

ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده

بارش (SPI) در استان فارس

نادر پیرمردیان^۱، سید امیر شمس‌نیا^۲، فردین بوستانی^۳ و محمدعلی شاهرخ‌نیا^۴

چکیده

خشکسالی یکی از بلاهای محیطی است که فراوانی آن به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور بسیار زیاد می‌باشد. کمبود بارش اثرات متفاوتی را بر روی آب‌های زیرزمینی، رطوبت خاک و جریان رودخانه‌ها به جای می‌گذارد. استخراج و تحلیل منحنی‌های شدت-تداوم و پایش خشکسالی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی‌های مدیریتی کشاورزی و منابع آبی محسوب می‌شود. بدین منظور بایستی از شاخص‌های خشکسالی استفاده شود. شاخص استاندارد شده بارش (SPI) یکی از مهمترین شاخص‌ها می‌باشد که هدف آن اختصاص ارزش عددی به مهم‌ترین فاکتور اقلیمی (بارندگی) می‌باشد. این شاخص جهت تعیین کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف به کار می‌رود. مقیاس‌های زمانی، اثرات خشکسالی را در توانایی منابع آب نشان می‌دهند. در راستای پژوهش انجام گرفته، شدت‌های خشکسالی در یک دوره آماری ۳۰ ساله برای ۲۰ ایستگاه استان فارس، در سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه تعیین گردید. سپس براساس شدت‌های خشکسالی به دست آمده در ماه‌های مختلف، نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف تهیه گردید. با در نظر گرفتن مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت، خشکسالی از دیدگاه‌های مختلف بررسی و رخداد شدیدترین خشکسالی‌ها و دوره تناوب آن‌ها مقایسه و تحلیل گردید. نتایج نشان داد که استان فارس در بیشتر سال‌ها دچار خشکسالی بوده و شدت آن در سال‌های اخیر به مراتب بیشتر از سال‌های قبل می‌باشد. دیگر نتایج نشان داد که خشکسالی‌های کوتاه مدت دارای نوسانات و تغییرات زیادی می‌باشد و حساسیت بیشتری به تغییرات شرایط رطوبت دارد. اما در مقیاس‌های زمانی بلند مدت، خشکسالی‌های شدید دارای دوره‌های تداوم طولانی می‌باشند و خشکسالی را بهتر منعکس می‌نمایند. لذا با توجه به این که شدت خشکسالی و تکرار آن همگی توابعی هستند که به طور مستقیم و غیر مستقیم به مقیاس زمانی وابسته‌اند، لذا می‌توانند هشدار اولیه ای جهت خشکسالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشند. از دیگر نتایج این پژوهش، مشخص شدن روند تغییرات از شدت‌های کم به زیاد از سمت شمال غربی استان به سمت جنوب شرقی آن می‌باشد. دوره تناوب وقوع خشکسالی با شدت ملایم در ایستگاه‌های مورد مطالعه به طور متوسط بین ۳ تا ۱۰ سال متغیر بود. این مقادیر برای خشکسالی‌های متوسط و شدید نیز به طور متوسط به ترتیب ۵ تا ۱۵ و ۱۰ تا ۱۵ سال به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص استاندارد شده بارش، استان فارس.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۱۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۸۷/۶/۳۰

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و عضو باشگاه پژوهشگران

جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

۴- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس

مقدمه و بررسی منابع

خشکسالی به عنوان یکی از موضوعات مهم در مطالعه بلایای طبیعی و تأثیرگذار در کشاورزی، مطرح می‌باشد که در چند دهه اخیر از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. خشکسالی نیز مانند سیل، قحطی، امراض و آفات، توسعه اقتصادی جوامع را در کلیه سطوح به مخاطره می‌اندازد و به طور مستقیم جامعه را از طریق تغییرات در فراوانی یا قابلیت دسترسی به مواد غذایی، پوشاک، منابع آب و ذخایر انرژی تحت تأثیر قرار می‌دهد و بر کلیه جنبه‌های زندگی و بخش‌های مختلف جامعه به ویژه تغییر محیط طبیعی تأثیر مستقیم و غیر مستقیم دارد. کمی بارش و نوسانات شدید آن سبب عدم اطمینان جهت دریافت حداقل بارش مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی، تأمین جریان‌های سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی و مصارف انسانی می‌شود. براین اساس ویلهایت و گلانتز^۱ (۱۹۸۵)، خشکسالی را به چهار دسته خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی و اقتصادی-اجتماعی طبقه‌بندی نمودند (۱۹). خشکسالی هواشناسی زمانی روی می‌دهد که بارندگی سالانه یا هر بازه زمانی معین (مثلاً ماهانه یا فصلی) کمتر از میانگین دراز مدت آن باشد. ادامه خشکسالی هواشناسی به مدت طولانی سبب بروز خشکسالی هیدرولوژی می‌شود که در این نوع خشکسالی سطح آب رودخانه‌ها، مخازن آب، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی به پایین‌تر از میانگین درازمدت افت می‌کند. خشکسالی کشاورزی نیز زمانی آغاز می‌شود که مقدار رطوبت موجود در محیط ریشه گیاه به حدی کاهش یابد که موجب پژمردگی و در نهایت کاهش محصولات کشاورزی

گردد. هرگاه میزان تقاضای آب برای تولید برخی کالاهای اقتصادی بیشتر از عرضه آن شود، خشکسالی اقتصادی-اجتماعی روی می‌دهد.

در میان ویژگی‌های خشکسالی، سه ویژگی شدت، مدت و فراوانی آن در یک منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. میزان استمرار خشکسالی در یک منطقه گویای شدت خشکسالی در آن منطقه است. زمان بر شدت خشکسالی تأثیر زیادی دارد. به طوری که طولانی شدن خشکسالی، میزان آن را شدیدتر می‌سازد و به مراتب در شدت بخشیدن به خشکسالی مؤثر خواهد بود. خشکسالی می‌تواند در منطقه‌ای با وسعت چند هزار کیلومتر مربع رخ دهد، ولی ممکن است شدت و مدت آن در سرتاسر منطقه یکسان نباشد. در این میان استان فارس به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک کشور و به دلیل وجود انواع خشکسالی‌ها به ویژه در سال‌های اخیر لزوم بررسی و تحلیل ویژگی‌های خشکسالی را ضروری می‌نماید. طبق گزارشات فائو، بدترین خشکسالی در ۴۰ سال گذشته مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ الی ۲۰۰۱ می‌باشد. به طوری که در استان فارس ۳۷ درصد از جنگل‌ها و مراتع به میزان ۷۰ تا ۱۰۰ درصد آسیب دیده و تولید علوفه به میزان ۵۲ درصد کاهش یافته است (۲). گزارش برآورد خسارات ناشی از خشکسالی استان فارس در بررسی شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ نشان می‌دهد که تا پایان شهریور ۱۳۸۰ شهرستان شیراز بیشترین خسارت را داشته و تا پایان شهریور ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ بیشترین خسارت ریالی متوجه شهرستان قیرو کارزین بوده است (۳).

در پایش و تحلیل ویژگی‌های خشکسالی این مساله مطرح می‌شود که چگونه می‌توان به ارزیابی

شاخص شدت خشکسالی پالم، بسط و توسعه یافت. شاخص پالم برای کنترل و نظارت بر دوره‌های طولانی مدت خشک و مرطوب هواشناسی به کار می‌رود، درحالی‌که شاخص رطوبت محصول، برای ارزیابی شرایط کوتاه مدت رطوبت در بین مناطق عمده زراعی طراحی شده است (۱۴). شاخص تأمین آب سطحی نیز یکی دیگر از شاخص‌های خشکسالی است. این شاخص برای شرایط رطوبتی اراضی ایالت کلرادو ارائه شد. استفاده از شاخص تأمین آب سطحی، برای کاربرد در مناطق کوهستانی و با در نظر گرفتن ذخیره برف، توصیه شده است (۱۶). به طور کلی هیچ شاخصی از نظر کم و کیف بالاتر از بقیه شاخص‌ها نیست، اما بعضی از شاخص‌ها ممکن است برای بعضی از کاربران و برای برخی مناطق مفیدتر و مناسب‌تر باشند. لذا با توجه به نقش شاخص‌های خشکسالی در تعیین شدت خشکسالی و نهایتاً بررسی توام شدت، مدت و فراوانی این بلای طبیعی، بایستی از شاخصی جهت تعیین شدت‌های خشکسالی و کمیت بخشیدن به آن‌ها استفاده گردد. شاخص استاندارد شده بارش (SPI)، شاخص دیگری است که اولین بار در ایالت کلرادو مورد استفاده قرار گرفت و به کمک آن خصوصیات مختلف خشکسالی‌ها در مقیاس‌های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه بررسی و از نتایج حاصله یک سیستم طبقه‌بندی برای تعریف شدت‌های خشکسالی ارائه گردید. مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت این شاخص جهت بررسی شرایط رطوبت خاک و خشکسالی‌های کشاورزی و مقیاس‌های زمانی بلند مدت جهت بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارد. محاسبه این شاخص در هر یک از مقیاس‌های زمانی بدین صورت می‌باشد که در هر

دقیق مساله خشکسالی پرداخت. در این راستا به منظور تعیین شدت خشکسالی بایستی این پدیده از حالت کیفی و توصیفی به صورت کمی و عددی در آید و برای آن شاخص‌هایی تعریف و ارائه گردد. با تعریف شاخص خشکسالی که در اصل تابعی است از عوامل مختلف محیطی متأثر از خشکسالی که نهایتاً به صورت یک عدد نمایش داده می‌شود، می‌توان تصویر جامعی از همه این عوامل را فراهم نموده و از آن برای ارزیابی خشکسالی و تصمیم‌گیری درباره آن‌ها استفاده نمود که به مراتب مفیدتر و ساده‌تر از ردیف‌های متعددی از داده‌های متنوع مرتبط با خشکسالی می‌باشد. در این راستا از شاخص‌های مختلفی جهت کمیت بخشیدن به شدت‌های خشکسالی استفاده می‌شود. شاخص پالم^۱ یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها می‌باشد که برای ارزیابی در مناطقی که از توپوگرافی و کاربری اراضی همگن برخوردار می‌باشند، توصیه شده است. این پارامتر یک شاخص هواشناسی است و به شرایط آب و هوایی که به طور غیر عادی خشک‌تر یا مرطوب‌تر از شرایط نرمال هستند واکنش نشان می‌دهد. شاخص پالم براساس داده‌های مربوط به دمای هوا و میزان تغییرات رطوبت (تبخیر، آب ورودی به خاک، رواناب و...) می‌باشد. این شاخص برای برآورد آغاز دوره‌های خشک و تر توسعه داده شد و پالم (۱۹۶۵) شرایط آن را بازگو نمود (۱۳). شاخص رطوبت محصول یکی دیگر از شاخص‌های مهم در زمینه ارزیابی خشکسالی می‌باشد که برای کنترل شرایط هفته به هفته گیاه با کمک شیوه‌های هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص توسط پالم (۱۹۶۸) و براساس فرآیند محاسبات

بارش قابل اعتماد، بارش استاندارد شده و روش نیچه، که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مدل بارش استاندارد شده به علت داشتن قابلیت‌های بیشتر و محدودیت‌های کمتر بهتر از دیگر مدل‌ها تشخیص داده شده است (۵). در تحقیقی دیگر در شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب کشور، جهت تحلیل خشکسالی شاخص استاندارد شده بارش انتخاب شد و با استفاده از سری‌های زمانی شاخص SPI برای تمامی ایستگاه‌ها و سری‌های زمانی متوسط شدت خشکسالی در هر حوضه، خشکسالی‌هایی با تداوم یک ماه به بالا از طریق تئوری RUN استخراج و اقدام به ترسیم منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی گردید. نتایج نشان می‌دهد که شاخص SPI در تحلیل منطقه‌ای خشکسالی و مطالعات تطبیقی و مقایسه‌ای میان مناطق مختلف متداول‌تر است و با استفاده از آن می‌توان وقایع خشکسالی شدید و حادی را برای هر محل و هر مقیاس زمانی طبقه‌بندی نمود (۷). در محاسبه شاخص استاندارد شده بارش، مقیاس‌های زمانی متفاوتی مد نظر است که از میان آن‌ها به مقیاس‌های ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه توجه ویژه‌ای شده است (۸). به دلیل آن‌که داده‌ها از نظر زمانی دارای محدودیت هستند، شاخص استاندارد شده بارش در مقیاس‌های بزرگ‌تر از ۲۴ ماه قابل اعتماد نمی‌باشد (۱۰). با توجه به نتایج مطالعات انجام گرفته در ایستگاه شیراز، توصیه می‌شود که متخصصین کشاورزی از شاخص استاندارد شده بارش با مقیاس زمانی ۱۲ ماهه یا کمتر استفاده نمایند (۱۷).

لذا هدف از پژوهش حاضر ارزیابی و تعیین شدت‌های خشکسالی در یک دوره آماری ۳۰ ساله با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش برای ۲۰

ماه، یک مقدار جدید از ماه‌های قبلی (i) به صورت مشخص و تعیین شده به آن اضافه می‌شود و با تفاضل‌گیری از میانگین برای یک دوره از ماه‌های مشخص و تقسیم بر انحراف معیار همان دوره، شاخص استاندارد شده بارش برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه می‌گردد (۱۲). مزیت عمده SPI در مقایسه با شاخص‌های دیگر این است که این شاخص هم شرایط خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی و هم انواع مختلفی از خشکسالی را بررسی می‌نماید. همچنین این شاخص عکس‌العمل منابع مختلف استفاده‌کننده از آب را نسبت به کاهش بارندگی مشخص می‌نماید (۱۵). در بررسی خشکسالی سال ۱۹۹۶ آمریکا به کمک شاخص استاندارد شده بارش، نتایج حاکی از آن است که این شاخص، زمان آغاز خشکسالی را یک ماه زودتر از شاخص پالمر نشان می‌دهد (۱۱). شدت و مدت خشکسالی به‌عنوان دو مؤلفه اصلی معرفی شده‌اند که اهمیت بسیار زیادی در تصمیم‌گیری‌ها دارند و در بین شاخص‌های ارزیابی این دو مؤلفه، شاخص استاندارد شده بارش، عمومیت بیشتری دارد. در این راستا SPI می‌تواند به‌عنوان یک سیستم مراقبتی خشکسالی^۱، مورد استفاده قرار گیرد (۱۸) در مطالعه موردی در ایستگاه باجگاه و همچنین در پیش خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی در ایستگاه شیراز، از شاخص استاندارد شده بارش استفاده گردید (۲ و ۱۷). در پژوهشی داده‌های مربوط به بارش سالانه در یک دوره آماری ۴۳ ساله، برای ایستگاه‌هایی از آذربایجان شرقی جهت تحلیل و مدل‌سازی بارش و محاسبه سال‌های مرطوب و خشک مورد استفاده قرار گرفت. در بین مدل‌های

۱۲ و ۲۴ ماهه جهت تعیین شدت خشکسالی ماهانه تمامی ایستگاه‌ها در طول دوره آماری مورد نظر محاسبه گردید. با استفاده از جدول طبقه‌بندی شاخص استاندارد شده بارش، مقادیر کمی این شاخص به مقادیر کیفی شدت خشکسالی تبدیل گردید. در راستای استفاده از طبقه‌بندی شدت‌های خشکسالی به دلیل آن‌که طبقه‌بندی ارائه شده توسط مک کی و همکاران (جدول ۱)، مرز بین خشکسالی و ترسالی (وضعیت نرمال) را لحاظ نمی‌نماید و تغییر آستانه از خشکسالی به ترسالی و بالعکس بسیار سریع صورت می‌گیرد، لذا به منظور پایش و ارزیابی دقیق شدت‌های خشکسالی، با اعمال اصلاحاتی در آن از طبقه‌بندی دیگری در منطقه مورد مطالعه استفاده گردیده است (جدول ۲) (۴). سپس با استفاده از مقادیر کمی شدت‌های خشکسالی و زمان‌های وقوع آن، نمودارهای شدت، مدت و فراوانی خشکسالی در قالب نمودارهای روند تغییرات شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در هر یک از ایستگاه‌ها تهیه گردید. با استفاده از نتایج حاصل از ارزیابی خشکسالی و نمودارهای حاصله، وقوع انواع خشکسالی‌ها در برخی از ایستگاه‌ها، شدت و فراوانی خشکسالی‌های طولانی مدت در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، ارزیابی و تحلیل گردید.

نتایج

همان‌گونه که ذکر گردید، مقیاس‌های مختلف زمانی با در نظر گرفتن وضعیت بارش ماه‌های قبل از هر ماه و تأثیرگذاری بر ماه مورد نظر، شدت و تداوم انواع خشکسالی‌ها را از دیدگاه‌های مختلف نشان می‌دهند. لذا اعمال مقیاس‌های زمانی مختلف روی هر ماه، اثرات ماه‌های قبل از آن ماه را نیز نشان

ایستگاه استان فارس و تهیه نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI، در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه می‌باشد. سپس با در نظر گرفتن مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت، خشکسالی از دیدگاه‌های مختلف تحلیل و رخداد شدیدترین خشکسالی‌ها، فراوانی و دوره تناوب آن‌ها مقایسه و تحلیل می‌گردد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از اطلاعات مربوط به ۲۰ ایستگاه باران‌سنجی واقع در شهرستان‌های مختلف استان فارس استفاده گردید. این تعداد ایستگاه با در نظر گرفتن موارد مختلفی از جمله: داشتن آمار طولانی مدت، نواقص آماری کم و پراکنش مناسب در کل استان، از بین تعداد ۹۰ ایستگاه بررسی شده انتخاب گردید. سپس از یک دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۵۲-۱۳۵۱ تا ۸۱-۱۳۸۰)، جهت تجزیه و تحلیل آماری استفاده گردید. به منظور بهره‌گیری از آمارهای اشاره شده، ابتدا داده‌های بارش ماهانه کلیه ایستگاه‌ها به لحاظ صحت و همگنی از طریق روش آماری ران تست^۱، مورد بررسی قرار گرفت. با اطمینان از همگنی داده‌ها، داده‌های مفقود شده هر ایستگاه با استفاده از داده‌های نزدیکترین ایستگاه مینا و به‌کارگیری روش EM الگوریتم^۲ توسط نرم‌افزار SPSS برآورد گردید. این روش در تخمین داده‌های مفقود شده از دقت بالاتری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار است و می‌تواند بر اساس حداکثر برآورد مورد انتظار عمل نماید و با پردازش به صورت تکرارهای متوالی، بهترین تخمین را اعمال نماید (۹). در این پژوهش، مقادیر SPI با مقیاس‌های زمانی ۶،

1. Run test
2. Expectation maximization algorithm

جدول ۱- مقیاس طبقه‌بندی مقادیر SPI [۱۲]

طبقه	مقادیر SPI
>۲	شدیدا مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	مرطوب متوسط
۰ تا ۰/۹۹	مرطوب ملایم
۰ تا ۰/۹۹	خشکسالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
<-۲	خشکسالی خیلی شدید

جدول ۲- مقیاس طبقه‌بندی مقادیر SPI در منطقه مورد مطالعه [۴]

طبقه	مقادیر SPI
>۲	شدیدا مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
۰/۵ تا ۰/۹۹	مرطوب ملایم
۰/۴۹ تا -۰/۴۹	تقریبا نرمال
-۰/۹۹ تا -۰/۵	خشکسالی ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
<-۲	خشکسالی خیلی شدید

می‌دهد. به طوری که مقیاس زمانی ۶ ماهه، اثرات پنج ماه قبل از هر ماه، مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، اثرات ۱۱ ماه قبل از هر ماه و مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، اثرات ۲۳ ماه قبل از هر ماه را لحاظ می‌نماید. به همین علت مقیاس‌های زمانی مختلف می‌توانند روند خشکسالی، ترسالی، سال‌های نرمال، شدت‌های وقوع و تأثیرات حاصله بر روی انواع منابع آب را نشان دهند. از میان ۲۰ ایستگاه مورد مطالعه و وضعیت جغرافیایی مناطق مختلف، تعداد ۶ ایستگاه در مناطق مختلف استان (شمال، مرکز، شرق، جنوب شرقی، جنوب غربی و جنوب) انتخاب گردید که هریک از ایستگاه‌های مذکور می‌تواند نمایانگر وضعیت خشکسالی در محدوده جغرافیایی مورد مطالعه باشد. رابطه شدت و مدت زمان تداوم خشکسالی، در قالب نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی، در ایستگاه‌های منتخب استان فارس که در شکل‌های (۱) تا (۶) نشان داده شده است.

بررسی نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در ایستگاه دهکده سفید اقلید (شکل ۱) نشان می‌دهد که در مقیاس زمانی ۶ ماهه، خشکسالی‌های متوسط تا

شدیدی در سال‌های ۱۳۵۱، ۱۳۵۵ تا ۱۳۵۶، ۱۳۵۷، ۱۳۵۸، ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۳، ۱۳۶۴، ۱۳۶۹، ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۳، ۱۳۷۳، ۱۳۷۵ تا ۱۳۷۶، ۱۳۷۷، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ رخ داده است. با افزایش مقیاس زمانی و طولانی شدن دوره خشکسالی، شدت و مدت نیز افزایش یافته است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، این وضعیت در سال‌های ۱۳۵۲، ۱۳۶۲ تا اوایل سال ۱۳۶۶، ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۰، ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۳، ۱۳۷۵ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ دیده می‌شود. در مقیاس زمانی ۶ ماهه خشکسالی با شدت متوسط از سال ۱۳۵۱ آغاز گردیده است، اما در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه خشکسالی در سال ۱۳۵۱ دیده نمی‌شود و شروع خشکسالی از سال ۱۳۵۲ به صورت شدید می‌باشد. دلیل این امر تأثیرگذاری ماه‌های قبل می‌باشد به طوری که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در سال ۱۳۵۲ علاوه بر وضعیت خشکسالی ماه‌های سال ۱۳۵۲، خشکسالی سال ۱۳۵۱ نیز تأثیرگذار بوده و باعث شدید شدن خشکسالی در این سال گردیده است. در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه نیز خشکسالی‌های متوسط تا خیلی شدیدی با دوره تداوم ۳ سال در سال‌های

۱۳۶۱ تا ۱۳۶۴ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ دیده می‌شود. مساله قابل اهمیت در بررسی این ایستگاه آن است که با وجود آن‌که ایستگاه مذکور از نظر اقلیمی در منطقه سردسیر و پرباران استان قرار دارد، اما در سال‌ها و دوره‌هایی که خشکسالی وجود داشته است، کلاس‌بندی شدت‌ها با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش، خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید را نشان می‌دهد.

نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی در ایستگاه شیراز (شکل ۲)، تعداد دوره‌های خشک و تر را در طول دوره آماری مورد نظر تقریباً برابر نشان می‌دهد. در سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۳، ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۳، اواسط سال ۱۳۷۵، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ خشکسالی‌هایی با درجه شدید تا خیلی شدید رخ داده است. این موضوع در مقیاس زمانی ۶ ماهه کاملاً مشهود می‌باشد. از نظر دوره ترسالی نیز، بین سال‌های ۱۳۷۳ تا اوایل سال ۱۳۷۵ بالاترین شدت مشاهده می‌شود. دوره ترسالی مذکور در مقیاس زمانی ۶ ماهه دارای دوره تداوم دو تا سه سال بوده است. روند وقوع خشکسالی‌های شدید تا خیلی شدید مقیاس زمانی ۶ ماهه، در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه بهتر دیده می‌شوند. به طوری‌که در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، خشکسالی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۵ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ با تداوم طولانی مدت و افزایش شدت، کاملاً مشهود می‌باشند.

۱۳۷۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ را همراه با خشکسالی‌های متوسط تا شدید نشان می‌دهد. در این مقیاس زمانی، شدیدترین خشکسالی مربوط به سال‌های ۱۳۵۲، ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۳، ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۳ و ۱۳۷۹ بوده است. هم‌چنین در برخی از سال‌ها خشکسالی‌های کوتاه مدتی با شدت ملایم نیز وجود داشته است. در این میان خشکسالی‌های ملایم سال‌های ۱۳۵۷، ۱۳۵۸، ۱۳۵۹، ۱۳۷۵ و ۱۳۷۷ قابل ذکر است که به دلیل آن‌که مدت آن یک یا چند ماه بیشتر نبوده است، با طولانی شدن مقیاس زمانی و وجود بارندگی در ماه‌های تأثیرگذار خشکسالی‌ها از بین رفته است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نیز، روند وقوع خشکسالی مانند مقیاس ۶ ماهه می‌باشد. از نظر خشکسالی‌های شدید طولانی مدت، سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۴ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۰ قابل اهمیت می‌باشند. در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، به دلیل طولانی شدن دوره‌های خشک و تشدید اثرات مخرب این واقعه، سال‌های ۱۳۵۳، ۱۳۵۸، اواخر سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۵، ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۰ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۰ بیشترین شدت‌های خشکسالی را تجربه نموده‌اند.

نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در بررسی خشکسالی در ایستگاه رستاق داراب (شکل ۴) نشان می‌دهد که در هر سه مقیاس زمانی، بیشتر سال‌ها با خشکسالی مواجه بوده‌اند. با افزایش مقیاس زمانی، دوره تداوم نیز افزایش یافته است. به طوری‌که در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه، دوره تداوم به ۵ تا ۷ سال رسیده است. خشکسالی‌های ملایم تا شدیدی در سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۹، ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ وجود داشته است. در این میان شدیدترین خشکسالی در سال‌های ۱۳۷۹ تا بعد از سال ۱۳۸۱ رخ داده است.

نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی در ایستگاه شیراز (شکل ۲)، تعداد دوره‌های خشک و تر را در طول دوره آماری مورد نظر تقریباً برابر نشان می‌دهد. در سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۳، ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۳، اواسط سال ۱۳۷۵، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ خشکسالی‌هایی با درجه شدید تا خیلی شدید رخ داده است. این موضوع در مقیاس زمانی ۶ ماهه کاملاً مشهود می‌باشد. از نظر دوره ترسالی نیز، بین سال‌های ۱۳۷۳ تا اوایل سال ۱۳۷۵ بالاترین شدت مشاهده می‌شود. دوره ترسالی مذکور در مقیاس زمانی ۶ ماهه دارای دوره تداوم دو تا سه سال بوده است. روند وقوع خشکسالی‌های شدید تا خیلی شدید مقیاس زمانی ۶ ماهه، در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه بهتر دیده می‌شوند. به طوری‌که در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، خشکسالی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۵ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ با تداوم طولانی مدت و افزایش شدت، کاملاً مشهود می‌باشند.

نتایج حاصل از نمودار روند تغییرات شاخص SPI در ایستگاه استهبان (شکل ۳) حاکی از آن است که در مقیاس زمانی ۶ ماهه، نوسانات دوره‌های خشک و تر وجود دارد. اما با این وجود، نمودارهای روند تغییرات، سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۵۲، ۱۳۵۶، ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۳، ۱۳۶۴، ۱۳۶۶، ۱۳۶۹، ۱۳۷۲ تا اوایل سال

خشکسالی مواجهه بوده است. این مساله آسیب‌پذیری و بحرانی بودن منطقه مذکور را نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه خشکسالی‌ها تداوم بیشتری داشته‌اند، به طوری که وضعیت ترسالی فقط در سال‌های ۱۳۵۴، ۱۳۵۵ تا ۱۳۵۶، ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۲، ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۵ و ۱۳۷۶ تا ۱۳۷۷ وجود داشته است و بقیه سال‌ها با خشکسالی‌های متعددی مواجه بوده‌اند. مقیاس زمانی ۲۴ ماهه تداوم طولانی مدت خشکسالی را بهتر نشان می‌دهد. این مقیاس زمانی به وضوح پیامدهای فراوانی و تداوم خشکسالی را نشان می‌دهد، به طوری که از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۷۰، خشکسالی با درجات مختلفی در این منطقه حاکم بوده است. بعد از خشکسالی سال‌های مذکور در سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۳ و ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۷ ترسالی با شدت‌های ملایم تا خیلی شدیدی وجود داشته است. اما بعد از آن خشکسالی شدیدی حادث گردیده است. خشکسالی در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ نیز با تداوم طولانی مدت همراه بوده است، به طوری که اثرات آن تا سال‌های بعد از ۱۳۸۱ نیز وجود داشته است. لذا منطقه مذکور جزء مناطق بحرانی محسوب می‌شود.

به طور کلی نتایج حاصل از بررسی نمودارهای روند تغییرات شاخص استاندارد شده بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی نشان می‌دهد که با افزایش مقیاس زمانی و طولانی شدن دوره خشکسالی، شدت و تداوم آن نیز افزایش می‌یابد و خطرات بیشتری متوجه منابع تأمین‌کننده و مصرف‌کننده آب می‌گردد. خشکسالی‌های کوتاه مدت دارای نوسانات و تغییرات زیادی می‌باشد و حساسیت بیشتری به تغییرات شرایط رطوبت دارد. اما در مقیاس‌های زمانی بلند مدت خشکسالی‌های شدید، دارای دوره‌های تداوم

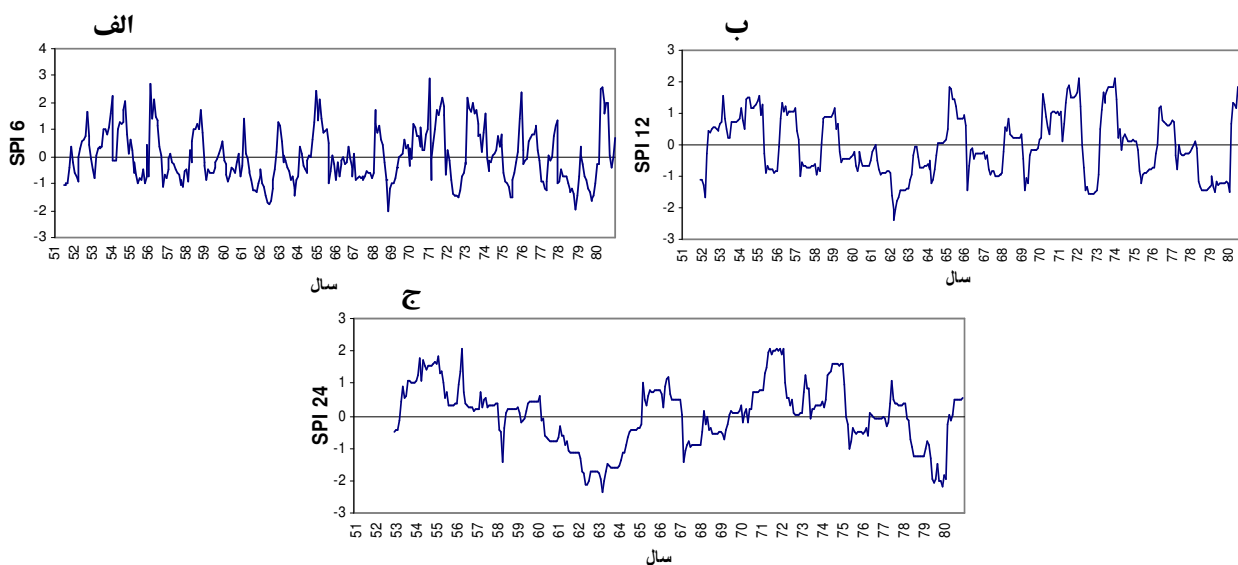
در بررسی نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در ایستگاه تنگ کارزین قیروکارزین (شکل ۵)، نتایج نشان می‌دهد که دوره‌های خشکسالی در این ایستگاه، وضعیتی مشابه ایستگاه شهرستان داراب را دارد. در بیشتر سال‌های مورد مطالعه خشکسالی وجود داشته است. در بین سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۰ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۱ فراوانی خشکسالی در ماه‌ها و سال‌های مختلف به وفور دیده می‌شود. فراوانی و شدید بودن خشکسالی‌ها در سال‌های مذکور، تداوم و تأثیرات مخرب را در سال‌های بعد به دنبال داشته است. گزارش اداره کل امور عشایر فارس (۱۳۸۳)، نیز نشان‌دهنده وجود خشکسالی‌های شدید در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ و تداوم و خسارات آن تا شهریور ۱۳۸۲ می‌باشد (۱). در مقیاس‌های زمانی ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه خشکسالی‌های طولانی مدتی دیده می‌شود، که دوره تداوم آن‌ها به ۳ تا ۸ سال نیز می‌رسد. بنابراین منطقه مذکور نیز از نظر رخداد انواع خشکسالی‌ها آسیب‌پذیر بوده و خشکسالی به‌عنوان امری عادی محسوب می‌شود. لذا این منطقه از نظر تأثیرات و پیامدهای خشکسالی بر روی منابع آب و سفره‌های آب زیرزمینی در معرض خطر جدی قرار دارد.

نتایج حاصل از تحلیل نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در ایستگاه لارستان (شکل ۶)، حاکی از آن است که ایستگاه مذکور با خشکسالی‌های متعددی روبرو بوده است. نتایج حاصل در مقیاس زمانی ۶ ماهه، نشان می‌دهد که در طول دوره آماری مورد نظر، فقط سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۵۵، ۱۳۶۱، ۱۳۶۵، ۱۳۶۶، ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۲، ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۵ و ۱۳۷۶ به عنوان سال‌های تر محسوب می‌شوند. لذا نزدیک به ۷۰٪ ماه‌ها و سال‌های در نظر گرفته شده با

ملايم تا شديد بوده است كه در مواقعی به وضعیت خیلی شديد نیز رسیده است. مناطقی از جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق استان در بیشتر سالها با خشكسالی مواجه بوده است كه از نظر تأثیرات و پیامدهای خشكسالی، منابع آب و سفره‌های آب زیرزمینی در معرض خطر جدی قرار دارند.

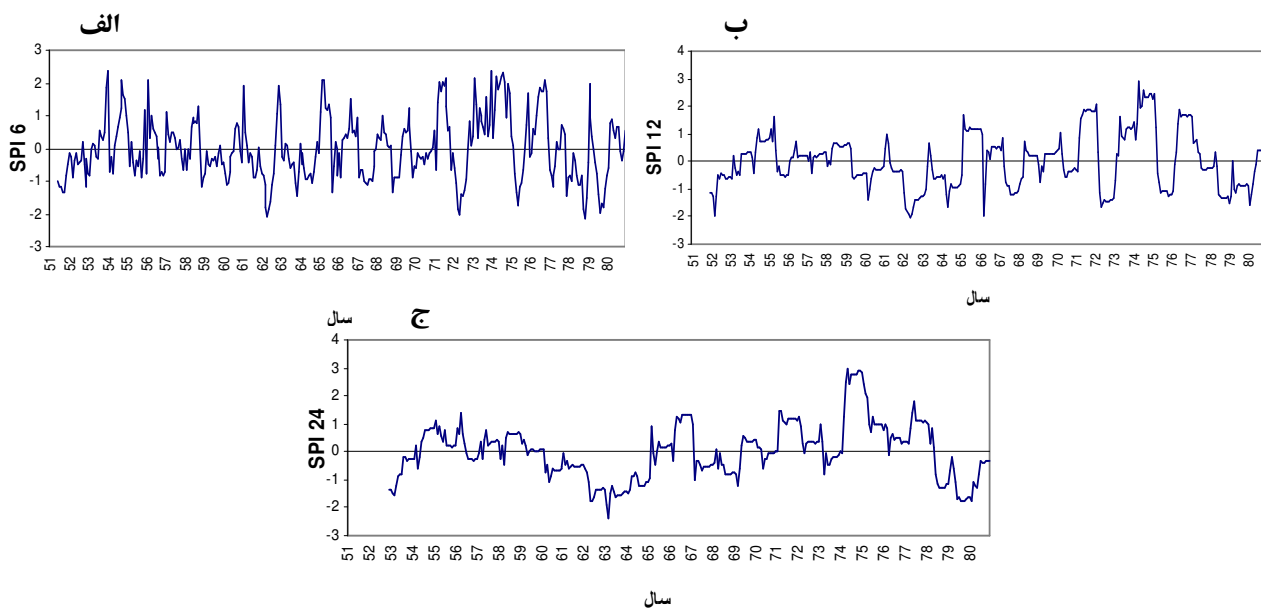
در راستای بررسی دقیق‌تر شدت خشكسالی‌های طولانی مدت و تعیین دوره تناوب جداول (۳ و ۴) شدت خشكسالی و دوره تناوب وقوع آنها را به تفکیک سال وقوع و ایستگاه نشان می‌دهند. همچنین وضعیت هر یک از ایستگاهها از نظر روند وقوع خشكسالی نیز مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. جدول شماره (۳)، نشان‌دهنده سال‌های وقوع خشكسالی و شدت وقوع آن در ایستگاه‌های مورد نظر می‌باشد. این نتایج وقوع خشكسالی را با شدت‌های مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای ۱۰ سال در طول دوره آماری مورد بررسی در مقیاس زمانی طولانی مدت ۲۴ ماهه نشان می‌دهد.

طولانی می‌باشند و خشكسالی را بهتر منعكس می‌نمایند. نتایج دیگر نشان داد كه استان فارس در بیشتر سالها دچار خشكسالی بوده و شدت آن در سال‌های اخیر به مراتب بیشتر از سال‌های قبل می‌باشد، به طوری كه در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، خشكسالی در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۱ در مقیاس‌های زمانی مختلف با بیشترین شدت و تداوم همراه بوده است. كمبود بارش و خشكسالی‌های ناشی از آن در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت بر روی رطوبت خاک اثر می‌گذارد و خشكسالی کشاورزی را به همراه دارد. در صورتی كه این كمبود در مقیاس زمانی بلندمدت بر روی آب‌های زیرزمینی، دبی رودخانه‌ها و منابع ذخیره آب اثر دارد و خشكسالی‌های هیدرولوژیکی را ایجاد می‌نماید. لذا با توجه به این كه شدت خشكسالی و تكرار آن همگی توابعی‌اند كه به طور مستقیم و غیر مستقیم به مقیاس زمانی وابسته‌اند، لذا می‌توانند هشدار اولیه‌ای جهت خشكسالی و كمك به ارزیابی شدت آن باشند. از نظر ارزیابی شدت‌های خشكسالی، بیشتر خشكسالی‌های استان فارس در طول دوره آماری مورد نظر از نوع

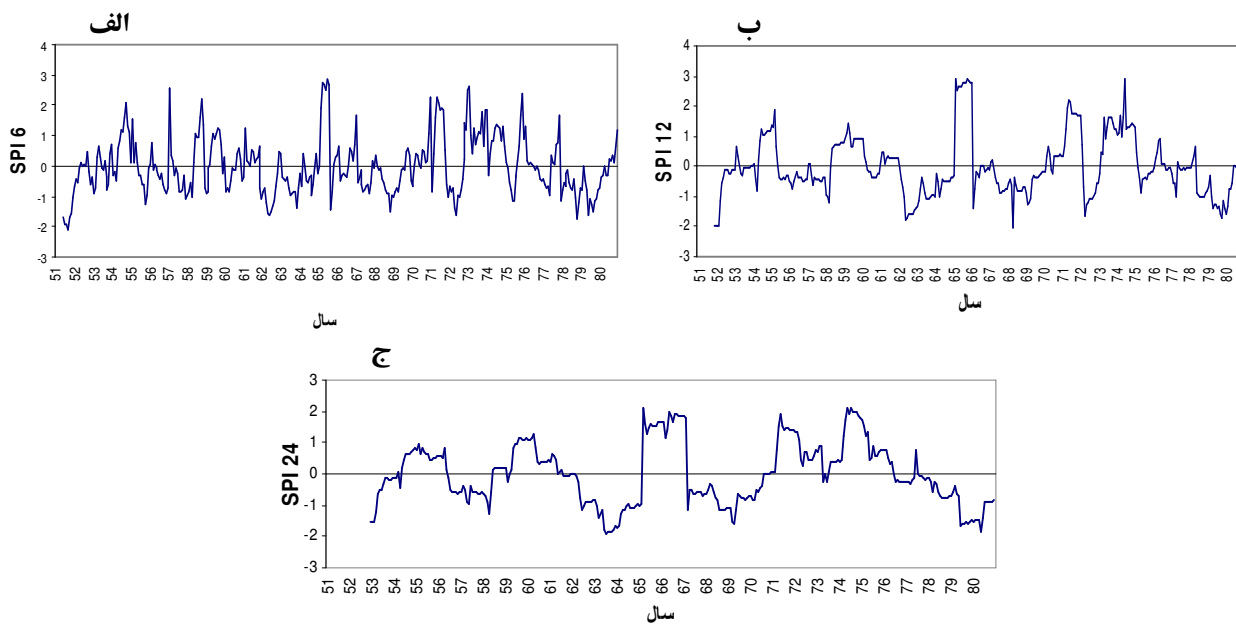


شکل ۱- نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی، ایستگاه سفید اقلید.

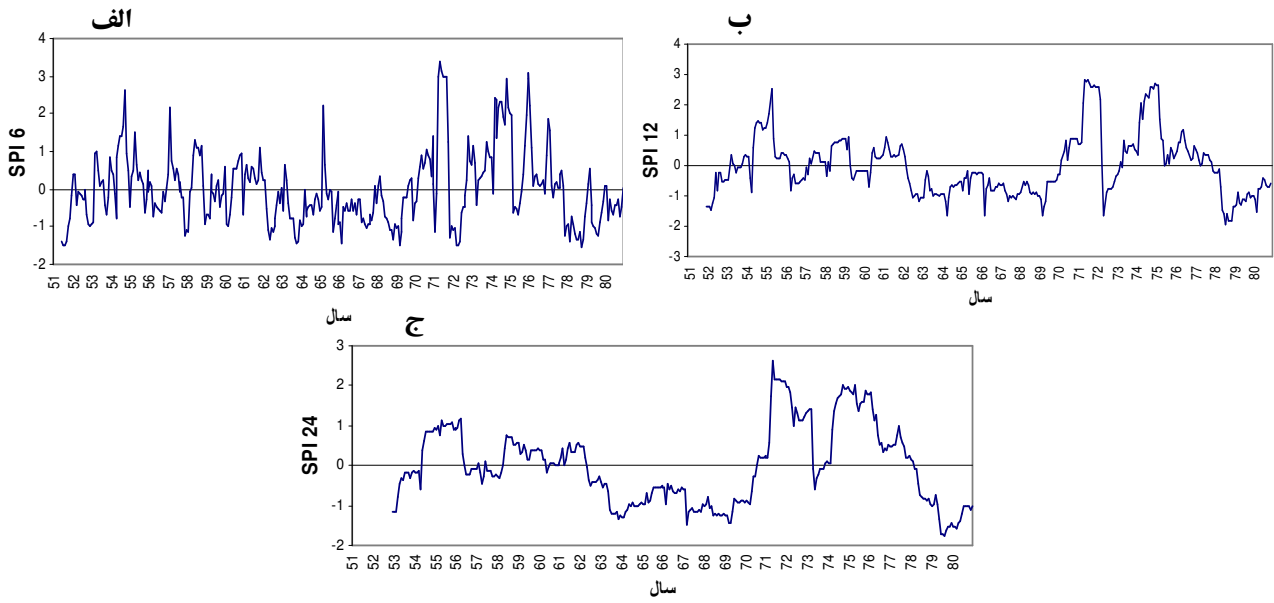
پیرمردیان، ن. ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص...



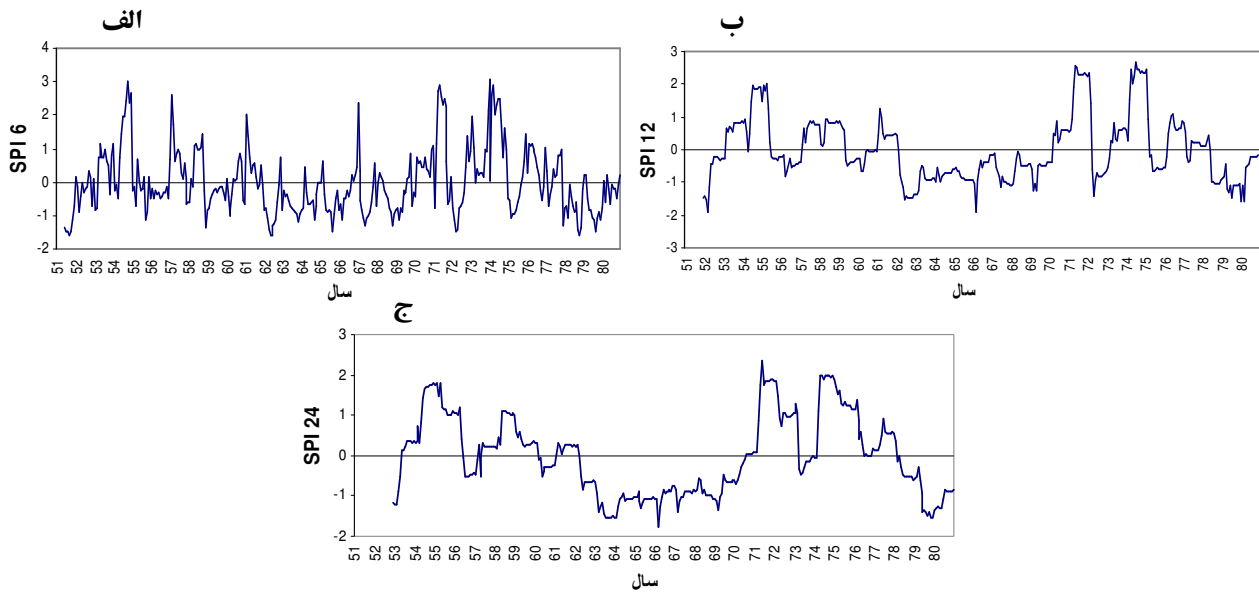
شکل ۲- نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی، ایستگاه شیراز.



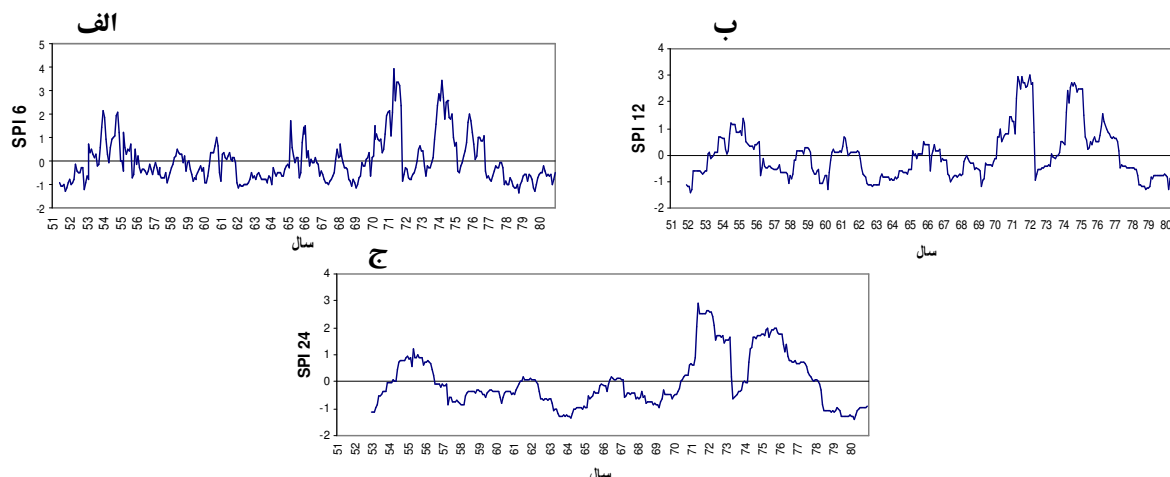
شکل ۳- نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی، ایستگاه استهبان.



شکل ۴- نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی، ایستگاه رستاق داراب.



شکل ۵- نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی، ایستگاه قیرو کارزین.



شکل ۶- نمودارهای روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های مختلف زمانی، ایستگاه لارستان.

تقسیم می‌نماید، ولی به هر حال شدت خشکسالی (برای مدت کم) می‌تواند یک وضعیت بحرانی را برای بسیاری از نقاط استان ایجاد نماید و مناطقی از استان فارس که در مجاورت استان‌های اصفهان، کرمان، هرمزگان و بوشهر قرار دارند تحت تأثیر نامنظمی بارش‌های سالیانه قرار می‌گیرند (۶).

نتیجه‌گیری کلی

هم‌چنین در پژوهش حاضر علاوه بر تعیین روند تغییرات خشکسالی، نتایج نشان داد که دوره تناوب وقوع خشکسالی، با شدت ملایم در ایستگاه‌های مورد بررسی، به طور متوسط بین ۳ تا ۱۰ سال متغیر می‌باشد. این مقادیر برای خشکسالی‌های متوسط و شدید نیز به طور متوسط به ترتیب ۵ تا ۱۵ و ۱۰ تا ۱۵ سال به دست آمده است. لذا خشکسالی در استان فارس یک پدیده تکراری و برگشت پذیر بوده که به علت حوادث ناشی از آن، خسارت‌های زیادی را به دنبال دارد. در این راستا پیشنهاد می‌شود این‌گونه پژوهش‌ها در سطوح گسترده‌تر، با امکانات آماری بهتر و با استفاده از روش‌های نوین تحلیل‌های مکانی و زمانی دنبال شود تا بتوان در جهت بهینه‌سازی مدیریت و تغییر دیدگاه از مدیریت بحران به سوی مدیریت ریسک و کاهش تبعات خشکسالی قدم برداشت.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، شدیدترین خشکسالی در سال ۱۳۷۹ واقع گردیده است که تا حدودی متأثر از وقوع خشکسالی در سال ماقبل آن نیز می‌باشد. در این زمینه گزارش اداره کل امور عشایر فارس (۱۳۸۳) مبین همین امر می‌باشد که در فاصله زمانی ۱۳۷۸-۷۹ تا ۱۳۸۰-۸۱ خشکسالی‌های شدیدی در استان فارس حادث گردیده و خسارات ریالی زیادی به جای گذارده است (۳). مشابه این مورد در سال ۱۳۶۳ نیز مشاهده می‌شود. مقادیر کمی مطابق با این جدول در جدول (۴) آورده گردیده است. براساس نتایج عنوان شده در این جدول در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی، دوره تناوب وقوع خشکسالی شدید به طور متوسط، ۱۵ سال به دست آمده است که این مورد با نتایج به دست آمده در جدول (۳) مطابقت دارد. از نظر تغییرات مکانی به طور کلی می‌توان گفت، روند تغییرات از شدت‌های کم به زیاد از سمت شمال‌غربی استان به سمت جنوب‌شرقی استان می‌باشد. در پژوهشی که در بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس نیز با استفاده از آمار ۲۱ ساله (۵۲-۱۳۵۱ تا ۷۲-۱۳۷۱) و روش هرست صورت گرفته است، نتایج نشان داد که با وجود آن‌که خشکسالی، استان فارس را به چندین زیر منطقه

جدول ۳- شدت وقوع خشکسالی به تفکیک ایستگاه و سال وقوع (مقیاس زمانی ۲۴ ماهه)

ایستگاه	۸۰	۷۹	۷۸	۶۹	۶۸	۶۷	۶۴	۶۳	۶۲	۵۲
ایزدخواست-آباده	مرطوب	متوسط	ملايم	ملايم	متوسط	ملايم	مرطوب	مرطوب	تقریباً نرمال	متوسط
دهکده سفید-اقلید	تقریباً نرمال	خیلی شدید	متوسط	تقریباً نرمال	ملايم	متوسط	ملايم	شدید	شدید	ملايم
کوسگان-ممسنی	ملايم	خیلی شدید	شدید	تقریباً نرمال	تقریباً نرمال	ملايم	تقریباً نرمال	شدید	متوسط	شدید
موروزه-سپیدان	تقریباً نرمال	خیلی شدید	شدید	تقریباً نرمال	تقریباً نرمال	ملايم	ملايم	شدید	متوسط	متوسط
درودزن-مرودشت	تقریباً نرمال	خیلی شدید	متوسط	تقریباً نرمال	متوسط	ملايم	ملايم	متوسط	ملايم	متوسط
دهبید-خرمید	مرطوب	شدید	ملايم	متوسط	متوسط	تقریباً نرمال	شدید	شدید	متوسط	تقریباً نرمال
پرشان-کازرون	تقریباً نرمال	متوسط	ملايم	تقریباً نرمال	ملايم	تقریباً نرمال	خیلی شدید	شدید	متوسط	متوسط
شیراز	تقریباً نرمال	شدید	متوسط	تقریباً نرمال	ملايم	ملايم	متوسط	شدید	متوسط	متوسط
ارسنجان	تقریباً نرمال	شدید	ملايم	تقریباً نرمال	متوسط	تقریباً نرمال	متوسط	شدید	متوسط	متوسط
مزيجان-بوانات	ملايم	خیلی شدید	شدید	ملايم	ملايم	تقریباً نرمال	ملايم	متوسط	تقریباً نرمال	ملايم
براک-چهرم	ملايم	متوسط	ملايم	ملايم	متوسط	ملايم	ملايم	شدید	ملايم	متوسط
مشکان-تیریز	ملايم	خیلی شدید	ملايم	ملايم	متوسط	ملايم	ملايم	ملايم	تقریباً نرمال	متوسط
تنگ کارزین	ملايم	متوسط	ملايم	ملايم	متوسط	ملايم	متوسط	شدید	ملايم	متوسط
تنگاب-فیروزآباد	ملايم	شدید	متوسط	ملايم	متوسط	ملايم	متوسط	شدید	متوسط	متوسط
فراشید	متوسط	شدید	متوسط	متوسط	متوسط	ملايم	ملايم	شدید	ملايم	متوسط
فسا	متوسط	شدید	ملايم	ملايم	متوسط	متوسط	متوسط	شدید	ملايم	متوسط
استهبان	ملايم	شدید	ملايم	ملايم	متوسط	ملايم	متوسط	شدید	ملايم	شدید
حاجی آباد-زرین دشت	متوسط	شدید	متوسط	ملايم	متوسط	ملايم	ملايم	شدید	ملايم	متوسط
رستاق-داراب	متوسط	شدید	متوسط	ملايم	متوسط	متوسط	ملايم	متوسط	ملايم	متوسط
لارستان	ملايم	متوسط	متوسط	ملايم	ملايم	ملايم	ملايم	متوسط	ملايم	متوسط

جدول ۴- دوره تناوب وقوع خشکسالی به طور متوسط به تفکیک ایستگاه و شدت وقوع (مقیاس زمانی ۲۴ ماهه)

ایستگاه	شهرستان	خیلی شدید	شدید	متوسط	ملايم
ایزدخواست	آباده	-----	-----	۶	۵
دهکده سفید	اقلید	*	۱۵	۱۰	۶
کوسگان	ممسنی	*	۱۰	*	۱۰
موروزه	سپیدان	*	۱۵	۱۵	۱۰
درودزن	مرودشت	*	-----	۷	۷
دهبید	خرمید	-----	۱۰	۱۰	۶
پرشان	کازرون	*	*	۱۰	۷
شیراز	شیراز	-----	۱۵	۸	۷
ارسنجان	ارسنجان	-----	۱۵	۶	۷
مزيجان	بوانات	*	*	*	۵
براک	چهرم	-----	*	۱۰	۴
مشکان	تیریز	*	-----	۱۰	۳
تنگ کارزین	قبر و کارزین	-----	*	۷	۵
تنگاب	فیروزآباد	-----	۱۵	۵	۶
فراشید	فراشید	-----	۱۵	۵	۵
فسا	فسا	-----	۱۵	۶	۷
استهبان	استهبان	-----	۱۰	۱۵	۴
حاجی آباد	زرین دشت	-----	۱۵	۷	۵
رستاق	داراب	-----	*	۵	۴
لارستان	لارستان	-----	-----	۷	۴

(*) مواردی که فراوانی وقوع آنها یکبار در طول دوره آماری بوده است.

منابع

- ۱- آمازیانه، ا. ۱۳۸۴. برنامه عملی مدیریت خشکسالی در بخش کشاورزی و تجارب بین المللی. کارگاه آموزشی منطقه‌ای مدیریت خشکی و خشکسالی در ایران، یزد، ۳۰ صفحه.
- ۲- امین، س. ۱۳۷۹. بررسی نمایه‌های خشکسالی، مطالعه موردی باجگاه شیراز. مجموعه مقالات اولین کارگاه آموزشی تخصصی بررسی مسایل خشکسالی استان فارس. دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، مهر ماه، ۱۳-۱۰.
- ۳- بی‌نام. ۱۳۸۳. بررسی اثرات نامطلوب خشکسالی سال‌های ۸۲-۱۳۷۹ بر جامعه عشایری و روستایی فارس. اداره کل امور عشایر فارس، سازمان امور عشایر ایران، وزارت جهاد کشاورزی، ۴۰ صفحه.
- ۴- شمس‌نیا، س. ا. ۱۳۸۶. تعیین طبقه‌بندی بهینه شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در ارزیابی خشکسالی‌های استان فارس. سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد، ۴۸ صفحه.
- ۵- قویدل رحیمی، ی. ۱۳۸۳. کاربرد نمایه‌های مبتنی بر بارش در مطالعه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی). نشریه پژوهش و سازندگی، شماره ۶۵، ۵۶-۴۷.
- ۶- کریمی، و.، ع. ا. کامکار حقیقی، ع. ر. سپاسخواه و د. خلیلی. ۱۳۸۰. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پنجم، شماره چهارم، ۱۰-۱.
- ۷- لشنی زند، م. ۱۳۸۲. بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی در شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب کشور. سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان، ۲۹ مهر ماه الی اول آبان ماه، ۲۶۶-۲۵۷.
- ۸- مقدم، ح.، ج. بلاق جمالی، س. جوانمرد، ع. مهدویان، ل. خزانه داری، م. خسروی و م. ابراهیم پور. ۱۳۸۰. پایش خشکسالی براساس نمایه SPI، دهک‌ها و نرمال در استان سیستان و بلوچستان. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، ۸۰-۶۹.
9. Figueiredo, M. A. T. 2004. Lecture notes on the EM algorithm. portugal. instituto de telecomunicacoes. Instituto Superior Tecnico. 1049-001 Lisboa.
10. Guttman, N. B. 1999. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. Journal of American water Resources Association 35(2): 311-322.
11. Hayes, M., M. D. Svoboda, D. A. Wilhite and O. V. Vanyarkho. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American Meteorological Society 80(3): 429-438.
12. 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, 170-184.
13. Palmer, W. C. 1965. Meteorological drought. U.S. Department of commerce Weather, Bureau Reasearch Paper 45, 58pp.
14. Palmer, W. C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture Index. Weather Wise 21: 156-161.
15. Serrano, S. M. and J. I. Moreno. 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: An evaluation of the standardized precipitation index in a mountainous mediterranean basin. Hydrology and Earth System Sciences Discussions 2: 1221-1246.

16. Shafer, B. A. and L. E. Dezman. 1982. Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. Proceedings of The Western Snow Conference pp: 164-175.
17. Shirvani, A., S. Amin and M. J. Nazemosadat. 2003. Monitoring drought using SPI and Z-score for different time scales for Shiraz station in Iran. European Geophysical Society. Geophysical Research Abstracts 5: 3-12.
18. Tsakiris, G., and H. Vangelis. 2004. Toward a drought watch system based on spatial SPI. Journal of Water Resources Management 18(1): 1-12.
19. Wilhite, D. A., and M. H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water International 10: 11-112.