جغرافیا(فصلنامه علمی ـ پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیایی ایران)

سال نوزدهم، شماره 68، بهار 1400

واکاوی دقت شاخص‌های خشکسالی و تعیین بهترین شاخص اقلیمی در جنوب شرق ایران

زهرا حجازی زاده[1]، فرشاد پژوه[2]، هانیه شکیبا[3]

تاریخ وصول: 1397/02/17، تاریخ تأیید: 1399/07/24

چکیده

خشکسالی از مخرب‌ترین رویدادهای آب و هوایی هستند که باعث خسارت‌های قابل‌توجهی هم در بخش منابع طبیعی و هم در زندگی انسان‌ها می‌شوند. هدف از این پژوهش مقایسه کارآیی شاخص‌های خشکسالی و شناسایی بهترین شاخص در منطقه جنوب شرق ایران است. بدین منظور با استفاده از داده‌های بارش روزانه 30 ساله(2014- 1985) از سازمان هواشناسی کشور و با استفاده از 8 شاخص پرکاربرد بارش استاندارد، ناهنجاری بارندگی، درصد از نرمال، معیار بارندگی سالانه، نیچه، نمره استاندارد، دهک و z چینی در 19 ایستگاه هواشناسی استان‌های کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان دقت هر یک از شاخص‌ها در تعیین شدت خشکسالی موردبررسی قرارگرفته است. پهنه‌بندی نیز در نرم‌افزار ARC GIS 9,3 برای خشک‌ترین سال طی دوره آماری و مقایسه رده خشکسالی بسیار شدید دو شاخص انتخابی صورت گرفته است. دقت هر یک از شاخص‌ها در مقیاس ماهانه و سالانه مورد واکاوی قرار گرفت. در مقیاس سالانه از سنجه کارآمد تقارن سال وقوع کمینه بارندگی با خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه‌های منطقه استفاده‌شده است. نتایج نشان داد که در مقیاس ماهانه جهت بررسی خشکسالی جنوب شرق کشور شاخص دینامیک بارش استاندارد(SPI) در بازه زمانی 6 و 12 ماهه بهترین عملکرد را داشته است؛ اما در مقیاس سالانه شاخص‌های ناهنجاری بارندگی(RAI) و دهک‌ها(DI) در همه ایستگاه‌ها کمینه مقدار بارندگی را با خشکسالی بسیار شدید نشان داده بودند که به‌عنوان بهترین شاخص شناخته شدند. شاخص نیچه نیز ضعیف‌ترین عملکرد را در تعیین شدت خشکسالی در ایستگاه‌های جنوب شرق ایران داشته است.

کلیدواژگان: خشکسالی، نمایه RAI و DI، بارندگی، پهنه‌بندی، جنوب شرق ایران

1- استاد گروه آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

2- فرشاد پژوه، دکتری تخصصی آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، نویسنده مسئول، ایمیل: farshad.pazhooh44@gmail.com.

3- دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

مقدمه

خشکسالی یکی از بلایای طبیعی می‌باشد که خسارات زیادی به زندگی انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌کند و با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله تفاوت‌هایی دارد. عمده‌ی این تفاوت‌ها در تأثیر تدریجی خشکسالی طی یک دوره‌ی نسبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی تأثیر آن می‌باشد. از طرف دیگر نبود تعریف دقیق و قابل‌قبول جهانی از خشکسالی به پیچیدگی و سردرگمی این پدیده افزوده است(زارع و محبوبی، ۱۳۸۳،۶۲). در کل خشکسالی عبارت است از کاهش غیرمنتظره‌ی بارش در مدتی معین در منطقه‌ای که لزوماً خشک نیست(علیجانی و کاویانی،۱۱۷، ۱۳۹۰). و یا کاهش بارش نسبت به میانگین درازمدت اطلاق می‌گردد(فرج زاده، ۱۳۸۶، ۲۵). ایران یکی از کشورهایی است که در کمربند بیابانی کره‌ی زمین قرار دارد و در برخی سالها از خشکسالی و در بعضی دیگر از سال‌ها از ترسالی آسیب می‌پذیرد. با استفاده از شاخص‌ها و ابزارهای تحلیل متعددی که وجود دارد تلاش می‌شود سیستم‌های پایش خشکسالی با استفاده از این شاخص‌ها طراحی گردند و اطلاعاتی که از آن‌ها استخراج می‌شود بیانگر عملیات مقابله با خشکسالی و زمان شروع آن‌ها می‌باشد. شاخص‌هایی که بیشتر در این خصوص به‌کاربرده می‌شوند، عبارت‌اند از: شاخص درصد از نرمال(PN)، شاخص خشکسالی مؤثر(EDI)، شاخص بارش استاندارد(SPI)، شاخص(Z(CZI و شاخص دهک(DI). در تحقیقات اقلیمی، خشکسالی یکی از موضوعاتی است که به‌طور گسترده موردبررسی قرارگرفته است، زیرا خشکسالی به‌طور مستقیم جوامع را از طریق تغییرات در فراوانی یا قابلیت دسترسی به مواد غذایی، منابع آب و ذخایر انرژی تحت تأثیر قرار می‌دهد، همچنین اثرات مستقیم بر محیط‌زیست دارد(کریمی، ۱۳۷۷،۱۲۷). خشکسالی را می‌توان به چهار گروه عمده هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی تقسیم نمود. در خشکسالی هواشناسی، کمبود میزان بارندگی نسبت به میانگین برای یک منطقه برآورد می‌شود که کمبودهای بارندگی از یک مقدار مشخص، مانند درصدهای کاهش از میانگین درازمدت، نیز قابل‌بررسی خواهد بود. در خشکسالی هیدرولوژیکی، وضعیت درازمدت جریان‌های رودخانه‌ای، آب‌های زیرزمینی و یا دیگر منابع بررسی می‌شود. درحالی‌که در خشکسالی های کشاورزی، ذخیره رطوبتی خاک در طول فصل رشد بررسی می‌شود. طبیعتاً یافته‌های علمی هر یک از خشکسالی های فوق در بررسی اقتصادی- اجتماعی به کار گرفته می‌شود. از کریمی و همکاران(۱۳۸۰) مطالعات متعددی تاکنون در مورد خشکسالی ها صورت گرفته است.

مک کی و همکاران به مطالعه‌ی آن با استفاده از ضرایب همبستگی بین دو نمایه بارش استاندارد و پالمر در مقیاس‌های زمانی متعدد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این دو شاخص حداکثر همبستگی را در مقیاس زمانی نزدیک به ۱۲ ماه دارند که در این مقیاس ضریب همبستگی نزدیک به ۰/۹۰ و کمترین همبستگی مربوط به مقیاس زمانی ۲۴ ماه است(Mckee et at, 1995). دوپینگی گیروکس معتقد است که نمایه خشکسالی SPI بهتر از نمایه‌های رطوبت محصول و پالمر اصلاح‌شده، در مقیاس‌های زمانی کوچک تا متوسط عمل می‌کنند (Doupingy-Girux, 2001). مطالعات مشابهی نیز توسط امپلاسوکا در کشور استرالیا صورت گرفته است((Mpelasoka et at, 2008. تغییرپذیری خشکسالی و اثر آب و هوایی آن نیز توسط بوردی و سوترا انجام پذیرفته است (Bordi & Sutera,2004). وانگلیس و همکاران با استفاده از روش عکس مجذور فاصله، نقشه بارندگی ماهانه و نقشه‌ی درصد نرمال متوسط بارندگی سالانه را ترسیم و سپس با این اطلاعات، نقشه‌ی توزیع مکانی شاخص SPI را برای دوره آماری یکساله ۶۵-۱۹۶۴ تهیه کردند(Vangelis et at , 2013). غلام و همکاران در مطالعه‌ای به ارزیابی روش‌های زمین‌آمار برای تحلیل مکانی شاخص بارش استانداردشده و شاخص خشکسالی مؤثر پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ عادی، روشی مناسب برای تحلیل مکانی شاخص مؤثر خشکسالی می باشد(Gholam et at, 2011). طبری اقدام به ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص هیدرولوژیکی(SDI) در شمال غرب ایران

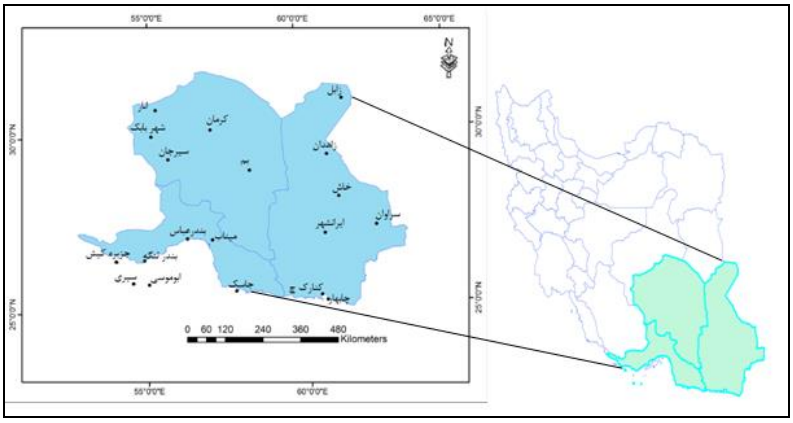
کردند که نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که تقریباً تمام ایستگاه‌ها از خشکسالی شدید رنج می‌برند (Tabari et at, 2013). نیکبخت به تجزیه‌وتحلیل شدت خشکسالی هیدرولوژیکی با درصد شاخص نرمال در شمال غرب ایران پرداختند که نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که شدیدترین خشکسالی هیدرولوژیکی در تمامی ایستگاه‌ها در سالهای ۲۰۰۰-۱۹۹۹ و ۲۰۰۲-۲۰۰۱ رخ‌داده است و شدت خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص PNI در طول ۳۴ سال گذشته افزایش‌یافته است(Nikbakht et at, 2013).

خلیلی و بذرافشان(۱۳۸۲) نمایه‌های خشکسالی هواشناسی را موردبررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که نمایه‌های دهک‌های بارندگی (DPI) و نمایه معیار بارندگی سالانه(SIAP) بهترین کاربرد را برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی در ایران دارند. انصافی مقدم(۱۳۸۶) در مطالعه‌ای به ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک پرداخت. نتایج نشان داد که شاخص SPI و دهک‌ها در جایگاه نخست، شاخص ZSI در جایگاه دوم و شاخص درصد نرمال در جایگاه سوم قرار می‌گیرد. حسینی و همکاران(۱۳۹۱) به پایش خشکسالی‌های شهرستان سقز با استفاده از شاخص‌های درصد از نرمال(PNPI)، دهک‌ها(DI)، توزیع استاندارد(Z)، میانگین متحرک(MA)، تفاضل درصدی بارش و ناهنجاری‌های بارندگی(RAI)، در دوره آماری ۳۰ ساله(۲۰۱۰-۱۹۸۱) پرداختند نتایج حاصل از بررسی آنان نشان داد خشکسالی شدید و بسیار شدید در طول دوره آماری موردبررسی در منطقه روی نداده است و خشکسالی ضعیف با ۶۳ درصد و خشکسالی متوسط با ۳۷ درصد، بیشتر خشکسالی‌های منطقه را در برمی‌گیرند و معمولاً تداوم یک تا دوساله دارند. ناصرزاده و احمدی(۱۳۹۱) به بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه‌بندی آن در استان قزوین پرداختند. نتایج حاکی از آن است که شاخص z و شاخص بارندگی استانداردشده در نشان دادن خشکسالی شدید، عملکرد بهتری دارند. همچنین شاخص‌ها دهک‌ها با توجه به عملکرد مناسب در مشخص کردن خشکسالی شدید، دارای اندکی مبالغه در نمایش خشکسالی شدید می‌باشد. صالحوند و همکاران(۱۳۹۲) به پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های(SPI، PNI، DI، CZI، ZSI) در استان خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد ضرایب همبستگی ایستگاه‌های این استان، مقادیر نسبتاً بالای دارند و سالهای ۱۹۹۵ و ۲۰۱۰ خشک‌ترین سال‌ها بودند. بهشتی راد(۱۳۹۲) به بررسی کارایی روش‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی در استان کرمان پرداختند. نتایج نشان داد که روش کریجینگ از سه روش کریجینگ، کوکرکریجینگ و معکوس فاصله از عملکرد مناسب‌تری برخوردار است. همچنین شدیدترین خشکسالی ها در سالهای ۱۳۶۷، ۱۳۷۲، ۱۳۷۹، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴ اتفاق افتاده است. بروغنی و همکاران(۱۳۹۲) به تحلیل ارتباط خشکسالی های هیدرولوژیکی و اقلیمی دشت سبزوار با استفاده از شاخص‌های SWI و SPI پرداختند. نتایج حاکی از آن است که خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیکی از نظم خاصی تبعیت نمی‌کند و بیش‌ترین شدت و فراوانی خشکسالی در غرب دشت سبزوار بوده است. شرق دشت از شرایط نرمال و ترسالی برخوردار بوده و خشکسالی هیدروژئولوژیکی با یک سال تأخیر نسبت به خشکسالی اقلیمی اتفاق می‌افتد. حسینی و همکاران(۱۳۹۳) با استفاده از روش تحلیل داده‌های بارندگی و شاخص‌های درصد از نرمال(PNPI)، دهک‌ها(DI)،توزیع استاندارد(Z score)،بارش استاندارد(SPI)وناهنجاری‌های بارندگی(RAI)، خشکسالی‌های شهرستان مریوان در دوره آماری ۲۱ ساله(۲۰۱۲-۱۹۹۲) موردبررسی قراردادند. نتایج حاصل نشان داد که روند بارش سالانه با استفاده از روش رگرسیون خطی و پولی نومیال یک‌روند کاهشی نسبتاً شدید در منطقه بوده است و خشکسالی‌های با شدت خیلی زیاد و شدید فقط یک‌بار در طول دوره آماری موردبررسی به ترتیب در سال‌های(۲۰۰۸ و ۱۹۹۹) روی‌داده است و حدود ۸۰ درصد خشکسالی منطقه نیز در حد ضعیف و متوسط بوده‌اند. بیشترین تداوم خشکسالی نیز مربوط به دوره(۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲) یعنی حدود ۶ سال اخیر بارش کمتر از میانگین بلندمدت بوده است. با توجه به پیشینه اشاره‌شده تاکنون کاری گسترده و در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از شاخص‌های مختلف و در قالب تحلیل زمانی و مکانی و تعیین بهترین شاخص که هدف این

تحقیق را تشکیل می‌دهد صورت نگرفته است. ازاین‌رو این پژوهش سعی در ارائه‌ی یک الگوی واکاوی شدت و مدت خشکسالی و تحلیل زمانی و مکانی آن برای شناسایی مناطق حساس و آسیب‌پذیر مناطق موردمطالعه در مقابل خشکسالی دارد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه موردبررسی در این تحقیق شامل استان‌های هرمزگان، کرمان و سیستان و بلوچستان است که در محدوده‌ی ۲۵ تا ۳۴ درجه عرض شمالی و ۴۹ تا ۵۹,۵ درجه طول شرقی واقع‌شده است. این منطقه از شمال به استان خراسان جنوبی و یزد، از جنوب به دریای عمان، از شرق به کشور افغانستان و پاکستان و از غرب نیز به فارس ختم می‌شود. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در شکل ۱ نشان داده‌شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

داده‌ها و روش‌ها

برای انجام این تحقیق ابتدا آمار بارش روزانه ۳۰ سال اخیر(۲۰۱۴–۱۹۸۵) و در ۲۰ ایستگاه واقع در استان‌های کرمان، هرمزگان و سیستان و بلوچستان از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. سپس در بررسی درستی و همگنی داده‌های آماری، دو روش آزمون منحنی جرم مضاعف و آزمون توالی مورداستفاده قرارگرفته و در کلیه ایستگاه‌های منطقه اعمال‌شده است. جهت بازسازی نواقص آماری با استفاده از آمار ایستگاه‌های موجود در اطراف ایستگاه ناقص، همبستگی بین ایستگاه‌ها و روش نسبت نرمال(انتخاب ایستگاه‌هایی که دارای شرایط جغرافیایی و اقلیمی یکسان با ایستگاه ناقص هستند) یک ماتریس تشکیل و سپس معنی‌داری نتایج در سطح ۱٪ و ۵٪ آزمایش شدند(پیری و همکاران، ۱۳۹۲).

نمایه‌های خشکسالی هواشناسی

به‌منظور واکاوی خشکسالی از تعدادی نمایه‌ها برای مشخص کردن وضعیت این پدیده در منطقه موردمطالعه استفاده می‌شود. این نمایه‌ها ترکیبی از پارامترهای مختلف هستند که بر ویژگی‌های خشکسالی شامل فراوانی، شدت، گستره و دوره تداوم تأثیر می‌گذارند. نمایه‌هایی که جهت پایش خشکسالی منطقه‌ی جنوب شرق ایران در این پژوهش استفاده‌شده شامل: شاخص معیار بارش سالانه،(SIAP)، بارندگی استاندارد(SPI)، نمره‌استاندارد(ZSI)، دهک‌ها(DI)، درصدی از نرمال(PNPI)، ناهنجاری بارندگی(RAI)، نیچه و Z چینی است که به دلیل افزایش تعداد صفحات مقاله از بیان جزئیات نحوه محاسبه شاخص های ذکر شده خودداری گردید. جدول ۱ طبقات مختلف نمایه‌های خشکسالی را نشان می‌دهد.

جدول ۱: طبقات خشکسالی و ترسالی نمایه‌های انتخابی در تحقیق

رده	RAI	ZSI	SIAP	SPI	PNPI	DI	CZI
۱	بیشتر از ۳	۲≥	۱,۲۸>	۲و بیشتر	۱۶۰≥	۹۰≥	۲≥
۲	۲/۱ تا ۳	۱/۵ تا۱/۹۹	۰/۸۴ تا ۱/۲۸	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱۴۵ تا ۱۶۰ درصد	۸۰ تا ۹۰ درصد	۱/۵ تا ۱/۹۹
۳	۱/۲ تا ۲/۱	۰/۹۹ تا۱/۴۹	۰/۵۲ تا ۰/۸۴	۱ تا ۱/۴۹	۱۳۰ تا ۱۴۵ درصد	۷۰ تا ۸۰ درصد	۰/۹۹ تا ۱/۴۹
۴	۱/۲– تا۱/۲	۰,۹۹ تا۰,۹۹–	۰/۵۲ تا ۰/۵۲–	۰/۹۹– تا ۰/۹۹	۷۰ تا ۱۳۰ درصد	۳۰ تا ۷۰درصد	۰/۹۹ تا ۰/۹۹–
۵	۱/۲– تا۲/۱–	۱– تا۱/۴۹–	۰/۵۲– تا ۰/۸۴–	۱–تا ۱/۴۹–	۵۵تا۷۰درصد	۲۰تا۳۰درصد	۱– تا ۱/۴۹–
۶	۲/۱– تا ۳	۱/۵– تا ۱/۹۹–	۰/۸۴– تا ۱/۲۸–	۱/۵– تا ۱/۹۹–	۴۰ تا ۵۵ درصد	۱۰ تا ۲۰ درصد	۱/۵–تا۱/۹۹–
۷	۳–>	۳–≤	۱,۲۸–>	۲– و کمتر	٪۴۰ >	٪۱۰>	۲–≤

توضیح: ۱: ترسالی بسیار شدید،۲: ترسالی شدید، ۳: ترسالی متوسط، ۴:نرمال، ۵: خشکسالی متوسط، ۶:خشکسالی شدید، ۷:خشکسالی بسیار شدید

نتایج و بحث

شاخص ZSI

اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است. و در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه استفاده می‌شود. بدین‌جهت بررسی کارآیی نمایه‌ها در دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه موردبررسی قرار گرفتند. در نمایه ZSI همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد امکان استفاده از این نمایه برای بررسی خشکسالی در ماههای سرد و مرطوب سال وجود دارد. اما در ماههای خشک به دلیل تشابه اعداد و برخورد با عدد صفر توانایی پایش خشکسالی را ندارد. در بیشتر سال‌های دوره آماری طی ماههای کم باران(خرداد تا شهریور) خشکسالی بسیار شدید را نشان داده که حاکی از ضعف شاخص در بررسی خشکسالی در فصول گرم سال می‌باشد؛ اما در ماههای پرباران(فصل زمستان) توانسته است تمامی رده‌های خشکسالی و ترسالی را نشان دهد که نشان از کارایی شاخص در فصول مرطوب سال است.

شاخص بارش استانداردشده(SPI)

شاخص SPI نمایه‌ای است که بر اساس احتمال بارش در هر بازه زمانی محاسبه می‌شود و در این مطالعه برای بازه‌های زمانی مختلف(۳، ۶، ۱۲، ماهه) بررسی‌شده است. شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس آمار بارش بلندمدت در یک دوره آماری معین محاسبه می‌شود. این نمایه انعطاف بیشتری را در بررسی ویژگی‌های مختلف خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه از خود نشان داد. شاخص SPI خصوصاً در مقیاس‌های زمانی پائین(۱ و ۳ ماهه)، با داده‌های صفر با مشکل محاسبه مواجه می‌شود طبق جدول ۴ در ماه کم بارش اوت(۱۰ مرداد تا ۹ شهریورماه) در مقیاس ۳ ماهه در بیشتر سالهای دوره آماری با اعداد مشابه و نزدیک به صفر مواجه است که به دلیل افت بارندگی در ماههای گرم و خشک‌سال توانایی ارزیابی و مقایسه ایستگاه‌ها ازنظر شدت خشکسالی وجود ندارد. در ماههای گرم از خرداد تا شهریور در این مقیاس در بیشتر سال‌های موردبررسی یک رده خشکسالی با اعداد منفی و مثبت نزدیک به صفر را نمایش می‌دهد و در محاسبه خشکسالی/ترسالی با مشکل مواجه می‌شود. برای ماه می(۱۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد ماه) مقیاس ۳ ماهه عملکرد بهتری را نشان داده است که به دلیل رخداد بارندگی و عدم وقوع بارندگی صفر، رده‌های مختلف را به‌خوبی تعیین کرده است؛ اما در مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه در ماههای مختلف سال و حتی ماههای خشک و کم بارش که با عدم بارش روبه‌رو هستیم، توانایی ارزیابی و مقایسه شدت خشکسالی در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد. در واقع در این مقیاس زمانی شاخص SPI با در نظر گرفتن میانگین شرایط خشکسالی و ترسالی ماههای گذشته در هر سال، مشکل برخورد با داده های صفر و شرایط غیر واقعی خشکسالی را بر طرف می کند. طبق جدول ۵ ملاحظه می‌شود که در سالهای آماری موردبررسی تمامی رده‌های مختلف خشکسالی/ ترسالی در مقیاس ۶ و

۱۲ ماهه را در ماه اوت و می نشان داده است. به دلیل عملکرد بهتر مقیاس‌های ذکرشده از ارائه سایر بازه زمانی مختلف شاخص SPI خودداری گردید.

شاخص دهک بارندگی(DI)

این نمایه وقوع بارندگی‌های طولانی‌مدت را در دهم‌هایی از توزیع نرمال تقسیم کرده و هر یک از این گروه‌ها را یک دهک می‌نامند(انصافی مقدم،۱۳۸۶، ۲۸۶). با توجه به اینکه نمایه دهک‌های بارندگی مقدار معینی را برای واکاوی شدت خشکسالی محاسبه نمی‌کند و فقط طبقه‌بندی مقادیر بارش را انجام می‌دهد، تعیین بیشینه شدت خشکسالی در منطقه امکان‌پذیر نیست؛ بالأخص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که اکثر ماه‌های سال با عدم وقوع بارندگی مواجه هستند؛ بنابراین از روی فراوانی ماه‌هایی که یک سال معین در هر دهک قرار داده است می‌توان سال یا سالهایی که خشکسالی بسیار شدیدی را تجربه نموده‌اند، مشخص کرد. با توجه به جدول ۳ در ماه جولای که در بیشتر سال‌های دوره آماری با عدم بارندگی مواجه هستیم، نمایه دهک بارندگی قادر به نمایش رده‌های مختلف خشکسالی را در طی سالهای دوره آماری نداشته و نوع آن را در سال‌های موردبررسی در وضعیت نرمال نشان داده است(جدول ۳).

شاخص درصد از نرمال بارندگی(PNPI)

درصد نرمال بارندگی یکی از ساده‌ترین شاخص‌های خشکسالی است. این امر سبب شده است تا محققین زیادی، از آن استفاده نمایند. در این شاخص از پارامتر میانگین در تحلیل خشکسالی استفاده می‌شود. واحد زمانی ارزیابی این شاخص ماهانه و سالانه است. در ایستگاه‌های مناطق مرطوب که در تمام سال و به‌ویژه ماههای خشک با رخداد بارندگی روبه‌رو هستند همچون نوار شمالی کشور، امکان استفاده از این نمایه جهت پایش و مقایسه سال‌های آماری و تمامی ماه‌ها ازلحاظ شدت خشکسالی وجود دارد؛ اما در ایستگاه‌های نواحی خشک شرق و جنوب شرقی ایران طبق جدول ۳ به دلیل عدم وقوع بارندگی و ثبت داده‌های صفر در اکثر سال‌های دوره آماری، وضعیت خشکسالی را به‌صورت بسیار شدید نشان داده است. جدول ۳ نمونه از ماه کم بارش جولای(۱۱ تیر تا ۱۰ مرداد) را برای سال‌های منتخب بر اساس شاخص‌های موردنظر برای ایستگاه بندرعباس نشان می‌دهد. همان‌طور دیده می‌شود امکان تفکیک وضعیت‌های مختلف خشکسالی در مقیاس ماهانه در فصول گرم بر اساس این شاخص وجود ندارد. جدول ۲ نیز مقادیر شاخص درصد از نرمال را برای ایستگاه بندرعباس نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در ماههای گرم سال در بیشتر سال‌های آماری مقادیر صفر دیده می‌شود. در بعضی از سال‌ها نیز به دلیل نفوذ سامانه‌های مونسون از سمت کشور پاکستان و هند بارندگی‌های تابستانه رخ می‌دهد؛ که شرایط را به‌صورت ترسالی بسیار شدید نمایش داده است. این وضعیت در ماههای پرباران سال دیده نمی‌شود به‌نحوی‌که نوع خشکسالی و ترسالی را با توجه به شرایط واقعی ایستگاه‌ها نشان داده است. چنین شرایطی در مقیاس سالانه در ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه مشاهده نشد.

شاخص ناهنجاری بارندگی(RAI)

در این نمایه نیز در ماه‌های گرم و کم باران سال وضعیت یکنواختی را از شدت خشکسالی نشان می‌دهد(جدول ۳). درحالی‌که برای ماه پرباران ژانویه طبق جدول ۳ رده‌های مختلف خشکسالی و ترسالی را نمایش داده است و قابلیت مقایسه سال‌های آماری ازنظر شدت خشکسالی وجود دارد. همان‌طور که دیده می‌شود در مقایسه با نمایه SPI ۶ و ۱۲ ماهه که توانسته‌اند وضعیت‌های مختلف را در هرسال به‌خوبی تعیین کنند، این نمایه قادر به بررسی خشکسالی در ماه‌های کم باران سال نمی‌باشد. در مقابل هم به علت کاهش شدید باران در فصل گرم سال با رخداد ۱ میلی‌متر بارندگی، وضعیت ترسالی بسیار شدید را نشان می‌دهد که حاکی از عدم توانایی در بررسی ماه‌های کم باران سال توسط این نمایه است. کمینه شاخص RAI در مقیاس ماهانه در فصل گرم سال در تمام ایستگاه‌ها تحت مطالعه صفر

است، که نشانگر عدم وقوع بارندگی در این ماه‌های سال است. درواقع کثرت مقادیر صفر سبب شباهت سال‌های آماری ازنظر شدت خشکسالی گردیده است.

شاخص نیچه(NICHE)

در این نمایه ابتدا با استفاده از معادلات روش نیچه(معادله ۲)، ابتدا آستانه ترسالی، خشکسالی و نرمال بودن برای هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی محاسبه گردید، سپس تفکیک سال‌های مرطوب، خشک و نرمال تعیین شد. در این تحقیق به‌منظور بررسی پدیده خشکسالی و ترسالی نمایه نیچه به دلیل نیاز آماری کمتر و سهولت محاسبات، روشی ساده برای رسیدن به اهداف است؛ اما ازآنجایی‌که تنها به تفکیک خشکسالی، ترسالی و بارش نرمال می‌پردازد و به‌شدت وقوع توجهی ندارد، کارایی کمتری را از خود نشان داده و درواقع ضعیف‌ترین نمایه موردبررسی می‌باشد. در مقیاس ماهانه و در فصل گرم در کل دوره آماری در ایستگاه‌های منطقه وضعیت را به‌صورت خشکسالی نشان داده است و در سایر فصول نیز به‌صورت نرمال یا ترسالی بدون در نظر گرفتن مقدار آن نمایش داده است.

شاخص Z چینی(CZI)

در این شاخص نیز جهت بررسی کارآیی در دو مقیاس ماهیانه و سالیانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی ماهانه(جدول ۳) نشان داد که در ماههای گرم سال در همه ایستگاه‌های موردبررسی به علت کاهش شدید بارش و نبود بارش در بسیاری از سال‌های آماری شرایط را به‌صورت یکسان نرمال و خشکسالی بسیار شدید نمایش داده است. در حالی در ماههای مرطوب و پربارش سال از عملکرد خوبی برخوردار بوده و شرایط متفاوت در سالهای مختلف را نشان داده است.

شاخص معیار بارندگی سالانه(SIAP)

اساس محاسبه شاخص معیار بارش سالانه، انحراف داده های بارندگی از نرمال می‌باشد. علاوه بر میانگین انحراف معیار را نیز مدنظر قرار می‌دهد. مقیاس زمانی محاسبه شاخص SIAP سالانه بوده، اما در اینجا در مقیاس زمانی ماهانه نیز استفاده گردیده است. نمایه معیار بارندگی سالانه نیز ازلحاظ عملکرد همانند نمایه‌های ناهنجاری بارندگی سالانه و درصد از نرمال بارندگی می‌باشد به صورتی که با رسیدن به فصل گرم و خشک‌سال و قطع بارندگی‌ها شدت خشکسالی را بیش‌ازحد نشان داده و به‌صورت یکسان برای هر سه سال نمونه وضعیت خشکسالی بسیار شدید را نشان داده است؛ اما این نتایج در نمایه SPI ۶ و ۱۲ ماهه دیده نمی‌شود به‌نحوی‌که این نمایه‌ها به‌خوبی توانسته‌اند رده‌های مختلف از شدت خشکسالی را به نمایش بگذارند. در ماه ژانویه برای سال‌های منتخب در منطقه نیز شبیه نمایه ناهنجاری بارندگی سالانه و دهک بهترین عملکرد را در میان نمایه‌های موردبررسی برای ماه‌های پرباران داشته است.

جدول ۲: مقادیر ماهانه و سالانه نمایه درصد از نرمال بارندگی ایستگاه بندرعباس طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴

سال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	سالانه
۱۹۸۵	۴۱	۰	۵	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸۵	۲۷
۱۹۸۶	۰	۷۶	۲۶	۱۷۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹	۲۴۱	۷۴
۱۹۸۷	۱	۱۱	۳۷۴	۵۹	۰	۲۱۳	۰	۰	۱۵۹	۰	۰	۱۳	۹۶
۱۹۸۸	۷۳	۳۸۸	۰	۴۱۴	۰	۰	۱۹	۲۵۹	۰	۰	۰	۳۶	۱۲۶
۱۹۸۹	۱۵	۸۸	۱۱۰	۱۵۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۱۸	۴۱۸	۱۵۸
۱۹۹۰	۲۹	۲۹۰	۳	۳۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۸۴
۱۹۹۱	۷۴	۲۲۶	۱۹۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۶	۱۴۸
۱۹۹۲	۲۶۹	۲۳۷	۴	۳۲	۲۳۴	۰	۰	۲۵۹	۰	۰	۹۲	۵۵۳	۲۲۷
۱۹۹۳	۷۱	۵۱۹	۰	۴	۰	۰	۰	۵۱۷	۰	۰	۰	۶۹	۱۴۹

۱۹۹۴	۲۰	۰	۳۳	۳۹	۸۱۸	۰	۰	۶۷۲	۰	۰	۱۰۷	۲	۲۰
۱۹۹۵	۱	۳۸	۱۰۵	۲۹۰	۰	۲۱۳	۲۶۹	۰	۰	۶۰۰	۰	۴۰۲	۱۵۵
۱۹۹۶	۲۳۸	۱۵۴	۴۴۳	۱۸۹	۰	۲۱	۰	۰	۰	۱۰۹	۰	۲۳	۲۱۱
۱۹۹۷	۱۴۱	۳	۴۱۶	۵۹	۳۹۰	۰	۰	۰	۰	۱۶۸	۲۱۴	۹۶	۲۱۶
۱۹۹۸	۳۵۵	۹۸	۷۴	۱۵۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱۳۰
۱۹۹۹	۱۴۶	۷۸	۳۷	۰	۰	۰	۰	۳۱۰	۰	۰	۱۳۶	۰	۶۷
۲۰۰۰	۴۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۱۷	۰	۰	۱۸۴	۱۳۰	۱۲۹
۲۰۰۱	۸۸	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۴۱	۲۹
۲۰۰۲	۶۹	۱۱۲	۱۰	۲۴	۰	۰	۰	۷۸	۰	۰	۵۷۱	۲۰	۶۸
۲۰۰۳	۴۹	۳۳	۴۸	۹۳	۰	۰	۰	۱۲۹	۰	۰	۰	۸۵	۵۰
۲۰۰۴	۵۳	۰	۰	۲	۰	۰	۸۴	۲۵۹	۰	۰	۰	۱۵۵	۴۳
۲۰۰۵	۱۵۷	۱۴۰	۹۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۳
۲۰۰۶	۰	۸۶	۱۶۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹	۲۰۱	۹۶
۲۰۰۷	۸۲	۶۳	۰	۲۲	۰	۲۵۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۲
۲۰۰۸	۲۲۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷۹	۰	۰	۰	۵۵	۲۳	۶۱
۲۰۰۹	۹۱	۰	۳۳۵	۱۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹	۹۰	۱۲۱
۲۰۱۰	۵	۳۸	۱۳	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷	۱۵
۲۰۱۱	۶۶	۱۸۷	۰	۸	۰	۰	۰	۰	۰	۵۷۵	۱۸۶	۰	۸۴
۲۰۱۲	۰	۴۲	۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸	۵۱۹	۱۳۰	۵۴
۲۰۱۳	۲	۳۶	۱	۷۳۶	۰	۰	۰	۱۴۲۱	۰	۰	۱۶۷	۰	۳۸
۲۰۱۴	۲۴۰	۵۸	۴۹۳	۶۳	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸	۲	۰	۱۹۰

جدول ۳: مقایسه نمونه‌ای از ماه کم بارش و پربارش نمایه‌های موردبررسی در ایستگاه بندرعباس طی سالهای منتخب

جولای	CZI	DI	PNPI	SIAP	RAI	SPI3	SPI6	SPI12	ZSI
۲۰۰۰	نرمال	نرمال	خ ب شدید	خ ب شدید	خ ب شدید	نرمال	خ شدید	خ متوسط	نرمال
۲۰۰۶	نرمال	نرمال	خ ب شدید	خ ب شدید	خ ب شدید	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال
۲۰۱۳	نرمال	نرمال	خ ب شدید	خ ب شدید	خ ب شدید	نرمال	خ متوسط	نرمال	نرمال
ژانویه	CZI	DI	PNPI	SIAP	RAI	SPI3	SPI6	SPI12	ZSI
۱۹۹۶	ت متوسط	ت شدید	ت ب شدید	ت متوسط	ت شدید	ت شدید	ت شدید	ت شدید	ت متوسط
۲۰۰۲	نرمال	نرمال	خ متوسط	خ متوسط	خ متوسط	نرمال	نرمال	خ شدید	نرمال
۲۰۱۴	ت متوسط	ت شدید	ت ب شدید	ت متوسط	ت متوسط	نرمال	نرمال	نرمال	ت متوسط

جدول ۴ مقادیر شاخص بارش استاندارد را برای بازه‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در دو ماه پربارش آوریل و کم بارش جولای طی دوره آماری ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. در مقیاس زمانی ۳ ماه در ماه جولای در بیشتر سال‌های موردبررسی اعداد مثبت و نزدیک به صفر ثبت‌شده است؛ اما در مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه مقادیر کاملاً متفاوت می‌باشد که حاکی از توان بالای شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های ذکرشده در تشخیص نوع شدت خشکسالی و ترسالی در ماههای خشک و گرم سال است. امکان مقایسه سال‌های آماری نیز در مقیاس ۳ ماهه ازنظر شدت خشکسالی در ایستگاه‌های منطقه موردبررسی وجود ندارد؛ اما در ماه پر بارش آوریل بازه ۳ ماهه از عملکرد بهتری در تشخیص شرایط حاکم در منطقه برخوردار است. در مقایسه بین بازه‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه نیز در هر دو ماه منتخب

بازه ۱۲ ماهه کارآیی بهتری در واکاوی شدت خشکسالی از خود نشان داده است. درمجموع مقیاس‌های زمانی کمتر از ۶ ماه و بیشتر از ۱۲ ماه در شناسایی شدت خشکسالی و ترسالی عملکرد ضعیفی را نشان داده‌اند.

جدول ۴: محاسبه نمایه بارش استاندارد در مقیاس ۳،۶، ۱۲ ماهه در ایستگاه بندرعباس دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ برای ماه آوریل و جولای

MONTH-۷				MONTH-۴			
SPI۱۲	SPI۶	SPI۳	Year	SPI۱۲	SPI۶	SPI۳	Year
-	-۱,۴۳	۰,۳۴	۱۹۸۵	-	-	-۱,۲۲	۱۹۸۵
-۰,۹۷	-۰,۰۹	۰,۲۴	۱۹۸۶	-۰,۹۳	-۰,۸۶	-۰,۰۳	۱۹۸۶
۰,۷	۰,۹۷	۰,۶۸	۱۹۸۷	۰,۶۹	۰,۷۷	۰,۹۷	۱۹۸۷
۰,۴۸	۱,۰۶	۰,۴۸	۱۹۸۸	۰,۴۸	۰,۵۴	۱,۰۶	۱۹۸۸
-۰,۵	۰,۴۱	۱,۰۹	۱۹۸۹	-۰,۵۲	-۰,۴۶	۰,۳۹	۱۹۸۹
۱,۲۴	۰,۷۶	۰,۳۴	۱۹۹۰	۱,۲۵	۱,۳۱	۰,۷۷	۱۹۹۰
۰,۴	۱,۰۲	۰,۳۴	۱۹۹۱	۰,۴	۰,۴۷	۱,۰۲	۱۹۹۱
۰,۸۹	۰,۴۶	۰,۵۹	۱۹۹۲	۰,۸۸	۰,۹۶	۰,۴۸	۱۹۹۲
۱,۷۹	۱,۲۴	۰,۳۴	۱۹۹۳	۱,۷۶	۱,۸۴	۱,۲۴	۱۹۹۳
-۱,۴۷	-۰,۷۴	۰,۸۶	۱۹۹۴	-۱,۴۷	-۱,۴۵	-۰,۶۹	۱۹۹۴
-۰,۴۶	۰,۵۲	۲,۶۱	۱۹۹۵	-۰,۸۲	-۰,۸۲	۰,۲۵	۱۹۹۵
۲,۲۶	۱,۵۱	۰,۴۳	۱۹۹۶	۲,۳۵	۲,۱۵	۱,۴۹	۱۹۹۶
۰,۷۷	۱,۰۶	۰,۶۸	۱۹۹۷	۰,۷۵	۰,۷۸	۱,۰۶	۱۹۹۷
۱,۵۱	۰,۲۵	۰,۳۴	۱۹۹۸	۱,۴۹	۰,۹۸	۰,۲۹	۱۹۹۸
-۰,۵۵	-۰,۱۵	۰,۳۴	۱۹۹۹	-۰,۵۲	-۰,۴۵	-۰,۱	۱۹۹۹
۰,۲۱	-۱,۸۳	۰,۳۴	۲۰۰۰	۰,۲۱	۰,۲۸	-۱,۵	۲۰۰۰
-۰,۷۵	-۱,۷۶	۰,۳۴	۲۰۰۱	-۰,۷۳	-۰,۶۸	-۱,۴۵	۲۰۰۱
-۰,۷۶	-۰,۱	۰,۳۴	۲۰۰۲	-۰,۷۳	-۰,۶۶	-۰,۰۴	۲۰۰۲
-۰,۶۷	-۰,۲۹	۰,۳۴	۲۰۰۳	-۰,۶۵	-۰,۵۸	-۰,۲۲	۲۰۰۳
-۱,۴۵	-۱,۶۴	۰,۶۶	۲۰۰۴	-۱,۴۳	-۱,۳۷	-۱,۴۸	۲۰۰۴
۰,۴۹	۰,۴۴	۰,۳۴	۲۰۰۵	۰,۵	۰,۵۶	۰,۴۷	۲۰۰۵
-۰,۶۴	۰,۴۸	۰,۳۴	۲۰۰۶	-۰,۶۱	-۰,۵۴	۰,۵۱	۲۰۰۶
-۰,۱۸	-۰,۲۷	۱,۷۳	۲۰۰۷	-۰,۳	-۰,۲۲	-۰,۴۴	۲۰۰۷
-۰,۷	-۱,۴۱	۰,۹۷	۲۰۰۸	-۰,۵۵	-۰,۶۴	-۱,۵	۲۰۰۸
۰,۳۲	۰,۸۴	۰,۳۴	۲۰۰۹	۰,۳۵	۰,۴	۰,۸۵	۲۰۰۹
-۱,۴۱	-۰,۶۴	۰,۳۴	۲۰۱۰	-۱,۳۷	-۱,۳	-۰,۵۴	۲۰۱۰
-۰,۵۹	۰,۲۱	۰,۳۴	۲۰۱۱	-۰,۵۷	-۰,۵	۰,۲۵	۲۰۱۱
-۱,۱۸	-۰,۶۵	۰,۳۴	۲۰۱۲	-۱,۱۵	-۱,۸۳	-۰,۵۵	۲۰۱۲
-۰,۳	-۰,۰۴	۰,۳۴	۲۰۱۳	-۰,۲۹	-۰,۲۲	۰,۰۱	۲۰۱۳
۱,۳۵	۱,۳۸	۰,۳۴	۲۰۱۴	۱,۳۳	۱,۴۱	۱,۳۷	۲۰۱۴

به‌منظور بررسی انتخاب بهترین شاخص توصیفگر ابتدا محاسبات کلیه شاخص‌ها در مقیاس ماهانه انجام و سپس این محاسبات به مقیاس مشترک سالانه تبدیل گردید. در پاسخ به این سؤال که برای ارزیابی شدت خشکسالی در یک منطقه کدام شاخص دقیق‌تر و گویاتر است بر اساس الگوی تحقیقاتی ارزیابی کار آیی چند نمایه هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی ایران(خلیلی و بذرافشان،۱۳۸۲) از یک فرضیه به‌عنوان سنجه کارآمد برای پایش خشکسالی استفاده شد. در این فرضیه کمینه مقدار بارندگی طی یک دوره بلندمدت اقلیمی منعکس‌کننده خشکسالی هواشناسی بسیار

شدید یا شدیدی است که در منطقه تحت بررسی اتفاق افتاده است(انصافی مقدم،۱۳۸۶). جدول ۵ و ۶ به ترتیب کمینه و بیشینه مقدار بارندگی و سال وقوع آن را به همراه پایش وضعیت جوی از دیدگاه شاخص‌های خشکسالی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول شاخص RAI و DI بهترین عملکرد جهت پایش خشکسالی هواشناسی را در مقیاس سالانه نشان دادند. به عبارتی در همه‌ی ایستگاه‌ها کمینه مقدار بارندگی ۳۰ ساله با خشکسالی بسیار شدید در این دو شاخص انطباق داشت. شاخص PNPI نیز تنها در ایستگاه ایرانشهر و بم کمینه میزان بارندگی را با خشکسالی شدید نشان داده است که باعث شده در رتبه دوم جای گیرد. ضعیف‌ترین عملکرد هم به شاخص نیچه تعلق داشت که در همه ایستگاه‌ها کمینه بارندگی را به‌عنوان خشکسالی بدون توجه به میزان شدت خشکسالی در نظر گرفته بود. نکته جالب‌توجه اینکه در واکاوی تقارن سال‌های وقوع بیشینه مقدار بارندگی با ترسالی بسیار شدید نیز نمایه‌های RAI و DI از بهترین کار آیی جهت پایش ترسالی‌های منطقه برخوردار بودند. ملاحظه می‌شود که شاخص SPI و SIAP در بررسی وضعیت خشکسالی عملکردی شبیه به هم را داشته‌اند. شاخص SPI نیز که در بیشتر تحقیقات مورداستفاده محققین هست عملکرد ضعیف‌تری را نسبت به نمایه‌های RAI و DI داشته است و بعد از شاخص PNPI در رتبه سوم قرارگرفته است.

جدول ۵: تقارن سال وقوع کمینه بارندگی با خشکسالی‌های بسیار شدید هواشناسی در جنوب شرق ایران

ایستگاه	سال وقوع کمینه	بارش	NICHE	DI	PNPI	CZI	SIAP	ZSI	SPI	RAI
سیرجان	۱۹۸۷	۳۷,۷	۱	۴	۴	۳	۴	۳	۳	۴
جزیره ابوموسی	۱۹۹۴	۱۲	۱	۴	۴	۳	۴	۲	۴	۴
جزیره سیری	۱۹۹۴	۶,۵	۱	۴	۴	۴	۳	۲	۴	۴
جاسک	۲۰۰۰	۱۶,۴	۱	۴	۴	۴	۳	۲	۳	۴
خاش	۲۰۰۰	۴۰	۱	۴	۴	۳	۴	۲	۳	۴
میناب	۲۰۰۱	۳۰,۳	۱	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۴
چابهار	۲۰۰۱	۰,۷	۱	۴	۴	۴	۳	۲	۴	۴
ایرانشهر	۲۰۰۱	۶,۳	۱	۴	۳	۳	۴	۳	۴	۴
کنارک چابهار	۲۰۰۱	۲,۵	۱	۴	۴	۳	۴	۲	۴	۴
سراوان	۲۰۰۱	۷,۵	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
زاهدان	۲۰۰۱	۱۸,۳	۱	۴	۴	۳	۳	۲	۴	۴
بندرعباس	۲۰۱۰	۲۴,۳	۱	۴	۴	۳	۴	۲	۴	۴
بندرلنگه	۲۰۱۰	۱۷,۷	۱	۴	۴	۳	۳	۲	۳	۴
جزیره کیش	۲۰۱۰	۲۸,۹	۱	۴	۴	۳	۴	۲	۴	۴
انار	۲۰۱۰	۷,۱	۱	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۴
بم	۲۰۱۰	۱۴,۶	۱	۴	۳	۳	۴	۳	۳	۴
کرمان	۲۰۱۰	۴۱,۲	۱	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۴
شهربابک	۲۰۱۰	۲۰,۷	۱	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۴
زابل	۲۰۱۰	۶,۸	۱	۴	۴	۳	۴	۲	۴	۴
مجموع بیشتر نشانگر برتری شاخص			۱۹	۷۶	۷۴	۶۵	۷۱	۴۷	۷۱	۷۶
رتبه شاخص			۶	۱	۲	۴	۳	۵	۳	۱

توضیح: ۱: خشکسالی، ۲: خشکسالی متوسط، ۳: خشکسالی شدید، ۴: خشکسالی بسیار شدید

جدول ۶: تقارن سال وقوع بیشینه بارندگی با ترسالی‌های بسیار شدید هواشناسی در جنوب شرق ایران

نام ایستگاه	سال وقوع بیشینه	بارش	NICHE	DI	PNPI	CZI	SIAP	ZSI	SPI	RAI
بندرعباس	۱۹۹۲	۳۷۵٫۷	۱	۴	۴	۳	۴	۴	۳	۴
بندرلنگه	۱۹۹۵	۴۰۲٫۷	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
جاسک	۱۹۹۵	۵۳۳٫۲	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
جزیره ابوموسی	۱۹۹۶	۳۲۹٫۶	۱	۴	۴	۳	۴	۴	۴	۴
جزیره کیش	۱۹۹۵	۳۸۱٫۸	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
جزیره سیری	۱۹۹۶	۳۶۶٫۸	۱	۴	۳	۴	۴	۴	۴	۴
میناب	۱۹۹۲	۳۹۹٫۶	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۴
انار	۱۹۸۶	۱۶۸٫۵	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
بم	۱۹۹۱	۱۲۰٫۸	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
کرمان	۱۹۹۲	۲۴۱٫۶	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۴
شهربابک	۱۹۹۲	۲۷۹٫۶	۱	۴	۴	۳	۴	۴	۳	۴
سیرجان	۱۹۹۲	۲۵۲٫۹	۱	۴	۴	۳	۴	۳	۴	۴
چابهار	۱۹۹۷	۵۳۸٫۸	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
ایرانشهر	۲۰۰۸	۲۰۷٫۹	۱	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۴
کنارک چابهار	۱۹۹۷	۳۳۹٫۲	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
خاش	۱۹۹۷	۳۲۸٫۷	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۴
سراوان	۱۹۹۷	۲۵۸٫۴	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
زابل	۲۰۰۵	۱۲۹٫۵	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۴
زاهدان	۱۹۹۱	۱۷۳٫۱	۱	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
مجموع بیشتر نشانگر برتری شاخص			۱۹	۷۶	۷۵	۷۱	۷۵	۷۴	۶۹	۷۶
رتبه شاخص			۶	۱	۲	۴	۲	۳	۵	۱

توضیح: ۱: ترسالی، ۲: ترسالی متوسط، ۳:ترسالی شدید، ۴: ترسالی بسیار شدید

بعد از تعیین بهترین شاخص در شناسایی خشکسالی و ترسالی‌های جنوب شرق ایران؛ چهار ویژگی مهم در هر خشکسالی یعنی شدت، تداوم، فراوانی و فراگیری یا گستره خشکسالی برای ایستگاه‌های واقع در استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان مورد واکاوی قرارگرفته است(جدول ۷). طبق نتایج جدول ۷ شدیدترین خشکسالی متعلق به ایستگاه شهربابک واقع در استان کرمان با ۵٫۹۷- در سال ۲۰۱۰ به ثبت رسیده است. بیشترین تداوم خشکسالی نیز در ایستگاه چابهار بوده که از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵ طول کشیده است. حداکثر فراوانی هم در ایستگاه‌های جزیره کیش با ۲۰ رخداد در طی ۳۰ سال دوره آماری دیده شد. با توجه به سال کمینه مقدار بارندگی مشخص گردید که فراگیرترین سال که منطبق بر شدیدترین خشکسالی‌ها در منطقه موردبررسی بود در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۰۱ به ترتیب با ۸ و ۶ ایستگاه مشاهده گردید. سال‌های ذکرشده درواقع بزرگ‌ترین خشکسالی‌های رخ‌داده طی نیم‌قرن اخیر در استان‌های موردبررسی است. به‌طوری‌که مناطق مختلف کشور با رخداد خشکسالی بسیار شدید مواجه شدند.

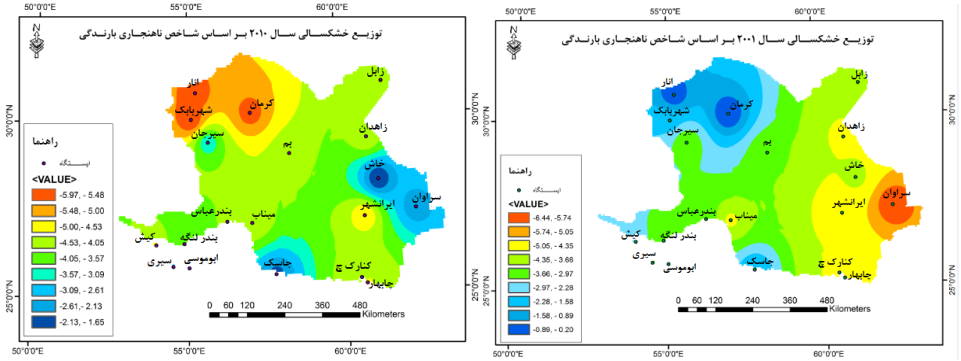
جدول ۷: شدت، تداوم، فراوانی و فراگیری خشکسالی‌های منطقه طبق نمایه RAI طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴

ایستگاه	شدیدترین	سال	طولانی‌ترین تداوم	فراوانی وقوع	سال وقوع کمینه بارش
سیرجان	-۴,۱۷	۱۹۸۷	۱۹۸۷ تا ۱۹۹۰	۱۶	۱۹۸۷
جزیره ابوموسی	-۴,۳۲	۱۹۹۴	۱۹۹۹ تا ۲۰۰۵	۱۹	۱۹۹۴
جزیره سیری	-۴,۴۷	۱۹۹۴	۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳	۱۸	۱۹۹۴
جاسک	-۳,۵۱	۲۰۰۰	۱۹۹۹ تا ۲۰۰۵	۱۵	۲۰۰۰
خاش	-۴,۲۵	۲۰۰۰	۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴	۱۵	۲۰۰۰
میناب	-۴,۵۱	۲۰۰۱	۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴	۱۴	۲۰۰۱
چابهار	-۴,۶۰	۲۰۰۱	۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵	۱۶	۲۰۰۱
ایرانشهر	-۴,۹۸	۲۰۰۱	۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴	۱۵	۲۰۰۱
کنارک چابهار	-۴,۳۶	۲۰۰۱	۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴	۱۵	۲۰۰۱
سراوان	-۶,۴۴	۲۰۰۱	۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴	۱۶	۲۰۰۱
زاهدان	-۴,۴۷	۲۰۰۱	۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴	۱۳	۲۰۰۱
بندرعباس	-۴,۱۱	۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳	۱۴	۲۰۱۰
بندرلنگه	-۳,۹۶	۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳	۱۲	۲۰۱۰
جزیره کیش	-۴,۵۶	۲۰۱۰	۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵	۲۰	۲۰۱۰
انار	-۵,۷۷	۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴	۱۷	۲۰۱۰
بم	-۴,۲۷	۲۰۱۰	۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴	۱۷	۲۰۱۰
کرمان	-۵,۷۳	۲۰۱۰	۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰	۱۷	۲۰۱۰
شهربابک	-۵,۹۷	۲۰۱۰	۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱	۱۶	۲۰۱۰
زابل	-۴,۲۲	۲۰۱۰	۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴	۱۷	۲۰۱۰

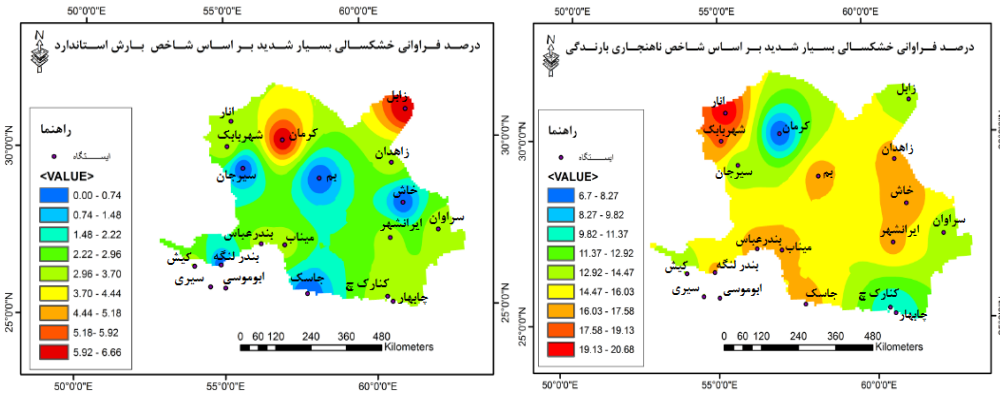
شکل ۲ شدیدترین و فراگیرترین خشکسالی رخداده را طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۴ نشان می‌دهد. طبق شکل ۲-الف در سراسر منطقه جنوب شرق ایران مقادیر منفی شاخص ناهنجاری بارندگی دیده می‌شود که بیشینه شدت خشکسالی در سال ۲۰۰۱ در ایستگاه سراوان در شرق زاهدان با مقدار ۶,۴۴- واقع‌شده است. در این سال از شرق به غرب منطقه از شدت خشکسالی کاسته می‌شود که کمترین آن در نواحی شمالی استان کرمان دیده می‌شود. در شکل ۲-ب وضعیت کاملاً متفاوت بوده است به‌نحوی‌که شدت خشکسالی در کل منطقه از سال ۲۰۰۱ بسیار شدیدتر می‌باشد؛ و بیشینه شدت خشکسالی نیز در شمال استان کرمان قرارگرفته و کمترین مقدار خشکسالی نیز در شرق استان سیستان و بلوچستان یعنی ایستگاه سراوان جای گرفته است. تنها ایستگاهی که در هر دو سال بهترین وضعیت را داشته ایستگاه جاسک در شرق استان هرمزگان است. در این سال نیز گستره شدت خشکسالی بسیار شدید در ۸ ایستگاه می‌باشد که با کمترین میزان بارش طی ۳۰ سال گذشته نیز منطبق است. شدت خشکسالی از شمال غرب به جنوب شرق منطقه کاهش‌یافته است که این الگو کاهش و افزایشی از شرایط الگوهای جوی حاکم همچون الگوهای پیوند از دور و سامانه‌های فشار عبوری تأثیر گرفته است.

شکل ۳ نیز درصد فراوانی رده خشکسالی بسیار شدید را طبق شاخص‌های ناهنجاری بارندگی و بارش استاندارد طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود طبق یکی از دو شاخص برتر از میان ۸ شاخص موردبررسی یعنی RAI در سراسر منطقه جنوب شرق ایران خشکسالی های بسیار شدید تجربه‌شده است(شکل ۳-الف)؛ که بیشینه آن به ترتیب در ایستگاه‌های انار، شهربابک، خاش و بندرعباس می‌باشد. کمترین میزان شدت خشکسالی بسیار شدید نیز در ایستگاههای کرمان، چابهار و کنارک چابهار مشاهده‌شده است. شکل ۳-ب توزیع خشکسالی بسیار شدید را طبق شاخص بارش استاندارد(SPI) در جنوب شرق ایران نشان می‌دهد. در این شاخص در

۵ ایستگاه یعنی ایستگاه‌های بندرعباس، جاسک، بم، سیرجان و خاش درصد فراوانی خشکسالی بسیار شدید را نشان نداده است در بقیه ایستگاه‌ها نیز مقادیر مشاهده‌شده کمتر از حد واقعی و شرایط بارشی منطقه موردمطالعه می‌باشد؛ اما در شاخص ناهنجاری بارندگی(RAI) مقادیر درصد فراوانی رده خشکسالی بسیار شدید متعادل‌تر بوده و کاملاً منطبق بر شرایط بارشی در هرسال بوده است.



شکل ۲: توزیع خشکسالی بر اساس نمایه RAI طی شدیدترین و فراگیرترین الف: سال ۲۰۰۱، ب: سال ۲۰۱۰



شکل ۳: درصد فراوانی رده خشکسالی بسیارشدید الف: نمایه RAI، ب: نمایه SPI دوره(۱۹۸۵-۲۰۱۴)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از ۸ شاخص پرکاربرد خشکسالی های منطقه جنوب شرقی ایران شامل استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان و هرمزگان مورد واکاوی قرارگرفته است تا علاوه بر بررسی وضعیت خشکسالی و ترسالی های شدید و فراگیر منطقه جنوب شرق ایران، با مقایسه‌ی هر یک از شاخص‌ها دقت و توانایی آن‌ها در تعیین شدت خشکسالی و بهترین شاخص در مقیاس‌های ماهانه و سالانه مشخص گردد. نتایج نشان داد که در مقیاس ماهانه فقط شاخص SPI در بازه زمانی ۶ و ۱۲ ماهه بهترین کارآیی را در نمایش شدت خشکسالی دارا هستند. در این شاخص در ماههای گرم و کم باران سال(خرداد تا شهریور) نیز که با کاهش شدید بارش یا عدم رخداد آن مواجه هستیم طی سال‌های موردبررسی رده‌های مختلف خشکسالی را نشان داده است؛ اما در دیگر بازهای زمانی این شاخص کمتر از ۶ ماه و بیشتر از ۱۲ ماه، همچنین ۷ شاخص دیگر موردبررسی در این تحقیق در طی ماههای خشک و گرم سال به دلیل ثبت داده‌های صفر و عدم رخداد بارندگی با مشکل مواجه می‌شوند و قادر به تعیین شرایط واقعی شدت خشکسالی در منطقه را ندارند و به‌صورت یکسان خشکسالی را بسیار شدید یا نرمال نمایش می‌دهند؛ اما در طی ماههای مرطوب فصل زمستان از عملکرد بسیار بهتری برخوردار می‌باشند؛ اما در مقیاس سالانه شاخص‌های استاتیک RAI و DI بهترین کارآیی را در میان شاخص‌های مورد واکاوی از

خود نشان داده‌اند. در این شاخص‌ها در همه ایستگاه‌های منطقه جنوب شرق ایران کمینه مقدار بارندگی در طی ۳۰ سال با رده خشکسالی بسیار شدید منطبق بوده‌اند. شاخص PNPI تنها در ایستگاه ایرانشهر و بم کمینه مقدار بارندگی با خشکسالی بسیار شدید انطباق نداشته است و در رتبه دوم جای گرفته است. نکته قابل‌توجه اینکه شاخص پرکاربرد SPI که در مقیاس ماهانه بهترین کارآیی در تشخیص شدت خشکسالی ها داشته است، در مقیاس سالانه عملکرد ضعیف‌تری را نسبت به شاخص‌های RAI و DI نشان داده است و مشابه با شاخص SIAP در رتبه سوم قرارگرفته‌اند به‌نحوی‌که در هرکدام در ۵ ایستگاه قادر به تعیین وضعیت واقعی شدت خشکسالی در سال وقوع کمینه بارندگی نبوده‌اند. شاخص‌های Z چینی و ZSI نیز در رتبه‌های بعد قرارگرفته‌اند. ضعیف‌ترین عملکرد نیز متعلق به شاخص نیچه بود که شناسایی خشکسالی‌ها را بدون توجه به میزان شدت و تنها با ۳ رده مشخص کرده بود. جهت بررسی و مقایسه بهترین شاخص شناسایی‌شده و شاخص پرکاربرد SPI با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش IDW درصد فراوانی رده خشکسالی بسیار شدید دوره آماری ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ پهنه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که در شاخص SPI در ۵ ایستگاه بندرلنگه، جاسک، بم، سیرجان و خاش رده خشکسالی بسیار شدید را نمایش نداده است که حاکی از ضعف این شاخص در مقیاس سالانه در تعیین رده خشکسالی بسیار شدید می‌باشد؛ اما شاخص RAI در همه ایستگاه‌ها منطبق بر وضعیت بارش در هرسال آماری موردبررسی رده خشکسالی بسیار شدید را نشان داده است. بیشترین شدت، مدت، فراگیری و فراوانی هر ایستگاه طی دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۴ که چهار ویژگی مهم در بررسی هر خشکسالی نیز می‌باشد با استفاده از بهترین شاخص RAI تعیین شد. شدیدترین با ۵,۹۷- متعلق به ایستگاه شهربابک در سال ۲۰۱۰، بیشترین تداوم از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵ و در مقیاس ماهانه در سال ۲۰۰۱ در ایستگاه چابهار مشاهده گردید. بیشترین فراوانی با ۲۰ رخداد در ایستگاه جزیره کیش و سال ۲۰۱۰ و ۲۰۰۱ به ترتیب با ۸ و ۶ ایستگاه فراگیرترین سال‌ها در طی دوره آماری موردبررسی بوده‌اند. در کل دوره ۳۰ ساله نیز سال ۲۰۱۰ بیشترین شدت خشکسالی را در همه ایستگاه‌های منطقه جنوب شرق داشته است. تحقیقات اندکی در زمینه بررسی عملکرد شاخص های خشکسالی در ایران انجام شده است از پژوهش های قابل توجه می توان به پژوهش شایق و سلطانی(۱۳۸۹) برای استان یزد اشاره نمود؛ که نتایج حاصل از این تحقیق در زمینه دقت بیشتر شاخص RAI نسبت به سایر شاخص‌ها نیز با پژوهش ذکرشده همسو است؛ اما تفاوت این تحقیق با سایر تحقیقات در تعداد نمایه‌ها و منطقه تحت بررسی است؛ که با انتخاب ۸ نمایه و منطقه‌ی وسیع جنوب شرقی کشور بر صحت و دقت نتایج افزوده است. همچنین در کنار تعیین بهترین شاخص، ضعیف‌ترین شاخص در شناسایی شدت خشکسالی و ترسالی نیز مشخص شد. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق برخلاف مطالعه انصافی مقدم(۱۳۸۶) است که تنها مقیاس سالانه خشکسالی را موردبررسی قرار داده و به دلیل انتخاب کمتر شاخص‌های خشکسالی باعث شده است که شاخص SPI بهترین عملکرد در شناسایی شدت خشکسالی های حوضه دریاچه نمک را داشته باشد. در بیشتر تحقیقات انجام‌شده بدون در نظر گرفتن دقت شاخص، تنها به بررسی وضعیت خشکسالی ها با شاخص استانداردشده بارش(SPI) پرداخته‌شده است(هاشمی و عطایی،۱۳۹۰؛ فرج زاده و احمدیان، ۱۳۹۳؛ پیرمرادیان و همکاران،۱۳۸۷، پروین نیا و ریاحی، ۱۳۹۴)؛ اما برخلاف این تحقیقات در این پژوهش علاوه بر شناسایی و بررسی خشکسالی و ترسالی های شدید و فراگیر طی ۳۰ سال اخیر با بهترین شاخص منتخب، با در نظر گرفتن دقت بیشترین شاخص خشکسالی(۸ شاخص) مهم و پرکاربرد مشخص شد که توانایی شاخص‌ها در مقیاس‌های ماهانه و سالانه متفاوت است بنابراین تعیین بهترین شاخص‌ها و شناسایی صحیح شدت

خشکسالی از هزینه‌های گزاف مقابله با خشکسالی می کاهد. پیشنهاد می شود که در تحقیقات آینده در پایش خشکسالی، ضمن در نظر گرفتن دقت شاخص های مختلف، روی فصول پربارش به ویژه زمستان که بیشترین حجم بارش ایران در این فصل از سال دریافت می شود، متمرکز شود. به دلیل اینکه در فصول گرم سال در ایران به صورت طبیعی و همیشگی خشک و کم بارش است، در نتیجه بررسی وضعیت بارندگی و خشکسالی از ارزش چندانی برخوردار نیست.

منابع

۱- انصافی مقدم، طاهره(۱۳۸۶)، "ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسبترین شاخص در حوضه دریاچه نمک"، فصلنامه علمی -پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۲، شماره ۱۴، صص۲۷۱-۲۸۸؛

۲- بروغنی، مهدی؛ طایی، مجید؛ میرنیا، سید خلاق(۱۳۹۲)، "تحلیل ارتباط خشکسالی‌های هیدروژئولوژیکی و اقلیمی دشت سبزوار با استفاده از شاخصهای SWI و SPI"، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره۴، شماره۲۰، صص ۷۳۳-۷۴۴؛

۳- بهشتی‌راد، مسعود؛ بهشتی راد، محبوبه(۱۳۹۲)، "بررسی کارایی روشهای پهنه بندی شدت خشکسالی در استان کرمان"، فصلنامه‌ی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره۱، شماره۹، صص۸۱-۱۰۹؛

۴- پیری، حلیمه؛ راهداری، وحید؛ ملکی، سعیده(۱۳۹۲)، "بررسی و مقایسه کارآیی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی در مدیریت خطر خشکسالی های استان سیستان و بلوچستان"، مجله آبیاری و آب، شماره۱۱، صص ۹۶-۱۱۴؛

۵- پیرمرادیان، نادر؛ شمس نیا، سید امیر؛ بوستانی، فریدن؛ شاهرخ نیا، محمد امین(۱۳۸۷)، "ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش در استان فارس"، مجله دانش نوین کشاورزی، دوره ۴، شماره ۱۳، صص ۱-۱۵.

۶- پروین نیا، محمد؛ ریاحی فارسانی، مرتضی(۱۳۹۴)،" بررسی خشکسالی دشت شهرکرد با استفاده از شاخص استاندارد بارش و توزیع گاما"، مجله پژوهش های کاربردی علوم آب، دوره ۱، شماره ۲، صص۴۱-۵۰.

۷- حسینی، سید اسعد؛ احمدی، حمزه؛ محمدپور، کاوه(۱۳۹۱)، "پایش خشکسالی‌های شهرستان سقز با استفاده از روش تحلیل داده‌های بارندگی"، نخستین همایش علمی تخصصی توسعه روستایی و کشاورزی با تاکید بر تولید ملی، دانشگاه پیام نور مرکز پیرانشهر، ص ۱۳؛

۸- حسینی، سید اسعد؛ محمدپور، کاوه؛ مسگری، ابراهیم(۱۳۹۳)، "پایش خشکسالی‌های شهرستان مریوان با استفاده از شاخص‌هایPNPI،Z score،DI،RAI، SPI"، همایش ملی راهکارهای پیش‌روی بحران آب در ایران و خاورمیانه، شیراز، ص ۷؛

۹- خلیلی، علی؛ بذرافشان، جواد(۱۳۸۲)، "ارزیابی کارآیی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه های اقلیمی ایران"، نشریه نیوار، شماره ۴۸،صص ۷۹-۹۳؛

۱۰- زارع ابیانه، حمید؛ محبوبی، علی اصغر؛ نیشابوری، محمد رضا(۱۳۸۳)، "بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان براساس شاخص‌های آماری خشکسالی"، مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره۳، صص ۷-۶۴؛

۱۱- شایق، الهام؛ سلطانی، سعید(۱۳۸۹)، "مقایسه شاخص های خشکسالی هواشناسی در استان یزد"، مجله علوم آب و خاک، شماره۵۷،صص ۲۳۱-۲۵۰؛

۱۲- صالحوند، ایران؛ منتظری، مجید؛ مؤمنی، مهدی(۱۳۹۲)، "پهنه بندی خشکسالی با شاخصهای(PNI،DI،CZI،ZSI و SPI) در شهرهای استان خوزستان در محیطGIS"، فصلنامه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم انداز زاگرس، دوره۳، شماره۱۷، صص ۳۵-۵۲؛

۱۳- علیجانی، بهلول؛ کاویانی، محمد رضا(۱۳۹۰)، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، جلد ششم، تهران؛

۱۴- فرج زاده، منوچهر(۱۳۸۶)، خشکسالی از مفهوم تا راهکار، انتشارات سازمان جغرافیایی کشور؛

۱۵- فرج زاده، منوچهر؛ احمدین، کلثوم(۱۳۹۳)،" تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص spi در ایران، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره۳، شماره ۴، صص ۱-۱۶.

۱۶- کریمی، ولی(۱۳۷۷)، "بررسی خشکسالیهای هواشناسی در استان فارس"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزاییرزی، دانشگاه شیراز، ص ۱۲۷؛

۱۷- کریمی، ولی؛ کامکار حقیقی، علیرضا؛ سپاسخواه، وحید؛ خلیلی، دانیال(۱۳۸۰)، "بررسی خشکسالیهای هواشناسی در استان فارس"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد۵، شماره ۴، صص ۲-۱۰؛

۱۸- میرزایی، علی اصغر؛ سبعه، غلامعلی؛ یاسر یکانی مطلق(۱۳۹۴)، نرم افزارهای تخصصی مهندسی آب، انتشارات کیان، چاپ اول، تهران؛

۱۹- هاشمی، زینب؛ عطایی، هوشمند(۱۳۹۰)،" پهنه بندی خشکسالی با استفاده از شاخص spi و بررسی اثرات آن بر محیط زیست(مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری)، مجله محیط زیست، شماره ۵۱، صص ۱۴-۲۵.

۲۰- ناصرزاده، محمدحسین؛ احمدی، اسماعیل(۱۳۹۱)، "بررسی عملکرد شاخصهای خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه بندی آن در استان قزوین"، نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۲، شماره۲۷، صص ۱۴۱-۱۶۲؛

21- Bordi, I., and Sutera, A.(2004), " Drought variability and its climatic implications", Global and Planetary Change. 40(1, 2), 115-127;

22- Doupingy-Girux, L.A.(2001), "Towards characterizing and planning for drought in VermontPart1: A climatological perspective, Journal of the American Water Resource Association, 37(3), 505-524;

23- Gholam Ali, M. Younes, KH., Esmaeil, A., Fatemeh, T.(2011), "Assessment of Geostatistical Methods for Spatial Analysis of SPI and EDI Drought Indices", World Applied Sciences Journal, 15(4), 474-482;

24- Gibbs W.J, and J.V. Maher(1967), "Rainfall decile as drought indicates. Bulletin. Bureau",Of Meteorology, Melborne, 48, 34-41.

25- Mckee, T.B., N.J. Doesken, J. Kleist(1995), " Drought monitoring with multiple time scales", Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 15- 20, 233-236;

26- Mpelasoka, F, Hennessy, K, Jones, R, Bates, B(2008), " Comparsion of suitable drought indices for climatic change impacts assessment over Austeralia towards resource management", International Journal of climatology, 28, 1283-1292;

27- Nikbakht, J., Tabari, H., Talaee, P. H(2013), "Streamflow drought severity analysis by percent of normal index(PNI) in northwest Iran", Theoretical and applied climatology, 112(3-4), 565-573;

28- Tabari, H., Nikbakht, J., Talaee, P. H.(2013), " Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index(SDI)", Water resources management, 27(1), 137-151;

29- Vangelis H., Tigkar D. Tsakiris G.(2013), " The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index(RDI) calculation", Journal of Arid Environments, 88, 130-140;

30- Wilks, D.S(1998), "International variability and extreme-value characteristics of several stocastic daily precipitation models", Agricultural and forest meteorology,98-99, 547-554.

.