

## ارزیابی انتخاب تابع توزیع احتمالاتی مناسب در استفاده از شاخص‌های خشکسالی *RDI* و *SPI*

حسین رضایی<sup>۱\*</sup>، ندا خان‌محمدی<sup>۲</sup>، مجید منتصری<sup>۱</sup>، جواد بهمنش<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱/۱۹

<sup>۱</sup> دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

<sup>۲</sup> دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: n.khanmohammadi@urmia.ac.ir

### چکیده

هدف این مقاله، انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال برای محاسبه دو شاخص خشکسالی *RDI* و *SPI* و مقایسه این دو شاخص می‌باشد. بر این اساس، با استفاده از آمار هواشناسی سی ایستگاه همدید در ایران، سری داده‌های سالانه بارندگی و نسبت بارش به تبخیر- تعرق پتانسیل به دست آمد. ابتدا تابع توزیع نرمال یا گاما برای تعیین مقادیر سالانه شاخص *SPI* و تابع توزیع لاگ‌نرمال یا گاما برای تعیین مقادیر سالانه شاخص *RDI* مورد استفاده قرار گرفت. سپس با استفاده از آماره کلموگروف- اسمیرنف، برترین تابع توزیع جهت برآزش سری داده‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه تعیین شد. بعد از تعیین مقادیر شاخص‌ها بر اساس تابع توزیع مناسب و توابع توزیع اشاره شده، میزان جابجایی طبقات مختلف خشکسالی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بیشتر ایستگاه‌ها، توابع توزیع اشاره شده نمی‌توانند به‌عنوان مناسب‌ترین تابع توزیع انتخاب شوند و کاربرد آنها در تعیین شاخص‌ها، باعث تغییر طبقات خشکسالی خواهد شد. نتایج شاخص‌های آماری ( $RMSE < 0/434$  و  $R^2 > 0/819$ ) نشان داد که سری‌های زمانی سالانه دو شاخص خشکسالی *RDI* و *SPI* (محاسبه شده بر اساس مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال) تقریباً مشابه می‌باشد و اختلاف آنها در هیچ ایستگاهی معنی‌دار نیست. همچنین نتایج نشان‌دهنده حساسیت بیشتر شاخص *RDI* نسبت به شاخص *SPI* به انتخاب تابع توزیع می‌باشد و انتخاب تابع توزیع برتر جهت تعیین این شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: ایران، تابع توزیع احتمال، خشکسالی، شاخص *RDI*، شاخص *SPI*

## Evaluating the Selection of the Most Suitable Probability Distribution Function for Using the *RDI* and *SPI* Drought Indices

H Rezaie<sup>1\*</sup>, N Khan Mohammadi<sup>2</sup>, M Montaseri<sup>1</sup>, J Behmanesh<sup>1</sup>

Received:2016.04.04 Accepted:2017.04.08

<sup>1</sup>- Assoc. Prof., Dept. of Water Engin., Univ. of Urmia., Urmia, Iran

<sup>2</sup>- Ph.D. of Water Resour. Engin., Dept. of Water Engin., Univ. of Urmia., Urmia, Iran

\*Corresponding Author, Email: n.khanmohammadi@urmia.ac.ir

### Abstract

The purpose of this paper is the selection of the most suitable probability distribution function to calculate and compare the *RDI* and *SPI* drought indices. Accordingly, using the meteorological data of thirty synoptic stations in Iran, annual rainfall data series and the ratio of precipitation to potential evapotranspiration were obtained. At first, Normal or Gamma distributions and Log-normal or Gamma distributions were used to determine the *SPI* and *RDI* annual values, respectively. Then using Kolmogorov-Smirnov index, the best distribution function was obtained to fit with the data series in the studied stations. After determining the index values based on the superior distribution function and also the mentioned distribution functions, replacement of different drought classes was evaluated. The results showed that in the most stations, the mentioned distribution functions could not be selected as the most appropriate distribution function and using them in determination of the indices could change the drought classes. The results of the statistical indices ( $RMSE < 0.434$  and  $R^2 > 0.819$ ) showed that the annual time series of the *SPI* and *RDI* indices (calculated on the basis of the most suitable probability distribution function) were approximately similar and their difference was not significant in none of the stations. Also the results showed that the *RDI* index was more sensitive than the *SPI* index to the selection of the distribution function, so the selection of the most suitable distribution function for determination of this index was more important.

**Keywords:** Drought, Iran, Probability distribution function, *RDI* index, *SPI* index

### مقدمه

با تأمل بیشتر بر روی نتایج و ارزیابی تئوری حاکم بر شاخص *SPI*، نمی‌توان این شاخص را به‌عنوان یک شاخص جامع مطرح نمود. بارندگی عامل اصلی در تعیین شاخص *SPI* بوده و نقش تبخیر-تعرق در محاسبه آن لحاظ نمی‌شود. برای رفع این مشکل و جهت دخالت دادن مقدار تبخیر-تعرق در تحلیل خشکسالی، ساگریس و ونگیس (۲۰۰۵) شاخص جدید *RDI* را ارائه نمودند. این شاخص، از دو پارامتر بارندگی و تبخیر-تعرق برای

خشکسالی یکی از پدیده‌های اقلیمی است که در پهنه وسیعی از کشور ایران به اشکال مختلف قابل مشاهده است. از جمله شاخص‌های رایج و کاربردی برای پایش خشکسالی می‌توان به شاخص بارش استاندارد (*SPI*) معرفی شده توسط مک‌کی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۳ اشاره کرد (شکوهی ۱۳۹۱).

<sup>1</sup> McKee

بیان کمی خشکسالی استفاده می‌کند. با توجه به جدید بودن این شاخص، طی چند سال اخیر، افراد مختلفی به مطالعه شاخص *RDI* و مقایسه آن با شاخص *SPI* پرداخته‌اند.

ساکریس و همکاران (۲۰۰۷) شاخص *RDI* را در دو حوضه یونان طی دو بازه مختلف زمانی، بررسی نمودند. ایشان بر اساس نتایج حاصل، بیان داشتند که اگرچه شاخص *RDI* عموماً از مشابهت رفتاری بالایی با *SPI* برخوردار است، اما این شاخص حساس‌تر و مناسب‌تر از *SPI*، برای مناطق با تغییرات محیطی می‌باشد. در کشور ایران نیز استفاده از این شاخص خشکسالی در طی سال‌های اخیر برای مناطق مختلف رواج داشته است. در مطالعه خلیلی و همکاران (۲۰۱۱) نتیجه مقایسه دو شاخص *SPI* و *RDI* طی بازه زمانی ۳۹ سال در ۱۰ ایستگاه ایران نشان داد که استفاده از داده‌های تبخیر-تعرق، دقت و حساسیت تعیین خشکسالی را افزایش می‌دهد. شکوهی (۱۳۹۱) دو شاخص *SPI* و *RDI* را در دو ایستگاه دشت قزوین طی بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۰ مورد آزمون قرار داد. نتایج حاصل نشان داد که تفاوت معنی‌داری میان دو شاخص در ارزیابی و پایش خشکسالی وجود نداشت ولی شاخص *RDI* در مورد خشکسالی‌های بسیار شدید، از حساسیت بیشتری برخوردار بود. همچنین ایشان بیان داشتند که در ارتباط با خشکسالی کشاورزی، در صورت وجود آمار درازمدت، شاخص *RDI* موفق‌تر از شاخص *SPI* عمل می‌نماید. در تحقیقی دیگر، اسدی و وحدت (۲۰۱۳) دو شاخص *RDI* و *SPI* را با استفاده از داده‌های هواشناسی استان خراسان طی دوره آماری ۳۰ ساله مقایسه نمودند. ایشان بر اساس نقشه‌های خشکسالی حاصل از دو شاخص به این نتیجه رسیدند که در اکثر موارد، این دو شاخص نتایج مشابهی ارائه می‌دهند، اما در برخی موارد، براساس شرایط محلی، نتایج شاخص *RDI* دارای حساسیت بیشتر بود. بر اساس نتایج ایشان، تغییرات دوره‌های خشک و مرطوب در بازه‌های زمانی کوتاه، علاوه بر بارندگی، به تبخیر-تعرق یا دیگر پارامترها وابسته می‌باشد. نتایج مقایسه دو شاخص *RDI* و *SPI* توسط زهتابیان و همکاران (۲۰۱۳) در شش ایستگاه خراسان جنوبی طی دوره آماری ۲۲

ساله نشان داد که در حالت کلی، دو شاخص رفتار مشابهی در منطقه مورد مطالعه داشتند. ایشان بیان داشتند که شاخص *RDI* نسبت به شاخص *SPI* از حساسیت بیشتری به تغییرات محیطی برخوردار است و اگر تحلیل‌های خشکسالی جهت کاربردهای کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد، شاخص *RDI* می‌تواند نمایشگر بهتری از شرایط متغیر هواشناسی باشد. در پنج منطقه از استان فارس نیز دو شاخص *RDI* و *SPI* طی دوره ۲۹ ساله توسط شمس‌نیا (۲۰۱۴) مورد مقایسه قرار گرفت. ایشان کاربرد شاخص *RDI* را جهت ارزیابی خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (۱، ۳ و ۶ ماهه) توصیه نمودند. شاخص *SPI* از برآزش تابع توزیع گاما (شاه و همکاران ۲۰۱۵) و یا نرمال (نصری و مدرس ۱۳۸۶) بر داده‌های بارندگی و شاخص *RDI* از برآزش تابع توزیع لاگ‌نرمال (زندلیک و همکاران ۱۳۹۳) و یا گاما (ونگلیس و همکاران ۲۰۱۳) بر داده‌های نسبت بارش به تبخیر-تعرق حاصل می‌شود. اما برخی از تحقیقات انجام یافته نشان‌دهنده این امر می‌باشد که مقادیر بارندگی و نسبت بارش به تبخیر-تعرق همواره از توابع توزیع اشاره شده تبعیت نمی‌کنند (لوید-هاگز و ساندرز ۲۰۰۲، سونمز و همکاران ۲۰۰۵). جهت مطالعه صحت این امر (عدم تطابق مقادیر بارندگی و نسبت بارش به تبخیر-تعرق با توابع توزیع رایج کاربردی) در کشور ایران، دو تحقیق مختلف با استفاده از آمار سال‌های ۱۹۵۸ تا ۲۰۰۷ انجام یافته است. مساعدی و قبائی‌سوق (۱۳۹۰) شاخص *SPI* را بر اساس مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال در یازده ایستگاه برآورد نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که توزیع گاما نمی‌تواند به‌عنوان مناسب‌ترین تابع توزیع مقدار بارندگی سالانه در هیچ‌یک از ایستگاه‌های موردبررسی (جز رشت) انتخاب شود. قبائی‌سوق و مساعدی (۱۳۹۲) نیز شاخص خشکسالی *RDI* را بر اساس مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل و تابع توزیع احتمال در هشت ایستگاه محاسبه نمودند. نتایج حاصل نشان داد که نسبت بارندگی بر تبخیر-تعرق سالانه همواره از توزیع لاگ‌نرمال به‌عنوان مناسب‌ترین تابع توزیع پیروی نمی‌کند.

جدول ۱- مختصات ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر اقلیمی.

ایستگاه	اقلیم	ایستگاه	اقلیم
آبادان	خشک	کرمانشاه	نیمه‌خشک
اهواز	خشک	خرم‌آباد	نیمه‌خشک
بم	خشک	خوی	نیمه‌خشک
بندرعباس	خشک	مشهد	نیمه‌خشک
بیرجند	خشک	ارومیه	نیمه‌خشک
بوشهر	خشک	قزوین	نیمه‌خشک
اصفهان	خشک	سنندج	نیمه‌خشک
کرمان	خشک	شهرکرد	نیمه‌خشک
سبزوار	خشک	شیراز	نیمه‌خشک
شاهرود	خشک	تبریز	نیمه‌خشک
تهران	خشک	تربت‌حیدریه	نیمه‌خشک
یزد	خشک	زنجان	نیمه‌خشک
زاهدان	خشک	بابلسر	مرطوب
اراک	نیمه‌خشک	رامسر	بسیارمرطوب
همدان	نیمه‌خشک	رشت	بسیارمرطوب

مرور منابع نشان می‌دهد که پژوهشی جامع برای برآورد صحیح توأم دو شاخص خشکسالی  $RDI$  و  $SPI$  براساس مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال در ایران وجود ندارد. بررسی منابع همچنین نشان می‌دهد که مطالعه‌ای برای بررسی تفاوت سری زمانی دو شاخص خشکسالی محاسبه شده بر اساس مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال و انتخاب حساس‌ترین شاخص در تحلیل و پیش‌خشکسالی در کشور ایران صورت نگرفته است. بدین منظور، تحقیق حاضر با هدف بررسی مناسب بودن توابع توزیع احتمال رایج کاربردی جهت تعیین دو شاخص خشکسالی  $RDI$  و  $SPI$  و انتخاب مناسب‌ترین تابع و مقایسه کمی سری زمانی دو شاخص خشکسالی  $RDI$  و  $SPI$  و انتخاب شاخص حساس‌تر به تابع توزیع به‌کار رفته جهت تعیین آن، پایه‌ریزی شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، آمار روزانه داده‌های هواشناسی سی ایستگاه همدید طی یک دوره آماری مشترک ۵۵ سال (۱۹۶۰-۲۰۱۴) مورد استفاده قرار گرفت. آمار مورد استفاده از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. تمامی داده‌های روزانه هواشناسی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای نقطه شبنم، سرعت باد و ساعات آفتابی (برای محاسبه میزان تبخیر- تعرق پتانسیل) به‌همراه مقدار بارندگی ثبت شده در هر ایستگاه تکمیل و تصحیح و مقدار سالانه آنها برآورد شد و برای محاسبه سری-های سالانه دو شاخص خشکسالی  $SPI$  و  $RDI$  مورد استفاده قرار گرفت. معیارهایی چون وجود آمار طولانی-مدت، نواقص کم آماری و پراکنش مکانی مناسب در انتخاب ایستگاه‌ها مدنظر قرار گرفتند. جدول ۱ ایستگاه-های مورد مطالعه و اقلیم آنها را نشان می‌دهد. لازم به‌ذکر است، برای دسته‌بندی اقلیمی ایستگاه‌ها از روش دومارتن استفاده شد.

### شاخص $SPI$

فرآیند محاسبه شاخص  $SPI$  با برآزش تابع توزیع احتمالاتی مناسب به سری داده‌های بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه آغاز می‌شود. در واقع،  $SPI$  متغیری از تابع توزیع نرمال استاندارد است که مقدار احتمال تجمعی آن با مقدار احتمال تجمعی متغیر موردنظر از توزیع برآزش داده شده مساوی باشد (مساعدی و قبائی‌سوق ۱۳۹۰). بر این اساس، برای محاسبه این شاخص، علاوه بر برآزش دو توزیع نرمال و گاما که دو توزیع متداول در محاسبه این شاخص می‌باشند، داده‌های بارندگی با توابع توزیع پیوسته تعبیه شده در نرم‌افزار Easyfit 5.5 برآزش داده شدند. بنابراین، شاخص  $SPI$  برای هر ایستگاه شامل سه مقدار بود؛ مقدار اول،  $SPI(N)$  که با فرض پیروی مقادیر بارندگی از توزیع نرمال حاصل شد. مقدار دوم،  $SPI(G)$  بود که با فرض تبعیت مقادیر بارندگی از توزیع گاما به‌دست آمد (مساعدی و قبائی‌سوق ۱۳۹۰). مقدار سوم،  $SPI(S)$  بود که از برآزش مناسب‌ترین تابع توزیع پیوسته تعبیه شده در نرم‌افزار Easyfit 5.5 بر مقادیر بارندگی محاسبه شد. پس از برآزش توزیع‌های آماری

<sup>2</sup> Superior

<sup>1</sup> De Martonne

با استفاده از مقادیر بارندگی و تبخیر- تعرق، مقدار اولیه شاخص ( $\alpha$ ) برای یک بازه زمانی معین از سال ( $k$ ) توسط رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

$$\alpha_k = \frac{\sum_{j=1}^{j=k} P_j}{\sum_{j=1}^{j=k} PET_j} \quad [5]$$

که در آن  $P_j$  بارندگی ماه  $j$ ام و  $PET_j$  تبخیر- تعرق پتانسیل ماه  $j$ ام از سال آبی می‌باشد. سال آبی برای منطقه مدیترانه‌ای از اکتبر شروع می‌شود. لازم به ذکر است که محاسبه این شاخص می‌تواند، در صورت لزوم، از هر ماه از سال شروع شود (ساکریس و ونگلیس ۲۰۰۵). بر این اساس، محاسبات از شروع سال آبی ایران یعنی اول مهر انجام گردید و مقدار سری زمانی سالانه  $\alpha$  ( $k=12$ ) برای کلیه ایستگاه‌ها محاسبه شد. بنابراین، با توجه به بازه مشترک ۵۵ ساله و شروع بازه زمانی سالانه از اول مهر برای محاسبه مقدار  $\alpha$ ، تعداد ۵۴ مقدار برای  $\alpha$  در هر ایستگاه مورد مطالعه به دست آمد. در توسعه شاخص  $RDI$  از مفاهیم شاخص  $SPI$  استفاده شده است. بنابراین، مقادیر طبقه‌های مختلف وضعیت خشکسالی در آن، مشابه با طبقه‌های ارائه شده برای شاخص  $SPI$  می‌باشد (جدول ۲) (خلیلی و همکاران ۲۰۱۱). مقدار شاخص  $RDI$  از برازش تابع توزیع احتمالاتی مناسب به مقادیر ( $\alpha$ ) در هر بازه زمانی دلخواه و برای هر ایستگاه محاسبه می‌شود. بر اساس آزمون‌های صورت گرفته در موقعیت‌های متعدد و بازه‌های زمانی مختلف، مقادیر  $\alpha_k$  از هر دو توزیع گاما و لاگ- نرمال به خوبی تبعیت می‌کند (ونگلیس و همکاران ۲۰۱۳). برای اثبات این ادعا، توابع توزیع پیوسته بر مقادیر نسبت بارندگی بر تبخیر- تعرق (مقادیر سالانه  $\alpha$ )، توسط نرم- افزار Easyfit 5.5، برازش یافت و آزمون کلموگروف- اسمیرنف، جهت آزمون نکوئی برازش توزیع‌های مختلف آماری و انتخاب مناسب‌ترین توزیع به کار رفت. بنابراین، سه مقدار برای تعریف شاخص  $RDI$  برای هر ایستگاه وجود داشت؛ مقدار اول،  $RDI(LN)$  که با فرض پیروی مقدار نسبت بارش به تبخیر- تعرق از توزیع لاگ-نرمال حاصل شد (ساکریس و ونگلیس ۲۰۰۵). مقدار دوم،  $RDI(G)$  بود که با فرض پیروی مقادیر نسبت بارش به

مختلف به مقادیر بارندگی، مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال با استفاده از آزمون کلموگروف- اسمیرنف انتخاب شد.

### شاخص $RDI$

برای محاسبه شاخص  $RDI$  مقادیر بارندگی و تبخیر- تعرق پتانسیل مورد نیاز می‌باشد، بنابراین، روش پنمن-مانتیث‌فائو ۵۶ که آلن و همکاران (۱۹۹۸) آن را به- عنوان یک روش استاندارد جهانی پیشنهاد کرده‌اند، جهت برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در محاسبه شاخص  $RDI$  مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است در استفاده از روش پنمن-مانتیث‌فائو ۵۶ بایستی از داده‌های مربوط به ایستگاه‌های مرجع استفاده نمود. بنابراین، داده‌های دما بایستی تحت شرایطی اصلاح شوند تا مقادیر دمایی نقطه شبنم به دماهای حداقل نزدیک‌تر شوند (محمدیان و همکاران ۱۳۸۴). برای این منظور، ابتدا پارامتر  $MDD$  طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود که در آن،  $T_{min}$  دمای حداقل ( $^{\circ}C$ ) و  $T_{dew}$  دمای نقطه شبنم ( $^{\circ}C$ ) می‌باشد. در صورتی که مقدار  $MDD$  از ۲ بیشتر شود، دمای حداقل، دمای حداکثر و دمای نقطه شبنم طبق روابط ۲ تا ۴ بایستی اصلاح شوند (محمدیان و همکاران ۱۳۸۴).

$$MDD = T_{min} - T_{dew} \quad [1]$$

$$T_{min(adj)} = T_{min} - K_n (MDD - 2) \quad [2]$$

$$T_{max(adj)} = T_{max} - K_x (MDD - 2) \quad [3]$$

$$T_{dew(adj)} = T_{dew} + K_d (MDD - 2) \quad [4]$$

در روابط ۲ تا ۴  $T_{min(adj)}$ ،  $T_{max(adj)}$  و  $T_{dew(adj)}$  به- ترتیب، دمای حداقل، حداکثر و نقطه شبنم اصلاح شده ( $^{\circ}C$ )،  $T_{max}$  دمای حداکثر ( $^{\circ}C$ ) و  $K_n$ ،  $K_x$  و  $K_d$  ضرایب اصلاحی دما به ترتیب برای داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر و دمای نقطه شبنم در سی ایستگاه مورد مطالعه می‌باشند. مقدار ضرایب اصلاحی برای هر ایستگاه، از نسبت شیب‌های برازش داده شده بر نمودارهای دمای حداقل، دمای حداکثر یا دمای نقطه شبنم در مقابل نسبت بارش به تبخیر- تعرق به دست آمد و مقدار تبخیر- تعرق بر اساس داده‌های اصلاح شده محاسبه شد.

بیشتر از مقدار واقعی خصوصا در ایستگاه‌های خشک‌تر مانند یزد برآورد خواهد شد. مقادیر یک در این جدول نشان می‌دهد که شرایط ایستگاه مرجع بوده و داده‌های دما در آن نیاز به اصلاح ندارد. نتایج به دست آمده، همخوانی بسیار خوبی با نتایج محمدیان و همکاران (۱۳۸۴) دارد.

نتایج حاصل از انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال برازش یافته بر داده‌های بارندگی سالانه (برای محاسبه شاخص  $SPI$ ) و مقادیر سالانه نسبت بارش به تبخیر-تعرق (برای محاسبه شاخص  $RDI$ ) با بازه زمانی مشترک در همه ایستگاه‌ها، به همراه شاخص آماره کلموگروف-اسمیرنوف ( $D_{max}$ ) در جدول ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است مقادیر بحرانی آماره این آزمون با توجه به تعداد سال‌های مورد مطالعه، در سطح اعتماد ۹۹ درصد و ۹۵ درصد به ترتیب، برابر ۰/۲۱۸ و ۰/۱۸۱ می‌باشد. با توجه به نتایج جدول ۴، در تعیین مقادیر سالانه شاخص  $SPI$  ( $SPI_{12}$ )، حدود ۲۷ درصد (۸ مورد) و در تعیین مقادیر سالانه شاخص  $RDI$ ، حدود ۳۳ درصد (۱۰ مورد) از ایستگاه‌ها دارای توزیع Johnson SB بودند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، در بیشتر ایستگاه‌ها، مقادیر سالانه بارندگی و نسبت بارش به تبخیر-تعرق پتانسیل از توزیع Johnson SB تبعیت می‌کند. مشابه نتایج تحقیق حاضر، توزیع Johnson SB جزء توزیع‌های برتر در محاسبه شاخص  $SPI$  در مطالعه مساعدی و قبائی-سوق (۱۳۹۰) در برخی از ایستگاه‌ها بود. در ضمن، توزیع مذکور، در تحقیقی دیگر توسط قبائی‌سوق و مساعدی (۱۳۹۲) به عنوان توزیع برتر در محاسبه شاخص  $RDI$  در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در سطح اعتماد ۹۹ درصد و ۹۵ درصد، مقادیر بارندگی و نسبت بارش به تبخیر-تعرق پتانسیل در همه ایستگاه‌ها، از توزیع‌های برتر اشاره شده در جدول مذکور پیروی می‌کنند. در تعیین مقادیر سالانه شاخص  $SPI$ ، توزیع برتر برای برازش داده‌های سالانه بارندگی در ایستگاه بم، توزیع گاما می‌باشد. با توجه به اختلاف آماره کلموگروف-اسمیرنوف توزیع برتر با دو توزیع رایج در تعیین دو شاخص، در همه ایستگاه‌ها جز ایستگاه

تبخیر-تعرق از توزیع گاما به دست آمد. مقدار سوم،  $RDI(S)$  بود که از برازش مناسب‌ترین تابع توزیع پیوسته تعبیه شده در نرم‌افزار Easyfit 5.5 بر مقادیر نسبت بارش به تبخیر-تعرق محاسبه شد. از آنجائی که کاربرد دو توزیع نرمال و گاما برای محاسبه شاخص  $SPI$  و دو توزیع لاگ‌نرمال و گاما برای محاسبه شاخص  $RDI$  رایج است، بنابراین، دو توزیع مذکور جزء توزیع‌های به کار رفته در این تحقیق بودند.

جدول ۲- طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی بر اساس دو شاخص  $SPI$  و  $RDI$  (خلیلی و همکاران ۲۰۱۱).

مقدار شاخص	طبقات خشکسالی
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید (EW)
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید (SW)
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط (MW)
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال (N)
-۱/۴۹ تا -۱	خشکسالی متوسط (MD)
-۱/۵۰ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید (SD)
-۲ یا کمتر	خشکسالی بسیار شدید (ED)

بعد از محاسبه مقادیر سری زمانی سالانه دو شاخص خشکسالی  $SPI$  و  $RDI$  با استفاده از توزیع برتر (سری زمانی  $SPI(S)$  و  $RDI(S)$ )، دو سری به دست آمده از نظر کمی با استفاده از دو شاخص آماری پرکاربرد، ضریب تعیین ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ )، مورد مقایسه قرار گرفتند. علاوه بر این، جهت بررسی معنی‌دار بودن تفاوت موجود بین سری زمانی دو شاخص  $RDI$  و  $SPI$  از آماره  $t$  استفاده شد.

## نتایج و بحث

اساس داده‌های دمای مشاهداتی و اصلاح شده بر اساس شرایط مرجع محاسبه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده، مقادیر ضریب تصحیح (نسبت تبخیر-تعرق اصلاح شده بر مبنای داده‌های دمای اصلاح شده  $ET_{0(adj)}$ ) بر تبخیر-تعرق محاسبه شده توسط داده‌های مشاهداتی دما ( $ET_0$ ) در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود که در بازه زمانی سالانه، در صورت عدم اصلاح داده‌های دما در ایستگاه‌های غیرمرجع، میزان تبخیر-تعرق پتانسیل

جدول ۳- مقادیر ضریب تصحیح  $(ET_0(adj)/ET_0)$  در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

نام ایستگاه	ضریب تصحیح	نام ایستگاه	ضریب تصحیح
آبادان	۰/۶۳	کرمانشاه	۰/۷۲
اهواز	۰/۶۵	خرم‌آباد	۰/۷۷
بم	۰/۵۸	خوی	۰/۹۶
بندرعباس	۰/۹۵	مشهد	۰/۸۰
بیرجند	۰/۶۰	ارومیه	۰/۹۴
بوشهر	۰/۹۲	قزوین	۰/۸۶
اصفهان	۰/۶۸	سنندج	۰/۸۰
کرمان	۰/۶۰	شهرکرد	۰/۹۰
سبزوار	۰/۶۲	شیراز	۰/۷۱
شاهرود	۰/۷۸	تبریز	۰/۷۳
تهران	۰/۶۰	تربت‌حیدریه	۰/۷۴
یزد	۰/۵۲	زنجان	۰/۹۰
زاهدان	۰/۵۴	بابلسر	۱/۰۰
اراک	۰/۷۶	رامسر	۱/۰۰
همدان	۰/۸۴	رشت	۱/۰۰

اشاره شده، فرض پیروی مقدار بارندگی از دو توزیع نرمال و گاما و مقدار نسبت بارش به تبخیر- تعرق پتانسیل از دو توزیع لاگ‌نرمال و گاما در هر منطقه باید با هوشیاری موردبررسی و سپس مورد استفاده قرار گیرد. البته لازم به ذکر است که اگرچه سه توزیع نرمال، لاگ‌نرمال و گاما، در اکثر ایستگاه‌ها نتوانسته‌اند به‌عنوان مناسب‌ترین تابع توزیع انتخاب شوند ولی با مقایسه مقادیر  $D_{max}$  به دست آمده برای این توزیع‌ها با مقادیر بحرانی آن در سطح اعتماد ۹۹ درصد و ۹۵ درصد، مشاهده می‌شود که در سطوح اعتماد ذکر شده، دلیلی برای رد فرض صفر (عدم برآزش تابع توزیع احتمال با داده‌های موردبررسی) وجود ندارد. بنابراین از این توابع می‌توان برای برآزش داده‌ها جهت تعیین شاخص‌ها در همه ایستگاه‌های موردبررسی (به جز توزیع لاگ‌نرمال در ایستگاه آبادان در تعیین مقادیر سالانه شاخص  $RDI$ ) استفاده نمود، ولی باید به این نکته توجه داشت که توابع توزیع مناسب‌تر دیگری با مقادیر  $D_{max}$  کمتر جهت برآزش سری داده‌های موردنظر در تعیین شاخص مربوطه وجود دارد.

جدول ۴- نتایج مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال برآزش یافته بر داده‌های بارندگی (برای محاسبه مقادیر سالانه شاخص  $SPI$ ) و مقادیر نسبت بارش به تبخیر- تعرق پتانسیل (برای محاسبه مقادیر سالانه شاخص  $RDI$ ) و مقادیر آماره کلموگروف- اسمیرنوف.

نام ایستگاه	شاخص $SPI$			شاخص $RDI$		
	نرمال	گاما	$D_{max}$	لاگ‌نرمال	گاما	$D_{max}$
آبادان	۰/۰۹۰	۰/۰۸۱	۰/۰۶۹	۰/۱۸۵	۰/۱۵۲	۰/۰۹۶
اهواز	۰/۰۷۶	۰/۰۸۱	۰/۰۵۷	۰/۱۳۱	۰/۱۱۱	۰/۰۸۱
بم	۰/۱۱۱	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۱۱۸	۰/۱۲۷	۰/۱۰۰
بندرعباس	۰/۱۴۷	۰/۰۹۳	۰/۰۷۷	۰/۱۲۹	۰/۰۹۰	۰/۰۸۸
بیرجند	۰/۰۸۲	۰/۱۰۱	۰/۰۵۲	۰/۱۳۲	۰/۱۲۰	۰/۰۹۴
بوشهر	۰/۱۳۴	۰/۱۰۴	۰/۰۷۵	۰/۱۳۵	۰/۱۰۹	۰/۰۹۱
اصفهان	۰/۰۹۰	۰/۰۸۲	۰/۰۵۰	۰/۱۰۹	۰/۰۹۸	۰/۰۵۱
کرمان	۰/۰۷۵	۰/۱۱۱	۰/۰۵۸	۰/۱۶۷	۰/۱۵۴	۰/۰۹۰
سبزوار	۰/۱۰۰	۰/۰۶۶	۰/۰۶۵	۰/۰۸۲	۰/۰۸۵	۰/۰۶۱
شاهرود	۰/۰۶۶	۰/۰۷۸	۰/۰۶۱	۰/۰۷۷	۰/۱۰۰	۰/۰۷۳
تهران	۰/۰۷۰	۰/۱۰۷	۰/۰۶۹	۰/۱۴۹	۰/۱۲۸	۰/۰۸۵
یزد	۰/۱۰۷	۰/۰۸۰	۰/۰۵۷	۰/۱۲۶	۰/۱۰۴	۰/۰۹۷
زاهدان	۰/۱۰۵	۰/۰۷۱	۰/۰۶۳	۰/۱۵۴	۰/۱۲۳	۰/۱۱۲
اراک	۰/۰۷۹	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۰

Log-Logistic(3P)	۰/۰۹۰	۰/۱۰۳	۰/۱۰۲	Log-Logistic(3P)	۰/۰۵۲	۰/۰۵۸	۰/۰۹۲	همدان
Log-Logistic(3P)	۰/۰۶۹	۰/۰۹۷	۰/۱۱۷	Log-Logistic(3P)	۰/۰۷۷	۰/۰۹۸	۰/۱۱۳	کرمانشاه
Log-Logistic(3P)	۰/۰۶۴	۰/۰۸۲	۰/۰۶۴	Weibull	۰/۰۵۱	۰/۰۷۷	۰/۰۵۹	خرم‌آباد
Johnson SB	۰/۰۵۶	۰/۰۸۶	۰/۰۸۴	Johnson SB	۰/۰۶۱	۰/۰۹۳	۰/۰۷۷	خوی
Gen. Extreme Value	۰/۰۷۴	۰/۰۷۹	۰/۰۸۱	Johnson SB	۰/۰۶۲	۰/۰۹۰	۰/۱۰۰	مشهد
Weibull (3P)	۰/۰۵۷	۰/۰۶۹	۰/۰۶۲	Johnson SB	۰/۰۴۳	۰/۰۵۲	۰/۰۶۴	ارومیه
Burr	۰/۱۰۴	۰/۱۱۳	۰/۱۲۴	Burr	۰/۰۵۲	۰/۰۶۳	۰/۰۷۱	قزوین
Dagum (4P)	۰/۰۵۳	۰/۰۶۰	۴/۰۰۵	Weibull (3P)	۰/۰۸۰	۰/۰۹۴	۰/۱۰۵	سنندج
Johnson SB	۰/۰۶۷	۰/۰۷۴	۰/۰۸۴	Burr	۰/۰۵۵	۰/۰۷۱	۰/۰۵۵	شهرکرد
Gen. Extreme Value	۰/۰۵۷	۰/۰۶۲	۰/۰۹۱	Fatigue Life (3P)	۰/۰۴۳	۰/۰۵۴	۰/۰۷۱	شیراز
Johnson SB	۰/۰۹۳	۰/۱۰۷	۰/۱۰۰	Gen. Extreme Value	۰/۰۵۸	۰/۰۷۱	۰/۰۹۷	تبریز
Johnson SB	۰/۰۶۲	۰/۰۷۱	۰/۰۸۵	Weibull	۰/۰۵۱	۰/۰۶۲	۰/۰۶۱	تربت‌حیدریه
Johnson SB	۰/۰۷۰	۰/۰۸۸	۰/۰۹۱	Johnson SB	۰/۰۵۱	۰/۰۷۶	۰/۰۶۴	زنجان
Weibull	۰/۰۶۸	۰/۰۹۸	۰/۱۱۰	Gen. Extreme Value	۰/۰۶۶	۰/۰۷۳	۰/۰۷۴	بابلسر
Dagum (4P)	۰/۰۴۶	۰/۰۵۵	۰/۰۵۹	Gen. Extreme Value	۰/۰۶۶	۰/۰۷۰	۰/۰۸۶	رامسر
Johnson SB	۰/۰۵۹	۰/۰۶۵	۰/۰۶۷	Johnson SB	۰/۰۵۳	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	رشت

\*: آماره کلموگروف-اسمیرنوف؛ آماره کلموگروف-اسمیرنوف نشان‌دهنده قدرمطلق حداکثر تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر تخمین زده شده از توزیع‌های تئوری می‌باشد و اگر این آماره مقداری کمتر از مقدار بحرانی داشته باشد، نشان‌دهنده این امر است که تفاوت معنی‌داری بین توزیع تجربی داده‌ها و توزیع تئوری وجود ندارد.

جدول ۵ متوسط اختلاف آماره کلموگروف-اسمیرنوف توزیع برتر با دو توزیع رایج جهت تعیین دو شاخص  $RDI$  و  $SPI$  سالانه را در چهار اقلیم مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول ۵، کمترین مقدار اختلاف بین دو توزیع رایج و توزیع برتر، در تعیین دو شاخص  $RDI$  و  $SPI$  به ترتیب، مربوط به دو اقلیم مرطوب و بسیار مرطوب بود. به عبارت دیگر، سری زمانی بارندگی سالیانه (برای تعیین مقدار سالانه شاخص  $SPI$ )، از توزیع‌های نرمال یا گاما در اقلیم مرطوب بیشتر از سه اقلیم دیگر تبعیت می‌کند. سری زمانی سالانه نسبت بارش به تبخیر-تعرق پتانسیل (برای تعیین مقدار سالانه شاخص  $RDI$ ) نیز از دو توزیع لاگ‌نرمال یا گاما در اقلیم بسیار مرطوب بیشتر از سه اقلیم دیگر پیروی می‌کند.

نتایج به دست آمده از جدول ۴ مشابه نتایج مساعدی و قبائی‌سوق (۱۳۹۰) و قبائی‌سوق و مساعدی (۱۳۹۲) می‌باشد. توزیع گاما در مطالعه مساعدی و قبائی‌سوق (۱۳۹۰) در تعیین شاخص  $SPI$  سالانه در ده ایستگاه از یازده ایستگاه مورد بررسی مناسب‌ترین توزیع نبود. در مطالعه قبائی‌سوق و مساعدی (۱۳۹۲) نیز توزیع لاگ‌نرمال در تعیین شاخص  $RDI$  سالانه در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد بررسی به عنوان مناسب‌ترین توزیع انتخاب نشد. اما ایشان نیز با توجه به مقادیر  $D_{max}$  در مطالعه خود، همانند مطالعه حاضر، بیان داشتند که دلیلی برای رد فرض صفر مبنی بر عدم برآزش این توزیع‌ها با داده‌های مورد بررسی وجود ندارد و باید پیروی سری داده‌ها از این توزیع‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول ۵- متوسط اختلاف آماره کلموگروف-اسمیرنوف توزیع برتر با دو توزیع رایج کاربردی در تعیین دو شاخص  $RDI$  و  $SPI$

رتبه	شاخص $RDI$ (سالانه)		شاخص $SPI$ (سالانه)			نوع اقلیم
	رتبه	توزیع برتر و گاما	رتبه*	توزیع برتر و گاما	توزیع برتر و نرمال	
۳	۴	۰/۰۲۹	۴	۰/۰۴۴	۰/۰۳۳	خشک
۲	۲	۰/۰۱۳	۳	۰/۰۱۶	۰/۰۲۲	نیمه خشک
۴	۳	۰/۰۳۰	۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	مرطوب
۱	۱	۰/۰۰۸	۲	۰/۰۱۳	۰/۰۲۱	بسیار مرطوب

\*: رتبه‌بندی از مقادیر کمتر به بیشتر می‌باشد.



مقادیر سالانه بارندگی یا نسبت بارش بر تبخیر- تعرق پتانسیل، خصوصا در ایستگاه های واقع در اقلیم های خشک که تحلیل صحیح خشکسالی در آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است، استفاده نمود.

مجموع تغییر فراوانی (دفعات وقوع) هر یک از وضعیت های مختلف خشکسالی تعریف شده بر اساس شاخص *SPI* و یا *RDI* بر مبنای تغییر نوع توزیع برازش یافته بر سری داده های ایستگاه های مورد مطالعه به طور مقایسه ای و به ترتیب در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است.

همچنین نتایج جدول ۵ نشان می دهد که در شاخص *SPI*، اختلاف بین توزیع برتر با دو توزیع رایج برای محاسبه آن، در اقلیم خشک و در شاخص *RDI*، اختلاف بین توزیع برتر با دو توزیع رایج برای محاسبه آن، در دو اقلیم مرطوب و خشک بیشتر است. بنابراین ملاحظه می شود که به طور متوسط، کاربرد دو توزیع رایج در محاسبه شاخص ها در هیچ کدام از اقلیم ها دارای بیشترین دقت نمی باشد و برای محاسبه این شاخص ها بهتر است از مناسب ترین تابع توزیع برازش یافته بر

جدول ۶- مجموع تغییر دفعات وقوع وضعیت های مختلف خشکسالی بر مبنای شاخص *SPI* سالانه با انتخاب مناسب ترین تابع توزیع احتمال.

توزیع گاما و توزیع برتر					توزیع نرمال و توزیع برتر				
مجموع	ایستگاه	مجموع	ایستگاه	مجموع	ایستگاه	مجموع	ایستگاه	مجموع	ایستگاه
۲	قزوین	۸	تهران	۲	آبادان	۴	قزوین	۰	تهران
۴	سنندج	۸	یزد	۶	اهواز	۴	سنندج	۱۰	یزد
۱۰	شهرکرد	۱۲	زاهدان	۰	بم	۰	شهرکرد	۱۲	زاهدان
۲	شیراز	۰	اراک	۴	بندرعباس	۴	شیراز	۶	اراک
۴	تبریز	۰	همدان	۱۲	بیرجند	۶	تبریز	۴	همدان
۱۰	تربت-حیدریه	۴	کرمانشاه	۴	بوشهر	۲	تربت-حیدریه	۴	کرمانشاه
۱۰	زنجان	۱۲	خرم آباد	۱۲	اصفهان	۶	زنجان	۸	خرم آباد
۴	بابلسر	۴	خوی	۶	کرمان	۶	بابلسر	۸	خوی
۰	رامسر	۶	مشهد	۶	سبزوار	۴	رامسر	۱۰	مشهد
۸	رشت	۴	ارومیه	۶	شاهرود	۸	رشت	۴	ارومیه

جدول ۷- مجموع تغییر دفعات وقوع وضعیت های مختلف خشکسالی بر مبنای شاخص *RDI* سالانه با انتخاب مناسب ترین تابع توزیع احتمال.

توزیع گاما و توزیع برتر					توزیع لاگ نرمال و توزیع برتر				
مجموع	ایستگاه	مجموع	ایستگاه	مجموع	ایستگاه	مجموع	ایستگاه	مجموع	ایستگاه
۴	قزوین	۶	تهران	۸	آبادان	۲	قزوین	۱۲	تهران
۶	سنندج	۴	یزد	۸	اهواز	۶	سنندج	۶	یزد
۰	شهرکرد	۶	زاهدان	۱۰	بم	۸	شهرکرد	۴	زاهدان
۰	شیراز	۴	اراک	۱۰	بندرعباس	۶	شیراز	۲	اراک
۲	تبریز	۲	همدان	۱۸	بیرجند	۰	تبریز	۴	همدان
۲	تربت-حیدریه	۸	کرمانشاه	۶	بوشهر	۴	تربت-حیدریه	۱۰	کرمانشاه
۴	زنجان	۸	خرم آباد	۸	اصفهان	۶	زنجان	۲	خرم آباد
۸	بابلسر	۶	خوی	۱۰	کرمان	۸	بابلسر	۱۰	خوی
۰	رامسر	۱۱	مشهد	۱۶	سبزوار	۲	رامسر	۱۱	مشهد
۸	رشت	۴	ارومیه	۴	شاهرود	۸	رشت	۸	ارومیه

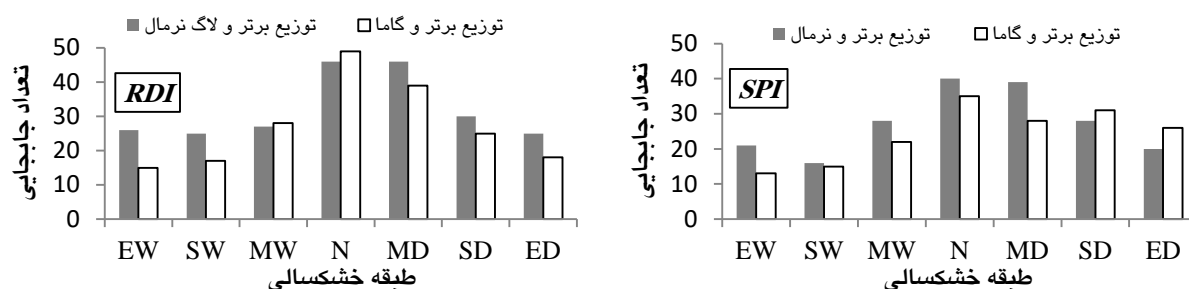
وقوع وضعیت‌های مختلف خشکسالی نسبت به شاخص *SPI* خواهد شد.

شکل ۱ مجموع تغییرات فراوانی (دفعات وقوع) هر یک از وضعیت‌های مختلف خشکسالی تعریف شده بر اساس دو شاخص *SPI* و *RDI* بر مبنای تغییر نوع توزیع برازش یافته بر سری داده‌های آماری را در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج این شکل با نتایج دو جدول ۶ و ۷ همخوانی دارد.

مقدار نتایج شاخص‌های  $R^2$  و *RMSE* جهت مقایسه مقادیر سری زمانی سالانه دو شاخص خشکسالی *SPI(S)* و *RDI(S)* محاسبه شده بر اساس مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال، برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۸ ارائه شده است. با توجه به مقادیر بالای  $R^2$  و مقادیر پایین *RMSE* در جدول ۸ ملاحظه می‌شود که مقادیر سری زمانی دو شاخص خشکسالی *SPI* و *RDI* در هر چهار اقلیم نتایج تقریباً یکسانی ارائه داده‌اند. نتایج آماره  $t$  نیز نشان می‌دهد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین مقادیر کمی دو شاخص در هیچ‌کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه وجود ندارد. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده از جدول ۸، حداکثر مقدار آماره *RMSE* (۰/۴۳۴) و حداقل مقدار آماره  $R^2$  (۰/۸۱۹) مربوط به ایستگاه کرمانشاه می‌باشد. رفتار مشابه دو شاخص *RDI* و *SPI*، علاوه بر تحقیق حاضر، نتیجه حاصل از تحقیق شکوهی (۱۳۹۱)، اسدی و وحدت (۲۰۱۳) و زهتابیان و همکاران (۲۰۱۳) می‌باشد. بر اساس نتایج اسدی و وحدت (۲۰۱۳)، بیشترین همبستگی بین مقادیر کمی دو شاخص *RDI* و *SPI*، مربوط به مقیاس زمانی سالانه که مقیاس مورد مطالعه در تحقیق حاضر است، می‌باشد. زیرا بر طبق نتایج، پارامتر بارندگی در خشکسالی‌های با مقیاس زمانی طولانی‌تر، موثرتر می‌باشد. در مقابل، تأثیر پارامتر تبخیر-تعرق پتانسیل که در تعیین شاخص *RDI* مورد استفاده قرار می‌گیرد، با افزایش بازه زمانی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، تأثیر پارامتر تبخیر-تعرق در محاسبه شاخص خشکسالی *RDI* ماهانه (به عنوان مثال ۳ ماهه) بیشتر از تأثیر این پارامتر در محاسبه شاخص خشکسالی *RDI* سالانه می‌باشد.

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که در نه ایستگاه، توزیع نرمال نسبت به توزیع گاما و در ۱۶ ایستگاه، توزیع گاما نسبت به توزیع نرمال شاخص *SPI* را با اختلاف کمتر از توزیع برتر برآورد نموده است. در بررسی شاخص *RDI* در جدول ۷ نیز در هشت ایستگاه، توزیع لاگ نرمال نسبت به توزیع گاما و در ۱۵ ایستگاه، توزیع گاما نسبت به توزیع لاگ نرمال شاخص *RDI* را با اختلاف کمتر از توزیع برتر برآورد نموده است. همچنین، بر اساس نتایج دو جدول مذکور، اختلاف تغییر دفعات وقوع وضعیت‌های مختلف خشکسالی تعریف شده بر اساس شاخص‌های *SPI* و *RDI* که به جای توزیع برتر توسط دو توزیع رایج محاسبه شده‌اند، به ترتیب در پنج و هفت ایستگاه با هم برابر است. بنابراین، توزیع گاما در تعیین هر دو شاخص، نسبت به توزیع دیگر در اکثر ایستگاه‌ها اختلاف کمتری با توزیع برتر دارد. در شاخص *SPI*، با برازش توزیع نرمال بر داده‌های بارندگی، دو ایستگاه تهران و شهرکرد و با برازش توزیع گاما، چهار ایستگاه بم، اراک، همدان و رامسر دارای تغییر فراوانی نبودند. در تعیین شاخص *RDI*، نیز با برازش توزیع لاگ-نرمال بر داده‌های نسبت بارش به تبخیر-تعرق پتانسیل، ایستگاه تبریز و با برازش توزیع گاما، سه ایستگاه شهرکرد، شیراز و رامسر بدون تغییر در فراوانی وقوع بودند. البته لازم به ذکر است همان‌طور که اشاره شد، در ایستگاه بم توزیع برتر، توزیع گاما بود.

بر اساس نتایج دو جدول ۶ و ۷، تغییر دفعات وقوع وضعیت‌های مختلف خشکسالی در باقی ایستگاه‌ها در تعیین شاخص *SPI*، برای توزیع نرمال از ۲ تا ۱۴ مورد و برای توزیع گاما از ۲ تا ۱۲ مورد متغیر است. در تعیین شاخص *RDI* نیز این مقادیر برای توزیع لاگ نرمال از ۲ تا ۱۶ مورد و برای توزیع گاما از ۲ تا ۱۸ مورد در نوسان است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که شاخص *RDI* حساس‌تر از شاخص *SPI* جهت انتخاب تابع توزیع مناسب برای برازش داده‌های آماری می‌باشد. در نتیجه، در مطالعاتی که پایش خشکسالی را بر مبنای این شاخص انجام می‌دهند، عدم دقت در انتخاب توزیع مناسب برای برازش مقادیر بارش به تبخیر-تعرق پتانسیل در اکثر ایستگاه‌های کشور، موجب ایجاد تغییر زیاد در دفعات



شکل ۱- مجموع تغییرات فراوانی وضعیت های مختلف خشکسالی بر مبنای دو شاخص خشکسالی SPI و یا RDI سالانه با انتخاب مناسب ترین تابع توزیع احتمال در همه ایستگاه های مورد مطالعه.

جدول ۸- نتایج شاخص های آماری جهت مقایسه سری زمانی سالانه دو شاخص SPI(S) و RDI(S) (محاسبه شده بر اساس مناسب ترین تابع توزیع احتمال) در ایستگاه های مورد مطالعه.

$t$	$R^2$	RMSE	نام ایستگاه	$t$	$R^2$	RMSE	نام ایستگاه	$t$	$R^2$	RMSE	نام ایستگاه
۰/۰۰۵	۰/۹۲۶	۰/۲۷۲	قزوین	۰/۰۹۵	۰/۹۷۱	۰/۱۷۰	تهران	۰/۰۸۱	۰/۹۷۷	۰/۱۵۶	آبادان
۰/۰۱۹	۰/۹۴۴	۰/۲۳۸	سنندج	۰/۱۱۱	۰/۹۵۶	۰/۲۱۳	یزد	۰/۰۱۱	۰/۹۰۹	۰/۳۰۳	اهواز
۰/۰۲۷	۰/۹۳۷	۰/۲۵۰	شهرکرد	۰/۱۲۶	۰/۹۳۴	۰/۲۵۷	زاهدان	۰/۰۷۳	۰/۹۲۲	۰/۲۹۱	بم
۰/۰۳۱	۰/۹۶۸	۰/۱۷۸	شیراز	۰/۰۱۰	۰/۹۷۱	۰/۱۷۱	اراک	۰/۲۶۳	۰/۹۷۳	۰/۱۷۲	بندرعباس
۰/۰۳۵	۰/۹۵۷	۰/۲۰۶	تبریز	۰/۰۱۰	۰/۹۵۷	۰/۲۰۶	همدان	۰/۰۳۴	۰/۸۹۵	۰/۳۱۹	بیرجند
۰/۲۹۲	۰/۹۵۲	۰/۲۳۸	تربت حیدریه	۰/۰۰۳	۰/۸۱۹	۰/۴۳۴	کرمانشاه	۰/۴۱۹	۰/۹۵۴	۰/۲۶۷	بوشهر
۰/۰۰۴	۰/۹۰۵	۰/۳۰۷	زنجان	۰/۳۱۵	۰/۸۹۶	۰/۳۳۷	خرم آباد	۰/۰۲۱	۰/۹۸۴	۰/۱۲۴	اصفهان
۰/۳۲۲	۰/۸۶۱	۰/۴۰۵	بابلسر	۰/۰۰۲	۰/۹۰۵	۰/۳۰۵	خوی	۰/۰۳۵	۰/۸۳۰	۰/۴۲۷	کرمان
۰/۰۲۶	۰/۹۰۲	۰/۳۱۲	رامسر	۰/۰۴۷	۰/۹۴۶	۰/۲۲۸	مشهد	۰/۰۰۲	۰/۹۱۵	۰/۲۹۲	سبزوار
۰/۰۰۱	۰/۹۱۱	۰/۲۹۶	رشت	۰/۰۴۸	۰/۹۳۲	۰/۲۶۶	ارومیه	۰/۳۷۱	۰/۸۴۶	۰/۴۲۶	شاهرود

### نتیجه گیری کلی

مورد بررسی نبودند؛ هر چند که مقدار این آماره در اکثر ایستگاه ها کمتر از مقدار بحرانی برای توابع توزیع اشاره شده بود، اما مقدار آن برای این توابع توزیع نسبت به تابع توزیع برتر بیشتر بود. بدین معنی که توابع توزیع مناسب تر دیگری جهت برازش سری داده های مورد مطالعه در اکثر ایستگاه ها وجود دارد که با استفاده از آن می توان کیفیت پایش خشکسالی را با افزایش دقت تعیین دو شاخص SPI و RDI ارتقا بخشید.

استفاده از توابع توزیع رایج به جای تابع توزیع برتر در تعیین هر دو شاخص SPI و RDI سالانه، باعث تغییر فراوانی و در نتیجه جایابی طبقات مختلف خشکسالی در اکثر ایستگاه ها شد.

در این تحقیق ضمن بررسی مناسب بودن برازش تابع توزیع نرمال و گاما بر مقادیر بارش سالانه و برازش تابع توزیع لاگ نرمال و گاما بر مقادیر سالانه نسبت بارش به تبخیر- تعرق پتانسیل و همچنین انتخاب مناسب ترین تابع توزیع احتمال، سعی شده است تا مقادیر سری زمانی سالانه مربوط به دو شاخص خشکسالی SPI و RDI با هم مورد مقایسه قرار گیرند.

بر اساس آماره نکویی برازش کلموگروف- اسمیرنوف، نتیجه گرفته شد که توابع توزیع نرمال و گاما در تعیین شاخص SPI سالانه و لاگ نرمال و گاما در تعیین شاخص RDI سالانه در اکثر ایستگاه های مورد بررسی مناسب ترین تابع جهت برازش سری داده های

- نتایج شاخص‌های آماری نشان داد که سری زمانی سالانه دو شاخص *SPI* و *RDI* در همه ایستگاه‌ها نتایج تقریباً یکسانی ارائه داده‌اند و اختلاف کمی موجود بین این دو سری زمانی از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

- تغییر دفعات وقوع وضعیت‌های مختلف خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در تعیین شاخص‌های *SPI* و *RDI* سالانه نشان داد که شاخص *RDI* حساس‌تر از شاخص *SPI* جهت انتخاب تابع توزیع مناسب برای برآزش داده‌های آماری می‌باشد.

### منابع مورد استفاده

- Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M, 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 56. FAO, Rome, Italy.
- Asadi A and Vahdat SF, 2013. The efficiency of meteorological drought indices for drought monitoring and evaluating in Kohgilouye and Boyerahmad Province, Iran. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) 3(4): 2407-2411.
- Ghabaei Sough M and Mosaedi A. 2013. Modification of Reconnaissance Drought Index (RDI) based on the best method of evapotranspiration estimation and probability distribution function. Range and Watershed Management, 66(4): 565-582. In Persian.
- Khalili D, Farnoud T, Jamshidi H, Kamgar-Haghighi AA and Zand-Parsa S, 2011. Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones. Water Resources Management 25(6): 1737-1757.
- Lloyd-Hughes B and Saunders MA, 2002. A drought climatology for Europe. International Journal of Climatology 22: 1571-1592.
- Mohamadian A, Alizadeh A and Javanmard S. 2005. Adjusting the amount of overestimation reference evapotranspiration calculated by non-reference data in Iran. Agricultural Engineering Research, 6(23):67-84. In Persian.
- Mosaedi A and Ghabaei Sough M. 2011. Modification of Standardized Precipitation Index (SPI) Based on Relevant Probability Distribution Function. Water and Soil, 25(5): 1206-1216. In Persian.
- Nasri M and Modarres R. 2007. Regional drought analysis of Ardestan region based on two drought indices. Pajouhesh and Sazandegi 76: 167-176. In Persian.
- Shah R, Bharadiya N and Manekar V, 2015. Drought index computation using Standardized Precipitation Index (SPI) method for Surat district, Gujarat. Aquatic Procedia 4: 1243-1249.
- Shamsnia SA, 2014. Comparison of Reconnaissance Drought Index (RDI) and Standardized Precipitation Index (SPI) for drought monitoring in arid and semiarid regions. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences 4(3): 39-44.
- Shokoohi A. (2012) Comparison of SPI and RDI in drought analysis in local scale with emphasizing on agricultural drought (Case study: Qazvin and Takestan). Irrigation and Water Engineering, 3(9): 111-122. In Persian.
- Sonmez FK, Komuscu AU, Erkan A and Turgu E, 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. Natural Hazards 35: 243-264.
- Tsakiris G and Vangelis H, 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. European Water 9/10: 3-11.
- Tsakiris G, Pangalou D and Vangelis H, 2007. Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). Water Resources Management 21(5): 821-833.
- Vangelis H, Tigkas D and Tsakiris G, 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. Arid Environments 88: 130-140.
- Zandilak H, Fouladmand HR and Boostani F. 2014. Evaluation of the wheat agricultural drought return period in the province of Fars using RDI index. Water Resources Engineering 7: 1-10. In Persian.
- Zehtabian G, Karimi K, Nakhaee nezhad fard S, Mirdashtvan M and Khosravi H, 2013. Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in South Khorasan Province in Iran. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1(9): 981-992.