

Assessment of the impacts of climate change on land surface temperature and drought risk in agricultural land use in Khuzestan province

Niloofer Mohammadi¹, Zahra Hejazizadeh², Parviz Zeaiean Firouzabadi³, AliReza Karbalaee Doree⁴, Eslam Galehban⁵, Kazem Alavi Panah⁶

¹ P.h.D Student in Climatology, Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

² Professor Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

³ Professor Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

⁵ Ph.D Student in Remote Sensing, Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Geographical Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

⁶ Professor, Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Geographical Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction

Climate change is intensifying global droughts, posing severe threats to the environment, agriculture, and human livelihoods. The Earth's temperature is rising at twice the global average, driving significant changes in planetary conditions. Escalating land surface temperatures have degraded ecosystems, depleted soil quality, and reduced water availability, leading to the expansion of arid regions. These shifts stress vegetation and diminish agricultural yields, exacerbating food insecurity, particularly in developing nations. Drought and water scarcity are now prominent trends in arid and semi-arid regions. Altered precipitation patterns, influenced by climate change, disrupt rainfall quantity and distribution, further straining water resources. In countries like Iran, with predominantly dry climates, these climatic shifts are especially acute. Iran ranks among the top six nations for natural disasters, with over 83 percent of its crises tied to earthquakes, floods, and droughts. Drought, a recurring issue, inflicts significant damage on Iran's society, water, and soil resources. Khuzestan Province, a key agricultural and economic hub in southwestern Iran with rich water resources, is significantly affected by climate change. Rivers like Karun, Karkheh, and Jarahi, vital for drinking water, agriculture, and industry, are impacted by these changes. This study evaluates the impact of climate change on land surface temperature and drought risk in the agricultural regions of Khuzestan Province, aiming to address these critical challenges.

Materials and Methods

This study utilized two primary data sources to assess climate change impacts in Khuzestan Province. Climate parameters, including precipitation, radiation, and maximum/minimum temperatures, were obtained from the Abadan synoptic station (1985–2015) from the Meteorological Organization. Additionally, satellite data for 19 stations, covering temperature, radiation, and precipitation, were sourced from the ERA5 database for 1950–2025. Due to incomplete data from 21 meteorological stations, satellite data were used for the first time in this region to model and forecast temperature and precipitation. The Mann-Kendall Z-statistic test, applied at 95 and 99 percent significance levels, analyzed trends in temperature and precipitation changes. To address the low resolution of general circulation models for regional studies, the LARS-WG8 statistical model was employed for downscaling. This model used daily time series data, including precipitation (mm), maximum/minimum temperatures (C°), and radiation (MJ/m²/day), with a base period of 1985–2015, aligned with CMIP6 models. Projections were based on the CanESM5 model under the high-emission SSP5-8.5 scenario, downscaled for short-term (2021–2040) and medium-term (2031–2050) periods. Trends in modeled data were also evaluated using the Mann-Kendall test. Model performance was assessed in Excel using percentage error, correlation coefficient (R), and root mean square error (RMSE). Additionally, satellite data from Google Earth Engine were analyzed to calculate land surface

temperature (LST), normalized difference vegetation index (NDVI), standardized precipitation index (SPI), and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI).

Results and Discussion

An analysis of monthly and annual temperature trends from 1950 to 2025 across 19 stations in Khuzestan shows a significant upward trend in nearly all months. Projections using the LARS-WG8 model under the SSP585 scenario CanESM5 indicate an approximate 3 °C increase in both the near future (2021–2040) and medium-term future (2031–2050) compared to the 1985–2015 baseline. Data from the Abadan synoptic station and satellite observations confirm this warming, with satellite data predicting even hotter summers. In contrast, precipitation is projected to decline across all months in both future periods, with December and January remaining the wettest months. The 24-year NDVI record shows substantial vegetation cover fluctuations, with the lowest values in 2000, 2008, and 2009, likely linked to low rainfall and drought. A recovery has been observed since 2010, possibly reflecting improved climatic or hydrological conditions. Land surface temperature has shown a steady rise since 2010. The Standardized Precipitation Index (SPI) indicates severe droughts in 2000–2004, 2010, 2021, and 2022. The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) shows that from 1980 to 1999, conditions were generally normal with alternating mild to moderate droughts. From 2000 to 2024, mild to moderate droughts predominated, while 2008–2022 marked a shift toward severe drought conditions. According to the SPEI index, the most extreme droughts occurred in December 2010 (–2.53) and December 2021 (–2.48).

Conclusion

This study comprehensively analyzes the drought trend in Khuzestan Province from 1950 to 2025 using meteorological and remote sensing data. Initial findings show a significant increase in temperature in all months except November, along with a decrease in precipitation in the long term, which is consistent with the CanESM5 model predictions of a 3 °C increase in temperature and a decrease in precipitation. These results confirm that global warming and human activities, especially in industrial cities such as Ahvaz and Abadan, have exacerbated drought conditions. The SPI and SPEI indices show severe drought periods between 2000 and 2022, accompanied by a decrease in NDVI and adverse effects on agriculture and vegetation. These findings highlight the impact of non-precipitation factors, such as artificial irrigation, in mitigating the effects of drought. However, limitations include uncertainties in the SSP5-8.5 scenarios, reliance on data from specific weather stations, and weak correlations between SPI and NDVI. To address these issues, future research should use hybrid climate models, extend data collection to rural areas, and integrate artificial intelligence for advanced analysis. Practical recommendations include promoting drought-resistant crops, optimizing irrigation systems, and educating local communities. This study provides a basis for water resources management and climate policies, and emphasizes the urgent need for adaptive measures to cope with intensifying droughts.

Keywords: Adaptation, Climate change, Drought, Global warming, Irrigated agriculture, Model CanESM5.

Article Type: Research Article

Acknowledgement

This article is the outcome of Miss Niloofar Mohammadi's domestic PhD research opportunity at the University of Tehran. We express our gratitude to the Organization of Student Affairs and the University of Tehran for providing this opportunity and to Kharazmi University for its spiritual support.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that they have no conflict of interest regarding the publication of the contents and results of this research.



Data Availability Statement:

This in research all information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

Nilofar Mohammadi: Writing-original draft preparation, software/statistical analysis, resources, manuscript editing, methodology; **Zahra Hejazizadeh:** Editing and control of results; **Parviz Zeaiean Firouzabadi:** editing and control of results; **AliReza Karbalaee Doree:** Editing and control of results; **Eslam Galehban:** Conceptualization, methodology, statistical analyses; **Kazem Alavi Panah:** Editing and control of results.

*Corresponding Author, E-mail: Zahra Hejazizadeh, hejazizadeh@khu.ac.ir

Citation: Mohammadi, N., Hejazizadeh, Z., Zeaiean Firouzabadi, P., Karbalaee Doree, A., Galehban, E., & Alavi Panah, K. (2026). Assessment of the impacts of climate change on land surface temperature and drought risk in agricultural land use in Khuzestan province. *Water and Soil Management and Modeling*, 6(1), 164-191.

doi: 10.22098/mmws.2025.18202.1658

Received: 27 August 2025, Received in revised form: 25 September 2025, Accepted: 29 September 2025, Published online: 21 March 2026

Water and Soil Management and Modeling, Year 2026, Vol. 6, No1, pp. 164-191

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دمای سطح زمین و خطر خشکسالی در کاربری کشاورزی استان خوزستان

نیلوفر محمدی^۱، زهرا حجازی‌زاده^{۲*}، پرویز ضیاییان فیروزآبادی^۳، علیرضا گله‌بان^۴، اسلام گله‌بان^۵، کاظم علوی پناه^۶

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

^۲ استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

^۳ استاد، گروه آموزشی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

^۴ استادیار آب و هواشناسی، گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

^۵ دانشجوی دکتری سنجش از دور، گروه آموزشی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیایی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۶ استاد، گروه آموزشی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده:

تغییر اقلیم خشکسالی‌ها را شدیدتر کرده و چالشی جدی برای کشاورزی ایجاد نموده است. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دمای سطح زمین و ریسک خشکسالی در کاربری کشاورزی استان خوزستان انجام شد. داده‌های ماهواره‌ای (دمای بیشینه و کمینه، بارش و تابش) از ۱۹ ایستگاه در خوزستان از پایگاه ERA5 برای دوره ۲۰۲۵-۱۹۵۰ جمع‌آوری گردید. برای پیش‌بینی دما و بارش در دوره‌های آتی نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) و میان‌مدت (۲۰۵۰-۲۰۳۱)، از مدل CANESM5 تحت سناریوی SSP5-8.5 در مدل LARS-WG8 استفاده شد. پایش خشکسالی، پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با داده‌های MOD11A1 در Google Earth Engine تحلیل گردید. بیش‌ترین مقدار آماره (Z) برابر با ۵/۴۲ در ایستگاه آبادان، ماه (جولای) همراه با شیب تغییرات معادل ۰/۰۲۴ سانتی‌گراد در سال بود. در مقابل کم‌ترین مقدار برابر با -۰/۲۶ در ایستگاه دهدز با شیب تغییرات -۰/۰۰۲ سانتی‌گراد مشاهده شد. این امر با گرمایش جهانی، آتروسلف‌های انسانی و تغییرات کاربری اراضی در مناطق شهری سازگار است. شاخص پوشش گیاهی نوسانات قابل توجهی داشت و در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ به حداقل رسید. دمای سطح زمین از ۲۰۱۰ افزایشی بود. شاخص خشکسالی SPI نشان داد که خوزستان در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ خشکسالی‌های شدیدی را تجربه کرد. شاخص SPEI حاکی از آن است که از ۱۹۹۹ تا ۱۹۸۰، شرایط نرمال با خشکسالی‌های خفیف تا متوسط متناوب بود، اما از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴، خشکسالی‌های خفیف تا متوسط غالب شد و از ۲۰۲۲ تا ۲۰۰۸ خشکسالی‌های شدید را تجربه کرده است. شدیدترین خشکسالی‌ها طبق شاخص SPEI در دسامبر ۲۰۱۰ (-۲/۵۳) و دسامبر ۲۰۲۱ (-۲/۴۸) ثبت شد. نتایج نشان‌دهنده تشدید خشکسالی در دوره‌های آتی تحت سناریوی SSP5-8.5 و حرکت مناطق کشاورزی به سمت بیابان‌زایی است. بنابراین، تدوین برنامه‌ریزی جامع اقلیمی برای سازگاری و مدیریت منابع آب در خوزستان و بحران‌های زیست محیطی ضروری است.

کلیدواژه: تغییر اقلیم، خشکسالی، سازگاری، کشاورزی آبی، گرمایش جهانی، مدل CanESM5.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: زهرا حجازی‌زاده، hejazizadeh@khu.ac.ir

استناد: محمدی، نیلوفر، حجازی‌زاده، زهرا، ضیاییان فیروزآبادی، پرویز، کربلایی‌درئی، علیرضا، گله‌بان، اسلام، و علوی‌پناه، کاظم. (۱۴۰۵). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دمای سطح زمین و خطر خشکسالی در کاربری کشاورزی استان خوزستان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۶(۱)، ۱۶۴-۱۹۱.

doi: 10.22098/mmws.2025.18202.1658

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷، تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۵، دوره ۶، شماره ۱، صفحه ۱۶۴ تا ۱۹۱

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

مطالعات در آینده، فراوانی و وسعت خشکسالی‌های کشاورزی در سطح جهانی، به ویژه در نیمکره شمالی، روند صعودی خواهد داشت (Khadka et al., 2024). تغییر اقلیم در حال حاضر منجر به خشکسالی هواشناسی در برخی از مناطق جهان، به ویژه جنوب اروپا و غرب آفریقا شده است (Erian et al., 2021). ایران نیز در بین ۶ کشور اول دنیا و ۴ کشور اول آسیا از نظر وقوع بلایای طبیعی از جمله خشکسالی است (Guha Sapir et al., 2022). خشکسالی به صورت دوره‌ای خسارات جدی به جامعه، منابع آبی و خاک وارد می‌کند، به ویژه در فصول بارشی توجه عموم را جلب می‌نماید (Navidi Nassaj et al., 2021). ایران بین مناطق حاره و معتدله و مجاور دریاها است، کشوری که در کمربند خشک زمین قرار گرفته و حدود ۸۷ درصد آن دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک ناشی از بیابان‌های پرفشار نیمه‌گرمسیری است (Mansouri et al., 2019؛ Daneshvar et al., 2022؛ Raziei, 2022). به نظر می‌رسد که خشکی طبیعی این سرزمین، تحت تأثیر تغییرات اخیر آب و هوایی جهانی شده و به طور جدی منابع آب و تصمیمات مدیریتی را تحت تأثیر قرار داده است، این مسئله اکنون به یک چالش جهانی تبدیل شده است (Mohammadi and Hejazizadeh, 2024). در این میان استان خوزستان از این قاعده مستثنی نبوده است و با موقعیت جغرافیایی ویژه خود در جنوب غربی ایران و دارا بودن منابع غنی آب‌های سطحی و زیرزمینی نظیر رودخانه‌های کارون، کرخه و جراحی، به عنوان یکی از مناطق با اهمیت اقتصادی و کشاورزی در سطح ملی شناخته می‌شود. این استان، با نقش محوری در اقتصاد کشور به واسطه برخورداری از منابع عظیم آبی که شریان حیاتی تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت به شمار می‌روند، به شدت تحت تأثیر تغییر اقلیم واقع شده است (Mohammadi et al., 2023). خشکسالی‌های اخیر در این منطقه، ناشی از کاهش بارش توأم با افت سطح آب‌های زیرزمینی، ساخت سد گنوند و گسترش شهرنشینی در خوزستان با مدیریت ناکارآمد آب و انحراف جریان‌های طبیعی، زمین‌های کشاورزی و تالاب‌ها را کاهش داده و اراضی بایر و مناطق شهری را افزایش داده است (Zareie et al., 2025)، و این ناحیه را در وضعیت بحرانی قرار داده است این وضعیت، آسیب‌های قابل توجهی به ساختار اقتصادی آن، به ویژه بخش کشاورزی که بیش از ۹۰٪ از منابع آب زیرزمینی منطقه را به خود اختصاص می‌دهد، وارد آورده است (Motesaffeh and Hashem Geloogardi, 2022). تغییر اقلیم و خشکسالی‌های ناشی از آن، مهم‌ترین چالش کنونی و پیش‌روی کشاورزی ایران است. از آن جهت که ارتقای تاب‌آوری جامعه در مواجهه با تغییرات اقلیمی مستلزم درک کامل این پدیده و پیامدهای آن است، و شناخت جامع این موضوع اهمیت دارد (Karami, 2016).

در عصر حاضر، در بسیاری از نقاط جهان، تغییر اقلیم احتمال تشدید خشکسالی را افزایش داده است و آن را به مخاطره‌ای چالش‌برانگیز برای محیط زیست، کشاورزی و معیشت انسان تبدیل کرده است (Patel and Patel, 2024). در سال‌های اخیر، تغییرات کاربری زمین به دلیل اثرات قابل توجه گرمایش جهانی، به کانون توجه جامعه بین‌المللی تبدیل شده است. شایان ذکر است که نرخ افزایش دمای زمین، دو برابر میانگین افزایش دمای جهانی بوده و منجر به دگرگونی‌های اساسی در ویژگی‌های حیاتی کره زمین گردیده است (Kogan, 2023). به طور مشخص، افزایش شدید دمای سطح زمین سبب تخریب اکوسیستم‌ها و ساختار خاک، محدودیت در دسترسی به منابع آب، گسترش مناطق خشک (خشکسالی)، تشدید تنش‌های حرارتی و رطوبتی در پوشش گیاهی، و اثرات مخرب بر تولیدات کشاورزی و کاهش روند آن شده است (Kogan, 2023). با توجه به خشکسالی و کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، این روند هم‌چنان تداوم دارد. در این میان، کشاورزی آبی با سهم ۳۰ درصدی در تولید جهانی محصولات کشاورزی، نقشی حیاتی در تضمین امنیت غذایی ایفا می‌کند، این در حالی است که تنها ۱۷ درصد از اراضی زراعی جهان تحت پوشش آبیاری قرار دارند (Corwin, 2024). کشاورزی در برخی از کشورها به دلیل ویژگی‌های اقلیمی غالب، اساساً در معرض تغییرپذیری و نوسانات آب و هوایی قرار دارد. به ویژه در کشورهای در حال توسعه، پدیده خشکسالی به طور مستمر به عنوان یک عامل تهدیدکننده اساسی برای سیستم‌های کشاورزی مطرح می‌گردد (Ty et al., 2022). هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم خشکسالی را کمبود بارش یا برداشت بیش از حد آب می‌داند که در مناطق نیمه‌خشک شدیدتر است و پیامدهای زیست‌محیطی و کشاورزی دارد (Tran et al., 2019). کاهش میزان بارش، عامل به‌روز خشکسالی هواشناسی است؛ به همین ترتیب، کمبود رطوبت در خاک منجر به ایجاد خشکسالی کشاورزی می‌گردد؛ افت جریان‌های سطحی، پدیده خشکسالی هیدرولوژیکی را رقم می‌زند، و نزول سطح آب‌های زیرزمینی، منتج به خشکسالی آب‌های زیرزمینی می‌شود. اخیراً، مفهوم نوظهور خشکسالی اکولوژیکی نیز مطرح شده است که به عدم کفایت آب در دسترس برای حفظ پایداری اکوسیستم‌ها اشاره دارد. معمولاً، با وجود همبستگی مثبت بین انواع خشکسالی، تفاوت‌هایی در مقیاس‌های زمانی و مکانی ممکن است دیده شود (Khadka et al., 2024). Khzaei, 2025). تغییر اقلیم، شدت خشکسالی را در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر تحت تأثیر قرار می‌دهد، در حالی که فعالیت‌های انسانی، به ویژه تغییر کاربری اراضی، زمان پاسخ‌گویی به خشکسالی را در مقیاس‌های زمانی طولانی‌تر افزایش می‌دهد. طبق

اثر تغییر اقلیم بر وقوع خشکسالی در لهستان پرداختند. در این مطالعه با استفاده از شاخص (SPEI) و سناریوهای (CMIP6) هر سه خشکسالی (هیدرولوژیکی، هواشناسی و کشاورزی) مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج در دوره‌های آتی، افزایش دما تحت سناریوهای SSP3 و SSP5 افزایش خواهد یافت. در مقابل، پیش‌بینی بارش نوساناتی را نشان می‌دهد و تنها در دوره آتی دور و تحت سناریوهای SSP3 و SSP5، افزایش نسبتاً کمی پیش‌بینی شده است. یافته‌های شاخص SPEI حاکی از آن است که در آینده نزدیک، احتمال وقوع خشکسالی کاهش می‌یابد، اما در دوره آتی دور و تحت سناریوهای SSP2، SSP3 و SSP5، فراوانی آن افزایش خواهد یافت. (Ghaseminejad et al., 2014) به ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان پرداختند. نتایج شاخص خطر خشکسالی (SPI) نشان داد که مناطق مرکزی استان مستعد خشکسالی بسیار شدید، شمال و شمال شرق مستعد خشکسالی شدید و جنوب غرب مستعد خشکسالی متوسط است. نقشه آسیب‌پذیری نشان داد که غرب، جنوب و شمال استان با بیش‌ترین آسیب‌پذیری مواجه هستند و نقشه ریسک خشکسالی، شمال استان را در معرض ریسک بالای خشکسالی نشان داده است. (Talebinia et al., 2020) به بررسی اثرات خشکسالی بر ناپایداری اراضی کشاورزی دشت سگری پرداختند. در این مطالعه چهار کاربری اراضی (باغی، باغی، مرتعی و کشاورزی) به‌عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. طبق نتایج، بین نمونه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود دارد و خاک این مناطق از لحاظ اسیدیته در رده‌های خاک فقیر قرار دارد، و این مناطق به سمت بیابان‌زایی پیشرفت کرده است. (Tahmasbi et al., 2020) به بررسی تغییرات کاربری اراضی کشاورزی تحت تأثیر تغییرپذیری در شیراز (شهرستان ایج) پرداختند. این مطالعه نشان می‌دهد الگوی کشت از محصولات سالانه به کشت ترکیبی درختان و غلات تغییر کرده و تغییر کاربری اراضی تحت تأثیر عوامل طبیعی، اقتصادی و اجتماعی است. تکرار خشکسالی منابع آبیاری را مختل کرده و تغییر اقلیم شدت آن را در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش داده است. (Moghli 2023) در پژوهشی در رابطه با تحلیل مکانی خشکسالی با استفاده از تکنیک سنجش از دور در حوضه مهارلو بختگان پرداخت. نتایج در دوره مورد بررسی نشان می‌دهد، پوشش گیاهی منطقه کاهش یافته که ناشی از کاهش بارش‌های زمستانه، تغییر کاربری، و چرای بی‌رویه است و بیان‌گر وقوع خشکسالی است. شاخص موران نیز ضریب مثبت نزدیک به یک داشت که وجود الگوی خوشه‌ای خشکسالی (SPI) را نشان می‌دهد؛ مقادیر P - و Z - Value نیز این الگوی فضایی خوشه‌ای را تأیید کردند. در پژوهشی دیگر Bahramidamaneh et al. (2023) گام‌های زمانی خشکسالی و اثر تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کمی و کیفی

با توجه به اهمیت موضوع، از سالیان گذشته پژوهش‌گران زیادی با تکنیک و شیوه‌های گوناگون مطالعاتی در سطح داخل و بین‌الملل در حیطه تغییر اقلیم و خشکسالی انجام داده‌اند که در ادامه تشریح می‌شود. (Wang et al., 2021) به بررسی ویژگی‌های خشکسالی با داده‌های جهانی بر اساس مدل‌های CMIP6 پرداختند. در این مطالعه از شاخص‌های (SRI، SPEI، SPI) استفاده شده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، مدل CanEMS5 داده‌های دقیق‌تری برای بارش و تبخیر و تعرق ارائه داده است. به طور کلی، وضعیت خشکسالی‌های جهانی، به ویژه خشکسالی‌های شدید، به تدریج روند صعودی داشته و در آینده افزایش قابل توجهی خواهد داشت. (Yu et al., 2022) به مطالعه پیش‌بینی ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی در حوضه رودخانه یانگ‌تسه بر اساس CMIP6 پرداختند. طبق نتایج در افق نزدیک (۲۰۵۹-۲۰۳۰)، خشکسالی در این حوضه نسبت به دوره تاریخی (۲۰۱۰-۱۹۸۱) شدیدتر خواهد شد، به طوری که شدت آن در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه به ترتیب ۷/۴۷ درصد، ۱۸/۲۴ درصد، ۱۸/۳۴ درصد و ۴۱/۴۸ درصد افزایش می‌یابد. اما، در افق دور (۲۰۷۰-۲۰۹۹)، شدت خشکسالی در همین مقیاس‌ها نسبت به دوره تاریخی به ترتیب به ۵/۹۷ درصد، ۱۱/۸۶ درصد، ۴/۰۹- درصد و ۸/۹۷- درصد کاهش می‌یابد. مناطق با فراوانی بالای خشکسالی در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه، از نواحی بالادست و میانی و پایین‌دست در دوره تاریخی، به بخش جنوب غربی کل حوضه در آینده منتقل می‌شوند و خسارات ناشی از خشکسالی در این مناطق افزایش می‌یابد. به طور کلی، حوضه یانگ‌تسه در آینده مرطوب‌تر خواهد شد (Xu et al., 2023) به بررسی پیش‌بینی خشکسالی و عوامل اقلیمی آن با استفاده از مدل‌های CMIP6 پرداختند. در این تحقیق، جهت پیش‌بینی وضعیت خشکسالی در بازه زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۱۰۰، از مدل (CMIP6) و شاخص SPEI استفاده شده است. طبق یافته‌ها، شدت خشکسالی در بیش‌تر مناطق جهان به طور قابل توجهی افزایش داشته است (Essa et al., 2023) به بررسی ویژگی‌های خشکسالی مدیترانه ناشی از تغییر اقلیم پرداختند. در این مطالعه از مدل و سناریوهای (CMIP6) و شاخص (SPEI) در مقیاس زمانی (۳، ۶ و ۱۲) ماهه بهره گرفته شده است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۲۰۶۰ تا ۲۰۲۱، فراوانی خشکسالی بین ۱۲ تا ۲۵ درصد خواهد بود که این میزان بسته به منطقه و سناریوهای اقلیمی متغیر است. شدت خشکسالی در بازه‌های زمانی طولانی‌تر قابل توجه بوده و انتظار می‌رود اثرات بیش‌تری بر بخش‌های کشاورزی و منابع آب وارد شود. بررسی فصلی بودن خشکسالی نشان داده که خشکسالی‌های هواشناسی بیش‌تر در تابستان و خشکسالی‌های کشاورزی بیش‌تر در پاییز رخ داده است. در مطالعه‌ای دیگر (Ghazi et al., 2025)، به بررسی پیش‌بینی

و عدم قابلیت تعمیر آن‌ها به نواحی وسیع، و نیز ناتوانی مطلوب در ثبت بارش اشاره کرد. این چالش‌ها منجر به ظهور روش‌های نوین تخمین بارش مبتنی بر تکنیک‌های سنجش از دور شده است (Obarein, Barkhordarfard and Shamsoddini, 2024)؛ (and Lee., 2025). بنابراین از آنجایی که استان خوزستان دارای ۲۱ ایستگاه هواشناسی است اما برخی از این ایستگاه‌ها دارای داده‌های ناقص و فاقد دوره آماری بلند مدت مشترک بودند، بدین جهت از داده‌های ماهواره‌ای جایگزین داده‌های ایستگاهی برای اولین بار در امر مدل‌سازی و پیش‌بینی دما و بارش در این مطالعه بهره گرفته شده است. هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی و ارائه یک تحلیل جامع از الگوهای فضایی-زمانی خطر خشکسالی در سطح مناطق کشاورزی است، به‌نحوی که نتایج حاصله بتواند مبنای توسعه برنامه‌های مؤثر مدیریت ریسک خشکسالی قرار گیرد. لازم به ذکر است که در اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک، خشکسالی به‌عنوان یک تهدید پایدار برای تاب‌آوری جوامع محلی و پایداری اکوسیستم‌ها محسوب می‌گردد. از طریق به‌کارگیری توانمندی‌های سنجش از دور، این پژوهش تلاش می‌کند تا یک ارزیابی دقیق از آسیب‌پذیری کاربری‌های کشاورزی در برابر خشکسالی ارائه نموده و بدین ترتیب، اهمیت پیشرفت‌های فناورانه در پرداختن به مسائل پیچیده زیست‌محیطی را نمایان سازد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا قرار دارد. استان خوزستان از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم‌مرز است. استان‌های بوشهر در جنوب شرق، کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری در شرق لرستان و ایلام در شمال آن واقع شده‌اند. از منظر اقلیمی، استان خوزستان از دو بخش کاملاً متفاوت جلگه‌ای و کوهستانی شکل گرفته است. دارای آب و هوای گرم و از نوع نیمه‌خشک تا خشک طبقه‌بندی می‌شود (شکل ۱). تابستان‌های این منطقه با دمای بسیار بالا (میانگین بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد) و زمستان‌های آن با دمای معتدل (میانگین حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد) شناخته می‌شوند. بارش در این استان عمدتاً در فصل زمستان رخ می‌دهد و میانگین بارش سالانه آن کم‌تر از ۲۸۴ میلی‌متر است (Bahiraie et al., 2025). این میزان بارندگی

آب رودخانه پلاسجان بررسی کردند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی بر کیفیت آب اثرگذار است. در ترسالی گسترش کشاورزی موجب افزایش املاح می‌شود و در خشکسالی کاهش مراتع و افزایش اراضی شهری و بایر باعث افت کیفیت آب می‌شود. به‌طور کلی، تغییرات کاربری زمین و شرایط اقلیمی دو عامل اصلی در تغییر کمیت و کیفیت آب رودخانه پلاسجان هستند. شواهد و مطالعات موجود نشان می‌دهد که وقوع خشکسالی‌ها در طول قرن گذشته، به دلیل تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی، افزایش یافته است. انتظار می‌رود فراوانی و شدت خشکسالی در بسیاری از مناطق جهان روند صعودی داشته باشد. همان‌طور که پیشینه مطالعاتی نشان می‌دهد، پژوهش‌های اندکی به‌طور جامع به بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر خشکسالی و دگرگونی کاربری اراضی کشاورزی در ایران (خوزستان) صورت گرفته است، و این امر یک خلأ مطالعاتی بین تغییر اقلیم و خشکسالی است. با وجود پژوهش‌های متعدد در زمینه خشکسالی در ایران، بیش‌تر این مطالعات به صورت جداگانه انجام شده‌اند و ارزیابی بین تغییر اقلیم و خشکسالی به ویژه در خوزستان به ندرت بررسی شده است. این امر نشان‌دهنده یک شکاف مطالعاتی مهم است که پژوهش حاضر درصدد پر کردن آن است. خشکسالی به‌عنوان یک مخاطره طبیعی، تأثیر قابل توجهی بر اقتصاد، جوامع و محیط زیست دارد و درک دقیق ویژگی‌های خشکسالی‌های آبی در چارچوب تغییر اقلیم، جهت تدوین راهبردهای مؤثر سازگاری و کاهش پیامدهای آن امری ضروری است (Khazaei, 2025). بر اساس توافق‌نامه پاریس ۲۰۱۵ (UNFCCC)، مقابله با اثرات خشکسالی برای دستیابی به اهداف انعطاف‌پذیری و سازگاری بلندمدت ضروری است (IPCC, 2023). از این جهت، نوآوری پژوهش حاضر به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دمای سطح زمین و خطر خشکسالی در کاربری کشاورزی خوزستان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور می‌پردازد. بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای جایگزین داده‌های ایستگاه هواشناسی است. داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای به دلیل در دسترس بودن، رایگان بودن، نداشتن محدودیت مرزی همراه با وضوح مکانی در هر ساعت از شبانه روز برای جبران کمبود داده‌های ایستگاهی بسیار ارزشمند هستند (Shamsipour, 2022)؛ (Obarein and Lee., 2025)؛ (Ghaljaee et al., 2023). اگرچه اندازه‌گیری‌هایی نظیر بارش در ایستگاه‌های هواشناسی به‌عنوان یکی از دقیق‌ترین روش‌ها شناخته می‌شود، اما این رویکرد با چالش‌هایی مواجه است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به فقدان داده‌های به‌روز و طولانی‌مدت با دقت کافی، تغییرپذیری مکانی و زمانی بالای بارش، دشواری پایش در وسعت‌های زیاد، هزینه‌بر بودن ایجاد و نگهداری ایستگاه‌ها، کمبود ایستگاه در برخی مناطق (به ویژه نواحی صعب‌العبور)، ماهیت نقطه‌ای اندازه‌گیری‌ها

مساحت کشور، بیش از ۳۰ درصد از آب‌های سطحی کشور را در خود جای داده است. با وجود بهره‌مندی از منابع آبی قابل توجه ناشی از رودخانه‌های بزرگی چون کارون، کرخه و جراحی، در سال‌های اخیر با چالش کاهش حجم آب این رودخانه‌ها و افت سطح آب‌های زیرزمینی مواجه شده است. این امر، پیامدهای نامطلوبی بر بخش کشاورزی و تأمین آب شرب در این استان به همراه داشته است (Bahiraie et al., 2025).

شدت توصیه می‌کند (Serrano et al., 1999). مدل‌های گردش عمومی به دلیل وضوح نسبتاً پایین برای مطالعات منطقه‌ای و محلی مناسب نیستند. به همین دلیل، خروجی‌های این مدل‌ها باید برای استفاده در مقیاس‌های منطقه‌ای ریزمقیاس (ریزگردان) شوند. از میان روش‌های آماری ریزمقیاس مدل LARS انتخاب گردید (Rabiee et al., 2024). بنابراین جهت پیش‌بینی دما و بارش از مدل LARS-WG نسخه ۸ بر اساس داده‌های ورودی به شکل سری‌های زمانی روزانه برای مجموعه‌ای از متغیرهای اقلیمی شامل بارش (میلی‌متر)، حداکثر و حداقل دما (سانتی‌گراد) و تابش (مگاژول بر متر مربع در روز)، با دوره پایه داده‌های دمای بیشینه و کمینه، تابش و بارش مطابق در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۵ میلادی تعریف شده است که با دوره تاریخی مدل‌های CMIP6 هم‌خوانی دارد، می‌باشد (Asadi and Sanai-Nejad., 2025). طبق پیش‌بینی‌کننده‌های مدل CanESM5 بر پایه سناریوی گزارش ششم تغییر اقلیم با حساسیت بالا SSP5-8.5 (توسعه سوخت فسیلی) در دو دوره آتی نزدیک مدت (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و دوره آتی میان مدت (۲۰۳۱-۲۰۵۰) ریزگردانی^۲ شد (Semenov et al., 2002). سپس جهت بررسی روند داده‌های مدل شده دما و بارش از آزمون من‌کندال بهره گرفته شد (Ghasemi et al., 2019). جهت اعتبارسنجی و عملکرد مدل لارس در تخمین بارش، دمای بیشینه و کمینه، از سه شاخص آماری کلیدی در محیط اکسل استفاده شد؛ درصد خطا و ضریب همبستگی (R) که به عنوان ابزاری ریاضی برای تحلیل‌های اقلیمی، ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند؛ و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، که یکی از پرکاربردترین شاخص‌های خطا بوده و مقیاسی برای بیان تفاوت بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده‌شده را فراهم

در سال‌های اخیر، احتمالاً به دلیل تغییرات اقلیمی، کاهش چشم‌گیری یافته و منجر به تشدید خشکسالی‌ها در منطقه شده است. از دید هیدرولوژیکی، خوزستان با حجم ورودی بیش از ۲۶/۷۴ میلیارد متر مکعب آب در سال و دارا بودن ۳ میلیارد متر مکعب آب ذخیره شده در سفره‌های آب زیرزمینی، از موقعیت ممتازی در کشور برخوردار است (Bahiraie et al., 2025). کاربری اراضی کشاورزی این استان نسبت به کل وسعت آن حدود ۱۹ درصد است (شکل ۲). خوزستان با داشتن تنها ۳۰ درصد از

۲-۲- روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی، تمرکز بر ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر افزایش دمای رویه زمین و ریسک خشکسالی در کاربری کشاورزی استان خوزستان دارد. بررسی پیشینه این پژوهش بر اساس مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، و از ترکیب روش‌های آزمون آماری، مدل‌سازی بر پایه داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای برای تحقق هدف بهره گرفته شده است. در این راستا فراسنج‌های (بارش، ساعت آفتابی، دمای بیشینه و کمینه) ایستگاه سینوپتیک آبادان به نمایندگی کامل‌ترین ایستگاه، از سال ۱۹۸۵-۲۰۱۵ از سازمان هواشناسی دریافت شد. هم‌چنین داده‌های ماهواره‌ای دمای بیشینه و کمینه، تابش و بارش نقاط ایستگاه‌های (آبادان، آغاچاری، بستان، بهبهان، بندر ماهشهر، دهدز، اهواز، دزفول، هندیجان، گتوند، حسینیه، امیدیه، لالی، مسجد سلیمان، رامهرمز، شادگان، شوش، شوشتر و ایذه) استان خوزستان در بازه زمانی ۲۰۲۵ تا ۱۹۵۰ از مجموعه پایگاه داده‌های ERA5 به لینک آدرس^۱ اخذ و مورد واکاوی قرار گرفت. به منظور ارزیابی داده‌های دریافتی دما، تابش و بارش ماهواره‌ای که به صورت شبکه‌ای ارائه می‌شوند، ابتدا به صورت نقطه‌ای تبدیل شد و کنترل کیفی گردید (Katiraei, 2016). جهت بررسی روند دما و بارش از آماره Z آزمون من‌کندال در سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد بهره گرفته شد. این آزمون یک روش آماری ناپارامتری است که برای تحلیل روند در داده‌ها در طول زمان استفاده می‌شود (Farhat and Vanderford, 2012; Obarein and Lee, 2025). سازمان هواشناسی جهانی برای کاربردهای هواشناسی، هیدرولوژیکی به

² Downscaling

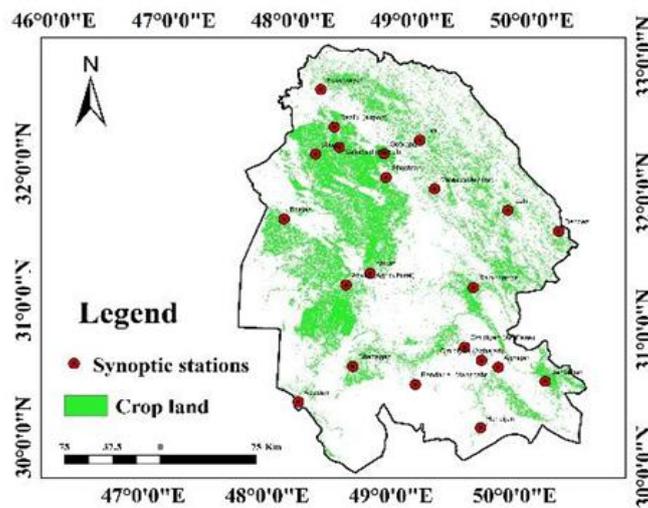
¹ <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets>

نسخه جدید پایگاه داده SPEIbase (SPEIbase) به نام SPEIbase ۷2.9 جهت پایش خشکسالی از پایگاه Google Earth Engine دریافت شد (Beguería et al., 2023) و مورد واکاوی قرار گرفت (جدول ۱).

می‌آورد (Haghighi et al., 2025; Tahmasbi et al., 2025). در ادامه داده‌های ماهواره‌ای جهت محاسبه دمای رویه زمین^۱، و شاخص پوشش گیاهی^۲ و شاخص (استاندارد شده بارش^۳) و شاخص (استاندارد شده بارش و تبخیر و تعرق^۴) از



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان خوزستان
Figure 1- Geographical location of Khuzestan Province



شکل ۲- موقعیت زمین‌های زراعی کشاورزی استان خوزستان
Figure 2- Location of agricultural crop lands in Khuzestan Province

⁴ Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

¹ Land Surface Temperature

² Normalized difference vegetation index

³ Standardized Precipitation Index

جدول ۱- اطلاعات داده‌های ماهواره‌ای دریافتی از Google Earth Engine در بازه زمانی ۱۹۵۰-۲۰۲۵

Table 1 - Satellite Data Information for the Period 1950-2025

Data Type	Symbol	Source	Factor	Spatial Resolution (meters)	Temporal Resolution	Period Used
Maximum Daily Temperature	Tmax	ERA5-Land	Tmax	11132	Daily	1950-2025
Minimum Daily Temperature	Tmin	ERA5-Land	Tmin	11132	Daily	1950-2025
Mean Daily Temperature	Tmean	ERA5-Land	Tmean	11132	Daily	1950-2025
Solar Radiation Intensity	surface_net_solar_radiation	ERA5	SR	11132	Daily	1950-2025
NDVI Index	NDVI	MOD09GQ (MODIS)	NDVI	250	Daily	2000-2025
Land Surface Temperature (LST)	LST	ERA5-Land and MOD11A1 (MODIS)	LST	11132 and 1000	Daily	1950-2025
Precipitation	CHIRPS ERA5-Land	Climate Hazards Group, UCSB	Cumulative Rainfall	5 km 11132	Daily	1981-2025, 1950-2025

اگر $for n < 10$ (۵)

$$var(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

در گام بعدی n و m تعداد دنباله‌هایی را نشان می‌دهد که در آن حداقل یک داده تکراری باشد. t معرف فراوانی داده با ارزش یکسان در یک دنباله بوده که در نهایت آماره Z با یکی از روابط زیر استخراج می‌گردد.

$$z = \frac{s-1}{\sqrt{var(s)}} \quad for s > 0 \quad (۶)$$

$$z = 0 \quad for s = 0 \quad (۷)$$

$$z = s+1\sqrt{var(s)} \quad for s < 0 \quad (۸)$$

در این پژوهش با سطوح معنی‌دار ۹۵ و ۹۹ درصد برآورد شده است. مقادیر مثبت Z معرف روندهای صعودی خواهد بود، و اگر منفی باشد با روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. فرض صفر در این پژوهش مبنی بر وجود نداشتن روند در داده‌های بزرگ‌تر از مقادیر Z رد می‌شود (Salmi, 2002).

۲-۴- مدل CanESM5:

مدل کانادایی نسخه ۵ (CanESM5) یک مدل جهانی از مرکز آنالیز و مدل‌سازی‌های اقلیمی، کانادا است که برای شبیه‌سازی تغییرات و پیش‌بینی‌های اقلیمی و پیش‌بینی‌های فصلی و دهه‌ای طراحی شده است. این مدل با وضوح نسبتاً پایین و با قدرت تفکیک افقی $2/89^{\circ} * 2/81^{\circ}$ ، توان عملیاتی بالا، تولید مجموعه‌های بزرگ را تسهیل می‌کند (Hafezi Moghaddas et al., 2019; Swart et al., 2023). CanESM5 حساسیت اقلیمی تعادلی بالاتری نسبت به نسخه قبلی خود CanESM2 دارد.

۲-۳- آزمون من کندال:

این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و توسط کندال (۱۹۷۵) توسعه پیدا کرد؛ در سال ۱۹۸۸ توسط سازمان جهانی هواشناسی جهت تحلیل روند سری‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی پیشنهاد شد (Pohlert, 2020; Salmi, 2002). جهت بررسی روند سری زمانی پارامتر اقلیمی (بارش و دما) بر اساس آماره Z و به‌دست آوردن معنی‌داری یا عدم معنی‌داری متغیرها در نقاط داده‌های ماهواره‌ای استان خوزستان محاسبه شد.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (۱)$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

طبق این رابطه (۱ و ۲)، n تعداد مشاهدات سری، و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j و k سری است. در ادامه همان‌طور که رابطه (۳) نشان داده است تابع علامت sgn محاسبه می‌گردد.

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) \leq 0 \end{cases} \quad (۳)$$

در رابطه (۴ و ۵) محاسبه واریانس S بر اساس یکی از روابط زیر باشد.

$$for n > 10 \quad \text{اگر} \quad (۴)$$

$$var(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18}$$

می‌دهد (Obarein and Lee, 2025). در این مطالعه از داده‌های (دمای میانگین، بارش، کمینه، بیشینه و دمای سطح زمین) در بازه زمانی ۲۰۲۵-۱۹۵۰ بهره گرفته شده است.

۲-۷- شاخص پوشش گیاهی NDVI

شاخص NDVI جهت ارزیابی پوشش گیاهی استفاده می‌شود و از تفاوت بین باندهای قرمز و نزدیک به مادون قرمز تصاویر ماهواره‌ای محاسبه می‌شود. این شاخص توانایی شبیه‌سازی وضعیت پوشش گیاهی و تغییرات آن در طول زمان را دارد و می‌تواند به‌ویژه در ارزیابی تأثیرات خشکسالی و تغییر اقلیم کمک کند. در این پژوهش، داده‌های MOD09GQ از ماهواره MODIS در بازه زمانی ۲۰۲۴-۲۰۰۰ استفاده شده‌اند که به‌طور ویژه برای محاسبه NDVI و ارزیابی پوشش گیاهی در مناطق مختلف کاربرد دارند (Huete et al., 2002).

۲-۸- دمای سطح زمین^۱

این شاخص به‌ویژه برای مطالعه تغییرات دما در سطح زمین و ارتباط آن با خشکسالی و شرایط اقلیمی اهمیت دارد. این دما از اندازه‌گیری‌های حرارتی ماهواره‌ای به‌دست می‌آید و به‌طور خاص برای ارزیابی تغییرات دمای سطح زمین در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف کاربرد دارد. در این تحقیق، داده‌های MOD11A1 از ماهواره MODIS استفاده شده‌اند که به‌طور ویژه برای محاسبه دمای سطح زمین و ارزیابی تغییرات دما در مناطق مختلف طراحی شده‌اند (Wan, 2008).

۲-۹- شاخص SPI^۲

شاخص SPI ابزاری مهم برای ارزیابی خشکسالی و شرایط رطوبتی است که بر اساس بارش تجمعی در یک بازه زمانی خاص محاسبه می‌شود (جدول ۲). در این تحقیق، برای محاسبه SPI از داده‌های CHIRPS در مقیاس مکانی ۵ کیلومتر و مقیاس زمانی سالانه (۱۲ ماهه) در بازه زمانی ۲۰۲۵-۱۹۵۰ استفاده شده است. این داده‌ها برای تحلیل بارش و ارزیابی خشکسالی‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف به‌کار می‌روند و از سیستم سنجش از دور برای ارائه ارزیابی دقیق وضعیت بارش در سطح جهانی جمع‌آوری می‌شوند (Funk et al., 2015؛ Simsek et al., 2025).

شبیه‌سازی‌های CanESM5 به پروژه مقایسه فاز ۶ (CMIP6) کمک می‌کند و برای کاربردهای علمی و خدماتی اقلیمی در کانادا استفاده می‌شود. این مدل در LARS-WG8 با سه سناریو (SSP1-2.6 و SSP2-4.5 و SSP5-8.5) همراه است. در این از سناریو با حساسیت بالا (توسعه سوخت فسیلی) به‌کار گرفته شده است (Swart et al., 2019). سناریوها جهت بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای، اثرات و مخاطرات مرتبط با آن، و همچنین استراتژی‌های کاهش اثرات و سازگاری با این تغییرات به کار می‌روند. این سناریوها بر اساس متغیرهای اجتماعی-اقتصادی و گزینه‌های کاهش اثرات ناشی از تغییر اقلیم، طراحی شده‌اند (National Center for Strategic Studies in Agriculture and Water, 2023). از این میان، سناریوی SSP5 (توسعه سوخت‌های فسیلی) بر رشد اقتصادی سریع، بهره‌برداری گسترده از سوخت‌های فسیلی و یکپارچگی بازارهای جهانی تمرکز دارد و مسائل زیست‌محیطی محلی با فناوری‌های مهندسی زمین مدیریت می‌شوند (Babaiyan et al., 2023).

۲-۵- صحت‌سنجی پیش‌بینی دما و بارش:

در این پژوهش، به‌منظور افزایش اطمینان به پیش‌بینی‌های مدل LARS-WG8، از آماره‌های ضریب همبستگی بر اساس رابطه (۹) و میانگین مربعات خطا طبق رابطه (۱۰)، برای تحلیل و ارزیابی داده‌های تولیدشده در مقایسه با داده‌های پایه، استفاده شد (Khajeh Heshmati and Ramezani-Etedali, 2021؛ amiri et al., 2022).

$$R = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (10)$$

۲-۶- ERA5-Land:

داده‌های ERA5-Land توسط مرکز پیش‌بینی میان‌مدت آب و هوا (ECMWF) تولید می‌شود، به‌طور ویژه برای تحلیل تغییر اقلیم و ارزیابی شرایط محیطی در مقیاس جهانی استفاده می‌شود. این داده‌ها با وضوح زمانی ساعتی و مکانی 11 کیلومتر، اطلاعات دقیقی از چرخه‌های آب و انرژی در سطح زمین ارائه می‌دهند (Malardel et al., 2016). این داده‌ها نسبت به سایر بازتحلیل‌های قبلی ECMWF بهبود قابل‌توجهی دارد، زیرا مشاهدات بیشتری از منابع محلی و ماهواره‌های هواشناسی پیشرفته را دریافت می‌کند. داده‌های ERA5 به‌طور مداوم عملکرد بهتری نسبت به سایر مجموعه‌های داده بازتحلیل نشان

² Standardized Precipitation Index

¹ Land surface temperature

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی روند سری زمانی ماهانه و سالانه

پارامتر اقلیمی دما از گذشته تا کنون با آزمون

من کندال:

بررسی سری زمانی ماهانه و سالانه دمای ۱۹ ایستگاه در جنوب غربی ایران (آبادان، آغاچاری، بستان، بهبهان، بندر ماهشهر، دهدز، اهواز، دزفول، هندیجان، گتوند، حسینیه، امیدیه، لالی، مسجد سلیمان، رامهرمز، شادگان، شوش، شوشتر و ایذه) کلیه ماهها در بازه زمانی ۷۵ ساله (۲۰۲۵-۱۹۵۰) روند افزایشی دما به جز ماه نوامبر نشان داده شده است. تمام ایستگاههای استان خوزستان روند صعودی معنی دار دما را در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد تجربه کرده اند. فرونشینی هوا و تداوم امواج گرمایی با توجه به الگوی تابستانه، تشدید افزایش روند دما در بلند مدت، بیان گر شدت تنش حرارتی و وقوع خشکسالی در این منطقه است. این روند صعودی شتابدار، در تمام ماهها به جز نوامبر مشاهده می شود. به طوری که در ماه جولای روند افزایشی دما با ۵/۴۲ در سطح معنی داری ۹۹ درصد، با شیب تغییرات برابر ۰/۰۲۴ سانتی گراد در سال به ایستگاه آبادان تعلق داشته است. در ایستگاه دهدز کمترین روند ۰/۲۶- با شیب تغییرات برابر ۰/۰۰۲- سانتی گراد در سال مشاهده شد. در بررسی روند سالانه ایستگاه آغاچاری با ۶/۱۸ در سطح معنی داری ۹۹ درصد بیشترین روند صعودی را در بین سایر ایستگاهها تجربه کرده است. شکل ۳ نمونه ای از روندهای دمایی در ایستگاههای (آبادان، اهواز، دهدز، دزفول، آغاچاری، بندر ماهشهر، گتوند، صفی آباد، شوشتر، لالی و امیدیه) را نشان می دهد. برخلاف سایر مناطق، تنها بندر ماهشهر روند دمایی یکنواخت و باثبات تری را نشان داده است و روند صعودی دما تنها در ماههای (فوریه، مارس و ژوئن) معنی دار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد داشته است. قابل توجه است که دمای این ایستگاه در ماه جولای علی رغم دمای بالا در این ماه، روند نزولی داشته است. کاهش روند ماه جولای در این منطقه که اقلیمی خشک تا فراخشک دارد، می تواند ناشی از عوامل تغییرات محلی مانند کاهش رطوبت و افزایش ابرناکی به صورت موقت باشد.

جدول ۲- مقیاس طبقه بندی مقادیر SPI

Table 2- Classification scale of SPI values

Drought Class	SPI Values
Extremely Wet	> 2
Very Wet	1.5 - 1.99
Moderately Wet	1.0 - 1.49
Near Normal	-1.98
Mild Drought	0.49
Severe Drought	0.49
Extremely Severe Drought	< -2

۲-۱۰- شاخص SPEI^۱

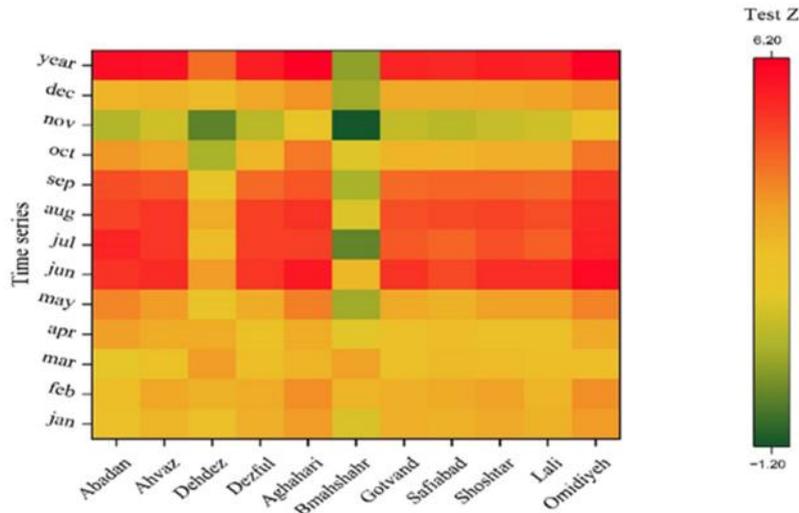
شاخص استاندارد شده بارش و تبخیر و تعرق، یک شاخص خشکسالی معتبر است و با در نظر گرفتن بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)، تصویری دقیق تر از کمبود آب نسبت به شاخصهای صرفاً مبتنی بر بارش ارائه می دهد. در جدول ۳ مقیاس طبقه بندی SPEI را نشان می دهد. این شاخص برای دوره های زمانی (۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴) ماهه محاسبه می شود. این ویژگی اجازه می دهد تا انواع مختلف خشکسالی را از خشکسالی های کوتاه مدت تا خشکسالی های بلندمدت مورد ارزیابی قرار گیرد (Vicente-Serrano et al., 2010). این شاخص تحت تأثیر گرمایش جهانی قرار دارد و از دیگر مزیتها در این است که تأثیر تبخیر و تعرق را در شدت خشکسالی لحاظ می کند (Mustafa Zadeh and Zabihi, 2016).

جدول ۳- مقیاس طبقه بندی مقادیر SPEI (Öz et al., 2024).

Table 3- Classification scale of SPEI values

SPEI value	Condition
2.0 and above	Extremely wet
1.5 to 1.99	Wet
1.0 to 1.49	Moderately wet
-0.99 to 0.99	Near normal
-1.0 to -1.49	Moderately dry
-1.5 to -1.99	Severe Dry
-2.0 and less	Extremely dry

^۱ Standardized Precipitation Evapotranspiration Index



شکل ۳- نقشه حرارتی آماره Z روند سری زمانی ماهانه و سالانه روند دما با آزمون من کندال از سال ۱۹۵۰-۲۰۲۵

Figure 3 - Z-statistic heat map of monthly and annual time series temperature trends with Mann-Kendall test from 1950-2025

دما در ماه‌های ژوئیه و اوت برقرار است. این شرایط اقلیمی تا اواسط سپتامبر ادامه دارد، تا زمانی که وزش بادهای محلی آغاز شده و دما به تدریج کاهش یابد. سپس هوای خنک‌تر در طول ماه‌های اکتبر و نوامبر نیز ادامه پیدا می‌کند، بنابراین روند کاهشی دما در ماه نوامبر به دلیل عوامل ذکر شده قابل توجیه است (Center for Urban Planning and Architectural) Khazaei Kouhpar et al., 'Research of Iran, 2012 Ghavidel (2024). بررسی این پژوهش با مطالعات قبلی (Pakdel and Gohardoust et al., 2018; Rahimi, 2015 Balouei et al., Akbarnorouzi et al., 2023; Zohrabi, 2019 al., 2024) که ایستگاه‌های (آبادان، آغاچاری، بستان، بهبهان، بندر ماهشهر، دهدز، اهواز، دزفول، هندیجان، گتوند، حسینیه، امیدیه، لالی، مسجد سلیمان، رامهرمز، شادگان، شوش، شوشتر و ایذه) افزایش دما را نشان داده‌اند و عدم معنی‌داری در ماه نوامبر را به جز در ایستگاه‌های (آغاچاری و امیدیه) وجود داشته است، هم‌خوانی و مطابقت دارد. طبق نتایج انتظار می‌رود استان خوزستان روزهای گرم‌تری را سپری نماید. این امر نشان‌دهنده وقوع رخداد تغییر اقلیم ناشی از گرمایش جهانی می‌باشد.

نشان داده است که مدل در پیش‌بینی دما بسیار عملکرد قوی و مطلوبی داشته است. بدین جهت طبق شاخص‌های عملکرد R و RMSE خطای ناچیزی در برآورد دما داشته است. اما در پیش‌بینی بارش ضمن این‌که بیش‌برآوردی داشته اما قابل قبول است. پیش‌بینی دما در کلیه ایستگاه‌ها روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد نشان داده شده است. بررسی ایستگاه آغاچاری در دوره آتی نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نشان داده است که دمای حداقل در ماه جولای به ۳۲/۱۳ درجه سانتی‌گراد، و دمای

در شهرهای صنعتی مانند اهواز، علاوه بر عوامل اقلیم محلی، وجود مراکز تجاری احتمالاً اثر گازهای گلخانه‌ای را تشدید کرده است و عامل بعدی کشاورزی است. این بخش منبع مهمی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. برآوردها نشان می‌دهد که کشاورزی مسئول حدود ۱۰ تا ۱۴ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در سطح جهان است. در این میان، متان و دی‌اکسید کربن به ترتیب حدود ۸۴ و ۵۲ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با کشاورزی را تشکیل می‌دهند (Yazdanpanah et al., 2020). به افزایش بیش‌تر دما منجر شده است که قابل توجیه است. از دید بررسی جریانات جوی حاکم بر منطقه علاوه بر جریان‌های اصلی، عوامل محلی و همسایگی نیز در ابعاد کوچک‌تر بر اقلیم استان تأثیرگذار هستند. این اثرات نسبت به عوامل اصلی محدودتر بوده و عمدتاً در دو فصل (بهار و پاییز) بر منطقه حاکم می‌شوند. ضمن این امر، با توجه به این‌که در خوزستان دوره گرم سال نسبت به سایر مناطق زودتر شروع می‌شود (Ghavidel Rahimi, 2015)، با پیش‌روی کمربند پرفشار جنب حاره و پرفشار پاکستان در اواسط ماه ژوئن، افزایش

۲-۳- بررسی بارش و دمای آینده با مدل LARS-WG8

پیش‌بینی دما و بارش با مدل CanESM5 تحت سناریوی SSP5-8.5 ایستگاه‌های (آبادان، آغاچاری، بستان، بهبهان، بندر ماهشهر، دهدز، اهواز، دزفول، هندیجان، گتوند، حسینیه، امیدیه، لالی، مسجد سلیمان، رامهرمز، شادگان، شوش، شوشتر و ایذه) در دو دوره آتی نزدیک مدت (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و دوره آتی میان مدت (۲۰۳۱-۲۰۵۰) مورد واکاوی قرار گرفت. این یافته‌ها در جدول ۴

۲۰۳۱) در همین ماه به $33/7$ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. بررسی دمای حداکثر در همین ایستگاه در دوره آتی نزدیک مدت (۲۰۴۰-۲۰۲۱) با حدود ۲ درجه افزایش نسبت به دوره پایه ۴۶ درجه به $48/22$ سانتی‌گراد خواهد رسید و در دوره آتی میان مدت (۲۰۳۱-۲۰۵۰) بندر ماهشهر دمای حداکثر $48/92$ درجه سانتی‌گراد را تجربه خواهد کرد. ایستگاه بستان روند دما در کلیه ماه‌ها افزایشی که در برخی ماه‌ها معنی‌دار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد هم در دوره آتی نزدیک مدت (۲۰۴۰-۲۰۲۱) و دوره آتی میان مدت (۲۰۳۱-۲۰۵۰) نشان داده شده است. دمای حداقل در این ایستگاه در ماه جولای در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) به 34 درجه سانتی‌گراد و در دوره (۲۰۳۱-۲۰۵۰) در همین ماه به $34/71$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. دمای حداکثر در دوره (۲۰۴۰-۲۰۲۱) در ماه آگوست دمای $49/29$ درجه سانتی‌گراد را نسبت به دمای پایه $46/81$ درجه سانتی‌گراد تجربه خواهد کرد. در دوره (۲۰۳۱-۲۰۵۰) در ماه آگوست به دمای $50/29$ با حدود ۴ درجه افزایش دما نسبت به دوره پایه خواهد رسید. باقی ایستگاه‌های (دهدز، دزفول، گتوند، هندیجان، حسینیه، ایزه، لالی، مسجد سلیمان، امیدیه، رامهرمز، صفی‌آباد، شادگان، شوش و شوشتر) هم دمای حداکثر و دمای حداقل در هر دو دوره آتی نزدیک مدت (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و دوره آتی میان مدت (۲۰۳۱-۲۰۵۰) روند افزایشی را در ماه‌های جولای و آگوست نشان داده‌اند. به دلیل زیاد بودن تعداد ایستگاه‌ها، ایستگاه آبادان به‌عنوان نمونه انتخاب شد. سپس، همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، داده‌های ایستگاه سینوپتیک آبادان با داده‌های ماهواره‌ای مقایسه و بررسی شدند. بررسی پیش‌بینی دما در ایستگاه سینوپتیک آبادان در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱) دمای حداقل را $21/47$ درجه سانتی‌گراد در ماه آگوست و در ماه جولای دوره آتی (۲۰۳۱-۲۰۵۰) به $21/10$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. دمای حداکثر در ماه آگوست دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱) به $42/30$ درجه سانتی‌گراد و در دوره آتی (۲۰۳۱-۲۰۵۰) به $43/30$ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بررسی داده‌های ماهواره‌ای دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) دمای حداکثر در ماه‌های (ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر) دمای بالای ۴۰ درجه را سانتی‌گراد را تجربه خواهد کرد، که بیش‌ترین دما در ماه آگوست به $48/77$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید و در دوره آتی (۲۰۳۱-۲۰۵۰) دمای حداکثر در ماه

حداکثر در همین ماه به $47/25$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید که نسبت به دوره پایه حدود ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت و در ماه می روند صعودی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد نشان داده شده است. در همین ایستگاه در دوره آتی میان مدت (۲۰۵۰-۲۰۳۱) دمای حداقل به 33 درجه سانتی‌گراد در ماه آگوست و در همین ماه دمای حداکثر به $48/1$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید بررسی دما در ایستگاه اهواز روند افزایشی و صعودی را در هر دوره‌های آتی نشان داده است. دمای حداکثر در دوره آتی نزدیک مدت (۲۰۴۰-۲۰۲۱) در ماه آگوست نسبت به دوره پایه $49/28$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. در دوره آتی میان مدت (۲۰۵۰-۲۰۳۱) در همین ماه به $50/29$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. دمای حداقل در دوره آتی نزدیک مدت (۲۰۴۰-۲۰۲۱) در ماه جولای به 34 درجه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت و در دوره آتی میان مدت (۲۰۳۱-۲۰۵۰) در همین ماه با افزایش جزئی به $34/74$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید و روند دمای حداقل در همین دوره در ماه آپریل صعودی و معنی‌دار در سطح $0/05$ درصد نشان داده شده است. ایستگاه بهبهان در ماه‌های مارس و آپریل روند افزایشی در سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد نشان داده شده است. در شکل ۴ ایستگاه بهبهان به دلیل تعداد بالای ایستگاه‌ها به‌صورت نمونه نشان داده شده است. در واکاوی این ایستگاه، دمای حداقل در دوره آتی نزدیک مدت (۲۰۴۰-۲۰۲۱) ماه جولای به 30 درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه با حدود ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و در دوره آتی میان مدت (۲۰۳۱-۲۰۵۰) در همین ماه نسبت به دوره پایه به $30/82$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. پیش‌بینی دمای حداکثر در دوره آتی نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) در ماه جولای حدود ۴ درجه سانتی‌گراد $46/10$ درجه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت و در دوره آتی میان مدت (۲۰۳۱-۲۰۵۰) در ماه آگوست نسبت به دوره پایه با حدود ۳ درجه سانتی‌گراد به $46/98$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. نتایج یافته‌های بندر ماهشهر روند دما در دو دوره آتی نزدیک و میان مدت افزایشی و در ماه‌های آپریل و می معنی‌دار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد نشان داده شده است. بندر ماهشهر در دوره آتی نزدیک مدت (۲۰۴۰-۲۰۲۱) دمای حداقل نسبت به دوره پایه در ماه جولای 33 درجه سانتی‌گراد در حدود ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و در دوره آتی میان مدت (۲۰۵۰-۲۰۳۱)

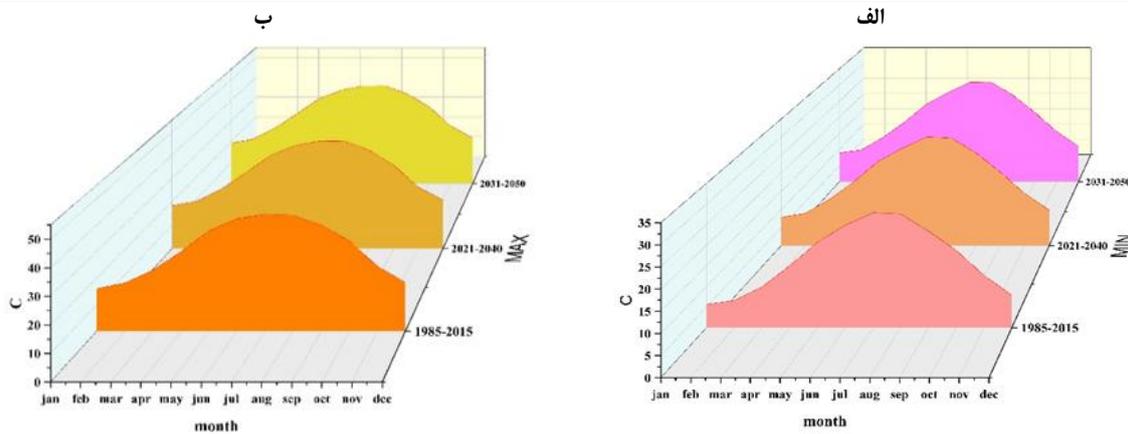
می‌باشد. بنابراین یافته‌های این پژوهش با مطالعات (Nikbakht, 2018؛ Shahbazi, 2019؛ Ghasemi et al., 2019) مبنی بر افزایش دما طی دوره‌های آتی مطابقت و همخوانی دارد.

اگوست به ۴۹/۷۴ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. دمای حداقل در این ایستگاه در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) به ۳۴/۲۳ درجه سانتی‌گراد و در دوره آتی (۲۰۳۱-۲۰۵۰) به ۳۵ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. مطالعات (Zakavi et al., 2024) افزایش روند دما را در استان خوزستان در کلیه ایستگاه‌ها در فصل تابستان و پاییز افزایشی نشان داده است، که با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا

جدول ۴- عملکرد مدل CanESM5 در پیش‌بینی بارش و دما استان خوزستان

Table 4- Performance of the CanESM5 model in predicting precipitation and temperature in Khuzestan Province

Station	Temperature (C°)			Precipitation (MM)			Station	Temperature (C°)			Precipitation (MM)		
	NRMS E	RMS E	R 2	NRMS E	RMSE	R2		NRMS S	RMS E	R 2	NRMS E	RMS E	R2
Abadan	0	0.19	1	10.77	4.04	0.94	Safiabad	0.6	0.18	1	4.99	5.54	0.98
Dezful	0	0.15	1	4.45	5.43	0.99	Shadegan	0.62	0.18	1	12.79	2.15	0.99
Ahvaz	0.7	0.21	1	4.22	2.79	0.99	Shosh	0	0.21	1	6.47	5.96	0.97
Lali	0.7	0.2	1	5	7.54	0.98	Shoshtar	0.61	0.18	1	6.71	7.64	0.98
Bmahshahr	0.67	0.19	1	3.15	2.21	0.99	Omidiyeh	0.78	0.23	1	7.5	6.49	0.96
Dehdez	0.72	0.24	1	4.34	8.19	0.99	Izeh	0.76	0.21	1	5.67	8.26	0.99
Ramhormoz	1.01	0.29	1	0.07	7.77	0.97	Hendijan	0.88	0.25	1	6.47	5.52	0.99
Masjed Soleyman	0.87	0.17	1	4.98	6.64	0.99	Gotvand	0.66	0.2	1	4.75	5.71	0.99
Bostan	0.84	0.25	1	5	2.8	0.99	Hosseineh	0.53	0.16	1	8.54	12.18	0.96
Aghajari	0.7	0.2	1	5.22	4.7	0.98	Behbahan	0.01	0.29	1	5.01	6.86	0.99

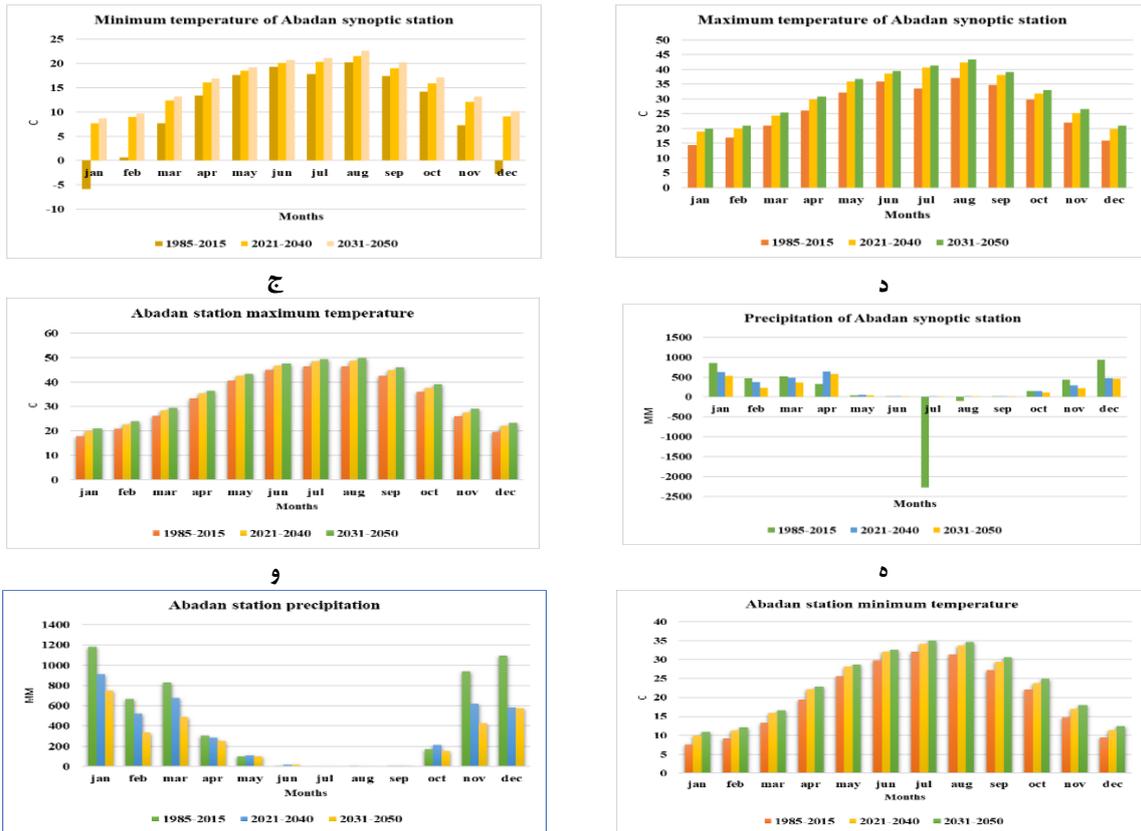


شکل ۴ - پیش‌بینی دمای بیشینه و کمینه ایستگاه بهبهان تحت سناریوی SSP5-8.5

Figure 4 – Projection of maximum and minimum temperatures at Behbahan station under the SSP5-8.5 scenario

ب

الف



شکل ۵- پیش‌بینی حداکثر و حداقل دما برای ایستگاه آبادان تحت سناریوی SSP5-8.5

Figure 5- Maximum and minimum temperature prediction for Abadan station under SSP5-8.5 scenario

مدل LARS-WG در پیش‌بینی دوره‌های بارش از کارایی بهتری برخوردار است (Goodarzi et al., 2015). جدول ۵ پیش‌بینی بارش را در ایستگاه‌های (آبادان، آغاچاری، بستان، بهبهان، بندر ماهشهر، بستان، دهدز، دزفول، گتوند، هندیدجان، حسینیه، ایزه، لالی، مسجد سلیمان، امیدیه، رامهرمز، شوش و شوشتر) مقدار زیر ۱۰ را نشان داده است که برای پیش‌بینی بارش قابل قبول و عالی است. این مدل برای پیش‌بینی بارش عملکرد مطلوبی داشته است. اما در ایستگاه شادگان میزان خطا NRMSE را ۱۲/۷۹ و در وضعیت خوب نشان داده است. بنابراین طبق پیش‌بینی‌های به دست آمده از مدل CanESM5 و سناریوی SSP5-8.5 افزایش روند دما و تغییر در میزان بارش طی دو دوره آتی نزدیک و میان مدت رخ خواهد داد. نسبت روندهای صعودی مداوم دما و تغییرات بارش پیش‌بینی شده توسط مدل CanESM5 و در تمام دوره‌های آتی از منفی تا مثبت متغیر است. اگرچه میانگین‌ها روزهای آتی خشک‌تری را نشان داده است. نتایج به دست آمده با مطالعات (Nikbakht Shahbazi, 2018; Ghasemi et al., 2019) مطابقت دارد، و از این مدل می‌توان جهت پیش‌بینی تغییر اقلیم بهره گرفت.

در پیش‌بینی دوره‌های بارش از کارایی بهتری برخوردار است (Goodarzi et al., 2015). جدول ۵ پیش‌بینی بارش را در ایستگاه‌های (آبادان، آغاچاری، بستان، بهبهان، بندر ماهشهر، دهدز، اهواز، دزفول، هندیدجان، گتوند، حسینیه، امیدیه، لالی، مسجد سلیمان، رامهرمز، شادگان، شوش، شوشتر و ایزه) در دوره آتی نزدیک مدت (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تحت سناریوی SSP5-8.5 به صورت نمونه نشان داده است. روند بارش در استان خوزستان در کلیه ماه‌ها هم در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و دوره (۲۰۳۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه کاهشی و نزولی خواهد بود. بیش‌ترین ماه‌های بارشی در دوره‌های آتی در کلیه ایستگاه‌ها به ماه‌های (دسامبر و ژانویه) تعلق داشته است. اما از این بین در ایستگاه دهدز در ماه مارس بارش در دوره آتی نزدیک به حدود ۵۲۲ میلی‌متر و در دوره آتی میان مدت به حدود ۳۸۹ میلی‌متر خواهد رسید. ضمن این که کم‌ترین ماه بارشی در جولای خواهد بود، در ایستگاه آبادان در همین ماه نسبت به سایر ایستگاه‌ها در هر دوره آتی حدود ۰/۵ میلی‌متر به صورت بارش بسیار سبک و پراکنده که مقدار آن ناچیز است، خواهد رسید. میزان خطا

جدول ۵- روند پیش‌بینی بارش در دوره آتی نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰)

Table 5- Precipitation predicting trend in the near future (2021-2040)

Station	Abadan	Dezful	Ahvaz	Lali	Bmahshahr	Dehdz	Ramhormoz	Masjed Soleyman	Bostan	Aghajari
Test Z 2021-2040										
Jan	-0.23	0.62	-0.55	-1.65	0.49	0.68	-0.55	1.14	-1.65	-0.94
Feb	0.29	-0.62	1.78	-1.07	-1.07	0.62	0.00	-0.03	2.17	0.36
Mar	-0.10	0.03	2.17	-2.11	-0.29	0.55	-2.11	0.03	-0.68	-2.82
Apr	0.06	1.72	-1.20	-0.29	1.91	-1.01	-1.36	-0.16	1.65	-1.91
May	1.01	0.94	-0.23	-1.07	-0.26	-0.39	1.01	0.13	0.00	-1.95
Jun	-0.94	1.65	-0.75	0.26	0.36	0.52	-0.39	-1.98	-1.72	-0.32
Jul	-0.45	0.39	-0.19	0.03	0.00	0.94	0.42	0.75	1.01	1.23
Aug	0.16	-1.65	-0.13	-1.30	-0.29	0.62	0.97	2.24	0.03	1.46
Sep	0.00	-1.78	0.71	-0.94	1.23	1.30	-1.10	0.23	0.75	-0.71
Oct	-0.26	-2.50	0.03	0.71	0.13	-0.10	2.17	0.97	0.52	0.36
Nov	-0.62	-0.94	0.29	1.20	0.75	-0.49	-0.62	0.94	-0.94	0.49
Dec	-0.81	-2.76	-0.36	-1.27	-0.62	1.20	0.29	-1.27	-0.55	-0.29
Year	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Station	Safiabad	Shadegan	Shosh	Shoshtar	Omidiyeh	Izeh	Hendijan	Gotvand	Hosseineh	Behbahan
Test Z 2021-2040										
Jan	-0.94	-0.36	-1.01	-0.29	-1.01	1.59	0.88	0.10	-0.36	-0.75
Feb	-0.29	0.68	1.14	-0.88	1.33	-1.20	0.36	-1.07	0.81	0.03
Mar	-1.72	0.00	-0.49	-0.03	-1.14	-0.49	-0.55	0.49	-0.16	1.27
Apr	-2.04	-0.29	-0.88	-1.85	0.36	-1.14	-0.10	0.81	-0.68	-2.37
May	0.00	0.52	-0.78	-0.26	-2.14	-1.20	0.55	-0.23	0.81	-0.32
Jun	-0.68	-0.29	0.03	-1.56	-1.52	0.49	-0.55	1.40	1.20	-0.58
Jul	0.00	-0.13	0.62	0.52	2.01	0.49	-0.49	0.03	-1.14	-0.03
Aug	-0.81	0.29	0.32	0.45	0.81	0.81	0.00	1.62	-0.13	-0.75
Sep	-0.39	-0.68	0.10	-0.13	1.01	1.17	0.84	2.04	-0.16	-0.32
Oct	-1.20	-0.49	-1.10	0.06	-1.17	0.26	0.97	1.40	0.71	-0.29
Nov	0.42	-0.94	-0.03	-1.46	2.17	-0.42	0.03	-0.10	0.29	0.23
Dec	0.49	-0.36	0.10	-1.01	0.94	1.33	0.00	-0.42	0.68	-2.30
Year	-1.85	-0.62	-1.46	-1.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

۳-۳- بررسی تغییرات پوشش گیاهی و دمای سطح

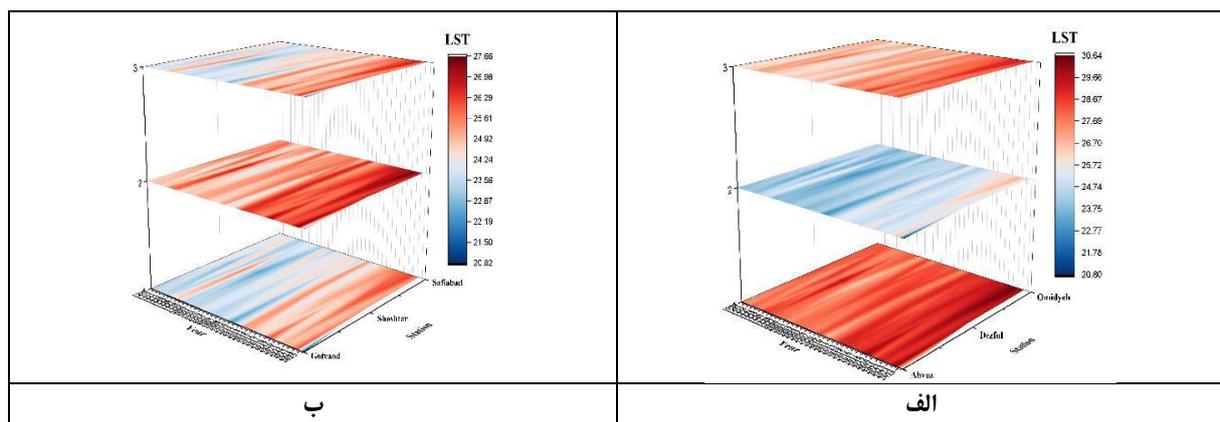
زمین

دمای سالانه سطح زمین با استفاده از داده‌های ERA5-Land در بازه زمانی ۲۰۲۵ تا ۱۹۵۰ بررسی شد و در شکل ۶ به صورت سطوح سه‌بعدی نمایش داده شده است. به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌ها، تنها برخی ایستگاه‌های نمونه (اهواز، دزفول، صفی‌آباد، امیدیه، شوشتر و گتوند) مورد تحلیل قرار گرفتند. همان‌طور که در شکل ۶ (الف) نشان داده شده، ایستگاه‌های اهواز و امیدیه از سال ۱۹۵۰ تا اوایل سال ۲۰۲۵ میانگین دمای سالانه سطح زمین

را با $30/64$ درجه سانتی‌گراد، بالاتر از سایر ایستگاه‌ها (دزفول، شوشتر، گتوند و صفی‌آباد) تجربه کرده‌اند. همچنین، از سال ۱۹۹۸ به بعد، سایر ایستگاه‌ها روند افزایشی در دما نشان داده‌اند که با تحقیق (Yazdanpanah Dero et al., 2025) هم‌راستا می‌باشد. با توجه به داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI برای استان خوزستان با داده‌های MODIS11A1 از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴، روند تغییرات این شاخص نشان‌دهنده نوسانات قابل توجهی در وضعیت پوشش گیاهی استان است (شکل ۷). در ابتدای این دوره، شاخص NDVI در سال ۲۰۰۰ معادل $0/1879$ بود و طی

و سپس در سال‌های بعد کاهش تدریجی را تجربه کرد. کم‌ترین دما در سال ۲۰۰۹ با مقدار ۲۸/۶ درجه سانتی‌گراد ثبت شد که می‌تواند ناشی از شرایط اقلیمی خاص و بارش‌های بیش‌تر در آن سال‌ها باشد. از سال ۲۰۱۰ به بعد، دمای سطح زمین روند افزایشی را آغاز کرد و به‌طور مستمر افزایش یافت، به‌طوری که در سال ۲۰۲۳ به ۳۲/۵۶ درجه سانتی‌گراد رسید که بالاترین مقدار در این دوره است. این افزایش دما می‌تواند به گرمایش جهانی و تأثیرات آن بر این منطقه نسبت داده شود. با این حال، در سال ۲۰۲۴ شاهد کاهش جزئی دما به مقدار ۳۱/۴۵ درجه سانتی‌گراد بود که ممکن است ناشی از شرایط جوی خاص یا نوسانات اقلیمی در آن سال باشد. به‌طور کلی، روند افزایشی دمای سطح زمین از سال ۲۰۱۰ به بعد نشان‌دهنده تأثیرات تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی بر استان خوزستان است. هم‌چنین شکل ۸ تغییرات فضایی دمای سطح زمین در سال ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد. نتایج این مطالعه با یافته‌های پژوهش (Abiyat et al., 2023) هم‌خوانی دارد. آن‌ها در مطالعه خود از سال ۲۰۱۳ به بعد روند افزایشی دمای سطح زمین را گزارش کرده‌اند، در حالی که در پژوهش حاضر، روند صعودی دما از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵ ادامه یافته است. هم‌چنین (Didari and Zand-Parsa., 2018) به عملکرد مطلوب داده‌های MOD11A1 در مطالعات مشابه اشاره نمودند.

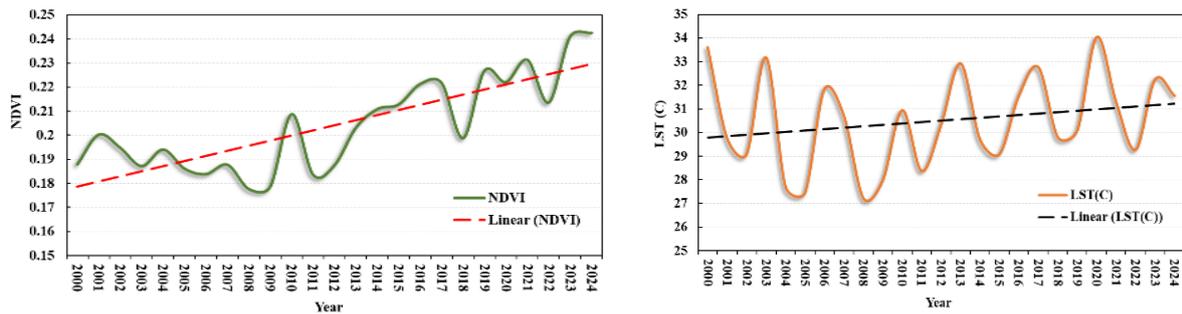
سال‌های بعد، نوساناتی در محدوده پایین‌تری مشاهده می‌شود که در برخی سال‌ها به حداقل خود یعنی ۰/۱۷۷۹ در سال ۲۰۰۸ و ۰/۱۷۸۶ در سال ۲۰۰۹ می‌رسد. این کاهش‌ها احتمالاً به عواملی هم‌چون خشکسالی، کاهش بارش‌ها و تغییرات اقلیمی در آن سال‌ها مربوط می‌شود. از سال ۲۰۱۰ به بعد، روند NDVI به‌طور مداوم افزایش یافته و در سال ۲۰۲۴ به بالاترین مقدار خود، معادل ۰/۲۴۲۶، رسید. این افزایش قابل توجه می‌تواند ناشی از بارش‌های بیش‌تر، بهبود شرایط اقلیمی و هم‌چنین بهبود مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌های احیای اکوسیستم در این منطقه باشد. با این حال، نوساناتی در مقیاس‌های کوچک‌تر در سال‌های اخیر مشاهده می‌شود که احتمالاً به تغییرات فصلی یا فعالیت‌های انسانی مربوط می‌باشد. به‌طور کلی، روند افزایشی شاخص NDVI در استان خوزستان نشان‌دهنده بهبود وضعیت پوشش گیاهی است، اگرچه عواملی چون خشکسالی‌ها و تغییرات اقلیمی در برخی از سال‌ها تأثیرگذار بوده‌اند. هم‌چنین شکل ۸ تغییرات فضایی پوشش گیاهی در سال ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های دمای سطح زمین (LST) برای استان خوزستان با داده‌های MOD11A1 از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴، روند تغییرات این شاخص نشان‌دهنده نوسانات قابل توجهی در دمای سطح زمین در طول این دوره است (شکل ۷). در ابتدای این دوره، دمای سطح زمین (LST) در سال ۲۰۰۰ معادل ۳۲/۸۲ درجه سانتی‌گراد بود



شکل ۶- نقشه حرارتی سطوح سه بعدی دمای سالانه سطح زمین (ERA5-Land) ایستگاه‌های (اهواز، دزفول، اومیدیه، گتوند، شوشتر و

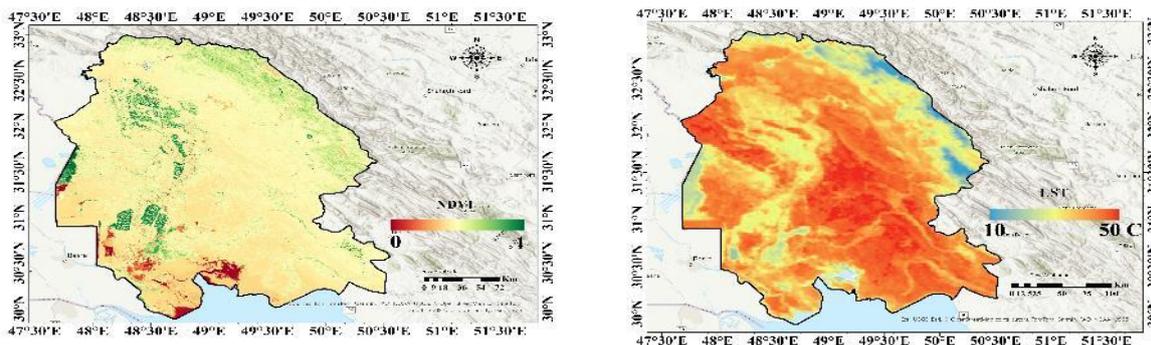
صفی‌آباد) طی دوره ۱۹۵۰-۲۰۲۵

Figure 6: 3D stacked surfaces heatmap Annual land surface temperature (ERA5-Land) Stations (Ahvaz, Dezful, Omidieh, Gotvand, Shushtar and Safiabad) over the period 1950-2025



شکل ۷- مقادیر شاخص NDVI و نمودار تغییرات دمای سطح زمین (LST) استان خوزستان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴

Figure 7-NDVI Index and the graph of Land Surface Temperature (LST) changes for Khuzestan province from 2000 to 2024



شکل ۸- نمایش شاخص دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در سال ۲۰۲۴

Figure 8 - Representation of Land Surface Temperature (LST) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the year 2024

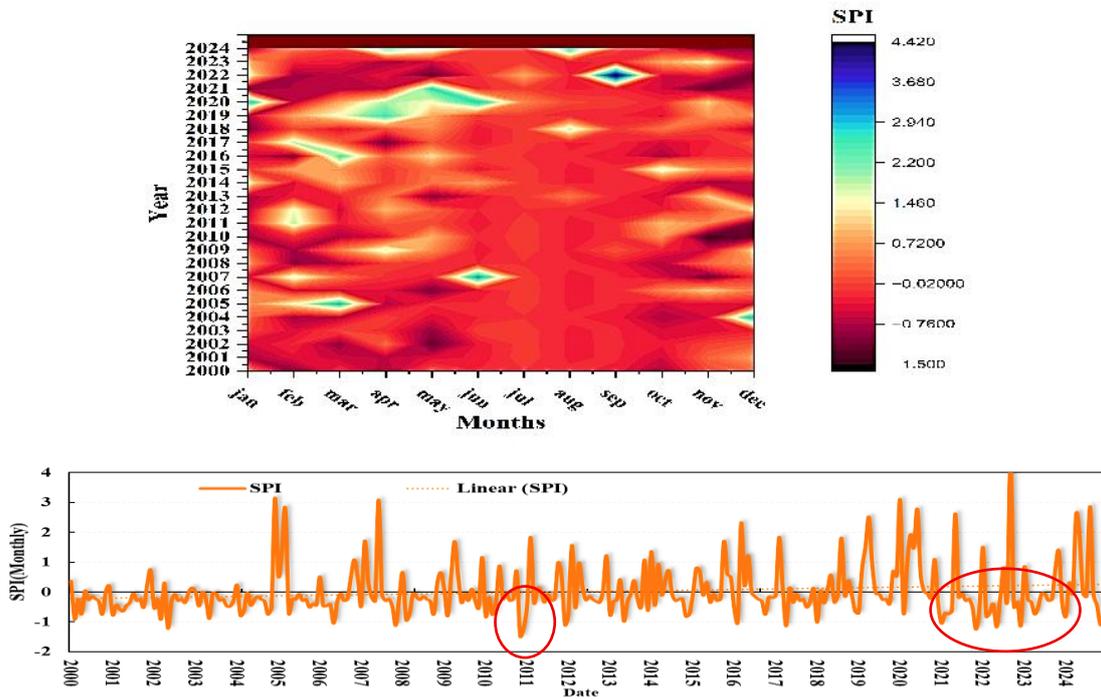
سال‌های (۲۰۱۰، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲) مقادیر SPI به شدت منفی بوده و نشان‌دهنده خشکسالی‌های شدید در این سال‌ها است. به‌ویژه در سال ۲۰۱۰ که در ماه نوامبر به $-1/48$ و در سال ۲۰۲۲، مقادیر منفی SPI در ماه‌های مختلف به‌ویژه در ماه مارس با مقدار $-1/13$ ، نشان‌دهنده ادامه وضعیت خشکسالی در این سال‌هاست. در مجموع، داده‌های SPI نشان‌دهنده نوسانات گسترده در وضعیت بارش استان خوزستان در طول این دوره زمانی است. بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در استان خوزستان و موقعیت آن‌ها در نزدیکی اراضی کشاورزی، روند افزایش دما، نوسانات بارش و ناپایداری اقلیمی در دوره‌های آینده مشاهده شده است. به همین دلیل، مناطق شمال‌غرب، مرکز و غرب استان بیش‌تر در معرض ریسک خطر خشکسالی قرار دارند. یافته‌های این مطالعه با نتایج پژوهش (Fatehi Marj and Heydariyan, 2013؛ Mohammadi et al., 2024) که نشان‌دهنده کاهش بارش، افزایش شدت خشکسالی‌ها و طولانی‌تر شدن دوره‌های وقوع آن‌ها در استان خوزستان است، هم‌راستا و مطابقت دارد. در مجموع در شکل ۱۰، تحلیل همبستگی در بازه زمانی ۲۰۲۴ تا ۲۰۰۰ بین SPI و NDVI در خوزستان نشان‌دهنده رابطه

۳-۴- بررسی تغییرات شاخص خشکسالی SPI

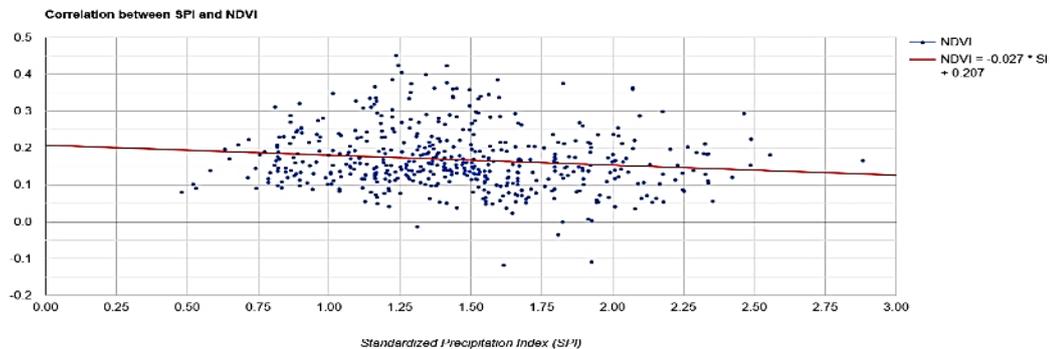
با توجه به داده‌های شاخص SPI (Standardized Precipitation Index) از سال ۲۰۲۴ تا ۲۰۰۰، می‌توان روند نوسانات بارش در استان خوزستان را مورد بررسی قرار داد. شاخص SPI معیاری برای ارزیابی میزان بارش در مقایسه با وضعیت نرمال است و به شناسایی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها کمک می‌کند. در سال‌های ابتدایی این دوره (۲۰۰۴ تا ۲۰۰۰)، مقادیر SPI به طور عمده منفی بوده که نشان‌دهنده خشکسالی و کم‌بود بارش در این سال‌ها است. به‌ویژه در سال ۲۰۰۲، مقادیر منفی شدید تا $-1/22$ مشاهده می‌شود که بیان‌گر خشکسالی شدید در آن سال است. در سال ۲۰۰۴، یک تغییر قابل توجه در ماه دسامبر رخ داد که مقدار SPI به $3/148$ رسید که نشان‌دهنده ترسالی و بارش‌های فراوان در این ماه است (شکل ۹). از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰، نوسانات SPI ادامه یافت، اما در برخی ماه‌ها مقادیر مثبت نیز ثبت شد، که بیان‌گر بهبود شرایط بارشی در آن دوره است. در سال ۲۰۲۰، شاخص SPI در ماه‌های مختلف مقادیر بسیار بالایی را نشان داد که اوج آن در ماه مارس با مقدار $3/099$ بود و نشان‌دهنده ترسالی شدید در آن سال است. با این حال، در

توسط چاه‌های غیر مجاز حفر شده در منطقه صورت گرفته است. بدین جهت خشکسالی شدید گزارش شده، بر اساس SPI است، NDVI بالا نشان‌دهنده مداخله انسانی و یا بارش کوتاه مدت فصلی با تاخیر زمانی ۳ تا ۱ ماهه است. اثر محدود بارش بر پوشش گیاهی در منطقه نیمه‌خشک است، پراکندگی بالا می‌تواند به دلیل عوامل مداخله‌گر نظیر دما و فعالیت انسانی باشد. این الگو با مطالعات مشابه هم‌خوانی دارد (Yazdanpanah et al., 2014)؛ (Mohammadi et al., 2023).

افزایشی ضعیف ($r = 0.2-0.4$) است و ضریب شیب منفی است. به این معنا که با افزایش SPI مقدار NDVI به‌طور متوسط کاهش پیدا می‌کند. داده‌ها از اطراف خط رگرسیون پراکنده‌اند و الگوی مشخصی از افزایش یا کاهش NDVI با افزایش SPI مشاهده نمی‌شود. این امر بیان‌گر تأثیر محدود بارش بر پوشش گیاهی می‌باشد و پراکندگی بالا به دلیل عوامل غیربارشی نظیر (آبیاری مصنوعی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی غالب) و نتیجه توسعه بی‌برنامه کشاورزی در منطقه باشد که آبیاری آن



شکل ۹- نمودار تغییرات شاخص SPI (Standardized Precipitation Index) استان خوزستان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴.
Figure 9- The graph of Standardized Precipitation Index (SPI) changes for Khuzestan province from 2000 to 2024.

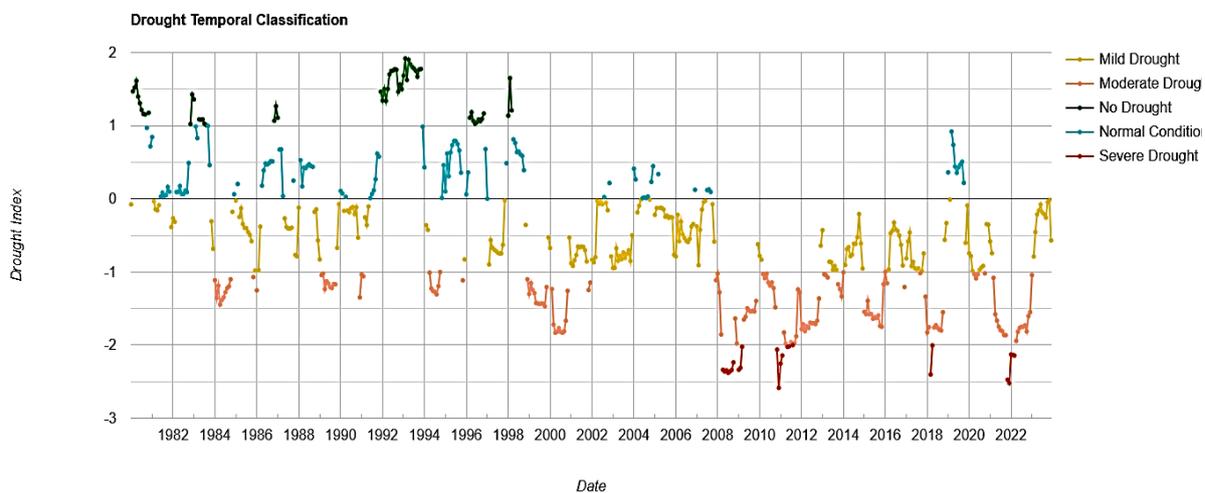


شکل ۱۰- همبستگی مقادیر شاخص SPI و NDVI در دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۴
Figure 10- Correlation of SPI and NDVI index values in the period 2000-2024

Bahiraie et al., 2024؛ Baloei et al., 2024؛ and Rahimi, 2018). روند تغییرات شاخص خشکسالی SPEI این محدوده خشکسالی ملایم تا خیلی شدید مواجه بوده است و در دوره‌های آینده تمایل به منفی شدن دارد که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی دارد. به عبارتی، دلیل اصلی همه خشکسالی‌ها، کاهش بارش و افزایش دما نسبت به میانگین بلندمدت است. این عوامل متغیرهایی هستند که خشکسالی هواشناختی را به‌عنوان اولین نوع خشکسالی ایجاد می‌کنند. در صورت تداوم این شرایط، خشکسالی‌های دیگر نیز به دنبال آن رخ می‌دهند. به همین دلیل، بین انواع مختلف خشکسالی‌ها رابطه‌ای علی و معلولی وجود دارد (Mohammadi, 2011). این الگو در مورد استان خوزستان نیز صادق است.

۳-۵- بررسی تغییرات شاخص خشکسالی SPEI

در شکل ۱۱ تحلیل روند تغییرات شاخص خشکسالی SPEI در استان خوزستان طی بازه زمانی ۲۰۲۴ تا ۱۹۸۰ در پنجره زمانی ۱۲ ماهه نشان‌دهنده آن است که این استان بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۱۹۸۰ به‌صورت متناوب دوره‌های در حد نرمال و خشکسالی خفیف تا متوسط را تجربه کرده است. با این حال، از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴، خشکسالی‌های خفیف تا متوسط غالب بوده و از ژانویه ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۲، این منطقه روند بیش‌تری در جهت منفی شدن و با خشکسالی‌های شدید مواجه شده است. از میان دوره‌های مورد بررسی، شدیدترین خشکسالی در دسامبر ۲۰۱۰ با شاخص SPEI برابر با $-2/53$ ثبت شده و پس از آن، در دسامبر ۲۰۲۱، این شاخص به $-2/48$ رسیده است. بر اساس مطالعات (Rahimi



شکل ۱۱- نمودار تغییرات شاخص Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) استان خوزستان از سال ۱۹۸۰-۲۰۲۴

۲۰۲۴

Figure 11- Chart of changes in the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) of Khuzestan Province from 1980-2024.

در منطقه منجر شده‌اند. شاخص‌های SPI و SPEI نیز نشان‌دهنده وقوع دوره‌های خشکسالی شدید در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۱۰، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ هستند که با کاهش شاخص NDVI و پیامدهای منفی بر پوشش گیاهی و کشاورزی منطقه همراه بوده‌اند. این یافته‌ها نه تنها بر تأثیرات اقلیمی محلی و منطقه‌ای تأکید دارند، بلکه نشان‌دهنده نقش عوامل غیربارشی (آبیاری مصنوعی و فعالیت‌های انسانی) در تعدیل اثرات خشکسالی هستند. نتایج این پژوهش با مطالعات (Alavipanah, Fatehi Marj and Heydarian, 2013؛ Guo et al., 2025؛ Gebrechorkos et al., 2025؛ 2018) مطابقت دارد. با این حال، این مطالعه با محدودیت‌هایی مواجه

۴- نتیجه‌گیری:

این پژوهش با بهره‌گیری از داده‌های هواشناختی و سنجش از دور، به بررسی جامع روند خشکسالی در استان خوزستان طی دوره ۲۰۲۵ تا ۱۹۵۰ پرداخته است. یافته‌های اصلی نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار دمای تمامی ماه‌ها به جز نوامبر طی بازه‌های زمانی بلندمدت در ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان است که با پیش‌بینی مدل CanESM5 مبنی بر افزایش ۳ درجه‌ای دما و کاهش بارش در دهه‌های آینده هم‌خوانی دارد. این نتایج تأیید می‌کنند که گرمایش جهانی و فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه در شهرهای صنعتی مانند اهواز و آبادان، به تشدید روند خشکسالی

تضاد منافع نویسندگان:

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها:

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان:

نیلوفر محمدی: مفهوم‌سازی، تحلیل‌های نرم افزاری / آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله، ویرایش و بازبینی؛ زهرا حجازی‌زاده: ویرایش و کنترل نتایج؛ پرویز ضیائی‌ان: ویرایش و کنترل نتایج؛ علیرضا کربلایی‌درئی: ویرایش، بازبینی و کنترل نتایج؛ اسلام کله‌بان: مفهوم‌سازی، تحلیل‌های نرم‌افزاری، ویرایش؛ کاظم علوی‌پناه: راهنمایی، ویرایش و کنترل نتایج.

منابع:

- اسدی، علی و ثنائی‌نژاد، سید حسین. (۱۴۰۴). تحلیل مکانی بارش مشاهداتی استان فارس و پیش‌نگری آن با استفاده از برون‌داد مدل اقلیمی CanESM5. نیوار، ۴۹(۱۲۸-۱۲۹)، ۶۸-۷۹. doi: 10.30467/nivar.2025.476368.1307
- بابائیان، ایمان، مدیریان، راهله، خزانه‌داری، لیلی، کریمیان، مریم، کوزه‌گران، سعیده، کوهی، منصوره، فلامرزی، یاشار و ملبوسی، شراره. (۱۴۰۲). چشم‌انداز بارش ایران در قرن ۲۱ با به‌کارگیری مقیاس‌های آماری برون‌داد مدل‌های منتخب CMIP6 توسط نرم‌افزار CMHyd. فیزیک زمین و فضا، ۴۹(۲)، ۴۳۱-۴۴۹. doi: 10.22059/jesphys.2023.332410.1007436
- بالویی، فاطمه، کابلی‌زاده، مصطفی و محمدی، شاهین. (۱۴۰۳). پیش‌تغییرات زمانی-مکانی خشک‌سالی هواشناسی و تحلیل روند متغیرهای اقلیمی در استان خوزستان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۰)، ۷۳-۹۴. doi: 10.22111/jneh.2024.46574.1987
- برخورداری فرد، زهرا و شمس‌الدینی، علی. (۱۴۰۳). تأثیر ارتفاع و دمای سطح زمین بر عملکرد محصولات بارشی ماهواره‌ای در مقیاس ماهانه در ایران. آمایش فضا و ژئوماتیک، ۲۸(۱)، ۱۲۰-۱۴۷. <https://hsm.sp.modares.ac.ir/article-21-75758-fa.html>
- بهرامی دمنه، نرگس، سلطانی‌گرددفرامزی، سمیه، قیصوری، مرتضی و عزیزیان، ابوالفضل. (۱۴۰۲). بررسی گام‌های زمانی خشک‌سالی و اثر تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای کمی و کیفی آب رودخانه پلاسجان. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۶(۳)، ۱۰۳-۱۲۰. doi: 0.22055/jise.2023.40898.2030

بود. اول، وابستگی به سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (SSP5-8.5) نظیر CanESM5 عدم قطعیت‌هایی را در پیش‌بینی‌های بلندمدت ایجاد می‌کند. دوم، تمرکز بر داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی خاص و عدم پوشش کامل نواحی روستایی ممکن است تعمیم‌پذیری نتایج را محدود نماید. سوم، تحلیل همبستگی ضعیف بین شاخص‌های SPI و NDVI نشان‌دهنده پیچیدگی تأثیر عوامل غیربارشی است که نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر می‌باشد. جهت رفع این محدودیت‌ها، پیشنهاد می‌شود تحقیقات آینده با استفاده از مدل‌های اقلیمی ترکیبی و سناریوهای متنوع، دقت پیش‌بینی‌ها را افزایش دهند. همچنین، گسترش دامنه و انتخاب نمونه به مناطق روستایی و بررسی اثرات بلندمدت خشکسالی بر منابع آبی و مهاجرت می‌تواند درک جامع‌تری از پیامدهای اقلیمی را فراهم کند. از دیدگاه علمی، توسعه مدل‌های محلی برای پیش‌بینی خشکسالی و ادغام داده‌های سنجش از دور با هوش مصنوعی برای تحلیل دقیق‌تر پوشش گیاهی توصیه می‌شود. از دیدگاه کاربردی، راهکارهایی نظیر ترویج کاشت گیاهان مقاوم به کم‌آبی، بهبود سیستم‌های آبیاری کارآمد، فرهنگ‌سازی و آموزش جوامع محلی برای سازگاری با شرایط اقلیمی جدید می‌تواند به کاهش اثرات خشکسالی کمک کند. این اقدامات نه تنها تاب‌آوری مناطق کشاورزی خوزستان را تقویت می‌کنند، بلکه به تضمین توسعه پایدار در برابر چالش‌های گرمایش جهانی یاری می‌رسانند در مجموع، این پژوهش با ترکیب داده‌های سینوپتیک و ماهواره‌ای، درک عمیق‌تری از روند خشکسالی در خوزستان ارائه کرده و می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت مدیریت منابع آبی و سیاست‌گذاری‌های اقلیمی در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به پیش‌بینی‌های افزایش شدت خشکسالی‌ها، اقدام فوری برای کاهش اثرات اقلیمی و تقویت سازگاری جوامع محلی ضروری است.

سپاسگزاری:

این مقاله، ثمره فرصت مطالعاتی داخلی دوره دکتری خانم نیلوفر محمدی در دانشگاه تهران است. مراتب سپاس از سازمان امور دانشجویان و دانشگاه تهران برای فراهم‌سازی این فرصت و از دانشگاه خوارزمی برای حمایت معنوی تقدیم می‌شود.

پاکدل، سعید، و ظهرا، نرگس. (۱۳۹۸). تغییرات دما و بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خوزستان. *علوم و مهندسی آب*، ۲۶(۹)، ۲۴۱-۲۵۶. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/922044>

حشمتی، سارا و رمضانی اعتدالی، هادی. (۱۴۰۰). پیش‌بینی وضعیت خشکسالی در دوره‌های آبی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). *آمایش سرزمین*، ۱۳(۲)، ۶۴۷-۶۶۹. doi: 10.22059/jtcp.2021.332432.670263

حقیقی، پارسا، سلیمان‌پور، سید مسعود و مرادی، ابوالفتح. (۱۴۰۴). اثرات تغییر اقلیم بر مقادیر حدی بارش و دما با استفاده از سناریوهای SSP (مطالعه موردی: استان فارس). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۵)، ۲۱۸-۱۹۹. doi: 10.22098/mmws.2024.14691.1425

حافظی مقدس، ناصر، لشکری پور، غلامرضا و پارسائی، رشید. (۱۴۰۳). ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 در پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در محدوده چاه نیمه‌های استان سیستان و بلوچستان. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۴(۵)، ۱۶۵-۱۷۸. https://clima.irimo.ir/article_192161.html

خواجه امیری، چاکوک، خسروی، محمود، طاوسی، تقی، حمیدیان پور، محسن و کیانی مقدم، منصور. (۱۴۰۱). صحت سنجی عملکرد برونداد مدل اقلیمی CMIP6 با داده‌های مشاهده‌ای کرانه‌های مکران. *هواشناسی و علوم جو*، ۵(۱)، ۲۲-۴۱. doi: 10.22034/jmas.2023.379448.1193

خزایی کوهپیر، سوفیا، جانباز قبادی، غلامرضا و متولی، صدرالدین. (۱۴۰۳). شناسایی و تحلیل سیپتیک امواج گرمایی کلان‌شهر اهواز. *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۸(۳)، ۱۹۳-۲۰۸. doi: 10.22034/jget.2023.346928.1434

رحیمی، راضیه و رحیمی، مهدی. (۱۳۹۷). تحلیل مکانی و زمانی تغییر اقلیم در سال‌های آینده و مقایسه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM، LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: استان خوزستان). *اکوهیدرولوژی*، ۵(۴)، ۱۱۶۱-۱۱۷۴. doi: 10.22059/ije.2018.258209.885

زکوی، یاسر، برنا، رضا، مرشدی، جعفر و قربانیان، جبرائیل. (۱۴۰۳). دورنمایی از شرایط تغییر اقلیم ۵۰ سال آینده استان خوزستان با تاکید بر عنصر دما. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۵(۷)، ۱۱۹-۱۳۷. doi: 10.22034/jcr.2024.191086

شمسی‌پور، علی‌اکبر. (۱۴۰۱). نگاشت اقلیم شهر و توصیه‌های برنامه‌ریزی، ج ۱، دانشگاه تهران. https://press.ut.ac.ir/book_3704.html

شیخ ربیعی، محمدرضا، پیروان، حمید رضا، دانشکار آراسته، پیمان، اکبری، مهری و معتمدوزیری، بهارک. (۱۴۰۳). بررسی اثرات تغییرات اقلیم با استفاده از نتایج گزارش ششم هیات بین‌الدول بر میزان تولید رواناب و رسوب. *مهندسی و مدیریت آب*، ۱۶(۴)، ۵۵۰-۵۷۰. doi: 10.22092/ijwmse.2024.365664.2062

طالبی‌نیا، مرجان، زهتابیان، غلامرضا، ملکیان، آرش و خسروی، حسن. (۱۳۹۹). بررسی اثرات خشکسالی بر ناپایداری اراضی کشاورزی دشت سگری. *جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۱۰(۳۹)، ۳۲۹-۳۴۲.

https://www.jgeoqeshm.ir/article_117691.html?lang=fa

عبیات، محمد، ملکی، سعید، عبیات، محمود و عبیات، ماجده. (۱۴۰۲). ارزیابی اثر تغییرات کاربری بر الگوی مکانی-زمانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی در شهر اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*، ۲(۵۵)، ۳۹-۶۲. doi: 10.22059/jhgr.2022.326267.1008331

فاتحی مرج، احمد، و حیدریان، احمد. (۱۳۹۲). بررسی خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژی با استفاده از GIS در استان خوزستان. *علوم و مهندسی آب*، ۱۹(۲۳)، ۱۹-۳۳. <https://jwmsei.ir/article-1-279-fa.html>

قاسمی، محبوبه، نصری، عبدالعلی، سلطانی، امیر و معاضد، هادی. (۱۳۹۸). بررسی روند تغییرات اقلیمی آینده تحت سناریوهای واداشت تابشی با استفاده از آزمون ناپارامتری من کندال (مطالعه موردی: جنوب اهواز). *نیوار*، ۴۳(۱۰۶-۱۰۷)، ۹۲-۱۰۲. doi: 10.30467/nivar.2019.196158.1135

قاسمی‌نژاد، سعیده، سلطانی، سعید و سفیانیان، علیرضا. (۱۳۹۳). ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان. *علوم آب و خاک*، ۱۸(۶۸)، ۲۱۳-۲۲۶. https://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1-26&slc_lang=fa&sid=1

قلجایی، عصمت‌الله، خلیقی سیگارودی، شهرام، مقدم نیا، علیرضا و ملکیان، آرش. (۱۴۰۲). مقایسه آماری داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های هواشناسی و داده‌های ماهواره‌ای در البرز میانی. *مرتع و آبخیزداری*، ۱۴(۱)، ۱-۱۴. doi: 10.22059/jrwm.2023.274312.1344

قویدل رحیمی، یوسف. (۱۳۹۴). تحلیلی از مخاطره اقلیمی امواج ابر گرم سال ۱۳۸۹ استان خوزستان. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۹(۵۱)، ۲۸۹-۳۰۹.

https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_3450_0.htm

کریمی، عزت‌اله. (۱۳۹۵). تغییر اقلیم، خشکسالی و تنگدستی در ایران: نگاهی به آینده. *پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱(۱)، ۸۰-۶۳. doi: 10.22047/srjasnr.2016.110532

کتیرایی بروجرودی، پری‌سیما. (۱۳۹۵). مقایسه داده‌های بارش ماهانه ماهواره‌ای و زمینی در شبکه‌ای با تفکیک زیاد روی ایران. *ژئوفیزیک ایران*، ۴(۷)، ۱۴۹-۱۶۰. https://www.ijgeophysics.ir/article_39553.html

گودرزی مسعود، صلاحی برومند، حسینی سید اسعد. (۱۳۹۴). ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس گردانی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. *آبخیزداری ایران*، ۹(۳۱)، ۱۱-۲۲. <https://jwmsei.ir/article-1-457-fa.html>

گوهردوست، اعظم، عظیمی، فریده، برنا، رضا و کردوانی، پرویز. (۱۳۹۷). تحلیل روند تغییرات اقلیم استان خوزستان با استفاده از مدل‌های آماری. *جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۸(۳۱)، ۹۱-۹۹. https://www.jgeoqeshm.ir/article_68873.html

مشفع، بهزاد و هاشم گلوگردی، ساره. (۱۴۰۱). ارزیابی روند تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی بر اساس داده‌های سری‌های زمانی سنجش از دور

پاکدل، سعید، و ظهرا، نرگس. (۱۳۹۸). تغییرات دما و بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خوزستان. *علوم و مهندسی آب*، ۲۶(۹)، ۲۴۱-۲۵۶. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/922044>

حشمتی، سارا و رمضانی اعتدالی، هادی. (۱۴۰۰). پیش‌بینی وضعیت خشکسالی در دوره‌های آبی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). *آمایش سرزمین*، ۱۳(۲)، ۶۴۷-۶۶۹. doi: 10.22059/jtcp.2021.332432.670263

حقیقی، پارسا، سلیمان‌پور، سید مسعود و مرادی، ابوالفتح. (۱۴۰۴). اثرات تغییر اقلیم بر مقادیر حدی بارش و دما با استفاده از سناریوهای SSP (مطالعه موردی: استان فارس). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۵)، ۲۱۸-۱۹۹. doi: 10.22098/mmws.2024.14691.1425

حافظی مقدس، ناصر، لشکری پور، غلامرضا و پارسائی، رشید. (۱۴۰۳). ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 در پیش‌نگری تغییرات دما و بارش در محدوده چاه نیمه‌های استان سیستان و بلوچستان. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۴(۵)، ۱۶۵-۱۷۸. https://clima.irimo.ir/article_192161.html

خواجه امیری، چاکوک، خسروی، محمود، طاوسی، تقی، حمیدیان پور، محسن و کیانی مقدم، منصور. (۱۴۰۱). صحت سنجی عملکرد برونداد مدل اقلیمی CMIP6 با داده‌های مشاهده‌ای کرانه‌های مکران. *هواشناسی و علوم جو*، ۵(۱)، ۲۲-۴۱. doi: 10.22034/jmas.2023.379448.1193

خزایی کوهپیر، سوفیا، جانباز قبادی، غلامرضا و متولی، صدرالدین. (۱۴۰۳). شناسایی و تحلیل سیپتیک امواج گرمایی کلان‌شهر اهواز. *مهندسی جغرافیایی سرزمین*، ۸(۳)، ۱۹۳-۲۰۸. doi: 10.22034/jget.2023.346928.1434

رحیمی، راضیه و رحیمی، مهدی. (۱۳۹۷). تحلیل مکانی و زمانی تغییر اقلیم در سال‌های آینده و مقایسه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM، LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: استان خوزستان). *اکوهیدرولوژی*، ۵(۴)، ۱۱۶۱-۱۱۷۴. doi: 10.22059/ije.2018.258209.885

زکوی، یاسر، برنا، رضا، مرشدی، جعفر و قربانیان، جبرائیل. (۱۴۰۳). دورنمایی از شرایط تغییر اقلیم ۵۰ سال آینده استان خوزستان با تاکید بر عنصر دما. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۵(۷)، ۱۱۹-۱۳۷. doi: 10.22034/jcr.2024.191086

شمسی‌پور، علی‌اکبر. (۱۴۰۱). نگاشت اقلیم شهر و توصیه‌های برنامه‌ریزی، ج ۱، دانشگاه تهران. https://press.ut.ac.ir/book_3704.html

شیخ ربیعی، محمدرضا، پیروان، حمید رضا، دانشکار آراسته، پیمان، اکبری، مهری و معتمدوزیری، بهارک. (۱۴۰۳). بررسی اثرات تغییرات اقلیم با استفاده از نتایج گزارش ششم هیات بین‌الدول بر میزان تولید رواناب و رسوب. *مهندسی و مدیریت آب*، ۱۶(۴)، ۵۵۰-۵۷۰. doi: 10.22092/ijwmse.2024.365664.2062

طالبی‌نیا، مرجان، زهتابیان، غلامرضا، ملکیان، آرش و خسروی، حسن. (۱۳۹۹). بررسی اثرات خشکسالی بر ناپایداری اراضی کشاورزی دشت سگری. *جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*، ۱۰(۳۹)، ۳۲۹-۳۴۲.

خشکسالی (مطالعه موردی مراتع نیمه شمال استان خوزستان). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۵(۲)، ۸۵-۹۸.
https://gep.ui.ac.ir/article_18663.html?lang=fa
 یزدان پناه مسعود، زبیدی طاهره، زائری هاجر. (۱۳۹۹). تمایل به اقدام جهت کاهش تغییرات اقلیمی در میان متخصصان کشاورزی استان خوزستان
تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰(۵۸)، ۱-۱۶. Doi: 10.29252/jgs.20.58.1

Reference

- Abiyat, M., Maleki, S., Abiyat, M., & Abiyat, M. (2023). Evaluation of the Effect of Land-Use Changes on the Spatio-Temporal Pattern of Land Surface Temperature and Heat Islands in Ahvaz City Using Satellite Images. *Human Geography Research*, 55(2), 39-62. doi: 10.22059/jhgr.2022.326267.1008331 (In Persian).
- Asadi, A., & Sanai-Nezhad, S. H. (2025). Analysis of spatial distribution of observed precipitation in Fars province and its prediction using the output of CanESM5 climate model. *Nivar*, 49(128-129), 68-79. https://nivar.irimo.ir/article_212718_en.html (In Persian).
- Babaeian, I., Modirian, R., Khazanedari, L., Karimian, M., Koozegaran, S., Koochi, M., Falavarjani, Y. & Malbousi, S. (2023). Iran's precipitation outlook in the 21st century by applying statistical downscaling of selected CMIP6 models using CMHyd software. *Earth and Space Physics*, 49(2), 431-449. https://jesphys.ut.ac.ir/article_90611.html (In Persian).
- Bahiraie, M., Hosseini, S. M., & Hossein-Panahi, B. (2025). Groundwater resources exploitation management in response to water scarcity challenges in Khuzestan Province, Iran. *Groundwater Science and Engineering*, 13(3), 268-285. DOI: 10.26599/JGSE.2025.9280054
- Bahrami demneh, N., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Gheysouri, M., & Azizian, A. (2023). Investigation of drought time steps and effects of land use changes on quantitative and qualitative water parameters of Plasjan river. *Irrigation Sciences and Engineering*, 46(3), 103-120. doi: 10.22055/jise.2023.40898.2030 (In Persian).
- Baloei, F., Kabolizadeh, M., & Mohammadi, S. (2024). Monitoring temporal-spatial changes of meteorological drought and trend analysis of climatic variables in Khuzestan province from 2000 to 2020. *Natural Environmental Hazards*, 13(40), 73-94. doi: 10.22111/jneh.2024.46574.1987 (In Persian).
- Barkhordarifard Z, Shamsoddini A. (2024). The effect of ground elevation and temperature on the performance of satellite products of precipitation on a monthly scale in Iran. *MJSP*, 28 (1) :120-147. URL: <http://hsmmp.modares.ac.ir/article-21-75758-en.html> (In Persian).
- Beguiria, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig-Gracia, F., & Latorre Garcés, B. (2023). SPEIbase v.2.10 در مرکز استان خوزستان. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۱۱(۳۵)، ۱۵-۲۸. doi: 10.22052/deej.2022.11.35.21
- محمدی، حسین، ایزدی، ناصر و قاسمی گرکانی، الهه. (۱۴۰۲). بررسی آسیب‌پذیری و تحلیل فضایی ریسک خشکسالی بخش کشاورزی در ایران. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱۲(۳۶)، ۷۹-۹۸. doi: 10.22111/jneh.2022.41968.1892
- محمدی، نیلوفر و حجازی‌زاده، زهرا. (۱۴۰۳). اثرات تغییر اقلیم بر افزایش ریسک مخاطره خشکسالی در تهران با بهره‌گیری از سناریوهای CMIP6. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۲)، ۱۳۳-۱۴۸. doi: 10.22098/mmws.2023.12563.1252
- محمدی، هانیه، بذرافشان، جواد و لیاقت، عبدالمجید. (۱۴۰۲). تحلیل همبست خشکسالی-گرد و غبار و بررسی ارتباط آن با تغییرات پوشش گیاهی در استان خوزستان. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴(۱۰)، ۱۴۶۵-۱۴۴۷. doi: 10.22059/ijswr.2023.364328.669560
- مصطفی‌زاده، رئوف و ذبیحی، محسن. (۱۳۹۵). تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R (بررسی موردی: استان کردستان). *فیزیک زمین و فضا*، ۴۲(۳)، ۶۴۳-۶۳۳. doi: 10.22059/jesphys.2016.57881
- مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران. (۱۳۹۱). توان طبیعی استان خوزستان، *سازمان برنامه و بودجه*، ج ۸
- مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب. (۱۴۰۲). ترجمه گزارش ارزیابی ششمین گزارش ارزیابی IPCC. https://awnrc.com/news/item/849-ippcc_synthesisreportar6.html
- موغلی، مرضیه. (۱۴۰۲). تحلیل فضایی خشکسالی با استفاده از تکنیک سنجش از دور (مطالعه موردی: حوضه مهارلو بختگان)، *جغرافیای طبیعی*، ۵۸(۱۵)، ۹۲-۷۱. <https://sanad.iau.ir/fa/Journal/jopg/Article/982894>
- محمدی، حسین. (۱۳۹۰). آب و هواشناسی مناطق خشک (چاپ اول). *دانشگاه تهران*.
- نیکبخت شهپازی، علیرضا. (۱۳۹۷). بررسی میزان تغییرات بارش و تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی در استان خوزستان تحت تأثیر تغییر اقلیم. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۵(۶)، ۱۲۳-۱۳۹. doi: 10.22069/jwsc.2019.14583.2945
- نوروزی، علی اکبر، همایی، مهدی و ترکمان، مینا. (۱۴۰۲). تحلیل روند پارامترهای اقلیمی استان خوزستان با استفاده از آزمون من‌کندال (TFPW-MK). *مطالعات علوم محیط زیست*، ۸(۲)، ۶۵۱۰-۶۵۲۱. doi: 10.22034/jess.2022.174474.1130
- نوبدی نساج، بهزاد، ظهرا، نرگس، نیک بخت شهپازی، علیرضا، و فتحیان، حسین. (۱۴۰۰). ارزیابی داده‌های بارش شبکه‌بندی جهانی در پایش خشکسالی (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ). *حفاظت منابع آب و خاک*، ۱۰(۳)، ۷۹-۹۶. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/829260>
- یزدان‌پناه، حجت‌اله، مومنی، مهدی، مومنی، مهدی، موحدی، سعید، حسینقلی‌نژاد دزفولی، حجت، موحدی، سعید و سلیمانی تبار، مریم. (۱۳۹۳). مقایسه شاخص‌های پوشش گیاهی سنجش از دور در پایش

- Khuzestan Province Using Statistical Method. *Geography (Regional Planning)*, 8(31), 91-99. https://www.jgeoqeshm.ir/article_68873.html (In Persian).
- Goodarzi, M., Salehi Boroumand, H., & Hosseini, S. A. (2016). Performance Analysis of LARS-WG and SDSM Downscaling Models In Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin. *Water and Watershed Management Science in Iran*, 9(31), 11-22. URL: <http://jwmsei.ir/article-1-457-en.html> (In Persian).
- Guo, J., Wang, F., Wen, Y., et al. (2025). Rising compound hot-dry extremes engendering more inequality in human exposure risks. *npj Natural Hazards*, 2, 66. <https://doi.org/10.1038/s44304-025-00119-x>
- Hafezi Moghaddas, N., Lashkaripour, G., & Parsaei, R. (2024). Performance analysis of CMIP6 models in projection of temperature and precipitation changes in the Chahnimah area of Sistan and Baluchistan province. *Climate Research*, 1402(56), 165-178. https://clima.irimo.ir/article_192161.html?lang=en (In Persian).
- Haghighi, P., Soleimanpour, S. M., & Moradi, A. (2025). The effects of climate change on precipitation and temperature using SSP scenarios (case study: Fars province). *Water and Soil Management and Modelling*, 5(2), 199-218. doi: 10.22098/mmws.2024.14691.1425 (In Persian).
- Heshmati, S., & Ramezani Etedali, H. (2021). Drought Forecasting for Future Periods Using LARS-WG Model: The Case Study of Kermanshah City. *Town and Country Planning*, 13(2), 647-669. doi: 10.22059/jtcp.2021.332432.670263 (In Persian).
- Huete, A. R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document. *NASA MODIS*. Retrieved from https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Summary for policymakers. In H. Lee & J. Romero (Eds.), *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1–34). *IPCC*. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.00...>
- Karami, E. (2016). Climate Change, Drought and Poverty in Iran: A Perspective of Future. *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 1(1), 63-80. doi: 10.22047/srjasnr.2016.110532 (In Persian).
- Katiraie Boroujerdy, P. S. (2016). Comparison of high-resolution gridded monthly satellite and ground-based precipitation data over Iran. *Geophysics*, 7(4), 149-160. https://www.ijgeophysics.ir/article_39553.html (In Persian).
- [Dataset]. *DIGITAL.CSIC*. <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/16497>
- Center for Urban Planning and Architecture Studies and Research of Iran. (2012). *Natural potential of Khuzestan province*, Vol. 8. Planning and Budget Organization (In Persian).
- Fatehi Marj, A., & Heidarian, A. (2013). Investigation of meteorological, agricultural and hydrological drought using GIS in Khuzestan province. *Water and Watershed Management Science in Iran*, 7(23), 19-32. <https://jwmsei.ir/article-1-279-fa.html> (In Persian).
- Funk, C. C., Peterson, P. J., Landsfeld, M. F., Pedreros, D. H., Verdin, J. P., Rowland, J. D., Romero, B. E., Husak, G. J., Michaelsen, J. C., & Verdin, A. P. (2015). The CHIRPS precipitation dataset. Climate Hazards Group, *University of California*, Santa Barbara. Retrieved from <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>
- Ghasemi, M., Naseri, A., Soltani, A., & Moazed, H. (2019). Investigating the Trend of Future Climate Change Under the Representative Concentration Pathway Scenarios Using Non-Parametric Mann-Kendall Test (Case study: South of Ahvaz). *Nivar*, 43(106-107), 92-102. doi: 10.30467/nivar.2019.196158.1135 (In Persian).
- Ghaseminejad, S., Soltani, S., & Soffianian, A. (2014). Drought Risk Assessment in Isfahan Province. *Water and Soil Science*, 18(68), 213-226. https://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-1-26&slc_lang=en&sid=1 (In Persian).
- Guha Sapid, D., Below, R., & Hoyois, P. (2022). EM-DAT: The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, Belgium. Available at: <https://www.emdat.be>
- Ghaljaee, E., Khalighi-Sigaroodi, S., Moghaddam Nia, A., & Malekian, A. (2023). Statistical Comparison of Daily Satellite Precipitation Data in Middle Alborz. *Range and Watershed Management*, 76(1), 1-14. doi: 10.22059/jrwm.2023.274312.1344 (In Persian).
- Ghavidel Rahimi, Y. (2015). Analysis of the climatic hazard of the 1389 heat waves in Khuzestan province. *Geography and Planning*, 19(51), 289-309. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_3450_en.html (In Persian).
- Ghazi, B., Salehi, H., Przybylak, R., & Pospieszńska, A. (2025). Projection of climate change impact on the occurrence of drought events in Poland. *Scientific Reports*, 15(1), 5609. <https://www.nature.com/articles/s41598-025-90488-0>
- Gebrechorkos, S. H., Sheffield, J., Vicente-Serrano, S. M., Funk, C., Miralles, D. G., Peng, J., & Dadson, S. J. (2025). Warming accelerates global drought severity. *Nature*, 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09047-2>
- Gohardoust, A., Azimi, F., Borna, R., & Kardavani, P. (2018). Analyzing the climate change Process of

- 42(3), 633-643. doi: 10.22059/jesphys.2016.57881 (In Persian).
- Moteshaffeh, B. and Hashem Geloogardi, S. (2022). Assessing the Trend of Spatio-temporal Drought Changes Using Remote Sensing Time Series Data in Central Khuzestan Province. *Desert Ecosystem Engineering*, 11(35), 15-28. doi: 10.22052/deej.2022.11.35.21 (In Persian).
- Mohammadi, H., Bazrafshan, J. and Liaghat, A. (2023). Correlation analysis of drought-dust and its relationship with vegetation changes in Khuzestan province. *Soil and Water Research*, 54(10), 1447-1465. doi: 10.22059/ijswr.2023.364328.669560 (In Persian).
- Mansouri Daneshvar, M. R., Ebrahimi, M., & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1-10. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40068-019-0135-3>
- National Center for Strategic Studies of Agriculture and Water. (2022). *Translation of the Sixth Assessment Report of the IPCC*. https://awnrc.com/news/item/849-ipcc_synthesisreportar6.html (In Persian).
- Nikbakht Shahbazi, A. R. (2019). Investigation of Crop Evapotranspiration and Precipitation changes under Climate Change RCPs Scenarios in Khouzestan province. *Water and Soil Conservation*, 25(6), 123-139. doi: 10.22069/jwsc.2019.14583.2945 (In Persian).
- Navidi Nassaj, B., Zohrabi, N., Nikbakht Shahbazi, A., & Fathian, H. (2021). Evaluation of global gridded precipitation data in drought monitoring (Case study: The Great Karun River Basin). *Water and Soil Resources Conservation*, 10(3), 79-96. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/829260> (In Persian).
- Noroozi, A. A., Homaei, M., & Torkaman, M. (2023). Analysis of the trends of climate parameters using Mann Kendal test (TFPW-MK) in Khuzestan province. *Environmental Science Studies*, 8(2), 6510-6521. doi: 10.22034/jess.2022.174474.1130 (In Persian).
- Öz, F. Y., Özelkan, E., & Tatlı, H. (2024). Comparative analysis of SPI, SPEI, and RDI indices for assessing spatio-temporal variation of drought in Türkiye. *Earth Science Informatics*, 17(5), 4473-4505. <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01401-8>
- Obarein, O. A., & Lee, C. C. (2025). ERA5 Reproduces Key Features of Global Precipitation Trends in A Warming Climate. *Climatology*, e8877. <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/joc.8877>
- Pakdel, S., & Zohrabi, N. (2019). Temperature and precipitation changes at synoptic stations in Khuzestan province. *Water Science and Engineering*, 26(9), 241-56. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/922044> (In Persian).
- Patel, R., & Patel, A. (2024). Evaluating the impact of climate change on drought risk in semi-arid region Khadka, D., Babel, M. S., Tingsanchali, T., Penny, J., Djordjevic, S., Abatan, A. A., & Giardino, A. (2024). Evaluating the impacts of climate change and land-use change on future droughts in northeast Thailand. *Scientific Reports*, 14(1), 9746. <https://www.nature.com/articles/s41598-024-59113-4>
- Khajeh amiri, C., Khosravi, M., Tavousi, T., Hamidianpour, M., & Kiani moghadam, M. (2022). An analysis of the output performance of CMIP6 climate models in comparison with the observational data of Makran coast. *Meteorology and Atmospheric Science*, 5(1), 22-41. doi: 10.22034/jmas.2023.379448.1193 (In Persian).
- Khazaei, M. R. (2025). Projected changes to drought characteristics in Tehran under CMIP6 SSP-RCP climate change scenarios. *Heliyon*, 11(2). [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(25\)00191-4](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(25)00191-4)
- Khazaei kuhpar, S., Janbaz ghobadi, G., & Motevali, S. (2024). Identification and synoptic analysis of heat waves in Ahvaz metropolis. *Geographical Engineering of Territory*, 8(3), 193-208. doi: 10.22034/jget.2023.346928.1434 (In Persian).
- Kogan, F. (2023). The IPCC Reports on Global Warming and Land Changes. In Remote Sensing Land Surface Changes: The 1981-2020 Intensive Global Warming (pp. 67-79). Cham: Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-96810-6_3
- Malardel, S., de Rosnay, P., & Albergel, C. (2016). ERA5-Land: A new ECMWF reanalysis dataset with higher spatial and temporal resolution. *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)*. Retrieved from <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets>
- Mogheli, M. (2022). Spatial analysis of drought using remote sensing techniques (Case study: Maharlou Bakhtegan basin). *Physical Geography*, 58(15), 71-92. <https://sanad.iau.ir/fa/Journal/jopg/Article/982894> (In Persian).
- Mohammadi, H. (2011). Climatology of arid regions (1st ed.). *University of Tehran* (In Persian).
- Mohammadi, H., Iizadi, N., & Ghasemi Garkani, E. (2023). Investigation of Vulnerability and Spatial Analysis of Drought Risk in the Agricultural Sector in Iran. *Natural Environmental Hazards*, 12(36), 79-98. doi: 10.22111/jneh.2022.41968.1892 (In Persian).
- Mohammadi, N., & Hejazizadeh, Z. (2024). The effects of climate change on increasing the risk of drought in Tehran using CMIP6 scenarios. *Water and Soil Management and Modelling*, 4(2), 133-148. doi: 10.22098/mmws.2023.12563.1252 (In Persian).
- Mostafazadeh, R. & Zabihi, M. (2016). Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Earth and Space Physics*,

- Swart, N. C., Cole, J. N. S., Kharin, V. V., Lazare, M., Scinocca, J. F., Gillett, N. P., Anstey, J., Arora, V., Christian, J. R., Hanna, S., Jiao, Y., Lee, W. G., Majaess, F., Saenko, O. A., Seiler, C., Seinen, C., Shao, A., Solheim, L., von Salzen, K., & Winter, B. (2019). The Canadian Earth System Model version 5 (CanESM5.0.3). Geoscientific Model Development Discussions. <https://doi.org/10.5194/gmd-2019-177>
- Talebiniya, M., Khosravi, H., Zehtabian, G., Malekian, A., & Keshtkar, H. (2022). Investigating the role of meteorological drought and geodetic factors on land subsidence vulnerability using fuzzy overlay. *Desert*, 27(2), 227-245. doi: 10.22059/jdesert.2022.90823 (In Persian).
- Tahmasebi, S. K., Kouhanestani, Z. K., & Joorabian, S. (2025). Investigating the uncertainty of atmospheric general circulation models in simulating the future runoff of Abu Al-Abbas Watershed, Khuzestan, Iran. *Environment*, 11(2), 116-124. https://www.jewe.ir/article_208085.html?lang=en
- Tahmasebi, T., Karami, E., & Keshavarz, M. (2020). Agricultural land use change under climate variability and change: Drivers and impacts. *Journal of Arid Environments*, 180, 104202. Tahmasebi, T., Karami, E., & Keshavarz, M. (2020). Agricultural land use change under climate variability and change: Drivers and impacts. *Arid Environments*, 180, 104202.
- Tran, H. T., Campbell, J. B., Wynne, R. H., Shao, Y., & Phan, S. V. (2019). Drought and human impacts on land use and land cover change in a Vietnamese coastal area. *Remote Sensing*, 11(3), 333. <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/3/333>
- Ty, T. V., Lavane, K., Nguyen, P. C., Downes, N. K., Nam, N. D. G., Minh, H. V. T., & Kumar, P. (2022). Assessment of relationship between climate change, drought, and land use and land cover changes in a semi-Mountainous area of the Vietnamese Mekong delta. *Land*, 11(12), 2175. <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/12/2175>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Climate*, 23(7), 1696-1718. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/23/7/2009jcli2909.1.xml>
- Wang, T., Tu, X., Singh, V. P., Chen, X., & Lin, K. (2021). Global data assessment and analysis of drought characteristics based on CMIP6. *Hydrology*, 596, 126091. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169421001384>
- Wan, Z. (2008). MODIS Land Surface Temperature (LST) Algorithm Theoretical Basis Document. MODIS Science Team. Retrieved from https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod11.pdf
- Xu, F., Bento, V. A., Qu, Y., & Wang, Q. (2023). Projections of global drought and their climate using GIS technique. *Results in Engineering*, 21, 101957. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259012302400210X>
- Pohlert, T. (2020). Non-parametric trend tests and change-point detection. *CC BY-ND*, 4, 1-18. <https://brieger.esalq.usp.br/CRAN/web/packages/trend/vignettes/trend.pdf>
- Rabiee, M. R. S., Peyrowan, H. R., Arasteh, P. D., Akbary, M., & Motamedvaziri, B. (2023). Investigating the consequences of climate change in runoff and sediment rate. *Geosciences*, 16(5), 304. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-023-11352-x> (In Persian).
- Raziei, T. (2022). Climate of Iran according to Köppen-Geiger, Feddema, and UNEP climate classifications. *Theoretical & Applied Climatology*, 148. Doi: 10.1007/s00704-022-03992-y
- Rahimi, R., & Rahimi, M. (2018). Spatial and temporal analysis of climate change in future years and comparison of SDSM, LARS-WG, and artificial neural network downscaling methods (Case study: Khuzestan Province). *Ecohydrology*, 5(4), 1161-1174. <https://doi.org/10.22059/ije.2018.258209.885> (In Persian).
- Salmi, T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the Excel template application MAKESENS. *Ilmatieteen laitoksen julkaisuja*, 259356944. https://www.researchgate.net/publication/259356944_Detecting_Trends_of_Annual_Values_of_Atmospheric_Pollutants_by_the_MannKendall_Test_and_Sen's_Solpe_Estimates_the_Excel_Template_Application_MAKESENS
- Semenov, M. A., Barrow, E. M., & Lars-Wg, A. (2002). A stochastic weather generator for use in climate impact studies. User Man Herts UK, 1-27. https://www.researchgate.net/profile/Mikhail-Semenov-2/publication/268304865_LARS-WG_A_Stochastic_Weather_Generator_for_Use_in_Climate_Impact_Studies/links/5be6daef4585150b2bac772a/LARS-WG-A-Stochastic-Weather-Generator-for-Use-in-Climate-Impact-Studies.pdf
- Serrano, A., Mateos, V. L., & Garcia, J. A. (1999). Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24(1-2), 85-90. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1464190998000161>
- Shamsipour, A. A. (2023). Urban climate mapping and planning recommendations, Vol. 1. *Tehran University*. https://press.ut.ac.ir/book_3704.html (In Persian).
- Simsek, O., Şenol, H. I., & Keskiner, A. D. (2025). Examination of area-based trend and drought characteristics of drought classes in the context of climate change. *Natural Hazards. Advance online publication*. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07412-y>

- characteristics over the Yangtze river basin based on CMIP6. *Water*, 14(19), 2996. <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/19/2996>
- Yazdanpanah M, Zobeidi T, Zaery H. (2020). Willingness to take action toward climate change in Agriculture Experts in Khuzestan Province. *Applied Researches in Geographical Sciences*. 20(58), 1-16. doi:10.29252/jgs.20.58.1 (In Persian).
- Zareie, S., Mohammadi, S., & Rabiei-Dastjerdi, H. (2025). Determining the effects of large dams and urbanization on soil salinity and surface temperature using satellite images in a Middle Eastern country. *Discover Sustainability*, 6(1), 393. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01168-y>
- zakavi, Y., Borna, R., morshedi, J., & ghorbanyan, G. (2024). A perspective on the conditions of climate change in the next 50 years of Khuzestan province with an emphasis on the element of temperature. *Climate Research*, 1403(57), 119-137. doi: 10.22034/jcr.2024.191086 (In Persian).
- drivers using CMIP6 global climate models. *Water*, 15(12), 2272. <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/12/2272>
- Yazdanpanah Dero, Q., Sharif, M., Nikzad Samarin, A., Naseri, A. A., & Mohammadi, H. R. (2025). Monitoring of water resources based on remote sensing and ground data, a comprehensive analysis of human and climate impact. *Modeling Earth Systems and Environment*, 11(1), 24. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-024-02193-y>
- Yazdanpanah, H., Momeny, M., Momeny, M., Movahedy, S., Dezfollian, H., Movahedy, S. and Soleimanitabar, M. (2014). Drought monitoring of south of Khuzestan province, Iran using remote sensing and SPI. *Geography and Environmental Planning*, 25(2), 85-98. https://gep.ui.ac.ir/article_18663.html?lang=en (In Persian).
- Yu, J., Zhou, H., Huang, J., & Yuan, Y. (2022). Prediction of multi-scale meteorological drought