

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2022.17245.1873](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2022.17245.1873)

تعیین توزیع آماری مناسب برای محاسبه شاخص RDI در مناطق خشک

(مطالعه موردی: ایران مرکزی)

(مقاله پژوهشی)

- ۱- سعید معینی فر، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- ۲- محمّدامین اسدی*، استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
amin.asadi@yazd.ac.ir
- ۳- حسین ملکی نژاد، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- ۴- علی طالبی، استاد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۳۰

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱

چکیده

پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مناسب، اهمیت زیادی در مدیریت منابع آب بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد. انتخاب این شاخص و محاسبه صحیح آن از اهمیت قابل توجهی در مطالعه خشکسالی برخوردار است. هدف این مطالعه، تعیین توزیع آماری مناسب برای محاسبه شاخص خشکسالی RDI در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی می‌باشد. بدین منظور، ۱۶ ایستگاه سینوپتیک در محدوده ایران مرکزی انتخاب شدند. برای محاسبه شاخص RDI از داده‌های بارش و همچنین تبخیر-تعرق پتانسیل با روش فائو-پنمن-مانتیت استفاده شد. برای انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری، ۱۷ توزیع آماری مورد مطالعه قرار گرفت. شاخص RDI برای هر ایستگاه به صورت سالانه و بر اساس برازش به هر یک از ۱۷ توزیع مورد مطالعه به صورت جداگانه محاسبه شد. سپس بر اساس معیارهای AIC و BIC، بهترین توزیع آماری برای محاسبه شاخص RDI برای هر ایستگاه انتخاب شد. اگرچه در منابع توصیه شده که محاسبه شاخص RDI از طریق برازش داده‌ها به یکی از توزیع‌های گاما و یا لوگ‌نرمال انجام شود، اما نتایج این پژوهش نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه، توابع توزیع لوگ نرمال و گاما نمی‌توانند به عنوان مناسب‌ترین تابع توزیع انتخاب شوند. بر اساس نتایج، توزیع گاما جزو شش توزیع برتر در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. همچنین نتایج نشان داد مقادیر RDI محاسبه شده بر اساس توزیع‌های مختلف در سال‌های خشک و مرطوب، تفاوت نسبتاً قابل توجهی دارند که اهمیت انتخاب توزیع آماری مناسب در محاسبه شاخص RDI را نشان می‌دهد. برازش توزیع‌های مورد مطالعه به داده‌های بارش در ایستگاه‌های مختلف نشان داد توزیع Nakagami عملکرد بهتری جهت برازش به داده‌های بارش دارد. در مورد تبخیر و تعرق پتانسیل، در ایستگاه‌های مختلف توزیع‌های متفاوتی بهترین برازش را ارائه کردند.

واژگان کلیدی: خشکسالی، بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل، گاما، لوگ نرمال

مقدمه

است که می‌تواند تأثیراتی سوء بر کشاورزی، محیط زیست، اقتصاد و زندگی انسان‌ها بگذارد [۱۷]. ایران مرکزی به دلیل شرایط خاص توپوگرافی و اقلیمی حاکم بر آن، بیشتر از سایر مناطق کشور تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های پی در پی قرار دارد.

خشکسالی عارضه‌ای طبیعی، موقتی و بازگشتی در اقلیم هر منطقه محسوب می‌شود که نمود آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشهودتر است [۱۲]. در حالت کلی، خشکسالی سیما‌ی موقت یک اقلیم است و با خشکی که به وضعیت دائمی کمبود آب در یک ناحیه اطلاق می‌شود، تفاوت دارد [۵]. خشکسالی پرهزینه‌ترین فاجعه طبیعی

پرکاربرد SPI می باشد که توسط (McKee 1993) ارائه شده است [۴].

طی سال‌های اخیر، شاخص RDI به دلیل در نظر گرفتن توأم بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل، با استقبال بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها روبرو بوده و در بسیاری از مطالعات مبنای مقایسه شدت خشکسالی و برآورد خسارات بالقوه آن در سطح ملی قرار گرفته است [۴]. شاخص RDI با همان ساختار SPI به علت بهره‌گیری از تبخیر و تعرق پتانسیل در ساختار خود برای ارزیابی خشکسالی کشاورزی و هیدرولوژیکی از قابلیت‌های ویژه‌ای برخوردار می‌باشد [۱۳].

در محاسبه شاخص RDI علاوه بر روش محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، نوع توزیع فراوانی برازش یافته بر نسبت داده‌های بارندگی به تبخیر و تعرق پتانسیل نیز از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا برازش توابع توزیع فراوانی مختلف سبب ایجاد مقادیر متفاوتی برای شاخص RDI می‌شود [۵]. انتخاب یک توزیع آماری نامناسب ممکن است منجر به انحراف در مقادیر شاخص شود که منجر به برآورد نادرست شدت خشکسالی می‌شود [۱۶]. انتخاب توزیع احتمالاتی نامناسب ممکن است باعث بروز خطا در مقادیر شاخص شود و باعث بزرگ‌نمایی یا کوچک‌نمایی مقادیر شدت خشکسالی شود.

با توجه به مطالعات صورت گرفته، رایج‌دهندگان شاخص RDI توزیع‌های آماری گاما و لوگ‌نرمال را برای محاسبه خشکسالی پیشنهاد کرده‌اند [۱۵]؛ اما مطالعات مذکور عموماً در مناطق مرطوب صورت گرفته و پیش‌بینی می‌شود توزیع‌های آماری یاد شده به دلیل نوسانات شدید بارندگی در مناطق خشک کارایی لازم را نداشته باشد. بر همین اساس، انتخاب مناسب‌ترین توزیع آماری برای شاخص RDI در مناطق خشک از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

هدف از این مطالعه، تعیین توزیع آماری مناسب جهت محاسبه شاخص RDI در ایستگاه‌های مختلف مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است. همچنین ترتیب توزیع‌های مناسب جهت برازش به داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) ایستگاه‌ها، مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

قرارگیری سطح وسیعی از منابع آب و خاک شور در این منطقه و همچنین سایه‌افکنی بحران کم‌آبی بر این منابع، اهمیت بررسی موضوع خشکسالی و اثرات آن بر کمیّت و کیفیت منابع آب و خاک این منطقه را دو چندان می‌کند [۴].

امروزه پدیده تغییر اقلیم از جمله چالش‌هایی است که در جهان مورد توجه قرار گرفته است. خشکسالی نیز از مخاطرات طبیعی شناخته شده و بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات اقلیمی می‌باشد [۹]. پدیده‌های حدی مانند خشکسالی بیش از سایر پدیده‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند [۱۸]. کاهش میزان بارندگی و افزایش دما هر یک به تنهایی و یا به کمک هم می‌توانند موجب خشکسالی شوند [۱۱]. پدیده خشکسالی موجب کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و نشست زمین می‌شود. از این رو، برای کاهش آثار این پدیده و مدیریت خطر آن، ارزیابی خشکسالی و تداوم دوره‌های آن ضروری است [۹]. اصولاً برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است [۴]. شاخص‌های خشکسالی به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های سیستم پایش خشکسالی، عامل تعیین‌کننده در پایش وضعیت خشکسالی و کمک به فرآیند تصمیم‌گیری در مدیریت خشکسالی می‌باشد [۶].

تاکنون شاخص‌های متعددی توسط محققان مختلف برای بررسی خشکسالی در دنیا معرفی و استفاده شده‌اند. شاخص‌های پالمر، ذخیره آب سطحی، درصد نرمال، دهک‌ها، بارش استاندارد، رطوبت محصول، رطوبت خاک، محصول ویژه، بارش سراسری، ناهنجاری بارش، خشکسالی احیایی و بارش مؤثر از جمله این شاخص‌ها هستند که توسط افراد مختلف ارائه شده اند [۴].

در سالیان اخیر، شاخص‌های جدیدتری نظیر شاخص شناسایی خشکسالی یا RDI^۱ استفاده شده است. شاخص RDI در ایران و جهان سابقه طولانی ندارد و ارائه آن مربوط به سال ۲۰۰۴ می‌باشد. یکی دیگر از شاخص‌های

^۱ Reconnaissance Drought Index

مواد و روش‌ها**منطقه مورد مطالعه**

ایران مرکزی منطقه‌ای است که از شمال توسط کوه‌های البرز، از غرب و جنوب توسط رشته کوه زاگرس و از شرق توسط کوه‌های پراکنده خراسان محدود می‌شود. بخش اعظم ایران مرکزی آب و هوای گرم و خشک دارد که در ارتفاعات، ملایم‌تر و مرطوب‌تر است [۱].

ایستگاه‌های مورد مطالعه و داده‌ها

در این مطالعه، ۱۶ ایستگاه سینوپتیک در محدوده حوزه آبریز ایران مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات ایستگاه‌های مورد نظر در جدول ۱ نمایش داده شده است.

برای دسترسی به این هدف، با استفاده از داده‌های ۱۶ ایستگاه سینوپتیک در محدوده ایران مرکزی، بهترین توزیع آماری از بین ۱۷ توزیع آماری برای هر ایستگاه مشخص می‌شود. مرور منابع نشان می‌دهد که مطالعه‌ای که به طور ویژه برآورد صحیح شاخص RDI در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور را بر اساس مناسب‌ترین توزیع احتمال بررسی کند، وجود ندارد.

تعیین بهترین توزیع آماری برای محاسبه شاخص RDI در هر ایستگاه می‌تواند در دستیابی به شیوه‌ای مؤثر جهت محاسبه ویژگی‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی و در نتیجه ایجاد شبکه پایش خشکسالی کارآمد در مناطق خشک از اهمیت زیادی برخوردار است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

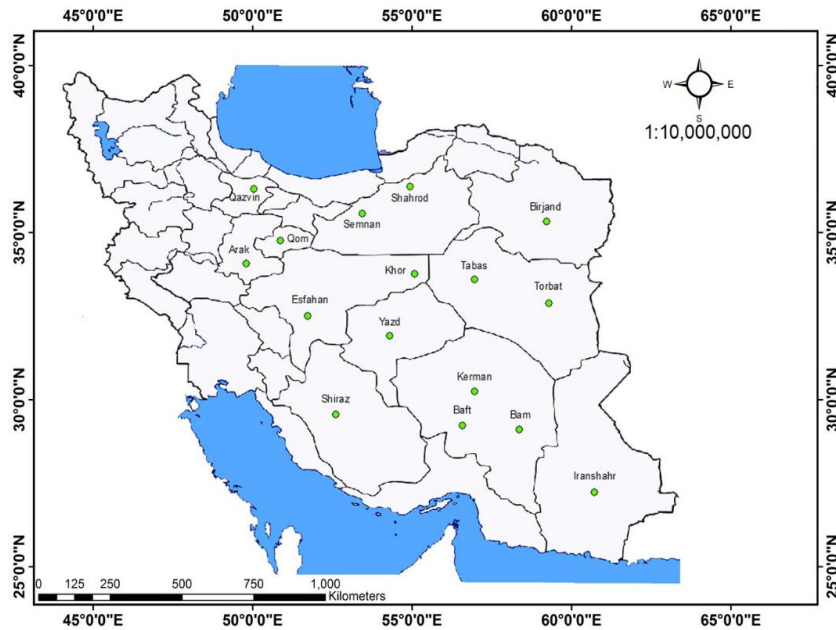
ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	طول دوره آماری (سال)
اراک	۳۴/۰۷۱۹	۴۹/۷۸۳۳	۱۷۰۲/۸	۶۰
خور و بیابانک	۳۳/۷۷	۵۵/۰۸۱۶	۸۴۲/۲	۳۳
اصفهان	۳۲/۵۱۷۲	۵۱/۷۰۶۳	۱۵۵۰/۴	۶۰
قزوین	۳۶/۳۱۹۳	۵۰/۰۲۰۰	۱۲۷۹/۱	۶۰
سمنان	۳۵/۵۸۸۳	۵۳/۴۲۱۳	۱۱۲۷	۵۵
شاهرود	۳۶/۳۸۰۶	۵۴/۹۲۹۷	۱۳۲۵/۲	۶۰
بم	۲۹/۱	۵۸/۳۵۰۰	۱۰۶۶/۹	۶۰
بافت	۲۹/۲۳۳۳	۵۶/۵۸۳۳	۲۲۸۰	۳۰
کرمان	۳۰/۲۵۵۶	۵۶/۹۶۱۹	۱۷۵۴	۶۰
بیرجند	۳۲/۸۹۰۶	۵۹/۲۸۳۱	۱۴۹۱	۶۰
طیس	۳۳/۶۰۳۱	۵۶/۹۵۰۶	۷۱۱	۵۹
تربت حیدریه	۳۵/۳۳۱۷	۵۹/۲۰۵۸	۱۴۵۱	۵۹
شیراز	۲۹/۵۶۱۴	۵۲/۶۰۲۵	۱۴۸۸	۶۰
یزد	۳۱/۹۰۳۹	۵۴/۲۸۹۲	۱۲۳۰/۲	۶۰
ایران‌شهر	۲۷/۲۲۹۴	۶۰/۷۱۸۳	۵۹۱/۱	۵۵
قم	۳۴/۷۷۴۷	۵۰/۸۵۵۲	۸۷۹/۱	۶۰

از میان داده‌های اقلیمی مورد استفاده در ایستگاه‌های مختلف، فقط داده‌های ساعات آفتابی دارای نواقص آماری قابل توجه بود.

جهت بازسازی این داده‌ها، با استفاده از برقرای روابط رگرسیونی بین دمای متوسط و ساعات آفتابی در ماه‌های

داده‌های بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی ۱۶ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

بدون نقص آماری و اعمال آن برای ماه‌های با نقص آماری،
 رفع نواقص داده‌های ساعات آفتابی انجام گرفت. همچنین
 از آزمون ران تست برای بررسی همگنی داده‌ها استفاده
 گردید.



شکل ۱- نقشه پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

محاسبه شاخص RDI

برای محاسبه شاخص RDI به داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل نیاز است. در این مطالعه شاخص RDI به صورت سالانه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شده است. برای محاسبه شاخص RDI از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$x_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}, \quad i = 1 \text{ to } N \quad (1)$$

که در آن، P_{ij} و PET_{ij} به ترتیب نشان‌دهنده مقدار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماه j ام سال i ام و N بیانگر تعداد سال‌های داده در دسترس است. k بیانگر تعداد ماه‌های متمادی است. برازش سری‌های زمانی x_k (مقدار ابتدایی) در نقاط مختلف دنیا با توزیع‌های مختلف نشان داد که بهترین روش برای برازش داده‌ها، توزیع‌های گاما و لوگ‌نرمال می‌باشد [۱۴].

محاسبه RDI با استفاده از شاخص لوگ‌نرمال

مقادیر RDI نرمال شده (RDI_n) با استفاده از مقادیر x_k محاسبه شده برای سال‌های مختلف در گام قبلی، مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شوند.

$$RDI_n^i = \frac{x_k^i}{\bar{x}_k} - 1 \quad (2)$$

که در آن، \bar{x}_k میانگین حسابی مقادیر x_k^i در دوره مورد بررسی است. مرحله بعد در محاسبه شاخص، تعیین مقادیر استاندارد شده (RDI_{st}) است که با فرض این که مقادیر x_k^i از توزیع لوگ نرمال پیروی می‌کنند، RDI_{st} طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود [۱۰].

$$RDI_{st}^i = \frac{y_k^i - \bar{y}_k}{\sigma y_k} \quad (3)$$

که در آن y_k^i برابر است با $\ln x_k^i$ و \bar{y}_k و σy_k به ترتیب میانگین حسابی و انحراف معیار مقادیر y_k^i است [۲].

$$G(x_k) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{x_k} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (10)$$

با توجه به اینکه تابع گاما برای مقادیر صفر تعریف نشده است، زمانی که داده‌های x_k دارای مقادیر صفر باشد ($x_k=0$)؛ در این حالت احتمال تجمعی از طریق رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$H(x_k) = q + (1-q)G(x_k) \quad (11)$$

در رابطه ۱۱، q احتمال x_k برابر صفر است و $H(x_k)$ مقادیر انتقال داده شده به نمره Z با استفاده از تقریب آبراموتیز و استوگان است که در روابط ۱۲ و ۱۳ معرفی شده است. این تقریب احتمالات تجمعی را به متغیر تصادفی استاندارد RDI تبدیل می‌نماید.

$$Z = RDI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{H(x_k)^2}\right)}$$

$$0 < H(x_k) < 0.5$$

$$Z = RDI = \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad (13)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x_k))^2}\right)}$$

$$0.5 < H(x_k) < 1.0$$

که ضرایب مربوط در روابط ۱۲ و ۱۳ برابر مقادیر زیر می‌باشد [۶].

$$c_0 = 2.515517, c_1 = 0.802853, c_2 = 0.010328 \\ d_1 = 1.432788, d_2 = 0.189269, d_3 = 0.001308$$

جدول ۲ نشان‌دهنده طبقات خشکسالی بر اساس شاخص RDI می‌باشد.

محاسبه RDI با استفاده از شاخص گاما

تابع توزیع گاما به صورت تابع چگالی احتمال یا فراوانی به صورت رابطه ۴ تعریف شده است [۷].

$$g(x_k) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x_k^{\alpha-1} e^{-x_k/\beta} \quad \text{for } x > 0 \quad (4)$$

در رابطه ۴، $\alpha > 0$ پارامتر شکل، $\beta > 0$ پارامتر مقیاس، $x_k > 0$ مقدار ابتدایی و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است که از طریق رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (5)$$

محاسبه شاخص RDI استاندارد شده در رابطه با برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی مقادیر x_k برای یک ایستگاه معین می‌باشد. با استفاده از روش حداکثر درست نمایی می‌توان مقادیر بهینه α و β را به ترتیب براساس روابط ۶ و ۷ برآورد کرد [۳].

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) \quad (6)$$

$$\beta = \frac{x_k}{\alpha} \quad (7)$$

که پارامتر A از رابطه ۸ به دست می‌آید.

$$A = \ln(\bar{x}_k) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln((x_k)_i) \quad (8)$$

در رابطه ۸، n بیانگر تعداد مشاهدات می‌باشد.

$$G(x_k) = \int_0^{x_k} g(x_k) dx_k = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^{x_k} x_k^{\alpha-1} e^{-x_k/\beta} dx_k \quad (9)$$

احتمال تجمعی، با فرض $t = x_k / \beta$ از طریق رابطه ۱۰ به تابع گامای ناقص تبدیل می‌شود.

شاخص‌های به کار رفته عبارتند از: Nakagami, Beta, Birnbaum-Saunders, Normal, Rician, Weibull, Log Logistic, Inverse Gaussian (IG), (BS), Generalized Extreme Value (GEV), (LL), Rayleigh, t Location-Scale (tLS), Logistic (EV) Extreme Value, Generalized Pareto (GP) و Exponential.

محاسبه RDI با استفاده از سایر توزیع‌های آماری
در این مطالعه، شاخص RDI برای ۱۶ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه به صورت سالانه (میلادی (ژانویه تا دسامبر)) با استفاده از نرم‌افزار DrinC ورژن (91) 1.7 (۱۴) به صورت جداگانه از طریق برازش داده‌ها به توزیع لوگ‌نرمال و گاما محاسبه شده است. در این مطالعه، علاوه بر توزیع لوگ‌نرمال و گاما، ۱۵ توزیع دیگر برای برازش داده‌ها جهت محاسبه شاخص RDI مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص RDI و تعریف کلاس‌های خشکسالی متناظر با آن

طبقه‌بندی خشکسالی	مقدار شاخص RDI
به شدت مرطوب	۲ و بیشتر از آن
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
نسبتاً مرطوب	۱/۰۰ تا ۱/۴۹
مرطوب ملایم	۰ تا ۰/۹۹
خشکسالی ملایم	۰ تا -۰/۹۹
نسبتاً خشک	-۱/۰۰ تا -۱/۴۹
خیلی خشک	-۱/۵۰ تا -۱/۹۹
به شدت خشک	-۲/۰۰ و کمتر از آن

بر اساس این معیار مدل دارای کمترین مقدار BIC بهترین مدل است. مقدار این معیار برابر است با:

$$BIC = -2 \cdot \ln \hat{L} + k \cdot \ln(n) \quad (15)$$

که \hat{L} مقدار حداکثر تابع درست‌نمایی، k تعداد پارامترهای تخمین، و n تعداد مشاهدات می‌باشد [۸].

نتایج و بحث

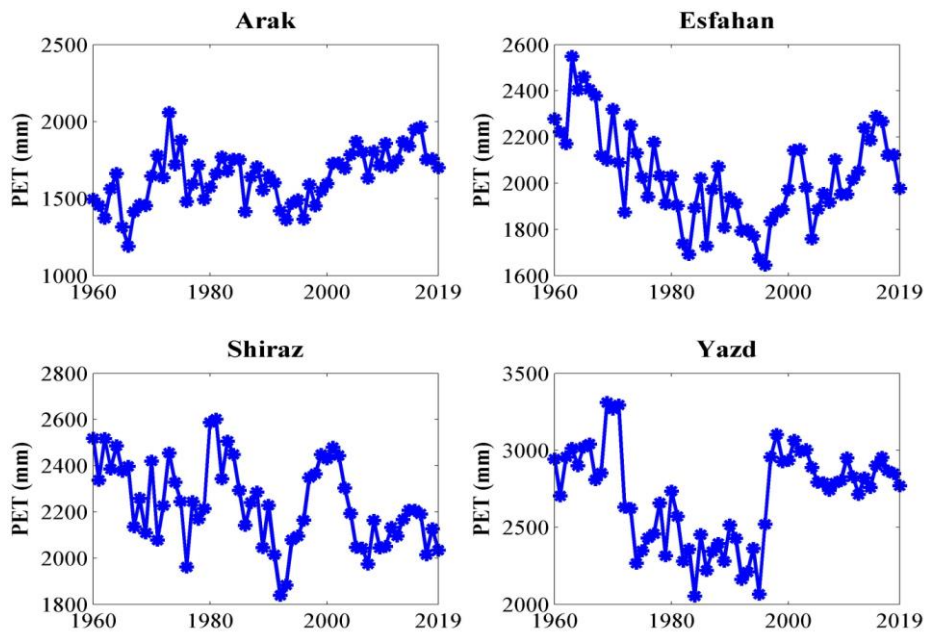
شکل ۲ نمودار مجموع بارش سالانه ۴ ایستگاه اراک، اصفهان، شیراز و یزد را در یک بازه زمانی ۶۰ ساله نشان می‌دهد. همانگونه که شکل نشان می‌دهد، نوسانات سالانه بارش در هر ۴ ایستگاه قابل توجه است. البته هرچه مقدار مجموع بارش سالانه کاهش می‌یابد یا به عبارتی ایستگاه خشک‌تر می‌شود، میزان نوسانات سالانه هم به نسبت بیشتر می‌شود.

برای هر ایستگاه، شاخص RDI برای دوره مطالعه مورد نظر بر اساس برازش با ۱۵ توزیع آماری به کار رفته مورد محاسبه قرار گرفت. سپس بهترین توزیع از بین ۱۵ توزیع به کار رفته برای هر ایستگاه به صورت جداگانه مشخص شد. ارزیابی بهترین تابع توزیع با استفاده از معیارهای اطلاعاتی AIC و BIC انجام شد. شاخص آکائیک (AIC) به منظور انتخاب بهترین مدل از بین مدل‌های آماری موجود می‌توان استفاده کرد. مقدار این معیار برابر است با:

$$AIC = 2k - 2 \ln(\hat{L}) \quad (14)$$

که در آن k تعداد پارامتر و \hat{L} حداکثر تابع درست‌نمایی می‌باشد. معیار اطلاعاتی بی‌زین شواتز (BIC^۱) همانند معیار آکائیک معیاری برای سنجش نیکویی برازش است و رابطه بسیار نزدیکی با معیار آکائیک دارد.

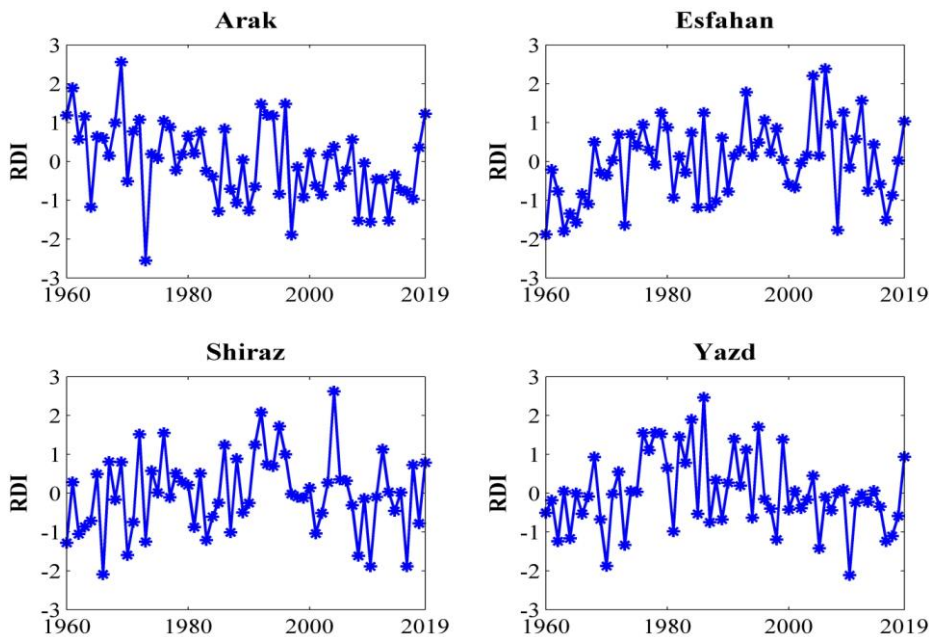
^۱ Bayesian Information Criterion



شکل ۳- تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه‌های اراک، اصفهان، شیراز و یزد در دوره ۱۹۶۰-۲۰۱۹

شدت خشک مشاهده می‌شود. البته در ایستگاه اصفهان طبقه به شدت خشک در دوره آماری مورد مطالعه مشاهده نشده است. بر اساس شکل، می‌توان شباهت‌هایی را در الگوی خشکسالی ۶۰ ساله سه ایستگاه اصفهان، شیراز و یزد مشاهده نمود.

شکل ۴ مقادیر RDI سالانه ایستگاه‌های اراک، اصفهان، شیراز و یزد را در دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، میزان تغییرات سالیانه خشکسالی بر اساس شاخص RDI در هر ۴ ایستگاه قابل توجه است. به صورتی که در اکثر ایستگاه‌ها، در بازه زمانی ۶۰ ساله مورد مطالعه، سال‌هایی با طبقه به شدت مرطوب تا به



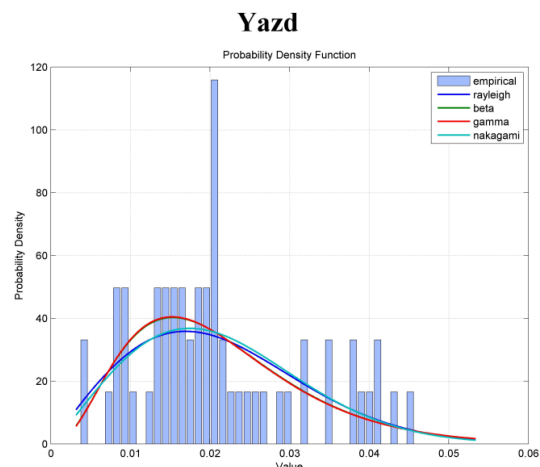
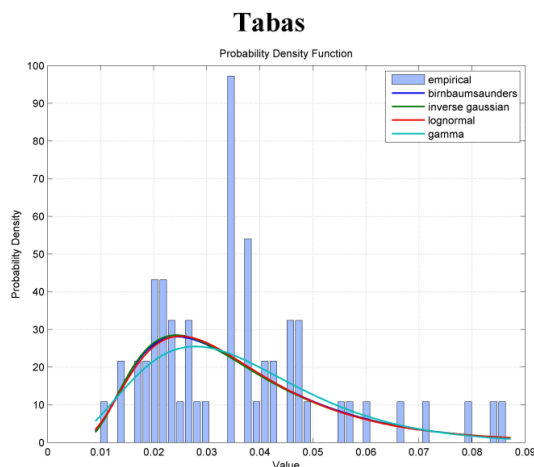
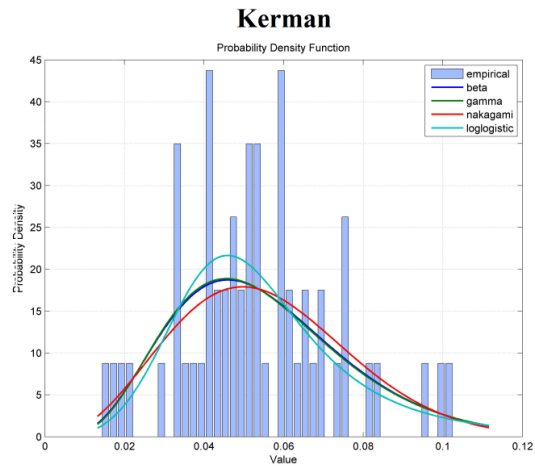
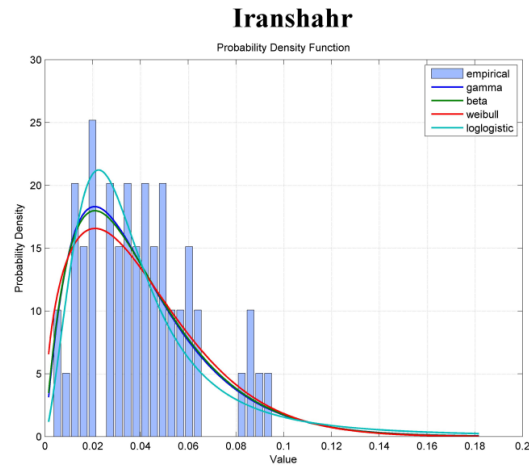
شکل ۴- RDI سالانه ایستگاه‌های اراک، اصفهان، شیراز و یزد در دوره ۱۹۶۰-۲۰۱۹

داده شده است. در این شکل به طور مثال برای ایستگاه ایرانشهر به ترتیب توزیع‌های Weibull, Beta, Gamma

در شکل ۵ تابع چگالی احتمال برای چهار توزیع برتر در چهار ایستگاه ایرانشهر، کرمان، طبس و یزد نمایش

هر دو توزیع Gamma و Log Normal دقت نسبتاً قابل قبولی را در محاسبه شاخص RDI ارایه خواهند کرد. نکته قابل توجه این است که در هر چهار ایستگاه داده شده، توزیع گاما جز چهار توزیع برتر می‌باشد.

و Log Logistic بهترین برآزش را بر روی داده‌ها نمایش داده‌اند. در حالی که در ایستگاه طبس توزیع‌های برتر متفاوت می‌باشد و ۴ توزیع برتر به ترتیب Log IG, BS, Normal و Gamma هستند. بنابراین در ایستگاه طبس،



شکل ۵- تابع چگالی احتمال برای چهار توزیع برتر جهت محاسبه شاخص RDI در ایستگاه‌های ایران‌شهر، کرمان، طبس و یزد

ایستگاه مشهد، گرگان، رشت، تهران، تبریز، کرمانشاه، شیراز و زاهدان بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک طی سال‌های ۱۹۵۸ تا ۲۰۰۷ میلادی پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده توزیع لوگ‌نرمال در هیچ یک از ایستگاه‌ها نتوانست به عنوان مناسب‌ترین تابع توزیع انتخاب شود [۵].

رضایی و همکاران (۱۳۹۷) توابع توزیع لوگ‌نرمال و گاما در تعیین شاخص RDI را در ۳۰ ایستگاه سینوپتیک واقع در اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک، مرطوب و بسیار مرطوب و در دوره آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴ میلادی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی، توزیع‌های لوگ‌نرمال و گاما مناسب‌ترین تابع

برای بررسی توزیع‌های مناسب به منظور محاسبه شاخص RDI در ایستگاه‌های مورد مطالعه، ترتیب بهترین توزیع‌ها برای هر ایستگاه در جدول ۳ ارایه شده است. همانگونه که جدول نشان می‌دهد، فقط در ایستگاه ایران‌شهر، توزیع گاما توزیع برتر است و در سایر ایستگاه‌ها، توزیع‌های متفاوتی به عنوان توزیع برتر مشخص شده‌اند. همچنین توزیع Log Normal در هیچ یک از ایستگاه‌ها به عنوان توزیع برتر مشخص نشده است. نتایج به دست آمده در راستای نتایج سایر مطالعات انجام گرفته در این زمینه می‌باشد.

قبائی و مساعدی (۱۳۹۲) در تحقیقی به بررسی تابع توزیع لوگ‌نرمال در محاسبه شاخص RDI در هشت

دیگر، این معیار تعادلی میان دقت مدل و پیچیدگی آن برقرار می‌کند. هرچقدر مقدار این معیارها کوچک‌تر باشد، توزیع برازش بهتری را نشان می‌دهد. جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب مقادیر معیارهای AIC و BIC را برای توزیع‌های ارائه شده در جدول ۳ نمایش می‌دهد.

همانگونه که پیشتر ذکر شد، برای انتخاب توزیع‌های برتر برای هر ایستگاه از معیارهای AIC و BIC استفاده شد. معیار اطلاعاتی AIC معیاری برای سنجش نیکویی برازش است. این معیار بر اساس مفهوم آنتروپی بنا شده است و نشان می‌دهد که استفاده از یک مدل آماری به چه میزان باعث از دست رفتن اطلاعات می‌شود. به عبارت

جدول ۴- مقادیر معیار AIC مربوط به توزیع‌های معرفی شده در جدول ۳

ردیف	اراک	بافت	بم	بیرجند	اصفهان	ایرانشهر	کرمان	خور و بیابانک
۱	-145/58	-112/17	-380/82	-280/59	-266/56	-252/73	-286/55	-185/54
۲	-145/40	-100/29	-379/67	-280/37	-266/42	-252/47	-286/46	-185/39
۳	-145/09	-100/17	-379/61	-279/79	-268/04	-251/40	-286/03	-185/27
۴	-143/97	-100/01	-378/83	-279/47	-265/86	-250/05	-285/77	-184/65
۵	-143/59	-99/82	-378/82	-279/11	-263/40	-250/97	-284/44	-184/28
۶	-142/80	-99/72	-378/82	-279/11	-265/12	-248/35	-283/55	-184/13
۷	-142/61	-99/57	-376/59	-277/45	-264/70	-246/10	-285/09	-183/41
۸	-142/46	-99/54	-376/58	-278/05	-263/32	-242/19	-282/99	-181/64
۹	-142/21	-98/78	-378/02	-278/05	-263/13	-240/90	-282/91	-183/37
۱۰	-141/49	-97/97	-375/57	-275/71	-260/94	-243/74	-280/02	-181/78
۱۱	-143/24	-97/93	-374/95	-275/56	-260/58	-240/21	-281/98	-182/66
۱۲	-140/84	-96/44	-375/78	-275/36	-260/24	-240/19	-281/47	-180/95
۱۳	-140/81	-97/82	-369/60	-277/11	-259/87	-241/85	-281/31	-180/31
۱۴	-129/61	-95/83	-368/43	-274/48	-261/33	-238/61	-280/72	-179/92
۱۵	-129/52	-95/99	-367/61	-266/16	-258/62	-234/25	-276/18	-177/74
۱۶	-126/32	-92/79	-350/52	-265/50	-249/94	-228/48	-260/37	-179/13
۱۷	-67/69	-67/85	-346/48	-204/90	-212/60	-184/08	-225/89	-150/31
ردیف	قزوین	قم	سمنان	شاهرود	شیراز	طیس	تربت حیدریه	یزد
۱	-164/49	-168/47	-218/19	-233/55	-180/21	-317/61	-185/35	-376/87
۲	-159/47	-161/30	-218/11	-233/51	-180/01	-317/49	-185/20	-376/13
۳	-159/41	-161/12	-217/68	-233/39	-179/66	-317/40	-184/84	-376/09
۴	-158/83	-160/64	-216/50	-232/23	-178/93	-316/09	-184/65	-375/04
۵	-158/71	-160/52	-216/07	-231/98	-178/60	-315/86	-183/78	-374/90
۶	-158/59	-160/33	-215/01	-231/63	-177/92	-315/71	-182/63	-374/87
۷	-158/46	-160/28	-212/47	-231/01	-176/97	-312/45	-181/65	-373/20
۸	-156/69	-158/93	-212/89	-228/33	-177/62	-314/92	-181/34	-372/48
۹	-156/39	-158/77	-214/76	-229/03	-176/61	-311/75	-183/12	-371/38
۱۰	-156/32	-158/67	-214/75	-225/38	-173/42	-310/81	-180/98	-373/42
۱۱	-155/60	-158/27	-211/57	-222/88	-173/02	-310/45	-180/33	-370/30
۱۲	-157/26	-159/21	-210/47	-224/24	-172/75	-310/67	-179/29	-369/94
۱۳	-153/45	-157/14	-206/16	-223/58	-170/61	-303/95	-180/64	-366/06
۱۴	-153/61	-158/29	-203/97	-222/90	-172/18	-301/01	-179/58	-365/79
۱۵	-139/73	-155/75	-204/34	-220/11	-172/21	-302/48	-174/98	-364/07
۱۶	-141/40	-153/21	-178/32	-191/23	-165/37	-275/27	-171/42	-345/38
۱۷	-76/10	-118/14	-170/88	-169/96	-112/86	-271/49	-117/47	-340/32

جدول ۵- مقادیر معیار BIC مربوط به توزیع های معرفی شده در جدول ۳

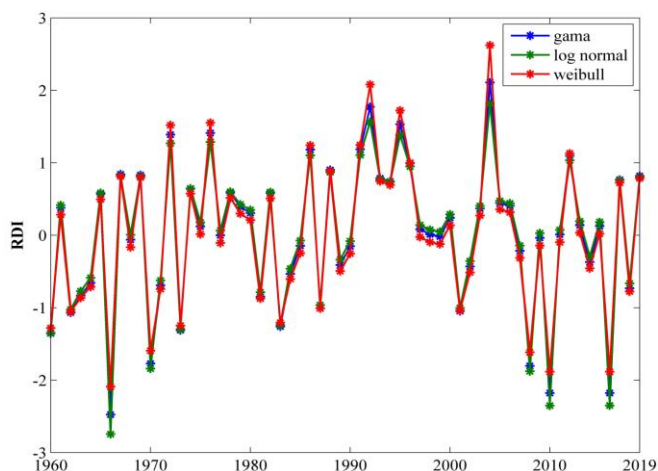
ردیف	ازاک	بافت	بم	بیرجند	اصفهان	ایران شهر	کرمان	خور و بیابانک
۱	-141/39	-107/97	-378/72	-276/40	-262/37	-248/71	-282/37	-182/54
۲	-141/21	-97/49	-375/48	-276/18	-262/23	-248/45	-282/27	-182/40
۳	-140/90	-97/37	-375/42	-275/61	-261/75	-247/39	-281/84	-182/28
۴	-139/78	-97/21	-374/64	-275/28	-261/67	-246/04	-281/58	-181/66
۵	-139/40	-97/02	-374/63	-274/93	-261/31	-244/95	-280/25	-181/29
۶	-138/62	-96/92	-374/63	-274/92	-260/94	-244/34	-279/36	-181/14
۷	-138/42	-96/77	-372/40	-273/26	-260/51	-242/09	-278/81	-180/41
۸	-138/28	-96/74	-372/39	-271/76	-259/13	-240/18	-278/80	-180/15
۹	-138/02	-95/97	-371/74	-271/76	-256/85	-238/89	-278/72	-178/88
۱۰	-137/30	-95/17	-371/38	-271/52	-256/75	-237/72	-277/93	-178/79
۱۱	-136/96	-95/13	-370/76	-271/38	-256/39	-236/20	-277/80	-178/17
۱۲	-136/65	-95/03	-369/49	-271/18	-256/05	-236/17	-277/28	-177/96
۱۳	-134/53	-93/62	-365/41	-270/83	-255/68	-235/83	-277/12	-177/32
۱۴	-127/52	-93/03	-364/24	-270/29	-255/05	-234/59	-274/43	-176/93
۱۵	-123/24	-91/79	-361/33	-264/06	-254/44	-230/24	-269/89	-174/75
۱۶	-122/13	-89/99	-346/34	-261/31	-245/76	-224/46	-256/18	-174/65
۱۷	-65/60	-66/45	-344/39	-202/81	-210/51	-180/06	-223/80	-148/81
ردیف	قزوین	قم	سمنان	شاهرود	شیراز	طیس	تربت حیدریه	یزد
۱	-158/21	-163/89	-214/17	-229/36	-176/02	-313/45	-181/20	-374/78
۲	-155/29	-158/25	-214/10	-229/32	-175/82	-313/34	-181/04	-371/94
۳	-155/22	-158/07	-213/66	-229/20	-175/47	-313/25	-180/68	-371/90
۴	-154/64	-157/58	-212/49	-228/04	-174/74	-311/93	-180/50	-370/85
۵	-154/52	-157/46	-212/06	-227/79	-174/41	-311/71	-179/63	-370/71
۶	-154/40	-157/28	-210/99	-227/44	-173/73	-311/55	-178/48	-370/68
۷	-154/27	-157/22	-210/46	-224/73	-172/78	-310/37	-177/49	-369/01
۸	-152/50	-155/88	-208/88	-224/14	-171/34	-308/68	-177/19	-368/29
۹	-152/21	-155/72	-208/74	-222/74	-170/33	-307/59	-176/89	-367/19
۱۰	-152/13	-155/62	-208/73	-221/19	-169/24	-306/66	-176/82	-367/14
۱۱	-151/41	-155/22	-207/56	-220/78	-168/83	-306/30	-176/17	-366/11
۱۲	-150/97	-154/63	-206/45	-220/05	-168/56	-304/43	-175/14	-363/65
۱۳	-149/27	-154/09	-202/14	-219/39	-168/51	-299/80	-174/41	-361/87
۱۴	-147/32	-153/71	-199/96	-216/62	-167/99	-296/86	-173/35	-361/60
۱۵	-137/64	-152/70	-198/31	-215/92	-165/93	-296/25	-172/90	-357/79
۱۶	-137/21	-151/68	-174/31	-187/04	-161/18	-271/11	-167/27	-341/19
۱۷	-74/01	-116/61	-168/87	-167/87	-110/76	-269/41	-115/39	-338/22

در شکل ۶ مقادیر RDI محاسبه شده بر اساس توزیع برتر (توزیع Weibull) و همچنین مقادیر RDI محاسبه شده بر اساس توزیع های log Normal و Gamma در ایستگاه شیراز با هم مقایسه شده است. همان طور که در شکل ۶ مشخص است، در برخی از سالها میزان اختلاف بین طبقات خشکسالی که بر اساس سه توزیع مذکور محاسبه شده است، قابل توجه نیست. اما در برخی سالها

به خصوص سالهای با خشکی متوسط و شدید و همچنین سالهای مرطوب، مقادیر شدت خشکسالی که بر اساس سه توزیع مذکور محاسبه شده است، با هم تفاوت قابل توجه دارند. به نحوی که در برخی موارد این اختلاف باعث تغییر کلاس شدت خشکسالی می شود. اما در سالهای نرمال، میزان اختلاف بین توزیع برتر با سایر توزیعها کمتر است.

در حالی که در برخی سال‌های مرطوب مقدار RDI را نسبت به دو توزیع دیگر بیشتر (مرطوبتر) نشان داده است.

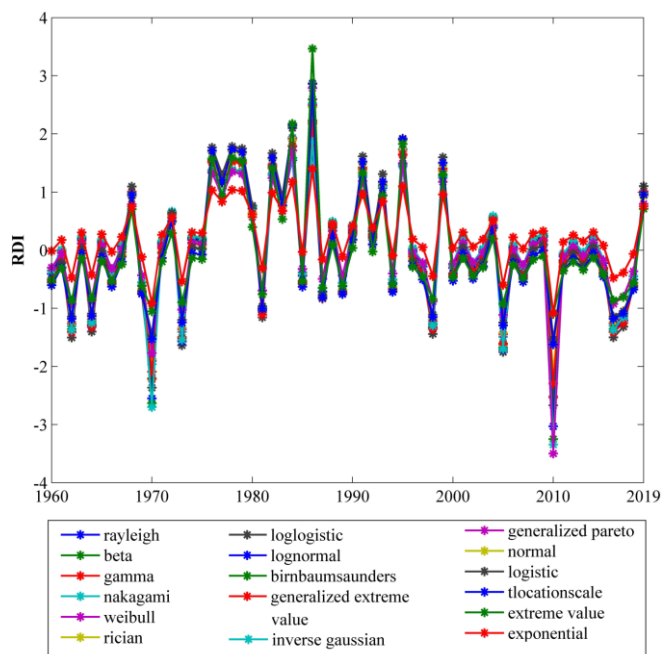
در مجموع توزیع برتر در ایستگاه شیراز، شدت خشکسالی را در سال‌های خشک، کمتر نشان داده است.



شکل ۶- مقایسه RDI محاسبه شده بر اساس توزیع برتر (Weibull)، لوگ‌نرمال و گاما در ایستگاه شیراز

به طور مثال، در سال ۲۰۱۰ که یک سال خشک بوده است، مقادیر RDI از ۱/۰۸ (محاسبه شده بر اساس برازش به توزیع Exponential) تا ۳/۵۰- (محاسبه شده بر اساس برازش به توزیع GP) متفاوت بوده است. بنابراین لزوم انتخاب توزیع مناسب جهت محاسبه شاخص RDI به ویژه جهت تعیین دقیق شدت خشکسالی در سال‌های خشک کاملاً مشهود است.

مقادیر RDI محاسبه شده بر اساس ۱۷ توزیع مورد مطالعه در ایستگاه یزد در شکل ۷ با هم مقایسه شده‌اند. در بررسی انجام شده بر روی ایستگاه یزد با ۶۰ سال داده، توزیع Rayleigh به عنوان بهترین توزیع انتخاب شده است. مقایسه ۱۷ توزیع مورد بررسی در ایستگاه یزد به خوبی نشان می‌دهد که در بیشتر سال‌ها بویژه سال‌های خشک و مرطوب، مقادیر شدت خشکسالی محاسبه شده بر اساس توزیع‌های مورد مطالعه با هم متفاوت هستند.



شکل ۷- مقایسه RDI محاسبه شده بر اساس ۱۷ توزیع مورد مطالعه در ایستگاه یزد

همان گونه که جدول نشان می‌دهد، توزیع های Weibull، Gamma، Nakagami و Rayleigh بهترین برازش را بر روی داده‌های بارش ایستگاه‌های مختلف مورد مطالعه نمایش داده‌اند. از بین چهار توزیع نامبرده، توزیع Nakagami توزیع برتر در شش ایستگاه بوده است.

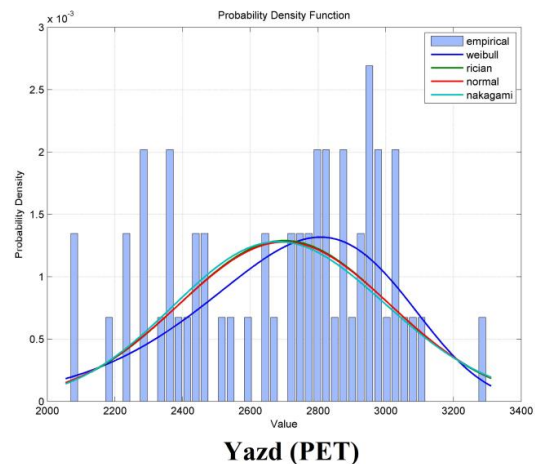
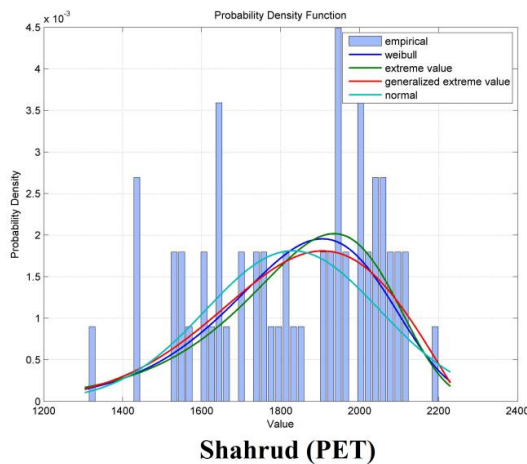
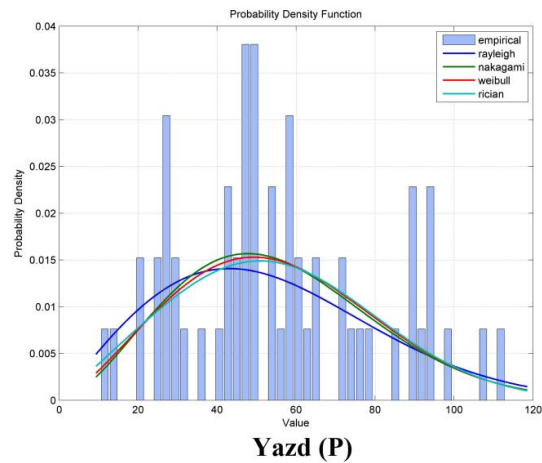
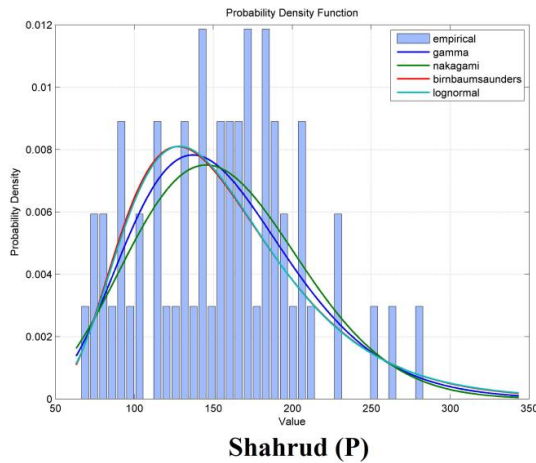
همان طور که اشاره شد، شاخص RDI به دلیل در نظر گرفتن توأم بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل می‌تواند شاخص مناسبی برای تخمین خشکسالی در نظر گرفته شود. در جدول ۶ بهترین توزیع‌ها جهت برازش با داده‌های بارش در ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه مشخص شده است.

جدول ۶- ترتیب توزیع های مناسب جهت برازش به داده های بارش برای ایستگاه های مورد مطالعه

ردیف	اراک	بافت	بم	بیرجند	اصفهان	ایران شهر	کرمان	خور و بیابانک
۱	Nakagami	Nakagami	Rayleigh	Nakagami	Nakagami	Rayleigh	Nakagami	Weibull
۲	Gamma	Weibull	Gamma	Weibull	Weibull	Rician	Logistic	Nakagami
۳	Rician	Gamma	Nakagami	Rician	Rician	Nakagami	Rician	Rician
۴	Weibull	Rician	Weibull	Normal	Gamma	Weibull	Weibull	Normal
۵	Normal	Normal	BS	Gamma	Normal	Normal	Normal	Gamma
۶	Logistic	Log Normal	Log Normal	Logistic	Logistic	Gamma	Gamma	Rayleigh
۷	Log Normal	BS	Rician	BS	BS	Logistic	Log Logistic	Logistic
۸	BS	IG	IG	Log Normal	GEV	GEV	GEV	Log Logistic
۹	IG	Logistic	Log Logistic	IG	Log Normal	tLS	tLS	GEV
۱۰	GEV	Log Logistic	GP	GEV	IG	Log Logistic	Log Normal	tLS
۱۱	Log Logistic	GEV	GEV	tLS	Rayleigh	GP	BS	Log Normal
۱۲	TLS	tLS	Normal	Log Logistic	Log Logistic	Log Normal	IG	BS
۱۳	EV	EV	Logistic	EV	tLS	EV	Rayleigh	IG
۱۴	Rayleigh	Rayleigh	tLS	Rayleigh	EV	BS	EV	GP
۱۵	Exponential	Exponential	EV	Exponential	Exponential	IG	Exponential	EV
ردیف	قزوین	قم	سمنان	شاهرود	شیراز	طبرس	تربت حیدریه	یزد
۱	Gamma	Weibull	Gamma	Gamma	Weibull	Gamma	Nakagami	Rayleigh
۲	Nakagami	Nakagami	BS	Nakagami	Rician	Log Logistic	Gamma	Nakagami
۳	BS	Rician	IG	BS	Normal	Nakagami	Rician	Weibull
۴	IG	Normal	Nakagami	Log Normal	Nakagami	Log Normal	Weibull	Rician
۵	Log Normal	Gamma	Log Normal	IG	Logistic	BS	Normal	Gamma
۶	Rician	Logistic	Weibull	Log Logistic	Gamma	IG	Log Normal	Normal
۷	Normal	BS	Rician	Logistic	tLS	Logistic	BS	GEV
۸	Log Logistic	IG	Log Logistic	Rician	GEV	GEV	Log Logistic	Log Logistic
۹	Weibull	Log Normal	Normal	Weibull	Log Logistic	Weibull	IG	Log Normal
۱۰	Logistic	GEV	GEV	GEV	Log Normal	Rician	GEV	Logistic
۱۱	GEV	tLS	Logistic	Normal	BS	Normal	Logistic	BS
۱۲	TLS	EV	Rayleigh	tLS	IG	tLS	tLS	GP
۱۳	EV	Log Logistic	tLS	Rayleigh	EV	Rayleigh	EV	IG
۱۴	Rayleigh	Rayleigh	EV	EV	Rayleigh	GP	Rayleigh	tLS
۱۵	Exponential	Exponential	Exponential	Exponential	Exponential	EV	Exponential	EV

لازم به ذکر است توزیع Nakagami توزیع مناسب دوم برای برازش به داده‌های بارش در هر دو ایستگاه می‌باشد. در مجموع بر اساس نتایج جدول ۷، توزیع Nakagami جز ۴ توزیع برتر جهت برازش به داده‌های بارش سالانه در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد.

توابع چگالی احتمالی برای چهار توزیع برتر جهت برازش به داده‌های سالانه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های شاهرود و یزد در شکل ۸ با هم مقایسه شده‌اند. همان گونه که شکل نشان می‌دهد، در حالی که توزیع برتر برای برازش به داده‌های بارش در دو ایستگاه مذکور متفاوت است، اما توزیع برتر جهت برازش به داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل یکسان می‌باشد.



شکل ۸- تابع چگالی احتمال برای چهار توزیع برتر برازش داده شده با داده‌های سالانه بارش (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) در ایستگاه‌های شاهرود و یزد

نتایج نشان داد برای ایستگاه‌های مختلف، توزیع‌های متفاوتی به عنوان توزیع برتر جهت محاسبه شاخص RDI انتخاب شد. توزیع گاما جز ۶ توزیع برتر در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. اما توزیع Log Normal در هیچ یک از ایستگاه‌ها به عنوان توزیع برتر مشخص نشد. بنابراین، می‌توان توزیع گاما را به عنوان یک توزیع مناسب جهت محاسبه شاخص RDI در مناطق خشک و نیمه خشک ایران مرکزی در نظر گرفت.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مناسب بودن برازش ۱۷ توزیع آماری برای محاسبه شاخص RDI در ۱۶ ایستگاه سینوپتیک در ایران مرکزی بررسی شد و بهترین توزیع آماری برای هر ایستگاه مشخص شد. همچنین مناسب‌ترین توزیع آماری جهت برازش به مقادیر بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز تعیین شد.

های بارش دارد. در مورد تبخیر و تعرق پتانسیل، در ایستگاه‌های مختلف توزیع‌های متفاوتی بهترین برآزش را ارائه کردند. پیشنهاد می‌گردد مطالعه حاضر بر روی سایر مقیاس‌های زمانی خشکسالی مانند ماهانه و فصلی نیز انجام شود.

همچنین نتایج نشان داد مقادیر RDI محاسبه شده بر اساس توزیع‌های مختلف در سال‌های خشک و مرطوب، تفاوت نسبتاً قابل توجهی دارند. برآزش توزیع‌های مورد مطالعه به داده‌های بارش در ایستگاه‌های مختلف نشان داد توزیع Nakagami عملکرد بهتری جهت برآزش به داده-

References

- [1]. Azadi, S., Soltani Kopaei, S., Faramarzi, M., Soltani Tudeshki, A. (2015). Evaluation of Palmer Drought Severity Index in Central Iran. *JWSS*, 19(72), 305-319, (in Farsi).
- [2]. Bazrafshan, O., Mahmoodzade, F., Asgarinejad, A. & Bazrafshan, A. (2019). Adaptive Evaluation of SPI, RDI, and SPEI indices in Analyzing the Trend of Intensity, Duration, and Frequency of Drought in Arid and Semi-Arid Regions of Iran, *Irrigation Sciences and Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*, 42(3), 117-131. (in Farsi).
- [3]. Edwards, D. C. & McKee, T. B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales, Colorado State University, Ft, 97-2.
- [4]. Fatemi, M., Rahimian, M., Ekrami, M., Barkhordari, J. (2019). RDI Spatial Analysis in Central Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 36, 160-176, (in Farsi).
- [5]. Ghobae, M., Mosaedi, A., (2014). Modification of RDI drought index based on the most appropriate method of estimating evapotranspiration and probability distribution function. *Journal of Rangeland and Watershed Management*, 4(66), 565-582, (in Farsi).
- [6]. Mishra, A. K., Singh, V, P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216.
- [7]. McKee, T. B., Doesken, N. J. & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Eighth Conference on Applied Climatology. *American Meteorological Society*, Anaheim, CA, 179-186.
- [8]. Manzur, D., Yadi Pour, M., (2016). Studying the Iranian Electricity Market Price with an ARMAX-GARCH Mode. *Quarterly Journal of Quantitative Economics*, 13(1), 97-117.
- [9]. Moafimadani, F., Mosavibaygani, M., Ansari, H. (2015). Prediction of Khorasan Razavi Province drought condition at 2011-2030 with LARS-WG downscaling model. *Geography and Environmental Hazard*, 7(2), 157-171, (in Farsi).
- [10]. Moghimi, M.M., Koochi, A., Zareie, A. (2018). Drought monitoring and forecasting in Fars province using RDI index and mathematical model of Markov chain. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 8(3), 153-165 (in Farsi).
- [11]. Node Farahani, M, A., Rasekhi, A., Parmas, B., Keshvan, A. (2018). The Effects of climate Change on Temperature, Precipitation and Drought in Upcoming Period in Shadegan Basin. *Iran-Water Resources Research*, 3(14), 160-173, (in Farsi).
- [12]. Razinei, T., Daneshkar Arasteh, P., Akhtari, R., Saghafian, B. (2007). Investigation of Meteorological Droughts in the sistan and Balouchestan Province, Using the Standardized precipitation Index and Markov Chain Model. *Iran-Water Research*, 3(1), 25-35, (in Farsi).
- [13]. Shokoohi, A. (2012). Comparison of RDI and SPI indices for station-scale drought analysis based on agricultural drought. *Quarterly Iran. Water Resources Research*, 9, 111-122, (in Farsi).
- [14]. Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G., 2015. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8(3), 697-709.
- [15]. Tsakiris, G., Nalbantis, I., Pangalou, D., Tigkas, D. & Vangelis, H. (2008). Drought meteorological monitoring network design for the Reconnaissance Drought Index (RDI). In: 1st International Conference *Drought Management: Scientific and Technological Innovations*. Zaragoza, Spain. 12-14, 57-62.

- [16]. Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21, 821-833.
- [17]. Waseem, M., Park, D.H., Kim, T.W. (2016) Comprehensive Climatological Drought Projection over South Korea under Climate Change. *Procedia engineering*, 154, 710-717.
- [18]. Quevauviller, P. (2011). Adapting to climate change: Reducing water-related risks in Europe-EU policy and research considerations. *Environmental Science and Policy*, 14(7), 722-729.

Determining the appropriate statistical distribution to calculate RDI in arid regions (Case study: Central Iran)

- 1- Saeid Moeinifar, M.Sc. student of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
- 2- Mohammad Amin Asadi*, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
amin.asadi@yazd.ac.ir
- 3- Hossein Malekinezhad, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
- 4- Ali Talebi, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

Received: 20 May 2021

Accepted: 12 Sep 2021

Abstract

Drought monitoring using appropriate drought indices is of importance in water resources management, especially in arid and semi-arid regions. Therefore, choosing the suitable drought index and calculating the desired drought index appropriately is of considerable importance in the study of drought. This study is aimed to determine the appropriate statistical distribution to calculate RDI drought index in arid and semi-arid regions of Central Iran. For this purpose, 16 synoptic stations in Central Iran were selected. To calculate RDI, precipitation and potential evapotranspiration values are required. The FAO-Penman-Monteith method was used to calculate potential evapotranspiration. To select the most appropriate statistical distribution, 17 statistical distributions were used. RDI for each synoptic station was calculated annually by fitting to each of the 17 distributions, separately. Then, based on the AIC and BIC criteria, the best statistical distribution was selected to calculate RDI for each station. While based on the literature, it is recommended to calculate RDI by fitting the data to one of the Gamma or log Normal distributions, the results showed that in most of the studied stations, the log Normal and Gamma distributions are not the most appropriate distribution. However, according to the results, Gamma distribution was one of the top 6 distributions in all the studied stations. The results also showed that the difference of RDI values calculated based on different distributions in dry and wet years are relatively significant, which shows the importance of choosing the appropriate statistical distribution. The fit of the studied distributions to the precipitation data at different stations showed that the Nakagami distribution presents the best performance. In case of potential evapotranspiration, different distributions provided the best fit at different stations.

Keywords: Drought, Precipitation, Potential evapotranspiration, Gamma, Log normal