



Institute of Geography



Research Paper

Analysis of temporal-spatial changes of water deficit index in Khuzestan province in the last decade

Mahmoud Ahmadi ^{a*}, Nematollah Hosseini Nia ^b

^a. Department of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

^b. M.A. student of Environmental Climatology, Department of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction

Drought as a long-term stage of water scarcity is a challenging issue in water resources management and a very widespread natural disaster. Being aware of the drought situation can significantly reduce the risk of losses caused by this phenomenon through predicting and zoning the severity of the drought. One method of determining drought is the Standardized Precipitation Index (SPI), which was proposed by (McKay et al., 1993), for drought monitoring in the Colorado area. The SPI index is one of the appropriate indices to be used due to its advantages in the regional analysis of drought and the temporal relationship between events.

Materials and methods

First, TWSI data were downloaded from GRACE-CSR satellite. The TWSI data obtained from GRACE satellite were received using coding in Google Earth engine in EXCEL format and were provided for the entire province of Khuzestan. Since the TSDI index provides a comprehensive picture of drought, TSDI values had to be calculated after reviewing the TWSA data from Google Earth Engine. To calculate this index, TSD and cumulative TSD values were calculated first. Then, the total water shortage was calculated cumulatively. In addition, the 15-year SPI index (2002-2006) was used to study drought in Khuzestan province in this study. To do this, from the stations that had better conditions in terms of data, 11 stations were selected and SPI-6-12-24 was obtained through DIP software for each of the selected stations on a monthly and annual basis.

Results and Discussion

Drought study of SPI-12-24 in Khuzestan province showed that the onset of drought in this province started in 2008 or 2009 and continued until 2013 or 2016. Among all the stations, 2009 and 2012 were the most severe years in terms of drought and in most of the stations in SPI-12-

* . Corresponding author (m.baaghideh@hsu.ac.ir)

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.339321.1007689>

Received: 27 June 2022; Received in revised form: 2 September 2022; Accepted: 28 October 2022

Copyright © 2022 The Authors. Published by University of Tehran. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

24 these two years were the driest years in the drought periods, and they were in drought conditions in all these stations during these two years. In terms of drought severity, Safi Abad, Omidieh, Ahvaz and Abadan stations were all ranked first to fourth with very severe drought. With regard to time, November and January in SPI-12 with frequency of 4 and May, July, August and September in SPI-24 were the most affected by standard precipitation drought. The TWSA values for Khuzestan province from 2002 to 2016 showed that according to this figure, the value of TWSA in this area found a negative trend from April 2008 to December 2016. In Khuzestan province from 2008 to 2016, three dry periods were observed, which are from April 2008 to January 2010, April 2010 to January 2014 and May 2014 to December 2016. The lowest TWSI values in each period were -11.27, -13.03, and -10.58 mm.

Conclusion

In this study, spatial-temporal changes of TSDI water deficit index in Khuzestan province were investigated. To do this, first the monthly index SPI-12-24 was calculated using the monthly rainfall values of 11 meteorological stations for the whole region in the period 2002 to 2016 using the DIP software. Then, to calculate the TSDI index, the data of total water storage anomalies obtained from GRACE-CSR satellite were used. Drought survey of SPI-12-24 in Khuzestan province showed that drought in this province started in 2008 or 2009 and continued until 2013 or 2016. Among all the stations, 2009 and 2012 were the most severe years in terms of drought, and in most stations in SPI-12-24 were the driest years in the drought periods. In terms of severe drought, Safiabad, Omidieh, Ahvaz and Abadan stations all ranked first to fourth with very severe drought. November and January in SPI-12 and August and September in SPI-24 were mostly affected by standard rainfall drought, with 2% of the area in normal condition, 27% in moderate drought condition, 68% in severe drought condition and 3% in a very severe drought situation, meaning that most of Khuzestan province was covered by severe and very severe drought. The study of water shortage in Khuzestan province showed that in Khuzestan province, August, January, and April were the most affected by water shortage and August with -6/89, the driest month in the whole statistical period was studied, which according to the classification The TSDI index is in a very strong category. In terms of seasonality in winter, due to the fact that the amount of groundwater was strengthened in this season, its amount changes sinusoidally and sometimes it was in a moderate position and sometimes in a very severe category. Among the seasons, autumn had the least changes compared to the other seasons and was located in the middle to upper class.

Keywords: Water scarcity, temporal and spatial changes of TSDI general stock deficit index, SPI standardized precipitation index, GRACE satellite and Khuzestan province

تحلیل تغییرات زمانی - مکانی شاخص کمبود آب در استان خوزستان در یک دهه گذشته

محمود احمدی^۱ - دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

نعمت الله حسینی‌نیا - دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اقلیم‌شناسی محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران

چکیده

پایش خشک‌سالی یکی از عوامل مهم در مدیریت خشک‌سالی، در مناطق مستعد و در معرض خشک‌سالی است. هدف از این پژوهش برآورد تغییرات زمانی-مکانی شاخص کمبود آب در استان خوزستان طی یک دهه گذشته است. روش تحقیق، ابتدا از داده‌های ایستگاه هواشناسی مقادیر بارندگی ماهانه و داده‌های بی‌هنجاری‌های کلی ذخیره آب (TWSA) حاصل از محصولات ماهواره GRACE-CSR در بازه (۲۰۱۶-۲۰۰۲) استفاده گردید. سپس با استفاده از مقادیر بارش ماهانه شاخص بارش استاندارد (SPI) و با استفاده از مقادیر TWSA شاخص کمبود ذخیره کلی (TSDI) محاسبه گردید. نتایج SPI-12-24 در استان خوزستان نشان داد خشک‌سالی در این استان از سال ۲۰۰۸ شروع و تا سال ۲۰۱۶ ادامه داشته، که در این بین سال ۲۰۰۹ در SPI-24 ماهه با فرارگیری ۶۸٪ از مساحت منطقه در طبقه خشک‌سالی شدید به‌عنوان شدیدترین سال از نظر خشک‌سالی شناخته‌شده و ایستگاه صفی‌آباد نیز با فرارگیری در طبقه خشک‌سالی بسیار شدید به‌عنوان خشک‌ترین ایستگاه شناخته‌شده است. نتایج مربوط به مقادیر سالانه شاخص TSDI شروع کمبود آب در سال ۲۰۰۸ و پایان آن سال ۲۰۱۶ بوده که در این بین سه خشک‌سالی و کمبود آب در استان خوزستان رخ داده است. که سال ۲۰۱۲ با مقدار ۵۶۶- در طبقه بسیار شدید قرار دارد.

واژگان کلیدی: کمبود آب، تغییرات زمانی-مکانی، شاخص کمبود ذخیره کلی TSDI، شاخص بارش استاندارد شده SPI، ماهواره GRACE - استان خوزستان.

مقدمه

خشک‌سالی یک مخاطره طبیعی پیچیده است که با کاهش منابع آب در دسترس، باعث آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی فراوانی می‌شود (حسین و همکاران، ۲۰۱۵). خشک‌سالی را به‌عنوان مرحله طولانی‌مدت وضعیت کمبود آب، یک موضوع چالش‌برانگیز در مدیریت منابع آب و به‌عنوان یک فاجعه طبیعی بسیار گسترده که درک کمی از آن وجود دارد، تعریف می‌کنند (کائو و گوویندراجو، ۲۰۱۰). بر اساس آمارهای مربوط به مخاطرات طبیعی، ۲۲ درصد از افراد متأثر از این مخاطرات و ۳ درصد از مجموع مرگ‌ومیرهای ناشی از مخاطرات طبیعی مربوط به خشک‌سالی است (ویلهایت و همکاران، ۲۰۰۷).

پایش خشک‌سالی یکی از عوامل مهم در مدیریت خشک‌سالی، به‌ویژه در مناطق مستعد و در معرض خشک‌سالی است. در بخش مدیریت خشک‌سالی به دلیل این که خطرات مربوط به خشک‌سالی خیلی کم خود را نشان می‌دهند و به‌راحتی قابل تشخیص نمی‌باشند، اهمیت زیادی دارد (نهاری ۱۳۹۴). آگاهی از وضعیت خشک‌سالی، با پیش‌بینی و پهنه‌بندی شدت خشک‌سالی می‌تواند خطر زیان‌های ناشی از این پدیده را تا حد قابل توجهی کاهش دهد (بهشتی راد ۱۳۹۵). بررسی و پایش خشک‌سالی‌ها اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب دارد (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰). پایش مؤثر و به‌موقع خشک‌سالی‌ها می‌تواند به توسعه سامانه‌های پیش‌آگاهی خشک‌سالی و کاهش هزینه‌های ناشی از خشک‌سالی کمک کند. داده‌های هواشناسی را می‌توان همراه با داده‌ها و اطلاعات دیگر به‌منظور برآورد تأثیر خشک‌سالی استفاده کرد. پایش خشک‌سالی می‌تواند به کمک اطلاعات ایستگاهی، اطلاعات سنجش‌ازدور یا خروجی مدل‌های عددی انجام شود. استفاده از اطلاعات سنجش‌ازدور در پایش خشک‌سالی بسیار رایج‌تر از مدل‌های عددی است. در این زمینه می‌توان به پایش خشک‌سالی با استفاده از محصولات پوشش گیاهی (بای و همکاران ۲۰۱۷) و محصولات بارش ماهواره‌ای (بایسا و همکاران، ۲۰۱۷) اشاره کرد.

یکی از روش‌های تعیین خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) است که به‌وسیله (مکی کی و همکاران، ۱۹۹۳) برای پایش خشک‌سالی در منطقه کلرادو ارائه شد (ثنایی نژاد و همکاران، ۱۳۸۲). شاخص بارش استاندارد روشی ساده و علمی بر اساس مقدار بارندگی است. شاخص SPI به خاطر مزایایی که در تحلیل منطقه‌ای خشک‌سالی و ارتباط زمانی بین رخداد‌های زمانی دارد، استفاده می‌شود. در مطالعات داخل کشور ((شکوهی، ۱۳۹۱)، (سنگین آبادی و همکاران، ۱۳۹۸)، (رضایی و همکاران، ۱۳۹۷) و (اقتدارنژاد و همکاران، ۱۳۹۵)) از شاخص SPI در مطالعات خود استفاده کرده که نتایج نشان‌دهنده قدرت تشخیص مناسب این شاخص در مناطق می‌باشد.

تا قبل از پرتاب ماهواره آب‌وهوایی گرانش سنجی (GRACE) در سال ۲۰۰۲ به علت عدم دسترسی به داده‌های مشاهداتی کافی و یکپارچه، روش‌های محاسباتی و ابزارهای محدودی برای تخمین رطوبت خاک و تغییرات ذخیره آب در لایه‌های زیرزمینی در دسترس پژوهشگران قرار گرفته بود (رامیلین و همکاران، ۲۰۰۸). در مطالعات بعدی از این نتایج برای تخمین شدت و مدت پدیده‌های جدی استفاده گردید. در این مطالعات از داده‌های ماهواره گرانش سنجی که از توزیع زمانی - مکانی مناسبی در کلیه نقاط زمین برخوردارند، شاخصی با عنوان شاخص کمبود ذخیره کلی TSDI مورد محاسبه قرار گرفت (یرداو و همکاران، ۲۰۰۸) و مشخص شد با استفاده از این شاخص می‌توان وقوع پدیده‌های جدی مانند خشک‌سالی و سیل را در حوضه‌های آبی پهناور تشخیص داد (ریگر و فامیگلیتی، ۲۰۰۹). همچنین با مقایسه نتایج بررسی خشک‌سالی که بر اساس داده‌های ماهواره GRACE به‌دست آمده‌اند با شاخص‌های متداول کنونی، مشخص شد که نتایج روش‌های مبتنی بر ماهواره اطلاعات ارزشمندی در اختیار قرار می‌دهند و نسبت به روش‌ها و شاخص‌های کنونی برتری دارند از این شاخص برای محاسبه پارامترهای خشک‌سالی در حوضه‌های آبریز پهناور نظیر

آمازون که داده‌های میدانی و منسجم کمی دارند، استفاده‌شده و مؤثر بودن داده‌های ماهواره GRACE برای بررسی و پایش خشک‌سالی اثبات‌شده است (لبلانز و همکاران، ۲۰۰۹). از این شاخص برای پایش خشک‌سالی در مقیاس جهانی استفاده‌شده و نتایج با شاخص‌های متداول مقایسه شده است که نشان می‌دهد TSDI با شاخص‌های کنونی همبستگی بسیار خوبی دارد (نی و همکاران، ۲۰۱۷).

نعمتی و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی شاخص کمبود آب در حوضه آبریز فلات مرکزی ایران با استفاده از ماهواره گریس در بازی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ پرداخته‌اند که نتایج نشان داد چندین خشک‌سالی با شدت و گستردگی متفاوت در سطح منطقه اتفاق افتاده است. حسینی موعاری و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی کارایی مشاهدات ماهواره (GRACE) در پایش خشک‌سالی در حوضه مرکزی ایران بین سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۲ پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که در دوره مورد مطالعه، شدیدترین و طولانی‌ترین خشک‌سالی در سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۸ رخ داده است. (کائو، و همکاران ۲۰۱۵) به بررسی مشاهدات ماهواره GRACE برای مطالعه تغییرات ذخیره آب زیرزمینی و تشخیص خشک‌سالی شمال غربی چین با استفاده از شاخص (TSDI) در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ پرداخته‌اند. نتایج سری زمانی TSDI نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از ماه مه ۲۰۰۸ تا دسامبر ۲۰۰۹ خشک‌سالی طولانی‌مدت را تجربه کرده است. (چن و همکاران ۲۰۱۸) پایش خشک‌سالی و سیل در حوضه رودخانه لیائو در شمال شرقی چین با استفاده از ماهواره GRACE پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که شرایط خشک‌سالی و طغیان تحت نظارت TSDI با مطالعات و سوابق قبلی سازگار بوده و حوادث شدید آب و هوایی می‌تواند غیرمستقیم چرخه هیدرولوژیکی منطقه را تغییر دهد.

با توجه به مطالعات انجام‌شده در سراسر دنیا در این مقاله به بررسی توزیع مکانی و زمانی شاخص کمبود آب TSDI در استان خوزستان پرداخته شد. به این منظور از شاخص کمبود ذخیره کلی TSDI از داده‌های تغییرات ذخیره کلی آب (TWSA) ماهواره GRACE در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ با استفاده از کد نویسی در سامانه گوگل ارث انجین استفاده‌شده است. سپس برای صحت سنجی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده گردید. برای محاسبه شاخص بارش استاندارد شده از داده‌های بارش ماهانه ۱۵ ساله در ۱۱ ایستگاه هواشناسی در استان خوزستان استفاده‌شده است.

روش پژوهش

ماهواره GRACE در سال ۲۰۰۲ به منظور بررسی تغییرات گرانش زمین به فضا پرتاب شد (آبارت، ۲۰۰۵). این ماهواره یک پروژه مشترک بین آمریکا و آلمان است که سازمان‌های اصلی درگیر در آن سازمان فضایی آمریکا (NASA)، مرکز مطالعات فضایی دانشگاه تگزاس، مرکز هوا و فضای آلمان (DLR) و مرکز تحقیقات زمین آلمان (GFZ) هستند (ساکومورا و همکاران، ۲۰۱۴). تا پیش از سال ۲۰۰۲، شبکه‌ای جهانی از مشاهدات با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مورد نیاز، در جهت نشان دادن میزان تغییرات ذخیره آبی در مقیاس قاره‌ای وجود نداشته است (رودل و همکاران، ۲۰۰۷). توانایی گریس در تحت نظر قرار دادن این پارامتر، بسیار پراهمیت می‌باشد. میزان تغییرات کلی ذخیره آب (TWS) حاصل از گریس از مجموع ۳ پارامتر رطوبت موجود در لایه ریشه‌ای خاک، آب موجود در پوشش برف که از طریق مدل‌های هیدرولوژی جهانی قابل استخراج هستند و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی که با استفاده از اندازه‌گیری‌های چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه مورد نظر به دست می‌آید، تشکیل شده است. بنابراین بر اساس تغییرات گرانش در یک مکان خاص در طول زمان، بی‌هنجاری ذخیره کل آب یا TWSA در آن منطقه توسط GRACE اندازه‌گیری می‌شود. اطلاعات GRACE توسط سه مرکز CSR، GFZ و JPL پردازش و به صورت شبکه‌بندی شده برای کل جهان در اختیار قرار می‌گیرد. قبلاً برای تبدیل مشاهدات GRACE به TWSA دو روش کلی SH و Mascons وجود داشت. تا

قبل از معرفی محصولات Mascons مرکز CSR توسط (سیو و همکاران، ۲۰۱۶) مشاهدات GRACE نیاز به پیش‌پردازش‌هایی به‌منظور کاهش خطا برای استفاده در مطالعات هیدرولوژی داشتند (حسینی موعاری و همکاران، ۱۳۹۸). این خطا به‌طور عمده مربوط به خطای نشت بود که توسط ضریبی تحت عنوان gain factor در محصولات SH اصلاح می‌گردید. در این پژوهش برای بررسی زمانی-مکانی شدت و مدت خشک‌سالی هیدرولوژی در استان خوزستان از شاخص TSDI استفاده گردید. با توجه به اینکه داده‌های ما از روش CSR دریافت گردید به علت دقت مناسب و عدم نیاز به هیچ‌گونه پیش‌پردازش برای کاهش خطاهای GRACE بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ استفاده شد بدین‌صورت که در ابتدا برای دانلود داده‌های TWSA ماهواره GRACE-CSR اقدام گردید. داده‌های TWSA ماهواره GRACE با استفاده از کد نویسی در سامانه گوگل ارث انجین با فرمت EXCEL دریافت و برای تمام استان خوزستان فراهم گردید.

الف)- شاخص کمبود ذخیره کلی TSDI

در این پژوهش برای بررسی زمانی و مکانی شدت و مدت خشک‌سالی هیدرولوژی در استان خوزستان از شاخص TSDI استفاده گردید. با توجه به اینکه داده‌های ما از روش CSR دریافت گردید به علت دقت مناسب و عدم نیاز به هیچ‌گونه پیش‌پردازش برای کاهش خطاهای GRACE بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ استفاده شد بدین‌صورت که در ابتدا برای دانلود داده‌های TWSA ماهواره GRACE-CSR اقدام گردید. داده‌های TWSA ماهواره GRACE با استفاده از کد نویسی در سامانه گوگل ارث انجین با فرمت EXCEL دریافت و برای تمام استان خوزستان فراهم گردید. با توجه به اینکه شاخص TSDI تصویر جامعی از ترسالی و خشک‌سالی ایجاد می‌کند. بعد از بررسی داده‌های TWSA دانلودی از گوگل ارث انجین باید مقادیر TSDI محاسبه گردد. برای محاسبه این شاخص ابتدا باید مقادیر TSD و TSD جمع‌ی محاسبه گردد. به این منظور ابتدا باید کمبود ذخیره کلی آب را به‌صورت جمع‌ی محاسبه نمود. این شاخص با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود و سپس مقادیر TSD جمع‌ی محاسبه گردد.

$$TSD_{ij} = \frac{TSA_{ij} - MTSA_j}{Max TSA_j - Min TSA_j} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه TSD_{ij} کمبود ذخیره کلی آب بر حسب درصد در سال i ام و ماه j است. TSA_{ij} میزان تغییرات ذخیره کلی آب در همان ماه و همان سال می‌باشد. که بر حسب mm از داده‌های ماهواره GRACE قابل محاسبه است. $MTSA_j$ میانگین تغییرات ذخیره کلی آب در ماه j ام در کل دوره بازه زمانی موردنظر است. همچنین $Max TSA_j$ و $Min TSA_j$ به ترتیب بیشینه و کمینه مقدار تغییرات ذخیره کلی آب در ماه j ام هستند (مقادیر ارائه شده بر حسب میلی‌متر است). حاصل TSD می‌تواند بین ۱۰۰- تا ۱۰۰+ تغییر کند و ترتیب نشان‌دهنده وضعیت بسیار خشک و بسیار مرطوب هستند. معمولاً خشک‌سالی به‌طور آهسته شروع به فروکش کردن می‌نماید و این امر به تدریج را با حرکت TSD به سمت صفر و سپس مقادیر خود را نشان می‌دهد. بنا بر آنچه گفته شد شاخص TSDI با توجه شاخص خشک‌سالی سال گذشته و کمبود ذخیره کلی سال جاری با رابطه (۲) محاسبه خواهد شد.

$$TSDI_i = p \times TSDI_{i-1} + q \times TSD_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

برای محاسبه ضرایب p و q در رابطه بالا ابتدا باید عبارت TSD به‌صورت جمع‌ی (محور قائم) در برابر زمان (محور افقی) رسم نموده و سپس بهترین خط ممکن را به این گراف برازش داد. حال اگر شیب خط را m و عرض از مبدأ آن را b بنامیم، آنگاه ضرایب فوق را می‌توان با رابطه (۳) محاسبه نمود (یردا و همکاران، ۲۰۰۸).

$$p = 1 - \frac{m}{m+b} \quad q = \frac{c}{m+b} \quad \text{رابطه (۳)}$$

یکی از روش‌های تعیین خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) است که به‌وسیله (مکی کی و همکاران، ۱۹۹۳) برای پیش‌خشک‌سالی در منطقه کلرادو ارائه شد. با توجه به این شاخص می‌توان مقدار پارامتر C را به دست آورد، بدین‌صورت که در دوره آماری مورد مطالعه خشک‌ترین سال انتخاب و طبقه خشک‌سالی مشخص و درصد پوشش منطقه از این طبقه خشک‌سالی محاسبه می‌شود و طبقه‌ای که بیشترین مساحت را داشته باشد به‌عنوان پارامتر C مشخص می‌شود. روش دوم بدین‌صورت است که با رسم مقادیر تجمعی TSD و تقسیم فضای نمودار به چهار قسمت مساوی نزدیک‌ترین خط به مقادیر تجمعی TSD به‌عنوان پارامتر C شناخته می‌شود. در مرحله پایانی با محاسبه شدن شاخص TSDI می‌توان شرایط منطقه مورد نظر را ارزیابی نمود (کائو و همکاران، ۲۰۱۵). در جدول (۱) مقادیر و طبقات خشک‌سالی TSDI مشخص شده است.

(ب) - شاخص بارش استاندارد (SPI)

یکی از روش‌های تعیین خشک‌سالی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) است که به‌وسیله (مکی کی و همکاران، ۱۹۹۳) برای پیش‌خشک‌سالی در منطقه کلرادو ارائه شد (ثنایی نژاد و همکاران، ۱۳۸۲). شاخص SPI به خاطر مزایایی که در تحلیل منطقه‌ای خشک‌سالی و ارتباط زمانی بین رخداد‌های زمانی دارد، استفاده می‌شود. سری زمانی داده‌ها که برای محاسبه SPI استفاده می‌شوند، نیازی به طول خاصی ندارد (هیز و همکاران، ۲۰۱۱) این شاخص که در سال ۱۹۹۳ توسط مک کی و همکارانش ارائه شد، بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید. تنها فاکتور موثر در این شاخص، عنصر بارش است و آن را می‌توان در مقیاس‌های زمانی ۳، تا ۴۸ ماهه محاسبه کرد. شاخص SPI طبق معادله (۴) محاسبه می‌شود.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad \text{رابطه (۴)}$$

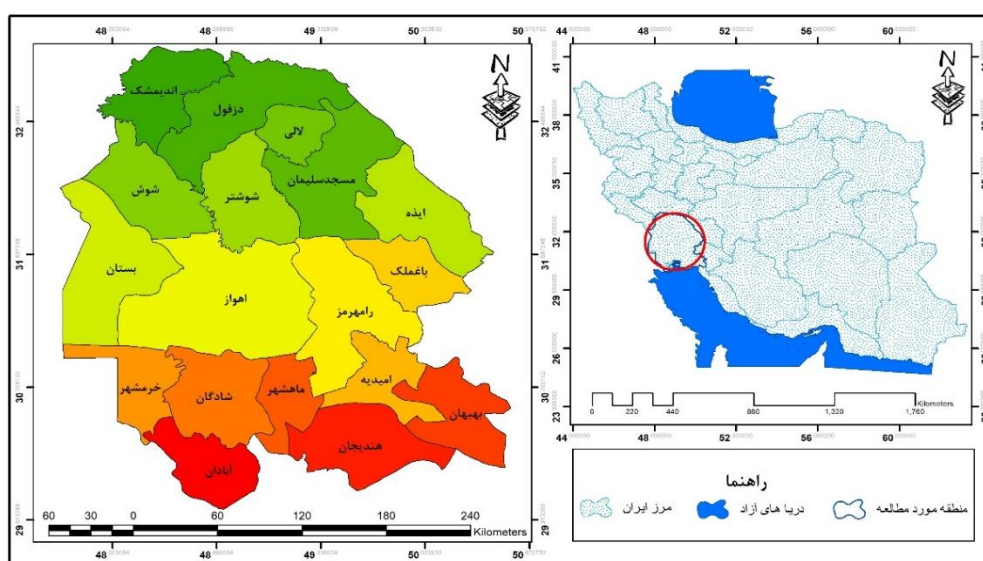
در این معادله، SPI نمایه استاندارد بارش، P_i معادل بارش سال مفروض به میلی‌متر، \bar{P} میانگین بارش بلندمدت ایستگاه و SD انحراف معیار بارش است. در جدول (۱) مقادیر شاخص خشک‌سالی SPI نمایش داده شده. یکی از بارزترین و مشهورترین نیاز یک برنامه‌ریزی خشک‌سالی، داشتن یک نرم‌افزار کارآمد جهت محاسبه شاخص‌های رایج خشک‌سالی می‌باشد. برای انجام محاسبات توسط این شاخص از نرم‌افزار DIP استفاده می‌شود. این نرم‌افزار جهت انجام و اجرای پروژه‌های مربوط به خشک‌سالی به‌خصوص تجزیه و تحلیل شاخص‌های رایج خشک‌سالی و مقایسه این شاخص‌ها طراحی شده است. در این تحقیق از نرم‌افزار DIP باهدف ساده‌سازی عملیات و افزایش دقت محاسبات شاخص‌های خشک‌سالی استفاده شده است. اطلاعات ورودی در نرم‌افزار DIP می‌تواند شامل عناصر اقلیمی بارش، دما، رطوبت نسبی باشد. در این پژوهش از شاخص SPI در بازه ۱۵ سال (۲۰۱۶-۲۰۰۲) برای بررسی خشک‌سالی در استان خوزستان استفاده گردید. برای این کار از ایستگاه‌های که از نظر داده شرایط بهتری داشته‌اند ۱۱ ایستگاه انتخاب و SPI (۶، ۱۲ و ۲۴) ماه از طریق نرم‌افزار DIP برای هر یک از ایستگاه‌های منتخب هم به‌صورت ماهانه و سالانه به دست آمد.

جدول ۱. طبقه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از شاخص SPI و TSDI

شاخص TSDI	پارامتر C	شاخص SPI	طبقات خشک‌سالی
۰,۹۹ تا -۰,۹۹	-	بزرگ‌تر از ۱	نسبتاً مرطوب
-۱ تا -۱,۹۹	-۱	۰,۹۹ تا -۰,۹۹	خفیف
-۲ تا -۲,۹۹	-۲	-۱ تا -۱,۴۹	متوسط
-۳ تا -۳,۹۹	-۳	-۱,۵۵ تا -۱,۹۹	شدید
کوچک‌تر از -۴	-۴	کمتر از -۲	بسیار شدید

محدوده مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۰۵۷ کیلومترمربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا، در جنوب غربی ایران واقع شده است. استان خوزستان با وجود دارا بودن شرایط خاص و دماهای شدید بخش عظیمی از کشاورزی ایران را در اختیار دارد. کم آبی در استان خوزستان، اثرات منفی زیادی بر روی محیط‌زیست، از جمله رودخانه‌ها، حوضچه‌ها و تالاب‌ها و منابع آب شیرین دیگر دارد. پیامد مصرف بیش‌ازحد آب در استان خوزستان که با کم آبی مرتبط است به چند طریق، از جمله افزایش شوری، مواد مغذی و از بین رفتن دشت‌های سیلابی و تالاب‌ها، به محیط‌زیست آسیب می‌زند. علاوه بر این، کم آبی باعث می‌شود که مدیریت جریان، در رودهای شهری مشکل‌ساز شود. متوسط حجم آورد سالیانه آب‌های استان خوزستان معادل ۳۲ میلیارد مترمکعب (یک‌سوم آب‌های جاری کشور) است. سطح زیر کشت آبی استان سالیانه به ۱/۳ میلیون هکتار است و می‌تواند ۲۶٪ توسعه آبی کشاورزی کشور را یکجا به عهده بگیرد و ۲۳/۵ میلیون تن تولیدات زراعی و باغی داشته است. استان خوزستان با تولید بیش از ۱۶ میلیون تن محصولات کشاورزی، بیش از ۱۳،۳ درصد از تولیدات کشاورزی کشور را به خود اختصاص داده است و در این زمینه نقش بسیار پررنگی در اقتصاد و کشاورزی کشور دارد. استان خوزستان با تولید بیش از ۱۷،۸ درصد از تولیدات زراعی در کشور، دارای مقام اول تولید این محصولات در کشور است. موقعیت استان خوزستان در شکل (۱) آمده است.



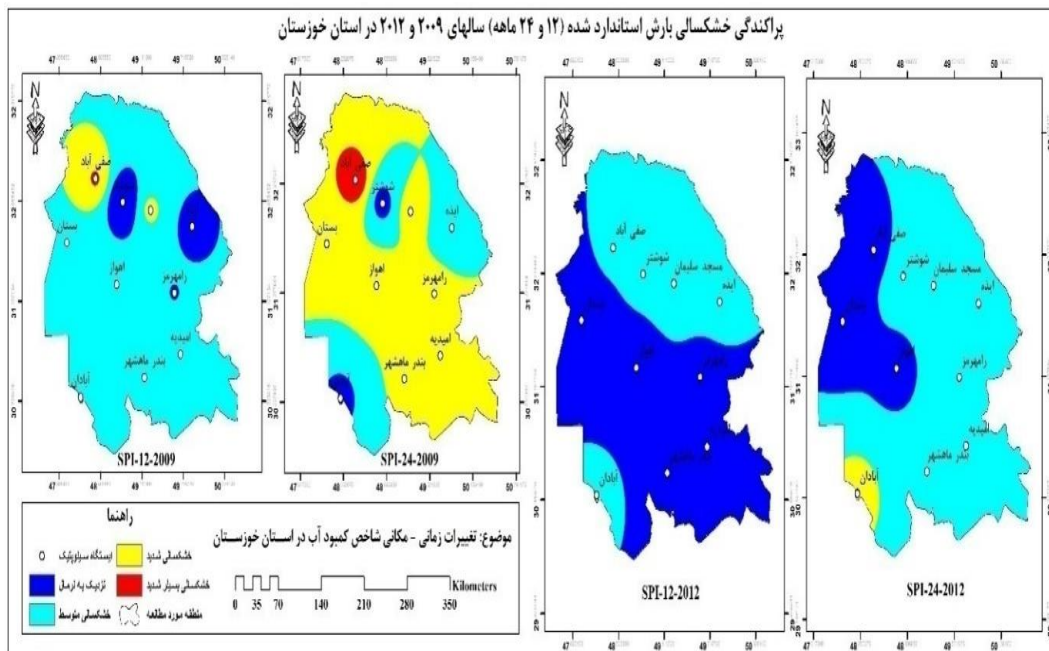
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

یافته‌های پژوهش

الف- شاخص SPI

بررسی خشک‌سالی SPI-12-24 در استان خوزستان نشان داد که شروع خشک‌سالی در این استان در سال ۲۰۰۸ یا ۲۰۰۹ شروع و تا سال ۲۰۱۳ یا ۲۰۱۶ ادامه داشته، در بین تمام ایستگاه‌ها سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ شدیدترین سال‌ها از نظر خشک‌سالی بود و در اکثر ایستگاه‌ها در SPI-12-24 به‌عنوان خشک‌ترین سال‌ها در بازه‌های خشک‌سالی قرار دارد و در تمام ایستگاه‌ها این دو سال در وضعیت خشک‌سالی قرار داشتند. از لحاظ شدت خشک‌سالی ایستگاه صفی‌آباد، امیدیه، اهواز و آبادان همگی با خشک‌سالی بسیار شدید، در رتبه‌های اول تا چهارم قرار دارند. از نظر ماهانه، ماه‌های نوامبر و

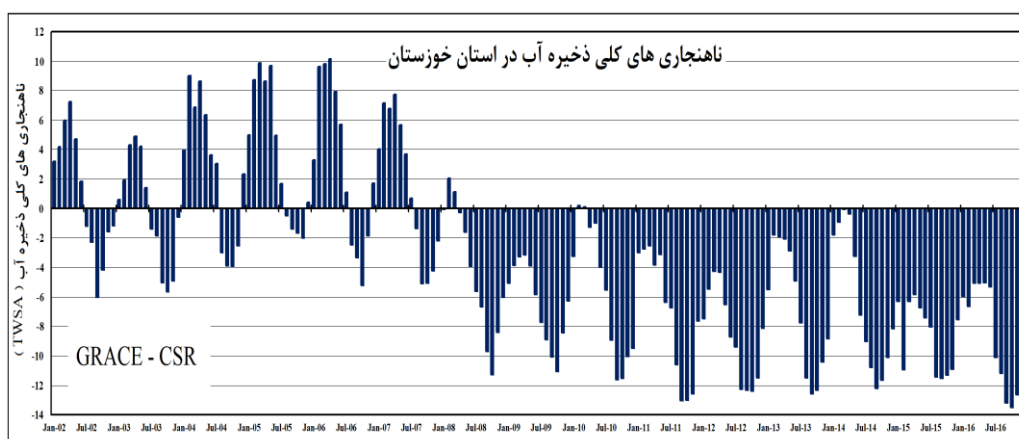
ژانویه در SPI-12 با فراوانی ۴ و می، جولای، آگوست و سپتامبر در SPI-24 بیشترین تأثیرپذیری را از خشک‌سالی بارش استاندارد داشتند. با توجه به مشخص شدن خشک‌ترین سال‌ها در SPI-12,24 نقشه (شکل ۲) خشک‌سالی SPI-12,24 برای تمام ایستگاه‌ها ترسیم شد. با توجه به این شکل می‌توان گفت که در SPI-12 در سال ۲۰۰۹ شهرهای صفی‌آباد و مسجدسلیمان در وضعیت خشک‌سالی بسیار شدید و شدید و شهرهای ایذه و شوشتر، آبادان و صفی‌آباد در وضعیت خشک‌سالی متوسط قرار دارند و در بقیه استان مقدار SPI عدم خشک‌سالی یا خشک‌سالی‌های بسیار ضعیف را نشان می‌دهد. وضعیت SPI-24 نیز بدین شکل است که در سال ۲۰۰۹ شهر صفی‌آباد دارای خشک‌سالی بسیار شدید و شهرهای شوشتر و آبادان در وضعیت نرمال قرار دارند، بقیه ایستگاه‌ها نیز در وضعیت خشک‌سالی شدید قرار دارند بدین‌صورت که ۲٪ از مساحت منطقه در وضعیت نرمال، ۲۷٪ در وضعیت خشک‌سالی متوسط، ۶۸٪ وضعیت خشک‌سالی شدید و ۳٪ در وضعیت خشک‌سالی بسیار شدید قرار دارند. ولی در سال ۲۰۱۲ شرایط به‌گونه‌ای است که فقط شهرستان آبادان خشک‌سالی شدید را تجربه کرده و بقیه استان در وضعیت مطلوب‌تری قرار دارند.



شکل ۲: پراکندگی خشک‌سالی SPI-12,24 برای سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲

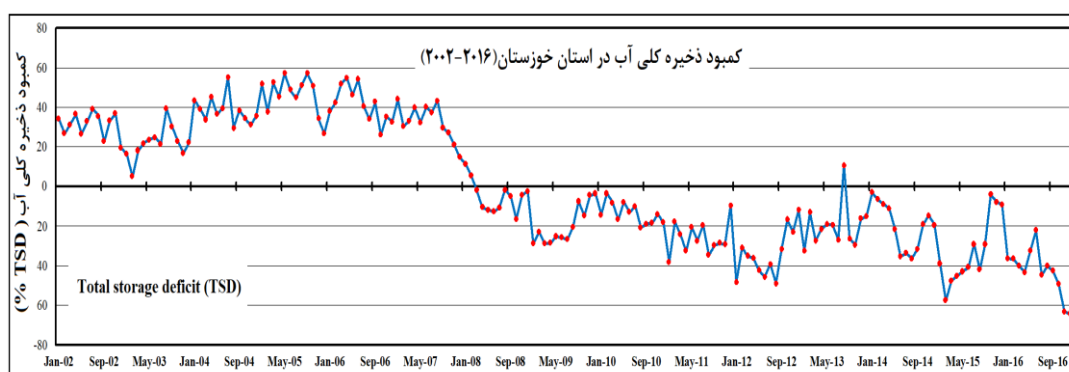
(ب) - شاخص TSDI

شکل (۳) مقادیر TWSA را برای استان خوزستان در بازه (۲۰۰۲-۲۰۱۶) نشان داد با توجه به این شکل مقدار TWSA در این منطقه از آپریل ۲۰۰۸ تا دسامبر ۲۰۱۶ روند منفی پیدا کرد. با توجه به شکل (۴-۲۷) در استان خوزستان از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ سه دوره خشک مشاهده شده که عبارت‌اند از آپریل ۲۰۰۸ تا ژانویه ۲۰۱۰، آپریل ۲۰۱۰ تا ژانویه ۲۰۱۴ و می ۲۰۱۴ تا دسامبر ۲۰۱۶ ادامه داشته که کمترین مقادیر TWSA در هر دوره عبارت‌اند از، ۱۱،۲۷، -۱۳،۰۳ و -۱۰،۵۸ - به میلی‌متر بود.



شکل ۳. نمودار داده‌های TWSA میلی‌متر در بازه (۲۰۰۲-۲۰۱۶)

برای محاسبه شاخص TSDI بعد از بررسی داده‌های TWSA ابتدا باید مقادیر TSD و TSDI تجمعی محاسبه گردد. حاصل TSD می‌تواند بین ۱۰۰- تا ۱۰۰+ تغییر کند و ترتیب نشان‌دهنده وضعیت بسیار خشک و بسیار مرطوب هستند. معمولاً خشک‌سالی به‌طور آهسته شروع به فروکش کردن می‌نماید و این امر به تدریج را با حرکت TSD به سمت صفر و سپس مقادیر خود را نشان می‌دهد. شکل (۴) مقادیر TSD به دست آمده از داده‌های TWSA را نشان داد با توجه به این شکل از ژانویه ۲۰۰۸ دادها دارای روند منفی در مقدار TSD هستند و این شرایط منفی نشان‌دهنده حاکمیت خشکی از سال ۲۰۰۸ به بعد در استان خوزستان است که تا سال ۲۰۱۶ ادامه داشته است.

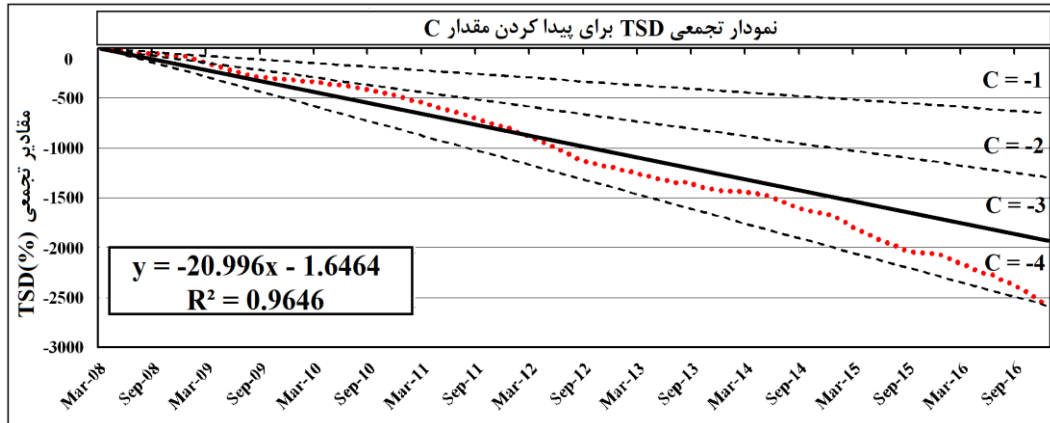


شکل ۴. نمودار درصد مقادیر ذخیره کلی آب (TSD) در استان خوزستان

بعد از مشخص شده طبقات خشک‌سالی SPI در استان خوزستان مشخص گردید سال ۲۰۰۹ شدیدترین خشک‌سالی در این منطقه اتفاق افتاد، مساحت هر یک از طبقات خشک‌سالی در این منطقه عبارت‌اند از نرمال (۲,۰۳٪)، خشک‌سالی متوسط (۲۷,۶۷٪)، خشک‌سالی شدید (۶۷,۵۶٪) و خشک‌سالی بسیار شدید (۲,۷۲٪) از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند با توجه به این شاخص و جدول (۱) مقدار ۳- مدنظر قرار گرفت همچنین با توجه به رسم نمودار در شکل (۵) نزدیک‌ترین خط به تجمعی TSD خط ۳- می‌باشد بنابراین با بررسی هر دو روش می‌توان گفت که مقدار پارامتر C برابر با ۳- می‌باشد. با مشخص شده مقدار C=-3، مقدار شیب $m=-20.996$ و عرض از مبدأ $b=-1.6464$ می‌توان مقادیر p و q را طبق رابطه (۳) محاسبه کرد. با توجه به ارقام یادشده مقادیر $P=0.07272$ و $Q=0.132495$ محاسبه گردید. با قرار دادن این اعداد در رابطه (۲) شاخص خشک‌سالی ماهانه TSDI در استان خوزستان با رابطه (15) مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

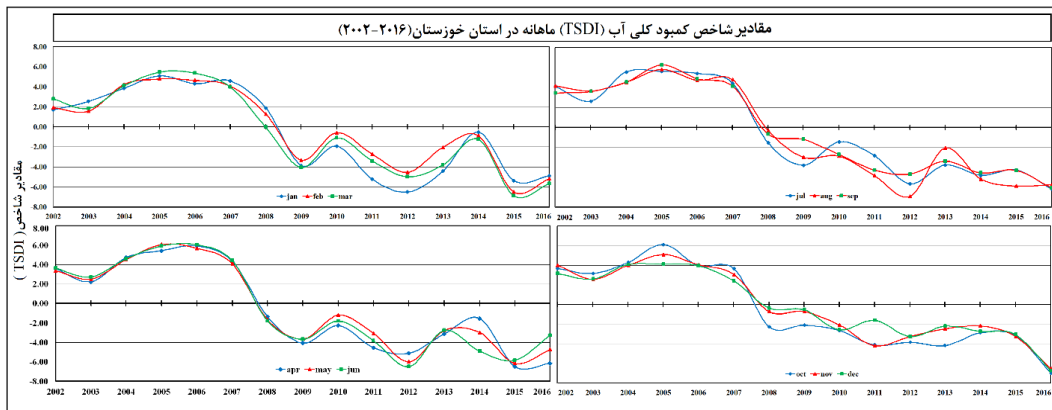
$$TSDI = 0.07272 \times TSDI_{i-1} + 0.132495 \times TSD_i \quad (15)$$

در رابطه بالا برای محاسبه TSDI ماه اول، مقدار $TSDI_0$ مورد نیاز است که مشابه مطالعات انجام شده، مقدار آن برابر است با ۲٪ از TSD_1 در نظر گرفته می شود (ناراسیمان^۱ و سرنیواسان^۲، ۲۰۰۵). با چنین رابطه ای می توان شاخص TSDI را برای کل خوزستان بر اساس ردیف چهارم جدول (۳-۴) مورد محاسبه قرار داد و مقادیر آن را در هر نقطه بررسی و نتایج را با شاخص های NDVI، EVI، DSI و SPI مقایسه نمود. مقادیر شاخص TSDI برای کل خوزستان در شکل نمایش داده شده



شکل ۵. نمودار تجمعی TSD و تقسیم فضا به ۴ قسمت مساوی

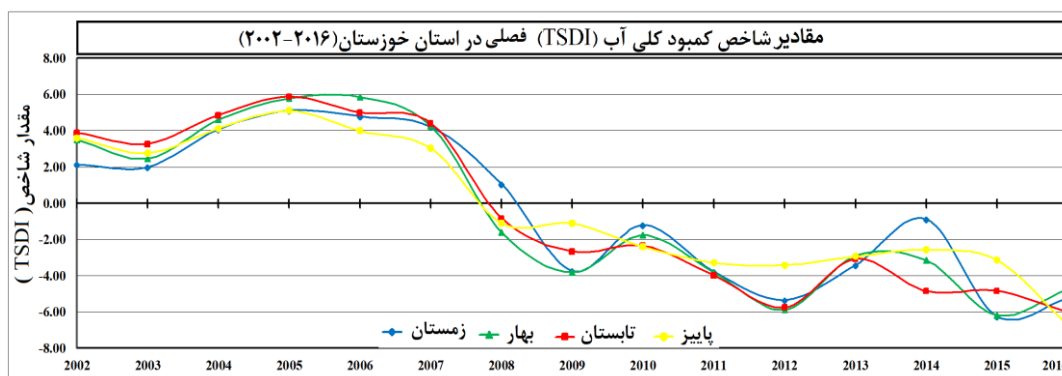
شکل (۶) مقادیر TSDI ماهانه را در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ نشان داده، با توجه به این شکل می توان گفت که در استان خوزستان شاخص TSDI در ماه های آگوست، ژانویه و آپریل که به ترتیب با مقادیر متوسط -۰٫۶۰، -۰٫۵۸ و -۰٫۵۶ در رتبه های اول تا سوم ماه های قرار دارند که شاخص خشک سالی در آن ها در کمترین مقدار خود هستند و مقدار شدیدترین ماه های در هر سال به ترتیب در ماه آگوست ۲۰۱۲ با مقدار -۶٫۹۰، ژانویه ۲۰۱۲ با مقدار -۶٫۵۱ و آپریل ۲۰۱۵ با مقدار -۶٫۸۰ که همگی در طبقه خشک سالی بسیار شدید قرار دارند. قرار گرفته اند. همچنین می توان گفت در همه ماه های سال ۲۰۰۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ دارای کمترین مقدار خود هستند.



شکل ۶. مقادیر TSDI ماهانه در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶

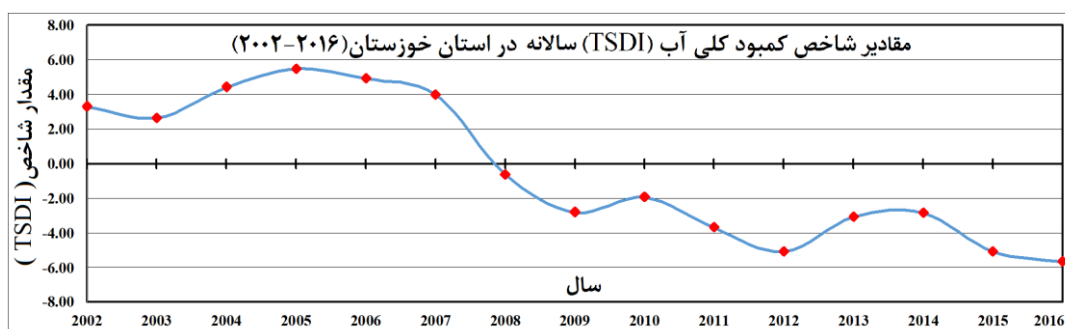
- 1 . Narasimhan
- 2 . Srinivasan

با توجه به شکل ۷ در استان خوزستان فصل زمستان دارای بیشترین تغییرات در مقدار شاخص TSDI بوده و فصل پاییز دارای شرایط مناسب‌تری نسبت به فصل‌های دیگر است. به‌طور کلی در هر چهار فصل می‌توان سه دوره خشک‌سالی را مشاهده کرد که برخی ماه‌ها شدیدتر بوده و در برخی ماه‌ها مقداری کاهش پیدا کرده با توجه به شکل فوق همه فصل‌ها شدیدترین خشک‌سالی را از نظر شدت و مدت در سال ۲۰۱۲ نشان دادند و این سال در طبقه خشک‌سالی بسیار شدید قرار دارد.



شکل ۷. مقادیر فصلی شاخص TSDI در استان خوزستان (۲۰۰۲-۲۰۱۶)

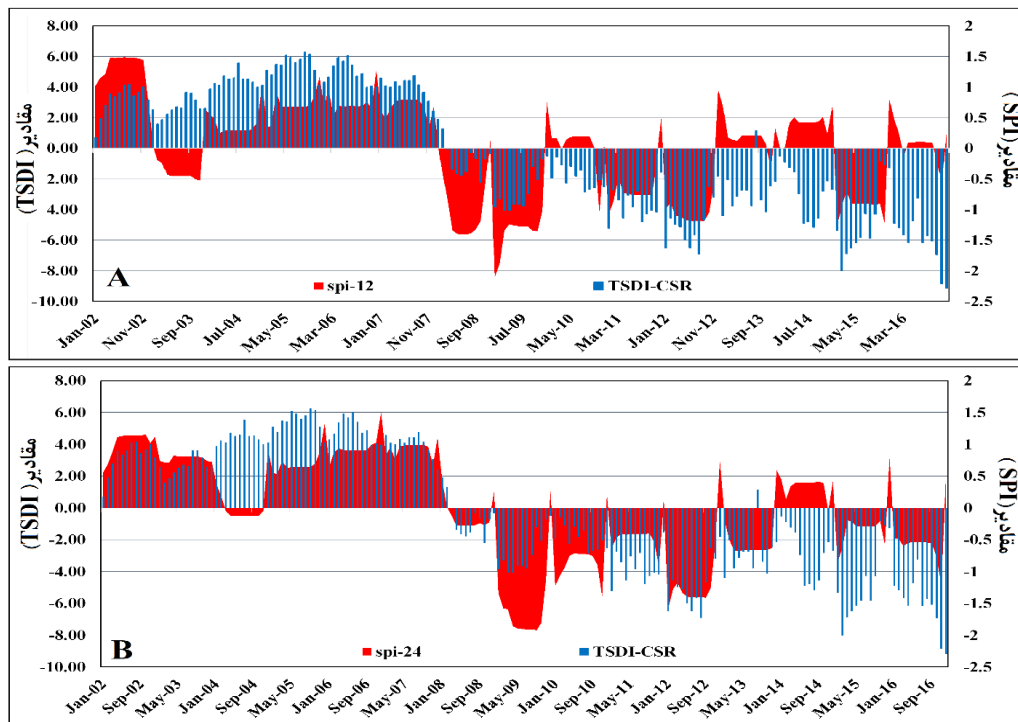
شکل ۸ مقادیر سالانه TSDI نشان داد از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ در استان خوزستان یک خشک‌سالی اتفاق افتاده که ۱۰۶ ماه به طول انجامید و با توجه به اینکه این داده تا سال ۲۰۱۶ در دسترس بودن می‌توانست بیشتر از این هم ادامه داشته باشد. خشک‌سالی در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ به ترتیب با مقادیر $-۵,۶۶$ ، $-۵,۰۹$ شدیدترین سال‌های خشک‌سالی در استان خوزستان بوده که هر دو سال با توجه به جدول (۱) در طبقه خشک‌سالی بسیار شدید قرار دارند.



شکل ۸. مقادیر شاخص کلی آب TSDI سالانه در استان خوزستان (۲۰۰۲-۲۰۱۶)

برای بررسی شاخص TSDI و SPI ضریب همبستگی این دو شاخص محاسبه شد. ضریب همبستگی بین TSDI با SPI-12 و SPI-24 به ترتیب برابر است با $۰,۵۴$ ، شکل (A-۹) و $۰,۷۳$ ، شکل (B-۹) درصد بوده که همبستگی بسیار بالای را نشان می‌دهد. با توجه به این ضرایب SPI-24 ماهه همبستگی بالاتری را با شاخص TSDI نسبت به SPI-12 ماهه دارد. این بدین معنی است که شاخص TSDI و SPI-24 در بررسی روند خشک‌سالی دارای نتایج نزدیک به هم بود و می‌توان از هر کدام از این شاخص‌ها برای بررسی روند خشک‌سالی در مناطق مرکزی و جنوبی ایران استفاده کرد با توجه به این مورد می‌توان گفت که در مواقعی که بارش‌ها در منطقه‌ای کاهش پیدا کند این امر باعث کاهش منابع آب زیرزمینی و وقوع خشک‌سالی هیدرولوژی در مناطق می‌شود که این نوع خشک‌سالی باعث وقوع خشک‌سالی کشاورزی

در یک منطقه شده و باعث کاهش بهره‌وری از زمین‌های کشاورزی و همچنین باعث می‌شود تولیدات کشاورزی در ایران کاهش پیدا کرد و برای جبران این کمبود مجبور به واردکردن محصولات کشاورزی موردنیاز می‌شویم که باعث لطمه خوردن به اقتصاد کشور و همچنین زندگی روزمره کشاورزانی که با زمین‌های کشاورزی امرارمعاش می‌کنند با خطر مواجه شده و درصد فقر را در جامعه بالا می‌برد.



شکل ۹. وضعیت خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های TSDI، SPI-6-12-24 در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ در خوزستان

نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها در جهان امروز بحث در خصوص تغییرات آب و هوایی و پیامدهای ناشی از این پدیده است. کمبود آب با تأثیر بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی منجر به کاهش عرضه آب، کاهش بازدهی کشاورزی و عامل اصلی خشک‌سالی‌ها قلمداد می‌شود. با توجه به اهمیت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در استان خوزستان در این پژوهش به بررسی تغییرات زمانی- مکانی شاخص کمبود آب TSDI در استان خوزستان پرداخت شد. برای این کار ابتدا شاخص SPI 12-24 - ماهه با استفاده از مقادیر بارش ماهانه ۱۱ ایستگاه هواشناسی برای کل منطقه در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ با استفاده از نرم‌افزار DIP محاسبه گردید. سپس برای محاسبه شاخص TSDI از داده‌های بی‌هنجاری‌های ذخیره کلی آب حاصل از ماهواره GRACE-CSR استفاده گردید. بررسی همه نقشه‌ها، جداول، و شکل‌ها منتج به یافته‌های جدیدی شده است که عبارت‌اند از:

۱- بررسی خشک‌سالی SPI-12,24 در استان خوزستان نشان داد خشک‌سالی در این استان در سال ۲۰۰۸ یا ۲۰۰۹ شروع و تا سال ۲۰۱۳ یا ۲۰۱۶ ادامه داشته، در بین تمام ایستگاه‌ها سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ شدیدترین سال‌ها از نظر خشک‌سالی بود و در اکثر ایستگاه‌ها در SPI-12,24 به‌عنوان خشک‌ترین سال‌ها در بازه‌های خشک‌سالی قرار دارد. از لحاظ شدت خشک‌سالی ایستگاه صفی‌آباد، امیدیه، اهواز و آبادان همگی با خشک‌سالی بسیار شدید، در رتبه‌های اول تا چهارم قرار دارند. ماه‌های نوامبر و ژانویه در SPI-12 و اگوست و سپتامبر در SPI-24 بیشترین تأثیرپذیری را از

خشک‌سالی بارش استاندارد داشتند بدین صورت که ۲٪ از مساحت منطقه در وضعیت نرمال، ۲۷٪ در وضعیت خشک‌سالی متوسط، ۶۸٪ وضعیت خشک‌سالی شدید و ۳٪ در وضعیت خشک‌سالی بسیار شدید قرار دارند یعنی بخش اعظم استان خوزستان را خشک‌سالی شدید و بسیار شدید در بر گرفته است. (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۸) به پایش خشک‌سالی با استفاده از شاخص هواشناسی SPI پرداخته‌اند که نتایج همانند پژوهش حاضر نشان دادبخش اعظم منطقه در طبقه خشک‌سالی خیلی شدید و شدید قرار گرفته است. به‌طور کلی شاخص SPI نشان داد سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ شدیدترین خشک‌سالی‌ها در استان اتفاق افتاد است و همچنین نتایج نشان‌دهنده تمایل بیشتر به وقوع خشک‌سالی نسبت به ترسالی در دوره مورد مطالعه است. (مزیدی و همکاران ۱۴۰۰) به بررسی خشک‌سالی و ترسالی ایستگاه هواشناسی اصفهان با استفاده از شاخص SPI پرداخته‌اند، که مشخص گردید استان اصفهان رویدادهای خشک‌سالی بیشتری در مقایسه با ترسالی تجربه کرده است و اقلیم آن تمایل بیشتری برای گذر از حالت نرمال به حالت خشک داشته است.

۲- بررسی وضعیت کمبود آب در استان خوزستان نشان داد در استان خوزستان ماه‌های آگوست، ژانویه و آپریل بیشترین تأثیر را از کمبود آب پذیرفته‌اند و در این بین ماه آگوست با مقدار ۶٫۸۹- خشک‌ترین ماه در کل دوره آماری مورد مطالعه شناخته شد که این مقدار با توجه به طبقه‌بندی شاخص TSDI در طبقه بسیار شدید قرار دارد. از نظر فصلی فصل زمستان نیز با توجه به اینکه در این فصل مقدار آب‌های زیرزمینی تقویت می‌شود مقدار آن به صورت سینوسی تغییر می‌کند و گاهی در وضعیت متوسط و گاهی در طبقه بسیار شدید قرار می‌گیرد. در بین فصل‌ها، فصل پاییز کمترین تغییرات را نسبت به بقیه فصل داشته و در طبقه متوسط تا شدید قرار گرفته است. با توجه به مقادیر سالانه شاخص TSDI شروع کمبود آب در سال ۲۰۰۸ و پایان آن سال ۲۰۱۶ بوده که در این بین سه دوره خشک اتفاق افتاده که سال ۲۰۱۲ با مقدار ۵٫۶۶- در طبقه بسیار شدید قرار دارد (حسینی موغاری و همکاران، ۱۳۹۸) به بررسی کارایی مشاهدات ماهواره (GRACE) در پایش خشک‌سالی در حوضه مرکزی ایران بین سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۲ پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که در دوره مورد مطالعه، شدیدترین و طولانی‌ترین خشک‌سالی در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۹ رخ داده است. (کائو، و همکاران ۲۰۱۵) به بررسی مشاهدات ماهواره GRACE برای مطالعه تغییرات ذخیره آب زیرزمینی و تشخیص خشک‌سالی شمال غربی چین با استفاده از شاخص (TSDI) در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ پرداخته‌اند. نتایج سری زمانی TSDI نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از ماه مه ۲۰۰۸ تا دسامبر ۲۰۰۹ خشک‌سالی طولانی مدت را تجربه کرده است. نتایج این تحقیقات نیز تا حدودی هم سو با تحقیق حاضر بود؛ بنابراین می‌توان چنین گفت که در استان خوزستان از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ کمبود آب منجر به بروز خشک‌سالی شده است. و هر چه از سال ۲۰۰۸ به سال ۲۰۱۶ نزدیک شویم شدیدتر می‌شود. درصد همبستگی بین شاخص‌های SPI-12 و SPI-24 با شاخص TSDI به ترتیب برابر با ۰٫۵۴ و ۰٫۷۳ است.

۳- همه شاخص‌های استفاده‌شده در این تحقیق روابط نسبتاً خوبی با هم داشته و وقوع خشک‌سالی و کمبود آب در همه شاخص نمایان شد. با توجه به این ضرایب همبستگی SPI-24 ماهه بیشترین درصد همبستگی را با شاخص TSDI نسبت به بقیه شاخص‌ها دارد. این بدین معنی است که شاخص TSDI و SPI-24 در بررسی روند خشک‌سالی و کمبود آب دارای نتایج نزدیک به هم بود و می‌توان از هر کدام از این شاخص‌ها برای بررسی روند خشک‌سالی و کمبود آب در مناطق مرکزی و جنوبی ایران استفاده کرد. با توجه به این مورد می‌توان گفت که در مواقعی که بارش‌ها در منطقه‌ای کاهش پیدا کند این امر باعث کاهش منابع آب زیرزمینی، وقوع خشک‌سالی هیدرولوژی، وقوع خشک‌سالی کشاورزی، کاهش بهره‌وری از زمین‌های کشاورزی و همچنین باعث می‌شود تولیدات کشاورزی در ایران کاهش پیدا کرد و برای جبران این کمبود ملزم به وارد کردن محصولات کشاورزی مورد نیاز می‌شویم که این امر باعث لطمه خوردن به اقتصاد

کشور می‌شود و زندگی روزمره کشاورزانی که با زمین‌های کشاورزی امرارمعاش می‌کنند با خطر مواجه شده و درصد فقر را در جامعه بالا می‌برد.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- ۱) اقتدارنژاد، م.؛ بذرافشان، ا.ا.، صادقی لاری، ع. (۱۳۹۵). ارزیابی تطبیقی شاخص‌های SPI، RDI و SDI در تحلیل مشخصه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: دشت بوم). دانش آب‌و خاک، ۲۶(۲)، ۴-۶۹.
- ۲) ثنایی نژاد سید حسین؛ انصاری، حسین؛ دآوری، کامران و مرید، سعید. (۱۳۸۲). پایش و ارزیابی شدت دوره‌های خشک مشهد در مقیاس‌های زمانی متفاوت با استفاده از شاخص استاندارد شده بارندگی SPI. علوم خاک و آب، ۱۷(۲)، ۲۰۹-۲۰۱.
- ۳) حسینی موغاری، س. م.؛ عراقی نژاد، ش. و ابراهیمی، ک. (۱۳۹۸). کاربرد مشاهدات ماهواره‌ای GRACE در پایش خشک‌سالی (مطالعه موردی: حوضه آبریز مرکزی کشور). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۱)، ۹۲-۱۰۳.
- ۴) رضایی، ح.؛ خان‌محمدی، ن.؛ منتظری، م. و بهمنش، ج. (۱۳۹۷). ارزیابی انتخاب تابع توزیع احتمالاتی مناسب در استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی SPI و RDI. دانش آب‌و خاک، ۲۸(۱)، ۲۹-۴۰.
- ۵) سلیمانی ساردو، زارعی. (۲۰۱۹). پایش خشک‌سالی با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS و مقایسه با شاخص هواشناسی SPI در دوره‌های کوتاه‌مدت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز جازموریان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۰(۲۰)، ۲۵۰-۲۶۱.
- ۶) سنگین آبادی، ح.؛ ثقفیان، ب. و دلاور، م. (۱۳۹۸). پایش و ارزیابی ویژگی‌های خشک‌سالی آب زیرزمینی در آبخوان‌های با بیلان منفی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۳)، ۰-۰.
- ۷) شکوهی، ع. (۱۳۹۱). مقایسه شاخص‌های RDI و SPI برای تحلیل خشک‌سالی کشاورزی (مطالعه موردی: قزوین و تاکستان). مهندسی آبیاری و آب ایران، ۳(۹)، ۱۲-۱۰.
- ۸) مزیدی، احمد؛ امیدوار، کمال و حسینی، سیدسلام. (۱۴۰۰) بررسی خشک‌سالی و ترسالی ایستگاه هواشناسی اصفهان با استفاده از شاخص SPI. جغرافیا و روابط انسانی، ۴(۱)، ۱۱۴-۱۲۶.
- ۹) نعمتی، ا.؛ قریشی نجف‌آبادی، س. ح.؛ جودکی، غ. و موسوی ندوشنی، س. س. (۲۰۱۹). ارزیابی شاخص‌های خشک‌سالی کشاورزی در حوزه آبریز فلات مرکزی ایران با استفاده از ماهواره گرانی‌سنجی. تحقیقات آب‌و خاک ایران، ۵۰(۲)، ۳۱۳-۳۲۷.

References

- 1) Abart, C. (2005). *Assessment of solution strategies for GRACE gravity field processing*. Institute of Navigation and Satellite Geodesy. Graz: Graz University of Technology.
- 2) Bai, J., Yuan, Y., & Di, L. (2017). Comparison between TVDI and CWSI for drought monitoring in the Guanzhong Plain, China. *Journal of Integrative Agriculture* 16(2), 389-397.
- 3) Bayissa, Y., Tadesse, T., Demisse, G., & Shiferaw, A. (2017) Evaluation of satellite-based rainfall estimates and application to monitor meteorological drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Remote Sensing* 9(7), 650-669.
- 4) Cao, Y., (2015). GRACE gravity satellite observations of terrestrial water storage changes for drought characterization in the arid land of northwestern China. *Remote Sensing* 7(1), 1021-1047.
- 5) Chen, X., (2018). Drought and Flood Monitoring of the Liao River Basin in Northeast China

- Using Extended GRACE Data. *Remote Sensing* 10(8), 11-68.
- 6) eghtedarnezhad, M., Bazrafshan, A. A., & Sadeghi Lari, A. (2016). Comparative evaluation of SPI, RDI and SDI indices in meteorological and hydrological drought characteristics analysis (Case study: Bam plain). *Soil Science*, 26 (4.2), 69-81.
 - 7) Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N., & Widhalm, M. (2011). The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4), 485-488.
 - 8) Hosseini Moghari, S. M., Iraqi Nejad, Sh., & Ebrahimi, K. (2019). Application of GRACE satellite observations in drought monitoring (Case study: Central catchment). *Iranian Water Resources Research*, 15(1), 92-103.
 - 9) Kao, S.C., & Govindaraju, R. S. (2010). A copula-based joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology*, 380(1-2), 121-134.
 - 10) Leblanc, M., Tregoning, P., Ramillien, G., Tweed, S., & Fakes, A. (2009). Basin-scale, integrated observations of the early 21st century multiyear drought in southeast Australia. *Water Resource Research*, 45(4), 1-12.
 - 11) Mazidi, A., Ahmad, Omidvar, Kamal, Malek Ahmadi, Hosseini, Seyed Salam. (2021). Drought and wet season study of Isfahan meteorological station using SPI index. *Geography and Human Relations*, 4 (1), 114-126.
 - 12) McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*.
 - 13) Nemati, A., Qureshi Najafabadi, S. H., Judaki, G., & Mousavi Nadushni, S. s. (2019). Evaluation of agricultural drought characteristics in the catchment area of the Central Plateau of Iran using gravimetric satellites. *Iranian Soil and Water Research*, 50 (2), 313-327.
 - 14) Nie, N., Zhang, W., Chen, H., and Guo, H. (2017). A Global Hydrological Drought Index Dataset Based on Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Data. *Water Resources Management*, 32(4), 1275-1290.
 - 15) Ramillien, G., Famiglietti, J. & Wahr, J. (2008). Detection of continental hydrology and glaciology signals from GRACE: A review. *Surveys in Geophysics*, 29(4-5), 361-374.
 - 16) Reager, J.T. & Famiglietti J. (2009). Global terrestrial water storage capacity and flood potential using GRACE. *Geophysics Research Letters* 36(23), 1-12.
 - 17) Rezaei, H., Khan Mohammadi, N., Montazeri, M., Behmanesh, J. (2018). Evaluation of selecting the appropriate probabilistic distribution function in the use of SPI and RDI drought indices. *Soil Knowledge*, 28 (1), 29-40.
 - 18) Rodell, M., Chen, J., Kato, H., S. Famiglietti, J., Nigro, J., & R. Wilson, C. (2007). Estimating groundwater storage changes in the Mississippi river basin (USA) using GRACE. *Hydrology*, 11, 159-166.
 - 19) Sakumura, C., Bettadpur, S., & Bruinsma, S. (2014). Ensemble prediction and intercomparison analysis of GRACE time-variable gravity field models. *Geophysical Research Letters* 41(5):1389-1397.
 - 20) Sanaeinejad S. H., Ansari, H., Davari, K., & Murid, S. (2003). Monitoring and evaluation of the intensity of Mashhad dry periods at different time scales using the standardized SPI rainfall index. *Soil and water sciences*, 17 (2), 201-209.
 - 21) Sanginabadi, H., Saghafian, B., Delavar, M. (2019). Monitoring and evaluation of groundwater drought characteristics in aquifers with negative balance. *Iran Water Resources Research*, 15 (3), 0-0.
 - 22) Save, H., Bettadpur, S., & Tapley, B.D. (2016). High-resolution CSR GRACE RL05 mascons. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 121(10),75477569.

- 23) Shokohi, A. (2012). Comparison of RDI and SPI indices for agricultural drought analysis (Case study: Qazvin and Takestan). *Irrigation and Water Engineering of Iran*, 3 (9), 1-12.
- 24) Soleimani Sardo, Z. (2019). Drought monitoring using MODIS sensor data and comparison with SPI meteorological index in short periods (Case study: Jazmourian watershed). *Watershed Management Research Journal*, 10 (20), 250-261
- 25) Wilhite, D. A., Svoboda, M. D., & Hayes, M. J. (2007). Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water resources management*, 21(5), 763-774.
- 26) Yirdaw, S. Z., Snelgrove, K.R. & Agboma, C. O. (2008). GRACE satellite observations of terrestrial moisture changes for drought characterization in the Canadian Prairie. *Journal of Hydrology*, 356(1-2), 84-92.