

Analysis of the effectiveness of precipitation anomalies during the occurrence of extreme and extreme droughts in the south of Iran in the last three solar cycles.

Farnaz Mashayekh¹, Hassan Lashkari^{*2}, Seyedjamaledin Daryabari³, Mohsen Ranjbar⁴

1- Ph.D Student Climatology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Professor of Geography, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3- Associate Professor of Geography, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Iran.

4- Associate Professor of Geography, University of the legacy of Imam Khomeini, Ray, Iran.

Received: 23 August 2022

Accepted: 20 November 2022

Extended Abstract

Introduction

Drought is an inseparable phenomenon of climate in any geographical region. But it may have different behavior and different environmental effects with the change of geographical environment. Vulnerable environments will suffer more damage. As a result, to the extent that our understanding of the behavior of this phenomenon is more accurate, we will have a more appropriate behavior and reaction. Adaptive behavior will cause us to have less damage from environmental hazards. During the occurrence of droughts, some features of the rainfall element such as intensity, intervals of rainfall days, number of rainfall days, length of rainfall period, etc. will experience severe abnormalities. The occurrence of abnormality in the normal behavior of precipitations leads to a change in the hydrological behavior of the environment and changes all the elements and factors related to precipitation. The most incompatible environmental elements will suffer the most damage. The southern region of the country, due to its geographical and topographical location, adjacent to the Arabian subtropical high pressure, the hot and dry deserts in the vast expanse of the Arabian Peninsula and the Lut desert in the east and center of Iran, despite access to the moisture resources of the warm seas of Oman, Arabia and the Persian Gulf have a dry and semi-arid climate. As a result, the region inherently faces a shortage of water resources and droughts can aggravate these conditions and lead the region to a water shortage crisis.

Methodology

To conduct this research, first, 34 stations from the synoptic stations of southern Iran, which had complete statistics in the years 1986-2019 (corresponding to the last three solar cycles), have been selected. The research design involves the following steps. 1- The daily and annual rainfall data of the synoptic stations of the study area were extracted from the data of the Meteorological Organization. 2- The statistical base has been chosen to adapt to the solar cycles of a 33-year period corresponding to the years 1986-2019. 3- The number of 19 synoptic stations that had these conditions were selected. 4- Wet years were determined based on standard precipitation indices (SPI), Chinese Z (CZI), Z score (ZSI). 5- To check the anomaly of precipitation RAI index is used. 6- Based on the declared indicators, with the criteria of 30% repetition in selected stations, 6 severe wet and based on 50% repetition in selected stations, three severe wets have occurred in the statistical period of 33 years. 7- In this research, two seasons of 1992-1993 and 1995-1996 have been examined in terms of anomaly indices and other rainfall characteristics.

*. Corresponding Author (Email: h-lashkari@sbu.ac.ir).

Results and Discussion

In examining the trend of droughts in the last three solar cycles, it was observed that the frequency of years affected by droughts has increased significantly in the 23th cycle (statistical period 1997-2008) and the 24th solar cycle (2009-2019). So that out of 11 years of the 23th solar cycle, in 9 years, between one third and more than half of the study area has been affected by drought. Out of these 9 years, in 4 years there has been widespread drought. In the 24th solar cycle, out of 11 years of this cycle, in 10 of those years, parts of the studied area have experienced drought with different intensities. Of these, in 4 years there has been widespread drought. In these 4 years, more than half of the study area has been involved in severe and ultra-severe drought. Examining the abnormality created in some characteristics of precipitation showed that the intensity of precipitation has shown a sharp decrease in dry years. So that the average daily rainfall has decreased from two millimeters to less than one millimeter. Due to the temperature conditions of this region, when the rainfall intensity of the systems decreases in dry years, the effectiveness of the precipitation also decreases. In other words, a large part of the precipitation is wasted through evaporation and does not get a chance to penetrate. The investigation of rainfall anomalies also showed that the number of dry days in this region is increasing more intensively. So that in severe droughts, the number of dry days has increased to more than 350 days. When the number of dry days increases, a large part of the soil moisture is removed through evaporation and the empty spaces of the soil pores are filled with air. As a result, the little rains of dry years are not able to penetrate and are out of reach in the form of surface flows.

Conclusion

Drought disrupts the living conditions in all climates and makes the ecosystem face the reduction of water resources. But in dry and semi-arid climates, these effects are increasingly intensified. Because ecosystems are more vulnerable in these climates. The provinces of the southern coast of Iran, due to their port location, the presence of huge oil and petrochemical resources and industries, climatic features for the production of tropical agricultural products and the products needed by the country in the cold period of the year, are among the demographic and strategic regions of the country. Droughts and aridity in this region of the country will cause irreparable damage to the agriculture and industry of this region. Examining the trend and intensity of droughts in the last three periods of 11 years showed that the frequency of occurrence, the extent of effect and the intensity of droughts are increasing in the southern region of the country. This phenomenon has been increasing, especially in the last two solar cycles. In this way, the southern region of the country, in addition to being involved with the phenomenon of drought, the continuation of this trend will also face the region with aridity. Therefore, it is necessary for practitioners and planners to prepare the conditions for a drier climate than the current situation by redefining short and long-term goals and plans. These changes should be made especially in the pattern of cultivation of agricultural products, which has the highest water consumption in the region.

Keywords: Impactability, RAI index, Precipitation anomaly, Wet season, South, Iran.

تحلیل اثرپذیری ناهنجاری‌های بارش در زمان وقوع خشکسالی‌های شدید و فوق شدید در جنوب ایران در سه سیکل خورشیدی *

فرناز مشایخ - دانشجوی دکتری رشته آب و هواشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
حسن لشکری^۱ - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
سید جمال الدین دریاباری - دانشیار گروه تخصصی جغرافیا، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
محسن رنجبر - دانشیار گروه تخصصی جغرافیا، واحد یادگار امام، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱

چکیده

در این پژوهش به بررسی روند تاریخی و اثرپذیری ناهنجاری‌های بارش در زمان وقوع خشکسالی‌های شدید و فوق‌العاده شدید در جنوب ایران پرداخته شده است. برای این منظور داده‌های بارش روزانه و سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مطالعاتی از داده‌های سازمان هواشناسی استخراج گردید. پایه آماری برای انطباق با سیکل‌های خورشیدی یک دوره ۳۳ ساله منطبق با سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۱۹ انتخاب گردیده است. بر این اساس ۳۴ ایستگاه سینوپتیک از ایستگاه‌های منطقه با این دوره آماری منطبق بودند. ابتدا وضعیت خشکسالی‌ها بر اساس شاخص‌های استاندارد بارش (SPI)، Z چینی (CZI)، نمره Z (ZSI) مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی ناهنجاری بارش از شاخص RAI استفاده شده است. بر اساس معیارهای انتخابی ۷ سال به عنوان نمونه از خشکسالی‌های شدید و فوق شدید انتخاب گردید. روند تاریخی وقوع خشکسالی‌ها نشان داد که اولاً در سه سیکل اخیر در ۲۶ سال از ۳۳ سال دوره آماری منطقه جنوبی ایران کمابیش با پدیده خشکسالی مواجه بوده است. تعداد خشکسالی‌های در دو سیکل اخیر شدت افزایش یافته است. به طوری که در سیکل ۲۳ از ۱۱ سال ۹ سال و در سیکل ۲۴ از ۱۱ سال ۱۰ سال آن بخش‌های زیادی از منطقه درگیر خشکسالی بوده است. در هر دو سیکل در ۴ سال در بیش از نیمی از ایستگاه‌ها خشکسالی شدید و فوق شدید رخ داده است. از لحاظ پدیده‌های مرتبط با بارش نیز ناهنجاری‌های شدیدی رخ داده است در منطقه جنوبی در خشکسالی‌ها، متوسط بارش روزانه نسبت به متوسط بارش طولانی مدت منطقه بشدت در حال کاهش است. به عبارت دیگر توزیع بارش‌ها در واحد زمان کم شده است. به طوری که متوسط بارش روزانه در دوره بارشی از دو میلی‌متر به کمتر از یک میلی‌متر تقلیل پیدا کرده است. تعداد روزهای خشک در منطقه با شدت بیشتری در حال افزایش است. به طوری که در خشکسالی‌های شدید این تعداد روزها به بیش از ۳۵۰ روز افزایش یافته است. در واقع تعداد روزهای همراه با بارش کم شده و برعکس بر شدت بارش‌ها افزوده می‌شود. به بیان دیگر بارش‌ها به سمت رگباری شدن سوق پیدا می‌کنند. این پدیده در دو سیکل اخیر شدت بیشتری پیدا کرده است.

واژگان کلیدی: خشکسالی شدید و فوق شدید، شاخص RAI، ناهنجاری بارش، جنوب ایران.

* این مقاله مستخرج از رساله دکتری خانم مشایخ به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم و چهارم در دانشگاه شهید بهشتی می‌باشد.

مقدمه

خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها جزء لاینفک هر اقلیمی می‌باشد. این بدلیل تغییراتی است که در گردش عمومی جو از سالی به سال دیگر یا دوره‌های نسبت به دوره دیگر اتفاق می‌افتد. در نتیجه نظم بارش‌ها از لحاظ شدت، مدت، حجم و توزیع نسبت به شرایط نرمال به هم می‌خورد. این به نظمی یا خارج شدن بارش‌ها از هنجار معمول می‌تواند آتارزیستی، اقتصادی و اجتماعی داشته باشد. هرگونه برنامه‌ریزی در زمینه کشاورزی، صنعت و شرب بر پایه آورده آبی است که در کوتاه و بلند مدت بوسیله بارش‌های هر منطقه امکان‌پذیر است. گو اینکه حیات جانوری و گیاهی (پوشش گیاهی و جانوری) نیز بشدت از خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها متأثر می‌شود. این بخش‌ها به دلیل این که متولیان جدی و مسئولیت‌پذیر همانند بخش کشاورزی و صنعت ندارند در مقابل پدیده‌هایی مانند خشکسالی و ترسالی‌ها آسیب پذیرتر می‌باشند. در نتیجه اگر ناهنجاری‌ها در طول زمان دارای روند می‌شوند. یا سمت و سوی کاهشی یا افزایشی پیدا می‌کنند. حیات جاندار (جانوری و گیاهی) بشدت می‌تواند تاب‌آوری خود را از دست داده و آسیب جدی را متحمل شود. با وجود این که تحقیقات متعددی در زمینه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در منطقه مورد مطالعه انجام شده است. ولی پدیده تأثیر پدیده‌هایی مانند خشکسالی‌ها یا ترسالی‌ها بر روند ناهنجاری بارش‌ها توجه جدی نشده است. منطقه جنوبی ایران با توجه به اقلیم خود علاوه بر این که قطب تولید محصولات گرمسیری ایران می‌باشد. این پتانسیل را دارد که بخش قابل توجهی از نیازهای محصولات مورد نیاز کشور را در دوره سرد سال فراهم نماید. و چه بسا با مدیریت مناسب متولیان امور بخش زیادی از نیازهای کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس را نیز تأمین کند.

مبانی نظری

خشکسالی یک پدیده فرین اقلیمی می‌باشد که وقوع آن در هر اقلیمی امکان‌پذیر است. این پدیده فرین با شدت و ضعف در هر اقلیمی و با دوره برگشت‌های متفاوت رخ می‌نماید. ولی خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید ممکن است آسیب‌های جدی به محیط زیست وارد نموده و زندگی حیات جاندار و حتی محیط بی‌جان را دچار اختلال نماید. به همین خاطر در همه کشورها، برنامه ریزان و متخصصین فن برای سازگاری با این پدیده فرین تمهیداتی اندیشیده می‌شود تا آسیب‌های ناشی از آن را به حداقل ممکن برسانند. ولی در کشورهایی که زیرساخت‌های مناسب و برنامه مدون و درازمدت برای مقابله یا همزیستی با این پدیده اندیشیده نشده است و همچنین اقلیم‌های خشک که محیط طبیعی بدلیل کاربری‌های نادرست از آسیب‌پذیری بالایی در مقابل خشکسالی‌ها دارند، خشکسالی‌های شدید به یک بحران اقلیمی تبدیل شده و ممکن است زیست و حیات جانداران را با خطر نابودی مواجه سازند. خشکسالی‌ها معلول عوامل و عناصر جوی و اقلیمی متعددی می‌باشند. یکی از عوامل تأثیرگذار بر گردش جوی منطقه‌ای و سیاره‌ای تغییرات تابشی ورودی از خورشید به سامانه اتمسفری می‌باشد. با توجه به این که مقادیر تابشی ورودی در بخش‌های مختلف سیکل و از سیکلی به سیکل دیگر متفاوت می‌باشد. در این تحقیق دوره آماری انتخابی با دوره زمانی سه سیکل خورشیدی اخیر منطبق شده است. تا اگر تغییرات در روند و فراوانی و شدت خشکسالی‌ها در هریک از سیکل‌ها مشاهده شد، سؤال و زمینه‌ای برای تحقیق خوانندگان برای کشف علت یا علل آن پدیده را در درون سیکل‌ها ایجاد شود. محققان بر این اعتقاد هستند که هر تحقیقی باید منتج به سؤال یا سؤالات جدیدی گردد. تغییرات در بارندگی شدید به دلیل تأثیرات مخربی که این بارش شدید بر زندگی (اقتصاد اجتماعی، کشاورزی و اکوسیستم‌ها) دارند قابل توجه می‌باشد (IPCC, 2013:1535). افزایش در فراوانی و شدت بارش شدید در مقیاس‌های قاره‌ای و جهانی مشاهده شده است.

Donat et al, 2013: 2098; Hartmann et al, 2013:159; Min et al, 2011:378; Westra)
(et al. , 2013:3904). در سطح جهانی، اوج بارندگی در مناطق بیشتری نسبت به کاهش، افزایش یافته است
(Rhein et al, 2013:255; Alexander 2016: 4). در مقیاس قاره‌ای، افزایش کلی در شدت و دفعات بارش
شدید در اروپا، آسیا و آمریکای شمالی و جنوبی وجود دارد (Huang et al, 2017:1783). (Bronikowski et al, 1996: 27)،
تغییرپذیری بارش را با هدف تعیین بهترین نوع شاخص ابزارهای نظریه‌ی اطلاعات و ابزارهای
چیرگی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شاخص شانون بهترین پراکنش را دارد و نیز این شاخص
حساسیت‌پذیری بالایی در رژیم‌های مختلف بارش از خود نشان می‌دهد. پژوهش (Wang & Enfield, 2001:1635)
نشان داد که افزایش فعالیت همرفتی و ابری شدن باعث کاهش تابش طول موج بلند از سطح می‌شود
که در نتیجه ناهنجاری‌های SST را تقویت می‌کند (Zaveri et al, 2020:10225). در پژوهشی به مطالعه
ناهنجاری‌های بارش به عنوان عاملی مهم در درگسترش محصولات کشاورزی با استفاده از روش داده‌های جداشده
در سطح شبکه و آزمایش بر روی پوشش جنگلی در مناطقی که مزارع آن بدلیل ناهنجاری بارش، خشک شده پرداختند.
نتایج نشان داد که گسترش محصولات زراعی محرک مهمی در جنگل زدایی و از بین رفتن جنگل دارد و همچنین
ناهنجاری‌های مکرر بارش منجر به کاهش محصولات زراعی در کشورهای در حال توسعه می‌شود. (Chen et al, 2020:1)
پاسخ پوشش گیاهی به ناهنجاری‌های بارش در شرایط مختلف آب و هوایی و زیست جغرافیایی در چین
مورد بررسی قرار داد، نتایج آن‌ها نشان داد که پوشش گیاهی در فلات مغولستان داخلی به شدت تحت تأثیر
ناهنجاری‌های بارش قرار دارد. (Xia et al, 2020: 978)، روابط بین فعالیت همرفتی در اقلیم بحری و
ناهنجاری‌های بارش در جنوب غربی چین در تابستان را بررسی کردند نتایج نشان داد بارش تابستان در جنوب غربی
چین به طور قابل توجهی توسط فعالیت همرفتی در منطقه اقلیم بحری تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Mega & 2021: 973)
(Medjerab, 2021: 973)، در تحقیقی به مقایسه آماری بین شاخص بارش استاندارد و شاخص خشکسالی بارش
استاندارد پرداخت و نتایج نشان داد که این دو شاخص در دوره‌های خشکسالی نسبتاً طولانی (۱۲ ماه) به طور معنی داری
با هم همبستگی دارند و در دو مقیاس زمانی دیگر متفاوت هستند. در ایران نیز پژوهش‌های در زمینه ناهنجاری‌های
بارش و خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها انجام شده است و می‌توان به مطالعاتی چون غیور و خسروی، ۱۳۸۰ اشاره کرد آن‌ها به
بررسی تأثیر پدیده انسو بر ناهنجاری‌های بارش تابستانی و پاییزی منطقه جنوب شرق ایران پرداختند. آن‌ها، وجود
ناهنجاری‌های مشخص در فازهای مختلف انسو طی فصول تابستان و پاییز را تأیید کردند. فرزنامش نیز در سال ۱۳۸۴
نوسانات پرفشار جنب حاره‌ای را در سال‌های نمونه النینو و لانینا مورد بررسی قرار داد و ارتباط نسبتاً قوی بین بارش
ایستگاه‌ها منتخب و شاخص نوسان جنوبی به دست آوردند. (پیرمادیان و همکاران، ۱۳۸۷: ۷) به ارزیابی دوره بازگشت
خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در استان فارس پرداختند و نتایج نشان داد که روند تغییرات
از شدت‌های کم به زیاد از سمت شمال غربی استان به سمت جنوب شرقی آن می‌باشد. عساکره و رزمی، ۱۳۹۱ به
تحلیل ناهنجاری‌های بارش شمال غرب ایران طی دهه‌های اخیر پرداختند و نتایج نشان داد که از نخستین دهه تا دهه
چهارم، سیر ناهنجاری منفی طی تمامی ماه‌های سال رو به فزونی نهاده و بارش در گستره وسیعی از پهنه‌ی مورد بررسی
نسبت به کل دوره، روندی کاهشی داشته است. خرم بخت و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی مشخصه‌های اقلیمی در منطقه
لارستان پرداخت و نتایج کار ایشان نشان داد که دوام خشک‌سالی‌ها برحسب ZSI بیش از سایر شاخص‌های
خشک‌سالی است (خرم بخت و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۳۰). زرین کمر و کتیرایی، ۱۳۹۵ به بررسی تغییرات فصل‌پذیری و

ناهنجاری‌های بارش فصلی در ایران طی دوره ۱۹۷۷ الی ۲۰۰۶ پرداختند و نتایج نشان داد که ایستگاه گرگان در جنوب شرق دریای خزر کوچکترین و ایستگاه بندرعباس در جنوب و کنار خلیج فارس بزرگترین فصل‌پذیری را دارند. محمدی و لشکری، ۱۳۹۷ نقش جابه جایی مکانی پُرفشار عربستان و رودباد جنب حاره‌ای در الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران پرداختند و نتایج نشان داد که مهم‌ترین منبع رطوبتی در همه سامانه‌های بارشی در لایهٔ وردسپهر زیرین دریا‌های عرب و عمان هست؛ این رطوبت از طریق جریان‌های شرقی گردش و اچرخندی پُرفشار عربستان به درون سامانهٔ سودانی و سپس در امتداد زبانهٔ کم‌فشار بر روی منطقه منتقل شده است. مناسب‌ترین موقعیت رودباد جنب‌حاره‌ای برای تشدید ناپایداری‌های لایهٔ زیرین محدوده‌ای بین مصر تا غرب خلیج فارس است که هستهٔ مرکزی رودباد در جنوب اردن استقرار می‌یابد (محمدی و لشکری، ۱۳۹۷: ۴۹۱). مرادی، ۱۳۹۹ به آشکارسازی و تحلیل ناهنجاری بارش زمستانه در جنوب شرق ایران پرداخت و نتایج بررسی داده‌های بارش نشان داد که در ایستگاه‌های مختلف استان، بارش زمستانه بین ۵۰ تا ۵۹ درصد سهم بارش را به خود اختصاص داده است. از بررسی تغییرات بارش زمستانه ایستگاه‌های معرف تعدادی زمستان خیلی خشک آشکار شد که خشکی زمستان ۲۰۰۱ در ایستگاه‌های زاهدان و زابل و خشکی زمستان ۲۰۰۰ در ایستگاه‌های ایرانشهر و چابهار شدیدتر بود (مرادی، ۱۳۹۹: ۹۶). (حجازی زاده و همکاران، ۱۴۰۰: ۶)، واکاوی دقت شاخص‌های خشکسالی و تعیین بهترین شاخص اقلیمی در جنوب شرق ایران مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه شاخص‌های ناهنجاری بارندگی (RAI) و دهک‌ها (DI) در همه ایستگاه‌ها کمینه مقدار بارندگی را با خشکسالی بسیار شدید نشان می‌دهند. از دیگر مطالعات در زمینه خشکسالی می‌توان به مطالعات (کرم پور و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۰۲ و عقیفی، ۱۴۰۰: ۱۷۲) اشاره کرد. علیرغم این که مطالعات جامع، مفید و متعددی در کشور و منطقه جنوبی کشور انجام شده است ولی این تحقیق دارای سه ویژگی خاص می‌باشد که در تحقیقات انجام شده مورد توجه نبوده است. الف) در این تحقیق همه پهنه جنوبی به عنوان منطقه گرمسیری کشور بطور یک جا مورد بررسی قرار گرفته است، تا تفاوت‌های منطقه‌ای ساحل جنوبی کشور برای خواننده روشن گردد. ب) از شاخص‌های متعددی برای تعیین خشکسالی‌ها و نابهنجاری‌ها استفاده شده و در نهایت منطبق ترین شاخص‌ها برای تحلیل‌گزینه‌ها شده‌اند. پ) دوره آماری طولانی‌تر و منطبق با سیکل‌های خورشیدی استفاده شده است تا تغییرات حادث شده در هر سیکل مورد مقایسه قرار گیرد. در این تحقیق ویژگی‌های متعددی از بارش همانند روزهای خشک، آنومالی نرخ بارش، میانگین ماهانه، میانگین اقلیمی، آنومالی بارش ماهانه، انحراف استاندارد بارش، ماکزیمم بارش یک روزه، روزهای خشک متوالی، صدک‌های بارش کل، روزهای بالاتر از صدک ۹۹ ام بارش مورد بررسی قرار گرفت و موثرترین شاخص ناهنجار متاثر از خشکسالی‌گزینه‌ها شده و تحلیل گردیده است. این تحقیق برای دستیابی به اهداف زیر انجام شده است. ۱- آشکارسازی منطقه‌ای پدیده خشکسالی در نیمه جنوبی کشور ایران و تاثیر آن بر ناهنجاری‌های بارش، ۲- آشکارسازی روند تغییرات خشکسالی‌های شدید و فوق‌شدید در سه دهه اخیر، ۳- چه عنصر بارشی دچار بالاترین نابهنجاری شده است؟

روش پژوهشی

در اینجا به بررسی داده‌ها پرداخته شد و با دستور COUNT در اکسل داده‌ها کنترل شده و از آنجا که ۰٫۹۶ درصد داده‌ها قابل استفاده بود، با توجه به این مهم، بررسی داده‌های خلأ برای ۴ درصد داده‌ها انجام شد. سپس به بررسی نرمال و همگن بودن داده‌ها پرداخته شد. جهت بررسی نرمال بودن داده‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه، از آزمون اندرسون دارلینگ در محیط نرم‌افزار Minitab استفاده گردید. در مرحله بعد داده‌ها بر اساس سال زراعی کشور ایران (مهر تا مهر)

مرتب شد. آنگاه سال‌های خشک و تر برای هر سه دهه و بر اساس شاخص‌های زیر استخراج گردید. شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق بشرح زیر می‌باشد.

شاخص ناهنجاری بارش (RAI)

این شاخص برای اولین بار توسط (Rooy,1965:43) توسعه و استفاده شد و سپس توسط (Freitas,2005:84) اقتباس شده است. اساس شاخص ناهنجاری بارش، محاسبه انحراف معیار بارش از نرمال است. در این شاخص از رابطه ۱ و ۲ برای محاسبه ناهنجاری بارش استفاده می‌شود.

$$RAI = 3 \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{M} - \bar{N}} \right] \quad \text{رابطه ۱}$$

$$RAI = -3 \left[\frac{N - \bar{N}}{\bar{X} - \bar{N}} \right] \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن:

محاسبه میانگین دراز مدت بارش در ایستگاه‌های مورد نظر (\bar{N})، استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگترین مقادیر بارش اتفاق افتاده در دوره‌های مطالعاتی (\bar{M})، استخراج ۱۰ مورد از کمترین مقادیر بارش اتفاق افتاده در دوره‌های مطالعاتی (\bar{X})، مقایسه داده‌های بارش (N) با میانگین دراز مدت بارش. در صورتیکه میانگین دراز مدت بارش از مقدار N بیشتر یا هنجاری، مثبت باشد از معادله اول و در صورتیکه میانگین دراز مدت بارش از N کمتر یا هنجاری، منفی باشد از معادله ۲ استفاده شده است.

جدول ۱. طبقه‌بندی شدت ناهنجاری شاخص بارش (RAI)

RAI آستانه	طبقات شاخص	شاخص ناهنجاری بارش (RAI)
بالاتر از ۴	فوق‌العاده مرطوب	
۴ تا ۲	بسیار مرطوب	
۲ تا ۰	مرطوب	
۰ تا -۲	خشک	
-۲ تا -۴	بسیار خشک	
پایین‌تر از -۴	فوق‌العاده خشک	

منبع: (Costa and Rodrigues,2017:630)

شاخص Z-Score، (ZSI)

اساس این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است و معادله آن به صورت زیر می‌باشد.

$$ZSI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad \text{رابطه ۳}$$

1. Rainfall Anomaly Index

2. Z-Score Index

که در آن: P_i بارندگی سال i و SD انحراف معیار بارش در طول دوره آماری، \bar{P} میانگین بارندگی بلند مدت می‌باشد. در جدول ۳ طبقات مختلف شاخص آورده شده است.

شاخص Z چینی (CZI)

شاخص CZI بر اساس تبدیل ریشه سوم ویلسون-هیلفرتی برآورد گردیده است. با این فرض که داده‌ها از توزیع پیرسون نوع سوم تبعیت کند. CZI مطابق رابطه ۴ در زیر برآورد می‌گردد.

$$z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left[\frac{C_{si}}{2} \varphi_{ij} + 1 \right]^{1/3} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن z_{ij} شاخص CZI می‌باشد. i مقیاس زمانی مورد نظر که می‌تواند ۱، ۲، ... تا ۴۴ سال و j سال مورد نظر می‌باشد. C_{si} از رابطه ۵ بدست می‌آید که در آن C_{si} ضریب چولگی و n تعداد کل سال‌های دوره آماری است.

φ_{ij} متغیر استاندارد شده، x_{ij} بارندگی سال j برای دوره i ، σ_i و \bar{x}_i به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی می‌باشد که از رابطه ۶ بدست می‌آید (ادیب و گرجی‌زاده، ۱۳۹۵: ۱۸۰).

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{n\sigma_i^3} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad \text{رابطه ۶}$$

جدول ۲. طبقات مختلف شاخص‌های شاخص نمره (ZSI) Z، شاخص Z چینی (CZI)

توصیف رخداد	شاخص نمره Z (ZSI)	شاخص Z چینی (CZI)
ترسالی بسیار شدید	بیش از ۲	بیش از ۲
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۲	۱/۵ تا ۲
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۵	۱ تا ۱/۵
نرمال	+۱ تا -۱	+۱ تا -۱
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۵	-۱ تا -۱/۵
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۲	-۱/۵ تا -۲
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲	کمتر از -۲

منبع: (ادیب و گرجی‌زاده، ۱۳۹۵: ۱۸۰)

شاخص SPI

این شاخص بر اساس رابطه زیر استوار است.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma_s} \quad \text{رابطه ۷}$$

در رابطه فوق P_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، \bar{P} میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر و σ_s انحراف معیار مقادیر بارش است. مقادیر شاخص SPI که بدین گونه از داده‌های بلند مدت بارش برای یک دوره زمانی مورد نظر به

1. China Z-Index

2. Standardized Precipitation Index

دست می‌آید، از یک توزیع نرمال طبیعت می‌کند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است. این مسأله موجب می‌شود که بتوان اقلیم‌های مرطوب و خشک را به یک روش بررسی نمود. در این پژوهش از دوره دوازده ماهه استفاده شده است. همچنین برای محاسبه نمایه SPI، از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است.

جدول ۳. مقادیر شاخص بارش استاندارد، رطوبت و خشکی متناظر آن

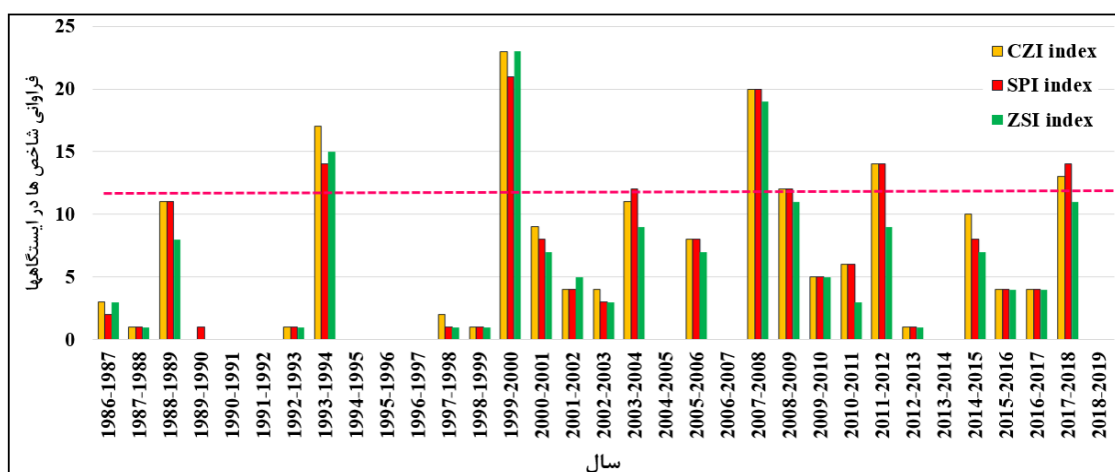
توصیف رخداد	آستانه SPI
فرا مرطوب	بیش از ۲
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
کمی مرطوب	۱ تا ۱/۴۹
تقریباً نرمال (مرطوب)	۰ تا ۰/۹۹
تقریباً نرمال (خشک)	۰ تا -۰/۹۹
کمی خشک	-۱ تا -۱/۴۹
خیلی خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹
فرا خشک	کمتر از -۲

منبع: (مرید و پایمزد، ۱۳۸۶)

در این مرحله از تحقیق بر اساس سه شاخص فوق دوره‌های ترسالی و خشکسالی در دوره آماری انتخابی مشخص گردید. (جدول ۴) و (شکل ۱) نتایج حاصل از اعمال سه شاخص فوق برای هریک از ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. در مرحله بعد نمونه‌های مطالعاتی استخراج گردید. نمونه‌های انتخابی بر اساس معیار زیر انتخاب شدند. معیارهای اعمال شده برای تعیین نمونه‌های مطالعاتی به شرح زیر بوده است.

۱- حداقل نصف به علاوه یک ایستگاه‌ها در سال مورد نظر بر اساس هر سه شاخص انتخابی در شرایط خشکسالی شدید یا خیلی شدید قرار گرفته باشد.

۲- حداقل نصف به علاوه یک از تعداد ایستگاه‌های انتخابی حداقل در دو شاخص فوق در شرایط خشک سالی شدید و فوق‌العاده شدید قرار داشته باشد. (شکل ۱) سال‌های نمونه انتخابی را بر اساس معیار اول (حداقل نصف ایستگاه‌ها در هر سه شاخص انتخابی درگیر خشکسالی شدید یا فوق‌العاده شدید شده‌اند) نشان می‌دهد.



شکل ۱. فراوانی خشکسالی‌ها مورد مطالعه براساس سه شاخص CZI, SPI, ZSI

منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)

جدول ۴. فراوانی وقوع ترسالی ها و خشکسالی های منطقه مورد مطالعه براساس شاخص RAI

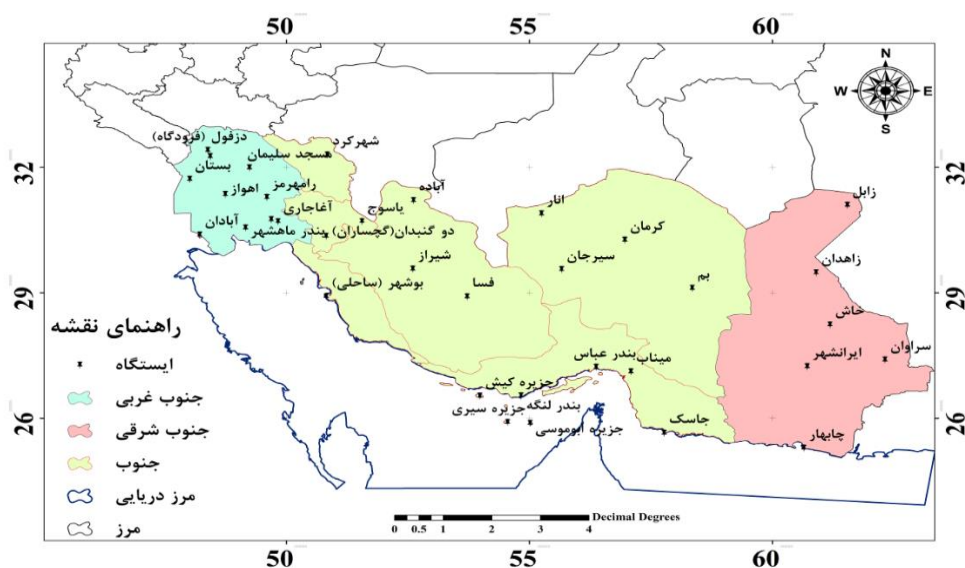
شاخص RAI	خشک	خیلی خشک	فوق العاده خشک	سال	خشک	خیلی خشک	فوق العاده خشک
۱۹۸۶-۱۹۸۷	۸	۲	۲	۲۰۰۳-۲۰۰۴	۲	۹	۶
۱۹۸۷-۱۹۸۸	۱۲	۱	۰	۲۰۰۴-۲۰۰۵	۵	۰	۰
۱۹۸۸-۱۹۸۹	۹	۱۸	۲	۲۰۰۵-۲۰۰۶	۵	۱۴	۱
۱۹۸۹-۱۹۹۰	۱۰	۵	۰	۲۰۰۶-۲۰۰۷	۴	۰	۰
۱۹۹۰-۱۹۹۱	۱۴	۴	۰	۲۰۰۷-۲۰۰۸	۴	۱۵	۹
۱۹۹۱-۱۹۹۲	۶	۱	۰	۲۰۰۸-۲۰۰۹	۹	۱۲	۰
۱۹۹۲-۱۹۹۳	۴	۱	۰	۲۰۰۹-۲۰۱۰	۱۶	۹	۱
۱۹۹۳-۱۹۹۴	۵	۲۲	۴	۲۰۱۰-۲۰۱۱	۱۲	۱۵	۱
۱۹۹۴-۱۹۹۵	۷	۲	۰	۲۰۱۱-۲۰۱۲	۹	۲۱	۳
۱۹۹۵-۱۹۹۶	۰	۰	۰	۲۰۱۲-۲۰۱۳	۱۷	۳	۱
۱۹۹۶-۱۹۹۷	۱۳	۴	۰	۲۰۱۳-۲۰۱۴	۱۰	۲	۰
۱۹۹۷-۱۹۹۸	۲	۳	۰	۲۰۱۴-۲۰۱۵	۶	۲۱	۱
۱۹۹۸-۱۹۹۹	۱۵	۵	۰	۲۰۱۵-۲۰۱۶	۱۶	۴	۱
۱۹۹۹-۲۰۰۰	۶	۱۷	۹	۲۰۱۶-۲۰۱۷	۵	۱۰	۰
۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۳	۱۳	۲	۲۰۱۷-۲۰۱۸	۱۰	۱۸	۴
۲۰۰۱-۲۰۰۲	۳	۱۰	۲	۲۰۱۸-۲۰۱۹	۸	۰	۰
۲۰۰۲-۲۰۰۳	۱۷	۱۲	۰				

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۱)

(جدول ۴) نمونه‌های انتخابی را بر اساس شاخص RAI را نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود. بر اساس معیارهای انتخابی در ۷ سال در طول دوره آماری در بیش از نیمی از ایستگاه‌ها خشکسالی شدید و فوق‌العاده شدید رخ داده است. سپس برای هر شاخص از روش میانبایی IDW به علت داشتن حداقل RMS در محیط ArcGIS10.5 برای تهیه نقشه‌های پهنه بندی استفاده گردید. و با استفاده از داده‌های سایت <https://fluid.nccs.nasa.gov/> نقشه‌های تعداد روزهای خشک با استفاده از مدل بارش تولید شده در MERRA-2 و میانگین بارش و ناهنجاری بارش دریافت شد.

محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش تمام ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مطالعاتی که دارای سه سیکل خورشیدی (سه سیکل ۱۱ ساله اخیر شامل سیکل‌های ۲۲ تا ۲۴) دارای پایه آماری مشترک بوده‌اند، به‌عنوان ایستگاه‌های نماینده منطقه انتخاب گردیده‌اند. در این مطالعه به سه بخش تقسیم شده است که شامل منطقه جنوب غربی که استان خوزستان را شامل می‌شود، منطقه جنوب میانی یا جنوب که شامل استان‌های فارس، بوشهر، کهگیلویه و بویراحمد، کرمان و هرمزگان و بخش جنوب شرقی که شامل استان سیستان و بلوچستان است. با این معیار ۳۴ ایستگاه هم‌دید در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ میلادی برابر با ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۸ شمسی (۱۲۴۱۰ روز) برای تحلیل داده‌های محیط سطحی انتخاب شدند. (شکل ۲) و (جدول ۵) موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهند.



شکل ۲. وضعیت منطقه و ایستگاههای جنوب
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)

جدول ۵. مشخصات ایستگاه های انتخابی براساس دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۹

ارتفاع	طول	عرض	ایستگاه	دقیقه	دقیقه	طول	عرض	ایستگاه	دقیقه
۶/۶	۵۵/۰۱	۲۵/۸۷	جزیره ابوموسی	۱۸	۲۲/۵	۴۸/۷۴	۳۱/۳	اهواز	۱
۳۲۰/۵	۴۹/۲۴	۳۱/۹۸	مسجد سلیمان	۱۹	۶/۶	۲۱/۴۸	۳۰/۳	آبادان	۲
۷۲۶	۵۰/۸۱	۳۰/۳۴	دو گنبدان	۲۰	۱۷۵۴	۵۶/۹۶	۳۰/۲	کرمان	۳
۱۷۶۷	۵۵/۶۶	۲۹/۵۵	سیرجان	۲۱	۱۴۸۸	۵۲/۶	۲۹/۵	شیراز	۴
۲۹/۶	۵۷/۰۸	۲۷/۱۰	میناب	۲۲	۱۳۷۰	۶۰/۹۰	۲۹/۴	زاهدان	۵
۷/۸	۴۸/۰۱	۳۱/۷۰	بستان	۲۳	۲۰۴۸/۹	۵۰/۸۳	۳۲/۲	شهرکرد	۶
۱۴۰۹	۵۵/۲۵	۳۰/۸۸	انار	۲۴	۱۰۶۶/۹	۵۸/۳۵	۲۹/۱	بیم	۷
۸/۴	۵۰/۸۲	۲۸/۹۰	بوشهر (ساحلی)	۲۵	۹/۸	۵۶/۳۷	۲۷/۲	بندر عباس	۸
۱۴۲۷	۶۱/۱۸	۲۸/۲۲	خاش	۲۶	۱۴۳	۴۸/۳۸	۳۲/۴	دزفول	۹
۱۱۸۲	۶۲/۳۱	۲۷/۳۹	سراوان	۲۷	۴۸۹/۲	۶۱/۵۴	۳۱/۰	زابل	۱۰
۸۲/۹	۴۸/۴۳	۲۵/۳۲	صفی آباد (دزفول)	۲۸	۸	۶۰/۶۵	۲۵/۲	چابهار	۱۱
۱۵۰/۵	۴۹/۵۹	۳۱/۲۷	رامهرمز	۲۹	۵۹۱/۱	۶۰/۷۱	۲۷/۲	ایرانشهر	۱۲
۱۳	۵۱/۵۵	۳۰/۶۹	یاسوج	۳۰	۱۲۶۸	۵۳/۷۱	۲۸/۸	فسا	۱۳
۱۸۱۶									
۶/۲	۴۹/۱۵	۳۰/۵۴	بندر ماهشهر	۳۱	۲۲/۷	۵۴/۸۲	۲۶/۵	بندر لنگه	۱۴
۴/۴	۵۴/۵۵	۲۵/۸	جزیره سیری	۳۲	۵/۲	۵۷/۷۶	۲۵/۶	جاسک	۱۵
۲۷	۴۹/۶۸	۳۰/۷	امیدیه (آغاچاری)	۳۳	۳۰	۵۳/۹۸	۲۶/۵	جزیره کیش	۱۶
۱۴۳	۴۹/۸۲	۳۰/۶	آغاچاری	۳۴	۲۰۳۰	۵۲/۶۱	۳۱/۱	آباده	۱۷

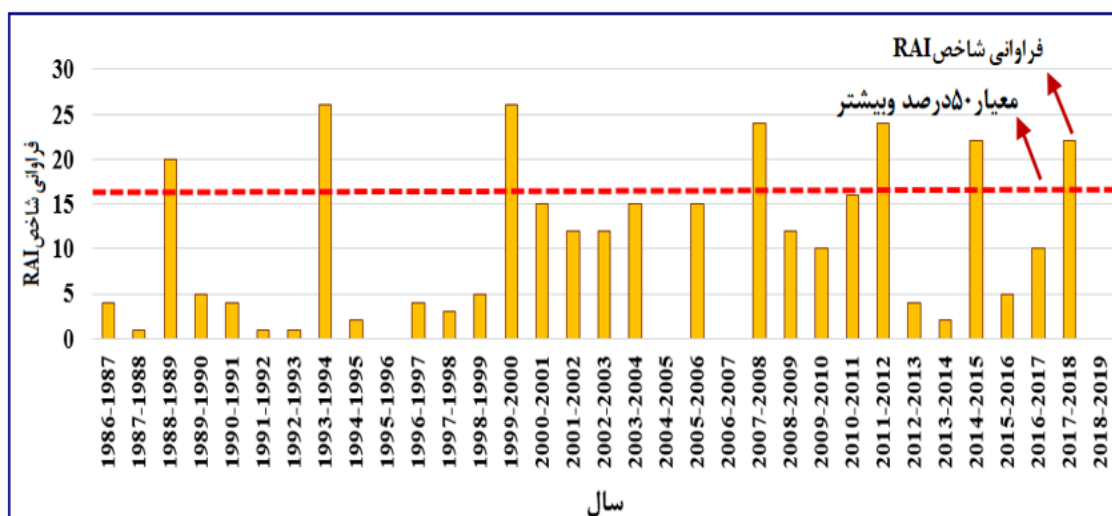
منبع: (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۱)

بحث و یافته‌ها

خشکسالی‌ها با وجود این که یک پدیده معمول در هر اقلیمی می‌باشد، ولی در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا خشکسالی‌ها می‌تواند برای اقتصاد و معیشت ساکنان آن مناطق فاجعه بار باشد. بخصوص وقتی زیرساخت‌های مناسب برای مقابله یا سازگاری برای آن پدیده فراهم نشده یا پیش‌بینی نشده باشد. در چنین سال‌هایی پدیده‌های جوی و بخصوص بارش‌ها دچار ناهنجاری‌های شدید شده و محیط توان سازگاری با آن را پیدا نمی‌کند. در نتیجه پدیده‌های محیطی دچار آسیب‌های جبران ناپذیر می‌گردد. با توجه به محدودیت در این تحقیق ۲ نمونه از خشکسالی‌های شدید و فوق‌العاده شدید در طول دوره آماری انتخاب و ناهنجاری‌های بارشی و پدیده‌های مرتبط با بارش مورد بررسی قرار گرفته است.

فراوانی خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در دوره آماری مورد مطالعه

(شکل ۳) وضعیت و فراوانی ایستگاه‌های انتخابی را در طول دوره آماری (۱۹۸۶-۲۰۱۹) از لحاظ درگیری با پدیده خشکسالی شدید و فوق‌العاده شدید نشان می‌دهد. در یک نگاه کلی می‌توان گفت که منطقه جنوبی کشور بجز در ۷ سال کم و بیش با پدیده خشکسالی شدید یا فوق‌العاده شدید درگیر شده است. به عبارت دیگر در ۲۶ سال از ۳۳ سال انتخابی منطقه جنوبی کشور کم و زیاد با پدیده خشکسالی درگیر شده است. در این میان سال‌های ۱۹۹۳-۱۹۹۴ و ۲۰۰۰-۱۹۹۹ و ۲۰۰۸-۲۰۰۷ در شرایط حادث‌تری قرار داشته‌اند. به طوری که در سال ۱۹۹۹-۲۰۰۰ ۲۶ ایستگاه از ۳۴ ایستگاه انتخابی درگیر خشکسالی شدید و فوق‌العاده شدید شده‌اند.

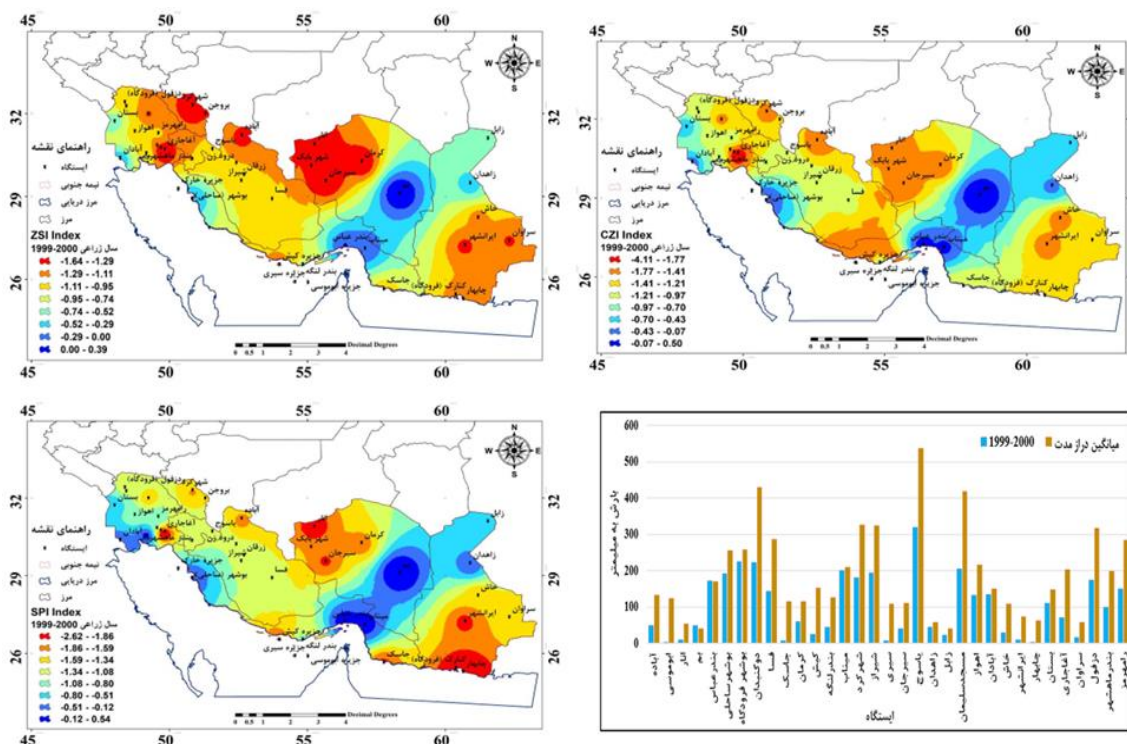


شکل ۳. فراوانی خشکسالی‌های شدید و فوق‌العاده شدید منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص RAI

منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)

در مجموع رخ داد پدیده خشکسالی در منطقه جنوبی کشور پدیده غالب‌تری نسبت به پدیده‌های نرمال و ترسالی می‌باشد. همچنین این پدیده در سیکل دوم (سیکل ۲۳ خورشیدی) شدت بیشتری داشته است. از لحاظ روند فراوانی خشکسالی‌ها با وجود این که سیکل میانی یک سیکل خشک بوده است ولی در سیکل آخر یا سیکل ۲۴ نیز روند خشکسالی‌ها صعودی بوده است. به طوری که از ۱۱ سال سیکل در ۹ سال آن بر روی منطقه خشکسالی شدید در تعدادی از ایستگاه‌ها تجربه شده است.

همان طور که نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی نشان می‌دهد در شاخص ZCI بخش شرقی منطقه مطالعاتی خشکسالی متوسط و ضعیف حاکمیت دارد و به سمت غرب بر شدت خشکسالی‌ها افزوده شده است. بر اساس این شاخص شدیدترین خشکسالی در بخش جنوب غربی استان بوشهر رخ داده است. بر اساس شاخص SPI نیز بخش شرقی منطقه مطالعاتی بجز شهرستان سراوان که خشکسالی شدید را نشان می‌دهد، دارای خشکسالی ضعیف یا متوسط می‌باشد. در این جا نیز به سمت غرب بر شدت خشکسالی‌ها افزوده شده و بر روی بخش جنوبی استان بوشهر به بالاترین مقدار خود می‌رسد. نقشه پهنه خشکسالی بر اساس شاخص ZSI نیز شباهت کلی با الگوی پراکنش خشکسالی‌ها در دو شاخص قبلی دارد. و همچنان بر اساس این شاخص شدیدترین خشکسالی‌ها در جنوب غرب و غرب استان بوشهر رخ داده است. در اینجا نیز دو شهر زاهدان و دزفول در شرایط نرمال یا ترسالی قرار دارند. ولی سایر مناطق در خشکسالی شدید تا خیلی شدید قرار دارند. (شکل ۴) مقایسه بارش سالانه ایستگاه‌ها با میانگین بارش طولانی مدت بخوبی ناهنجاری بارش سال خشکسال را با میانگین طولانی مدت نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود به میزانی که بر شدت خشکسالی‌ها افزوده شده است بارش‌ها نسبت به نرمال نوسان شدیدی را نشان می‌دهد. به طوری که بارش در ایستگاه‌هایی مانند بوشهر، جزایر سیری ابوموسی و بندرعباس به کمتر از یک سوم تا یک چهارم تقلیل یافته است.



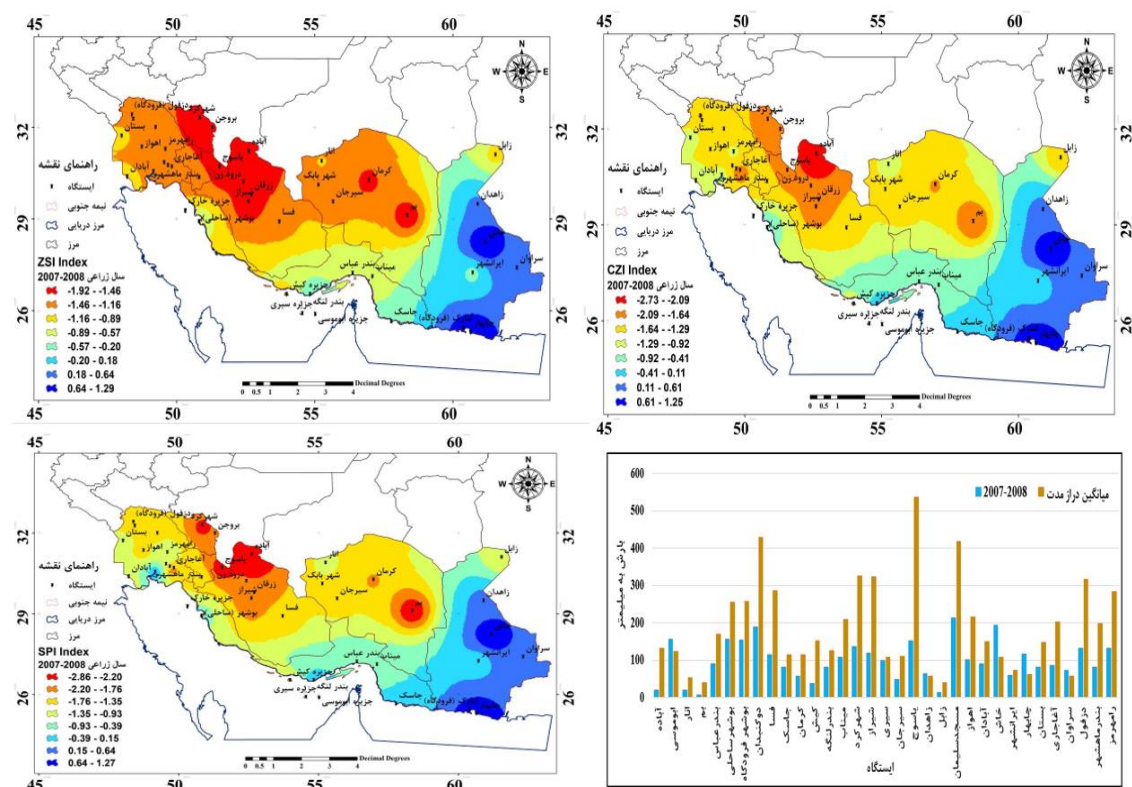
شکل ۴. نمونه خشکسالی شدید و فوق شدید سال زراعی ۲۰۰۰-۱۹۹۹ منطقه مورد مطالعه براساس سه شاخص ZSI, SPI, CZI، و مقایسه سال زراعی نسبت به میانگین بارش درازمدت.

منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)

(شکل ۵) بارش سال آبی ۲۰۰۷-۲۰۰۸ به عنوان یکی از خشکسالی‌های شدید منطقه و مقایسه آن با میانگین بارش سالانه طولانی مدت منطقه را نشان می‌دهد. به نوعی این سال یکی از سال‌های بسیار خشک منطقه در دوره آماری بوده

است تحقیقات (لشکری و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۴۱؛ لشکری و محمدی، ۲۰۱۵: ۷۳؛ Mohammadi et al, 2021:1; Mohamadi & Lashkari, 2019:85).

به این مهم اشاره داشته است. همان طور که نمودار نیز نشان می‌دهد مقادیر بارش در تمام ایستگاه‌ها کاهش شدیدی را نشان می‌دهند. حتی در ایستگاه‌های پربارشی منطقه همچون ایستگاه یاسوج، شهرکرد، دوگنبدان دزفول، آباده مقادیر بارش سالانه به نصف و حتی یک سوم معدل طولانی مدت منطقه کاهش یافته است. نقشه پهنه خشکسالی را بر اساس سه شاخص انتخابی نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود در هر سه شاخص پهنه شرقی منطقه مطالعاتی (استان سیستان و بلوچستان) در شرایط نرمال یا ترسالی ضعیف تا متوسط قرار دارد. ولی سایر نقاط منطقه جنوبی کشور در شرایط خشکسالی گسترده و فراگیر با شدت زیاد تا فوق‌العاده شدید قرار دارد. هسته اصلی خشکسالی بر روی استان فارس و بخش‌هایی از استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویر احمد قرار دارد.



شکل ۵. نمونه خشکسالی شدید و فوق شدید سال زراعی ۲۰۰۸-۱۹۹۹ منطقه مورد مطالعه براساس سه شاخص

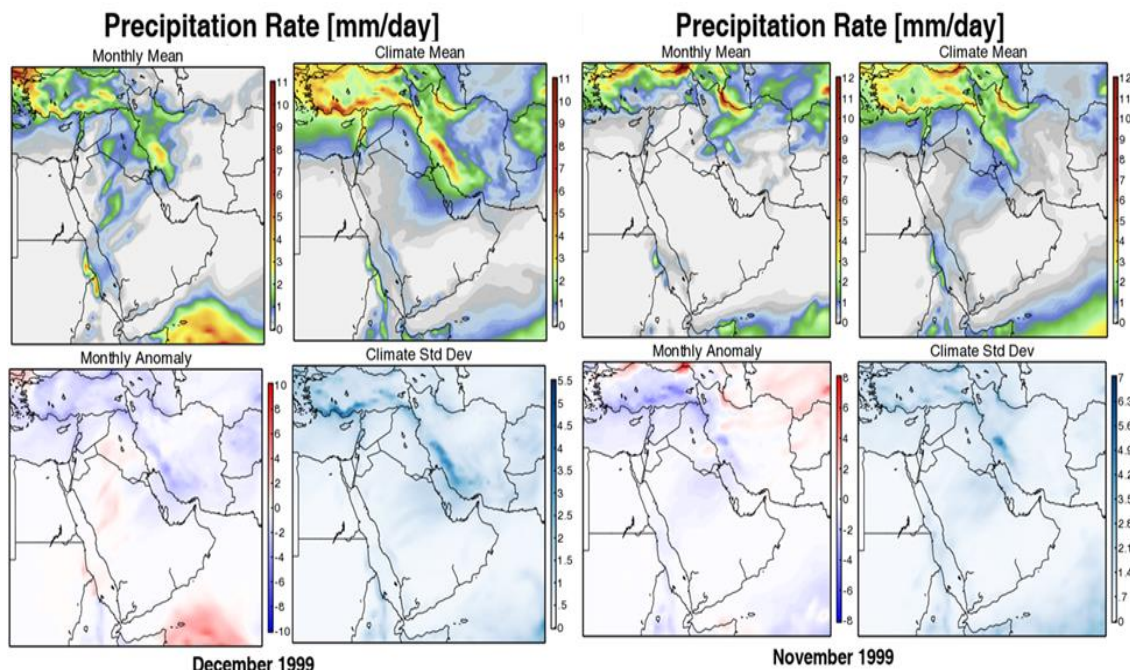
ZSI, CZI, SPI و مقایسه سال زراعی نسبت به میانگین بارش درازمدت

منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)

تحلیل اثر خشکسالی‌های شدید و فوق‌شدید بر ناهنجاری‌های بارش

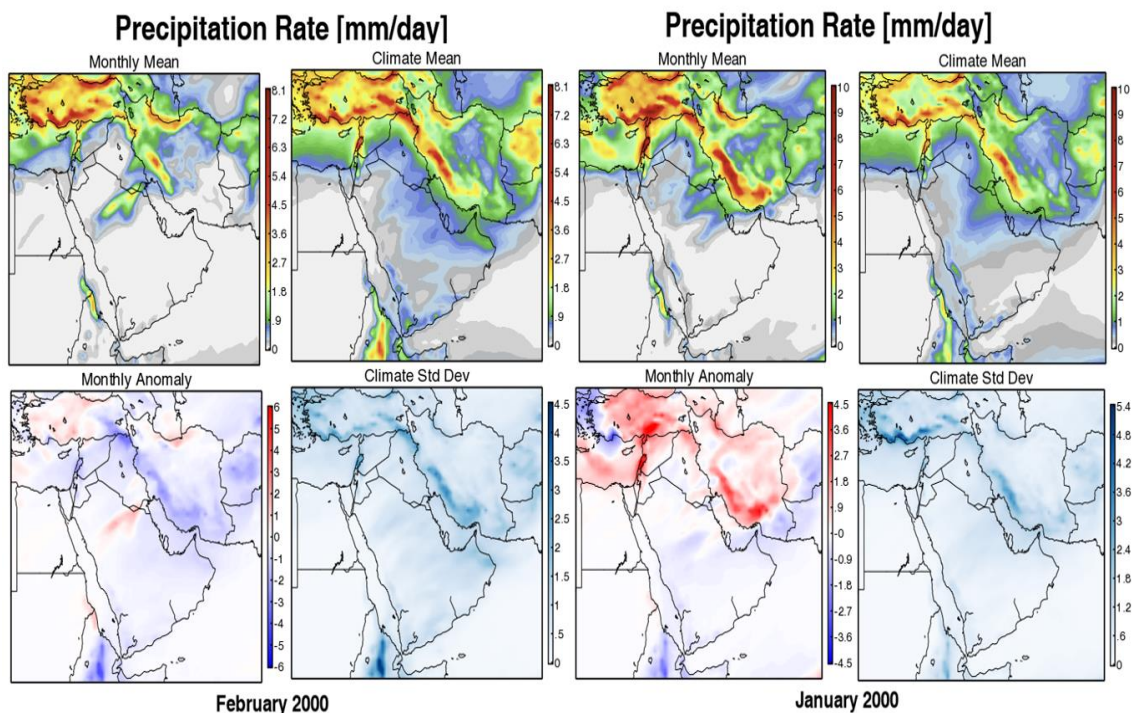
بارش اولین عنصری است که در خشکسالی‌ها دچار تغییر و ناهنجاری می‌گردد. خشکسالی با افت بارش به زیر نرمال درازمدت رخ می‌دهد. ولی پیرو آن بسیاری از ویژگی‌های بارشی ممکن است دچار تغییرات شدید یا ناهنجاری گردند. پدیده‌هایی مانند تعداد روزهای متوالی خشک، آنومالی‌های بارش روزانه، آنومالی‌های بارش ماهانه، انحراف استاندارد بارش از بارش‌های سالانه و ماهانه نمونه‌هایی از این ناهنجاری‌ها می‌باشند.

در این بخش از تحقیق به جهت اختصار فقط یک نمونه از خشکسالی‌های شدید و فوق‌العاده شدید انتخاب شده و ناهنجاری پدیده‌های رطوبتی آن‌ها بررسی شده است. سال‌های آبی ۱۹۹۹-۲۰۰۰ که بالاترین ایستگاه‌های درگیر خشکسالی شدید و فوق‌شدید را داشته‌اند، انتخاب و پدیده‌های رطوبتی آن‌ها تحلیل شده است. با توجه به این که دوره بارشی این منطقه در بازه زمانی نوامبر تا می رخ می‌دهد این پدیده‌ها در همین ماه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. با این همه، اگر در همین بازه زمانی پدید مورد نظر دارای مقادیر بسیار اندک بوده است از روند بررسی خارج شده است. (شکل ۶) مقادیر بارش و سایر عناصر آماری آن را در ماه نوامبر به عنوان اولین ماه شروع بارش‌ها در منطقه نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود میانگین بارش روزانه در بخش اعظم منطقه مطالعاتی بجز بخش‌های کوچکی از استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و چهار محال و بختیاری در سایر مناطق مقادیر متوسط بارش روزانه کمتر از یک میلی‌متر بوده است. حتی در همان مناطق نیز آنومالی‌ها منفی بوده است در صورتی که میانگین بارش اقلیمی این مناطق بخصوص بخش غربی آن بیش از یک و در مناطق مرتفع بیش از ۴ تا ۵ میلی‌متر در روز بوده است. ماه دسامبر در بخش جنوب غرب و جنوب میانی جزء پربارش‌ترین ماه‌های منطقه می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود. در بخش جنوب میانی و جنوب شرق در این سال خشک هیچ بارشی رخ نداده است. ولی از بخش جنوب غرب و بخصوص استان‌های مرتفع بطور متوسط بین یک تا ۳ میلی‌متر بارش روزانه رخ داده است. که در مقایسه با متوسط بارش اقلیمی منطقه بسیار پایین است. همچنان آنومالی بارش منفی می‌باشد. شکل شماره ۹ شماره تعداد روزهای خشک را در ماه نوامبر ۱۹۹۹ نشان می‌دهد. در این ماه بر روی منطقه مطالعاتی بین ۲۴ روز بر روی ارتفاعات منطقه تا ۳۰ روز در سایر نقاط منطقه مطالعاتی روز خشک یا فاقد بارش ثبت شده است. در ماه دسامبر نیز در تمام منطقه جنوب میانی و جنوب شرق در تمام ۳۰ روز شاهد روزهای خشک یا فاقد بارش را شاهد هستیم. در بخش جنوب غرب بین ۲۲ تا ۲۸ روز خشک و فاقد بارش مشاهده می‌شود.



شکل ۶. از چپ به راست میانگین بارش، معدل اقلیمی، ناهنجاری بارش ماهانه، انحراف معیار خروجی MERRA-2 برای ماه نوامبر و دسامبر ۱۹۹۹.
(منبع: ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)

(شکل ۷) نقشه بارشی ماه ژانویه و فوریه سال ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. بررسی توزیع ماهانه بارش‌های منطقه نشان می‌دهد که ماه ژانویه به همراه ماه دسامبر از پر بارش‌ترین ماه‌های سال در ایستگاه‌های جنوبی کشور ایران می‌باشد. بارش در این ماه در قیاس با ماه‌های قبل افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. بخصوص بر روی استان‌های مرتفع و ارتفاعات شمالی استان‌های بوشهر و هرمزگان متوسط بارش روزانه ۲/۵ تا ۵ میلی‌متر رخ داده است. ولی بخش جنوب شرق کاملاً خشک است و بخش ساحلی نیز بارش مناسبی را دریافت نکرده است. متوسط بارش روزانه در مناطق مرتفع منطقه در این ماه بالاتر از میانگین اقلیمی منطقه بوده است. آنومالی بارش بخصوص در استان هرمزگان بسیار بالا بوده است. همانطور که نقشه بارشی ماه فوریه در سال ۱۹۹۹-۲۰۰۰ نشان می‌دهد. دیده می‌شود در این ماه در کل منطقه جنوب شرق و جنوب میانی بارشی رخ نداده است. فقط در استان‌های جنوب غربی منطقه مطالعاتی شامل استان‌های چهار محال و کهگیلویه بطور متوسط بین ۱ تا ۳ میلی‌متر بارش روزانه رخ داده است. این مقدار بارش در مقایسه با متوسط اقلیمی منطقه بسیار پایین است. در متوسط اقلیمی منطقه اولاً در تمام منطقه بارش ثبت شده است. در عین حال در مناطق بارش‌ها بیش از ۳ میلی‌متر در روز بوده است. نقشه آنومالی بارش نیز این مسأله را تأیید می‌کند که در تمام منطقه آنومالی منفی دیده می‌شود. شکل شماره ۹ تعداد روزهای خشک را برای ماه ژانویه ۲۰۰۰ به عنوان یکی از ماه‌های خشک‌سالی سال آبی ۱۹۹۹-۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. جنوب شرق تقریباً در تمام ۳۰ روز خشک یا فقط فاقد بارش بوده است. در سایر نقاط منطقه مطالعاتی بین ۲۰ روز بر روی ارتفاعات منطقه و ۲۸ روز خشک در سایر مناطق روز خشک ثبت شده است. تعداد روزهای خشک ماه فوریه ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود در این ماه بین ۲۸ روز خشک در بخش جنوب شرق و جنوب میانی تا ۲۰ روز خشک در مناطق مرتفع استان‌های کهگیلویه و چهار محال ثبت شده است.

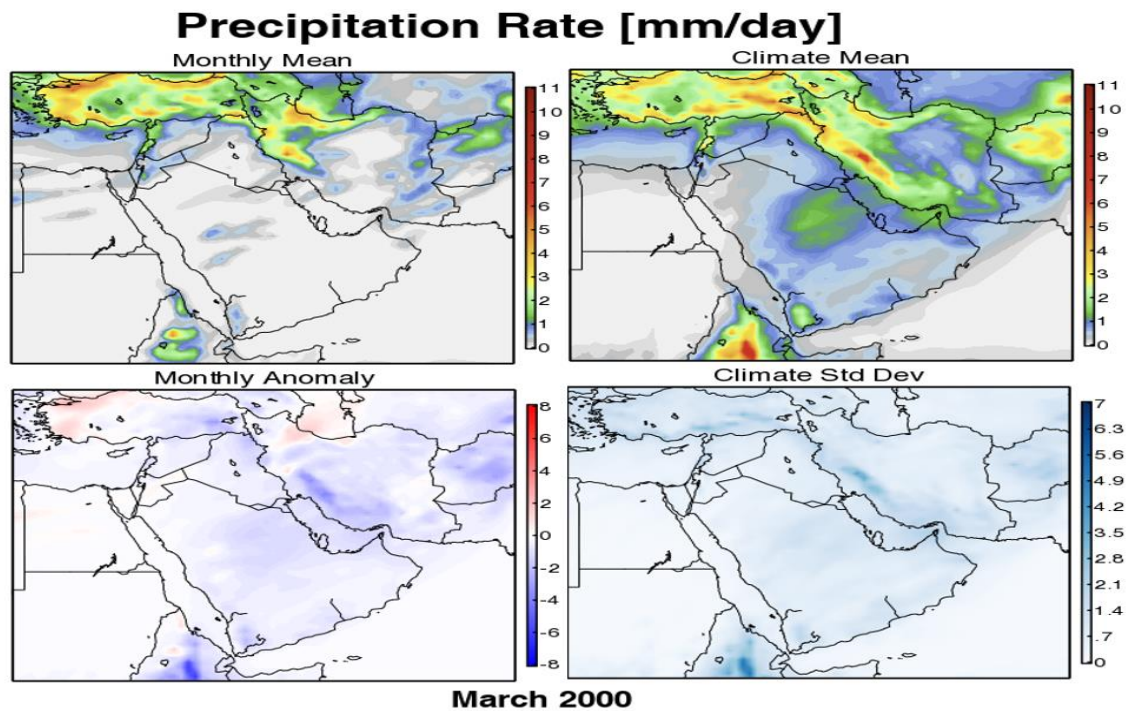


شکل ۷. از چپ به راست میانگین بارش، معدل اقلیمی، ناهنجاری بارش ماهانه، انحراف معیار خروجی MERRA-2 برای ماه

ژانویه و فوریه ۲۰۰۰.

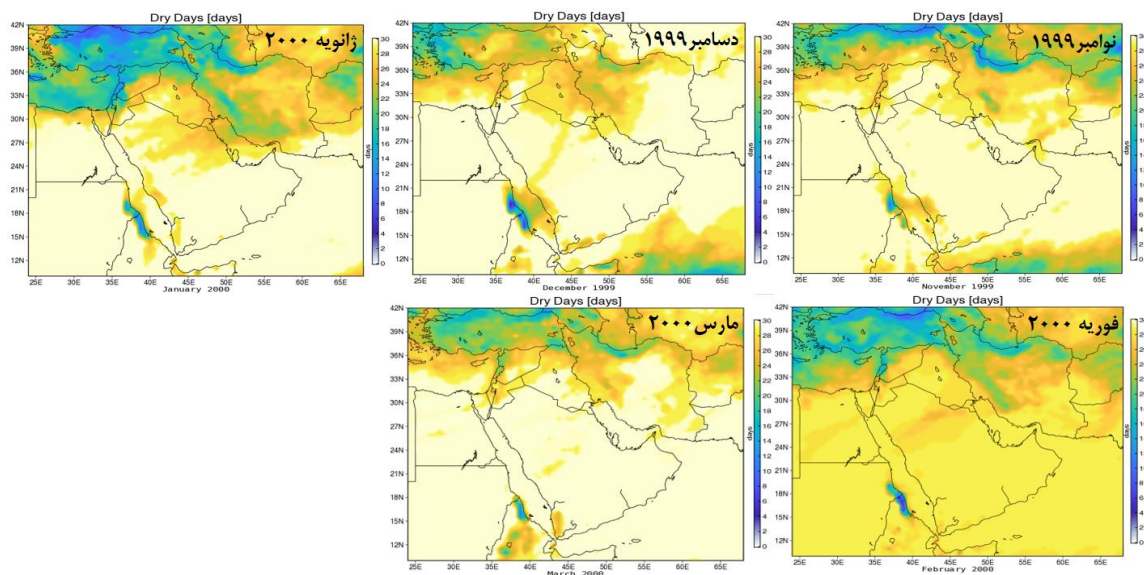
(منبع: ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)

(شکل ۸) نقشه بارشی ماه مارس را در خشکسالی ۱۹۹۹-۲۰۰۰ نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود بجز بخش‌های پراکنده‌ای در شمال استان خوزستان و استان سیستان و بلوچستان آن هم به مقدار کم در سایر نقاط منطقه مطالعاتی بارشی رخ نداده است. مقایسه بارش روزانه این ماه با بارش اقلیمی منطقه در همین ماه بیانگر خشکی شدید خاک در این ماه است. در این ماه متوسط بارشی منطقه شرایط بسیار خوبی داشته است. به طوری که در اکثر بخش‌های منطقه متوسط بارشی بیش از یک میلی‌متر و در بخش‌های کوهستانی گاه تا متوسط ۵ میلی‌متر دیده می‌شود. (شکل ۹) تعداد روزهای خشک یا فاقد بارش را در این ماه نشان می‌دهد. در این ماه نیز در بخش‌هایی از جنوب میانی شامل استان‌های هرمزگان و فارس و بوشهر تا ۳۰ روز خشک دیده می‌شود و بر روی جنوب غرب و ارتفاعات این بخش ۲۴ تا ۲۸ روز خشک ثبت شده است. در سایر ماه‌ها نیز تقریباً تمام طول ماه خشک و فاقد بارش بوده است.



شکل ۸. از چپ به راست میانگین بارش، معدل اقلیمی، ناهنجاری بارش ماهانه، انحراف معیار خروجی MERRA-2 برای ماه مارس ۲۰۰۰.

(منبع: ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)



شکل ۹. تعداد روزهای خشک ماه های نوامبر و دسامبر ۱۹۹۹ و ژانویه، فوریه و مارس ۲۰۰۰.

(منبع: ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)

نتیجه‌گیری

با وجود این که خشکسالی یک پدیده جدایی ناپذیر از اقلیم هر منطقه‌ای است و به صورت دوره‌ای در هر اقلیمی با هر ویژگی اتفاق می‌افتد، ولی وقتی فراوانی وقوع یا شدت آن افزایش می‌یابد، می‌توان نتیجه گرفت که منطقه گرایش به خشکی پیدا کرده است. در خشکسالی‌ها اولین عنصری که دچار ناهنجاری می‌شود، عنصر بارش می‌باشد. در این شرایط ممکن است برای مدت طولانی هیچ بارشی رخ ندهد. ولی در همان سال در چند نوبت بارش بسیار شدیدی رخ بدهد. آنچه در یک خشکسالی قطعی می‌باشد مجموع بارش نسبت به نرمال طولانی مدت کاهش شدیدی نشان می‌دهد. این پدیده وقتی در اقلیم خشک یا نیمه خشکی همچون جنوب کشور ایران رخ می‌دهد، به دلیل آسیب‌پذیری بالاتر محیط طبیعی، خسارت‌ها مضاعف می‌گردد. به طوری که حیات گیاهی رو به نابودی رفته و آب مورد نیاز جانوران و ساکنین منطقه با دشواری جدی مواجه می‌گردد. با توجه به اهداف تحقیق، نقش خشکسالی‌ها در ناهنجاری‌های بارش و روند خشکسالی‌ها در سه دهه اخیر، دوره آماری انتخاب شده با سه سیکل خورشیدی اخیر (سیکل‌های ۲۲، ۲۳ و ۲۴ خورشیدی) منطبق شد. در سال‌هایی که بیش از نیمی از پهنه مورد مطالعه درگیر خشکسالی متوسط تا شدید بوده است، به عنوان سال خشک انتخاب گردید. نتایج تحقیق نشان داد که فراوانی سال‌های درگیر با خشکسالی در دو سیکل ۲۳ (دوره آماری ۱۹۹۷-۲۰۰۸) و ۲۴ خورشیدی (۲۰۰۹ - ۲۰۱۹) به طور قابل توجهی افزایش یافته است. به طوری که از ۱۱ سال سیکل ۲۳ خورشیدی در ۹ سال آن بین یک سوم تا بیش از نیمی از ایستگاه‌های انتخابی یا پهنه منطقه مورد مطالعه درگیر خشکسالی بوده است. از این ۹ سال در ۴ سال آن خشکسالی فراگیر بوده است. در سیکل خورشیدی ۲۴ از ۱۱ سال این سیکل در ۱۰ سال آن بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه دچار خشکسالی با شدت‌های متفاوت بوده است. از این تعداد نیز در ۴ سال آن خشکسالی فراگیر شده است. در این سال‌های بیش از نیمی از پهنه مطالعاتی درگیر خشکسالی شدید و فوق شدید بوده است. نگاهی به شکل‌های شماره ۲ نتایج سه شاخص (SPI, CZI, ZSI) و ۳ شاخص (RAI) و جدول شماره ۵ نشان می‌دهد که فراوانی وقوع خشکسالی و بخصوص خشکسالی‌ها شدید و فوق شدید در حال افزایش می‌باشد. بنابراین، منطقه جنوبی کشور بیش از پیش به سمت خشک شدن میل پیدا کرده است. این در حالی است که در دو سیکل خورشیدی اخیر شاهد بارش‌های سیل‌آسا در همین منطقه جغرافیایی بوده‌ایم. این پدیده نیازمند بررسی جداگانه‌ای می‌باشد. پیشنهاد می‌شود در تحقیق دیگری ویژگی‌ها و تفاوت‌های دو سیکل خورشیدی اخیر و بخصوص سیکل ۲۴ با سایر سیکل‌ها بررسی گردد. در بررسی اولیه و مقایسه تعداد لکه‌های خورشیدی گزارش شده از این سیکل نشان می‌دهد که ساختار دمایی و تغییرات تعداد لکه‌های خورشیدی در این سیکل متفاوت از چند سیکل اخیر بوده است.

تقدیر و تشکر

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

منابع

- ۱) ادیب، آرش و گرجی زاده، علی (۱۳۹۵). بررسی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی (مطالعه موردی حوضه آبریز دز)، نشریه علمی - پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره ۷، شماره ۲، صص. ۱۸۵-۱۷۳.
- ۲) پیرمردیان، نادر؛ شمس نیا، سید امیر؛ بوستانی، فردین؛ شاهرخ نیا، محمدعلی (۱۳۸۷). ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در استان فارس، بوم‌شناسی گیاهان زراعی، دوره ۴، شماره ۱۳، صص. ۲۱-۷.
- ۳) حجازی زاده، زهرا؛ پژوه، فرشاد؛ شکیبا، هانیه (۱۴۰۰). واکاوی دقت شاخص‌های خشکسالی و تعیین بهترین شاخص اقلیمی در جنوب شرق ایران، جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)، سال ۱۹، شماره ۶۸، صص. ۲۱-۶.
- ۴) خرم بخت، احمدعلی؛ مشیری، سید رحیم؛ مهدوی، مسعود (۱۳۹۴). ارزیابی مشخصه‌های خشکسالی اقلیمی در منطقه لارستان. فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه ریزی منطقه ای، دوره ۴، شماره ۱۳، صص. ۱۰۳-۱۲۰.
- ۵) زرین کمر مجد، شیرین؛ کتیرایی بروجردی، پری سیما (۱۳۹۵). بررسی تغییرات فصل پذیری و ناهنجاری‌های بارش فصلی در ایران طی دوره ۱۹۷۷ الی ۲۰۰۶، پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، دوره ۱۱، شماره ۳، صص. ۳۹-۲۴.
- ۶) عقیقی، محمد ابراهیم (۱۴۰۰). بررسی اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، مطالعه موردی: حوضه آبریز سد درودزن، جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)، دوره ۱۹، شماره ۷۰، صص. ۱۵۳-۱۷۲.
- ۷) عساکره، حسین و رزمی، رباب (۱۳۹۱). تحلیل ناهنجاری‌های بارش شمال غرب ایران طی دهه‌های اخیر، نشریه نیوار، دوره ۳۵، شماره ۷۵، صص. ۴۰-۲۴.
- ۸) غیور، حسن علی و خسروی، محمود (۱۳۸۰). تاثیر پدیده انسو بر ناهنجاری‌های بارش تابستان و پاییزی منطقه جنوب شرق ایران، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۲، صص. ۱۷۴-۱۴۱.
- ۹) فرزانه‌منش، راحله (۱۳۸۴). مطالعه سینوپتیکی نوسانات پرفشار جنب حاره در سالهای نمونه النینو و لانینا (مطالعه موردی: بارش‌های نیمه جنوبی ایران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر فرامرز خوش اخلاق، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.
- ۱۰) کریمپور، مصطفی؛ طولابی نژاد، میثم؛ عینی، سعیده (۱۳۹۸). پایش و پیش‌بینی خشکسالی طی دوره رشد پوشش مرتع، (نمونه موردی: حوضه آبخیز قوری چای، شهرستان پارس آباد مغان)، جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)، دوره ۱۷، شماره ۶۰، صص. ۲۰۲-۲۱۴.
- ۱۱) محمدی، زینب؛ لشکری، حسن (۱۳۹۷). نقش جابه‌جایی مکانی پرفشار عربستان و رودباد جنب حاره ای در الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۵۰، دوره ۳، صص. ۴۹۱-۵۰۹.
- ۱۲) مرادی، محمد (۱۳۹۹). آشکارسازی و تحلیل ناهنجاری بارش زمستانه در جنوب شرق ایران، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۳، شماره ۹، صص. ۱۱۳-۹۶.
- ۱۳) مرید، سعید و پایمزد، شهلا (۱۳۷۸). مقایسه روش‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی جهت پایش روزانه خشکسالی: مطالعه موردی دوره خشکسالی ۱۳۷۸ لغایت ۱۳۸۰ استان تهران، مجله علوم آب و خاک، دوره ۱۱، شماره ۴۲، صص. ۳۳۳-۳۲۵.
- 14) Adib, A. & Gorgizadeh, A. (2017). Evaluation and Monitoring of drought using of drought Indexes ;Case study the Dez watershed. Irrigation and Water Engineering, Vol.7, No. 2, pp.173-185. [Persian].
- 15) Afifi, M. E. (2021). Investigation of the Effect of Drought on Vegetation Using Remote Sensing Techniques (Case Study of Dorodzan Dam Catchment). Journal of Geography, Vol. 19, No. 70, pp.153-172. [Persian].
- 16) Alexander, L.V. (2016). Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond, Weather and Climate Extremes, No. 11, pp. 4-16.
- 17) Asakereh, H. & Razmi, R. (2012). Analysis of annual precipitation changes in northwest of Iran. Geography and environmental planning, Vol. 23, No. 3, pp. 147-162. [Persian].
- 18) Bronikowski, A. & C. Webb. (1996). A critical examination of rainfall variability measures used in behavioral ecology studies, Behavioral Ecology and Sociobiology, No. 39, pp. 27-30.

- 19) Chen, Z., Wang, W. & Fu, J. (2020). Vegetation response to precipitation anomalies under different climatic and biogeographical conditions in China, *Scientific reports*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-16.
- 20) Costa, J. A. & Rodrigues, G. P. (2017). Space-time distribution of rainfall anomaly index (RAI) for the Salgado Basin, Ceará State-Brazil, *Ciência e Natura*, Vol. 43, No. 3, pp. 627-634.
- 21) Donat, M. G. & Coauthors. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 118, No. 5, pp. 2098-2118.
- 22) Freitas MAS. (2005). Um sistema de suporte à decisão paramonitoramento de secas meteorológicas em regiões semi-áridas, *Revista Tecnologia*, Vol. 19, No. 1, pp. 84-95.
- 23) Ghayour, H. A. & Khosravi, M. (2001). Impacts of el nino/southern oscillation (ENSO) on the summer and autumnal precipitation anomalies in south east of iran. , Vol. 16, No. 62, pp. 141-171. [Persian].
- 24) Hartmann, D. L. & Coauthors. (2013). Observations: Atmosphere and surface. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, T. F. Stocker et al., Eds., Cambridge University Press, pp.159–254.
- 25) Hejazizadeh, Z., Pajoo, F. & Shakiba, H. (2021). Analyzing the accuracy of drought indicators and determining the best climatic indicators in southeastern Iran. *Geography*, Vol. 19, No. 68, pp. 5-21. [Persian].
- 26) Huang, H., J. M. Winter, E. C. Osterberg, R. M. Horton. & B. Beckage. (2017). Total and extreme precipitation changes over the northeastern United States, *Journal of Hydrometeorology*, Vol.18, No. 6, pp.1783-1798.
- 27) IPCC, *Climate Change*. (2013). *The Physical Science Basis*. T. F. Stocker et al., Eds., Cambridge University Press, 1535.
- 28) Karampor, M. (2019). Exploring and anticipation of famine during pasture covering growth period Case study: Ghouri chay aquiferous zone (Pars abad Moghan city). *Geography*, Vol. 17, No. 60, pp. 202-2014. [Persian].
- 29) Khorrambakht, A. A., Moshiri, S. R. & Mahdavi, M. (2014). Assessment of climatic drought characteristics of Larestan. *Journal Of Regional Planning* ,Vol. 4, No. 13, pp.102-120. [Persian].
- 30) Lashkari, H. & Mohammadi, Z. (2015). The effect of the location of the Arabian subtropical high pressure on the precipitation systems in the south and southwest of Iran, *Researches of Natural Geography*, Vol.47, No. 1, pp.73-90. [Persian].
- 31) Lashkari, H., Matkan, A. A., Azadi, M. & Mohammadi, Z. (2017). Synoptic analysis of the role of Saudi Arabia subtropical high pressure subtropical and polar jet streams and severe droughts in South and South West of Iran, *Journal of Researches in Earth Sciences*, Vol.8, No. 2, pp. 141-163. [Persian].
- 32) Min, S. K., X. Zhang, F. W. Zwiers. & G. C. Hegerl. (2013). Human contribution to more-intense precipitation extremes, *Nature*, No. 470, pp. 378–381.
- 33) Mohammadi, Z. & Lashkari, H. (2019). Synoptic and thermodynamic analysis of spatial movement of sub-tropical jet stream in Sudan low activity (case study: wet years in Fars Province, Iran) ”, *Researches in Earth Sciences*, Vol.10, No.2, pp. 85-103.
- 34) Mohammadi, Z. & Lashkari, H. (2018). Effects of spatial movement of Arabia subtropical high pressure and subtropical jet on synoptic and thermodynamic patterns of intense wet years in the south and south west Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, Vol.50, No. 3, pp.491-509. [Persian].
- 35) Mohammadi, Z., Lashkari, H. & Mohammadi, M. S. (2021). Synoptic analysis and core situations of Arabian anticyclone in shortest period precipitation in the south and southwest of Iran”, *Arabian Journal of Geosciences*, Vol.14, No. 12, pp. 1-18.
- 36) Morid, S. & Paymard, S. (2006). Comparison of hydrological and meteorological methods for daily monitoring, *Journal of Sciences and Techniques of Agriculture and Natural Resources*, Vol.11, No. 42, pp. 325-333. [Persian].

- 37) Pirmoradian, N., Shamsnia, S. A., Boustani, F. & Shahrokhnia, M. A. (2009). Evaluation of drought return period using standardized precipitation index (SPI) in Fars province, Iran. *Agroecology Journal*, Vol.4, No. 4, pp. 7-21. [Persian].
- 38) Rhein, M., and Coauthors. (2013). *Observations: Ocean. Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, T. F. Stocker et al., Eds., Cambridge University Press, pp. 255–315.
- 39) Rooy MP.(1965).van. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space, *Notos*, No. 14, pp. 43.
- 40) Wang, C. & D. B. Enfield. (2001). The tropical western hemisphere warm pool, *Geophysical research letters*, No. 28, pp.1635-1638.
- 41) Westra, S., L. V. Alexander. & F. W. Zwiers. (2013). Global increasing trends in annual maximum daily precipitation, *Journal Climate*, No. 26, pp. 3904–3918.
- 42) Xia, Y. & Guan, Z. (2020). Relationships between convective activity in the Maritime Continent and precipitation anomalies in Southwest China during boreal summer, *Climate Dynamics*, Vol.54, No. 1, pp.973-986.
- 43) Zaveri, E., Russ, J. & Damania, R. (2020). Rainfall anomalies are a significant driver of cropland expansion, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol.117, No. 19, pp.10225-10233.