

مقدمه

امروزه در پایش خشکسالی، استفاده گسترده‌ای از شاخص بارندگی استاندارد^۳ (SPI) به عمل می‌آید. این شاخص نخستین بار توسط مک‌کی و همکاران [۷]، برای پایش خشکسالی در ایالت کلرادو ارائه شد. SPI عبارت است از مقداری از تابع توزیع نرمال استاندارد که احتمال تجمعی آن با احتمال تجمعی متغیر بارندگی از تابع توزیع معین مساوی باشد (ادواردز و مک‌کی [۲]). طبقه‌بندی SPI در جدول (۱) ارائه شده است. امکان توصیف شرایط خشکسالی در دامنه کاربردهای هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی به دلیل قابلیت تعریف SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف، از مزایای SPI است (هایس و همکاران [۴]).

مک‌کی و همکاران [۷] اظهار داشتند که بهترین توزیع قابل برازش بر داده‌های بارندگی ماهانه در ایالات متحده، تابع توزیع احتمال گاما است. با توجه به این‌که درمورد مقیاس‌های زمانی بیش از یک ماهه‌ی SPI، فرض پیروی داده‌های بارندگی از توزیع گاما، همواره صادق نیست (بلین [۱]، گاتمن [۳]، کومار و همکاران [۶])، بررسی چگونگی تأثیر استفاده از توابع توزیع احتمال مختلف بر مقدار SPI اهمیت می‌یابد. همچنین از آنجایی که بررسی توزیع شدت خشکسالی‌ها در گستره ایران بیانگر وقوع خشکسالی‌ها در محدوده طبقات خشکسالی خفیف و متوسط بوده (خلیلی و بذرافشان [۵])، بررسی تأثیر استفاده از توابع توزیع احتمال مختلف

جدول ۱- طبقه‌بندی SPI

Table 1. Classification of SPI

SPI	Class	طبقه
>2	Extreme Wet	ترسالی خیلی شدید
1.5 to 2	Severe Wet	ترسالی شدید
1 to 1.5	Moderate Wet	ترسالی متوسط
0.5 to 1	Mild Wet	ترسالی خفیف
-0.5 to 0.5	Normal	نرمال
-1 to -0.5	Mild Drought	خشکسالی خفیف
-1.5 to -1	Moderate Drought	خشکسالی متوسط
-2 to -1.5	Severe Drought	خشکسالی شدید
<-2	Extreme Drought	خشکسالی خیلی شدید

گزارش فنی

مقایسه‌ی دو رهیافت محاسبه‌ی شاخص بارندگی
استاندارد در اقلیم‌های خشک و مرطوب ایرانسمیه حجایی^۱ و جواد بذرافشان^۲

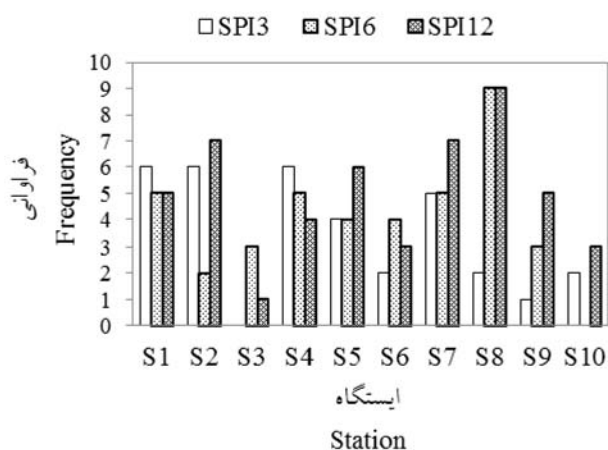
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۱۰

چکیده

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پایش خشکسالی، شاخص بارندگی استاندارد (SPI) می‌باشد. این شاخص اساس تعریف و پایش خشکسالی در بسیاری از مطالعات خشکسالی می‌باشد. در این مطالعه، از دو رهیافت برای محاسبه‌ی SPI استفاده شد. در روش اول با فرض تبعیت داده‌های بارندگی از توزیع گاما و در روش دوم با در نظر گرفتن توزیع بهینه برای مقادیر بارندگی تجمعی هر ماه، سری‌های زمانی SPI در سه مقیاس ۳، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شد و در گام بعد آزمون معنی‌داری اختلاف نتایج حاصل از دو روش انجام شد. در هر سه مقیاس زمانی، به طور متوسط، فراوانی اختلاف معنی‌دار در نتایج دو روش، در طبقه نرمال حداکثر بود و پس از آن، از میان طبقات ترسالی، طبقه‌ی ترسالی خیلی شدید و ترسالی خفیف و از میان طبقات خشکسالی، طبقات خشکسالی خفیف و خشکسالی متوسط، دارای بیشترین فراوانی از نظر اختلاف معنی‌دار در نتایج دو روش بودند. نتایج این مطالعه نشان داد استفاده از رهیافت نخست در محاسبه SPI سبب طبقه‌بندی نادرست بویژه در طبقات خفیف و متوسط خشکسالی می‌شود. از این روی، محاسبه SPI بر مبنای توزیع‌های بهینه به جای استفاده‌ی مطلق از توزیع گاما، در راستای پایش دقیق‌تر جهت اعمال مدیریت مناسب خشکسالی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: SPI، خشکسالی، تابع توزیع گاما، تابع توزیع بهینه، اقلیم‌های خشک و مرطوب

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران somayeh.hejazi@ut.ac.ir
۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران



شکل ۲- فراوانی طبقات دارای اختلاف معنی دار در مقادیر SPI_α و SPI_β در هر یک از مقیاس‌های زمانی (S_1 تا S_{10} : بندر انزلی، گرگان، همدان نوژه، مشهد، شیراز، تبریز، کرمان، تهران مهرآباد، بوشهر، زاهدان)

Figure 2. Frequency of classes having significant difference in SPI_α and SPI_β values for each time scales (S_1 to S_{10} : Bandar Anzali, Gorgan, Hamedan Nojeh, Mashhad, Shiraz, Tabriz, Kerman, Tehran Mehrabad, Bushehr, Zahedan)

به منظور مقایسه مقادیر SPI_α و SPI_β ، رابطه همبستگی خطی بین مقادیر SPI_α و SPI_β ، در هر یک از طبقات، به صورت زیر برقرار شد:

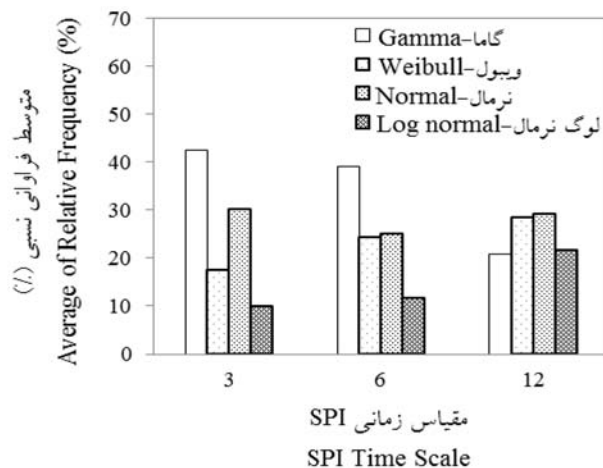
$$SPI_\alpha = a + b.SPI_\beta \quad (1)$$

که a و b به ترتیب عرض از مبدا و شیب خط رگرسیون هستند. بدیهی است که اگر $a=0$ و $b=1$ باشد، $SPI_\alpha = SPI_\beta$ خواهد بود و به عبارت دیگر نتایج به دست آمده از دو رهیافت هیچ گونه اختلافی با یکدیگر نخواهند داشت. برای آزمون عدم اختلاف معنی دار در نتایج دو رهیافت، از آزمون دو دامنه‌ای t -student استفاده شد. آماره t -student برای a (یعنی t_a) و b (یعنی t_b) به صورت زیر است (رضایی و سلطانی [۸]):

$$t_a = \frac{a - 0}{SE(a)} \quad (2-الف)$$

$$t_b = \frac{b - 0}{SE(b)} \quad (2-ب)$$

که $SE(a)$ و $SE(b)$ به ترتیب خطای استاندارد a و b هستند. طبق فرضیه صفر، t_a و t_b از توزیع t با درجه آزادی $n-2$ (تعداد مشاهدات) پیروی می‌کنند. پس از محاسبه آماره آزمون، P -value متناظر با آن محاسبه شده و فرضیه صفر در صورتی رد می‌شود که P -value از آستانه معنی داری کمتر باشد. همچنین به منظور ارزیابی خطای طبقه بندی SPI_α (مبتنی بر توزیع گاما) در مقایسه با SPI_β (مبتنی بر توزیع بهینه) در هر یک از طبقات SPI ، درصد مواردی که SPI_α وضعیتی غیر از SPI_β را پایش نموده است، معین گردید.



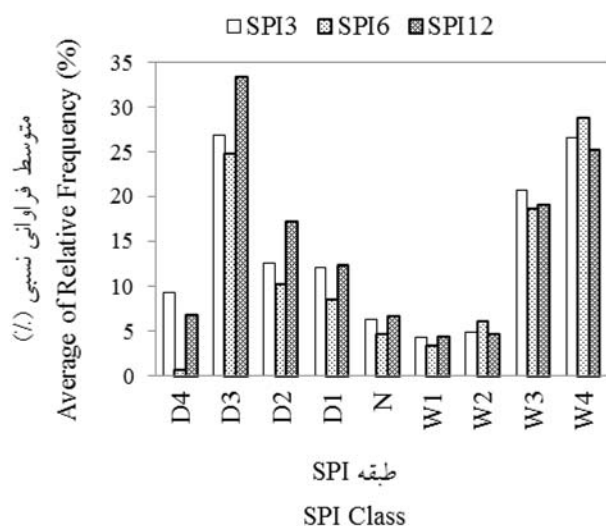
شکل ۱- متوسط فراوانی نسبی (%) توزیع‌های بهینه بارندگی در هر یک از مقیاس‌های زمانی SPI

Figure 1. Average of relative frequency (%) of precipitation optimum distributions for each SPI time scales

بر نتایج طبقه‌بندی SPI ، به ویژه در طبقات مذکور ضرورت می‌یابد. برای این منظور، به مقایسه‌ی دو رهیافت محاسبه‌ی SPI در اقلیم‌های خشک و مرطوب ایران پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

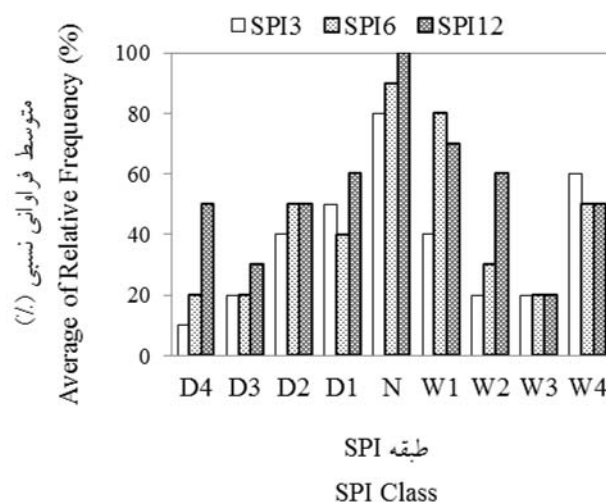
در این مطالعه از داده‌های بارندگی ماهانه‌ی ۱۰ ایستگاه سینوپتیک (شامل ایستگاه‌های بندر انزلی، گرگان، همدان نوژه، مشهد، شیراز، تبریز، کرمان، تهران مهرآباد، بوشهر و زاهدان) با اقلیم‌های خیلی مرطوب تا فراخشک و دارای پراکندگی مکانی مناسب در سطح کشور (دوره‌ی آماری ۱۳۸۶-۱۳۵۲) استفاده شد. به منظور محاسبه‌ی SPI در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه، از دو رهیافت استفاده شد. در رهیافت اول، با فرض پیروی داده‌های بارندگی از توزیع گاما، پس از محاسبه‌ی مقادیر بارندگی هر ماه در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه، از روش انتقال توزیع احتمال تجمعی گاما به توزیع احتمال تجمعی نرمال استاندارد استفاده شد (که در این جا با نماد SPI_α نشان داده می‌شود). در رهیافت دوم پس از محاسبه مقادیر بارندگی هر ماه در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Easyfit، بر مبنای آماره‌ی کلموگروف-اسمیرنوف، بهترین توزیع قابل برازش بر مقادیر بارندگی هر ماه از میان توزیع‌های احتمال نرمال، لوگ نرمال، ویبول و گاما تعیین شد، سپس از طریق انتقال احتمال تجمعی توزیع بهینه به توزیع احتمال تجمعی نرمال استاندارد، مقادیر SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شد (که در این جا با نماد SPI_β نشان داده می‌شود). برای مقایسه دو رهیافت، ابتدا سری‌های زمانی SPI_α و SPI_β با توجه به جدول (۱)، در طبقات گوناگون SPI طبقه‌بندی شدند. با توجه به اینکه تبدیل به توزیع نرمال، در هر دو روش اعمال شده است، لذا استفاده از جدول (۱) برای طبقه‌بندی در هر دو روش مشکلی به وجود نمی‌آورد.



شکل ۴- متوسط فراوانی نسبی (%) خطای طبقه‌بندی SPI_{α} در مقایسه با SPI_{β} در هر یک از طبقات SPI (D۱ تا D۴: خشکسالی خفیف، متوسط، شدید و خیلی شدید؛ N: نرمال؛ W۱ تا W۴: ترسالی خفیف، متوسط، شدید و خیلی شدید)
Figure ۴. Average of relative frequency (%) of classification error of SPI_{α} in comparison with SPI_{β} for each SPI classes (D۱ to D۴: Mild, Moderate, Severe and Extreme Drought; N: Normal; W۱ to W۴: Mild, Moderate, Severe and Extreme Wet)

SPI در سطح معنی‌داری ۵ درصد، اختلاف معنی‌دار دارند. درمورد مقیاس ۳ ماهه در ایستگاه همدان‌نورژه و مقیاس ۶ ماهه در ایستگاه زاهدان اختلاف معنی‌داری در مقادیر SPI_{α} و SPI_{β} وجود ندارد. در سایر موارد، تعداد طبقات دارای اختلاف معنی‌دار در مقادیر SPI_{α} و SPI_{β} از یک تا هفت طبقه متغیر است.

شکل (۳) نمودار متوسط درصد فراوانی نسبی اختلاف معنی‌دار در مقادیر SPI_{α} و SPI_{β} را در هر یک از طبقات SPI و برای هر یک از مقیاس‌های زمانی نشان می‌دهد. فراوانی نسبی اختلاف معنی‌دار، نسبت فراوانی ایستگاه‌هایی که در آنها SPI_{α} وضعیتی غیر از SPI_{β} را پایش نموده به فراوانی کل (یعنی ۱۰ ایستگاه) می‌باشد. با توجه به شکل (۳) بیشترین فراوانی معنی‌داری در هر ۳ مقیاس مربوط به طبقه نرمال است. در مقیاس ۳ ماهه بعد از طبقه نرمال، از میان طبقات ترسالی، طبقه ترسالی خیلی شدید و از میان طبقات خشکسالی، طبقه خشکسالی خفیف دارای بیشترین فراوانی اختلاف معنی‌دار در مقادیر SPI_{α} و SPI_{β} هستند. در مقیاس زمانی ۶ ماهه بعد از طبقه نرمال، از میان طبقات ترسالی، طبقه ترسالی خفیف و از میان طبقات خشکسالی، طبقه خشکسالی متوسط و در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بعد از طبقه نرمال، از میان طبقات ترسالی، طبقه ترسالی خفیف و از میان طبقات خشکسالی، طبقه خشکسالی خفیف دارای بیشترین فراوانی اختلاف معنی‌دار در مقادیر SPI_{α} و SPI_{β} هستند. شکل (۴) متوسط فراوانی نسبی خطای طبقه‌بندی SPI_{α} را در مقایسه با SPI_{β}



شکل ۳- متوسط فراوانی نسبی (%) اختلاف معنی‌دار در مقادیر SPI_{α} و SPI_{β} در هر یک از طبقات SPI (D۱ تا D۴: خشکسالی خفیف، متوسط، شدید و خیلی شدید؛ N: نرمال؛ W۱ تا W۴: ترسالی خفیف، متوسط، شدید و خیلی شدید)
Figure 3. Average of relative frequency (%) of significant difference in SPI_{α} and SPI_{β} values for each SPI classes (D1 to D4: Mild, Moderate, Severe and Extreme Drought; N: Normal; W1 to W4: Mild, Moderate, Severe and Extreme Wet)

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی بهترین توزیع قابل برآزش بر مقادیر بارندگی هر ماه، در مورد هر یک از مقیاس‌های زمانی SPI ، از طریق محاسبه‌ی متوسط فراوانی نسبی هریک از توزیع‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه، مورد مقایسه قرار گرفتند. شکل (۱) نمودار متوسط فراوانی نسبی توزیع‌های بهینه بارندگی را در هر یک از مقیاس‌های زمانی SPI نشان می‌دهد. نتایج بیانگر این است که به طور میانگین، در دو مقیاس ۳ و ۶ ماهه، توزیع گاما و در مقیاس ۱۲ ماهه، توزیع نرمال نسبت به سایر توزیع‌ها در اولویت قرار دارند. همچنین مشاهده می‌شود که میزان فراوانی نسبی توزیع گاما در هر سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه کمتر از ۵۰ درصد بوده و در تایید مطالعات صورت گرفته توسط سایر محققان (بلین [۱]، گاتمن [۳]، کومار و همکاران [۶])، فرض پیروی مقادیر بارندگی از توزیع گاما همواره صادق نیست.

در گام بعد مقادیر SPI_{α} و SPI_{β} بر مبنای هر دو رهیافت محاسبه شدند و فرضیه‌ی صفر مبنی بر عدم اختلاف معنی‌دار مقادیر SPI_{α} و SPI_{β} در هر یک از طبقات، مورد آزمون قرار گرفت. شکل (۲) نمودار فراوانی طبقات دارای اختلاف معنی‌دار در مقادیر SPI_{α} و SPI_{β} را در هر یک از مقیاس‌های زمانی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. در بدترین حالات، در ایستگاه تهران مهرآباد، مقادیر SPI_{α} و SPI_{β} در دو مقیاس زمانی ۶ و ۱۲ ماهه در کلیه‌ی طبقات

2. Edwards, DC. and McKee, TB. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Colorado State University. Fort Collins. 155 pp.
3. Guttman, NB. 1999. Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm, Journal of the American Water Resources Association, 35(2): 311-322.
4. Hayes, MJ. Svoboda, MD. Wilhite, DA. and Vanyarkho, OV. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of American Meteorological Society. 80: 429-438.
5. Khalili, A. and Bazrafshan, J. 2009. Analysis of the severity and Expansion of Iran Droughts in period 1965-2003. Abstracts of Papers, National Congress on Water Crisis in Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University of Shahr-e-Rey, 12. (In Persian)
6. Kumar, MN. Murthy, CS. Sessa Sai, MVR. and Roy, PS. 2009. On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for Drought Intensity Assessment, Journal of Meteorological Application, 16: 381- 389.
7. McKee, TB. Doesken, NJ. and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22: Anaheim, California. 179-184.
8. Rezaei, A. and Soltani, A. 2003. An Introduction to Applied Regression Analysis, Technical University of Isfahan, Press Center, 294 pp. (In Persian)

در هریک از طبقات SPI نشان می‌دهد.

باتوجه به شکل (۴)، در هر سه مقیاس زمانی، از میان طبقات ترسالی، طبقه ترسالی خیلی شدید و از میان طبقات خشکسالی، طبقه خشکسالی شدید دارای بیشترین خطای طبقه‌بندی SPI هستند. نکته قابل توجه این است که از میان طبقات خشکسالی، طبقه خشکسالی خیلی شدید دارای حداقل خطای طبقه‌بندی است در حالیکه، از میان طبقات ترسالی، طبقه ترسالی خیلی شدید دارای حداکثر خطای طبقه‌بندی می‌باشد. بنابراین در صورت استفاده از توزیع گاما به جای توزیع بهینه، میزان خطاپذیری طبقه ترسالی خیلی شدید در مقایسه با طبقه خشکسالی خیلی شدید بیشتر می‌باشد. از طرف دیگر، مقایسه‌ی خطای طبقه‌بندی سایر طبقات خشکسالی و سایر طبقات ترسالی بیانگر این است که خطای طبقه‌بندی طبقه‌ی خشکسالی خفیف، متوسط و شدید به ترتیب بیشتر از خطای طبقه‌بندی طبقه‌ی ترسالی خفیف، متوسط و شدید است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر این است که استفاده از توزیع احتمال گاما برای محاسبه SPI در مقایسه با توزیع‌های بهینه می‌تواند اختلافات معنی‌داری را در مقادیر و طبقات SPI ایجاد کند. از آنجایی که وقوع خشکسالی در گستره‌ی ایران در محدوده طبقات خشکسالی خفیف و متوسط بوده و از طرفی نتایج حاکی از وجود بیشترین فراوانی اختلافات معنی‌دار در این طبقات بود، در نظر گرفتن توزیع‌های بهینه به جای استفاده مطلق از توزیع گاما می‌تواند در محاسبه‌ی دقیق‌تر SPI موثر باشد.

منابع

1. Blain, GC. 2011. Standardized Precipitation Index based on Pearson Type III Distribution, Journal of Revista Brasileira de Meteorologia, 26(2): 167-180.



Abstract (Technical Note)

Comparison of Two Procedures for Calculation of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Dry and Wet Climates of Iran

S. Hejabi¹ and J. Bazrafshan²

Received: 2011. 08. 16 Accepted: 2012. 07. 30

One of the most important and widely used indices for drought monitoring, especially in our country, is the Standardized Precipitation Index (SPI). This index is the basis for drought definition and monitoring in most of studies. In this study, two procedures were used for the calculation of SPI. In the first procedures, with the hypothesis that the precipitation data follow the gamma distribution and in the second, using the optimum distribution, the SPI series in three time scales of 3, 6 and 12 months were calculated. In the next step, the t-student test was applied to consider significance differences in the results of two procedures. In three time scales, on average, the frequency of significant difference in the results of two procedures was maximum in normal class and thereafter, across the wet classes, extreme wet class and mild wet class and across the drought classes, mild drought class and moderate drought class, had the most frequency of significant differences. The results of the study showed that the calculation of the SPI based on gamma distribution give rise to the wrong diagnosis of the SPI classes. Then, calculation of SPI on the basis of the optimum distributions instead of blindly using of gamma distribution is proposed, in order to more accurate drought monitoring for the suitable management of drought.

Keywords: SPI, Drought, Gamma Distribution Function, Best Distribution Function, Wet and Dry Climates.

1- Corresponding author and Master of science Student of Agrometeorology, College of Agriculture and Natural resources, University of Tehran, Iran, somayeh.hejabi@ut.ac.ir

2- Assistant professor, Department of Irrigation and Reclamation engineering, College of Agriculture and Natural resources, University of Tehran, Iran.