

بررسی تغییرات روزانه شدت خشکسالی‌ها در ایران

دکتر یوسفعلی عابدینی^۱، دکتر پیمان محمودی^{۲*}، نوشیروان نوشیروانی^۳

۱- دانشیار فیزیک جو، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان

۲- دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان،

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم محیط زیست، گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان

Email: (p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir)

چکیده

خشکسالی به عقیده بسیاری از محققین یکی از پیچیده‌ترین و در عین حال یکی از ناشناخته‌ترین مخاطرات طبیعی است که انسان با آن دست به گریبان است. هدفی که این مطالعه در پی دست یافتن به آن است بررسی تغییرات روزانه شدت خشکسالی‌ها در ایران است. برای رسیدن به این هدف از داده‌های بارش روزانه ۴۱ ایستگاه هواشناسی برای یک دوره آماری ۳۱ ساله (۱۹۸۳-۲۰۱۳) که از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد استفاده گردید. شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در یک مقیاس روزانه برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. با استفاده از تحلیل خوشه‌ای خشکسالی‌های ایران ناحیه بندی و در نهایت ویژگی‌های هر ناحیه به طور جداگانه بررسی شدند. نتایج حاصل از این ناحیه بندی نشان داد که ایران را می‌توان بر اساس رفتار زمانی سری‌های زمانی آنها به پنج ناحیه مختلف با عناوین ناحیه شمال غرب، ناحیه کرانه جنوبی دریای خزر، ناحیه شمالی ایران مرکزی، ناحیه جنوبی ایران مرکزی و در نهایت ناحیه جنوب شرقی تقسیم بندی نمود. این پنج ناحیه انطباق بسیار خوبی با شرایط جغرافیایی و اقلیمی ایران دارند که حاکی از توانمندی شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در پایش خشکسالی‌های ایران است. از بین پنج ناحیه به دست آمده از تحلیل خوشه‌ای نیز ناحیه جنوب شرق ایران به دلیل دور بودن از منابع رطوبتی و کمبود بارش یکی از آسیب پذیرترین نواحی به خشکسالی‌ها در ایران به شمار می‌رود به طوریکه طولانی‌ترین دوره خشک در این ناحیه ۱۴۳۵ روز متعلق به ایستگاه ایرانشهر بوده است.

کلمات کلیدی: شاخص خشکسالی مؤثر، ناحیه بندی، تحلیل خوشه‌ای، ایران

مقدمه

خشکسالی به عقیده بسیاری از محققین یکی از پیچیده‌ترین و در عین حال یکی از ناشناخته‌ترین مخاطرات طبیعی است که انسان با آن دست به گریبان است (هاگمن، ۱۹۸۴). این پدیده در مقایسه با دیگر مخاطرات طبیعی بیشترین تاثیر را بر روی فعالیت‌های انسانی دارد. اثرات خشکسالی‌ها اساساً غیر سازه‌ای، محدوده گسترش مکانی آنها وسیع و میزان خسارات ناشی از آن در مقایسه با دیگر مخاطرات طبیعی بسیار بیشتر است. همین اثرات غیر سازه‌ای خشکسالی‌ها مانع و سد بزرگی در برابر توسعه برآوردهای بهنگام، موثق و دقیق از شدت خشکسالی‌ها شده است به طوریکه تنظیم و تدوین هرگونه برنامه آمادگی در مقابل خشکسالی‌ها را در بسیاری از کشورها دچار مشکل ساخته است (چوپرا، ۲۰۰۶).

کشور ایران در عین گستردگی، در یکی از مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته است و خشکسالی با شدت و ضعف‌های مختلف از ویژگی‌های اصلی آب و هوای آن محسوب می‌شود. به طور کلی هیچ منطقه‌ای از ایران از این پدیده در امان نبوده و نسبت به موقعیت طبیعی خود اثرهای زیان بار این پدیده را تجربه می‌کنند. در سالهای اخیر آثار زیان بار خشکسالی بر منابع آب، کشاورزی، مراتع، بیماری‌های گیاهی، تولیدات دامی، مهاجرت و بهداشت و درمان بسیار زیاد بوده و پیش بینی می‌شود در خشکسالی‌های گسترده، بیش از ۶۰ درصد جمعیت روستاهای ایران، محل زندگی خود را ترک و به شهرها مهاجرت کنند.

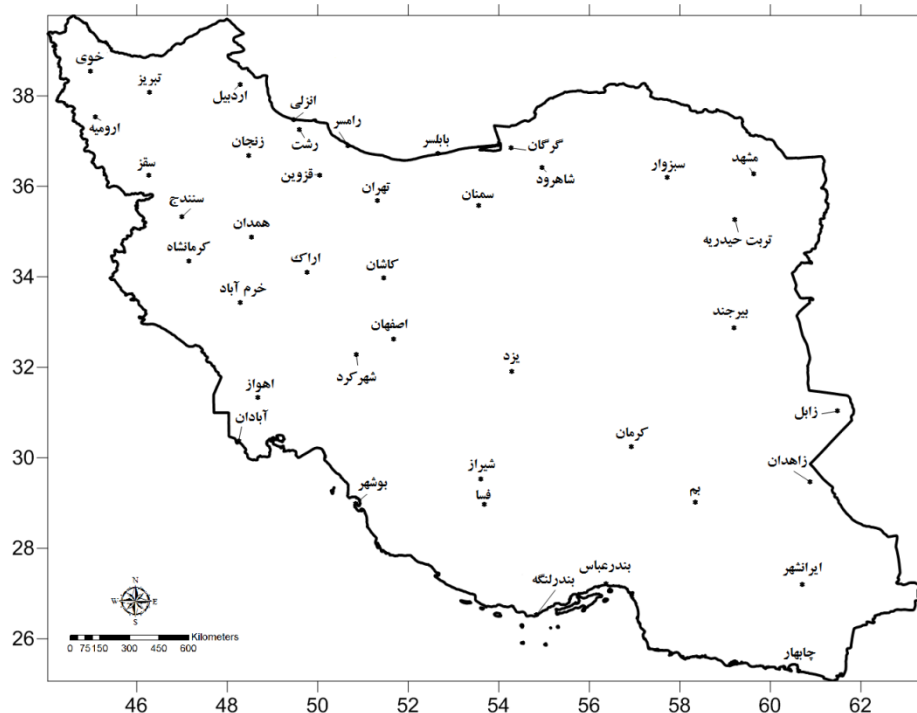
تاکنون شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی خشکسالی‌ها بکار برده شده اند که از آن جمله می‌توان به شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI؛ پالمر، ۱۹۶۵)، شاخص ناهنجاری بارش (RAI؛ ون روی، ۱۹۶۵)، شاخص دهک‌ها (گیبس و ماهر، ۱۹۶۷)، شاخص رطوبت محصول (CMI؛ پالمر، ۱۹۶۸)، شاخص خشکسالی پالمر و مولی (BMDI؛ پالمر و مولی، ۱۹۸۰)، شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI؛ شافر

و دیزمان، ۱۹۸۲)، شاخص بارش ملی (RI؛ گومش و پتراسی، ۱۹۹۴)، شاخص استاندارد شده بارش (SPI؛ مک کی و همکاران، ۱۹۹۳، ۱۹۹۵)، شاخص خشکسالی احيایی (RDI؛ وگ هورست، ۱۹۹۶)، شاخص خشکسالی رطوبت خاک (SMDI؛ هولینگر و همکاران، ۱۹۹۳) و شاخص خشکسالی محصول ویژه (CSDI؛ می یر و همکاران، ۱۹۹۳؛ می یر و هوبارد، ۱۹۹۵) که بعد از شاخص CMI ارائه شده است و خود به دو شاخص دیگر یکی شاخص خشکسالی ذرت (می یر و همکاران، ۱۹۹۳) و دیگری شاخص خشکسالی سویا (می یر و همکاران، ۱۹۹۵) تقسیم می شود. علاوه بر این شاخص ها، شاخص های پنمن (۱۹۴۸)، تورنث وایت (۱۹۴۸؛ ۱۹۶۳)، و کیتیچ و بیرام (۱۹۶۸) در موارد محدودی استفاده شده اند (استیلا، ۱۹۸۶؛ هیس، ۱۹۹۶). اکثر شاخص های اشاره شده در بالا مبتنی بر متغیرهای هواشناسی یا آب شناختی بوده و در مقیاس های هفتگی، ماهانه، فصلی و سالانه مورد استفاده قرار می گیرند. اما تنها شاخصی که خشکسالی ها را در واحد روزانه مورد پایش قرار می دهد، شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) است. این شاخص برای اولین بار در سال ۱۹۹۹ توسط بیون و ویلهیت ارائه شد. آنها در این مطالعه نشان دادند که این شاخص می تواند در سنجش شدت خشکسالی ها یکی از بهترین شاخص ها باشد. کیم و بیون (۲۰۰۶) با استفاده از این شاخص، تابستان های همراه با خشکسالی ها را برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۴-۲۰۰۳) برای کره جنوبی شناسایی و سپس علت وقوع این خشکسالی ها را مورد توجه قرار دادند. آنها دریافتند که علت وقوع بیشتر این خشکسالی ها، ایجاد سیستم های بندالی در اقیانوس آرام شمالی بوده است. بیون و همکاران (۲۰۰۸) با هدف شناسایی دوره های تناوب خشکسالی ها در کره جنوبی از این شاخص بهره بردند. آنها بر اساس نتایج این تحقیق موفق شدند پنج دوره تناوب مختلف را در سری های زمانی خشکسالی های کره جنوبی شناسایی نمایند. از این شاخص جهت مطالعه اثر تغییر اقلیم بر جنبه های مختلف خشکسالی ها نیز بهره گرفته شده است. کیم و بیون (۲۰۰۹) در مطالعه اثر تغییر اقلیم بر جنبه های مختلف خشکسالی ها در قاره آسیا به این نتیجه رسیدند که فراوانی و شدت خشکسالی ها بر روی منطقه مونسونی آسیا (به خصوص در فصل بهار) کاهش و در غرب آسیا (به خصوص در فصل تابستان) افزایش خواهد یافت. در یک مطالعه تطبیقی کارائی دو شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) جهت پایش خشکسالی های شهر سئول پایتخت کره جنوبی مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این مطالعه نشان داد که شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) کارائی بهتری در مقایسه با شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در پایش خشکسالی های کوتاه مدت و بلند مدت این شهر دارد (کیم و همکاران، ۲۰۰۹). این نتیجه در مطالعات محققین دیگری که هدف آنها مقایسه کارائی شاخص های مختلف خشکسالی بوده است تایید شده است (مرید و همکاران، ۲۰۰۶؛ دوگان و همکاران، ۲۰۱۲). علاوه بر این مطالعات، محققین بسیاری در نقاط مختلف جهان تلاش نموده اند که کارائی این شاخص را در پایش خشکسالی کشورهای خود مورد بررسی قرار دهند (کالاماراس و همکاران، ۲۰۱۰؛ لی و همکاران، ۲۰۱۲؛ رودیر و ماهه، ۲۰۱۳؛ پادی و همکاران، ۲۰۱۴؛ امریت و همکاران، ۲۰۱۴؛ لی و همکاران، ۲۰۱۶؛ کارینا، ۲۰۱۶؛ دئو و همکاران، ۲۰۱۷). در ایران نیز مطالعات مختلفی در یک دهه اخیر جهت شناخت جنبه های مختلف خشکسالی ها با استفاده از این شاخص انجام پذیرفته است (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۴؛ اختری و همکاران، ۱۳۸۵؛ مرید و پامزد، ۱۳۸۶؛ نصرتی و کاظمی، ۱۳۹۰؛ مجرد و همکاران، ۱۳۹۳). دانشمند و محمودی (۲۰۱۶) با تحلیل طیفی سری های زمانی به دست آمده از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای ۴۱ ایستگاه مورد مطالعه در ایران اقدام به آشکارسازی رفتار دوره ای خشکسالی ها در ایران نمودند. نتایج مطالعه این محققین نشان داد که دوره های غالب موجود در سری های زمانی خشکسالی های ایران بسیار متنوع بوده و از دوره های ۲ ساله تا ۳۰ ساله را شامل می شود. آنها همچنین در مطالعه ای دیگری نشان دادند که شدت وقوع ترسالی های ایران در حال کاهش و شدت وقوع خشکسالی های آن در حال افزایش است. آنها علاوه بر این موارد به صراحت نشان دادند که احتمال وقوع خشکسالی های ایران در حال افزایش است یعنی دوره بازگشت خشکسالی ها نسبت به گذشته در حال کوتاه تر شدن است (دانشمند و محمودی، ۲۰۱۷، محمودی و دانشمند، ۱۳۹۷). لذا هدفی که این مطالعه در پی دست یافتن به آن است بررسی تغییرات روزانه شدت خشکسالی ها در ایران با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) است. برای رسیدن به این هدف اصلی قاعداً برای تمامی ایستگاه های مورد مطالعه، در یک مقیاس روزانه، شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) محاسبه خواهد شد. سپس با استفاده از تحلیل خوشه ای، خشکسالی های ایران ناحیه بندی و در نهایت ویژگی های هر ناحیه به طور جداگانه بررسی خواهد شد.

مواد و روش ها

به دلیل اینکه رخداد خشکسالی جز پدیده های نادر طبیعی بشمار می آید همانند مطالعات آبوهوایی دیگر، مستلزم وجود آمار درازمدت جهت تحلیل است که هر اندازه آمارهای مورد استفاده سال های بیشتری را در بر بگیرد، تحلیل های صورت گرفته بیشتر با واقعیت منطبق خواهد شد. گزارش سازمان هواشناسی جهانی حداقل سال های آماری مورد نیاز برای اینگونه بررسی ها را ۳۰ سال عنوان می نماید. در این

مطالعه از آمار بارش روزانه ۴۱ ایستگاه هواشناسی برای یک دوره آماری ۳۱ ساله (۱۹۸۳-۲۰۱۳) که از سازمان هواشناسی ایران دریافت شده استفاده گردیده است. این داده‌ها دارای آماری کامل و قابل اعتماد بودند که اندک خلاء آماری داده‌ها با استفاده از همبستگی و مدل‌های رگرسیونی بازسازی شده‌اند. توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه و توزیع فضایی آنها در سطح کشور ایران

بعد از تشکیل بانک اطلاعاتی بارش‌های روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه، برای شناسایی درجات مختلف شدت خشکسالی‌های آنها از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) استفاده شد. این شاخص همانگونه که در قسمت مقدمه نیز بدان اشاره شد برای اولین بار توسط بیون و ویلهیت در سال ۱۹۹۹ جهت آشکارسازی خشکسالی‌ها و تعیین زمان آغاز و خاتمه آنها توسعه داده شده است. مراحل محاسباتی این شاخص با انتخاب یک دوره فرضی از کمبود آب آغاز می‌گردد و در ادامه دوره واقعی آن تعیین خواهد شد. این دوره فرضی می‌تواند ۳۶۵ روز (نماینده مقدار کل منابع آب ذخیره شده برای یک دوره طولانی) و یا ۱۵ روز (نماینده مقدار کل منابع آب ذخیره شده برای یک دوره کوتاه مدت) باشد. در این تحقیق دوره ۳۶۵ روز که چرخه بارندگی غالب جهانی و حاکم بر کشور ایران نیز می‌باشد، انتخاب گردید. بعد از انتخاب تداوم فرضی می‌توان محاسبات را مطابق مراحل زیر ادامه داد (بیون و ویلهیت، ۱۹۹۹).

محاسبه بارش مؤثر روزانه (EP)

بارش مؤثر روزانه (EP) که نشان دهنده کاهش روزانه منابع آب است، با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$EP_i = \sum_{n=1}^i \left[\left(\sum_{m=1}^n P_m \right) / n \right] \quad (1)$$

که در آن i تداوم فرضی و P_m بارندگی تا $m - 1$ روز قبل (مثلاً P_1 بارندگی همان روزی که بایستی بارش مؤثر محاسبه شود و P_2 بارندگی یک روز قبل) می‌باشد. بعنوان مثال اگر i برابر ۳ روز باشد، بارش مؤثر روزانه (EP) مطابق زیر برآورد خواهد شد:

$$E \quad (2)$$

این رابطه بخوبی تاثیر بالاتر بارش‌های اخیر نسبت به بارش‌های قدیمی‌تر را نشان می‌دهد و دیگر اینکه هر روز، در طی دوره آماری، یک بارش مؤثر روزانه (EP) خواهد داشت. لذا برای هر دوره که هدف بررسی خشکسالی باشد، بایستی بارش مؤثر روزانه (EP) همه روزهای یک دوره را با در نظر گرفتن تداوم مورد نظر بدست آورد.

در این تحقیق (i) برابر ۳۶۵ روز در نظر گرفته شده که چرخه بارندگی غالب در سراسر جهان برای یک سال است. بدیهی است این محاسبات برای سال اول دوره آماری قابل انجام نخواهد بود و از سال دوم به بعد قابل انجام می‌باشد. بعنوان مثال چنانچه ۳۱ سال آمار وجود داشته باشد، فقط بارش موثر روزانه (EP) ۳۰ سال را می‌توانیم بدست آوریم.

محاسبه میانگین بارش موثر روزانه (MEP)

میانگین بارش موثر روزانه (MEP) در حقیقت میانگین بارش موثر روزانه (EP) برای هر روز تقویمی بوده که ویژگی‌های اقلیمی را در یک مکان و زمان معین نشان می‌دهد. برای محاسبه میانگین بارش موثر روزانه (MEP) یک روز، بایستی بارش موثر روزانه (EP) های همان روز را در طول دوره مورد نظر با هم جمع کرده و میانگین گرفت.

محاسبه انحراف بارش موثر روزانه (EP) از میانگین بارش موثر روزانه (MEP) (DEP)

برآورد انحراف بارش موثر روزانه (EP) از میانگین بارش موثر روزانه (MEP) مرحله بعدی محاسبات بوده که برای کل روزهای دوره آماری محاسبه می‌گردد:

$$DEP = EP - MEP \quad (3)$$

مقدار مثبت DEP، نشان دهنده ذخیره آب در همان تاریخ و همان مکان بوده و مقدار منفی آن، معنی عکس دارد.

محاسبه مقدار استاندارد شده DEP (SEP)

به منظور امکان مقایسه نتایج قبل بین مناطق مختلف بدون توجه به شرایط آب و هوایی، ارقام حاصله از مرحله قبل با استفاده از رابطه ذیل استاندارد می‌گردد:

$$SEP = DEP / ST(EP) \quad (4)$$

در رابطه فوق ST(EP) انحراف معیار EP برای هر روز تقویمی می‌باشد (نظیر MEP که میانگین EP های یک روز خاص بود).

تعریف دوره خشک و تداوم واقعی

چون مقادیر منفی DEP و SEP حاکی از بارندگی زیر حد نرمال می‌باشد، بنابراین دوره‌های خشک را می‌توان دوره‌هایی با مقادیر منفی متوالی تلقی نمود. تداوم واقعی از جمع کردن تداوم فرضی (۳۶۵ روز در این تحقیق) و دوره خشک یا تر بدست می‌آید. برای مثال اگر تا تاریخ ۲۲ آوریل به مدت ۳۵ روز مقدار DEP یا SEP منفی باشد (۱۹ مارس تا ۲۲ آوریل) تداوم واقعی برای این تاریخ، ۳۵ روز (دوره خشک) بعلاوه تداوم فرضی اولیه خواهد بود (روز ۳۹۹-۱=۳۶۵+۳۵). حال می‌توان برای هر روز در دوره آماری یک تداوم واقعی را بدست آورد.

محاسبه شاخص بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه (PRN)

محاسبه این قسمت با تکرار مراحل قبل و با توجه به دوره تداوم واقعی حاصل از مرحله قبل، آغاز می‌گردد. بعنوان مثال چنانچه ۲۱ مارس سال دوم آماری، تداوم واقعی ۳۷۷ روز را داشته باشد، لازم خواهد بود تا برای ۲۱ مارس کلیه سال‌ها، EP ۳۷۷ روزه و سپس MEP مربوط محاسبه گردد. به همین ترتیب برای ۲۱ مارس در سال بعد، با توجه به تداوم واقعی محاسبه شده، آن عملیات مجدداً برای سال‌های قبل و بعد تکرار می‌گردد. کلیه این مراحل برای تمامی روزها به همین ترتیب انجام خواهد گرفت. پس از محاسبه DEP هر روز با توجه به تداوم واقعی، PRN مربوطه مطابق معادله زیر محاسبه می‌گردد که اندیس j در آن اشاره به تداوم واقعی دارد:

$$PRN_j = DEP_j / \left(\sum_{n=1}^j (1/N) \right) \quad (5)$$

PRN، در حقیقت مقدار بارندگی لازم برای برگشت به شرایط نرمال، از حالت کمبود را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار کمبود بارندگی، نشان دهنده شدت خشکسالی می‌باشد، لذا می‌توان با PRN شدت خشکسالی را ارزیابی کرد، اما با توجه به اینکه مقادیر PRN به شرایط آب‌وهوایی وابسته بوده بنابراین لازم است تا مانند SEP استاندارد گردد.

محاسبه شاخص خشکسالی موثر (EDI)

EDI در واقع شکل استاندارد شده PRN می‌باشد و مطابق رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$EDI_j = PRN_j / St(PRN_j) \quad (6)$$

در رابطه بالا ST(PRN) نشان دهنده انحراف معیار PRN می‌باشد (مطابق با منطقی که برای EP ارائه گردید). بدین ترتیب این شاخص قابلیت آن را دارد تا برای هر شرایط آب‌وهوایی، وضعیت خشکسالی را در مناطق مختلف براساس طبقه بندی خاصی که برای آن تعریف شده محاسبه و با هم مقایسه نماید (جدول ۱).

جدول ۱- طبقه بندی شاخص خشکسالی موثر	
وضعیت	نمایه بارش موثر
فوق‌العاده مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۲/۵
خیلی مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۱/۵
کمی مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۰/۷
نرمال	کوچکتر از ۰/۷ و بزرگتر از -۰/۷
خشکسالی ملایم	کوچکتر یا مساوی -۰/۷
خشکسالی شدید	کوچکتر یا مساوی -۱/۵
خشکسالی بسیار شدید	کوچکتر یا مساوی -۲/۵

در ادامه از روش تحلیل خوشه ای جهت ناحیه بندی خشکسالی های ایران بهره برده شد. هدف اصلی این روش، ایجاد گروه ها و طبقاتی است که تنوع و تفرق درون گروهی آنها کمتر از تفرق و پراکنش بین گروهی باشد (بریان، ۲۰۱۱). برای انجام این کار، دو گام اساس بایستی پیموده شود: گام اول محاسبه درجه همانندی ایستگاه ها با یکدیگر و گام دوم چگونگی ادغام ایستگاه ها برحسب درجه همانندی آنها با یکدیگر است.

روش های گوناگونی برای اندازه گیری درجه همانندی پیشنهاد شده است که هریک متناسب با ماهیت موضوع مورد بررسی کارائی پیدا می کنند. در مطالعات اقلیمی غالباً برای محاسبه درجه همانندی از فاصله اقلیدسی استفاده می شود اما در این مطالعه از مجذور فاصله اقلیدسی استفاده گردیده است. زیرا در این شاخص به مشاهده‌هایی که فاصله زیادتری از همدیگر دارند وزن بیشتری داده می شود. اگر m تعداد متغیرها، X_{ij} مقدار متغیر j برای نفر i ام باشد مجذور فاصله اقلیدسی بین K و I عبارت است از:

$$D_{KI}^2 = \sum_{j=1}^m (X_{kj} - X_{Ij})^2 \quad (7)$$

پس از اندازه گیری درجه همانندی ایستگاه ها باید شیوه‌ائی برای ادغام ایستگاه‌هایی که بالاترین درجه همانندی را نشان داده اند به کار برد. روش وارد روشی است که در این مرحله از آن استفاده گردید. در این روش، گروه های r و s در صورتی ادغام می شوند که افزایش واریانس ناشی از ادغام آنها نسبت به ادغام هر یک از آنها با دیگر گروه ها کمینه باشد؛ به بیان ریاضی:

$$d(r, s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad (8)$$

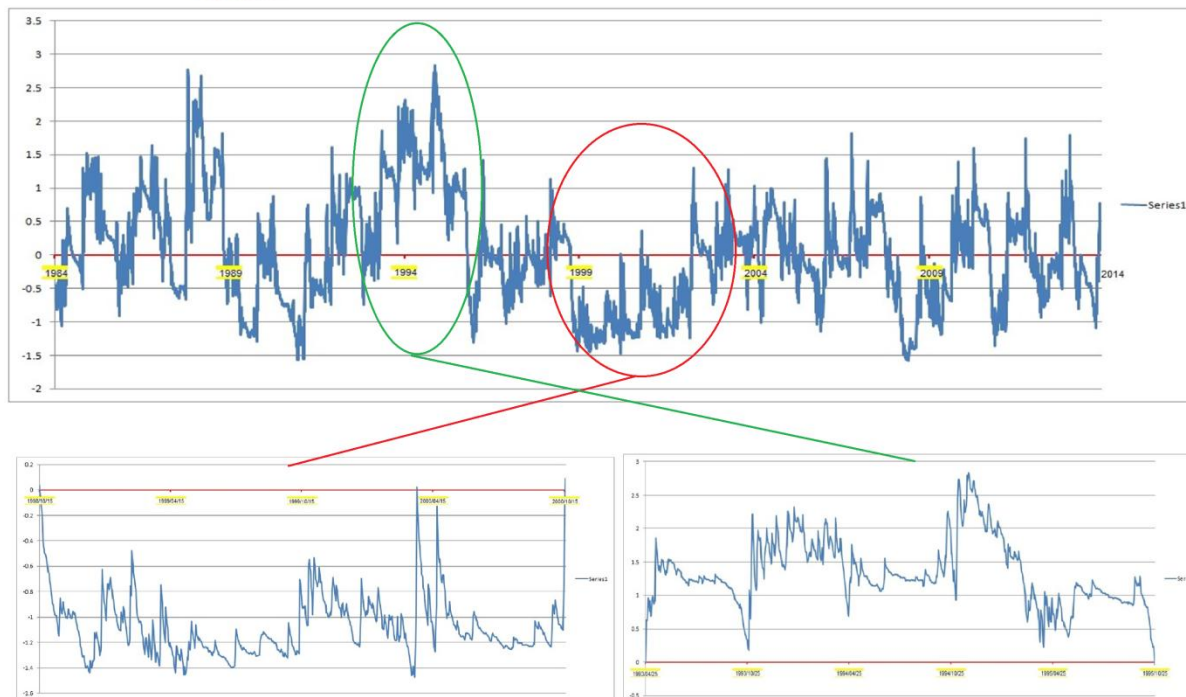
که در اینجا d_{rs}^2 فاصله بین گروه r و گروه s است. روش مزبور این مزیت را دارد که هر ایستگاه را در گروهی جای می دهد که مجموع مربعات انحرافات درون گروهی به حداقل برسد. ایستگاه‌هایی که به این روش در یک خوشه جای می گیرند از نظر مکانی بر روی نقشه در همسایگی یکدیگر واقع می شوند (بریان و همکاران، ۲۰۱۱؛ محمودی و مؤمن پور، ۱۳۹۱؛ محمودی و علیجانی، ۱۳۹۳). در ادامه خوشه-های به دست آمده از تحلیل خوشه‌ای با استفاده از روش درون یابی نزدیک ترین همسایه به نقشه ناحیه بندی خشکسالی ها تبدیل شدند. در نهایت خصوصیات خشکسالی های هر کدام از نواحی به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

با اجرای تحلیل خوشه‌ای بر روی ماتریس مقادیر روزانه شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) ایستگاه های مورد مطالعه (۱۰۹۵۰×۴۱) مشاهده شد که می توان ایران را بر اساس رفتار سری‌های زمانی خشکسالی‌های آن به پنج خوشه جداگانه تقسیم بندی نمود. در واقع هر خوشه در این تقسیم بندی بیانگر گروهی از ایستگاه‌هایی هستند که بیشترین همانندی را در رفتار سری‌های زمانی خشکسالی‌های آنها مشاهده می شود. نتایج حاصل از این تحلیل به صورت یک نمودار درختی ارائه می شود که در شکل ۲ نمودار درختی مربوط به این تحلیل آورده شده

The map of Iran is divided into five study regions, labeled A through E, each color-coded and containing specific cities. Region A (pink) is in the northwest, including Gilan, Mazandaran, Alborz, and Qazvin. Region B (orange) is in the north, including Gilan, Mazandaran, Alborz, and Qazvin. Region C (blue) is in the central-north, including Alborz, Qazvin, and Mazandaran. Region D (green) is in the central-south, including Alborz, Qazvin, and Mazandaran. Region E (purple) is in the southeast, including Alborz, Qazvin, and Mazandaran. Major cities marked include Tehran, Isfahan, Shiraz, and others. A scale bar and compass rose are included.

شکل ۴ تغییرات زمانی میانگین مقادیر شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) این ناحیه را نشان می دهد. این میانگین از جمع مقادیر روزانه شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) هفت ایستگاه این ناحیه و تقسیم آنها بر تعداد ایستگاه ها به دست آمده است. طولانی ترین دوره خشک این ناحیه، از تاریخ ۱۳۷۷/۰۷/۲۳ تا ۱۳۷۹/۷/۲۶ به مدت ۷۳۲ روز و طولانی ترین دوره تر نیز از تاریخ ۱۳۷۲/۰۲/۰۵ تا ۱۳۷۴/۰۸/۰۴ به مدت ۹۱۵ روز به ثبت رسیده است (شکل ۴).



شکل ۴- نمودار تغییرات زمانی میانگین مقادیر شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) ناحیه شمال غرب ایران (۱۹۸۴-۲۰۱۳). پایین سمت

چپ: طولانی‌ترین دوره خشک و پایین سمت راست: طولانی‌ترین دوره تر

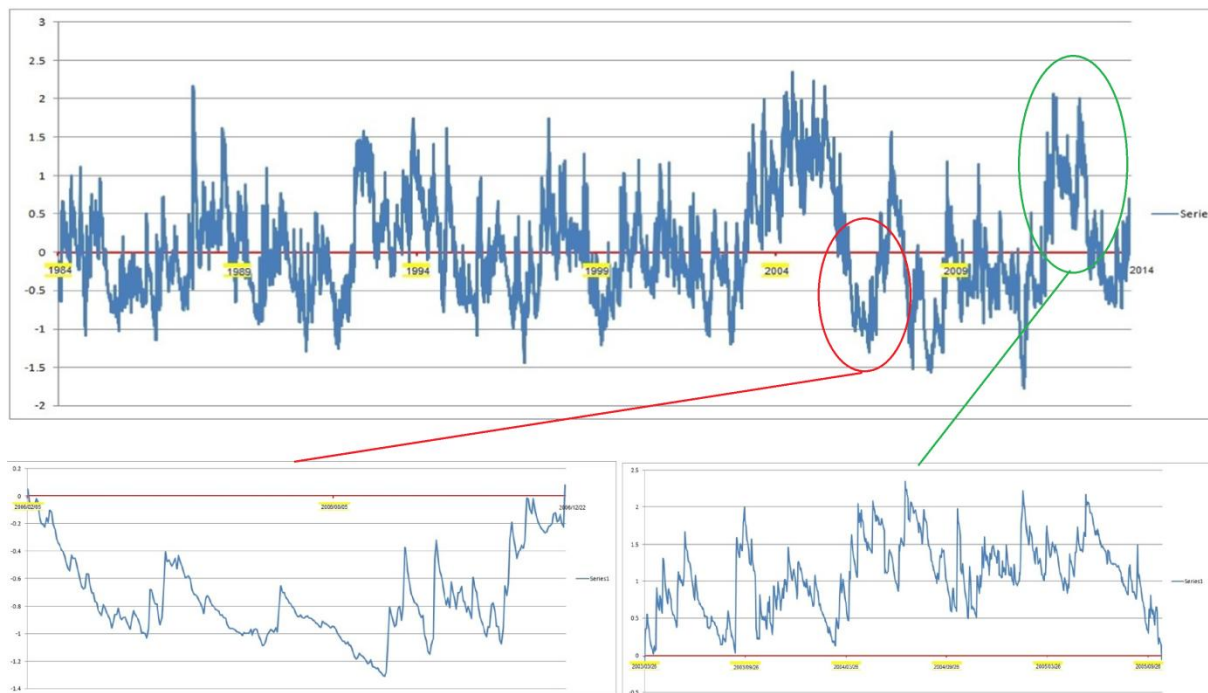
در بین ایستگاه‌های این ناحیه نیز ایستگاه ارومیه با ۹۶۰ روز طولانی‌ترین دوره خشک را از تاریخ ۱۳۷۷/۰۱/۲۰ تا ۱۳۷۹/۰۹/۰۴ دارا بوده است و طولانی‌ترین دوره تر هم متعلق به همین ایستگاه با ۷۹۶ روز از تاریخ ۱۳۷۱/۱۱/۱۳ تا ۱۳۷۴/۰۱/۱۹ بوده است (جهت رعایت اختصار نمودارهای آن آورده نشده است). فراوانی تعداد روزهای هر کدام از طبقات مختلف خشکسالی‌ها در طول دوره ۳۰ ساله مورد مطالعه نیز به تفکیک برای هر کدام از ایستگاه‌ها استخراج و در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس این جدول مشاهده می‌شود که ایستگاه خوی با ۲۷/۸ درصد دارای بیشترین فراوانی روزهای خشک (مجموع خشکسالی‌های متوسط، شدید و خیلی شدید) در طول ۳۰ سال مورد مطالعه بوده است به عبارت دیگر در ۲۷/۸ درصد روزها در طول این ۳۰ سال شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) آن منفی بوده و خشکسالی را در شدت‌های مختلف تجربه نموده است. عمده خشکسالی‌های این ایستگاه نیز از نوع خشکسالی ملایم بوده و کمتر دچار خشکسالی‌های با شدت بالا بوده است. ایستگاه زنجان نیز با ۲۷/۶ درصد، ارومیه با ۲۷/۲ درصد، سنندج با ۲۶/۲ درصد، سقز با ۲۶/۱ درصد، تبریز با ۲۵/۱ درصد و کرمانشاه با ۲۳/۹ درصد به ترتیب در رده‌های بعدی قرار داشته‌اند. در ضمن شدیدترین خشکسالی در این ناحیه مربوط به ایستگاه زنجان بوده که مقدار شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) آن در تاریخ ۱۳۸۸/۰۱/۱۹ به ۲/۶۹- رسیده که این عدد در ردیف خشکسالی‌های بسیار شدید است که زنجان در چهار روز به آن دچار شده است.

جدول ۲- فراوانی تعداد روزهای دارای طبقات مختلف شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای ناحیه شمال غرب ایران (۱۹۸۴-۲۰۱۳)

ایستگاه	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی ملایم	نرمال	کمی مرطوب	خیلی مرطوب	فوق العاده مرطوب
کرمانشاه	۰	۶۰۷	۲۰۱۶	۲۹۸۰	۲۹۶۱	۲۳۸۶	۰
خوی	۰	۴۵۵	۲۵۹۳	۲۶۷۰	۲۵۵۷	۲۶۷۵	۰
ارومیه	۰	۳۰۳	۲۶۸۰	۳۳۸۵	۲۰۲۱	۲۵۶۱	۰
سقز	۰	۶۰۶	۲۲۴۳	۳۰۳۶	۲۴۹۲	۲۵۷۴	۰
سنندج	۰	۴۲۸	۲۴۳۸	۳۰۵۲	۲۳۶۷	۲۶۶۵	۰

تبریز	۰	۵۴۰	۲۲۰۰	۳۲۴۳	۲۴۳۷	۲۵۳۰	۰
زنجان	۴	۶۸۱	۲۳۴۰	۲۷۹۴	۲۴۰۹	۲۷۲۲	۰

ناحیه شمالی پربارش‌ترین ناحیه در بین پنج ناحیه مورد مطالعه است. این ناحیه دارای میانگین بارشی در حدود ۱۰۳۸/۶ میلیمتر در سال است. این میزان بارش و توزیع فضایی آن در این ناحیه به طور آشکاری به دلیل وجود دریای خزر و وضعیت گردش هوا بر روی آن می باشد (کارخانه و همکاران، ۲۰۱۶). بالاترین بارش یک سال این ناحیه متعلق به ایستگاه انزلی با ۱۸۵۵/۸ میلیمتر و پایین‌ترین آن متعلق به ایستگاه اردبیل با ۳۰۳/۹ میلیمتر می باشد. تغییرات زمانی میانگین مقادیر روزانه شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در شکل ۵ آورده شده است. در این شکل به روشنی تغییرات مقادیر این شاخص را در طول ۳۰ سال مورد مطالعه مشاهده می کنید. طولانی‌ترین دوره خشک این ناحیه، از تاریخ ۱۳۸۴/۱۱/۱۶ تا ۱۳۸۵/۱۰/۰۱ به مدت ۳۲۱ روز و طولانی‌ترین دوره تر نیز، از تاریخ ۱۳۸۲/۱۰/۰۶ تا ۱۳۸۴/۰۷/۲۸ به مدت ۹۳۹ روز به ثبت رسیده است که در بین پنج ناحیه طولانی‌ترین زمان تر بوده است. در بین ایستگاه‌های این ناحیه نیز ایستگاه رامسر با ۸۰۲ روز طولانی‌ترین دوره خشک را از تاریخ ۱۳۷۳/۰۴/۲۸ تا ۱۳۷۵/۰۷/۱۰ تجربه کرده است و طولانی‌ترین دوره تر هم متعلق به همین ایستگاه، با ۸۴۳ روز از تاریخ ۱۳۸۲/۰۶/۱۶ تا ۱۳۸۴/۱۰/۰۸ بوده است. این دوره طولانی‌ترین دوره تر در بین تمامی ۴۱ ایستگاه مورد مطالعه بوده است (جهت رعایت اختصار نمودارهای آنها آورده نشده است). در این ناحیه ایستگاه رشت با ۲۷/۴ درصد، انزلی با ۲۶/۸ درصد، اردبیل با ۲۵/۵ درصد، بابلسر با ۲۴/۹ درصد، گرگان با ۲۴/۴ درصد و رامسر با ۲۱/۳ درصد به ترتیب دارای بیشترین درصد تعداد روزهای خشک (مجموع سه طبقه خشکسالی متوسط، شدید و خیلی شدید) بوده‌اند. ایستگاه رامسر کم‌نوسان‌ترین ایستگاه در بین کلیه ۴۱ ایستگاه کشور بوده است. این ایستگاه در ۸۶/۷ درصد روزها، دارای شرایط نرمال بوده است یعنی شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) آن بین ۰/۷ و -۰/۷ بوده که این محدوده نشانگر شرایط نرمال است. شدیدترین خشکسالی در این ناحیه مربوط به ایستگاه گرگان بوده که مقدار شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) آن در تاریخ ۱۳۸۷/۰۳/۰۸ به ۳/۰۸- رسیده، که در بین تمامی ۴۱ ایستگاه پایین‌ترین مقدار شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) محسوب می‌شود. در ضمن گرگان با ۱۳۳ مورد خشکسالی بسیار شدید رکورد دار می باشد.

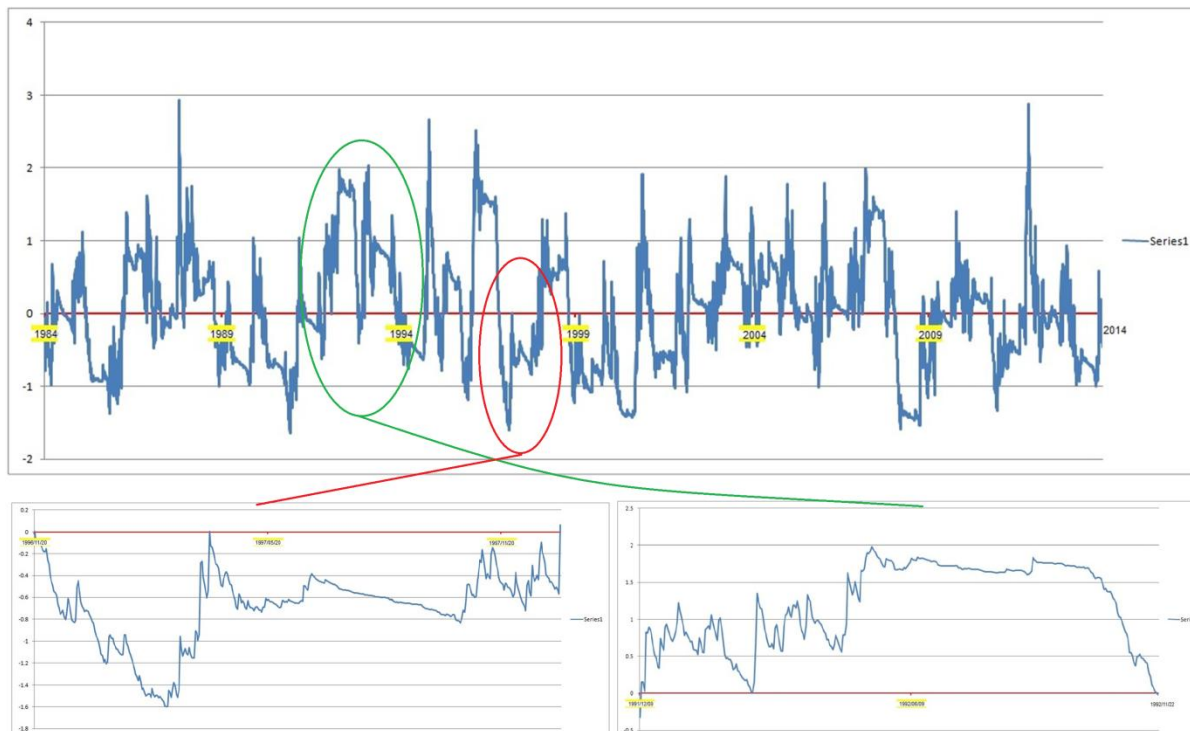


شکل ۵- نمودار تغییرات زمانی میانگین مقادیر شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) ناحیه شمالی ایران (۱۹۸۴-۲۱۰۳). پایین سمت چپ: طولانی‌ترین طول دوره خشک و پایین سمت راست: طولانی‌ترین طول دوره تر

جدول ۳- فراوانی تعداد روزهای دارای طبقات مختلف شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای ناحیه شمالی ایران (۱۹۸۴-۲۰۱۳)

ایستگاه	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی ملایم	نرمال	کمی مرطوب	خیلی مرطوب	فوق العاده مرطوب
انزلی	۱	۵۳۸	۲۳۹۹	۲۸۴۴	۲۶۰۵	۲۵۴۳	۰
اردبیل	۲	۴۳۳	۲۴۶۸	۳۰۹۲	۲۴۴۱	۲۵۱۴	۰
بابلسر	۰	۴۶۷	۲۲۵۹	۳۱۱۹	۲۴۶۹	۲۶۳۶	۰
گرگان	۱۳۳	۳۷۶	۲۱۵۹	۳۱۱۴	۲۶۳۹	۲۵۲۹	۰
رامسر	۰	۰	۱۴۴	۸۷۳۰	۷۶۶	۱۳۱۰	۰
رشت	۱	۴۲۵	۲۵۷۹	۲۹۱۸	۲۳۴۸	۲۶۷۹	۰

ناحیه شمالی ایران مرکزی از بین ۴۱ ایستگاه مورد مطالعه ۱۱ ایستگاه را به خود اختصاص داده است. این ناحیه دارای میانگین بارشی در حدود ۲۵۲/۵ میلیمتر در سال می باشد. دور بودن از منابع رطوبتی همچون دریای مدیترانه و دریای خزر و قرار گرفتن در قسمت بادپناه دو رشته کوه البرز و زاگرس باعث شده است که این ناحیه بعد از ناحیه جنوب شرق یکی از خشک ترین نواحی ایران باشد. در این ناحیه بیشترین بارش با مقدار ۵۱۰ میلیمتر متعلق به ایستگاه خرم آباد و کمترین بارش با مقدار ۱۲۲/۸ میلیمتر متعلق به ایستگاه اصفهان می باشد. نمودار تغییرات زمانی میانگین مقدار شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در طول مورد مطالعه نشان می دهد که این ناحیه به طور متناوب خشکسالی ها و ترسالی های کوتاه مدت و بلندمدت متفاوتی را تجربه نموده است (شکل ۶). طولانی ترین دوره خشک این ناحیه، از تاریخ ۱۳۷۵/۰۸/۳۰ تا ۱۳۷۶/۱۰/۱۵ به مدت ۴۱۰ روز و طولانی ترین دوره تر نیز از تاریخ ۱۳۷۰/۰۹/۱۸ تا ۱۳۷۱/۰۹/۰۱ به مدت ۳۴۸ روز به ثبت رسیده است. در بین ایستگاه‌های این ناحیه نیز ایستگاه شهرکرد با ۶۲۴ روز طولانی ترین دوره خشک را از تاریخ ۱۳۷۷/۱۲/۲۶ تا ۱۳۷۹/۱۲/۰۱ دارا بوده و طولانی ترین دوره تر نیز متعلق به ایستگاه اصفهان با ۷۷۳ روز از تاریخ ۱۳۸۴/۱۰/۰۴ تا ۱۳۸۶/۰۸/۲۲ بوده است (نمودارهای آنها آورده نشده اند).



شکل ۶- نمودار تغییرات زمانی میانگین مقادیر شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) ناحیه شمالی ایران مرکزی (۱۹۸۴-۲۰۱۳). پایین سمت

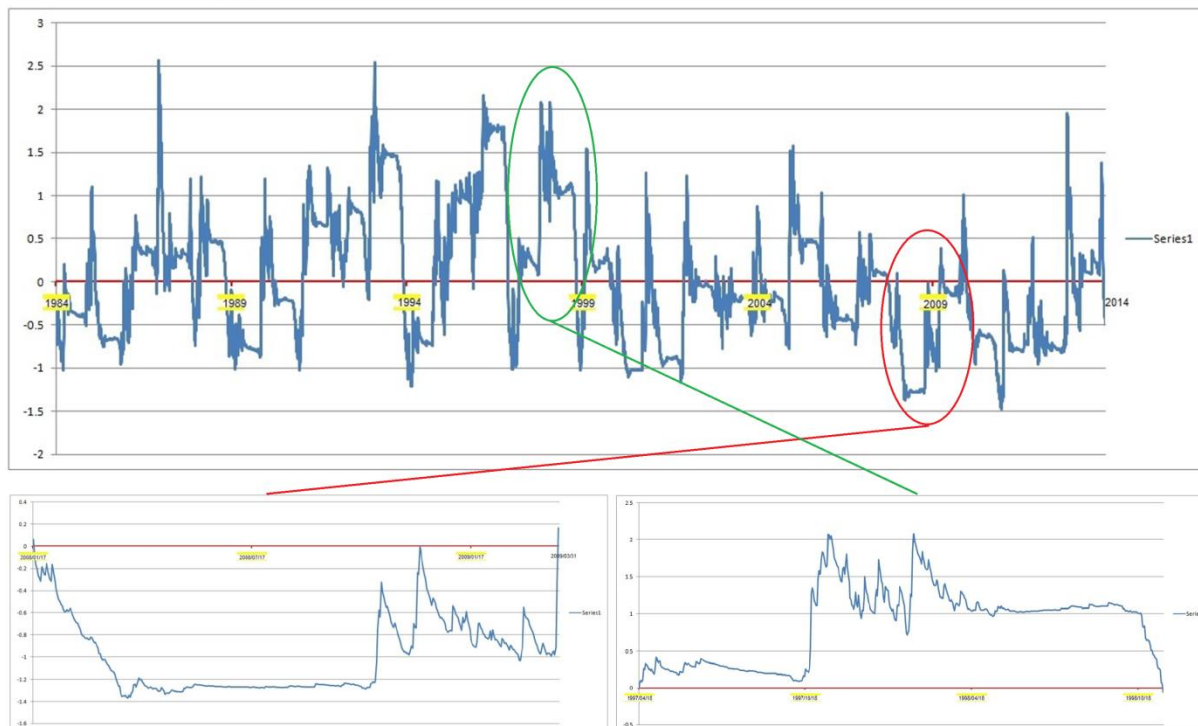
چپ: طولانی ترین طول دوره خشک و پایین سمت راست: طولانی ترین طول دوره تر

در این ناحیه ایستگاه تهران با ۲۸/۱ درصد دارای بیشترین روزهای خشک و ایستگاه همدان با ۲۲/۷ درصد دارای کمترین روزهای خشک بوده است. در این ناحیه بر خلاف دیگر نواحی، هیچکدام از ایستگاه‌ها خشکسالی با طبقه بسیار شدید را تجربه نکرده اند که این می تواند ناشی از ماهیت خشک بودن این ناحیه دانست. در جدول ۴ فراوانی روزهای مربوط به هر طبقه به تفکیک برای تمامی ایستگاه‌های این ناحیه آورده شده است.

جدول ۴- فراوانی تعداد روزهای دارای طبقات مختلف شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای ناحیه شمالی ایران مرکزی (۱۳۹۴-۲۰۱۳)

ایستگاه	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی ملایم	نرمال	کمی مرطوب	خیلی مرطوب	فوق العاده مرطوب
اراک	۰	۱۹۹	۲۶۹۹	۳۷۵۳	۱۷۲۵	۲۵۷۴	۰
اصفهان	۰	۶۳۰	۲۳۶۸	۲۵۵۶	۲۴۰۷	۲۹۸۹	۰
قزوین	۰	۴۴۹	۲۳۰۸	۳۳۰۶	۲۴۷۷	۲۴۱۰	۰
همدان	۰	۵۶۸	۱۹۱۵	۳۷۲۷	۲۲۰۳	۲۵۳۷	۰
کاشان	۰	۲۶۴	۲۵۲۷	۳۹۷۱	۱۶۴۷	۲۵۴۱	۰
خرم آباد	۰	۱۶۹	۲۷۴۶	۳۰۴۹	۲۶۳۰	۲۳۵۶	۰
سبزوار	۰	۵۴۵	۲۴۳۸	۳۳۱۰	۱۸۸۶	۲۷۷۱	۰
سمنان	۰	۱۲۸	۲۶۴۳	۳۶۳۹	۲۴۲۸	۲۱۱۲	۰
شهرکرد	۰	۶۷۴	۲۲۹۸	۲۳۷۱	۳۰۳۱	۲۵۹۴	۰
شاهرود	۰	۲۲۲	۲۶۴۷	۳۲۰۳	۲۳۲۲	۲۵۴۹	۰
تهران	۰	۵۱۴	۲۵۶۰	۲۶۲۶	۲۷۹۱	۲۴۵۹	۰

ناحیه جنوبی ایران مرکزی که در واقع وسیع ترین ناحیه در بین نواحی پنج گانه نیز می باشد شامل ۱۳ ایستگاه می باشد که دارای میانگین بارشی در حدود ۲۶۷/۲ میلیمتر در سال است. بیشترین و کمترین بارش این ایستگاه به ترتیب مربوط به دو ایستگاه شیراز (۳۴۶ میلیمتر) و یزد (۶۰/۸ میلیمتر) است. نمودار ۷ تغییرات سری زمانی میانگین شدت خشکسالی ها را در یک مقیاس روزانه برای این ناحیه نشان می دهد. طولانی ترین دوره خشک این ناحیه، از تاریخ ۱۳۸۶/۱۰/۲۷ تا ۱۳۸۸/۰۱/۱۱ به مدت ۴۴۰ روز و طولانی ترین دوره تر نیز از تاریخ ۱۳۷۶/۰۱/۲۹ تا ۱۳۷۷/۰۸/۲۳ به مدت ۵۷۵ روز به ثبت رسیده است (شکل ۷). در بین ایستگاه‌های این ناحیه نیز ایستگاه آبادان با ۹۴۷ روز طولانی ترین دوره خشک را از تاریخ ۱۳۸۹/۰۲/۰۵ تا ۱۳۹۱/۰۹/۰۶ دارا می باشد. و طولانی ترین دوره تر نیز متعلق به ایستگاه کرمان با ۷۰۵ روز از تاریخ ۱۳۷۳/۱۱/۰۲ تا ۱۳۷۵/۰۹/۰۷ می باشد (نمودارهای آنها جهت رعایت اصل اختصار آورده نشده است). در این ناحیه ایستگاه تربت حیدریه با ۲۸/۸ درصد دارای بیشترین روزهای خشک بوده است. ایستگاه بندرعباس نیز با ۲۸/۴ درصد، بندرلنگه با ۲۸ درصد، مشهد با ۲۷/۳ درصد، شیراز با ۲۷/۳ درصد، یزد با ۲۶/۷ درصد و بم با ۲۶/۳ درصد، اهواز با ۲۵/۷ درصد، بیرجند با ۲۴/۸ درصد، آبادان با ۲۳/۸ درصد، کرمان با ۲۳/۴ درصد، فسا با ۲۳/۲ درصد و بوشهر با ۲۲/۱ درصد به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند. بیشترین مقدار شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در این ناحیه و در بین تمامی ایستگاه‌ها متعلق به ایستگاه فسا می باشد که در تاریخ ۱۳۶۵/۰۹/۱۲ مقدار شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) آن به ۲/۵۱ رسیده است.

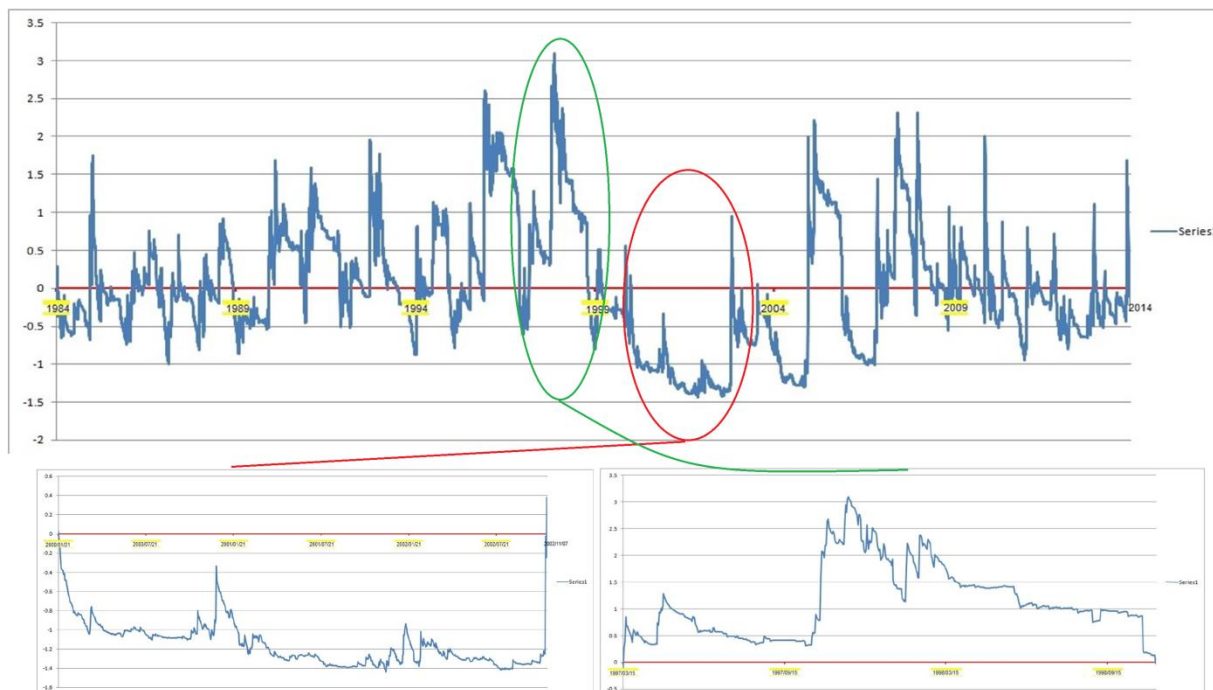


شکل ۷- نمودار تغییرات زمانی میانگین مقادیر شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) ناحیه جنوبی ایران مرکزی (۱۹۸۴-۲۰۱۳). پایین سمت چپ: طولانی ترین دوره خشک و پایین سمت راست: طولانی ترین طول دوره تر

جدول ۵- فراوانی تعداد روزهای دارای طبقات مختلف شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای ناحیه جنوبی ایران مرکزی (۱۹۸۴-۲۰۱۳)

ایستگاه	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی ملایم	نرمال	کمی مرطوب	خیلی مرطوب	فوق العاده مرطوب
ابادان	۰	۴۵۵	۲۱۴۷	۳۴۹۸	۲۶۴۶	۲۲۰۴	۰
اهواز	۰	۷۱۶	۲۱۰۶	۲۸۵۷	۲۸۹۵	۲۳۷۶	۰
بم	۰	۲۲۴	۲۶۵۵	۴۰۶۲	۱۴۱۸	۲۵۹۱	۰
بندرعباس	۰	۰	۳۱۱۵	۳۸۶۸	۱۵۴۸	۲۴۱۹	۰
بندر لنگه	۰	۱۱	۳۰۵۴	۳۹۱۵	۱۴۷۱	۲۴۹۹	۰
فسا	۰	۶۰	۲۴۸۱	۳۸۱۶	۲۳۶۴	۲۲۲۹	۰
کرمان	۰	۵۲۸	۲۰۳۲	۳۴۱۵	۲۸۶۶	۲۱۰۹	۰
مشهد	۰	۴۷۵	۲۵۲۰	۲۹۶۰	۲۴۹۴	۲۵۰۱	۰
شیراز	۰	۳۵۹	۲۶۲۸	۲۸۹۴	۲۵۳۱	۲۵۳۸	۰
تریت حیدریه	۰	۶۲۱	۲۵۳۸	۲۶۹۲	۲۷۰۳	۲۳۹۶	۰
یزد	۰	۸۵	۲۸۴۴	۳۳۹۸	۲۱۵۷	۲۴۶۶	۰
بیرجند	۰	۸۱۱	۱۹۰۳	۲۷۶۸	۲۵۸۸	۲۸۸۰	۰
بوشهر	۰	۲۸	۲۳۹۸	۴۴۰۴	۲۳۵۳	۱۷۶۷	۰

ناحیه جنوب شرق ایران که در واقع خشک‌ترین ناحیه در بین نواحی پنجگانه نیز به شمار می‌رود شامل ایستگاه‌های زابل، زاهدان، ایرانشهر و چابهار می‌باشد. میانگین بارش سالانه این ناحیه در حدود ۹۴/۲ میلی‌متر است. ایستگاه زابل با ۶۱ میلی‌متر بارش در طول یک سال کم‌بارش‌ترین و ایستگاه چابهار با ۱۱۳/۹ میلی‌متر بارش پر بارش‌ترین ایستگاه این ناحیه می‌باشد. موقعیت جغرافیایی و قرارگیری در عرض‌های جغرافیایی پایین و دور بودن از محدوده اثر جبهه‌های مدیترانه‌ای نسبت به سایر نقاط کشور باعث شده است که این ناحیه از رطوبت کمتری نسبت به سایر نواحی برخوردار باشد. شکل ۸ تغییرات میانگین مقدار شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در این ناحیه را نشان می‌دهد. طولانی‌ترین دوره خشک این ناحیه، از تاریخ ۱۳۷۸/۱۱/۰۱ تا ۱۳۸۱/۰۸/۱۶ به مدت ۱۰۲۰ روز به طول انجامیده است که در بین پنج ناحیه طولانی‌ترین زمان خشک را دارا بوده است. طولانی‌ترین دوره تر نیز از تاریخ ۱۳۷۶/۰۱/۲۹ تا ۱۳۷۷/۱۲/۲۴ به مدت ۶۰۳ روز به ثبت رسیده است. در بین ایستگاه‌های این ناحیه نیز ایستگاه ایرانشهر با ۱۴۳۵ روز طولانی‌ترین دوره خشک را (۱۳۷۸/۰۶/۰۱ تا ۱۳۸۲/۰۵/۱۰) ثبت نموده است که در بین تمامی ۴۱ ایستگاه دارای طولانی‌ترین دوره خشک می‌باشد و طولانی‌ترین دوره تر هم متعلق به همین ایستگاه، با ۶۱۳ روز (از ۱۳۷۵/۱۲/۲۶ تا ۱۳۷۷/۰۸/۳۰) می‌باشد (نمودارهای آنها جهت رعایت اصل اختصار آورده نشده است).



شکل ۸- نمودار تغییرات زمانی میانگین مقادیر شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) ناحیه جنوب شرقی ایران (۱۹۸۴-۲۰۱۳). پایین سمت

چپ: طولانی‌ترین طول دوره خشک و پایین سمت راست: طولانی‌ترین طول دوره تر

در این ناحیه فراوانی خشکسالی‌ها بیشتر از چهار ناحیه قبلی بوده است و نسبت به دیگر نواحی روزهای تر کمتری را تجربه کردند. دو ایستگاه چابهار و زابل کمتر دچار خشکسالی شدید شده و دو ایستگاه ایرانشهر و زاهدان کم و بیش دچار خشکسالی‌های شدید شده‌اند. درصد فراوانی روزهای همراه با طبقات مختلف خشکسالی‌های این ناحیه در کل این ۳۰ سال به شرح زیر است: در این ناحیه ایستگاه زابل با ۲۷/۱ درصد دارای بیشترین روزهای خشک بوده است. ایستگاه ایرانشهر نیز با ۲۶/۹ درصد، چابهار با ۲۴/۱ درصد و زاهدان با ۱۹/۹ درصد به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۶- فراوانی تعداد روزهای دارای طبقات مختلف شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای ناحیه جنوب شرق ایران (۱۳۰۲-۱۳۸۴)

ایستگاه	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی ملایم	نرمال	کمی مرطوب	خیلی مرطوب	فوق العاده مرطوب
چابهار	۰	۰	۲۶۴۵	۴۳۱۲	۱۹۳۵	۲۰۵۸	۰
ایران‌شهر	۰	۶۳۰	۲۳۱۴	۳۳۵۷	۲۰۶۶	۲۵۸۳	۰
زاهدان	۰	۶	۲۹۵۸	۳۴۸۸	۲۵۶۵	۱۹۳۳	۰
زابل	۰	۳۳۰	۱۸۴۶	۴۷۱۰	۲۰۴۸	۲۰۱۶	۰

نتیجه گیری

در این مطالعه خشکسالی های ایران در یک مقیاس روزانه با استفاده از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) که تنها متکی بر مقادیر بارش روزانه است مورد مطالعه و پایش قرار گرفت. با توجه به توزیع فصلی شدت خشکسالی ها، یک توزیع تقریباً یکنواخت از روزهای همراه با خشکسالی ها به خصوص خشکسالی های ملایم در تمامی ایستگاه های مورد مطالعه در طول سال مشاهده شد که این می تواند بیانگر این نکته باشد که خشکسالی ها می تواند در هر زمان از سال اتفاق بیفتد. از طرف دیگر توزیع فصلی روزهای همراه با خشکسالی های شدید و بسیار شدید نشان می دهد که تعداد حداقل این روزها بیشتر در فصل پاییز مشاهده می شود. این موضوع می تواند با آغاز فصل بارشی در بسیار از قسمت های ایران که فصل پاییز می باشد تبیین شود.

نتایج حاصل از ناحیه بندی خشکسالی های ایران بر اساس شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) نیز نشان داد که ایران را می توان بر اساس رفتار زمانی سری های زمانی آنها به پنج ناحیه مختلف تقسیم بندی نمود. این پنج ناحیه انطباق بسیار خوبی با شرایط جغرافیایی و اقلیمی ایران دارند که حاکی از توانمندی شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) در پایش خشکسالی های ایران است. آنچه که از تحلیل جزئیات خشکسالی های هر ناحیه به دست آمد این است که تمامی پنج ناحیه مورد مطالعه به خشکسالی آسیب پذیر هستند؛ اما در بین این پنج ناحیه، ناحیه جنوب شرق ایران به دلیل دور بودن از منابع رطوبتی و کمبود بارش یکی از آسیب پذیرترین نواحی به خشکسالی ها در ایران به شمار می رود. لذا با توجه به شناختی که از تحلیل ویژگی های خشکسالی های ایران در این مطالعه به دست آمد، لازم است برای هر ناحیه شیوه های خاص مدیریتی در جهت کاهش خسارت های اقتصادی-اجتماعی اعمال شود. این شیوه ها بطور کلی شامل مدیریت صحیح فعالیت های کشاورزی و به خصوص منابع آب است که از نظر زمانی می تواند قبل، حین و بعد از وقوع خشکسالی صورت گیرد.

منابع

۱. اختری ر، مهدیان م ح، مرید س، ۱۳۸۵. تحلیل مکانی شاخص های SPI و EDI در استان تهران. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۲(۳): ۲۷-۳۷.
۲. دانشمند ح، محمودی پ، ۱۳۸۶. تحلیل طیفی خشکسالی های ایران. مجله ژئوفیزیک ایران. ۱۰ (۴): ۴۷-۲۸.
۳. مجرد ف، خیری ر، نوری ز، ۱۳۹۳. تحلیل فراوانی خشکسالی های روزانه در ایران با شاخص خشکسالی مؤثر. فصلنامه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۴ (۳۵): ۴۸-۲۹.
۴. محمودی پ، علیجانی ب، ۱۳۹۳. شناسایی و پهنه بندی رژیم های بارشی استان کردستان با استفاده از تحلیل خوشه ای. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۸ (۲۶): ۶۴-۶۱.
۵. محمودی پ، مؤمن پور سورجانی ع، ۱۳۹۱. نواحی بارشی استان کردستان. نشریه نیوار. ۷۷-۷۶: ۱۴-۳.
۶. مرید س، پامیزد ش، ۱۳۸۶. مقایسه روش های هیدرولوژیکی و هواشناسی جهت پایش روزانه خشکسالی: مطالعه موردی دوره خشکسالی ۱۳۸۷ لغایت ۱۳۸۰ استان تهران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱ (۴۲): ۳۳۳-۳۲۵.
۷. مقدسی م، مرید س، قائمی ه، ولی سامانی ج م، ۱۳۸۴. پایش روزانه خشکسالی در استان تهران. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۶ (۱): ۶۲-۵۱.
۸. نصرتی ک، کاظمی ی، ۱۳۹۰. پایش روزانه خشکسالی و منابع آب در اقلیم های مختلف ایران. فصلنامه مرتع و آبخیزداری. ۶۴ (۱): ۹۴-۷۹.

9. Amrit K, Pandey RP, Mishra SK. 2014. Study of Regional Meteorological Drought Characteristics in Rajasthan. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 3 (special): 83-88.
10. Bhalme HN, and Mooley DA. 1980. Large-scale drought/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108: 1197–1211.
11. Brian SE, Landau S, Leese M, Stahl D. 2011. *Cluster Analysis*. 5th ed. Chichester: Wiley, 2011. 330 p.
12. Byun HR, Wilhite DA. 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 12: 2747–2756.
13. Byun HR, Lee SJ, Morid S, Choi KS, Lee SM, and Kim DW. 2008. Study on the Periodicities of Droughts in Korea. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Science*, 44: 417-441.
14. Chopra P. 2006. Drought risk assessment using remote sensing and GIS: a case study of Gujarat. M.Sc. thesis, Indian Institute of Remote Sensing, Dehradun, India.
15. Daneshmand H, Mahmoudi P. 2017. Estimation and Assessment of Temporal Stability of Periodicities of Droughts in Iran. *Water Resource Management*, 31 (11): 3413-3426.
16. Deo RC, Byun HR, Adamowski JF, and Begum K. 2017. Application of effective drought index for quantification of meteorological drought events: a case study in Australia. *Theoretical and Applied Climatology*, 128: 359.
17. Dogan S, Berkday A, Singh VP. 2012. Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 470–471: 255-268.
18. Gibbs WJ, and Maher JV. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bull.* 48, Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia.
19. Gommers R, Petrassi F. 1994. Rainfall variability and drought in Sub-Saharan Africa since 1960. *Agro-meteorology series working paper 9*, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
20. Hagman, G. 1984. Prevention better than cure: report on human and natural disasters in the third world. *Swedish Red Cross*, Stockholm, Sweden.
21. Hayes M. 1996. Drought indexes. *National Drought Mitigation Center*, University of Nebraska–Lincoln, 7 pp.
22. Hollinger SE, Isard SA, Welford MR. 1993. A new soil moisture drought index for predicting crop yields. *Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology*, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 187–190.
23. Kalamaras N, Michalopolou H, Byun HR. 2010. Detection of drought events in Greece using daily precipitation. *Hydrology Research*, 41(2): 126-133.
24. Karlina K. 2016. Meteorological Drought Assessment in Wonogiri District. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 2(2): 159-165.
25. Keetch JJ, and Byram GM. 1968. A drought index for forest fire control. *Asheville, N. C. Southeastern Forest Experiment Station*.
26. Kim DW, Byun HR. 2006. On the Causes of Summer Droughts in Korea and their Return to Normal. *Journal of the Korean Meteorological Society*, 42: 237-251 (2006).
27. Kim DW, Byun HR. 2009. Future pattern of Asian drought under global warming scenario. *Theoretical and Applied Climatology*, 98: 137–150.
28. Kim DW, Byun HR, Choi KS. 2009. Evaluation, Modification, and Application of the Effective Drought Index to 200-year Drought Climatology of Seoul, Korea. *Journal of Hydrology*, 378: 1-12.
29. Lee SM, Byun HR, Tanaka HL. 2012. Spatiotemporal Characteristics of Drought Occurrences over Japan. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51 (6): 1087-1098.
30. Li R, Wang J, Zhao T, Shi J. 2016. Index-based evaluation of vegetation response to meteorological drought in Northern China. *Nat Hazards*, 84: 2179.
31. McKee TB, Doesken NJ, and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. *Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology*, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179–184.
32. McKee TB, Doesken NJ, and Kleist J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. *Preprints, Ninth Conf. on Applied Climatology*, Dallas, TX, Amer. Meteor. Soc., 233–236.
33. Meyer SJ, Hubbard KG. 1995. Extending the crop-specific drought index to soybean. *Preprints, Ninth Conf. on Applied Climatology*, Dallas, TX, Amer. Meteor. Soc., 258–259.
34. Meyer SJ, Hubbard KG and Wilhite DA. 1993. The development of a crop specific drought index for corn. Part I: Model development and validation. *Agron. J.*, 85: 388–395.
35. Morid S, Smakhtin V, Moghaddasi M. 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, 27(15): 971–985.

36. Padhee SK, Nikam BR, Aggarwal SP, Garg V. 2014. "Integrating effective drought index (EDI) and remote sensing derived parameters for agricultural drought assessment and prediction in Bundelkhand region of India". ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-8, 2014, 89-100.
37. Palmer WC. 1965. Meteorological drought. U.S. Weather Bureau Tech Paper 45, 1-58.
38. Palmer WC, "Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index". Weatherwise, 21, 156-161 (1968).
39. Penman HL. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and glass. Proc. Roy. Soc. London, 193A, 120-146.
40. Roudier P, Mahe G. 2013. Study of water stress and droughts with indicators using daily data on the Bani River (Niger basin, Mali). International Journal of Climatology, 30 (11): 1689-1705.
41. Shafer BA, Dezman LE. 1982. Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. Proc. Western Snow Conf., 164-175.
42. Steila D. 1986. Drought. The Encyclopaedia of Climatology. J. E. Oliver, Ed., van Nostrand Reinhold, 386-395.
43. Thornthwaite CV. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38: 55-94.
44. Van Rooy MP. 1965. A rainfall anomaly index independent of time and space. Notos, 14, 43.
45. Weghorst KM. 1996. The reclamation drought index: Guidelines and practical applications. Bureau of Reclamation, Denver, CO, 6 pp.