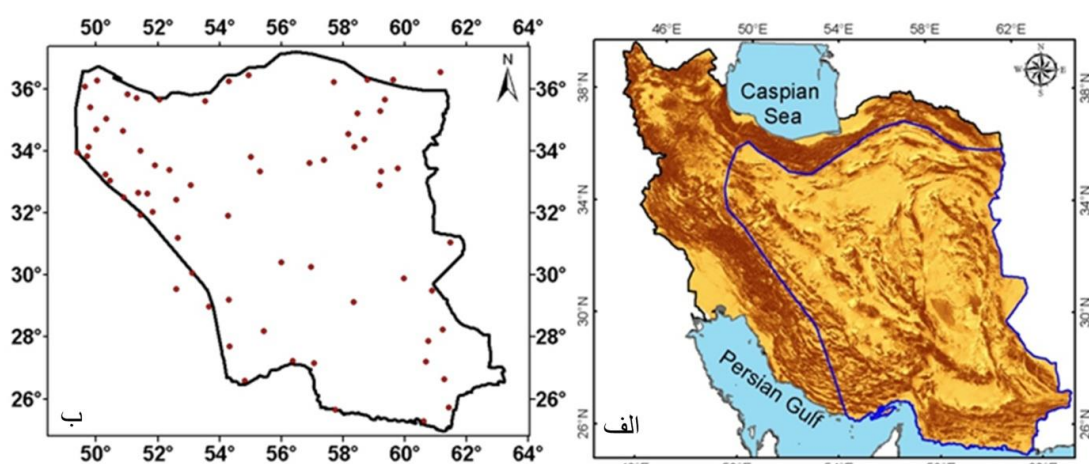
کشور از آمار بارش ماهانه ۶۹ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی وابسته به سازمان هواشناسی که از آمار مناسب و بلندمدت برخوردار می‌باشند، بهره‌گیری شده است (شکل ۱-ب). از میان متغیرهای اقلیمی مورد نیاز برای مطالعه خشکسالی، بارش در دسترس‌ترین داده اقلیمی در تمامی ایستگاه‌های کشور به شمار می‌رود که از طول دوره آماری مناسب و کیفیت لازم برخوردار می‌باشد.

با توجه به وجود آمار کامل بارش در دوره آماری ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۵ در همه ایستگاه‌ها، از بارش ماهانه ایستگاه‌ها در این دوره ۳۵ ساله استفاده شده است. همگنی داده‌های بارش تمامی ایستگاه‌ها با استفاده از آزمون ناپارامتری من-ویتنی و منحنی جرم مضاعف مورد بررسی قرار گرفت و همگن بودن داده‌ها در همه ایستگاه‌ها تأیید شد. استقلال داده‌ها نیز به کمک روش ناپارامتری اسپیرمن مورد ارزیابی قرار گرفت و پذیرفته شد. اندک داده‌های گم شده در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز با ایجاد رابطه همبستگی بین ایستگاه مبنا و ایستگاه دارای آمار گم شده، برآورد شد.

به سال دیگر سبب شده است که وقوع بارش در ایران به‌ویژه در نیمه مرکزی و شرقی کشور کاملاً تصادفی و بی‌نظم باشد. این بی‌نظمی‌ها عامل اصلی ایجاد خشکسالی‌های شدید و بلندمدت در کشور می‌باشند که در اغلب موارد گستره بزرگی از کشور را در بر گرفته و آسیب‌های جبران‌ناپذیری را بر پیکره اقتصادی کشور به‌ویژه بر بخش کشاورزی وارد می‌سازد. به‌عنوان مثال در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ یک خشکسالی شدید و بلندمدت بخش بزرگی از ایران را در بر گرفت و بیش از نیمی از جمعیت کشور را با کمبود شدید آب و غذا روبه‌رو کرد (Agrawala و همکاران، ۲۰۰۱). از این رو لازم است تا ویژگی‌های پدیده خشکسالی در ایران به‌ویژه در بخش‌های خشک و نیمه‌خشک کشور مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش که بیابان‌های ایران را نیز در خود جای داده است، بخش گسترده‌ای از کشور را در بر می‌گیرد که دارای آب و هوای نیمه‌خشک تا فراخشک می‌باشد (شکل ۱-الف). برای مطالعه پدیده خشکسالی در این بخش از



شکل ۱- الف) موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه ایران و ب) پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی در منطقه مورد پژوهش

منظور کمی کردن مقدار کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی گوناگون طراحی نمودند تا به کمک آن تأثیر میزان کمبود بارش را بر روی آب‌های زیرزمینی، منابع ذخیره آب، رطوبت خاک، توده‌های برفی و جریانات

روش پژوهش: برای بررسی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه از نمایه SPI استفاده شد که برای محاسبه آن تنها به داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌ها نیاز است. McKee و همکاران (۱۹۹۳) نمایه SPI را به

از آن جایی که توزیع گاما برای مقدار $x=0$ تعریف نشده است و سری‌های بارش بسیار حساس می‌باشد، مقادیر صفر باشند، بنابراین توزیع احتمال تجمعی سری‌های زمانی بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از رابطه (۲) برآورد شدند. در این رابطه q مقدار احتمال برای $x=0$ (مقدار بارش برابر با صفر) می‌باشد. سرانجام مقدار توزیع احتمال تجمعی $H(x)$ به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف از معیار یک تبدیل شد تا مقدار SPI به دست آید. چگونگی محاسبه SPI پیشتر به شکل کامل‌تری به وسیله Raziei و همکاران (۲۰۰۷) و Raziei و Fatahi (۲۰۱۱) ارائه شده است.

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (2)$$

با استفاده از دسته‌بندی ارائه شده در جدول ۱ ویژگی‌های خشکسالی شامل شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌های روی داده در هر ایستگاه برای هر یک از پایه‌های زمانی سه، شش و ۱۲ ماهه استخراج شد. بر این اساس تعداد خشکسالی‌های روی داده در هر یک از کلاس‌های خشکسالی ارائه شده در این جدول، به‌عنوان فراوانی آن دسته از خشکسالی در نظر گرفته شده است.

سطحی بررسی نمایند. شرایط رطوبتی خاک به ناهنجاری‌های کوتاه‌مدت بارش بسیار حساس می‌باشد، در حالی که آب‌های زیرزمینی، جریان‌های سطحی و منابع ذخیره آب به ناهنجاری‌های طولانی‌مدت بارش واکنش نشان می‌دهند. از این رو McKee و همکاران (۱۹۹۳) محاسبه نمایه SPI را برای مقیاس‌های زمانی یک، سه، شش، ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ماهه پیشنهاد نمودند که با استفاده از داده‌های بلندمدت بارش یک ایستگاه قابل محاسبه می‌باشد.

در این پژوهش به پیروی از McKee و همکاران (۱۹۹۳) تابع توزیع احتمال گاما به شکل رابطه (۱) به سری داده‌های بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف برازش داده شد.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

که در آن، $\alpha > 0$ و $\beta > 0$ به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس تابع گاما، x مقدار بارش و Γ تابع گاما می‌باشند. مقدار α و β برای هر ماه و مقیاس زمانی مورد استفاده با استفاده از روش بیشینه درست‌نمایی برآورد شد. با استفاده از پارامترهای برآوردی یاد شده توزیع احتمال تجمعی هر مقدار بارش مشاهده شده $G(x)$ ، برای هر مقیاس زمانی مورد استفاده برآورد شد.

جدول ۱- دسته‌بندی مقادیر نمایه SPI در گروه‌های مختلف و درصد احتمال هر گروه

SPI	گروه	احتمال (%)
۲ یا بزرگ‌تر	ترسالی بسیار شدید	۲/۳
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید	۴/۴
۱/۴۹ تا ۱/۱۰۰	ترسالی ملایم	۹/۲
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال	۶۸/۲
-۱/۴۹ تا -۱/۱۰۰	خشکسالی ملایم	۹/۲
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشکسالی شدید	۴/۴
-۲ یا کوچک‌تر	خشکسالی بسیار شدید	۲/۳

خشکسالی نیز به کمک روش کریجینگ و در نرم‌افزار ArcGIS به نقشه تبدیل و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای هر یک از سری‌های SPI در هر ایستگاه مقدار وزنی شدت سالانه خشکسالی از تقسیم مجموع سالانه مقادیر منفی SPI بر عدد ۱۲ به دست آمد. سپس به کمک نرم‌افزار Easyfit توزیع‌های مختلف آماری بر داده‌های میانگین وزنی شدت خشکسالی

در این پژوهش میزان انحراف منفی نمایه SPI از آستانه خشکسالی ($SPI=0$) به‌عنوان بزرگی (Magnitude) خشکسالی تعریف شد. بر این اساس شدت خشکسالی (Severity) نیز از ضرب میانگین بزرگی یک دوره خشکسالی در تداوم آن دوره قابل دستیابی است (Keyantash و Dracup، ۲۰۰۲). گستره مکانی شدت، تداوم و فراوانی رویدادهای مهم

از نظر تغییرپذیری خشکسالی تقسیم شد. بررسی نمودار غربالی نشان داد که برای مطالعه تغییرپذیری خشکسالی بر اساس SPI سه و ۱۲ ماهه می‌توان از مولفه‌های اول و دوم که مجموعاً بیش از ۵۱ درصد واریانس کل داده‌ها را توضیح می‌دهند، استفاده نمود. در حالی که برای SPI شش‌ماهه سه مولفه اول تا سوم که بیش از ۵۷ درصد کل واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند، استخراج شد.

به منظور دستیابی به مولفه‌های با پوشش مکانی همگن‌تر، با استفاده از چرخش و ریمکس مولفه‌های انتخابی چرخش داده شدند (Zwiers و Von Storch, ۱۹۹۹). جدول ۲ درصد واریانس مولفه‌های انتخابی را پس از چرخش نشان می‌دهد. به کمک نرم‌افزار ArcGIS بردارهای بارگویه مولفه‌های انتخابی به نقشه تبدیل و مناطق همگن جغرافیایی از نظر تغییرپذیری خشکسالی مشخص شدند. سری‌های زمانی مولفه‌های انتخابی نیز به‌عنوان سری‌های منطقه‌ای SPI برای تحلیل ویژگی‌های پدیده خشکسالی در هر منطقه مورد استفاده قرار گرفتند.

برازش و با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنف مناسب‌ترین توزیع شناسایی و به کمک آن شدت خشکسالی در دوره بازگشت‌های مختلف برآورد و به‌صورت نمودار ارائه شد (Loukas و Vasiliades, ۲۰۰۴). با توجه به تعداد زیاد ایستگاه‌های مورد مطالعه از روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای کاهش حجم داده‌ها و گروه‌بندی ایستگاه‌ها استفاده شد. در مطالعات اقلیم‌شناسی از این روش برای بررسی الگوهای زمانی و مکانی متغیرها و شناخت گروه‌های همگن استفاده می‌شود (Ehrendorfer, ۱۹۸۷). پژوهشگران بسیار زیادی همچون Bordi و Sutera (۲۰۰۲)، Bonaccorso و همکاران (۲۰۰۳)، Bordi و همکاران (۲۰۰۴)، Vicente-Serrano و همکاران (۲۰۰۴) و Bordi و همکاران (۲۰۰۶) از این روش برای کاهش سری‌های SPI به چند مولفه اصلی و ساده کردن تحلیل و تفسیر زمانی و مکانی پدیده خشکسالی استفاده نموده‌اند. از این‌رو با انجام تحلیل مولفه‌های اصلی (Yarnal, ۱۹۹۳) بر روی سری‌های زمانی SPI، منطقه مورد مطالعه به چند منطقه همگن

جدول ۲- درصد واریانس مولفه‌های انتخابی پس از چرخش به روش و ریمکس

مقیاس زمانی SPI	مولفه	واریانس (%)	واریانس افزایشی (%)
SPI-3	مولفه اول	۲۹/۶	۲۹/۶
	مولفه دوم	۲۱/۷	۵۱/۳
	مولفه اول	۲۳/۰	۲۳/۰
SPI-6	مولفه دوم	۱۷/۹	۴۰/۹
	مولفه سوم	۱۶/۲	۵۷/۱
SPI-12	مولفه اول	۲۶/۹	۲۶/۹
	مولفه دوم	۲۴/۶	۵۱/۵

مورد مطالعه را فراگیرد (Santos و Henriques, ۱۹۹۹، Rossi و همکاران، ۱۹۹۲، Paulo و همکاران، ۲۰۰۳).

در این مطالعه به پیروی از Bordi و همکاران (۲۰۰۹) نسبت ایستگاه‌هایی که در یک ماه معین دارای بارش کمتر از نرمال بوده‌اند، محاسبه و به‌عنوان معیاری برای شناسایی خشکسالی‌های فراگیر و منطقه‌ای در نظر گرفته شده است. در این پژوهش مقدار SPI بین $+0/99$ و $-0/99$ به‌عنوان دامنه بارش

در یک منطقه جغرافیایی ممکن است که همه ایستگاه‌ها خشکسالی را تجربه نکنند. بر این اساس خشکسالی‌ها را می‌توان به خشکسالی‌های محلی و فراگیر تقسیم نمود. خشکسالی‌های محلی اغلب تداوم کوتاهی داشته و تاثیرات منفی درازمدت ندارند. اما رویدادهای فراگیر رویدادهایی هستند که گستره بزرگی از یک منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند. بسیاری از پژوهشگران زمانی یک رویداد خشکسالی را فراگیر می‌نامند که ۳۰ و یا ۵۰ درصد مساحت منطقه

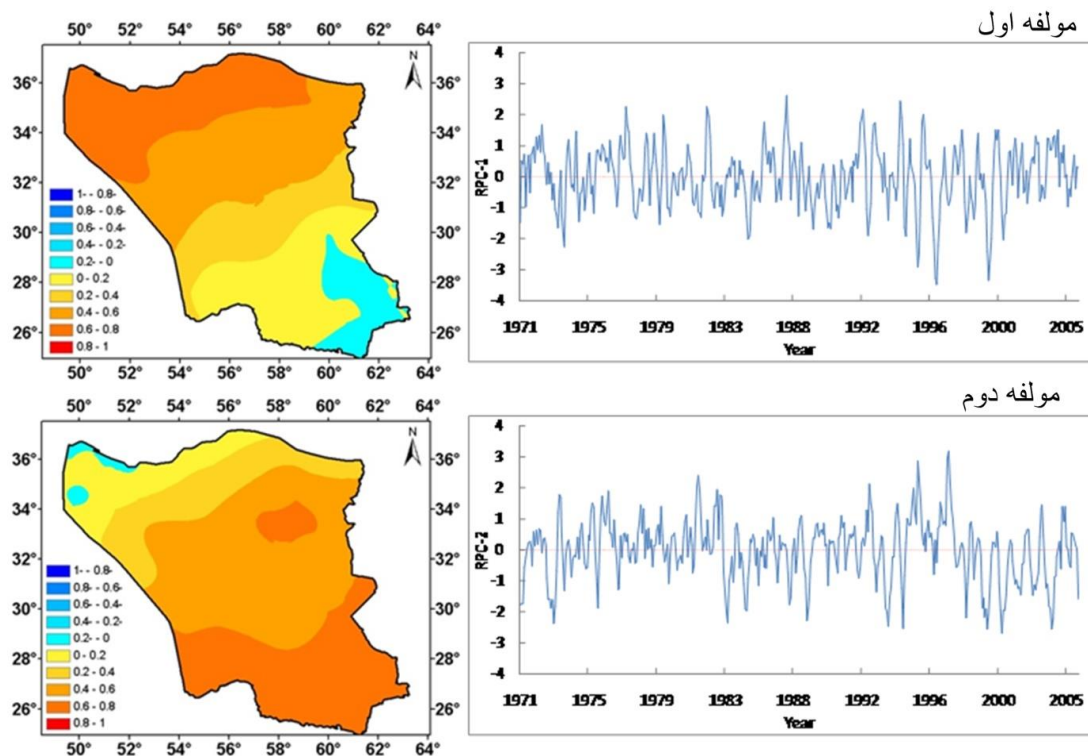
مولفه اول با توضیح ۲۳ درصد از واریانس کل داده‌ها بخش میانی و مرکزی منطقه مورد مطالعه را به‌عنوان یک منطقه همگن و مجزا از دیگر مناطق جدا کرده است. منطقه مولفه دوم نیز با توضیح ۱۸ درصد از واریانس کل داده‌ها حاشیه شمالی و شمال غربی منطقه را به‌عنوان یک منطقه همگن مشخص می‌کند و سرانجام مولفه سوم نیز با توضیح ۱۶/۲ درصد از کل واریانس داده‌ها بخش جنوب و جنوب شرق کشور را به‌عنوان یک منطقه همگن از مناطق پیرامون جدا کرده است.

منطقه مورد مطالعه همچنین، از نظر تغییرپذیری SPI-12 به دو منطقه کاملاً همگن و متفاوت قابل تقسیم است. مولفه اول با توضیح ۲۶/۹ از کل واریانس داده‌ها نیمه شمالی و شمال غربی منطقه را به‌عنوان یک منطقه همگن معرفی می‌کند، در حالی که مولفه دوم با توضیح ۲۴/۶ درصد از کل واریانس داده‌ها بخش شرقی، جنوبی و جنوب شرقی منطقه را به‌عنوان یک منطقه همگن از نیمه شمالی جدا کرده است.

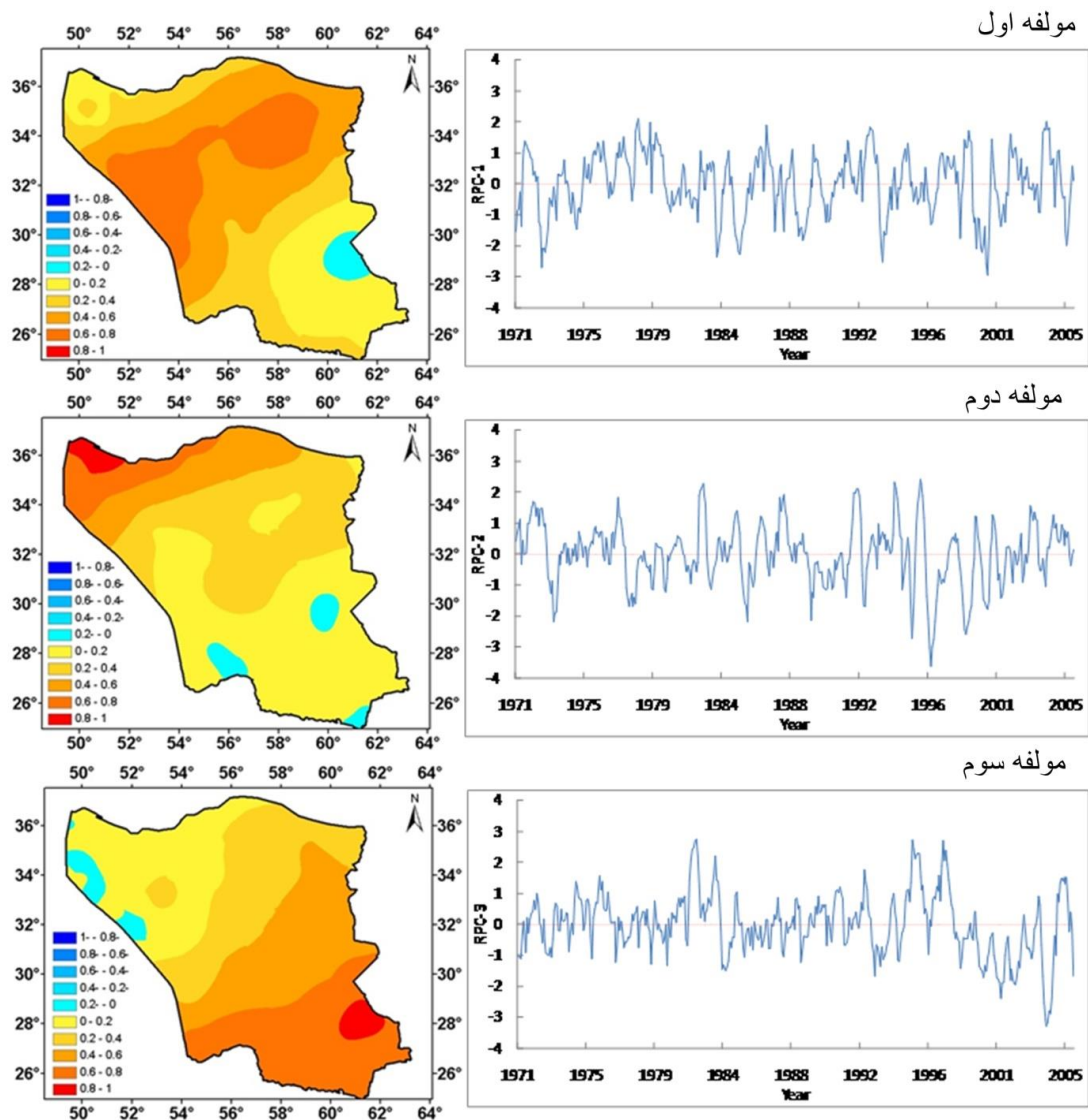
نرمال و مقدار SPI برابر و یا کوچک‌تر از ۱- به‌عنوان آستانه شروع یک دوره خشکسالی تعریف شد. بر این اساس یک دوره خشکسالی به دوره‌ای گفته می‌شود که در آن مقدار SPI به‌طور پیوسته برابر و یا کوچک‌تر از ۱- باشد.

نتایج و بحث

شناخت مناطق همگن: شکل ۲ نقشه بارگویه مولفه‌های انتخابی را به همراه سری زمانی منطقه‌ای آن‌ها نشان می‌دهد. بر این اساس منطقه مورد مطالعه از نظر تغییرپذیری SPI سه‌ماهه به دو منطقه همگن تقسیم می‌شود. منطقه مولفه اول که مجموعاً ۲۹/۶ درصد از کل واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهد، بخش بزرگی از شمال و شمال غرب منطقه را در بر می‌گیرد. منطقه مولفه دوم با توضیح ۲۱/۷ درصد از واریانس کل داده‌ها نیز بخش مرکزی، جنوبی و شرقی منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد. منطقه مورد مطالعه از نظر تغییرپذیری SPI-6 به سه منطقه مشخص تقسیم‌بندی شده است. منطقه



شکل ۲- الگوی توزیع مکانی مقادیر بارگویه مولفه‌ها پس از چرخش به روش وریمکس (سمت چپ) و سری‌های زمانی نمره استاندارد وابسته به آن‌ها (سمت راست) مربوط به سری‌های زمانی SPI سه‌ماهه



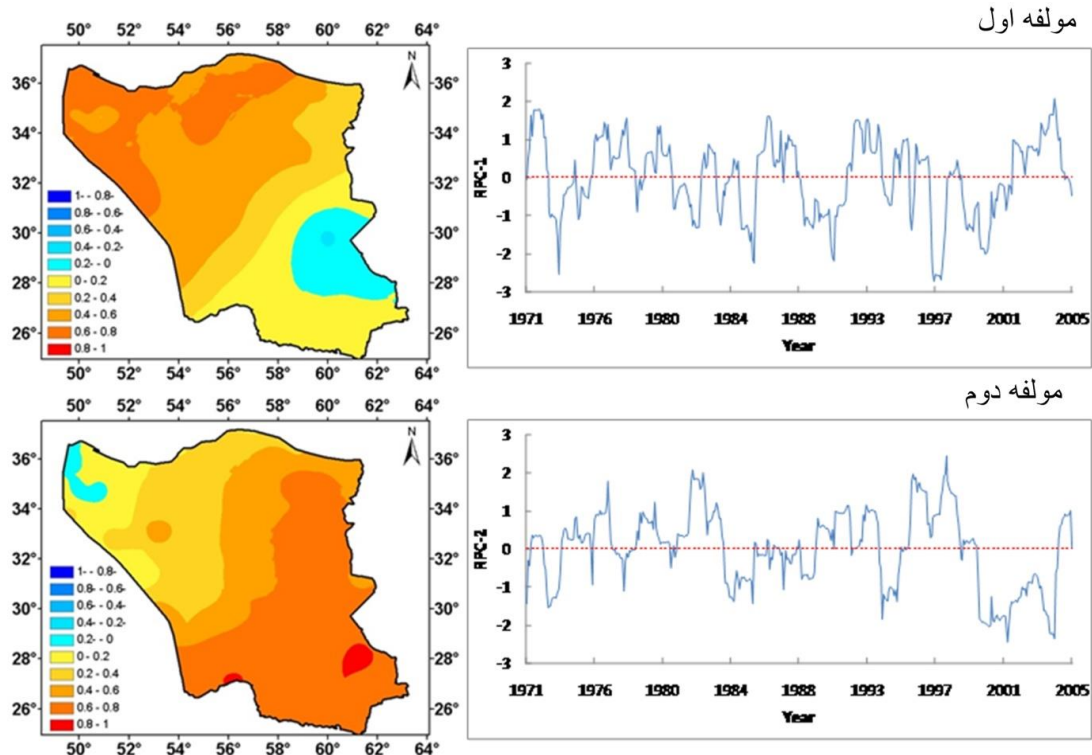
شکل ۳- الگوی توزیع مکانی مقادیر بارگویه مولفه‌ها پس از چرخش به روش وریمکس (سمت چپ) و سری‌های زمانی نمره استاندارد وابسته به آن‌ها (سمت راست) مربوط به سری‌های زمانی SPI شش‌ماهه

خشکسالی‌های مشاهده شده در حاشیه شمالی منطقه برابر با ۱۴، در بخش میانی (مولفه دوم) ۱۲ و در نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه هشت مورد محاسبه شده است که بین چهار تا شش ماه دوام داشته‌اند. نتایج مربوط به SPI-12 نیز بیانگر وقوع نه و شش دوره خشکسالی در نیمه شمالی و نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه است که به ترتیب ۶/۷ و ۱۱/۷ ماه تداوم داشته‌اند. با توجه به جدول ملاحظه می‌شود که تعداد دوره‌های خشکسالی شناسایی شده مربوط به SPI سه‌ماهه بیشتر از تعداد رویدادهای خشکسالی مربوط به SPI شش و ۱۲ ماهه است و در مقابل با افزایش مقیاس زمانی بر تداوم رویدادهای خشکسالی و بزرگی

ویژگی‌های خشکسالی در منطقه: با توجه به تعداد زیاد ایستگاه‌های مورد بررسی و نیز وجود شباهت‌های رفتاری سری‌های زمانی SPI در هر یک از مناطق همگن، ویژگی‌های پدیده خشکسالی در هر یک از مناطق برای سری‌های زمانی SPI با مقیاس‌های زمانی سه، شش و ۱۲ ماهه محاسبه و در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس SPI-3 به ترتیب ۱۴ و ۱۶ رویداد خشکسالی در نیمه شمالی و نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه روی داده است که بین سه تا چهار ماه تداوم داشته است. بر اساس SPI-6 تعداد خشکسالی‌ها از نیمه شمالی منطقه (منطقه مولفه اول) به نیمه جنوبی (منطقه مولفه سوم) کاهش می‌یابد. تعداد

حدود ۱/۵- می باشد که نشان دهنده وقوع خشکسالی متوسط تا شدید است.

آن‌ها افزوده می شود. میانگین شدت دوره های خشکسالی مشاهده شده در همه مناطق همگن در



شکل ۴- الگوی توزیع مکانی مقادیر بارگویه مولفه ها پس از چرخش به روش وریمکس (سمت چپ) و سری های زمانی نمره استاندارد وابسته به آن ها (سمت راست) مربوط به سری های زمانی SPI ۱۲ ماهه

جدول ۳- ویژگی های خشکسالی ها در مناطق همگن شناسایی شده به وسیله تحلیل مولفه های اصلی

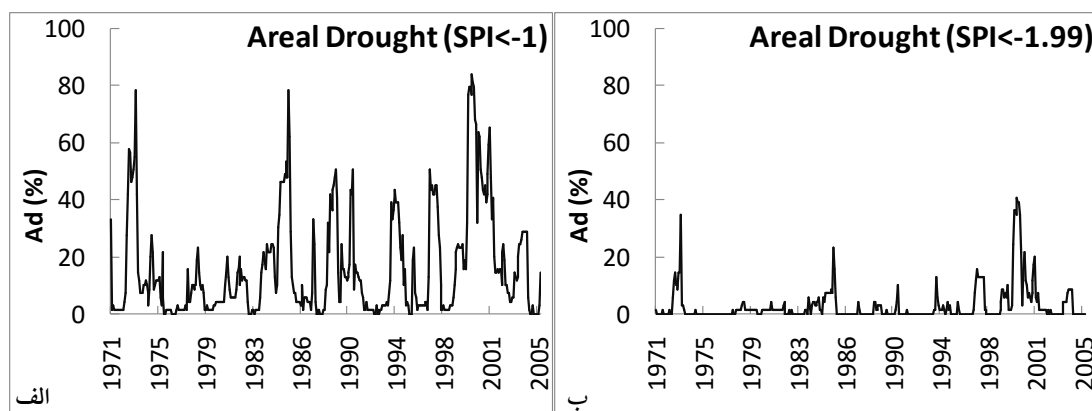
SPI	مولفه	تعداد خشکسالی ها	میانگین مدت خشکسالی ها	میانگین بزرگی خشکسالی ها	میانگین شدت خشکسالی ها
SPI-3	مولفه اول	۱۶	۳/۲	-۱/۶	-۵/۴
	مولفه دوم	۱۴	۳/۸	-۱/۷	-۶/۸
SPI-6	مولفه اول	۱۲	۵/۹	-۱/۶	-۱۰/۱
	مولفه دوم	۱۴	۳/۹	-۱/۶	-۶/۸
	مولفه سوم	۸	۵/۶	-۱/۵	-۹/۶
SPI-12	مولفه اول	۹	۶/۷	-۱/۶	-۱۱/۰
	مولفه دوم	۶	۱۱/۷	-۱/۵	-۱۸/۷

SPI-12 در آن‌ها بزرگتر از ۰/۹۹- بوده است (شکل ۵-الف). بر این اساس در سال های ۱۹۷۳، ۱۹۸۵، ۱۹۸۹، ۱۹۹۴، ۱۹۹۱، ۱۹۹۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ مقدار SPI در بیش از ۳۰ درصد از ایستگاه های مورد مطالعه کوچکتر از ۰/۹۹- بوده است. اما با در نظر گرفتن سطح آستانه ۱-۹۹- می توان گفت که به غیر از سال های ۱۹۷۳، ۱۹۸۶ و ۲۰۰۰ در بقیه سال ها منطقه مورد مطالعه در شرایط نرمال، یا تر قرار داشته

خشکسالی های مهم و فراگیر در منطقه: شکل ۵ درصد ایستگاه های درگیر با خشکسالی را در سال های مورد مطالعه نشان می دهد که با محاسبه نسبت ایستگاه هایی که مقدار SPI-12 سپتامبر آن‌ها کوچکتر از ۰/۹۹- و یا کوچکتر از ۱-۹۹- بوده است، به دست آمده است. بر اساس سطح آستانه ۰/۹۹- در بیشتر سال های مورد بررسی مساحت های زیادی از منطقه دارای وضعیت نرمال و ترسالی بوده اند و مقدار

۲۰۰۰ بیش از ۳۰ درصد ایستگاه‌ها یک خشکسالی بسیار شدید با SPI کوچک‌تر از $-1/99$ را تجربه کرده‌اند.

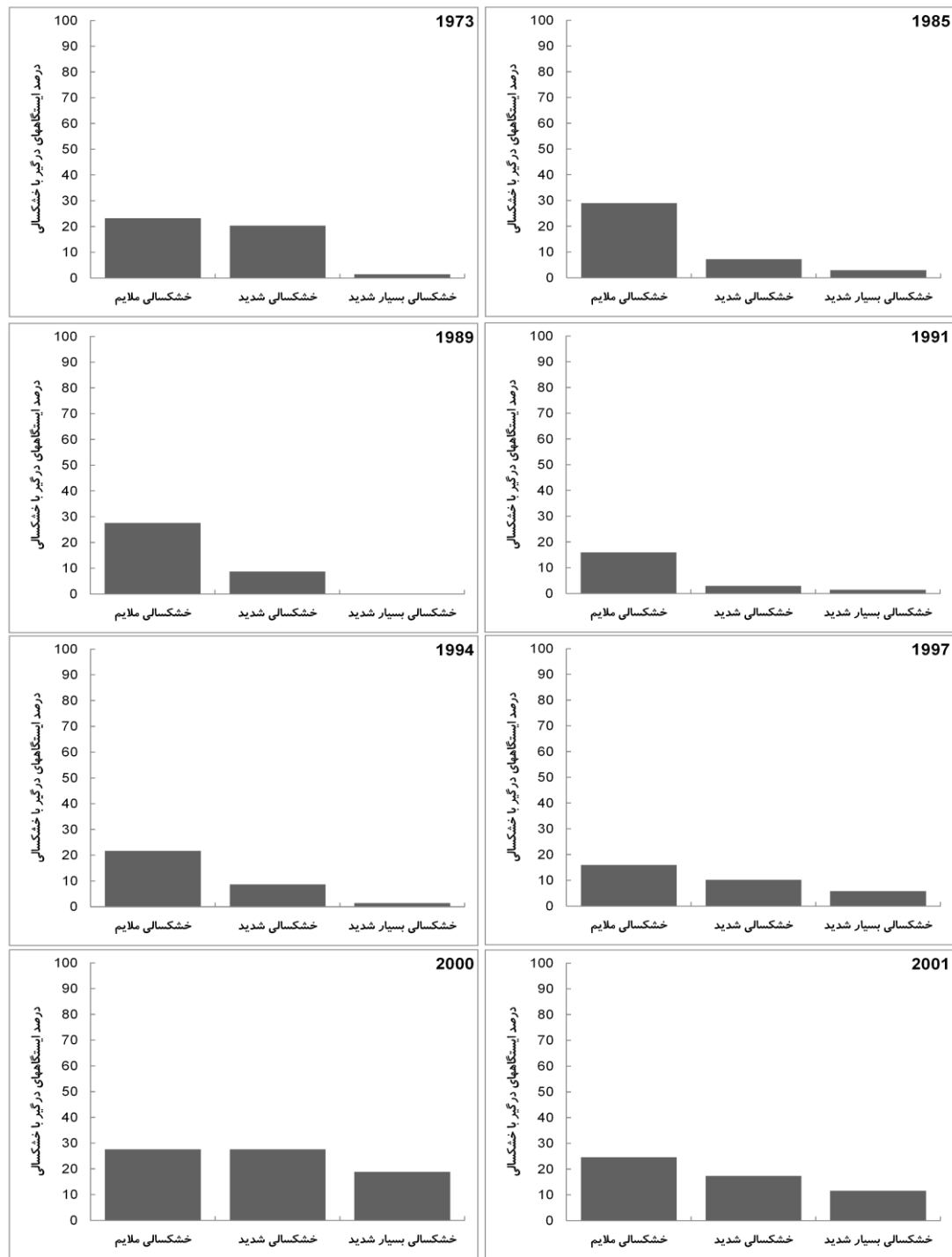
است و نسبت ایستگاه‌های متاثر از خشکسالی شدید تا بسیار شدید کمتر از ۳۰ درصد کل ایستگاه‌ها بوده است (شکل ۵-ب). در سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۸۶ و



شکل ۵- نمودار تغییرات زمانی نسبت ایستگاه‌های متاثر از خشکسالی در منطقه مورد مطالعه

مقدار SPI-12 سپتامبر هر سال که بیانگر ناهنجاری مجموع بارش ماه سپتامبر و ۱۱ ماه قبل خود می‌باشد به‌عنوان معیاری برای ارزیابی وضعیت بیلان آبی سال‌های مورد مطالعه در محیط GIS ترسیم شد. نتیجه این بررسی نشان داد که منطقه مورد مطالعه در $23/5$ درصد از سال‌های مورد مطالعه (هشت سال از کل دوره ۳۴ ساله ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۵) با خشکسالی فراگیر روبه‌رو بوده است. شکل ۷ نقشه ناهنجاری مجموع بارش سالانه برخی از سال‌های متاثر از خشکسالی‌های فراگیر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷ در سال ۱۹۷۳ تمامی منطقه مورد مطالعه در تله خشکسالی قرار گرفته و مقدار SPI در سرتاسر منطقه منفی بوده است. تنها بخش کوچکی از حاشیه شمالی منطقه مورد مطالعه بارشی در حد نرمال داشته است. در این سال شدت خشکسالی در بخش مرکزی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه بیشتر از دیگر نقاط بوده است. در سال ۱۹۸۵ نیز یک خشکسالی فراگیر سرتاسر منطقه را تحت تاثیر قرار داده است که شدت آن در بخش مرکزی و شمال شرق منطقه مورد مطالعه در گروه خشکسالی ملایم قرار می‌گیرد. در سال ۱۹۸۹ نیز یک خشکسالی ملایم کل منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است که شدت آن در بخشی از نیمه غربی منطقه تا $-1/5$ نیز رسیده است.

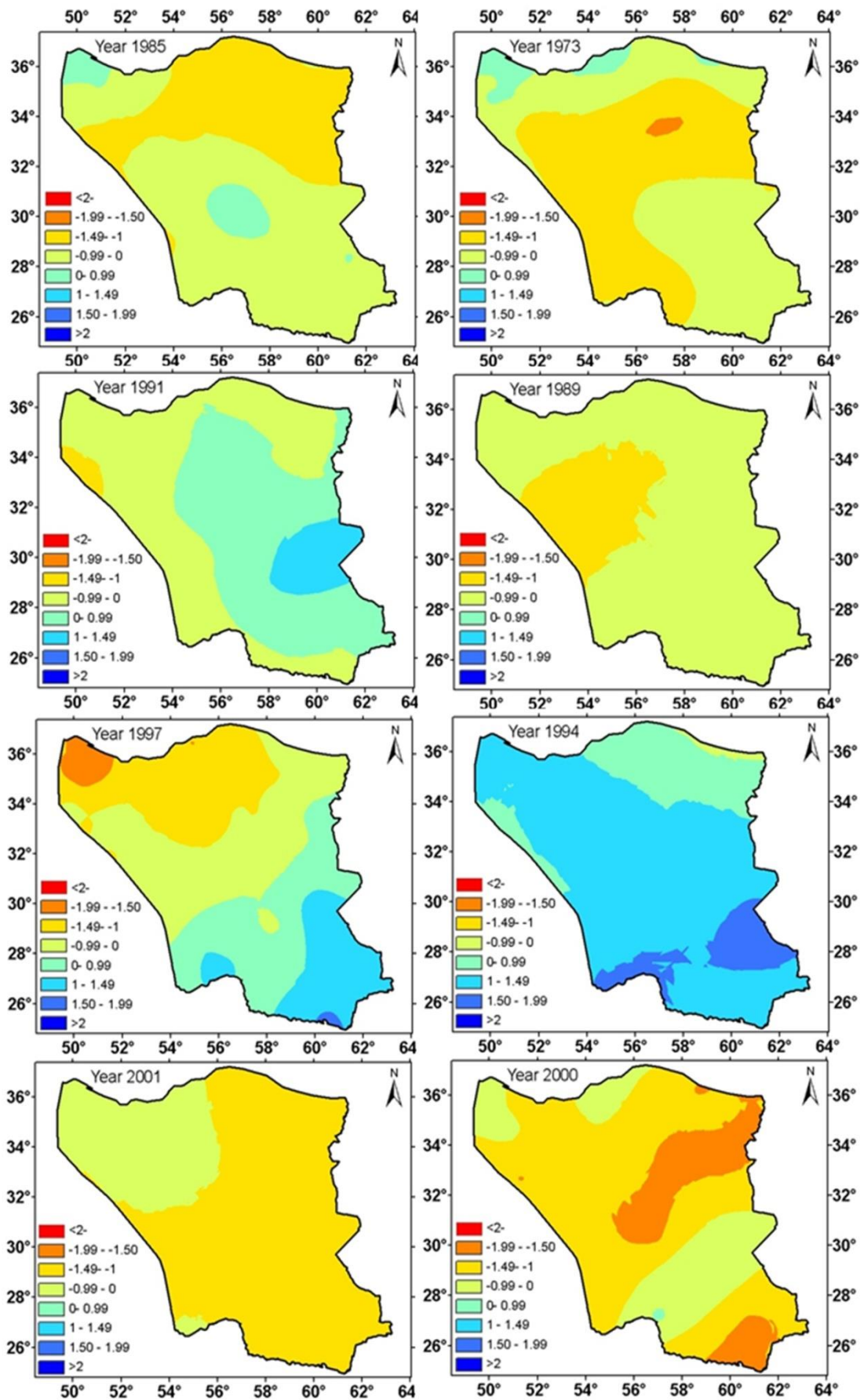
شکل ۶ درصد ایستگاه‌های درگیر با شدت‌های مختلف خشکسالی را در برخی از سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که در بیشتر این سال‌ها نسبت ایستگاه‌های متاثر از خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید کم بوده است و بیشتر ایستگاه‌ها خشکسالی‌های ملایم را تجربه کرده‌اند. در اغلب سال‌ها نیز نسبت ایستگاه‌های متاثر از خشکسالی ملایم بسیار قابل توجه می‌باشد. از این رو می‌توان گفت که هر چه بر میزان شدت خشکسالی افزوده می‌شود، از سطح مساحت درگیر با خشکسالی و یا ایستگاه‌های متاثر از خشکسالی کاسته می‌شود. در سال ۱۹۷۳ که شدت خشکسالی به حد بسیار بحرانی رسیده بوده است، نسبت ایستگاه‌های متاثر از خشکسالی متوسط تا شدید افزایش یافته است. در سال‌ها ۸۶-۱۹۸۴، ۱۹۸۹، ۱۹۹۱، ۱۹۹۴، ۱۹۹۷ و ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲ نیز نسبت ایستگاه‌های متاثر از خشکسالی با شدت‌های شدید تا بسیار شدید افزایش چشمگیری داشته است. از این میان نسبت ایستگاه‌های متاثر از خشکسالی‌های شدید تا بسیار شدید در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ بین ۲۰ تا ۴۰ درصد بوده است که در مقایسه با دیگر سال‌های خشک قابل توجه می‌باشد که نشان از شدت بسیار زیاد خشکسالی و گستره بسیار زیاد آن در این سال‌ها می‌باشد.



شکل ۶- درصد ایستگاه‌های درگیر با کلاس‌های مختلف خشکسالی در سال‌های مورد مطالعه

شدت آن در بخش مرکزی ملایم و در بخش شمالی منطقه در گروه متوسط تا شدید قرار داشته است. در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ نیز منطقه مورد مطالعه به‌طور پیوسته در تله خشکسالی بوده است. شدت خشکسالی سال ۲۰۰۰ در بخش بزرگی از منطقه در کلاس خشکسالی متوسط تا شدید قرار داشته است.

در سال ۱۹۹۱ سرتاسر منطقه متأثر از خشکسالی بوده است که شدت آن در حاشیه غربی، شمالی و جنوبی منطقه مورد مطالعه در گروه خشکسالی ملایم تا متوسط قرار داشته است و تنها در نیمه شرقی منطقه مقدار بارش در حد نرمال و یا کمی بیشتر از نرمال بوده است. در سال ۱۹۹۷ بخش بزرگی از منطقه مورد مطالعه متأثر از خشکسالی بوده است که

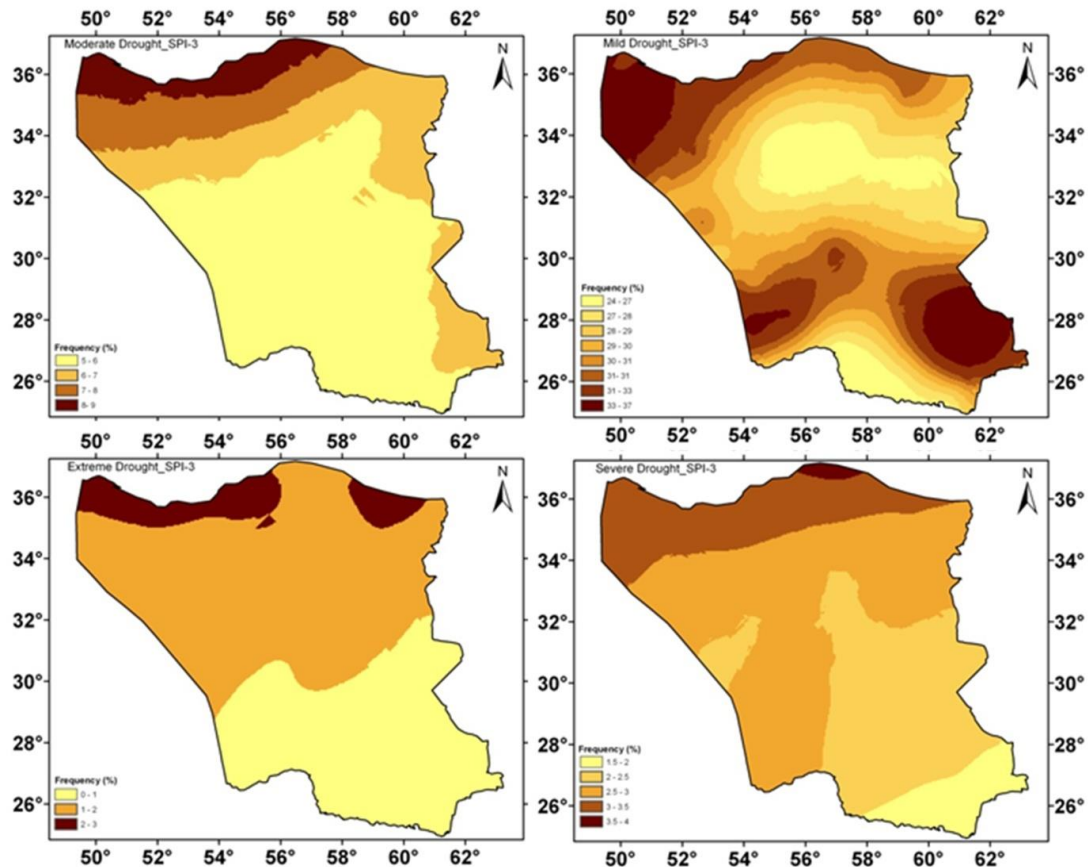


شکل ۷- نقشه ناهنجاری مجموع بارش سالانه در سال‌های متأثر از خشکسالی‌های فراگیر بر اساس SPI-12 ماه سپتامبر

وقوع خشکسالی‌های ملایم در بخش شمالی و شمال غربی منطقه و نیز جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه روی می‌دهد. بیشترین فراوانی خشکسالی‌های متوسط نیز با رقمی بین شش تا نه درصد در نیمه شمالی منطقه روی می‌دهد. نیمه شمالی منطقه همچنین، بیشترین فراوانی خشکسالی‌های شدید تا بسیار شدید را در منطقه مورد مطالعه تجربه می‌کند. به‌طور کلی می‌توان گفت که هر چند نیمه شمالی منطقه از بارش سالانه بیشتری برخوردار است، ولی فراوانی وقوع خشکسالی‌های با شدت‌های مختلف در آن بیشتر از هر جای دیگری است که نشان می‌دهد که این بخش از منطقه بیشتر در معرض وقوع خشکسالی است.

فراوانی خشکسالی: شناخت فراوانی وقوع و یا دوره بازگشت رویدادهای خشکسالی در یک منطقه می‌تواند به‌عنوان ابزاری مهم برنامه‌ریزان را در جهت برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر، یاری رساند. با دانستن احتمال وقوع رویدادهای خشکسالی با شدت و گستره معین می‌توان طوری برنامه‌ریزی نمود که با کمترین آسیب و به سلامت از دوره‌های سخت خشکسالی گذر نمود و یا به‌عبارتی دیگر با خشکسالی آگاهانه و با برنامه زندگی کرد.

فراوانی مقادیر SPI با شدت‌های مختلف برای سری‌های زمانی SPI سه و شش‌ماهه محاسبه و به‌صورت نقشه در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده است. با توجه به شکل ۸ ملاحظه می‌شود که بیشترین فراوانی



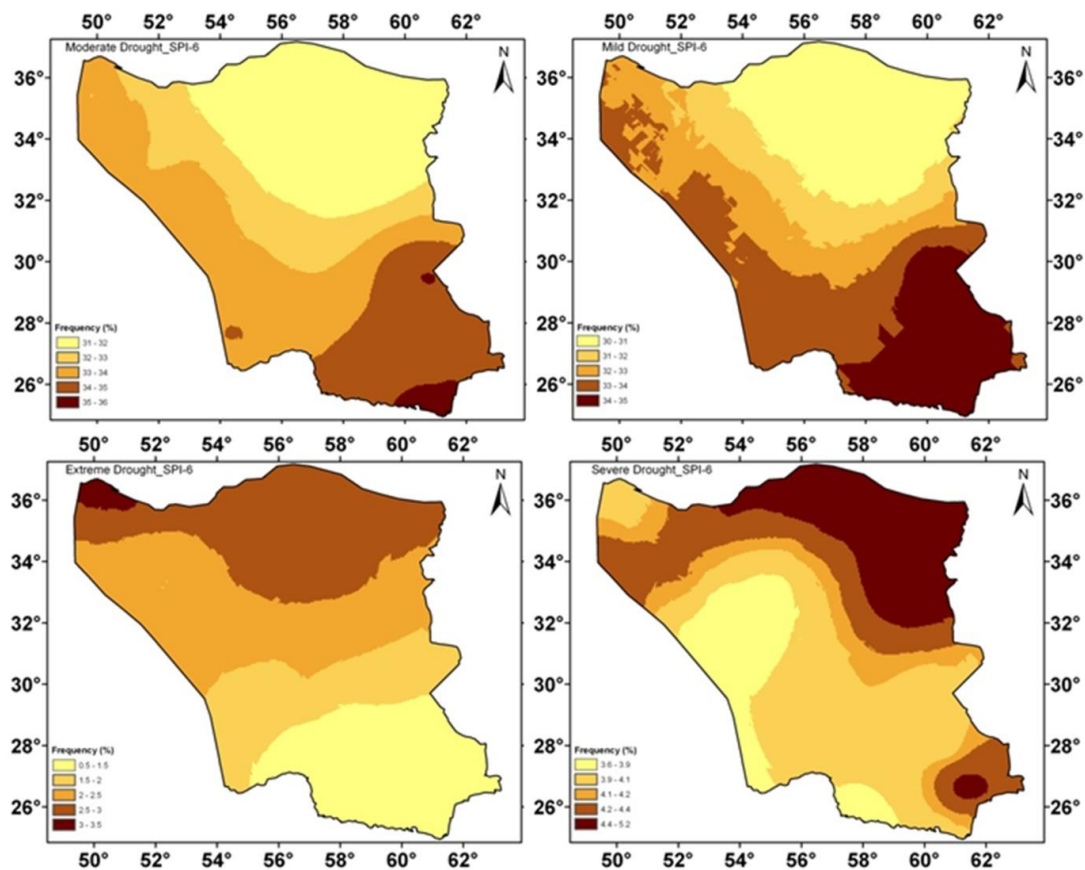
شکل ۸ - توزیع مکانی فراوانی گروه‌های مختلف خشکسالی در منطقه بر اساس سری‌های زمانی SPI سه‌ماهه

تا ۳۵ درصد در نیمه جنوبی و جنوب شرقی منطقه و بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی‌های متوسط در جنوب شرق منطقه با رقمی بین ۳۴ تا ۳۶ درصد روی می‌دهد. اما نقشه‌های گستره فراوانی وقوع

با توجه به شکل ۹ ملاحظه می‌شود که گستره فراوانی وقوع خشکسالی‌های به‌دست آمده از SPI شش‌ماهه متفاوت از نقشه‌های به‌دست آمده برای SPI سه‌ماهه می‌باشد. بیشترین فراوانی خشکسالی‌های ملایم با ۳۳

که علاوه بر نیمه شمالی و شمال شرقی منطقه، بخش جنوب شرقی کشور نیز از پتانسیل زیادی برای وقوع خشکسالی برخوردار می‌باشد.

خشکسالی‌های شدید تا بسیار شدید نشان می‌دهند که نیمه شمالی و به‌ویژه شمال شرقی منطقه مورد مطالعه کانون اصلی بیشترین فراوانی وقوع می‌باشد. از این‌رو بر اساس SPI شش‌ماهه می‌توان نتیجه گرفت

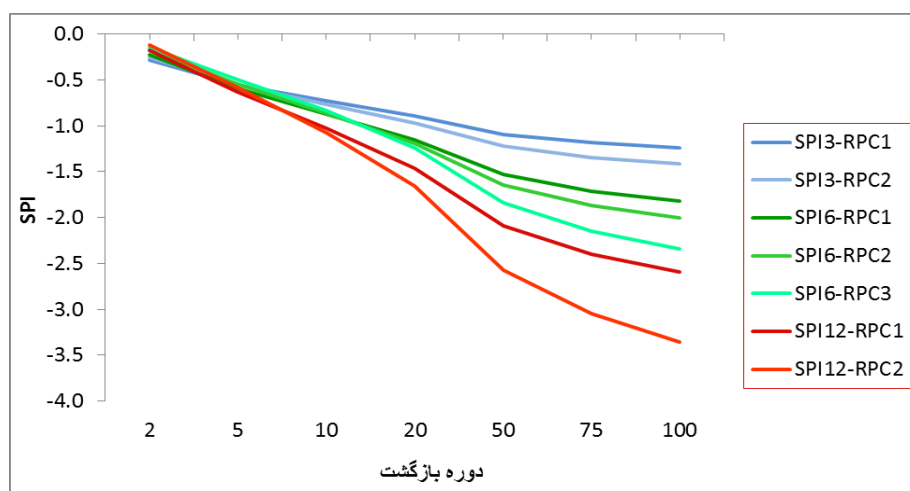


شکل ۹- توزیع مکانی فراوانی گروه‌های مختلف خشکسالی در منطقه بر اساس سری‌های زمانی SPI شش‌ماهه

جنوب-جنوب شرق) همواره بیشتر از منطقه مولفه اول (نیمه شمالی) می‌باشد که با افزایش دوره بازگشت این اختلاف بیشتر نمود پیدا می‌کند. با توجه به منحنی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که شدت خشکسالی‌های احتمالی از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه در همه مقیاس‌های زمانی مورد بررسی در این پژوهش افزایش پیدا می‌کند. این منحنی‌ها می‌توانند برآوردی از میزان احتمالی شدت خشکسالی‌ها را ارائه نمایند. از این‌رو با آگاهی از میزان شدت یک خشکسالی احتمالی با دوره بازگشت مشخص می‌توان برآوردی سرانگشتی از میزان کمبود آب در یک چنین شرایطی را ارزیابی و تدابیر لازم برای رویارویی با چنین رویدادی را از پیش اندیشید.

منحنی‌های شدت-فراوانی خشکسالی: شکل ۱۰ منحنی‌های شدت-فراوانی خشکسالی را برای منطقه‌های مشخص شده در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان می‌دهد که با استفاده از سری‌های زمانی منطقه‌ای SPI مربوطه (RPC scores) به‌دست آمده است و معرف شدت خشکسالی این مناطق در دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشند. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که با افزایش دوره بازگشت‌ها بر شدت خشکسالی‌ها افزوده می‌شود.

همچنین، شدت خشکسالی‌های به‌دست آمده از سری‌های زمانی SPI سه و شش‌ماهه کمتر از SPI ۱۲ ماهه می‌باشد. این شکل همچنین، نشان می‌دهد که شدت خشکسالی‌ها در منطقه مولفه دوم (منطقه



شکل ۱۰- منحنی‌های شدت- فراوانی خشکسالی مناطق همگن مشخص شده در شکل‌های ۲ تا ۴

نتیجه‌گیری

برای بررسی پدیده خشکسالی در بخش خشک و نیمه‌خشک مرکز و شرق کشور از داده‌های بارش ۶۹ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی منطقه استفاده به‌عمل آمد. کیفیت داده‌ها با استفاده از روش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و داده‌های گم شده در ایستگاه‌های دارای آمار ناقص نیز به کمک روش رگرسیون و بهره‌گیری از ایستگاه‌های مینا برآورد شد. برای بررسی خشکسالی در منطقه از نمایه SPI در مقیاس‌های زمانی سه، شش و ۱۲ ماهه استفاده شد و شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌ها برای هر یک از مقیاس‌های یاد شده، محاسبه و تغییرات مکانی آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتیجه این بررسی نشان داد که فراوانی خشکسالی‌های با شدت‌های مختلف در نیمه شمالی منطقه بیشتر از دیگر نقاط می‌باشد و به نظر می‌رسد که این بخش از منطقه بیشتر در تله خشکسالی با شدت‌های مختلف قرار می‌گیرد. فراوانی بسیار زیاد خشکسالی‌های شدید تا بسیار شدید در جنوب شرق منطقه نیز نشانگر پتانسیل بسیار زیاد این بخش از منطقه برای قرار گرفتن در تله خشکسالی شدید است.

استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی و چرخش به روش وریمکس نشان داد که منطقه مورد مطالعه بر اساس تغییرات زمانی SPI سه و ۱۲ ماهه به دو منطقه و بر اساس تغییرات زمانی SPI شش‌ماهه به سه منطقه کاملاً همگن تقسیم می‌شود. منطقه مرکزی و جنوب شرقی کشور از نظر تغییرپذیری دوره‌های

خشک و تر یک منطقه همگن را تشکیل می‌دهند، در حالی که حاشیه شمالی منطقه که در برگیرنده کوهپایه‌های البرز و زاگرس می‌باشد، منطقه همگن دیگر را تشکیل می‌دهد.

نتیجه این بررسی نشان داد که منطقه مورد مطالعه در ۲۳/۵ درصد از سال‌های مورد بررسی با خشکسالی فراگیر روبه‌رو بوده است که در بیشتر این سال‌ها نسبت ایستگاه‌های متأثر از خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید اندک و در مقابل بیشتر ایستگاه‌ها خشکسالی‌های ملایم تا متوسط را تجربه کرده‌اند. همچنین، مشخص شد که هر چه خشکسالی شدیدتر باشد، از سطح مساحت درگیر با خشکسالی یا ایستگاه‌های متأثر از خشکسالی کاسته می‌شود. در این مطالعه سال‌های ۱۹۷۳، ۸۶-۱۹۸۴، ۱۹۸۹، ۱۹۹۱، ۱۹۹۴، ۱۹۹۷ و ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲ به‌عنوان سال‌های با خشکسالی‌های فراگیر شناسایی شد. بررسی شدت خشکسالی‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف نیز نشان داد که شدت خشکسالی‌های احتمالی نیز از شمال به جنوب منطقه مورد مطالعه افزایش پیدا می‌کند.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از گزارش نهائی طرح تحقیقاتی ارزیابی روش‌های مختلف و تعیین روش مناسب پیش‌بینی خشکسالی در ناحیه شرقی و مرکزی کشور با استفاده از داده‌های هواشناسی است که با کد ۰۹-۰۰۰۰۳۳۵۰۰۵۰۸۱ به ثبت رسیده است.

منابع مورد استفاده

1. Agrawala, S., M. Barlow, H. Cullen and B. Lyon. 2001. The drought and humanitarian crisis in Central and Southwest Asia: a climate perspective. IRI special report N. 01-11. International Research Institute for Climate Prediction, Palisades, 24 pages.
2. Beran, M.A. and J.A. Rodier. 1985. Hydrological aspects of drought. UNBSCO-WMO, Studies and Reports in Hydrology no. 39, UNESCO, Paris, France.
3. Bonaccorso, B., I. Bordi, A. Cancelliere, G. Rossi and A. Sutera. 2003. Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily. *Journal of Water Resources Management*, 17: 273–296.
4. Bordi, I., K. Fraedrich, M. Petitta and A. Sutera. 2006. Large-scale assessment of drought variability based on NCEP/NCAR and ERA-40 re-analyses. *Water Resources Management*, 20: 899–915.
5. Bordi, I., K. Fraedrich and A. Sutera. 2009. Observed drought and wetness trends in Europe: an update. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 1519–1530.
6. Bordi, I. and A. Sutera. 2002. An analysis of drought in Italy in the last fifty years. *Nuovo Cimento C*, 25(C): 185–206.
7. Bordi, I., K. Fraedrich, J.M. Jiang and A. Sutera. 2004. Spatio-temporal variability of dry and wet periods in eastern China. *Theoretical and Applied Climatology*, 79: 81–98.
8. Ehrendorfer, M. 1987. A regionalisation of Austria's precipitation climate using principal component analysis. *Journal of Climatology*, 7: 71–89.
9. Guttman, N.B. 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of American Water Resources Association*, 34(1): 113-121.
10. Guttman, N.B. 1999. Accepting the Standardised Precipitation Index: a calculation algorithm. *Journal of American Water Resources Association*, 35: 311-322.
11. Keyantash, J. and J.A. Dracup. 2002. The Quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Buletin of American Meteorological Society*, 83: 1167-1180.
12. Lana, X., C. Serra. and A. Burgueño. 2001. Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia (NE Spain). *International Journal of Climatology*, 21: 1669–1691.
13. Lloyd-Hughes, B. and M.A. Saunders. 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22: 1571–1592.
14. Loukas, A. and L. Vasilides. 2004. Probabilistic analysis of drought spa-tiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. *Journal of Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 719–731.
15. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, 179-184.
16. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, 233-236.
17. Palmer, W.C. 1965. Meteorological Drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
18. Paulo, A.A. and L.S. Pereira. 2006. Drought concepts and characterization: comparing drought indices applied at local and regional scales. *Journal of Water International*, 31: 37–49.
19. Paulo, A.A., L.S. Pereira and P.G. Matias. 2003. Analysis of local and regional droughts in southern Portugal using the theory of runs and the standardized precipitation index. Springer Netherlands, Kluwer, 44: 55–78.
20. Raziei, T. and E. Fatahi. 2011. Evaluation of the applicability of the NCEP/NCAR precipitation dataset for drought monitoring in Iran. *Journal of Earth and Space physics*, 37(3): 225-247 (in Persian).
21. Raziei, T., P. Daneshkar Arasteh, R. Akhtari and B. Saghafian. 2007. Investigation of meteorological droughts in Sistan and Balouchestan province, Using the Standardized Precipitation Index and Markov Chain Model. *Iran-Water Resources Research*, 3(1): 25-35 (in Persian).
22. Rossi, G., M. Benedini, G. Tsakiris and S. Giakoumakis. 1992. On regional drought estimation and analysis. *Journal Water Resources Management*, 6: 249-270.
23. Santos, M.J. and R. Henriques. 1999. Analysis of European annual precipitation series. ARIDE Technical Report, No: 3 INAG, 38 Pages.
24. Tsakiris, G., D. Pangalou and H. Vangelis. 2007. Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). *Journal of Water Resources Management*, 21: 821–833.
25. Vicente-Serrano, S.M., J.C. González-Hidalgo, M. De Luis and J. Raventós. 2004. Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain). *Journal of Climate Research*, 26: 5–15.
26. Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria and J. LoPez-Moreno. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23: 1696-1718.

27. Von Storch, H. and F.W. Zwiers. 1999. Statistical analysis in climate research. Cambridge University Press, 484 pages .
28. Wilhite, D.A. 1997. Improving drought management in the West, The role of mitigation and preparedness. Report to the Western Water Policy Review Advisory Commission, U.S.A.
29. Wilhite, D.A. and M.H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International, 10: 111-120.
30. Yarnal, B. 1993. Synoptic climatology in environmental analysis: a primer. Belhaven Press, 195 pages.

Investigation of drought characteristics in arid and semi-arid regions of of Iran

Tayeb Raziei^{*1}

¹ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 25 January 2014

Accepted: 25 October 2013

Abstract

Drought characteristics were investigated in arid and semi-arid regions of eastern and central Iran using monthly precipitation records of 69 synoptic and meteorological weather stations for the period 1975-2005. After quality control of the data records, the the Standardized Precipitation Index (SPI) was computed at 3, 6 and 12 month time scales for all considered stations. The target area was regionized into a few distinctive homogenous sub-regions by applying principal component analysis and Varimax rotation to the SPI time series computed for 3, 6 and 12 months time scales, i.e., the target area is composed of two homogenous sub-regions based on SPI at 3 and 12 months time scales, while it classified into 3 sub-regions considering 6 months time scale. Drought characteristics (severity, duration and frequency) were also identified for all considered stations and time scales and their respective spatial variability were analysed. The results indicate that drought events with different types of severity are more frequent in northern part of the studied area, while south-eastern part of the region is prone to severe to extreme drought events. The results also suggest that the target area experienced wide spread droughts in 23.5% of the years analysed. In such years, the ratio of stations hit by severe to extreme droughts are lesser than the number of stations affected by mild to moderate drought events, indicating that the more severe drought the lesser areal extent.

Keywords: Principal component analysis, Rain data, Spatial variability, SPI, Varimax

* Corresponding author: tayebrazi@yahoo.com