



## Technical Note

Simulation of RDI and SPEI Indices in Stations  
With Insufficient Historic DataM.M. Moghimi<sup>1\*</sup>, F. Khajehi<sup>2</sup>, and M.R. Mahmoudi<sup>3</sup>

## Abstract

Calculation of stronger indices requires extensive meteorological data that may not be recorded in some areas, but in most areas rain gauges record rainfall data. In this research, the RDI and SPEI indices simulated with acceptable accuracy using the SPI index (only rainfall data is required for its calculation). Simulation was performed using generalized estimating equations (GEE) and then validation of these simulation models was performed using different goodness of fit measures (NSE, RMSE, MAE,  $R^2$  and comparison with 1:1 line (using t-test)). The calculated values of different goodness of fit measures indicated the acceptable validity of fitted GEE models. Comparison between goodness of fit parameters and validation coefficients indicated that, in general, the SPEI model was better than RDI model. Models validation showed that the difference between simulated and observed data was not significant at 5% significance level. Results indicated the better performance of simulation models in arid region of the Fars province.

**Keywords:** Drought, Simulation, SPI, GEE.

Received: August 15, 2018

Accepted: March 26, 2019

## یادداشت فنی

شبیه‌سازی شاخص‌های RDI و SPEI در ایستگاه‌های  
فاقد آمار کافیمحمد مهدی مقیمی<sup>۱\*</sup>، فرزانه خواجه‌ای<sup>۲</sup>  
و محمدرضا محمودی<sup>۳</sup>

## چکیده

محاسبه شاخص‌های قوی‌تر جهت پایش خشکسالی مستلزم در اختیار داشتن داده‌های گسترده هواشناسی است که ممکن است در برخی از مناطق ثبت نشده باشد ولی در بسیاری از مناطق، ایستگاه‌های باران‌سنجی داده‌های بارندگی را ثبت می‌کنند. در این تحقیق از شاخص SPI که در محاسبه آن فقط به داده‌های بارندگی نیاز است جهت شبیه‌سازی شاخص‌های قوی‌تر RDI و SPEI استفاده گردید. جهت شبیه‌سازی از معادلات برآوردگر تعمیم یافته (GEE) استفاده شد. اعتبارسنجی مدل‌های برازش داده شده جهت شبیه‌سازی توسط معیارهای مختلف نیکویی برازش (NSE، RMSE، MAE،  $R^2$  و مقایسه با خط یک به یک) انجام شد. به طور کلی نتایج، مدل مربوط به شاخص SPEI نسبت به مدل شاخص RDI شبیه‌سازی بهتری انجام داد. اعتبارسنجی مدل‌ها نشان‌دهنده تفاوت غیرمعنی‌دار داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده شده در سطح ۵٪ بود. ضمناً نتایج بیانگر جواب بهتر مدل‌های کلی برازش داده شده در این تحقیق در منطقه خشک استان می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** خشکسالی، شبیه‌سازی، SPI، GEE.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۵/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱/۶

1- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran. Email: moghimi@fasau.ac.ir

2- M.Sc. Graduate of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Statistics, Faculty of Science, Fasa University, Fasa, Iran. Email: mahmoudi.m.r@fasau.ac.ir

\*- Corresponding Author

۱- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، ایران.

۳- استادیار، گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فسا.

\*- نویسنده مسئول

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

۱- مقدمه

درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی) انجام گردید. ارتفاع ایستگاه‌های مورد استفاده از سطح دریا بین ۴۱۱ متر (لامرد) تا ۲۳۰۰ متر (اقلید) و مقدار میانگین بارندگی سالانه این ایستگاه‌ها بین ۱۳۴/۴ (آباده) تا ۴۷۸ میلی‌متر (درودزن) متغیر است.

۲-۱- محاسبه شاخص‌های خشکسالی

حذف ماه‌های غیر بارانی منجر به یک تخمین واقع‌بینانه از وضعیت خشکسالی می‌شود. برای انتخاب ماه‌های بارانی از روش باکس‌پلات استفاده شد (Abolverdi and Khalili, 2011). بعد از انتخاب ماه‌های بارانی در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، شاخص‌های خشکسالی برای سری‌های زمانی فاقد ماه‌های غیربارانی محاسبه گردید. جزییات محاسبه شاخص SPI در مطالعات متعددی از جمله (McKee et al., 1995) و (Khalili et al., 2011). جزییات محاسبه شاخص RDI در مطالعات متعددی از جمله (Tsakiris and Vangelis, 2005) و (Banimahd and Khalili, 2013) و (Vicente-Serrano et al., 2010) در مطالعات متعددی از جمله (Banimahd and Khalili, 2013) آمده است.

۲-۲- شبیه‌سازی شاخص‌های RDI و SPEI با استفاده از شاخص SPI

شبیه‌سازی در طی دو مرحله صورت گرفت: الف) برازش معادلات برآوردگر تعمیم‌یافته (مدل GEE<sup>5</sup>) بین سری‌های زمانی شاخص‌های RDI و SPEI با سری زمانی شاخص SPI، با توجه به همبستگی درون مجموعه مشاهدات در داده‌های پانلی، نمی‌توان تحلیل آماری را با استفاده از رگرسیون معمولی انجام داد. یکی از روش‌های استوار در مدل‌سازی داده‌های همبسته، روش معادلات برآوردیابی تعمیم‌یافته (GEE) است (Gardiner et al., 2009; Bullinger, 2004). با توجه به خشک و نیمه‌خشک بودن اقلیم استان فارس، یک معادله برای ناحیه با اقلیم خشک استان (نیمه جنوبی استان و قسمتی هم در شمال شرق استان) (شکل ۱)، و یک معادله هم برای برای اقلیم نیمه‌خشک استان (نیمه‌شمالی استان) به دست آمد. صورت کلی معادله GEE استفاده شده در این تحقیق یک معادله درجه ۴ به صورت زیر بود:

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4 \quad (1)$$

که در آن Y، متغیر وابسته که در اینجا شاخص‌های RDI و SPEI هستند و x، متغیر مستقل که شاخص SPI می‌باشد. b<sub>0</sub> تا b<sub>4</sub> نیز ضرایب معادله برآوردگر می‌باشند. ب) اعتبارسنجی معادلات برازش داده شده در ایستگاه‌هایی که در به دست آوردن معادلات مرحله الف

خشکسالی یک پدیده طبیعی تکرار شونده است که با کاهش منابع آب در منطقه وسیع جغرافیایی و دوره زمانی قابل توجه همراه است. جهت کمی‌سازی خشکسالی، شاخص‌های متعددی ارائه گردیده است که در بین آنها شاخص‌های شدت خشکسالی پالم (PDSI<sup>1</sup>) (Palmer, 1965; Guttman et al., 1992) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI<sup>2</sup>) (McKee, 1995; Agnew, 2000; Tsakiris and Vangelis, 2004) بیشتر از همه مورد پذیرش و استفاده قرار گرفته است. در محاسبه شاخص بارش استاندارد شده (SPI) که توسط McKee et al. (1993) معرفی گردید، فقط پارامتر بارندگی لحاظ شده است. جهت در نظر گرفتن دیگر پارامترهای مؤثر در محاسبه شاخص‌های کمی‌ساز خشکسالی، از جمله دما و تبخیر-تعرق، شاخص‌های دیگری از جمله شاخص شناسایی خشکسالی (RDI<sup>3</sup>) و شاخص بارش-تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI<sup>4</sup>) ارائه شدند که توسط محققین مورد پذیرش قرار گرفته و در مطالعات متعددی از آنها استفاده گردیده است (Tabrizi et al., 2010; Abolverdi and Khalili, 2010; Merabti et al., 2018; Mousavi and Shokoochi, 2019; Khalili et al., 2019). شاخص RDI توسط (Tsakiris and Vangelis, 2005) و شاخص SPEI نیز توسط (Serrano et al., 2010) ارائه گردید. شاخص SPEI بر داده‌های بارندگی و تبخیر-تعرق بنا نهاده شده است. شاخص SPEI بر داده‌های بارندگی و دما بنا نهاده شده و از نظر ریاضی شاخص SPEI شبیه شاخص SPI است با این تفاوت که شاخص SPEI نقش دما را هم لحاظ می‌کند. این شاخص‌ها به طور متعدد در مطالعات بررسی خشکسالی استفاده شده که در آنها به مزایا و معایب این شاخص‌ها پرداخته شده است. هدف این تحقیق استفاده از مزیت شاخص‌ها برای بررسی هر چه بهتر خشکسالی در مناطق فاقد آمار کافی می‌باشد. در واقع از مزیت نیاز صرف شاخص SPI به داده بارندگی استفاده می‌شود و شبیه‌سازی شاخص‌های RDI و SPEI (به عنوان شاخص‌های قویتر از SPI در بررسی مشخصات خشکسالی بالاخص برای کاربرد در بخش کشاورزی) با استفاده از برازش مدل رگرسیونی تعمیم یافته بین این شاخص‌ها و شاخص SPI، انجام می‌گردد و بدین ترتیب در مناطق فاقد آمار کافی شاخص‌های قوی‌تر قابل محاسبه خواهد بود.

۲- روش تحقیق

این تحقیق با استفاده از داده‌های ۱۲ ایستگاه سینوپتیک (بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷) در استان فارس (بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۷

استفاده نشده بودند (منطقه خشک (ایستگاه چهارم) و منطقه نیمه خشک (سپیدان)).

استفاده نشده بودند (منطقه خشک (ایستگاه چهارم) و منطقه نیمه خشک (سپیدان)).

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- برازش معادلات برآوردگر تعمیم یافته (مدل GEE)

رابطه بین شاخص‌های RDI و SPEI با شاخص SPI در شکل ۲ مربوط به ایستگاه شیراز (به طور نمونه) آورده شده که در مابقی ایستگاه‌ها نیز روند مشابهی مشاهده گردید. این روابط به‌طور کلی نیز برای مناطق خشک و نیمه‌خشک در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این روابط غیرخطی است. برازش معادلات GEE (معادله ۱) در محیط نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. این معادلات ابتدا در هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی به‌طور مجزا برازش داده شد و سپس ۴ رابطه کلی برای دو منطقه خشک و نیمه‌خشک استان به دست آمد.

این نتایج بیانگر درجه ۴ بودن معادلات برازش داده شده بین شاخص‌های SPEI و SPI در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی است. معادلات برازش داده شده بین RDI و SPI در برخی از ایستگاه‌ها (آباد، اقلید، ایردخواست، کازرون و نی‌ریز) از نوع درجه ۳ به دست آمد.

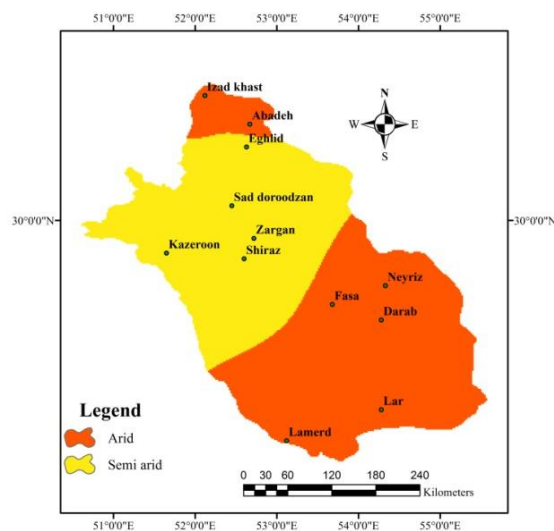


Fig. 1- Climatic zoning of Fars province, using De Martonne method

شکل ۱- پهنه‌بندی اقلیمی استان فارس با استفاده از روش دومارتن

جهت اعتبارسنجی از معیارهای ضریب بازه نش-ساتکلیف ( $NSE^6$ )، مجذور میانگین مربعات خطا ( $RMSE^7$ )، میانگین خطای مطلق

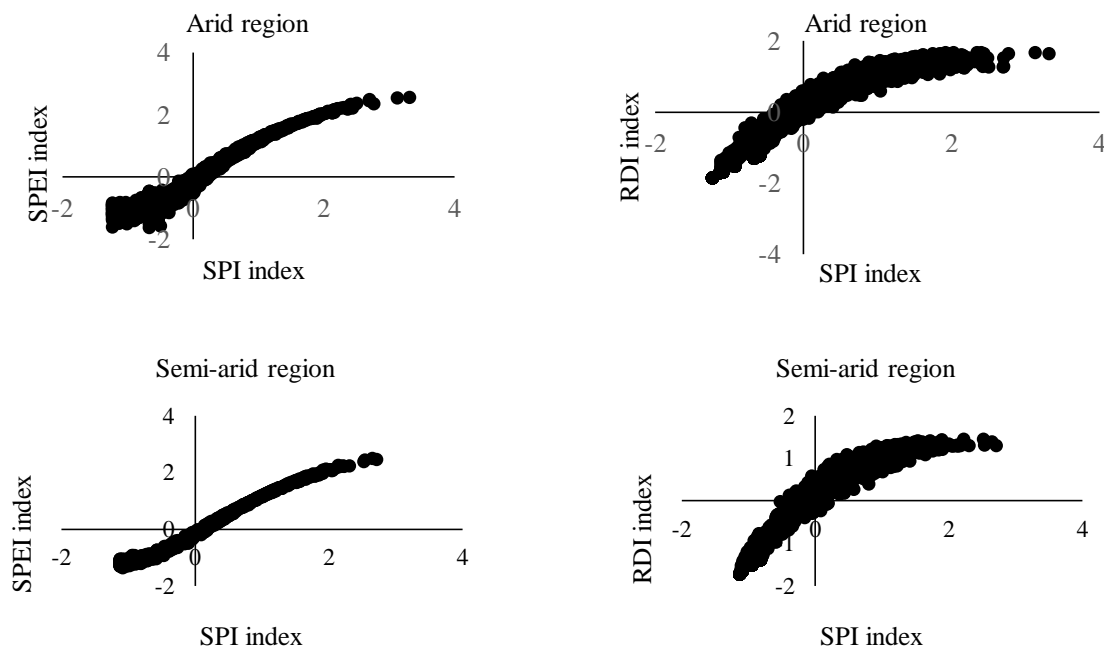


Fig. 2- Relationship between indices in arid and semi-arid regions

شکل ۲- رابطه بین شاخص‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک

**Table 1- Coefficients of GEE (Eq. 1)**  
**جدول ۱- ضرایب معادله GEE (معادله ۱)**

Region	Drought index	Coefficients of GEE model				
		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>
Arid	RDI	0.157	1.285	-0.314	-0.056	0.023
	SPEI	-0.186	1.408	0.165	-0.255	0.048
Semi-arid	RDI	0.179	1.197	-0.396	0.04	-
	SPEI	-0.189	1.37	0.141	-0.214	0.041

استان فارس واقع شده است می توان نتیجه گرفت که مدل های برازش داده شده در این تحقیق در منطقه خشک جواب بهتری داده است.

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از مزیت شاخص SPI (نیاز به فقط داده های بارندگی برای محاسبه) استفاده شد و شاخص های قوی تری از بعد کاربرد در بخش کشاورزی (RDI و SPEI) با دقت قابل قبول شبیه سازی گردید. نتایج اعتبارسنجی مدل های برازش داده شده برای منطقه خشک و منطقه نیمه خشک نشان دهنده توان بالای مدل های برازش داده شده برای شبیه سازی شاخص های RDI و SPEI در ایستگاه های فاقد آمار کافی است.

#### ۳-۱-۱- اعتبارسنجی معادلات برازش داده شده

اعتبارسنجی معادلات GEE برازش داده شده بین شاخص های RDI و SPEI با شاخص SPI در دو منطقه خشک و نیمه خشک استان با استفاده از داده های ایستگاه های سپیدان (واقع در منطقه نیمه خشک) و جهرم (واقع در منطقه خشک) انجام شد (جدول ۳). همان طور که نتایج نشان می دهد در ایستگاه سپیدان علی رغم بالا بودن ضریب همبستگی مربوط به مدل RDI (۰/۹۵۳)، تفاوت داده های شبیه سازی شده توسط این مدل با داده های مشاهده شده معنی دار است. در حالی که برای مدل SPEI این تفاوت معنی دار نیست. در ایستگاه جهرم تفاوت داده های شبیه سازی شده توسط هر دو مدل با داده های مشاهده شده معنی دار نیست. با توجه به اینکه ایستگاه جهرم در منطقه خشک

**Table 3- Validation coefficients of fitted GEE model in selected stations**  
**جدول ۳- ضرایب اعتبارسنجی مدل GEE برازش داده شده در ایستگاه های انتخابی**

Station	Drought index	Goodness of fit parameters and validation coefficients						
		B	Std. Error	Compare with 1:1 line	R <sup>2</sup>	NSE	RMSE	MAE
Sepidan	RDI	0.729	0.017	15.94*	0.953	0.900	0.285	0.141
	SPEI	1.011	0.007	1.57	0.996	0.996	0.044	0.026
Jahrom	RDI	0.999	0.022	0.05	0.963	0.921	0.121	0.064
	SPEI	1.013	0.009	1.44	0.994	0.993	0.049	0.024

\* Comparing these values with 1.96, difference with 1:1 line was significant

Agnew CT (2000) Using the SPI to identify drought. Drought Network News, University of Nebraska, Lincoln

Banimahd SA, Khalili D (2013) Factors influencing Markov Chains predictability characteristics, utilizing SPI, RDI, EDI and SPEI drought indices in different climatic zones. Water Resources Management 27(11):3911-3928

Gardiner JC, Luo Z, Roman LA (2009) Fixed effects, random effects and GEE: What are the differences. Statistics in Medicine 28(2):221-239

Guttman A, Wallis J, Hosking J (1992) Spatial comparability of Palmer Drought Severity Index. Water Resources Bulletin 28(6):1111-1119

Khalili D, Farnoud T, Jamshidi H, Kamgar-Haghighi AA, Zand-Parsa S (2011) Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in

#### پی نوشت ها

- 1- Palmer Drought Severity Index
- 2- Standardized Precipitation Index
- 3- Reconnaissance Drought Index
- 4- Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
- 5- Generalized Estimating Equations
- 6- Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient
- 7- Root Mean Squared Error
- 8- Mean Absolute Error

#### ۵- مراجع

Abolverdi J, Khalili D (2010) Probabilistic analysis of extreme regional meteorological droughts by L-moments, in a semi-arid environment. Theoretical and Applied Climatology 102:351-366

- Palmer WC (1965) Meteorological droughts. U.S. Department of Commerce, Weather Bureau Research Paper 45, 58 pp.
- Tsakiris G, Vangelis H (2005) Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water* 9(10):3-11
- Tabrizi AA, Khalili D, Kamgar-Haghighi AA, Zand-Parsa S (2010) Utilization of time-based meteorological droughts to investigate occurrence of streamflow droughts. *Water Resources Management* 24:4287-4306
- Tsakiris G (2004) Meteorological drought assessment. Paper prepared for the needs of the European Research Program MEDROPLAN (Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning), Zaragoza, Spain
- Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI (2010) A multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index–SPEI. *Journal of Climate* 23:1696-1718
- different climatic zones. *Water Resources Management* 25:1737-1757
- Khalili N, Rezaee Pazhand H, Derakhshan H, Davary K (2019) Developing a framework for agricultural drought risk assessment for rainfed wheat. *Iran-Water Resources Research* 14(4):60-72 (In Persian)
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J (1995) Drought monitoring with multiple time scales. Paper Presented at 9th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Dallas, Texas
- Merabti A, Martins DS, Meddi M, Pereira LS (2018) Spatial and time variability of drought based on SPI and RDI with various time scales. *Water Resources Management* 32(3):1087-1100
- Mousavi SM, Shokoohi A (2019) Effects of Kernel functions on SPEI and drought characteristics. *Iran-Water Resources Research* 15(2) (In Persian, Article in Press)