Integrated Watershed Management, Autumn, 2026, 6(3), 132-148 **Article Type: Research**

doi: 10.22034/iwm.2026.2076790.1252 **Online ISSN: 2783-4581**

Climatology of the Major Drainage Basins of Iran

Sayyed Mohammad Hosseini*

Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Sayyed Jamaleddin Asadabadi University, Asadabad, Iran

* **Corresponding Author**: h.climate@sjau.ac.ir

(Received: 09 November 2025 Revised: 24 December 2025 Accepted: 24 May 2026)

Extended Abstract

Introduction: Today, climate change has widespread impacts on human life and its natural environment, to the point that some researchers consider this phenomenon one of the most important global threats of the 21st century. By affecting factors such as temperature, evapotranspiration, and precipitation, climate change has accelerated the severity of droughts and imposed sudden stresses on most human, animal, and plant ecosystems. This ultimately leads to a shortage of water resources; the drying up of lakes, rivers and wetlands, a decrease in groundwater levels, land subsidence, a decline in water quality, soil erosion, desertification; and an increase in dust storms in the country. Therefore, the main goal of this research is to study climate behavior in the drainage basins of Iran to reveal the trends of climate elements and analyze environmental crises caused by climate change.

Materials and Methods: In the present study, daily precipitation, temperature, and humidity data from synoptic and climatological stations with at least 50 years of statistical data were used to analyze the climate of 6 major Iranian drainage basin (level 1 basins) in the last half century. The data, covering the period from 1975 to the end of 2024, were obtained from the National Center for Climate and Drought Crisis Management. Following statistical analysis, temporal and spatial analyses were conducted. Graphic diagrams of temperature, precipitation, and evapotranspiration were generated, and drought maps were extracted based on the Standardized Precipitation Index (SPI) separately for all major drainage basins of the country.

Results and Discussion: The results showed that the dominant climate pattern in Iran over the last 50 years has been an increasing trend in temperature and evapotranspiration, along with a decreasing trend in precipitation in many regions. Over the last half century, the annual temperature trend in the country has increased by about 0.41 °C per decade, which is higher than the global average. Furthermore, the trend of potential evapotranspiration in Iran indicates that this parameter has been increasing at a rate of 13.5 mm per year. Precipitation has also changed significantly and has become anomalous. This change is clearly evident both on a decadal scale and in annual time series, with the rainfall trend decreasing by 1.1 mm per year. The climatic analysis of Iran's drainage basins over the last half century revealed that the Caspian Sea watershed has been experiencing severe drought, with 37% of the basin area affected. In the Persian Gulf and Oman Sea basins, severe droughts have affected more than 50% of the basin area. In the Lake Urmia basin, a mountainous hub in the northwest, the share of severe drought is 47%. In the Central Plateau watershed, the largest in Iran, the share of wet years is near zero, while droughts cover close to 80% of the basin area. In the border watershed of eastern Iran, droughts cover 60% of the basin area. In the Qaraqom (Sarkhs) watershed, very severe droughts account for 44% of the area. It appears that drought in Iran is not limited to the inland and low-rainfall regions; the possibility of this phenomenon occurring in any climate (even the high-rainfall Caspian regions) exists. In the last half century, drought in Iran has both intensified and spread, penetrating even the northern, northwestern, and western halves of the country. Meanwhile, wet years are increasingly concentrated, following a phenomenon of climatic nesting. This situation confirms the role of increasing global warming and climate change.

Conclusion: Iran's specific geographical location—being situated in a hot and dry region of the planet, adjacent to the Lut Desert and central deserts, and distant from moisture-rich sources—has caused the amount of precipitation in Iran to be much lower than the global average. Today, increasing global warming and climate change have exacerbated the arid and drought conditions in the country. Therefore, increasing temperatures on one hand and decreasing precipitation on the other can lead to a reduction in surface water storage, a decrease in soil moisture retention, an increase in evaporation, and ultimately a water shortage and drought crisis. In addition, the distance from moisture sources, the proximity to internal deserts, and the location in the rain shadow of the Zagros and Alborz mountain ranges have caused Iran's drainage basins to suffer from severe drought and water crises.

Keywords: Iran, Climate Change, Wetness, Drought, Drainage Basin.

Citation: Hosseini, S. M. (2026). Climatology of the Major Drainage Basins of Iran. *Integrated Watershed Management*, 6(3), 132-148. https://doi.org/10.22034/iwm.2026.2076790.1252

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، سال ششم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۵، صفحات (۱۴۸-۱۳۲) نوع مقاله: پژوهشی

شاپا الکترونیکی: ۴۵۸۱-۲۷۸۳ doi: 10.22034/iwm.2026.2076790.1252

اقلیم‌شناسی حوزه‌های آبریز اصلی ایران

سید محمد حسینی*

گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

* **نویسنده مسئول:** h.climate@sjau.ac.ir

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۴/۰۸/۱۸ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۴/۰۹/۰۳ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۵/۰۳/۰۳)

چکیده مبسوط

مقدمه: امروزه تغییر اقلیم، تأثیرات گسترده‌ای بر زندگی بشر و محیط‌زیست طبیعی او دارد تا جایی که برخی محققان این پدیده را یکی از مهمترین تهدیدات جهانی قرن بیست و یک قلمداد می‌کنند. تغییرات اقلیمی با تأثیرگذاری بر عواملی مانند دما، تبخیروتعرق و بارش، شدت خشکسالی‌ها را تسریع کرده و تنش‌های ناگهانی بر اغلب زیست‌بوم‌های انسانی، جانوری و گیاهی وارد کرده است که در نهایت منجر به کمبود منابع آبی، خشک‌شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، فرونشست زمین، کاهش کیفیت آب، فرسایش خاک، بیابان‌زایی و افزایش توفان‌های گردوغبار در کشور می‌شود. لذا هدف اصلی این پژوهش، رفتارشناسی اقلیم در حوزه‌های آبریز ایران جهت آشکارسازی روند عناصر اقلیمی و تحلیل بحران‌های زیست‌محیطی ناشی از تغییرات اقلیمی است.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر جهت تحلیل اقلیمی ۶ حوزه آبریز اصلی ایران در نیم قرن اخیر، از داده‌های روزانه بارش، دما و رطوبت در ۲۳۰ ایستگاه‌های همدید و باران‌سنجی با دست کم ۵۰ سال آماری استفاده شده است. این داده‌ها در مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی کشور از سال ۱۳۵۴ تا ۱۴۰۳ خورشیدی در دسترس است. پس از آنالیز آماری داده‌ها، تحلیل زمانی و مکانی و نمودارهای گرافیکی دما، بارش، تبخیروتعرق با آزمون روند من-کندال و نقشه‌های خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد به تفکیک برای کل حوزه‌های آبریز اصلی کشور استخراج شد.

نتایج و بحث: نتایج این پژوهش نشان داد که طبق الگوی غالب اقلیمی در ایران طی ۵۰ سال اخیر؛ روند افزایشی دما، افزایش تبخیروتعرق به‌همراه روند کاهشی بارش در بسیاری از مناطق کشور معنی‌دار بوده است. به طوری که در نیم قرن اخیر، روند دمای سالانه در کشور نسبت به میانگین جهانی، افزایش بیشتری داشته و ۰/۴۱ درجه در هر دهه صعود کرده است. همچنین روند تغییرات تبخیروتعرق بالقوه در ایران نیز حاکی از این است که این عنصر اقلیمی با نرخ ۵/۱۳ میلی‌متر در سال روندی افزایشی داشته است. بارش در ایران نیز تغییر چشمگیری داشته و ناهنجار شده است. این تغییر هم در مقیاس دهه‌ای و هم در سری‌های زمانی سالانه کاملاً مشهود است. به طوری که روند بارش در کشور به میزان ۱/۱ میلی‌متر در سال کاهشی بوده است. همچنین تحلیل اقلیمی حوزه‌های آبریز ایران در نیم قرن اخیر نشان داد که حوزه آبریز دریای مازندران دچار خشکسالی شدید شده است به طوری که ۳۷ درصد از وسعت حوضه درگیر خشکسالی شدید است. در حوزه آبریز خلیج فارس و دریای عمان، خشکسالی‌های بسیار شدید بیش از ۵۰ درصد مساحت حوضه را از آن خود کرده است. در حوزه آبریز دریاچه ارومیه به عنوان گره‌گاه کوهستانی شمال‌غرب کشور، سهم خشکسالی شدید ۴۷ درصد است. در حوزه آبریز فلات مرکزی به عنوان بزرگترین حوزه آبریز ایران، سهم ترسالی‌ها نزدیک به صفر و سهم خشکسالی‌ها نزدیک ۸۰ درصد از مساحت حوضه می‌باشد. در حوزه آبریز مرزی شرق ایران، خشکسالی‌ها، ۶۰ درصد از وسعت حوضه را شامل می‌شوند. در حوزه آبریز قره‌قوم (سرخس) نیز، خشکسالی‌های بسیار شدید، سهم ۴۴ درصدی را به خود اختصاص داده است. به نظر می‌رسد خشکسالی در ایران فقط مربوط به مناطق داخلی و کم‌بارش کشور نیست و احتمال رخداد این پدیده در هر اقلیمی(حتی مناطق پربارش خزری) نیز وجود دارد. بنابراین در نیم قرن اخیر، خشکسالی در کشور ایران هم شدت گرفته و هم فراگیر شده است و حتی در نیمه شمالی، شمال‌غرب و غرب ایران نیز رخنه کرده است. ضمن اینکه، ترسالی‌ها در ایران نیز متمرکز شده و از پدیده لانه‌گزینی اقلیمی تبعیت می‌کند. این شرایط، نقش افزایش گرمایش جهانی و تغییرات فزاینده اقلیمی را تایید می‌کند.

نتیجه‌گیری: موقعیت خاص جغرافیایی ایران مانند قرارگیری در منطقه گرم و خشک کره زمین، همجواری با کویر لوت و بیابان‌های مرکزی و دوری از منابع تغذیه کننده رطوبت سبب شده است تا میزان بارش در این کشور بسیار کمتر از میانگین جهانی باشد. این در حالی است که امروزه افزایش گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، شرایط خشکی و خشکسالی را در کشور ایران تشدید کرده است. بنابراین افزایش دما از یک‌سو و کاهش بارش از سویی دیگر، می‌تواند منجر به کاهش ذخیره آب سطحی،کاهش نگهداشت رطوبت خاک، افزایش تبخیر و در نهایت بحران کم‌آبی و خشکسالی شود. ضمن اینکه دوربودن از منبع رطوبتی؛ همسایگی با کویرها و بیابان‌های داخلی ایران؛ قرارگیری در بادپناه شرقی نوار کوهستانی زاگرس و بادپناه جنوبی سلسله جبال البرز سبب شده است که حوزه‌های آبریز ایران دچار خشکسالی شدید و بحران‌های آبی قرار گیرند. به طوری که در در اغلب موارد، مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، خشکسالی‌های هواشناسی به وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیکی منتهی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ایران، تغییرات اقلیمی، ترسالی، خشکسالی، حوزه آبریز.

استناد: حسینی، س.م. (۱۴۰۵). اقلیم‌شناسی حوزه‌های آبریز اصلی ایران. *مدیریت جامع حوزه های آبخیز*، ۶(۳)، ۱۴۸-۱۳۲. https://doi.org/10.22034/iwm.2026.2076790.1252

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وب‌سایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

در سال‌های اخیر به سبب رخداد تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی، کشورهای دنیا با کمبود منابع آب که یکی از مهمترین چالش‌های بشر بوده است، مواجه شده‌اند (Abdulaziz & Burn, 2006; Yu *et al.*, 2019; Halwani & Halwani, 2022; Moradi & Maleki, 2025). از آنجا که بیشتر گسترهٔ ایران نیز در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است از این چالش مستثنی نبوده و تنش‌های وارده بر اغلب زیست‌بوم‌های انسانی، جانوری و گیاهی اثرات فراوانی گذاشته (Tabari et *al*., 2001; Asgari *et al.*, 2025) و موجب بیابان‌زایی در این کشورها شده است (Wang *et al.*, 2007). این در حالی است که میانگین بارندگی سالانه ایران، حدود ۲۵۲ میلی‌متر گزارش شده است که کمتر از یک‌سوم میانگین بارش کره زمین و متوسط سالانه تبخیروتعرق کشور، سه برابر تبخیر کره زمین ثبت شده است (Masoodian, 2011). لذا بایستی اذعان داشت که بروز بحران‌های آبی و حدی مانند سیلاب و خشکسالی شدید از مشخصه‌های اصلی این کشورها به شمار می‌آید (Drolet & Sampson, 2017; Tajbakhsh, 2025). خشکسالی‌های مکرر همراه با برداشت بیش از حد آب‌های سطحی و زیرزمینی از طریق شبکه بزرگی از چاه‌های عمیق و زیرساخت‌های هیدرولیک، وضعیت آب کشور را به سطح بحرانی رسانده است. از نشانه‌های این وضعیت؛ کمبود منابع آبی، خشک‌شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، فرونشست زمین، کاهش کیفیت آب، فرسایش خاک، بیابان‌زایی و افزایش توفان‌های گردوغبار در کشور است (Kogan, 1997; Feng, 2014; Konapala *et al.*, 2020; Panda et al, 2020; Mengistu *et al.*, 2021; Hosseini *et al.*, 2021; Salakpi, 2021;

امروزه؛ تغییرات اقلیمی با تأثیرگذاری بر عواملی مانند دما و تبخیروتعرق، شدت خشکسالی‌ها را تسریع کرده (Ongoma *et al.*, 2020; Orimoloye *et al.*, 2022) و احتمال رخداد این پدیده در سال‌های آینده افزایش خواهد یافت (Beaudin, 2006). تحلیل خشکسالی در کشور ایران نشان می‌دهد که هیچ بخشی از کشور، از این پدیده در امان نبوده و نسبت به موقعیت جغرافیایی خود و وضعیت اقلیمی موجود، اثرهای گوناگون این پدیده مخرب را تجربه کرده است (Hosseini & Fateminya, 2021). عده‌ای از اندیشمندان و صاحب‌نظران بر این باورند که علل بروز خشکسالی‌ها را باید در ناهنجاری‌های گردش عمومی جو جستجو کرد (Masoodian, 2011). برخی نیز خشکسالی را کمبود بارش در دوره‌های بلندمدت که موجب کمبود رطوبت در خاک شده و سبب کاهش منابع آب می‌گردد و بدین طریق، فعالیت‌های انسانی و حیات معمول گیاهی و جانوری را بر هم می‌زند، تعبیر می‌کنند (Barry & Chorley, 1992). با این وجود، تعریف خشکسالی و چگونگی ارتباط آن با پدیده‌های هیدرولوژی بسیار مشکل و پیچیده است؛ زیرا اولاً، خشکسالی ممکن است به طور همزمان تمام اجزاء سیستم هیدرولوژی را تحت تاثیر قرار ندهد؛ ثانیاً، خشکسالی یک پدیده مطلق نبوده بلکه کمبود نسبی رطوبت می‌باشد (Alizadeh, 2015; Hosseini Seddigh & Jalali, 2025).

مطالعات پراکنده زیادی در مورد ویژگی‌های اقلیمی یک منطقه در سطح جهان و ایران انجام شده است که به اختصار به چند نمونه اشاره می‌شود؛ Silva (۲۰۰۳) تأثیر تغییرات اقلیمی را روی پارامترهای اقلیمی و پدیده خشکسالی در برزیل در بازه زمانی ۲۰۲۲-۱۹۴۸ بررسی نموده و نشان دادند که در دهه‌های گذشته، فراوانی وقوع و شدت خشکسالی‌ها در منطقه نیمه‌خشک و ساحلی برزیل افزایش پیدا کرده است. Garbrecht و همکاران (۲۰۰۴) به مطالعه تغییرات زمانی بارندگی و تبخیروتعرق در ایالات متحده از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ پرداختند و نشان دادند که در دو دهه اخیر، بارندگی به میزان قابل توجهی افزایش یافته ولی افزایش مقدار تبخیروتعرق در نتیجه این تغییرات بارندگی کمتر بوده است. Hesch و Burn (۲۰۰۷) با بررسی روند تبخیر و عوامل تأثیرگذار بر آن در کانادا

از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ به این نتیجه رسیدند که میزان تبخیر و همچنین سرعت باد روند کاهشی داشته است. Toma و Croitoru (۲۰۱۱) با بررسی رخداد خشکسالی در دشت‌های مرکزی رومانی در سال ۲۰۰۰، ممانعت هوا در مسیر فرارفت توده هوای مرطوب حاره‌ای را دلیل رخداد این پدیده بیان کردند. Jhajharia و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی روند تبخیروتعرق در مناطق مرطوب شمال هند در یک دوره ۲۲ ساله نشان دادند که تبخیروتعرق در مناطق مرطوب روندی کاهشی داشته است. Jain و همکاران (۲۰۱۳) به تحلیل روند متغیرهای بارندگی و دما در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در قسمت شمال غرب کشور هند در بازه زمانی ۲۰۰۸-۱۸۷۱ پرداختند. نتایج حاکی از این است که بارندگی در هیچ مقیاس زمانی روند معنی‌دار نداشته ولی دما در هر سه مقیاس زمانی به طور معنی‌دار افزایشی بوده است. Das و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی خشکسالی کشاورزی در حوضه بانکورا از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ پرداخته و معتقدند که این منطقه با خشکسالی ترکیبی مواجه است به طوری که ۶ درصد منطقه بدون خطر، ۵۳ با خطر متوسط و ۴۱ درصد با خطر بالا مواجه هستند. Elfaigh (۲۰۱۵) با بررسی خشکسالی کشاورزی کشور سودان در ۳۰ سال اخیر نشان دادند که استفاده از ارقام مقاوم به خشکی، بذرپاشی زودهنگام به منظور استفاده از بارندگی‌های غیرمنتظره، افزایش فاصله بین ردیف‌ها و استفاده از کشت‌های مخلوط، می‌تواند آسیب‌پذیری کشاورزان را کاهش دهد. Qian و Wu (۲۰۱۷) روند تغییرات بارندگی سالانه و فصلی را در استان شانگشی چین از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۴ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که بارندگی سالانه در شمال منطقه روند کاهشی داشته است درحالی که در مقیاس فصلی تنها در تعداد معدودی از ایستگاه‌ها روند معنی‌داری وجود دارد. Xu و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی تبخیروتعرق در رودخانه زرد چین بر این باورند که تبخیروتعرق پتانسیل طی ۵۰ سال اخیر کاهش یافته است که دلیل آن را کاهش سرعت باد در منطقه می‌دانند. Wang و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی تغییرات مکانی-زمانی خشکسالی در حوضه رودخانه زرد چین بر این باروند که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ کاهش خشکسالی به جز زمستان در این منطقه اتفاق افتاده است. Paul و Dhawale (۲۰۱۸) با پایش خشکسالی در لاتور هند در سال ۲۰۱۱ نشان دادند که شاخص وضعیت دما با دقت بالایی میزان خشکسالی منطقه را نشان می‌دهد. Baig و همکاران (۲۰۲۰) با تحلیل خشکسالی حوزه رودخانه چیترال کابل از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ نشان دادند که سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ میلادی خشکسالی هواشناسی و سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ خشکسالی کشاورزی را تجربه کرده‌اند.

در ایران نیز؛ Sedaghatkerdar و Fattahi (۲۰۰۷) طی دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۶۰ نشان دادند زمانی که شاخص بارش استاندارد (SPI)[1] دارای توالی‌های منفی باشد، بیانگر وقوع شرایط خشکسالی در ایران می‌باشد. Babaee و Alijani (۲۰۰۹) بر این باورند که در بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵، قسمت‌های شمال‌غرب، شمال و شمال‌شرق کشور خشکسالی‌ها بسیار شدید است در صورتی که در مناطق مرکز، جنوب و جنوب‌شرق خشکسالی‌ها متوسط و ملایم می‌باشد. Khoushakhlagh و همکاران (۲۰۱۲) در یک دوره آماری مشترک ۲۰ ساله (۲۰۰۸ تا ۱۹۸۹)، معتقدند که فراوانی دوره‌های خشکسالی در جنوب‌غرب ایران بیش از دوره‌های ترسالی است و روند دوره‌های کاهش بارش به ویژه در سال‌های اخیر رو به افزایش می‌باشد. Torkamani و Maleki (۲۰۱۵) با بررسی خشکسالی و نقش آن در استفاده بهینه از منابع آب استان خراسان

[1] - Standardized Precipitation Index (SPI)

شمالی در سال زراعی ۱۳۹۱ معتقدند که در این استان، تعداد سال‌های مرطوب کمتر از تعداد سال‌های خشک و کم‌باران بوده است. Montaseri و Mardani (۲۰۲۳) با بررسی خشکسالی در شهرستان مرودشت در دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۱۹– ۲۰۰۰) بر این باورند که وضعیت خشکی خیلی شدید، بیش‌تر در قسمت‌های جنوبی و جنوب‌غربی این منطقه مشاهده می‌شود. Hedjazizadeh و همکاران (۲۰۲۵) با بررسی اثر خشکسالی استان همدان طی دوره زمانی ۳۰ ساله بر این باورند که ماه‌های فوریه، مارس و نیز آوریل در گستره این استان خشکسالی‌های شدیدتری تجربه شده است. Tajbakhsh (۲۰۲۵) معتقد است که تغییرات دما و بارش ایران طی ۵۰ سال گذشته کشور، نسبت به میانگین‌های بلندمدت به‌ترتیب روند افزایشی با نرخ ۰/۴ درجه سانتیگراد و روند کاهشی با نرخ ۰/۸ میلی‌متر در سال دارد. Asgari و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که تاثیر خشکسالی و نوسانات آن طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ از لحاظ شدت و مدت بر خشکیدگی جنگل‌های بلوط زیاد است و اگر خشکسالی با همین روند پیش برود سالانه ۱۱۱۸/۴ هکتار از جنگل‌های بلوط استان ایلام نابود می‌شود.

در پژوهش حاضر، به بررسی اقلیمی حوزه‌های آبریز اصلی ایران پرداخته شد تا ضمن شناسایی رفتار اقلیمی حوضه‌ها، راهکارهای علمی-عملیاتی سازگاری با بحرانهای ناشی از تغییر اقلیم ارائه گردد. لازم به ذکر است که تاکنون تحلیل جامعی از وضعیت اقلیمی ابرحوزه‌های ایران به صورت مقایسه‌ای انجام نشده است و اغلب پژوهش‌ها فقط به بررسی جنبه هیدرولوژیکی یک یا چند حوضه پرداخته‌اند و از این جهت، پژوهش حاضر به سبب مقایسه اقلیمی- هیدرولوژیکی همه ۶ حوزه آبریز اصلی، نوآوری خواهد داشت.

مواد و روش‌ها

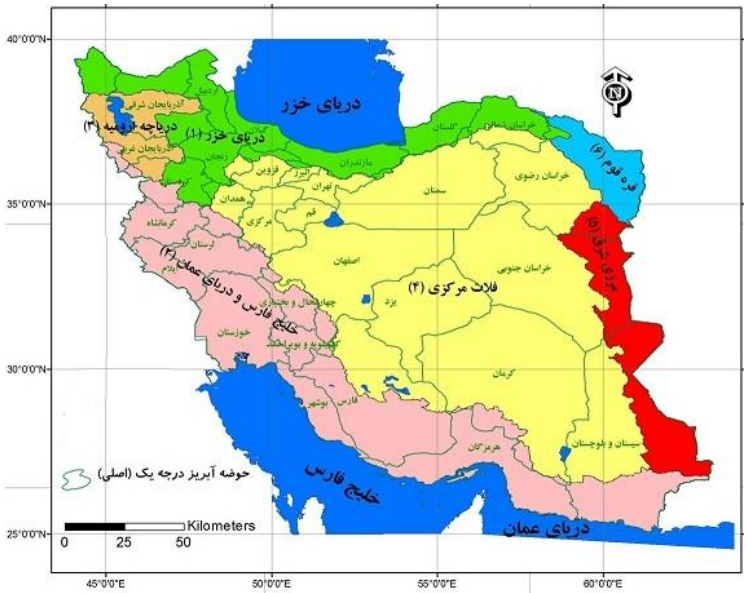
منطقه موردمطالعه

در پژوهش حاضر، تحلیل اقلیمی حوزه‌های آبریز اصلی ایران مورد کنکاش علمی قرار گرفته است. ایران شامل ۶ ابرحوضه می‌باشد که هر یک از این حوضه‌ها خود به حوضه‌های کوچک و تا چندین رده کوچکتر نیز تقسیم می‌شوند (شکل ۱). این ابرحوضه عبارتند از: ۱- حوزه آبریز دریای مازندران با ۷ زیرحوزه؛ ۲- حوزه آبریز خلیج فارس و دریای عمان با ۹ زیرحوزه؛ ۳- حوزه آبریز دریاچه ارومیه؛ ۴- حوزه آبریز فلات مرکزی با ۹ زیرحوزه؛ ۵- حوزه آبریز مرزی شرق کشور با ۳ زیرحوزه؛ ۶- حوزه آبریز قره‌قوم. بر اساس تقسیمات آبخیزداری، حوزه‌های آبریز حدود ۱۲۵ میلیون هکتار از مساحت کشور را در بر می‌گیرند. حدود ۳۹ میلیون هکتار باقی‌مانده از سطح کشور را مناطق بیابانی، کویری، باتلاق‌ها، دریاچه‌ها، شهرها و روستاها تشکیل داده است. وسیع‌ترین حوزه آبریز ایران، حوزه آبریز فلات مرکزی با ۸۲۴۶۱۱ کیلومترمربع (بیش از ۵۰ درصد مساحت ایران) و کوچکترین حوضه، حوزه آبریز قره‌قوم با ۴۴۲۹۵ کیلومترمربع (کمتر از ۳ درصد مساحت ایران) می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- آماره‌های حوزه‌های آبریز اصلی ایران

Table 1- Statistics of major drainage basins in Iran

کد حوضه	نام حوزه آبریز	مساحت حوضه (کیلومترمربع)	مساحت حوضه (درصد)
1	دریای مازندران	175060	79.10
2	خلیج فارس و دریای عمان	424029.6	13.26
3	دریاچه ارومیه	51761.9	19.3
4	فلات مرکزی	824611.4	81.50
5	مرزی شرق	103183.2	36.6
6	قره‌قوم	44295.5	73.2

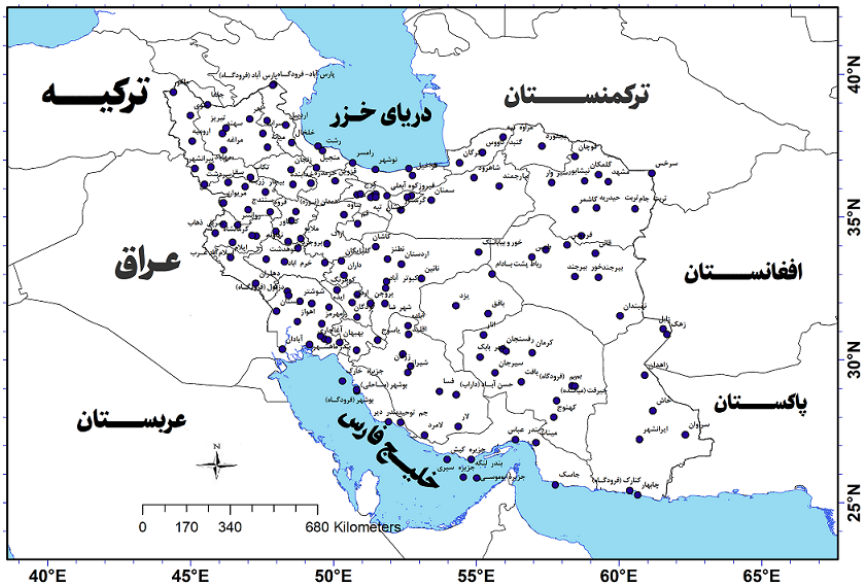


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه‌های آبریز اصلی ایران

Figure 1- Geographical location of major drainage basins in Iran

روش تحقیق

در پژوهش حاضر از داده‌های روزانه دمای میانگین (جهت ترسیم نمودار روند دمای کشور)، از داده‌های روزانه تبخیروتعرق (جهت ترسیم نمودار روند تعریق و تعرق) و از داده‌های روزانه بارش (جهت ترسیم نمودار روند بارش کشور و همچنین بررسی خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارش استاندارد) استفاده شده است. این داده‌ها برای ۲۳۰ ایستگاه همدید سازمان هواشناسی کشور و ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو (شکل ۲) با حداقل ۵۰ سال آماری در حوزه‌های آبریز اصلی کشور استخراج شد. این داده‌ها در مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی به نشانی https://ndc.irimo.ir از سال ۱۳۵۴ تا ۱۴۰۳ خورشیدی در دسترس است.



شکل ۲- پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران

Figure 2- Distribution of study stations in Iran

همچنین در پژوهش حاضر برای بررسی روند دما، بارش و تبخیروتعرق ایران در ۵۰ سال اخیر، از آزمون ناپارامتریک من- کندال[۲] در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شده است. این آزمون در اغلب پژوهش‌ها از جمله تحلیل‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی استفاده می‌شود (Yue *et al.*, 2002). من-کندال بر اساس آماره تاوکندال(τ) استوار است و برای بررسی تصادفی بودن سری زمانی کاربرد دارد و بر مبنای عدم وجود روند در داده‌ها (فرض صفر) یا وجود روند در داده‌ها (فرض یک)، تصمیم‌گیری می‌نماید. محاسبه این آزمون از رابطه ۱ به دست می‌آید. بر اساس آماره (S) اختلاف بین تک‌تک مشاهدات محاسبه می‌گردد. سپس خروجی این تابع، علامت هر سری را روشن می‌کند (Hirsch & Slack, 1984):

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{J=i+1}^{N} sgn(x_j - x_i) \qquad (۱)$$

که در آن؛ xi و xj مقادیر سالیانه در سال‌های i و j هستند و $j>I$ و N تعداد نقاط اطلاعات هستند. مقدار $sgn(x_j - x_i)$ طبق رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & if\ (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & if\ (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & if\ (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \qquad (۲)$$

در این رابطه؛ xj ارزش jاُم سری و xk ارزش kاُم سری و sgn تابع علامت می‌باشد.

معمولاً این آزمون در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد انجام می‌شود. مقدار α برای ۹۵ درصد برابر ۰/۰۵ و برای ۹۹ درصد، ۰/۰۱ است. به دیگر سخن، اگر حد بالا و پایین Q که در دو سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ به‌دست می‌آید هر دو مثبت باشند، فرض وجود روند افزایشی در دما رد نمی‌شود. اگر حد بالا و پایین Q هر دو منفی باشند، فرض وجود روند کاهشی در دما ثابت می‌شود و اگر حد بالا و پایین نایکسان باشند، فرض وجود روند تأیید نمی‌گردد.

همچنین در این پژوهش، نقشه و نمودارهای گرافیکی دما، بارش، تبخیروتعرق و نقشه‌های خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد به تفکیک برای کل حوزه‌های آبریز اصلی کشور استخراج شده است. این شاخص توسط Mckee و همکاران (۱۹۹۳) برای پایش خشکسالی در منطقه کلرادو ارائه شد و به دلیل سادگی در محاسبات و استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب و هوایی به عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته می‌شود. این شاخص برای محاسبه خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (۱، ۳، ۶ و ۹ ماهه) و بلندمدت (۱۲، ۲۴، ۴۶ و ۷۲ ماهه) و بر مبنای داده‌های بارش که همبستگی بالایی نسبت به هم دارند استوار است. این شاخص از رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$SPI = \frac{xi - \bar{x}}{SD} \qquad (۳)$$

که در این رابطه؛ SPI = شاخص بارش استاندارد؛ $\bar{x}$ = میانگین بارش در طول دوره آماری؛ xi = بارش در هر ماه یا سال؛ SD = انحراف استاندارد می‌باشد.

نتایج و بحث

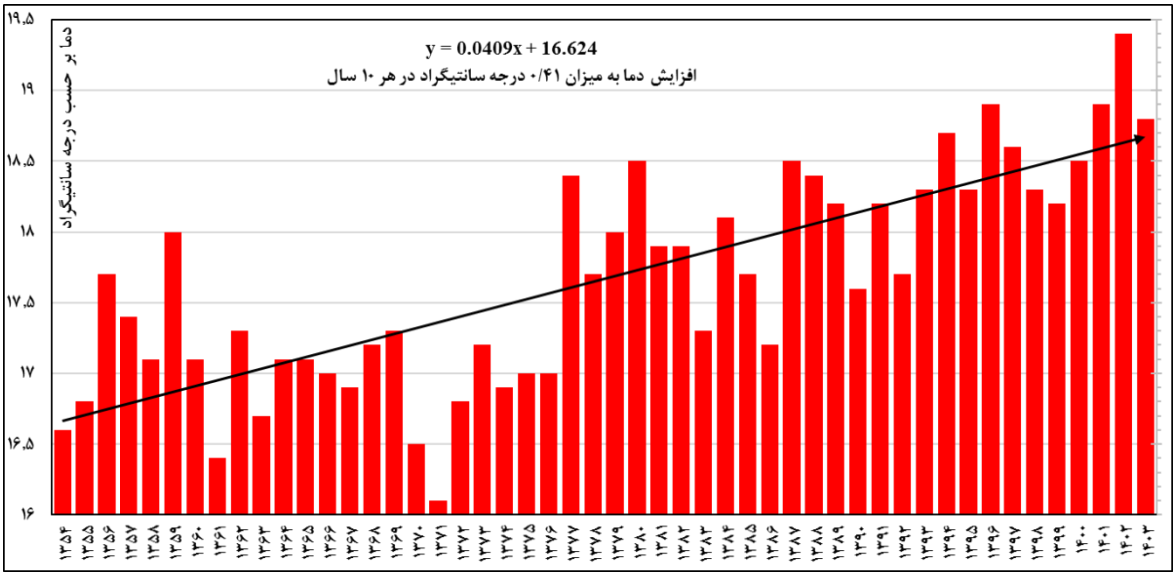
- وضعیت اقلیمی ایران در نیم قرن اخیر

شواهد حاکی از این است که در ۵۰ سال اخیر، روند دمای سالانه در کشور با استفاده از آزمون من-کندال، و در سطح اطمینان ۹۵ درصد، افزایش معنی‌داری داشته است و ۰/۴۱ درجه در هر دهه صعود کرده است (شکل ۳). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های زیر انطباق دارد؛ Ghahraman و Shirgholami (۲۰۰۵) با بررسی دمای ایران در یک دوره ۳۰ ساله بر این باورند که در ۶۸ درصد از گستره ایران، روند دما افزایشی است. همچنین Kamali و همکاران (۲۰۲۵) در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ نشان دادند که اغلب شاخص‌های اقلیمی، افزایش معنی‌داری دارند (به معنای گرمایش

2 - Mann-Kendall

شدیدتر)، به‌ویژه در شاخص‌های مربوط به دماهای بالا. Jamali و همکاران (۲۰۲۴) نیز در یک دوره ۷۰ ساله و در سطح اطمینان ۹۵ درصدی بر این باورند که روند دماهای حدی بیشینه و کمینه در کشور، افزایش معنی‌داری داشته است.

افزایش دما در نیم قرن اخیر سبب شده است که از یک‌سو، تبخیروتعرق افزایش یابد و از سویی دیگر، میزان خشکسالی در ایران گسترش چشمگیری داشته باشد. نوسانات جزئی در میانگین دما می‌تواند بر بخش‌های مختلفی همچون کشاورزی، منابع آب، تنش در کشت محصولات زراعی، افزایش بروز مخاطرات طبیعی و حتی سلامت عمومی تأثیر بگذارد و لزوم برنامه‌ریزی برای مقابله با تغییرات اقلیمی را برجسته می‌کند (Fanaei *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد اقلیم خشک و نیمه‌خشک جنب‌حارّه‌ای که بیشتر مناطق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد، باعث می‌شود که زمان بیشتری برای اشباع جوّ از بخار آب و شروع بارش صرف شود. بنابراین، بخار آب بیشتری از طریق گردش کلّی جوّ و قبل از شکل‌گیری بارش به عرض‌های جغرافیایی بالاتر منتقل می‌شود و لزوماً افزایش دما در سال‌های اخیر، سبب افزایش بارش در ایران نشده است.

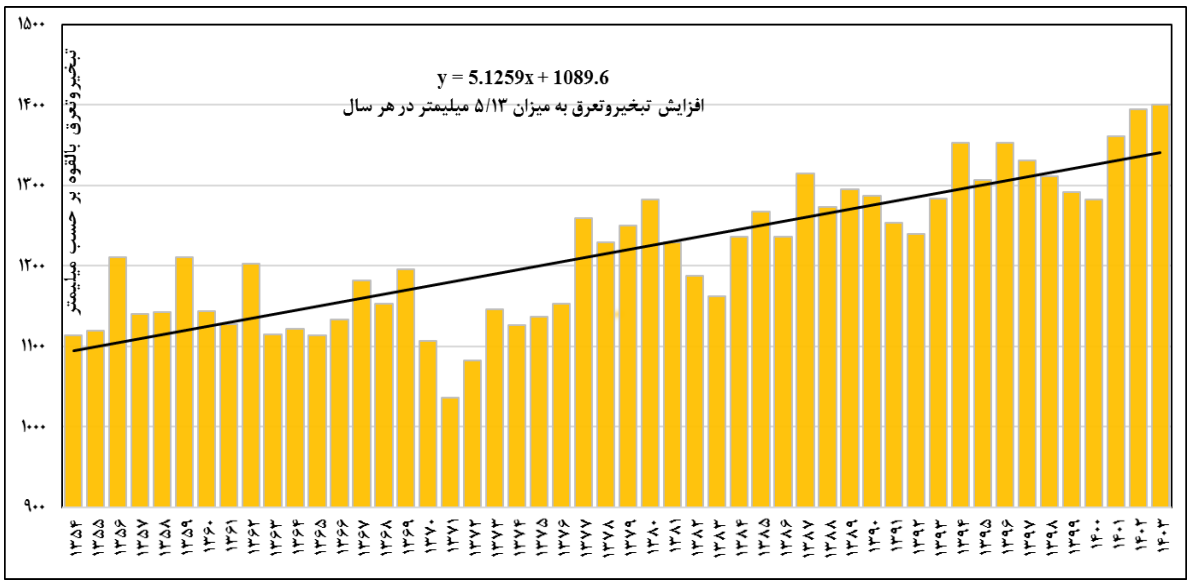


شکل ۳- روند تغییرات دما در نیم قرن اخیر ایران

Figure 3- Temperature change trend in Iran over the last half century

تبخیروتعرق، یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان هیدرولوژیکی یک حوزه آبریز محسوب می‌شود. به طوری که بخش عمده‌ای از منابع آبی کشورها از طریق تبخیروتعرق واقعی از سیستم منابع آبی حوضه‌ها خارج می‌شود. لذا روند تغییرات تبخیروتعرق بالقوه در نیم قرن اخیر در ایران نیز حاکی از این است که این عنصر اقلیمی با نرخ ۵/۱۳ میلی‌متر در سال و با اطمینان ۹۵ درصد، روندی افزایشی داشته است (شکل ۴). این رفتار اقلیمی در تبخیروتعرق ایران توسط Dinpashoh و همکاران (۲۰۱۱) نیز تأیید شده است و بر این باورند که روند افزایشی در این عنصر اقلیمی ایران به سبب افزایش دما در دهه‌های اخیر وجود داشته است. این شرایط سبب می‌شود که نیاز آبی گیاه جهت رشد و باردهی افزایش یابد. در این حالت چنانچه از ریزش‌های جوی نیز کاسته شود، بر شدت خشکسالی‌های ایران افزوده خواهد شد و به‌تبع آن، اثرات مخرب محیط‌زیستی، کشاورزی، اقتصادی در پی خواهد داشت. بنابراین مشارکت عوامل محلی مانند ارتفاعات و عرض جغرافیایی و عوامل فرامحلی مانند عناصر گردش عمومی جو، بر تغییر روند تبخیروتعرق نقش زیادی دارند. بطوری که در عرض‌های جنوبی که از گرمایش بیشتر سطح زمین برخوردارند، مقدار

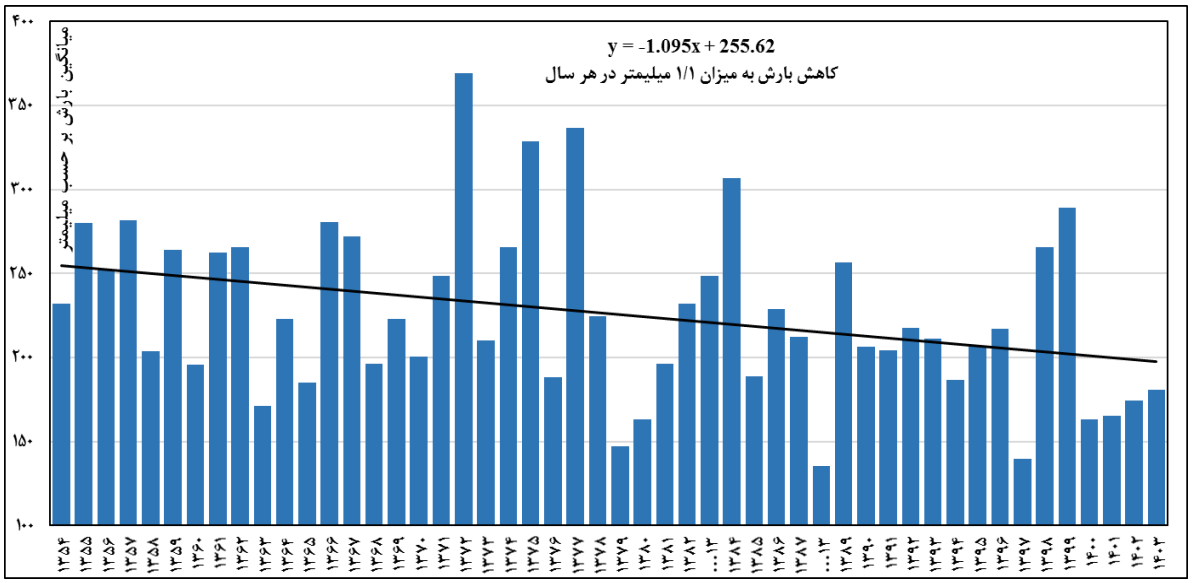
تبخیروتعرق بیشتر و در عرض‌های شمالی به دلیل دمای پایین‌تر، کمتر است. این یافته با پژوهش Delghandi و همکاران (۲۰۱۷) که معتقد بودند در بخش وسیعی از مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب‌شرقی ایران، روند تبخیروتعرق افزایشی و از نظر آماری معنی‌دار است، در حالی‌که در برخی نواحی شمالی کشور روند ضعیف‌تر یا غیرمعنی‌دار مشاهده شده است، انطباق دارد.



شکل ۴- روند تغییرات تبخیروتعرق بالقوه در نیم قرن اخیر ایران

Figure 4- Potential evapotranspiration changes trends in Iran over the last half century

در نیم قرن اخیر، بارش در ایران نیز تغییر شگرفی داشته و ناهنجار شده است. این تغییر هم در مقیاس دهه‌ای و هم در سری‌های زمانی سالانه مشهود است؛ به طوری که، رفتار بارش ایران در نیم قرن اخیر نشان می‌دهد که روند بارش در کشور به میزان ۱/۱۰ میلی‌متر در سال کاهشی بوده است (شکل ۵). این نتایج با یافته‌های Tabari & Hosseinzadehtalaei (۲۰۱۱) انطباق دارد. آن‌ها نشان دادند که در ۶۰ درصد از وسعت ایران، روند نزولی بارش با سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. مقادیر این روند کاهشی از ۱/۹- تا ۴/۲- متغیر است. این شواهد حاکی از این است که موقعیت خاص جغرافیایی ایران مانند قرارگیری در منطقه گرم و خشک کره زمین، همجواری با کویر لوت و مرکزی و دوری از منابع تغذیه کننده رطوبت سبب شده است میزان بارش در کشور ایران بسیار کمتر از میانگین جهانی باشد. این در حالی است که امروزه افزایش گرمایش جهانی و تغییر اقلیم شرایط خشکی و خشکسالی را در کشور تشدید کرده است. بنابراین افزایش دما از یک‌سو و کاهش بارش از سویی دیگر، می‌تواند منجر به کاهش ذخیره آب سطحی، کاهش نگهداشت به شکل رطوبت خاک، افزایش تبخیر از بارش و در نهایت کاهش قابل توجه حجم آب تجدیدپذیرشده باشد (Dadashi Roudbari & Keykhosravi Kiani, 2016).



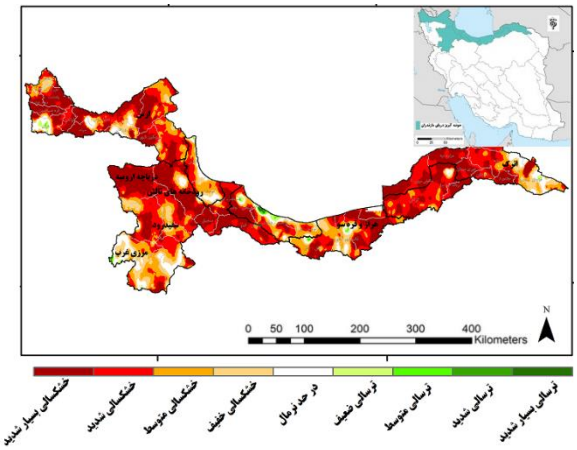
شکل ۵- روند تغییرات بارش در نیم قرن اخیر ایران

Figure 5- Precipitation change trends in Iran over the last half century

- وضعیت اقلیمی حوزه‌های آبریز اصلی ایران در نیم قرن اخیر

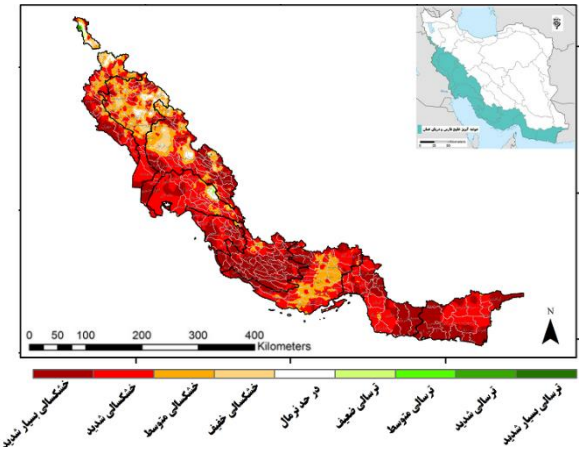
اقلیم‌شناسی حوزه آبریز دریای مازندران حاکی از این است که در این حوضه که بخش‌های پربارش شمال و شمال‌غرب کشور را در برمی‌گیرد و فقط کرانه‌های جنوبی دریای خزر در همسایگی بندرانزلی (به سبب مجاورت با پهنه‌های آبی و رودخانه‌های دائمی) و بخش‌های پراکنده‌ای در دریاچه ارومیه و دامنه‌های البرز (به سبب مجاورت با ارتفاعات کوهستانی) دارای ترسالی هستند (شکل ۶). این ترسالی فقط وسعت ۲ درصدی حوضه را به خود اختصاص داده است ولی بخش بزرگی از حوضه با ۳۷ درصد از مساحت در قلمرو خشکسالی‌های شدید است (جدول ۳). به نظر می‌رسد خشکسالی در ایران فقط مربوط به مناطق داخلی و کم‌بارش کشور نیست و احتمال رخداد این پدیده در هر اقلیمی (حتی مناطق پربارش خزری) نیز وجود دارد. بنابراین ترسالی پایدار در این حوضه پربارش نیز تضمین شده نیست (Raziei *et al.*, 2008). این شرایط، نقش افزایش گرمایش جهانی و تغییرات فزاینده اقلیمی را در تمام مناطق کشور تایید می‌کند. در حوزه آبریز خلیج فارس و دریای عمان که غالباً نیمه غربی و جنوبی ایران را در مجاورت سلسله جبال زاگرس و گستره آبی دریا را شامل می‌شود، خشکسالی‌های بسیار شدید بیش از ۵۰ درصد مساحت حوضه را از آن خود کرده است و سهم ترسالی‌های حوضه بسیار اندک است. فقط بخش‌های غربی زاگرس در دامنه‌های چین‌خورده و مرتفع، شرایط ترسالی را به صورت هسته‌های پراکنده ثبت کرده است (شکل ۷،جدول ۴). افزایش دما و تبخیر در نیمه جنوبی کشور و نبود شرایط چگالش و صعود بخار آب در این بخش، سبب کاهش بارش و افزایش خشکسالی شده است. در حوزه آبریز دریاچه ارومیه به عنوان گره‌گاه کوهستانی شمال‌غرب کشور شرایط اقلیمی چندان مساعد نیست و فقط بخش‌های پراکنده‌ای از جنوب و جنوب‌غرب حوضه ترسالی دارند و مابقی حوضه در قلمرو خشکسالی قرار دارد که سهم ۴۷ درصدی به خود اختصاص داده است (شکل ۸، جدول ۵). در حوزه آبریز فلات مرکزی به عنوان بزرگترین حوزه آبریز ایران که بخش‌های وسیعی از مناطق داخلی کشور را در برمی‌گیرد، وضعیت خشکسالی نسبت به دیگر حوضه‌ها بسیار بحرانی‌تر است. به طوری‌که سهم ترسالی‌ها نزدیک به صفر و سهم خشکسالی‌ها نزدیک ۸۰ درصد از مساحت حوضه

می‌باشد (شکل ۹، جدول ۶). همسایگی با کویرها و بیابان‌های داخلی ایران، قرارگیری در بادپناه شرقی نوار کوهستانی زاگرس و بادپناه جنوبی سلسله جبال البرز سبب شده است این پهنه وسیع، در گستره خشکسالی‌های شدید و بحران‌های زیست‌محیطی قرار گیرد. در حوزه آبریز مرزی شرق ایران در راستای نوار شمال-جنوب، اوضاع اقلیمی چندان مساعد نیست و تمام طیف‌های ترسالی سهم صفر درصدی دارند و خشکسالی‌ها، ۶۰ درصد از وسعت حوضه را در برگرفته است (شکل ۱۰، جدول ۷). دوری از منابع رطوبتی کشور، همجواری با کویر لوت و ارتفاع اندک حوضه، نقش بسزایی در کاهش بارش و در نهایت افزایش خشکسالی این حوضه بازی می‌کند. در حوزه آبریز قره‌قوم (سرخس) در شمال‌شرق ایران، نیز اوضاع خشکسالی بسیار شدید است و ترسالی‌ها سهم صفر درصدی و خشکسالی‌های بسیار شدید، سهم ۴۴ درصدی را از آن خود کرده است. این حوضه نیز مانند حوزه مرزی شرق ایران به سبب نداشتن منابع تامین کننده رطوبت، توپوگرافی خاص و موقعیت ویژه جغرافیایی، در قلمرو مناطق کم‌بارش کشور قرار می‌گیرد (شکل ۱۱، جدول ۸).



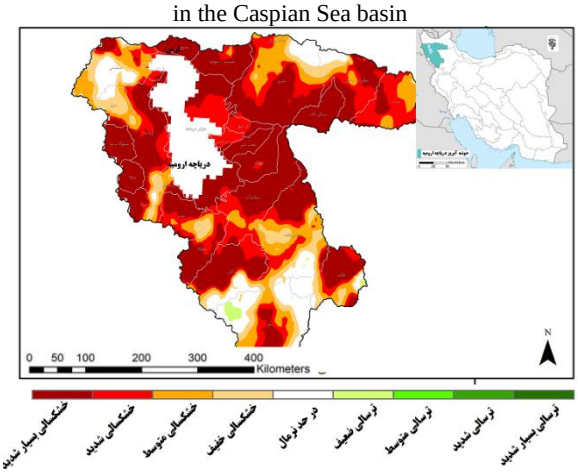
شکل ۶- موقعیت هیدرواقلیمی و پراکنش خشکسالی در حوزه آبریز دریای مازندران

Figure 6- Hydro-climatic situation and drought distribution in the Caspian Sea basin



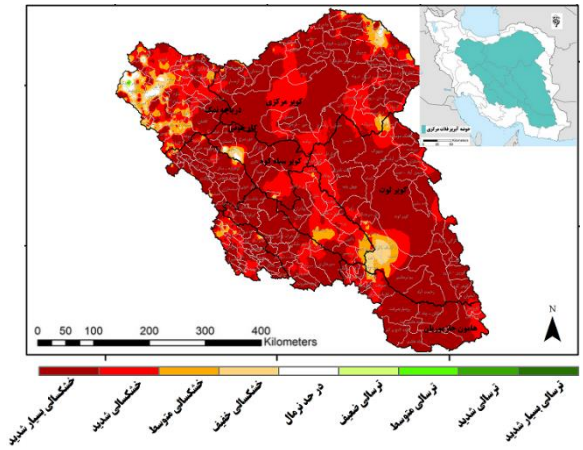
شکل ۷- موقعیت هیدرواقلیمی و پراکنش خشکسالی در حوزه آبریز خلیج فارس و دریای عمان

Figure 7- Hydro-climatic situation and drought distribution in the Persian Gulf and Oman basin



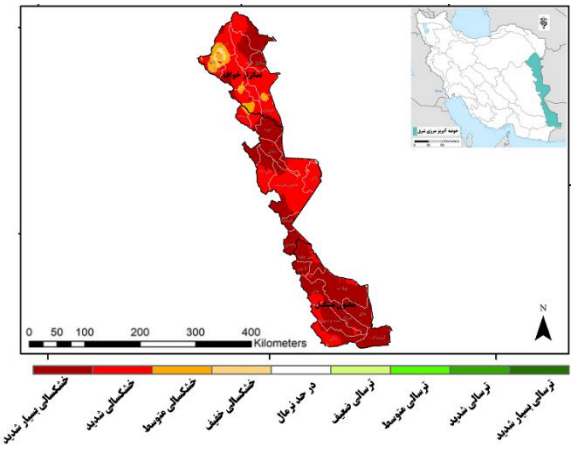
شکل ۸- موقعیت هیدرواقلیمی و پراکنش خشکسالی در حوزه آبریز دریاچه ارومیه

Figure 8- Hydro-climatic situation and drought distribution in the Lake Urmia basin



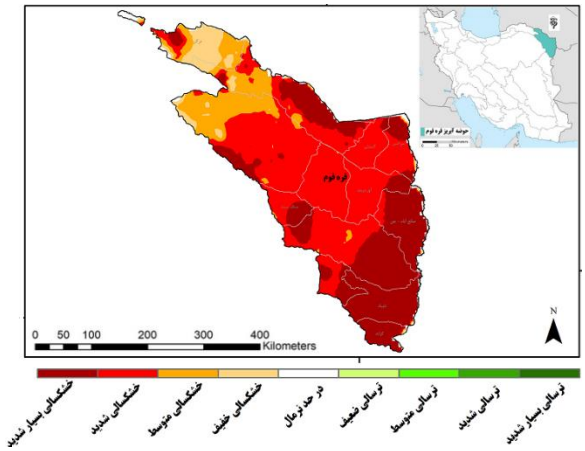
شکل ۹- موقعیت هیدرواقلیمی و پراکنش خشکسالی در حوزه آبریز فلات مرکزی

Figure 9- Hydro-climatic situation and drought distribution in the Central Plateau basin



شکل ۱۰- موقعیت هیدرواقلیمی و پراکنش خشکسالی در حوزه آبریز مرزی شرق

Figure 10- Hydro-climatic situation and drought distribution in the Eastern Border basin



شکل ۱۱- موقعیت هیدرواقلیمی و پراکنش خشکسالی در حوزه آبریز دریای قره‌قوم

Figure 11- Hydro-climatic situation and drought distribution in Qaraqom basin

جدول ۳- مساحت خشکسالی در حوزه‌های آبریز ایران (به درصد) بر اساس دوره آماری ۵۰ ساله (۱۳۵۴ تا ۱۴۰۳)

Table 3- Drought area in drainage basins of Iran (%) for 50-year statistical period (1975 to 2024)

نام حوزه	ترسالی بسیار شدید	ترسالی شدید	ترسالی متوسط	ترسالی ضعیف	درحد نرمال	خشکسالی خفیف	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
دریای مازندران	2.05	0.83	1.30	2.87	13.67	10.91	13.88	17.91	36.57
خلیج فارس و دریای عمان	0.06	0.02	0.02	0.11	1.56	3.05	10.19	34.58	50.41
دریاچه ارومیه	0.46	0.26	0.71	1.11	8.27	8.55	13.63	19.90	47.14
فلات مرکزی	0.00	0.01	0.05	0.09	1.02	1.76	3.57	15.38	78.12
مرزی شرق	0.00	0.00	0.00	0.00	2.51	2.27	4.95	31.38	58.59
قره‌قوم	0.00	0.00	0.00	0.00	2.89	4.59	11.51	37.12	43.88

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اقلیم‌شناسی حوزه‌های آبریز اصلی ایران نشان داد که الگوی غالب اقلیمی در کشور ایران طی ۵۰ سال اخیر نشان از روند افزایشی دما با ۰/۴۱ درجه در هر دهه با سطح اطمینان ۹۵ درصد، افزایش تبخیروتعرق با نرخ ۵/۱۳ میلی‌متر در سال به‌همراه روند کاهشی بارش به میزان ۱/۱ میلی‌متر در سال است. بنابراین رخداد این شرایط سبب افزایش تبخیروتعرق از یک‌سو و از سویی دیگر، تشدید خشکسالی‌های فراگیر در کشور شده است که در نهایت، سبب افزایش نیاز آبی گیاه جهت رشد و باردهی شده و علاوه بر کاهش کیفیت تولیدات گیاهی، کمیت تولید نیز دچار مشکل شده و امنیت غذایی بشر به خطر می‌افتد. به نظر می‌رسد خشکسالی در ایران فقط مربوط به مناطق داخلی و کم‌بارش کشور نیست و احتمال رخداد این پدیده در هر اقلیمی (حتی مناطق پربارش خزری) نیز وجود دارد. بنابراین در نیم قرن اخیر، خشکسالی در کشور ایران هم شدت گرفته و هم فراگیر شده است و محدود به مناطق گرم و خشک داخلی نیست و حتی در نیمه شمالی، شمال‌غربی و غرب ایران نیز رخنه کرده است. ضمن اینکه، ترسالی‌ها در ایران نیز متمرکز شده و از پدیده لانه‌گزینی اقلیمی تبعیت می‌کند. این شرایط، نقش افزایش گرمایش جهانی و تغییرات فزاینده اقلیمی را تایید می‌کند. ضمن اینکه دوربودن از منبع رطوبتی؛ همسایگی با کویرها و بیابان‌های داخلی ایران؛ قرارگیری در بادپناه شرقی نوار

کوهستانی زاگرس و بادپناه جنوبی سلسله جبال البرز سبب شده است که حوزه‌های آبریز ایران دچار خشکسالی شدید و بحران‌های آبی قرار گیرند. به طوری که در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، کمبود بارندگی اثرات شدیدی بر روی منابع آبی می‌گذارد و در اغلب موارد خشکسالی‌های هواشناسی به وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیکی منتهی خواهد شد. اما در مناطق مرطوب و بارشی ایران، کمبود بارش سبب کاهش سطح تولید محصولات کشاورزی و در نهایت منجر به خسارت‌های اقتصادی و مالی می‌شود.

در نهایت برای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم جهانی و جلوگیری از پیامدهای زیانبار خشکسالی در ایران، اقدامات عملیاتی زیر در کوتاه‌مدت و بلندمدت پیشنهاد می‌شود: استفاده از فناوری‌های نوین جهت پایش و پیش‌بینی پدیده خشکسالی مانند استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های رقومی مستخرج از آن‌ها؛ استفاده از پهبادها جهت رصد منظم و مداوم سطوح آبی کشور مانند سدها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها؛ جلوگیری از احداث چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق غیراصولی و غیرمجاز؛ کشاورزی اصولی و استفاده از روش‌های صحیح آبیاری؛ برنامه‌ریزی برای جلوگیری از بیابان‌زایی از طریق احداث بادشکن‌های طبیعی و مصنوعی؛ اجرای عملیات آبخوان‌داری و آبخیزداری در بالادست حوزه‌های آبریز مانند گابیون‌سازی و بندسازی؛ آموزش همگانی در مدارس و دانشگاه‌ها جهت صرفه‌جویی آب در بخش خانگی و مدیریت منابع آب و افزایش بهره‌وری در بخش‌کشاورزی و صنعتی؛ رعایت الگوی کشت در کشور و تمرکز بر کشت‌های سازگار با اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور؛ بهبود پوشش‌های بیمه‌ای محصولات کشاورزان؛ ایجاد فرصت‌های اشتغال غیرکشاورزی خصوصاً در صنایع‌دستی و تولیدات روستایی؛ اعطای کمک‌های یارانه‌ای و غیرنقدی به کشاورزان برای جبران کمبودهای ناشی از خسارت‌های خشکسالی؛ توسعه کشت گلخانه‌ای به دلیل پایین بودن مصرف آب و اشتغالزایی بالای آن.

سپاسگزاری

نویسنده این پژوهش از حمایت‌های بی‌دریغ مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی کشور به سبب در اختیار گذاشتن نقشه‌ها و داده‌های مورد نیاز تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

Abdulaziz, O.I., & Burn, D.H. (2006). Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin. *Journal of Hydrology*, 319, 282-294. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.039

Alijani, B., & Babaee, O.S. (2009). Spatial Analysis of Short-Term Droughts in Iran. *Geography and Regional Planning*, 88, 109-121. https://doi.org/20.1001.1.25383930.1388.1.0.7.5 (In Persian)

Alizadeh, A. (2015). *Principles of Applied Hydrology, Astan Quds Razavi Publications*. Imam Reza University (AS), Mashhad. (In Persian)

Asgari, S., Raziei, T., Jafari, M., & Noroozi, A. (2025). The effects of meteorological drought on oak forest dieback in Ilam province. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (76), 308-325. http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.1 (In Persian)

Baig, M. H. A., Abid, M., Khan, M. R., Jiao, W., Amin, M., & Adnan, S. (2020). Assessing meteorological and agricultural drought in Chitral Kabul River Basin using multiple drought indices. *Remote Sensing*, 12 (9), 1417. https://doi.org/10.3390/rs12091417

Barry, R.G., & Chorley R.J.A. (1992). *Atmosphere and Climate, Six edition* Routledge.

Beaudin, I. (2006). *Potentiel de la télédétection pour le suivi et la caractérisation des conditions de*

sécheresse en milieu méditerranéen. University LAVAL.

Burn, D. H., & Hesch, N. M. (2007). Trends in evaporation for the Canadian Prairies. *Journal of Hydrology*, 336, 61-73. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.12.011

Croitoru, A. E., & Toma, F.M. (2011). Meteorological Drought in Central Romanian Plain (Between OLT and Ages Rivers) Case Study: Year 2000. *Riscuri Sicatastrofe*, 9, 113-120.

Dadashi Roudbari, A., & Keykhosravi Kiani, M. (2016). Analysis of the spatial and temporal trend of annual rainfall in Iran during 1950–2007. *Environmental Sciences and Water Management*, 2(2), 111–121. (In Persian)

Das, S., Roy, C., & Malini, S. (2013). Geospatial Assessment of Agricultural Drought (case study of Bankura, weast Bengal). *International Journal of Agricultural Science and Research*, 1, 1-28. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-684936/v1

Delghandi, M., Joorabloo, S., & Emamgholizadeh, S. (2017). Climate change impacts on spatial-temporal variations of reference evapotranspiration in Iran. *Water Harvesting Research*, 2(1), 13–23. https://doi.org/10.22077/jwhr.2017.592

Dhawale, R., & Paul, S. K. (2018). A Comparative Analysis of Drought Indices on Vegetation Through Remote Sensing for Latur Region of India. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 5:20-23. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-403-2018

Dinpashoh, Y., Fakheri-Fard, A., Mogaddam, M., Jahanbakhsh, S., & Mirnia, M. (2011). Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399(3), 422- 433. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.021 (In Persian)

Drolet, J. L., & Sampson, T. (2017). Addressing climate change from a social development approach: Small cities and rural communities' adaptation and response to climate change in British Columbia, Canada. *International Social Work*, 60, 61-73. https://doi.org/10.1177/0020872814539984

Elfaigh, A. H. I. (2015). *Strategies to Reduce Drought Vulnerability with Special Emphasis on Coping Strategies of the Poor: Sub–Saharan Semi-arid area, Western Sudan.* International Conference on Integrated Drought Management: Lessons for Sub-Saharan Africa, At: Pretoria, South Africa.

Fanaei, R., Ghavidel, Y., & Farajzadeh, M. (2021). Reanalyzing the Trend of Long-term Spatial Changes in the Minimum Temperature of Iran. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(4), 1-17. https://doi.org/10.22126/ges.2021.6938.2453 (In Persian)

Fattahi, I., & Sedaghatkerdar, A. (2007). Analysis of drought intensity-duration and frequency curves: case study; selected stations in southwestern Iran. *Geography and Development Iranian Journal*, 86, 1-13. https://doi.org/10.22111/gdij.2007.3666 (In Persian)

Feng, G. (2014). Monitoring drought intensity in Illinois with a combined index, AM Degree of Geography and Environmental Resources, In the Graduate School Southern Illinois University.

Garbrecht, J., M. Van Liew., & G. O. Brown., (2004). Trends in precipitation, streamflow, and evapotranspiration in the Great Plains of the United States. *Journal of Hydrological Engineering*, 9(5), 360-367 https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2004)9:5(360)

Halwani, J., & Halwani, B. (2022). Climate Change in Lebanon and the Impact to Water Resources. In W.Leal Filho & E. Manolas (Eds.), *Climate Change in the Mediterranean and Middle Eastern Region*, 395–41. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78566-6_19

Hedjazizadeh, Z., Hosseini, S. M., Karbalaee, A.R., & layeghi, S. (2025). Assessment of Drought Impact on Vegetation Changes in Hamadan over the

Past Three Decades Using the TCI Model. *Journal of Applied Researches in Geographical Science*, 25, 44-59. https://doi.org/10.61186/jgs.25.77.23 (In Persian)

Hirsch, R. M., & Slack, J.R. (1984). A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20, 727-732. https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727

Hosseini Seddigh, S.M., & Jalali, M. (2025). Analysis of Iran's Drought Changes with Palmer's elf-Adjustment Index. *Journal of Drought and Climate change Research*, 1, 93-106. https://doi.org/10.22077/JDCR.2024.6149.1016 (In Persian)

Hosseini, S. M., & Fateminya, F.S. (2021). *Exploring Iran's natural hazards*. The 6th National Congress of New Findings in Agricultural and Natural Resources, Environment and Tourism, Tehran, Iran. (In Persian)

Hosseini, S. M., khoramabadi, F., & Solfagharzadeh, S. (2024). Climatology of Arid and Semi-Arid Regions in Central Iran. *Journal of geography and human relationships*, 7(1), 498–517. https://doi.org/10.22034/gahr.2024.435076.2028 (In Persian)

Hosseini, S. M., khoramabadi, F., & Tahani yazdly, M. (2024). Analysis of Spatio-Temporal Changes of Dust Hazard in Kurdistan Province. *Journal of Environmental Researches*, 28, 181-197. https://doi.org/10.22034/eiap.2024.191709 (In Persian)

Jain, S. K., V. Kumar., & M. Sahari. (2013). Analysis of rainfall and temperature trends in northeast India. *International Journal of Climatology*, 33, 968-978. https://doi.org/10.1002/joc.3483

Jamali, M., Gohari, A., & Akhavan Saraf, G. (2024). Spatiotemporal evaluation of temperature and precipitation extremes indices over Iran under the influence of climate change. *Water and Irrigation Management*, 14(3), 743-752. https://doi.org/10.22059/jwim.2024.374814.1156 (In Persian)

Jhajharia, D., Dinpashoh. Y., Kahya. E., Singh, V.P., & Fakheri-Fard, A. (2012). Trend in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. *Hydrological Processes*, 26, 421-435. https://doi.org/10.1002/hyp.8140

Kamali, S., Fattahi, F., & Habibi, M. (2025). Investigating the Trend Changes in Temperature Extreme Indices in Iran. *Atmosphere*, 16, 483-496. https://doi.org/10.3390/atmos16040483 (In Persian)

Khoushakhlagh, F., Azizi, G., & Rahimi, M. (2012). Synoptic patterns of winter drought and wetness in southwestern Iran. *Journal of Applied Researches in Geographical Science*, 25, 57-77. (In Persian)

Kogan, F. N. (1997). Global Drought Watch from Space. National Oceanic and Atmospheric Administration/National Environmental Satellite Data and Information Service, Camp Springs, Maryland, 4, 621-636. https://doi.org/10.1175/1520-0477

Konapala, G., Mishra, A. K., Wada, Y., & Mann, M. E. (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. *Nature Communications*,11, 3044. https://doi.org/10.1038/s41467-020-16757-w

Maleki, A.R., & Torkamani, M.J. (2015). Drought Management for Optimazation of Water Resources. *Journal of Agricultural Economics Research*, 25, 65-89. (In Persian)

Mardani, R., & Montaseri, H. (2023). Spatio-temporal variation of meteorological drought and its relation with temperature and vegetation condition indices using remote sensing and satellite imagery in Marvdasht city. *Water and Soil Management and Modeling*, 3, 72-89. https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11541.1140 (In Persian)

Masoodian, S.A. (2011). *Iran's weather, Sharia Toos Publications*. Sharia Toos Publications. (In Persian)

Mckee, T.B., Doesken, N.J & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *8th conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA.176-184.

Mengistu, D., Bewket, W., Dosio, A., & Panitz, H. J., (2021). Climate change impacts on water resources in the Upper Blue Nile (Abay) River Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 592, 125- 146. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125614

Moradi, H., & Maleki, S. (2025). Investigating the security challenges of drought and water crisis in Khuzestan. *Geographical Studies of Coastal Areas Journal*, 20, 21-39. https://doi.org/10.22124/gscaj.2025.25366.1263 (In Persian)

Ongoma, V., Chena, H., & Gaoa, C. (2018). Projected changes in mean rainfall and temperature over east Africa based on CMIP5 models. *International Journal of Climatology*, 38(3), 1375–1392. https://doi.org/10.1002/joc.5252

Orimoloye, I. R., Belle, J. A., Orimoloye, Y. M., Olusola, A. O., & Ololade, O. O. (2022). Drought: A common environmental disaster. *Atmosphere*, 13 (1), 111. https://doi.org/10.3390/atmos13010111

Panda, A., Sahoo, N., Panigrahi, B., & Mohan Das, D. (2020). Drought Assessment using Standardized Precipitation Index and Normalized Difference Vegetation Index. *nt. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. 9(7), 1125-1136. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.907.132

Raziei, T., Bordi, I., & Pereira, L. S. (2008). A precipitation-based regionalization for Western Iran and regional drought variability. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 1309–1321. https://doi.org/10.5194/hess-12-1309-2008

Salakpi, F. (2021). Forecasting Vegetation Condition in Pastoral Communities for Disaster Prevention, Ph.D Degree of Philosophy, University of Sussex.

Shirgholami, H., & Ghahraman, B. (2005). Study of Time Trend Changes in Annual Mean Temperature of Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 9, 9-24. (In Persian)

Silva, V. P. R. (2003). climate variability in northeast Brazil. *Journal of Arid Environment*, 58(4), 575–596. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2003.12.002

Tabari, H., & Hosseinzadehtalaei, P. (2011). Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005. *Journal of Hydrology*, 396(4), 313–320. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.034 (In Persian)

Tabari, H., Marofi, S., Aeini, A., Talaee, P.H. Mohammadi, K. (2011). Trend Analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 128-136. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.09.009

Tajbakhsh, S. (2025). Reviewing the Latest Climate State and Its Changes on Global and National Scales. *Journal of the Nivar*, 129, 173-194. https://doi.org/10.30467/nivar.2025.529698.1340 (In Persian)

Wang, F., Yang, H., Zhao,Y., Li, Z., & Wu, J. (2018). Capability of Remotely Sensed Drought Indices for Representing the Spatio–Temporal Variations of the Meteorological Droughts in the Yellow River Basin. *Journals Remote Sensing*, 11, 1834-1844. https://doi.org/10.3390/rs10111834

Wang, Y., Jiang, T., Bothe, O., & Fraedrich, K., (2007). Changes of pan evaporation and reference evapotranspiration in the Yangtze River basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 90, 13-23. https://doi.org/10.1007/s00704-006-0276-y

Wu, H., & H. Qian. (2017). Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. *International Journal of Climatology*, 37(2), 2582-2592. https://doi.org/10.1002/joc.4866

Xu, S., Yu, Z., Yang, C., Ji, X., & Zhang, K. (2018). Trends in evapotranspiration and their responses to climate change and vegetation greening over the upper reaches of the Yellow River Basin. *Agricultural and forest meteorology*, 263, 118-129. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.08.010

Yu, Y., Pi, Y., Yu, X., Ta, Z., Sun, L., Disse, M., Zeng, F., Li, Y., Chen, X., & Yu, R., (2019). Climate change, water resources

and sustainable development in the arid and semi-arid lands of Central Asia in the past 30 years. *Journal of Arid Land*, 11, 1–14. https://doi.org/10.1007/s40333-018-0073-3

Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259, 254-271. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7