

مقایسه عملکرد پایش خشکسالی با شاخص‌های تک‌معرفه و چندمعرفه (مطالعه موردی: ایستگاه‌های هواشناسی مختلف ایران)

شیوا اختیاری خواجه*، فهیمه نگهبان خواجه و یعقوب دین‌پژوه^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۸)

چکیده

در این مطالعه، مشخصه‌های خشکسالی ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، تهران، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان طی دوره آماری ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۴ با شاخص چندمعرفه اکتشاف خشکسالی (RDI) و شاخص تک‌معرفه بارندگی استاندارد (SPI) مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز برای محاسبه شاخص اکتشاف خشکسالی، داده‌های بارش و دمای هوا و داده‌های مورد نیاز برای محاسبه شاخص بارندگی استاندارد نیز، داده‌های بارش است. در این مطالعه، برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل (PET) از روش تورنت‌وایت استفاده شد. یکی از چالش‌های اصلی در پایش خشکسالی، تعیین شاخصی است که بر اساس هدف پایش، از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار باشد. از این‌رو در این پژوهش دو روش انتخاب شاخص مناسب بر اساس حداقل بارش و توزیع نرمال ارزیابی شد. نتایج حاصل از ارزیابی روش حداقل بارش برای انتخاب شاخص مناسب نشان داد که اکثر شاخص‌های خشکسالی در سال وقوع حداقل بارش، یکی از دو وضعیت خشکسالی شدید یا بسیار شدید را نشان می‌دهند و در بیشتر موارد نمی‌تواند منجر به تعیین شاخصی دقیق و مشخص شود. بر اساس نتایج روش توزیع نرمال، شاخص SPI برای ایستگاه‌های اراک، تبریز، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان و شاخص RDI برای ایستگاه‌های بندرانزلی و تهران به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص خشکسالی انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: بارش، تبخیر- تعرق، شاخص اکتشاف خشکسالی، شاخص بارندگی استاندارد، شبیه‌سازی

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Shiva.ekhtiyari@gmail.com

مقدمه

خشکسالی برخلاف بسیاری از بلایای طبیعی، پدیده‌ای است که به تدریج یک منطقه را تحت شعاع خود قرار داده و خسارات سنگینی را به همراه می‌آورد. شاخص‌های پایش خشکسالی به‌طور کلی به دو دسته تک‌معرفه‌ها و چندمعرفه‌ها (univariate and multivariate indices) تقسیم می‌شوند. معرفه‌ها متغیرهایی هستند که قادرند به‌طور کمی مدت، شدت و وسعت مکانی خشکسالی را توصیف کنند. آنها عموماً بر اساس متغیرهای هواشناسی و یا هیدرولوژیکی هستند. بارندگی، جریان رودخانه، آب زیرزمینی و ذخیره مخزن به‌عنوان معرفه‌ها شناخته می‌شوند (۱۰). در شاخص‌های تک‌معرفه تنها یکی از معرفه‌های نام برده شده مبنای محاسبات قرار می‌گیرد. معرفه بارندگی امروزه بیشترین کاربرد را در پایش خشکسالی دارد و شاخص‌هایی مانند EDI (Effective Drought Index)، DI (Deciles Index)، CZI (ChinaZ-index)، SPI (Standardized Precipitation Index) و MCZI (Modified CZI) فقط بر اساس این متغیر کار می‌کنند. تلاش‌هایی برای برقراری ارتباط ترکیبی از معرفه‌ها با سطوح خشکسالی صورت گرفته که منجر به معرفی شاخص‌های چندمعرفه شده است. از معروف‌ترین آنها SWSI (Surface Water Supply Index) و RDI (Reconnaissance Drought Index) است. همچنین روش چانگ نیز نمونه دیگری است که ترکیبی از معرفه‌ها را در خود جای داده است.

مرید و پایمزد (۱۱) روش‌های چانگ و EDI را در استان تهران در پایش خشکسالی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج حاکی از این است که روش چانگ از حساسیت بیشتری به کمبود منابع آبی در شرایط خشکسالی برخوردار است. به‌طوری‌که مقایسه دو روش چانگ و EDI طی سه سال حاکی از این است که ۳۱/۱ درصد ایام توسط چانگ خشکسالی بسیار شدید شناسایی شده است و شاخص خشکسالی مؤثر برای همین طبقه از خشکسالی رقم ۳/۷ درصد ایام را اعلام کرده است.

قبائی سوق و مساعدی (۳)، هشت شاخص خشکسالی را طی دوره ۵۰ ساله در پنج ایستگاه سینوپتیک شامل مشهد، تهران، تبریز، کرمانشاه و شیراز محاسبه و بر اساس یک روش جدید چندمعرفه مبتنی بر سطوح آستانه چانگ و مدل اسکالوگرام شاخص‌های مناسب در مقیاس سالانه را برای هر ایستگاه تعیین کردند. نتایج نشان داد که در سه ایستگاه مشهد، تهران و شیراز شاخص RDI به ترتیب با مقدار TA (Total Accuracy) برابر با ۰/۴۶، ۰/۵۱ و ۰/۵۱ به‌عنوان شاخص مناسب، در ایستگاه تبریز سه شاخص SPI، CZI و ZSI با مقدار TA برابر با ۰/۸۸ و در ایستگاه کرمانشاه شاخص CZI با مقدار TA برابر با ۰/۶۴ به‌عنوان شاخص‌های مناسب برگزیده شدند. قبائی سوق و همکاران (۴)، هشت شاخص خشکسالی را در ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد، تهران، تبریز، کرمانشاه و شیراز با استفاده از روش‌های حداقل بارش و توزیع نرمال برای انتخاب شاخص مناسب خشکی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از ارزیابی روش حداقل بارش برای انتخاب شاخص مناسب نشان داد که اکثر شاخص‌های خشکسالی در سال وقوع حداقل بارش در بیشتر موارد نمی‌تواند منجر به تعیین شاخصی دقیق و مشخص شود. بر اساس نتایج روش توزیع نرمال، شاخص RDI در ایستگاه‌های مشهد، تهران و شیراز شاخص SPI در ایستگاه‌های تبریز و کرمانشاه به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب شدند. مصطفی‌زاده و ذبیحی (۱۲)، شاخص‌های خشکی SPI و SPEI را در ارزیابی خشکسالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R در استان کردستان مورد تحلیل و ارزیابی قرار دادند. نتایج روشن ساخت که ضمن وجود تفاوت در الگوی وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی SPI و SPEI، شاخص SPEI دوره‌های طولانی‌تر خشکی در اکثر ایستگاه‌ها توسط شاخص SPEI مشخص شد. با توجه به تأثیر دما در محاسبه SPEI، تفاوت قابل توجه بین مقادیر شاخص استاندارد مبتنی بر بارش و شاخص تبخیر-تعرق مبتنی بر دما، زمینه‌کارایی و صحت شاخص SPEI را فراهم می‌کند. چانگ و کلثوپا (۱)، روشی چندمعرفه برای پایش خشکسالی ارائه دادند. روش پایش

جدول ۱. برخی از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)
اراک	۳۴° ۰۶'	۴۹° ۴۶'	۱۷۰۸	۳۳۲/۳
بندر انزلی	۳۷° ۲۸'	۴۹° ۲۸'	-۲۶	۱۷۵۵/۵
تبریز	۳۸° ۰۵'	۴۶° ۱۷'	۱۳۶۱	۲۷۱/۱
تهران	۳۵° ۴۱'	۵۱° ۱۹'	۱۱۹۰/۸	۲۲۹/۶
رشت	۴۹° ۳۶'	۳۷° ۱۶'	۵	۱۳۵۹
زاهدان	۶۰° ۵۱'	۲۹° ۲۹'	۱۳۸۵	۷۲
شیراز	۲۹° ۳۲'	۵۲° ۳۶'	۱۴۸۴	۳۲۴/۸
کرمان	۲۵° ۵۵'	۵۳° ۲۶'	۱۷۵۵	۱۲۲/۷

علاوه بر نتایج ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که مدل در مناطق خشک‌تر مثلاً دشت‌های جنوبی که رژیم بارش متغییری دارند، بهتر عمل می‌کند.

امروزه خشکسالی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات جامعه بشری محسوب می‌شود. همچنین با افزایش تنوع شاخص‌های خشکسالی بررسی و تعیین میزان خشکی و دوره‌های آن با شاخص مناسب امری پیچیده است. از این‌رو هدف این مطالعه تعیین شاخص مناسب با مقایسه شاخص‌های تک‌معرفه و چندمعرفه است تا بررسی‌های خشکسالی دقیق‌تر و قابل اعتمادتر صورت پذیرد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

کشور ایران بین عرض‌های شمالی ۲۵ تا ۴۰ درجه و طول‌های شرقی ۴۴ تا ۶۴ درجه و در کمربند آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد. در جدول (۱) مشخصات برخی از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد بررسی آورده شده است.

با توجه به نوع شاخص‌های به‌کار برده شده، داده‌های مورد نیاز شامل داده‌های بارش و دمای هوا در مقیاس زمانی ماهانه هستند. در مطالعه حاضر از داده‌های بارش و دمای هوا در ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، تهران، رشت، زاهدان،

خشکسالی با ترکیب سطوح برشی، طول دوره خشکسالی و احتمالات شرطی از پنج شاخص، توسعه داده شد. دوره شش ماهه خشکسالی ۱۹۸۸ در منطقه اوهایو مرکزی برای آزمون صحت پایش خشکسالی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش توسعه یافته، زمان وقوع خشکسالی را به‌درستی تعیین می‌کند. استینمن و کاوالکانتی (۱۶)، شاخص‌های چندمعرفه و محرک‌ها را برای برنامه‌ریزی خشکسالی بررسی کردند. آنها یک روش تحلیلی و روندی برای توسعه، ارزیابی و تحلیل شاخص‌ها و محرک‌ها ارائه دادند. نتایج حاکی از این بود که شاخص خشکی SPI-6 ماهه قابل اعتماد از SPI-3 ماهه بوده و شرایط خشکسالی بلندمدت را نسبت به شاخص SPI-9 و SPI-12 ماهه زودتر پیش‌بینی می‌کند. نتایج حاصله، قابل انتقال به برنامه‌ریزی‌های خشکسالی دیگر، پیشنهاد دهنده توجهات علمی و راه‌نما برای کاهش و پاسخ خشکسالی بودند. سان و همکاران (۱۷)، مدل شاخص خشکسالی چندمعرفه با ترکیب توانایی‌های شاخص‌های مختلف خشکسالی برای ارزیابی خطر خشکسالی کشاورزی در دشت‌های کانادا در ارتباط با عملکرد محصول گندم بهاره را توسعه دادند. نتایج اعتبارسنجی متقابل نشان داد که دقت پیش‌بینی مدل‌های چند مؤلفه (Multi-Index Drought) بهتر از تمام مدل‌های تک‌معرفه پیش‌بینی خشکسالی است و همچنین شاخص‌های خشکی حاصله از دوره‌های تغذیه در پیش‌بینی زود هنگام خطر خشکسالی بهتر عمل می‌کنند.

احتمال توزیع گاما در رابطه (۱) نمایش داده شده است:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

که در آن x متغیر تغییر، α و β به ترتیب پارامتر شکل و مقیاس توزیع هستند. برای تعیین این شاخص، ابتدا توزیع آماری مناسب، بر آمار بلندمدت بارندگی‌ها برازش داده شده، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌شود که رابطه آن به صورت زیر است:

$$SPI_i = \frac{P_i - \bar{P}}{\delta} \quad (2)$$

که در آن SPI_i و P_i به ترتیب آماره شاخص و بارندگی در بازه زمانی i ، \bar{P} میانگین بارندگی و δ انحراف معیار بارندگی است.

شاخص اکتشاف خشکسالی (RDI)

مقدار اولیه شاخص (α_k) به صورت تجمعی و برای هر بازه زمانی (مانند ماه، فصل یا سال) قابل تعریف است. مقدار این شاخص در هر سال با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (۱۸).

$$\alpha_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}, \quad i=1,2,\dots, N \quad (3)$$

که در آن P_{ij} و PET_{ij} به ترتیب میزان بارندگی و تبخیر-تعرق پتانسیل در ماه j ام از سال i ام (به میلی‌متر)، N تعداد سال‌های مربوط به دوره آماری و k پیوند مورد بررسی (معادل ۱۲ برای مقیاس سالانه) است. در این مطالعه، برای تخمین PET از روش تورنت‌وایت استفاده شد. مقادیر شاخص RDI نرمال شده با استفاده از رابطه زیر، برای هر سال از دوره آماری مورد مطالعه، به شرح زیر محاسبه شد:

$$RDI_N^i = \frac{\alpha_k^{(i)}}{\alpha_k} - 1, \quad i=1,2,\dots, N \quad (4)$$

که در آن $\bar{\alpha}_k$ میانگین حسابی مقادیر α_k ها در طول دوره آماری مورد مطالعه است. مقادیر شاخص خشکسالی RDI

شیراز و کرمان متعلق به سازمان هواشناسی کشور طی دوره آماری ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۴ که دارای آمار مناسب و طولانی مدت بودند، استفاده شد. پس از تکمیل داده‌های گمشده و محاسبه میانگین و انحراف معیار، ابتدا نمودارهای میانگین و انحراف معیار بارش ماهانه در طول ۵۸ سال دوره آماری و سپس نمودار بارش سالانه برای همه ایستگاه‌ها رسم شد.

با توجه به تنوع شاخص‌های تک‌معرفه و چندمعرفه و گستردگی بحث مطالعه و بررسی آنها، شاخص SPI از بین شاخص‌های تک‌معرفه و شاخص RDI از بین شاخص‌های چندمعرفه به عنوان نمونه انتخاب شدند. در ادامه مطالعه به معرفی شاخص‌ها و روش‌های انتخاب شاخص مناسب پرداخته می‌شود.

با توجه به تعریف خشکسالی با روش SPI و RDI پارامترهایی نظیر طول دوره‌های خشکسالی، تعداد دوره‌های خشکی، حداکثر طول دوره خشکی و درنهایت، شدت و بزرگی خشکسالی‌های تجربه شده محاسبه شد. شدت خشکسالی طبق تعریف، قدرمطلق مجموع مقادیر منفی متوالی RDI و یا SPI است. بزرگی خشکسالی نیز از تقسیم مقدار شدت خشکسالی بر طول آن به دست می‌آید.

$$\text{بزرگی خشکسالی} = \frac{\text{شدت خشکسالی}}{\text{طول خشکسالی}}$$

شاخص بارش استاندارد شده SPI

این شاخص اولین بار توسط مک‌کی و همکاران مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های بارش در دوره‌های آماری طولانی مدت به یک توزیع احتمالی برازش و سپس به توزیع نرمال تغییر شکل داده می‌شوند، به طوری که میانگین SPI در مکان و زمان صفر باشد (۸ و ۱۴). این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است. توزیع‌های احتمالاتی زیادی برای محاسبه این شاخص مورد استفاده قرار گرفته است، اما با توجه به پژوهش‌های پیشین مشخص شد که توزیع احتمالی بارش یک ایستگاه معمولاً از توزیع گاما پیروی می‌کند. تابع چگالی

جدول ۲. طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و RDI استاندارد شده (۱۴ و ۱۹)

مقدار SPI و RDI	طبقه
$SPI \geq +2$	فوق‌العاده مرطوب
$1/5 \leq SPI \leq 1/99$	شدیداً مرطوب
$1 \leq SPI \leq 1/49$	نسبتاً مرطوب
$0 \leq SPI \leq 0/99$	مرطوب ملایم
$-0/99 \leq SPI \leq -0/01$	خشک ملایم
$-1/49 \leq SPI \leq -1$	نسبتاً خشک
$-1/99 \leq SPI \leq -1/5$	شدیداً خشک
$SPI \leq -2$	فوق‌العاده خشک

برای بهترین توزیع آماری منتخب رسم شد.

انتخاب شاخص مناسب خشکسالی

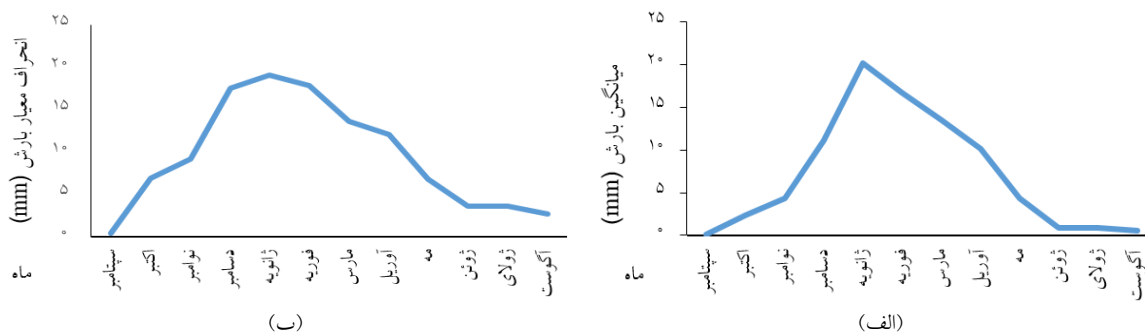
بررسی سوابق پژوهش‌های مرتبط با انتخاب شاخص مناسب خشکسالی نشان می‌دهد تاکنون روش آماری مشخصی برای انتخاب شاخص مناسب ارائه نشده است. به‌طور مثال برای انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در یک منطقه می‌توان ابتدا با استفاده از روش‌های مختلف مقادیر تبخیر و تعرق را برآورد کرد. سپس مقادیر برآورد شده از معادلات مختلف را با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده، بر اساس معیارهای آماری خطا مقایسه و روشی را که کمترین مقدار خطای برآورد را داشته باشد، به‌عنوان مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق انتخاب کرد. برای پدیده خشکسالی با توجه به آنکه مقادیر خشکسالی نمی‌توانند به‌صورت مستقیم و در سال‌های مختلف اندازه‌گیری شوند، چنین امری امکان‌پذیر نیست. در زمینه انتخاب شاخص مناسب می‌توان به تحقیقات خلیلی و بذرافشان (۵)، کوئیرینگ و پاپاکریاکو (۱۴)، استینمن (۱۵)، انصافی مقدم (۲) و مرعشی (۶) اشاره کرد. در ادامه به ارزیابی و توضیح دو روش انتخاب شاخص مناسب بر اساس کمینه بارش و توزیع نرمال پرداخته می‌شود.

استاندارد شده یا RDI_{st} (با فرض اینکه مقادیر α_k از توزیع لوگ نرمال تبعیت می‌کند) از رابطه زیر به‌دست آمد:

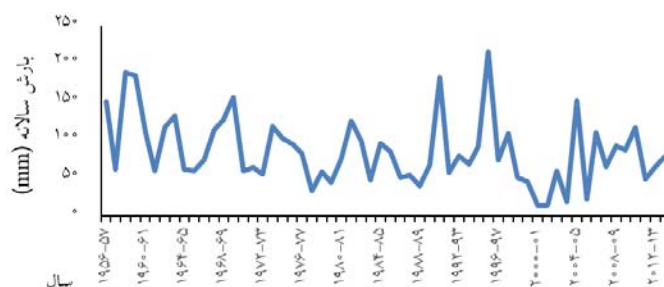
$$RDI_{st}^i = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\sigma_y}, i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

که در آن $y^{(i)}$ در واقع $\ln \alpha_k^{(i)}$ و \bar{y} میانگین حسابی نظیر سری لگاریتم طبیعی α_k ها و σ_y انحراف معیار همان سری زمانی است. واضح است که مقادیر α_k دارای توزیع لوگ‌نرمال است (۱۹)، به همین دلیل برای تحلیل خشکسالی‌ها از فرمول (۵) استفاده شد. معمولاً رفتار RDI_{st} مشابه رفتار SPI است. بنابراین، می‌توان برای تحلیل شرایط خشکسالی با این روش، از همان آستانه‌های مورد استفاده برای SPI استفاده کرد. این آستانه‌ها به شرح جدول (۲) در نظر گرفته شدند (۱۹).

پس از به‌دست آوردن مقادیر شاخص‌های α_k ، RDI_N و RDI_{st} با استفاده از مشاهدات، تعداد دوره‌های خشک، حداکثر طول دوره خشکی، شدت خشکسالی و بزرگی خشکسالی تعیین شد. درنهایت، مناسب‌ترین توزیع آماری نظیر سری زمانی هر یک از مشخصه‌های خشکسالی با نرم‌افزار Easyfit انتخاب شد. برای تعیین مناسب‌ترین توزیع آماری از نتایج روش کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. سپس، برای هر مشخصه خشکسالی، پارامترهای تابع توزیع منتخب با روش حداکثر درست‌نمایی تخمین زده شدند. درنهایت نمودار تابع احتمال تراکمی که با نماد CDF (Cumulative Distribution Function) نشان داده می‌شود،



شکل ۱. الگوی (الف) میانگین، (ب) انحراف معیار بارش ماهانه ایستگاه زاهدان طی دوره آماری ۱۹۵۶-۵۷ تا ۲۰۱۳-۱۴



شکل ۲. الگوی بارش سالانه ایستگاه زاهدان طی دوره آماری ۱۹۵۶-۵۷ تا ۲۰۱۳-۱۴

ایستگاه محاسبه و شاخصی که دارای کمترین مجموع اختلاف در تمامی وضعیت‌ها باشد، به‌عنوان بهترین شاخص انتخاب می‌شود.

نتایج و بحث

نمودارهای مربوط به میانگین بارش، انحراف معیار بارش و بارش سالانه شاخص RDI_{st} و شاخص SPI برای تمامی ایستگاه‌ها ترسیم شد. نمودارهای مربوط به ایستگاه زاهدان به‌عنوان خشک‌ترین ایستگاه در شکل (۱) و (۲) آورده شده است.

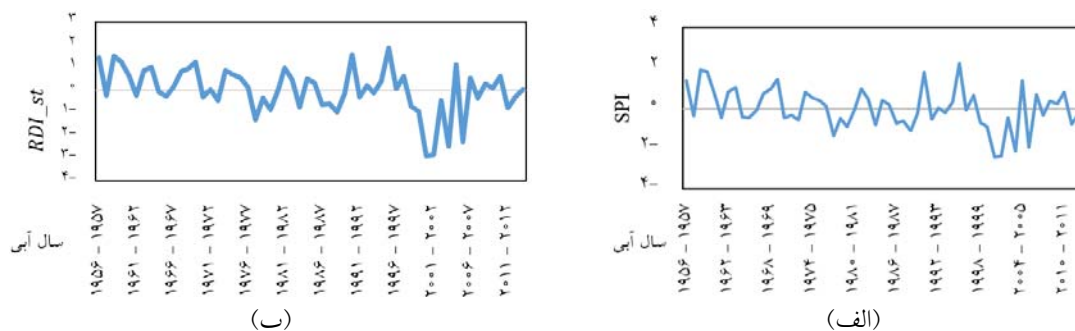
همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، پارامترهای شاخص اکتشاف خشکسالی و شاخص بارش استاندارد شده با توجه به داده‌های بارش، دما و PET محاسبه شد. لازم به‌ذکر است که RDI_{st} و SPI منفی، نشان‌دهنده کمبود بارندگی در مقایسه با میانگین درازمدت است. به‌منظور نشان دادن تغییرات پارامترهای SPI و RDI_{st} با زمان، نمودار مربوطه برای دوره آماری مورد نظر رسم شد. شکل (۳) نمودارهای RDI_{st} و SPI را برای ایستگاه زاهدان نشان می‌دهد.

انتخاب شاخص مناسب بر اساس حداقل بارش

در این روش برای بررسی کارایی شاخص‌های مختلف بر اساس فرضیه اول خلیلی و بذرافشان (۵)، کمینه مقدار بارندگی در طول دوره زمانی مورد بررسی استخراج و سپس مقادیر شاخص‌های خشکسالی محاسبه شد. در این روش شاخص مناسب خشکسالی باید در سال وقوع کمینه مقدار بارندگی، دارای بیشترین شدت خشکسالی در ایستگاه مورد بررسی باشد.

انتخاب شاخص مناسب بر اساس توزیع نرمال

استینمن (۱۵) بیان می‌دارد که رخدادهای شدت خشکسالی از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. بنابراین نتایج حاصل از سایر شاخص‌های خشکسالی در صورت نزدیکی با توزیع نرمال از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردارند. در این روش به‌منظور انتخاب شاخص مناسب درصد فراوانی هر یک از وضعیت‌های رطوبتی در شاخص‌های مختلف انتخاب شده محاسبه می‌شود، سپس اختلاف درصد فراوانی هر وضعیت رطوبتی با وضعیت رطوبتی مشابه در توزیع نرمال در هر



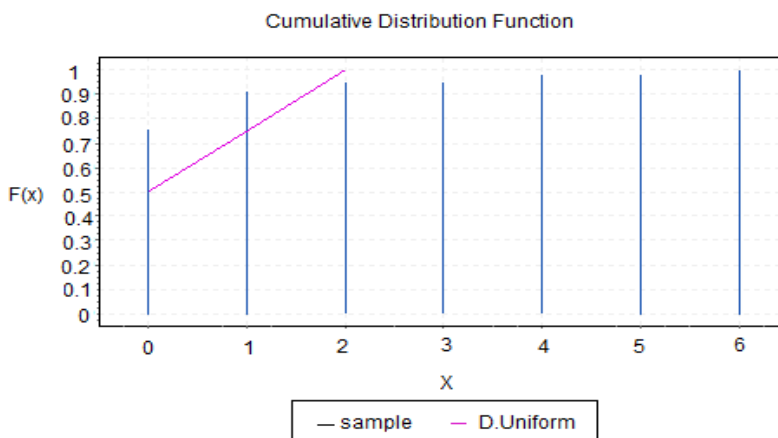
شکل ۳. الگوی الف (SPI، ب) RDI_{st} ایستگاه زاهدان طی دوره آماری ۱۹۵۷-۱۴ تا ۲۰۱۳

احتمال اینکه طول دوره خشکی در ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، تهران، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان برابر یا کمتر از یک سال باشد، برابر با ۰/۷۵ و احتمال اینکه طول دوره خشکی برابر یا کمتر از دو سال باشد، برابر با یک تخمین زده شد. به عبارت دیگر احتمال اینکه طول دوره خشکسالی بیش از دو سال باشد، معادل صفر است.

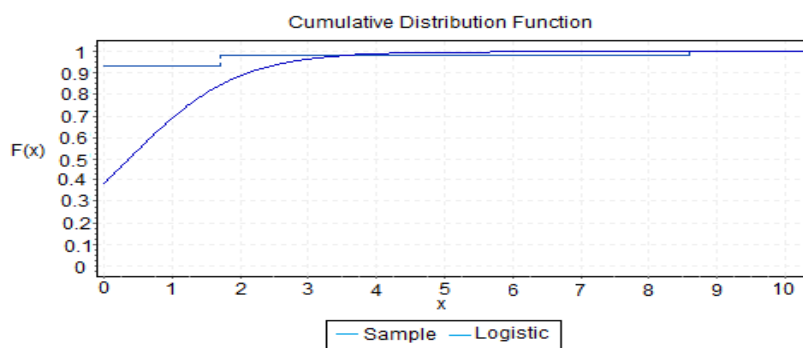
همچنین برای شدت خشکسالی شاخص RDI نیز مراحل ذکر شده در فوق انجام شد، با این تفاوت که به دلیل اینکه داده‌های شدت خشکسالی پیوسته هستند، توزیع مناسب از بین توزیع‌های پیوسته انتخاب شد. با توجه به رتبه‌بندی آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، شیراز و کرمان توزیع یکنواخت، در ایستگاه‌های تهران و رشت توزیع گامبل و در ایستگاه زاهدان توزیع لوجستیک به‌عنوان بهترین توزیع آماری برای مشخصه شدت خشکسالی انتخاب شد (شکل ۵). احتمال اینکه شدت خشکسالی برابر یا کمتر از ۰/۵ باشد، برای ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، تهران، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان به ترتیب برابر با ۰/۵، ۰/۵، ۰/۵۸، ۰/۵۲، ۰/۶، ۰/۶۲، ۰/۴۹، ۰/۵۲ و ۰/۵۲ و احتمال اینکه شدت خشکسالی برابر یا کمتر از یک باشد، به ترتیب معادل با ۰/۶۵، ۰/۷۲، ۰/۶۲، ۰/۷۶، ۰/۷۸، ۰/۶۸، ۰/۶۸ و ۰/۶۸ به دست آمد. این احتمال، برای شدت خشکسالی برابر یا کمتر از دو، به ترتیب برابر با ۰/۸۸، ۰، ۰/۸۵، ۰/۹۲، ۰/۹۳، ۰/۸۲، ۰/۹۴ و ۰/۹۴ است.

با مقایسه نمودارهای بارش سالانه در زاهدان (شکل ۲) و RDI_{st} (شکل ۳) می‌توان نتیجه گرفت که الگوی نوسانات در هر دو نمودار تقریباً مشابه هم بوده طوری که حتی می‌توان دو نمودار را بر هم منطبق دانست. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی یا ترسالی‌های زاهدان تا حد زیادی متأثر از بارندگی بوده و کمتر تحت تأثیر تبخیر-تعرق پتانسیل است. همچنین مقایسه نمودارهای و بارش سالانه در زاهدان (شکل ۲) و SPI (شکل ۳) و تشابه انطباق دو نمودار، متأثر بودن خشکسالی از بارندگی را نتیجه می‌دهد.

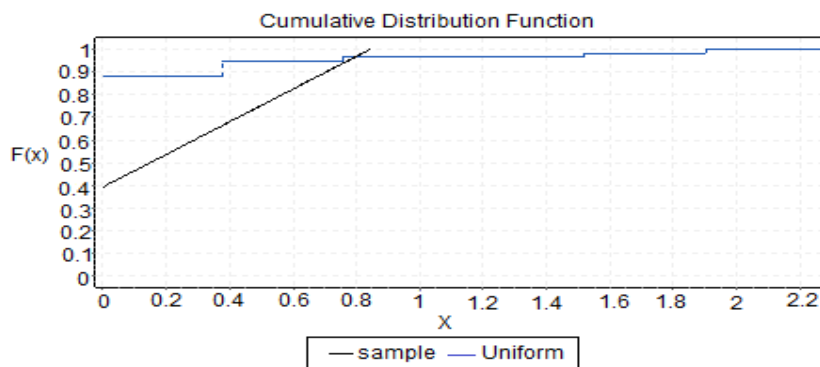
همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد، پس از به‌دست آوردن طول دوره‌های خشکی مشاهداتی با شاخص RDI، داده‌های مذکور، به محیط نرم‌افزار EasyFit انتقال داده شد. نتایج نشان داد که توزیع D. Uniform با دارا بودن رتبه یک از بین همه توزیع‌های آماری، بهترین برازش را با طول دوره‌های خشکی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. پس از تعیین بهترین توزیع آماری (از نوع گسسته) تعداد ۵۰۰ سری مصنوعی برای طول دوره‌های خشکی شبیه‌سازی شد. بر اساس این توزیع که پارامترهای آن در تمامی ایستگاه‌ها به ترتیب، $a = -1$ و $b = 2$ بودند؛ احتمال اینکه طول دوره خشکی برابر یا کمتر از x سال باشد، به دست آمد. برای این کار از نمودار تابع تراکمی (CDF) برای مشخصه طول دوره خشکی استفاده شد. شکل (۴) نمودار CDF را برای مشخصه طول دوره‌های خشکی (با شاخص RDI) در زاهدان نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال،



شکل ۴. نمودار تابع احتمال تراکمی (CDF) برای طول دوره‌های خشکی در زاهدان با شاخص RDI



شکل ۵. نمودار تابع احتمال تراکمی (CDF) برای شدت خشکی در زاهدان با شاخص RDI



شکل ۶. نمودار تابع احتمال تراکمی (CDF) برای بزرگی خشکی در زاهدان با شاخص RDI

زاهدان و شیراز و توزیع گامبل بهترین برازش را با داده‌های ایستگاه‌های تهران، رشت و کرمان دارند. در شکل (۶) نمودار تابع احتمال تراکمی مشخصه بزرگی خشکسالی به‌عنوان نمونه در ایستگاه زاهدان ترسیم شده است. به کمک این نمودار،

برای مشخصه بزرگی خشکسالی با شاخص RDI با استفاده از نتایج روش کلموگروف-اسمیرنوف معلوم شد که توزیع یکنواخت با دارا بودن رتبه یک (از بین همه توزیع‌های آماری) بهترین برازش را با داده‌های ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز،

کلموگروف- اسمیرنوف معلوم شد که توزیع یکنواخت با داده های ایستگاه‌های اراک، بندر انزلی، تبریز، زاهدان و شیراز و توزیع گامبل با داده‌های ایستگاه‌های تهران، رشت و کرمان با دارا بودن رتبه یک (از بین همه توزیع‌های آماری) بهترین برازش را داراست. احتمال اینکه بزرگی خشکسالی برابر یا کمتر از صفر باشد (وضعیت ترسالی) به ترتیب برای ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، تهران، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان برابر با ۰/۳۷، ۰/۳۸، ۰/۴۱، ۰/۳۸، ۰/۳۹، ۰/۳۸، ۰/۳۶ و ۰/۳۶ و احتمال اینکه بزرگی خشکسالی برابر یا کمتر از ۰/۵ باشد، به ترتیب برابر با ۰/۸۲، ۰/۷، ۰/۷۷، ۰/۸، ۰/۷۷، ۰/۹۲، ۰/۷۵ و ۰/۷۷ است.

نتایج انتخاب شاخص مناسب بر اساس کمینه مقدار بارش در جدول (۳) ارائه شده است. طبق نتایج به دست آمده به غیر از ایستگاه بندرانزلی برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال وقوع کمینه بارش، مقدار شاخص‌های RDI و SPI در طبقه فوق‌العاده خشک قرار گرفته‌اند. طبقه خشکسالی برای ایستگاه بندرانزلی با هر دو شاخص مطالعاتی طبقه شدیداً خشک است. نتایج حاصل از ارزیابی فرضیه وقوع خشکسالی شدید یا بسیار شدید در سال وقوع حداقل بارش برای انتخاب شاخص مناسب نشان داد که در تمامی ایستگاه‌ها و با هر دو شاخص مورد مقایسه، سال وقوع حداقل بارش مقارن با خشکسالی شدید یا بسیار شدیدی است. از این رو انتخاب شاخص مناسب با استفاده از این روش تقریباً ناممکن به نظر می‌رسد و در صورت تعیین نتایج معتبری حاصل نخواهد شد.

بر اساس روش انتخاب شاخص مناسب از طریق مطابقت با توزیع نرمال درصد اختلاف هر یک از شاخص‌های خشکسالی با درصد توزیع نرمال در وضعیت‌های متفاوت خشکسالی و برای ایستگاه‌های مختلف محاسبه شد و سپس مجموع اختلاف، حداکثر اختلاف و حداقل اختلاف در هر یک از وضعیت‌های مرطوب، ملایم و خشک در هر ایستگاه محاسبه شد که نتایج آن برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۴) ارائه شده

احتمال اینکه بزرگی خشکسالی برابر یا کمتر از x سال باشد، به دست آمد. به عنوان مثال احتمال اینکه بزرگی خشکسالی برابر یا کمتر از صفر باشد (وضعیت ترسالی) به ترتیب برای ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، تهران، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان برابر با ۰/۳۹، ۰/۳۵، ۰/۳۸، ۰/۴، ۰/۳۹، ۰/۳۹، ۰/۳۷ و ۰/۳۸ و احتمال اینکه بزرگی خشکسالی برابر یا کمتر از ۰/۵ باشد، به ترتیب برابر با ۰/۷۹، ۰/۶۶، ۰/۸۲، ۰/۷۵، ۰/۷۷، ۰/۷۵ و ۰/۷۳ است.

برای طول دوره‌های خشکی مشاهداتی با شاخص SPI نیز توزیع یکنواخت گسسته با دارا بودن رتبه یک از بین همه توزیع‌های آماری، بهترین برازش را با طول دوره‌های خشکی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. بر اساس این توزیع که پارامترهای آن در تمامی ایستگاه‌ها به ترتیب $a=-1$ و $b=2$ بودند؛ احتمال اینکه طول دوره خشکی برابر یا کمتر از x سال باشد، به دست آمد. نتایج مربوط به طول دوره‌های خشکی برای شاخص SPI دقیقاً با نتایج مربوط به شاخص RDI همخوانی دارند.

برای شدت خشکسالی شاخص SPI نیز مراحل ذکر شده برای شاخص RDI انجام شد. با توجه به رتبه‌بندی آزمون کلموگروف- اسمیرنوف در ایستگاه‌های اراک و زاهدان توزیع پیوسته نرمال و در ایستگاه‌های بندرانزلی، تبریز و کرمان توزیع پیوسته یکنواخت همچنین در ایستگاه‌های تهران، رشت و شیراز توزیع پیوسته گامبل به عنوان بهترین توزیع آماری برای مشخصه شدت خشکسالی انتخاب شد. احتمال اینکه شدت خشکسالی برابر یا کمتر از ۰/۵ باشد، برای ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، تهران، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان به ترتیب برابر با ۰/۵۳، ۰/۵۲، ۰/۵۲، ۰/۶۱، ۰/۶، ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۵۲ به دست آمد. این احتمال، برای شدت خشکسالی برابر یا کمتر از دو، به ترتیب برابر با ۰/۹۳، ۰، ۰/۹۵، ۰/۹۲، ۰/۹۵، ۰/۸۸، ۰/۹۲ و ۱ است.

در نهایت، برای مشخصه بزرگی خشکسالی با شاخص SPI نیز مراحل مشابه انجام گرفت. سپس با استفاده از نتایج روش

جدول ۳. درصد احتمال فراوانی طبقه‌های مختلف خشکسالی در توزیع نرمال (۴)

احتمال (%)	طبقه شدت خشکسالی
۲/۲۷۵	ترسالی بسیار شدید
۴/۴۰۶	ترسالی شدید
۹/۱۸۵	ترسالی متوسط
۶۸/۲۶۸	نرمال
۹/۱۸۵	خشکسالی متوسط
۴/۴۰۶	خشکسالی شدید
۲/۲۷۵	خشکسالی بسیار شدید

جدول ۴. نتایج انتخاب شاخص مناسب بر اساس کمینه مقدار بارش

ایستگاه	مقدار کمینه بارش	سال وقوع	مقدار شاخص RDI	مقدار شاخص SPI
اراک	۵/۲۱	۱۹۹۸-۹۹	-۲/۵۹	-۲/۴۳
بندر انزلی	۴۰/۲۲	۱۹۷۰-۷۱	-۱/۹۱	-۱/۹۵
تبریز	۴/۰۶	۲۰۰۷-۰۸	-۲/۹۶	-۲/۶۲
تهران	۳/۰۹۷	۱۹۹۶-۹۷	-۳/۰۹	-۲/۷۵
رشت	۲۸/۲۲	۱۹۶۴-۶۵	-۲/۳۴	-۲/۴۲
زاهدان	۰/۴۵	۲۰۰۰-۰۱	-۲/۸۹	-۲/۴۳
شیراز	۲/۷۶	۱۹۶۵-۶۶	-۲/۹۸	-۲/۶۷
کرمان	۱/۴۵	۱۹۶۵-۶۶	-۳/۲۷	-۲/۴۸

نتیجه‌گیری

برای مطالعه مشخصه‌های خشکسالی در ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، تهران، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان از شاخص چندمعرفه اکتشاف خشکسالی (RDI) و شاخص تک‌معرفه بارندگی استاندارد (SPI) استفاده شد. با توجه به اینکه در شاخص RDI علاوه بر بارش، پارامتر تبخیر-تعرق پتانسیل نیز در تشخیص مقدار مشخصه‌های خشکسالی مؤثر است، احتمال می‌رود که نسبت به شاخص‌های تک‌پارامتری نتایج واقع‌بینانه‌تری را ارائه دهد، از این‌رو هدف بر مقایسه نتایج دو شاخص با استفاده از دو روش انتخاب شاخص مناسب بر اساس حداقل بارش و توزیع نرمال قرار گرفت. با تعیین مناسب‌ترین توزیع برای مشخصه‌های خشکسالی، نتایج

است. طبق این روش شاخصی که مقدار پارامتر مجموع اختلاف همه وضعیت‌ها برای آن مقدار کمتری باشد، به‌عنوان شاخص مناسب انتخاب می‌شود. مطابق نتایج این جدول برای ایستگاه‌های اراک، تبریز، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان شاخص SPI و برای ایستگاه‌های بندر انزلی و تهران شاخص RDI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص خشکسالی انتخاب شد. با توجه به نتایج حاصل از انتخاب شاخص مناسب بر اساس مطابقت با توزیع نرمال (جدول ۵) و اینکه برای شش ایستگاه از بین هشت ایستگاه مورد مطالعه، شاخص تک‌معرفه SPI به‌عنوان شاخص مناسب انتخاب شد، می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های تک‌معرفه در مقایسه با شاخص‌های چندمعرفه نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌کنند.

جدول ۵. نتایج انتخاب شاخص مناسب بر اساس مطابقت با توزیع نرمال

وضعیت خشکسالی	اراک	بندر انزلی	تبریز	تهران	رشت	زاهدان	شیراز	کرمان	RDI
فوق‌العاده	۱(۰/۱۷)	۲(۰/۳۴)	۱(۰/۱۷)	۱(۰/۱۷)	۰(۰/۰)	۰(۰/۰)	۰(۰/۰)	۲(۰/۳۴)	۱(۰/۱۷)
مرطوب	۱(۰/۱۷)	۲(۰/۳۴)	۳(۰/۵۲)	۱(۰/۱۷)	۱(۰/۱۷)	۱(۰/۱۷)	۰(۰/۰)	۲(۰/۳۴)	۱(۰/۱۷)
شدیداً	۳(۰/۵۲)	۱(۰/۱۷)	۳(۰/۵۲)	۲(۰/۳۴)	۴(۰/۶۹)	۳(۰/۵۲)	۴(۰/۶۹)	۱(۰/۱۷)	۳(۰/۵۲)
مرطوب	۳(۰/۵۲)	۲(۰/۳۴)	۱(۰/۱۷)	۳(۰/۵۲)	۳(۰/۵۲)	۳(۰/۵۲)	۳(۰/۵۲)	۱(۰/۱۷)	۳(۰/۵۲)
نسبتاً	۷(۰/۱۲۱)	۵(۰/۸۶)	۴(۰/۶۹)	۷(۰/۱۲۱)	۴(۰/۶۹)	۵(۰/۸۶)	۷(۰/۱۲۱)	۵(۰/۸۶)	۷(۰/۱۲۱)
مرطوب	۶(۰/۱۰۳)	۳(۰/۵۲)	۴(۰/۶۹)	۳(۰/۵۲)	۵(۰/۸۶)	۴(۰/۶۹)	۷(۰/۱۲۱)	۴(۰/۶۹)	۶(۰/۱۰۳)
مرطوب	۱۸(۰/۳۱)	۲۰(۰/۳۴/۵)	۲۳(۰/۳۹/۶)	۲۶(۰/۴۴/۸)	۲۲(۰/۳۷/۹)	۲۳(۰/۳۹/۶)	۱۹(۰/۳۲/۷)	۲۵(۰/۴۳/۱)	۲۰(۰/۳۴/۵)
ملایم	۱۹(۰/۳۲/۷)	۲۰(۰/۳۴/۵)	۲۳(۰/۳۹/۶)	۲۷(۰/۴۶/۵)	۲۰(۰/۳۴/۵)	۲۰(۰/۳۴/۵)	۲۲(۰/۳۷/۹)	۲۲(۰/۳۷/۹)	۲۰(۰/۳۴/۵)
خشک	۱۹(۰/۳۲/۷)	۲۱(۰/۳۶/۲)	۲۱(۰/۳۶/۲)	۱۱(۰/۱۸/۹)	۲۰(۰/۳۴/۵)	۲۲(۰/۳۷/۹)	۲۰(۰/۳۴/۵)	۱۹(۰/۳۲/۷)	۲۱(۰/۳۶/۲)
ملایم	۱۹(۰/۳۲/۷)	۲۲(۰/۳۷/۹)	۱۹(۰/۳۲/۷)	۱۳(۰/۲۲/۴)	۱۹(۰/۳۲/۷)	۲۴(۰/۴۱/۴)	۱۶(۰/۲۷/۶)	۲۲(۰/۳۷/۹)	۲۲(۰/۳۷/۹)
نسبتاً	۵(۰/۸۶)	۵(۰/۸۶)	۳(۰/۵۲)	۶(۰/۱۰۳)	۴(۰/۶۹)	۱(۰/۱۷)	۴(۰/۶۹)	۲(۰/۳۴)	۵(۰/۸۶)
خشک	۷(۰/۱۲۱)	۵(۰/۸۶)	۵(۰/۸۶)	۹(۰/۱۵/۵)	۵(۰/۸۶)	۲(۰/۳۴)	۶(۰/۱۰۳)	۳(۰/۵۲)	۷(۰/۱۲۱)
شدیداً	۴(۰/۶۹)	۴(۰/۶۹)	۱(۰/۱۷)	۴(۰/۶۹)	۱(۰/۱۷)	۰(۰/۰)	۲(۰/۳۴)	۲(۰/۳۴)	۴(۰/۶۹)
خشک	۲(۰/۳۴)	۴(۰/۶۹)	۱(۰/۱۷)	۱(۰/۱۷)	۳(۰/۵۲)	۱(۰/۱۷)	۲(۰/۳۴)	۳(۰/۵۲)	۲(۰/۳۴)
فوق‌العاده	۱(۰/۱۷)	۰(۰/۰)	۲(۰/۳۴)	۱(۰/۱۷)	۳(۰/۵۲)	۴(۰/۶۹)	۲(۰/۳۴)	۲(۰/۳۴)	۱(۰/۱۷)
خشک	۱(۰/۱۷)	۰(۰/۰)	۲(۰/۳۴)	۲(۰/۳۴)	۲(۰/۳۴)	۳(۰/۵۲)	۲(۰/۳۴)	۱(۰/۱۷)	۲(۰/۳۴)
جمع اختلاف	۱۲/۵۰۵	۱۰/۵۰۲	۱۹/۱۰۲	۱۳/۲۴۸	۱۹/۱۰۲	۲۹/۴۰۲	۱۳/۱۶۸	۱۹/۸۶۴	۱۲/۵۰۵
همه وضعیت‌ها	۹/۸۴۸	۱۵/۶۰۲	۵/۵۲۶	۱۷/۸۳۲	۵/۵۲۶	۲۲/۷۰۲	۱۱/۹۹۸	۱۹/۰۰۲	۹/۸۴۸
ماکزیمم اختلاف	۴/۵۶۸	۵/۳۵۴	۷/۹۱۶	۴/۵۶۸	۷/۹۱۶	۱۶/۵۱۶	۷/۶۸۴	۷/۹۱۶	۴/۵۶۸
جمع اختلاف	۴/۲۸۴	۴/۴۱۶	۷/۱۹۵۴	۴/۴۹۶	۷/۱۹۵۴	۳/۶۵۴	۵/۹۸۴	۴/۴۱۶	۴/۲۸۴
وضعیت مرطوب	۲/۴۸۴	۶/۱۱۶	۵/۳۵۴	۲/۵۰۴	۷/۱۹۵۴	۳/۶۵۴	۵/۹۸۴	۶/۱۱۶	۲/۴۸۴
جمع اختلاف	۴/۵۶۸	۰/۷۳۲	۷/۵۳۲	۴/۵۶۸	۴/۱۳۲	۹/۲۳۲	۱/۰۶۸	۷/۵۳۲	۴/۵۶۸
وضعیت ملایم	۲/۸۶۸	۴/۱۳۲	۰/۶۳۲	۰/۶۳۲	۱/۰۶۸	۷/۶۳۲	۲/۷۶۸	۷/۵۳۲	۲/۸۶۸
جمع اختلاف	۳/۶۵۴	۷/۸۱۶	۷/۸۱۶	۴/۱۸۴	۷/۹۱۶	۱۶/۵۱۶	۴/۴۱۶	۷/۹۱۶	۳/۶۵۴
وضعیت خشک	۴/۴۹۶	۵/۳۵۴	۴/۴۱۶	۱۱/۸۴۶	۲/۵۰۴	۱۱/۴۱۶	۳/۲۴۶	۵/۳۵۴	۴/۴۹۶

یکنواخت و در ایستگاه‌های تهران و رشت توزیع گامبل و در ایستگاه زاهدان توزیع لجستیک به‌عنوان بهترین توزیع آماری برای مشخصه شدت خشکسالی شاخص RDI انتخاب شد. برای مشخصه بزرگی خشکسالی با شاخص RDI نتایج روش

حاصله حاکی از این است که توزیع گسسته یکنواخت بهترین نوع برازش را با داده‌های طول دوره خشکی در هر دو شاخص دارد. با توجه به رتبه‌بندی آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، شیراز و کرمان توزیع

ایستگاه‌های تهران، رشت و کرمان دارند. از انتخاب شاخص مناسب با روش حداقل بارش تقریباً ناممکن بوده و در صورت تعیین نتایج معتبری حاصل نخواهد شد. اما مطابق نتایج روش انتخاب شاخص مناسب با توزیع نرمال در ایستگاه‌های اراک، تبریز، رشت، زاهدان، شیراز و کرمان شاخص SPI و در ایستگاه‌های بندرانزلی و تهران شاخص RDI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص خشکسالی انتخاب شدند.

کلموگروف-اسمیرنوف نشان داد که توزیع یکنواخت بهترین برازش را با داده‌های ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، زاهدان و شیراز و توزیع گامبل بهترین برازش را با داده‌های ایستگاه‌های کرمان، تهران و رشت دارند. برای مشخصه بزرگی خشکسالی با شاخص SPI نیز توزیع یکنواخت با دارا بودن رتبه یک بهترین برازش را با داده‌های ایستگاه‌های اراک، بندرانزلی، تبریز، زاهدان و شیراز و همچنین توزیع بهترین برازش را با داده‌های

منابع مورد استفاده

1. Chang, T. J. and X. Kleopa. 1991. A proposed method for drought monitoring. *Water Resources Bulletin* 27(2): 275-281.
2. Ensafimoghadam, T. 2007. An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 14 (2): 271-228. (In Farsi).
3. Ghabaei Sough, M. and A. Mosaedi. 2012. Design Process of Selecting Appropriate Drought Index Based on Monitoring Multivariate Meteors in Some Stations of Arid and Semi-Arid Regions, Iran. *Journal of Water and Soil* 26(2): 414-426. (In Farsi).
4. Ghabaei Sough, M., A. Mosaedi and H. Zareh Abyaneh. 2013. Investigation and evaluation of different methods of selecting appropriate drought index. In: Proceeding of the 5th National Conference on Water Resources Management. (In Farsi).
5. Khalili, A. and J. Bazr Afshan. 2003. Evaluation the performance of several meteorological drought indexes in different climatics in Iran. *Scientific and Technical NIVAR Journal* 48-49: 79-93. (In Farsi).
6. Marashi, M. 2008. Investigation of drought indices in semi-humid and arid regions (Case study: Golestan- Sistan). MSc. Thesis. Zabol University. (In Farsi).
7. Mckee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim. Pp. 17-22.
8. Mohamadian, A., M. Kuohi, A. Adineh Baigi, S. J. Rasouli and B. Bazrafshan. 2010. Comparison of monitoring of drought using SPI, DI and PNI and Zoning Them (Case study: Northern Khorasan Province). *Journal of Water and Soil Conservation* 17(1): 177-184. (In Farsi)
9. Mosaedi A., M. Khalili Zadeh and A. Mohammadi. 2008. Drought monitoring in Golestan Province. *Journal of Agriculture Science and Natural Resources* 15(2): 176-182. (In Farsi).
10. Morid, S. and M. Moggaddasi. 2010. Development of Indicators and Triggers for Drought Plans; A Review. *Iran-Water Resources Research* 6 (1): 72-76. (In Farsi).
11. Morid, S. and S. Paymozd. 2007. Comparison of Hydrological and Meteorological Methods for Daily Drought Monitoring: A Case Study in Tehran Province from 1999 to 2001. *Agricultural and Natural Resources Science and Technology* 11(42): 325-333. (In Farsi).
12. Mostafazadeh, R. and M. Zabihi. 2016. Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Journal of the Earth and Space Physics* 42 (3): 633-643. (In Farsi).
13. NaserZadeh, M. and A. Ahmadi. 2012. Investigation the performance of meteorological drought indices in Qazvin province. *Journal of Applied Geosciences Research* 12(27): 141-162. (In Farsi).
14. Quiring, S. M. and T. N. Papakryiakou. 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 118(1-2): 49-62.
15. Steinmann, A. A. 2003. Drought indicators and triggers: A stochastic approach to evaluation. *Journal of the American Water Resources Association* 39(5): 1217-1233.
16. Steinemann, A. C., M. ASCE and L. F. N. Cavalcanti. 2006. Developing multiple indicators and triggers for drought plans. *Journal of Water Resources Planning and Management* 164-174
17. Sun, L., S. W. Mitchell and A. Davidson. 2012. Multiple drought indices for agricultural drought risk assessment on the Canadian prairies. *International Journal of Climatology* 32: 1628-1639.

18. Tsakiris, G. and H. Vangelis. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *Euro Water* 9: 3-110.
19. Tsakiris, G., D. Pangalou and H. Vangelis. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management* 21(5): 821-833.

Comparing Univariate and Multivariate Indices in Drought Monitoring

Sh. Ekhtiary Khajeh*, F. Negahban Khajeh and Y. Dinpazhoh¹

(Received: January 17-2018 ; Accepted: September 30-2018)

Abstract

In this study, drought characteristics of Arak, Bandar Anzali, Tabriz, Tehran, Rasht, Zahedan, Shiraz and Kerman stations during the statistical period of 1956 to 2015 were studied by Reconnaissance Drought Index (RDI) and Standardized Precipitation Index. Precipitation and temperature data were needed to calculate RDI. Precipitation data was also required to estimate SPI. In this study, Drinc software was used to calculate RDI, SPI and potential evapotranspiration (PET). The software calculated PET by the Thornthwaite method. One of the main challenges in drought monitoring is to determine the indicator that has a high reliability based on its monitoring purpose. Therefore, in this research, two methods used for selecting the appropriate index based on the minimum rainfall and normal distribution were evaluated. The results of the evaluation of the minimum rainfall method for selecting the appropriate index showed that most drought indices with the occurrence of minimum rainfall level indicated severe or very severe drought situations; in most cases, it could not lead to selecting an exact and unique index. Based on the results of the normal distribution method for the stations of Arak, Tabriz, Rasht, Zahedan, Shiraz and Kerman, SPI index, and for the stations of Bandar Anzali and Tehran, RDI index were selected as the most appropriate ones.

Keywords: Evapotranspiration, Precipitation, Reconnaissance Drought Index, Standardized Precipitation Index, Simulation

1. Department of Water Resource Engineering, Agriculture Faculty, Tabriz University, Tabriz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: Shiva.ekhtiary@gmail.com