

پایش خشکسالی حوضه آبریز کارون بزرگ با استفاده از شاخص SPI (۱۹۷۸-۲۰۱۴ میلادی)

فاطمه زابل عباسی*^۱، شراره ملبوسی^۲، ایمان بابائیان^۳، مرتضی اثمیری^۴

۱- کارشناس ارشد هواشناسی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی

۲- کارشناس رایانه، پژوهشکده اقلیم‌شناسی

۳- دکترای اقلیم‌شناسی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی

۴- کارشناس ارشد هواشناسی، اداره کل هواشناسی خراسان رضوی

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۲۱، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۰۶)

چکیده

یکی از ویژگی‌های بارز اقلیم ایران کمی بارش و نوسان‌های شدید آن در مقیاس‌های زمانی روزانه، فصلی و سالانه است. هر خشکسالی دارای ۴ ویژگی عمده می‌باشد که عبارتند از: دوره تداوم، شدت، فراوانی و گستره. هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی و پهنه‌بندی خصوصیات خشکسالی حوضه کارون بزرگ است. در این مطالعه از شاخص بارش استاندارد خشکسالی SPI برای بررسی ویژگی‌های خشکسالی در ۴۲ ایستگاه واقع در داخل و خارج حوضه با دوره آماری مشترک ۲۸ ساله در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه استفاده شد. ویژگی‌های خشکسالی، شامل تداوم و شدت در هر مقیاس استخراج و نقشه‌های وضعیت خشکسالی در محیط GIS ترسیم شد. کمترین مقدار SPI مشاهده شده در حوضه متعلق به یاسوج (۳/۲۹-) در مقیاس ۱۲ ماهه و طولانی‌ترین تداوم در بستان ۶۱ ماهه است. همچنین طولانی‌ترین تداوم و گستره‌های دارای خشکسالی در هر سال نیز مشخص شدند.

کلمات کلیدی: خشکسالی، تداوم، شدت، گستره، کارون

مقدمه

این زمینه است که موارد استفاده متعددی از آن در کشورهای مختلف خصوصاً ایالت متحده آمریکا دیده می‌شود. این شاخص، قابل استفاده در مقیاس‌های متعدد زمانی - کوتاه مدت (برای اهداف کشاورزی) و بلند مدت (برای اهداف هیدرولوژی) و مکانی، در سطح خرد و کلان است. از سوی دیگر نتایج حاصله از آن، مناسب بودن شاخص را از نظر تشخیص زمان شروع خشکسالی، پایش و پیش‌بینی آن به اثبات رسانده است.

گاتمن (۱۹۹۸) به این نتیجه رسید که SPI نسبت به سایر شاخص‌ها، بهتر می‌تواند تفاوت خشکسالی در یک ناحیه خاص نسبت به سایر نواحی را نشان دهد. بوردی و همکاران (۲۰۰۱) از شاخص استاندارد شده‌ی بارش برای رسم نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی ماهانه در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و درازمدت در ایتالیا استفاده کردند. برونینی و همکاران (۲۰۰۱)

ایران را می‌توان از نظر اقلیمی کشوری متفاوت دانست به طوری که اختلافات اقلیمی در نواحی مختلف بسیار متفاوت و آشکار است. کمی بارندگی و نوسان شدید آن، سبب عدم اطمینان کافی برای دریافت حداقل بارش مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی، تأمین جریان‌های سطحی و تغذیه آبهای زیرزمینی و مصارف انسانی می‌شود. علاوه بر روند افزایشی از نظر تقاضا برای آب به سبب فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شرب، تغییرات اقلیمی مثل کاهش بارندگی که منجر به وقوع خشکسالی‌ها می‌شود، در منابع آبی تأثیر منفی دارد و کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (فرج زاده، ۱۳۷۹؛ نیکلاس، ۲۰۰۱). به دلیل وقوع خشکسالی‌های متعدد در سال‌های اخیر، مطالعات در این زمینه افزایش یافته و محققان برای پایش خشکسالی از روش‌های مختلفی استفاده کرده‌اند. در این میان، شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI) یکی از شاخص‌ها در

طرح‌های وسیع سدسازی و احداث شبکه‌های متعدد و عظیم آبیاری و زهکشی به منظور تأمین امنیت انرژی و غذا بیانگر پتانسیل بالای منابع آب و خاک این حوضه و سهم آن در جهت نیل به اهداف توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور است (ارشدی، ۱۳۹۲). به دلیل این که بارش، منبع اصلی تأمین آب در حوضه آبریز جنوب غرب کشور است و رخداد خشکسالی در زندگی و فعالیت‌های گوناگون اقتصادی و اجتماعی اثرات قابل ملاحظه‌ای دارد لذا تحقیق در ابعاد کمی و کیفی و پایش آن ضروری است.

هدف از این مطالعه، بررسی کمی، شدت، مدت و گستره خشکسالی‌های حوضه کارون بزرگ در طی یک دوره آماری ۲۸ ساله است. به منظور بررسی خشکسالی‌ها تعداد ۴۲ ایستگاه در داخل و خارج منطقه با دوره مشترک آماری ۲۸ ساله انتخاب و به کمک شاخص SPI شدت‌های خشکسالی و ترسالی در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شد. نتایج حاصل به صورت جداول شدت و مدت خشکسالی و نقشه‌های شدیدترین خشکسالی‌ها تهیه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز کارون بزرگ شامل ۴ زیر حوضه کرخه، دز، کارون و مارون می‌باشد که موقعیت جغرافیایی آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

ابتدا با استفاده از داده‌های سازمان هواشناسی و وزارت نیرو، داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های همدید، اقلیم‌شناسی و بارانسنجی واقع در حوضه مطالعاتی جهت ایجاد پایگاه داده جمع‌آوری شد. پس از جمع‌آوری آمار و داده‌ها، کنترل‌های اولیه صورت گرفت که نتیجه آن حذف آمار ایستگاه‌هایی بود که دارای آمار ناقص بودند یا طول دوره آماری آنها کم بود. در نهایت ۴۲ ایستگاه همدید واقع در استان‌های غرب و جنوب غرب ایران در دوره آماری ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۴ میلادی مورد بررسی قرار گرفتند. در این تحقیق خلاءهای آماری داده‌های بارندگی

نیز نشان دادند که شاخص استاندارد شده‌ی بارش برای کمی کردن و مراقبت از خشکسالی می‌تواند بسیار مفید باشد.

نساجی زواره و صانعی (۱۳۸۰) برای پیش‌بینی دوره‌های خشکسالی از شاخص SPI با مقیاس‌های زمانی مختلف در اصفهان استفاده کردند. ویلیامز در مطالعه‌ای که تحت عنوان مدیریت ریسک خشکسالی در آفریقای جنوبی انجام داد، بیان کرد که افزایش میزان درآمدهای اقتصادی و کاهش میزان خطرات اجتماعی به کمک مدیریت ریسک خشکسالی از طریق افزایش تحقیقات در زمینه پیش‌بینی و به روزرسانی نتایج امکان‌پذیر است. خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۵) دوره بازگشت و ریسک تداوم خشکسالی در ایستگاه‌های قدیمی ایران را با فرض استقلال و ایستایی سری‌های زمانی بارندگی سالانه را مورد بررسی و ریسک خشکسالی را به ازای ۵۰ درصد احتمال وقوع خشکسالی مشخص کردند. اختری و همکاران (۱۳۸۵) با پایش خشکسالی بر اساس شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و خشکسالی مؤثر^۱ (EDI) نشان دادند که شاخص‌های فوق معتبر است و روش میانگین متحرک وزن‌دار در تحلیل مکانی خشکسالی از دقت کافی برخوردار است. هایس و همکاران (۲۰۰۹) شاخص SPI را شاخصی انعطاف‌پذیر و توانمند در تحلیل خشکسالی برای هر مقیاس زمانی دانستند. نتایج مطالعاتی بانژاد و همکاران (۱۳۸۵) نشان داد استفاده از شاخص SPI و مدل نمایی برای مقیاس ماهانه، مدل کروی برای مقیاس فصلی، در ترکیب با روش کریجینگ و روش فاصله وزنی معکوس برای مقیاس‌های شش ماهه، سالانه و دو سالانه نتایج مطلوب‌تری ارائه می‌دهد.

حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ یکی از حوضه‌های باز ایران است که در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز ایران، حوضه فرعی به شمار می‌رود و زیرمجموعه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان است. حوضه آبریز کارون بزرگ به دلیل در برگرفتن بخش بزرگی از پتانسیل آبی کشور (۲۵ درصد)، دارای بیشترین و عظیم‌ترین طرح‌های آبی کشور است. اجرای

1- Effective Drought Index

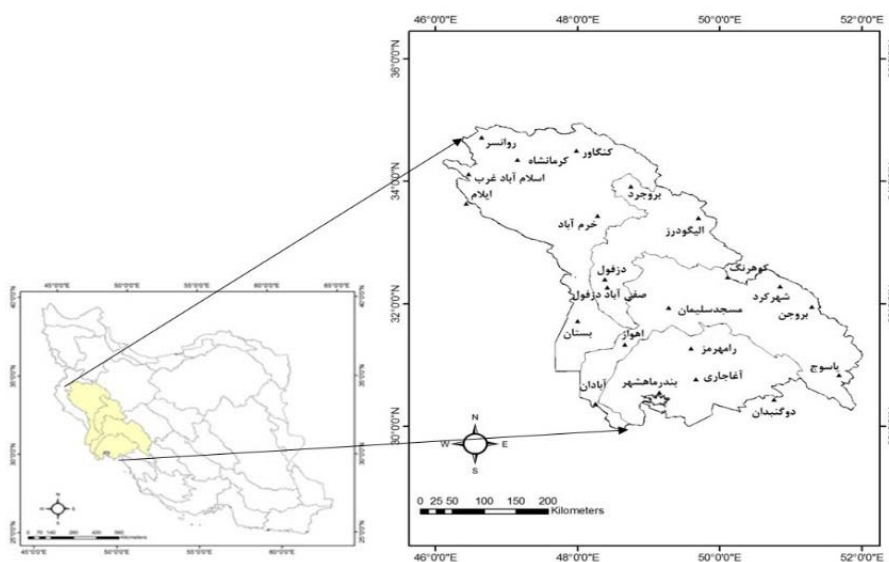
محدوده مطالعاتی (حوضه آبریز کارون بزرگ) قرار می‌گرفتند که در این تحقیق، جهت دستیابی به نتایج مطلوب‌تر، کل استان‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفتند.

بررسی وضعیت بارش منطقه مورد مطالعه

داده‌های بارندگی شامل میانگین بارندگی و بیشترین و کمترین مقدار ثبت شده بارش طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۷ میلادی، درصد بارش‌های فصلی، دامنه تغییرات و واریانس ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین تغییرپذیری بارش سالانه در طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۷ میلادی مربوط به ایستگاه کوه‌رنگ واقع در استان چهارمحال و بختیاری (به مقدار ۲۶۶/۲) است. در شکل ۲ میانگین بارندگی سالانه حوضه کارون بزرگ طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۷ میلادی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر چه از جنوب غرب به شمال و شرق و جنوب شرق حرکت کنیم، بر مقدار نزولات جوی افزوده می‌شود.

از روش نسبت‌ها تکمیل شد. در این روش، میانگین داده‌های موجود در ایستگاه اصلی و ایستگاه مجاور (نزدیک‌ترین ایستگاه یا میانگین ایستگاه‌های مجاور) محاسبه شده و سپس نسبت میانگین ایستگاه اصلی به ایستگاه مجاور تعیین می‌شود. در نهایت، نسبت به دست آمده در مقدار داده موجود ایستگاه مجاور در دوره نیاز به بازسازی، ضرب گشته و داده‌ی نیاز به بازسازی متناظر به دست می‌آید (حسینپور کاشانی و دین‌پژوه، ۲۰۱۲). همچنین به منظور کنترل تصادفی بودن همگی آمار از آزمون‌های آماری از جمله آزمون (Run Test) استفاده شد (علیزاده، ۱۳۷۶).

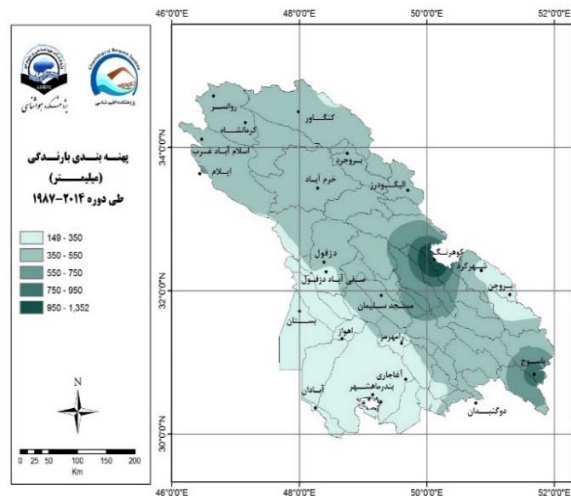
مشخصات ایستگاه‌های منتخب در جدول ۱ و همچنین پراکنش آنها در حوضه آبریز کارون بزرگ در شکل ۱ آورده شده است. استان‌هایی که به طور کامل یا بخشی از آنها در داخل حوضه قرار می‌گیرند عبارتند از: ۱- خوزستان، ۲- چهارمحال و بختیاری، ۳- ایلام، ۴- کهگیلویه و بویر احمد، ۵- هرمزگان و ۶- فارس. پراکنش ایستگاه‌های همدید در بعضی از استان‌ها به گونه‌ای بود که تعدادی از ایستگاه‌ها در خارج از



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های همدید در حوضه آبریز کارون بزرگ

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه

ارتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سال تاسیس	ایستگاه	استان
۶.۶	۳۰.۲۲	۴۸.۱۵	۱۹۵۱	آبادان	خوزستان
۲۲.۵	۳۱.۲	۴۸.۴	۱۹۵۱	اهواز	
۱۴۳	۳۲.۲۴	۴۸.۲۳	۱۹۶۱	دزفول پانگامی	
۲۷	۳۰.۴۶	۴۹.۴	۱۹۸۴	امیدیه (آخلجاری)	
۳۴.۹	۳۰.۴۶	۴۹.۳۹	۱۹۸۳	امیدیه پانگامی	
۳۲۰.۵	۳۱.۵۶	۴۹.۱۷	۱۹۸۵	مسجد سلیمان	
۷۸	۳۱.۴۳	۴۸	۱۹۸۶	بستان	
۸۲.۹	۳۲.۱۶	۴۸.۲۵	۱۹۸۷	صفی آباد دزفول	
۱۵۰.۵	۳۱.۱۶	۴۹.۳۶	۱۹۸۷	رامهرمز	
۶.۲	۳۰.۳۳	۴۹.۰۹	۱۹۸۷	بندر ماهشهر	
۳۱۳	۳۰.۳۶	۵۰.۱۴	۱۹۹۳	بهبهان	
۷۶۷	۳۱.۵۱	۴۹.۵۲	۱۹۹۳	ایذه	
۶۹۹.۵	۳۰.۲۶	۵۰.۴۶	۱۹۸۵	دو گنبدان	
۱۸۳۱.۵	۳۰.۵	۵۱.۴۱	۱۹۸۷	یاسوج	ایلام
۱۳۳۷	۳۳.۳۸	۴۶.۲۶	۱۹۸۶	ایلام	
۲۳۲	۳۲.۴۱	۴۷.۱۶	۱۹۸۷	دهلران	
۱۶۲۹	۳۳.۵۵	۴۸.۴۵	۱۹۸۹	بروجرد	لرستان
۱۱۴۷.۱	۳۳.۲۶	۴۸.۱۷	۱۹۵۱	حرم آباد	
۲۰۲۲	۳۳.۲۴	۴۹.۴۲	۱۹۸۶	لیکودرز	
۹۸۲.۳	۳۳.۵۹	۵۱.۲۷	۱۹۶۶	کاشان	اصفهان
۲۲۹۰	۳۲.۵۸	۵۰.۲۲	۱۹۸۹	داران	
۸۴۵	۳۳.۴۷	۵۵.۰۵	۱۹۸۶	خور بیلقانک	
۱۵۵۰.۴	۳۲.۳۷	۵۱.۴	۱۹۵۱	اصفهان	
۱۵۴۳.۵	۳۲.۴	۵۱.۵۲	۱۹۷۶	اصفهان - فردرگشاه	
۱۵۴۵	۳۲.۳۱	۵۱.۵۱	۱۹۸۷	کیوتر آباد	
۲۲۸۵	۳۲.۲۶	۵۰.۰۷	۱۹۸۷	کوهزنجان	
۲۰۴۸.۹	۳۲.۱۷	۵۰.۵۱	۱۹۵۵	شهرکرد	چهارمحال و بختیاری
۲۱۹۷	۳۱.۵۷	۵۱.۱۸	۱۹۸۸	بروجن	
۱۵۲۲.۱	۳۶.۱۵	۴۶.۱۶	۱۹۶۱	سفر	
۱۳۷۳.۴	۳۵.۲	۴۷	۱۹۵۹	ستادج	کردستان
۱۸۸۳.۵	۳۵.۵۳	۴۷.۳۷	۱۹۸۷	بیمار	
۲۱۴۲.۶	۳۶.۰۴	۴۶.۵۵	۱۹۸۹	زوزنه	
۱۳۷۹.۱	۳۴.۴۳	۴۶.۳۹	۱۹۸۸	روفسر	کرمانشاه
۵۴۵	۳۴.۲۷	۴۵.۵۲	۱۹۸۶	سرریل ذهاب	
۱۳۱۸.۶	۳۴.۲۱	۴۷.۰۹	۱۹۵۱	کرمانشاه	
۱۴۶۸.۳	۳۴.۳	۴۷.۵۹	۱۹۸۷	کنگاور	
۱۳۴۸.۱	۳۴.۰۷	۴۶.۲۸	۱۹۸۷	اسلام آباد غرب	
۱۶۷۹.۷	۳۵.۱۲	۴۸.۴۳	۱۹۵۱	محمدان توره	محمدان
۱۷۴۰.۱	۳۴.۵۲	۴۸.۳۲	۱۹۷۶	محمدان	
۲۰۳۰	۳۱.۱۱	۵۲.۴	۱۹۷۷	آباده	فارس
۱۶۲۰	۳۰.۱۳	۵۲.۲۶	۱۹۸۸	سد دروذن	
۱۵۹۶	۲۹.۴۷	۵۲.۴۳	۱۹۸۹	زرقان	
۱۴۸۴	۲۹.۳۲	۵۲.۳۶	۱۹۵۱	شیراز	
۱۲۸۸.۳	۲۸.۵۸	۵۳.۴۱	۱۹۶۶	فسا	



شکل ۲- پهنه‌بندی میانگین مجموع بارندگی سالانه حوضه آبریز کارون بزرگ طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۴ میلادی

جدول ۲- مشخصات بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۴

ایستگاه	استان	بارندگی (میلیمتر)			درصد بارش بهار	درصد بارش تابستان	درصد بارش پاییز	درصد بارش زمستان	دامنه تغییرات	واریانس
		میانگین	حد اکثر بارندگی ماهانه	حد اقل بارندگی ماهانه						
ایلیان	خوزستان	۱۴۹/۶	۳۶/۵	۰	۹	۰	۴۲	۴۸	۳۶/۵	۱۸۳/۰۷۵
اهواز		۲۲۸/۵	۵۳/۵	۰	۱۹	۰	۴۴	۴۶	۵۳/۵	۳۸۸/۱
دزفول		۳۸۳/۲	۸۵/۳	۰	۱۱	۰	۳۹	۵۰	۸۵/۳	۱۰۷۰
آغاچاری		۲۵۷/۸	۵۹/۳	۰	۹	۰	۴۱	۵۰	۵۹/۳	۵۲۳/۹
مسجد سلیمان		۴۱۶/۸	۹۷/۶	۰	۹	۰	۳۸	۵۲	۹۷/۶	۱۳۷۹/۵
بستان		۱۹۶/۳	۴۲/۳	۰	۱۳	۰	۳۷	۵۰	۴۲/۳	۲۵۳/۶
بندرماهشهر		۱۹۶/۱	۴۸/۳	۰	۷	۰	۴۳	۵۰	۴۸/۳	۳۳۳/۶
رامهرمز		۳۲۰	۸۴/۹	۰/۲	۸	۲	۴۱	۴۹	۸۴/۷	۸۴۸/۳
صفی آباد دزفول		۳۲۲/۹	۷۳	۰/۱	۱۱	۰	۳۹	۵۰	۷۲/۹	۷۵۴/۳
ایزه		۶۸۳/۳	۱۶۲	۰/۶	۱۱	۰	۳۴	۵۴	۱۶۱/۴	۳۵۹۲/۲
بهبهان	۳۴۲/۷	۹۰/۵	۰	۷	۰	۴۳	۴۹	۹۰/۵	۱۰۸۱/۳	
دوگنبدان	کهگیلویه و بویر احمد	۴۴۷/۴	۱۱۱/۲	۰	۷	۲	۳۹	۵۲	۱۱۱/۲	۱۷۷۳/۳
یاسوج		۸۲۰	۱۶۷/۳	۰/۸	۱۰	۱	۳۲	۵۷	۱۶۶/۵	۵۱۶۹/۷۸۲
ایلام	ایلام	۵۶۹/۴	۱۰۸/۹	۰/۲	۱۴	۱	۳۳	۵۳	۱۰۸/۷	۱۸۸۸/۵
دهلران		۲۷۱/۸	۵۵/۶	۰/۱	۱۶	۱	۳۴	۴۹	۵۵/۵	۴۳۶/۳
بروجرد		۴۵۱/۹	۸۷	۰/۶	۲۱	۰	۳۳	۴۵	۸۶/۴	۱۰۲۵/۶۷
خرم آباد	لرستان	۴۷۰/۳	۸۴/۹	۰/۲	۱۹	۰	۳۵	۴۶	۸۴/۷	۱۱۳۴/۷۵
لیکودرز		۳۹۳/۱۴	۷۴/۳	۰/۹	۲۲	۱	۳۳	۴۴	۷۳/۴۴	۷۳۶/۳
سقز	کردستان	۴۵۲/۷	۷۳	۲/۲	۲۳	۲	۳۳	۴۲	۷۰/۸	۷۷۹/۰۵
سنندج		۳۸۹/۷	۶۴/۵	۰/۲	۲۳	۱	۳۵	۴۱	۶۴/۳	۶۴۴/۹۸
بیجار		۳۴۲/۸	۶۰/۳	۲/۲	۲۸	۳	۳۲	۳۶	۵۸/۱	۴۰۶/۴
زرینه		۳۸۲/۲	۷۱/۵	۲/۵	۳۰	۳	۳۲	۳۵	۶۹	۵۴۴/۱
کوه‌رنگ	چهارمحال و بختیاری	۱۳۵۳/۶	۲۶۷	۰/۸	۱۴	۰	۳۴	۵۲	۲۶۶/۲	۱۱۲۱۱/۵
شیرکرد		۳۲۷/۶	۶۱/۵	۰/۴	۱۵	۱	۳۵	۵۰	۶۱/۱	۶۵۶/۸
بروجن		۲۵۶/۵	۴۹/۱	۰/۳	۱۶	۰	۳۴	۵۰	۴۸/۸	۴۰۲/۶۵
اصفهان	اصفهان	۱۳۴/۳	۲۷/۳	۰/۱	۲۱	۱	۳۰	۴۷	۲۷/۲	۹۵/۹۸
اصفهان فرودگاه		۱۰۶/۳	۲۱/۴	۰/۱	۲۲	۲	۲۹	۴۶	۲۱/۳	۵۶/۱۵
کاشان		۱۳۱/۲	۲۴/۶	۰/۳	۲۶	۱	۲۵	۴۸	۲۴/۳	۸۳/۴
داران		۳۳۲/۱	۶۱/۷	۱	۲۱	۱	۳۲	۴۶	۶۰/۷	۵۷۱/۵
خوبینلیک		۸۱/۹	۱۹/۱	۰	۲۳	۰	۱۹	۵۸	۱۹/۱	۴۳/۹۸
کیوتراپاد		۱۱۵	۲۳/۴	۰/۱	۲۲	۱	۲۸	۴۹	۲۳/۳	۶۸
کرمشاه	کرمانشاه	۴۱۸/۵	۷۴/۴	۰/۳	۱۸	۱	۳۵	۴۶	۷۴/۱	۷۸۹/۳
رواسر		۴۹۹/۴	۸۱/۶	۰	۱۹	۰	۳۴	۴۷	۸۱/۶	۱۲۰۶/۷
سرپل ذهاب		۴۲۶/۶	۷۷/۸	۰/۱	۱۴	۰	۳۶	۴۹	۷۷/۷	۱۰۵۵
کنگاور		۳۸۳/۹	۶۰/۳	۰/۴	۲۱	۱	۳۶	۴۲	۵۹/۹	۶۳۳/۸
اسلام آباد غرب		۴۶۳/۷	۸۳/۷	۰/۳	۱۵	۱	۳۶	۴۸	۸۳/۴	۱۰۸۸/۴
همدان نوزده	همدان	۳۰۸/۲	۴۹/۹	۱/۷	۲۵	۳	۳۲	۴۰	۴۸/۲	۳۱۶/۴
همدان فرودگاه		۳۰۷/۳	۵۱/۹	۱/۲	۲۲	۳	۳۵	۴۰	۵۰/۷	۳۴۵/۷
شیراز	فارس	۳۲۴/۸	۸۵/۶	۰	۹	۱	۳۱	۵۹	۸۵/۶	۹۳۶/۵
فسا		۲۷۳/۷	۷۹	۰/۳	۸	۱	۲۵	۶۶	۷۸/۷	۷۷۰/۳
آباده		۱۳۰/۳	۲۵/۵	۰	۱۷	۱	۳۳	۴۹	۲۵/۵	۹۹/۵
درود زن	۴۷۲/۳	۱۱۱/۷	۰	۱۰	۰	۳۰	۶۰	۱۱۱/۷	۱۸۸۷/۸	

شاخص SPI

شاخص SPI برای اولین بار توسط مک کی^۱ و همکاران در سال ۱۹۹۳ پیشنهاد شد. SPI شاخصی است که بر اساس احتمال بارش برای هر بازه زمانی قابل محاسبه است. این شاخص امکان پایش خشکسالی را برای مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت نظیر رطوبت خاک و نیز برای مقیاس‌های دراز مدت نظیر آب‌های سطحی و آب‌های زیر زمینی فراهم می‌سازد (مک کی، ۱۹۹۷). داده‌های بارش ثبت شده در بلند مدت به یک توزیع احتمالاتی برازش و سپس به یک توزیع نرمال تغییر شکل داده می‌شوند، طوری که میانگین SPI در مکان و دوره زمانی مورد نظر صفر باشد (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳؛ ادوارد و مک کی، ۱۹۹۷). محاسبه شاخص خشکسالی SPI در هر یک از مقیاس‌های زمانی را می‌توان از مزیت‌های این شاخص برشمرد. طول دوره ثبت داده‌های بارش و همچنین ماهیت توزیع‌های احتمالاتی، نقش مهمی در محاسبه خشکسالی SPI دارد و این عوامل از جمله محدودیت‌های آن به شمار می‌روند (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰).

با توجه به سوابق پژوهش‌های صورت گرفته، مشخص می‌شود که توزیع احتمال بارش یک ایستگاه معمولاً از توزیع گاما پیروی می‌کند که تابع چگالی احتمال این توزیع به صورت رابطه زیر است:

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

در این رابطه، x مقدار متغیر و α و β به ترتیب پارامتر شکل و مقیاس توزیع هستند. $\Gamma(\alpha)$ نیز تابع ضربی گاما است که بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

محاسبه SPI شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی کل برای یک ایستگاه معین است. سپس پارامترهای α و β مربوط به تابع چگالی احتمال گاما برای هر ایستگاه، هر مقیاس زمانی (۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماه و غیره) و برای هر ماه سال برآورد می‌شوند (مصطفی زاده، ۱۳۹۴).

در مرحله بعد، از پارامترهای α و β برای به دست آوردن تابع احتمال تجمعی بارندگی برای ماه مورد نظر و مقیاس زمانی معین در ایستگاه تحت بررسی استفاده می‌شود. پس از محاسبه تابع تجمعی کل، تغییر شکل هم احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z (SPI) با میانگین صفر و واریانس صورت می‌گیرد.

کاربرد نمای SPI در جهان به دلیل داشتن مزایایی چون سادگی در محاسبات، نیاز نداشتن به داده‌های زیاد و مستقل بودن از میانگین بارش رو به افزایش است و برای مقایسه‌ی دامنه وسیعی از اقلیم‌ها قابلیت استفاده دارد. از معایب این نمایه در نظر گرفتن توزیع نرمال برای داده‌هاست و این مسئله برای دوره‌های زمانی کوتاه مدت چندان مورد قبول نیست و باعث بروز اشکالاتی می‌شود (مصطفی زاده، ۱۳۹۴). مک کی و همکاران (۱۹۹۳) از نتایج حاصله از SPI، یک سیستم طبقه‌بندی را برای تعریف شدت خشکسالی معرفی کردند. مقادیر SPI برای طبقه‌بندی خشکسالی در جدول ۳ آورده شده است.

مقدار SPI مثبت بیانگر بارش بیشتر از میانگین و مقدار SPI منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار میانگین است. دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد. ویژگی دیگر SPI این است که می‌توان به کمک آن خشکسالی را برای هر دوره زمانی تعیین کرد. بنابراین بر اساس این شاخص علاوه بر محاسبه شدت خشکسالی، مدت آن نیز تعیین می‌شود (یزدانی، ۱۳۸۴). برای تشخیص خشکسالی و ارزیابی آن از مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در این تحقیق استفاده شده و نتایج حاصل در جداولی آورده شده است.

ماه) و کمترین تداوم در این مقیاس در حوضه متعلق به یاسوج (۲۳ ماه) است (جدول ۶).

- طولانی‌ترین تداوم در مقیاس ۶ ماهه، ۴۲ ماه مربوط به ایستگاه روانسر و کمترین تداوم در این مقیاس در حوضه متعلق به اهواز به میزان ۱۳ ماه است (جدول ۵).

- طولانی‌ترین تداوم در مقیاس ۳ ماهه مربوط به یاسوج با ۱۴ ماه تداوم خشکسالی و کمترین تداوم ۷ ماه مربوط به ایستگاه بروجرد و در داخل حوضه نیز متعلق به آبادان (۹ ماه تداوم) است (جدول ۴).

نقشه‌های طولانی‌ترین تداوم خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه منطقه مورد مطالعه در شکل‌های ۳ تا ۵ آورده شده‌اند (مربوط به جداول ۴ تا ۶). نتایج نشان دهنده بیشترین تداوم و شدیدترین خشکسالی در مقیاس ۳ ماهه در بخش شرق و جنوب شرق منطقه (شکل ۳، جدول ۴)، در مقیاس ۶ ماهه بیشترین تداوم در شمال و شمال غرب و شدیدترین خشکسالی در شرق و جنوب شرق حوضه (شکل ۴، جدول ۵) و در مقیاس ۱۲ ماهه بیشترین تداوم خشکسالی‌ها در قسمت غرب حوضه کارون بزرگ و بیشترین شدت خشکسالی در قسمت شرق و جنوب شرق حوضه است (شکل ۵، جدول ۶).

همچنین نتایج نشان می‌دهند که اگرچه در دوره‌های زمانی کوتاه مدت ۳ ماهه خشکسالی‌های شدید در منطقه مشاهده می‌شود اما این خشکسالی‌ها تداوم زیادی ندارند و تحت تأثیر بارش‌های روزانه هستند؛ در حالی که دوره‌های زمانی بلند مدت نسبت به تغییرات بارش واکنش کندتری نشان می‌دهند. بنابراین تداوم و بزرگی خشکسالی طی دوره‌های بلندمدت بیشتر از دوره‌های کوتاه مدت است. علاوه بر این، حتی در ایستگاه‌های واقع در مناطق کوهستانی و نیمه مرطوب (شهرکرد، خرم آباد) وقوع خشکسالی با تداوم‌های مختلف پدیده‌ای معمول است.

جدول ۳- مقادیر SPI

توصیف وضعیت	طبقات شاخص SPI
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
تقریباً نرمال	۰/۹۹ تا ۰/۹۹
تر سالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
تر سالی بسیار شدید	۲ و بیشتر

نتایج و بحث

برای بررسی خشکسالی‌های حوضه آبریز کارون بزرگ شاخص SPI (Standard precipitation Index) در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه برای ایستگاه‌های مذکور محاسبه شد. به دلیل اینکه پایش رخداد خشکسالی در هر منطقه و در یک مقیاس زمانی مشخص برای برنامه‌ریزی هدفمند جهت استفاده از آب برای مصارف گوناگون (کشاورزی، شرب و...) ضروری است، لذا شدت و تداوم خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه در جداول ۴ تا ۶ منعکس شده است. در این جداول مقادیر DM، شاخص تجمعی تداوم (مجموع مقادیر SPI‌های منفی) و ADI که شدت متوسط خشکسالی می‌باشد، نیز محاسبه و ارائه شده است. برخی از یافته‌ها به شرح زیر است.

- کمترین مقدار SPI مشاهده شده در حوضه کارون بزرگ در مقیاس ۳ ماهه متعلق به آبادان (-۳/۱۸) و در مقیاس ۶ ماهه متعلق به بروجرد (-۳/۳۹) و در مقیاس ۱۲ ماهه مربوط به یاسوج (-۳/۲۹) است.

- شاخص SPI منفی در مقیاس زمانی ۳ ماهه دارای تعداد وقوع بیشتر اما تداوم کمتری است اما همین شاخص در مقیاس ۱۲ ماهه دارای تداوم بیشتر و تعداد دفعات وقوع کمتری است.

- طولانی‌ترین تداوم در مقیاس ۱۲ ماهه، ۷۰ ماه مربوط به ایستگاه بیجار و در داخل حوضه متعلق به بستان (۶۱)

جدول ۴- شدیدترین مقدار SPI، طولانی‌ترین و شدیدترین تداوم در مقیاس ۳ ماهه (۲۰۱۴-۱۹۸۷)

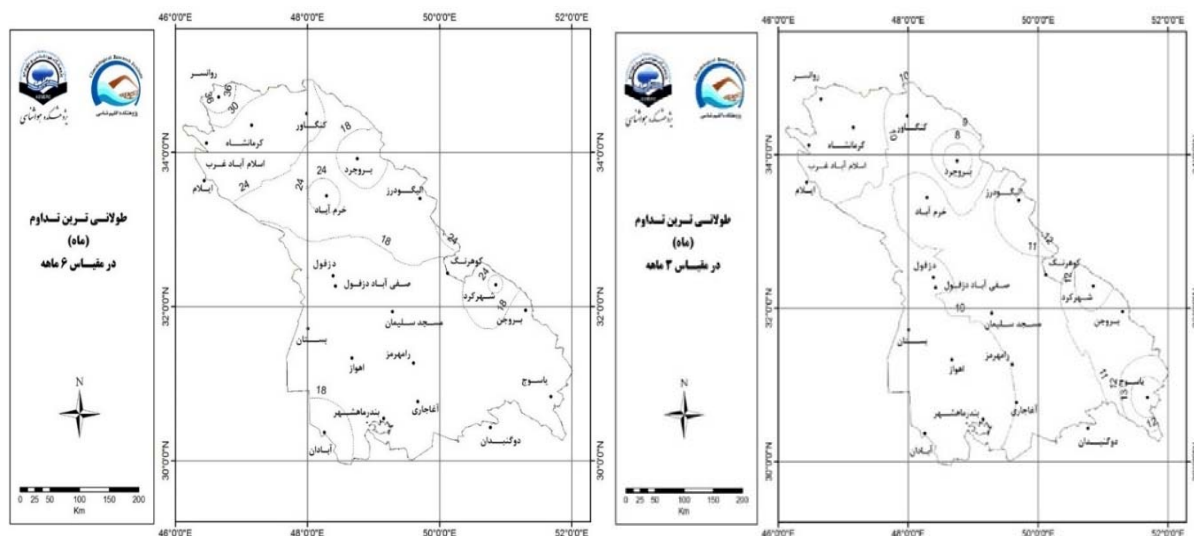
ردیف	نام ایستگاه	شدیدترین مقدار مشاهده شده			طولانی‌ترین تداوم (ماه)			شدیدترین تداوم از نظر بزرگی		
		سال	ماه	مقدار spi	تداوم ماه	DM	ADI	تداوم ماه	DM	ADI
۱	صفي آباد دزفول	۱۹۹۹	۶	-۲.۷۴	۱۰	-۱۱.۷۵	-۱.۱۸	۱۰	-۱۱.۷۵	-۱.۱۸
۲	دزفول	۲۰۰۹	۲	-۲.۸۳	۱۰	-۱۰.۳۱	-۱.۰۳	۱۰	-۱۰.۳۱	-۱.۰۳
۳	بستان	۲۰۱۳	۴	-۲.۹۹	۱۰	-۱۰.۳	-۱.۰۳	۱۰	-۱۰.۳	-۱.۰۳
۴	اهواز	۲۰۰۸	۴	-۲.۹۵	۱۰	-۱۲.۰۹	-۱.۲۱	۱۰	-۱۲.۰۹	-۱.۲۱
۵	مسجد سلیمان	۲۰۰۹	۲	-۲.۶۱	۱۰	-۱۰.۶۶	-۱.۰۷	۱۰	-۱۰.۶۶	-۱.۰۷
۶	رامهرمز	۱۹۹۸	۱۲	-۲.۹۵	۱۰	-۱۲.۶۴	-۱.۲۶	۱۰	-۱۲.۶۴	-۱.۲۶
۷	آبادان	۲۰۱۰	۱۲	-۳.۱۸	۹	-۷.۱۴	-۰.۷۹	۸	-۸.۸	-۱.۱۰
۸	ماهشهر	۲۰۰۰	۵	-۲.۳۵	۱۰	-۵.۲۶	-۰.۵۳	۹	-۸.۴۳	-۰.۹۴
۹	آغاچاری	۱۹۹۸	۱۲	-۲.۷۲	۱۰	-۱۲.۱۹	-۱.۲۲	۱۰	-۱۲.۱۹	-۱.۲۲
۱۰	بهبهان	۱۹۹۸	۱۲	-۲.۸۴	۱۰	-۱۰.۹۹	-۱.۱۰	۱۰	-۱۰.۹۹	-۱.۱۰
۱۱	ایذه	۲۰۰۰	۶	-۳.۱۴	۱۰	-۱۱.۴۹	-۱.۱۵	۱۰	-۱۱.۴۹	-۱.۱۵
۱۲	دوگنبدان	۲۰۰۰	۶	-۱.۸	۱۰	-۱۱.۴۹	-۱.۱۵	۱۰	-۱۱.۴۹	-۱.۱۵
۱۳	ياسوج	۲۰۰۰	۶	-۳.۱۵	۱۴	-۱۸.۱۶	-۱.۳۰	۱۴	-۱۸.۱۶	-۱.۳۰
۱۴	ایلام	۲۰۱۲	۱	-۲.۹۹	۱۰	-۱۵.۹۴	-۱.۵۹	۱۰	-۱۵.۹۴	-۱.۵۹
۱۵	دهلران	۲۰۰۹	۲	-۲.۹۲	۹	-۱۱.۴۲	-۱.۲۷	۹	-۱۱.۴۲	-۱.۲۷
۱۶	الیگودرز	۱۹۹۵	۱۱	-۳.۱۱	۱۲	-۷.۲۷	-۰.۶۱	۱۰	-۷.۲۶	-۰.۷۳
۱۷	بروجرد	۲۰۰۸	۵	-۲.۹۵	۷	-۷.۷۷	-۱.۱۱	۶	-۸.۲۴	-۱.۳۷
۱۸	خرم آباد	۲۰۰۸	۵	-۲.۴۵	۱۱	-۹.۸	-۰.۸۹	۹	-۱۰.۹۱	-۱.۲۱
۱۹	اصفهان	۱۹۹۴	۳	-۳.۰۵	۱۲	-۱۱.۲۲	-۰.۹۴	۹	-۱۵.۶۸	-۱.۷۴
۲۰	اصفهان فرودگاهی	۲۰۰۰	۵	-۳	۱۳	-۱۰.۶	-۰.۸۲	۱۱	-۱۳.۵۷	-۱.۲۳
۲۱	خوربیا بانک	۲۰۱۱	۱	-۲.۳	۹	-۶.۲۵	-۰.۶۹	۹	-۶.۲۵	-۰.۶۹
۲۲	داران	۲۰۰۰	۶	-۲.۷	۱۴	-۱۱.۷۶	-۰.۸۴	۱۱	-۱۲.۹۱	-۱.۱۷
۲۳	کاشان	۲۰۰۰	۵	-۲.۷۸	۱۱	-۹.۳۳	-۰.۸۵	۹	-۱۳.۶۳	-۱.۵۱
۲۴	کبوتر آباد	۲۰۰۰	۵	-۳.۱۲	۱۱	-۱۶.۰۴	-۱.۴۶	۱۱	-۱۶.۰۴	-۱.۴۶
۲۵	بروجن	۲۰۰۸	۳	-۳.۱	۱۱	-۱۶.۰۴	-۱.۴۶	۱۱	-۱۶.۰۴	-۱.۴۶
۲۶	شهر کرد	۲۰۰۸	۵	-۲.۹۸	۱۳	-۱۱.۹۸	-۰.۹۲	۱۲	-۱۴.۶۲	-۱.۲۲
۲۷	کوهرننگ	۲۰۰۰	۶	-۲.۹۷	۱۰	-۸.۲۶	-۰.۸۳	۸	-۱۱.۰۷	-۱.۳۸
۲۸	بیجار	۲۰۰۸	۵	-۲.۹۵	۱۴	-۹.۷۶	-۰.۷۰	۱۲	-۱۲.۷۶	-۱.۰۶
۲۹	زرنه	۲۰۰۸	۵	-۲.۶۵	۱۱	-۱۳.۷۹	-۱.۲۵	۱۱	-۱۳.۷۹	-۱.۲۵
۳۰	سقز	۲۰۰۸	۶	-۳.۱۱	۱۱	-۱۵.۷	-۱.۴۳	۱۱	-۱۵.۷	-۱.۴۳
۳۱	سنندج	۲۰۰۸	۵	-۲.۷۶	۱۲	-۸.۵۵	-۰.۷۱	۱۱	-۱۵.۷۷	-۱.۴۳
۳۲	اسلام آباد	۲۰۰۸	۵	-۳.۰۱	۱۱	-۹.۹۳	-۰.۹۰	۱۱	-۱۶.۱	-۱.۴۶
۳۳	روانسر	۲۰۱۲	۲	-۳.۰۹	۱۰	-۱۵.۶۹	-۱.۵۷	۱۰	-۱۵.۶۹	-۱.۵۷
۳۴	سرپل ذهاب	۲۰۰۸	۵	-۲.۵۹	۱۰	-۱۴.۹۵	-۱.۵۰	۱۰	-۱۴.۹۵	-۱.۵۰
۳۵	کرمانشاه	۲۰۰۸	۵	-۲.۹۷	۱۱	-۸.۸۷	-۰.۸۱	۱۰	-۱۶.۲۴	-۱.۶۲
۳۶	کنگاور	۲۰۰۸	۵	-۲.۶۵	۹	-۹.۱۴	-۱.۰۲	۹	-۹.۱۴	-۱.۰۲
۳۷	آباده	۲۰۰۸	۵	-۳.۲۱	۱۱	-۱۱.۷۲	-۱.۰۷	۱۰	-۱۵.۹۳	-۱.۵۹
۳۸	درودزن	۲۰۰۸	۵	-۳.۲۹	۱۰	-۱۳.۹۷	-۱.۴۰	۱۰	-۱۳.۹۷	-۱.۴۰
۳۹	شیراز	۲۰۰۸	۵	-۳.۲۸	۱۰	-۱۳.۷	-۱.۳۷	۱۰	-۱۳.۷	-۱.۳۷
۴۰	فسا	۲۰۰۰	۴	-۳.۵۴	۱۲	-۹.۳	-۰.۷۸	۱۲	-۹.۳	-۰.۷۸
۴۱	همدان	۲۰۱۳	۳	-۳.۴۶	۱۲	-۱۱	-۰.۹۲	۶	-۱۲.۴۴	-۲.۰۷
۴۲	همدان فرودگاهی	۲۰۱۳	۳	-۲.۹۶	۹	-۱۱.۱۴	-۱.۲۴	۹	-۱۱.۱۴	-۱.۲۴

جدول ۵- شدیدترین مقدار SPI، طولانی‌ترین و شدیدترین تداوم در مقیاس ۶ ماهه (۱۹۸۷-۲۰۱۴)

ردیف	نام ایستگاه	شدیدترین مقدار مشاهده شده			طولانی‌ترین تداوم (ماه)			شدیدترین تداوم از نظر بزرگی		
		سال	ماه	مقدار spi	تداوم ماه	DM	ADI	تداوم ماه	DM	ADI
۱	صفي آباد دزفول	۲۰۰۸	۷	-۲.۸۳	۱۶	-۲۰.۵۴	-۱.۲۸	۱۶	-۲۰.۵۴	-۱.۲۸
۲	دزفول	۲۰۰۸	۷	-۲.۵۶	۱۵	-۱۶.۶۷	-۱.۱۱	۱۰	-۱۷.۳۲	-۱.۷۳
۳	بستان	۲۰۰۸	۷	-۲.۴۶	۱۶	-۱۳.۶۷	-۰.۸۵	۱۴	-۱۵.۱۴	-۱.۰۸
۴	اهواز	۲۰۰۸	۷	-۳.۳۸	۱۳	-۱۲.۱۱	-۰.۹۳	۱۲	-۱۷.۲۵	-۱.۴۴
۵	مسجد سلیمان	۲۰۰۸	۷	-۲.۶۱	۱۵	-۱۹.۷۱	-۱.۳۱	۱۵	-۱۹.۷۱	-۱.۳۱
۶	راهپرز	۱۹۹۸	۱۲	-۲.۹۷	۱۵	-۱۶.۶۶	-۱.۱۱	۱۱	-۱۸.۳	-۱.۱۱
۷	آبادان	۲۰۱۰	۱۲	-۳.۰۲	۲۳	-۲۸.۰۹	-۱.۲۲	۱۱	-۱۸.۳	-۱.۲۲
۸	ماهشهر	۲۰۰۰	۸	-۲.۳۵	۱۵	-۱۴.۳۴	-۰.۹۶	۱۵	-۱۴.۳۴	-۰.۹۶
۹	آغاچاری	۱۹۹۸	۱۲	-۲.۷۶	۱۵	-۱۶.۰۵	-۱.۰۷	۱۵	-۱۶.۰۵	-۱.۰۷
۱۰	بیهان	۲۰۰۸	۷	-۲.۸۵	۱۴	-۱۵.۹۶	-۱.۱۴	۱۲	-۱۷.۲۴	-۱.۴۴
۱۱	ایذه	۱۹۹۸	۱۲	-۲.۴۴	۱۵	-۱۷.۰۹	-۱.۱۴	۱۵	-۱۷.۰۹	-۱.۱۴
۱۲	دوگنبدان	۱۹۹۳	۵	-۳.۵۳	۱۵	-۱۷.۰۹	-۱.۱۴	۱۵	-۱۷.۰۹	-۱.۱۴
۱۳	یاسوج	۱۹۹۳	۵	-۳.۰۸	۱۴	-۱۶.۸۸	-۱.۲۱	۱۲	-۲۴.۱۲	-۲.۰۱
۱۴	ایلام	۲۰۱۲	۱	-۲.۵۵	۲۶	-۲۶.۷	-۱.۰۳	۲۶	-۲۶.۷	-۱.۰۳
۱۵	دهلران	۲۰۰۸	۷	-۲.۵۲	۱۲	-۱۷.۸	-۱.۴۸	۱۲	-۱۷.۸	-۱.۴۸
۱۶	الیگودرز	۱۹۹۷	۲	-۲.۷۶	۲۳	-۲۳.۸۶	-۱.۰۴	۲۳	-۲۳.۸۶	-۱.۰۴
۱۷	بروجرد	۲۰۰۸	۸	-۳.۰۷	۱۲	-۱۳.۷	-۱.۱۴	۱۲	-۱۳.۷	-۱.۱۴
۱۸	خرم آباد	۲۰۰۸	۸	-۲.۴۸	۲۷	-۳۰.۱	-۱.۱۱	۲۷	-۳۰.۱	-۱.۱۱
۱۹	اصفهان	۱۹۹۴	۵	-۳.۶۱	۱۵	-۱۷	-۱.۱۳	۱۴	-۲۱.۷	-۱.۵۵
۲۰	اصفهان فرودگاهی	۲۰۰۰	۸	-۳	۱۷	-۱۳.۶۱	-۰.۸۰	۱۴	-۲۲.۱۶	-۱.۵۸
۲۱	خوربانبانک	۲۰۱۱	۱	-۲.۶۸	۱۶	-۱۵	-۰.۹۴	۱۳	-۱۷.۷۹	-۱.۳۷
۲۲	داران	۱۹۹۷	۲	-۳.۰۲	۳۵	-۳۶.۵	-۱.۰۴	۳۵	-۳۶.۵	-۱.۰۴
۲۳	کاشان	۲۰۰۰	۶	-۲.۹۶	۲۱	-۱۰.۹	-۰.۵۲	۹	-۱۷.۹۱	-۱.۹۹
۲۴	کبوتر آباد	۲۰۰۰	۸	-۳.۱۳	۱۴	-۱۹.۸	-۱.۴۱	۱۲	-۲۳.۱۵	-۱.۹۳
۲۵	بروجن	۲۰۰۸	۳	-۳.۳۹	۱۵	-۱۹.۸۳	-۱.۳۲	۱۲	-۲۷.۷۶	-۲.۳۱
۲۶	شهرکرد	۲۰۰۸	۸	-۲.۹۹	۲۵	-۳۰.۰۴	-۱.۲۰	۲۵	-۳۰.۰۴	-۱.۲۰
۲۷	کوهنرنگ	۲۰۰۰	۹	-۳.۰۵	۱۴	-۱۲.۶۱	-۰.۹۰	۱۳	-۱۷.۰۵	-۱.۳۱
۲۸	بیجار	۲۰۰۸	۸	-۳.۲۴	۳۸	-۳۰.۶	-۰.۸۱	۳۸	-۳۰.۶	-۰.۸۱
۲۹	زرنه	۲۰۰۸	۸	-۲.۴۱	۲۳	-۲۵.۴۴	-۱.۱۱	۲۳	-۲۵.۴۴	-۱.۱۱
۳۰	سقز	۱۹۹۰	۱۰	-۲.۷۶	۲۴	-۲۹.۳۵	-۱.۲۲	۲۴	-۲۹.۳۵	-۱.۲۲
۳۱	سنندج	۲۰۰۸	۸	-۲.۸۳	۴۲	-۴۰.۶۱	-۰.۹۷	۴۲	-۴۰.۶۱	-۰.۹۷
۳۲	اسلام آباد	۲۰۰۸	۸	-۲.۸۸	۲۶	-۲۵.۲۲	-۰.۹۷	۲۶	-۲۵.۲۲	-۰.۹۷
۳۳	روانسر	۲۰۰۸	۸	-۲.۸۶	۴۲	-۳۰.۸۴	-۰.۷۳	۴۲	-۳۰.۸۴	-۰.۷۳
۳۴	سرپل ذهاب	۲۰۱۲	۵	-۲.۶۷	۲۷	-۳۰.۸۵	-۱.۱۴	۲۷	-۳۰.۸۵	-۱.۱۴
۳۵	کرمانشاه	۲۰۰۸	۸	-۲.۹۵	۲۵	-۲۷.۶۴	-۱.۱۱	۲۵	-۲۷.۶۴	-۱.۱۱
۳۶	کنگاور	۲۰۰۸	۸	-۲.۶۹	۲۶	-۲۶.۵۵	-۱.۰۲	۲۶	-۲۶.۵۵	-۱.۰۲
۳۷	آباده	۲۰۰۸	۸	-۳.۲۵	۱۵	-۱۵.۱۷	-۱.۰۱	۱۱	-۲۳.۳۱	-۲.۱۲
۳۸	درودزن	۲۰۰۸	۸	-۳.۲۸	۱۳	-۱۴.۲۳	-۱.۰۹	۱۲	-۲۲.۰۷	-۱.۸۴
۳۹	شیراز	۲۰۰۸	۸	-۳.۲۹	۱۲	-۲۰.۴۲	-۱.۷۰	۱۲	-۲۰.۴۲	-۱.۷۰
۴۰	فسا	۲۰۰۰	۷	-۳.۵۴	۱۲	-۱۳.۸۳	-۱.۱۵	۱۲	-۱۳.۸۳	-۱.۱۵
۴۱	همدان	۲۰۱۳	۶	-۲.۹۹	۱۵	-۲۱.۱۴	-۱.۴۱	۱۵	-۲۱.۱۴	-۱.۴۱
۴۲	همدان فرودگاهی	۲۰۰۸	۸	-۲.۶۷	۲۰	-۱۴.۹۱	-۰.۷۵	۱۲	-۱۶.۸۷	-۱.۴۱

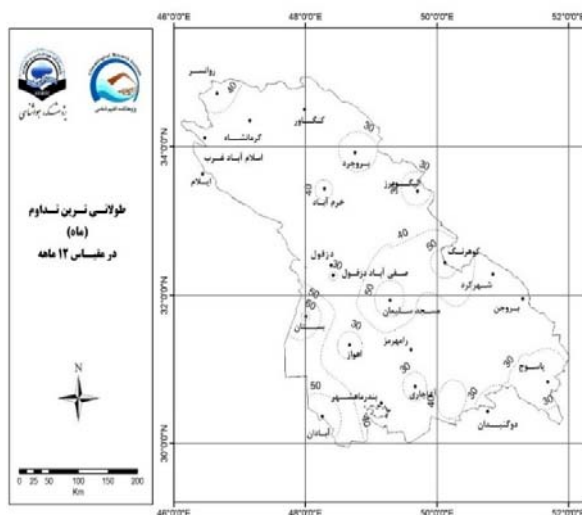
جدول ۶- شدیدترین مقدار SPI، طولانی‌ترین و شدیدترین تداوم در مقیاس ۱۲ ماهه (۱۹۸۷-۲۰۱۴)

ردیف	نام ایستگاه	شدیدترین مقدار مشاهده شده			طولانی‌ترین تداوم (ماه)			شدیدترین تداوم از نظر بزرگی		
		سال	ماه	مقدار spi	تداوم ماه	DM	ADI	تداوم ماه	DM	ADI
۱	صفي آباد دزفول	۲۰۰۸	۵	-۲.۲۴	۲۹	-۴۰.۵	-۱.۴۰	۲۹	-۴۰.۵	-۱.۴۰
۲	دزفول	۲۰۱۲	۳	-۲.۲۶	۳۳	-۳۷.۳۲	-۱.۱۳	۲۸	-۳۸.۸۶	-۱.۳۹
۳	بستان	۲۰۰۹	۱	-۲.۲۶	۶۱	-۶۴.۰۷	-۱.۰۵	۶۱	-۶۴.۰۷	-۱.۰۵
۴	اهواز	۱۹۹۵	۱۱	-۲.۴۴	۲۵	-۳۹.۹	-۱.۶۰	۲۵	-۳۹.۹	-۱.۶۰
۵	مسجد سلیمان	۲۰۰۹	۱	-۲.۶۲	۶۰	-۶۵.۰۸	-۱.۰۸	۶۰	-۶۵.۰۸	-۱.۰۸
۶	راهپهروز	۲۰۰۹	۱	-۲.۲۱	۳۰	-۳۸.۶۲	-۱.۲۹	۳۰	-۳۸.۶۲	-۱.۲۹
۷	آبادان	۲۰۱۰	۱۲	-۲.۷۱	۵۸	-۷۵.۴	-۱.۳۰	۵۸	-۷۵.۴	-۱.۳۰
۸	ماهشهر	۲۰۱۰	۱۲	-۲.۸۱	۳۵	-۳۶.۱۹	-۱.۰۳	۳۵	-۳۶.۱۹	-۱.۰۳
۹	آغاچاری	۲۰۱۰	۱۲	-۲.۳۵	۲۶	-۳۲.۴۲	-۱.۲۵	۲۶	-۳۲.۴۲	-۱.۲۵
۱۰	بیهان	۲۰۰۹	۱	-۳.۲۶	۴۷	-۵۳.۰۴	-۱.۱۳	۴۷	-۵۳.۰۴	-۱.۱۳
۱۱	ایذه	۲۰۰۹	۱	-۲.۰۲	۳۷	-۲۸.۴۶	-۰.۷۷	۲۵	-۳۰.۵۶	-۰.۷۷
۱۲	دوگنبدان	۱۹۹۳	۷	-۳.۸۱	۲۳	-۵۱.۷	-۲.۲۵	۲۳	-۵۱.۷	-۲.۲۵
۱۳	ياسوج	۱۹۹۳	۷	-۳.۲۹	۲۳	-۳۷.۷	-۱.۶۴	۲۳	-۳۷.۷	-۱.۶۴
۱۴	ایلام	۲۰۰۸	۴	-۲.۶۵	۳۱	-۵۱.۳	-۱.۶۵	۳۱	-۵۱.۳	-۱.۶۵
۱۵	دهلران	۲۰۱۲	۳	-۲.۱۹	۳۲	-۳۸.۰۳	-۱.۱۹	۳۲	-۳۸.۰۳	-۱.۱۹
۱۶	الیگودرز	۱۹۹۵	۱۲	-۲.۵	۲۷	-۲۹.۲۷	-۱.۰۸	۲۲	-۲۹.۹۲	-۱.۳۶
۱۷	بروجرد	۲۰۰۹	۲	-۲.۲۴	۲۶	-۱۸.۵	-۰.۷۱	۲۵	-۳۱.۲۴	-۱.۲۵
۱۸	خرم آباد	۲۰۱۲	۳	-۲	۴۱	-۳۶.۵۴	-۰.۸۹	۴۱	-۳۶.۵۴	-۰.۸۹
۱۹	اصفهان	۲۰۰۹	۱	-۲.۵	۳۲	-۳۱.۳	-۰.۹۸	۳۲	-۳۱.۳	-۰.۹۸
۲۰	اصفهان فرودگاهی	۲۰۰۹	۱	-۲.۷۵	۲۲	-۳۱.۵	-۱.۴۳	۲۲	-۳۱.۵	-۱.۴۳
۲۱	خوربایانک	۲۰۱۱	۳	-۲.۴۴	۳۵	-۳۴.۵۸	-۰.۹۹	۳۵	-۳۴.۵۸	-۰.۹۹
۲۲	داران	۲۰۰۹	۱	-۲.۴۳	۳۵	-۴۶.۲۹	-۱.۳۲	۳۵	-۴۶.۲۹	-۱.۳۲
۲۳	کاشان	۲۰۰۰	۴	-۲.۴۱	۴۴	-۳۹.۶۶	-۰.۹۰	۴۴	-۳۹.۶۶	-۰.۹۰
۲۴	کبوتر آباد	۲۰۰۸	۹	-۲.۹۵	۲۵	-۳۷.۸	-۱.۵۱	۲۵	-۳۷.۸	-۱.۵۱
۲۵	بروجن	۲۰۰۸	۶	-۳.۲۷	۳۴	-۳۳.۰۳	-۰.۹۷	۲۴	-۴۱.۶۹	-۱.۷۴
۲۶	شهرکرد	۲۰۰۹	۱	-۲.۶۵	۳۷	-۴۸.۱۷	-۱.۳۰	۳۷	-۴۸.۱۷	-۱.۳۰
۲۷	کوهرنک	۲۰۰۹	۱	-۲.۷۴	۵۷	-۴۱.۵۲	-۰.۷۳	۵۷	-۴۱.۵۲	-۰.۷۳
۲۸	بیجار	۲۰۰۱	۱۲	-۲.۸۱	۷۰	-۷۲.۷۹	-۱.۰۴	۷۰	-۷۲.۷۹	-۱.۰۴
۲۹	زرنه	۲۰۰۸	۱۲	-۲.۲۸	۴۰	-۴۴.۷	-۱.۱۲	۴۰	-۴۴.۷	-۱.۱۲
۳۰	سقز	۲۰۰۰	۲	-۲.۱۹	۳۹	-۴۹.۹	-۱.۲۸	۳۹	-۴۹.۹	-۱.۲۸
۳۱	سنندج	۲۰۰۸	۷	-۲.۱۲	۴۰	-۵۰.۳	-۱.۲۶	۴۰	-۵۰.۳	-۱.۲۶
۳۲	اسلام آباد	۲۰۰۸	۴	-۲.۶۴	۳۷	-۴۵.۰۹	-۱.۲۲	۳۷	-۴۵.۰۹	-۱.۲۲
۳۳	روانسر	۲۰۱۲	۱۰	-۲.۶۶	۴۴	-۴۱.۴۷	-۰.۹۴	۴۴	-۴۱.۴۷	-۰.۹۴
۳۴	سرپل ذهاب	۲۰۰۰	۲	-۲.۴۶	۳۸	-۴۴.۳۹	-۱.۱۷	۳۸	-۴۴.۳۹	-۱.۱۷
۳۵	کرمانشاه	۲۰۰۸	۶	-۳	۳۳	-۳۸.۶۲	-۱.۱۷	۳۳	-۳۸.۶۲	-۱.۱۷
۳۶	کنگاور	۲۰۰۹	۱	-۲.۲۲	۳۹	-۳۵.۱۱	-۰.۹۰	۳۹	-۳۵.۱۱	-۰.۹۰
۳۷	آباده	۲۰۰۸	۸	-۲.۷۱	۳۹	-۳۵.۱۱	-۰.۹۰	۳۹	-۳۵.۱۱	-۰.۹۰
۳۸	درودزن	۲۰۰۹	۱	-۳.۱۴	۴۷	-۵۵.۷۶	-۱.۱۹	۴۷	-۵۵.۷۶	-۱.۱۹
۳۹	شیراز	۲۰۰۹	۱	-۳.۲۴	۵۹	-۶۴.۳۹	-۱.۰۹	۵۹	-۶۴.۳۹	-۱.۰۹
۴۰	فسا	۲۰۰۹	۱	-۲.۹۴	۳۷	-۲۶.۷۱	-۰.۷۲	۲۴	-۳۰.۹۱	-۱.۲۹
۴۱	همدان	۲۰۱۳	۱۱	-۳.۱۱	۲۷	-۳۹.۰۳	-۱.۴۵	۲۷	-۳۹.۰۳	-۱.۴۵
۴۲	همدان فرودگاهی	۱۹۹۹	۵	-۲.۴	۳۶	-۲۵.۹	-۰.۷۲	۲۵	-۳۰.۳۳	-۱.۲۱



شکل ۴- طولانی‌ترین تعداد در مقیاس ۶ ماهه حوضه کارون بزرگ طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۷ میلادی

شکل ۳- طولانی‌ترین تعداد (ماه) خشکسالی در مقیاس ۳ ماهه حوضه کارون بزرگ طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۷ میلادی



شکل ۵- طولانی‌ترین تعداد در مقیاس ۱۲ ماهه حوضه کارون بزرگ طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۷ میلادی

شرق و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه از شدت بیشتری برخوردار است، در حالی که در تداوم ۱۲ ماهه در جنوب شرق (دوگنبدان) و جنوب غرب به مراتب شدت خشکسالی‌ها بیشتر از سایر مناطق است، مناطق مرتفع شرایط ملایم‌تری را نشان می‌دهد.

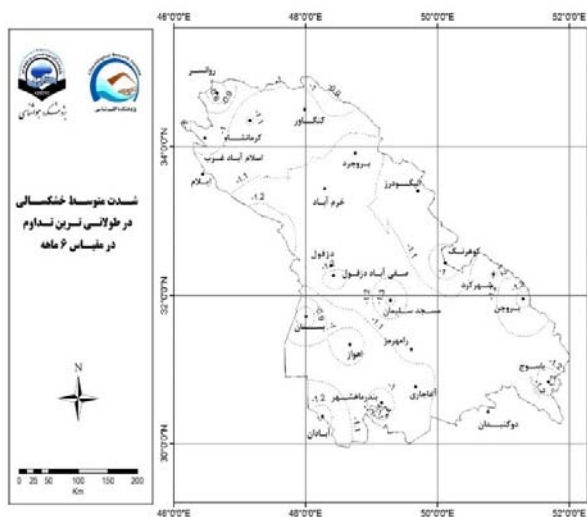
نتایج حاصل از بررسی تداوم خشکسالی‌ها با نتایج فتاحی (۱۳۸۶) در تحلیل منحنی‌های شدت-مدت و فراوانی خشکسالی (ایستگاه‌های برگزیده جنوب غرب

نقشه‌های شدت متوسط خشکسالی (شاخص ADI) مربوط به طولانی‌ترین تداوم خشکسالی در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه حوضه کارون بزرگ در شکل‌های ۶ تا ۸ آورده شده‌اند. این شکل‌ها بیانگر وقوع خشکسالی‌های ملایم تا شدید در حوضه طی این تداوم‌ها است.

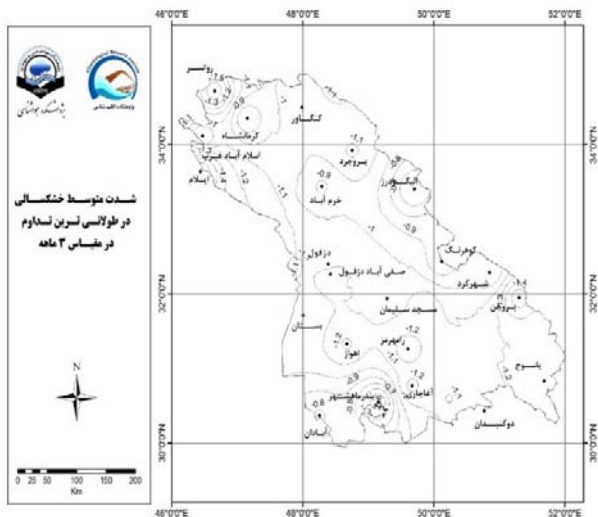
بررسی این نقشه‌ها حاکی از آن است که وقوع خشکسالی‌ها در طولانی‌ترین تداوم سه ماهه در شمال غرب، جنوب شرق و در تداوم ۶ ماهه در شرق، جنوب

نقشه هم شدت خشکسالی در مطالعه مذکور نشان می‌دهد که وقوع خشکسالی‌های شدید در بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی حوضه کارون از شدت بیشتری برخوردار است که با نتایج تحقیق حاضر اندکی متفاوت است.

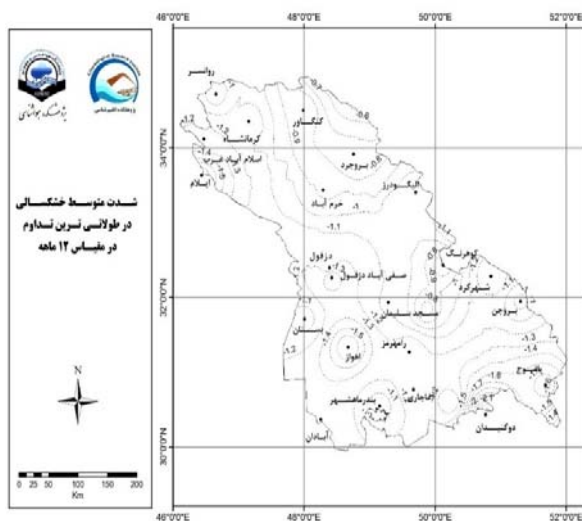
ایران) مشابهت دارد. در مطالعه مذکور از شاخص SPI به منظور تحلیل ویژگی‌های خشکسالی از قبیل شدت، تداوم و بزرگی استفاده و منحنی‌های شدت، تداوم و دوره‌ی بازگشت‌های خشکسالی برای ایستگاه‌های منتخب جنوب غرب ایران استخراج شده است. بررسی



شکل ۷- شدت متوسط خشکسالی در طولانی‌ترین تداوم در مقیاس ۶ ماهه حوضه کارون بزرگ طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۷ میلادی



شکل ۶- شدت متوسط خشکسالی در طولانی‌ترین تداوم در مقیاس ۳ ماهه حوضه کارون بزرگ طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۷ میلادی



شکل ۸- شدت متوسط خشکسالی در طولانی‌ترین تداوم در مقیاس ۱۲ ماهه حوضه کارون بزرگ طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۷ میلادی

نتیجه گیری

نتایج حاکی از گستردگی تداوم خشکسالی و شدت خشکسالی‌ها در سطح حوضه مورد مطالعه است و تمرکز بیشتر شدت‌های خشکسالی‌ها (شدیدترین خشکسالی‌ها) در منطقه‌ای خاص از حوضه واقع در شرق و جنوب شرق و مرکز آن است. طولانی‌ترین تداوم دوره خشکسالی‌های منطقه در مقیاس ۱۲ ماهه از حداقل ۲۳ ماه در ایستگاه یاسوج تا حداکثر ۶۱ ماه در ایستگاه بستان در نوسان است. بررسی شدیدترین خشکسالی‌های سطح کارون بزرگ در طی دوره آماری بیانگر وجود دوره‌های زمانی بسیار خشک در مناطق مختلف است به طوری که کمتر منطقه‌ای در سطح حوضه را می‌توان یافت که طی دوره آماری حداقل دچار یک یا چند خشکسالی بسیار شدید نشده باشد. بنابراین وجود یک مدیریت هدفمند در سوق دادن مدیریت بحران خشکسالی به سمت مدیریت پیش‌آگاهی بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

- ۱- اختری، ر.، م. ح. مهدیان و س. مرید، ۱۳۸۵، تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی SPI و EDI در استان تهران، تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۳، صص. ۲۷-۳۸.
- ۲- بانزاد، ح.، ح. زارع ابیانه، م. ه. نظری فر و ع. ا. سبزی پرور، ۱۳۸۵، به کارگیری شاخص استاندارد بارش SPI با روش‌های زمین آماری در تحلیل خشکسالی‌های هواشناسی استان همدان، تابستان ۱۳۸۵، دوره ۶، شماره ۲.
- ۳- خلیلی، ع. و ج. بذرافشان، ۱۳۸۵، ارزیابی دوره بازگشت و ریسک تداوم خشکسالی با استفاده از داده‌های بارندگی سالانه در ایستگاه‌های قدیمی ایران، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب.
- ۴- سیدان، ج. و ف. محمدی، ۱۳۷۶، روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی، فصلنامه تحقیقات جغرافیا، شماره ۴۵، صص. ۱۰۹-۷۴.

۵- فرج زاده، م.، ع. موحد دانش و ه. قائمی، ۱۳۷۴، خشکسالی در ایران، مجله دانش کشاورزی، جلد ۵، شماره‌های ۱ و ۲، دانشگاه تبریز.

۶- فرج زاده، م.، ۱۳۷۹، خشکسالی در ایران با استفاده از برخی شاخص‌های آماری، مجله دانش کشاورزی، جلد ۵، شماره‌های ۱ و ۲، دانشگاه تبریز.

۷- فتاحی، ا. و ع. صداقت کردار، ۱۳۸۶، تحلیل منحنی‌های شدت - مدت و فراوانی خشکسالی مطالعه موردی: ایستگاه‌های برگزیده جنوب غرب ایران، نشریه جغرافیا و توسعه، دوره ۵، شماره پیاپی ۹، صص. ۷۷ تا ۹۰.

۸- مصطفی‌زاده، ر.، م. شهابی و م. ذبیحی، ۱۳۹۴، تحلیل خشکسالی هواشناسی در استان کردستان با استفاده از مدل نمودار سه متغیره، نشریه آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۱۷، صص. ۱۴۰-۱۲۹.

۹- نساجی زواره، م. و م. صانعی، ۱۳۸۰، تعیین دوره خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی راهکارهای مقابله با بحران آب زابل، صص. ۲۴۶-۲۳۵.

۱۰- یزدانی، م.، س. چاوشی، م. خداقلی و ب. ثقفیان، ۱۳۸۴، بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان اصفهان نشریه علمی پژوهشی آب و آبخیز، سال اول شماره ۴، صص. ۵۱-۴۱.

11- Bordi, I. S, P. Frigio, A. Parenti, A. Speranze and Sutera, 2001, The analysis of Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area (part I), <http://www.phys.uniroma1.it/index.html>

12- Bronini, O., H. S. Pinto, J. Jr. Zullo, M. T. Barbano, M. B. Camargo, R. R. Alfonsi, G. C. Blain, Jr. Pedro & G. Q. Pellegrino, 2001, Drought Quantification and Preparedness in Brazil- the Example of Sao Paulo State.

13- Guttman, N. B., 1998, Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index, J. of Am. Water Resources Association, 34: 113-121

- wet periods in Greece, *J. of Hydrological science*, 45(5): 751-768.
- 18- McKee, T. B., N. J. Doesken & J. Kleist, 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales, In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22): 179-183.
- 19- McKee, T. B., N. J. Doesken & J. Kleist, 1997, The Relationship of drought frequency and duration to time scales, *Preprints 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 Jan., Anaheim, CA. pp. 379-384.
- 20- Williams. J., 2000, *Drought*, Vol.1, pp. 168-177.
- 14- Hasanpur Kashani, M. & Y. Dinpajooh, 2012, Evaluation of efficiency of different estimation methods or missing climatological data, *J. of stochastic environment research risk assessment*, 26: 59-71.
- 15- Hayes, M. J., M. D. Svoboda, D. A. Wilhite & O. V. Vanyarkho, 1999, Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index, *Bulletin of the American Meteorological society*, 80 (3): 429-437.
- 16- Mishra, A. & V. P. Singh, 2010, A review of drought concepts, *J. of Hydrology*, 391: 202-216.
- 17- Nicolas. R., A. L. Dalezios & L. Vasilides, 2001, Severity-duration-frequency analysis of droughts and