

Comparative Study of Efficiency of Some Meteorological Drought Indices in Different Climate Regions of Iran

SAEED BAZGEER^{*1}, EBRAHIM ASADI OSKOUE², FAEZEH ABBASI¹, PARVIZ REZAZADEH³, MASOUD HAGHIGHAT³

1. Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Department of Agricultural Meteorology, Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran.

3. I. R. of Iran Meteorological Organization (IRIMO), Tehran, Iran.

(Received: Apr. 18, 2020- Revised: Sep. 23, 2020- Accepted: Sep. 27, 2020)

ABSTRACT

The present study aimed to investigate the periodic behavior, frequency and severity of drought along with introducing one or several adopted indices for each climate region in Iran. Daily data of 42 synoptic weather stations for a 23-year statistical period (1993-2016) were used in this study. Using the "efficient measure" hypothesis, the drought characteristics of each climate zones were investigated in the country. The years 1999-2000 in the arid zone and 2007-08 in other climate types were considered as a year of widespread drought throughout the country. According to "efficient measure", the results showed that the percentage of normal precipitation index (PNPI) was not a suitable indicator, especially for humid regions. Whereas, the standardized Precipitation Evapotranspiration index (SPEI) showed better performance on drought monitoring in wetter regions. Unlike the performance of other indices, the standardized precipitation index (SPI) had the same results in drought monitoring in all climates. This finding does not seem logical and indicates that the use of SPI should be done more carefully. With regard to the droughts persistence, except for the Chinese-Z index which in some cases showed completely opposite results in the wetter and dry periods, not all indices differed significantly. In addition, the results of this study revealed that the pattern of drought changes was not periodic.

Keywords: Climate Classification, Meteorological Drought, Standardized Precipitation Index.

مطالعه تطبیقی کارایی برخی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در مناطق مختلف اقلیمی ایران

سعید بازگیر^{۱*}، ابراهیم اسعدی اسکویی^۲، فائزه عباسی^۱، پرویز رضازاده^۳، مسعود حقیقت^۳

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. گروه هواشناسی کشاورزی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران.

۳. سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۳۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۶)

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی رفتار دوره‌ای خشکسالی و شناسایی فراوانی و شدت خشکسالی به همراه معرفی یک یا چند نمایه سازگار برای نواحی اقلیمی در کشور بوده است. از داده‌های روزانه ۴۲ ایستگاه همدیدی در دوره آماری ۲۳ ساله (۱۳۹۵-۱۳۷۲) استفاده شد. به کمک "سنجه کارآمد" ویژگی خشکسالی در هر یک از پهنه‌های اقلیمی کشور بررسی شد. نتایج نشان داد که خشکسالی‌های رخ داده در طبقه متوسط قرار می‌گیرند. سال ۱۳۷۸-۷۹ در پهنه خشک و ۸۷-۱۳۸۶ در سایر پهنه‌ها به عنوان سالی با خشکسالی گسترده در کل کشور در نظر گرفته شدند. بر اساس "سنجه کارآمد"، نتایج به دست آمده نشان داد که نمایه درصد نرمال بارش (PNPI)، شاخص مناسبی به ویژه برای مناطق مرطوب نبود. در حالی که نمایه تبخیر و تعرق- بارش استاندارد شده (SPEI)، شرایط خشکسالی در مناطق مرطوب‌تر را بهتر نشان داد. نتایج این پژوهش نشان داد که بر خلاف رفتار دیگر نمایه‌ها، نمایه بارش استاندارد شده (SPI) در پایش خشکسالی در تمامی طبقات اقلیمی نتایج یکسانی داشته است. به نظر می‌رسد نتیجه مذکور منطقی نبوده و بیانگر این موضوع است که استفاده از SPI بایستی با دقت بیشتری صورت گیرد. در خصوص تداوم خشکسالی‌ها به جزء نمایه Z چینی، که در برخی موارد، در تعیین دوره‌های تر و خشک نتایج کاملاً معکوسی را نشان داد تمامی نمایه‌ها تفاوت چندانی با یکدیگر نداشتند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که الگوی تغییرات خشکسالی، دوره‌ای نبود.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، نمایه بارش استاندارد شده، طبقه‌بندی اقلیمی.

مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای متناوب است و به عنوان یک مخاطره طبیعی پس از یک دوره طولانی کم بارشی و یا بی‌بارشی با اثرات اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی آشکار می‌شود. تعریف یکسانی از خشکسالی وجود ندارد، چرا که اثرات آن در مناطق مختلف، متفاوت است. در میان تعاریف بیان شده، تعریفی که مقبول‌تر و منطقی‌تر به نظر می‌رسد عبارت از یک دوره خشک که در اثر کمبود بارش رخ می‌دهد. برخی منابع در بیان کمی شرایط خشک به کمبود ۷۵ درصدی بارش از میانگین بلند مدت اشاره کرده‌اند (Mishra & Singh, 2010). مرور پژوهش‌های انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که در بیشتر مطالعات به بررسی یک یا چند نمایه خشکسالی رایج (SPI^۱, DI^۲, CZI^۳, MCZI^۴)،

(ZSI^۵) با هدف مطالعه کارایی نمایه‌ها برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی در یک منطقه بدون در نظر گرفتن نوع اقلیم پرداخته شده است (Shakiba et al., 2010; Karimi et al., 2011; Naserzade & Ahmadi, 2012; Piri et al., 2013; Farajzadeh & Ahmadian, 2014; Sarisarraf et al., 2016). براساس مطالعات انجام شده در ایران، حدود ۷۰ درصد بارش تبخیر می‌شود. تابش، دما، سرعت باد و رطوبت نسبی چهار پارامتر اصلی اثرگذار بر تبخیر و تعرق هستند. مساعد بودن این عوامل در کشور به خصوص ایران مرکزی باعث شده تا میزان تبخیر و تعرق خیلی بیش از حد نرمال باشد (Asadi Zarch et al., 2009). از این رو برخی از پژوهشگران در نظر گرفتن سایر متغیرها از جمله دما و تبخیر را در کنار بارش از ضروریات پایش خشکسالی معرفی کردند و معتقدند این امر هماهنگی زیادی با اقلیم ایران دارد.

* نویسنده مسئول: sbazgeer@ut.ac.ir

1 Standardized Precipitation Index
2 Deciles Index
3 China-Z Index
4 Modified China-Z Index
5 Z- Score Index

(Bazrafshan, 2003) ولی تا کنون مطالعه‌ای در خصوص پایش خشکسالی در قالب پهنه‌های اقلیمی در ایران انجام نشده است. از این رو در این تحقیق تلاش شده است تا ضمن آشکارسازی رفتار دوره‌های خشکسالی سالانه و همچنین شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی با استفاده از نمایه‌های پرکاربرد هواشناسی، نقاط ضعف و قوت آنها شناسایی و برای هر ناحیه اقلیمی کشور یک یا چند نمایه سازگار معرفی شود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه و بیشینه، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد ۴۲ ایستگاه همدیدی کشور در یک دوره آماری ۲۳ ساله (۱۳۷۲-۱۳۹۵) برای محاسبه نمایه‌های خشکسالی هواشناسی استفاده شد (جدول ۱). در ابتدا کیفیت داده‌ها توسط آزمون‌های مختلف همگنی ارزیابی شدند (Bazgeer et al., 2019).

جدول ۱- نمایه‌های پایش خشکسالی و روابط محاسباتی آن‌ها*

رابطه	نمایه
$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma}$	بارش استاندارد شده McKee et al., (1993)
$PN = \left(\frac{P_i}{\bar{P}}\right) * 100$	درصد نرمال بارش (Willeke et al., 1994)
$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma}\right)^\beta\right]^{-1}$ $SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}$ $W = \sqrt{-2\ln(p)}$	تبخیر و تعرق-بارش استاندارد شده Vicente Serano et al., (2010)
$P_i = \left(\frac{i}{N + 1}\right) * 100$	دهک‌ها Gibbs & Maher, (1967)
$CZI = \frac{6}{C_{si}} \left(\frac{C_{si}}{2} \varphi + 1\right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{Z_{si}} + \frac{C_{si}}{6}$ $\varphi_{i,j} = \frac{P_{i,j} - \bar{P}}{\sigma_{i,j}} \quad C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (P_{i,j} - \bar{P})^3}{Z \sigma^3}$	Z چینی (Kendall and Stuart, 1977)

* میانگین بارندگی، P_i بارندگی سال مورد نظر، i مقیاس زمانی مورد مطالعه، σ انحراف معیار

موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی همدید مورد بررسی به همراه طبقات اقلیمی در شکل (۱) نشان داده شده است. معیار پهنه‌بندی اقلیمی در نقشه مذکور روش تورنت ویت و متر^{۱۳} می‌باشد (INSF, 2017). در این روش برای طبقه‌بندی

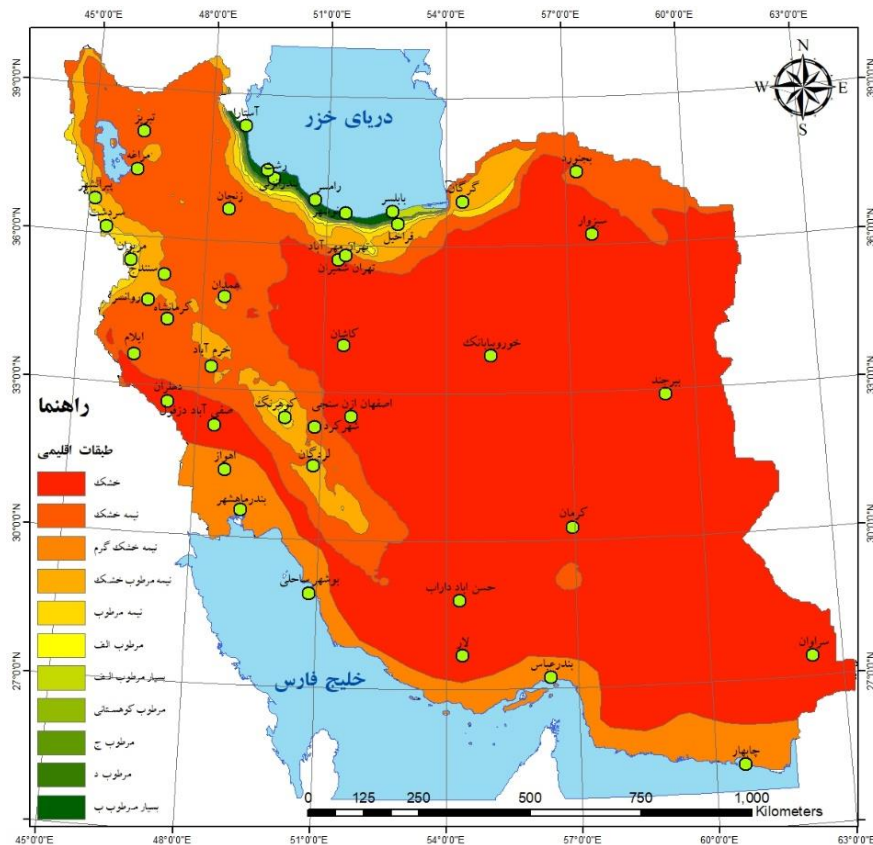
توجه به نمایه‌هایی نظیر شدت خشکسالی پالمرا^۱ (Darand, 2015)، خشکسالی موثر^۲ (Morid et al., 2006)، نمایه تبخیر و تعرق- بارش استاندارد شده^۳ (Beguería et al., 2014; Vicente-Serreno et al., 2010) و نمایه شناسایی خشکسالی^۴ (Asadi Zarch et al., 2009)، در همین راستا بوده است. برخی دیگر از پژوهش‌ها نیز با بهره‌گیری از روش‌های آماری نظیر تجزیه به مولفه‌های اصلی و یا تحلیل خوشه‌ای تلاش کردند تا برتری استفاده از نمایه‌های چندمتغیره را در مطالعات خشکسالی نشان دهند که برای نمونه می‌توان به پژوهش‌های Bazrafshan et al., 2015; Hao & AghaKouchak, 2013, 2014 اشاره کرد. هرچند سایر متغیرها نقش مهمی در وقوع و تداوم خشکسالی دارند، با این حال به نظر می‌رسد بارش همچنان مهمترین عامل در تعیین آغاز، شدت و خاتمه خشکسالی‌ها باشد. در برخی مطالعات نیز از روش دورسنجی برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر استفاده شد (Zarei et al., 2013). پژوهشگران این حوزه مطالعاتی معتقدند که خشکسالی اثرات منفی آشکار بر پوشش گیاهی دارد و تغییرات پیوسته‌ی پوشش گیاهی می‌تواند برای تشخیص، پایش و ارزیابی این پدیده راهگشا باشد، بنابراین می‌توان به نتایج مناسب و موثرتر برای مدل‌سازی خشکسالی دست یافت (Heim, 2002). در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی به کمک سنجش از دور در ارتباط با پایش خشکسالی ارائه شده که عموماً بر پایه نمایه‌های گیاهی، دمای سطح زمین، محتوای آب گیاه و وضعیت گیاه هستند. برخی از نمایه‌ها عبارتند از: (NDWI^۸)، (TCI^۷)، (SAVI^۶)، (NDVIA^۵)، (NDVI)، (VCI)، (VTCl^۹)، (DSI^{۱۰})، (IDI^{۱۱})، (MPDI^{۱۲}). مروری بر تحقیقات انجام شده با رویکرد سنجش از دور نشان می‌دهد که فراوانی ارزیابی کارایی نمایه‌های ماهواره‌ای در مطالعات مختلف، روند افزایشی داشته است. (Ebrahimzadeh et al., 2013; Fazel Dehkordi et al., 2016; Rezaei Moghaddam et al., 2012; Quiring and Ganesh, 2010; Zhang & Jia, 2013; Du et al., 2013) شالوده‌ی نمایه‌های خشکسالی مبتنی بر فرضیه صادق بودن آنها در اقلیم‌های مشابه است. با توجه به تنوع اقلیمی ایران، نمی‌توان یک نمایه خاص را برای پایش خشکسالی هواشناسی در کل کشور معرفی کرد. اگر چه خلیلی و بذرافشان پایش خشکسالی در ۹ ایستگاه هواشناسی به نمایندگی از اقلیم‌های مختلف در کشور را به صورت نقطه‌ای انجام داده‌اند (Khalili and

8 Normalized Difference Water Index (NDWI)
9 Vegetation Temperature Condition Index (VTCl)
10 Drought Severity Index (DSI)
11 Index of Drought Impact (IDI)
12 Modified Perpendicular Drought Index (MPDI)
13 Thornthwaite and Mather

1 Palmer Drought Severity Index (PDSI)
2 Effective Drought Index (EDI)
3 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)
4 Reconnaissance Drought Index (RDI)
5 Normalized Difference Vegetation Index Anomalistic (NDVIA)
6 Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
7 Temperature Condition Index (TCI)

سنجه برای هر ایستگاه به صورت میانگین اقلیمی محاسبه می‌شود. در مرحله بعد ارزیابی رفتار هر یک از نمایه‌های خشکسالی با کمینه بارش اقلیمی مقایسه می‌گردد. در این فرضیه کمینه مقدار بارندگی طی یک دوره بلندمدت اقلیمی منعکس‌کننده خشکسالی هواشناسی شدید یا بسیار شدید است که در منطقه تحت بررسی رخ داده است (Khalili and Bazrafshan, 2003). برای بررسی و انتخاب بهترین نمایه که نسبت به تغییرات بارش بیش‌ترین مطابقت را هم در هر پهنه اقلیمی و هم در کل کشور داشته باشد، محاسبه نمایه‌ها در مقیاس سالانه انجام شد. چون ایستگاه‌های منتخب در هر طبقه اقلیمی در یک شرایط اقلیمی مشابهی قرار دارند، پس باید روند خشکسالی یکسانی نیز نشان دهند.

اقلیمی مناطق مختلف، تبخیر و تعرق واقعی، کمبود رطوبتی خاک و آب مازاد محاسبه و از این طریق، ترازمندی رطوبتی خاک بدست می‌آید (Goodarzi et al., 2015). براین اساس، ارتباط نزدیکی بین میانگین ماهانه دمای هوا و میزان تقاضای آب مورد نیاز که می‌توان آن را فعل و انفعال تبخیر و تعرق نامید وجود دارد. در این بخش تلاش شد تا ضمن ارزیابی کارایی نمایه‌های خشکسالی توسط فرضیه "سنجه کارآمد برای پایش خشکسالی"، ویژگی هر یک از طبقات خشکسالی (شدت، مدت و فراوانی) نیز در هر یک از پهنه‌های اقلیمی کشور به تفکیک بررسی شود. برای محاسبه "سنجه کارآمد پایش خشکسالی"، ابتدا کمینه مقادیر بارندگی در هر یک از سال‌های آبی ایستگاه‌های هواشناسی مشخص و سپس با در نظر گرفتن یک دوره مشترک آماری، این



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی به همراه پهنه‌های اقلیمی ایران به روش تورنت ویت و متر (INSF, 2017)

نمایه دیگر نشان می‌دهند و این در حالی است که شدت خشکسالی‌های بدست آمده توسط نمایه Z چینی، از شدت کمتری برخوردار بود. در میان تمامی نمایه‌ها، نمایه تبخیر و تعرق- بارش استاندارد شده، کمترین برآورد را نشان داد و در تمامی ایستگاه‌ها، کیفیت خشکسالی متوسط برآورد شده است. این روند در پهنه نیمه‌خشک کشور (جدول ۳) نیز مشاهده می‌شود با این تفاوت که در این طبقه، نمایه درصد نرمال بارش

نتایج و بحث

نتایج بررسی سنجه کارآمدی نمایه‌ها در پهنه اقلیمی خشک کشور (جدول ۲) نشان داد که سه نمایه دهک‌ها، بارش استاندارد شده و درصد نرمال بارش، مقارن با سال رخداد حداقل بارندگی، خشکسالی شدید و بسیار شدید را در ایستگاه‌های منتخب در این پهنه آشکار کردند. می‌توان گفت این سه نمایه، عملکرد بهتری را در نمایش خشکسالی‌های شدید نسبت به دو

استاندارد شده، در پهنه‌های مرطوب‌تر، خشکسالی را با شدت بالا نشان می‌دهد. در این پژوهش، همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، معیار پهنه‌بندی اقلیمی روش تورنثویت و متر (۱۹۵۵) است. چون طبقه مرطوب (ب) در مناطق کوهستانی کشور دیده می‌شود، از اینرو برای انطباق طبقات اقلیمی این روش با واقعیات اقلیمی کشور، طبقه‌ی مرطوب (ب) تحت‌عنوان، مرطوب کوهستانی معرفی شد (INFS, 2017). ایستگاه‌های منتخب در این طبقه شامل کوه‌رنگ، مریوان و ایستگاه سردشت است. بررسی ویژگی‌های خشکسالی در این طبقه، حاکی از آن است که این ایستگاه‌ها در بازه‌زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۵-۹۶ تا ۷۳-۱۳۷۲)، در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶، کمینه‌ی بارش را دریافت کرده‌اند. از نظر شدت خشکسالی (جدول ۸) در اقلیم کوهستانی نیز دو نمایه دهک‌ها و بارش استاندارد شده در طبقه‌ی بسیار شدید، نمایه Z چینی، شدید و نمایه درصد نرمال بارش در طبقه‌ی متوسط قرار دارند.

عملکرد نمایه‌های هواشناسی در پایش خشکسالی در شکل (۲) نشان داده شده است.

نیز همانند Z چینی، شدت خشکسالی‌ها را کمتر برآورد کرده است. در سال‌های با بارش کمینه در پهنه‌ی نیمه‌مرطوب خشک (جدول ۴)، شدت خشکسالی در سه نمایه دهک‌ها، بارش استاندارد شده و Z چینی، بسیار شدید برآورد شده است و این در حالی است که نمایه درصد نرمال بارش، شدت خشکسالی را شدید و در برخی ایستگاه‌ها متوسط نشان می‌دهد. در تمامی پهنه‌های اقلیمی مرطوب نیز می‌توان این روند را با شدت و ضعف‌هایی مشاهده کرد. برای نمونه در پهنه مرطوب (الف) (جدول ۵)، هر سه نمایه (دهک‌ها، بارش استاندارد شده و Z چینی)، سال کمینه بارش را به عنوان سال وقوع شدیدترین خشکسالی نشان می‌دهند. در حالی که نمایه درصد نرمال بارش، خشکسالی همان ایستگاه‌ها را متوسط و ضعیف نشان می‌دهد. براساس نتایج جداول (۶ و ۷) هرچند در پهنه‌های اقلیمی مرطوب (ج) و (د) که از رطوبت بالاتری برخوردارند، از شدت خشکسالی‌ها در تمامی نمایه‌ها کمی کاسته شده، با این حال، همچنان نمایه درصد نرمال بارش، وقوع خشکسالی در این ایستگاه‌ها را با شدت پایین و حتی در برخی موارد نرمال نشان می‌دهد. در مقابل، نمایه تبخیر و تعرق- بارش

جدول ۲- مقادیر کمینه بارندگی، سال رخداد آن و پایش وضعیت خشکسالی (پهنه خشک)

ایستگاه	بارش کمینه	سال رخداد	SPI	DI	CZI	PNPI	SPEI
اصفهان	۴۰/۵	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	بسیار شدید	متوسط
بیرجند	۶۲/۳	۱۳۸۶-۸۷	شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
سبزوار	۸۴/۹	۱۳۷۸-۷۹	شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	شدید	نرمال
کرمان	۵۸/۳	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	شدید	متوسط
لار	۲۵/۷	۱۳۷۸-۷۹	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
داراب	۹۴/۱	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
کاشان	۵۱/۵	۱۳۷۸-۷۹	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	بسیار شدید	متوسط
خوروبابانک	۲۸/۶۴	۱۳۷۵-۷۶	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	بسیار شدید	متوسط
اهواز	۸۴/۷	۱۳۷۸-۸۸	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	شدید	متوسط
دهلران	۱۰۴	۱۳۹۰-۹۱	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	بسیار شدید	متوسط
بندرماهشهر	۹۱/۶	۱۳۸۶-۸۷	شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	متوسط	شدید	متوسط
صفی آباد دزفول	۱۲۸/۰۷	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	شدید	شدید
بوشهر	۸۳/۸۹	۱۳۷۲-۷۳	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	بسیار شدید	نرمال
بندرعباس	۴۹/۳۹	۱۳۸۲-۸۳	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	متوسط	بسیار شدید	متوسط
چابهار	۱/۴	۱۳۷۸-۷۹	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	متوسط	بسیار شدید	متوسط
سراوان	۱۲/۳۶	۱۳۸۲-۸۳	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	بسیار شدید	متوسط

جدول ۳- مقادیر کمیته بارندگی، سال رخداد آن و پایش وضعیت خشکسالی (پهنه نیمه خشک)

ایستگاه	بارش کمیته	سال وقوع	SPI	DI	CZI	PNPI	SPEI
مهرآباد	۹۶/۰۱	۱۳۷۵-۷۶	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	شدید	متوسط
بجنورد	۱۵۴/۷۷	۱۳۷۹-۸۰	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	متوسط	شدید
زنجان	۱۷۳/۲۱	۱۳۷۷-۷۸	شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	شدید	متوسط
تبریز	۱۳۷/۴۱	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	شدید	بسیار شدید
مراغه	۱۳۱/۰۶	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	شدید	شدید
کرمانشاه	۱۷۰/۵	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	شدید	بسیار شدید
ایلام	۲۳۶/۳	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	شدید	شدید
خرم آباد	۲۶۵/۴۵	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	متوسط	شدید
شهرکرد	۱۳۸/۳۷	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	شدید	شدید
گرگان	۲۸۴/۱۶	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	شدید	بسیار شدید
سنندج	۱۷۴/۳۵	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	شدید	شدید
همدان	۱۷۰/۳۳	۱۳۷۷-۷۸	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	شدید	شدید

جدول ۴- مقادیر کمیته بارندگی، سال رخداد آن و پایش وضعیت خشکسالی (پهنه نیمه مرطوب خشک)

ایستگاه	بارش کمیته	سال وقوع	SPI	DI	CZI	PNPI	SPEI
پیرانشهر	۳۷۳/۶۳	۱۳۷۷-۷۸	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	متوسط	شدید
روانسر	۲۰۴/۹۷	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	بسیار شدید	شدید
لردگان	۲۳۶/۳	۱۳۷۳-۷۴	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	شدید	نرمال
شمیران	۲۲۳/۶۹	۱۳۷۵-۷۶	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	شدید	متوسط

جدول ۵- مقادیر کمیته بارندگی، سال رخداد آن و پایش وضعیت خشکسالی (پهنه مرطوب الف)

ایستگاه	بارش کمیته	سال وقوع	SPI	DI	CZI	PNPI	SPEI
بابلسر	۶۰۳/۹۵	۱۳۷۷-۷۸	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	متوسط	متوسط
نوشهر	۹۱۰/۵۷	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	متوسط	بسیار شدید
قراخیل	۵۳۰/۴۹	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	کم	متوسط

جدول ۶- مقادیر کمیته بارندگی، سال رخداد آن و پایش وضعیت خشکسالی (پهنه مرطوب ج)

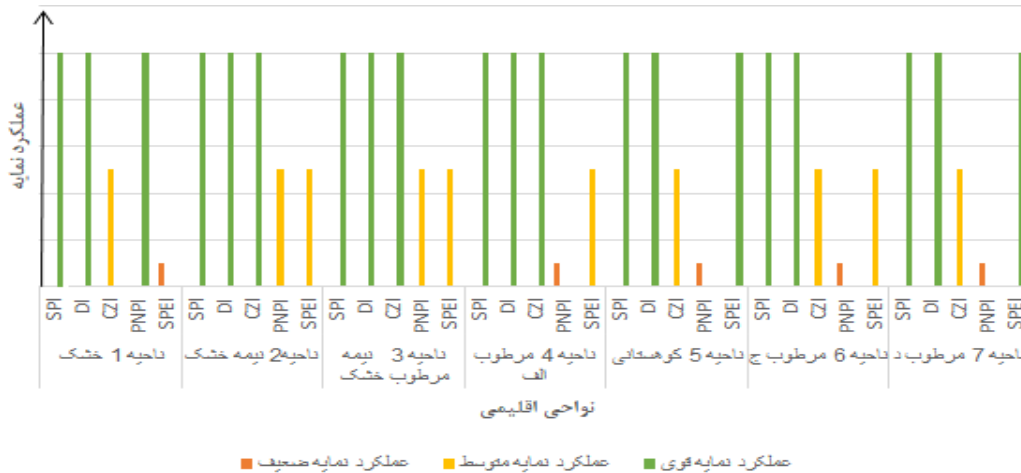
ایستگاه	بارش کمیته	سال وقوع	SPI	DI	CZI	PNPI	SPEI
رشت	۱۰۳۴/۵۸	۱۳۸۶-۸۷	شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	کم	شدید
رامسر	۷۹۸/۱۹	۱۳۷۳-۷۴	شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	متوسط	متوسط	متوسط

جدول ۷. مقادیر کمیته بارندگی، سال رخداد آن و پایش وضعیت خشکسالی (پهنه مرطوب د)

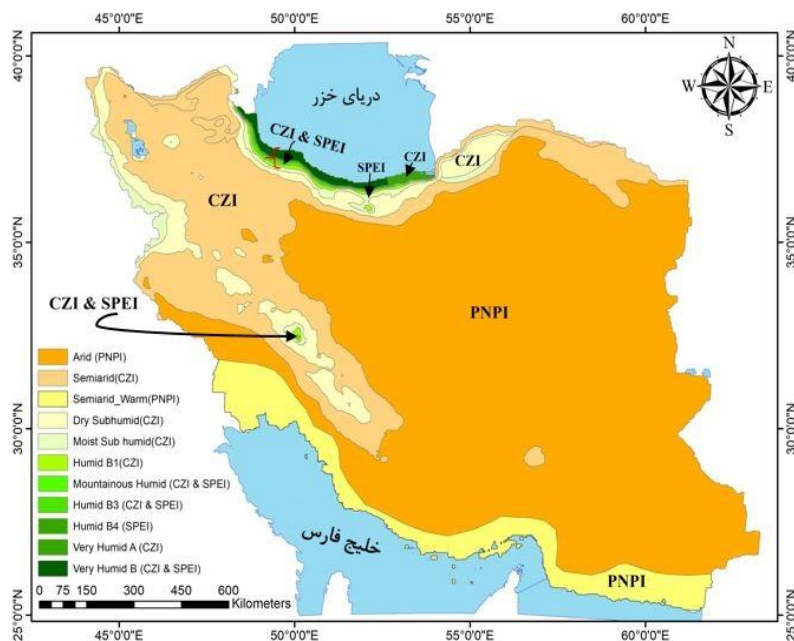
ایستگاه	بارش کمیته	سال وقوع	SPI	DI	CZI	PNPI	SPEI
آستارا	۷۹۳/۳۸	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	بسیار شدید	متوسط	بسیار شدید
بندرانزلی	۱۴۵۵/۷۸	۱۳۸۸-۸۹	شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	متوسط	نرمال	متوسط

جدول ۸- مقادیر کمیته بارندگی، سال رخداد آن و پایش وضعیت خشکسالی (پهنه مرطوب ه)

ایستگاه	بارش کمیته	سال وقوع	SPI	DI	CZI	PNPI	SPEI
کوهرنک	۷۷۰/۵	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	متوسط	شدید
سردشت	۴۸۷/۱	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	متوسط	شدید
مریوان	۴۵۹/۳۵	۱۳۸۶-۸۷	بسیار شدید	بسیار زیاد زیر نرمال	شدید	شدید	شدید



شکل ۲- نمودار مقایسه عملکرد نمایه‌های هواشناسی در پایش خشکسالی بر اساس سنجه کارآمدی در اقلیم های مختلف



شکل ۳- پراکنندگی نمایه‌های پایش خشکسالی هواشناسی در اقلیم‌های ایران

استاندارد رده شده با تبخیر و تعرق - بارش استاندارد رده شده افزایش یافت. به لحاظ فراوانی رخداد خشکسالی در تمامی پهنه‌های اقلیمی نیز سال ۸۷-۱۳۸۶، بالاترین فراوانی را در کل کشور داشته است. پس از بررسی کارایی نمایه‌های خشکسالی، به بررسی شدت و فراوانی رخداد خشکسالی‌ها در بازه زمانی مورد مطالعه پرداخته شد. از این نظر، در بازه زمانی مورد مطالعه، خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در طبقه متوسط قرار می‌گیرند. سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ در پهنه خشک و ۸۷-۱۳۸۶ در سایر پهنه‌ها به عنوان سالی با خشکسالی گسترده در کل کشور دیده می‌شوند و این وضعیت در اکثر ایستگاه‌های کشور حاکم است. دلیل خشکسالی فراگیر این سال را می‌توان به دلیل شکل‌گیری الگوهای فشاری خاص مانند حرکت غرب سوی پرفشار عربستان و رودباد جنب حاره دانست. در بررسی تداوم خشکسالی‌ها نیز می‌توان نتیجه گرفت که به جزء نمایه Z چینی، که در برخی موارد، در تعیین دوره‌های تر و خشک

بر این اساس، در پایش وضعیت خشکسالی نمایه درصد نرمال بارش، نمی‌تواند نمایه مناسبی برای نمایش کیفیت خشکسالی در مناطق پربارش باشد. از طرفی، نمایه‌های Z چینی و تبخیر و تعرق - بارش استاندارد رده شده عملکرد مناسبی در نمایش شدت خشکسالی برای مناطق کم‌بارش ندارند. نمایه‌های بارش استاندارد رده شده و دهک‌ها در خشکسالی‌ها عملکرد بسیار مناسبی در تمامی پهنه‌های اقلیمی داشته‌اند. این نتیجه‌گیری به دور از منطق علمی بوده و جامعیت یک نمایه در نشان دادن شرایط خشکسالی آن هم در اقلیم‌های گوناگون بحث برانگیز می‌باشد. در طبقه اقلیمی خشک، زوج نمایه دهک‌ها با بارش استاندارد رده شده و نمایه Z چینی با درصد نرمال از بارش از تطابق بسیار بالایی برخوردار هستند. ولی با نمایه بارش - تبخیر و تعرق اصلاح شده تطابق پایینی دارند. این در حالی است که با افزایش مقدار بارش و تطابق در سایر پهنه‌ها، تطابق نمایه‌های دهک‌ها و بارش

ندارد (Shayegh & Soltani, 2011; Nosrati *et al.*, 2014; Naserzade & Ahmadi, 2012; Boroghani *et al.*, 2015). بیشتر پژوهش‌های انجام شده، نمایه بارش استاندارد شده (SPI) به عنوان نمایه مناسب برای پایش خشکسالی معرفی شده است. این در حالی است که این پژوهش نشان داد که هر چند این شاخص در ظاهر رخداد خشکسالی را آشکار کرد ولی در تمامی طبقات اقلیمی کشور رفتار یکسانی داشته است و نمی‌توان به نتایج آن اعتماد کرد. در همین راستا برخی از مطالعات SPI را از نظر کاربرد برای اهداف هواشناسی نیز در اولویت اول قرار نداده‌اند که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد (Khalili and Bazrafshan, 2003). به علاوه این نتیجه گیری به دور از منطق علمی بوده و جامعیت یک نمایه در نشان دادن شرایط خشکسالی آن هم در اقلیم های گوناگون بحث برانگیز می باشد. در بیشتر پژوهش‌ها در یک طبقه اقلیمی همگن، کارایی شاخص‌ها بررسی و هر شاخصی که شدت خشکسالی را بالا نشان داده، به عنوان شاخصی کارآمد معرفی شده است، در حالی که در این پژوهش در مقیاسی بزرگتر (کشور) و با تنوعی از طبقات اقلیمی، این پدیده بررسی شده است. بنابراین لزوماً تعیین شدت خشکسالی توسط یک نمایه به معنای کارآمدی آن نبوده و این موضوعی است که در بیشتر پژوهش‌ها صورت گرفته، مغفول مانده است. در یک نگاه کلی بایستی اذعان داشت که از محدودیت‌های این مطالعه نبود ایستگاه‌هایی با دوره آماری بلند مدت بوده که نتایج آن را به خصوص در خرد اقلیم‌های مناطق کوهستانی مانند زاگرس با دقت کمتری مواجه نموده که امید است با گذشت زمان و دیدبانی در سال‌های آتی این مشکل حل شود.

سپاس‌گزاری

این مقاله در قالب طرح پژوهشی با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور با شماره ۹۵۸۳۸۸۹۳ مصوب تاریخ ۹۵/۱۲/۱ در دانشگاه تهران و با همکاری علمی سازمان هواشناسی کشور انجام شده که بدین وسیله از صندوق پژوهشگران و فناوران کشور و همچنین سازمان هواشناسی کشور قدردانی می شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Asadi Zarch, M.A., Mobin, M.H., Malekinejad, H., Dastorani, M.T. and Rezaei Zarchi, S. (2009). Introducing a new index for the detection and determination of drought and its severity, duration and extent in arid regions of Iran. In: Proceedings of 5th National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Karaj,

نتایج کاملاً معکوسی را نشان می‌دهد تمامی نمایه‌ها تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. از این لحاظ، تغییرپذیری بیشتر نمایه خشکسالی Z چینی نسبت به سایر نمایه‌ها از دیگر یافته‌های این پژوهش است. در بررسی این که آیا تغییرات شدت خشکسالی از الگوی خاصی پیروی می‌کند یا نه؟ مشخص شد که الگوی تغییرات خشکسالی، دوره‌ای نیست. در شکل (۳) نمایه های خشکسالی خاص هر یک از اقلیم های کشور نمایش داده شده است. بدین ترتیب در سواحل شمالی کشور نمایه های CZI و SPEI؛ در اغلب مناطق شمال غرب و دامنه‌های زاگرس نمایه CZI؛ در فلات ایران و بخش مرکزی نمایه PNPI و در سواحل جنوبی کشور نیز از شاخص PNPI می‌توان استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تلاش شد تا با انتخاب ایستگاه‌هایی که نماینده‌ی هر طبقه اقلیمی کشور بودند، کارایی ۵ نمایه (دهک‌ها، بارش استاندارد شده، درصد نرمال از بارش، Z چینی و بارش - تبخیر و تعرق اصلاح شده) بررسی شود. در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۵-۹۶ تا ۱۳۷۲-۷۳)، در سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ خشکسالی بسیار شدید در بیشتر پهنه‌های اقلیمی توسط تمامی نمایه‌های پایش خشکسالی، تایید شده است. حاکمیت الگوهای هم‌دید فشاری از جمله حرکت غرب سوی پرفشار جنب حاره عربستان، جابجایی شمال سوی ناوه مدیترانه و گسترش پشته قوی بر روی کشور سبب شکل‌گیری خشکسالی گسترده در کشور شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که نمایه درصد نرمال بارش، شاخص مناسبی به ویژه برای مناطق مرطوب نیست در حالی که نمایه تبخیر و تعرق - بارش استاندارد شده، کیفیت خشکسالی در مناطق مرطوب‌تر را بهتر نشان می‌دهد که می‌تواند دلیلی بر حساسیت این نمایه نسبت به تغییرات بارش و در نظر گرفتن متغیر دما باشد. در پژوهش خلیلی و بذرافشان اگر چه نمایه درصد نرمال بارش (PNPI) در اولویت چهارم پایش خشکسالی قرار گرفته است ولی نمایه مناسبی برای مناطق خشکی مانند یزد معرفی شده است (Khalili and Bazrafshan, 2003) که با نتایج تحقیق حاضر در یک راستا می‌باشد. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج محققانی که به صورت موردی کارایی شاخص‌ها را بررسی کردند هم‌خوانی

Iran. (In Farsi)

Bazrafshan, J., Hejabi, S. and Rahimi, J. (2014). Drought monitoring using the multivariate standardized precipitation index (MSPI). *Water resources management*, 28(4), 1045-1060.

Bazgeer, S., Abbasi, F., Asadi Oskoei, E., Haghghat, M. and Rezazadeh, P. (2019). Assessing the

- Homogeneity of Temperature and Precipitation Data in Iran with Climatic Approach. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 6 (1), 51-70. (In Farsi)
- Beguiría, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F. and Latorre, B. (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International journal of climatology*, 34(10), 3001-3023.
- Boroghani, M, Moradi H, Zangane Asadi M. (2015). Zoning and determination of the best index in Khorasan Razavi. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*. 5 (19), 70-84. (In Farsi)
- Darand, M. (2015). Drought Monitoring in Iran by Palmer Severity Drought Index (PDSI) and Correlation with Oceanic Atmospheric Teleconnection Patterns. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 29 (4), 67-82. (In Farsi)
- Dehban, H., Ebrahimi, K. and Araghinejad, SH. (2015). Introduction and Assessment of a New Drought Monitoring Index, MRDI (Case Study: Gorganroud Basin, Iran). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(1), 19-30. (In Farsi)
- Du, J., Fang, J., Xu, W. and Shi, P. (2013). Analysis of dry/wet conditions using the standardized precipitation index and its potential usefulness for drought/flood monitoring in Hunan Province, China. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 27(2), 377-387.
- Ebrahimzadeh, S., Bazrafshan, J. and Ghorbani, Kh. (2013). Study of the identification of the variations in plant vegetation using remote sensing and ground-based drought indices (case study: Kermanshah province). *Journal of Agricultural Meteorology*, 1(1), 37-48. (In Farsi)
- Farajzadeh, M. and Ahmadian, K. (2014). Temporal and Spatial Analysis of Drought with use of SPI Index in Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 3(4), 1-16. (In Farsi)
- Fazel Dehkordy, L., Azarnivand, H., Zare Chahoki, M.A., Mahmoudi Kohan, F. and Khalighi, Sh. (2016). Drought Monitoring using Vegetation Index (NDVI) (case study: Rangeland of Ilam Province). *Journal of Range and Watershed Management (Iranian Natural Resources)*, 69(1), 141-154. (In Farsi)
- Goodarzi M, Abedi Koupai J, Heidarpour M, Safavi H R. (2015). Analysis of the Effects of Various Parameters on Groundwater Recharge using a Hybrid Method. *Journal of Water & Soil Science*, 2015; 19 (73):287-299. (In Farsi)
- Gibbs, W.J and J.V. Maher, (1967), Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin No. 48*. Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Hao, Z. and AghaKouchak, A. (2013). Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model. *Advances in Water Resources*, 57, 12-18.
- Mishra, A. K. and Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1), 202-216.
- Heim, R. R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, 1149-1165.
- INSF (Iran National Science Foundation). (2017). A New and Simple Method for Assessing the Impacts of Climate Change on Meteorological Drought Monitoring Indicators, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Karimi, V., Habibinejadrooshan, M. and Alijani, A. (2011). Investigation of meteorological drought indexes in Mazandaran synoptic stations. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 2(1), 15-25. (In Farsi)
- Kendall MG, Stuart A. (1977). *The Advanced Theory of Statistics*. Charles Griffin & Company: London, High Wycombe; 400-401.
- Khalili, A. and Bazrafshan, J. (2003). Evaluation of Meteorological Drought Performance in Different Climatic Samples of Iran. *Journal of Meteorological Organization (Nivar)*, 48(1), 79-93. (In Farsi)
- McKee, T.B., N. J. Doesken, and Kliest, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA. 179-18.
- Morid, S., Smakhtin, V. and Moghaddasi, M. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(7), 971-985.
- Naserzade, M.H. and Ahmadi, E. (2012). Investigation of the performance of meteorological drought indices in drought assessment and zoning in Qazvin province. *Scientific Journal Management System*, 12(27), 141-162. (In Farsi)
- Nosrati, K., Mohseni Saravi, M. and Shahbazi, R. (2014). Application and Comparison of Standardized Precipitation and Standardized Precipitation Evapotranspiration Indices for Evaluating Meteorological Drought Condition of Tehran Province. *Journal of Desert Management*, 2(3), 77-90. (In Farsi)
- Quiring, S. M. and Ganesh, S. (2010). Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(3), 330-339.
- Rezaei Moghadam, M.H., Valizadeh, K., Rostamzadeh, H. and Rezaee, A. (2012). Evaluating the Adequacy of MODIS in the Assessment of Drought (Case Study: Urmia Lake Basin). *Journal of Geography & Sustainability of Environment*, 2(4), 37-52. (In Farsi)
- Sari Sarraf, B., Mahmoudi, S., Zangane, S. and Pashaei, Z. (2016). Monitoring and predicting the wet and

- dry periods in Tabriz using CLIMGEN models and SPI. (2018). *Journal of Hydro geomorphology*, 1(2), 61-78. (In Farsi)
- Shayegh, E. and Soltani, S. (2011). Drought Analysis in Yazd Province Based on Drought Indices. *Journal of Water and Soil Science*, 15 (57), 231-249. (In Farsi)
- Shakiba, A.R., Mirbagheri, B. and Kheyri, A. (2010). Drought and its impact on groundwater resources in eastern Kermanshah province using SPI index. *Journal of the Iranian Geographical Society*, 25, 105-124. (In Farsi)
- Piri, H, Rahdari, V. and Maleki, S. (2013). Study and compare performance of four meteorological drought index in the risk management droughts in Sistan and Baluchestan province. *Journal of Irrigation & Water Engineering*, 3(11), 96-114. (In Farsi)
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. and López-Moreno, J. I. (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.
- Willeke, G., Hosking, JRM., Wallis, JR. and Guttman NB. (1994). The national drought atlas. Institute for Water Resources Report 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers.
- Zarei, R., Sarajian, M. and Bazgeer, S. (2013). Monitoring Meteorological Drought in Iran Using Remote Sensing and Drought Indices. *Desert*, 18, 89-97.
- Zhang, A. and Jia, G. (2013). Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. *Remote sensing of Environment*, 134, 12-23.