



Evaluation and Comparison of Different Meteorological Drought Indices and Determination of Relevant Index in Fars Province

Mona Massoodi¹ | Massoud Goodarzi^{2✉} | Abolfazl Moeini³ | Baharak Motamedvaziri⁴

1. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. E-mail: mona.massoodi@srbiau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Drought and Climate Change, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI) AREEO, Tehran, Iran. E-mail: m.goodarzi@areeo.ac.ir
3. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. E-mail: moeini@srbiau.ac.ir
4. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. E-mail: b-motamed@srbiau.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 29 March 2022

Received in revised form

18 August 2024

Accepted 7 September 2024

Published online 30 September 2024

Keywords:

Cross-Correlation

Drought

Fars Province

Precipitation

SPI

ABSTRACT

Objective: Drought is one of the climatological phenomena that affect the vast majority of Iran, including Fars Province, in terms of metrological, hydrological, agricultural and socio-economical aspects. Quantitative description and monitoring of this phenomenon requires the utilization of drought indices.

Research Methodology: To evaluate various drought indices in the Fars province, temperature, precipitation, and evaporation data of 113 stations in and close to the province (including synoptic, climatological stations and rain gauge stations) were collected and analyzed for 51 years (1966-2016). Additionally, 9 drought indices including SPEI, SIAP, DI, SPI, PN, MCZI, CZI, RDI and ZSI were employed. After ensuring data randomness, homogeneity, and normality, the three evaluation methods of minimum rainfall, normal distribution, and cross-correlation were utilized to select the most efficient drought index.

Findings: The SPEI index has the lowest difference between different drought classes compared to other indices based on the normal distribution method. According to the cross-correlation method, ZSI index has the highest correlation and similarity with the SPI index. Also, the minimum rainfall method showed that all indicators in the years of minimum rainfall show very severe and severe drought classes and this method cannot be a criterion for selecting the appropriate drought index.

Conclusion: In six years out of the 30-year period under evaluation, widespread severe drought had occurred across the province which include the years 1984, 1989, 1994, 2000, 2008, and 2009. Assessment of the indices for ten selected stations across the province indicated the two SIAP and RAI indices to yield similar outcomes.

Cite this article: Massoodi, M., Goodarzi, M., Moeini, A., & Motamedvaziri, B. (2024). Evaluation and Comparison of Different Meteorological Drought Indices and Determination of Relevant Index in Fars Province. *Journal of Crops Improvement*, 26 (3), 605-620. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2024.334031.2693>





ارزیابی و مقایسه نمایه‌های مختلف خشکسالی هواشناسی و تعیین نمایه مناسب در استان فارس

منا مسعودی^۱ | مسعود گودرزی^۲ | ابوالفضل معینی^۳ | بهارک معتمدوزیری^۴

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. رایانامه: mona.massoodi@srbiau.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه خشکسالی و تغییر اقلیم، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: m.goodarzi@areeo.ac.ir

۳. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. رایانامه: moeini@srbiau.ac.ir

۴. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. رایانامه: b-motamed@srbiau.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

هدف: خشکسالی یکی از پدیده‌های اقلیمی است که در پهنه وسیعی از کشور ایران از جمله استان فارس به اشکال متفاوت هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی قابل مشاهده است. برای بیان کمی این پدیده و پایش آن نیاز به استفاده از نمایه‌های خشکسالی می‌باشد.

روش پژوهش: به منظور ارزیابی نمایه‌های مختلف خشکسالی در استان فارس از اطلاعات دما، تبخیر و بارش ۱۱۳ ایستگاه هواشناسی در داخل و مجاور استان در یک دوره آماری ۵۱ ساله (۹۵-۱۳۴۵) و همچنین نه نمایه خشکسالی شامل SPEI، SIAP، DI، SPI، PNI، MCZI، CZI، RDI و ZSI استفاده شد. پس از اطمینان از تصادفی بودن، همگن بودن و نرمال بودن داده‌ها، به منظور انتخاب بهترین نمایه خشکسالی از سه روش ارزیابی کمینه مقدار بارش، توزیع نرمال و همبستگی متقابل استفاده شد.

یافته‌ها: نمایه SPEI دارای کمترین میزان اختلاف طبقات مختلف خشکسالی نسبت به سایر نمایه‌ها براساس روش توزیع نرمال است. براساس روش همبستگی متقابل نمایه ZSI دارای بیشترین همبستگی و مشابهت با نمایه SPI می‌باشد. همچنین روش کمینه مقدار بارش نشان داد که کلیه نمایه‌ها در سال‌های کمینه بارش، طبقات خشکسالی خیلی شدید و شدید را نشان می‌دهند و لذا این روش نمی‌تواند معیاری برای انتخاب نمایه مناسب خشکسالی باشد.

نتیجه گیری: در شش سال از ۳۰ سال مورد بررسی، اکثراً خشکسالی شدید فراگیر در استان رخ داده است که به ترتیب شامل سال‌های ۶۳-۱۳۶۲، ۶۸-۱۳۶۷، ۷۳-۱۳۷۲، ۷۹-۱۳۷۸، ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷ می‌باشد. بررسی نتایج نمایه‌ها برای تعداد ۱۰ ایستگاه نمونه در سطح استان نشان داد دو نمایه SIAP و RAI نتایج همسانی را دارند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

کلیدواژه‌ها:

استان فارس

نمایه‌های خشکسالی

بارش

همبستگی متقابل

SPI

استناد: مسعودی، منا؛ گودرزی، مسعود؛ معینی، ابوالفضل و معتمدوزیری، بهارک (۱۴۰۳). ارزیابی و مقایسه نمایه‌های مختلف خشکسالی هواشناسی و تعیین نمایه مناسب در استان فارس. *به زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۳)، ۶۰۵-۶۲۰. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2024.334031.2693>



۱. مقدمه

پدیده خشکسالی یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که جمعیت‌های انسانی زیادی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، فراوانی این پدیده از نظر درجه شدت، طول مدت، مجموع فضای تحت پوشش، تلفات جانی، خسارت‌های اقتصادی و اثرات اجتماعی درازمدت در جامعه، بیش‌تر از سایر بلایای طبیعی بوده است. هم‌چنین تمایز این پدیده با سایر بلایای طبیعی در این است که بر خلاف سایر بلایای این پدیده به تدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل کرده و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تأخیر بیش‌تری نسبت به سایر بلایای طبیعی ظاهر شود (علیپور و همکاران، ۱۳۹۶). این پدیده محدودیت و کمبود منابع آب، محدودیت رشد گیاهان، تغییرات زمانی و مکانی به‌همراه بارش، افزایش تبخیر-تعرق و دما و دیگر پارامترها را به‌همراه دارد که بروز آن سبب عدم تعادل طبیعی در مقیاس ناحیه‌ای و منطقه‌ای می‌شود و اثرات این مسئله می‌تواند تغییرات منابع کشاورزی و منابع آب را به‌همراه داشته باشد (رضانی^۱، ۲۰۰۵). بخش وسیعی از خشکسالی‌های جهان در ایران است و بخش گسترده‌ای از کشور با خشکی مواجهه است (سرحدی و همکاران، ۱۳۸۸). کشور ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک واقع شده که میانگین بارش آن در حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد که تقریباً یک‌چهارم میانگین جهانی است و حدود ۸۰ درصد آن تحت تأثیر اقلیم خشک و نیمه‌خشک است (اربابی‌سبزواری، ۱۳۸۹). بنابراین ارزیابی، پایش و پهنه‌بندی خشکسالی‌ها با استفاده از نمایه‌های مختلف خشکسالی ضروری است.

۲. پیشینه پژوهش

در این راستا رحیمی بندرآبادی و همکاران (۱۴۰۲) پایش خشکسالی در حوزه آبخیز دریاچه خزر را انجام داده و تواتر وقوع خشکسالی‌های با شدت و تداوم‌های مختلف را مدنظر قرار دادند. چمنی و همکاران (۱۴۰۲)، تأثیر خشکسالی را بر سلامت حوزه آبخیز در مواجهه با خشکسالی به‌عنوان یک مخاطره محیطی را ارزیابی نموده و در این تحقیق تأثیرات خشکسالی از ۱۳۸۴ لغایت ۱۳۹۸ بر سلامت حوزه را مبتنی بر تغییرات پایانی و تاب‌آوری و آسیب‌پذیری بررسی کردند. نساجیان زواره و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از نمایه‌های SPI^2 , RDI^3 , GRI^4 در پایه‌های زمانی سه، شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه نقش خشکسالی در مدیریت جامع آب را بررسی نمودند. هلوآتورا^۵ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از سه نمایه RDI , SPI , SPE به بررسی خشکسالی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت در استرالیا پرداختند. نتایج نشان داد که خشکسالی‌ها شدید و کوتاه‌مدت در اغلب مناطق با آب‌وهوای گرمسیری و معتدل روی می‌دهند. هومدی^۶ و همکاران (۲۰۱۶)، به ارزیابی نمایه‌های مختلف خشکسالی در حوزه رودخانه Chi در تایلند پرداختند. نتایج نشان داد نمایه‌های $SPEI$ و $SPAEI$ دقت بیش‌تری در تشخیص تغییرپذیری شدت خشکسالی نسبت به نمایه SPI دارند. محمد^۷ و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از نمایه RDI به تشخیص خطر بالقوه خشکسالی در مناطق پست حوزه زاب در ایران و عراق پرداختند. نتایج نشان داد بسیاری از مناطق این حوزه با خشکسالی عمده‌ای مواجه خواهد بود. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از داده‌های ۴۴ ایستگاه استان فارس طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۸ نمایه خشکسالی SPI را برای فصل رشد گیاهان محاسبه کردند و نقشه‌های SPI را با استفاده از روش کربجینگ معمولی و در پنج کلاس از نظر شدت خشکسالی تهیه کردند. اسکندری دامنه و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از دو نمایه SPI و نمایه

1. Ramezani
2. Standardized Precipitation Index
3. Recalimation Drought Index
4. Ground water Resource Index
5. Halwatura
6. Homdee
7. Mohammad

خشکسالی جریانات رودخانه‌ای به ارزیابی خشکسالی در استان تهران پرداختند. براساس نتایج وقوع خشکسالی هواشناسی به‌صورت کوتاه‌مدت یا با تأخیر یک‌ماهه بیش‌ترین تأثیر را در وقوع خشکسالی هیدرولوژیک دارد. قبائی سوق و همکاران (۱۳۹۵) ضرورت پایش خشکسالی براساس نمایه‌های چندمتغیره را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که پایش جامع خشکسالی زمانی محقق می‌شود که تمامی متغیرهای مؤثر بر انواع خشکسالی‌ها منظور شوند. علیپور و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی و مقایسه ۸ نمایه خشکسالی هواشناسی در ایران مرکزی پرداختند. نتایج نشان داد که در مقیاس ماهانه فقط نمایه SPI توانایی پایش خشکسالی در منطقه مورد مطالعه را دارد. نسب‌پور و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی در ایران با استفاده از پنج نمایه اقلیمی، توپوگرافی، تراکم آبراهه، کاربری اراضی و منابع آب زیرزمینی پرداختند. نتایج نشان داد نواحی مرکزی، جنوبی و جنوب‌شرقی ایران به‌طور عمده در دو کلاس آسیب‌پذیری خیلی کم یا خیلی زیاد قرار می‌گیرند.

استان فارس طی چند دهه گذشته خشکسالی و کمبود شدید بارش کم‌تر از میانگین بلندمدت را تجربه کرده است. این کمبودها در مناطق نسبتاً پُر آب نیز مشهود بوده و در چند سال اخیر بخش‌های مختلف به‌ویژه بخش کشاورزی و منابع طبیعی را تهدید نموده است. علاوه بر کمبود بارش، توزیع نامناسب فصلی بارش موجب تشدید اثرات زیانبار خشکسالی گردیده است. توزیع نامناسب فصلی بارش از جمله خصوصیات است که ریسک‌پذیری زراعت را افزایش داده و همواره کلیه برنامه‌ریزی‌ها را تهدید می‌کند. لذا هدف پژوهش حاضر این است تا با ارزیابی و مقایسه نمایه‌های مختلف خشکسالی بهترین نمایه جهت پایش خشکسالی در استان فارس را معرفی نماید و شدیدترین خشکسالی‌ها در استان را براساس آن پهنه‌بندی نماید. نتایج این بررسی می‌تواند در ایجاد استراتژی مدیریت پیشگیری از خسارت‌های و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی موجود به‌عنوان بخشی از عوامل ایجاد و تشدید بحران آب، کاربرد داشته باشد. استان فارس دارای تنوع اقلیمی است و در عین حال در سال‌های اخیر یکی از مهم‌ترین قطب‌های تولید گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک مؤثر در امنیت غذایی کشور مطرح شده است. از آنجاکه خشکسالی یکی از عمده‌ترین مخاطراتی است که تولیدات کشاورزی و به‌ویژه گندم را تهدید می‌نماید لازم بود هم پایش خشکسالی با نمایه‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد و هم تحلیل فضایی این مخاطره در استان انجام شود، به‌علاوه چندسالی است نمایه‌ای تحت عنوان SIAP معرفی شده است که لازم است با نمایه‌های رایج مورد مقایسه قرار گیرد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳.۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، استان فارس با مساحتی بالغ بر ۱۲۳۱۲۷ کیلومترمربع در جنوب ایران است که ۷/۲ درصد از مساحت کشور را در بر می‌گیرد (سالنامه آماری کشور، ۱۳۸۵). از لحاظ مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در جنوب ایران بین ۲۷ درجه و ۰۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی (از خط استوا) و ۵۰ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی (از نصف‌النهار مبدأ) قرار گرفته است. این استان از شمال به استان اصفهان، از شمال شرق به استان یزد، از غرب به استان‌های بوشهر و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب به استان هرمزگان و از شرق به استان‌های کرمان و یزد محدود می‌شود. مطابق مطالعات انجام‌شده در ارتباط با تفکیک نواحی دمایی کشور پهنه استان فارس دارای سه نوع دمای معتدل (متوسط دما ۱۷ درجه سانتی‌گراد)، گرم (متوسط دما ۲۰/۵ درجه سانتی‌گراد)، بسیار گرم (متوسط دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و نیمه‌سرد (متوسط دما ۱۵ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد (مسعودیان، ۱۳۹۰، ۹۳). شمال استان دارای دمای نیمه‌سرد بوده البته در چند ایستگاه حنیفان، بندپهمن و جره نیز این طیف دمایی مشاهده می‌گردد. سپس با حرکت از شمال استان به جنوب آن

به ترتیب دماهای معتدل، گرم و بسیار گرم مشاهده می‌شود. در نواحی غربی استان در همسایگی و هم‌مرزی با استان بوشهر کانون‌هایی از بیشینه دمایی استان دیده می‌شود. کم‌ترین دماها منطبق بر مرتفع‌ترین نقاط و بیش‌ترین دماها منطبق بر پست‌ترین نقاط می‌باشد.

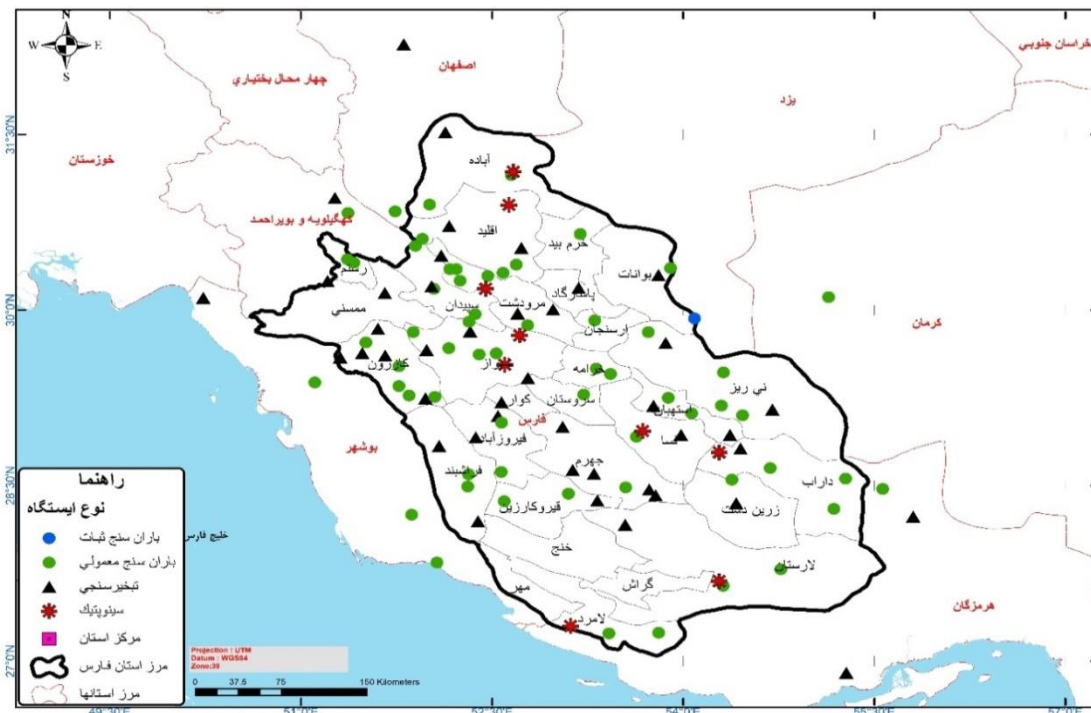
دامنه بارشی در این استان در دوره سی ساله مورد بررسی اختلاف بیش از ۸۰۰ میلی‌متر را در بیش‌ترین و کم‌ترین بارش‌های دریافتی نشان می‌دهد. این اختلاف چشم‌گیر سبب شکل‌گیری مناطق متباین بارشی شده است. بیشینه مقدار بارش با متوسط ۹۱۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر در ایستگاه بن‌رود و دشت ارژن مشاهده می‌شود. این در حالی است که مقادیر مربوط به کم‌ترین طبقه بارشی یعنی ۱۲۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های بیش‌تری رخداد داشته است. به طوری که علاوه بر مناطق جنوب شرق استان بخش‌هایی از شرق و نیز ایستگاه دژگاه در غرب منطقه هم بارشی در این دامنه تجربه نموده‌اند. در طبقه‌بندی بارشی که توسط پژوهش‌گران اقلیم‌شناسی کشور ارائه شده است جنوب استان فارس در ناحیه کم‌بارش جنوبی و قسمت‌های شمال غربی آن در ناحیه نیمه پربارش زاگرس جنوبی قرار گرفته است (مسعودیان، ۱۳۹۰).

بر اساس همین گزارش، متوسط میزان بارندگی ماهانه منطقه ۴۸/۴۵ میلی‌متر است که حداکثر آن با ۱۸۴/۲ میلی‌متر در آرمه و حداقل آن با صفر میلی‌متر در ماه‌های تیر، مهر و آبان است. متوسط رطوبت نسبی این ناحیه حداکثر ۸۴/۵ و حداقل ۱۲/۵ درصد است. تعداد روزهای یخبندان در طول سال نیز ۳۴ روز گزارش شده است. استان فارس تحت تأثیر بادهای شمالی، غربی، جنوبی و محلی نیز قرار دارد. به طوری که جریان توده‌های هوایی آن به چهار گروه تقسیم می‌شود. بادهای شمالی که از سیبری به ایران می‌وزند و بسیار سرد و خشک هستند و باعث برودت هوا در زمستان، به‌ویژه در مناطق کوهستانی می‌شود. بادهای غربی که از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه به سوی ارتفاعات زاگرس می‌وزند و جزو بادهای باران‌آوری هستند که سبب ریزش برف و باران می‌شوند. این بارندگی از اواسط پاییز آغاز می‌شود و تا اواسط بهار ادامه پیدا می‌کند. توده‌های هوای جنوبی که از عربستان به سوی استان فارس می‌وزند. این توده‌ها گرم و خشک‌اند و سبب افزایش دما در تابستان می‌شوند. بادهای محلی که از سمت کوهستان به دشت می‌وزند و عکس این مسیر را می‌پیمایند. نام یکی از آن‌ها باد قهره است که در ممسنی در امتداد رودخانه فهلیان می‌وزد.

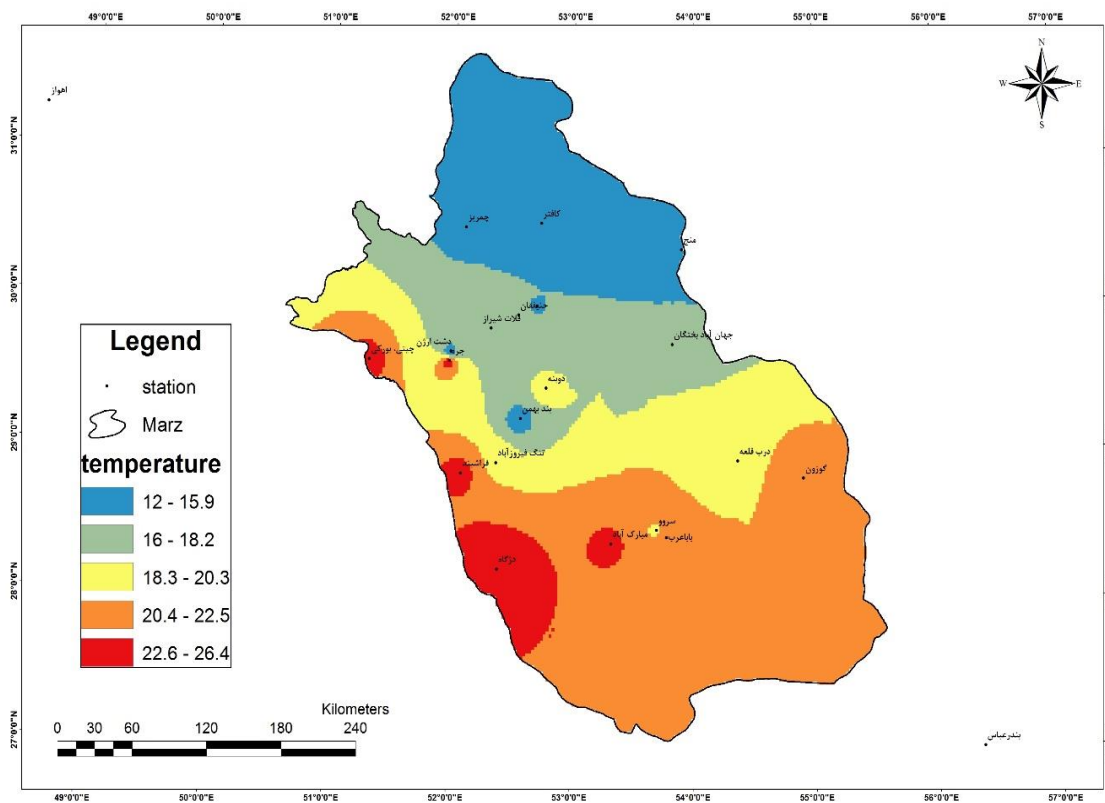
به منظور پایش خشکسالی و تغییرات مکانی آن از داده‌های دما، بارش و تبخیر تشتک در ۱۱۳ ایستگاه هواشناسی در طول دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۴۵ استفاده شد. با توجه به اهمیت موضوع و عدم وجود تعداد ایستگاه کافی در بعضی از نقاط استان فارس از ایستگاه‌های پیرامونی استان نیز استفاده شد و انتخاب ایستگاه‌ها با توجه به پراکنش مناسب در سطح استان فارس و دامنه اقلیمی و ارتفاعی منطقه انجام پذیرفت. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد بررسی به تفکیک نوع ایستگاه را نشان می‌دهد. آمار و اطلاعات ایستگاه‌های مذکور از سازمان هواشناسی و وزارت نیرو دریافت شده است.

در شکل (۲)، نقشه مربوط به پهنه‌بندی دمایی استان فارس ارائه شده است. هم‌چنین در شکل (۳) پراکندگی بارش در استان در دوره مطالعاتی ترسیم شده است.

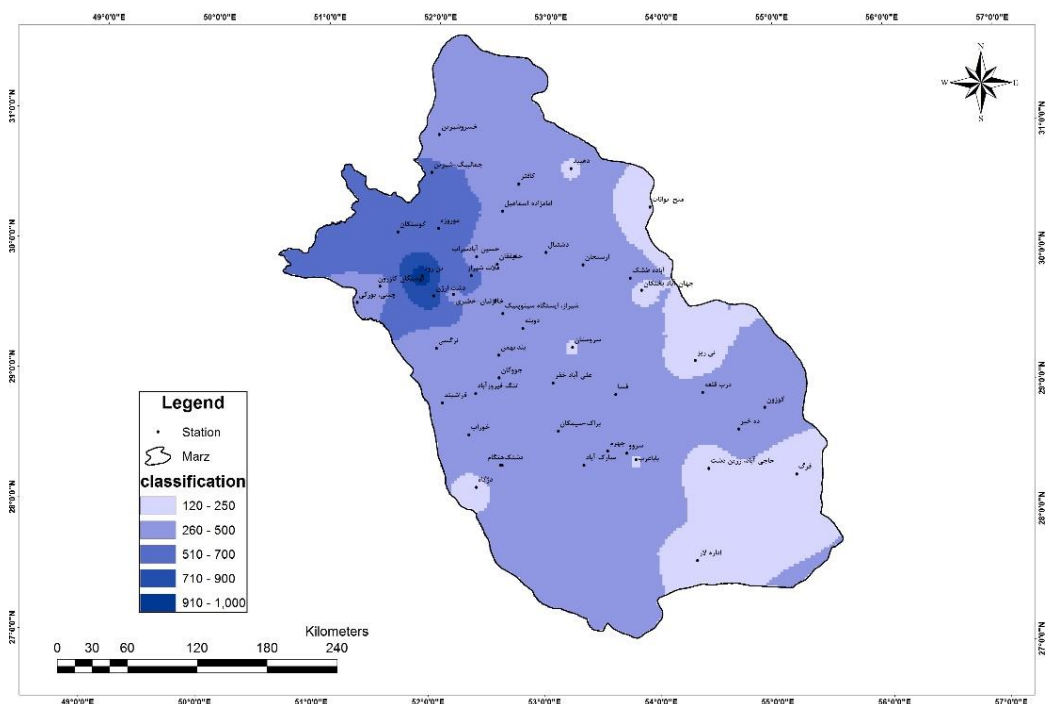
به منظور دستیابی به نتایج قابل اعتماد در تجزیه و تحلیل سری‌ها لازم است از تصادفی‌بودن داده‌ها همگنی سری‌ها اطمینان حاصل شود. برای این که ببینیم آیا داده‌هایی که تجزیه و تحلیل می‌نمائیم همگن هستند یا خیر، روش‌های آزمون زیادی وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها به دو گروه روش‌های گرافیکی و غیرگرافیکی تقسیم می‌شوند که متداول‌ترین آن‌ها عبارتند از روش جرم مضاعف و یا روش آزمون توالی یا ران تست که چون روش‌های گرافیکی دارای معیار کمی برای بیان حالت همگنی و یا غیر همگنی نیستند روش‌های کاملی به‌شمار نمی‌روند. لذا در این مطالعه نیز از روش غیرگرافیکی و ناپارامتری ران تست در نرم‌افزار SPSS مورد استفاده قرار گرفت و همگنی داده‌ها در سطح $(\alpha=0/05)$ مورد تأیید قرار گرفت.



شکل 1. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی



شکل 2. توزیع مکانی دما در استان فارس در دوره مطالعاتی



شکل ۳. توزیع مکانی بارندگی سالانه به میلی‌متر در سطح استان فارس در دوره مطالعاتی

برای سنجش نرمال‌بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف در سطح خطای ۰/۰۵ درصد بهره برده شده است. آزمون‌های ذکر شده در محیط SPSS محاسبه شده است (علیزاده، ۱۳۸۴). سپس به پایش خشکسالی پرداخته شد. در مرحله بعد به منظور تکمیل و تطویل داده‌هایی دما و بارش از روش‌های رگرسیون، نسبت‌ها و روش تفاضل‌ها استفاده گردید. نتایج تطویل داده‌ها سری‌های زمانی کامل ماهانه و سالانه متغیرهای هواشناسی مورد مطالعه بوده است. یکی از عوامل مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی هر منطقه، نمایه‌هایی است که می‌توان براساس آن‌ها میزان شدت، تداوم خشکسالی و غیره را در یک منطقه ارزیابی کرد. جهت تحلیل و پایش خشکسالی نمایه‌های متعددی در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این میان تحلیل داده‌های بارش یکی از عمومی‌ترین روش‌های تحلیل خشکسالی است. علت این امر دسترسی آسان به انواع داده‌های بارش است. از طرفی، مقادیر بارش جزء بی‌ثبات‌ترین متغیرهای آب‌وهوایی محسوب می‌شود و از این جهت می‌تواند معیار خوبی برای مطالعه خشکسالی باشد (ویل‌هایت^۱، ۲۰۰۶). در پژوهش حاضر به منظور پایش خشکسالی در استان فارس از نه نمایه خشکسالی هواشناسی استفاده شد که مشخصات آن‌ها در جدول (۲) آورده شده است. نمایه SPI که در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است براساس روابط فراوانی، مدت و بازه‌های زمانی خشکسالی است. نحوه طبقه‌بندی کلاسه‌های این نمایه در جدول زیر آمده است که بر این اساس به هفت طبقه تقسیم می‌شود. در راستای رسیدن به هدف اصلی پژوهش مبنی بر درآوردن خشکسالی‌های شدید در ادامه آستانه‌ای که در هر یک از نمایه‌های به‌عنوان آستانه خشکسالی شدید یا خیلی شدید ذکر شده بود، استخراج شد. به‌عنوان مثال، برای نمایه SPI، $1/5 \leq$ به‌عنوان آستانه خشکسالی شدید و بسیار شدید می‌باشد. این آستانه برای نمایه SIAP، آستانه بسیار خشک برابر $0/84 \leq$ در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱. تعیین درجه خشکسالی و ترسالی

ردیف	وضعیت	محدوده تغییرات
۱	ترسالی بسیار شدید	+۲ و بیش‌تر
۲	ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
۳	ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴
۴	نرمال	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹
۵	خشکسالی متوسط	-۱ تا ۱/۴۹
۶	خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
۷	خشکسالی بسیار شدید	-۲ و کم‌تر

جدول ۲. نمایه‌های خشکسالی هواشناسی مورد مطالعه

مرجع	رابطه	نمایه
(خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲)	$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{SP} \times 100$	نمایه معیار بارش سالانه
(هایس ^۱ ، ۲۰۰۶)	$PN = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100$	نمایه درصد از بارش نرمال
(گیبس ^۲ و ماهر ^۳ ، ۱۹۶۷)	$P_i = \frac{P_i}{N + 1} \times 100$	نمایه دهک‌های بارش
(تساکریس و همکاران، ۲۰۰۷)	$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\bar{\sigma}_y}$	نمایه RDI
(تریولا ^۴ ، ۱۹۹۵)	$ZSI = \frac{(X - \mu)}{\sigma}$	نمایه Z
(مک کی ^۵ و همکاران، ۱۹۹۳)	$SPI_{ik} = \frac{R_k - \bar{R}_k}{S_k} \quad i = 1, 2, 3, \dots$ $j = 1, 2, \dots, 12 \quad k = 1, 2, \dots, 6$	نمایه بارش استاندارد شده
(ویسنت-سرانو ^۶ و همکاران، ۲۰۱۰)	$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}$	نمایه بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده
(کندال ^۷ و استوارت ^۸ ، ۱۹۷۷)	$Z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left(\frac{C_{si}}{g} \varphi_{ij} + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6}$	نمایه‌های Z چینی CZI MCZI

برای محاسبه مقادیر نمایه‌های خشکسالی SPEI و RDI علاوه بر مقادیر بارش نیاز به تبخیر- تعرق می‌باشد. مقدار تبخیر- تعرق در نمایه‌های مذکور با استفاده از داده‌های بارش و میانگین دما و از طریق روش تورنت- وایت محاسبه شد (گودرزی و حسینی، ۱۳۹۷). یکی از چالش‌های اصلی در پایش خشکسالی تعیین نمایه‌ای است که متناسب با هدف موردبررسی، نتایج قابل اطمینانی را برای منطقه مورد مطالعه به‌همراه داشته باشد. لذا در این پژوهش جهت تعیین بهترین نمایه خشکسالی در منطقه مورد مطالعه از سه روش کمینه مقدار بارش، توزیع نرمال و همبستگی متقابل استفاده شد (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲). در این پژوهش برای محاسبه نمایه‌های خشکسالی از نرم‌افزارهای R (نسخه ۴،۲،۱) و DIP (نسخه ۲،۰) و هم‌چنین برای محاسبه آزمون‌های آماری از نرم‌افزار Minitab (نسخه ۱۸) استفاده شد.

1. Hayes
2. Gibbs
3. Maher
4. Triola
5. Mackee
6. Vicente-Serrano
7. Kendall
8. Stuart

۴. یافته‌ها

نتایج بررسی تصادفی بودن داده‌ها با استفاده از آزمون ران تست حاکی از معنی‌دار بودن آماره به‌منظور نشان‌دادن تصادفی بودن داده‌های بارش سالانه اکثر ایستگاه‌های انتخابی در سطح ۰/۰۵ به جز سه ایستگاه استهبان، پل تلخ و فسا معنی‌دار است. همچنین نتایج بررسی همگن بودن داده‌های بارش ایستگاه‌های موردبررسی به روش منحنی جرم مضاعف نشان داد که آمار موجود در بیش‌تر ایستگاه‌ها همگن هستند. نتایج حاصل از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بیانگر نرمال بودن داده‌ها در بیش‌تر ایستگاه‌های هواشناسی موردبررسی است.

۵. بحث

۵.۱. انتخاب نمایه مناسب براساس روش کمینه مقدار بارش

برای محاسبه خشکسالی‌های شدید در دوره مورد مطالعه در استان فارس ابتدا به محاسبه نمایه‌های مزبور برای تمام ایستگاه‌ها پرداخته شد، با توجه به این که برای تمام ایستگاه‌های منطقه به محاسبه هر نمایه در هر سال پرداخته شده است. نتایج حاصل از انتخاب نمایه مناسب براساس این روش برای برخی از ایستگاه مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. براساس نتایج در ایستگاه‌های معرف استان فارس مقارن با سال وقوع کمینه مقدار بارش تمامی نمایه‌های موردبررسی طبقه‌بندی خشکسالی بسیار شدید و شدید را نشان می‌دهند. در ایستگاه‌های منج بوانات، چوب خاله، فسا، لار و آباده در سال وقوع کمینه مقدار بارش، برخی از نمایه‌ها طبقه‌بندی خشکسالی متوسط و برخی شرایط نرمال را نشان می‌دهند. در مجموع نتایج حاصل از ارزیابی وقوع خشکسالی شدید یا بسیار شدید در سال وقوع کمینه جهت انتخاب نمایه مناسب نشان داد که در بیش‌تر نمایه‌های خشکسالی سال وقوع کمینه مقدار بارش مقارن با خشکسالی شدید یا بسیار شدیدی است که اتفاق افتاده است و از این رو انتخاب نمایه مناسب با استفاده از این روش تا حد زیادی ناممکن می‌نماید. چرا که نقش عوامل دیگر نیز در این زمینه مؤثر خواهد بود مثلاً ممکن است سالی با مقدار بارش کمینه اما با توزیع یکنواخت در طول سال سبب ایجاد خشکسالی نگردد و سالی با مقدار بارش زیاد، اما متمرکز در محدوده زمانی کوتاه سبب خشکسالی گردد. بنابراین انتخاب نمایه مناسب از روی کمینه مقدار بارش می‌تواند در برخی از سال‌ها سبب ایجاد نتایج غیرواقعی گردد. بررسی انجام‌شده نشان داد که در شش سال از ۵۱ سال موردبررسی مطابق خروجی اکثر نمایه‌ها، خشکسالی شدید فراگیر در استان رخ داده است که به ترتیب شامل سال‌های ۱۳۶۲-۶۳، ۱۳۶۷-۶۸، ۱۳۷۲-۷۳، ۱۳۷۸-۷۹، ۱۳۸۶-۸۷، ۱۳۸۷-۸۸ می‌باشد. بررسی نتایج نمایه‌ها برای تعداد ۱۰ ایستگاه نمونه در سطح استان نشان داد که دو نمایه SIAP و RAI نتایج همسانی را دارند. با توجه به همبستگی بالای نتایج این دو نمایه و در نظر گرفتن این مهم که SIAP برای اقلیم ایران طراحی شده است و در این مطالعه نیز معیار سنجش سال آبی بوده است. به‌منظور پهنه‌بندی شدت خشکسالی از روش‌های زمین آمار شامل کریجینگ ساده، معمولی و عمومی با شبیه‌های کروی، نمایی و گوسین و نیز کوکریجینگ و روش عکس فاصله بهره‌جسته شد؛ بدین منظور نرم‌افزارهای GS+ و ArcGIS10.3 به کار گرفته شد. از میان روش‌های درون‌یابی موردسنجش قرار گرفته برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی در پنج سال نام برده به ترتیب درون‌یابی کریجینگ معمولی نمایی، روش درون‌یابی کریجینگ عمومی گوسین (در دو سال ۱۳۷۲ و ۱۳۷۸)، روش درون‌یابی کریجینگ عمومی نمایی و روش درون‌یابی کریجینگ معمولی گوسین کم‌ترین خطای محاسباتی و روش کوکریجینگ بیش‌ترین خطای محاسباتی را داشتند.

جدول ۳. نتایج انتخاب بهترین نمایه براساس روش کمینه مقدار بارش در برخی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	مقدار کمینه بارش (میلی‌متر)	سال وقوع	SPI	SPEI	SIAP	DI	PN	ZSI	RAI	MCZI	CZI
شیراز	۱۱۹٫۴	۲۰۰۷-۲۰۰۸	ED	ED	SD	ED	ED	SD	ED	SD	ED
آباده	۸۵/۴	۲۰۰۷-۲۰۰۸	SD	MD	SD	ED	SD	MD	SD	SD	ED
سد درودزن	۸۴/۸	۲۰۰۷-۲۰۰۸	ED	ED	SD	ED	ED	ED	ED	ED	ED
فسا	۱۱۳/۷	۲۰۰۷-۲۰۰۸	SD	N	SD	ED	ED	MD	SD	MD	SD
اقلید	۹۴/۱	۲۰۰۷-۲۰۰۸	ED	SD	SD	ED	ED	SD	ED	ED	ED
لار	۸۰	۲۰۰۷-۲۰۰۸	SD	N	SD	ED	N	MD	SD	SD	ED

ED: Extreme Drought; SD: Severe Drought; MD: Moderate Drought; N: Normal

۵.۲. انتخاب نمایه مناسب براساس روش توزیع نرمال

میزان کمبود آب در هر گام زمانی (مثلاً ماهانه) از یک دوره خشکسالی نسبت به آستانه، شدت خشکسالی^۱ نامیده می‌شود و مجموع شدت‌ها در گام‌های متوالی یک دوره خشکسالی، تحت عنوان بزرگی خشکسالی^۲ خوانده می‌شود. شدیدترین خشکسالی تاریخی عبارت است از دوره‌ای که دارای بزرگ‌ترین تداوم بوده و بزرگ‌ترین تداوم بوده و بزرگ‌ترین مجموع کمبود نسبت به آستانه را داشته باشد. هرچه انحراف بارندگی نسبت به شرایط میانگین و یا آستانه تعیین شده بیش‌تر باشد، به همان اندازه شدت خشکسالی بیش‌تر و میزان تأثیر خشکسالی بیش‌تر نمود پیدا می‌کند. میزان استمرار خشکسالی در یک منطقه گویای شدت خشکسالی در همان منطقه است یعنی در شرایطی که خشکسالی تنها برای یک ماه استمرار داشته باشد، احتمال دارد بارش ماه بعد، کمبود ماه مذکور را جبران نماید، اما اگر ماه بعدی نیز خود نسبت به شرایط طبیعی، کمبود داشته باشد، به مراتب در شدت بخشیدن به حالت خشکسالی مؤثر خواهد بود (گودرزی و حسینی، ۱۳۹۷). در پژوهشی، استینمن^۳ (۲۰۰۳) نتیجه‌گیری می‌کند که رخدادهای شدت خشکسالی از توزیع نرمال پیروی می‌کند. بنابراین، نتایج حاصل از سایر نمایه‌های خشکسالی در صورت نزدیکی با توزیع نرمال از قابلیت بالاتری برخوردارند. براساس این روش درصد اختلاف هر یک از نمایه‌های خشکسالی با درصد توزیع نرمال در طبقات هفت‌گانه خشکسالی محاسبه شد که نتایج به‌عنوان مثال برای ایستگاه سینوپتیک شیراز در جدول (۴) ارائه شد. براساس نتایج حاصل در ایستگاه شیراز نمایه SPEI با مجموع اختلافی برابر ۱۰/۹ درصد در مجموع طبقات به‌عنوان مناسب‌ترین نمایه خشکسالی انتخاب گردید. نمایه‌های MCZI، SPI و CZI به‌ترتیب با مجموع اختلافات ۱۴/۴، ۱۷/۱ و ۱۸/۴ در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. همچنین نمایه‌های DI و SIAP با اختصاص مقادیر بزرگ مجموع اختلافات به‌عنوان نمایه‌های با اعتمادپذیری پایین برای پایش و شناسایی خشکسالی در این ایستگاه معرفی می‌شوند. براساس نتایج در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز نمایه SPEI با داشتن کم‌ترین میزان مجموع اختلافات هر طبقه از توزیع نرمال به‌عنوان بهترین نمایه خشکسالی معرفی گردید و نمایه‌های ZSI، SPI و MCZI در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این روش خشکسالی از یک پدیده نرمال تبعیت می‌کند و تا حدودی مبتنی بر یک‌سری آماره‌های خطا می‌باشد که می‌تواند با مقایسه این آماره‌ها در نمایه‌های مختلف، نمایه مناسب را انتخاب نماید. از نظر آماری توزیع مقادیر بارش به‌علت کران‌دار بودن نمی‌تواند کاملاً نرمال باشد. همچنین در سری مقادیر بارش روزهای زیادی و حتی بعضی از ماه‌ها دارای بارش صفر هستند، بنابراین دارای چولگی مثبت هستند و این چولگی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت با افزایش مقادیر صفر

1. Drought severity
2. Drought magnitude
3. Steinmann

بیش تر نیز می‌شود. بنابراین این موضوع می‌تواند بر فرض نرمال بودن پدیده خشکسالی مؤثر باشد. از طرفی دیگر، در مناطقی که خشکسالی بیش تر اتفاق می‌افتد، فرض نرمال بودن نمی‌تواند چندان صحیح باشد، زیرا براساس توزیع نرمال فراوانی طبقه‌های خشکسالی در این مناطق با دیگر مناطق که خشکسالی‌های کم‌تری دارند برابر می‌شود.

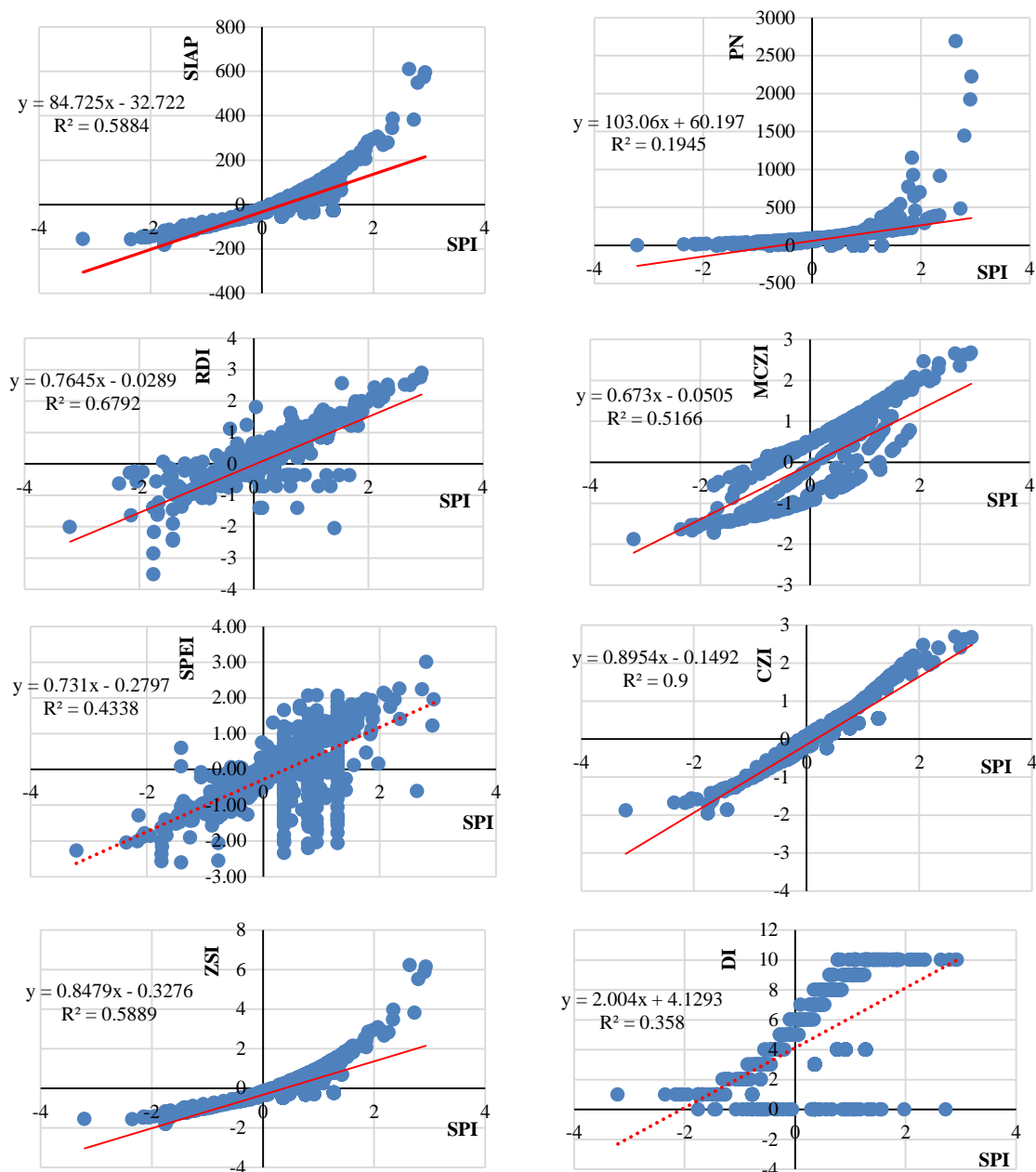
جدول ۴. نتایج انتخاب بهترین نمایه براساس مطابقت با توزیع نرمال در ایستگاه شیراز

SIAP	SPEI	RDI	DI	ZSI	MCZI	CZI	SPI	طبقات خشکسالی
۰/۱	۰/۶	۱/۱	۴/۶	۲/۳	۲/۳	۲/۳	۱/۳	خشکسالی بسیار شدید
۳/۱	۰/۹	۳/۷	۱/۳	۳/۴	۲/۷	۱/۴	۲/۶	خشکسالی شدید
۵/۸	۲	۵/۴	۱۸/۶	۴	۱/۷	۴/۷	۴/۷	خشکسالی متوسط
۱۲/۹	۳/۶	۹/۴	۳۳/۱	۱۳/۲	۶/۶	۸/۴	۰/۹	نرمال
۳/۹	۲/۵	۱	۴/۷	۴/۵	-۰/۷	۲	۸/۳	ترسالی متوسط
۰/۱	۰/۴	-۰/۲	۲/۸	۱/۴	-۰/۱	-۰/۱	-۰/۲	ترسالی شدید
۷/۷	۰/۹	-۰/۱	۱۰/۶	۲/۴	-۰/۴	-۰/۱	-۰/۴	ترسالی بسیار شدید
۳۳/۶	۱۰/۹	۲/۹	۷۵/۶	۳۱/۲۵	۱۴/۴	۱۷/۱	۱۸/۴	جمع اختلاف همه وضعیت
۱۲/۹	۳/۶	۹/۴	۳۳/۱	۱۳/۲	۶/۶	۸/۴	۸/۳	ماکزیمم اختلاف
۱۱/۷	۳/۸	۱/۳	۱۸	۸/۳	۱/۲	-۰/۳۴	۹	جمع اختلاف وضعیت مرطوب
۱۲/۹	۳/۶	۹/۴	۳۳/۱	۱۳/۲	۶/۶	۴/۸	-۰/۹	جمع اختلاف وضعیت نرمال
۹	۳/۵	۱۰/۲	۲۴/۵	۹/۷	۶/۷	۸/۴	۸/۵	جمع اختلاف وضعیت خشک

۵.۳. انتخاب نمایه مناسب براساس روش همبستگی متقاطع

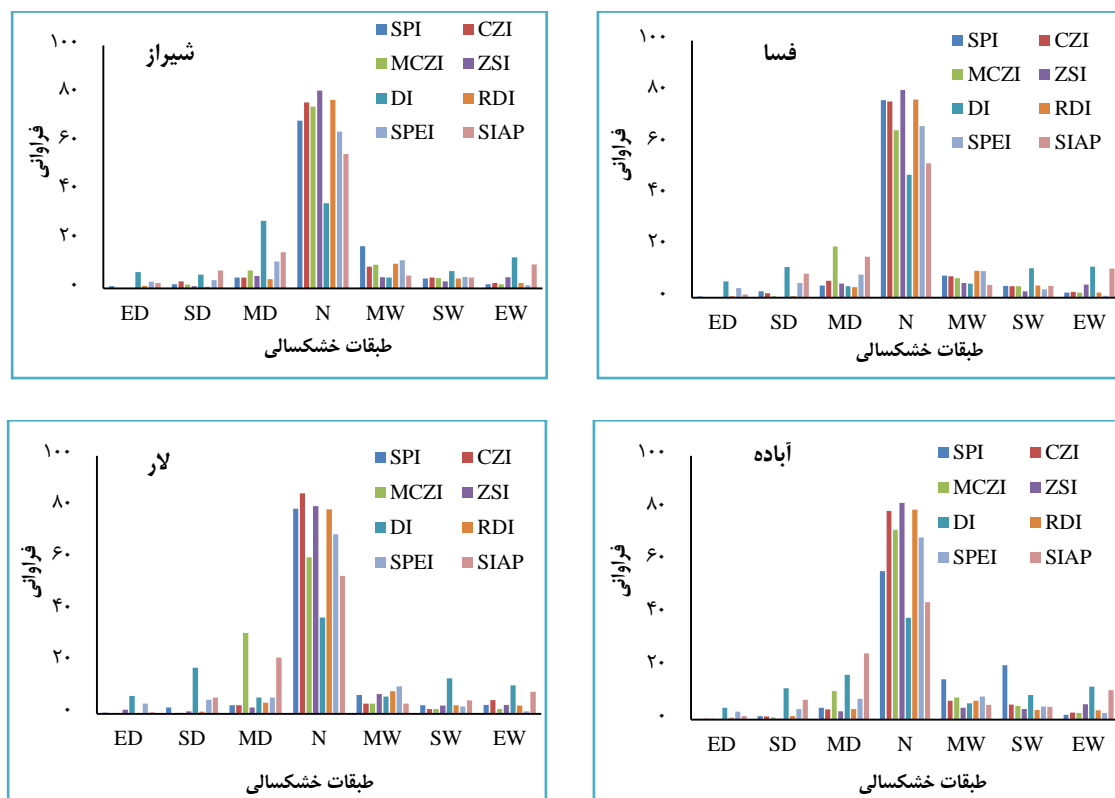
با توجه به این که تعداد زیادی از پژوهش‌گران تراز اول مختلف در نقاط گوناگون جهان، نمایه SPI را به دلیل جامعیت نسبی و سهل‌الوصول بودن داده‌های موردنیاز، مقبولیت و سایر مزایا، به‌عنوان نمایه مناسب پیشنهاد کرده‌اند در این پژوهش نیز از نمایه SPI به‌عنوان نمایه مبنای انتخاب و به بررسی میزان مشابهت رفتاری و مقدار همبستگی سایر نمایه‌ها با آن پرداخته شد (استادینگر^۱ و همکاران، ۲۰۱۴؛ ویسنت-سرانو^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج حاصل نشان داد که نمایه SPI با نمایه‌های CZI، MCZI، ZSI، SIAP و RDI دارای همبستگی قوی به‌ویژه در ماه‌های مرطوب و نرمال است. همبستگی‌های ضعیف نیز در ماه‌های خشک بیش تر نمود پیدا کرده است، چراکه در این ماه‌ها مقادیر نمایه SPI به سمت مقادیر منفی میل کرده و دارای مقادیر منفی بزرگ‌تری در مقایسه با سایر نمایه‌ها می‌باشد. این موضوع در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه صادق است. ضریب همبستگی پیرسون برای ایستگاه سینوپتیک شیراز دامنه مقادیر ۰/۴۴ تا ۰/۹۴ را در بر می‌گیرد. در مجموع می‌توان بیان کرد با استفاده از روش همبستگی، نمایه‌های CZI و RDI به دلیل همبستگی و مشابهت رفتاری بیش تر با نمایه SPI می‌تواند به‌عنوان نمایه مناسب جهت پایش و شناسایی خشکسالی هواشناسی در استان فارس مورد استفاده قرار گیرند (شکل ۲). همچنین، نمایه‌های DI و PN دارای کم‌ترین میزان همبستگی و شباهت رفتاری با نمایه منتخب SPI در همه ایستگاه‌ها در همه دوره‌های خشک و مرطوب بوده‌اند و می‌توان اظهار داشت این دو نمایه نمی‌توانند برای شناسایی و پایش خشکسالی در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرند.

1. Staudinger
2. Vicente-Serrano



شکل ۲. رابطه بین نمایه SPI و نمایه‌های مختلف خشکسالی در ایستگاه شیراز

برای بررسی دقیق‌تر و پایش خشکسالی، فراوانی نسبی طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی براساس نمایه‌های موردبررسی برای ایستگاه‌های منتخب استان فارس در شکل (۴) ارائه شد. براساس نتایج، بیش‌تر نمایه‌های مورداستفاده، دارای هیستوگرام زنگوله‌ای شکل هستند و فقط در نمایه DI فراوانی نسبی طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی متفاوت از سایر نمایه‌ها بوده است. در این نمایه فراوانی نسبی طبقات خشکسالی بسیار شدید، خشکسالی شدید و ترسالی بسیار شدید در مقایسه با سایر نمایه‌ها بیش‌تر بوده است. این وضعیت کم‌وبیش در همه ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه مشاهده شد. براساس سایر نمایه‌ها، خشکسالی‌های نرمال و متوسط بیش‌ترین فراوانی را در منطقه مورد مطالعه دارند (شکل ۳).



شکل ۳. توزیع فراوانی نسبی طبقات خشکسالی براساس نمایه‌های مختلف خشکسالی در برخی ایستگاه‌ها

تغییرات بارش با تغییرات هر کدام از نمایه‌های خشکسالی مطابقت داده شد و نمایه SPI در اکثر موارد تطابق بهتری را با منطقه نشان می‌دهد، لذا در مجموع براساس روش‌های مختلف می‌توان بیان کرد به ترتیب نمایه‌های SPI، SPEI و CZI بهترین نمایه‌های خشکسالی برای پایش خشکسالی‌های استان فارس می‌باشند و نمایه SPI در نمایش درصد فراوانی رده خشکسالی‌های بسیار شدید از کاربرد و صحت بیش‌تری برخوردار است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یکی از موضوعات مهم در مطالعات خشکسالی انتخاب نمایه مناسب خشکسالی برای منطقه موردنظر از میان نمایه‌های مختلف است. لذا در این پژوهش با استفاده از سه روش کمینه مقدار بارش، توزیع نرمال و همبستگی متقاطع نمایه مناسب از میان نه نمایه خشکسالی هواشناسی برای استان فارس ارزیابی و تعیین شد. براساس روش کمینه مقدار بارش نمایه‌های مورد استفاده در این پژوهش نتایج مشابهی را ارائه دادند بدین صورت که براساس این روش، در ایستگاه‌های معرف استان فارس مقارن با سال وقوع کمینه مقدار بارش تمامی نمایه‌های مورد بررسی طبقه‌بندی خشکسالی بسیار شدید و شدید را نشان می‌دهند. از این رو انتخاب نمایه مناسب با استفاده از این روش تا حد زیادی ناممکن می‌نماید. در روش توزیع نرمال، نمایه SPEI با کم‌ترین مجموع اختلاف در مجموع طبقات به‌عنوان مناسب‌ترین نمایه خشکسالی انتخاب گردید. در روش همبستگی متقاطع نیز نتایج نشان داد که نمایه‌های CZI، MCZI، ZSI و SIAP و RDI دارای همبستگی قوی به‌ویژه در ماه‌های مرطوب و نرمال با نمایه SPI دارند. همبستگی‌های ضعیف در ماه‌های خشک بیش‌تر نمود پیدا می‌کند، چون در این ماه‌ها مقادیر نمایه SPI به سمت مقادیر منفی میل کرده و دارای مقادیر منفی بزرگ‌تری

در مقایسه با سایر نمایه می‌باشد. از این‌رو، می‌توان بیان کرد نمایه‌های SPI، SPEI و CZI به‌ترتیب بهترین نمایه خشکسالی برای پایش خشکسالی می‌باشند.

۷. تشکر و قدردانی

از معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات- تهران، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- اربابی‌سزواری، آزاده (۱۳۸۹). تحلیل اثر خشکسالی با روش درون‌یابی نمایه Z نرمال بارش در سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در منطقه کاشان. *جغرافیای طبیعی*. ۷ (۳)، ۱۲۴-۱۰۵.
- اسکندری دامنه، حامد؛ زهتاییان، غلامرضا؛ خسروی، حسن و آذره، علی (۱۳۹۴). بررسی و تحلیل ارتباط زمانی و مکانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان تهران. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر*. ۲۴ (۹۶)، ۱۲۰-۱۱۳.
- چمنی، رضا؛ وفاخواه، مهدی؛ صادقی، سیدحمیدرضا (۱۴۰۲). تأثیر خشکسالی بر تغییرات مکانی- زمانی سلامت حوزه آبخیز افین. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۵ (۱)، ۱-۱۲.
- خلیلی، علی و بذرافشان، جواد (۱۳۸۲). ارزیابی اثربخشی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های مختلف اقلیمی ایران. *نیوار*، ۴۹، ۹۳-۷۹.
- رحیمی بندرآبادی، سیما؛ ثقفیان، بهرام و رضیئی، طیبه (۱۴۰۲). پایش خشکسالی هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز دریای خزر. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۵ (۴)، ۵۸۷-۵۷۰.
- سرحدی، علی؛ سلطانی، سعید؛ مدرس، رضا (۱۳۸۸). ارزیابی و تحلیل گستره خشکسالی در استان اصفهان بر پایه چهار نمایه. *مجله منابع طبیعی ایران*، ۶۱ (۳)، ۵۷۰-۵۵۰.
- عرفانیان، مهدی؛ وفایی، نسرين؛ رضائیان‌زاده، مهدی (۱۳۹۳). ارائه یک روش نوین برای ارزیابی ریسک خشکسالی استان فارس با تلفیق داده‌های ماهانه بارش ماهواره TRMM و داده‌های نمایه پوشش گیاهی NDVI سنجنده Terra/MODIS. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۶ (۱)، ۹۸-۱۰۳.
- علیپور، عباس؛ هاشمی، مصطفی؛ حسینی، سید اسعد؛ پژوه، فرشاد (۱۳۹۶). ارزیابی و مقایسه چند نمایه خشکسالی اقلیمی و تعیین بهترین نمایه در ایران مرکزی. *اکوهیدرولوژی*، ۴ (۱)، ۱۴۷-۱۳۳.
- قیائی سوق، محمد؛ مساعدی، ابوالفضل و زارع ایبانه، حمید (۱۳۹۵). اردیبهشت. ضرورت پایش خشکسالی براساس نمایه‌های چندمتغیره. *ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران*، سنج، ایران.
- گودرزی، مسعود و حسینی، سید اسعد (۱۳۹۷). *خشکسالی، ارزیابی، آسیب پذیری*. انتشارات سلام سپاهان و میراث کهن اصفهان. اصفهان، ایران.
- نساچیان زواره، محمدحسین؛ ملکی‌نژاد، حسین؛ اختصاصی، محمدرضا و زارع، محمد (۱۴۰۰). تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی با استفاده از نمایه‌های خشکسالی و گشتاورهای خطی در حوضه بوبین اصفهان. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۳ (۳)، ۶۳۷-۶۲۵.
- نسب‌پور، سحر؛ حیدری علمدارلو، اسماعیل؛ خسروی، حسن و وصالی، علی (۱۳۹۷). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری از خشکسالی در ایران با استفاده از مدل AHP و منطق فازی. *هواشناسی کشاورزی*، ۶ (۲)، ۱۲-۳.

References

- Alipour, A., Hashemi, M., Hosseini, S. A., & Pazhooh, F. (2017). Assessment and comparison of multiple index climatic droughts and determine the best Index in central Iran. *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(1), 133-147. (In Persian).
- Arbabi Sabzevari, A. (2010). The Analyze Effect Drought Whit The Index of in Ternal Research Precipitation the normal Z in information system geographic in Kashan region. *Journal of physical geography*, 3(7), 105-124. (In Persian).
- Erfanian, M., Vafaei, N., & Rezaeianzadeh, M. (2014). A New Method for Drought Risk Assessment by Integrating the TRMM Monthly Rainfall Data and the Terra/MODIS NDVI Data in Fars Province, Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 46(1), 93-108. (In Persian).
- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, Gh. R., Khosravi, H., & Azareh, A. (2016). Analysis of temporal and spatial relationship between meteorological and hydrological drought in Tehran province. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)*, 24(96), 113-120. (In Persian).
- Ghabaei Sough, M., Mosaedi, A., & Zare Abianeh, H. (2016, April). *The necessity of drought monitoring based on multivariable indicators*. The 6th National Conference of Iran's Water Resources Management. Sanandaj, Iran. (In Persian).
- Gibbs, W., J., & Maher, J. V. (1967). *Rainfall Deciles as Drought Indicators*. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Melbourne, Australia.
- Goodarzi, M., & Hosseini, A. (2018). *Drought, Assessing, Vulnerability*. Salam Sepahan & Miras Kohan Isfahan. Isfahan, Iran. (In Persian).
- Halwatura, D., Lechner, A. M., & Arnold, S. (2015). Drought severity–duration–frequency curves: a foundation for risk assessment and planning tool for ecosystem establishment in post-mining landscapes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2), 1069-1091.
- Hayes, M. J. (2006). Drought Indices. Van Nostrands Scientific Encyclopedia, John Wiley & Sons, Inc.
- Homdee, T., Pongput, K., & Kanae, S. (2016). A comparative performance analysis of three standardized climatic drought indices in the Chi River basin, Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 50(3), 211-219.
- Kendall, M. G., & Stuart, A. (1977). *The Advanced Theory of Statistics*. Charles Griffin & Company: London, High Wycombe.
- Khalili, A., & Bazrafshan, J. (2012). Evaluation of the effectiveness of several meteorological drought indicators in different climatic samples of Iran. *Nivar*, 49, 93-79. (In Persian).
- Mackee, T., Doesken, J., & Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA.
- Mohammad, R., & Scholz, M. (2017). The reconnaissance drought index: A method for detecting regional arid climatic variability and potential drought risk, *Journal of Arid Environments*, 144, 181-191.
- Nasabpour, S., Haydari Alamdarloo, E., Khosravi, H., & Vesali, A. (2019). Drought vulnerability mapping using AHP and Fuzzy Logic in Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, 6(2), 3-12. (In Persian).
- Nassajian Zavareh, M. H., Malekinezhad, H., Ekhtesasi, M. R., & Zare, M. (2021). Temporal and spatial analysis of drought in Boein Aquifer using drought indices and linear moment technique. *Watershed Engineering and Management*, 13(3), 625-637. doi: 10.22092/ijwmse.2021.351117.1819. (In Persian).
- Rahimi bondarabadi, S., Saghafian, B., & Raziei, T. (2023). Monitoring of hydrological drought in Caspian Sea Basin. *Watershed Engineering and Management*, 15(4), 570-587. doi: 10.22092/ijwmse.2023.123012.1533. (In Persian).
- Ramezani Gourabi, B. (2005). Investigation of Drought Phenomenon Using Normal Rainfall Percentage Index in Central Areas of Gilan. *Journal of Desert*, 10(2), 249-256.
- Sarhadi, A., Soltani, S., & Modares, R. (2009). The analysis of drought extension over Isfahan province based on four drought indices. *Journal of Natural Resources of Iran*, 61(3), 550-570. (In Persian).
- Staudinger, M., Stahl, K., & Seibert, J. (2014). A drought index accounting. *Water resources Research*, 50, 7861-7872.
- Stahl, K. (2015). Modeling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe. *Journal of Hydrology*, 530, 37-50.
- Steinmann, A. (2003). Drought indicators and triggers: A stochastic approach to evaluation, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 39(5), 1217-1233.
- Triola, M. F. (1995). *Elementary Statistics* (6th edition). Addison-Wesley: Reading, M. A.

- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21, 821-833.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., & Lopez-Moreno, J. I. (2010). A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120.