مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره نوزدهم، بهار ۱۳۹۸
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۲۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۱
صفحات: ۱۲۲ - ۱۰۳

بررسی و ارزیابی برخی از ویژگی‌های شدت خشکسالی‌های آب و هوایی در گام‌های زمانی مختلف در ایستگاه‌های هواشناسی کرمان و شیراز

محمدحسین مبین[1]*، زهرا زارعی[2]، حمید سودایی زاده[3]

چکیده

از میان پدیده‌های اقلیمی که جوامع و محیط زیست را متاثر می‌سازند، خشکسالی آب و هوایی یکی از پیچیده‌ترین آن‌ها است. این ویژگی شناخت هر چه بیشتر جوانب گوناگون آن را ضرورت می‌بخشد. هدف از انجام این پژوهش بررسی برخی از ویژگی‌های خشکسالی آب و هوایی به‌ویژه شدت آنها در ایستگاه‌های هواشناسی کرمان و شیراز است. پس از تهیه داده‌های ساعتی مربوط به میانگین، بیشینه و کمینه دما و نیز میانگین بارش برای ایستگاه‌های همدیدی کرمان و شیراز در دوره اقلیمی ۵۱ ساله (۲۰۱۵-۱۹۶۵) و تبدیل به داده‌های روزانه و ماهانه، شدت خشکسالی‌های آب و هوایی بر اساس چهار شاخص SPI، RDI، SPEI و EDI در ۵ گام زمانی مختلف محاسبه، و کارآیی هر شاخص در تعیین ویژگی‌های خشکسالی آب و هوایی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شدت‌های خشکسالی محاسبه شده به وسیله هر یک از شاخص‌ها در گام‌های زمانی مختلف در هر دو ایستگاه کرمان و شیراز تغییرات و نوسانات ماهانه مشابهی داشته و در هر منطقه بر اساس نوع اقلیم، شاخصی که بیشترین همبستگی را با سایر آن‌ها در گام‌های زمانی مختلف دارد، متفاوت است. در ایستگاه کرمان، RDI6 (R^2=۰/۶۴) و در ایستگاه شیراز، RDI9 (R^2=۰/۷۰)، بیشترین همبستگی را با سایر شاخص‌ها داشته، کارآیی بالاتری جهت توجیه تغییرات کمی آنها دارند. بیشترین تعداد ماه‌های خشک در هر دو ایستگاه بدون در نظر گرفتن گام زمانی با EDI تعیین شده، اما در گام‌های زمانی مختلف، SPEI در کرمان و RDI در شیراز، کارآیی بالاتری جهت تعیین تعداد ماه‌های خشک دارند. بررسی شاخص‌های خشکسالی بیانگر غلبه شرایط خشکسالی در کرمان و شیراز به ترتیب در ۶۰٪ و ۴۵٪ از سال‌ها است. کلاس‌های شدت خشکی ملایم (۰>I>-۱)، متوسط (-۱>I>-۱/۵)، بترتیب با فراوانی ۶۵٪ و ۲۵٪، بیشترین و کلاس خشکی شدید و بسیار شدید (-۱/۵>I) کمترین درصد فراوانی (۱۵٪) را درهر دو ایستگاه داشتند.

واژگان کلیدی: خشکسالی آب و هوایی، کرمان، شیراز، SPI، RDI، SPEI، EDI.

[1]- استادیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول) mhmobin@yazd.ac.ir
[2]- دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد zarei@stu.yazd.ac.ir
[3]- دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد Hsodaie@yazd.ac.ir

مقدمه

خشکسالی یکی از بلایای طبیعی است 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 قابل قبول جهانی از خشکسالی به پیچیدگی و سردرگمی این پدیده افزوده است (زارع و محبوبی، ۱۳۸۳). به طور کلی خشکسالی عبارت است از کاهش غیرمنتظره‌ی بارش در مدتی معین در منطقه‌ای که لزوماً خشک نیست (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۲) و یا کاهش بارش نسبت به میانگین درازمدت (فرجزاده، ۱۳۸۶) اطلاق می‌گردد. 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.

برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک نمایه مشخص جهت تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (سیلوا،[1] ۲۰۰۳). نمایه‌های خشکسالی نمایشی عددی از شدت خشکسالی بوده و پارامترهایی هستند که جهت توصیف خشکسالی از جنبه های گوناگون، در مکانی مشخص و برای یک بازه زمانی معین محاسبه می‌شوند. این شاخص‌ها ارزیابی، تخمین و برآورد شدت، گستره مکانی، زمان‌بندی و تداوم رخدادهای خشکسالی را ممکن می-سازند. از آن‌جایی که یک تعریف جامع و مناسب درباره‌ی خشکسالی تاکنون ارائه نشده است، در نتیجه این مسئله مطرح می‌شود که کدام یک از نمایه یا شاخص‌های رایج برای بررسی، شناخت و ارزیابی خشکسالی در رژیم‌های گوناگون آب و هوایی و بخش‌های متأثر از آن دقت و کارآیی بیشتری دارد. ضوابطی چون سهولت دسترسی یا محاسبه، قابلیت شاخص‌ها جهت تشخیص به‌موقع رخداد، حساسیت به گسترش زمانی- مکانی، اعتمادپذیری انتزاعی یا تلفیقی آنها و غیره اغلب در گزینش شاخص‌ها و نمایه‌های خشکسالی مورد توجه پژوهشگران قرار دارد. اگرچه به نظر می‌رسد که مناسب‌ترین نمایه‌ها یا شاخص‌ها آن‌هایی‌اند که ساده‌تر و به آسانی در دسترس و یا قابل محاسبه‌اند، اما بهترین نیستند. از این رو توصیه شده است که در هر شرایطی تلفیقی از از آن‌ها به صورت تطبیقی مورد ارزیابی و انتخاب قرار گیرند (سازمان هواشناسی جهانی و مشارکت جهانی آب، ۲۰۱۶).

هدف از انجام این پژوهش بررسی برخی از ویژگی‌های خشکسالی آب و هوایی به‌ویژه شدت آن‌ها در دو ایستگاه هواشناسی همدیدی کرمان و شیراز (در دوره آماری ۲۰۱۵ – ۱۹۶۵) است و در این راستا تلاش شده تا تغییرات ماهانه شاخص‌های مذکور در گام‌های زمانی گوناگون، تعیین میزان قابلیت کاراترین شاخص جهت توجیه و تبیین تغییرات کمی بقیه آن‌ها در هر گام زمانی، تشخیص معتبرترین شاخص با گام زمانی معین برای تعیین تعداد و فراوانی وقوع ماه‌های خشک در شدت‌های مختلف خشکسالی در ایستگاه‌های همدیدی کرمان و شیراز مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند. با توجه به محاسبات انجام شده و بر اساس سیستم طبقه‌بندی دومارتن ایستگاه اولی دارای آب و

[1]- Silva

هوای خشک بوده و دومی از آب و هوای نیمه خشک برخوردار است (زارعی، ۱۳۹۵). مطالعات دیگری نیز چنین وضعیتی را بیان می‌کنند (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸؛ مسعودیان، ۱۳۹۱)

مطالعات متعددی تاکنون درمورد خشکسالی‌ها صورت گرفته است. هنگ وو[۱] و همکاران (۲۰۰۱)، سه شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI[۲])، Z چینی و نمره Z را در چهار ناحیه در کشور چین مورد ارزیابی قرار دادند. ضرایب همبستگی بین مقادیرSPI و CZI بیانگر این بود که این شاخص‌ها رابطه خوبی در مقیاس‌های زمانی مختلف، به جز در مقیاس زمانی ۳ ماهه و در شرایط بسیار خشک از خود نشان می‌دهند. پاشیردیس و میشلدیس[۳] (۲۰۰۸) به بررسی رژیم‌های بارشی و ارزیابی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های SPI و RDI در جزیره قبرس پرداخته‌اند. نتایج بیانگر وجود همبستگی زیاد بین این دو نمایه و قابلیت موثر آنها جهت ارزیابی و پایش خشکسالی بود و از آن‌ها به همراه سیستم‌های دیگر، جهت پیش‌بینی و ارزیابی اثرات خشکسالی در بخش‌های مختلف اقتصادی می‌توان بهره برد. وینیت[۴] و همکاران (۲۰۱۵)، به منظور سنجش و ارزیابی ویژگی‌های خشکسالی در حوزه رودخانه کن[۵] (هند)، شاخص‌های دهک‌ها (RDDI[۶])، بارش استاندارد (SPI)، Z چینی (CZI[۷])، نمره Z (Z-Score[۸])، انحراف باران (RD[۹]) و شاخص خشکسالی مؤثر (EDI[۱۰]) را در دوره زمانی ۲۰۰۰-۱۹۹۸ به صورت مقایسه‌ای بررسی نموده و دریافتند که انتخاب گام زمانی یک ماهه برای تمامی شاخص‌های فوق می‌تواند توأم با خطا باشد، ولی این شاخص‌ها در گام زمانی ۹ ماهه با یکدیگر همبستگی مناسبی را داشته و می‌توانند جایگزین یکدیگر باشند. لشنی زند (۱۳۸۳) به بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی در ۶ حوضه واقع در غرب کشور پرداخت. در این تحقیق شاخص SPI با در نظر گرفتن مزایایی که در تحلیل منطقه‌ای و ایجاد ارتباط زمانی بین رخدادهای خشکسالی در نواحی مختلف یک پهنه دارد انتخاب گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که وقوع خشکسالی با تداوم‌های یک تا سه ماهه، حتی در ایستگاه‌های واقع در مناطق نیمه مرطوب نیز پدیده‌ای معمول و بازگشت کننده است. سعادتی و سلطانی (۱۳۸۵) به بررسی آماری دوره بازگشت وضعیت‌های مختلف خشکسالی (میانگین، شدید، خیلی شدید) در استان اصفهان با بهره‌گیری از شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه پرداختند. نتایج نشان داد که از نظر فراوانی خشکسالی‌ها، بخش‌های غرب، جنوب غرب و شرق استان دارای حساسیت بالاتری نسبت به خشکسالی در مقیاس ۱۲ ماهه در مقایسه با دیگر نقاط استان هستند. فتاحی و صداقت‌کردار ((۱۳۸۶)) با استفاده از سری‌های زمانی حاصل از شاخص SPI تداوم، شدت و فراوانی خشکسالی‌ها برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه را بررسی کردند. نتایج نشان داد زمانی که شاخص SPI دارای توالی های منفی باشد، خشکسالی رخ می‌دهد و زمانی که مقادیر شاخص SPI ۱- و یا

---

[1]- Hong Wu
[2]- Standardized Precipitation Index
[3]- Pashiardis and Michaelides
[4]-Vinit
[5]- Ken River
[6]- Rainfall deciles based drought index
[7]- China Z-Index
[8]- statistical Z-Score
[9]- Rainfall Departure from the mean or median
[10]- Effective Drought Index

کمتر شود، خشکسالی تشدید می‌شود؛ این مقیاس‌های زمانی، برخورد خشکسالی را نسبت به دسترسی منابع مختلف آب بازگو می‌نماید، به طوریکه واکنش رطوبت خاک نسبت به وضعیت بارش کوتاه مدت است در حالی که پاسخ سطح آب‌های زیرزمینی و جریان رودخانه‌ها و ذخیره منابع آب نسبت به کمبود بارش، فرآیندی بلندمدت است. همچنین وقوع خشکسالی با تداوم‌های مختلف، حتی در ایستگاه‌های واقع در مناطق کوهستانی و نیمه مرطوب (شهرکرد و خرم‌آباد)، پدیده‌ای معمول است. کریمی. ص و ز. کریمی (۱۳۹۲) پایش و ارزیابی خشکسالی‌های استان کرمان با شاخص‌های خشکسالی هواشناسی را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش از دو شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده و شاخص جدید شناسایی خشکسالی، در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و در دوره‌ی ۱۳۹۰-۱۳۵۰ استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ و ۸۷-۱۳۸۶ رخ داده است که هر دو رخداد در دوره‌ی بزرگ خشکسالی (از ۷۹-۱۳۷۸ تا ۹۰-۱۳۸۹) قرار دارند. سخت‌ترین و متداول‌ترین رویدادهای خشکسالی نیز به آخر دوره‌ی مورد بررسی محدود شده و سختی خشکسالی نیز در حال تشدید می‌باشد. انتخاب مقیاس زمانی ۶ ماهه در ارزیابی سختی خشکسالی نسبت به سایر مقیاس‌های مؤثرتر می‌باشد. تبوزاده و همکاران (۱۳۹۴) شدت، مدت، فراوانی و گستره خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز بختگان را با استفاده از شاخص بارش استاندارد، در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه و در دوره‌ی آماری ۳۰ ساله (۸۹-۱۳۶۰) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که ایستگاه‌های واقع در مرکز و جنوب حوضه متحمل تداوم‌های طولانی‌تر و بزرگی خشکسالی بالاتر و درصد فراوانی خشکسالی شدیدتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها بوده‌اند. منحنی-های تداوم- دوره بازگشت و بزرگی- دوره بازگشت در مقیاس‌های مورد مطالعه نشان داد که با افزایش مقیاس زمانی و افزایش دوره بازگشت در ایستگاه‌ها، تداوم و بزرگی خشکسالی افزایش می‌یابد. بررسی پهنه‌بندی تداوم و بزرگی خشکسالی با دوره بازگشت ۲۰ سال، نشان داد که تداوم‌های طولانی‌تر ناحیه شرقی حوضه و بزرگی‌های بالاتر ناحیه مرکزی و جنوبی حوضه را در برمی‌گیرد. بررسی پهنه‌بندی شدیدترین شدت خشکسالی، نشان داد که خشکسالی بسیار شدید از حوالی مرکز و جنوب حوضه وارد شده و از شمال حوضه خارج می‌گردد.

گرچه تاکنون پژوهش‌های متعددی درباره جنبه‌های گوناگون انواع خشکسالی در جهان و ایران انجام شده، ولی در این پژوهش تعداد بیشتری از شاخص‌های خشکسالی و حتی جدیدترین آنها چون SPEI و EDI بصورت تطبیقی، شدت خشکسالی و همبستگی بین شاخص‌ها را در پنج گام زمانی مختلف و در یک دوره زمانی مشترک طولانی مدت‌تر ۵۱ ساله مد نظر قرار گرفته و می‌توان گفت که از برخی جهات این پژوهش در مورد ایستگاه‌های مورد مطالعه کم نظیر است. با توجه به موارد فوق در این پژوهش، چهار شاخص خشکسالی SPI، RDI، SPEI وEDI جهت تبیین و نشان دادن برخی ویژگی‌های شدت خشکسالی‌های آب و هوایی در ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب شد.

داده‌ها و روش ها

در پژوهش حاضرداده‌های ساعتی مربوط به میانگین، بیشینه و کمینه دما و نیز میانگین بارش برای ایستگاه‌های کرمان و شیراز در دوره اقلیمی ۵۱ ساله (۲۰۱۵-۱۹۶۵) از سازمان هواشناسی کشور اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. در این ایستگاه‌ها، دمای هوا در گام‌های زمانی سه ساعته اندازه گیری و سپس، دمای متوسط روزانه و ماهانه هوا

محاسبه شد. جدول (۱) خلاصه‌ای از عناصر اقلیمی ۲ ایستگاه مذکور را نشان می‌دهد. چهار شاخص خشکسالی SPI، RDI، SPEI و EDI جهت تبیین و نشان دادن ویژگی‌های شدت خشکسالی‌های اقلیمی در ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب شد. جهت محاسبه‌ی شاخص خشکسالی RDI و SPEI نیاز به مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه است که بدین منظور از روش تجربی هارگریوز-سامانی استفاده شد. مقادیر شاخص EDI نیز برای دوره مورد مطالعه با استفاده از داده‌های بارش روزانه بدست آمد. به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرونوف (K-S) استفاده شد که بر اساس آن داده‌ها دارای P>۰/۰۵ و توزیع نرمال بوده بنابراین جهت محاسبه ضریب همبستگی بین شاخص‌ها، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. جهت مقایسه‌ی شاخص‌های مختلف و تعیین کارآیی آن‌ها، ابتدا تعداد ماه‌های خشک در هر سال در طول دوره‌ی آماری (۲۰۱۵-۱۹۶۵) بر اساس مقادیر شدت در هر کلاس شدت خشکسالی (جدول ۲) مشخص و سپس تعداد کل ماه‌های خشک تعیین شده به وسیله شاخص‌های مختلف به دست آمد.

فراوانی خشکسالی نیز از ویژگی‌های مهم در بررسی خشکسالی یک منطقه بشمار می‌آید. برای بررسی فراوانی وقوع ماه‌های خشک در کلاس‌های مختلف شدت خشکسالی، ماه‌های خشک تعیین شده در هر سال با توجه به مقدار شدت، در کلاس‌های مختلف شدت خشکسالی، (ملایم[1]، متوسط[2]، شدید و بسیار شدید[3]) طبقه‌بندی شدند (جدول ۲) و فراوانی هر طبقه از شدت خشکسالی در تمام شاخص‌ها در گام‌های زمانی مختلف در دوره‌ی آماری مورد نظر محاسبه و درصد فراوانی هر یک تعیین گردید.

جدول ۱: مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین سالانه دما (°C)	میانگین سالانه بارش (میلی‌متر)	ضریب خشکی دومارتن (I)	نوع منطقه
۱	کرمان	۵۶° ۵۸′E	۳۰° ۱۵′N	۱۷۵۳/۸	۱۵/۸	۱۵۹/۹	۵/۲۸	خشک
۲	شیراز	۵۲° ۳۶′E	۲۹° ۳۳′N	۱۴۸۴	۱۸	۳۳۷	۱۱/۴	نیمه‌خشک

محاسبات

الف- طبقه‌بندی اقلیمی **ایستگاه های مورد مطالعه:** پس از جمع‌آوری و بررسی کمی و کیفی داده‌های مورد نیاز، بر اساس هدف مورد مطالعه برای انتخاب ایستگاه‌ها از ضریب اقلیمی دومارتن استفاده شد که بر این اساس، ایستگاه کرمان دارای اقلیم خشک(I= ۵/۲۸) و ایستگاه شیراز دارای اقلیم نیمه خشک(I= ۱۱/۴) است (جدول ۲).

[1]- Mild
[2]- Moderate
[3]- Sever/extreme

ب- شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده[1] (SPI): شاخص SPI توسط مکی[2] و همکارانش(۱۹۹۵) ارائه شد. تنها مولفه مؤثر در محاسبه آن، بارش است و براساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار بدست می‌آید و می‌توان آن را در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه کرد:

$$\mathrm{SPI} = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma} \quad (۱)$$

که در آن P_i مقدار بارندگی در دوره زمانی مورد مطالعه و σ انحراف استاندارد بارندگی در دوره زمانی مورد نظر است (مک‌کی و همکاران ۱۹۹۵).

ج- شاخص شناسایی خشکسالی[3](RDI): شاخص شناسایی خشکسالی یا RDI برای نخستین بار توسط جورج تساکرس[4] و ونجلیس[5] (۲۰۰۵) ارائه شد (تساکرس و ونجلیس، ۲۰۰۵). برای تعیین خشکسالی با استفاده از این شاخص نیاز به داشتن آمار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو متغیر است. در این پژوهش برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از روش هارگریوز-سامانی استفاده شده و محاسبه RDI در سه مرحله محاسبه شده که شامل مقدار ابتدایی (a_0) نرمال شده ($\mathrm{RDI_n}$) و استاندارد شده ($\mathrm{RDI_{st}}$) است. ابتدا با استفاده از رابطه زیر برای هر سال (i) از دوره‌ی آماری مورد مطالعه، مقدار ابتدایی یا a_0 محاسبه شده:

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_{ij}}{\sum_{i=1}^{12} PET_{ij}} \quad (۲)$$

که در آن: P و PET به ترتیب، بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل در j امین ماه سال i هستند. مقدار i از یک تا N (تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهد کرد. گام بعدی تعیین RDI نرمال (RDI_n) است که از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{\bar{a}_0} \quad (۳)$$

که در این آن:$\bar{a}_0$ میانگین حسابی مقادیر a_0 مربوط به هر یک از سال‌های دوره‌ی آماری است.

جهت محاسبه RDI استاندارد شده (RDI_{st}) از مقادیر سالانه a_0 لگاریتم گرفته که عددی با عنوان y_k بدست می آید ($y_k = \ln(a_0^{(i)})$). میانگین حسابی و انحراف معیار استاندارد این اعداد را محاسبه که به ترتیب $\overline{y_k}$ و $\overline{\sigma_{yk}}$ نامیده می‌شود. شاخص استاندارد شده RDI در هر سال به کمک فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \overline{y_k}}{\overline{\sigma_{yk}}} \quad (۴)$$

---

[1]- Standardized Precipitation Index (SPI)
[2]- Mckee
[3]- Reclamation Drought Index (RDI)
[4]- Tsakiris
[5]- Vangelis

د- شاخص خشکسالی بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده[1](SPEI): شاخص خشکسالی SPEI که اخیراً توسط وینسنت-سرانو[2] و همکاران (۲۰۱۰) ارائه شده، بر اساس تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) و مقادیر بارش به پایش خشکسالی می‌پردازد. در محاسبات شاخص SPEI پس از محاسبه اختلاف مقادیر ماهانه (هفتگی) بارندگی و PET برای ماه i ام، این مقادیر در دوره زمانی مورد بررسی با هم جمع می‌گردد:

$$D = P_i - PET_i \quad (۵)$$

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} P_{n-i} - PET_{n-i} \quad (۶)$$

که در آن D :

اختلاف بین مقادیر بارندگی و تبخیر-تعرق پتانسیل، k دوره زمانی مورد بررسی (k= ۳ برای بازه ۳ ماهه) و n ماه مورد محاسبه هستند. تابع چگالی احتمالی لوگ لجستیک سه متغیره به مقادیر D^k برازش داده می‌شود که قادر به درنظر گرفتن مقادیر منفی است:

$$f(x) = \frac{\lambda}{k}\left(\frac{x-\mu}{k}\right)^{\lambda-1}\left[\left(1+\frac{x-\mu}{k}\right)^{\lambda}\right]^{-2} \quad (۷)$$

که درآن:

k، λ و μ به ترتیب مولفه‌های مقیاس، شکل و تمایل مرکزی برای مقادیر D^k ($\lambda > D^k < \infty$) است. از میان روش‌هایی که برای تعیین پارامترهای توزیع لوگ لجستیک ارائه شده است، روش گشتاورهای خطی به عنوان روشی کارآ و سریع معرفی شده است. برای این منظور با محاسبه گشتاورهای خطی ، پارامترهای توزیع به قرار زیر تخمین زده می‌شود:

$$\lambda = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2} \quad (۸)$$

$$k = \frac{(w_0 - 2w_1)\lambda}{\Gamma(1+\frac{1}{\lambda})\Gamma(1-\frac{1}{\lambda})} \quad (۹)$$

$$\mu = w_0 - k\Gamma(1+1/\lambda)\Gamma(1-1/\lambda) \quad (۱۰)$$

که در آن: w_1 (i=۰،۱،۲،...) مقادیر گشتاورهای احتمالی وزن شده از مرتبه l هستند.

مقادیر تجمعی تابع توزیع احتمالی لوگ لجستیک از سری مقادیر D^k به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$F(x) = \left[\left(1+\frac{k}{x-\mu}\right)^{\lambda}\right]^{-1} \quad (۱۱)$$

در نهایت مقادیر SPEI با تبدیل مقادیر بدست آمده F(x) به مقادیر مربوطه نرمال استاندارد شده (Z) با به کارگیری روش تقریبی کلاسیک آمبراموتز-استگان (۱۹۶۵)، محاسبه می‌گردد:

$$Z = -\left(k - \frac{c_0 + c_1 k + c_2 k^2}{1 + d_1 k + d_2 k^2 + d_3 k^3}\right) \qquad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (۱۲)$$

1- Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)
2- Vicente-Serrano

$$Z = + (k - \frac{c_0+c_1k+c_2k^2}{1+d_1k+d_2k^2+d_3k^3}) \quad \text{for } 0.5 < H(x) < 1 \quad (۱۳)$$

$$k = \sqrt{\ln[\frac{1}{(H(X))^2}]} \quad \text{for } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (۱۴)$$

$$k = \sqrt{\ln[\frac{1}{1-(H(X))^2}]} \quad \text{for } 0.5 < H(x) < 1 \quad (۱۵)$$

ه- شاخص خشکسالی موثر[1](EDI): این شاخص توسط بایون (۱۹۹۶) ارائه گردید. وی خشکسالی سال ۹۶-۱۹۹۵ در آمریکا را با این شاخص با بهره‌گیری از ۱۹۵ ایستگاه ارزیابی نمود (بایون[2] و ویلهایت،[3] ۱۹۹۹). محاسبه‌ی EP اولین مرحله در محاسبه‌ی EDI است و با استفاده از رابطه‌ی زیر انجام می‌شود.

$$EPi = \sum_{n=i}^{i}[\ (\sum_{m=1}^{n} p_m)/n\ ] \quad (۱۶)$$

که در آن i تداوم فرضی و p_m، بارندگی m-1 روز قبل است. به عنوان مثال اگر i برابر ۳ روز باشد EP بصورت زیر برآورد می‌گردد:

$$EP_m = (P_1)/1 + (P_1 + P_2)/2 + (P_1 + P_2 + P_3)/3 \quad (۱۷)$$

این رابطه به خوبی تاثیر بیشتر بارش‌های اخیر نسبت به بارش‌های قدیمی‌تر و دیگر اینکه هر روز در طی دوره‌ی آماری مستقلاً یک EP خواهد داشت را نشان می‌دهد. لذا برای هر دوره‌ی زمانی که هدف بررسی خشکسالی باشد، بایستی EP هر روز دوره را با در نظر گرفتن تداوم موردنظر (رابطه‌ی۱۷) برای i=۳۶۵ بدست آورد و سپس میانگین و انحراف استاندارد از مقادیر EP برای هر ماه محاسبه می‌شود و سری‌های زمانی مقادیر EP به انحراف از میانگین (DEP) تبدیل می‌گردند (مقدسی و همکاران، ۱۳۸۴).

$$DEP = EP - \overline{EP} \quad (۱۸)$$

مقادیر PRN_i به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$PRN_i = DEP/\sum_{N=1}^{i}(\frac{1}{N}) \quad (۱۹)$$

جمع دوره، جمع متقابل همه‌ی ماه‌ها در مدت N است (مثلا برای N=۳). این دوره برابر با ۱/۱+۱/۲+۱/۳ خواهد بود. در آخر EDI به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$EDI_i = PRN_i / ST(PRN_i) \quad (۲۰)$$

که در آن: $ST(PRN_i)$ نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار PRN است.

در اصل، EDI برای پایش شرایط خشکسالی در گام زمانی روزانه توسعه یافته (اختری و همکاران، ۲۰۰۹؛ کالاماراس و همکاران، ۲۰۱۰؛ کیم و بایون، ۲۰۰۹؛ کیم و همکاران، ۲۰۰۹؛ مرید و همکاران، ۲۰۰۶؛ رودیر و ماهه، ۲۰۱۰؛ لی و

1- Effective Drought Index (EDI)
2- Byun
3- Wilhite

همکاران، ۲۰۱۲) و سپس برای پایش خشکسالی ماهانه تعمیم داده شده است (سماختین و هاقس، ۲۰۰۴؛ مرید و همکاران، ۲۰۰۶؛ پاندی و همکاران، ۲۰۰۸؛ دئو و بایون، ۲۰۱۴). دامنه تغییرات مقادیر برای هر طبقه از شدت خشکسالی برای شاخص‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول۲: طبقه بندی کلاس خشکی شاخص‌های خشکسالی *(مک کی و همکاران، ۱۹۹۳؛ پائولو و پریرا، ۲۰۰۷؛ خلیلی و همکاران، ۲۰۱۱)*

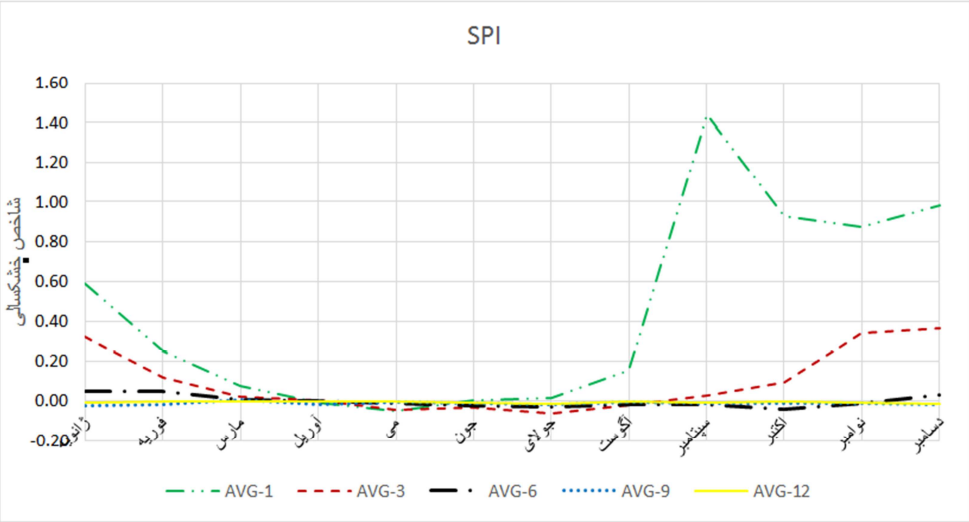
مقادیر SPI، RDI، SPEI و EDI	کلاس‌های خشکسالی
شاخص≥ ۰	فقدان خشکی
۰>شاخص>۱-	ملایم
۱->شاخص>۱/۵-	متوسط
شاخص≤۱/۵-	شدید/بسیار شدید

نتایج و بحث

بررسی شدت‌های خشکسالی: جهت رعایت اختصار در این پژوهش تنها نمودارهای مربوط به شدت خشکسالی شاخص SPI و EDI آورده شده است (شکل‌های ۱ و۲).

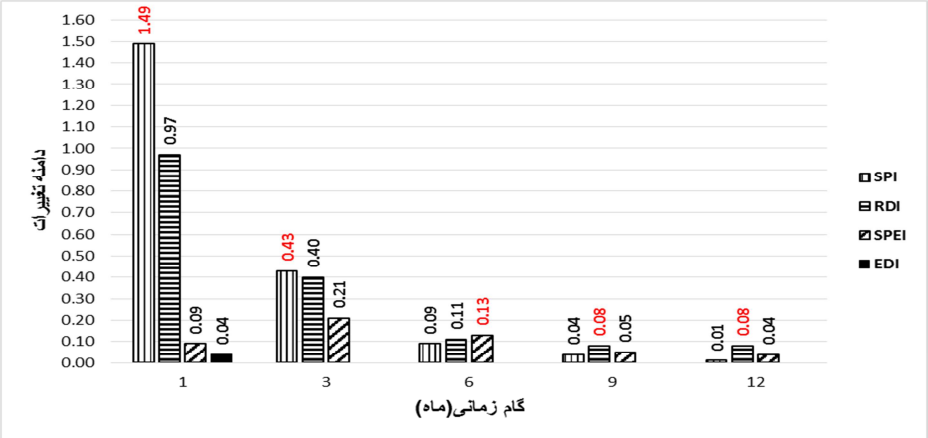
چنانکه در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در هر گام زمانی ماه‌های آوریل، مه، ژوئن و ژوئیه ماه‌های خشک و سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر ماه‌های مرطوب است. همچنین میانگین شدت‌های خشکسالی، در فصل‌های پاییز و زمستان (از ماه‌های سپتامبر تا فوریه) نسبت به فصول بهار و تابستان (از ماه‌های مارس تا آگوست) نوسان و تغییرات ماهانه بیشتری دارد. اگرچه عوامل و شرایط متعدد وگوناگونی در سطح خرد و محلی در این میان تأثیر دارند، اما در مقیاس آب و هوایی کلان، مهم‌ترین علت این تغییرات ماهانه شدت‌های خشکسالی، شرایط سینوپتیکی کشور است. به طوری که در گستره پهناوری از ایران در فصول گرم سال، پرفشارهای جنب حاره‌ای[1] (STHP) غلبه داشته و بنابراین سامانه‌های همدیدی وارده به کشور چندان متنوع نیستند. نتیجه چنین وضعیتی روند فزاینده گرما و خشکی است. در حالیکه در فصول سرد سال، سامانه‌های گوناگون جوی از جهت‌های مختلف وارد کشور شده به طوری که حتی در مقیاس هفته و حتی روزانه در جای جای کشور شرایط جوی متفاوت است (علیجانی ۱۳۹۲، مسعودیان ۱۳۹۱ و زرین و همکاران ۱۳۹۲). با افزایش گام زمانی، این نوسان و تغییرات ماهانه کاهش می‌یابند، به طوری که منحنی شدت در گام زمانی ۱ ماهه بیشترین نوسان را دارد (۱/۴۴>I>۰/۰۵-) (شکل ۲).

[1]- STHP: Sub-Tropical High Pressure



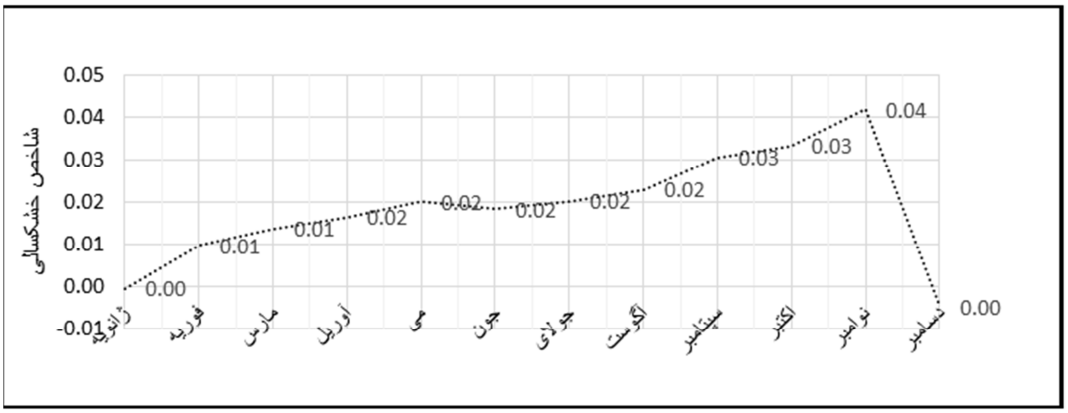
شکل ۱: میانگین ماهانه شدت‌های خشکسالی محاسبه شده به وسیله SPI در گام‌های زمانی گوناگون در ایستگاه کرمان (۲۰۱۵-۱۹۶۵)

با توجه شکل ۲، دامنه تغییرات میانگین ماهانه شدت‌های خشکسالی در گام‌های زمانی مختلف متفاوت است؛ اما می‌توان گفت که در گام‌های زمانی کوتاه مدت (۱ و ۳ ماهه) و در گام‌های زمانی بلند مدت‌تر (۶، ۹ و ۱۲ ماهه) دو شاخص RDI و SPEI، به ترتیب دامنه تغییرات شدت کمی خشکسالی‌ها را بهتر نشان می‌دهند. بررسی این موضوع از این جهت اهمیت دارد که مشخص می‌شود، کدام شاخص با چه گام زمانی نسبت به کمینه و بیشینه کمی خشکسالی‌ها حساسیت بیشتری داشته و دامنه این تغییرات را بیان می‌کند. نتیجه اینکه شاخص SPI که فقط بر پایه مقادیر بارش محاسبه می‌شود، در گام‌های زمانی کوتاه مدت و دو شاخص RDI و SPEI که بر اساس داده‌های بارش و تبخیر و تعرق یا دخالت دادن دما عمل می‌کنند، بدلیل تاثیر فزاینده، بر هم‌کنشی و تجمعی چند ماه گذشته در گام‌های زمانی طولانی‌تر دامنه تغییرات کمی خشکسالی‌ها را به طور بارزتری نشان می‌دهند (SPI1=۱/۴۹، RDI9=۰/۰۸، SPEI12= ۰/۰۸). میانگین‌های ماهانه شدت‌های خشکسالی محاسبه شده به وسیله RDI و SPEI با وجود تفاوت در نحوه و چگونگی محاسبه آن‌ها با SPI ، تغییرات ماهانه یکسان و همانندی دارند، اما میانگین شدت خشکسالی محاسبه شده به وسیله EDI متفاوت است (شکل ۳).



شکل ۲: میانگین دامنه تغییرات شدت شاخص‌های خشکسالی در گام‌های زمانی مختلف در ایستگاه کرمان (۲۰۱۵-۱۹۶۵)

چنانچه در شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود، به طور کلی شاخص EDI به دلیل استفاده از مقیاس روزانه در محاسبه میانگین شدت خشکسالی متفاوت از شاخص‌های دیگر عمل می‌کند. بطوریکه میانگین شدت محاسبه شده به وسیله EDI از ماه مارس تا اکتبر دارای یک روند افزایشی و از ماه نوامبر تا دسامبر کاهش می‌یابد و تغییرات آن از ۰ تا ۰/۰۴ نوسان دارد؛ بنابراین، شاخص EDI تغییرات ماهانه شدت‌های خشکسالی را با نوسات کمتری در طول ماه‌های مختلف نسبت به شاخص‌های دیگر نشان می‌دهد و در نشان دادن شدت‌های خشکسالی کارآیی بیشتری دارد (شکل ۲). مهم‌ترین علت آنست که EDI شاخصی است توانمند که از داده‌های روزانه در تعریف خشکسالی و تخمین کمبود آب بهره می‌برد و به دلیل استفاده از آمار روزانه بارش، کارآیی بالایی در تشخیص خشکسالی و تعیین شدت آن دارد. نتایج بررسی شدت خشکسالی در ایستگاه شیراز نیز مشابه ایستگاه کرمان است. به گونه ای که منحنی شدت در گام زمانی ۱ ماهه در همه شاخص‌ها بیشترین تغییرات را دارد (۱/۶□I□ ۰).



شکل ۳: میانگین شدت خشکسالی محاسبه شده به وسیله EDI در ایستگاه کرمان (۲۰۱۵-۱۹۶۵)

همبستگی شدت شاخص‌های خشکسالی: جهت بررسی و تشخیص اینکه کدام یک از شاخص‌های مورد مطالعه در کدام گام زمانی می‌تواند تغییرات کمی سایر شاخص‌ها را توجیه و تبیین نماید، ضریب همبستگی پیرسون بین دو گام زمانی از مقادیر شدت تعیین و جدول تقاطعی[1] با ابعاد ۱۶×۱۶ تشکیل شد. جهت اختصار، مقادیر مربوط به میانگین همبستگی دو گروه گام‌های زمانی همسان و ناهمسان در جدول ۳ آمده است. هر یک از شاخص‌های خشکسالی در گام‌های زمانی گوناگونی محاسبه شده‌اند که در هر مورد، گام زمانی مربوطه با یک عدد (۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲) در انتهای هر شاخص نوشته شده است. منظور از گام زمانی همسان، آن عده از شاخص‌هایی‌هستند که عدد انتهایی عنوان آنها همانند می‌باشند (مانند SPI1، RDI1، SPEI1 یا SPI12، RDI12، SPEI12). همچنین منظور از گام زمانی ناهمسان نیز، آن عده از شاخص‌هایی هستند که عدد انتهایی عنوان آنها همانند نیست(مانند SPI1، RDI3، SPEI9 یا SPI2، RDI6، SPEI9)

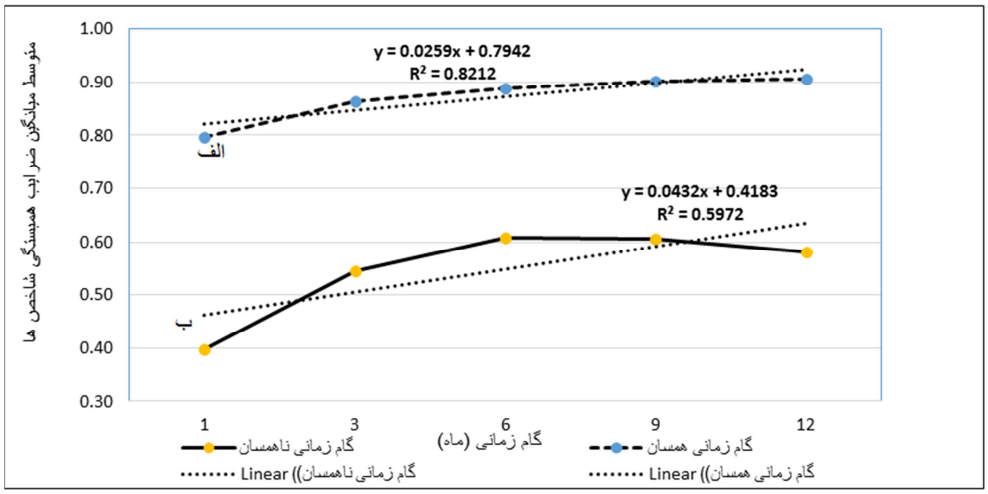
جدول ۳: میانگین ضرایب همبستگی (r) بین مقادیر شدت‌های خشکسالی محاسبه شده به وسیله شاخص‌های خشکسالی در گام‌های زمانی همسان و ناهمسان در ایستگاه کرمان (۲۰۱۵-۱۹۶۵)

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
	EDI	SPI1	SPI3	SPI6	SPI9	SPI12	RDI1	RDI3	RDI6	RDI9	RDI12	SPEI1	SPEI3	SPEI6	SPEI9	SPEI12
میانگین ضرایب همبستگی گام های زمانی ناهمسان	۰/۳۹۹	۰/۳۸۸	۰/۵۵۹	۰/۶۱۴	۰/۶۱۷	۰/۶۰۰	۰/۴۲۰	۰/۵۷۲	۰/۶۳۲	۰/۶۳۰	۰/۶۱۱	۰/۳۸۲	۰/۵۰۶	۰/۵۸۰	۰/۵۷۲	۰/۵۳۴
میانگین ضرایب همبستگی گام های زمانی همسان		۰/۸۳۰	۰/۸۸۱	۰/۸۹۹	۰/۹۱۳	۰/۹۱۷	۰/۸۵۴	۰/۹۱۰	۰/۹۲۷	۰/۹۳۷	۰/۹۴۰	۰/۸۰۷	۰/۸۰۴	۰/۸۳۷	۰/۸۵۹	۰/۸۶۵

بررسی‌ها نشان داد که همبستگی EDI با شاخص‌های مختلف با افزایش گام زمانی، افزایش می‌یابد. در SPI1 و SPI3 با افزایش گام زمانی همبستگی بین شاخص‌ها کم می‌شود به جز گام‌های زمانی همسان و در SPI6 و SPI9 با افزایش گام زمانی به ترتیب تا گام زمانی ۶ ماهه و ۹ ماهه، همبستگی زیاد و سپس کاهش می‌یابد. همبستگی SPI12 نیز با افزایش گام زمانی افزایش می‌یابد. همبستگی RDI و SPEI در گام‌های زمانی مختلف روندی مشابه SPI دارد، چنانچه در RDI1، RDI3، SPEI1 و SPEI3 با افزایش گام زمانی همبستگی بین داده‌ها کاهش می‌یابد به جز گام-

[1]- Intersection Table

های زمانی همسان و در RDI6 و SPEI6، RDI9 و SPEI9 با افزایش گام زمانی به ترتیب تا گام زمانی ۶ ماهه و ۹ ماهه، همبستگی زیاد و سپس کم می‌شود. همبستگی RDI12 و SPEI12 نیز با افزایش گام زمانی افزایش می‌یابد. همبستگی EDI با شاخص‌های مختلف نسبت به همبستگی بین SPI، RDI و SPEI، کمتر بوده و همبستگی ضعیفی با این شاخص‌ها دارد. بیشترین همبستگی را RDI6 با شاخص‌های مورد نظر نشان می‌دهد بنابراین کارآیی بالاتری نسبت به شاخص‌های دیگر جهت توجیه و تبیین تغییرات کمی سایر شاخص‌ها دارد. علت این گونه افت و خیزها در مقادیر شاخص‌های خشکسالی مورد اشاره، به ماهیت و ویژگی‌های کمی و کیفی پارامترهای اقلیمی مورد استفاده جهت محاسبه آن‌ها و نیز گام‌های زمانی مربوطه می‌باشد. به طوریکه به عنوان مثال شاخص EDI با داده-های بارش در مقیاس زمانی روزانه و صرفا در گام زمانی یک ماهه محاسبه می‌گردد. اما شاخص‌های دیگر در مقیاس زمانی ماهانه و در گام‌های زمانی مختلف محاسبه و حتی بعضاً علاوه بر بارش از داده‌های تبخیر و تعرق استفاده می-شود. ردیف ۲ از جدول ۳ ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها برای یک گام زمانی معین را نشان می‌دهد. به این ترتیب تمام میانگین‌ها در ردیف ۲ از جدول ۳ از همبستگی گام‌های زمانی همسان بدست آمده‌اند. مقادیر بالای ضرایب همبستگی در ردیف۲ نشان داد که اکثر شاخص‌های خشکسالی در گام‌های زمانی همسان همبستگی بهتری دارند. شکل ۴ این موضوع را بطور واضح‌تر نمایان می‌سازند. در این شکل متوسط میانگین ضرایب همبستگی شاخص‌ها در گام‌های زمانی همسان و ناهمسان بصورت یک منحنی خطی ترسیم گردیده است.



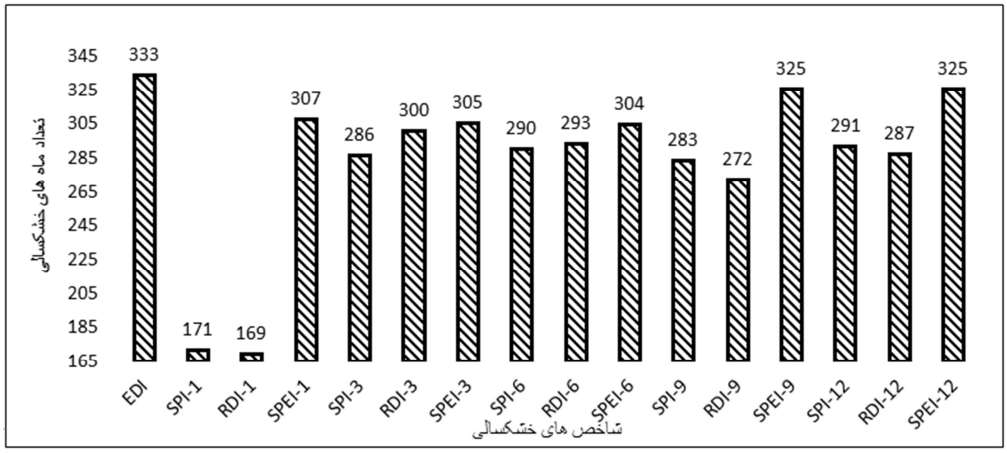
شکل ۴: متوسط میانگین ضرایب همبستگی شاخص‌ها در گام‌های زمانی مختلف در ایستگاه کرمان (۲۰۱۵-۱۹۶۵)

بر پایه شکل ۴ (الف)، حداکثر میانگین ضرایب همبستگی در گام‌های زمانی همسان ۶ ماهه (۰/۸۹)، ۹ ماهه (۰/۹۰) و ۱۲ ماهه (۰/۹۱) است. بنابراین شاخص‌های خشکسالی در گام‌های زمانی همسان همبستگی بالاتری نسبت به گام-های زمانی ناهمسان دارند. گام‌های زمانی همسان نیز شاخص RDI همبستگی شدت شاخص‌های خشکسالی و درنتیجه تغییرات کمی سایر شاخص‌ها را بهتر نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۴ (ب) حداکثر میانگین ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها در گام زمانی ناهمسان، گام زمانی ۶ ماهه و ۹ ماهه RDI (۰/۶۳) است (جدول ۳). بنابراین در گام‌های زمانی ناهمسان در ایستگاه کرمان نیز شاخص RDI همبستگی شدت شاخص‌های خشکسالی و درنتیجه تغییرات کمی سایر شاخص‌ها را بهتر نشان می‌دهد. بررسی‌ها در ایستگاه شیراز نشان داد بیشترین مقدار همبستگی در گام‌های زمانی همسان مربوط به RDI12 (۰/۹۶) است. افزون بر این، در گام‌های زمانی ناهمسان شاخص‌های خشکسالی همبستگی ضعیفی با یکدیگر دارند و بیشترین مقدار ضریب همبستگی در گام‌های زمانی ناهمسان مربوط به RDI9 (۰/۶۲) است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که در اقلیم نیمه خشک شیراز گام زمانی ۹ و ۱۲ ماهه و شاخص خشکسالی RDI کارآیی بالایی جهت توجیه و تبیین تغییرات کمی سایر شاخص‌ها دارند.

ارزیابی کارآیی شاخص‌ها در تعیین تعداد ماه‌های خشک:

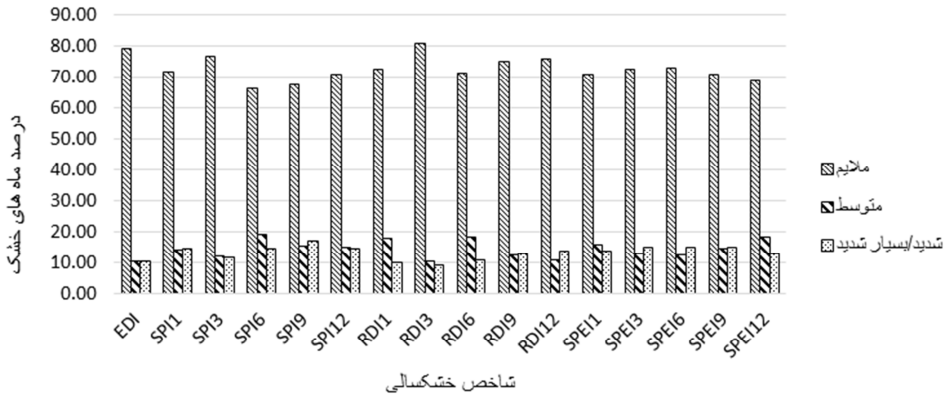
از شکل ۵ می‌توان دریافت که تعداد ماه‌های خشک محاسبه شده توسط شاخص SPI با افزایش گام زمانی تا ۳ ماهه افزایش می‌یابد و سپس ازگام زمانی ۳ ماهه تا ۱۲ماهه، تعداد ماه‌های خشک کم می‌شود. دو شاخص RDI و SPEI تعداد ماه‌های خشک در گام زمانی ۹ ماهه را بیشتر برآورد کردند. هرچند بیشترین تعداد ماه‌های خشک در این ایستگاه به وسیله شاخص EDI (۳۳۳) تعیین شده است. مهم‌ترین علت آن این ست که EDI شاخصی است توانمند جهت تشخیص شرایط خشکسالی که از داده‌های روزانه در تعریف خشکسالی و تخمین کمبود آب بهره می‌برد و به دلیل استفاده از آمار روزانه بارش، کارآیی بالایی در تشخیص دقیق خشکسالی‌ها دارد (شکل ۳). SPEI در گام‌های زمانی مختلف بیشترین عدد را نشان می‌دهد (به جز گام زمانی ۱ ماهه). بنابراین در گام زمانی یک ماهه EDI و در گام‌های زمانی مختلف SPEI کارآیی بالایی برای نشان دادن تعداد ماه‌های خشک در این ایستگاه دارند. نتیجه اینکه به طور کلی برای هر یک از شاخص‌های خشکسالی، با افزایش گام زمانی تعداد ماه‌های خشک افزایش می‌یابد، زیرا هر چه گام زمانی بیشتر می‌شود، مقادیر میزان بارش دریافتی در ماه‌ها و سال‌های قبل نیز در محاسبه شدت دخالت داده می‌شود. نتایج بررسی کارآیی شاخص‌ها در تعیین تعداد ماه‌های خشک در ایستگاه شیراز نشان داد که بیشترین تعداد ماه‌های خشک به وسیله شاخص EDI (۳۳۶) شناسایی شد. RDI در گام‌های زمانی مختلف بیشترین عدد را نشان می‌دهد. بنابراین در گام زمانی یک ماهه EDI و در دیگر گام‌های زمانی، RDI کارآیی بالایی برای نشان دادن تعداد ماه‌های خشک در این ایستگاه دارند.



شکل ۵: تعداد ماه‌های خشک تعیین شده با شاخص‌های خشکسالی مختلف در گام‌های زمانی متفاوت در ایستگاه کرمان (۲۰۱۵-۱۹۶۵)

بررسی فراوانی وقوع ماه‌های خشک در طبقات مختلف شدت خشکسالی:

شکل ۶ فراوانی وقوع ماه‌های خشک در طبقات مختلف شدت خشکسالی به وسیله شاخص‌های خشکسالی و در گام-های زمانی متفاوت در ایستگاه کرمان در طول دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۶۵ را نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی وقوع ماه‌های خشک محاسبه شده به وسیله‌ی شاخص‌های مورد نظر در ۵ گام زمانی در دوره‌ی آماری مذکور، به طبقه‌ی شدت خشکی ملایم تعلق دارد (I= ٪۶۵/۵-۸۰/۵) و فراوانی وقوع ماه‌های خشک در طبقه شدت خشکی متوسط در محدوده‌ی ۱۰ تا ٪۱۸/۵ وکلاس خشکی شدید و بسیار شدید دارای محدوده‌ی ۹ تا ۱۷٪ است. به طور کلی در تمام شاخص‌ها بیشترین درصد فراوانی وقوع ماه‌های خشک در طبقه شدت خشکی ملایم و کمترین آن مربوط به طبقه شدت خشکی شدید و بسیار شدید است. در ایستگاه شیراز نیز نتایج بررسی فراوانی وقوع ماه‌های خشک در طبقات مختلف شدت خشکسالی مانند ایستگاه کرمان است. به طوریکه بیشترین فراوانی وقوع ماه‌های خشک محاسبه شده به وسیله‌ی شاخص‌های مورد نظر در ۵ گام زمانی در دوره‌ی آماری مذکور، به طبقه‌ی شدت خشکی ملایم تعلق دارد (٪۵۹-۷۶) و فراوانی وقوع ماه‌های خشک در طبقه شدت خشکی متوسط در محدوده‌ی ۱۰ تا ۲۳٪ و کلاس خشکی شدید و بسیار شدید دارای محدوده‌ی ۱۰ تا ۲۰٪ است.



شکل ۶: فراوانی وقوع ماه‌های خشک در طبقات مختلف شدت خشکسالی به وسیله شاخص‌های خشکسالی مختلف و در گام‌های زمانی متفاوت در ایستگاه کرمان (۲۰۱۵-۱۹۶۵)

نتیجه‌گیری

بر پایه مباحث و تجزیه و تحلیل های بالا نتایج و یافته‌های زیر بدست آمده‌اند:

شدت‌های خشکسالی بر اساس شاخص‌های EDI، SPI، RDI و SPEI در گام‌های زمانی مختلف در ایستگاه کرمان و شیراز تغییرات و نوسانات ماهانه مشابهی داشته و در هر یک از آنها بترتیب این شاخص‌ها در ۶۰٪ و ۴۵٪ از سال‌ها (۲۰۱۵-۱۹۶۵) خشکسالی آب و هوایی را تجربه کرده‌اند. بعلاوه در این ایستگاه‌ها با افزایش گام زمانی نوسانات شدت‌ها کاهش یافته، بطوریکه در گام‌های زمانی پایین‌تر (به خصوص گام زمانی ۱ ماهه) نوسانات ماهانه بیشتر بوده که این نتیجه با نتایج پژوهش‌های قبلی (وینیت و همکاران، ۲۰۱۵) مطابقت دارد. از طرف دیگر شدت‌های خشکسالی در ماه‌های گرم و خشک (مارس تا آگوست) به علت تداوم شرایط خشکسالی دارای نوسان‌های کمتر می‌باشند و در فصل‌های سرد سال (ماه‌های سپتامبر تا فوریه) عکس این حالت دیده می‌شود. بررسی همبستگی بین شاخص‌ها نشان داد که در کرمان، RDI6 با ضریب همبستگی (r=۰/۶۴) و در شیراز، RDI9 با ضریب همبستگی (r=۰/۷۰)، بیشترین همبستگی را با سایر شاخص‌ها داشته و این شاخص‌ها در گام‌های زمانی همسان در مقایسه با گام‌های زمانی ناهمسان، بیشترین همبستگی را با یکدیگر دارند. بطوریکه در ایستگاه کرمان، گام زمانی ۶ ماهه و شاخص RDI و در ایستگاه شیراز گام زمانی ۹ ماهه و شاخص RDI می‌توانند برای شناسایی خشکسالی‌های بلند مدت با دیگر شاخص‌های خشکسالی قابل مقایسه باشند. از این رو بر مبنای ضرایب همبستگی، می‌توان این شاخص‌ها را از این جهت که تغییرات کمی دیگر شاخص‌ها را بهتر بیان می‌کنند، به عنوان کارآترین شاخص خشکسالی به شمار آورد. علاوه بر این بیشترین تعداد ماه‌های خشک در ایستگاه کرمان به وسیله شاخص EDI تعیین شده است (بدون در نظر گرفتن گام زمانی). اما در گام‌های زمانی مختلف، شاخص SPEI در هر گام زمانی، به جز گام زمانی ۱ ماهه، بیشترین تعداد ماه‌های خشک را نشان می‌دهد. بنابراین بهترین شاخص برای تمام گام‌های زمانی، به جز گام زمانی ۱ ماهه، برای تعیین تعداد ماه‌های خشک در این ایستگاه، SPEI است. در ایستگاه شیراز مشابه ایستگاه کرمان

بیشترین تعداد ماه‌های خشک به وسیله شاخص EDI تعیین شده است، با این تفاوت که در گام‌های زمانی مختلف شاخص RDI بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. بنابراین، بهترین شاخص برای تمام گام‌های زمانی جهت تعیین تعداد ماه‌های خشک در ایستگاه شیراز، RDI است. بررسی فراوانی وقوع ماه‌های خشک در شدت‌های مختلف خشکسالی در دوره‌ی آماری (۲۰۱۵-۱۹۶۵) در دو ایستگاه مورد مطالعه نشان داد که در مقایسه بین کلاس‌های مختلف شدت خشکسالی، کلاس شدت خشکی ملایم (۰>I>۱-) با فراوانی ۶۵٪ و سپس کلاس شدت خشکی متوسط (۱-<I<۱/۵-) ۲۵٪ دارای بیشترین درصد فراوانی و کلاس خشکی شدید و بسیار شدید (۱/۵-<I) کمترین درصد فراوانی (۱۵٪) را داشتند. به عبارت دیگر، در این دو ایستگاه، بیشتر خشکسالی‌هایی که در طول دوره‌ی آماری (۲۰۱۵-۱۹۶۵) رخ داده، در کلاس خشکی ملایم با فراوانی ۶۵٪ قرار دارد.

بررسی‌های انجام شده بیانگر آنست که به‌ویژه از جهت گوناگونی شاخص های منتخب، متدولوژی و تعدد یافته‌ها، تحقیق کاملاً مشابهی تاکنون در مورد دو ایستگاه مورد مطالعه در ایران انجام نشده، اما در خارج از کشور در همین زمینه می‌توان به پژوهش وینیت و همکاران (۲۰۱۵) در حوضه رودخانه کن در مادیهاپرادش هند اشاره نمود که مقایسه نتایج این تحقیق با یافته‌های آن‌ها در بیشتر موارد مشابه و این امر مبین دقت و صحت مباحث و یافته‌های پژوهش حاضر است.

پیشنهادات

بی شک شناخت و درک پدیده‌های طبیعی و اقلیمی به این سادگی قابل انجام نبوده و می‌بایست بیش از پیش با استفاده از علوم و فنون جدید به این موضوع پرداخت. به طوری که اگر چه در این پژوهش برای شناخت موضوع از شاخص‌های مختلف خشکسالی که از داده‌های اقلیمی بارش و دما و همچنین برآورد میزان تبخیر و تعرق و گام‌های زمانی مختلف در ارزیابی خشکسالی به کار می‌رود، استفاده گردید، می‌توان از شاخص‌ها/ نمایه‌ها و روش‌های ارزیابی دقیق‌تر خشکسالی و ویژگی‌های همه جانبه آن جهت ارائه مدل‌های آماری و ریاضی مناسب‌تری که واقعیت، هویت و فطرت بارش و تبخیر و تعرق را نشان دهند استفاده کرد.

منابع

حیدری، حسن، علیجانی، بهلول، (۱۳۷۸). طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۷، صص ۷۴-۵۷.

زارع ابیانه، حمید، محبوبی، علی اصغر، نیشابوری، محمد رضا، (۱۳۸۳). بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص‌های آماری خشکسالی، مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۶۴. ۷-۳.

زارعی، زهرا، (۱۳۹۵). تحلیل تطبیقی چهار نمایه‌ی خشکسالی (RDI، SPI، SPEI، EDI) جهت تشخیص، ارزیابی و پیش‌بینی خشکسالی-های هواشناسی در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.

زرین، آذر، قائمی، هوشنگ و خوش‌اخلاق، فرامرز، (۱۳۹۲). اقلیم شناسی مناطق خشک، انتشارات سمت، تهران. چاپ دوم، ۴۳۴ صفحه.

سعادتی، سارا و سلطانی، سعید، (۱۳۸۵). پهنه بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از شاخص بارش استاندارد، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۱. شماره ۲، صص ۶۴-۶۷.

علیجانی، بهلول، کاویانی، محمدرضا، (۱۳۸۰). مبانی آب و هواشناسی، تهران، انتشارات گیتاشناسی.

علیجانی، بهلول، (۱۳۹۲). آب و هوای ایران، چاپ یازدهم، انتشارات پیام نور، تهران، صص۴۳.

علیزاده، امین، (۱۳۸۵). اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ نوزدهم، انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد، صص ۱۸۷

فتاحی، ابراهیم و صداقت کردار، عبداله، (۱۳۸۶). تحلیل منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی، مطالعه موردی ایستگاه‌های برگزیده جنوب غرب ایران، تهران، جغرافیا و توسعه، شماره ۹، صص ۷۷-۹۰.

لشنی‌زند، مهران، (۱۳۸۳). بررسی شدت، مدت و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی در شش حوزه واقع در غرب و شمال غرب ایران، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، جلد ۱، صص ۷۳-۸۶.

مسعودیان، ابوالفضل، (۱۳۹۱). آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان. اصفهان، چاپ اول، ۲۸۸ صفحه.

مقدسی، مهنوش، مرید، سعید، قائمی، هوشنگ، محمدولی سامانی، جمال، (۱۳۸۴). پایش روزانه خشکسالی دراستان تهران. جلد ۳۶. شماره ۱. مجله علوم کشاورزی ایران. ۶۲-۵۱.

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

Akhtari, R, Morid, S, Mahdian, M. H, and Smakhtin, V, (2009). Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of
SPI and EDI drought indices, International Journal of Climatology, Int. J. Climatol. 29: 135–145.

Byun H. R and Wilhite D. A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. International Journal of Climatology, Int. J. Climatol., Vol. 12: 2747-2756.

Deo, R., Byun, H.R., (2014). Quantifying the severity, duration, and intensity of drought in Australia using the effective drought
index. J. Hydrol., 26 (2), 137-156.

Hong, WU, Hayes, M J, Welss, A, and Hu, Q, (2001). An evaluation the standardized precipitation index, the China-Z Index and
the statistical z-score, International Journal of Climatology, 21: 745-758.

Kalamaras, N., Michalopoulou, H., Byun, H.R., (2010). Detection of drought events in Greece using daily precipitation. Hydrol.
Res.41 (2), 126–133.

Khalili D, Farnoud T, Jamshidi H, Kamgar-Haghighi AA, Zand-Parsa S (2011). Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones. Water Resour Manage 25:1737–1757.

Kim, D.W., Byun, H.R., (2009). Future pattern of Asian drought under a global warming scenario. Theor. Appl. Climatol. 98, 137–
150.

Lee, S.M., Byun, H.R., Tanaka, H.L., (2012). Spatiotemporal Characteristics of Drought Occurrences over Japan.J. Appl. Meteorol. & Climatol. 51, 1087–1097.

McKee, T.B, Doesken, NJ, Kleist, J (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales.In: Proc. 8th Conf
on ApplClimatol, 17–22 January, Am MeteorolSoc, Mass, 179–184.

McKee, TB, Doesken, NJ, and Kleist, J, (1995). Drought monitoring with multiple time scales, Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 15-20, Dallas TX, pp. 233-236.

Morid S, Smakhtin VU, Moghadasi M. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. Int J
Climatol 26:971–985.

Pandey, R.P., Dash, B.B., Mishra, S.K., Singh, R., (2008). Study of indices for drought characterization in KBKdistricts in Orissa
(India). Hydrol.Process. 22, 1895–1907.

Pashiardis, S, and Michaelides, S, (2008). Implementation of the standardized precipitation index (SPI) and the Reconnaissance
Drought Index (RDI) for Regional Drought Assessment: A case study for Cyprus, European water 23/24: 57-65.

Paulo, A. A & Pereira, L. S., (2008). Stochastic Prediction of Drought Class Transitions, Water Resour Manage 22:1277–1296.

Roudier, P., Mahe, G., (2010). Study of water stress and droughts with indicators using daily data on the Bani River (Niger Basin, Mali). Int.J. Climatol. 30, 1689–1705.
Silva, V.P.R, (2003), On climate variability in northeast Brazil, Journal of Arid Environment, 54(2): 256-367.
Smakhtin, V.U., Hughes, D.A., (2004). Review, Automated Estimation, and Analyses of Drought Indices in South Asia. Working
Paper 83, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
Tsakiris, G, and Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration, European water, 9-10: 3-11.
Vicente-Serrano S.M; Beguería S and López-Moreno J.I. (2010). A multi-scalar drought index sensitive to global warming: The
Standardized Precipitation Evapotranspiration Index–SPEI. J Climate 23:1696–1718.
Vinit K., Rajendra P, Manoj K, Byun H, (2015). Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken
River Basin, Weather and Climate Extremes, journal homepage: www.elsevier.com/locate/wace, 1-11.
World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), (2016): Handbook of Drought Indicators and
Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Program (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.

Investigating and evaluating some of the characteristics of the severity of climatic droughts in Kerman and Shiraz meteorological stations

Mohammad Hossein Mobin*[1], Zahra Zare[2], Hamid Sodayizadeh[3]

Received: 18-07-2017 Accepted: 11-06-2018

Abstract

Droughts are the expanded period during which available water is significantly lower than usual. Among the climatic phenomena that affect communities and the environment, climatic drought is one of the most complex ones. This feature makes the need for more recognition of its different aspects. The purpose of this research is to express some of the characteristics of climate drought, especially their severity in arid and semi-arid regions of Iran. After providing hourly data on average, maximum and minimum temperature as well as average rainfall, of Kerman and Shiraz synoptic stations which are representative of arid and semi-arid regions of the country respectively, and converting them into daily and monthly scales, the severity of climate droughts was calculated based on four SPI, RDI, SPEI and EDI indicators during the statistical period of 1965-2015 and at 5 different time steps. The efficiency of each indicator was evaluated in determining the characteristics of climate drought. The results showed that the drought severity estimated by each of the indices at different time steps in arid regions (Kerman) and semi-arid regions (Shiraz) has the same monthly changes and fluctuations. But in each region, based on the type of climate, the index that has the highest correlation with the others at different time steps is different. So, in Kerman, RDI6 (R^2=0.64) and RDI9 (R2=0.70) in Shiraz had the highest correlation with other indices, and have higher efficiency for Justifying the quantitative changes of other indices. In addition, at different time steps, the SPEI in Kerman and RDI in Shiraz have good performance in determining the number of dry months. Meanwhile, in terms of the frequency of occurrence of dry months in different drought severities, the class of mild dryness (0> I> -1) with a frequency of 65% and then the moderate dryness class (1> I> -1.5) had the highest percentage Frequency, and severe dry and severe drought (I>1.5) had the lowest percentage of abundance (15%) at both stations.

Keywords: Climatic drought, Kerman, Shiraz, SPI, RDI, SPEI, EDI.

[1]*- Assistant Professor of hydroclimatology, Yazd University, Iran Email: mhmobin@yazd.ac.ir
[2]- Master graduated of Desert Management, Yazd University, Iran
[3]- Associate Professor of Agriculture, Yazd University, Iran