

ارزیابی تطبیقی 4 نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان)

حلیمه پیری^{1*}، محبوبه عباس زاده²، وحید راهداری و سعیده ملکی³
تاریخ دریافت: 1391/8/16 تاریخ پذیرش: 1392/3/22

چکیده

بارندگی یکی از مهمترین متغیرهایی است که از آن در تعریف خشکسالی استفاده می‌شود. نمایه‌های مختلفی بر پایه بارش برای ارزیابی خشکسالی ارائه شده است که می‌توان به نمایه‌های درصد از بهنجار (PN)، بارش معیار شده (SPI)، دهک ها (DPI) و شاخص ناهنجاریهای بارش (RAI) اشاره کرد. هر یک از این نمایه‌ها برای توصیف خشکسالی، در طبقاتی تقسیم بندی می‌شوند که هر طبقه بیانگر وضعیتی از شدت خشکسالی می‌باشد. این تحقیق با هدف مقایسه چند بعدی این چهار نمایه خشکسالی و با استفاده از آمار بارندگی 30 ساله (1359-1389) در 7 ایستگاه استان سیستان و بلوچستان انجام یافته است. پس از محاسبه نمایه‌های خشکسالی فوق در مقیاس زمانی مورد نظر، نتایج بر اساس معیارهای شباهت توالی سالهای خشک، بهنجار و تر با استفاده از تحلیل خوشه ای و همبستگی آماری بین نمایه‌ها، دسته بندی و مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسیها از دیدگاه خوشه‌ای نشان داد که سنجه‌های PN و RAI از نظر آماری مشابه بوده و در ارزیابی‌های خشکسالی در اقلیم گرم و خشک استان سیستان و بلوچستان به نتایج نسبتاً مشابهی ختم می‌شوند. در ارزیابی روابط همبستگی، نمایه‌های زوج شده‌ی PN-SPI، SPI-RAI و PN-RAI در بیشتر ایستگاهها از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار بودند، ولی در تحلیل خوشه‌ای نمایه‌های RAI و PN در یک دسته قرار گرفتند. محاسبات نشان دادند که نتایج معیارهای RAI و PN از لحاظ توصیف وضعیت خشکسالی به هم نزدیک می‌باشند؛ لذا استفاده از این دو نمایه جهت تعیین شدت خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان توصیه می‌گردد. به‌رغم استفاده‌ی همه‌گیر از شاخص SPI، و با توجه به نتایج به‌دست آمده، شاخص مزبور برای تعیین شدت خشکسالی در این استان مناسب نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، استان سیستان و بلوچستان، نمایه‌های خشکسالی، تحلیل خوشه‌ای

¹ - عضو هیئت علمی دانشگاه زابل، گروه مهندسی آب

² - دانشجوی کارشناسی مهندسی آب

³ - عضو هیئت علمی دانشگاه زابل، گروه محیط زیست

*- نویسنده مسئول: H_piri2880@yahoo.com

مقدمه

خشکسالی یک پدیده‌ی متناوب طبیعی است که همراه با کمبود منابع آب در دسترس در یک منطقه‌ی جغرافیایی پهناور، و در یک دوره‌ی زمانی قابل ملاحظه می‌باشد (روسی، 2000). بر اساس این تعریف، خشکسالی یک پدیده منطقه‌ای است که با سه بعد مشخص می‌شود: شدت، مدت و وسعت. مهمترین بعد خشکسالی شدت آن است. خشکسالی به فرونشست هوا، ایجاد مراکز پرفشار و گرم شدن هوا که خود توان بارندگی را کاهش می‌دهد، مربوط می‌شود. (طالبی و همکاران، 1389). برخلاف تصور بیشتر افراد، خشکسالی رخدادی نادر و تصادفی نیست، بلکه حالتی بهنجار و مستقر از اقلیم است، ولی از آن‌جا که به صورت تدریجی ظاهر می‌شود، روندی آهسته‌تر و نامحسوس‌تر را نسبت به سایر بلایای طبیعی دارد (دراکوپ و همکاران، 1980). خشکسالیها در حالت کلی سه نوعند: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی آبشناسی و خشکسالی کشاورزی. خشکسالی هواشناسی یا آب و هوایی ناشی از کمبود بارندگی است که در صورت تداوم منجر به خشکسالی آبشناسی و کشاورزی می‌گردد. بارش عمده‌ترین فراسنجی است که در تعریف خشکسالی به کار رفته است، یعنی خشکسالی و ترسالی در مقایسه با کمتر یا بیشتر بودن ریزشهای جوی از میانگین بارندگی یک منطقه سنجیده می‌شود (زارع ابیانه و محبوبی، 1383). پدیده‌ی خشکسالی موجب کاهش سریع جریانهای سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی و نشست زمین می‌شود. از این رو، برای کاهش آثار این پدیده، و مدیریت خطر آن، ارزیابی خشکسالی و تداوم دوره‌های آن ضروری است. کشور ایران به لحاظ موقعیت جغرافیایی خاص خود نسبت به گردش عمومی جو و خصوصیات پستی و بلندی خود در کمربند خشک جهان قرار گرفته، و در مجاورت با پرفشار جنب حاره‌ای دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد؛ در نتیجه، در بیشتر سالها دچار خشکسالی شدید شده است. آیینهای باران خواهی، که سابقه‌ی هفت هزار ساله را در ایران دارد، مؤید این نکته می‌باشد (پاپلی یزدی، 1378). این پدیده در سالهای اخیر زیانهای زیادی را به بار آورده

است، بطوری‌که تنها در سالهای 2000 و 2001 به ترتیب 3/5 و 2/6 میلیارد دلار خسارت بر اقتصاد وارد کرده است (بنی واهب و علیجانی، 1383). خشکسالی پدیده‌ای نیست که بطور مستقیم اندازه‌گیری شود. برای شناختن و اندازه‌گیری خشکسالی باید اثرات آن را کمی کرد، و با بهره‌وری از آن کمیتهای خشکسالی را ارزیابی نمود. این کمیتهای معمولاً بر پایه‌ی اندازه‌گیریهای زمینی به دست می‌آیند. بارندگی یکی از مهمترین و اصلیتین متغیرهایی است که از آن در تعریف خشکسالی استفاده می‌شود. بر پایه‌ی کمیته بارش، نمایه‌های پرشماری برای ارزیابی خشکسالی ارائه شده‌اند که می‌توان به نمایه‌ی خشکسالی پالمیر (PDSI)، نمایه‌ی ناهنجاری بارندگی (RAI)، نمایه‌ی دهکها (DPI)، نمایه‌ی رطوبت محصول (CMI)، نمایه‌ی بارش معیار (SPI)، نمایه درصد از بهنجار (PN) و نمایه‌ی نیچه (Nitzche) اشاره کرد. رحیم‌زاده و همکاران (1388) پهنه‌بندی خشکسالی را با شاخصهای SPI و CZI، و استفاده از علم زمین آمار، در استان خراسان جنوبی انجام دادند. طبق نتایج با بهره‌گیری از دو شاخص در طول سال آماری خشکترین دوره مربوط به سال آبی 1377-1378 بود؛ سال آبی 1370-1371 مرطوبترین سال برای خراسان جنوبی برآورد گردید. نحوی‌نیا و همکاران (1387) تحلیل مکانی شاخصهای خشکسالی SPI و SIAP در استان کرمان را انجام دادند. پایش خشکسالی بر اساس شاخصهای SPI و SIAP با استفاده از آمار و اطلاعات 37 ایستگاه در سطح استان کرمان انجام گردید و نقشه‌های خشکسالی تهیه و ارزیابی شدند. نتایج تحقیق، ضمن تأیید متغیر مکانی بودن شاخصها، نشان دادند که برای شاخص SIAP روش کوکریجینگ، و برای شاخص SPI روش میانگین متحرک وزن دار، از دقت بالاتری نسبت به سایر روشها برخوردار بودند. دانشور و همکاران (1385) تحقیقی را در زمینه‌ی تعیین شاخص خشکسالی و شدت آن در مناطق مختلف کشور به انجام رساندند که در آن روشهای نسبتها، سینوپتیکی، معیار نمودن داده‌ها و احتمال وقوع خشکسالی استفاده گردید. نتایج نشان دادند که خشکسالی به‌عنوان یک تهدید اقلیمی در کشور شناخته شده است که دارای دوره‌ی برگشت 2 تا 10 ساله

دهه‌ی گذشته، و مقایسه‌ی تطبیقی این نمایه‌ها با کاربرد روش تحلیل خوشه‌ای پرداخته شده است تا بتوان ضمن بررسی وضعیت خشکسالی، مناسبترین نمایه‌ای که وضعیت خشکسالی را در منطقه مورد مطالعه بیان می‌کند، تعیین کرد. استان سیستان و بلوچستان با وسعتی حدود 181785 کیلومتر مربع پهناورترین استان کشور است، که بین 25 درجه و 3 دقیقه تا 31 درجه و 27 دقیقه عرض شمالی و 58 درجه و 50 دقیقه تا 63 درجه و 21 دقیقه طول شرقی، در خاور ایران قرار دارد. این استان از شمال به خراسان جنوبی و کشور افغانستان، از شرق به کشورهای پاکستان و افغانستان، از جنوب به دریای عمان و از مغرب به استانهای کرمان و هرمزگان محدود می‌شود. دشت سیستان، که از آبرفت‌های رود هیرمند بوجود آمده است، در شمال استان قرار دارد. دشت سیستان، که در گروه اقلیم بیابانی میانه جا گرفته، بارشی کمتر از 65 میلی‌متر را در سال دریافت می‌کند، و اندازه‌ی تبخیر سالانه‌ی آن به بیش از 5000 میلی‌متر می‌رسد. این شرایط در مجموع باعث خشکی فیزیکی شدید محیط گردیده، و در سالهایی که بده‌ی ورودی رود هیرمند کاهش می‌یابد، خشکسالیهای مخرب توسعه پیدا می‌کنند. بادهای 120 روزه، که از اواخر بهار تا پایان تابستان می‌وزند در تشدید نیاز و خشکی محیط مؤثرند. استان از جنوب با دریای عمان همسایه است. این وادی دارای طبیعتی کوهستانی می‌باشد. مناطق جنوبی استان، با توجه به مجاورت با دریای عمان و بهره‌گیری از بادهای موسمی، اقلیم متفاوتی دارند. بالا بودن میانگین دما و پایین بودن نوسانهای آن از مشخصه‌های اساسی اقلیم منطقه است. با توجه به اندک بودن بارش و نبودن منابع برفی کوهستانی بیشتر جریانهای رودخانه‌ای، موقتی و فصلی بوده، و در بخش وسیعی از استان منابع محدود آبهای زیرزمینی تنها منابع تأمین آب به‌شمار می‌آیند. میانگین بارش سالانه استان 139/8 میلی‌متر، و میانگین دمای سالانه آن 22/6 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شکل 1 موقعیت این استان و ایستگاههای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

می‌باشد، و دوره‌ی برگشت خشکسالی را در مناطق جنوب شرقی کشور 2 ساله تعیین کردند. قربانی و همکاران (1389) به مطالعه‌ی تطبیقی نمایه‌های هواشناسی خشکسالی SIAP و SPI با کاربرد روش داده کاوی در استان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان دادند که در هیچ یک از مقیاسهای زمانی فصلی، نیم سالانه و سالانه، بین طبقات خشکسالی از هر یک از این دو نمایه در بیشتر موارد تطابق خوبی مشاهده نشد؛ آنها رفتار متفاوتی را از خشکسالی نشان می‌دهند. یزدانی و همکاران (1390) تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالیهای ایران را با کاربرد نمایه‌ی شاخص معیار شده‌ی بارش انجام دادند. نتایج حاکی از آن بودند که در مقیاس 12 ماهه، واریوگرام دایره‌ای و در مقیاس 3 ماهه، واریوگرام نمایی، نتایج قابل قبولی را از خود نشان دادند. همچنین، با عنایت به نتایج حاصل از پهنه‌بندی بطور متوسط 61 درصد از مساحت ایران در سالهای مورد بررسی در پهنه‌ی طبقات مختلف خشکسالی قرار داشته است. هیز و همکاران (1996) مقایسه‌ای را بین دو نمایه‌ی بارش معیار شده و نمایه‌ی پالم برای بررسی خشکسالیهای دشتهای جنوبی و جنوب غربی آمریکا انجام داده و نتیجه گرفتند که نمایه‌ی بارش معیار شده دست، کم یک ماه زودتر از نمایه‌ی پالم، وقوع خشکسالی 1996 را پیش نمود. ایشان پیشنهاد کردند که نمایه‌ی بارش معیار شده عملاً به عنوان ابزاری سودمند برای پیش خشکسالی جایگزین نمایه‌ی پالم در ایالات متحده گردد. تیساکریس و همکاران (2006) با استفاده از شاخصهای SPI و RDI و DPI یک ارزیابی خشکسالی منطقه‌ای بر روی رود مورنوس در مرکز یونان انجام دادند. کنسلیر و همکاران (2007) خشکسالیهای ماهانه را با توابع انتقال احتمال، شاخصهای SPI و فرض بهنجار بودن داده‌های بارندگی ماهانه پیش‌بینی کردند. آنها مقادیر آتی شاخص SPI را با کاربرد آرایه‌ی ضریب همبستگی که از روش تحلیلی با کاربرد توابع آماری مشتق شده بود پیش‌بینی کردند، ضمن آن که نتایج آنها تفاوت چندانی با مقادیر بارش اندازه‌گیری شده نداشتند. در این تحقیق به مطالعه‌ی ویژگیهای بارندگی در استان سیستان و بلوچستان، بررسی وضعیت خشکسالی آن ناحیه با استفاده از نمایه‌های خشکسالی SPI, RAI, PN, DPI در سه



شکل 1- موقعیت استان سیستان و بلوچستان در کشور.

مواد و روشها

بر اساس آمار موجود جمع‌آوری شده از اندازه‌ی بارش ماهانه‌ی ایستگاههای سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان، اجزاء بارش شامل میانگین، چولگی، انحراف معیار، کشیدگی، کمینه و بیشینه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند؛ سپس از شاخص درصد از بهنجار (PN)، دهکهای بارندگی (DPI)، بارش معیار (SPI) و ناهنجاریهای بارش (RAI) برای تعیین شدت خشکسالی استفاده گردید. جهت انجام خوشه‌بندی از نرم‌افزار STATISTICA بهره‌وری شد. تحلیل خوشه‌ای روشی آماری است که مجموعه‌ای از افراد را بر حسب اندازه‌ی همانندی میان آنها خوشه می‌کند. هدف از تحلیل خوشه‌ای، تشکیل گروههای همگن از افراد مختلف است. فرایند تحلیل خوشه‌ای، می‌تواند از نوع شکافتی یا از نوع پیوندی باشد. در نوع شکافتی، نخست همه‌ی افراد در یک خوشه جای داده می‌شوند، سپس افراد چنان به دو خوشه‌ی متمایز تجزیه می‌گردند که تفاوت میان آنها بیشینه شود، و این فرایند تا آنجا ادامه می‌یابد که به شمار افراد، خوشه وجود داشته باشد. در نوع پیوندی، نخست فرض می‌شود که هر فرد یک خوشه است و با یافتن همانندترین زو جها، افراد خوشه‌بندی می‌شوند، سپس همانندترین خوشه‌ها در یکدیگر ادغام می‌شوند و این فرایند آنجا ادامه می‌یابد تا همه‌ی خوشه‌ها در یک خوشه جمع شوند. اندازه‌گیری همانندی پایه‌ی اصلی هر تحلیل خوشه‌ای است. هدف اصلی خوشه‌بندی، ایجاد گروهها و طبقاتی است که تنوع و تفرق درون گروهی آنها کمتر از تنوع و تفرق بین گروهی باشد. بنابراین، تحلیل

خوشه‌ای با کاربرد روش همبستگی و فاصله‌ای انجام پذیر است. روش فاصله‌ای، معمولاً برای گروه‌بندیهای چند معیاری به کار می‌رود، و هر متغیر اقلیمی یک معیار به شمار می‌رود. برای تعیین فاصله بین دو عضو، فاصله‌ی آنها از یکدیگر، بر پایه‌ی معیارهای مورد نظر، از طریق هندسه‌ی اقلیدسی محاسبه می‌شود. در مطالعات اقلیمی، برای محاسبه‌ی درجه‌ی ناهمانندی، از فاصله‌ی اقلیدسی استفاده می‌شود. بر اساس فاصله‌های این ارایه، خوشه‌ها یا گروهها تعیین می‌شوند. هدف از به کارگیری تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، گروه‌بندی متغیرهای یک ارایه داده به روشی است که ویژگی متغیرها در داخل یک گروه تا حد امکان یکنواخت، ولی بین بقیه گروهها، تاحدی متضاد باشد. روشهای مختلفی برای انجام خوشه‌بندی وجود دارند که نهایتاً دارای جواب تقریباً یکسانی می‌باشند.

جهت انجام خوشه‌بندی در ابتدا ارایه‌ی داده‌ها تشکیل شد. در این ارایه، ستونها نمایه‌های خشکسالی، و سطرها نام ایستگاههای هواشناسی (شهرها) برای هر سال می‌باشند. سپس ارایه‌ی کیفی داده‌های حاصل از نمایه‌های خشکسالی به ارایه‌ی کمی تبدیل گردید. این ارایه با انتساب عدد 1 به سالهای خشک، عدد 2 به سالهای بهنجار و عدد 3 به سالهای تر طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه به دست آمد. از آنجا که خوشه‌بندی شاخصها برای سه نوع شدت خشکسالی مختلف (بسیار شدید، شدید و متوسط) انجام گرفته است، بنابراین نیاز است تا سه ارایه‌ی ورودی متفاوت تشکیل شوند. برای مثال، ارایه ورودی مربوط به نمودار خوشه‌بندی خشکسالی بسیار شدید را در نظر بگیرید. درایه‌های این ارایه‌ی باید

که در آن P_i ، PN و P به ترتیب شاخص درصد از بهنجار بارش سال مورد نظر و میانگین بارش دراز مدت است.

شاخص دهک بارندگی (DPI)

این شاخص در سال 1967 به وسیله‌ی ماهر و گیبیز برای اجتناب از بعضی از نقاط ضعف روش درصد بهنجار بارندگی ارائه شد. این شاخص مشخص می‌کند که بارش یک ماه معین در چه بازه‌ای از دهکهای متوالی گروه بارندگی ماهانه یا سالانه قرار گرفته است. به منظور محاسبه‌ی دهکها، ابتدا داده‌های بارش سالانه به صورت نزولی یا صعودی مرتب می‌شوند. سپس احتمال وقوع بارش یک سال معین از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$P_i = \left(\frac{i}{N+1} \right) \times 100 \quad (4)$$

در این رابطه:

P_i : احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف i ام
 n : تعداد داده‌های بارندگی.

بر حسب این که یک مقدار در چه فاصله دهکی قرار گرفته باشد، مطابق جدول یکی از درجات خشکسالی به آن نسبت داده می‌شود.

شاخص ناهنجاریهای بارش (RAI)

این نمایه به وسیله‌ی وان روی ارائه شده است. این شاخص بارندگی ماه یا سال معین را بر روی مقیاس خطی که از روی گروه داده‌ها حاصل می‌شود، ارزیابی می‌کند. در واقع اساس این شاخص محاسبه‌ی انحراف مقادیر بارندگی از بهنجار می‌باشد. مراحل محاسبه این نمایه به صورت زیر است:

- 1- محاسبه میانگین درازمدت بارندگی سالانه (\bar{P}) در ایستگاه مورد نظر
- 2- استخراج میانگین 10 مورد از بزرگترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره‌ی مطالعاتی (M)
- 3- استخراج میانگین 10 مورد از کوچکترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره‌ی مطالعاتی (X)
- 4- مقایسه‌ی داده‌های بارندگی سالانه‌ی P با میانگین درازمدت (\bar{P})

اگر $P > \bar{P}$ باشد آن‌گاه RAI از رابطه زیر به دست می‌آید:

به گونه‌ای باشند که نشان دهند: آیا در آن سال برای آن شهر با توجه به آن شاخص، خشکسالی بسیار شدید است و یا خیر؟ بنابراین، در این جا برای درایه‌ای که خشکسالی بسیار شدید را شامل شد، عدد یک و در غیر این صورت (وضعیت‌های دیگر) عدد صفر را قرار دادیم. بدین ترتیب، سه آرایه‌ی متفاوت برای سه نمودار شجره‌ای مورد نظر به دست می‌آید. سپس آرایه‌ی فاصله با استفاده از سنجه‌ی فاصله اقلیدسی ($D_{EUC,XY}$) برای هر یک از جفت سنجه‌ها (X و Y) با استفاده از رابطه‌ی زیر تعیین گردید.

$$D_{EUC,XY} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (1)$$

که در آن i دوره‌ی آماری مورد مطالعه است.

گروه‌بندی سنجه‌های خشکسالی با استفاده از روش Ward انجام شد. این روش عمومیت‌ترین روش گروه‌بندی طبقاتی است که فواصل داخل یک گروه را به حداقل می‌رساند. خوشه‌بندی شاخصها برای سه نوع شدت خشکسالی مختلف (بسیار شدید، شدید و متوسط) انجام گرفته است.

برای بررسی ارتباط بین زوج شاخصهای خشکسالی از ضریب همبستگی r استفاده شد. که این ضریب بین زوج شاخصهای X و Y از رابطه زیر به دست آمد:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

شاخص درصد بهنجار بارندگی (PN)

این شاخص در سال 1994 به وسیله‌ی ویلکی و همکارانش ارائه شد، و مفهوم اساسی آن نسبت بارندگی واقعی به مقدار بهنجار آن در یک دوره‌ی زمانی مشخص می‌باشد که به صورت درصد بیان می‌شود و در مقیاسهای مختلف (هفتگی، فصلی و ماهانه و سالانه) قابل محاسبه است. تجزیه و تحلیل این شاخص به هنگام استفاده از آنها برای بررسی شدت خشکسالی یا ترسالی در یک مکان یا فصل معین بسیار مؤثر است. مقدار این شاخص برای دوره‌ی آماری و ایستگاههای مورد مطالعه از رابطه‌ی زیر تعیین شد:

$$PN = \frac{P_i}{P} \times 100 \quad (3)$$

نسبت دادن آستانه‌های +3 و -3 به ترتیب به میانگین 10 مورد از بزرگترین مقادیر ناهنجاریهای مثبت، و 10 مورد از کوچکترین مقادیر ناهنجاریها منفی، و نهایتاً با مقیاس‌گذاری خطی بر مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاریهای بارندگی، 9 طبقه‌ی ناهنجاری با دامنه‌ای از تر سالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می‌شوند. طبقات مختلف این شاخص از طریق جدول مشخص می‌گردد.

$$RAI = \frac{3(P - \bar{P})}{(M - \bar{P})} \quad (5)$$

و اگر $\bar{P} > P$ باشد آن‌گاه RAI از رابطه زیر حاصل گردد:

$$RAI = \frac{-3(P - \bar{P})}{(X - \bar{P})} \quad (6)$$

در حالت اول ناهنجاری مثبت، و در حالت دوم منفی است.

جدول 1- طبقات مختلف شاخصهای خشکسالی مورد بررسی.

شاخص دهکده	شاخص درصد بهنجار بارندگی (PNPI)	شاخص ناهنجاری بارش (RAI)	شاخص بارش معیار شده (SPI)	رتبه	طبقات شدت خشکسالی
60-40	80 تا 120%	-3 تا +3	-1 تا +1	0	بهنجار
30-40	70 تا 80%	-1/2 تا -3	*	1	خشکسالی ضعیف
20-30	55 تا 70%	-2/1 تا -1/2	-1 تا -1/5	2	خشکسالی متوسط
10-20	40 تا 55%	-3 تا -2/1	-2 تا -1/5	3	خشکسالی شدید
کمتر از 10%	کمتر از 40%	کمتر از -3	کمتر از -2	4	خشکسالی بسیار شدید

* تعریف نشده است

تجزیه و تحلیل اطلاعات بارش ایستگاههای مختلف نشان دادند که کمترین بارندگی به میزان 0/2 میلی‌متر در سال 1389 در شهرستان خاش، و بیشترین بارش در سال 1374 در همان شهر 513/1 میلی‌متر بوده است. ضریب تغییرات از 60 درصد برای سراوان تا 94/11 درصد برای چابهار متغیر است. بیشتر بودن شاخص ضریب تغییرات از 40 درصد در بارش نشان دهنده‌ی بی‌نظمی زیاد بارش و حاکمیت شرایط اقلیمی خشک در محدوده‌ی ایستگاههای مورد بررسی می‌باشد. لذا، ضریب تغییرات بالا در این تحقیق نشان می‌دهد، بارشها در استان سیستان و بلوچستان بسیار نامنظم، و با تغییرپذیری بسیار همراه بوده، و این نشان دهنده‌ی حاکمیت اقلیم خشک و رخداد خشکسالیهای فراوان و با شدتهای بالا می‌باشد.

نتایج به‌دست آمده از همبستگی آماری زوج شاخصها نشان دادند که در بیشتر ایستگاههای مورد مطالعه، زوج شاخصهای PN-SPI، PN-RAI و SPI-RAI از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردارند، و دیگر زوج شاخصها همبستگی ضعیفی با یکدیگر داشتند. سبزی پروری و کاظمی (1389) به ارزیابی تطبیقی هفت نمایه‌ی خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای

نمایه‌ی بارش معیار (SPI)

از بهترین و جامعترین و در عین حال ساده‌ترین روش مطالعه‌ی خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آنها محسوب می‌شود. اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است. به عبارت دیگر، در این روش، علاوه بر انحراف از میانگین بارشهای رخ داده در طی یک دوره‌ی آماری، انحراف معیار داده‌ها نیز مورد استفاده است، به طوری که نسبت اختلاف میانگین جامعه، یا نمونه از مقدار بارندگی هر سال آماری به انحراف معیار جامعه یا نمونه محاسبه میشود، که معادله‌ی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (7)$$

که در آن P_i بارندگی سال i و SD انحراف معیار بارش در طول دوره‌ی آماری، \bar{P} میانگین بارندگی بلند مدت است.

نتایج و بحث

ابتدا با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاههای سینوپتیک سیستان و بلوچستان اجزای بارش شامل انحراف معیارهای بارندگی، کشیدگی، چولگی، ... محاسبه گردیدند. جدول 2 نتایج این محاسبه‌ها را نشان می‌دهد.

دوره دارای همخوانی تقریباً کاملی بوده و شبیهیهای SPI و PN نیز با یکدیگر دارای همخوانی مطلوبی می‌باشند. جدول 3 نتایج ضرایب همبستگی را برای زوج شاخصهای آماری در دوره‌ی مطالعاتی 30 ساله، و برای ایستگاههای مورد نظر نشان می‌دهد.

همچنین، به عنوان نمونه، رابطه‌ی همبستگی دو شاخص RAI و PN در شکل (2) نشان داده شده است. همان‌گونه که گفته شد، به منظور مقایسه نمایه‌های خشکسالی از نظر شباهت توالی سالهای خشک، بهنجار و تر از روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. نتایج این کار برای سالهای خشکسالی بسیار شدید، خشکسالی شدید و خشکسالی متوسط به شرح زیر می‌باشند.

در استان همدان پرداختند. نتایج آنها نشان دادند که سنجه‌های RAI، Z و DPI از نظر آماری مشابه بوده، و در ارزیابیهای خشکسالی نیز در شرایط اقلیمی نیمه سرد خشک استان همدان به نتایج نسبتاً مشابهی ختم می‌شوند. همچنین، در ارزیابی روابط همبستگی نمایه‌های زوج شده، RAI-PN، Z-PN، RAI-Z، SPI-CZI و SPI در اغلب ایستگاههای استان همدان همبستگی خوبی با یکدیگر داشتند. صدر افشاری و همکاران (1390) مقادیر خشکسالی ارومیه را برای دستیابی به بهترین شاخص با استفاده از شاخصهای SPI، DI، ZSI و PN در دوره‌ی آماری 35 ساله (1971-2005) انجام دادند. نتایج بررسیها نشان دادند که شاخصهای DI و ZSI دارای هماهنگی های زیادی با یکدیگر می‌باشند، بطوری‌که در حدود 14

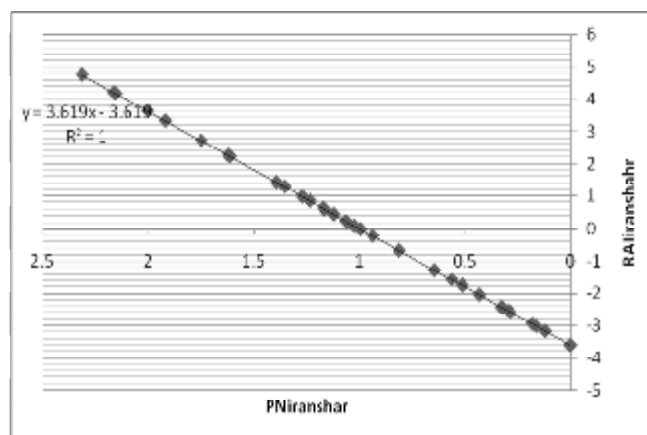
جدول 2- ویژگیهای آماری بارش ایستگاههای سیستان و بلوچستان طی دوره‌ی مورد مطالعه.

ایستگاه داده آماری	زهک	زابل	زاهدان	خاش	ایران‌شهر	چابهار	سراوان
میانگین	46/97	57	76/9	144/9	114/29	113/8	107/1
میانه	36/35	52/1	57/7	110	115/5	87/6	95/2
کمینه	11	4	12/1	0/2	1/2	13/3	2/4
بیشینه	146	171/5	281/5	513/1	260/6	487/6	282/2
دامنه‌ی تغییرات	129/6	167/5	269/4	512/9	259/4	474/3	279/8
چولگی	1/56	1/05	1/88	1/41	0/33	2	0/91
کشیدگی	1/71	1/17	4/47	2/39	-0/8	4/84	1/31
انحراف معیار	40/12	37/16	55/2	119/3	72/94	107/1	64/3
ضریب تغییرات	85/41	65/19	71/78	82/32	63/82	94/11	60

جدول 3- نتایج ضرایب تعیین R^2 برای شاخصهای خشکسالی در دوره‌ی آماری

ایستگاه	نمایه	PN	SPI	DPI	RAI
زاهدان	PN	1	0/96	0/63	0/94
	SPI	0/96	1	0/74	0/84
	DPI	0/63	0/74	1	0/63
	RAI	0/94	0/84	0/63	1
زابل	PN	1	0/62	0/4	0/61
	SPI	0/62	1	0/81	0/83
	DPI	0/4	0/81	1	0/65
	RAI	0/61	0/83	0/65	1
زهک	PN	1	1	0/76	0/99
	SPI	1	1	0/76	0/99

0/72	1	0/76	0/76	DPI	
1	0/72	0/99	0/99	RAI	
0/99	0/72	1	1	PN	خاش
0/99	0/27	1	1	SPI	
0/74	1	0/27	0/72	DPI	
1	0/74	0/99	0/99	RAI	
1	0/97	1	1	PN	ایران شهر
1	0/97	1	1	SPI	
0/97	1	0/97	0/97	DPI	
1	0/97	1	1	RAI	
0/99	0/87	0/81	1	PN	سراوان
0/81	0/71	1	0/81	SPI	
0/88	1	0/71	0/87	DPI	
1	0/88	0/81	0/99	RAI	
0/99	1	1	1	PN	چابهار
0/99	1	1	1	SPI	
0/99	1	1	1	DPI	
1	0/99	0/99	0/99	RAI	



شکل 2- همبستگی خطی شاخص RAI با شاخص PN در ایستگاه ایران شهر در دوره مطالعاتی.

فاصله‌ی مرحله‌ی دوم و سوم گروه‌بندی امکان‌پذیر بوده و

تعداد 3 خوشه به صورت زیر قابل تشخیص است:

Cluster1: PN , SPI

Cluster2: DPI

Cluster3 : RAI

خشکسالی بسیار شدید

نمودار شجره‌ای و فواصل ادغام نمودارها برای حالت خشکسالی بسیار شدید در کل ایستگاه‌های استان برای دوره‌ی مطالعاتی 30 ساله در شکل 3 آورده شده‌اند. فاصله‌ی ادغام گروه‌بندی سنج‌های خشکسالی بسیار شدید در مرحله‌ی سوم تفاوت معنی‌داری با مرحله‌ی قبلی داشته، و بنابراین انتخاب تعداد بهینه خوشه‌ها در حد

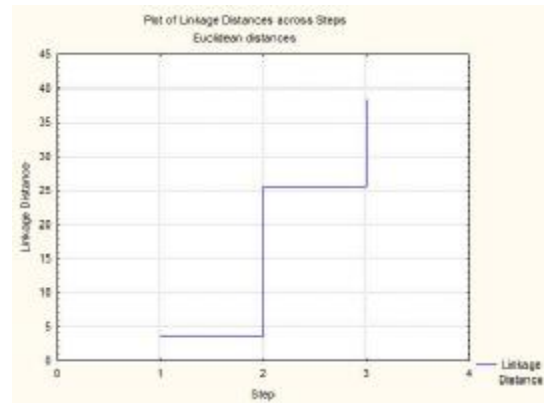
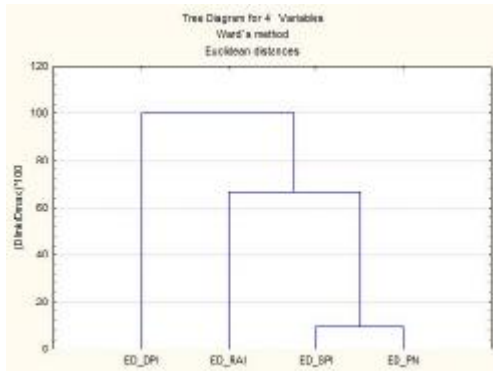
خشکسالی‌های شدید

نمودار شجره‌ای و فواصل ادغام نمودارها برای حالت خشکسالی بسیار شدید در کل ایستگاههای استان برای دوره‌ی مطالعاتی 30 ساله در شکل 5 آورده شده‌اند. در این حالت نمی‌توان با 4 شاخص بیشترین فاصله‌ی عمودی را از روی نمودار فواصل ادغام، مشخص نمود، ولی تعداد 2 خوشه به صورت زیر قابل تشخیصند:

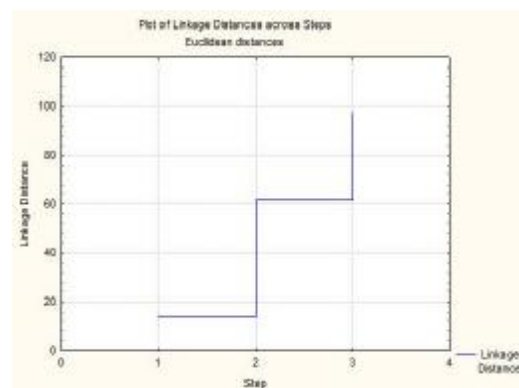
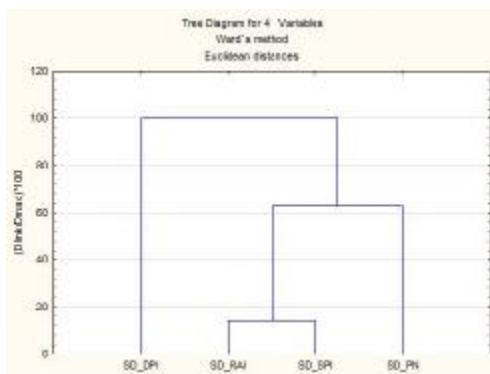
Cluster1: SPI ,PN , RAI
Cluster2: DPI

با توجه به شکل 4، فاصله‌ی ادغام گروه‌بندی سنج‌های خشکسالی شدید نیز در مرحله‌ی سوم تفاوت معنی داری با مرحله‌ی قبلی داشته و بنابراین، انتخاب تعداد بهینه‌ی خوشه‌ها در حد فاصله‌ی مرحله‌ی دوم و سوم گروه‌بندی امکان‌پذیر است. در این فاصله تعداد 3 خوشه به صورت زیر قابل تشخیصند:

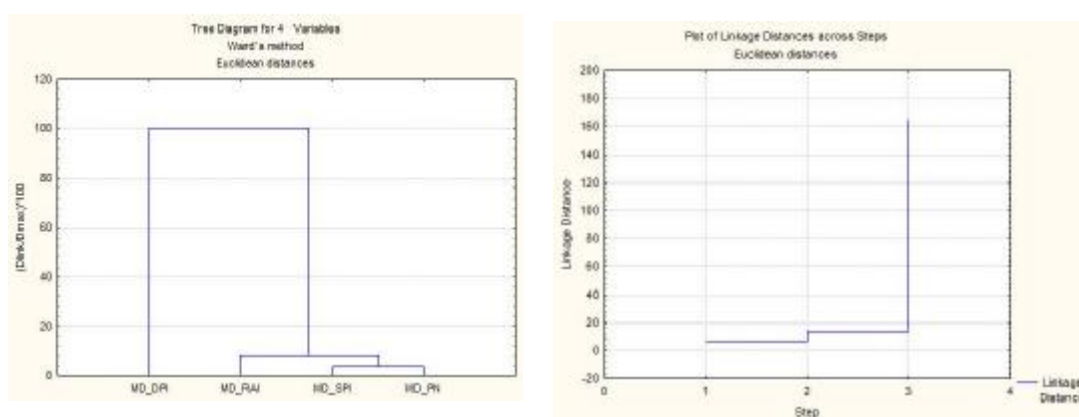
Cluster1: RAI , SPI
Cluster2: PN
Cluster3 : DPI



شکل 3 - نمودار شجره‌ای و فواصل ادغام نمودار برای حالت خشکسالی بسیار شدید (extreme drought) برای کل استان سیستان و بلوچستان برای دوره‌ی 30 ساله.



شکل 4 - نمودار شجره‌ای و فواصل ادغام نمودارها برای حالت خشکسالی شدید (severe drought) برای کل استان سیستان و بلوچستان برای دوره‌ی 30 ساله.



شکل 5- نمودار فواصل شجره‌ای و فواصل ادغام نمودارها برای حالت خشکسالی متوسط (medium drought) برای کل استان سیستان و بلوچستان برای دوره‌ی 30 ساله.

نتایج بررسیهای انجام شده نشان می‌دهند اگرچه برخی از نمایه‌های مورد مطالعه از نظر عددی با یکدیگر ضریب همبستگی بالایی را عرضه می‌دارد (مانند زوجهای PN و DPI)، ولی در تحلیل خوشه‌ای فراوانی سالهایی که در یک طبقه قرار می‌گیرند (مانند خشکسالی شدید) ممکن است این نمایه‌ها در دو گروه مجزا واقع شوند، بنابراین، لازم است که علاوه بر سنجش آماری ضریب همبستگی، از سنجش‌های آماری دسته‌بندی نظیر روش خوشه‌ای، نیز در انتخاب بهترین شاخص خشکسالی منطقه استفاده کرد. بررسی آماری نتایج به‌دست آمده حاکی از این است که نمایه‌ی SPI، شاخص مناسبی جهت پایش خشکسالی نمی‌باشد، و آستانه‌ی خشکسالی را دیرتر از بقیه شاخصها نشان می‌دهد. تحقیقات سبزی پروری و کاظمی (1389) نشان دادند که به رغم توانایی نمایه‌ی SPI در شرایط شروع خشکسالی، نمایه‌ی مناسبی برای پایش خشکسالی در مقیاس ماهانه در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک نمی‌باشد. در مطالعات انجام یافته به‌وسیله‌ی بذرافشان (1381)، به‌کارگیری نمایه‌ی SPI برای پایش خشکسالی در مقیاس ماهانه در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک نیز توصیه نگردیده است. محسنی ساروی و همکاران (1383) نیز یکی از نقاط ضعف نمایه‌ی SPI را در ارزیابی مقادیر بارندگی صفر منعکس نموده‌اند. به رغم مشکلات شاخص معیار بارش، سلطانی و مدرس (1385) از این شاخص به منظور

خشکسالی متوسط

نمودار فواصل ادغام گروه خشک سالیهای متوسط در شکل 5 نشان می‌دهد که مرحله‌ی 3 گروه‌بندی سنججه‌ها، تفاوت مشخصی با سایر مراحل داشته، و حداقل فواصل مرحله‌های 2 و 3، محل مناسبی جهت انتخاب بهینه‌ی تعداد خوشه‌ها می‌باشد. مطابق با نمودار شجره‌ای ترسیم شده، تعداد 2 خوشه قابل تشخیص به‌صورت زیر است:

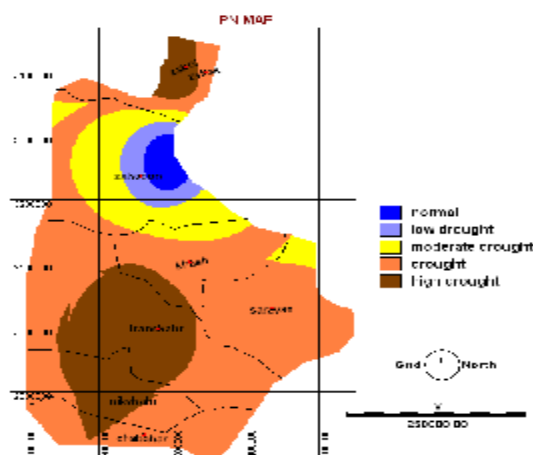
Cluster1: PN , RAI
Cluster2: DPI , SPI

از میان نمایه‌های ارزیابی شده، نمایه‌هایی مانند RAI و PN به عنوان بهترین نمایه‌ها جهت پیش‌بینی خشکسالی در شرایط اقلیمی استان سیستان و بلوچستان معرفی می‌شوند، زیرا از لحاظ توصیف وضعیت خشکسالی بهتر از دیگر نمایه‌ها به واقعیت نزدیک بودند، همچنین در تحلیل خوشه نیز در یک گروه قرار گرفتند.

با استفاده از نمایه‌ی منتخب PN، پهنه‌بندی خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان در طول دوره‌ی مطالعاتی 30 ساله انجام شد که در شکل 6 دیده می‌شود. در این شکل مناطقی که در استان شاهد خشکسالی بسیار شدید و شدید تا ترسالیهای بسیار شدید و شدید بوده‌اند در طول دوره‌ی آماری 30 ساله دیده می‌شوند.

شرایط اقلیمی استان اصفهان بهره بردند.

استخراج منحنیهای هم شدت خشکسالیهای شدید در



شکل 6- پهنه بندی مناطق مستعد خشکسالی و ترسالی در استان سیستان و بلوچستان در دوره‌ی آماری 30 ساله با استفاده از نمایه PN.

خشکسالی شدید و بسیار شدید اتفاق افتاده است، و در بقیه سالها نیز در بعضی از شهرها خشکسالی ضعیف و متوسط به چشم می‌خورند، که با شواهد واقعی ثبت شده در شهرهای مختلف، مانند کاستی شاخص عملکرد محصولات کشاورزی، کاهش بدهی رودها، و افت سطح آب زیرزمینی در دوره‌ی مورد مطالعه، سازگاری و مطابقت خوبی نشان دادند. البته باید این نکته را در نظر داشت که کمبود بارندگی تنها و مهمترین عامل مؤثر خشکسالی نیست، بلکه عدم یکنواختی ریزشهای جوی در طول سال نیز از جمله‌ی این موارد به شمار می‌رود. بنابراین، بایستی با مدیریت صحیح، اقدامات سازه‌ای، غیر سازه‌ای و تلفیق آنها در مقابله با خشکسالی تصمیمات صحیحی را اتخاذ نمود.

منابع

1. بنی‌واهب، ع.، و ب. علیجانی. 1383. بررسی خشکسالی، ترسالی، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی منطقه بیرجند با استفاده از شبیه‌های آماری. مجله پژوهشهای جغرافیایی. 45: 141-157.
2. بذرافشان، ج. 1381. مطالعه تطبیقی برخی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران.

نتیجه‌گیری

از آن‌جا که وقوع خشکسالی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد، بویژه در دهه‌ی اخیر که میزان آن افزایش چشمگیری داشته است، یک مدیریت صحیح برای مقابله با این بلای طبیعی و ایجاد یک سامانه‌ی مدیریتی خطرپذیری، لزوم اطلاع‌رسانی درست و به موقع، و ارائه‌ی اطلاعات صحیح در هر مقیاس زمانی اجتناب‌ناپذیر است. پایش خشکسالی با استفاده از نمایه‌های خشکسالی، همچون DPI ، PN ، SPI و RAI به عنوان یکی از مؤلفه‌های مؤثر در سامانه‌ی پیش‌آگاهی مدیریت خطرپذیری بلایای طبیعی، این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان مناطقی از استان را که بر اثر خشکسالی زیان دیده‌اند، شناسایی کرد و با توجه به بوم‌نظام شکننده‌ی این مناطق، باید در سالهای کم‌آبی، با لحاظ نمودن احتمالات و پیش‌بینی وقوع خشکسالی، به برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آبی آن‌جا پرداخت. در این راستا، استفاده از شاخصهای خشکسالی آبشناسی می‌تواند اثرات خشکسالی را بر منابع آبی بهتر بروز دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نمایه‌های ارزیابی شده، نمایه‌های PN و RAI به عنوان بهترین نمایه‌ها برای پیش‌بینی خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان معرفی می‌گردند. بر پایه‌ی این نمایه، سالهای 1360، 1370، 1372، 1373، 1378، 1379، 1380، 1381، 1382، 1384، 1387 و 1389 در کل شهرهای استان

3. پایلی یزدی، م.ح. 1378. آیینهای باران خواهی در زمان خشکسالی. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جغرافیایی. 55: 186-211.
4. رحیم زاده، ز. ح. محمدزاده، ح. کاردان مقدم، و ع. هوشمند. 1388. پهنه بندی خشکسالی با شاخصهای SPI و CZI و استفاده از علم زمین آمار (مطالعه موردی استان خراسان جنوبی). نخستین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه. ص 332-340.
5. زارع ابیانه، ح. و ع. محبوبی. 1383. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخصهای آماری خشکسالی. مجله پژوهش و سازندگی. 64: 2-7.
6. سبزی پرور، ع. و آ. کاظمی. 1389. ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. 12: 111-97.
7. سلطانی، س. و ر. مدرس. 1385. تحلیل فراوانی و شدت خشکسالی هواشناسی استان اصفهان. 59: 15-25.
8. صدر افشاری، س. و م. فیض الله پور. 1390. برآورد مقادیر خشکسالی ارومیه با استفاده از شاخصهای SPI، DI، ZSI و PN، و مقایسه روشهای فوق برای دستیابی به بهترین شاخص خشکسالی. دومین همایش ملی مقابله با بیابان زایی و توسعه پایدار تالابهای کویری ایران، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، 117.
9. طالبی، ع. ز. اکبری، م. ت. دستورانی، و ج. محجوبی. 1389. بررسی کارایی شبیه درختان تصمیم گیری در برآورد رسوبات معلق رود ای (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام). اولین همایش ملی تحقیقات منابع طبیعی. قریانی، خ. ع. خلیلی، ک. علوی پناه، و غ. نخعی زاده. 1389. مطالعه تطبیقی نمایه‌های هواشناسی خشکسالی
- SIAP و SPI به روش داده کاوی در استان کرمانشاه. مجله آب و خاک، 24: 417-426.
11. محسنی ساروی، م. ع. ا. صفدری، ب. ثقفیان، و م. مهدوی. 1383. تحلیل شدت، مدت، فراوانی، و گستره خشکسالیهای حوزه کارون به کمک شاخص بارش معیار (SPI). منابع طبیعی ایران. 57: 607-618.
12. نحوی نیا، م. ج.، س. نیک مهر، خ. ا. آلی، ه. رضائی، و ع. کلاهیچی. 1387. تحلیل مکانی شاخصهای خشکسالی SPI و SIAP در استان کرمان. اولین کنفرانس بین المللی بحران آب، دانشگاه زابل، 22-20 اسفند.
13. یزدانی، و. ح. زارع ابیانه، و م. شادمانی. 1390. تحلیل فراوانی و پهنه بندی خشکسالیهای ایران با کاربرد نمایه شاخص معیار شده بارش. مجله مهندسی منابع آب. 4: 31-43.
14. Cancelliere, A., G. Mauro, B. Bonaccorso, and G. Rossi. 2007. Drought forecasting using the standardized precipitation index. *J. Water Resour. Manage.* 21: 801-819.
15. Dracup J. A., K. S. Lee, and E. G. Paulson. 1980. On the definition of droughts. *Water Res. Res* 16: 297-302.
16. Hayes, M. 1996. Drought indexes. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, 7 pp.
17. Rossi, G. 2000. Drought mitigation measures: a comprehensive framework. *In Drought and Drought Mitigation in Europe. j. voght and f. somma (Eds) Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.*
18. Tsakiris, G., D., Pangalou, and H. Vangelis. 2006. Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI), *Water Res. Manage.* 21: 821-833.