

استفاده از تئوری RUN در تحلیل شدت، مدت و دوره بازگشت خشکسالی (مطالعه موردی: استان فارس)

امیرحسین پارسامهر^{۱*}، محمدحسین مبین^۲، زهرا خسروانی^۳

۱. مربی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه فسا

۲. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۳. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۳/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۶/۰۱)

چکیده

خشکسالی نشانه واضحی از نوسانات اقلیمی است که بر جوامع بشری بیشتر از دیگر پدیده‌های طبیعی تأثیر می‌گذارد. به منظور بررسی خشکسالی از داده‌های بارش ماهانه^۱ ایستگاه همدیدی استان فارس طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۷-۲۰۱۶) استفاده شد. ابتدا پس از محاسبه شدت خشکسالی با استفاده از مفهوم تئوری RUN، به انتخاب بهترین نمایه از میان نمایه‌های DI، PNPI، SIAP، RAI، SPI و BMDI اقدام شد. در ادامه، با استفاده از نرم‌افزار SMADA 6.43 سری زمانی شدت خشکسالی بر توابع توزیع مختلف برازش داده شد و پس از انتخاب بهترین تابع توزیع برای هر ایستگاه، شدت خشکسالی با تداوم‌های دو، چهار، شش و هشت ماهه در دوره بازگشت‌های دو، سه، پنج، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال محاسبه شده و جدول‌های مرتبط با شدت، تداوم و دوره بازگشت خشکسالی تهیه شد. همچنین، با استفاده از برنامه^۲ Spss 22 به آنالیز خوشه‌ای و گروه‌بندی ایستگاه‌های مطالعه شده اقدام شد. در پایان، با روش درون‌یابی IDW و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3، پهنه‌بندی خشکسالی محدوده مطالعه شده برای دو دوره ۱۰ ساله به صورت جداگانه انجام گرفت. نتایج نشان داد شاخص SPI به عنوان بهترین شاخص توانسته است تفسیر مناسبی از محاسبات خشکسالی را در منطقه داشته باشد. به طور کلی، نتایج بیان می‌کند که طی دهه اخیر شدت خشکسالی نسبت به دهه قبل از آن روند افزایشی داشته است.

کلیدواژگان: استان فارس، پهنه‌بندی، تئوری RUN، خوشه‌بندی، شاخص بارش استاندارد.

مقدمه

خشکسالی هواشناسی یکی از پدیده‌های اقلیمی تکرارشونده است که به طور عمده با سه مشخصه شدت، تداوم و فراوانی وقوع شناخته می‌شود [۱]. نخستین گام در شناخت پدیده خشکسالی، ارائه تعریفی مناسب از آن است. خشکسالی هواشناسی زمانی روی می‌دهد که بارندگی در هر بازه زمانی معین کمتر از میانگین درازمدت آن باشد. ادامه خشکسالی هواشناسی به مدت طولانی سبب بروز انواع دیگری از خشکسالی‌ها می‌شود. این پدیده در واقع از ویژگی‌های اصلی تکرارشونده اقلیم‌های متفاوت به شمار می‌آید و تأثیرات آن صرفاً به نواحی خشک و نیمه‌خشک محدود نمی‌شود، بلکه هم در اقلیم‌های خشک و هم در مناطق مرطوب به وقوع می‌پیوندد و سبب کمبود منابع آب می‌شود. میزان استمرار خشکسالی در یک منطقه، گویای شدت خشکسالی در آنجاست. به طوری که طولانی شدن خشکسالی آثار زیان‌بار آن را بیشتر نشان می‌دهد [۲].

آگاهی از شدت، تداوم و مساحت پهنه‌های متأثر از این پدیده خزننده و احتمال وقوع آن در دوره بازگشت معین می‌تواند در مدیریت منابع آب و در شرایطی که این پدیده، منابع حیاتی (آب، خاک، جنگل و مرتع) را در خطر انهدام و نابودی قرار داده است، بسیار مؤثر و مفید باشد و مدیران مربوط به آن را در به‌کارگیری تصمیم‌های مناسب و سنجیده در این خصوص یاری می‌دهد تا خسارت‌های ناشی از سال‌های همراه با خشکسالی را به کمترین حد برسانند [۳].

پیشینه تحقیق

با توجه به اهمیت موضوع در دهه‌های اخیر، مطالعات گسترده‌ای در ایران و دیگر کشورهای مختلف جهان در این زمینه صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. کوشکی و همکارانش [۴] به منظور بررسی رابطه زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز اترک، شدت خشکسالی با دوره تداوم یک، سه، شش و ۱۲ ماهه را محاسبه کردند. فتاحی و صداقت‌کردار [۵] با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، تداوم، شدت و فراوانی خشکسالی با گام‌های زمانی دو، چهار، شش و هشت ماهه را در حوضه‌های جنوب غرب ایران محاسبه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بزرگی خشکسالی با تداوم‌های

کوتاه‌مدت دو تا چهار ماهه نسبت به تداوم‌های بلندمدت شش و هشت ماهه کمتر است. Yildiz [۶] با برآورد و تخمین خصوصیات زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی در حوضه سد هرفانلی در ترکیه توانست ویژگی‌های شدت، گستره و فراوانی خشکسالی را به روش SPI برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه کرده و بر این اساس ارزیابی خود را از تأثیرات خشکسالی در منطقه ارائه کند. رضایی و همکارانش [۳] در تعیین روابط شدت، مدت، فراوانی و وسعت تحت تأثیر خشکسالی در شمال غرب ایران، به گروه‌بندی بین ایستگاهی ضرایب ترسالی و خشکسالی اقدام کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شرایط ترسالی و خشکسالی از نظر مکانی و زمانی در ایستگاه‌های هر گروه تقریباً یکسان و در بین گروه‌ها متفاوت است. حسین‌زاده و همکارانش [۷] در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی در دزفول، از شاخص بارش استاندارد شده استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد بیشینه تداوم خشکسالی، هم‌زمان با شدت‌های کم آن است. ملکی و ترکمانی [۸] در بررسی مدیریت خشکسالی به منظور استفاده بهینه از منابع آب استان خراسان شمالی از شاخص خشکسالی SPI و نرم‌افزار DIC استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد طی دوره آماری ۲۱ ساله (۱۳۶۸-۱۳۸۹)، منطقه مطالعه شده در مجموع ۱۰ سال مرطوب و ۱۱ سال خشک را پشت سر گذاشته است. Halwatura و همکارانش [۹] در ترسیم منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی در شرق استرالیا از شاخص‌های SPI، RDI و SPEI استفاده کردند و ضمن انتخاب SPI به‌عنوان بهترین شاخص، منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی را طی دوره آماری مطالعه شده ترسیم کردند.

آگاهی از ویژگی‌های خشکسالی و پایش آن می‌تواند کمک فراوانی به ارائه راهکارهای مناسب در مدیریت منابع آب، کشاورزی، برنامه‌ریزی محیطی و ... کند. هدف از تحقیق حاضر، تعیین ویژگی‌های شدت، مدت و دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از تئوری RUN در استان فارس است که در کنار این هدف اصلی، اهداف دیگری مانند انتخاب مناسب‌ترین نمایه و مناسب‌ترین توزیع و ... دنبال شد.

معرفی منطقه مطالعه شده

منطقه مطالعه شده استان فارس است که بین طول

ساختاری - رسوبی، منطقه مطالعه شده دربرگیرنده زون‌های سنندج - سیرجان و زاگرس است.

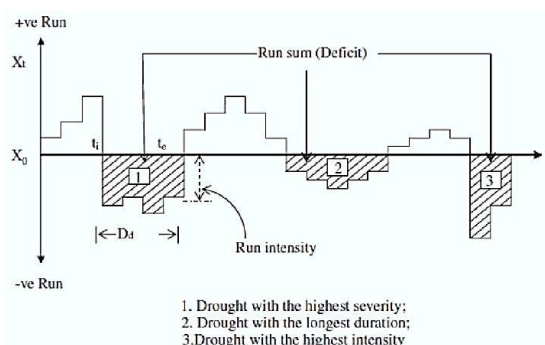
به منظور بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی در منطقه مطالعه شده، داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های مطالعه شده از بین ایستگاه‌های همدیدی که حداقل ۲۰ سال سابقه آماری (۱۹۹۷-۲۰۱۶) داشتند، انتخاب و از اداره کل هواشناسی استان فارس گرفته شدند. در ادامه، داده‌های بارش ماهانه نه ایستگاه سینوپتیک به لحاظ صحت و همگنی از طریق آزمون‌های آماری بررسی شد. برخی از ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعه شده در جدول ۱ آمده است.

جغرافیایی ۳۶' ۵۰° تا ۳۵' ۵۵° شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷° ۰۳' تا ۳۱° ۴۰' شمالی واقع شده است. این منطقه به دلیل ویژگی‌های خاص جغرافیایی، تفاوت در توپوگرافی و گسترش شمال به جنوب آن اقلیم‌های دمایی متفاوتی دارد، به طوری که بر اساس شاخص دوماترن دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است (به استثنای منطقه سپیدان که اقلیم مرطوب دارد). دمای هوا در این منطقه تابعی از ارتفاع و عرض جغرافیایی است. میزان نزولات تحت تأثیر جریان‌های جوی مدیترانه‌ای است و از ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر در نوسان است. بر اساس تقسیم‌های حوضه‌های

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعه شده

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	سال تأسیس
آباده	۵۲°۴۰'	۳۱°۱۱'	۲۰۳۰	۱۳۶۳
اقلید	۵۱°۳۸'	۳۰°۵۴'	۲۳۰۰	۱۳۷۲
داراب	۵۴°۱۷'	۲۸°۴۷'	۱۰۹۸	۱۳۷۳
زرقان	۵۲°۴۳'	۲۹°۴۷'	۱۵۹۶	۱۳۶۵
درودزن	۵۲°۱۷'	۳۰°۱۱'	۱۶۵۰	۱۳۶۵
شیراز	۵۲°۳۶'	۲۹°۳۲'	۱۴۸۴	۱۳۴۳
فسا	۵۳°۴۱'	۲۸°۵۸'	۱۳۵۳	۱۳۵۳
لارستان	۵۴°۱۷'	۲۷°۴۲'	۷۹۲	۱۳۶۴
لامرد	۵۳°۱۲'	۲۷°۳۲'	۴۰۵	۱۳۷۲

(Duration) را تعیین می‌کند. مجموع انحرافات منفی در هر توالی، شدت خشکسالی (Drought Severity) را می‌سنجد و بزرگی خشکسالی (Drought Intensity) مقدار میانگین کسری بارش را در یک دوره ویژه از خشکسالی بیان می‌کند. همان طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، انتخاب سطح برش X_0 به تولید دنباله‌های منفی (خشکسالی) و مثبت (ترسالی) منجر می‌شود [۱۱].



شکل ۱. تعیین مشخصات خشکسالی با استفاده از تئوری دنباله

مواد و روش‌ها

تشکیل سری زمانی و تحلیل دنباله‌ها با استفاده از تئوری RUN

پس از اطمینان از صحت و همگنی داده‌ها، سری زمانی در مقیاس زمانی ماهانه برای هر ایستگاه تشکیل شد. طبق تعریف، خشکسالی هواشناسی عبارت است از افت بارندگی نسبت به یک سطح برش معین در یک دوره طولانی و در مکان مشخص. اغلب، سطح برش را میانگین درازمدت سری زمانی بارندگی در نظر می‌گیرند، ولی ممکن است هر سطح دیگری علاوه بر آن انتخاب شود. مفهوم سطح برش که به تئوری RUN یا تئوری دنباله نیز مشهور است و نخستین بار توسط Yevjevich بیان شد، به تفکیک رخدادهای خشک (کمتر از سطح برش) و تر (بیشتر از سطح برش) منجر می‌شود [۱۰]. علاوه بر این، با استفاده از تئوری RUN می‌توان برخی از مشخصات خشکسالی نظیر شدت، تداوم و بزرگی وقایع خشک را تعیین کرد. طول توالی منفی، تداوم یک دوره خشکسالی (Drought

سپس، توصیف کیفی شدت خشکسالی طی دوره آماری کمی شد. به این منظور، رتبه صفر تا منفی چهار برای طبقات نرمال تا خشکسالی بسیار شدید در نظر گرفته شد. سپس، ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین مقادیر کمی شده شاخص‌ها و بارندگی سالانه به تفکیک ایستگاه‌ها تعیین شد. هر چه ضریب رتبه‌ای اسپیرمن به منفی یک نزدیک‌تر باشد، آن شاخص برای آن ایستگاه کارایی بیشتری دارد. ضریب همبستگی اسپیرمن به صورت رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$r_s = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

که در آن r_s ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهده‌ها و $\sum d_i^2$ مجموع مجذور تفاوت دو رتبه است. برای محاسبه معنادار بودن این همبستگی، از آماره زیر برای آزمون فرض H_0 و H_1 در سطح اعتماد پنج و یک درصد استفاده شد [۱۳]:

$$Z = r_s \sqrt{n-1}$$

در نهایت، برای انتخاب یک نمایه از مجموع شش نمایه استفاده شده در منطقه مطالعه شده، برای هر ایستگاه شاخصی که بیشترین همبستگی را با مقادیر کمی شده نمایه‌ها داشت، بیشترین نمره، یعنی شش، و شاخصی که ضریب همبستگی کمتری داشت از پنج تا یک به ترتیب نزولی امتیازدهی شد. با ملاک قراردادن مجموع نمرات هر نمایه در کل ایستگاه‌ها، نمایه‌ای که بیشترین امتیاز را دارد به عنوان کاراترین نمایه شناخته می‌شود [۱۴ و ۱۵].

در تحقیق حاضر شاخص بارش استاندارد شده به عنوان بهترین شاخص انتخاب شد. دوره‌ای که مقادیر SPI به طور مداوم منفی باشد، خشکسالی آغاز می‌شود و تداوم می‌یابد و زمانی که مقادیر SPI مثبت شود، خشکسالی پایان می‌یابد. با توجه به آستانه‌های تعریف شده (جدول ۲) و با استفاده از سری‌های زمانی SPI و تئوری RUN، تداوم ماه‌های خشک برای مقیاس زمانی دو، چهار، شش و هشت ماهه برای ایستگاه‌های مطالعه شده محاسبه شد. به منظور محاسبه شدت خشکسالی با تداوم مد نظر (DS) از رابطه ۳ استفاده شد [۱۶]:

$$DS = - \left| \sum_{i=1}^D SPI_i \right| \quad (3)$$

اگر در K سال متوالی مقدار بارش از حد آستانه کمتر باشد، خشکسالی به طول K رخ داده است. به بیانی خشکسالی، یک توالی از عدم موفقیت (q) است. اگر i تعداد توالی‌های عدم موفقیت با طول K از یک پیشامد n عضوی باشد، محدوده i کران دار بوده و دامنه آن از $i=0$ تا $i=I$ که در آن $I = [(n+1)/(k+1)]$ خواهد بود، تغییر می‌کند. بنابراین:

$$\sum_{i=0}^I R_{i,k}(n) = 1$$

در ادامه:

$$\varepsilon_{r,k} = \sum_{i=0}^k i R_{i,k}(n)$$

که در آن $\varepsilon_{r,k}$ تعداد توالی مورد انتظار با طول دنباله K ساله:

$$V_{r,k} = \sum_{i=0}^k i^2 R_{i,k}(n) - \varepsilon_{r,k}^2$$

که در آن $V_{r,k}$ واریانس تعداد توالی‌ها با طول K سال است.

$$N = \sum_{k=1}^n \varepsilon_{r,k}$$

که در آن N تعداد خشکسالی‌های مورد انتظار است. برای محاسبه میانگین طول توالی خشکسالی در دنباله مد نظر یا $L(n)$ از فرمول ۱ استفاده می‌شود [۱۲]:

$$L(n) = \sum_{k=1}^n k \varepsilon_{r,k} / N \quad (1)$$

تحلیل خشکسالی هواشناختی و انتخاب بهترین شاخص
برای تعیین ویژگی‌های همه‌جانبه خشکسالی هواشناسی، شاخص‌های بسیاری وجود دارد که بسته به شرایط مختلف می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین، استفاده از مناسب‌ترین شاخص خشکسالی برای حصول بهترین نتیجه ضروری به نظر می‌رسد. برای تعیین و تبیین ویژگی‌های خشکسالی مانند شدت، تداوم و فراوانی در منطقه مطالعه شده از شاخص‌های DI ، $PNPI$ ، $SIAP$ ، RAI ، SPI و $BMDI$ استفاده شد.

برای انتخاب مناسب‌ترین شاخص، بعد از محاسبه نمایه‌های خشکسالی در مقیاس زمانی مطالعه شده، کیفیت شدت خشکسالی بر اساس طبقات خشکسالی مشخص شد.

هر ایستگاه، شدت خشکسالی برای تداوم‌های مختلف و با دوره بازگشت‌های دو، سه، پنج، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله برآورد و جدول‌های مربوط به شدت، مدت و دوره بازگشت ایستگاه‌ها تهیه شد.

تحلیل خوشه‌ای مقادیر SPI و تهیه نقشه پهنه‌بندی

به منظور بررسی تشابه موجود بین مکان‌های مطالعه‌شده و طبقه‌بندی آنها، با ایجاد ماتریسی در نرم‌افزار Spss 22 اقدام به گروه‌بندی بین ایستگاهی ضرایب ترسالی و خشکسالی شد. به این منظور، ضرایب خشکسالی ایستگاه‌های مطالعه‌شده بر اساس شاخص فاصله اقلیدوسی نسبی (به عنوان معیار فاصله‌ای)، به روش واریانس حداقل طبقه‌بندی خوشه‌ای شد. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه مطالعه‌شده با تداوم ۱۲ ماهه در دو بازه زمانی دهه اول (۱۹۹۷-۲۰۰۶) و دهه دوم (۲۰۰۷-۲۰۱۶) با روش درون‌یابی IDW و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 ترسیم شد.

یافته‌ها

بعد از تشکیل سری زمانی داده‌های بارش، با استفاده از تئوری RUN، حد آستانه خشکسالی مشخص و پارامترهای تداوم و شدت خشکسالی با استفاده از شش شاخص خشکسالی، تعیین شد. کیفیت شدت خشکسالی کمی شده و ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین مقادیر رتبه خشکسالی هر سال و میزان بارندگی متناظر با آن سال محاسبه شد. با توجه به جدول ۳، نتایج نشان می‌دهد تقریباً در همه ایستگاه‌ها همبستگی بسیار خوبی بین رتبه خشکسالی و میزان بارش وجود دارد. در ادامه، با استفاده از نتایج محاسبات در نرم‌افزار SPSS، فرض H_0 رد و فرض H_1 در سطح معنادار پنج و یک درصد پذیرفته شد.

$$(H_0: r_s = 0 \text{ و } H_1: r_s \neq 0)$$

برای انتخاب مناسب‌ترین شاخص خشکسالی، با توجه به ضریب همبستگی اسپیرمن اقدام به امتیازدهی هر شاخص در هر ایستگاه شد که با توجه به مجموع امتیازهای محاسبه‌شده، شاخص خشکسالی SPI با کسب مجموع ۵۱ امتیاز به عنوان بهترین شاخص در منطقه مطالعه‌شده انتخاب شد. نتایج در جدول ۴ ارائه شده است.

که در آن DS شدت خشکسالی با تداوم مد نظر و SPI مقدار آیین شاخص بارش استاندارد برای یک شدت خشکسالی با تداوم D است.

جدول ۲. طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی براساس مقادیر SPI

توصیف وضعیت	مقادیر SPI
ترسالی خیلی شدید	> 2
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
ترسالی ملایم	۰/۵ تا ۰/۹۹
نرمال	-۰/۴۹ تا ۰/۴۹
خشکسالی ملایم	-۰/۹۹ تا -۰/۵
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۵
خشکسالی خیلی شدید	< -2

انتخاب بهترین توزیع آماری

پس از تعیین شدت خشکسالی هر ایستگاه با استفاده از شاخص SPI، سری زمانی موجود با استفاده از نرم‌افزار SMADA 6.43 تحلیل شد. به بیان دیگر، توابع توزیع مختلف بر این داده‌ها برازش داده شد و با استفاده از محاسبه مجموع مربعات باقی‌مانده، مناسب‌ترین توزیع انتخاب شد. محاسبه مجموع مربعات باقی‌مانده به صورت رابطه ۴ انجام می‌شود [۱۷]:

$$R.S.S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_e - Q_o)^2}{n - m} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

که در آن:

R.S.S: مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها، Q_e : مقدار برآورد شده برای هر یک از داده‌ها، Q_o : مقدار مشاهده‌شده برای هر یک از داده‌ها، n : تعداد داده‌ها، m : تعداد پارامترهای توزیع استفاده‌شده که در توزیع نرمال، لوگ نرمال و گمبل، ۲ و در توزیع‌های پیرسون و لوگ پیرسون، ۳ است.

مناسب‌ترین توزیع دارای کمترین مقدار RSS است و آن توزیع برای تعیین برآوردی با دوره بازگشت مد نظر انتخاب می‌شود. در ادامه، بر اساس توزیع انتخاب‌شده در

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین مقادیر رتبه خشکسالی و میزان بارندگی در شاخص‌های مختلف

نام ایستگاه	DI	PNPI	SIAP	SPI	RAI	MBDI
آباده	۰/۹۷۷	۰/۸۸۷	۰/۹۶۱	۰/۹۹۱	۰/۹۴۷	۰/۹۲۹
اقلید	۰/۹۹۳	۰/۸۹۶	۰/۹۵۳	۰/۹۹۲	۰/۹۵۰	۰/۹۴۷
داراب	۰/۹۶۹	۰/۸۷۲	۰/۹۷۲	۰/۹۸۲	۰/۹۴۲	۰/۸۹۸
زرقان	۰/۹۸۷	۰/۸۷۳	۰/۹۵۸	۰/۹۸۶	۰/۹۶۵	۰/۸۹۸
درودزن	۰/۹۸۴	۰/۸۹۰	۰/۹۴۰	۰/۹۹۳	۰/۹۷	۰/۹۶۸
شیراز	۰/۹۸۷	۰/۸۹۱	۰/۹۳۸	۰/۹۸۹	۰/۹۶۲	۰/۹۴۸
فسا	۰/۹۹۳	۰/۸۶۱	۰/۹۶۸	۰/۹۸۱	۰/۹۶۶	۰/۹۵۲
لارستان	۰/۹۸۸	۰/۸۹۰	۰/۹۸۶	۰/۹۹۴	۰/۷۰۶	۰/۹۵۰
لامرد	۰/۸۷۶	۰/۸۴۹	۰/۶۹۴	۰/۹۹۶	۰/۹۷۰	۰/۹۵۷

جدول ۴. رتبه‌بندی و انتخاب مناسب‌ترین شاخص خشکسالی در هر یک از ایستگاه‌های مطالعه‌شده

نام ایستگاه	DI	PNPI	SIAP	SPI	RAI	MBDI
آباده	۵	۱	۴	۶	۲	۳
اقلید	۶	۱	۴	۵	۳	۲
داراب	۴	۱	۵	۶	۳	۲
زرقان	۶	۱	۳	۵	۴	۲
درودزن	۵	۱	۲	۶	۴	۳
شیراز	۵	۱	۲	۶	۴	۳
فسا	۶	۱	۴	۵	۳	۲
لارستان	۵	۲	۴	۶	۱	۳
لامرد	۳	۲	۱	۶	۵	۴
جمع امتیاز	۴۵	۱۱	۲۹	۵۱	۲۹	۲۴

۵. در ادامه، با مشخص شدن بهترین توزیع آماری برای هر ایستگاه، تداوم‌های خشکسالی در مقیاس‌های دو، چهار، شش و هشت ماهه تهیه و با دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از مفاهیم تئوری RUN محاسبه شد که نتایج در جدول‌های ۶ تا ۱۴ نشان داده شده است.

پس از انتخاب شاخص SPI و استخراج شدت خشکسالی هر ایستگاه، انتخاب بهترین توزیع آماری بر اساس محاسبه مجموع مربعات باقی‌مانده و با استفاده از نرم‌افزار Smada انجام شد. نتایج نشان داد ۵۵ درصد از ایستگاه‌ها از توزیع آماری پیرسون پیروی می‌کنند (جدول

جدول ۵. انتخاب بهترین تابع توزیع در هر یک از ایستگاه‌های مطالعه‌شده

نام ایستگاه	توزیع مناسب	نام ایستگاه	توزیع مناسب	نام ایستگاه	توزیع مناسب
آباده	گمبل	زرقان	پیرسون	فسا	نرمال
اقلید	پیرسون	درودزن	پیرسون	لارستان	گمبل
داراب	پیرسون	شیراز	گمبل	لامرد	پیرسون

جدول ۶. ایستگاه آباده

هشت‌ماهه	شش‌ماهه	چهارماهه	دوماهه	T(سال)
-۹/۴۲	-۳/۷۲	-۲/۱۰	-۰/۶۰	۲
-۹/۴۴	-۴/۶۲	-۲/۱۵	-۰/۶۸	۳
-۹/۴۴	-۵/۴۹	-۲/۲۷	-۰/۷۲	۵
-۹/۴۷	-۵/۸۸	-۲/۴۴	-۰/۷۲	۱۰
-۹/۵۶	-۵/۹۹	-۲/۶۴	-۰/۷۸	۲۵
-۹/۷۷	-۶/۰۱	-۲/۹۲	-۰/۹۷	۵۰

جدول ۷. ایستگاه اقلید

T (سال)	دوماهه	چهارماهه	شش ماهه	هشت ماهه
۲	-۰/۵۲	-۱/۴۲	-۱/۷۴	-۶/۷۰
۳	-۰/۵۷	-۲/۶۲	-۳/۴۶	-۶/۷۹
۵	-۰/۵۹	-۲/۶۵	-۵/۲۲	-۶/۸۱
۱۰	-۰/۶۳	-۲/۷۶	-۶/۱۰	-۶/۸۴
۲۵	-۰/۷۶	-۳	-۶/۴۴	-۷/۱
۵۰	-۱/۰۶	-۳/۴۲	-۶/۵۲	-۷/۴۵

جدول ۸. ایستگاه داراب

T (سال)	دوماهه	چهارماهه	شش ماهه	هشت ماهه
۲	-۰/۷۶	-۱/۲۳	-۳/۷۳	-۵/۵
۳	-۰/۸۴	-۱/۹۶	-۴/۹۳	-۶/۴۵
۵	-۱/۰۴	-۲/۸۸	-۶/۱۳	-۷/۳۴
۱۰	-۱/۲۸	-۳/۵۹	-۶/۶۹	-۷/۷۲
۲۵	-۱/۵۵	-۴/۱۱	-۶/۸۸	-۷/۸۲
۵۰	-۱/۸۸	-۴/۵۳	-۶/۹۱	-۷/۸۳

جدول ۹. ایستگاه زرقان

T (سال)	دوماهه	چهارماهه	شش ماهه	هشت ماهه
۲	-۰/۵۳	-۲/۶۷	-۴/۳۳	-۵/۰۲
۳	-۰/۶	-۲/۷۳	-۴/۶۴	-۵/۵۴
۵	-۰/۷۵	-۲/۸۹	-۵/۰۵	-۶/۲۷
۱۰	-۰/۹۴	-۳/۱	-۵/۳۷	-۶/۸۵
۲۵	-۱/۱۷	-۳/۳۸	-۵/۶۰	-۷/۳۲
۵۰	-۱/۴۷	-۳/۷۶	-۵/۷۹	-۷/۷۵

جدول ۱۰. ایستگاه درودزن

T (سال)	دوماهه	چهارماهه	شش ماهه	هشت ماهه
۲	-۰/۵۲	-۱/۲۳	-۶/۲۲	-۷/۴۵
۳	-۰/۵۸	-۱/۹۶	-۶/۵۴	-۷/۶
۵	-۰/۶۹	-۲/۹۸	-۶/۸۷	-۷/۸۶
۱۰	-۰/۸	-۳/۸۳	-۷/۰۳	-۸/۱۱
۲۵	-۰/۹۲	-۴/۵۴	-۷/۱۰	-۸/۳۶
۵۰	-۱/۰۵	-۵/۱۹	-۷/۱۱	-۸/۶۴

جدول ۱۱. ایستگاه شیراز

T (سال)	دوماهه	چهارماهه	شش ماهه	هشت ماهه
۲	-۰/۰۷	-۲/۷۸	-۳/۷۸	-۷/۷۹
۳	-۰/۱۲	-۲/۹۱	-۴/۱۰	-۷/۸۸
۵	-۰/۲۳	-۲/۹۸	-۵/۲۴	-۸/۰۳
۱۰	-۰/۳۸	-۳/۰۹	-۵/۷۱	-۸/۱۹
۲۵	-۰/۵۷	-۳/۲۴	-۵/۸۱	-۸/۳۵
۵۰	-۰/۸۵	-۳/۴۴	-۵/۸۳	-۸/۵۴

جدول ۱۲. ایستگاه فسا

T(سال)	دوماهه	چهارماهه	شش ماهه	هشت ماهه
۲	-۰/۳	-۰/۳۷	-۳/۵۲	-۶/۱۲
۳	-۰/۶۴	-۱/۰۳	-۳/۷۴	-۶/۱۸
۵	-۱/۰۸	-۱/۸۰	-۴/۰۴	-۶/۲۷
۱۰	-۱/۴۱	-۲/۳۰	-۴/۲۶	-۶/۳۶
۲۵	-۱/۶۴	-۲/۶۰	-۴/۴۴	-۶/۴۵
۵۰	-۱/۸۵	-۲/۷۹	-۴/۵۸	-۶/۵۴

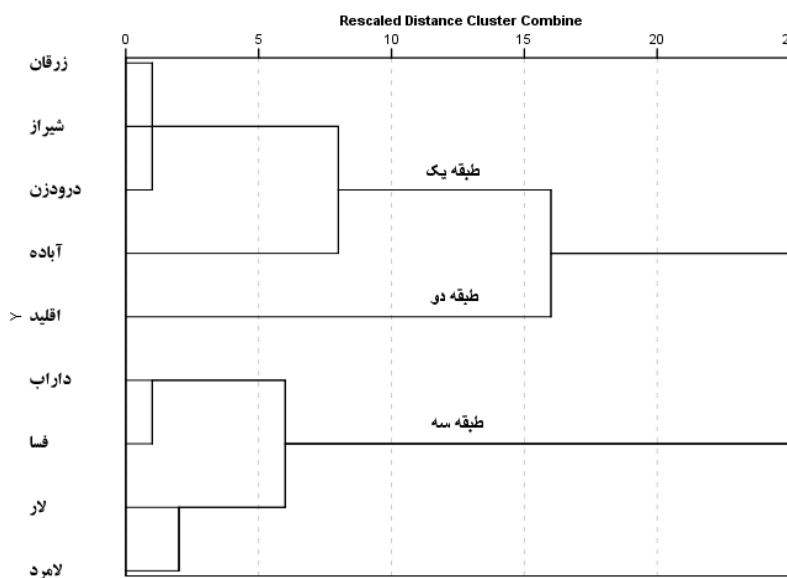
جدول ۱۳. ایستگاه لار

T(سال)	دوماهه	چهارماهه	شش ماهه	هشت ماهه
۲	-۰/۵۴	-۲/۸۶	-۳/۲۲	-۵/۴۴
۳	-۰/۷۳	-۲/۹۲	-۳/۴۸	-۵/۷۳
۵	-۰/۹۸	-۳/۰۳	-۳/۸۷	-۶/۰۴
۱۰	-۱/۱۷	-۳/۱۴	-۴/۲۵	-۶/۱۹
۲۵	-۱/۳۱	-۳/۲۵	-۴/۵۹	-۶/۲۵
۵۰	-۱/۴۳	-۳/۳۸	-۴/۹۶	-۶/۲۷

جدول ۱۴. ایستگاه لامرد

T(سال)	دوماهه	چهارماهه	شش ماهه	هشت ماهه
۲	-۰/۵۳	-۳/۱۳	-۵/۹۹	-۶/۱۲
۳	-۰/۷۸	-۳/۳۴	-۶/۰۱	-۶/۶۵
۵	-۱/۰۸	-۳/۶۶	-۶/۰۲	-۷/۱۷
۱۰	-۱/۲۴	-۳/۹۴	-۶/۰۳	-۷/۵۹
۲۵	-۱/۴۲	-۴/۱۸	-۶/۰۷	-۷/۹۲
۵۰	-۱/۴۷	-۴/۴۳	-۶/۱۷	-۸/۲۲

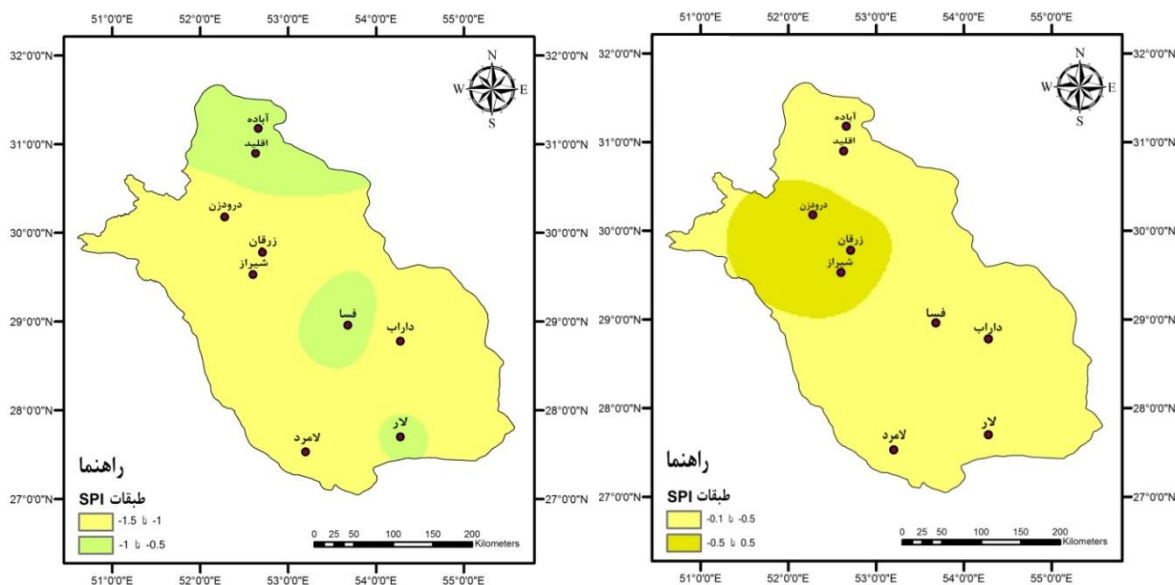
Dendrogram using Ward Linkage



شکل ۲. تحلیل خوشه‌ای مقادیر SPI ایستگاه‌های مطالعه شده

ایستگاه‌های داراب، فسا، لار و لامرد در طبقه سوم قرار دارند. هر چه سطح تشابه بیشتر شود، تعداد گروه‌ها افزایش خواهد یافت. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی شدت خشکسالی ایستگاه‌ها با تداوم ۱۲ ماهه در دو دهه اخیر ترسیم شد (شکل ۳).

نتایج به دست آمده از تحلیل خوشه‌ای نشان داد در سطح تشابه ۶۸ درصد، ایستگاه‌ها به سه طبقه (خوشه) تقسیم شدند. همان طور که در شکل ۲ مشخص است، ایستگاه‌های زرقان، شیراز و درودزن در طبقه یک، ایستگاه آباده در طبقه دوم و



شکل ۳. پهنه‌بندی شدت خشکسالی با تداوم ۱۲ ماهه در دهه اول (۱۹۹۷-۲۰۰۶) و دهه دوم (۲۰۰۷-۲۰۱۶) با استفاده از SPI (به ترتیب مربوط به شکل الف و شکل ب)

محمودی [۲۲] و وفاخواه و رجبی [۱۴] استفاده از این شاخص را مناسب ندانسته‌اند.

با توجه به اهمیت کارکرد دوره بازگشت در تحلیل پدیده‌های حدی، استفاده از مناسب‌ترین توزیع که برآزش خوبی با سری زمانی موجود داشته باشد و بر این اساس مقادیر مرتبط با هر دوره بازگشت مشخص شود، بسیار ضروری است. بنابراین، در تحقیق حاضر بر آن شدیم تا پس از انتخاب شاخص و محاسبه شدت خشکسالی، نسبت به انتخاب بهترین توزیع آماری برای هر یک از ایستگاه‌های مطالعه شده اقدام کنیم. همان طور که گفته شد، توزیع‌های آماری نرمال، پیرسون و گمبل به عنوان بهترین توزیع انتخاب شدند. استفاده از توزیع‌های لگاریتمی به دلیل منفی بودن شاخص‌ها امکان‌پذیر نبود. براساس نظریه سازمان هواشناسی جهانی [۲۳] هیچ قاعده مشخصی برای این مسئله که یک عنصر خاص اقلیمی همواره از یک توزیع به خصوص پیروی می‌کند، وجود ندارد.

جدول‌های ۶ تا ۱۴ نشان می‌دهند با افزایش دوره

بحث و نتیجه‌گیری

خشکسالی یکی از پدیده‌های حدی است که آگاهی از زمان وقوع، شدت و تداوم این رخداد، کمک درخور توجهی به مدیران بخش‌های مختلف خواهد کرد. تعیین مقادیر خشکسالی به کمک شاخص‌هایی صورت می‌گیرد که می‌توانند در یک منطقه نتایج متفاوتی ارائه کنند. بنابراین، نخستین گام در محاسبه شدت خشکسالی، انتخاب بهترین و کاراترین شاخص خشکسالی است. در تحقیق حاضر با استفاده از ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن و در نهایت روش امتیازدهی شاخص‌ها، شاخص استاندارد شده بارش به عنوان بهترین شاخص از میان شش شاخص بررسی شده، انتخاب شد. البته، نه به این معنا که همیشه شاخص SPI از دیگر شاخص‌ها بهتر است. علیزاده و همکارانش [۱۸]؛ منتظری و غیور [۱۹]؛ فتاحی و صداقت‌کردار [۵]، مساعدی و همکارانش [۲۰] و فاریابی و مظفری‌زاده [۲۱] شاخص SPI را به عنوان بهترین شاخص در منطقه مطالعاتی خود معرفی کرده و نوحه‌گر و

مثال، ایستگاه‌های زرقان، درودزن و شیراز که در دهه نخست وضعیت نرمالی داشتند، در دهه دوم با دو سطح افزایش شدت خشکسالی، به همراه ایستگاه‌های داراب، لارستان و لامرد، شدت خشکسالی متوسط را تجربه می‌کنند. ایستگاه‌های فسا، آباده و اقلید که در دهه نخست دارای وضعیت خشکسالی ضعیف بودند، در این دهه نیز همان شدت خشکسالی را حفظ کردند. در دهه دوم به طور متوسط شش سال ایستگاه‌های منطقه درگیر خشکسالی بودند. به طور کلی، می‌توان گفت که شدت خشکسالی در دهه اخیر نسبت به مقیاس مشابه خود افزایش داشته و این تأثیر در مرکز منطقه مطالعه شده درخور توجه است.

منابع

- [1]. Tsakiris G, Nalbantis I, Vangelis H, Verbeiren B, Huysmans M, Tychon B, et al. A system-based Paradigm of drought analysis for operational management. *Water Resources Management*. 2013; 27: 5281-5297.
- [2]. Pirmoradian N, Shamsnia SA, Boustani F, Shahrokhnia MA. Evaluation of drought return period using standardized precipitation index (SPI) in Fars province. *Agroecology Journal*. 2009; 13: 7-21. [Persian].
- [3]. Rezaei P, Roshni M, Amirabadizadeh SM. The Study of Relationship between Intensity, Duration, Frequency and Involvement Level with Drought in the Northwest of Iran. *Geography and environmental hazards*. 2014; 10: 91-110. [Persian].
- [4]. Koushki R, Rahimi M, Amiri M, Mohammadi M, Dastorani J. Investigation of relationship between meteorological and hydrological drought in karkheh watershed. *Iranian Journal of Eco Hydrology*. 2017; 4(3):687-698. [Persian].
- [5]. Fattahi E, Sedaghatkarder A. Analysis of Intensity duration and frequency of drought Geography and development. 2005; 5: 77-99. [Persian].
- [6]. Yildis O, Assessing temporal and spatial characteristics of droughts in the Hirfanli dam basin, Turkey. *Academic Journal of Scientific Research and Essay*. 2009; 4(4): 249-255.
- [7]. Hosseinizadeh A, SeyedKaboli H, Zareie H, Akhondali A, Farjad B. Impact of climate change on the severity, duration, and frequency of drought in a semi-arid agricultural basin. *Geoenvironmental Disasters*. 2015; 23(2): 1-9. [Persian].

بازگشت، مقادیر شدت خشکسالی افزایش می‌یابد. همچنین، بزرگی خشکسالی با تداوم‌های کوتاه‌مدت دو و چهار ماهه نسبت به تداوم‌های بلندمدت شش و هشت ماهه کمتر است. در یک ایستگاه، شدت خشکسالی در تداوم‌های مختلف با یکدیگر متفاوت و به صورت مستقل عمل می‌کنند، به طوری که هیچ ارتباطی بین شدت خشکسالی با تداوم‌های متفاوت نمی‌توان یافت. همچنین، روند افزایش شدت خشکسالی در یک تداوم ثابت با افزایش دوره بازگشت نیز رفتاری مستقل دارد و به سرشت داده‌ها برمی‌گردد. نگارندگان به این نتیجه رسیدند که هرچه اختلاف سری زمانی داده‌های یک تداوم خشکسالی کمتر باشد، آهنگ افزایش شدت‌ها با افزایش دوره بازگشت کمتر خواهد بود.

گروه‌بندی ایستگاه‌ها در سه دسته مجزا بیان‌کننده اختلاف برون‌گروهی بین ایستگاه‌های هر گروه و نبود اختلاف یا وجود اختلاف ناچیز درون‌گروهی ایستگاه‌های هر گروه است. از این رو، می‌توان گفت شرایط ترسالی و خشکسالی از لحاظ مکانی و زمانی در ایستگاه‌های هر گروه تقریباً یکسان و در بین گروه‌ها متفاوت است. به نظر می‌رسد با توجه به داده‌های بارش و خصوصیات ایستگاه‌ها، آنچه در این تفکیک مکانی کارکرد مهمی داشته است، میزان بارش، خصوصیات توپوگرافی و از نظر سینوپتیکی تشابه سیستم‌های جوئی است که از جهات گوناگون به منطقه وارد می‌شوند (بیشتر مدیترانه‌ای و سودانی). منتظری و غیور [۱۹] با استفاده از SPI، ۲۳ زیرحوضه خزر را در چهار گروه تقسیم‌بندی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد مهم‌ترین عواملی که سبب تفکیک مکانی ایستگاه‌ها شده، توپوگرافی، بارش و نوع پوشش گیاهی است.

با مقایسه نقشه پهنه‌بندی متوسط شدت خشکسالی در دهه نخست (۱۹۹۷-۲۰۰۶) و دهه دوم (۲۰۰۷-۲۰۱۶) می‌توان مواردی را یادآور شد. پهنه‌بندی شدت خشکسالی در دهه نخست، منطقه مطالعه‌شده را بر مبنای شاخص SPI به دو منطقه با وضعیت نرمال در مرکز و شرق و وضعیت خشکسالی ضعیف در دیگر نواحی تقسیم می‌کند. همچنین، با یک بررسی اجمالی مشخص شد که به طور متوسط در ۳۰ درصد سال‌های این دهه شرایط خشکسالی در منطقه حاکم بوده است. نقشه پهنه‌بندی در دهه دوم وضعیت متفاوت‌تری را نشان می‌دهد. مناطقی که در دهه نخست وضعیت نرمالی داشتند، در دهه دوم بیشتر درگیر خشکسالی شدند. به طور

- [8]. Maleki AR, Torkamani J. Drought management for optimization of water resources. *Journal of agricultural economic research*. 2015; 25: 65-89.
- [9]. Halwatura D, Lechner A, Arnold S. Drought severity-duration-frequency curves: A foundation for risk assessment and planning tool for ecosystem establishment in post-mining landscapes. *Hydrology and Earth System Science*. 2015; 19: 069-1091.
- [10]. Yevjevich V. An objective approach to definition and investigation of continental hydrologic droughts. *Hydrology paper 23*. Colorado University Press. Fort Collins. 1967.
- [11]. Khalili A, Bazr Afshan J. Evaluation of return period and drought duration risk using annual secular precipitation data in ancient stations of Iran. 2th conference on water resources management. Isfahan University of Technology. Science and natural resources. 2007; 15: 176-182. [Persian].
- [12]. Moe LA, Kapadia AS, Cech IM, Hardy RJ. Theory of run with applications to drought prediction. *Journal of Hydrology*. 1988; 103:127-137.
- [13]. Bihamta MR, Zare Chahouki MA. Principle of statistics for the natural resources science. 3th edition. Tehran university press. Tehran. 2011. [Persian].
- [14]. Vafakhah M, Rajabi M. Efficiency of meteorological drought indices for monitoring and assessment of drought in Bakhtegan, Tashk, and Maharlou lakes watershed. *Desert (Biaban)*. 2005; 10(2): 369-382. [Persian].
- [15]. Piri H, Rahdari V, Maleki S. Study and compare performance of four meteorological drought indices in the risk management droughts in Sistan and Baluchestan province. *Iranian Journal of irrigation and water Engineering*. 2013; 11: 96-114. [Persian].
- [16]. Mckee TS, Doesken N, Kleist J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. 9th conference on Applied Climatology. Dallas. 15-20 Jan. 1995; 233-236.
- [17]. Mahdavi M. *Applied Hydrology*. 5th edition. Tehran university press. Tehran. 2012. [Persian].
- [18]. Alizadeh A, Ansari H, Ershadi S, Ashgar Tousi Sh. Drought predictability in the province of Sistan and Balouchestan. *Semi - annual journal of geography and regional development*. 2009; 11:1-7. [Persian].
- [19]. Montazeri M, Gayoor H. Comparative Analysis of Precipitation and Drought Trends in Caspian's Basin. *Geography and Development*. 2010; 16:72-91. [Persian].
- [20]. Mosaedi A, Khalilizade M, Mohammadi A. Drought monitoring in Golestan Province *Journal of agriculture and natural resources*. 2008; 15:176-182. [Persian].
- [21]. Faryabi M, Mozaffarizade J, Hydrogeological drought management index (HDMI) as a tool for groundwater resource management under drought conditions, Case study: Dayyer-Abdan district, Boushehr province. *Iranian Journal of Eco Hydrology*. 2017; 4(3):737-748. [Persian].
- [22]. Nohegar A, Mahmoodabadi S. Assessment of some indicators of drought-regional and appointment of the suitable indicator in the Kahorestan zone. *Geography (Regional Planning)*. 2012; 2(2):89-98. [Persian].
- [23]. W. M. O. Guide to climatologically practice, Geneva, 1983.