Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 49, No. 1, Spring 2026, p. 111-131

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Temporal and Spatial Monitoring and Evaluation of Meteorological and Agricultural Drought in Hormozgan Province Using Remote Sensing

H. Siasar[1*] and M. Heydarzadeh [2]

1- Corresponding Author, Asistant Professor of Department of Agircultural, Payame Noor University, Tehran, Iran.. (Hadisiasar@pnu.ac.ir).*
2- Assistant professor, Department of water engineering, Faculty of Agriculture, Minab higher Education center, University of Hormozgan.Iran

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 05 June 2024
Revised: 04 January 2025
Accepted: 26 January 2025
Available online: 05 May 2026

Keywords:
Drought, Google Earth Engine, Remote Sensing, Satellite Indices, Hormozgan Province.

TO CITE THIS ARTICLE:

Siasar, H., Heydarzadeh, M. 2026. 'Temporal and Spatial Monitoring and Evaluation of Meteorological and Agricultural Drought in Hormozgan Province Using Remote Sensing', *Irrigation Sciences and Engineering*, 49(1), pp. 111-131. doi: 10.22055/jise.2025.45302.2100.

Abstract

Drought has intensified in arid and semi-arid regions in recent decades, posing serious challenges to water resources and agriculture. This study assessed agricultural and meteorological drought in Hormozgan Province using Google Earth Engine and MODIS-derived indices from 2000 to 2022. NDVI, VCI, VHI, and SVI were used for agricultural drought, while TCI, PDSI, SPI, and PCI were applied for meteorological drought assessment. The results showed significant trends in VCI and VHI, as well as in PDSI and SPI, across the studied stations. Jask and Hajiabad stations exhibited significant positive trends at the 99% confidence level for VCI, VHI, PDSI, and SPI, while Minab showed similar trends for VHI, PDSI, and SPI. The findings indicated that much of the province is affected by severe to very severe drought. Overall, the combined use of satellite-based and ground-based meteorological indices provides an effective approach for monitoring drought, although index performance depends on local climatic, topographic, vegetation, and soil conditions.

Introduction

Drought is a natural hazard with the profound environmental, economic, and social repercussions, particularly in arid and semi-arid regions. Hormozgan Province, characterized by its predominantly dry and semi-arid climate, has experienced an intensification of drought conditions in recent decades. Effective monitoring and assessment of drought in this region are indispensable for the reduction of disaster risk, strategic agricultural planning, and informed water resource management. Conventional ground-based drought indices, while valuable, often suffer from limited spatial coverage, underscoring the need for complementary methods. Remote sensing technologies, particularly satellite-derived indices, offer a robust solution by providing extensive spatial and temporal data . This study utilized the capabilities of Google Earth Engine (GEE) platform to evaluate drought conditions across Hormozgan Province. By integrating meteorological and agricultural drought indices derived from

MODIS sensor data with observational data from synoptic ground stations, the research aimed to enhance the accuracy and comprehensiveness of drought assessments. This approach bridged the gap between ground-based and remote sensing methodologies, enabling a more holistic understanding of drought dynamics in the region.

Methodology

This study used Google Earth Engine (GEE) platform, and MODIS satellite data to analyze key drought indices. The agricultural drought indices considered included Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Vegetation Condition Index (VCI), Vegetation Health Index (VHI), and Standardized Vegetation Index (SVI). For meteorological drought analysis, indices such as the Temperature Condition Index (TCI), Palmer Drought Severity Index (PDSI), Standardized Precipitation Index (SPI), and Precipitation Condition Index (PCI) were utilized. These indices were calculated on monthly, seasonal, and annual scales for the period spanning 2000 to 2022, using the MOD11A1 and MOD13A1 data products (Zou, et al 2020; Wei et al., 2021). To complement satellite-derived data, ground-based SPI data from six synoptic stations in Hormozgan Province were collected. The dataset was thoroughly processed to achieve consistency and handle any missing data. Principal Component Analysis (PCA) was used to determine the best temporal scales for the Modified Standardized Precipitation Index (MSPI) at each station (Qaisrani et al., 2022). The analyses were conducted using a suite of advanced tools, including ArcGIS, ENVI, XLSTAT, and RStudio, ensuring a robust and comprehensive geospatial and statistical evaluation of drought conditions.

Results and Discussion

This study investigated drought variability in Hormozgan Province, focusing key synoptic stations over the period 2000 to 2022. The results highlight notable wet and dry phases, with severe drought conditions observed in years such as 2006 and 2010, contrasted by wetter periods in 2009 and 2019. Principal Component Analysis (PCA) identified critical temporal windows for monitoring drought sensitivity at each station, revealing pronounced seasonal and monthly variability. Spatial analyses demonstrated extensive severe drought conditions from 2000 to 2018, with some signs of recovery in recent years. The integration of the Standardized Precipitation Index (SPI) with vegetation and meteorological indices proved effective in capturing both drought patterns and vegetation health across the region.

Conclusions

Drought presents significant environmental challenges, both in the short and long term, particularly in arid and semi-arid regions. This study underscored the efficacy of Google Earth Engine platform combined with meteorological and agricultural indices for monitoring spatial and temporal drought dynamics in Hormozgan Province over the period 2000 to 2022. The PCA and Modified Standardized Precipitation Index (MSPI) effectively showed critical drought trends across various synoptic stations, emphasizing the severe drought conditions that often coincide with warmer months. Agricultural indices, such as the Vegetation Condition Index (VCI) and Vegetation Health Index (VHI), alongside meteorological indicators, such as the Palmer Drought Severity Index (PDSI) and SPI, provided a comprehensive framework for drought assessment. These results underscore the importance of comprehensive drought mitigation strategies that consider the effects on agriculture, water resources, and natural ecosystems in Hormozgan Province. The study demonstrated the value of combining satellite-derived indices with ground-based data to enhance drought monitoring and inform effective risk management strategies.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Data Availability Statements

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Authors' Contributions

First Author: Hadi Siasar, Data analysis.
Second Author: Maryam Heydarzadeh, Results review and manuscript writing.

Acknowledgment

The authors extend their sincere appreciation to the Hormozgan Province Meteorological Organization for generously providing the essential data and statistical information that greatly contributed to the completion of this research.

References

1- Qaisrani, Z. N., Nuthammachot, N., Techato, K., Asadullah, Jatoi, G. H., Mahmood, B. and Ahmed, R., 2022. Drought variability assessment using standardized precipitation index, reconnaissance drought index and precipitation deciles across Balochistan, Pakistan. *Brazilian journal of biology - Revista brasleira de biologia*, *84*, e261001. https://doi.org/10.1590/1519-6984.261001.

2- Wei, W., Zhang, J., Zhou, L., Xie, B., Zhou, J. and Li, C., 2021. Comparative evaluation of drought indices for monitoring drought based on remote sensing data. *Environmental science and pollution research international*, *28*(16), 20408–20425. https://doi.org/10.1007/s11356-020-12120-0.

3- Zou, L., Cao, S. and Sanchez-Azofeifa, A., 2020. Evaluating the utility of various drought indices to monitor meteorological drought in Tropical Dry Forests. *International journal of biometeorology*, *64*(4), 701–711. https://doi.org/10.1007/s00484-019-01858-z.

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۹، شماره‌ی ۱، بهار ۱۴۰۵، مقاله پژوهشی، ص. ۱۳۱-۱۱۱

پایش و ارزیابی زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی و کشاورزی استان هرمزگان با استفاده سنجش از دور

هادی سیاسر[۱*] و مریم حیدرزاده[۲]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران hadisiasar@pnu.ac.ir

۲ - استادیار، گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۷ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵

چکیده

خشکسالی معضلی طبیعی است که در دهه‌های اخیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک شدت یافته است. این مطالعه به تحلیل شاخص‌های خشکسالی کشاورزی و هواشناسی با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین و ارزیابی همبستگی آن‌ها با شاخص‌های داده‌های ایستگاه‌های زمینی در استان هرمزگان می‌پردازد. شاخص‌هایNDVI، VCI، VHIو SVI برای خشکسالی کشاورزی، شاخص‌هایTCI، PDSI، SPI و PCI برای خشکسالی هواشناسی از سنجنده MODIS در بازه زمانی ۱۳۷۸-۱۴۰۰ محاسبه شدند. نتایج نشان داد شاخص‌های VCI و VHI برای خشکسالی کشاورزی و PDSI و SPI برای خشکسالی هواشناسی در تمام ایستگاه‌ها دارای روند معنی‌داری هستند. مثبت بودن روند معنی‌داری می‌تواند به‌دلیل وجود محصولات کشاورزی صیفی و سبزیجات استان خارج از فصل است. به‌طوری که از اوایل مهرماه آغاز و تا اواسط اردیبهشت‌ماه در نقاط مختلف انجام می‌گردد. با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه، اکثر بارش‌ها در فصول سرد ریزش می‌کنند. ایستگاه‌های جاسک و حاجی‌آباد با شاخص‌هایVCI، VHI، PDSI و SPI در بازه‌های زمانی منتخب MSPI روند معنی‌داری مثبت در سطح ۹۹ درصد داشتند. ایستگاه میناب نیز با شاخص‌هایVHI، PDSI و SPI روند معنی‌داری مثبت در سطح ۹۹ درصد نشان داد. بررسی نتایج نشان داد بخش اعظم منطقه در گستره خشکسالی شدید و بسیار شدید قرار دارد، که هشداری جدی برای استان محسوب می‌شود. شاخص‌های ماهواره‌ای در کنار شاخص‌های هواشناسی زمین‌مبنا می‌توانند روند خشکسالی را به‌طور مؤثری پایش کنند، اما هیچ یک از این شاخص‌ها به‌طور ذاتی نسبت به دیگری ارجحیت ندارند و عملکرد آن‌ها به شرایط اقلیمی، توپوگرافی، نوع پوشش گیاهی و خاک منطقه وابسته است.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، گوگل ارث انجین، سنجش‌ازدور، شاخص‌های ماهواره‌ای، استان هرمزگان.

مقدمه

در سال‌های اخیر، تغییرات آب وهوایی منجر به تغییرات مختلف هواشناسی در سراسر جهان شده است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند خاورمیانه، تغییر آب و هوایی شدت و مدت زمان خشکسالی هواشناسی را افزایش داده است؛ بنابراین، استفاده از روش‌های مناسب و شاخص‌های خشکسالی هواشناسی برای پیش‌بینی خشکسالی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت ضروری است (Lotfirad et al, 2022). ایران در کمربند فشار زیاد گرمسیری یا عرض جغرافیایی اسبی و در آب و هوای خشک و نیمه خشک به دور از منابع رطوبت قرار دارد. ابرهای باران زا هنگام ورود به ایران بخش بزرگی از رطوبت خود را از دست داده اند و نمی‌توانند بارندگی در ایران مرکزی و شرقی را القا کنند (Adib et al. 2021). خشکسالی بخشی از ماهیت آب و هوای مختلف است که گهگاه در یک منطقه یا مناطق رخ می‌دهد. بنابراین، اگرچه این یک پدیده طبیعی است، اما بسیاری از عواقب و خسارت بیش از گذشته است.

برای پایش و ارزیابی خشکسالی عموماً از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود. مشکل اصلی در پایش و تحلیل خشکسالی استفاده از شاخص‌های مناسب است. شاخص‌های خشکسالی در دو دسته محاسبه می شود: شاخص‌های خشکسالی براساس مشاهدات هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی براساس مشاهدات از راه دور (Feng et al, 2109). شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر زمین براساس متغیرهای هواشناسی با اندازه‌گیری زمین، مانند بارش و دما محاسبه می‌شود Rhee et al (2010)، که امکان نظارت دقیق بر شرایط خشکسالی در اطراف ایستگاه‌های آب و هوایی را فراهم می‌کند. خشکسالی‌ها معمولاً به سه نوع اساسی یعنی خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و خشکسالی کشاورزی دسته‌بندی می‌شوند. خشکسالی هواشناسی مهم‌ترین و اصلی‌ترین نوع خشکسالی است که زمانی رخ می‌دهد که میزان بارندگی در یک دوره کمتر از یک آستانه باشد (Deniz et al, 2011). در صورت تداوم خشکسالی هواشناسی منجر به خشکسالی هیدرولوژیکی می‌شود (Farajzadeh and Ahmadian, 2014). نتیجه کاهش منابع آبی، کاهش آب‌های زیرزمینی و رودخانه‌ها و خشک شدن قنات‌ها در یک دوره معین است. خشکسالی کشاورزی ناشی از کاهش رطوبت خاک در طول فصل رشد گیاهان است (Sepulcre-Canto et al, 2012). در مناطق با داده‌های محدود، شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر ایستگاه برای بیان شرایط خشکسالی مناسب نیستند (Dehkordi et al,

2105). زمانی که در دسترس بودن داده‌های میدانی محدود است، سنجش از راه دور می‌تواند به‌عنوان منبع معتبر اطلاعات مورد استفاده قرار گیرد. اجرای محاسبات شاخص‌ها در بستر GEE به کاربران امکان بازیابی سریع داده‌ها را می‌دهد و به آن‌ها اجازه می‌دهد تا نتایج به‌روز را به لطف به‌روز رسانی مداوم داده‌های سری زمانی سنجش از دور و محاسبات بسیار سریع مبتنی بر ابر ارائه شده توسط GEE اجرا شود. در دسترس بودن اطلاعات به‌روز برای حمایت از مدیریت اضطراری بسیار مهم است: شاخص‌ها را می‌توان به‌طور منظم (به‌عنوان مثال، هر دو هفته) محاسبه نمود (Gorelick et al, 2017).

در سال ۱۹۹۹، آژانس فضایی ایالات متحده (ناسا) حسگر MODIS را پرتاب کرد. از آن زمان، محصولات آن به‌طور گسترده‌ای برای نظارت بر تغییرات پوشش گیاهی و ارزیابی خشکسالی و سایر خطرات طبیعی، مانند سیل یا آتش سوزی استفاده شده است (Qu et al, 2019). علاوه بر شاخص‌های TCI و VCI، برای تشخیص مؤثر خشکسالی، باید بارش را نیز در نظر گرفت. Du et al (2013) شاخص وضعیت بارش (PCI) را تعریف کرد که نشانگر شرایط بارندگی در یک سال خاص است. Han et al (2019) مطالعه‌ای را با هدف ارزیابی خشکسالی با استفاده از چندین منبع اندازه‌گیری سنجش از دور در چین انجام داد. آن‌ها در این تحقیق رابطه بین PCI، TCI و VCI را برای محاسبه خشکسالی پیدا کردند. مطالعه دیگری در چین توسط Pei et al (2018) با هدف پایش سلامت گیاه با استفاده از شاخص‌های TCI، VCI و شاخص سلامت گیاهی (VHI) اشاره نمودند که ارتباط بین این شاخص‌ها در مناطق مختلف متفاوت است. Merabti et al (2023) اقدام به بررسی رفتار شاخص‌های SPI و RDI در مقیاس‌های زمانی نه ماهه با PDSI و MedPDSI براساس ۱۲۳ ایستگاه بارش و داده‌های PET شبکه‌بندی شده، نمودند. به‌منظور تعیین شاخص‌های اصلی الگوهای مکانی و زمانی خشکسالی‌ها از تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) استفاده شد. همه شاخص‌های خشکسالی روند کاهش فراوانی و شدت خشکسالی‌ها را در زیر منطقه شمالی، و روند شدت خشکسالی‌ها را در منطقه جنوبی، که اقلیم عمدتاً خشک و نیمه‌خشک است، نشان داد. عمدتاً در هنگام استفاده از شاخص‌های PDSI و MedPDSI فقط چند مورد از نظر آماری معنی‌دار بودند که شامل زیر حوضه‌های جنوبی هستند. در پژوهشی به‌منظور پهنه‌بندی خشکسالی نیمه‌جنوبی استان گلستان از شاخص خشکسالی SPI و روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. برای این منظور از داده‌های بارندگی ماهانه ۱۶ ایستگاه هواشناسی با پراکنش مناسب در منطقه طی یک دوره ۴۳ ساله استفاده نمودند. شاخص بارش استاندارد، برای هر یک از ایستگاه‌های منتخب در دو مقیاس سه و ۱۲ ماهه محاسبه شد. تجزیه مؤلفه‌های اصلی مربوط به داده‌های SPI برای پهنه‌بندی خشکسالی انجام شد. نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی این شاخص در مقیاس سه ماهه و دوازده ماهه نشان داد که تعداد شش عامل ویژه بزرگتر از یک برای مقیاس سه ماهه و هفت عامل ویژه برای مقیاس دوازده ماهه وجود دارد که بیش از ۵۸ و ۷۲ درصد از واریانس کل را در مجموع برای شاخص سه و ۱۲ ماهه توجیه می‌کند (Amiri et al, 2019). Hao و AghaKouchak (2013) در پژوهش خود با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص رطوبت خاک (SSI) یک شاخص ترکیبی چند متغیره به نام شاخص خشکسالی استاندارد شده چند متغیره (MSDI) ایجاد کردند. به عبارت دیگر MDSI ترکیبی از شاخص خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی برای توصیف ویژگی‌های کلی خشکسالی است. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی یک مدل منطقی برای ترکیب چند شاخص احتمالی است. Bazrafshan et al (2015) در تحقیقی دیگر به مقایسه شاخصMSPI و شاخص JDI در بازه زمانی یک تا ۱۲ ماهه در دوره آماری ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۰ در ۴۲ ایستگاه در مناطق مختلف ایران پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص MSPI نسبت به شاخص JDIبرای پایش خشکسالی بهتر است. Dehban et al (2015) شاخص چند متغیره MRDI (Modified Reconnaissance Index Drought) خشکسالی اصلاح شده را بر پایه شاخص خشکسالی RDI (Reconnaissance Drought Index) در پنجره‌های زمانی سه تا ۲۴ ماهه با استفاده از روش PCA در هفت ایستگاه تبخیرسنجی حوضه گرگان‌رود ارائه و نتایج آن را با شاخص MSPI مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین شاخص‌های چند متغیره MRDI و MSPI در ایستگاه‌های مورد بررسی وجود ندارد. ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک، با بحران‌های روزافزون آب روبه‌رو است که ناشی از رشد جمعیت، افزایش دما و کاهش بارش‌ها است. Taheri Dehkordi et al (2022) تأکید می‌کنند که تغییر الگوهای بارش به‌طور نزدیکی با تغییرات بلندمدت در سطح مناطق آبی مرتبط است و چالش‌های کمبود آب و خشکسالی را تشدید می‌کند. یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی منابع آب در ایران، بارش سالانه محدود و دسترسی به آب و افزایش روند خشکسالی های مختلف است (Nahavandi and Ahmadian, 2019). میانگین بارش کشور ۲۴۰ میلی‌متر در سال است، که تقریباً یک‌سوم متوسط جهانی و نیمی از متوسط نرخ در آسیا است. بارش محدود و منابع آب از یک طرف، گسترش فعالیت‌های کشاورزی از سوی دیگر، و گسترش خشکسالی‌ها می‌تواند پایداری ژئوپلیتیکی اکثر حوضه‌ها در ایران را به خطر بیندازد. با این حال، اطلاعات محدودی درباره استفاده از آب و وضعیت کنونی آب در برخی از حوضه‌ها، به ویژه در جنوب کشور وجود دارد. (Abbaszadeh et al, 2023؛ Rafiei Sardooi et al, 2023). خشکسالی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی، خسارات گسترده‌ای را بر بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک وارد می‌کند. یکی از چالش‌های اصلی در

DOI: 10.22055/jise.2025.45302.2100

مدیریت خشکسالی، عدم دسترسی به داده‌های به‌روز و دقیق برای پایش این پدیده است. استفاده از شاخص‌های سنتی و روش‌های مبتنی بر ایستگاه‌های هواشناسی در بسیاری از موارد کافی نیست و نیاز به ترکیب این شاخص‌ها با داده‌های سنجش از دور لازم است. این امر می‌تواند به درک بهتری از ویژگی‌های مکانی و زمانی خشکسالی کمک کرده و زمینه را برای توسعه استراتژی‌های مؤثرتر در مدیریت خشکسالی فراهم کند (Moreno-de-Las-Heras et al., 2023). هدف از ایم پژوهش ۱) محاسبه، تجزیه و تحلیل منطقه‌ای شاخص‌های خشکسالی کشاورزی و هواشناسی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سامانه گوگل ارث انجین، ۲) محاسبه شاخص خشکسالی SPI توسط داده‌های ایستگاه‌های زمینی، ۳) تعیین بازه منتخب براساس شاخص خشکسالی MSPI هر یک از ایستگاه‌ها با استفاده از روش چند متغیره تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، ۴) ارزیابی میزان همبستگی و روند یابی MSPI با شاخص‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای در سطح استان هرمزگان طی سال‌های ۱۳۷۸-۱۴۰۰ (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲) است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

استان هرمزگان بین طول جغرافیایی ´۲۴ °۲۵ تا ´ ۵۷ °۲۸ عرض شمالی و ´۴۱ °۵۳ تا ´۱۵ °۵۹ طول شرقی در جنوب ایران و در سواحل شمال خلیج‌فارس قرار دارد. مساحت کل استان ۶۸۴۰۰ کیلومترمربع و آب‌وهوای آن عمدتاً خشک و نیمه‌خشک است. از عوامل مهم اقلیمی در ناحیه ساحلی و جزایر استان بالابودن دما و درصد رطوبت نسبی، طولانی‌بودن دوره خشکی و بارندگی با شدت بالا است (Gholampoor et al, 2009). میزان بارندگی در ناحیه استپی و ساحلی به تقریب به‌طور متوسط در حدود ۱۵۰ میلی‌متر است. حداکثر مطلق دما تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد است. به‌طورکلی نزولات جوی منطقه در فصل زمستان نازل می‌شود و در فصل تابستان به‌تناوب هر چند سال دارای نزولات تابستانی است. از ویژگی‌های رژیم بارندگی منطقه، شدت بالا و مقدار کم و تعداد روزهای با بارش کم است (Heydarzadeh, 2023). نقشه استان هرمزگان و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موردمطالعه در شکل (۱) نشان‌داده‌شده است.

روش تحقیق

به‌منظور بررسی میزان تأثیر خشکسالی در استان هرمزگان، شاخص‌های خشکسالی کشاورزی (NDVI، VCI، VHI، SVI) و هواشناسی (TCI، PDSI، SPI، PCI) با استفاده از توابع‌نویسی و تصاویر ماهواره‌ای در سامانه گوگل ارث انجین برای بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۰ به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شدند. داده‌های طیفی و حرارتی سنجنده MODIS از سایت ناسا (ladsweb) جمع‌آوری شدند. شاخص‌های TCI و NDVI با تفکیک مکانی یک کیلومتر و ۵۰۰ متر و تفکیک زمانی هشت روزه و ۱۶ روزه از محصولات 1A11MOD و 1A13 MOD برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ انتخاب شدند تا سری‌های زمانی مورد نیاز ایجاد شود. داده‌های مربوط به محاسبه شاخص SPI از شش ایستگاه سینوپتیک در استان هرمزگان طی بازه زمانی ۲۲ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲) از سازمان هواشناسی کشور دریافت و پس از انجام آزمون‌های آماری همگنی و داده‌های پرت، بازسازی مقادیر ناقص و مفقودی با افزونه XLSTAT در نرم‌افزار اکسل انجام شد. شاخص‌های مختلف به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شدند. داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی منتخب نیز برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی استفاده شدند. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در جدول (۱) آمده است. به‌منظور تحلیل داده‌های گسترده و تعیین شاخص‌های مؤثر در بازه‌های زمانی مختلف، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. این روش به کاهش داده‌ها و شناسایی الگوهای مشابه خشکسالی کمک کرد. تمامی تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.8، ENVI 5.3، افزونه XLSTAT در اکسل و RStudio برای برنامه‌نویسی و تحلیل‌های آماری انجام شدند. شاخص وضعیت بارش (PCI) نیز برای تشخیص مؤثر خشکسالی، براساس طبقه‌بندی‌های بارندگی مختلف طبق مطالعه. Du et al (2013) و Oliver (1980) محاسبه شد.

شاخص‌های خشکسالی

برای تشخیص مؤثر خشکسالی در استان هرمزگان، شاخص‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفتند. شاخص وضعیت بارش (PCI) که توسط Du et al (2013) معرفی شده، نشانگر شرایط بارندگی سالانه است. این شاخص از صفر تا یک متغیر بوده و در صورت خشکسالی شدید، PCI نزدیک به صفر و در شرایط سیلابی، PCI نزدیک به یک است. طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف بارش طبق Oliver (1980) انجام شده است. شاخص خشکسالی هواشناسی پالمر (PDSI) نیز بر اساس بیلان آبی و ترکیبی از بارندگی، ذخیره رطوبتی و نیاز رطوبتی محاسبه می‌شود و مقادیر آن شدت دوره‌های خشک را نشان می‌دهند (Yang et al, 2018). در جدول (۲) طبقات مختلف خشکسالی براساس شاخص‌های مختلف آمده است.

شاخص‌های کشاورزی

شاخص کشاورزی NDVI به‌عنوان یکی از رایج‌ترین شاخص‌های تعیین تراکم پوشش گیاهی با استفاده از تفاوت انعکاس طیف مادون‌قرمز نزدیک و طیف قرمز محاسبه می‌شود (Khalili et al، 2021). مقادیر NDVI بین ۱- تا ۱+ متغیر است و بیان‌گر تراکم پوشش گیاهی است. شاخص وضعیت دمایی (TCI) نیز با فرض وقوع خشکسالی و کاهش رطوبت خاک و ایجاد تنش‌های گرمایی در سطح زمین محاسبه می‌شود (Du et al, 2013). مقادیر TCI بین صفر و یک متغیر است، به‌طوری‌که در شرایط خشکسالی مقدار آن به صفر نزدیک و در شرایط ترسالی مقدار آن به یک نزدیک می‌شود (Moisa et al, 2022).

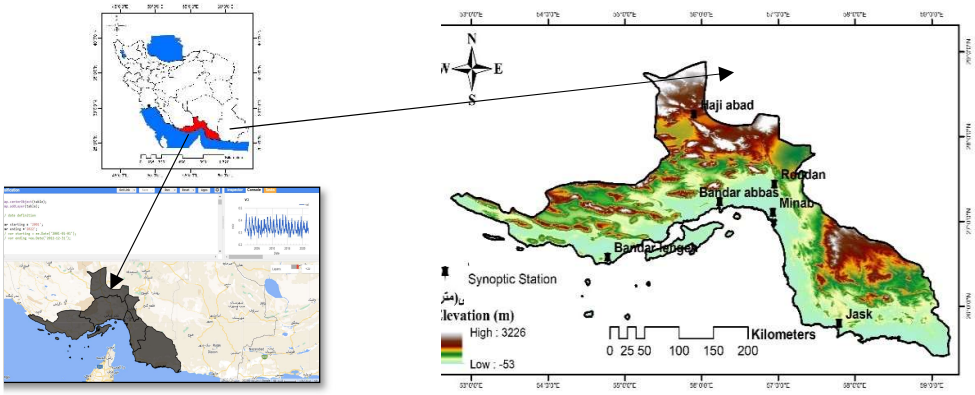


Fig. 1-A view of the location of Hormozgan province in Iran and the synoptic stations

شکل ۱-نمایی از موقعیت استان هرمزگان در ایران و ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی

جدول ۱- ایستگاه‌های سینوپتیک موردمطالعه و مشخصات جغرافیایی آن‌ها

Table1- The studied synoptic stations and their geographic features

Row	Station Name	Latitude		Longitude		Height above sea level (meters)
		Degree	Minutes	Degree	Minute	
1	Bandar Abbas	56	22	27	13	97
2	Bandar Lengeh	54	50	26	32	22.7
3	Haji Abad	55	91	28	31	931.2
4	Jask	57	77	25	64	5.2
5	Minab	57	01	27	11	29.6
6	Roudan	57	19	27	46	219.6

جدول ۲- طبقات شاخص‌های خشکسالی کشاورزی براساس شاخص‌های مختلف

Table 2- classes of agricultural drought indices based on different indices

Drought classes	VHI and TCI, VCI	SPI	SVI and NDVI	PDSI	Class	PCI
Extreme wet	$60 < X$	$2 < X$		$4 < X$		
Severe wet	$50 < X \leq 59.5$	$1.5 < X \leq 1.99$		$3 < X \leq 3.99$		
Moderate wet	$40 < X \leq 49.5$	$1 < X \leq 1.49$	$0.75 - 1$	$2 < X \leq 2.99$		
Mild wet				$1 < X \leq 1.99$		
Normal	$30 < X \leq 39.5$	$0.99 < X \leq -0.99$	$0.5 - 0.75$	$-0.99 < X \leq 0.99$	Unigorm	**10 < X**
Mild drought				$-1.99 < X \leq -1$		
Moderate drought	$20 < X \leq 29.5$	$-1 < X \leq -1.49$	$0.25 - 0.5$	$-2.99 < X \leq -2$	Moderate	11-15
Severe drought	$10 < X \leq 19.5$	$-1.5 < X \leq -1.99$	$0.1 - 0.25$	$-3.99 < X \leq -3$	Concentrated	16-20
Extreme drought	$X \leq 10$	≤ -2	$0 - 0.1$	≤ -4	Very Concentrated	**20 < X**

شاخص‌های ترکیبی و استاندارد

شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و شاخص وضعیت دما (TCI) که توسط Kogan (1995, a & b) معرفی شده‌اند، برای پایش و مدیریت خشکسالی استفاده می‌شوند. VCI تغییرات مکانی-زمانی پوشش سطح زمین و تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر گیاهان مختلف را توصیف می‌کند (Abdolalizadeh et al, 2020). شاخص ترکیبی VHI از ترکیب VCI و TCI برای ارزیابی خشکسالی کشاورزی استفاده می‌شود (Navabi et al, 2021). شاخص پوشش گیاهی استاندارد (SVI) نیز احتمال وقوع خشکسالی را با استاندارد کردن NDVI و استفاده از نمرات z توزیع NDVI محاسبه می‌کند.

DOI: 10.22055/jise.2025.45302.2100

تحلیل داده‌ها

در این پژوهش برای تحلیل داده‌های گسترده و تعیین شاخص‌های مؤثر در بازه‌های زمانی مختلف، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. این روش به کاهش داده‌ها و شناسایی الگوهای مشابه خشکسالی کمک کرد. تمامی تجزیه‌وتحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.8، ENVI5.3، افزونه XLSTAT در اکسل و RStudio برای برنامه‌نویسی و تحلیل‌های آماری انجام شدند. شاخص وضعیت بارش (PCI) نیز برای تشخیص مؤثر خشکسالی، بر اساس طبقه‌بندی‌های بارندگی مختلف طبق مطالعات Du et al. (2103) و Oliver (1980) محاسبه شد (Prajapati et al, 2022).

تحلیل روند (Trend analysis)

به‌منظور ارزیابی روند تغییرات سری‌های زمانی برای تعیین وجود یا وجودنداشتن خودهمبستگی به کار برده می‌شود. این آزمون به‌عنوان یک روش ناپارامتری دارای مزایایی است که سبب شده به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کار گرفته شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی کنند اشاره نمود. اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (Srivastava et al., 2014). ازاین‌رو برای تعیین همبستگی و روندیابی پس از حصول اطمینان از وجود نداشتن خودهمبستگی بین داده‌ها، به‌ترتیب از روش‌های اسپیرمن و من – کندال در نرم‌افزار SPSS ورژن۲۶ استفاده شد (Lotfrad et al, 2021).

نتایج

شاخص زمینی SPI

نتایج محاسبه شاخص SPI برای دوره‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بر اساس آمار بارندگی روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک بندرعباس، بندر لنگه، حاجی‌آباد، میناب، رودان و جاسک طی دوره آماری ۱۳۷۸-۱۴۰۰ محاسبه شد. نمودار فصل‌های بهار و پاییز برای هر ایستگاه برای مشخص نمودن دوره‌های ترسالی و خشکسالی در شکل (۲) ارائه شده است. مشاهده این نمودارها نشان می‌دهد که روند منحنی‌ها در برخی سال‌ها کاهشی، در برخی سال‌ها افزایشی و در اغلب سال‌ها تقریباً نرمال بوده است. در ایستگاه بندرعباس، ماکزیمم بارش در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۹، ۲۰۱۴، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۲ ثبت شده است که نشان‌دهنده کمترین میزان خشکسالی در این سال‌ها است. بیشترین شدت خشکسالی در این ایستگاه به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۱۰، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۱ رخ داده است. در ایستگاه بندر لنگه، ماکزیمم بارش در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ ثبت شده و بیشترین شدت خشکسالی به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۲۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۱ بوده است. در ایستگاه حاجی‌آباد، ماکزیمم بارش در سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۹، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ ثبت شده و بیشترین شدت خشکسالی به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۱ بوده است. در ایستگاه میناب، ماکزیمم بارش در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۲ ثبت شده و بیشترین شدت خشکسالی به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۱ رخ داده است.

در ایستگاه رودان، ماکزیمم بارش در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۹، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ ثبت شده و بیشترین شدت خشکسالی به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۱۶، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸ بوده است. در ایستگاه جاسک، ماکزیمم بارش در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ ثبت شده و بیشترین شدت خشکسالی به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ رخ داده است. ماکزیمم شدت خشکسالی سالانه بین ایستگاه‌های بندر لنگه، حاجی‌آباد و میناب در سال ۲۰۲۱ و بین ایستگاه‌های رودان و جاسک در سال ۲۰۱۸ مشترک بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که هر ایستگاه در دوره‌های مختلف، تجربه‌های متفاوتی از بارش و خشکسالی داشته است و تحلیل‌های فصلی و سالانه می‌توانند به شناسایی الگوهای خشکسالی و ترسالی کمک کنند.

روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) یکی از روش‌های آماری چندمتغیره است که برای تحلیل و کاهش پیچیدگی داده‌ها به‌کار می‌رود، به ویژه زمانی که با حجم زیادی از اطلاعات روبه‌رو هستیم. در این پژوهش، روش PCA بر روی ۱۷ مقیاس زمانی شامل داده‌های ماهانه (یک تا ۱۲ ماه)، فصلی (یک تا چهار فصل) و سالانه، برای هر یک از ایستگاه‌ها براساس شاخص خشکسالی SPI محاسبه شد.

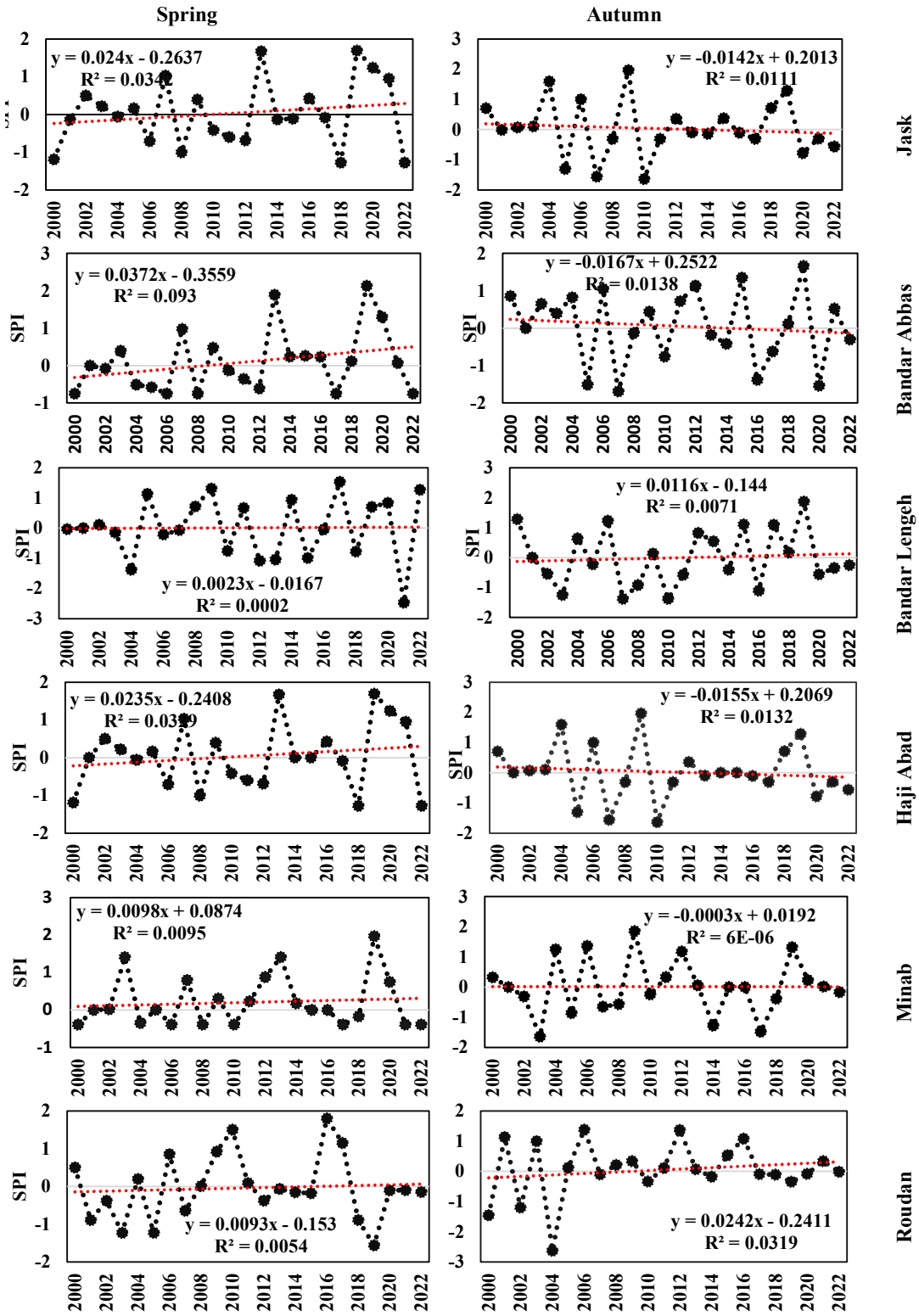


Fig. 2- Trends of Spring and Autumn SPI Index at the stations under investigation

شکل ۲- روند تغییرات فصل‌های بهار و پاییز شاخص SPI در ایستگاه‌های مورد بررسی

DOI: 10.22055/jise.2025.45302.2100

نتایج به‌دست‌آمده از این تحلیل، به تعیین بازه‌های زمانی منتخب MSPI برای هر ایستگاه انجامید. بازه‌های زمانی منتخب MSPI برای ایستگاه‌های مختلف به شرح زیر است: در ایستگاه‌های بندرعباس و بندرلنگه، ماه‌های تیر، مرداد و شهریور به‌عنوان بازه‌های زمانی منتخب تعیین شدند. برای ایستگاه حاجی‌آباد، فصل بهار، اسفند و بازه سالانه به‌عنوان دوره‌های مهم مشخص شدند. در ایستگاه جاسک، فصل زمستان، اسفند و دی‌ماه به‌عنوان بازه‌های منتخب تعیین گردیدند. در ایستگاه میناب، فروردین، بازه سالانه و فصل بهار، و در ایستگاه رودان، اسفند، بهمن و فصل بهار به‌عنوان بازه‌های زمانی منتخب شناسایی شدند. MSPI منتخب هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل (۳) آمده است.

روند معنی‌داری و همبستگی شاخص‌ها

بررسی روند معنی‌داری و همبستگی شاخص‌های خشکسالی براساس شاخص MSPI به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های مختلف، روند معنی‌داری و میزان همبستگی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و کشاورزی بررسی شد. به‌دلیل افزایش تعداد صفحات مقاله، فقط نتایج ایستگاه بندرعباس در جدول (۳) آمده است.

ایستگاه بندرعباس

در ایستگاه بندرعباس، شاخص‌های VHI و SPI در تمامی بازه‌های زمانی روند معنی‌داری نشان داده‌اند. شاخص VHI در تیر و مرداد رفتار مشابهی دارد و SPI در فصل بهار و ماه‌های آوریل، جون، جولای و آگوست روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد دارد. شاخص NDVI در مردادماه به‌جز در ژانویه، فوریه، مارچ و آوریل، روند معنی‌دار منفی نشان داده است. شاخص‌های VCI و PCI در مردادماه و زمستان روند معنی‌دار منفی داشته‌اند. شاخص TCI در تیر و مردادماه با فوریه در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد روند معنی‌دار منفی دارد. شاخص‌های SVI و PDSI هیچ همبستگی معنی‌داری با شاخص SPI ندارند. نتایج ضریب همبستگی شاخص‌های ماهوارهای و شاخص MSPI در دوره‌های زمانی مختلف ایستگاه بندرعباس در جدول (۳) آمده است.

ایستگاه بندرلنگه

در ایستگاه لنگه، شاخص VCI در زمستان و ماه‌های منتهی به آن و شاخص TCI در آگوست، روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد نشان داده‌اند. شاخص VHI در تیر و مرداد با آوریل روند معنی‌دار مثبت دارد. شاخص‌های NDVI، SVI و PCI در این ایستگاه هیچ روند معنی‌داری نداشته‌اند. شاخص PDSI نیز در اکثر بازه‌های زمانی روند معنی‌دار منفی در سطح ۹۹ درصد نشان داده است که بیان‌گر کاهش بارش و ذخیره رطوبتی در منطقه است.

ایستگاه حاجی‌آباد

در ایستگاه حاجی‌آباد، شاخص NDVI در اسفند با فصل بهار و ماه‌های آوریل و می روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۵ درصد دارد. شاخص VCI در بهار، تابستان و پاییز روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد نشان داده است. شاخص TCI در اسفند با زمستان و بهار و در بازه سالانه با زمستان و مارس دارای معنی‌داری مثبت است. شاخص VHI در اغلب بازه‌های زمانی روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد دارد. شاخص PDSI نیز در اکثر بازه‌ها روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد نشان داده است. شاخص SPI در بهار، اسفند و سالانه در زمستان و بهار روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد دارد.

ایستگاه‌های میناب، جاسک و رودان

در ایستگاه جاسک، شاخص‌های NDVI، VCI و VHI در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد دارند. شاخص PDSI نیز در این فصول روند معنی‌دار مثبت نشان می‌دهد. شاخص SPI در تمامی بازه‌ها با فصل زمستان روند معنی‌دار مثبت دارد.

در ایستگاه میناب، شاخص VCI در بازه‌های زمانی سالانه و فصول مختلف روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد دارد. شاخص TCI در برخی ماه‌ها روند معنی‌دار مثبت نشان می‌دهد. شاخص VHI نیز در بازه‌های زمانی مختلف روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد دارد. شاخص PDSI در همه بازه‌های زمانی روند معنی‌دار مثبت نشان می‌دهد. شاخص SPI در فصل زمستان و بهار و ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد دارد. در ایستگاه رودان، شاخص VCI در بازه‌های زمانی اسفند و بهمن و فصل بهار روند معنی‌دار مثبت در سطح ۹۹ درصد نشان می‌دهد. شاخص VHI در بازه‌های زمانی اسفند و بهمن با فصل زمستان و ماه‌های متناظر روند معنی‌دار مثبت دارد. شاخص PDSI در دو بازه اسفند و بهمن با فصل زمستان و ماه‌های متناظر روند معنی‌دار مثبت نشان داده است. شاخص SPI در بهمن و فصل بهار با فصل تابستان روند معنی‌دار مثبت دارد. در سایر بازه‌های زمانی، روند معنی‌داری منفی مشاهده شده است که نشان‌دهنده افزایش شدت خشکی در منطقه رودان است.

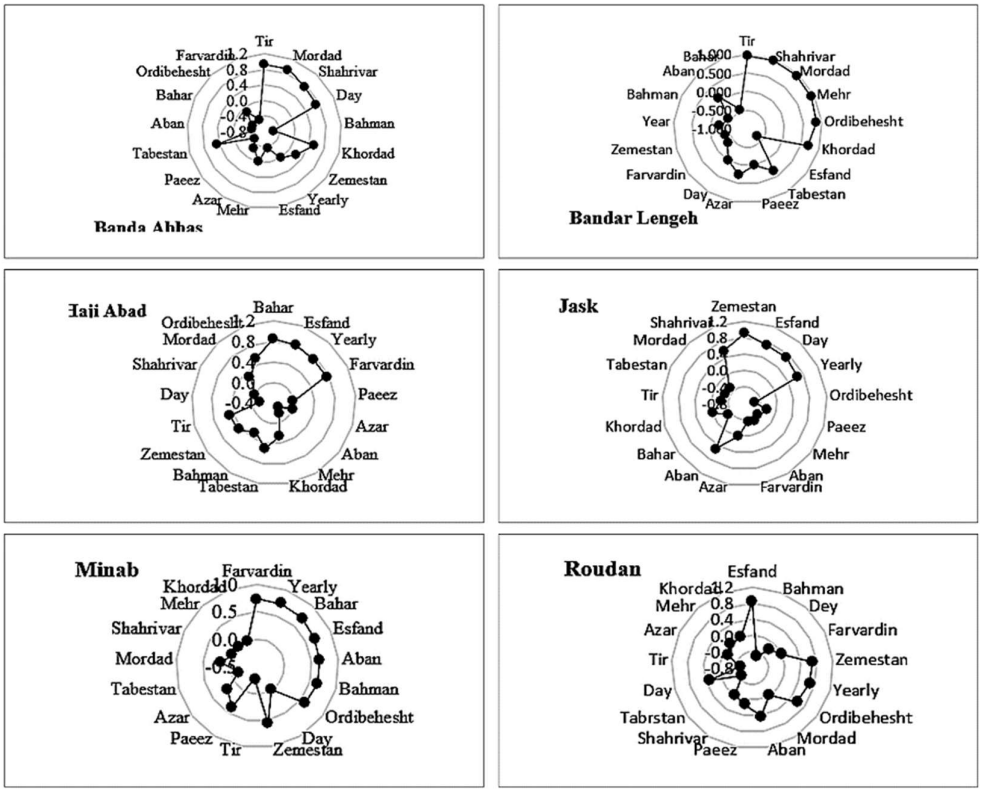


Fig. 3- Selected MSPI of each of the case study stations

شکل ۳- MSPI منتخب هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی

نتایج روند معنی‌داری بین MSPI منتخب ایستگاه بندرلنگه و بازه زمانی‌های مختلف براساس شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و کشاورزی مستخرج از سنجش از دور نشان داد شاخص NDVI و PCI هیچ رابطه‌ای نداشتند. شاخص VCI نیز در فصل زمستان و ماه‌های منتهی به این فصل نیز روند معنی‌داری مثبتی در سطح ۹۹ درصد از خود نشان داده است. این روند مثبت حاکی از شرایط مناسب پوشش گیاهی منطقه در این بازه زمانی است. شاخص TCI نیز تنها در ماه اگوست روند معنی‌داری مثبت در سطح ۹۹ درصد داشته است که بیان‌گر شدت تنش گرمایی سطح زمین در این بازه زمانی است. در فصل زمستان و ماه‌های این فصل نیز روند معنی‌داری منفی در سطح ۹۹ درصد نشان می‌دهد که نشان دهنده‌ی کاهش تأثیر تنش دمایی سطح زمین در این بازه‌های زمانی است. در سایر بازه‌های زمانی روندی نداشته است. شاخص VHI تنها در دوبازه زمانی تیر و مرداد با ماه آوریل در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری مثبت است که بیان‌گر شرایط سلامت پوشش گیاهی و کاهش تنش دمایی سطح زمین است. در سایر بازه‌های زمانی در سطح ۹۹ و ۹۵ درصد شاهد روند معنی‌داری منفی هستیم، که نشان دهنده‌ی کاهش سلامت پوشش گیاهی و افزایش تنش دمایی سطح زمین است. طبق شاخص PDSI در اکثر بازه‌های زمانی روند معنی‌داری منفی در سطح ۹۹ درصد برقرار است، این مطلب بیان‌گر کاهش بارش و ذخیره رطوبتی، و افزایش شدت اثرات دمایی در منطقه است. شاخص SPI نیز در فصل پاییز و ماه‌های جولای، آگوست، اکتبر و دسامبر در سطح ۹۹ درصد دراری روند معنی‌دارای مثبت است. شاخص‌های NDVI، SVI و PCI روندی نداشته‌اند. نتایج ایستگاه حاجی آباد نشان داد شاخص NDVI در بازه زمانی اسفند ماه با فصل بهار، ماه آوریل و می در سطح ۹۵ درصد دارای روند معنی‌داری مثبت نسبتا بالایی است. این نشان دهنده‌ی تراکم مناسب پوشش گیاهی در این بازه زمانی در منطقه حاجی آباد است. شاخص VCI نیز در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز و ماه‌های منتهی به این فصول نیز روند معنی‌داری مثبتی در سطح ۹۹ درصد از خود نشان داده است. این روند مثبت حاکی از شرایط مناسب پوشش گیاهی منطقه در این بازه زمانی است. شاخص TCI در بازه اسفندماه با فصل زمستان و بهار و ماه فوریه و مارس و در بازه‌ی سالانه با فصل زمستان و ماه مارس در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد دارای معنی‌داری مثبت است. این بیان‌گر کاهش تنش گرمایی زمین در این بازه‌ی زمانی بوده است. شاخص VHI در هر سه بازه زمانی فصل بهار، اسفندماه و سالانه در اغلب بازه‌های زمانی روند معنی‌داری مثبتی در سطح ۹۹ درصد داشته اند. که بیان‌گر تلفیقی از کاهش تنش گرمایی سطح زمین و بهبود سلامت

DOI: 10.22055/jise.2025.45302.2100

پوشش گیاهی در اغلب ماه‌ها است. البته در فصل زمستان و ماه‌های ژانویه و فوریه روند معنی‌داری منفی است که می‌تولند ناشی از کاهش سلامت و پوشش گیاهی در منطقه حاجی آباد باشد. شاخص PDSI در اکثر بازه‌های زمانی روند معنی‌داری مثبت در سطح ۹۹ درصد برقرار است. این مطلب بیان‌گر شرایط مناسب بارش و ذخیره رطوبتی، و کاهش شدت اثرات دمایی در منطقه است. شاخص PCI نیز در بازه زمانی اسفند و سالانه با فصل زمستان و بهار و ماه‌های متناظر با این فصل‌ها یعنی فوریه، آوریل و جون در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد دارای رابطه معنی‌داری مثبت است. این بیان‌گر شرایط رطوبتی مناسب در این بازه زمانی در منطقه حاجی‌آباد بوده است. شاخص SPI در هر سه بازه زمانی فصل بهار، اسفندماه و سالانه در فصول زمستان و بهار و در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل دارای روند معنی‌داری مثبتی در سطح ۹۹ درصد هستند. که بیان‌گر کاهش شدت خشکی در منطقه در این بازه از سال است. درفصل تابستان اگرچه در بازه زمانی اسفند و سالانه دارای روند معنی‌داری مثبت در سطح ۹۹ درصد است، ولی درماه‌های متناظر با آن، روند معنی‌داری منفی در همین سطح برقرار است. که نشان دهنده‌ی غلبه شدت خشکی بر منطقه در این بازه زمانی است. در فصل پاییز و ماه‌های متناظر با آن نیز به‌ترتیب شاهد روند مثبت و منفی در سطح ۹۹ درصد هستیم که نشان دهنده‌ی کاهش یا افزایش شدت خشکی در منطقه حاجی آباد است. نتایج ایستگاه جاسک نشان داد شاخص NDVI در بازه‌ی فصل زمستان با فصل تابستان و بهار، و ماه‌های مارس، آوریل و می در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری مثبت است. باتوجه به اقلیم منطقه جاسک و بارش‌های تابستانه در این منطقه می‌توان معنی‌داری مثبت تراکم پوشش پوشش گیاهی در منطقه را از این دانست. شاخص VCI و VHI در هر سه بازه زمانی در اکثر ماه‌ها دارای روند معنی‌داری مثبت در سطح ۹۹ درصد است. که بیان‌گر شرایط سلامت پوشش گیاهی و کاهش شرایط تنش دمایی سطح زمین در منطقه جاسک است. شاخص PDSI در فصول زمستان، بهار و تابستان در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری مثبت است. در ماه‌های متناظر با این فصول نیز، در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری مثبت است که بیان‌گر شرایط مناسب بارش و ذخیره رطوبتی و کاهش شدت اثرات دمایی در منطقه جاسک است. در فصل پاییز و ماه‌های متناظر با آن نیز روند معنی‌داری منفی در سطح ۹۹ درصد وجود دارد که نشان دهنده‌ی کاهش ذخیره رطوبتی و افزایش تنش گرمایی است. شاخص SPI در تمامی بازه‌ها با فصل زمستان، در بازه‌ی زمستان و دی‌ماه با فصل بهار، در بازه زمستان با فصل زمستان در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری مثبت است. در ماه‌های متناظر با هر یک از فصول نیز دارای روند معنی‌داری مثبت در سطح ۹۹ درصد است. که بیان‌گر کاهش شدت خشکی در بازه زمانی‌های ذکر شده در منطقه جاسک است.

نتایج ایستگاه میناب نشان داد شاخص VCI در بازه‌ی زمانی سالانه با فصول بهار، تابستان و پاییز و ماه‌های متناظر با آن در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری مثبت است. با توجه به وسعت باغات و اراضی کشاورزی در این منطقه در طول سال دارای پوشش گیاهی نسبتا مناسب است. شاخص TCI در بازه سالانه و بهار با فصل زمستان، و در بازه فروردین ماه با فصل بهار دارای روند معنی‌داری در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد است. همچنین در برخی ماه‌های متناظر با این فصل‌ها نیز در هر دو سطح دارای روند معنی‌داری مثبت است که بیان‌گر کاهش شدت اثرات گرمایی سطح زمین است. شاخص VHI در هر سه بازه فروردین، سالانه و بهار در هر یک از فصول و ماه‌های متناظر با آن‌ها در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری مثبت است. که بیان‌گر شرایط سلامت پوشش گیاهی و کاهش شرایط تنش دمایی سطح زمین در منطقه‌ی میناب است. در بازه‌هایی که روند معنی‌داری منفی است نشان دهنده‌ی افزایش تنش دمایی و کاهش سلامت پوشش گیاهی است. شاخص PDSI درهمه‌ی بازه‌های زمانی دارای روند معنی‌داری مثبت در سطح ۹۹ درصد است. که بیان‌گر شرایط مناسب بارش و ذخیره رطوبتی و کاهش شدت اثرات دمایی در منطقه میناب است. این منطقه یکی از قطب‌های کشاورزی و صیفی‌جات خارج از فصل در جنوب کشور است. به‌طوری که مقدمات کشت از نیمه شهریور آغار می‌گردد. معمولا دو دوره‌ی برداشت محصول وجود دارد که تا اواسط اردیبهشت ماه ادامه می‌یابد. این امر سبب فراهم بودن شرایط رطوبتی خاک، کاهش دمایی و معنی‌داری شاخص PDSI شده است. شاخص SPI در تمامی بازه‌ها در فصل زمستان و ماه‌های متناظر با آن در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری مثبت است. همچنین این شاخص در بازه‌ی فصل بهار تنها با فصل بهار و ماه آوریل دارای روند مثبت است که نشان دهنده‌ی کاهش تنش خشکی در منطقه است. در ماه‌های می، جون، جولای و دسامبر بیشتر روند منفی در سطح ۹۹ درصد برقرار است که نشان دهنده‌ی کاهش افزایش تنش خشکی در منطقه میناب است. نتایج روند معنی‌داری MSPI منتخب ایستگاه رودان با شاخص‌های مختلف نشان داد شاخص VCI در هر سه بازه زمانی اسفند و بهمن ماه و فصل بهار در اکثر مواقع سال دارای روند معنی‌داری مثبت در سطح ۹۹ درصد است. شهرستان رودان دارای باغات مرکبات فراوانی است. طبق شاخص VCI نمای کلی منطقه بیان‌گر سلامت مناسب پوشش گیاهی است. شاخص VHI در بازه زمانی اسفند و بهمن‌ماه با فصل زمستان و ماه‌های متناظر با این فصل در سطح ۹۹ درصد دراری روند معنی‌داری مثبت هستند. این نشان دهندی کاهش تنش دمایی زمین و افزایش سلامت پوشش گیاهی منطقه است. شاخص PDSI نیز در دو بازه‌ی اسفند و بهمن‌ماه با فصل زمستان و ماه‌های متناظر با این فصل دارای روند معنی‌داری مثبت در سطح ۹۹ درصد است.

Table 3- Corralation coefficient of satellite indexes and MSPI index in different time periods of Bandar Abbas station

جدول ۳- ضریب همبستگی شاخص‌های ماهواره ای و شاخص MSPI در دوره های زمانی مختلف ایستگاه بندرعباس

	TCI			SPI			PCI			PDSI			SVI			VHI			VCI			NDVI		
	Shahrivar	Mordad	Tir	Shahrivar	Mordad	Tir	Shahrivar	Mordad	Tir	Shahrivar	Mordad	Tir	Shahrivar	Mordad	Tir	Shahrivar	Mordad	Tir	Shahrivar	Mordad	Tir	Shahrivar	Mordad	Tir
win	-.26	-.14	.19	-.27**	-.24**	-.24**	-.5**	-.5**	-.51**	.03	-.01	.01	-.06	.19	.19	-.03**	.18**	.21**	.07	-.09	.3	.06	-.38*	.17
spring	.15	-.02	.05	.08**	.04**	.03**	27	.06	0.10	.02	-.07	-.06	-.17	.04	.04	-.06**	0.01	.03**	.11	-.29	.12	-.19	-.39*	-.03
summer	.03	.09	.06	-.06**	-.18**	-.14**	-.19	-.20	-0.25	.07	-.13	-.12	-.19	.01	.04	-.12**	-.02**	.011*	.14	-.37*	.8	-.19	-.44*	.17
fall	.15	-.18	-.17	-.06**	-.24**	-.23**	-.07	-.1	-0.14	0.1	-.15	-.13	-.04	-.16	-.14	-.03**	-.12**	-.09**	.13	-.56**	-.5	-.05	-.62**	.07
Jan	-.28	.11	.06	-.22**	-.28**	-.24**	-.62**	-.65**	-.66**	.05	.04	.06	.02	.23	.24	-.18**	-.02**	.01	-.08	.04	.13	.26	-.31	.17
Feb	-.21	-.43**	-.42*	-.31**	-.26**	-.26**	.06	-.03	-0.02	.02	-.05	-.04	-0.1	.23	.22	.11**	.02**	.04**	-.05	-.19	-.5	.03	-.24	.18
Mar	.07	.01	.02	-.11**	-.19**	-.22**	-.12	00	-0.04	-.04	-.05	-.04	-.19	0	-.01	.02**	.28**	.3**	.1	-.15	-.4	-.21	-.25	.06
Apr	-.19	.01	.02	.09**	.09**	.06**	.13	-.10	-0.06	.01	-.06	-.05	-.14	.04	.04	-.26**	.1**	.07**	.15	-.27	.6	-.19	-.33	-.08
May	.24	-.12	.09	-.10**	-.23**	-.25**	.13	.13	0.18	.01	-.06	-.05	-0.2	.09	.09	-.10**	-.11**	-.09**	-.04	-.27	-.2	-.10	-.40*	-.05
Jun	.27	.03	0	.09**	.11**	.12**	.24	.06	0.07	.08	-.09	-.08	-0.2	.09	.09	-0.0	-.06**	-.04**	.11	-.37*	.13	-.20	-.46**	-.06
July	.10	.17	.15	.08**	.07**	.10**	-.16	-.16	-0.17	.12	-.08	-.07	-.19	.03	.05	-.1**	.05**	.04**	.19	-.3	.5	-.27	-.36*	-.07
Age	.09	.14	.13	.44**	.21**	.24**	-.07	-.13	-0.12	.1	-.08	-.07	-.17	.04	.06	-.26**	-.01*	-.01	.06	-.41*	-.3	-.1	-.42*	.09
Sep	-.14	-.03	.02	-.19**	-.29**	-.28**	-.19	-.25	-0.29	.05	-.15	-.13	-.22	.04	.06	-.13**	-.10**	-.10**	.07	-0.23	.1	.01	-.48**	.03
Oct	.02	-.18	.15	.04**	.17**	.18**	-.02	-.10	-0.12	.02	-.2	-.19	-.16	-.06	-.03	-.03**	-.19**	-.16**	00	-.23	.6	-.28	-.36*	-.01
Nov	.18	-.15	-.16	-.06**	-.10**	-.10**	-.07	-.10	-0.15	.11	-.14	-.12	-.11	-.18	-.16	-.19**	.02**	.05**	0.2	.4*	.5	-.07	-.46**	.17
Dec	.14	-.15	-.15	.07**	.12**	.12**	.11	.11	0.1	.14	-.12	-.09	-.02	-.18	-.18	.05**	-.10**	-.07**	.07	.68**	-.1	-.1	-.52**	-.10

DOI: 10.22055/jise.2025.45302.2100

در اسفندماه و فصل بهار نیز با فصل پاییز و ماه‌های آن دارای روند معنی‌داری مثبت است. این بیان‌گر شرایط بارشی مناسب و کاهش اثرات دمایی در بازه‌ی زمانی است. شاخص SPI نیز در بازه زمانی بهمن‌ماه و فصل بهار با فصل تابستان و برخی ماه‌های آن در سطح ۹۹ درصد دارای روند معنی‌داری مثبت است. در سایر بازه‌های زمانی روند معنی‌داری منفی در همین سطح برقرار است که نشان دهنده‌ی ی افزایش شدت خشکی در منطقه رودان است.

پایش زمانی پهنه‌ی خشکسالی شاخص‌های مختلف

نتایج پایش زمانی و مکانی رخداد انواع کلاس‌های خشکسالی در محدوده استان هرمزگان براساس شاخص‌های مختلف به‌ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که براساس شاخصNDVI، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸، کلاس خشکسالی شدید ۹۸ درصد از پهنه‌ی استان هرمزگان را دربرگرفته است شکل (۴)، در حالی که کلاس خشکسالی متوسط در تمام سال‌ها کمتر از ۲ درصد بوده است. در سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ از شدت خشکسالی کاسته شده و کلاس خشکسالی متوسط به میزان کمی برقرار است. این نتایج بیان‌گر کاهش تراکم پوشش گیاهی در استان هرمزگان است. پهنه‌بندی شاخص‌های مورد بررسی در سطح استان در شکل (۵) آمده است. گستردگی زمانی و زمانی این شدت از خشکسالی بیانگر شرایط نامناسب وضعیت پوشش گیاهی و خشکسالی در این سال‌ها می‌باشد.

طبق شاخصPDSI ، در دهه‌ی اول بازه‌ی زمانی (۲۰۰۰–۲۰۱۱)، استان هرمزگان دچار خشکسالی‌های متمادی در کلاس‌های خشکسالی متوسط و شدید بوده است. در سال ۲۰۰۴، بالاترین شدت خشکسالی بسیار شدید ۳۶ درصد از مساحت استان را دربرگرفته است. در دهه‌ی دوم (۲۰۱۲–۲۰۲۲)، این روند تغییر نموده و بیشتر کلاس نرمال در منطقه برقرار بوده است. طی سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ در بیش از ۵۰ درصد مساحت استان شرایط نرمال حاکم بوده است. شاخص PDSIروند معنی‌داری مثبتی در اکثر ایستگاه‌های استان نشان داده است.

شاخص SPI تنها با دو کلاس خشکسالی بسیار شدید و شدید استان را طبقه‌بندی کرده است. طی سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹، بیش از ۵۰ درصد وسعت منطقه در کلاس خشکسالی بسیار شدید قرار گرفته است. شاخص SVIنیز نشان می‌دهد که طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۲، بیش از ۵۰ درصد وسعت منطقه تحت سیطره خشکسالی شدید بوده است. کلاس خشکسالی نرمال در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۱، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ کاهش شدت خشکی را نشان می‌دهد شکل(۴ و ۵).

شاخص TCI در تمامی سال‌ها دارای روند نسبتاً منظم و یکنواختی از کلاس‌های مختلف خشکسالی شدید، خیلی شدید و متوسط به‌ترتیب با ۳۲، ۳۱ و ۲۴ درصد بوده است. طبق شکل (۵) در دهه‌ی دوم در قسمت‌های شرق و شمال استان از شدت خشکی کاسته شده است، که این در ارتباط با ویژگی‌های توپوگرافی منطقه و عوامل خرد اقلیمی محلی است. شاخص VCI نیز نوسانات کمی داشته و تنها سه کلاس خشکسالی را در منطقه نشان می‌دهد. کلاس خشکسالی شدید در تمامی سال‌ها به‌طور متوسط ۶۳ درصد مساحت منطقه را دربرگرفته است. طبق این شاخص طی سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۷، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ از شدت خشکی کاسته شده که در شکل (۴) و (۵) به‌خوبی نمایان است.

شاخص VHI نیز بین کلاس‌های مختلف نوسان کمی داشته و به‌طور متوسط طی سالیان مختلف ۴۴ درصد مساحت استان را خشکسالی شدید دربرگرفته است، که بیان‌گر کاهش تراکم پوشش گیاهی و تنش حرارتی است (شکل ۴ و ۵). شاخص PCI معرف پراکنش بارش در منطقه است. در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵، بالاترین شدت بی‌نظمی بارش در سطح استان رخ داده است. این بی‌نظمی همراه با بارش‌های با شدت بالا و مدت کم بوده است. در سال ۲۰۰۳، بالاترین بی‌نظمی بارش و تأثیر شدت دما مشاهده شده است. شاخص‌های PDSI و SPI طی این بازه زمانی روند مشابهی داشته‌اند. سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۴ بارش شرایط یکنواخت‌تری داشته که با کاهش شدت خشکسالی همراه بوده است. شاخص SPI تنها از بارش ماهانه و شاخص PDSI از دما و تبخیر و تعرق استفاده می‌کند، که باعث می‌گردد شاخص PDSI استرس آبی ناشی از کمبود آب طبیعی را نشان دهد (Merabti et al., 2023). این تفاوت در شاخص‌ها به توضیح عدم همخوانی شدت‌های مختلف خشکسالی کمک می‌کند.

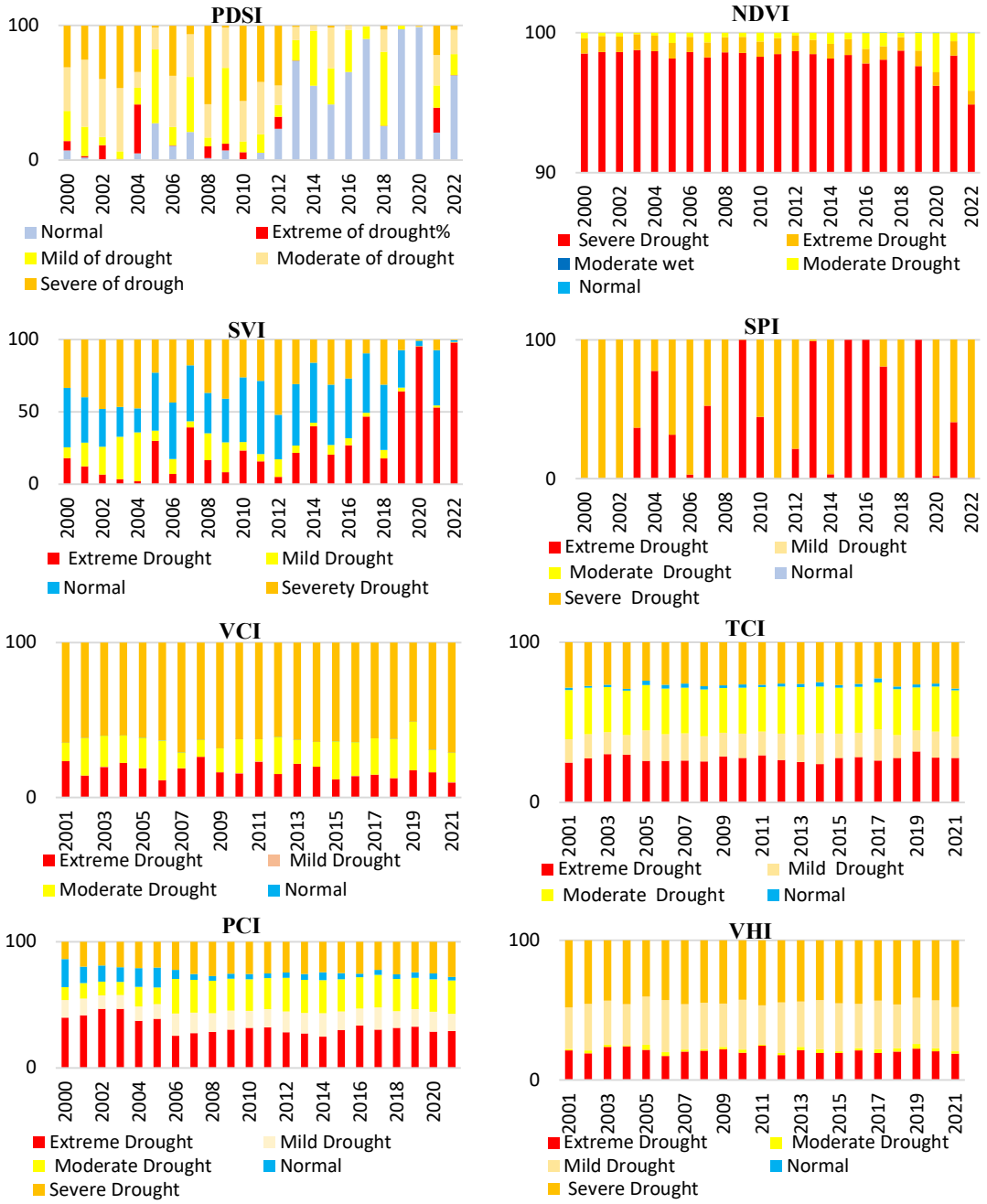


Fig 4- The percentage of occurrence of drought classes in Hormozgan province based on different indicators

شکل ٤- درصد روند رخداد انواع کلاس‌های خشکسالی در محدوده استان هرمزگان براساس شاخص‌های مختلف

DOI: 10.22055/jise.2025.45302.2100

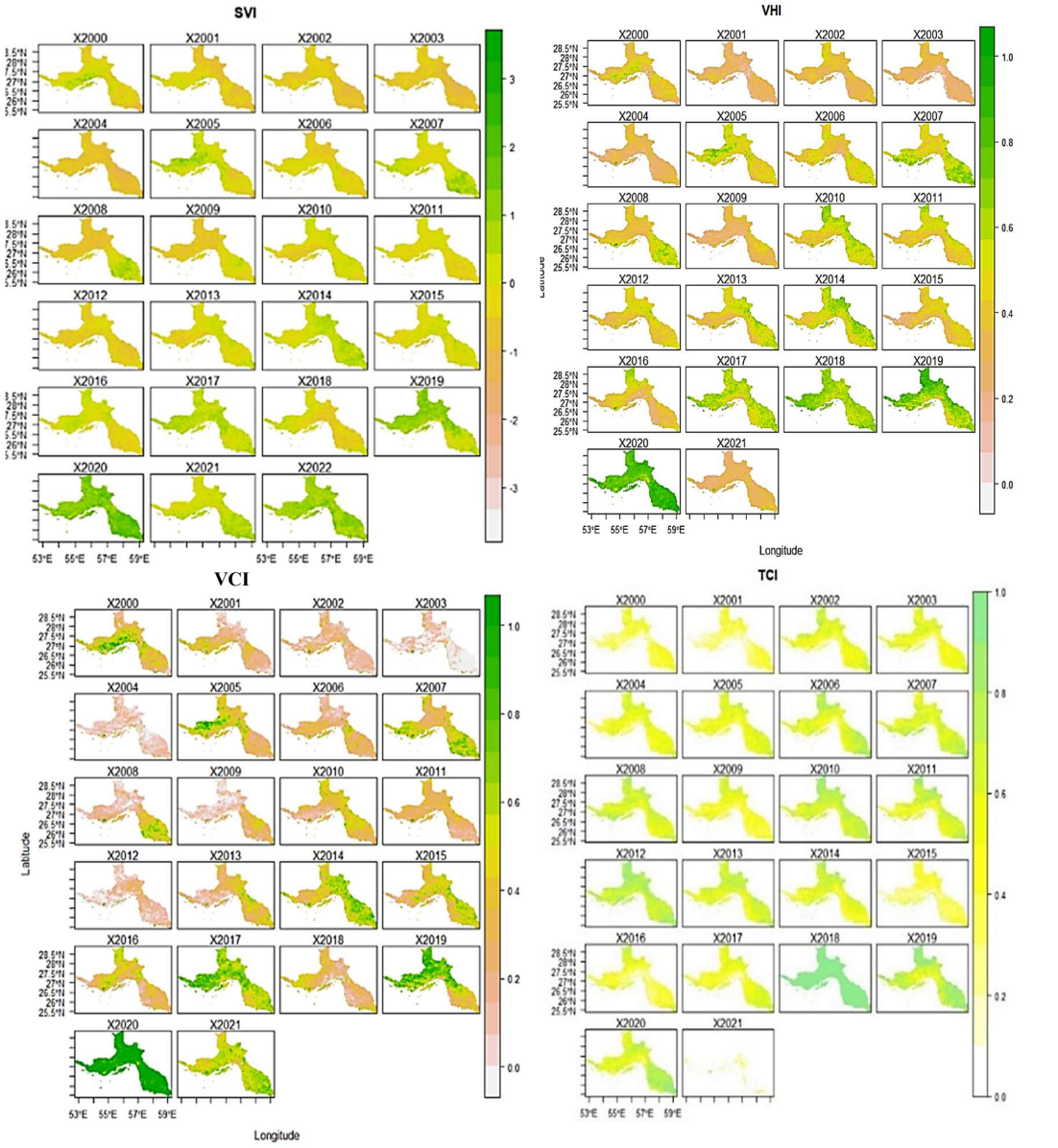


Fig 5- Spatial distribution of drought indicators at the province level during the study period
شکل ۵- پراکنش مکانی شاخص‌های خشکسالی در سطح استان طی دوره ی مورد مطالعه

بحث و نتیجه گیری

خشکسالی یک مشکل جدی است که می‌تواند پیامدهای مخرب کوتاه‌مدت و بلندمدت بر محیط داشته باشد. خشکسالی همه انواع آب‌وهوا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بااین‌حال، اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک اغلب خشکسالی‌هایی مکررتر و شدیدتر را تجربه می‌کنند. در این مقاله، یک ابزار در دسترس عموم ارائه شده است که از طریق سامانه گوگل ارث انجین و بر اساس زبان برنامه‌نویسی جاوا اسکریپت ارائه شده است و می‌تواند توزیع مکانی و زمانی خشکسالی را با شاخص‌های مختلف ارائه دهد. از این‌رو به‌منظور پهنه‌بندی زمانی و خشکسالی هواشناسی و کشاورزی از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان هرمزگان طی بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۲ استفاده شده است. از طرف دیگر با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین شاخص‌های مختلف خشکسالی هواشناسی و کشاورزی برنامه‌نویسی تهیه شد. در گام بعدی با کمک روش PCA بازه زمانی منتخب هر ایستگاه براساس شاخص خشکسالی MSPI مشخص گردید. سپس به کمک روش‌های آماری من‌کندال روند معنی‌داری هر یک از شاخص‌های به‌دست آمده از موتور گوگل ارث انجین را با بازه زمانی منتخب هر ایستگاه بررسی و مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق

به‌جای استفاده از سری‌های زمانی مختلف شاخص SPI که تعداد زیاد بازه‌های زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) آن ممکن است باعث سردرگمی گردد، از شاخص MSPI استفاده شده است (Azderi et al, 2019؛ Bazrafshan et al, 2014). این امر، علاوه بر کاهش تعداد سری‌های زمانی شاخص SPI، دربرگیرنده اطلاعات تمامی آن‌ها نیز است. بازه زمانی منتخب MSPI، ایستگاه بندرعباس تیر، مرداد و شهریورماه؛ ایستگاه بندر لنگه تیر، شهریور و مردادماه؛ ایستگاه حاجی‌آباد فصل بهار، اسفند و سالانه؛ ایستگاه جاسک فصل زمستان، اسفند و دی‌ماه؛ ایستگاه میناب فروردین، سالانه و فصل بهار؛ و ایستگاه رودان اسفند، بهمن و فصل بهار بوده است. طبق یافته‌های Bazrafshan et al, (2014) شاخص MSPI بازتاب بهتری از رویدادهای خشکسالی هواشناسی ارائه می‌دهد. نتایج روند معنی‌داری MSPI با شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در ایستگاه‌های مورد بررسی محاسبه شد. ایستگاه حاجی‌آباد در بازه زمانی منتخب با شاخص‌های VCI، VHI، PDSI و SPI دارای روند معنی‌داری مثبت است. طبق یافته‌های Paroon et al (2019)، شهرستان حاجی‌آباد دارای اقلیم حاره گرم (۲۴-۲۸ درجه سلسیوس) و خشک ضعیف (۱۷۰-۲۵۰ میلی‌متر) است و در میان ایستگاه‌ها دارای کمترین میزان دما است. اکثر بارش‌ها در فصل سرد سال ریزش می‌کند و تقریباً چهار ماه از سال خشک است. این شرایط اقلیمی سبب شده که ایستگاه حاجی‌آباد بالاترین روند معنی‌داری را با شاخص‌های ذکر شده داشته باشد. در ماه‌های جولای تا اکتبر (July تا October) طبق شاخص SPI خشکی زیادی را شاهد هستیم، این با یافته‌های Baagideh et al (2011) که شدت استرس گرمایی به‌ترتیب در ماه‌های آگوست، جولای، جون و سپتامبر بالاترین میزان است، منطبق است. شهرستان میناب دارای اقلیم حاره‌ای خیلی گرم (۱۸-۳۲ درجه سلسیوس) و خشک ضعیف (۲۵۰-۱۷۰ میلیمتر) است. طبق شاخص SPI حدود ۶-۷ ماه از سال دچار خشکسالی است که اغلب این خشکسالی در ماه‌های گرم سال است. از طرفی بارش‌های این منطقه در فصل سرد ریزش می‌کند، این با یافته‌های Paroon et al (2019) موافق است. شهرستان رودان با اقلیم حاره خیلی گرم و نیمه‌خشک (۲۵۰-۳۱۵ میلیمتر)، اغلب بارش در فصل سرد ریزش نموده و دارای شش ماه خشک است. نوسانات بارش در این ایستگاه بسیار زیاد است که منطبق با یافته‌های Paroon et al (2019) است. ازاین‌رو می‌توان باتوجه‌به مقدار بارش بالا نسبت به سایر ایستگاه‌ها دریافت که چرا شاخص‌های مختلف به‌جز VCI همبستگی خوبی ندارند. ایستگاه بندرعباس، بندر لنگه و جاسک، دارای اقلیم حاره گرم و خشک (۱۷۰-۸۰ میلی‌متر) است. کل بارش طی ماه‌های سرد ریزش نموده، به‌جز ایستگاه جاسک با هشت ماه خشک، سایر مناطق دارای هفت ماه خشک هستند. نوسانات و مقدار بارش در هر سه ایستگاه تقریباً مشابه است. مطلب قابل توجه اینکه بارش طی پنج سال اخیر در تمامی ایستگاه‌ها دارای روند سینوسی بوده است. سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ با بارش نسبتاً بالا بین تمامی ایستگاه‌ها مشترک است این منطبق با یافته‌های Taheri Qazvini و Carrion (2023) است. براساس طبقه‌بندی شاخص خشکی Köppen و Geiger (1930)، بخش وسیعی از مساحت کشور ایران خشک و نیمه‌خشک است بیشتر مناطق مرکزی و شرقی و مناطق نزدیک به خط ساحلی خلیج‌فارس را شامل می‌شود. استان‌های اصفهان و خوزستان در جنوب غرب و استان هرمزگان در جنوب کشور در این طبقه قرار دارد (Raziei، 2022؛ Taheri Qazvini and Carrion، 2023). نتایج برای ۲۲ سال در نظر گرفته شده طبق شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و داده‌ی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که خشکی شدید تا بسیار شدید همیشه یک وضعیت آب‌وهوایی غالب در منطقه است، به‌استثنای سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۱۱، ۲۰۱۴، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ این وضعیت بد از شرایط نامطلوب آب‌وهوا، بارش کم و دمای نسبتاً بالا مشهود است. این موافق با یافته‌های Taheri Qazvini و Carrion (2023) است. از طرفی براساس گزارش مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران ایران (https: //ndmo.ir/، دسترسی به ۱۴ آذر ۱۴۰۱)، از سال آبی ۲۰۲۰، میزان بارندگی در ایران در مقایسه با میانگین بلندمدت ۴۱ درصد و نسبت به مدت مشابه سال قبل ۵۳ درصد کاهش داشته است. در سال ۲۰۲۰ میزان بارندگی در استان هرمزگان ۸۶ درصد کاهش داشته است این گزارش حاکی از آن است که استان در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ بارندگی غیرمعمولی که در طول ۵۰ سال گذشته بی‌سابقه بود را تجربه کرده است. اما از سال ۲۰۲۰ به بعد، بیشتر مناطق خشکی و تنش‌های گیاهی چشم‌گیری را تجربه کردند. در نتایج تحقیق حاضر، بارندگی زیاد در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ براساس نمودارهای PCI در اکثر ایستگاه‌ها مشهود است و تحلیل‌های زمانی براساس شاخص‌های مختلف نشان می‌دهد که دماهای بالا و بارندگی کم در سال‌های آینده استان را در معرض خطر قرار خواهد داد. طبق نتایج به‌دست‌آمده رفتار دو شاخص SPI و PDSI در ایستگاه‌های مختلف متفاوت بوده است. باتوجه‌به اینکه در شاخص PDSI علاوه بر بارندگی از پارامتر درجه‌حرارت در محاسبه تبخیر و تعرق در محاسبه میزان خشکسالی استفاده می‌شود، بهتر است در مناطق خشک از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی که علاوه بر بارش مبتنی بر پارامترهای تبخیر و تعرق هستند، استفاده شود، زیرا مقادیر محاسبه برای این شاخص یک اندازه‌ی کمی واحدی را از دوره‌های خشک نشان می‌دهد. این با یافته‌های Lotfirad et al (2022) و Merabti et al، (2023) تطابق دارد. بررسی کلی نتایج معنی‌داری شاخص‌ها نشان داد از میان شاخص‌های خشکسالی به کار گرفته شده، شاخص‌های خشکسالی کشاورزی VCI و VHI شاخص‌های خشکسالی هواشناسی PDSI و SPI در تمام ایستگاه‌ها دارای روند معنی‌داری هستند. ازاین‌رو می‌توان دلیل مثبت‌بودن روند

DOI: 10.22055/jise.2025.45302.2100

معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد را این‌چنین بیان نمود که اغلب محصولات کشاورزی صیفی و سبزیجات استان خارج از فصل است. به‌طوری که عملیات آماده‌سازی زمین و کشت از اواسط شهریورماه آغاز شده و تا اواسط اردیبهشت‌ماه سال آتی در نقاط مختلف انجام می‌گردد. در هر منطقه بسته به شرایط جغرافیایی، خاک و میزان آب قابل‌دسترس طی بازه زمانی ذکر شده شروع به کشت‌ورزی می‌نمایند. همچنین با توجه به اقلیم هریک از ایستگاه‌ها و متوسط تعداد ماه‌های خشک آن‌ها، اکثر بارش‌ها در فصول سرد ریزش می‌کنند. نتایج پهنه‌ی خشکسالی نشان داد بخش اعظم منطقه موردمطالعه در گستره‌ی کلاس‌های خشکسالی شدید و بسیار شدید قرار گرفته است. این هشداری جدی و آشکار برای استان در بحث مخاطرات طبیعی است که بر فعالیت‌های کشاورزی و منابع آبی اثر مستقیم دارد. بارش‌های استان معمولاً در مدت کم و با شدت زیاد منجر به سیل‌های ویرانگری شده است. یافته‌ی شاخص‌های مختلف در بحث پوشش گیاهی، تنش دمایی سطح زمین و تغییرات پراکنش بارش حاکی از این است که در سطح استان شرایط خشکسالی شدید حاکم است. برای مدیریت بهتر و کنترل تبعات خشکسالی در استان هرمزگان، در بخش‌های مختلف متأثر از خشکسالی کشاورزی، محیط‌زیست، منابع آب سطحی و اکوسیستم‌های طبیعی، نیازمند اتخاذ استراتژی‌ها و برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت اصلاحی در راستای حفظ عوامل طبیعی، انسانی و تغییرات اقلیمی است. شاخص‌های ماهواره‌ای در کنار شاخص‌های هواشناسی زمین مبنا می‌توانند روند خشکسالی را به‌طور مؤثری پایش نمایند. شاخص‌های متعددی وجود دارد که گویای وضعیت خشکسالی در منطقه هستند، بااین‌وجود هیچ یک از این شاخص‌ها به‌طور ذاتی نسبت به دیگری، ارجحیت ندارند و نمی‌توان عملکرد آنها را در سطح منطقه‌ای دیگر تضمین نمود و تنها می‌توان گفت بعضی از این شاخص‌ها در شرایطی خاص، عملکرد بهتری دارند. نحوه عملکرد هر یک از این شاخص‌ها به اقلیم، توپوگرافی، سطح منطقه، نوع پوشش گیاهی، نوع خاک منطقه وابسته است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

نویسندگان هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده مسئول در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: هادی سیاسر: تجزیه و تحلیل داده ها

نویسنده دوم: مریم حیدرزاده: بررسی نتایج، نگارش مقاله

تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان مقاله از اداره هواشناسی استان هرمزگان بابت در اختیار قرار دادن آمار و اطلاعات مورد نیاز تقدیر به‌عمل می‌آورند.

References

1- Adib, A., Kisi, O., Khoramgah, S., Gafouri, H. R., Liaghat, A., Lotfirad, M. and Moayyeri, N., 2021. A new approach for suspended sediment load calculation based on generated flow discharge considering climate change. *Water Supply*, 21(1), 2400-2414. doi. rg/10.2166/ws.2021.069.

2- Amiri, M., Ebrahimi, M. and Aminirakan, A., 2019. Simulation of climate change effects on potato crop yield using AquaCrop plant growth model. *Irrigation and Water Engineering*, 9(3), 125-142. Doi: 10. 2125/IWE.2019.88677. (In Persian).

3- Azderi, Z., Bazarafshan, A., Bazarafshan, J., Shekari, M. and Zamani, H., 2019. Meteorological drought monitoring in Hormozgan province based on statistical and probabilistic multivariate indicators. *Dry Bom Scientific Journal*. 10(2). 1-17. Doi: 10. 9252/ARIDBIOM.2021.15258.1821. (In Persian).

4- Abdolalizadeh, Z., Ghorbani, A., Mostafazadeh, R. and Moameri, M., 2020. Rangeland canopy cover estimation using Landsat OLI data and vegetation indices in Sabalan rangelands, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *13*(6), p.245.DOI:10.1007/ s12517-020-5150-1.

5- Abbaszadeh, M., Bazrafshan, O., Mahdavi, R., Sardooi, E. R. and Jamshidi, S., 2023. Modeling Future Hydrological Characteristics Based on Land Use/Land Cover and Climate Changes Using the SWAT Model. *Water Resources Management*, *37*, 4177–4194. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:259055006.

6- Baagideh, M., Inteziri, A. and Shoja, F., 2011. Investigating the occurrence of different degrees of heat stress in the coasts of southern Iran. *Geography and Environmental Sustainability*. 2(1). 55-68. https://ges. azi.ac.ir/article_173.htm. (In Persian).

7- Bazrafshan, J., Hejabi, S. and Rahimi, J., 2014. Drought monitoring using the multivariate standardized precipitation index (MSPI). *Water Resources Management*, 28(4), 1045–1060. doi. rg/10.1007/s11269-014-0533-2.

8- Bazrafshan, J., Nadi, M. andGhorbani, K., 2015. Comparison of empirical copulabased joint deficit index (JDI) and multivariate standardized precipitation index (MSPI) for drought monitoring in Iran. *Water Resources Management*, 29(6), 2027- 2044. DOI:10. 007/s11269-015-0926-x.

9- Dehban, H., Ebrahimi, K. and Araghinejad, S., 2015. Introduction and assessment of a new drought monitoring index, mrdi – case study: gorganroud basin, iran. *Iranian Journal Of Soil and Water Research*, 46(1), 19-30. Doi: 10. 2059/IJSWR.2015.54292. (In Persian).

10- Dehkordi, R.M., Yadegari, M. and Hamedi, B., 2015. Effect of temperature, drought and salinity stresses on germination of Portulaca oleracea L., Trigonella foenum-graecium L., Borago officinalis L. and Hypericum perforatum L. *Advances in Environmental Biology*, 9(4), 148-152. Doi:. 0/1.1017/332553 610.

11- Deniz, A., Toros, H. and RnIncecik, S., 2011. Spatial Variations of Climate Indices in Turke. *International Journal of Climatology*. 31(5), 394–403. DOI: 10. 002/joc.2081.

12- Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P. and Huang, Y., 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23(8), 245–253. doi. rg/10.1016/j.jag.2012.09.010.

13- Farajzadeh, M. and Ahmadian, K., 2014. Temporal and Spatial Analysis of Drought with use of SPI Index in Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 3(4), 1–16. Doi: 10. 2111/JNEH.2014.2464. (In Persian).

14- Feng, P.Y., Wang, B., Liu, D.L and Yu, Q., 2019. Machine Learning-Based Integration of Remotely-Sensed Drought Factors Can Improve the Estimation of Agricultural Drought in South-Eastern Australia. *Agricultural Systems*, 173(4), 303–316. DOI: 10. 016/j.agsy.2019.03.015.

15- Gholampoor, M., Khosroshahi, M. and Barkhordari, J.m 2009. Determination of desert domains of Hormozgan province using geomor phological criteria. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 15(4), 485-492. https://ijrdr. reeo.ac.ir/article_104400.html ?lang=en [In Persian].

16- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment,* 202(3), 18–27. doi. rg/10.1016/j.rse.2017.06.031.

17- Han, H.; Bai, J., Yan, J., Yang, H. and Ma, G., 2019. A combined drought monitoring index based on multi-sensor remote sensing data and machine learning. *Geocarto International*, 36(3), 1-16.doi: 10.1080/10106049.2019.1633 423.

18- Hao, Z. and AghaKouchak, A., 2013. Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model. *Advances in Water Resources,* 57(7), 12-18. doi. rg/10.1016/j.advwatres.2013.03.009.

19- Heydarzadeh, M., 2023. 'Evaluation of the correlations of plant indices with atmospheric and biological variables using the Google Earth Engine', *Journal of Water and Soil Conservation*, 30(2), pp. 1-26. doi: 10.22069/jwsc.2023.20667.3584 (In Persian).

20- Khalili, R., Zali, A. and Motaghi, H., 2021. Evaluation of heavy metals in water and sediments of Haraz river, using pollution load index (PLI) and geoaccumulation index (Igeo). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(4), 933-942. doi: 10. 2059/IJSWR.2021 .316080.668850. (In Persian).

21- Kogan, F.N., 1995a. Droughts of the late 1980a in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655–668.Doi:10.1175/1520-0477(1995)076 <0655.

22- Kogan, F. N., 1995b. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11), 91–100. doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T.

23- Köppen, V. and Geiger, R., 1930. Handbuch der Klimatologie, 5 Vols.; Gerbrüder Borntraegar: Berlin, Germany, Climatology, p44.Kukunuri, A.N., Murugan, D. & Singh, D. (2022). Variance based fusion of VCI and TCI for efficient classification of agriculture drought using MODIS data. *Geocarto International*, 37(10): 2871-2892. doi. rg/10.1080/10106049.2020.1837256.

24- Lotfirad, M., Esmaeili-Gisavandani H. and Adib, A., 2022. Drought monitoring and prediction using SPI, SPEI, and random forest model in various climates of Iran. *Journal of Water and Climate Change*. 13(2), 383-406. doi: 10. 166/wcc.2021.287.

25- Lotfrad, M., Adib, A., Salehpoor, J., Ashrafzadeh, A. and Kisi, O., 2021 Simulation of the impact of climate change on runof, and drought in an arid and semiarid basin (the Hablehroud, Iran). *Applied Water Science*, 11(10):168-183. doi. rg/10.1007/s13201-021-01494-2.

26- Merabti, A., Darouich, H., Paredes, P., Meddi, M. and Pereira, L.S., 2023. Assessing Spatial Variability and Trends of Droughts in Eastern Algeria Using SPI, RDI, PDSI, and MedPDSI—A Novel Drought Index Using the FAO56 Evapotranspiration Method. *Water*, 15(4), 1-19. doi. rg/10.3390/w15040626.

27- Moisa, M.B., Merga, B.B. and Gemeda, D.O., 2022. Multiple indices-based assessment of agricultural drought: A case study in Gilgel Gibe Sub-basin, Southern Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(1), 455–464. doi. rg/10.1007/s00704-022-03962-4.

28- Moreno-de-Las-Heras, M., Bochet, E., Vicente-Serrano, S. M., Espigares, T., Molina, M. J., Monleón, V., Nicolau, J. M., Tormo, J. and García-Fayos, P., 2023. Drought conditions, aridity and forest structure control the responses of Iberian holm oak woodlands to extreme droughts: A large-scale remote-sensing exploration in eastern Spain. *The Science of the Total Environment*, 901, 165887.https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165887.

29- Navabi, N., Moghaddasi, M. and Gangi, N., 2021. Assessment of Agricultural Drought Monitoring Using Various Indices based on Ground-based and Remote Sensing Data (Case Study: Lake Urima Basin). *Watershed Engineering and Management*, 13(1): 1-12. Doi:org/10. 2092/ijwmse.2020.126860.1684. (In Persian).

30- Nahavandi, N. and Ahmadian, A., 2019. Dynamic Analysis of Water Demand; Case Study of Qom City. *Iran-Water Resources Research*, *15*(1), 372–377.

31- Oliver, J. E., 1980. Monthly Precipitation Distribution: A Comparative Index. *Professional Geographer*, 32, 300-309. http://dx.oi.org/10.1111/j.0033-0124.1980.00 300.x.

32- Pei, F., Wu, C., Liu, X., Li, X., Yang, K., Zhou, Y., Wang, K., Xu, L. and Xia, G., 2018. Monitoring the vegetation activity in China using vegetation health indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248(17), 215–227. doi. rg/10.1016/j.agrformet.2017.10.001.

33- Paroon, S., Yavari, G. and Rezazadeh, M., 2019. Climate classification of Hormozgan province using classical methods. *Geography* (Regional Planning), 8(33), pp. 115-127. doi:20.1001.1.22286462.1397.9.1.8.8 (In Persian).

34-Prajapati, V.K., Khanna, M., Singh, M., Kaur, R., Sahoo, R.N. and Singh, D.K., 2022. PCA–based composite drought index for drought assessment in Marathwada region of Maharashtra state, India. *Theoretical and Applied Climatology*. 149(4), 207–220. DOI:10.1007/ s00704-022-04044-1.

35- Qu, C., Hao, X. and Qu, J.J., 2019. Monitoring Extreme Agricultural Drought over the Horn of Africa (HOA) Using Remote Sensing Measurements. *Remote Sensing*. 11(8): 902. https://doi.org/10.3390/rs11080902

36- Raziei, T., 2022. Climate of Iran according to Köppen-Geiger, Feddema, and UNEP climate classifications. Theor. *Theoretical and Applied Climatology*, 148(3-4), 1395–1416. Doi:10.1007/s00704-022-03992-y.

37- Rhee, J., Im, J. and Carbone, G.J., 2010. Monitoring Agricultural Drought for Arid and Humid Regions Using Multi-Sensor Remote Sensing Data. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2875–2887. doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.005.

38- Rafiei Sardooi, E., Bazrafshan, O. and Jamshidi, S., 2023. Modeling the water security in a watershed using the water footprint concept and water scarcity indicators. *Water Supply*, *24*(1), 235–253. https://doi.org/10.2166/ws.2023.323

39-Sepulcre-Canto, G., Horion, S., Singleton, H., Carrao, H. and Vogt, J., 2012. Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(11), 3519–3531. doi.org/10.5194/nhess-12-3519-2012.

40- Srivastava, P., Dey, S., Agarwal, P. and Basil, G., 2014. Aerosol characteristics over Delhi national capital region: a satellite view. *International Journal of Remote Sensing*, *35*(13), pp.5036-5052.https://doi.org/10.1080/01431161 .2014.934404

41- Taheri Qazvini, A. and Carrion, D. A., 2023. Spatiotemporal Drought Analysis Application Implemented in the Google Earth Engine and Applied to Iran as a Case Study. *Remote Sensing Journal*. 2023, 15, p:26. 2218. https://doi.org/ 10.3390/rs15092218.

42- Taheri Dehkordi, A., Valadan Zoej, M. J., Ghasemi, H., Jafari, M. and Mehran, A., 2022. Monitoring Long-Term Spatiotemporal Changes in Iran Surface Waters Using Landsat Imagery. *Remote Sensing*, *14* (18). https://doi.org/10.3390/rs14184491

43- Yang, M., Xiao, W., Zhao, Y., Li, B., Wang, Y., Yang, H. and Hou, B., 2018. The applicability of A Modified Palmer Drought Severity Index on Agricultural Drought Evaluation in the North China. *MATEC Web of Conferences(International Symposium on Water System Operations (ISWSO 2018),* 246. P:1-7. https://doi.org/10.1051/matecconf /201824602002.