



Analysis of drought characteristics (severity, duration, magnitude) in Iran based on multivariate standardized drought index

Sara Rezaei¹ , Jafar Masoompour Samakoosh^{2✉} , Morteza Miri³

¹ M. Sc. of Climatology, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: sararezaee4030@gmail.com

² Corresponding Author, Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: j.masoompour@razi.ac.ir

³ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: morteza.miri64@gmail.com

ABSTRACT

Drought is a costly natural hazard with wide-ranging consequences for agriculture, ecosystems, and water resources. The present study aims to investigate droughts in Iran using multi-variable indices. The data used includes soil moisture network data and monthly precipitation from the MERRA center over a 43-year period (1980–2022). Based on soil moisture and precipitation data, the results of a drought calculation in Iran demonstrated that droughts occur throughout the country with varying degrees of severity and weakness. Their occurrence has become a permanent feature of the country's climate, particularly in recent decades. The analysis of Iran's drought chronology revealed that, according to the MSDI index's range, most of the country's droughts are weak and moderate. It was also discovered that as time scales increase, the frequency of droughts decreases while the continuity, magnitude, and severity increase.

Keywords: Precipitation, Soil moisture, Duration, Severity, Drought

Article Type: Research Article

Article history: Received: 14 January 2024 Revised: 13 March 2024 Accepted: 20 March 2024 ePublished: 26 March 2024

1. Introduction

The weather has an ongoing impact on human living and working environments. Drought is a natural disaster that ranks first in frequency of occurrence, financial losses, and even human casualties among natural disasters that endanger humans and their environment. Due to its complexity and imperceptibility, this phenomenon—one of the primary and recurring features of various climates—has significantly impacted the human environment more than any other hazard. Its effects can also accumulate gradually over time and last for years afterward.

Drought manifests across diverse climatic zones. Despite this, its characteristics, such as severity, duration, and magnitude, vary by location, and its occurrence is more common in arid and semi-arid areas. As a result, due to their geographic location, countries like Iran, which are found in arid and semi-arid regions, have long faced this risk and its effects.

Drought cannot be avoided, but if its nature and characteristics are researched and understood, we may be able to forecast when it will occur, lessen its adverse effects through planning and preparation, and perhaps even control it.

2. Methodology

The political region of Iran is the subject of this study (Figure 1). Soil moisture and monthly precipitation are among the data used. The necessary data, which included 516 precipitation files and 516 soil moisture files with a spatial resolution of 0.5°×0.66 in NC format, as well as drought and its characteristics calculated for all points, were acquired from the MERRA website for 43 years (1980–2022) to conduct this research. Iran's droughts were estimated over 3, 6, 9, 12, and 24 months using the MSDI. The characteristics of droughts, such as frequency, duration, severity, and magnitude, were computed, analyzed, and presented as a map in addition to examining the actual droughts.

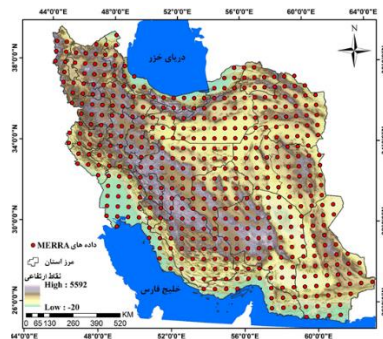


Figure 1. Map of the study area

This index's operational framework is an expanded version of the single-variable SPI that focuses on the joint distribution of soil moisture and

precipitation and can characterize the conditions of agricultural meteorological droughts across various periods. This index uses a combination of SSI and SPI to determine when a drought starts and ends. SPI is typically used to diagnose the start of a drought, while SSI's behavior is used to interpret its continuation.

Table 1. Classification of MSDI values (Aghakouchak and Hao, 2014)

Index value	Severity of drought
Very weak drought	- 0/1 to - 0/49
Weak drought	- 0/5 to - 0/7
Moderate drought	- 0/8 to -1/2
severe drought	-1/3 to -1/5

3. Results and discussion

Analyzing the drought characteristics for 1546 points across Iran revealed that the frequency and number of drought periods decrease as the time scale increases. In contrast, the values of other traits—such as continuity, intensity, and magnitude—also rise as the time scale increases. Put another way, droughts with more continuity, magnitude, and severity occur as the time scale increases. The increase in drought characteristics with increasing time scale, in terms of magnitude, duration, and severity, has been highlighted in studies by Nouri and Homai (2020) and Torabinejad et al. (2023). Geographically, the southeast and eastern parts of Iran have seen the highest frequency of droughts throughout the 43 years; in the southeastern part of the country, which is centered on the provinces of Sistan and Baluchestan, Kerman, and Hormozgan, there have been 28 to 34 periods of drought in 3 months. Conversely, the least amount of drought occurred in the northern coasts during the short-term periods of three and six months, with six to twelve periods, and in the coasts of the north and the southwestern region of the country during the long-term periods of twelve and twenty-four months, with two to six periods.

The provinces of Sistan Baluchistan, Kerman, and Hormozgan in the southeast, as well as the far east of Khorasan Razavi and South provinces in the east of the country, experienced the worst droughts in terms of severity. Severe droughts lasting 12 or 24 months are concentrated in the southwest, in Bakhtiari and Chaharmahal, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, and part of Khuzestan.

The findings from the computation and analysis of the duration and magnitude of droughts in Iran over the period under discussion indicated that, for two features, the country's northern regions, centered on the north coasts, mainly Mazandaran province, had more prolonged and severe droughts than other regions within the time scales of three and six months. By looking at the country's southwest from the perspective of location over periods of 12 and 24 months, the provinces of Fars, Bushehr, south of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, and Khuzestan province make up the central core of the most prolonged and most extensive droughts.

4. Conclusions

Based on soil moisture and precipitation data, the results of a drought calculation in Iran demonstrated that droughts occur throughout the country with varying degrees of severity and weakness. Their occurrence has become a permanent feature of the country's climate, particularly in recent decades. The analysis of Iran's drought chronology revealed that, according to the MSDI index's range, most of the country's droughts are weak and moderate. It was also discovered that as time scales increase, the frequency of droughts decreases while the continuity, magnitude, and severity increase. Geographically, the country's southeast and east saw the highest frequency of droughts, while its northern coast—mainly the province of Mazandaran—and southwest—where the provinces of Chaharmahal & Bakhtiari and Kohgiluyeh & Boyer Ahmad—saw the lowest frequency. The maximum severity of drought in the country is -1.93 on the 3-month scale in the southeast and -2.2 on the 24-month scale in the southwest. Two of the study's notable findings are the continuity and high magnitude of the droughts that struck the country's north and southwest. Thus, the most extensive droughts, with values between -16 and -31 on short-term scales and between -35 and -68 on 12- and 24-month scales, have happened in the country's north and southwest, respectively. These results suggest an overall decrease in soil moisture and precipitation in these regions.

Cite this article: Rezaie, S., Masoompoor Samakoosh, J., & Miri, M. (2024). Analysis of drought characteristics (severity, duration, magnitude) in Iran based on multivariate standardized drought index, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(1), 82-98. DOI: 10.22126/atwe.2024.10319.1114





تحلیل ویژگی های خشکسالی (شدت، مدت، بزرگی) ایران

بر اساس شاخص خشکسالی چند متغیره

سارا رضایی^۱، جعفر معصوم پور سماکوش^۲، مرتضی میری^۳

^۱ دانش آموخته اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: sararezaee4030@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: j.masoompour@razi.ac.ir

^۳ استادیار، پژوهشگر حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: morteza.miri64@gmail.com

چکیده

پژوهش حاضر با هدف شناخت خشکسالی های ایران با استفاده از شاخص های چند متغیره بر اساس داده های با قدرت تفکیک مکانی مناسب، به منظور مدیریت بهتر منابع آب و در نهایت جلوگیری از خسارت های زیانبار بر جوامع انسانی انجام شده است. داده های مورد استفاده دربرگیرنده داده های شبکه ای رطوبت خاک و بارش ماهانه مرکز MERRA طی دوره ۴۳ ساله (۱۹۸۰-۲۰۲۲) برای محدوده سیاسی ایران زمین است. روش مورد استفاده مبتنی بر بکارگیری شاخص خشکسالی چند متغیره (MSDI) در مقیاس های زمانی مختلف و همچنین بررسی ویژگی های خشکسالی (مدت، فراوانی، شدت و بزرگی) در محیط نرم افزار متلب می باشد. نتایج محاسبه خشکسالی بر اساس داده های رطوبت خاک و بارش در سطح ایران نشان داد که خشکسالی با شدت و ضعف متفاوت در تمامی نقاط ایران رخ می دهد و رخداد آن به یکی از پدیده های همیشگی اقلیم ایران به ویژه طی دهه های اخیر تبدیل شده است. بررسی رخداد خشکسالی های ایران در حالت متوسط نشان داد که بر اساس دامنه شاخص MSDI بیشتر خشکسالی های رخ داده در پهنه ایران زمین از نوع خشکسالی های ضعیف و متوسط هستند. همچنین مشخص شد که از نظر زمانی با افزایش مقیاس های زمانی مشخصه فراوانی وقوع خشکسالی ها کاهش و مشخصه های تداوم، بزرگی و شدت افزایش پیدا می کند. از نظر مکانی بیشینه فراوانی وقوع خشکسالی ها در جنوب شرق و شرق کشور و کمینه آن در سواحل شمالی به ویژه در استان مازندران و در جنوب غرب برای استان های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه بویر احمد رخ داده است. بیشینه شدت خشکسالی در سطح کشور برای مقیاس ۳ ماهه ۱/۹۳- در جنوب شرق کشور و در مقیاس ۲۴ ماهه ۲/۲- در جنوب غرب کشور است. یکی از نتایج قابل توجه در این پژوهش تداوم و بزرگای بالای خشکسالی های رخ داده در مناطق شمالی و جنوب غرب کشور است. به طوری که در مقیاس های کوتاه مدت ۳ و ۶ ماهه بزرگ ترین خشکسالی ها با مقدار ۱۶- تا ۳۱- در شمال کشور و در مقیاس های ۱۲ و ۲۴ ماه با مقدار ۳۵- الی ۶۸- در جنوب غرب کشور رخ داده است که این شرایط بیان کننده کاهش رطوبت خاک و بارش این مناطق در حالت کلی است.

واژه های کلیدی: بارش، رطوبت خاک، تداوم، شدت، خشکسالی.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۴ دی ۱۴۰۲ اصلاح: ۲۳ اسفند ۱۴۰۲ پذیرش: ۰۱ فروردین ۱۴۰۲ چاپ الکترونیکی: ۰۷ فروردین ۱۴۰۳

استناد: رضایی، س.، معصوم پور سماکوش، ج.، و میری، م. (۱۴۰۳). تحلیل ویژگی های خشکسالی (شدت، مدت، بزرگی) ایران بر اساس شاخص خشکسالی چند متغیره، *فناوری های پیشرفته در بهره وری آب*، ۴(۱)، ۹۸-۸۲، شناسه دیجیتال: 10.22126/atwe.2024.10319.1114



مقدمه

محیطی که بشر در آن زندگی و فعالیت می‌کند همواره تحت تأثیر آب‌وهوا قرار دارد. یکی از بلایای طبیعی، خشکسالی است که در بین بلایای طبیعی تهدیدکننده انسان و محیط زندگی او، هم از نظر فراوانی وقوع و هم از نظر خسارت‌های مالی و حتی جانی در رده اول قرار دارد (قوبدل رحیمی، ۱۳۸۴). این پدیده در واقع از ویژگی‌های اصلی و تکرار شونده اقلیم‌های مختلف بشمار می‌آید. ممکن است در هر جایی رخ دهد به طوری که سالانه بیش از نیمی از کره زمین در معرض آن قرار دارد (کوغان^۱، ۱۹۹۷). این پدیده به دلیل پیچیدگی و غیرقابل احساس بودن، بیش از هر مخاطره دیگری محیط زندگی انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ساباش و همکاران^۲، ۲۰۱۱) و ماهیت بطئی و خزنده‌اش آن را به پنهان‌ترین و زیانبارترین بلیه طبیعی تبدیل کرده است. این بدین معنی است که تعیین شروع و خاتمه آن مشکل و اثرات آن ممکن است به تدریج برای یک دوره طولانی روی هم انباشته شده و برای سال‌های پس از آن نیز ادامه داشته باشد (دانشور، ۱۳۸۶). رخداد خشکسالی در مناطق مختلف جهان خسارت‌های قابل توجه و در برخی موارد جبران‌ناپذیری بر زیرساخت‌های انسانی و محیط زیستی وارد می‌کند که می‌توان به کاهش یا زوال ذخایر آبی، بدتر شدن کیفیت آب، عدم کفایت آب موردنیاز برای آبیاری و در نتیجه افت محصول، کاهش قدرت تولید، برهم خوردن تعادل زیستگاه‌های ساحلی و تأثیر بر فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی اشاره کرد (میشرا و سینک^۳، ۲۰۱۰).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ویژگی‌های خشکسالی و همچنین خسارت‌های زیاد آن باعث شده که مطالعات زیادی در ارتباط با ارائه شاخص مناسب جهت شناخت و بررسی تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی از دهه‌های قبل تا به امروز انجام شود. نتیجه این مطالعات ارائه شاخص‌های متنوعی است که مبتنی بر به‌کارگیری داده‌های بارش، تبخیر و تعرق، دما، رطوبت خاک، پوشش گیاهی می‌باشد که برخی از این شاخص بر اساس یک متغیر و برخی دیگر بر اساس چند متغیر پایش و شناخت ویژگی‌های خشکسالی را امکان‌پذیری می‌کنند. شاخص دهک‌ها (DI) مبتنی بر استفاده از بارش (گیبیز و ماهر^۴، ۱۹۶۷)، شاخص شدت خشکسالی پالم (PSDI) بر اساس داده‌های بارش و دمای ماهانه (پالم^۵، ۱۹۶۵)، شاخص بارش استاندارد (SPI) مبتنی بر استفاده از بارش (مکی و همکاران^۶، ۱۹۹۳)، شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) با استفاده از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق (ساکریس و همکاران^۷، ۲۰۰۵)، شاخص تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) با استفاده از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق (ویسنت سرنانو و همکاران^۸، ۲۰۱۰) از جمله شاخص‌های شناخته شده و مورد پذیرش بین گستره محققان علوم مرتبط است.

همان‌طور که بیان شد در دهه‌های گذشته تلاش‌های مختلفی برای توصیف ویژگی‌های خشکسالی از طریق شاخص‌های خشکسالی انجام شده است که بیشتر این شاخص‌ها تک متغیره و یا مبتنی بر پارامترهای اقلیمی هستند. شاخص‌های منفرد یا تک متغیره برای مکان‌های خاص و هدف و کاربردی مشخص تا حد زیادی مفید می‌باشند اما تصویر جامعی از ویژگی‌های خشکسالی به‌عنوان یک پدیده پیچیده اقلیمی ارائه نمی‌نمایند. از این‌رو تلاش‌هایی برای توسعه‌ی شاخص‌های چند متغیره مبتنی بر ترکیب شاخص‌های مختلف خشکسالی یا معرف‌های مختلف خشکسالی به‌منظور ارائه‌ی تصویر جامع از شرایط و ویژگی‌های خشکسالی از سال‌های قبل شروع شده و در حال حاضر نیز ادامه دارد. یکی از نخستین تلاش‌ها برای پایش جامع خشکسالی در ایالات متحده آمریکا انجام شده است که در آن اطلاعات به‌دست‌آمده از منابع مختلف شامل داده‌های اندازه‌گیری شده، سنجش‌ازدور، شبیه‌سازی‌های سطح زمین و کارشناسان محلی

¹ Kogan

² Subash et al

³ Mishra & Singh

⁴ Gibbs & Maher

⁵ Palmer

⁶ McKee et al

⁷ Tsakiris et al

⁸ Vicente-Serrano et al

باهم ترکیب شدند (کومار و همکاران^۱، ۲۰۱۱). شاخص چند متغیره خشکسالی تجمعی (ADI) از ترکیب پارامترهای مؤثر بر خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی، از طریق تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) توسعه یافته است (کیانتاش و دراکوپ^۲، ۲۰۰۴). همچنین شاخص خشکسالی توأم (JDI)، بر مبنای توابع مفصل توزیع تجمعی بارندگی و رواناب توسعه داده شد (کائو و گوینداراجو^۳، ۲۰۱۰). این مفهوم در سال‌های بعد برای توسعه‌ی شاخص‌های چند متغیره نیز استفاده شد (هائو و آقاچوک^۴، ۲۰۱۳). و ما و همکاران^۵، ۲۰۱۴). در حال حاضر شاخص خشکسالی استاندارد شده چند متغیره (MSDI) مبتنی بر داده‌های بارش و رطوبت خاک یکی از شاخص‌های موردتوجه محققان طی دهه اخیر است. هائو و آقاچوک (۲۰۱۳)، شاخص خشکسالی استاندارد شده چند متغیره (MSDI) را برای بررسی خشکسالی‌های کالیفرنیا و کارولینای شمالی مورداستفاده قرار دادند و نتایج حاصل از این شاخص ترکیبی را با شاخص‌های خشکسالی حساسیت به تنش (SSI) و بارش استاندارد شده (SPI) مقایسه کردند. نتایج نشان داد که MSDI نشان‌دهنده‌ی شروع و پایان خشکسالی بر اساس SPI و SSI است، بدین ترتیب که شروع خشکسالی با SPI و دوام و پایداری آن با رفتار SSI هماهنگی دارد. گولین و همکاران^۶ (۲۰۱۴)، با هدف تحلیل روند خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی در ایران با استفاده از شاخص MSDI و آزمون من-کندال نشان دادند که با اطمینان ۹۵٪ درحالی که در شرق ایران آمار قابل توجهی از خشکسالی مشاهده نشد، بخش‌های شمال، شمال غرب و مرکزی ایران خشکی قابل توجهی را تجربه کرده‌اند. آقاچوک (۲۰۱۵)، در پیش‌بینی خشکسالی، بر مبنای تداوم به‌کاربرده شده برای خشکسالی ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ شرق آفریقا با استفاده از شاخص (MSDI) نشان داد که پیش‌بینی‌ها و مشاهدات برهم منطبق هستند. به‌علاوه نتایج به‌دست‌آمده بر توانایی کاربردی این مدل برای هشدار احتمال خشکسالی در شرق آفریقا تأکید می‌کند. وانگ و همکاران^۷ (۲۰۲۰)، با استفاده از سه شاخص SPI، SSMI و MSDI خشکسالی‌های منطقه سین کیانگچین را بررسی و بیان نمودند که شاخص MSDI با در نظر گرفت مقادیر بارش و رطوبت خاک می‌تواند شرایط کلی خشکسالی به بهترین شکل توصیف کند. بات و همکاران^۸ (۲۰۲۱) خشکسالی‌های رخ داده در حوضه رودخانه گوماتی هند را با استفاده از شاخص MSDI طی دوره ۱۹۸۳-۲۰۱۵ بررسی کردند.

همان‌طور که بیان شد رخداد خشکسالی در اقلیم‌های مختلف رخ می‌دهد، باوجود این ویژگی‌های آن از قبیل شدت، مدت و بزرگی خشکسالی از محلی به محلی دیگر متفاوت (بارن^۹، ۱۹۸۵) و فراوانی رخداد آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر است (رضیعی و همکاران، ۱۳۸۶). از این‌رو کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان همانند کشور ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خود از دیرباز با این مخاطره و پیامدهای آن مواجه بوده‌اند. بخش‌های وسیعی از ایران به علت قرار گرفتن در کمربند بیابانی جنب حاره و سلطه مراکز پرفشار دینامیکی دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک است و همواره بارش کمی را دریافت می‌کند. از طرف دیگر تمرکز و توزیع مکانی - زمانی بارش در این نواحی نامطلوب و رژیم بارشی آن دارای نوسانات شدیدی است (قوبدل رحیمی، ۱۳۸۴). این در حالی است که بارندگی مهم‌ترین متغیری است که تغییرات آن به‌طور مستقیم در رطوبت خاک، جریان‌های سطحی، تغییرات تراز آب زیرزمینی و... منعکس می‌شود. به همین دلیل بارش اولین عاملی است که می‌تواند در بررسی هر حالتی از خشکسالی موردتوجه قرار گیرد (قمقما می و بذرافشان، ۱۳۹۱). هر چند از وقوع خشکسالی نمی‌توان جلوگیری کرد اما اگر ماهیت و خصوصیات آن مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد می‌توان نسبت به پیش‌بینی آن امیدوار بود و با آمادگی و برنامه‌ریزی، اثرات زیانبار آنرا کاهش و در صورت ممکن کنترل کرد. از این‌رو

¹ Kumar et al

² Keyantash & Dracup

³ Kao & Govindaraju

⁴ Hao & AghaKouchak

⁵ Ma et al

⁶ Golin et al

⁷ Wang et al

⁸ Bhatt et al

⁹ Baren

بررسی علمی پدیده خشکسالی در ایران به‌خصوص بر اساس شاخص‌های چند متغیره که علاوه بر بارش از دیگر پارامترهای اقلیمی برای برآورد خشکسالی استفاده می‌کند به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و مقابله با مشکلات ناشی از کمبود آب ضروری می‌باشد.

روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش محدوده سیاسی کشور ایران است که در شکل (۱) نشان داده شده است. داده‌های مورد استفاده شامل بارش و رطوبت خاک ماهیانه است. با توجه به اینکه در سطح کشور داده‌های رطوبت خاک با طول دوره آماری مناسب و جود ندارد از این‌رو از داده‌های بارش و رطوبت خاک محاسبه شده توسط مرکز MERRA استفاده شد. داده‌های این مرکز از سال ۱۹۸۰ با تأخیر چند ماه تا زمان کنون در اختیار محققان قرار می‌گیرد. برای انجام این تحقیق داده‌های مورد نیاز از تارنمای MERRA برای یک دوره ۴۳ ساله (۱۹۸۰-۲۰۲۲) شامل ۵۱۶ فایل بارش و ۵۱۶ فایل رطوبت خاک با قدرت تفکیک مکانی (Latitude) 0/66* (Longitude) 0/5 با فرمت NC دریافت شد. تعداد نقاط داده‌های بارش و رطوبت خاک MERRA برای پهنه ایران زمین ۱۵۴۶ نقطه است که خشکسالی و ویژگی‌های آن برای تمامی نقاط محاسبه شد.

در این پژوهش برای محاسبه خشکسالی‌های رخ داده در پهنه ایران، از شاخص خشکسالی چند متغیره (MSDI) استفاده شد. پس از دریافت داده‌های نام برده شده، با توجه به حجم زیاد داده‌ها و طول دوره آماری، پیش‌پردازش‌های لازم و پردازش داده‌ها در محیط متلب انجام شد و در ادامه با استفاده از کد تهیه‌شده توسط آقا کوچک و همکاران برای شاخص MSDI، خشکسالی‌های ایران در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه گردید. در این پژوهش علاوه بر بررسی خشکسالی‌های رخ داده، با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط متلب، ویژگی‌های خشکسالی شامل؛ فراوانی، تداوم، شدت و بزرگی نیز محاسبه و بررسی شد. برای استخراج و بررسی ویژگی‌های خشکسالی ایران از تئوری ران که یکی از روش‌های متداول تحلیل خشکسالی است، استفاده شد. براساس این تئوری طول دوره خشکسالی یا تداوم آن (DD) عبارت است از زمانی که مقدار شاخص خشکسالی به پایین‌تر از آستانه مربوطه (مثلاً -۱) برسد که در رابطه (۱) ارائه شده است. قابل ذکر است مادامی که مقدار شاخص خشکسالی پایین‌تر از سطح آستانه باشد خشکسالی ادامه می‌یابد و زمانی که مقدار شاخص خشکسالی به بالای سطح آستانه برسد، خشکسالی پایان می‌یابد. بر این اساس تعدا دفعاتی که طی یک دوره آماری مقدار شاخص خشکسالی پائین‌تر از سطح آستانه خشکسالی باشد را فراوانی وقوع خشکسالی (DF) می‌گویند که به کمک رابطه (۲) محاسبه می‌گردد. شدت خشکسالی (DS) برابر با مجموع کمبودهای متغیر اصلی از سطح بحرانی مورد نظر در دوره وقوع خشکسالی است که با رابطه (۳) محاسبه می‌گردد. بزرگی خشکسالی (DM) که در واقع میانگین کمبودها می‌باشد برابر است با نسبت مجموع کمبودها به طول دوره خشکسالی که با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$DL = t_f - t_i + 1 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، DL طول دوره خشکسالی، t_f و t_i به ترتیب برابر است با زمان پایان خشکسالی و زمان رخداد خشکسالی

$$DF = \frac{DE}{N} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲)، DF فراوانی وقوع خشکسالی، DE برابر است با ماه‌های همراه با رخداد خشکسالی و N تعداد کل ماه‌های دوره

$$DS = \sum_{i=1}^{dl} |x_0 - x_i| \quad \text{رابطه (۳)}$$

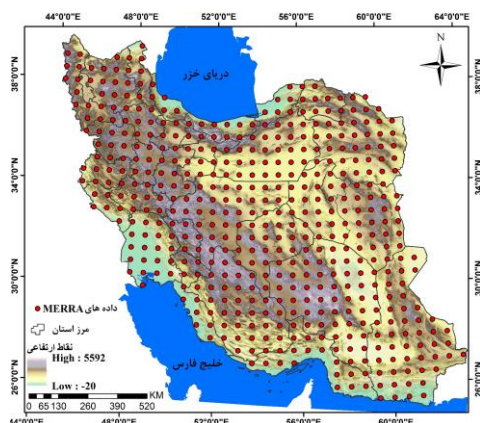
در این رابطه، DS شدت خشکسالی، dl تعداد کل ماه‌های همراه با خشکسالی، x_0 سطح آستانه خشکسالی، x_i متغیر اصلی (شاخص خشکسالی)

$$DM = \frac{DS}{DL} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه (۴)، DM بزرگی خشکسالی، DS شدت خشکسالی، DL طول دوره خشکسالی (مساعدی و همکاران، ۱۳۹۵)، و میشرا و همکاران^۱، (۲۰۰۹).

¹ Mishra et al

در نهایت نتایج حاصل از محاسبه شاخص MSDI و ویژگی‌های آن در مقیاس‌های زمانی مختلف در محیط GIS تبدیل به نقشه و نمایش داده شد.



شکل ۱. نقشه محدوده مورد مطالعه

شاخص چند متغیره خشکسالی (MSDI)

چهارچوب کار این شاخص، نسخه‌ی بسط داده شده‌ی SPI تک متغیره، روی توزیع مشترک بارش و رطوبت خاک می‌باشد که قادر به توصیف شرایط خشکسالی‌های هواشناسی-کشاورزی در مقیاس‌های زمانی مختلف می‌باشد. در واقع این شاخص، شروع و پایان خشکسالی را بر اساس ترکیب SSI و SPI تعیین می‌کند که در آن تشخیص شروع غالباً با SPI و تشخیص تداوم آن با توجه به رفتار SSI می‌باشد. از مهم‌ترین ویژگی‌های شاخص MSDI می‌توان به موارد زیر اشاره کرد؛

الف) MSDI شرایط خشکسالی را با توجه به یکی از شاخص‌ها، هم بارش هم رطوبت تشخیص می‌دهد.

ب) MSDI شروع خشکسالی را با همان سرعت SPI نشان می‌دهد و تداوم خشکسالی را مشابه SSI تعیین می‌کند.

ج) MSDI هنگامی که هر دو شاخص بارش و رطوبت خاک مقدار کمی را نشان دهند، شدت خشکسالی بیشتری را نشان خواهد داد. شایان‌ذکر است که شاخص خشکسالی استانداردشده‌ی چند متغیره، همانند SPI و SSI تک متغیره، احتمال وقوع را نشان می‌دهد که می‌تواند برای تحلیل‌ها به‌خوبی مورد استفاده قرار گیرد (هائو و آقاچوک، ۲۰۱۳).

جدول ۱. طبقه‌بندی مقادیر MSDI (آقاچوک و هائو، ۲۰۱۴)

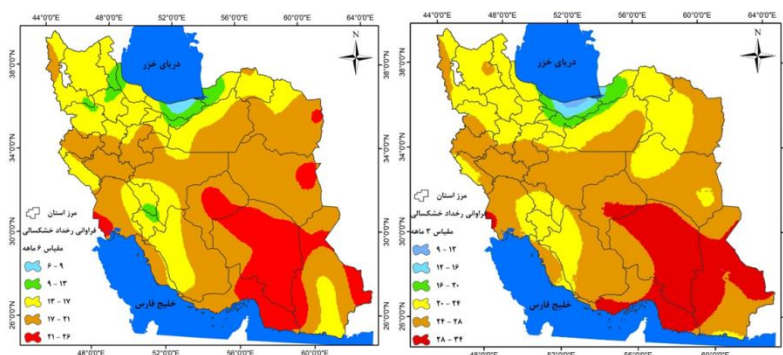
شدت خشکسالی	مقدار شاخص
خشکسالی خیلی ضعیف	-۰/۴۹ تا -۰/۱
خشکسالی ضعیف	-۰/۷ تا -۰/۵
خشکسالی متوسط	-۱/۲ تا -۰/۸
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۳

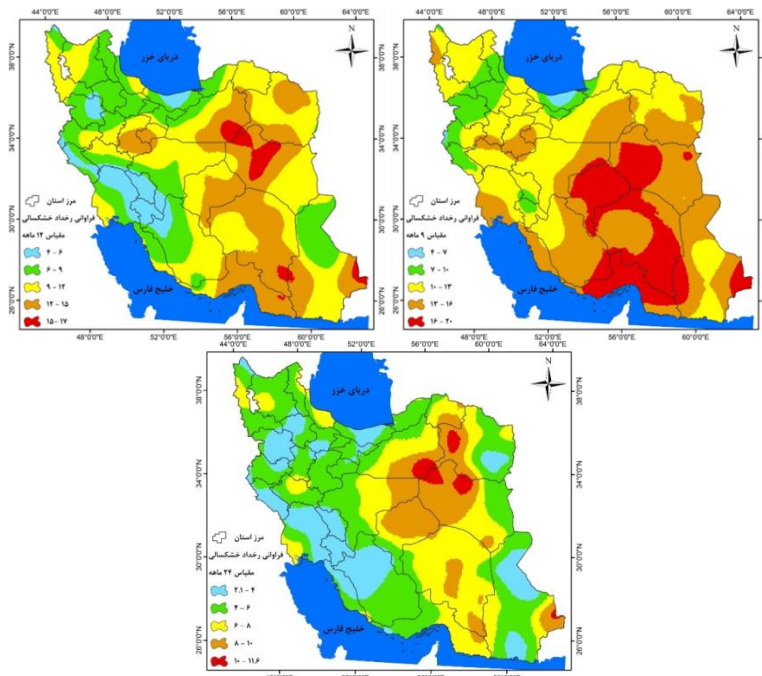
¹ Hao & AghaKouchak

یافته‌ها

فراوانی رخداد خشکسالی

شکل (۲) پهنه‌بندی فراوانی وقع خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف را برای سطح ایران زمین نشان می‌دهد. همان‌طور که روی شکل مشخص است، در مقیاس زمانی ۳ ماهه بیشینه فراوانی وقوع خشکسالی در سطح کشور برای منطقه جنوب شرق در سطح قابل توجهی از استان کرمان، سیستان و بلوچستان و هرمزگان رخ داده است. پهنه دوم بیشینه رخداد خشکسالی با مقدار ۲۴ الی ۲۸ رخداد در نیمه جنوبی و قسمتی از شمال شرق کشور قابل مشاهده است. در مقابل کمینه فراوانی وقوع خشکسالی در سواحل شمالی کشور با محوریت استان‌های مازندران و قسمت غربی استان گلستان است که در سواحل استان مازندران بین ۹ الی ۱۲ دوره می‌باشد. قسمت‌های شمال غربی و دامنه‌های جنوبی البرز و همچنین قسمتی از جنوب غرب شامل استان‌های چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد و قسمت‌های از اصفهان، فارس و خوزستان فراوانی وقوع خشکسالی بین ۲۰ الی ۲۴ دوره بوده است. در مقیاس زمانی ۶ ماهه از نظر مکانی الگوی فراوانی وقوع خشکسالی همانند مقیاس زمانی ۳ ماهه است با این تفاوت که در این مقیاس پهنه‌های حداکثر و حداقلی از نظر گستره سطح کمتری را در برمی‌گیرند. در مقیاس زمانی ۹ ماهه قسمت‌های غربی و شمالی کشور نسبت به قسمت‌های جنوبی و به‌ویژه قسمت‌های مرکزی و جنوب شرقی فراوانی وقوع خشکسالی کمتری را تجربه کرده‌اند. در این مقیاس کمترین رخداد خشکسالی ۴ الی ۷ دوره در نواحی شمالی کشور و بیشینه آن ۲۰ الی ۱۶ دوره در جنوب کشور برای استان هرمزگان و در مرکز کشور برای استان یزد رخ داده است. در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه فراوانی وقوع خشکسالی در پهنه کشور هم از نظر الگویی و هم از نظر تعداد دوره نسبت به سه مقیاس دیگر متفاوت شده است. در این مقیاس‌های هسته‌های کمترین رخداد خشکسالی با افزایش همراه شده است و در قسمت‌های مختلف کشور مشاهده می‌شود. در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، هسته بیشینه فراوانی وقوع خشکسالی در قسمت‌های محدودی از استان خراسان رضوی، جنوبی و همچنین قسمت شرقی استان سمنان با ۱۰ الی ۱۲ دوره رخ داده است. به‌طور کلی می‌توان گفت که در مقیاس‌های زمانی طولانی‌تر در یک راستای غربی- شرقی فراوانی دوره‌های خشکسالی افزایش پیدا می‌کند.



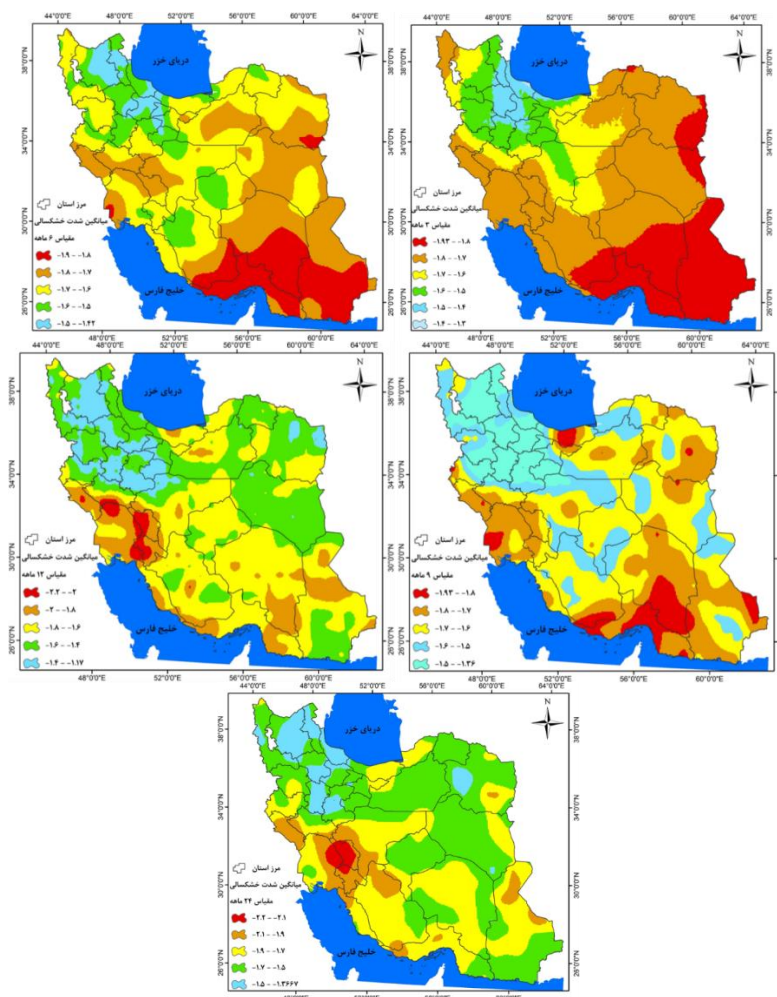


شکل ۲. پهنه‌بندی فراوانی رخداد خشکسالی ایران در مقیاس‌های زمانی ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه بر اساس تناسب با شاخص MSDI (۱۹۸۰-۲۰۲۲)

شدت خشکسالی

نتایج محاسبات شاخص شدت خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه بر اساس شاخص MSDI در شکل (۳) نشان داده شده است. در مقیاس زمانی سه ماهه، خشکسالی‌های با بیشترین شدت در منطقه جنوب شرق و قسمتی منتهی‌الیه شرق ایران رخ داده است. از نظر مکانی هسته بیشینه شدت خشکسالی دربرگیرنده استان سیستان و بلوچستان، هرمزگان، جنوب شرق استان فارس، نیمه جنوبی استان کرمان و شرق استان‌های خراسان رضوی و جنوبی است. در این مناطق متوسط شدت خشکسالی‌های رخ داده در مقیاس زمانی ۳ ماه به کمتر از بین $1/8$ الی $1/93$ می‌رسد که بر اساس تقسیم‌بندی محدوده شاخص MSDI از نوع خشکسالی‌های بسیار شدید هستند. پهنه دوم خشکسالی‌های با بیشینه شدت که سطح قابل توجهی از کشور را نیز در مقیاس ۳ ماهه شامل می‌شود دربرگیرنده نواحی جنوب غرب، شرق و شمال شرق است که شدت خشکسالی‌ها بین $1/8$ الی $1/7$ است. در مقابل این مناطق، خشکسالی‌های با کمترین شدت در سواحل استان گیلان و قسمت‌های از استان‌های زنجان و اردبیل با مقدار $1/3$ الی $1/4$ رخ داده است. در مقیاس زمانی ۶ ماهه از گستره خشکسالی‌های شدید در پهنه کشور کاسته شده است به طوری که هسته بیشینه شدت سطح کمتری از مناطق جنوب شرق کشور با محوریت استان هرمزگان را شامل می‌شود. در این مقیاس بیشینه متوسط شدت خشکسالی‌های رخ داده بین $1/8$ الی $1/9$ است که از نظر مقدار نیز نسبت به مقیاس زمانی ۳ ماهه کاهش پیدا کرده است. در این مقیاس هسته‌ی کمینه شدت علاوه بر استان گیلان منطقه شمال غرب و استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل را نیز شامل می‌شود. در این مقیاس شدت خشکسالی‌های منطقه غرب و جنوب غرب کشور نیز کمتر شده است. در مقیاس ۹ ماهه تمرکز بیشینه شدت خشکسالی در استان مازندران و قسمت‌هایی از جنوب شرق، جنوب و جنوب غرب و کمینه آن در قسمت‌های شمال غرب کشور مشاهده می‌شود. نکته قابل توجه برای این مقیاس گستردگی پهنه خشکسالی با کمینه شدت در منطقه غرب و شمال غرب کشور است. در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه هرچند هسته بیشینه شدت خشکسالی از نظر گستره کمتر شده است و بیشتر در منطقه جنوب غرب کشور با محوریت استان‌های چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویر احمد مشاهده می‌شود با این وجود مقدار شدت نسبت به مقیاس قبلی بیشتر شده است. به طوری که متوسط شدت هسته بیشینه شدت خشکسالی بین $2/2$ الی ۲ می‌باشد که این شدت در مقیاس‌های

قبلی ثبت نشده بود؛ بنابراین بر اساس مقدار شدت‌های ثبت شده می‌توان گفت که شدیدترین خشکسالی‌های کشور بر اساس ترکیب مقادیر بارش و رطوبت خاک در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه به وقوع پیوسته است. قابل ذکر است که شدت خشکسالی در این مقیاس برای سایر نواحی کشور نیز قابل توجه است.

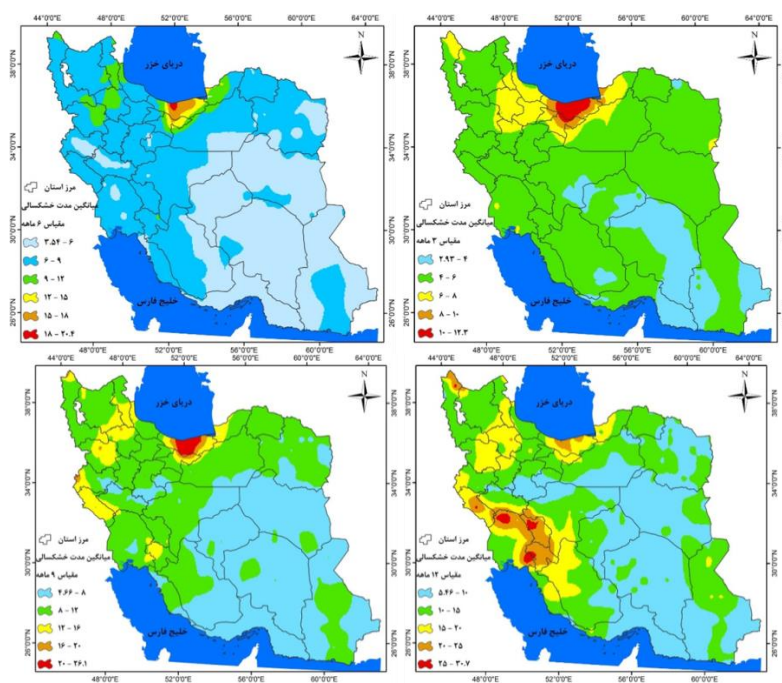


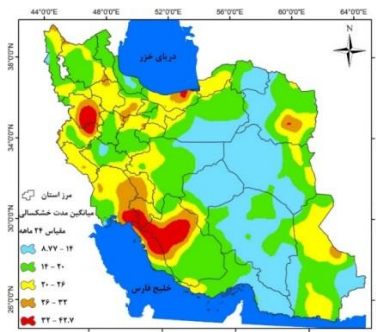
شکل ۳. پهنه‌بندی میانگین شدت خشکسالی ایران در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه بر اساس تناسب با شاخص MSDI (-۱۹۸۰) (۲۰۲۲)

مدت خشکسالی

شکل (۴) متوسط تداوم خشکسالی‌های رخ داده در سطح ایران بر اساس شاخص MSDI در مقیاس‌های مختلف زمانی ۳، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه را نشان می‌دهد. همان‌طور که روی شکل مشخص است در حالت کلی با کاهش عرض جغرافیایی و با حرکت به عرض‌های پایین‌تر و به‌ویژه مناطق جنوب شرق کشور، از مدت خشکسالی‌ها کاسته می‌شود به‌طوری‌که در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۹ ماهه بیشینه وقوع خشکسالی و کانون متأثر از این پدیده مخرب، معطوف به شمال کشور به‌ویژه استان‌های مازندران و قسمتی از تهران می‌باشد. یکی از نکات قابل توجه در بحث تداوم خشکسالی افزایش هسته‌های با تداوم خشکسالی در نقاط مختلف کشور برای مقیاس زمانی ۲۴ ماهه است به‌طوری‌که در نقشه خشکسالی ۲۴ ماهه هسته‌های با خشکسالی‌های طولانی علاوه بر شمال کشور در غرب و جنوب غرب مشاهده می‌شود. این هسته‌ها از نظر مکانی بر روی استان‌های بوشهر، فارس، خوزستان و کهگیلویه و بویر احمد در جنوب غرب و استان‌های کردستان و کرمانشاه در غرب قرار دارد.

در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه در مناطق شمالی، غرب و جنوب غرب کشور بخصوص استان‌های کردستان، قسمت‌هایی از خوزستان، بوشهر و فارس بیشینه میانگین مدت خشکسالی بیش از سایر نواحی کشور بوده است. بر اساس محاسبات انجام‌شده تداوم خشکسالی در مناطق شرق و جنوب شرق کشور کمتر از سایر نواحی است و کمینه تداوم خشکسالی در این مناطق طی دوره مورد مطالعه قابل مشاهده است، قابل ذکر است این شرایط در مقیاس‌های مختلف زمانی رخ داده است. با توجه به توزیع توپوگرافی و به تبع شرایط اقلیمی حاکم بر مناطق مختلف کشور تفاوت در مدت خشکسالی‌های رخ داده می‌تواند ناشی از تفاوت در ویژگی‌های محیطی و موقعیت جغرافیایی آن‌ها نسبت به سامانه‌های بارشی باشد.



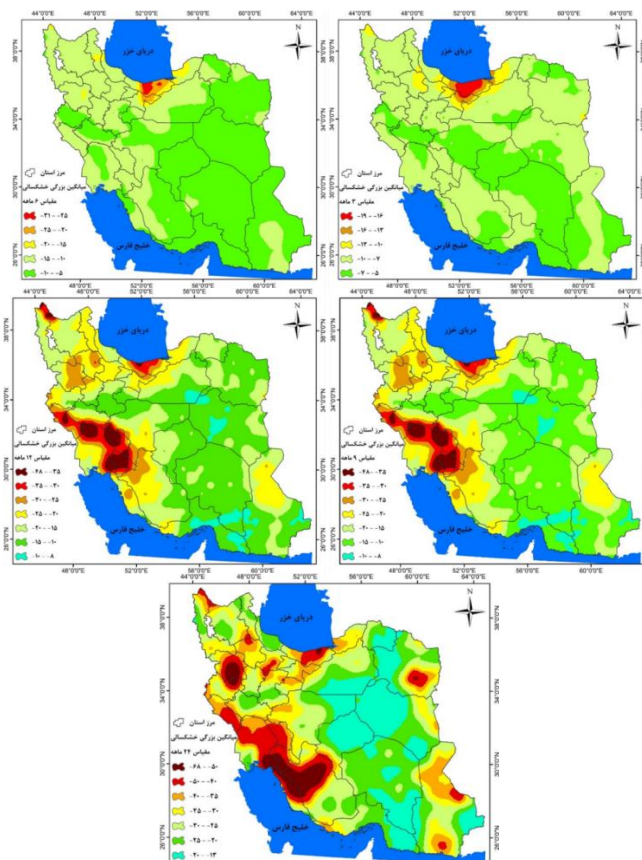


شکل ۴. پهنه‌بندی میانگین مدت خشکسالی ایران در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه بر اساس تناسب با شاخص MSD (۱۹۸۰-۲۰۲۲)

بزرگی خشکسالی

در شکل (۵) بزرگی خشکسالی‌های رخ داده در مقیاس‌های زمانی‌های مختلف ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده الگوی مشخصه بزرگی خشکسالی همانند مشخصه تداوم خشکسالی است. این شباهت در واقع به این دلیل است که مشخصه بزرگی خشکسالی، از خشکسالی مقدار تجمعی شاخص در مدت رخداد خشکسالی است. همان‌طور که روی نقشه مشخص است در مقیاس زمانی ۳ ماهه بیشینه بزرگی خشکسالی همانند مشخصه تداوم، برای مناطق شمالی کشور با محوریت سواحل شمالی به‌ویژه استان مازندران است. مقدار بزرگی خشکسالی برای استان مازندران حداقل ۱۶- و حداکثر ۱۹- است. در این مقیاس پهنه دوم بالاترین بزرگی خشکسالی برای قسمت‌های مرکزی دامنه‌های جنوبی البرز و شرق استان مازندران و غرب استان گلستان با مقدار ۱۳- الی ۱۹- می‌باشد. در مقابل برای مقیاس زمانه ۳ ماهه کمینه بزرگی خشکسالی در قسمت‌های مختلف کشور با محوریت مناطق مرکزی قابل‌مشاهده است که بین ۵- الی ۷- می‌باشد. قسمت‌های شمال غرب کشور از نظر بزرگی خشکسالی‌ها با بزرگی ۷- الی ۱۰- و قسمت‌های شرقی و غربی دامنه‌های جنوبی البرز خشکسالی‌های با بزرگی ۱۰- الی ۱۳- را طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۸۰ تجربه کرده‌اند. در مقیاس زمانی ۶ ماهه الگوی بزرگی خشکسالی‌ها همانند مقیاس زمانی ۳ ماهه است با این تفاوت که گستره هسته حداکثر بزرگی کمتر و در مقابل مقدار بزرگی بیشتر شده است. در این مقیاس بالاترین بزرگی خشکسالی در سواحل شمالی کشور حداقل ۲۵- و حداکثر ۳۱- است. مقادیر هسته کمینه بزرگی خشکسالی که سطح قابل‌توجهی از کشور را در نیمه شرقی و جنوبی پوشش می‌دهد بین ۵- الی ۱۰- است.

مشخصه بزرگی خشکسالی برای مقیاس‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه نسبت به دو مقیاس قبلی با تفاوت‌های قابل‌توجهی از نظر مکانی و مقدار همراه شده است به‌طوری‌که هسته‌های بالاترین بزرگی خشکسالی علاوه بر نواحی شمالی به‌طور قابل‌توجهی در منطقه جنوب غرب و با محوریت استان‌های چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویر احمد، شمال استان خوزستان و مرکز ایلام نیز قابل‌مشاهده است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه حداقل بزرگی خشکسالی در سطح کشور ۸- و حداکثر مشخصه بزرگی خشکسالی ۴۸- است. در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه، هرچند هسته‌های بیشینه بزرگ‌ترین خشکسالی‌ها نسبت به مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بیشتر شده است و در قسمت‌های مختلف کشور (سواحل شمالی، شمال غرب، جنوب شرق، جنوب غرب و غرب) قابل‌مشاهده است با وجود این هسته اصلی آن در جنوب غرب کشور با گستره قابل‌توجه بر روی استان‌های فارس، بوشهر، جنوب کهگیلویه و بویر احمد و استان خوزستان رخ داده است. مقدار مشخصه بزرگی این هسته بین ۵۰- الی ۶۸- است. در این مقیاس حداقل مشخصه بزرگی خشکسالی ۱۳- و حداکثر مشخصه بزرگی خشکسالی ۶۸- است. به‌طور کلی در این مقیاس و مقیاس ۱۲ ماهه منطقه جنوب غرب کشور خشکسالی‌های با بزرگی قابل‌توجهی را تجربه می‌کنند. در این مقیاس هسته کمینه بزرگی خشکسالی در یک راستای شمالی- جنوبی، استان‌های خراسان شمالی تا استان هرمزگان را پوشش می‌دهد که مقدار بزرگی خشکسالی بین حداقل ۱۳- و حداکثر ۲۰- است.



شکل ۵. پهنه میانگین بزرگی خشکسالی ایران در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه بر اساس تناسب با شاخص MSDI (-۱۹۸۰) (۲۰۲۲)

بحث

کشور ایران به واسطه موقعیت جغرافیایی خود از دیرباز تا به امروز خشکسالی‌های زیادی را با شدت و ضعف متفاوت تجربه کرده است. هرچند خشکسالی در سطح کشور ایران به‌عنوان یک پدیده شناخته‌شده مطرح است و مطالعات زیادی با استفاده از شاخص‌های مختلف به‌منظور شناسایی و تحلیل آن انجام شده است باوجوداین استفاده از شاخص‌های تک‌بعدی نمی‌تواند تمام جنبه‌های خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی را نشان دهد و برای رسیدن به این هدف باید از یک رویکرد چند شاخصه استفاده کرد (هائو و آقاچوکچک، ۲۰۱۳). در واقع نبود یک سیستم یا مدل تلفیق اطلاعات مرتبط با خشکسالی شامل، متغیرهای مختلف اقلیمی، شاخص‌های خشکسالی و روابط متقابل آن‌ها، مانع از تشخیص قابل‌اعتماد و به‌موقع خشکسالی و پایداری آن می‌شود (هائو و آقاچوکچک، ۲۰۱۴). از این‌رو در این پژوهش سعی بر این شد که خشکسالی‌های ایران و ویژگی‌های آن در درازمدت با استفاده از شاخص چند متغیره خشکسالی (MSDI) مبتنی بر داده‌های ترکیبی بارش و رطوبت خاک مرکز MERRA محاسبه و مشخصه‌های مهم آن شامل؛ فراوانی، تداوم، شدت و بزرگی موردبررسی قرار گیرد. شناخت ویژگی‌های رویدادهای خشکسالی در یک منطقه می‌تواند به‌عنوان ابزاری مهم برنامه‌ریزان را در جهت برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر، یاری رساند. با دانستن احتمال وقوع رویدادهای خشکسالی با شدت و گستره معین می‌توان طوری برنامه‌ریزی نمود که با کمترین آسیب و به سلامت از دوره‌های سخت خشکسالی گذر نمود و یا به‌عبارتی‌دیگر با خشکسالی آگاهانه و با برنامه زندگی کرد (رضیئی، ۱۳۹۴).

بررسی ویژگی‌های خشکسالی برای ۱۵۴۶ نقطه در سطح کشور ایران نشان داد که در حالت کلی مقادیر مشخصه فراوانی وقوع خشکسالی با افزایش مقیاس زمانی کاهش پیدا می‌کند و از تعداد دوره‌های وقوع خشکسالی کم می‌شود در حالی که برای سایر مشخصه‌ها شامل؛ تداوم، شدت و بزرگی با افزایش مقیاس زمانی مقادیر مشخصه‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند. به عبارتی دیگر با افزایش مقیاس زمانی خشکسالی‌های با تداوم، بزرگی و شدت بالاتری رخ می‌دهند. در تحقیق ترابی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۲) با موضوع بررسی ویژگی‌های خشکسالی‌های ایران با استفاده از شاخص SPEI و همچنین در تحقیق نوری و همائی (۲۰۲۰) با موضوع بررسی روند و ویژگی‌های خشکسالی‌های ایران با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI، بر افزایش مشخصه‌های بزرگی، تداوم و شدت خشکسالی با افزایش مقیاس زمانی تأکید شده است. از نظر مکانی بیشینه فراوانی وقوع خشکسالی‌های ایران طی دوره ۴۳ ساله در منطقه جنوب شرق و شرق کشور رخ داده است به طوری که در مقیاس زمانی ۳ ماهه در منطقه جنوب شرق کشور با محوریت استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان تعداد ۲۸ الی ۳۴ دوره خشکسالی به وقوع پیوسته است. در مقابل، کمینه فراوانی وقوع خشکسالی در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت ۳ و ۶ ماهه در سواحل شمالی با تعداد ۶ الی ۱۲ دوره و در مقیاس‌های طولانی‌مدت ۱۲ و ۲۴ ماهه در سواحل شمالی و منطقه جنوب غرب کشور با ۲ تا ۶ دوره رخ داده است.

از نظر شدت خشکسالی، در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه شدیدترین خشکسالی‌های رخ داده در استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان در منطقه جنوب شرق و در منتهی‌الیه شرق استان‌های خراسان رضوی و جنوبی در منطقه شرق کشور ثبت شده است. در این نواحی شدت خشکسالی بین ۱/۸- الی ۱/۹۳- است که در گروه خشکسالی‌های شدید قرار می‌گیرند. در مقیاس‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه هسته‌های با خشکسالی شدید نسبت به دو مقیاس قبلی متفاوت می‌شود و تمرکز خشکسالی‌های شدید در منطقه جنوب غرب و استان‌های چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و قسمتی از خوزستان است. قابل‌ذکر است که در این مقیاس‌ها علاوه بر این که از نظر مکانی رخداد خشکسالی شدید نسبت به مقیاس قبلی متفاوت شده از نظر مقدار شدت نیز متفاوت است و شدت خشکسالی‌ها در این مقیاس‌ها بیشتر از مقیاس‌های ۳ و ۶ ماهه است. در مطالعات انجام شده توسط رضیئی (۱۳۹۴) بر رخداد خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید نیز در منطقه جنوب شرق ایران تأکید شده است.

نتایج محاسبه و بررسی مشخصه‌های تداوم و بزرگی خشکسالی‌های ایران طی دوره مورد بحث نشان داد که برای دو مشخصه، در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه مناطق شمالی کشور با محوریت سواحل شمالی به‌ویژه استان مازندران خشکسالی‌های با تداوم و بزرگی بالاتری نسبت به سایر نواحی کشور تجربه کرده‌اند. به طوری که در مقیاس ۳ ماهه متوسط تداوم خشکسالی رخ داده ۱۰ الی ۱۲ دوره برای استان مازندران و برای مناطق با حداقل تداوم تعداد ۳ الی ۶ دوره ثبت شده است. همچنین مقدار بزرگی خشکسالی برای استان مازندران حداقل ۱۶- و حداکثر ۱۹- و برای بیشتر قسمت‌های کشور بین حداقل ۵- و حداکثر ۱۰- است. مقادیر مشخصه‌های تداوم و بزرگی خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه نسبت به مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت ۳ و ۶ ماهه هم از نظر مکانی و هم از نظر مقدار متفاوت می‌شود. در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه حداقل مشخصه بزرگی خشکسالی ۱۳- و حداکثر مشخصه بزرگی خشکسالی ۶۸- است. از نظر مکانی در مقیاس‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه هسته اصلی طولانی‌ترین و بزرگ‌ترین خشکسالی‌های کشور در جنوب غرب کشور با گستره قابل توجه بر روی استان‌های فارس، بوشهر، جنوب کهگیلویه و بویر احمد و استان خوزستان رخ داده است.

نتیجه‌گیری

نتایج محاسبه خشکسالی بر اساس داده‌های رطوبت خاک و بارش در سطح ایران نشان داد که خشکسالی با شدت و ضعف متفاوت در تمامی نقاط ایران رخ می‌دهد و رخداد آن به یکی از پدیده‌های همیشگی اقلیم ایران به‌ویژه طی دهه‌های اخیر تبدیل شده است. بررسی رخداد خشکسالی‌های ایران در حالت متوسط نشان داد که بر اساس دامنه شاخص MSDI، بیشتر خشکسالی‌های رخ داده در پهنه ایران زمین از نوع خشکسالی‌های ضعیف و متوسط هستند. همچنین مشخص شد که از نظر زمانی، با افزایش مقیاس‌های زمانی، مشخصه فراوانی وقوع خشکسالی‌ها کاهش و مشخصه‌های تداوم، بزرگی و شدت افزایش پیدا می‌کند. از نظر مکانی، بیشینه فراوانی وقوع خشکسالی‌ها در جنوب شرق و شرق کشور و کمینه آن در سواحل شمالی به‌ویژه در استان مازندران و در جنوب غرب ایران شامل استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه بویر احمد رخ داده است. بیشینه شدت خشکسالی در سطح کشور برای مقیاس ۳ ماهه ۱/۹۳- در جنوب شرق کشور و در مقیاس ۲۴

ماهه ۲/۲- در جنوب غرب کشور است. یکی از نتایج قابل توجه در این پژوهش تداوم و بزرگای بالای خشکسالی های رخ داده در مناطق شمالی و جنوب غرب کشور است. به طوری که در مقیاس های کوتاه مدت ۳ و ۶ ماهه، بزرگ ترین خشکسالی ها با مقدار ۱۶- تا ۳۱- در شمال کشور و در مقیاس های ۱۲ و ۲۴ ماه با مقدار ۳۵- الی ۶۸- در جنوب غرب کشور رخ داده است که این شرایط بیان کننده کاهش رطوبت خاک و بارش این مناطق در حالت کلی است.

در مجموع بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش که ترکیبی از خشکسالی هواشناسی و کشاورزی است باید گفت که سطح قابل توجهی از ایران زمین با کمبود رطوبت خاک برای انواع فعالیت های کشاورزی و همچنین رشد و نمو پوشش گیاهی مواجه شده است. ادامه این روند و عدم وجود برنامه ریزی مناسب برای کاهش اثرات خشکسالی و در صورت امکان، عدم انجام اقدامات مناسب برای مقابله با آن می تواند محیط زیست ایران زمین را پیش از پیش با مخاطره و تهدید مواجه کند. از این رو می توان گفت که تمامی قسمت های ایران نیازمند یک برنامه جامع مقابله با خشکسالی و کاهش اثرات آن می باشد.

منابع

- تراپی نژاد، نسترن، زرین، آذر، و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۴). بررسی انواع خشکسالی و مشخصه های آن در ایران با استفاده از شاخص بارش تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI). مجله آب و خاک، ۳۷(۳)، ۴۸۶-۴۷۳.
<https://doi.org/10.22067/JSW.2023.81322.1257>
- دانشوروثوقی، فرناز، دینپژوه، یعقوب، و اعلمی، محمدتقی. (۱۳۹۰). تاثیر خشکسالی بر تراز آب زیرزمینی در دو دهه اخیر (مطالعه موردی: دشت اردبیل). نشریه دانش آب و خاک، ۴، ۱۷۹-۱۶۵.
https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_1195_36.html
- رضیئی، طیب. (۱۳۹۴). بررسی ویژگی های خشکسالی در منطقه خشک و نیمه خشک ایران، مهندسی و مدیریت آبخیز. ۷(۴). ۳۶۳-۳۷۸.
<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2015.103082>
- رضیئی، طیب، دانشکار آراسته، پیمان، اختری، روح انگیز، و ثقفیان، بهرام. (۱۳۸۶). بررسی خشکسالی های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکوف. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۳(۱)، ۸۶-۷۶.
https://www.iwrr.ir/article_15467.html
- قمقامی، مهدی، و بذرافشان، جواد. (۱۳۹۱). پیش آگاهی وضعیت خشکسالی هواشناسی در گستره ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکف. حفاظت منابع آب و خاک، ۴، ۱۲-۱۱.
<https://doi.org/20.1001.1.22517480.1391.1.3.1.7.1-12>
- قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۸۴). آزمون مدل های ارزیابی خشکسالی و ترسالی برای ایستگاه های آذربایجان شرقی. مجله منابع طبیعی ایران، ۳(۳)، ۵۸-۵۳.
https://ijnr.ut.ac.ir/article_25250.html
- مساعدی، ابوالفضل، محمودی مقدم، سمانه، و کواکبی، غزاله. (۱۳۹۵). تعیین خصوصیات خشکسالی بر اساس شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) و بررسی تغییرات آن در مناطق و دوره های مختلف زمانی، پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۶)، ۵۲-۲۷.
<https://doi.org/10.22069/JWFST.2017.8878.2266>

References

- Mosaedi, A., Mohammadi Moghaddam, S., & Kavakebi, GH. (2017). Drought characteristics based on Reconnaissance Drought Index and its variations in different time periods and regions of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(6), 27-52. <https://doi.org/10.22069/JWFST.2017.8878.2266> [In Persian]
- Aghakouchak, A. (2015). A multivariate approach for persistence-based drought prediction: Application to the 2010-2-11 East Africa drought. *Journal of Hydrology*, 526, 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.063>
- Baren, M.A. (1985). *Hydrological aspects of droughts*. UNESCO/WMO, London, (19982). <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>

- Bhatt, D., Mall, R.K., Prudhvi Raju, K.N., & Suryavanshi, S. (2021). Multivariate drought analysis for the temperature homogeneous regions of India: Lessons from the Gomati River basin. *Meteorological Applications*, 29(2), e2044. <https://doi.org/10.1002/met.2044>
- Daneshvar Vousoughi, F., Dinpashoh, Y., Aalami, M.T. (2011). Effect of Drought on Groundwater Level in the Past Two Decades (Case study: Ardebil Plain). *Journal of Water and Soil Science*, 2(4), 165-179. https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_1195_36.html [In Persian]
- Ghavidel Rahimi, Y. (2005). Study of Drought and Wet Year Assessment Models for Stations in East Azerbaijan Province. *Iranian Journal of Natural Resources*, 58(3), 517-530. https://ijnr.ut.ac.ir/article_25250.html [In Persian]
- Gibbs, W. J., & Maher, J. V. (1967). Rainfall Deciles as Drought Indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Melbourne: Bureau of Meteorology*. <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=2819353>
- Golin, S., Mazdiyasi, O., & Aghakouchak, A. (2014). Trends in meteorological and agricultural drought in Iran. *Theor App Climatol*. <https://doi:10.1007/s00704-014-1139-6>
- Hao, Z., & Aghakouchak, A. (2013). Multivariate Standardized Drought Index: A Parametric Multi-Index Model. *Advances in Water Resources*, 57, 12-18. <https://doi:10.1016/j.advwatres.2013.03.009>
- Hao, Z., & Aghakouchak, A. (2014). A Nonparametric Multivariate Multi-Index Drought Monitoring Framework. *Journal of Hydrometeorology*, 15, 89-101. <https://doi:10.1175/JHM-D-12-0160.1>
- Kao, S.-C., Govindaraju R.S. (2010). A copula-based joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology*, 380, 121-134. <https://doi:10.1016/j.jhydrol.2009.10.029>
- Keyantash, J.A., & Dracup, J.A. (2004). An aggregate drought index: assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resour Res*, 40(9), W09304. <https://doi.org/10.1029/2003WR002610>
- Kogan, F.N. (1997). Global Drought Watch from Space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(4), 621-636. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2)
- Kumar, N., Rajeevan, M., Pai, D.S., Srivastava, A.K., & Preethi. B. (2013). On the observed variability of monsoon droughts over India; *Weather and Climate Extremes*, 1(1), 142-150. <https://doi:10.1016/j.wace.2013.07.006>
- Ma, M., Ren, L., Singh, V.P., Yang, X., Yuan, F., & Jiang, S. (2014). New variants of the palmer drought scheme capable of integrated utility. *Journal of Hydrology*, 519, 1108-1119. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.041>
- McKee, T.B., Doesken, N.J., & Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, 179-184. https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_of_Drought_Frequency_and_Duration_1993.pdf
- Mishra, A.K., Singh, V.P., & Desai, V.R., (2009). Drought characterization: a probabilistic approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23, 41-55. <https://doi:10.1007/s00477-007-0194-2>
- Mishra, A.K., & Singh, V.P. (2010). A Review of Drought Concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Nouri, M., & Homaei, M. (2020). Drought trend, frequency and extremity across a wide range of climates over Iran. *Meteorological Applications*, 27(2), e1899. <https://doi.org/10.1002/met.1899>
- Palmer, W.C. (1965). Meteorological drought. Research Paper 45, U.S. Dept. of Commerce, Weather Bureau, Washington. https://www.droughtmanagement.info/literature/USWB_Meteorological_Drought_1965.pdf

- Qomqami, M., & Bazarafshan, J. (2012). Forecasting the meteorological drought situation in the area of Iran using the Markov chain model. *Protection of water and soil resources*, 1(3), 1-12. <https://doi.org/20.1001.1.22517480.1391.1.3.1.7> [In Persian]
- Raziei, T. (2015). Investigation of drought characteristics in arid and semi-arid regions of Iran. *Watershed Engineering and Management*, 7(4), 363-378. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2015.103082> [In Persian]
- Raziei, T., Daneshkar Arasteh, P., Akhtari, R., & Saghafian, B. (2007). Investigation of Meteorological Droughts in the Sistan and Balouchestan Province, Using the Standardized Precipitation Index and Markov Chain Model. *Iran-Water Resources Research*, 3(1), 25-35. https://www.iwrr.ir/article_15467.html [In Persian]
- Subash. N., Ram Mohan, H.S., & Banukumar, K. (2011). Comparing water-vegetative indices for rice (*Oryza sativa* L.)–wheat (*Triticum aestivum* L.) drought assessment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 77(2), 175-187. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.05.001>
- Torabinezhad, N., Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A.A. (2023). Analysis of Different Types of Droughts and Their Characteristics in Iran Using the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). *journal of Soil and Water*, 37(3), 473-486. <https://doi.org/10.22067/JSW.2023.81322.1257> [In Persian]
- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the connaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21, 821–833. <https://doi:10.1007/s11269-006-9105-4>
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería S., & López-Moreno J.I. (2010). A Multi–scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate*, 23(7), 1696– 1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Wang, Y., Yang, J., Chen, Y., Su, Z., Li, B., Guo, H., & De Maeyer, P. (2020). Monitoring and Predicting Drought Based on Multiple Indicators in an Arid Area, China. *Remote Sens.* 12, 2298. <https://doi.org/10.3390/rs12142298>