

Temporal and spatial variations in the severity of pervasive and short-lived droughts in the West Asian region

Farshad Sadeghi¹, Yousef Ghavidel^{2*}, Manouchehr Farajzadeh³

1-PhD student in Climatology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2-Associate Professor, Department of Natural Geography, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3-Professor, Department of Natural Geography, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received: 18 Desemberr 2021

Accepted: 07 April 2022

Extended Abstract

Introduction

Drought is a normal fact of temporal and spatial fluctuations of climate and can occur in any type of climate. Drought is a persistent and abnormal lack of moisture over a period of time, usually one year. In this definition, the word continuous refers to the persistence of a state of deficiency and the word abnormal refers to the deviation of the desired index from the normal (average) conditions. This phenomenon, as a natural disaster and an inevitable phenomenon, has been occurring in a wide range of countries for a long time. Studies show that the West Asian region, due to its geographical and climatic conditions, like many countries in the world, especially North Africa is not in a good position in terms of water supply.

Methodology

In this study, SPEI networked data with a spatial resolution of 0.5 by 0.5 degrees; Used over a statistical period of 118 years (1901-2018). This index is a relatively new index of drought and is based on the developed SPI. In this study, first, drought critical points were estimated and calculated for each of the time periods of 1, 3, 6, 9, 12 months, and after extracting the critical points, taking into account the geographical coordinates of the points in the networked data, The point of the main network was extracted and after extracting the data of each point which included 1416 months during the 118 years of the statistical period, the time trend of the critical network points was analyzed. Extensive critical points of severe and extensive droughts have been extracted from long-term cumulative maps (ASPEI) of the study area, which are in fact the negative accumulation of SPEI in each time period of the study period of 118 years. After drawing ASPEI maps for each time period of SPEI, two critical points are identified and the trend of their time changes is examined.

Results and Discussion

The results and findings of the study show that based on negative ASPEI values, critical areas of one-month drought are visible in the Arabian Peninsula and Yemen, as well as in the southern regions of Iran. The largest widespread and severe one-month long-term droughts occurred in western and central Saudi Arabia, all of Yemen, southwestern Oman, and southern Iran. Drought is more severe in central Yemen and western Saudi Arabia. During the quarter, critical areas on the Arabian Peninsula in Saudi Arabia and Yemen, as well as in southern Iran and parts

* . Corresponding Author (Email: ghavidel@modares.ac.ir)

Copyright © 2022 Journal of Geography. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution- noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages provided the original work is properly cited.

of southern and eastern Iraq, central Afghanistan and northwest They are from Turkmenistan. Areas of severe crisis in Yemen and western Saudi Arabia. The largest widespread and severe long-term quarterly droughts occurred in western Saudi Arabia, all of Yemen, southwestern Oman, and southern Iran. Drought is intensifying in central Yemen and western Saudi Arabia. The six-month drought is visible on the Arabian Peninsula in Saudi Arabia and Yemen, as well as in southern Iran and parts of southern and eastern Iraq, central Afghanistan, and northwestern Turkmenistan. The largest widespread and severe long-term six-month droughts occurred in western Saudi Arabia, all of Yemen, southwestern Oman, and southern Iran. Drought is intensifying in central Yemen and western Saudi Arabia. The severity of the 12-month drought is visible in Yemen and southern Iran, as well as in parts of southern and eastern Iraq, Turkey, Saudi Arabia, Afghanistan, and northwestern Turkmenistan. The largest widespread and severe 12-month long-term droughts occurred in western Saudi Arabia, all of Yemen, southwestern Oman, and southern Iran. Drought is more severe in central Yemen and southern Iran. The Kendall Man test for these areas, as shown in the table, indicates a significant and continuous trend of occurrence and intensification of droughts in the study period and in the future.

Conclusion

The study of drought change based on climate change is important from various aspects. This study was conducted to estimate and calculate the drought critical points for each of the time periods of 1, 3, 6, 9, 12 months and the time trend of the critical network points during a statistical period of 118 years (1901-2018). According to the results obtained in the study area, the greatest impact of drought in Yemen has been the central and southern parts of Iran and the west and Saudi Arabia. So that in all long-term periods, the main and severe drought is seen in these areas. Also, some regions of Iran, such as the western, eastern and southeastern regions, have been affected by severe droughts. In Yemen and western Oman, the drought situation is visible in all long-term periods, and in Iraq, except in the one-month period, and the whole drought core is concentrated in eastern Iraq. Turkey, Turkmenistan, Pakistan and Afghanistan are also experiencing limited drought. In the mentioned countries, western and southern regions of Turkey; Northwestern region of Turkmenistan; The western regions of Pakistan and Afghanistan are more affected by drought than any other region. Only 12 months of drought is observed in Azerbaijan. But in Armenia we do not see drought in any of the periods. According to the spatial map of 12-month periods, it can be seen that the severity of droughts has decreased, but the area of drought-affected areas has increased significantly. Due to the selection of hotspot areas from different areas of the region, we saw the trend of increasing droughts during the study period. Although this trend has increased slightly until the 1990s, it has been high in the last two decades. This (increasing) trend is observed in all identified areas.

Keywords: Drought Hazard, Drought trend, SPEI, Drought critical point, West Asia

تغییرات زمانی و مکانی شدت خشکسالی های فراگیر و کوتاه مدت منطقه غرب آسیا*

فرشاد صادقی - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

یوسف قویدل رحیمی^۱ - دانشیار اقلیم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

منوچهر فرج زاده - استاد اقلیم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷

چکیده

خشکسالی از فاجعه آمیزترین مخاطرات محیطی منطقه غرب آسیا می باشد که تکرار آن در طول تاریخ، موجب از بین رفتن تمدن های باستانی زیادی شده است. تداوم و شدت خشکسالی های خسارت بار موجب شده که خشکسالی همواره یک موضوع مهم تحقیقاتی در منطقه غرب آسیا باشد. در این پژوهش با استفاده از روش SPEI و داده های شبکه بندی شده دقیق، مناطق بحرانی ناشی از خشکسالی های وسیع و شدید ۱ تا ۱۲ ماهه غرب آسیا در دوره بلند مدت ۱۱۸ ساله ۱۹۰۱-۲۰۱۸ مورد مطالعه قرار داده شده است. نتایج تحلیل فضایی شاخص انباشتی یا ASPEI نشان داد که در بازه های زمانی مختلف، بیشترین منطقه درگیر خشکسالی شدید یا همان کانون های بحرانی خشکسالی منطقه غرب آسیا در یمن، جنوب ایران و غرب عربستان واقع شده اند. مناطق جنوبی و غربی ترکیه، شمال غرب ترکمنستان، غرب پاکستان و افغانستان، غرب عمان و آذربایجان نیز از مناطق کم اهمیت تر وقوع خشکسالی های شدید و وسیع غرب آسیا بوده اند. کمترین فراوانی وقوع خشکسالی شدید منطقه نیز در ارمنستان مشاهده گردید. روند تغییرات زمانی نقاط بحرانی مستخرج از شدت و وسعت خشکسالی های ۱ تا ۱۲ ماهه حاکی از روند معنی دار نزولی در کانون های بحرانی خشکسالی های غرب آسیا است و بر این اساس خشکسالی های شدید و وسیع ۱ تا ۱۲ ماهه در آینده تداوم یافته و احتمالاً بر شدت آن ها افزوده خواهد شد. به عبارت دیگر در آینده شاهد خشکسالی های وسیع تر و شدیدتری در منطقه غرب آسیا خصوصاً در کشورهای یمن، ایران و عربستان و عراق خواهیم بود.

واژگان کلیدی: مخاطره خشکسالی، روند خشکسالی، SPEI، نقطه بحرانی خشکسالی، غرب آسیا

* مقاله برگرفته از رساله دکتری آقای فرشاد صادقی به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره ی سوم در دانشگاه تربیت مدرس تهران می باشد.

مقدمه

خشکسالی واقعیتی عادی از نوسانات زمانی و مکانی آب و هوا است و در هر نوع اقلیمی قابل وقوع است. تاکنون بیش از ۱۵۰ تعریف از خشکسالی ارائه شده است که از کامل ترین آن ها می توان به تعریف پالم (۱۹۶۵ : ۵۸) اشاره نمود. به عقیده وی خشکسالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیر طبیعی در یک دوره زمانی معین که معمولاً یک سال می باشد. در این تعریف واژه مستمر به تدام حالت کمبود و واژه غیر طبیعی به انحراف شاخص مورد نظر از شرایط طبیعی (میانگین) اطلاق می شود. این پدیده، به عنوان بلای طبیعی و پدیده ای اجتناب ناپذیر، از دیرباز در پهنه های وسیعی از کشورها به وقوع می پیوندد. مطالعات و بررسی های انجام شده نشانگر آن است که منطقه غرب آسیا با توجه به وضعیت جغرافیایی و اقلیمی خود، هم چون بسیاری از کشورهای دنیا به ویژه شمال آفریقا در وضعیت مناسبی از لحاظ تأمین آب قرار ندارد. طبق برآوردی که در سال ۱۳۷۸-۱۳۷۹ انجام شده است، رخداد خشکسالی در این سال بالغ بر ۱۰۸۴۰ میلیارد ریال خسارت ایجاد کرده است (شاهسونی فروشانی و اسلامی، ۱۳۸۲ : ۸۰). این امر، بیانگر احتمال وقوع خشکسالی های بیشتری در آینده نسبت به گذشته می باشد. منطقه غرب آسیا به دلیل قرار گیری در کمربند خشک و مجاورت با پرفشار جنب حاره ای دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک بوده و در نتیجه هر از گاهی خشکسالی شدیدی را متحمل شده است. به طور مثال در اواخر قرن ۲۰ خشکسالی های شدید در ایران رخ داده است (دوستان، ۱۳۹۴ : ۱۶).

مرور ادبیات تحقیق در خصوص مخاطره اقلیمی خشکسالی نشان می دهد که کارهای تحقیقاتی فراوانی در دنیا انجام شده است. در ایران، زارعی و همکاران (۱۳۹۶، ۳۹)، پایش و پیش بینی خشکسالی ماهانه جنوب شرق ایران را با استفاده از شاخص SPEI بررسی کردند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بیشتر ایستگاه های منطقه از نظر خشکسالی دارای وضعیت نرمال، متوسط و شدید هستند. عبقری و همکاران (۱۳۹۹، ۵۵) نیز با مطالعه بر روی ایستگاه های حوزه دریاچه ارومیه نشان دادند که، در تمامی ایستگاه های حوزه دریاچه ارومیه با توجه به افزایش روند مقدار دما و کاهش روند بارندگی، خشکسالی روند افزایشی داشته و شاخص SPEI ماهانه نیز در هر سه مقیاس زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت روند نزولی (افزایش خشکسالی) داشته است و در تعدادی از ماه ها، روند معنی دار بوده است.

کارل (۱۹۸۲ : ۳۱۷) با بررسی میانگین دوره های متوالی ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله دما و بارندگی روند تغییرات خشکسالی را در آمریکا مورد بررسی قرار داده و نشان داد که از نظر بارندگی برخی مناطق رو به خشکی و برخی مناطق رو به مرطوب شدن می روند. بازوهیر و الجوهانی (۱۹۹۷ : ۳۰۷) در مطالعه خود به تعیین دوره های مرطوب و خشک عربستان پرداخته و به این نتیجه رسیدند که در بلند مدت دوره های مرطوب در قسمت جنوب شرقی منطقه و شرایط خشکسالی در مرکز و شرق کشور عربستان رخ می دهند. بررسی های پیکاریتا و همکاران (۲۰۰۴ : ۹۱۴) نشان داد که روند بارش های سالانه، فصلی و ماهانه در جنوب ایتالیا کاهش ۱۳۶ میلی متری را داشته است که این روند در فصل زمستان معنی دار نیز می باشد. ویسنته سرانو و مورن (۲۰۰۵ : ۵۳۰)، در بررسی خشکسالی مناطق مرکزی اسپانیا به این نتیجه رسیدند که مقیاس زمانی بلند مدت (بیشتر از ۱۲ ماه) نمی تواند برای تعیین خشکسالی در این منطقه مفید باشد و روی هم رفته تغییرات جریان های سطحی با مقیاس زمانی کوتاه مدت SPI و منابع آب های زیر زمینی با پاسخ زمانی بلند مدت (۱۰-۷ ماه) قابل تعیین است. تورگی و ارکن (۲۰۰۵ : ۲۰۲۰)، معتقدند که روندهای معنی داری در بارش ماه های ژانویه، فوریه و سپتامبر و میانگین سالانه ترکیه وجود دارد. از طرفی، کاهش قابل توجهی نیز در میانگین سالانه مشاهده شده که بیشتر

در بخش های غربی و جنوبی ترکیه است. شدت، فراوانی و گسترش خشکسالی ها در دهه گذشته اردن افزایش و عمدتاً خشکسالی در ژانویه، فوریه و مارس رخ داده و از نظر مکانی، خشکسالی ها از مناطق بیابانی جنوب و غرب به مناطق شمالی و غرب اردن (دره اردن) جابجایی داشته اند. در ادامه مدل های گردش عمومی، افزایش خشکسالی شدید اردن در آینده را پیش بینی می کنند (الکینا و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۳۰). کیندریک و همکاران (۲۰۱۵: ۵۰۷) در مطالعه خشکسالی های کرواسی دریافتند که بیشترین خشکسالی ها در دهه ۱۹۲۰، ۱۹۴۰، ۱۹۵۰، ۱۹۹۰ و شروع دهه ۲۰۱۰ اتفاق افتاده است.

بررسی های می یان (۲۰۱۵: ۱۶)، نیز نشان می دهد که باران های موسمی نامنظم تر شده و به افزایش شدت و وسعت خشکسالی منجر شده است. کشورهای جنوب و جنوب شرقی آسیا مانند بنگلادش، نپال، بوتان، کامبوج و لائوس در منطقه آب و هوایی موسمی نیز از خشکسالی های فزاینده ناشی از الگوهای توزیع تاخیری و تغییر بارندگی رنج می برند. به عقیده وی دوره های خشک طولانی مدت، فراوانی وقوع آتش سوزی در مراتع و جنگل ها را افزایش می دهد. پیش بینی ها حاکی از آن است، جریان رودخانه آمودریا (که بین تاجیکستان، افغانستان، قیرقیزستان، تورکمنستان و ازبکستان مشترک است) تا اواسط سده ۲۱ به دنبال ذوب شدن یخچال های طبیعی در مقایسه با جریان میانگین مشاهده شده طی یک دهه اخیر تا ۳۰ درصد کاهش یافته و منطقه شاهد خشکسالی های شدید آب شناختی خواهد بود (ژیلستوف و همکاران، ۲۰۱۹: ۳۶). حمید و همکاران (۲۰۲۰: ۲۸۱) وقوع خشکسالی های شدید و متوالی در غرب آسیا را مهم ترین عامل تهدید کننده امنیت غذایی منطقه می دانند. حسینی و همکاران (۲۰۲۱: ۶۶۶) دینامیک خشکسالی در ایران را تحلیل و نشان دادند که مسیر آغاز خشکسالی در ایران در بازه ۶ ماهه دو مسیر شمال غرب به جنوب شرق و جنوب شرق به شمال غرب است. ژانگ و همکاران (۲۰۲۱: ۱۷)، نشان دادند که خشکسالی های شدید چین عموماً در ارتباط با الگوهای دورپیوندی و در پاییز رخ می دهند. نتایج معظم و همکاران (۲۰۲۲، ۲۹۳)، نشان داد که بارندگی های کره جنوبی در ماه های ژانویه، مارس، آوریل، می، ژوئن و آگوست دارای روند منفی معنی داری بوده که به معنای افزایش خشکسالی است. در سری های زمانی ۱۲ ماهه نیز مشاهده شد که تنها دو ایستگاه دارای روند منفی معنی دار و تنها یک ایستگاه دارای روند مثبت معنی دار بوده است. هم چنین مشخص شد که ژانویه و مارس خشک ترین ماه و اکتبر مرطوب ترین ماه می باشد. دوکات و همکاران (۲۰۲۲)، روند شدت و وقوع خشکسالی در اروپا را طی دوره زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۵ با استفاده از SPI و SPEI انجام دادند. علیرغم عدم وجود روند آماری معنی دار، افزایش در وقوع ماه های خشک، افزایش شدت خشکسالی های رخ داده در تابستان و در یک مقیاس ۶ ماهه برای تمام ایستگاه های مورد بررسی مشاهده شد. بررسی های کامروزامان و همکاران (۲۰۲۲) بر روی بنگلادش نشان داد، که به جز مقیاس زمانی یک ماهه، روند آماری معنی دار بیشتر در مناطق شمال و شمال شرقی شناسایی شد که نشان می دهد الگوهای خشکسالی از شمال غرب به مرکز حرکت می کند. هم چنین نتایج نشان داد که شدت خشکسالی به تدریج از مناطق جنوبی به شمال افزایش یافته و رویدادهای خشکسالی عمدتاً در مناطق شمال غربی می باشد، که نشان می دهد نقاط داغ هواشناسی خشکسالی عمدتاً در تراکت باریند و تیسنا متمرکز شده اند. هدف این پژوهش، تحلیل بلند مدت تغییرات زمانی و مکانی شدت خشکسالی های شدید کوتاه مدت بحرانی ۱ تا ۱۲ ماهه منطقه غرب آسیا در دوره آماری ۱۱۸ ساله (۱۹۰۱-۲۰۱۸) است.

روش پژوهش

شاخص SPEI

این روش توسط ویسنته سرانو و همکاران (۲۰۰۵: ۵۵) در انستیتو پیرناکوکو اکولوژیا در ساراگوسای اسپانیا به عنوان یک شاخص نسبتاً جدید خشکسالی از اساس SPI توسعه یافته است. اما شامل یک جزء دما است و این شاخص را قادر می سازد تا از طریق یک محاسبه اولیه تعادل آب، تأثیر دما در توسعه خشکسالی را محاسبه کند. SPEI دارای مقیاس شدت است که در آن هر دو مقادیر مثبت و منفی محاسبه می شوند و وقایع مرطوب و خشک را شناسایی می کنند. می توان آن را برای مراحل زمانی حداقل ۱ ماه تا ۴۸ ماه یا بیشتر محاسبه کرد. به روزرسانی های ماهانه امکان استفاده از آن را می دهد و هرچه سری زمانی داده های موجود بیشتر باشد، نتایج قوی تر خواهد بود (ویسنته و همکاران ۲۰۱۰: ۱۷۰۰).

شاخص تبخیر و تعرق بارندگی استاندارد برحسب رابطه ۱ تا ۴، محاسبه می شود:

رابطه (۱)

$$ET = 16k \left(\frac{107}{1} \right)^m$$

$$M = 6.75 * 10^{-7} I^3 - 7.71 * 10^{-5} I^2 + 1.79 * 10^{-2}$$

رابطه (۲)

رابطه (۳)

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$K = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{130} \right)$$

رابطه (۴)

که در این روابط، T دمای میانگین ماهانه به درجه سلسیوس، m ضریب وابستگی به I و I شاخص گرما یا مجموع شاخص ۱۲ ماهه، K ضریب تصحیحی برحسب ماه و عرض جغرافیایی، NDM تعداد روزهای یک ماه و N بیشینه تعداد ساعت تابش است. بدین ترتیب با داشتن مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل، اختلاف بین بارش (P) و (PET) برای ماه i ام به دست می آید (رابطه ۵).

$$Di = Pi - PETi$$

رابطه (۵)

براساس نتایج تحقیقات متعدد مشخص شد که توزیع لجستیک به دلیل تناسب بیشتر با داده های دارای چولگی و نیز دنباله طولانی تر در دامنه انتهایی توزیع، دارای کارایی بهتری در تعیین تابع تراکم احتمال یا pdf سری های زمانی D است، لذا در محاسبه تابع تراکم احتمال در محاسبه SPEI از توزیع لجستیک استفاده می شود. سری های D براساس توزیع لجستیک لگاریتمی طبق رابطه ۶ محاسبه می شود.

رابطه (۶)

$$F(X) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[\left(\frac{x-y}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-1}$$

که در این رابطه α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و اصلی برای مقادیر D در دامنه زیر هستند (ویسنته سرانو و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۷۰۴).

رابطه (۷)

$$D < \gamma < \infty$$

برای محاسبه پارامترهای توزیع لجستیک لگاریتمی از روش ممان وزنی احتمال به منزله روشی توانمند و ساده استفاده شده و تابع توزیع احتمال سری های D نیز براساس رابطه ۸ به دست می آید.

رابطه (۸)

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

شاخص SPEI درحکم مقادیر استاندارد شده (Fx) را می توان به آسانی و از طریق رابطه ۹ محاسبه کرد.

رابطه (۹)

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 + C_2 W^2}{1 + d_1 W + W^2 + d_3 W^3}$$

که در آن

رابطه (۱۰)

$$w = \sqrt{-2 \ln(P)}$$

برای $P \leq 0.5$ بوده و P احتمال بیشتر شدن مقادیر تعیین شده D است و مقادیر C_1 و C_0 و C_2 و همچنین d_1 ، d_2 و d_3 ثابت اند. شاخص SPEI یک متغیر استاندارد شده بوده و بنابراین می تواند با سایر مقادیر آن در مکان و زمان مقایسه شود. مقدار این شاخص معادل صفر به معنای مقادیر ۵۰٪ احتمال تجمعی D است (ویسنه و همکاران، ۲۰۰۵: ۵۸۶).

شاخص تجمعی یا انباشتی SPEI یا ASPEI نیز از طرق معادله ۱۱ مورد محاسبه قرار می گیرد:

رابطه (۱۱)

$$ASPEI = \sum_{i=1}^n SPEI_1 + SPEI_2 + SPEI_3 + \dots + SPEI_n$$

که در آن SPEI مقدار شاخص ماهانه یک نقطه شبکه بوده و جمع جبری آن ها میزان ASPEI انباشتی یا تجمعی را در یک دوره زمانی مشخص می کند.

به منظور طبقه بندی خشکسالی ها و ترسالی های منطقه مورد مطالعه نیز از طبقه بندی مندرج در (جدول ۱) به شرح زیر استفاده شده است.

جدول ۱. طبقه بندی شدت خشکسالی و ترسالی ها بر اساس SPEI (هوی و همکاران، ۲۰۱۶)

میزان SPEI	طبقه بندی
بیش از ۲	ترسالی بسیار شدید
۱٫۵ تا ۱٫۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱٫۴۹	ترسالی متوسط
۰٫۵ تا ۰٫۹۹	ترسالی ضعیف
۰٫۴۹ تا -۰٫۴۹	نرمال
-۰٫۹۹ تا -۰٫۵	خشکسالی ضعیف
-۱ تا -۱٫۴۹	خشکسالی متوسط
-۱٫۹۹ تا -۱٫۵	خشکسالی شدید
کمتر از -۲	خشکسالی بسیار شدید

در این مطالعه برای شناسایی خشکسالی های وسیع از طبقه سوم، طبقه بندی وسعت خشکسالی سابرامانیام (۱۹۶۷ : ۶۳) که شامل بیش از ۲۱ درصد منطقه غرب آسیا است استفاده شده است. در (جدول ۲) طبقه بندی مذکور قابل مشاهده است.

جدول ۲. طبقه بندی وسعت خشکسالی از نظر

گروه خشکسالی	درصد منطقه تحت پوشش
محلی	کمتر از ۱۰
وسیع	۱۱-۲۰
بسیار وسیع	۲۱-۳۰
فوق العاده یا استثنایی	۳۱-۵۰
مصیبت بار	بیشتر از ۵۰

منبع: (سابرامانیام، ۱۹۶۷ : ۶۳)

پارامترهای ورودی: داده های بارش ماهانه و دما. سری کاملی از داده ها بدون ماه های از دست رفته مورد نیاز است. برنامه های کاربردی: با همان تطبیق با SPI، SPEI می تواند برای شناسایی و نظارت بر شرایط مرتبط با انواع اثرات خشکی مورد استفاده قرار گیرد. هم چنین پردازش اطلاعات در محیط اکسل انجام شده و نتایج خروجی آن نیز در نرم افزار گردس به صورت نقشه بوده است.

آزمون ناپارامتری من - کندال : این آزمون از آزمون های توزیع آزاد متداول در تحلیل روند سری های زمانی اقلیمی است که به دلیل عمومیت از ذکر جزئیات آن صرف نظر شده است.

در این مطالعه ابتدا اقدام به برآورد و محاسبه نقاط بحرانی خشکسالی برای هر یک از بازه های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲ ماهه شد و پس از استخراج نقاط بحرانی، با در نظر گرفتن مختصات جغرافیایی نقاط در داده های شبکه بندی شده، نقطه شبکه اصلی استخراج و پس از استخراج داده های هر نقطه که شامل ۱۴۱۶ ماه در طول ۱۱۸ سال دوره آماری بودند، روند زمانی نقاط شبکه بحرانی مورد تحلیل قرار داده شدند. استخراج نقاط بحرانی خشکسالی های شدید و وسیع از روی نقشه های تجمعی (ASPEI) بلند مدت منطقه مورد مطالعه انجام شده است که در واقع میزان انباشتی منفی SPEI هر دوره زمانی در مدت ۱۱۸ ساله مطالعه هستند.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش غرب آسیا می باشد که در طول ۲۵/۵۶ تا ۷۷ درجه شرقی و عرض ۱۲/۶۵ تا ۴۳ درجه شمالی قرار دارد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در (شکل ۱) نشان داده شده است. در این تحقیق از داده های شبکه بندی شده SPEI که از پایگاه داده ی <http://digital.csic.es/handle/10261/202305> اخذ شده استفاده شده است. این مطالعه در صدد است تا خشکسالی های فراگیر و شدید یا نواحی بحرانی غرب آسیا را در یک دوره آماری ۱۱۸ ساله (۱۹۰۱-۲۰۱۸) مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. داده های شبکه بندی شده SPEI که در این مطالعه مورد استفاده قرار داده شده، نسخه ۲/۶ داده های یاد شده می باشد که توان تفکیک فضایی آن ۰/۵ در ۰/۵ درجه در بازه ماهانه بوده و طول دوره آماری ۱۱۸ ساله آن از ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۸ استمرار یافته است. در متن اصلی مقاله منتشره از

ارائه دهندگان مقاله اطلاعات کامل مربوط به داده های مورد استفاده خصوصاً کنترل کیفی و صحت سنجی داده ها در مقایسه با داده های زمینی و سایر داده های شبکه بندی شده، موجود بوده و در اینجا به خاطر پرهیز از اطاله کلام مجدداً ارایه نمی شود.



شکل ۱. پوشش شبکه ای ۰٫۵ درجه ای نقاط شبکه ای داده های مورد استفاده در منطقه غرب آسیا

بحث و یافته‌ها

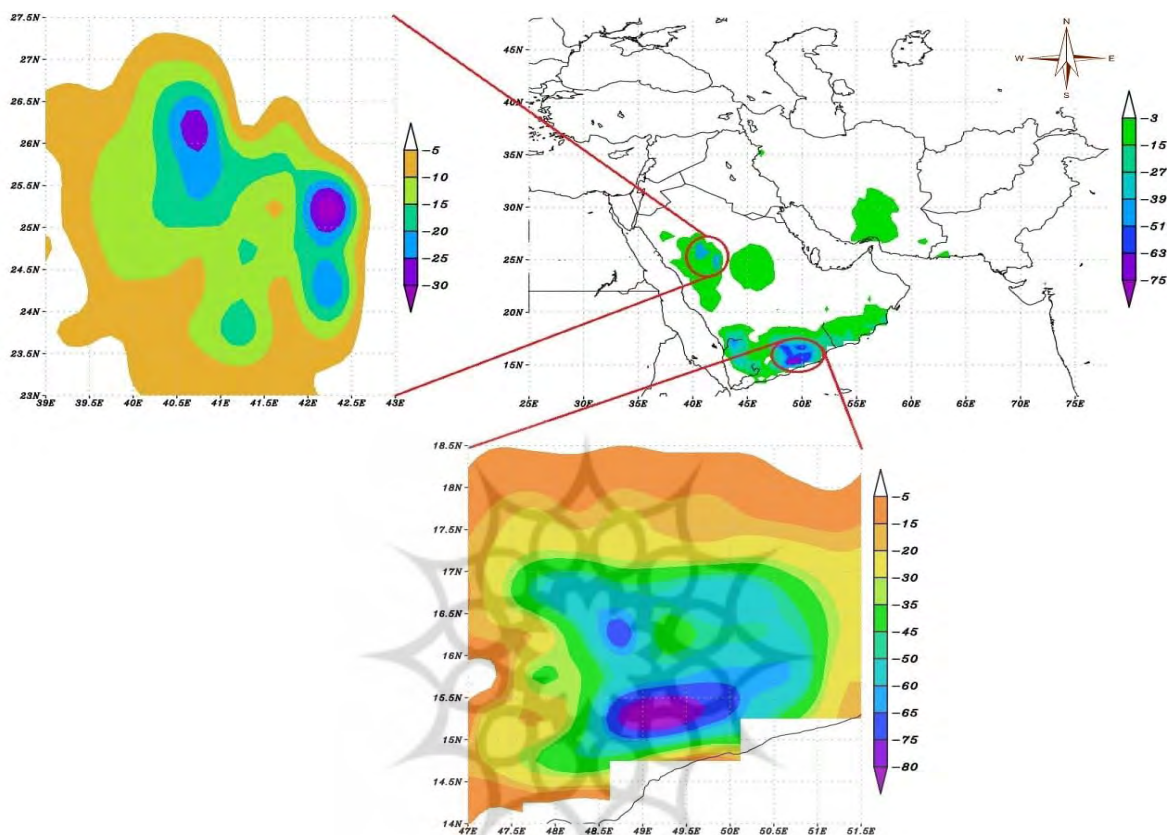
بعد از ترسیم نقشه های ASPEI برای هر بازه زمانی از SPEI دو نقطه بحرانی شناسایی و روند تغییرات زمانی آن ها مورد بررسی قرار داده شد. در (جدول ۲)، مشخصات جغرافیایی و آماری آزمون من-کندال روند زمانی مربوط به نقاط شبکه بحرانی خشکسالی های شدید و وسیع غرب آسیا درج شده است.

جدول ۳. مشخصات جغرافیایی و نتایج آزمون روند نقاط بحرانی خشکسالی های وسیع و شدید غرب آسیا

مقدار Z	منطقه-کشور	مختصات نقطه شبکه		مقیاس زمانی SPEI
		طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	
-10/03	غرب عربستان	42	26	1
-7/98	یمن	49	15/5	1
-12/07	غرب عربستان	42	24	3
-14/52	مرکز ایران	50/5	16/5	3
-18/57	جنوب ایران	55/7	28/2	6
-17/98	یمن	50/5	17	6
-16/63	جنوب ایران	57	28	12
-1/75	یمن	46/8	16/2	12

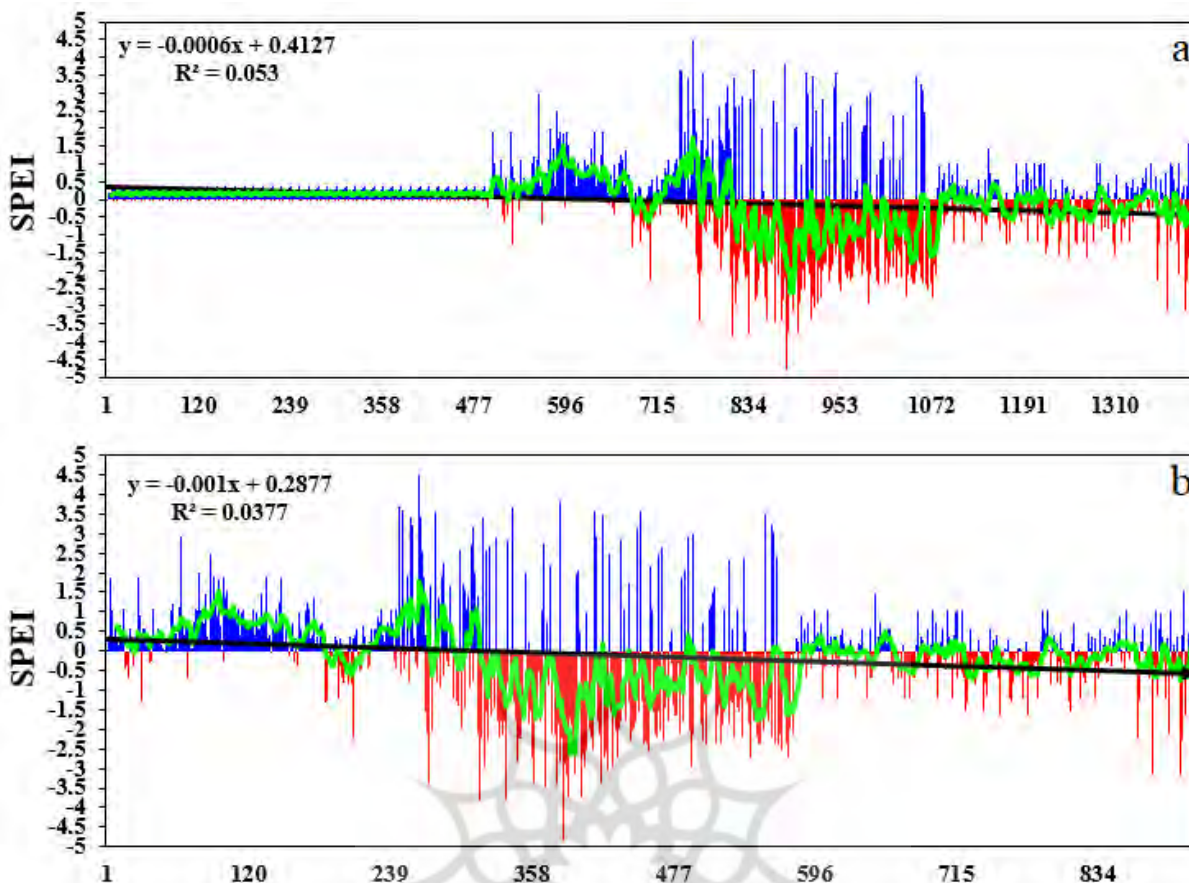
تمامی مقادیر Z جدول فوق در سطح اطمینان ۰٫۵ با مقدار P مساوی صفر و N برابر با ۱۴۱۶ ماه معنی دار هستند.

توزیع فضایی خشکسالی بر اساس بازه زمانی یک ماهه انباشتی SPEI منطقه غرب آسیا ترسیم و در (شکل ۲) نشان داده شده است. بر اساس مقادیر ASPEI منفی، نواحی بحرانی خشکسالی یک ماهه در شبه جزیره عربستان در کشورهای عربستان و یمن و همچنین در نواحی جنوبی ایران قابل مشاهده هستند. مناطق یا نقاط بحرانی شدید در کشور یمن و غرب عربستان مشاهده و نقشه های آن ها برجسته نمایی شده اند.



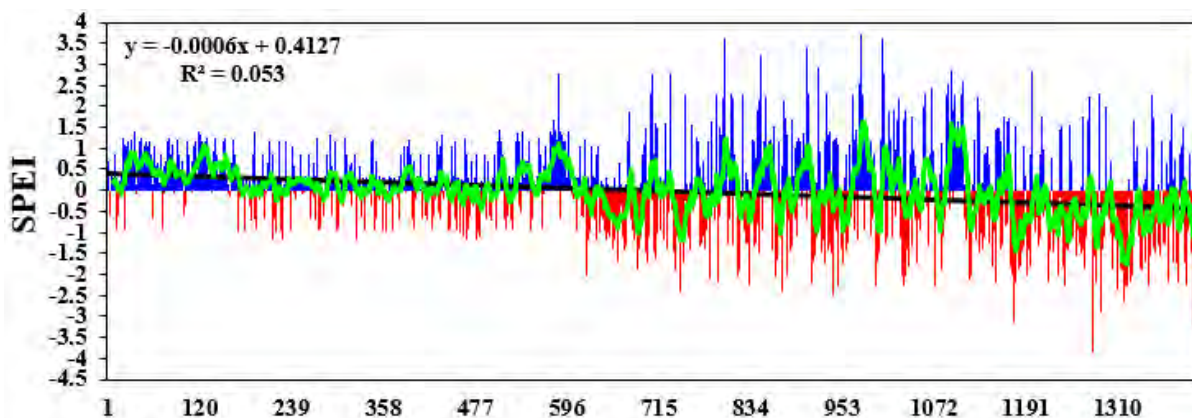
شکل ۲. توزیع فضایی ASPEI یک ماهه غرب آسیا و نقاط بحرانی در یمن (پایین) و غرب عربستان (چپ) برجسته نمایی شده در شبه جزیره عربستان

وسیع ترین خشکسالی های فراگیر و شدید یک ماهه بلند مدت در داخل محدوده غرب و مرکز عربستان، کل یمن، جنوب غرب عمان و جنوب ایران رخ داده اند. خشکسالی در مناطق مرکزی یمن و غرب عربستان از شدت بیشتری برخوردار است و مقدار شاخص ASPEI در نقطه شبکه واقع در یمن به مختصات جغرافیایی طول ۴۹ درجه شرقی و عرض ۱۵,۵ درجه شمالی به کمتر از -۷۵ نیز رسیده است. همچنین در منطقه غرب عربستان در مختصات جغرافیایی طول ۴۲ درجه شرقی و عرض ۲۶ درجه شمالی دومین نقطه بحرانی از شدت خشکسالی یک ماهه دیده می شود. در (شکل ۳) سری زمانی ASPEI یک ماهه در کانون اصلی شدت خشکسالی در یمن و در (شکل ۴) دومین کانون در غرب عربستان به همراه روند تغییرات نشان داده شده اند.



شکل ۳. سری زمانی شاخص SPEI یک ماهه در یمن (طول ۴۹ درجه شرقی و عرض ۱۵,۵ درجه شمالی. a دوره زمانی ۲۰۱۸-۱۹۰۱ و b دوره زمانی ۲۰۱۸-۱۹۴۸. خطوط آبی: ترسالی ها؛ قرمز: خشکسالی ها؛ مشکی: روند؛ سبز: میانگین متحرک ۹ ماهه)

با توجه به شکل ۳a که نشان می دهد در آغاز سری زمانی ASPEI دارای آمار مفقوده بوده در شکل ۳b سری از سال ۱۹۴۸ به بعد که داده ها صحیح تر بوده ترسیم و تحلیل شده است. در مقیاس زمانی ۱ ماهه، شدیدترین خشکسالی در سال ۱۹۷۳ (ردیف ۸۸۳؛ در ماه جولای) اتفاق افتاده است. در این سال، میزان شاخص SPEI برابر با ۴,۸۱- بوده است. در سال ۱۹۶۷ (ردیف ۸۱۳؛ در ماه سپتامبر) نیز میزان شاخص SPEI، ۳,۸۴- بوده است که بیانگر وقوع خشکسالی شدید در این سال می باشد. سال ۱۹۶۹ (ردیف ۸۳۵؛ در ماه جولای) نیز به عنوان سومین خشکسالی شدید یک ماهه با رقم ۳,۸۴- وضعیت خشکسالی شدیدی را نشان می دهد. با توجه به خط روند، سیر نزولی SPEI در یمن بارز و بر اساس آزمون من کندال مندرج در (جدول ۲) معنی دار است که این امر به معنی شدت یافتن خشکسالی در طول دوره آماری و به احتمال قوی در آینده است.

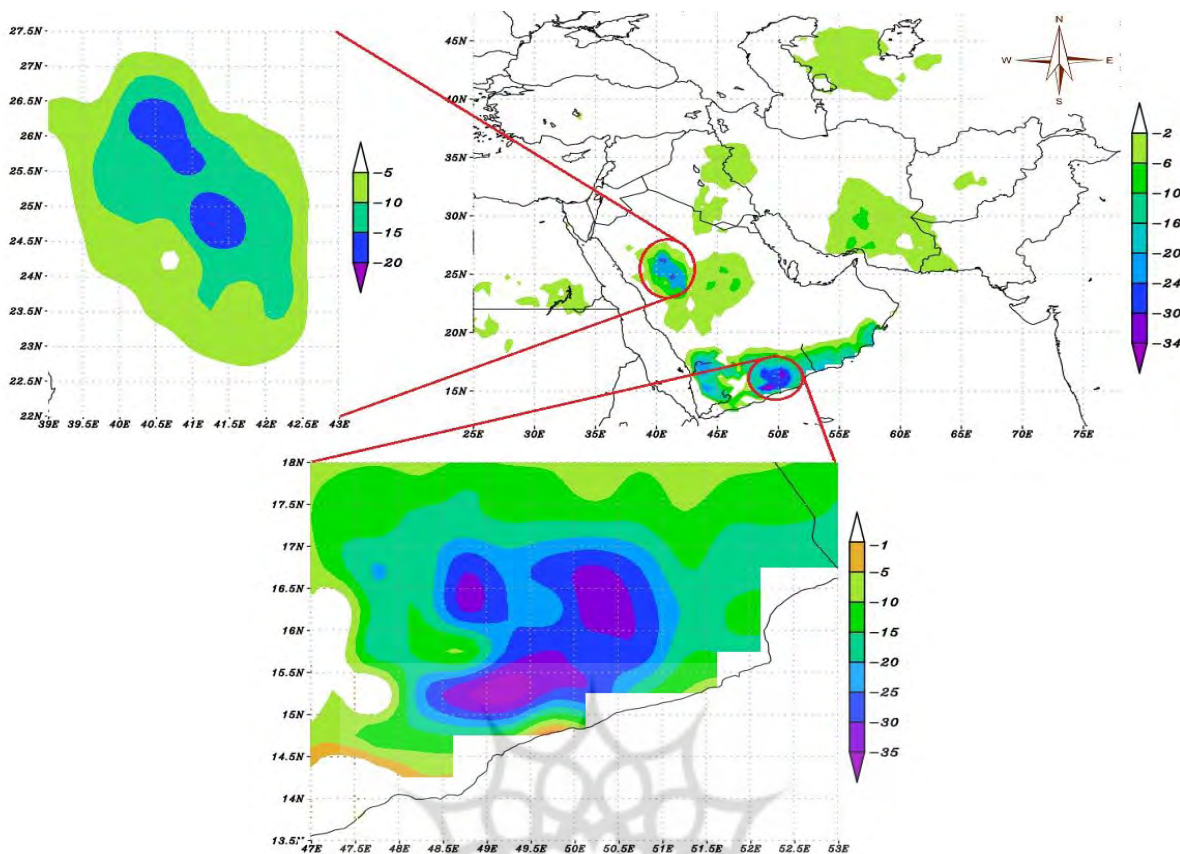


شکل ۴. سری زمانی شاخص SPEI یک ماهه در غرب عربستان (طول ۴۲ درجه شرقی و عرض ۲۶ درجه شمالی) در دوره ۲۰۱۸-۱۹۰۱ (خطوط آبی: ترسالی‌ها؛ قرمز: خشکسالی‌ها؛ مشکی: روند؛ سبز: میانگین متحرک ۹ ماهه)

در شکل شماره ۴، سری زمانی SPEI یک ماهه در غرب عربستان به عنوان دومین نقطه شدید و بحرانی خشکسالی استخراج و روند زمانی آن ترسیم و تحلیل شده است. بر اساس شکل ۴ سال‌های ۲۰۰۶ (ردیف ۱۲۷۷؛ در ماه می)، ۲۰۱۷ (ردیف ۱۴۰۷؛ در ماه مارس) و ۱۹۹۷ (ردیف ۱۱۷۵؛ در ماه نوامبر) شدیدترین خشکسالی‌های منطقه غرب عربستان هستند که شدت SPEI در زمان‌های یاد شده به ترتیب به -۳.۸۷ ، -۳.۲۵ و -۳.۱۸ رسیده و همه در طبقه خشکسالی شدید قرار داشته‌اند. همان‌طور که روند SPEI یک ماهه غرب عربستان به عنوان دومین نقطه شدید و بحرانی منطقه غرب آسیا نشان می‌دهد، روند زمانی تغییرات SPEI منفی و نزولی بوده که مفهوم آن تشدید خشکسالی‌ها در دوره زمانی مورد مطالعه است. آزمون من‌کنندال برای این نقطه همان‌طور که در جدول شماره ۲ نشان داده شده، حاکی از معنی‌دار و ادامه‌دار بودن روند وقوع و تشدید خشکسالی‌ها در دوره مورد مطالعه و در آینده است. با توجه به جدول شماره ۱ و طبق خروجی آزمون ناپارامتری من‌کنندال برای منطقه غرب عربستان مقدار $P\text{-value} = 0$ می‌باشد که در سطح ۹۵ درصد معنادار می‌باشد.

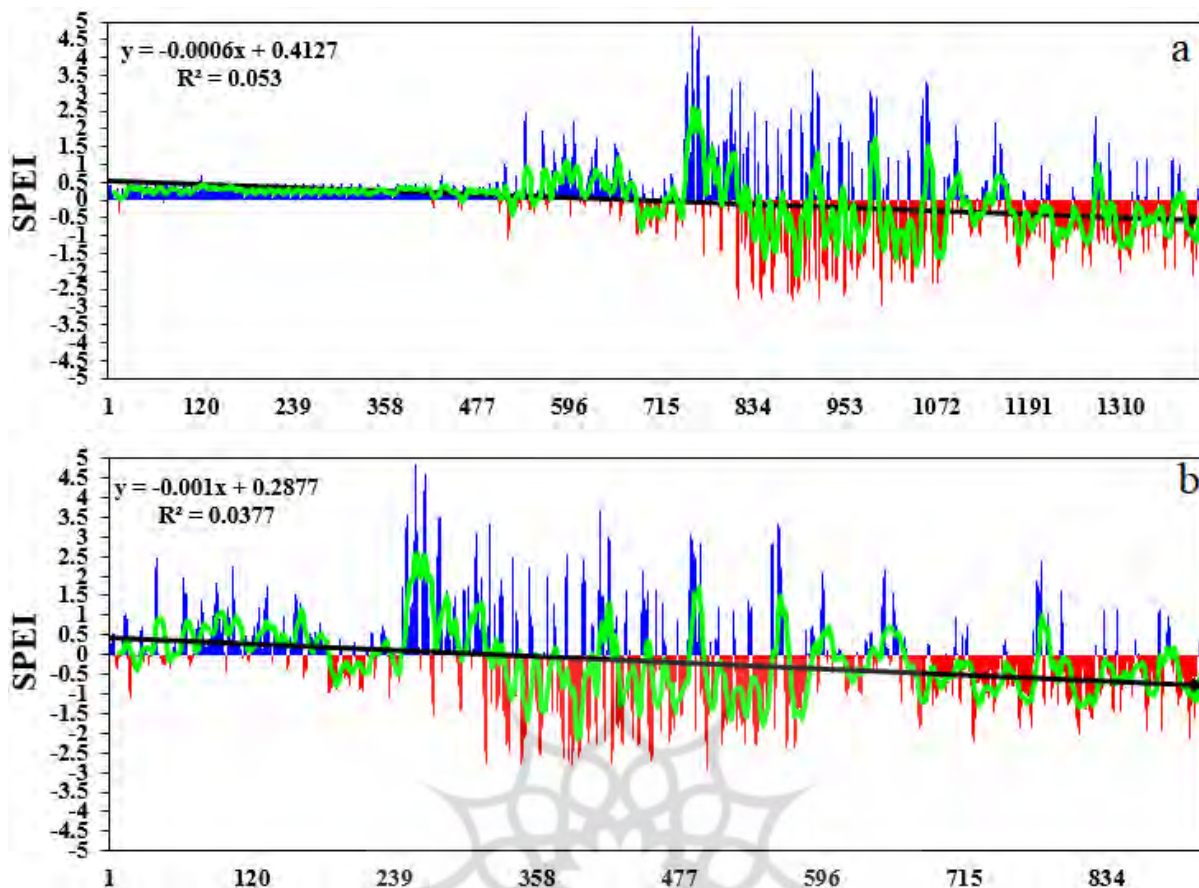
SPEI ۳ ماهه

توزیع فضایی خشکسالی بر اساس بازه زمانی سه‌ماهه انباشتی SPEI منطقه غرب آسیا ترسیم و در شکل شماره ۵ نشان داده شده است. بر اساس مقادیر ASPEI منفی، نواحی بحرانی خشکسالی سه‌ماهه در شبه‌جزیره عربستان در کشورهای عربستان و یمن و همچنین در نواحی جنوبی ایران و بخش‌هایی از جنوب و شرق عراق، مرکز افغانستان و شمال غرب ترکمنستان قابل مشاهده هستند. مناطق یا نقاط بحرانی شدید در کشور یمن و غرب عربستان مشاهده و نقشه‌های آن‌ها برجسته‌نمایی شده‌اند.



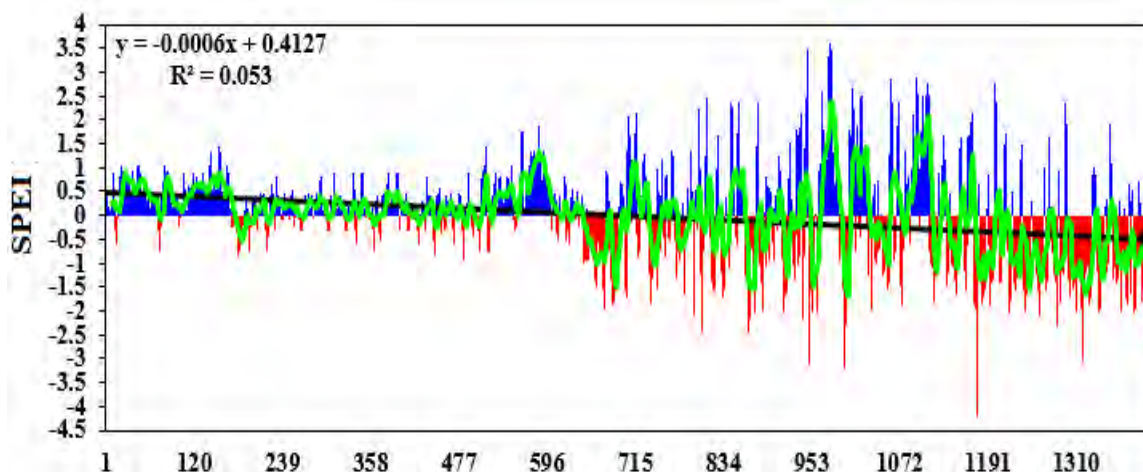
شکل ۵. توزیع فضایی ASPEI سه ماهه غرب آسیا و نقاط بحرانی در یمن (پایین) و غرب عربستان (چپ) برجسته نمایی شده در شبه جزیره عربستان

وسیع‌ترین خشکسالی‌های فراگیر و شدید سه ماهه بلند مدت در داخل محدوده غرب عربستان، کل یمن، جنوب غرب عمان و جنوب ایران رخ داده اند. خشکسالی در مناطق مرکزی یمن و غرب عربستان از شدت بیشتری برخوردار است و مقدار شاخص ASPEI در نقطه شبکه واقع در یمن به مختصات جغرافیایی طول ۵۰٫۵ درجه شرقی و عرض ۱۶٫۵ درجه شمالی به کمتر از -۳۵ نیز رسیده است. همچنین در منطقه غرب عربستان در مختصات جغرافیایی طول ۴۲ درجه شرقی و عرض ۲۴ درجه شمالی دومین نقطه بحرانی از شدت خشکسالی سه ماهه دیده می شود. در شکل شماره ۶ سری زمانی ASPEI سه ماهه در کانون اصلی شدت خشکسالی در یمن و در شکل شماره ۷ دومین کانون در غرب عربستان به همراه روند تغییرات نشان داده شده اند.



شکل ۶. سری زمانی شاخص SPEI سه ماهه در یمن (طول ۵۰٫۵ درجه شرقی و عرض ۱۶٫۵ درجه شمالی) در دوره ۲۰۱۸-۱۹۰۱ (a: از ۲۰۱۸-۱۹۰۱ و b: از ۲۰۱۸-۱۹۴۸) (خطوط آبی: ترسالی‌ها؛ قرمز: خشکسالی‌ها؛ مشکی: روند؛ سبز: میانگین متحرک ۹ ماهه)

با توجه به شکل شماره ۶ a که نشان می‌دهد در آغاز سری زمانی ASPEI دارای آمار مفقوده بوده در شکل ۶ b سری از سال ۱۹۴۸ به بعد که داده‌ها صحیح‌تر بوده ترسیم و تحلیل شده است. در مقیاس زمانی ۳ ماهه، شدیدترین خشکسالی در سال ۱۹۸۳ (ردیف ۱۰۰۰؛ در ماه آوریل) اتفاق افتاده است. در این سال، میزان شاخص SPEI برابر با -۲٫۹۵ بوده است. در سال ۱۹۷۳ (ردیف ۸۸۷؛ در ماه نوامبر) نیز میزان شاخص SPEI -۲٫۸۳ بوده است که بیانگر وقوع خشکسالی شدید در این سال می‌باشد. سال ۱۹۶۷ (ردیف ۸۱۵؛ در ماه نوامبر) نیز به عنوان سومین خشکسالی شدید یک ماهه با رقم -۲٫۷۷ وضعیت خشکسالی شدیدی را نشان می‌دهد. با توجه به خط روند، سیر نزولی SPEI در یمن بارز و و بر اساس آزمون من‌کندال مندرج در جدول شماره ۲ معنی‌دار است که این امر به معنی شدت یافتن خشکسالی در طول دوره آماری و به احتمال قوی در آینده است.



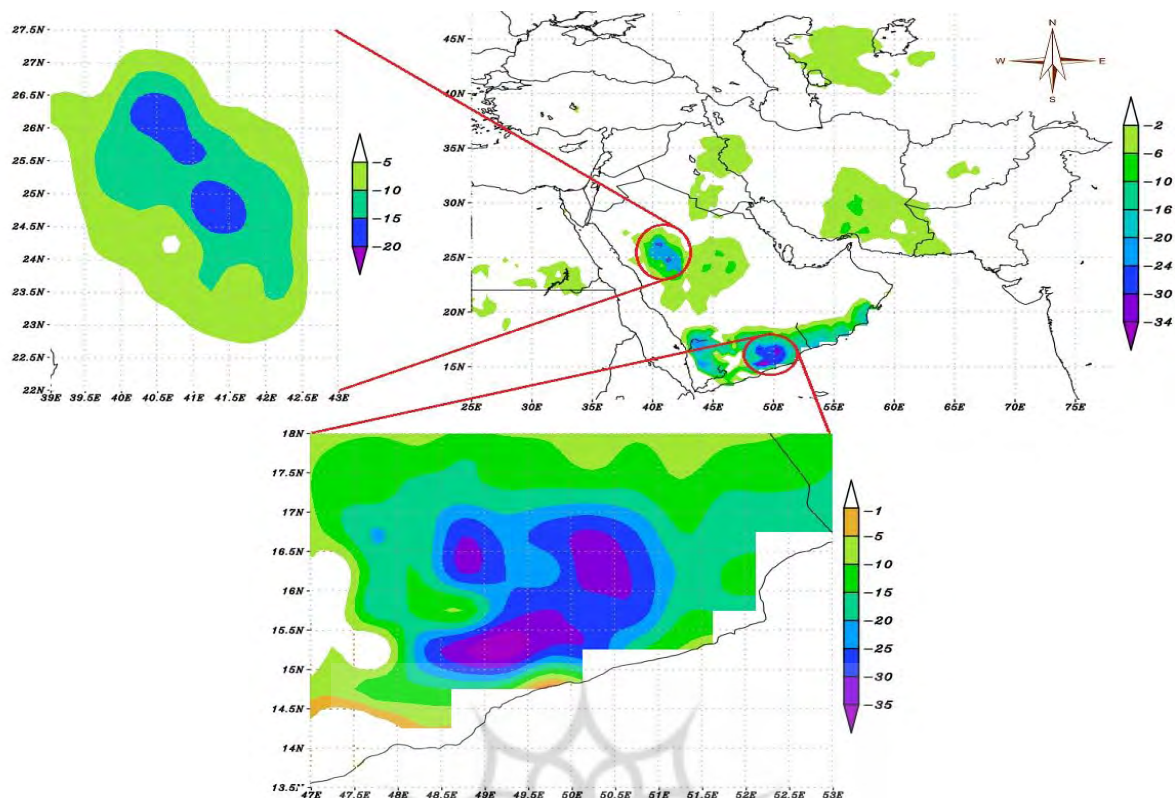
شکل ۷. سری زمانی شاخص SPEI سه ماهه در غرب عربستان (طول ۴۲ درجه شرقی و عرض ۲۴ درجه شمالی) در دوره ۲۰۱۸ - ۱۹۰۱ (خطوط آبی: ترسالی ها؛ قرمز: خشکسالی ها؛ مشکی: روند؛ سبز: میانگین متحرک ۹ ماهه)

در شکل ۷، سری زمانی SPEI یک ماهه در غرب عربستان به عنوان اولین نقطه شدید و بحرانی خشکسالی استخراج و روند زمانی آن ترسیم و تحلیل شده است. بر اساس شکل ۷ سال های ۱۹۹۸ (ردیف ۱۱۷۶؛ در ماه دسامبر)، ۱۹۸۳ (ردیف ۹۹۷؛ در ماه ژانویه) و ۱۹۷۹ (ردیف ۹۴۹؛ در ماه ژانویه) شدیدترین خشکسالی های منطقه غرب عربستان هستند که شدت SPEI در زمان های یاد شده به ترتیب به $-۴,۲۳$ ، $-۳,۱۹$ و $-۳,۱۱$ رسیده و همه در طبقه خشکسالی شدید قرار داشته اند.

همان طور که روند SPEI سه ماهه غرب عربستان به عنوان دومین نقطه شدید و بحرانی منطقه غرب آسیا نشان می دهد، روند زمانی تغییرات SPEI منفی و نزولی بوده که مفهوم آن تشدید خشکسالی ها در دوره زمانی مورد مطالعه است. آزمون من کندال برای این نقطه همان طور که در جدول شماره ۲ نشان داده شده، حاکی از معنی دار و ادامه دار بودن روند وقوع و تشدید خشکسالی ها در دوره مورد مطالعه و در آینده است.

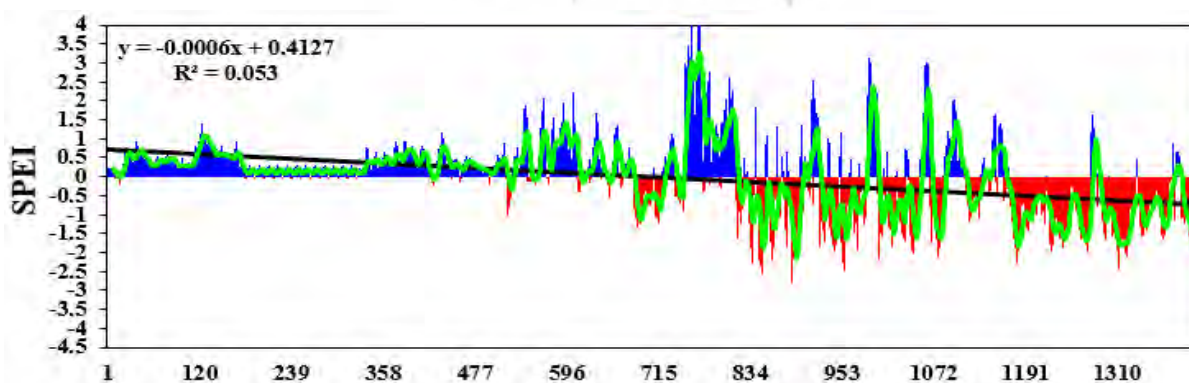
SPEI ۶ ماهه

توزیع فضایی خشکسالی بر اساس بازه زمانی شش ماهه انباشتی SPEI منطقه غرب آسیا ترسیم و در شکل شماره ۸ نشان داده شده است. بر اساس مقادیر ASPEI منفی، نواحی بحرانی خشکسالی شش ماهه در شبه جزیره عربستان در کشورهای عربستان و یمن و همچنین در نواحی جنوبی ایران و بخش هایی از جنوب و شرق عراق، مرکز افغانستان و شمال غرب ترکمنستان قابل مشاهده هستند. مناطق یا نقاط بحرانی شدید در کشور یمن و غرب عربستان مشاهده و نقشه های آن ها برجسته نمایی شده اند.



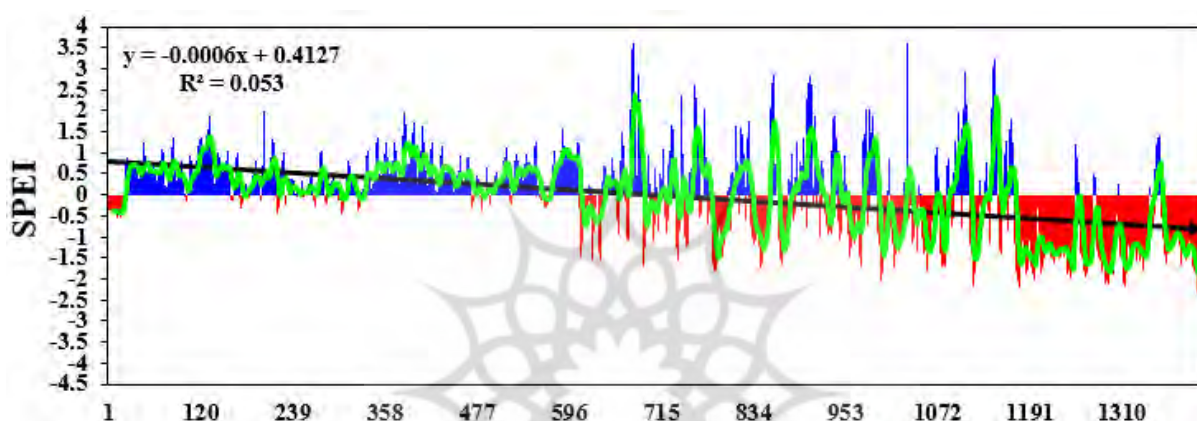
شکل ۸. توزیع فضایی فضایی ASPEI شش ماهه غرب آسیا و نقاط بحرانی در یمن (پایین) و غرب عربستان (چپ) برجسته نمایی شده در شبه جزیره عربستان

وسیع‌ترین خشکسالی‌های فراگیر و شدید شش ماهه بلند مدت در داخل محدوده غرب عربستان، کل یمن، جنوب غرب عمان و جنوب ایران رخ داده اند. خشکسالی در مناطق مرکزی یمن و غرب عربستان از شدت بیشتری برخوردار است و مقدار شاخص ASPEI در نقطه شبکه واقع در یمن به مختصات جغرافیایی طول ۵۰٫۵ درجه شرقی و عرض ۱۷ درجه شمالی به کمتر از -۳۵ نیز رسیده است. همچنین در منطقه غرب عربستان در مختصات جغرافیایی طول ۵۵٫۷ درجه شرقی و عرض ۲۸٫۲ درجه شمالی دومین نقطه بحرانی از شدت خشکسالی سه ماهه دیده می‌شود. در (شکل ۹) سری زمانی ASPEI شش ماهه در کانون اصلی شدت خشکسالی در یمن و در (شکل ۱۰) دومین کانون در غرب عربستان به همراه روند تغییرات نشان داده شده اند.



شکل ۹. سری زمانی شاخص ASPEI شش ماهه در یمن (طول ۵۰٫۵ درجه شرقی و عرض ۱۷ درجه شمالی) در دوره ۲۰۱۸-۱۹۰۱ (خطوط آبی: ترسالی‌ها؛ قرمز: خشکسالی‌ها؛ مشکی: روند؛ سبز: میانگین متحرک ۹ ماهه)

در (شکل ۹) سری زمانی SPEI شش ماهه در یمن به عنوان اولین نقطه شدید و بحرانی خشکسالی استخراج و روند زمانی آن ترسیم و تحلیل شده است. بر اساس شکل ۹ سال های ۲۰۱۷ (ردیف ۱۴۰۷؛ در ماه مارس)، ۱۹۹۶ (ردیف ۱۱۷۶؛ در ماه دسامبر) و ۲۰۰۹ (ردیف ۱۳۱۴؛ در ماه ژوئن) شدیدترین خشکسالی های منطقه یمن هستند که شدت SPEI در زمان های یاد شده به ترتیب به $-۲,۳۱$ ، $-۲,۲۱$ و $-۲,۱۸$ رسیده و همه در طبقه خشکسالی شدید قرار داشته اند. همان طور که روند SPEI شش ماهه یمن به عنوان اولین نقطه شدید و بحرانی منطقه غرب آسیا نشان می دهد، روند زمانی تغییرات SPEI منفی و نزولی بوده که مفهوم آن تشدید خشکسالی ها در دوره زمانی مورد مطالعه است. آزمون من کندال برای این نقطه همان طور که در جدول شماره ۲ نشان داده شده، حاکی از معنی دار و ادامه دار بودن روند وقوع و تشدید خشکسالی ها در دوره مورد مطالعه و در آینده است.



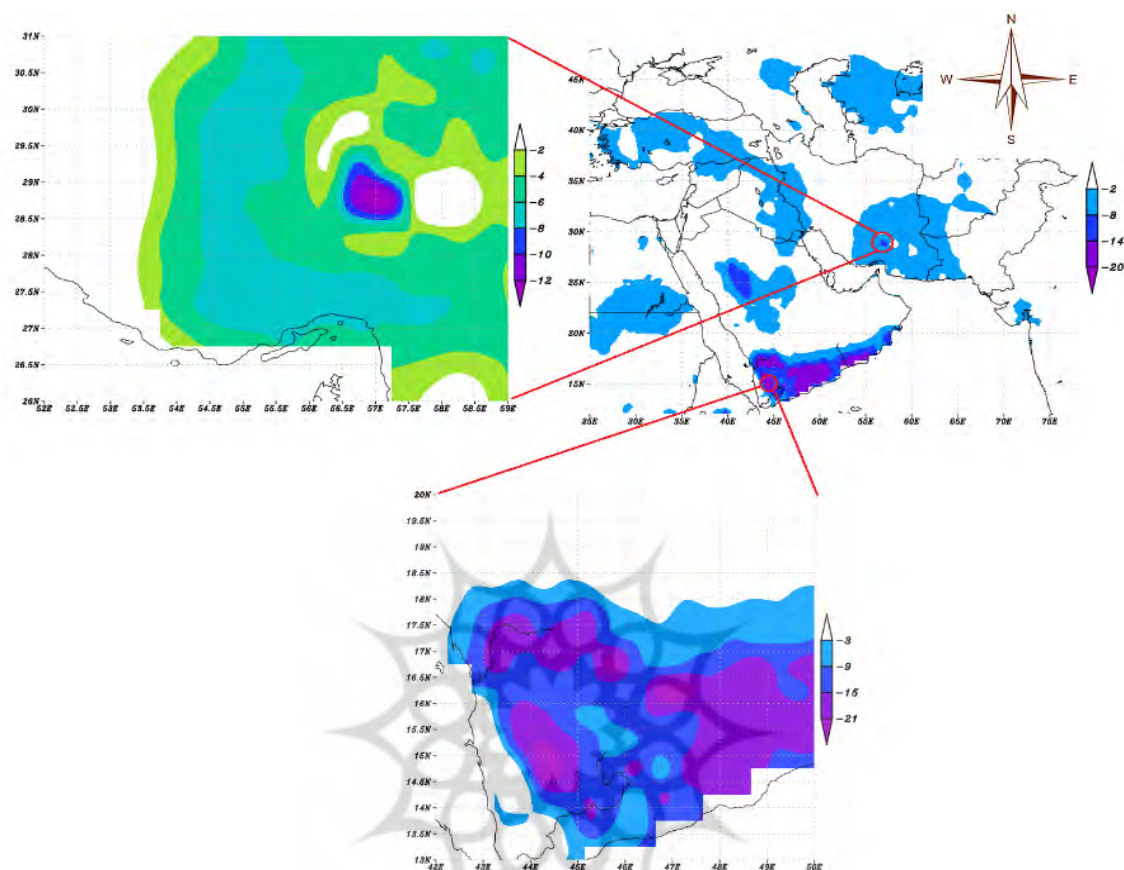
شکل ۱۰. سری زمانی شاخص SPEI شش ماهه در غرب عربستان (طول ۵۰٫۵ درجه شرقی و عرض ۱۷ درجه شمالی) در دوره ۲۰۱۸ - ۱۹۰۱ (خطوط آبی: ترسالی ها؛ قرمز: خشکسالی ها؛ مشکی: روند؛ سبز: میانگین متحرک ۹ ماهه)

در (شکل ۱۰) سری زمانی SPEI شش ماهه در غرب عربستان به عنوان دومین نقطه شدید و بحرانی خشکسالی استخراج و روند زمانی آن ترسیم و تحلیل شده است. بر اساس (شکل ۱۰) سال های ۱۹۷۳ (ردیف ۸۸۷؛ در ماه نوامبر)، ۱۹۷۴ (ردیف ۸۸۸؛ در ماه دسامبر) و ۱۹۷۰ (ردیف ۸۴۹؛ در ماه سپتامبر) شدیدترین خشکسالی های منطقه غرب عربستان هستند که شدت SPEI در زمان های یاد شده به ترتیب به -2.80 ، $-۲,۶۵$ و $-۲,۵۶$ رسیده و همه در طبقه خشکسالی شدید قرار داشته اند. همان طور که روند SPEI شش ماهه غرب عربستان به عنوان دومین نقطه شدید و بحرانی منطقه غرب آسیا نشان می دهد، روند زمانی تغییرات SPEI منفی و نزولی بوده که مفهوم آن تشدید خشکسالی ها در دوره زمانی مورد مطالعه است. آزمون من کندال برای این نقطه همان طور که در (جدول ۲) نشان داده شده، حاکی از معنی دار و ادامه دار بودن روند وقوع و تشدید خشکسالی ها در دوره مورد مطالعه و در آینده است.

SPEI ۱۲ ماهه

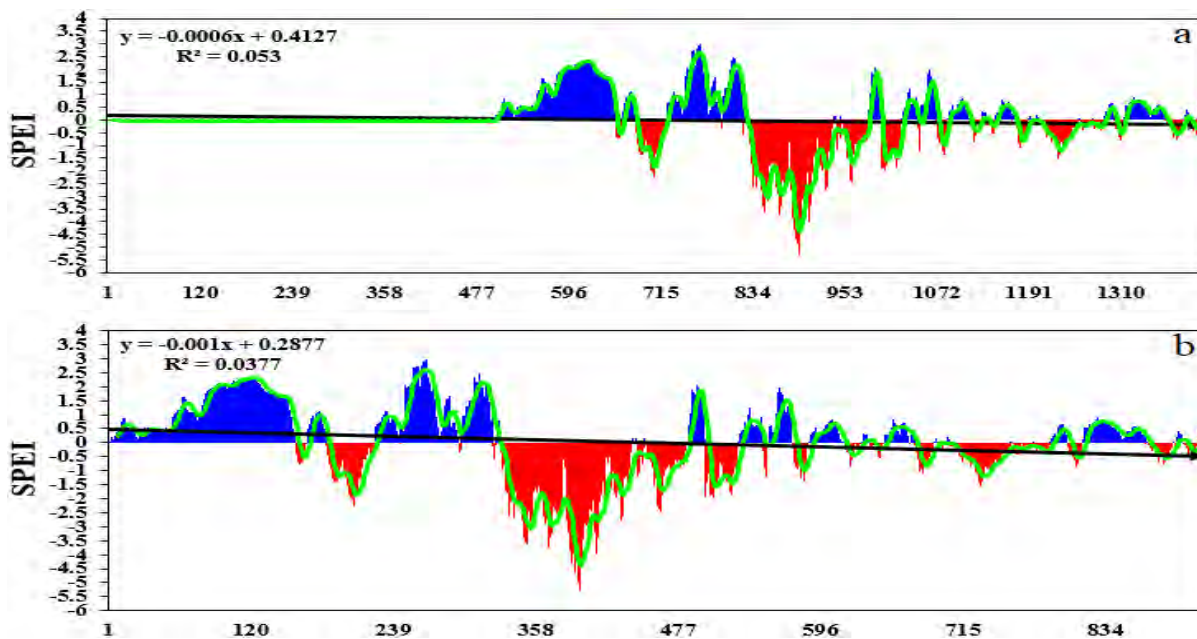
توزیع فضایی خشکسالی بر اساس بازه زمانی ۱۲ ماهه انباشتی SPEI منطقه غرب آسیا ترسیم و در (شکل ۱۱) نشان داده شده است. بر اساس مقادیر ASPEI منفی، نواحی بحرانی خشکسالی ۱۲ ماهه در کشورهای یمن و جنوب ایران و

همچنین در بخش هایی از جنوب و شرق عراق، ترکیه، عربستان، افغانستان و شمال غرب ترکمنستان قابل مشاهده هستند. مناطق یا نقاط بحرانی شدید در کشور یمن و جنوب ایران مشاهده و نقشه های آن ها برجسته نمایی شده اند.



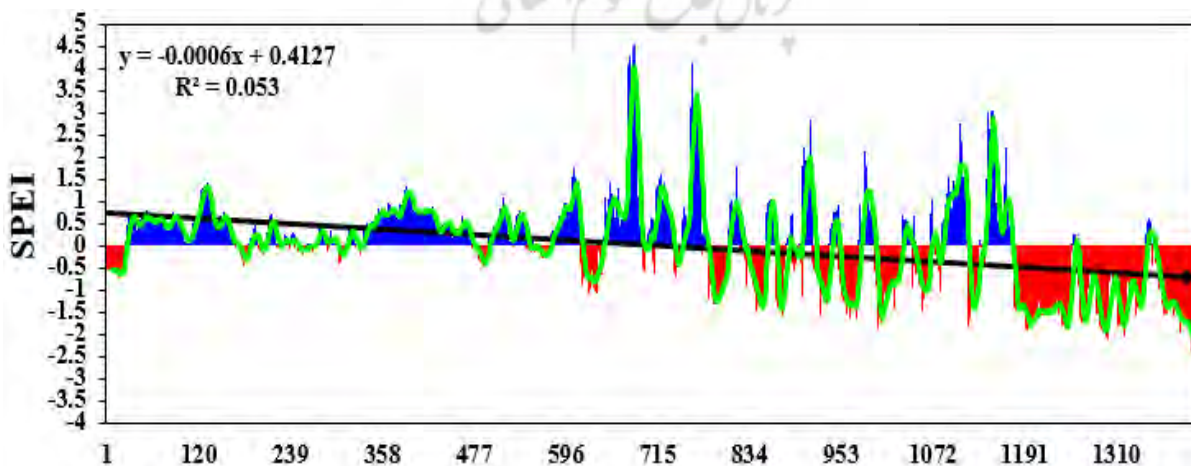
شکل ۱۱. توزیع فضایی فضای ASPEI دوازده ماهه غرب آسیا و نقاط بحرانی در یمن (پایین) و جنوب ایران (چپ) برجسته نمایی شده در شبه جزیره عربستان

وسیع ترین خشکسالی های فراگیر و شدید ۱۲ ماهه بلند مدت در داخل محدوده غرب عربستان، کل یمن، جنوب غرب عمان و جنوب ایران رخ داده اند. خشکسالی در مناطق مرکزی یمن و جنوب ایران از شدت بیشتری برخوردار است و مقدار شاخص ASPEI در نقطه شبکه واقع در یمن به مختصات جغرافیایی طول ۴۶٫۸ درجه شرقی و عرض ۱۶٫۲ درجه شمالی به کمتر از -۲۱ نیز رسیده است. همچنین در منطقه جنوب ایران در مختصات جغرافیایی طول ۵۷ درجه شرقی و عرض ۲۸ درجه شمالی دومین نقطه بحرانی از شدت خشکسالی ۱۲ ماهه دیده می شود. در (شکل ۱۲) سری زمانی ASPEI ۱۲ ماهه در کانون اصلی شدت خشکسالی در یمن و در (شکل ۱۳) دومین کانون در جنوب ایران به همراه روند تغییرات نشان داده شده اند.



شکل ۱۲. سری زمانی شاخص SPEI دوازده ماهه در یمن (طول ۴۶٫۸ درجه شرقی و عرض ۱۶٫۲ درجه شمالی) در دوره ۲۰۱۸-۱۹۰۱ (a) از ۲۰۱۸-۱۹۰۱ و (b) از ۲۰۱۸-۱۹۴۸ (خطوط آبی: ترسالی ها؛ قرمز: خشکسالی ها؛ مشکی: روند؛ سبز: میانگین متحرک ۹ ماهه)

با توجه به (شکل ۱۲) a که نشان می دهد در آغاز سری زمانی ASPEI دارای آمار مفقوده بوده در (شکل ۱۲) b سری از سال ۱۹۴۸ به بعد که داده ها صحیح تر بوده ترسیم و تحلیل شده است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، شدیدترین خشکسالی در سال ۱۹۷۴ (ردیف ۸۹۵؛ در ماه جولای) اتفاق افتاده است. در این سال، میزان شاخص SPEI برابر با ۵٫۳- بوده است. در سال ۱۹۷۴ (ردیف ۸۹۴؛ در ماه ژوئن) نیز میزان شاخص SPEI برابر ۵- بوده است که بیانگر وقوع خشکسالی شدید در این سال می باشد. سال ۱۹۷۴ (ردیف ۸۹۳؛ در ماه می) نیز به عنوان سومین خشکسالی شدید یک ماهه با رقم ۴٫۸۶- وضعیت خشکسالی شدیدی را نشان می دهد. با توجه به خط روند، سیر نزولی SPEI در یمن بارز و و بر اساس آزمون من کندال مندرج در جدول شماره ۲ معنی دار است که این امر به معنی شدت یافتن خشکسالی در طول دوره آماری و به احتمال قوی در آینده است.



شکل ۱۳. سری زمانی شاخص SPEI دوازده ماهه در در جنوب ایران (طول ۵۷ درجه شرقی و عرض ۲۸ درجه شمالی) در دوره ۲۰۱۸-۱۹۰۱ (خطوط آبی: ترسالی ها؛ قرمز: خشکسالی ها؛ مشکی: روند؛ سبز: میانگین متحرک ۹ ماهه)

در (شکل ۱۳) سری زمانی SPEI، ۱۲ ماهه در جنوب ایران به عنوان دومین نقطه شدید و بحرانی خشکسالی استخراج و روند زمانی آن ترسیم و تحلیل شده است. بر اساس (شکل ۱۳) سال های ۲۰۱۷ (ردیف ۱۴۰۷؛ در ماه مارس)، ۲۰۱۷ (ردیف ۱۴۰۶؛ در ماه فوریه) و ۲۰۱۷ (ردیف ۱۴۰۸؛ در ماه آوریل) شدیدترین خشکسالی های منطقه جنوب ایران هستند که شدت SPEI در زمان های یاد شده به ترتیب به $-۲,۴۱$ ، $-۲,۲۷$ و $-۲,۱۹$ رسیده و همه در طبقه خشکسالی شدید قرار داشته اند. همان طور که روند SPEI ۱۲ ماهه جنوب ایران به عنوان دومین نقطه شدید و بحرانی منطقه غرب آسیا نشان می دهد، روند زمانی تغییرات SPEI منفی و نزولی بوده که مفهوم آن تشدید خشکسالی ها در دوره زمانی مورد مطالعه است. آزمون من کندال برای این نقطه همان طور که در (جدول ۲) نشان داده شده، حاکی از معنی دار و ادامه دار بودن روند وقوع و تشدید خشکسالی ها در دوره مورد مطالعه و در آینده است.

نتیجه گیری

بررسی تغییرات خشکسالی بر اساس تغییرات اقلیمی از جنبه های گوناگون حائز اهمیت می باشد؛ زیرا در بسیاری از برنامه های بلندمدت، لازم است که چشم اندازی از وضعیت آینده بارندگی و دوره های خشکسالی و ترسالی برای منطقه تدوین گردد. با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر می توان دریافت که در محدوده ی مورد مطالعه، بیشترین اثرگذاری خشکسالی در کشورهای یمن، بخش های مرکزی و جنوبی ایران و غرب و عربستان بوده است. به طوری که در تمامی بازه های بلند مدت هسته ی اصلی و شدید خشکسالی در این مناطق دیده می شوند. همچنین برخی مناطق ایران مانند مناطق غربی و شرق و جنوب شرقی درگیر خشکسالی های شدید بوده اند. در یمن و غرب عمان وضعیت خشکسالی در تمامی بازه های بلند مدت و در عراق نیز جز در بازه ۱ ماهه قابل مشاهده می باشد و تمامی هسته ی خشکسالی در شرق عراق متمرکز هستند. در ترکیه، ترکمنستان، پاکستان و افغانستان نیز شاهد خشکسالی های محدودی می باشیم. در کشورهای یاد شده، مناطق غربی و جنوبی ترکیه؛ منطقه شمال غربی ترکمنستان؛ مناطق غربی پاکستان و افغانستان بیش از سایر مناطق درگیر خشکسالی بوده اند. در آذربایجان نیز تنها خشکسالی ۱۲ ماهه مشاهده می گردد. اما در ارمنستان شاهد رخداد خشکسالی در هیچ یک از بازه ها نمی باشیم. باتوجه به نقشه فضایی بازه های ۱۲ ماهه می توان مشاهده کرد که از شدت خشکسالی ها کم شده اما وسعت مناطق درگیر خشکسالی افزایش چشمگیری می یابد. باتوجه به انتخاب مناطق هات اسپات از مناطق مختلف منطقه، شاهد روند افزایش خشکسالی ها طی بازه زمانی مورد مطالعه بودیم. هر چند این روند تا دهه ۹۰ میلادی افزایش کمی داشته، اما در دو دهه اخیر میزان این افزایش بالا بوده است. در تمامی مناطق مشخص شده مشاهده می شود.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله که برگرفته از رساله دکتری می باشد، حامی مالی نداشته است.

منابع

- ۱) دوستان، رضا (۱۳۹۴). تحلیلی بر خشکسالی های ایران در نیم قرن گذشته، پژوهش های اقلیم شناسی، شماره ۲۳، صص. ۱-۱۹.
- ۲) زارعی، عبدالرسول؛ مقیمی، محمدمهدی و بهرامی، مهدی (۱۳۹۶). پایش و پیش بینی خشکسالی ماهانه با استفاده از شاخص استاندارد بارش و زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: جنوب شرق ایران)، جغرافیا و پایداری محیط، دوره ۷، شماره ۲۳، صص. ۳۹-۵۱.
- ۳) شاهنوشی فروشانی، ناصر و حبیب اله سلامی (۱۳۸۲). الگوی ریاضی برآورد آثار خشکسالی بر ارزش افزوده محصولات زراعی و باغی در ایران، علوم و صنایع کشاورزی، دوره ۲، شماره ۱، صص. ۶۹-۸۲.
- ۴) میرزایی حسنلو، ایوب؛ عبقری، هیراد و عرفانیان، مهدی (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص خشکسالی SPEI و تحلیل روند با استفاده از روش های ناپارامتریک در ایستگاه های منتخب حوزه آبریز دریاچه ارومیه، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره ۱۱، شماره ۲۲، صص. ۵۱-۶۲.
- 5) Al-Qinna, M. I., Hammouri, N. A., Obeidat, M. M. & Ahmad, F. Y. (2011). Drought analysis in Jordan under current and future climates, *Climatic change*, Vol.106, No. 3, pp. 421-440.
- 6) Bazuhair, A. S. & Algothani, A. (1997). Determination of Monthly Wet Dry Periods in Saudi Arabia, *International Journal of Climatolgy*, Vol 17, No. 6, pp.303-311.
- 7) Cindrić, K., Prtenjak, M. T., Herceg-Bulić, I., Mihajlović, D. & Pasarić, Z. (2016) Analysis of the extraordinary 2011/2012 drought in Croatia, *Theoretical and applied climatology*, Vol.123, No. 3, pp.503-522.
- 8) Dostan, R. (2015). An Analysis of Droughts in Iran in the Last Half Century, *Climatological Research*, Volume 1394, No. 23, pp.1-19. [Persian].
- 9) Dukat, P., Bednorz, E., Ziemblińska, K. & Urbaniak, M. (2022). Trends in drought occurrence and severity at mid-latitude European stations (1951–2015) estimated using standardized precipitation (SPI) and precipitation and evapotranspiration (SPEI) indices, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol.134, No.1, pp.1-21.
- 10) Hameed, M., Ahmadalipour, A. & Moradkhani, H. (2020). Drought and food security in the middle east: An analytical framework, *Agricultural and Forest Meteorology*, No.281, 107816.
- 11) Hosseini, A., Ghavidel, Y. & Farajzadeh, M. (2021). Characterization of drought dynamics in Iran by using S-TRACK method, *Theoretical and Applied Climatology*, No.145, pp. 661-671.
- 12) Karl, T. H. R. & Kosciely, A. J. (1982). Drought in the United States, *Journal of Climatology*, No. 4, pp. 313-329.
- 13) Mirzaei Hassanlou, A., Abghari, H. & Erfanian, M. (2021). Evaluation of SPEI drought index and trend analysis using non-parametric methods in selected stations of Urmia Lake catchment, *Journal of Basin Management*, No. 11, pp. 62-51. [Persian].
- 14) Miyan, M.A. (2015). Droughts in Asian least developed countries: vulnerability and sustainability, *Weather and Climate Extremes*, No. 7, pp. 8-23.
- 15) Moazzam, M. F. U., Rahman, G., Munawar, S., Farid, N. & Lee, B. G. (2022). Spatiotemporal Rainfall Variability and Drought Assessment during Past Five Decades in South Korea Using SPI and SPEI, *Atmosphere*, Vol. 13, No. 2, pp. 292. <https://doi.org/10.3390/atmos13020292>.
- 16) Nimac, I., Herceg-Bulić, I., Žuvela-Aloise, M., & Žgela, M. (2022). Impact of NAO and SPEI conditions on summer urban heat load—a case study for Zagreb, *International Journal of Climatology*, <https://doi.org/10.1002/joc.7507>.
- 17) Palmer, W.C. (1965). Meteorological drought, No. 45. US Weather Bureau, Washington, DC.
- 18) Piccarreta, M., D. Capolongo. & Boenzi, F. (2004). Trend analysis of precipitation and drought in Basilicata from 1923-2000 within a southern Italy context, *International journal of climatology*, Vol.7, No. 24, pp. 907-922.

- 19) Shahnoushi Foroushani, N. & Salami, A. (2003). Mathematical model for estimating the effects of drought on value added of crops and horticulture in Iran, *Agricultural Sciences and Industries*, Vol. 2, No. 1, pp. 69 - 82. [Persian].
- 20) Turgay, P. & Ercan, K. (2005). Trend Analysis in Turkish Precipitation data, *Hydrological Processes*, vol. 20, No. 9, pp. 2011-2026.
- 21) Vicente-Serrano SM. & Lopez- Moreno J.I. (2005). Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin, *Hydrology and Earth System Sciences*. No. 9, pp. 523–533.
- 22) Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S. & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index, *Journal of climate*, Vol .23, No.7, pp.1696-1718.
- 23) Zarei, Abdul Rasool; Moghimi, M.M. & Bahrami, M(2017). Monthly Drought Monitoring and Prediction Using Standard Precipitation Index and Markov Chain (Case Study: Southeastern Iran), *Geography and Environmental Stability*, Vol 7, No. 23, pp. 51-39. [Persian].
- 24) Zhang, X., He, M., Bai, M. & Ge, Q. (2021). Meteorological drought and its large-scale climate patterns in each season in Central Asia from 1901 to 2015, *Climatic Change*, Vol.166, No. 3, pp. 1-18.
- 25) Zonn, I. S., Zhiltsov, S. S. & Semenov, A. V. (2020). Evolution of water resources management in Central Asia, edition1, Publisher Springer Netherlands.

