



Application of Reanalysis and Observational Data for Comparison of Drought Indices (Case Study: Esfarayen-Sabzevar Region)

E. Silakhori¹, M. Ownegh^{2*}, A. Mosaedi³,
I. Babaeian⁴ and A.R. Salman-Mahini⁵

Abstract

The monitoring and analyzing of drought conditions is one of the main requirements for water resources management. In present paper, Standard Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) were compared in order to assess the drought conditions in the Esfarayen-Sabzevar region. As in the aforementioned region sufficient long-term data is not available to assess the drought, reanalysis data of ERA-Interim were used to be combined with the observed data. For this purpose, climatic data of precipitation and temperature were extracted for each station in the statistical period of 1979-2016 using the web interfaces, Python script, ECMWF WebAPI and ArcGIS software. After correcting the bias of the data based on observational data, combined data of precipitation and temperature were obtained for the aforementioned period and used as the basis for calculating the drought. Finally, drought assessment and estimating the correlation of SPI and SPEI were conducted for three stations of Sarcheshme, Ghasemabad, and Jaghtay in the time scales of 3, 6, 12, 18, and 24 months. After generating data combination, the Root Mean Square Error (RMSE) and Bias were decreased from 0.39 and 6.69 to 0.32 and 0.24 respectively. Thus similar approach to data can be used for drought assessment in areas with lack of observed data. Results showed that in the short-term scales the frequency of dry and wet periods is high. By increasing the time scale, the frequency of the dry and wet period decreases but their duration increases. In most cases in the stations both indices showed coordination in the dry and wet periods. Based on the provided results regarding the correlation between SPI and SPEI indices, there is a positive and significant correlation between the above indices and the correlation is higher in the humid regions. As a result, the SPI index can be used in the regions with no temperature data with a precession similar to the SPEI index.

Keywords: SPI Index, SPEI Index, Reanalysis Data, ERA-Interim, R Statistical Software.

Received: March 27, 2018

Accepted: September 13, 2018

کاربست داده‌های بازتحلیل و دیده‌بانی جهت مقایسه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: منطقه اسفراین- سبزوار)

اسماعیل سیلاخوری^۱، مجید اونوق^{۲*}، ابوالفضل مساعدی^۳،
ایمان بابائیان^۴ و عبدالرسول سلمان ماهینی^۵

چکیده

پایش و تحلیل شرایط خشکسالی از اصلی‌ترین نیازهای مدیریت منابع آب به شمار می‌رود. در این پژوهش شاخص‌های SPI و SPEI جهت ارزیابی خشکسالی منطقه اسفراین-سبزوار مقایسه شدند. از آنجایی که منطقه مطالعاتی مورد نظر فاقد آمار کافی و بلندمدت جهت ارزیابی خشکسالی است، داده‌های بازتحلیل ERA-Interim جهت تلفیق با داده‌های دیده‌بانی مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور با استفاده از رابط وب، اسکریپت Python، ECMWF WebAPI و نرم‌افزار ArcGIS؛ داده‌های اقلیمی بارش و دما برای هر یک از ایستگاه‌ها در دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ میلادی استخراج شد. پس از اصلاح آریبی داده‌ها بر اساس داده‌های دیده‌بانی، داده‌های تلفیقی بارش و دما برای دوره آماری مورد نظر بدست آمد که مبنای محاسبه خشکسالی قرار گرفت. در نهایت همبستگی شاخص‌های SPI و SPEI سه ایستگاه سرچشمه، قاسم‌آباد و جغتای در مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه برآورد شد. پس از تهیه داده‌های تلفیقی بازتحلیل و دیده‌بانی، میانگین مربعات خطا و آریبی به ترتیب از ۰/۳۹ و ۶/۶۹ به ۰/۳۲ و ۰/۲۴ کاهش یافت؛ در نتیجه می‌توان از این داده‌ها جهت ارزیابی خشکسالی در مناطقی که داده‌های دیده‌بانی در دسترس نیستند و یا پراکنش نامناسبی دارند، استفاده کرد. نتایج ارزیابی خشکسالی نشان داد در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب زیاد است که با افزایش مقیاس زمانی، فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش، اما تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. در ایستگاه‌های مورد مطالعه در اکثر موارد هماهنگی در دوره‌های خشک و مرطوب در هر دو شاخص دیده شد. بر اساس نتایج عرضه شده در خصوص همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI، در همه ایستگاه‌های مورد بررسی، بین شاخص‌های خشکسالی مورد استفاده همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد که این همبستگی در مناطق مرطوب‌تر بالاتر است. در نتیجه می‌توان از شاخص SPI در مناطق فاقد داده دما و با دقت شاخص SPEI استفاده کرد.

کلمات کلیدی: شاخص SPEI، شاخص SPI، داده‌های بازتحلیل، ERA-Interim، نرم‌افزار آماری R.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱/۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۶/۲۲

1- Ph.D. Student of Combating Desertification, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2- Professor, Department of Watershed and Desert Area Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: mownegh@yahoo.com

3- Professor, Department of Watershed and Rangeland Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

4- Assistant Professor, Climate Change Division, Climate Research Institute (CRI), Mashhad, Iran.

5- Professor, Department of Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری تخصصی بیابانزدایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- استاد، گروه مدیریت مناطق بیابانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳- استاد، گروه آموزشی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- استادیار، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی، سازمان هواشناسی کشور.

۵- استاد، گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

ایستگاه سینوپتیک در گستره‌ی اقلیم‌های گوناگون کشور و مقایسه با SPI در بازه زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۷ روشن ساخت که شاخص SPI و SPEI دارای همبستگی معنی‌دار است؛ اما شاخص SPEI پاسخ سریعتری نسبت به خشکسالی دارد. (Zare Abianeh and Mahboobi, 2004) از شاخص SPEI برای تحلیل خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم استفاده کردند و نتیجه گرفتند شاخص SPEI نسبت به SPI توانایی تشخیص اثر تغییر مقادیر تبخیر-تعرق و دما را در پیوند با گرمایش جهانی دارد. (Dupigny-Giroux, 2001) برای بررسی تأثیرات خشکسالی در سال ۹۹-۱۹۹۸ در ایالت ورمونت از بین نمایه‌های تجزیه و تحلیل خشکسالی، نمایه SPI را برای مطالعه در مقیاس‌های زمانی کوچک تا متوسط به عنوان بهترین روش برای اندازه‌گیری خشکسالی معرفی کرد و با بررسی نمایه‌های مختلف (نمایه رطوبت محصول، نمایه بارش استاندارد و نمایه پالمر اصلاح شده) نشان داد که در مقیاس یک ماهه، نمایه بارش استاندارد بهتر از نمایه پالمر در ثبت شروع خشکسالی و شرایط آن عمل می‌کند. (Potop, 2011) شاخص جدید خشکسالی SPEI را در جمهوری چک مورد بررسی قرار داد و بر توانایی شاخص SPEI در تشخیص شدت خشکسالی تأکید کرد. (Labudova et al., 2014) شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI را با استفاده از داده‌های مدل COSMO در حوضه آبخیز اسلواکی مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که همبستگی کمی بین شاخص SPI و SPEI در جنوب اسلواکی در مقیاس زمانی سه ماهه وجود دارد. (Yao et al., 2018) شدت و روند خشکسالی را در دوره ۲۰۱۳-۱۹۶۱ مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور از چهار شاخص SPI، Pa، SPEI و EDDI استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که اگرچه تمام شاخص‌ها، رویدادهای شدید خشکسالی را شناسایی کردند، ولی SPI و SPEI نسبت به EDDI عملکرد بهتری داشتند و همبستگی بیشتری بین SPI و SPEI وجود دارد. از سایر پژوهش‌های صورت گرفته در داخل کشور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. (Banimahd and Khalili, 2014) در تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای رفتار شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPEI و SPI در ایستگاه‌های منتخب کشور به همبستگی معنی‌دار میان شاخص‌ها با به‌کارگیری آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری در سطح اطمینان ۹۵ درصد اشاره کردند. (Tajbakhsh et al., 2015) نیز به کارایی استفاده از شاخص استاندارد شده‌ی تبخیر-تعرق در تحلیل خشکسالی همراه با عامل بارش اشاره کرده‌اند. همچنین (Zeynali and Safarian Zengir, 2015) و (Zare Abyanehet al., 2017) از SPI و SPEI جهت ارزیابی خشکسالی استفاده کردند. در این پژوهش دو هدف دنبال شد. ابتدا دقت داده‌های Era-Interim در مقابل داده‌های دیدبانی ارزیابی شد، سپس با استفاده از داده‌های

خشکسالی یکی از مخاطرات طبیعی است که همواره شرایط زیست‌محیطی و اقتصادی مناطق مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hayes, 1999). خشکسالی عاملی برای کاهش تولیدات زراعی (Austin et al., 1998; Leilah and Al-Khateeb, 2005)، کاهش منابع تأمین آب شهری (DeGaetano, 1999)، تخریب محیط زیستی و بیابانزایی (Evans and Geerken, 2004; Pickup, 1999)، آتش‌سوزی جنگل‌ها (Flannigan and Harrington, 1988) و در نهایت به عنوان یک زنگ خطر اجتماعی می‌باشد (Mostafazadeh and Zabihi, 2016). در دهه‌های گذشته معمولاً تحلیل خشکسالی به صورت توصیفی انجام می‌گرفت و کمتر به تحلیل کمی پرداخته می‌شد (Karl and Riebsame, 1984). اصولاً برای تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص مشخص جهت تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (Stagge et al., 2015). یکی از محدودیت‌های شاخص‌های رایج از جمله SPI^۱، عدم لحاظ بیابان آب بر اساس میزان تبخیر-تعرق می‌باشد. از دسترس خارج شدن حدود ۸۰ درصد بارش از راه تبخیر-تعرق بر اهمیت لحاظ کردن دیگر متغیرها از جمله دما و تبخیر-تعرق برای تعیین خشکسالی تأکید دارد (Abramopoulos et al., 1988). با این توضیحات اثر افزایش دما در تشدید خشک شدن به مراتب بیشتر از کاهش بارندگی است و این می‌تواند نقش مؤثر دما در تقویت یا تضعیف خشکسالی را تأیید کند. بر همین اساس شاخص خشکسالی استاندارد شده‌ی بارش و تبخیر-تعرق (SPEI^۲) را که ویسنته سرانو در ۲۰۱۰ میلادی عرضه کرد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Mostafazadeh and Zabihi, 2016). تحقیقات متعددی در زمینه ارزیابی خشکسالی با شاخص‌های متعدد در ایران و خارج از کشور صورت گرفته ولی به علت جدید بودن موضوع، کمتر به مقایسه این دو شاخص پرداخته شده است. (Mosaedi et al., 2008) خشکسالی را در سطح استان گلستان با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) مورد پایش قرار دادند و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Surfer 8.0 نقشه‌های وضعیت خشکسالی سالیانه را در طول دوره آماری ۲۹ سال تهیه کردند. نتایج نشان داد که به‌طور کلی نوسانات وضعیت رطوبتی در سطح استان بسیار زیاد است. (Khalighi Sigaroudi et al., 2009) بررسی نمایه‌های ارزیابی پدیده‌های ترسالی و خشکسالی را در استان مازندران مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج به دست آمده مدل بارش استاندارد شده بهترین مدل به منظور تعیین خصوصیات آماری بارش و تفکیک ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در استان مازندران شناخته شده است. (Nosrati, 2015) با هدف بررسی خشکسالی هواشناسی با استفاده از SPEI در ۱۰

۲-۳- تهیه داده‌های تلفیقی بارش ماهانه (داده‌های بازتحلیل شده ERA-Interim و ایستگاهی)

در حالی که برای تقریباً همه مطالعات هیدروکلیماتولوژی، هیدرولوژی، هواشناسی و کشاورزی از داده‌های دما و بارش ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌گردد، بعضی مناطق به دلیل شرایط خاص جغرافیایی و صعب‌العبور بودن، خالی از ایستگاه بوده و داده‌ای در دسترس نمی‌باشد. شبکه متشکل از گره‌های اطلاعاتی، بهترین راه حل برای پوشش یکنواخت و مطالعه یک دست سطوح وسیع می‌باشد (Raziei et al., 2009). بسیاری از بانک‌های اطلاعاتی در دسترس، فاقد آمار بلند مدت با پوشش یکنواخت و مناسب‌اند. به همین دلیل در بسیاری از مطالعات اخیر در سراسر دنیا و همچنین ایران ملاحظه می‌شود که از مجموعه داده‌هایی موسوم به داده‌های بازتحلیل^۳ استفاده شده است (Bordi et al., 2006; Rossi, 2003; Raziei et al., 2011, 2010). در واقع داده‌های بازتحلیل، تلفیقی از داده‌های دیدبانی و مدل‌سازی هستند. برای مناطقی که فاقد داده‌اند یا شبکه ایستگاه‌ها تراکم کمی دارند از مدل‌سازی استفاده می‌شود. تحلیل دوباره‌ی یک سامانه، برای تولید مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی، بازتحلیل نامیده می‌شود. داده‌های بازتحلیل یا تحلیل مجدد، با استفاده از یک سامانه‌ی ثابت و از نظر دینامیکی سازگار در داده‌گیری^۴ داده‌ها و مدل‌ها که در آن از همه‌ی داده‌های در دسترس مشاهداتی استفاده می‌شود، ایجاد می‌شوند (European center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), 2013). یکی از انواع داده‌های بازتحلیل، ERA-Interim است.

تلفیقی، شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در منطقه اسفراین-سبزوار مورد مقایسه قرار گرفت. در این تحقیق برای نخستین بار از داده‌های تلفیقی Era-Interim و دیدبانی جهت ارزیابی خشکسالی استفاده شده است.

۲- روش تحقیق

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه اسفراین-سبزوار با مساحت ۴۴۵۵۵۶/۱۹ هکتار، بین عرض جغرافیایی ۳۸° ۲۷' ۳۶" و ۳۷° ۱۷' ۳۴" شمالی و طول جغرافیایی ۲۹° ۴۹' ۵۶" و ۳۶° ۵۳' ۵۷" شرقی از مرکز استان خراسان شمالی تا شمال استان خراسان رضوی امتداد دارد؛ و غالباً منطقه بیابانی اسفراین و دشت جوین را به خود اختصاص داده است. دو نقطه شهری اسفراین و نقاب در آن قرار گرفته‌اند. ارتفاع منطقه از ۹۴۳ متر در جنوب تا ۳۰۰۷ متر در شمال منطقه تغییر می‌کند و میانگین بارندگی منطقه بین ۱۵۴ تا ۴۳۶ میلی‌متر متغیر است. شکل ۱ موقعیت منطقه اسفراین-سبزوار را نسبت به استان‌های خراسان شمالی و رضوی نشان می‌دهد.

۲-۲- ایستگاه‌های مورد استفاده

با بررسی ایستگاه‌های هواشناسی موجود در استان خراسان شمالی و رضوی، ۱۲ ایستگاه هواشناسی در منطقه اسفراین-سبزوار قرار گرفتند که اغلب فاقد آمار بلندمدت هواشناسی‌اند. در این پژوهش داده‌های ماهانه این ۱۲ ایستگاه مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های مذکور از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ بیان شده است.

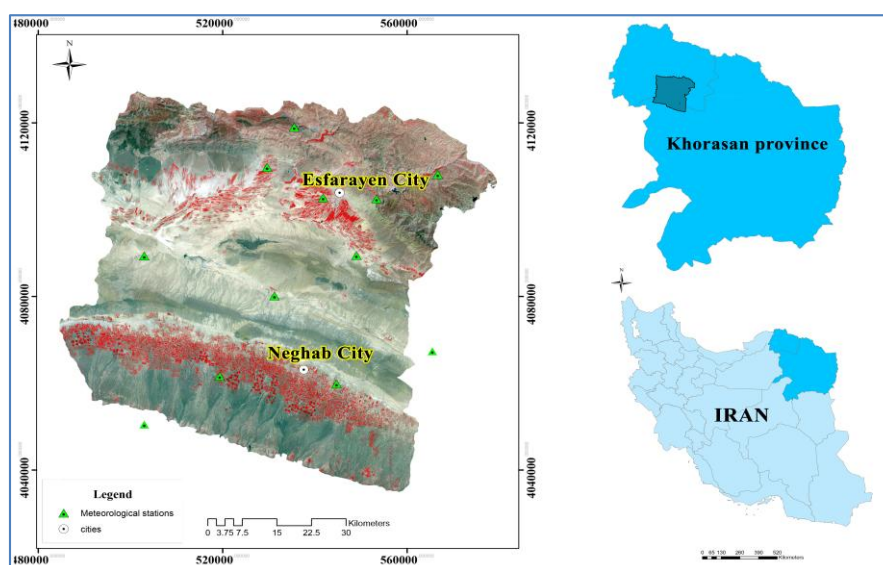


Fig. 1- Geographical location of the studied region

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

تحقیقات منابع آب ایران، سال چهاردهم، شماره ۵، زمستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 5, Winter 2019 (IR-WRR)

Table 1- Characteristics of meteorological stations in Esfarayen-Sabzevar area

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه اسفراین- سبزوار

Station Name	X (degree, Minute)	Y (degree, Minute)	Elevation (m)	The number of years with data	Available data
Chel Dokhtaran	36 57	57 02	1014	14	1990-1992, 1994-2000, 2002, 2006-2007, 2001-2016
Dolat Abad	36 57	57 32	1177	18	1988-2016
Sarcheshmeh	37 07	57 45	1680	36	1979-2016
Safi Abad	36 41	57 55	1241	10	1987-1991, 1994-1998, 2004, 2006-2016
Ghasem Khan	36 52	57 21	1057	14	1987-1988, 1990-1995, 1998-2016
Kalat Esfarayen	37 13	57 24	1229	16	1979-2005, 2007-2016
Garne Khosh	37 08	57 20	1137	12	1987-1988, 1994-2016
Mangli Olia	36 45	57 44	1171	20	1987-2016
Noshirvan	37 04	57 36	1405	36	1980-2016
Esfarayen	37 02	57 29	1221	8	2007-2014
Jovein	36 38	57 24	1138	30	1979-2016
Joghatay	36 36	57 02	1373	10	1994-2016

بدست آمد. برای بررسی کارایی سری داده‌های بارش Era، از شاخص‌های آریبی، میانگین مربعات خطا و ناش- ساتکلیف استفاده شد (روابط ۱ تا ۳):

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O}_i)^2} \right) \quad (3)$$

در روابط بالا، S_i : داده‌های شبیه‌سازی شده، O_i : داده‌های دیدبانی، BIAS: آریبی، RMSE: مجذور میانگین مربعات خطا، NSE: ضریب نش-ساتکلیف می‌باشد.

۲-۴- ارزیابی خشکسالی

داده‌های بارش و دمای ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در پژوهش که در مرحله قبل در بازه ۲۰۱۶-۱۹۷۹ میلادی (۳۷ ساله) تطویل شدند، به صورت ماهانه به فرمت مناسب در نرم‌افزار R قرار گرفت. کدنویسی لازم برای محاسبه‌ی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه با استفاده از نرم‌افزار آماری و محیط برنامه‌نویسی R صورت گرفت. از بین ایستگاه‌های موجود، سه ایستگاه سرچشمه، قاسم‌آباد و جغتای که به

این داده‌ها ناشی از آخرین تحلیل دوباره جو است که سازمان پیش‌بینی وضعیت آب و هوای اروپا از ۱۹۸۹ آغاز کرده و تاکنون ادامه دارد (Xie et al., 2003). فاصله مکانی این داده‌ها تا ۰/۱۲۵ درجه نیز قابل دسترس است که کره زمین را به صورت شبکه‌هایی با همین ابعاد تقسیم می‌کند. داده‌های مذکور از سایت اینترنتی <http://apps.ecmwf.int> قابل دسترس می‌باشند.

منطقه اسفراین-سبزوار با ۵۳ سلول با ابعاد ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه پوشش داده شده که برای هر یک از این شبکه‌ها بارش ماهانه توسط پروژه ERA-Interim تهیه شده است. همانطور که ذکر شد غالب ایستگاه‌های موجود در منطقه فاقد آمار بلند مدت و داده‌های آن‌ها مخدوش می‌باشد. در گام اول با استفاده از رابط وب، اسکریپت Python و همچنین ECMWF WebAPI، داده‌های اقلیمی روزانه برای دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۶ دریافت و برای هر یک از ایستگاه‌ها استخراج شد. داده‌های دریافت شده با فرمت NetCDF وارد نرم‌افزار ArcGIS شد و با ابزار Multidimension، داده‌ها برای هر یک از ایستگاه‌ها به فرمت پایگاه داده (.dbf) خروجی گرفته شد. در نهایت داده‌های روزانه ERA-Interim مرتب و به صورت ماهانه طبقه‌بندی شدند. پس از طبقه‌بندی، داده‌های ERA-Interim، مورد راستی‌آزمایی قرار گرفتند و تطابق آنها با داده‌های دیدبانی مناطق دارای ایستگاه بارانسنجی مورد بررسی قرار گرفت. دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۷ برای محاسبه آریبی ماهانه هر یک از ایستگاه‌ها انتخاب شد. آریبی ماهانه بدست آمده به طور ماهانه به سال‌های فاقد آمار دیدبانی اعمال شد و در نهایت داده‌های تلفیقی بارش برای هر یک از ایستگاه‌ها

Table 2- Drought classification based on SPI and SPEI indices (Liu et al., 2014)

جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص SPI و (Liu et al., 2014) SPEI

Drought Category	SPI/SPEI values
Extremely dry	-2.00 and less
Severely dry	-1.50 to -1.99
Moderately dry	-1.00 to -1.49
Near Normal	-0.99 to 0.99
Moderately wet	1.00 to 1.49
Very wet	1.50 to 1.99
Extremely wet	2.00 or more

این شاخص با ترکیب حساسیت شاخص PDSI از طریق تغییرات تقاضای تبخیر و بر پایه مفاهیم قابلیت محاسبه در مقیاس‌های مختلف شاخص SPI توسعه یافته است. برای محاسبه شاخص SPEI در گام نخست باید مقدار تبخیر-تعرق در هر ماه برآورد شود سپس از طریق یک مدل ساده‌ی بیلان آب تفاوت بین مقدار بارندگی (P) و مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل (ETP) برای ماه i از رابطه ۷ محاسبه می‌گردد:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (7)$$

بر اساس نتایج (Mavromatis 2007) مبنی بر تشابه روش‌های ساده و پیچیده برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل، Vicente-Serrano et al. (2010) از روش Thornthwaite (1948) بدین منظور استفاده کرد. در پژوهش حاضر برای محاسبه‌ی شاخص SPEI از راهنمای پیوست پیش‌گفته در محیط R (Vicente-Serrano et al., 2010) بهره برده شد. شاخص SPEI بر اساس روابط ۸ تا ۱۴ بدست می‌آید:

$$PET = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m \quad (8)$$

$$m = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} \quad (9)$$

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (10)$$

$$K = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right) \quad (11)$$

که در این روابط، T دمای میانگین ماهانه به درجه سلسیوس، m ضریب وابستگی به I، I شاخص گرما یا مجموع شاخص ۱۲ ماهه i، K ضریب تصحیحی بر حسب ماه و عرض جغرافیایی، NDM تعداد روزهای یک ماه و N بیشینه تعداد ساعت‌های تابش است.

بر اساس نتایج تحقیقات متعدد مشخص شده است که توزیع لجستیک لگاریتمی به دلیل تناسب بیشتر با داده‌های دارای چولگی و نیز دنباله‌ی طولانی‌تر در دامنه‌ی انتهایی توزیع، دارای کارایی بهتری در تعیین تابع تراکم احتمال یا pdf سری‌های زمانی D است، لذا در محاسبه تابع تراکم احتمال در محاسبه‌ی SPEI از توزیع لجستیک استفاده می‌شود.

ترتیب در شمال، مرکز و جنوب منطقه قرار دارند، جهت ارزیابی خشکسالی مورد تحلیل قرار گرفتند.

۲-۵- شاخص بارش استاندارد (SPI)

شاخص بارش استاندارد برای اولین بار توسط Mckee et al. (1993) به منظور ارزیابی و تعریف خشکسالی‌ها، معرفی گردید و در ایالت کلرادو مورد استفاده قرار گرفت. آنها دریافتند که برای برازش داده‌های بارندگی، توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع می‌باشد. در این مطالعه آنها از مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت (۳ و ۶ ماهه) برای اهداف کشاورزی و مقیاس‌های زمانی بلند مدت (۱۲ و ۲۴ و ۴۸ ماهه) را برای اهداف هیدرولوژی استفاده کردند (Mckee et al., 1993). کارایی بالای این شاخص باعث شد، رفته رفته استفاده از آن رواج یابد به طوری که اکنون به صورت بسیار وسیعی برای مطالعه خشکسالی در مناطق مختلف دنیا از این شاخص استفاده می‌شود (Vicente-Serrano and Lopez-Moreno, 2005). این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید (رابطه ۴) و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه‌ی این شاخص بارندگی است (Mckee et al., 1993):

$$SPI = \frac{(X_i - \mu)}{\delta} \quad (4)$$

که در این رابطه: SPI نسبت بی‌بعد شده داده‌ها، X_i مقدار متغیر مورد نظر در هر سال، μ میانگین داده‌ها و δ انحراف معیار داده‌ها می‌باشند.

با توجه به سوابق پژوهش‌های صورت گرفته، مشخص می‌شود که توزیع احتمال بارش یک ایستگاه معمولاً از توزیع گاما پیروی می‌کند که تابع چگالی احتمال این توزیع به صورت رابطه (۵) است:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \tau(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (5)$$

در این رابطه، x مقدار متغیر، α ، β به ترتیب پارامتر شکل و مقیاس توزیع هستند. $\tau(\alpha)$ نیز تابع ضربی گاما است که بر اساس رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$\tau(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (6)$$

مقادیر SPI در هر یک از ایستگاه‌ها بر اساس روابط عرضه شده در محیط نرم‌افزار R برنامه‌نویسی شد و به اجرا درآمد.

۲-۶- شاخص بارش-تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI)

(Vicente-Serrano et al. 2010) شاخص بارش-تبخیر-تعرق استاندارد شده را با استفاده از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پیشنهاد دادند.

با استفاده از تحلیل همبستگی و با استفاده از نرم‌افزار R مورد آزمون قرار گرفت.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- تهیه داده‌های تلفیقی

در جدول ۳ میانگین آریبی، ضریب ناش-ساتکلیف و میانگین مربعات خطا بین سری داده‌های ماهانه بارش شبکه‌ای ERA-Interim و داده‌های دیدبانی بر روی سلول‌های با تفکیک‌پذیری مشابه، آورده شده است. کمترین آریبی به مقدار ۰/۶۱ میلی‌متر در ایستگاه صفی‌آباد و بیشترین آن به مقدار ۱۱/۶۲- میلی‌متر رخ داده است. همانطور که در جدول ۳ ملاحظه می‌کنید پس از اعمال آریبی به داده‌های دیدبانی و تهیه داده‌های تلفیقی، آریبی تا حد زیادی کاهش یافته و ضریب نش به یک رسیده است. هم‌منظور RMSE برای کل ایستگاه‌ها کاهش یافته است. میانگین آریبی بین داده‌های ERA-Interim و دیدبانی برای کل منطقه ۰/۳۹ بوده است که با تصحیح آریبی به ۰/۲۴ برای کل منطقه کاهش یافت. همچنین RMSE از ۶/۶۹ به ۰/۳۲ کاهش یافته است.

۳-۲- مقایسه خشکسالی با شاخص‌های SPI و SPEI

شاخص‌های SPI و SPEI برای همه ایستگاه‌های هواشناسی منطقه اسفراین-سبزوار در مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه بدست آمد. به دلیل تشابه بررسی و نتایج، تنها سه ایستگاه سرچشمه در شمال منطقه، ایستگاه قاسم‌آباد در مرکز و ایستگاه جغتای در جنوب منطقه مورد تحلیل قرار گرفتند. شکل‌های ۲ تا ۴ مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI را در مقیاس‌های زمانی مختلف برای سه ایستگاه مورد استفاده نشان می‌دهد.

تابع تراکم احتمال سری‌های D بر اساس توزیع لجستیک لگاریتمی طبق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Vicente-Serrano et al., 2010):

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right) \right]^{-2} \quad (12)$$

که در این رابطه، α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و موقعیت برای مقادیر D در دامنه $D < \infty$ هستند $\gamma < D$ برای محاسبه‌ی پارامترهای توزیع لجستیک لگاریتمی از روش ممان وزنی احتمال به منزله‌ی روشی توانمند و ساده استفاده شد. تابع توزیع احتمال سری‌های D نیز بر اساس رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{a}{x-\gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (13)$$

شاخص SPEI در حکم مقادیر استاندارد شده‌ی نرمال (Fx) را می‌توان به آسانی محاسبه کرد:

$$SPEI = w - \frac{C_0 + C_1w + C_2w^2}{1 + d_1w + d_2w^2 + d_3w^3} \quad (14)$$

که در آن، $w = \sqrt{-2\ln(P)}$ برای $P \leq 0.5$ بوده و احتمال بیشتر شدن مقادیر تعیین شده D است. مقادیر C_0 ، C_1 و C_2 و همچنین d_1 ، d_2 و d_3 ثابت هستند. شاخص SPEI یک متغیر استاندارد شده است و بنابراین می‌تواند با سایر مقادیر SPEI در مکان و زمان مقایسه شود. مقدار SPEI معادل صفر به معنای مقادیر منطبق با ۵۰ درصد احتمال تجمعی D است (Tajbakhsh et al., 2015; Vicente-Serrano et al., 2010). به منظور محاسبه‌ی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI از برنامه‌نویسی و محاسبه‌ی شاخص‌های پیش‌گفته در محیط نرم‌افزار برنامه‌نویسی R استفاده شد. در ادامه همبستگی میان شاخص‌های SPI و SPEI در بازه‌های زمانی مختلف

Table 3- Comparison of accuracy of the Era-Interim and integrated data relative to the station data in each station of the region

جدول ۳- مقایسه دقت داده‌های Era-Interim و تلفیقی نسبت به داده‌های ایستگاهی در هر یک از ایستگاه‌های منطقه

Stations	Era-Interim Data			combined Data		
	Monthly Bias	RMSE	NSE	Monthly Bias	RMSE	NSE
Esfarayen	3.27	7.11	0.79	0.38	0.77	1
Chel Dokhtaran	3.72	7.25	0.81	0.41	0.67	1
Dolat Abad	1.81	5.93	0.87	0.17	0.37	1
Garne Sorkh	4.39	6.81	0.85	0.26	0.28	1
Ghasem Khan	6.58	8.9	0.71	0.73	0.64	0.99
Kalat	-11.62	11.19	0.57	0.12	0.04	1
Mangli Olia	4.13	8.5	0.77	0.34	0.45	1
Noshirvan	-0.4	4.78	0.92	0.12	0.13	1
Safi Abad	0.61	3.16	0.95	0.01	0.03	1
Sarcheshmeh	-6.96	6.4	0.89	0	0	1
Jovein	1.83	5.24	0.86	0.09	0.19	1
Joghatay	-2.74	5	0.82	0.24	0.29	1
Average	0.39	6.69	0.82	0.24	0.32	0.999

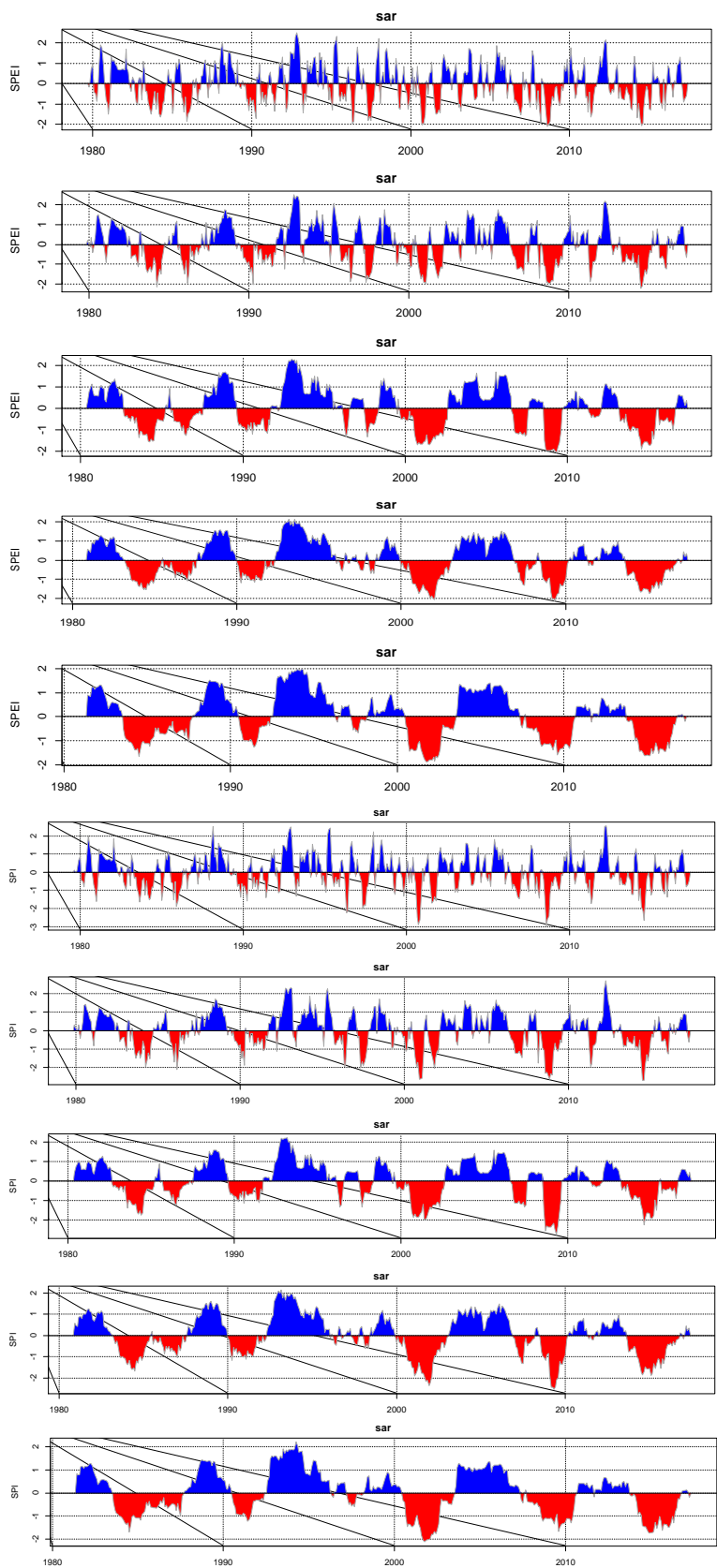


Fig. 2- Diagram of the monthly variations of SPI and SPEI of the Sarcheshme station during the statistical period and on the time scales of 3 to 24 months

شکل ۲- نمودار تغییرات ماهانه SPI و SPEI ایستگاه سرچشمه در طول دوره آماری و در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۲۴ ماهه

تحقیقات منابع آب ایران، سال چهاردهم، شماره ۵، زمستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 5, Winter 2019 (IR-WRR)

Table 4- Characteristics of the dry and wet periods based on the SPEI and SPI indices at Sarcheshme station

جدول ۴- ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص‌های SPEI و SPI در ایستگاه سرچشمه

Features	Time scales of SPI					Time scales of SPEI				
	3	6	12	18	24	3	6	12	18	24
Max of Drought Index	-1.20	-1.53	-2.07	-1.75	-1.86	-1.34	-1.58	-1.55	-1.56	-1.55
Max of Wet Index	1.02	1.41	1.89	1.66	1.88	1.61	1.90	1.97	1.91	1.89
Number of Dry years	22	18	19	17	17	20	20	16	16	17
Number of Wet years	15	19	18	20	20	17	17	21	21	20
Number of Dry years (%)	59.46	48.65	51.35	45.95	45.95	54.05	54.05	43.24	43.24	45.95
Number of Wet years (%)	40.54	51.35	48.65	54.05	54.05	45.95	45.95	56.76	56.76	54.05
Max of Drought Duration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Max of Drought Duration (Number)	2015	1982	1986	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016
	4	5	5	4	4	11	11	11	11	11

در ایستگاه قاسم‌خان بر اساس شاخص‌های SPEI و SPI سال ۲۰۰۸ از منظر مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۱۲ ماهه خشک‌ترین سال دوره آماری محسوب شده است. شاخص SPEI در مقیاس زمانی ۱۸ ماهه سال ۲۰۰۸ و در مقیاس ۲۴ ماهه سال ۲۰۱۵ را خشک‌ترین سال و شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۸ و ۲۴ ماهه، سال ۲۰۰۱ را خشک‌ترین سال منطقه برآورد کرده است. هر دو شاخص تقریباً رفتار مشابهی در برآورد مرطوب‌ترین سال داشتند، هر دو سال‌های ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ را مرطوب‌ترین سال دوره آماری معرفی کردند. در این ایستگاه همچون ایستگاه سرچشمه، بیشترین تداوم خشکسالی بر اساس شاخص SPEI و در همه مقیاس‌های زمانی به سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ مربوط می‌شود. که شاخص SPI برای مقیاس سه ماهه سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ را با تداوم سه ساله معرفی کرده است؛ و در بازه‌های زمانی ۶ ماهه و بالاتر دوره ۱۹۸۶-۱۹۸۲ با تداوم ۴ و ۵ ساله طولانی‌ترین خشکسالی منطقه محسوب شده است.

در ایستگاه جغتای در جنوب منطقه تقریباً در همه مقیاس‌های زمانی، خشک‌ترین سال‌ها در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ رخ داده‌اند. شاخص SPEI برای مقیاس‌های ۳، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه به ترتیب سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۰۸، ۲۰۱۴، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵ را خشک‌ترین سال‌های منطقه معرفی کرده است؛ در حالی که شاخص SPI در مقیاس ۳ ماهه سال ۱۹۸۳، در مقیاس ۶ ماهه سال ۲۰۰۸ و در مقیاس ۱۲ ماهه و بالاتر سال ۲۰۱۴ را خشک‌ترین سال‌های دوره آماری برشمرده است.

در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب زیاد است. با افزایش مقیاس زمانی فراوانی دوره‌های خشک و مرطوب کاهش می‌یابد اما تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. در سه ایستگاه در اکثر موارد هماهنگی در دوره‌های خشک و مرطوب در هر دو شاخص دیده می‌شود. در ایستگاه سرچشمه که در منطقه کوهستانی شمال اسفراین-سیزوار قرار دارد خشک‌ترین دوره‌ها در بازه زمانی ۳ و ۶ ماهه بر اساس شاخص SPI و SPEI سال ۲۰۰۸ میلادی برآورد شده است. در بازه‌های زمانی ۱۲ و ۱۸ ماهه شاخص SPEI سال ۲۰۱۴ و در بازه ۲۴ ماهه سال ۲۰۱۵ میلادی را خشک‌ترین سال‌های دوره آماری معرفی کرده است. بر اساس شاخص SPI در دوره‌های زمانی ۱۸ و ۲۴ ماهه سال ۲۰۰۱ خشک‌ترین سال بدست آمد. هر دو شاخص رفتار مشابهی در برآورد مرطوب‌ترین سال داشتند به طوری که سال ۱۹۹۲ برای مقیاس‌های ۳ تا ۱۲ ماهه و سال ۱۹۹۳ برای مقیاس‌های زمانی ۱۸ و ۲۴ ماهه، مرطوب‌ترین سال‌های دوره آماری به شمار آمدند. در ایستگاه سرچشمه طولانی‌ترین دوره خشکسالی در منطقه بر اساس شاخص SPEI برای همه مقیاس‌های زمانی دوره یازده ساله ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ می‌باشد. شاخص SPI دوره‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۲ برای مقیاس ۳ ماهه، دوره ۱۹۸۶-۱۹۸۲ برای مقیاس‌های ۶ و ۱۲ ماهه، و دوره ۲۰۱۶-۲۰۱۳ را برای مقیاس‌های ۱۸ و ۲۴ ماهه طولانی‌ترین دوره‌های خشکی معرفی کرده است. در ایستگاه سرچشمه SPEI تداوم خشکسالی طولانی‌تر از SPI بدست آمده است.

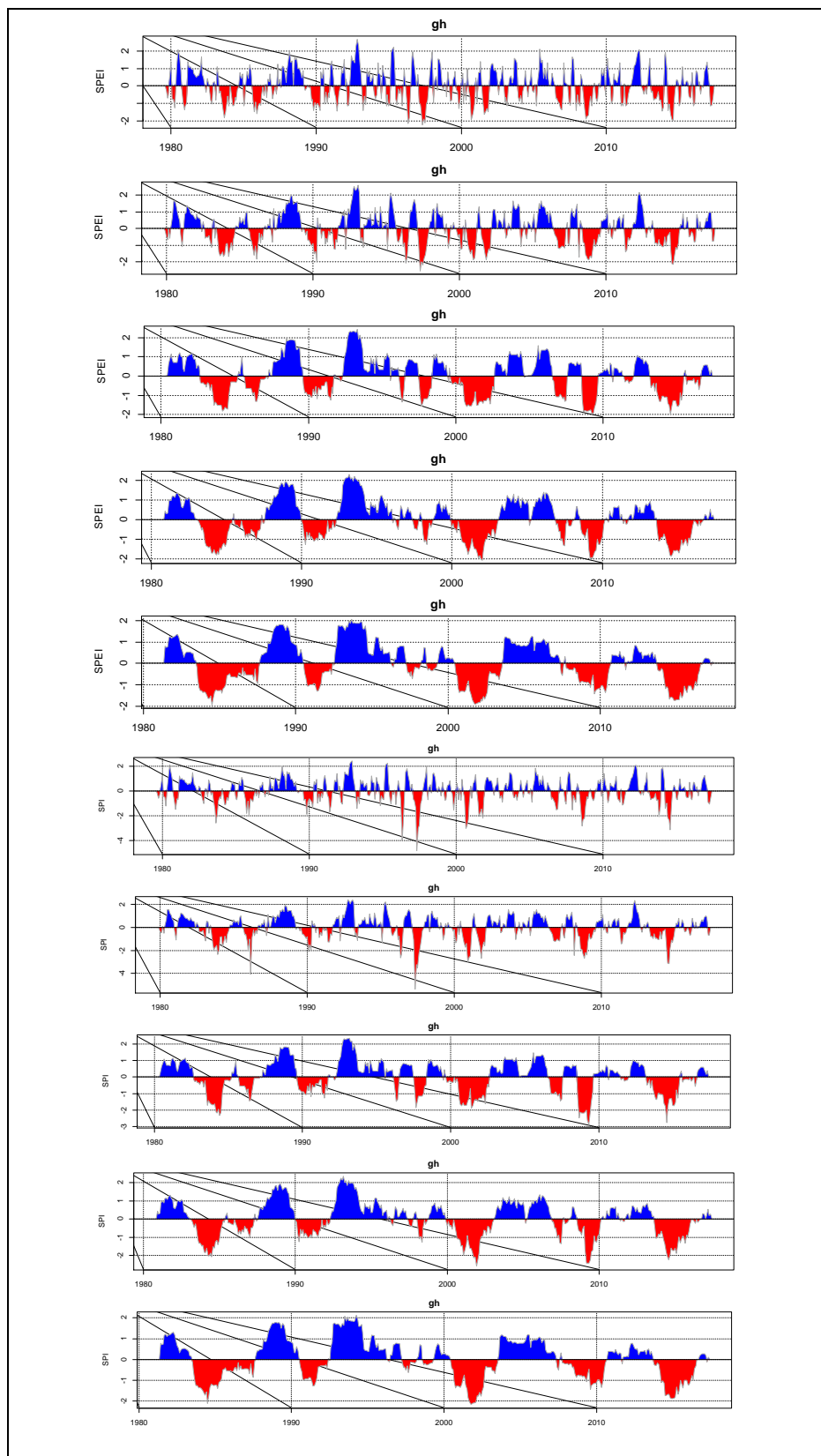


Fig. 3- Diagram of the monthly variations of SPI and SPEI in Ghasem-Khan station during the statistical period and on the time scales of 3 to 24 months

شکل ۳- نمودار تغییرات ماهانه SPI و SPEI ایستگاه قاسم‌خان در طول دوره آماری و در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۲۴ ماهه

Table 5- Characteristics of the dry and wet periods based on the SPEI and SPI indices at Ghasem-Khan station

جدول ۵- ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص‌های SPEI و SPI در ایستگاه قاسم‌خان

features	Time scales of SPI					Time scales of SPEI				
	3	6	12	18	24	3	6	12	18	24
Max of Drought Index	-1.03	-1.56	-1.71	-1.71	-1.85	-1.43	-1.63	-1.55	-1.55	-1.45
Max of Wet Index	1.02	1.44	1.92	1.69	1.90	1.59	1.81	1.80	1.80	1.67
Number of Dry years	17	18	18	16	17	21	19	18	18	16
Number of Wet years	20	19	19	21	20	16	18	19	19	21
Number of Dry years (%)	45.95	48.65	48.65	43.24	45.95	56.76	51.35	48.65	48.65	43.24
Number of Wet years (%)	54.05	51.35	51.35	56.76	54.05	43.24	48.65	51.35	51.35	56.76
Max of Drought Duration	2006-2008	1982-1985	1982-1986	1983-1986	1983-1986	2006-2016	2006-2016	2006-2016	2006-2016	2006-2016
Max of Drought Duration (Number)	3	4	5	4	4	11	11	11	11	11

۴- خلاصه و جمع‌بندی

در بسیاری از مطالعات هواشناسی، اقلیمی، هیدرواقلمی، هیدرولوژیکی و همچنین برنامه‌ریزی‌های آبیاری، وجود داده‌های بارش و دما و به‌ویژه توزیع مکانی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دما در کنار بارش از مهم‌ترین عناصر اقلیمی محسوب می‌گردد که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی نیز مؤثر است. داده‌های بازتخلی، تلفیقی از داده‌های دیدبانی و مدل‌سازی هستند. برای مناطقی که فاقد داده‌اند یا شبکه ایستگاه‌ها تراکم کمی دارند از مدل‌سازی استفاده می‌شود که در روش تحقیق به آن پرداخته شد. در این پژوهش جهت ارزیابی خشکسالی با شاخص‌های SPI و SPEI از داده‌های تلفیقی بازتخلی ERA-Interim و دیدبانی استفاده شد و داده‌های بارش و دما برای دوره ۲۰۱۶-۱۹۷۹ تولید شدند. پس از اعمال آریبی به داده‌های دیدبانی و تهیه داده‌های تلفیقی، آریبی تا حد زیادی کاهش یافته و ضریب NSE به یک رسیده است. همینطور RMSE برای کل ایستگاه‌ها کاهش یافته است که نشان‌دهنده توانایی بالا و قابل اعتماد داده‌های بازتخلی در برآورد خشکسالی می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های بدست آمده و نرم‌افزار R شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت و همبستگی آن‌ها محاسبه شد. تعیین همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI می‌تواند امکان‌پذیری استفاده از شاخص SPI در مناطق فاقد داده‌های دمایی و به تبع آن استفاده نکردن از شاخص SPEI را با توجه به معنی‌داری و ضریب همبستگی، فراهم کند. به عبارت دیگر می‌توان گفت که در صورت وجود همبستگی معنی‌دار بین شاخص‌های اشاره شده، می‌توان از شاخص SPI در مناطق فاقد داده‌ی دمایی و با دقت شاخص SPEI استفاده کرد؛ اگرچه این امر ناقص‌تری شاخص SPEI نسبت به SPI به سبب لحاظ کردن عامل دما علاوه بر بارندگی در بررسی وضعیت خشکسالی و ترسالی نیست.

بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان استنباط نمود که متوسط حداقل و حداکثر شاخص خشکسالی محاسبه شده توسط روش SPEI در همه ایستگاه‌ها کمتر است. دلیل این امر را می‌توان به در نظر گرفتن عامل دما در تعیین دوره‌های خشک و مرطوب و بیلان آب نسبت داد. در بین حداکثر شاخص خشکسالی نیز ایستگاه‌ها رفتار مشابهی داشتند.

نتایج تحلیل همبستگی مقادیر محاسبه شده‌ی شاخص SPI و SPEI در ایستگاه‌های منطقه همراه مقادیر ضریب همبستگی و سطح معنی‌داری در شکل‌های ۵ تا ۷ به صورت ماتریس پراکندگی ابر نقاط نشان داده شده است. با استفاده از آزمون همبستگی در قالب عرضه‌ی نمودار ابر نقاط، هیستوگرام، فراوانی و ضریب معنی‌داری، می‌توان همبستگی آماری را با دقت بیشتری مورد تحلیل قرار داد. بر اساس اطلاعات عرضه شده در شکل‌های ۵ تا ۷، نمودار پراکندگی ابر نقاط به همراه هیستوگرام فراوانی مقادیر شاخص‌ها، ضریب همبستگی و سطوح معنی‌داری ($P < 0.001$)، ($P < 0.01$) و ($P < 0.05$) بین مقادیر شاخص‌های SPI و SPEI در هر ایستگاه داده شده است؛ که به ترتیب با *، ** و *** مشخص شده است.

بررسی شکل‌های ۵ تا ۷ نشان می‌دهد که در تمام مقیاس‌های زمانی، شاخص SPI و SPEI ایستگاه جغتای کمترین همبستگی و ایستگاه سرچشمه بیشترین همبستگی را به خود اختصاص داده‌اند. مقدار همبستگی در ایستگاه جغتای در مقیاس ۳، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه به ترتیب ۰/۵۸، ۰/۶۲، ۰/۵۸، ۰/۵۸ و ۰/۵۷ و در ایستگاه سرچشمه به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۷۷، ۰/۷۷، ۰/۷۶ و ۰/۷۵ برآورد شده است؛ که نشان‌دهنده این است که شاخص SPEI و SPI در مناطق با بارندگی و رطوبت بیشتر، همبستگی بالاتری دارند و در مناطق خشک همبستگی آن‌ها کاهش می‌یابد که علت آن نقش تبخیر-تعرق در محاسبه شاخص SPEI می‌باشد.

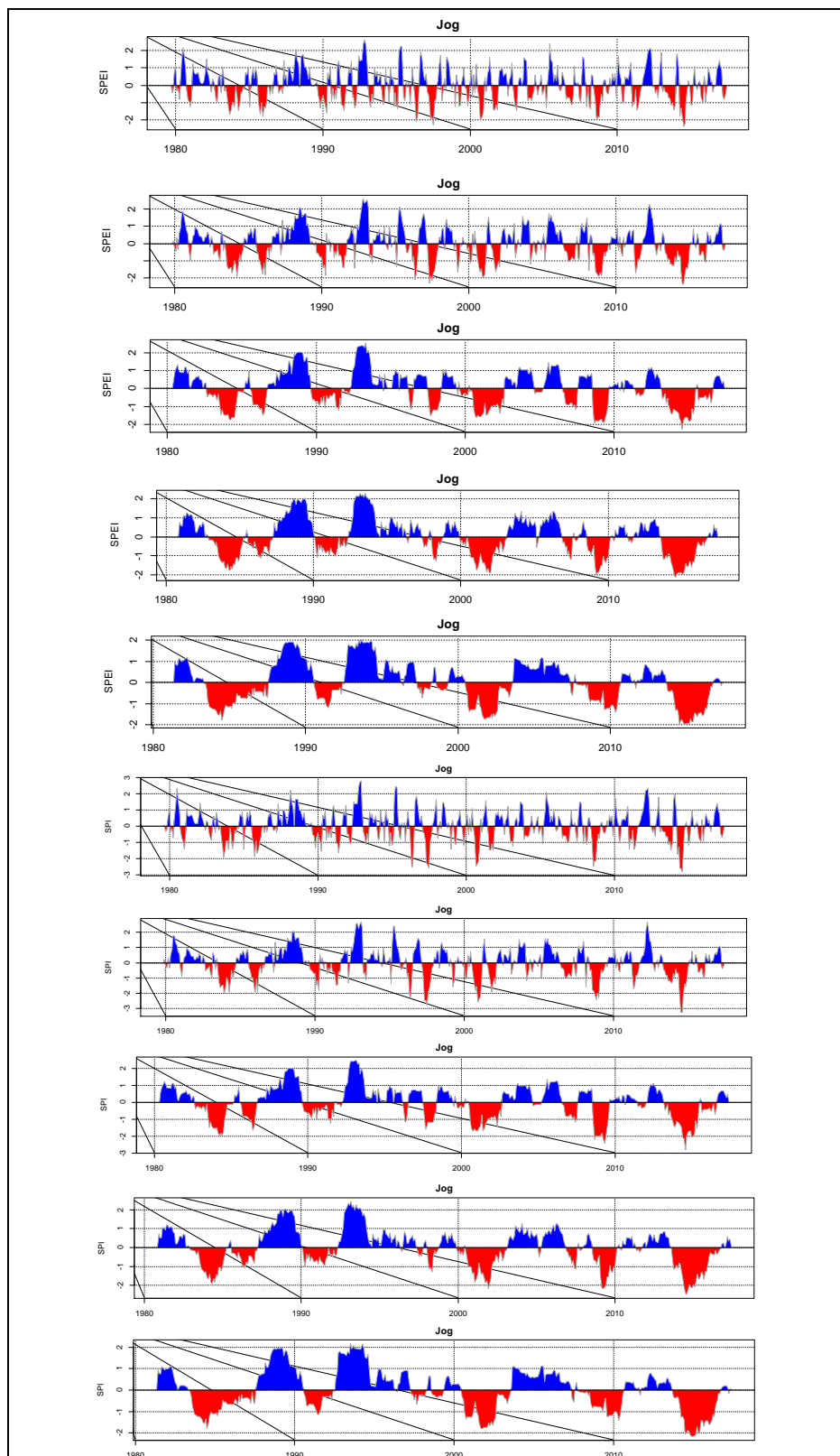


Fig. 4- Diagram of the monthly variations of SPI and SPEI in Joghatay station during the statistical period and on the time scales of 3 to 24 months

شکل ۴- نمودار تغییرات ماهانه SPI و SPEI ایستگاه جغتای در طول دوره آماری و در مقیاس‌های زمانی ۳ تا ۲۴ ماهه

Table 6- Characteristics of the dry and wet periods based on the SPEI and SPI indices at Joghatay station
جدول ۶- ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب بر اساس شاخص‌های SPEI و SPI در ایستگاه جغتای

features	Time scales of SPI					Time scales of SPEI				
	3	6	12	18	24	3	6	12	18	24
Max of Drought Index	-0.96	-1.34	-1.89	-2.02	-1.96	-1.35	-1.55	-1.60	-1.62	-1.51
Max of Wet Index	0.99	1.53	2.02	1.85	1.95	1.53	1.70	1.65	1.61	1.61
Number of Dry years	18	16	18	16	17	21	19	20	18	19
Number of Wet years	19	21	19	21	20	16	18	17	19	18
Number of Dry years (%)	48.65	43.24	48.65	43.24	45.95	56.76	51.35	54.05	48.65	51.35
Number of Wet years (%)	51.35	56.76	51.35	56.76	54.05	43.24	48.65	45.95	51.35	48.65
Max of Drought Duration	2013-2015	2013-2015	1982-1986	1983-1986	2013-2016	2004-2016	2004-2016	2004-2016	2004-2016	1998-2016
Max of Drought Duration (Number)	3	3	5	4	4	13	13	13	13	19

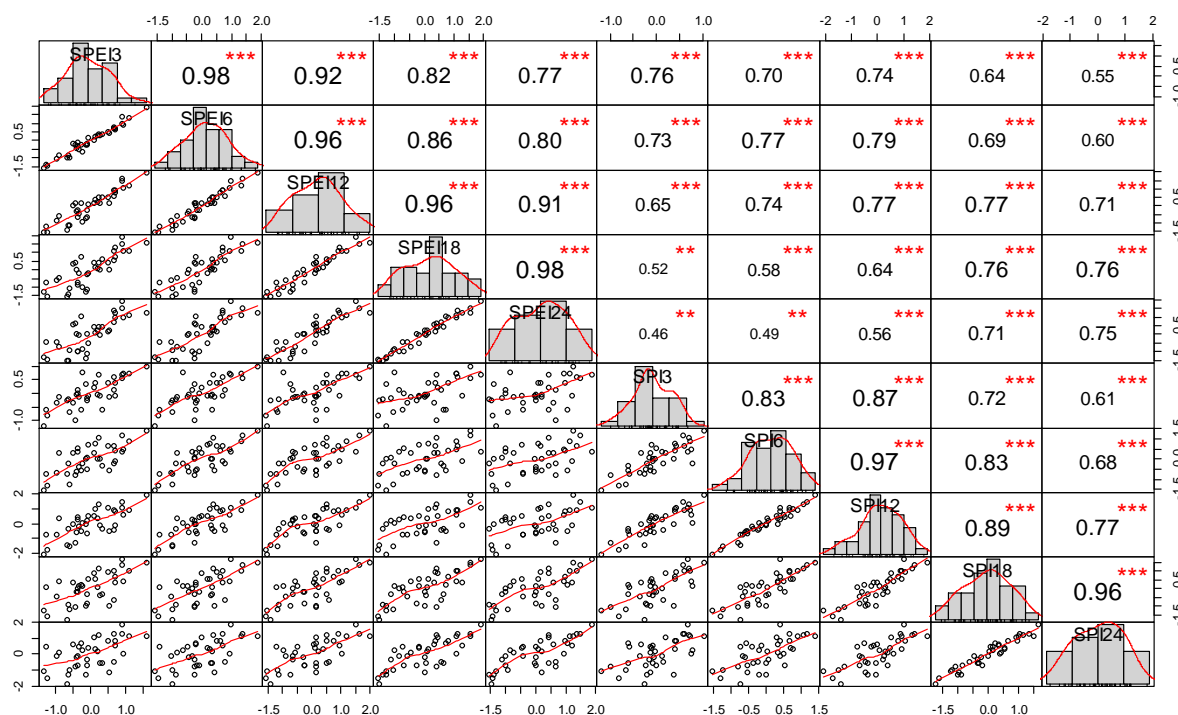


Fig. 5- Correlation and scatter plot for SPI and SPEI indices in Sarcheshme station at different time scales
شکل ۵- نتایج همبستگی و نمودار پراکندگی بین شاخص‌های SPEI و SPI ایستگاه سرچشمه در مقیاس‌های زمانی مختلف

شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر-تعرق در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار است. همبستگی بالاتر ایستگاه سرچشمه (شرایط کوهستانی) نسبت به ایستگاه جوین (شرایط نیمه خشک و دشتی) نشان‌دهنده این مهم است که در مناطق مرطوب‌تر به دلیل نقش دما، همبستگی بین شاخص‌های SPEI و SPI افزایش می‌یابد که با اطمینان بیشتری می‌توان از شاخص SPI در شرایط فقدان داده به جای SPEI استفاده کرد.

براساس نتایج عرضه شده در خصوص همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI مشاهده می‌شود که در همه ایستگاه‌های مورد بررسی، بین شاخص‌های پیش‌گفته همبستگی وجود دارد. نتایج تحلیل‌های مقایسه‌ای، ضریب‌های همبستگی را بین ۰/۷۷ و ۰/۵۸ نشان می‌دهد. همان‌گونه که در نتایج مشاهده شد، همبستگی بین مقادیر شاخص‌های SPI و SPEI محاسباتی در همه ایستگاه‌های مورد بررسی از نوع همبستگی مثبت است. در همین راستا در همه ایستگاه‌ها همبستگی بین مقادیر شاخص‌های بارش استاندارد و

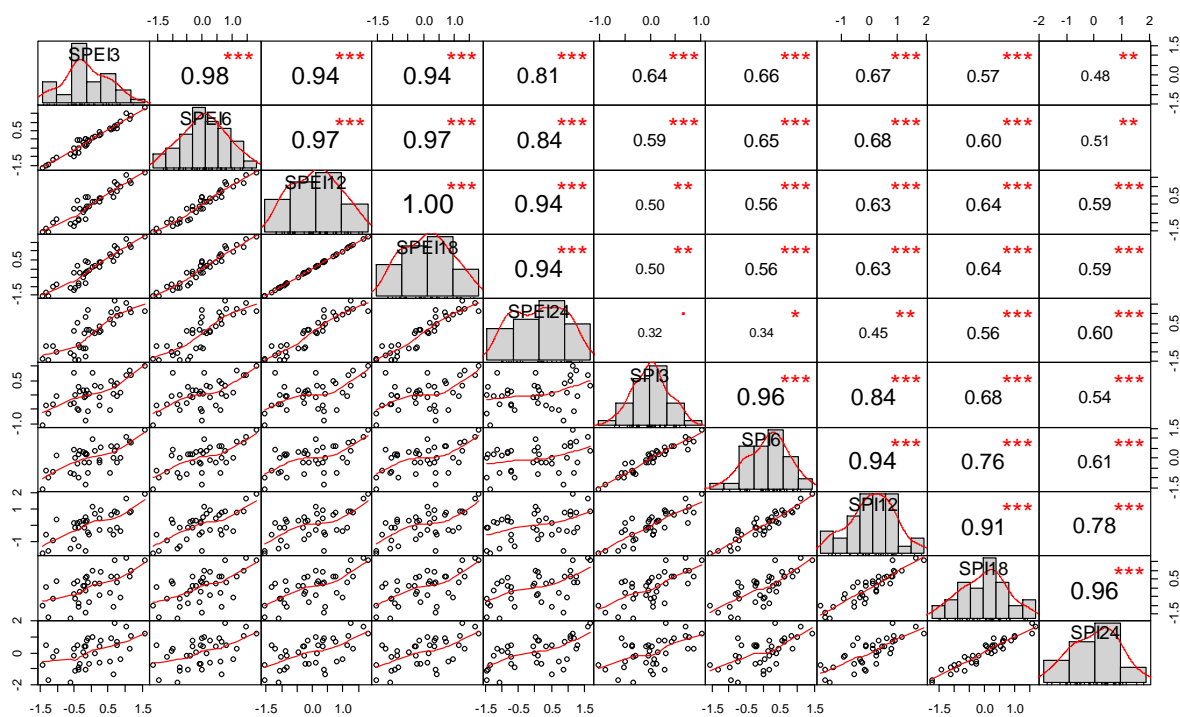


Fig. 6- Correlation and scatter plot of SPI and SPEI indices in Ghasem-Khan station at different time scales
 شکل ۶- نتایج همبستگی و نمودار پراکندگی بین شاخص‌های SPEI و SPI ایستگاه قاسم‌خان در مقیاس‌های زمانی مختلف

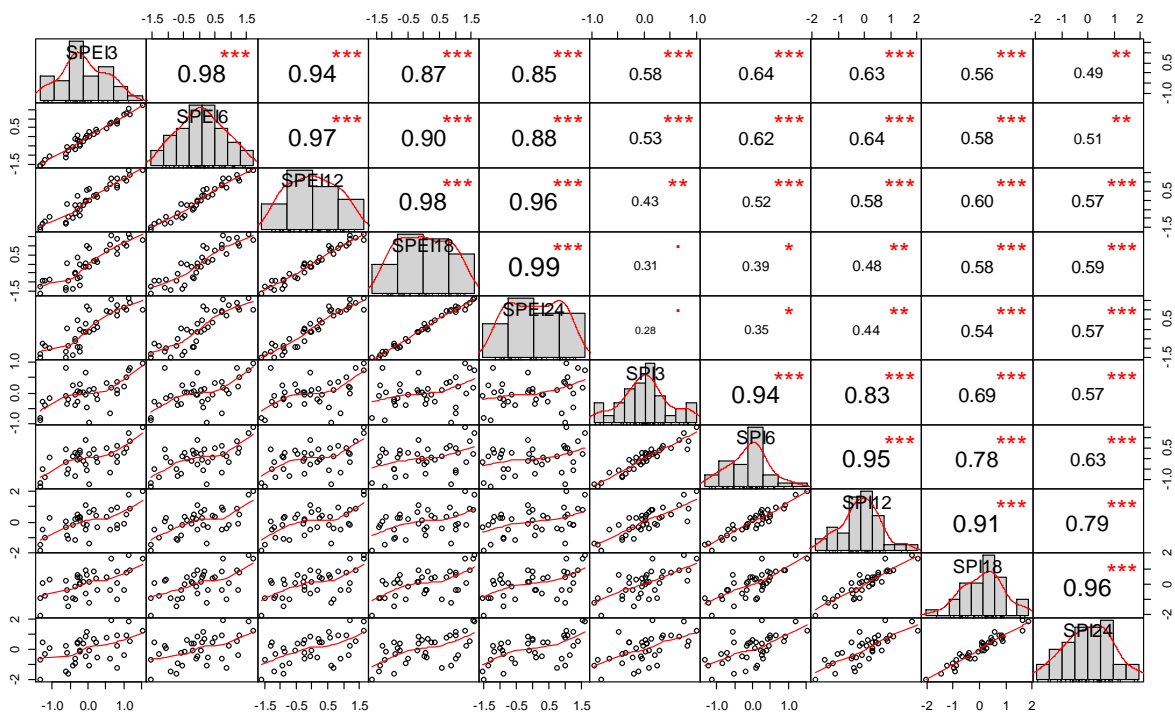


Fig. 7- Correlation and scatter plot of SPI and SPEI indices in Joghatay station at different time scales
 شکل ۷- نتایج همبستگی و نمودار پراکندگی بین شاخص‌های SPEI و SPI ایستگاه جغتای در مقیاس‌های زمانی مختلف

- Bordi I, Fraedrich K, Petitta M and Sutera A (2006) Large-scale assessment of drought variability based on NCEP/NCAR and ERA-40 re-analyses. *Water Resources Management* 20(6):899-915
- DeGaetano AT (1999) A temporal comparison of drought impacts and responses in the New York city metropolitan area. *Climatic Change*, Springer 42(3):539-560
- Dupigny-Giroux L-A (2001) Towards characterizing and planning for drought in vermont-part i: a climatological perspective. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, Wiley Online Library 37(3):505-525
- European center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (2013) European centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) 2005. User Guide
- Evans J and Geerken R (2004) Discrimination between climate and human-induced dryland degradation. *Journal of Arid Environments* 57(4):535-554
- Flannigan MD and Harrington J (1988) A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953-80). *Journal of Applied Meteorology* 27(4):441-452
- Hayes MJ (1999) Drought indices. National Drought Mitigation Center, Available on line: <http://www.civil.utah.edu/~cv5450/swwsi/indices.htm#deciles>
- Karl TR and Riebsame WE (1984) The identification of 10- to 20-year temperature and precipitation fluctuations in the contiguous united states. *Journal of Applied Meteorology*, 950-966, Available at: <http://dx.doi.org/10.1175%2F1520-0450%281984%29023%3C0950%3ATIOTYT%3E2.0.CO%3B2>
- Khalighi Sigaroudi S, Sadeghi sangdehi S, Awsati K and Ghavidel Rahimi Y (2009) The study of drought and wet year assessment models for stations in Mazandaran Province. *Iranian journal of Range and Desert Reseach* 16(1):44-54 (In Persian)
- Labudova L, Schefczyk L and Heinemann G (2014) The comparison of the SPI and the SPEI using COSMO model data in two selected Slovakian river basins. *EGU General Assembly Conference Abstracts*
- Leilah AA and Al-Khateeb SA (2005) Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid environments*, Elsevier 61(3):483-496
- Liu Y, Zhou Y, Ju W, Wang S, Wu X, He M and Zhu G (2014) Impacts of droughts on carbon sequestration by China's terrestrial ecosystems from 2000 to 2011. *Biogeosciences* 11(10):2583-2599

به طور کلی می‌توان گفت که با استفاده از داده‌های اقلیمی، عدم نیاز به فرضیه‌هایی درباره مدل‌سازی سامانه‌ی مورد نظر و تعیین بی‌هنجاری‌های اقلیمی، از مزایای شاخص‌های SPI و SPEI نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی است. در این راستا پیوست‌های تدوین شده SPI و SPEI در نرم‌افزار R برای محاسبه‌ی سری‌های زمانی شاخص SPI و SPEI مورد استفاده قرار می‌گیرد که تابع‌های کمکی متعددی در اختیار تحلیل نتایج شاخص‌ها قرار داده است. فقدان داده‌های آماری مناسب و در دسترس، از مشکلاتی است که پژوهش‌گران در حوضه‌های مطالعات اقلیمی با آن مواجه‌اند. از این‌رو استفاده از داده‌های تلفیقی بازتحلیلی و دیدبانی - که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت - می‌تواند پایگاه مناسبی جهت ارزیابی‌های خشکسالی در مناطق مختلف به خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد. پیشنهاد می‌گردد سایر شاخص‌های خشکسالی نیز با استفاده از داده‌های تلفیقی مورد ارزیابی قرار گرفته و با شاخص‌های SPI و SPEI مقایسه شوند تا رفتار خشکسالی با استفاده از این شاخص‌ها در منطقه اسفراين-سبزوار مورد مقایسه قرار گیرد. پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی، با استفاده از آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر خشکسالی، به ارزیابی ریسک خشکسالی پرداخته و استراتژی‌های مناسب جهت سازگاری با خشکسالی پیشنهاد گردد.

بی‌نوشت‌ها

- 1- Standardized Precipitation Index
- 2- Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index
- 3- Reanalysis
- 4- Data Assimilation
- 5- Web Interfaces

۵- مراجع

- Abramopoulos F, Rosenzweig C and Choudhury B (1988) Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs): Soil water movement and evapotranspiration. *Journal of Climate* 1(9):921-941
- Austin RB, Cantero-Martínez C, Arrúe JL, Playán E and Cano-Marcellán P (1998) Yield-rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain. *European Journal of Agronomy*, Elsevier 8(3-4):239-248
- Banimahd S and Khalili D (2014) Drought class transition analysis by Markov Chains and Log-Linear models: approach for early drought warning. *Iran-Watershed Management Science & Engineering* 8(24):1-5

- (LLD3) by Pome. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, Springer 7(3):163-177
- Stagge JH, Kohn I, Tallaksen LM and Stahl K (2015) Modeling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe. *Journal of Hydrology*, Elsevier, B.V. 530:37-50, Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.039>
- Tajbakhsh S, Eisakhani N and Fazel Kazemi N (2015) Assessment of meteorological drought in Iran using standardized precipitation and evapotranspiration index (SPEI). *Journal of the Earth and Space Physics* 41:313-321 (In Persian)
- Thorntwaite CW (1948) An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38:55-94
- Vicente-Serrano SM, Beguer'ia S and López-Moreno JI (2010) A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate* 23(7):1696-1718
- Vicente-Serrano SM and Lopez-Moreno JI (2005) Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the standardized precipitation index in amountainous mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences* 9:523-533
- Xie P, Janowiak JE, Arkin PA, Adler R, Gruber A, Ferraro R, Huffman GJ and Curtis S (2003) GPCP pentad precipitation analyses: An experimental dataset based on gauge observations and satellite estimates. *Journal of Climate* 16(13):2197-2214
- Yao N, Li Y, Lei T and Peng L (2018) Drought evolution, severity and trends in mainland China over 1961–2013. *Science of the Total Environment* 616–617:73–89. Available at: <http://www.science direct.com/science/article/pii/S0048969717330450>
- Zare Abianeh H and Mahboobi A (2004) Evaluation of drought situation and its process in Hamadan region on the basis of drought statistical indexes. *Pajouhesh & Sazandegi* 16(64):2-7 (In Persian)
- Zare Abyaneh H, Ghabaei Sough M and Mosaedi A (2015) Drought monitoring based on Standardized Precipitation Evaoptranspiration Index (SPEI) under the effect of climate change. *Journal of Water and Soil* 29(2):374-392
- Zeynali B and Safarian Zengir V (2017) Drought monitoring in Urmia Lake by fuzzy index. *Journal of Natural Environmental Hazards* 6(12):37-62
- Mavromatis T (2007) Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. *International Journal of Climatology*, Wiley Online Library 27(7):911-924
- Mckee TB, Doesken NJ and Kleist J (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. *AMS 8th Conference on Applied Climatology* (January):179-184. Available at: <http://ccc.atmos.colostate.edu/relationshipofdrought frequency.pdf>
- Mosaedi A, Khalili zade M and Mohammadi A (2008) Drought monitoring in Golestan Province. *J. agric. sci. natur. resour* 15(2) (In Persian)
- Mostafazadeh R and Zabihi M (2016) Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Journal of the Earth and Space Physics* 42(3):633-643 (In Persian)
- Nosrati K (2015) Assessment of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) for drought identification in different climates of Iran. *Environmental Sciences* 12(4):63-74 (In Persian)
- Pickup G (1999) Desertification and climate change-the Australian perspective. *Climate Research* 11(1):51-63
- Potop V (2011) The application a new drought index-standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí* 2(2010):4.2. Available at: <http://www.cbks.cz/SbornikSMlyn11/Potop1.pdf>
- Raziei T, Bordi I and Pereira LS (2011) An application of GPCP and NCEP/NCAR datasets for drought variability analysis in Iran. *Water resources management*. Springer 25(4):1075-1086
- Raziei T, Bordi I, Pereira LS and Sutera A (2010) Space-time variability of hydrological drought and wetness in Iran using NCEP/NCAR and GPCC datasets. *Hydrology and Earth System Sciences* 14(10):1919-1930
- Raziei T, Saghafian B, Paulo AA, Pereira LS and Bordi I (2009) Spatial patterns and temporal variability of drought in Western Iran. *Water Resources Management* 23(3):439-455
- Rossi G (2003) *Tools for drought mitigation in Mediterranean Regions*. Springer Science & Business Media
- Singh VP, Guo H and Yu FX (1993) Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution