

Detecting climate changes during the past half century in some number of synoptic stations in Iran

Nazari, M.¹  | Mosaedi, A.²  | Ghabaei Sough, M.³ 

1. Ph.D. Candidate, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran..
2. Professor, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
3. Ph.D., Iran Water Resources Management Company, Mashhad, Iran.

Corresponding Author E-mail: mosaedi@um.ac.ir

(Received: 08 Jun 2025, Revise: 22 Sep 2025, Accepted: 19 Oct 2025, Published online: 21 Mar 2026)

Abstract

In recent decades, climate change has emerged as a major environmental challenge worldwide, particularly in arid and semi-arid regions, such as Iran. This study aims to evaluate the climatic changes in the country over the past fifty years using four well-established climate classification methods, including De Martonne, Ivanov, Selyaninov, and Emberger. Climatic data from 36 synoptic stations were analyzed over two periods: the previous period (1972–1996) and the recent period (1997–2021), to identify possible changes in the climate type of different regions of the country. The results indicate that in most stations, the climate situation has changed towards drier and warmer conditions, along with increasing temperature and decreasing precipitation. These changes were particularly evident in cities such as Torbat Heydarieh, Mashhad, Gorgan, Sanandaj, and Fasa, and were consistently confirmed by analyses using four well-established climate classification methods. Furthermore, in stations in humid areas such as Babolsar, Ramsar, and Bandar Anzali, the results indicate a decreasing trend in ambient humidity. The change in climate type from semi-arid to arid and even temperate desert in some stations indicates the expansion of the area of arid and desert areas in the country. The findings of this study also show that Iran is increasingly exposed to climate warming and drought. Given these results, a fundamental review of water resources management plans and agricultural patterns is necessary to reduce the country's vulnerability to climate change and adapt to climate change.

Keywords: Climate Change, Temperature increasing, Precipitation decreasing, Iran

Cite this article: Nazari, M. , Mosaedi, A. and Ghabaei Sough, M. (2026). Detecting climate changes during the past half century in some number of synoptic stations in Iran. Nivar, 50(132-133), 153-175. doi: 10.30467/nivar.2025.529236.1339

E-mail: (1) mana1368@yahoo.com (3) ghabaei.m@gmail.com



آشکارسازی تغییرات اقلیمی طی نیم‌قرن گذشته در محدوده تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک کشور

مریم نظری^۱ | ابوالفضل مساعدی^۲ | محمد قبائی سوق^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲. استاد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۳. دکتری، شرکت مدیریت منابع آب ایران، مشهد، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: mosaedi@um.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۷، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱)

چکیده

در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از چالش‌های اساسی زیست‌محیطی در جهان، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از جمله ایران، مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش، با هدف ارزیابی وضعیت تغییرات اقلیم کشور طی نیم‌قرن گذشته، از چهار روش معتبر تعیین اقلیم شامل، دومارتن، ایوانف، سلیاتینوف و آمبرژه، استفاده شده است. داده‌های اقلیمی ۳۶ ایستگاه هواشناسی در دو بازه زمانی متمایز شامل: گذشته دور (۱۹۹۶-۱۹۷۲) و گذشته نزدیک (۲۰۲۱-۱۹۹۷) تحلیل شدند تا تغییرات احتمالی در نوع اقلیم مناطق مختلف کشور شناسایی گردد. نتایج حاکی از آن است که در بیشتر ایستگاه‌ها، هم‌زمان با افزایش دما و کاهش بارش، وضعیت اقلیمی به سمت شرایط خشک‌تر و گرم‌تر تغییر پیدا کرده است. این تغییرات به‌ویژه در شهرهایی همچون تربت حیدریه، مشهد، گرگان، سنندج و فسا به طور واضحی مشهود بوده و در تحلیل‌های انجام‌شده با چهار روش معتبر طبقه‌بندی اقلیم نیز مورد تأیید قرار گرفته‌اند. همچنین در ایستگاه‌های مناطق مرطوب مانند بابلسر، رامسر و بندر انزلی نیز نتایج نشان‌دهنده روندی کاهشی در رطوبت محیط است. تغییر نوع اقلیم از نیمه‌خشک به خشک و حتی بیابانی معتدل در برخی ایستگاه‌ها، نشان‌دهنده گسترش وسعت مناطق خشک و بیابانی در کشور است. یافته‌های این پژوهش هم‌نشان می‌دهد که کشور ایران به طور فزاینده‌ای در معرض گرمایش و خشکی اقلیمی قرار دارد. با توجه به این نتایج، بازنگری اساسی در برنامه‌ریزی‌های مدیریت منابع آب و الگوهای کشاورزی برای کاهش آسیب‌پذیری کشور در برابر تغییرات اقلیمی و سازگاری با تغییرات اقلیمی ضروری است.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، افزایش دما، کاهش بارندگی، ایران

۱. مقدمه

جهانی و تغییرات شدید اقلیمی شده است (Masson-
Delmotte et al., 2021). مطالعات جهانی مختلف، مانند
پژوهش‌های گو و همکاران (Gu et al., 2022) و ژو و
همکاران (Zhou et al., 2023) نشان می‌دهند که شدت و
فراوانی رویدادهای اقلیمی شدید نظیر خشکسالی، سیلاب و
گرمای شدید در دو دهه‌ی گذشته افزایش چشمگیری داشته
است که به طور مستقیم به تغییرات اقلیمی نسبت داده می‌شود.
هم‌چنین، گزارش سازمان جهانی هواشناسی (WMO،

تغییر اقلیم به عنوان یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی و
توسعه پایدار در قرن بیست و یکم شناخته می‌شود. این پدیده
به تغییرات طولانی‌مدت در الگوهای دما، بارش و سایر شرایط
جوی گفته می‌شود که می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی یا
فعالیت‌های انسانی باشد. در چند دهه گذشته، افزایش قابل
توجه گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت‌های فسیلی، تغییر
کاربری زمین و فعالیت‌های صنعتی باعث افزایش دمای

استناد: نظری، مریم، مساعدی، ابوالفضل و قبائی سوق، محمد. (۱۴۰۵). آشکارسازی تغییرات اقلیمی طی نیم‌قرن گذشته در محدوده تعدادی از ایستگاه‌های سینوپتیک کشور.

نیوار، ۵۰ (۱۳۳-۱۳۲)، ۱۵۳-۱۷۵. doi: 10.30467/nivar.2025.529236.1339

رایانامه: (۱) mana1368@yahoo.com (۳) ghabaei.m@gmail.com



تأثیرات قابل توجهی بر بخش‌های کشاورزی، منابع آبی و سلامت عمومی داشته‌اند و پیش‌بینی‌ها حاکی از تشدید این روندها در آینده است (NCCO, 2024).

همچنین مطالعات داخلی نشان داده‌اند که افزایش دما در ایران در بازه زمانی ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰ به طور متوسط حدود ۱/۵ درجه سلسیوس بوده است که این میزان فراتر از میانگین جهانی است. همچنین روند کاهش بارش در اکثر مناطق کشور، به خصوص در نیمه غربی و مرکزی، به کاهش روان‌آب‌ها و تشدید مشکلات کم‌آبی منجر شده است (ناظری تهرودی و همکاران، ۱۳۹۶). از سوی دیگر، افزایش دمای هوا باعث تبخیر بیشتر آب از خاک و منابع آبی شده و به همراه کاهش بارش، چرخه آب در بسیاری از مناطق دچار اختلال شده است (Minaei and Irannezhad., 2018). پژوهش‌های دیگر نیز بر تغییرات فصلی بارش تأکید کرده‌اند که این امر موجب تغییر در فصل‌های رشد گیاهان و تأثیر بر کشاورزی شده است (Karimi et al., 2018). در پژوهش رومی (۱۴۰۱) پیامدهای تغییر اقلیم از منظر امنیت ملی ایران بررسی و وی استدلال می‌کند که اثرات اقلیمی مانند کم‌آبی، کاهش تولید کشاورزی و افزایش مهاجرت داخلی، می‌تواند منجر به ناپایداری‌های اجتماعی و سیاسی شود و تهدیدی جدی برای امنیت ملی کشور به شمار آید. این پژوهش بر اهمیت راهبردهای کلان برای مقابله با تغییر اقلیم تأکید دارد. مطالعات نادری و همکاران (Naderi et al., 2024) و قاضی و همکاران (Ghazi et al., 2025) نشان می‌دهند که میانگین دمای سالانه ایران در دو دهه‌ی اخیر به طور معنی‌داری افزایش یافته است. این افزایش دما به همراه کاهش بارش‌ها به ویژه در نیمه غربی کشور، موجب تشدید بحران‌های آبی و افزایش تعداد و شدت دوره‌های خشکسالی شده است. قوچانیان و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی نیز با تحلیل داده‌های اقلیمی ۳۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۲۱) در دشت نیشابور، روند تغییرات دمایی و بارشی منطقه را بر اساس نمایه‌های فرین بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که دماهای حداقل و متوسط سالانه به طور معنی‌داری افزایش

(2023) حاکی از آن است که سال‌های اخیر گرم‌ترین سال‌های ثبت شده بوده‌اند و روند گرمایش در حال سرعت گرفتن است. گزارش‌های متعدد علمی، از جمله گزارش‌های جدید هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی^۱، تأکید می‌کنند که روند افزایش دما در دهه‌های اخیر سریع‌تر شده و اثرات آن در مناطق مختلف جهان متفاوت است، اما به طور کلی رو به تشدید است. همچنین این گزارش‌ها تأیید می‌کنند که دمای متوسط کره زمین از آغاز انقلاب صنعتی تاکنون به طور میانگین بیش از ۱/۱ درجه سلسیوس افزایش یافته و این روند با سرعتی نگران‌کننده ادامه دارد (IPCC, 2023). اگر چه نظریه‌های متفاوتی در این مورد وجود دارد، اما به طور کلی پذیرفته شده است که زمین در حال گرم شدن و شرایط آب و هوایی در حال تغییر است. عواملی مانند بالا آمدن سطح آب دریاها، افزایش دمای کره زمین و تغییرات زیست محیطی وقوع این پدیده را تأیید می‌کنند (Abtew and Melesse., 2012). افزایش دمای جهانی تأثیرات متعددی بر روی الگوهای آب و هوایی دارد، از جمله تغییر در مقدار و توزیع بارش، افزایش شدت و فراوانی پدیده‌های اقلیمی شدید مانند سیلاب‌ها، خشکسالی‌ها، گرمایش‌های ناگهانی و طوفان‌ها. این تغییرات، چالش‌های جدی برای امنیت غذایی، منابع آب، سلامت انسان و اکوسیستم‌ها ایجاد کرده‌اند (UNEP, 2023; IPCC, 2023). در این میان، مناطق خشک و نیمه‌خشک به علت حساسیت بالای زیست‌محیطی و منابع محدود آب، بیشتر در معرض آسیب‌های ناشی از تغییر اقلیم قرار دارند (Elsaidy et al., 2025). ایران به عنوان کشوری با تنوع اقلیمی قابل توجه، از مناطق کوهستانی سرد تا مناطق خشک و بیابانی گرم، نمونه‌ای بارز از پیچیدگی‌های تأثیرات تغییر اقلیم است. در سال‌های اخیر، داده‌های اقلیمی نشان داده‌اند که دمای میانگین در ایران افزایشی پایدار داشته و الگوهای بارش دچار تغییرات نامنظم شده‌اند که این امر منجر به کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی، افزایش دوره‌های خشکسالی و کاهش کیفیت هوا شده است (Minaei and Irannezhad., 2018). این تغییرات

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

دما و بارش دو پارامتر مهم آب و هوایی هستند و به دلیل تأثیر فوری که در شرایط آب و هوایی و بخش‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی و محیطی دارند، بیش از سایر عوامل در تعیین اقلیم و مطالعات تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه تغییرات اقلیمی حاکی از این است که دما در حال افزایش است، اما در مورد بارندگی نتایج متفاوت می‌باشد. به گونه‌ای که در برخی مناطق کاهش بارش (علیزاده و نجفی، ۱۳۹۶؛ امیدوار و همکاران، ۱۴۰۴)، در برخی از مناطق افزایش بارندگی (سلطانی و شاهنده، ۱۴۰۳) و در مناطقی دیگر تغییر ناچیز در مقدار بارش سالانه گزارش شده است (رئیزی نافچی و سلطانی محمدی، ۱۳۹۵؛ دوستان، ۱۳۹۸). در مجموع، منابع علمی و گزارش‌های معتبر همگی بر ضرورت انجام مطالعات دقیق‌تر و استفاده از داده‌های بلندمدت اقلیمی برای مدیریت بهتر تغییرات اقلیمی در ایران تأکید دارند.

با توجه به اهمیت درک دقیق روندهای اقلیمی در ایران، به‌ویژه با در نظر گرفتن آسیب‌پذیری بالای کشور در برابر تغییرات اقلیم، تحلیل‌های علمی مبتنی بر داده‌های بلندمدت برای برنامه‌ریزی کلان، مدیریت منابع و کاهش خسارات ناشی از این پدیده ضروری است. از جمله رویکردهای رایج و مؤثر در تحلیل تغییرات اقلیمی، بهره‌گیری از روش‌های طبقه‌بندی اقلیم است که بر پایه شاخص‌های ترکیبی دما و بارش، شرایط اقلیمی مناطق مختلف را ارزیابی می‌کنند. در سال‌های اخیر، استفاده از این روش‌ها در پژوهش‌های علمی با استقبال گسترده‌ای مواجه شده و به نتایج قابل اتکایی در سطح منطقه‌ای و جهانی منجر شده است. برای نمونه، شاخص خشکی دومارتن در مطالعاتی مانند الله وردی پور و همکاران (۲۰۲۴) و فتحی و همکاران (۲۰۲۲) به‌عنوان ابزار اصلی در تحلیل روندهای اقلیمی ایران به کار رفته است. هم‌چنین شاخص رطوبتی ایوانف و ضریب حرارتی-رطوبتی سلیانیوف، که برای بررسی وضعیت رطوبتی و طبقه‌بندی فصلی مناطق نیمه‌خشک مؤثرند، در مطالعات چرنیک و همکاران (Chernykh et al., 2025) و گودکو و همکاران (Gudko et al., 2024) به‌طور موفقیت‌آمیز به کار گرفته

یافته‌اند و الگوهای بارش دچار تغییرات نامنظمی شده‌اند، به‌طوری که دوره‌های خشکسالی نسبت به گذشته طولانی‌تر و شدیدتر شده‌اند. این تغییرات اقلیمی باعث کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی و تهدیدی برای فعالیت‌های کشاورزی در منطقه شده است و پژوهشگران تأکید می‌کنند که برای مقابله با پیامدهای منفی این تغییرات، برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مبتنی بر داده‌های بلندمدت و تحلیل‌های دقیق اقلیمی ضرورت دارد. فرخزاده و همکاران (۱۴۰۴) در پژوهش خود تأثیر تغییرات اقلیمی بر خشکسالی در مناطق غربی ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به روند افزایش دما و تغییر الگوهای بارش، شدت، مدت و بزرگی دوره‌های خشکسالی در آینده افزایش خواهد یافت. به‌ویژه تحت سناریوی انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای، انتظار می‌رود که پیامدهای خشکسالی تشدید شده و نیازمند سیاست‌گذاری‌های مؤثر در مدیریت منابع آب و بحران‌های زیست‌محیطی باشد.

مطالعات جدید هم‌چنین به تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی و کیفیت هوا در ایران پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال، گزارش مرکز ملی پیش‌بینی و مدیریت بحران کشور (NCCO, 2024) بیان می‌کند که کاهش بارش و افزایش تبخیر منجر به افت سطح آب‌های زیرزمینی شده که پیامدهای اجتماعی و اقتصادی گسترده‌ای در پی دارد. هم‌چنین، افزایش دما و خشک‌سالی‌های پی‌درپی موجب افزایش آلودگی هوا و بروز مشکلات تنفسی در جمعیت شهری شده است. تغییرات اقلیمی در ایران نه تنها به محیط زیست آسیب می‌رساند، بلکه تأثیرات عمیقی بر اقتصاد، کشاورزی و سلامت جامعه نیز دارد. کاهش بازدهی محصولات کشاورزی، افزایش تنش‌های آبی، گسترش بیابان‌زایی و افزایش بیماری‌های مرتبط با گرما از جمله پیامدهای ملموس این پدیده هستند (NCCO, 2024). برای نمونه، بسیاری از مناطق کشاورزی در ایران در معرض خشکسالی‌های مکرر قرار گرفته‌اند که موجب کاهش تولید محصولات اساسی و افزایش نابرابری‌های اقتصادی شده است.

آب و هوایی و اقلیم‌های مختلف می‌باشد. از این رو، در این مطالعه وضعیت اقلیمی در محدوده ۳۶ ایستگاه سینوپتیک که در موقعیت‌های مختلف جغرافیایی و آب و هوایی کشور واقع شده‌اند، در بازه ۵۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور نیز در شکل ۱ نشان داده شده است. برخی از ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

مقادیر بارش ماهانه، دماهای حداقل، حداکثر و متوسط ماهانه و رطوبت نسبی ماهانه طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۲۱ (دوره ۵۰ ساله) در مورد ایستگاه‌های سینوپتیک ذکر شده در جدول ۱، از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است. ابتدا بررسی اولیه داده‌ها، به منظور اطمینان از عدم وجود نقص آماری و همچنین وجود و یا عدم وجود داده پرت در بین آنها و اصلاح احتمالی آنها، آزمون‌های آماری، از قبیل آزمون‌های همگنی، شکست و روند در مورد هر یک از پارامترهای مورد نیاز در هر یک از روش‌های تعیین اقلیم انجام شده است. آنگاه وضعیت اقلیمی در دو بازه زمانی ۲۵ ساله متوالی، بر اساس روش‌های مختلف تعیین اقلیم به شرحی که در ادامه خواهد آمد تعیین گردیده است. سپس تغییر شرایط اقلیمی در ایستگاه‌های مورد نظر بر اساس آزمون‌های آماری روند و شکست مورد کنکاش قرار گرفت (شکل ۲). در ادامه نتایج روش‌های مختلف تعیین اقلیم مورد مقایسه قرار گرفت.

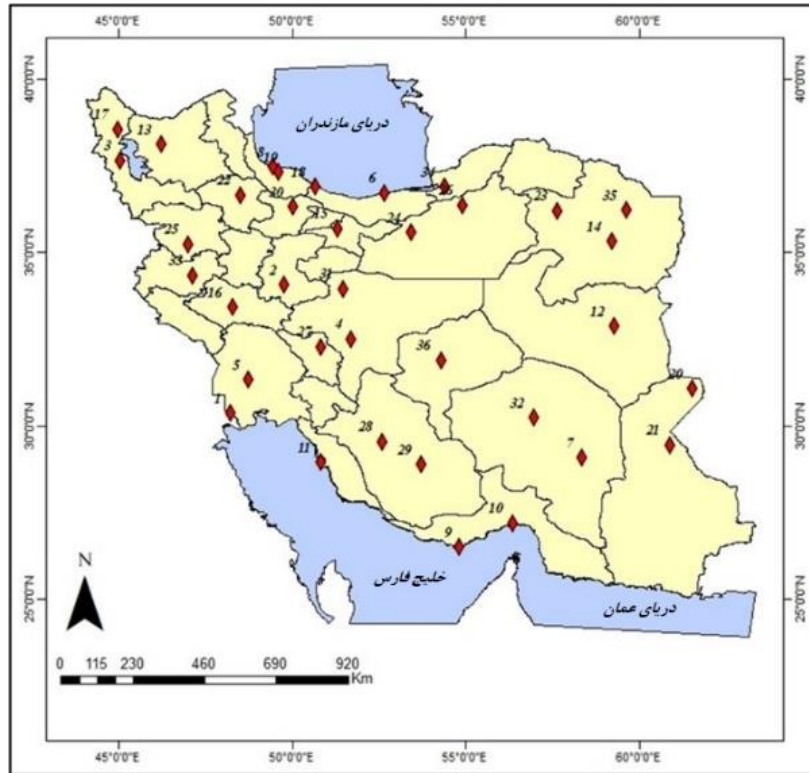
شده‌اند. افزون بر این، اقلیم‌نمای آمبرژه نیز به‌عنوان روشی دقیق در تحلیل سازگاری زیست‌اقلیمی و کشاورزی، در پژوهش‌هایی نظیر مصطفایف و همکاران (Mustafayev et al., 2024) استفاده شده است. این مطالعات تأکید دارند که روش‌های کلاسیک اقلیم‌شناسی، علیرغم قدمت، همچنان دارای کارایی بالایی در ارزیابی تغییرات اقلیم، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران هستند.

پژوهش حاضر با تکیه بر داده‌های ۵۰ ساله از ۳۶ ایستگاه سینوپتیک منتخب، در دو دوره‌ی ۲۵ ساله متوالی، به آشکارسازی تغییرات اقلیمی پرداخته است. نوآوری اصلی این مطالعه در آن است که با استفاده از چهار روش متداول و معتبر طبقه‌بندی اقلیمی که طی دهه‌های اخیر به کار رفته‌اند، تغییرات مکانی و زمانی وضعیت اقلیمی در سطح کشور از طریق ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب تحلیل شده و تصویری روشن‌تر از وضعیت تغییر اقلیم در نقاط مختلف کشور ارائه می‌شود.

۲. روش تحقیق

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با مساحت ۱۶۴۵۰۰۰ کیلومتر مربع تقریباً بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی قرار گرفته است. به علت پانزده درجه اختلاف عرض جغرافیایی که بین جنوبی‌ترین و شمالی‌ترین مناطق آن وجود دارد و اختلاف ارتفاع چند هزار متری بین جلگه‌های پست هم‌تراز دریا تا نواحی مرتفع و کوهستانی، این کشور دارای شرایط



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و وضعیت آب و هوایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره ردیف	کد ایستگاه	نام ایستگاه	نام استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	گذشته دور (۱۹۹۶-۱۹۷۲)		گذشته نزدیک (۲۰۲۱-۱۹۹۷)	
							متوسط دما (درجه سانتی گراد)	متوسط بارش (میلی متر)	متوسط دما (درجه سانتی گراد)	متوسط بارش (میلی متر)
۱	۴۰۸۳۱	آبادان	خوزستان	۴۸° ۱۲' ۵۳/۰۰"	۳۰° ۲۲' ۳۸/۰۰"	۶/۶۰	۲۵/۴۹	۱۷۴/۵۱	۲۶/۴۰	
۲	۴۰۷۶۹	اراک	مرکزی	۴۹° ۴۶' ۶۰/۰۰"	۳۴° ۰۴' ۱۹/۰۰"	۱۷۰۲/۸۰	۱۳/۳۱	۳۳۵/۲۶	۱۴/۵۳	
۳	۴۰۷۱۲	ارومیه	آذربایجان غربی	۴۵° ۰۳' ۱۹/۰۰"	۳۷° ۳۹' ۳۱/۰۰"	۱۳۲۸/۰۰	۱۰/۵۳	۳۵۱/۲۹	۱۱/۸۶	
۴	۴۰۸۰۰	اصفهان	اصفهان	۵۱° ۴۲' ۲۲/۶۸"	۳۲° ۳۱' ۰۱/۹۲"	۱۵۵۰/۴۰	۱۶/۲۹	۱۲۳/۵۴	۱۷/۳۵	
۵	۴۰۸۱۱	اهواز	خوزستان	۴۸° ۴۴' ۳۹/۱۲"	۳۱° ۲۰' ۳۹/۱۲"	۲۲/۵۰	۲۵/۹۰	۲۴۳/۴۵	۲۶/۵۶	
۶	۴۰۷۳۶	بابلسر	مازندران	۵۲° ۳۹' ۱۱/۰۰"	۳۶° ۴۳' ۱۲/۰۰"	-۲۱/۰۰	۱۶/۵۳	۹۲۵/۸۲	۱۷/۷۸	
۷	۴۰۸۵۴	بم	کرمان	۵۸° ۲۱' ۰۰/۰۰"	۲۹° ۰۶' ۰۰/۰۰"	۱۰۶۶/۹۰	۲۳/۱۹	۶۲/۷۲	۲۴/۲۰	
۸	۴۰۷۱۸	بندر انزلی	گیلان	۴۹° ۲۷' ۲۷/۰۰"	۳۷° ۲۸' ۴۷/۰۰"	-۲۳/۶۰	۱۵/۸۷	۱۸۰۹/۹۶	۱۷/۰۰	
۹	۴۰۸۸۳	بندر لنگه	هرمزگان	۵۴° ۴۹' ۴۲/۰۰"	۲۶° ۳۱' ۴۲/۰۰"	۲۲/۷۰	۲۷/۴۹	۱۶۹/۴۶	۲۷/۸۸	
۱۰	۴۰۸۷۵	بندرعباس	هرمزگان	۵۶° ۲۲' ۲۲/۰۸"	۲۷° ۱۲' ۵۱/۱۲"	۹/۸۰	۲۶/۶۸	۲۱۶/۶۹	۲۷/۲۰	
۱۱	۴۰۸۵۸	بوشهر (فرودگاه)	بوشهر	۵۰° ۴۹' ۰۹/۱۲"	۲۸° ۵۷' ۴۷/۱۶"	۹/۰۰	۲۴/۵۵	۲۵۰/۴۲	۲۵/۵۹	
۱۲	۴۰۸۰۹	بیرجند	خراسان جنوبی	۵۹° ۱۶' ۵۹/۱۶"	۳۲° ۵۳' ۲۶/۱۶"	۱۴۹۱/۰۰	۱۶/۶۱	۱۸۳/۲۳	۱۶/۹۲	
۱۳	۴۰۷۰۶	تبریز	آذربایجان شرقی	۴۴° ۱۴' ۳۱/۹۲"	۳۸° ۰۷' ۱۸/۸۴"	۱۳۶۱/۰۰	۱۱/۹۴	۲۸۱/۲۷	۱۳/۳۵	
۱۴	۴۰۷۶۲	تربت حیدریه	خراسان رضوی	۵۹° ۱۲' ۲۰/۸۸"	۳۵° ۱۹' ۵۴/۱۲"	۱۴۵۱/۰۰	۱۴/۳۹	۲۸۲/۱۹	۱۴/۶۲	

شماره ردیف	کد ایستگاه	نام ایستگاه	نام استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)		گذشته نزدیک (۱۹۹۷-۲۰۲۱)	
						متوسط دما (درجه سانتی گراد)	متوسط بارش (میلی متر)	متوسط دما (درجه سانتی گراد)	متوسط بارش (میلی متر)
۱۵	۴۰۷۵۴	تهران (فرودگاه مهرآباد)	تهران	۵۱° ۱۸' ۳۳/۱۲"	۳۵° ۴۱' ۳۵/۱۶"	۱۱۹۱/۰۰	۱۷/۱۴	۲۵۲/۵۳	۱۸/۵۵
۱۶	۴۰۷۸۲	خرم آباد	لرستان	۴۸° ۱۷' ۰۱/۰۰"	۳۳° ۲۶' ۲۰/۰۰"	۱۱۴۷/۸۰	۱۶/۷۱	۵۱۹/۲۵	۱۷/۳۹
۱۷	۴۰۷۰۳	خوی	آذربایجان غربی	۴۴° ۵۹' ۴۳/۰۰"	۳۸° ۳۳' ۲۹/۰۰"	۱۱۰۳/۴۰	۱۲/۱۳	۳۰۹/۲۷	۱۳/۱۴
۱۸	۴۰۷۳۲	رامسر	مازندران	۵۰° ۴۰' ۶۰/۰۰"	۳۶° ۵۴' ۱۶/۰۰"	-۲۰/۰۰	۱۵/۵۲	۱۲۱۲/۹۱	۱۶/۹۱
۱۹	۴۰۷۱۹	رشت	گیلان	۴۹° ۳۷' ۲۷/۰۰"	۳۷° ۱۹' ۲۱/۰۰"	-۸/۶۰	۱۵/۸۸	۱۴۰۵/۵۰	۱۶/۴۲
۲۰	۴۰۸۲۹	زابل	سیستان و بلوچستان	۶۱° ۳۲' ۳۵/۰۰"	۳۱° ۰۵' ۱۹/۰۰"	۴۸۹/۲۰	۲۲/۳۳	۶۵/۸۳	۲۲/۷۹
۲۱	۴۰۸۵۶	زاهدان	سیستان و بلوچستان	۶۰° ۵۴' ۰۱/۰۰"	۲۹° ۲۸' ۲۰/۰۰"	۱۳۷۰/۰۰	۱۸/۴۱	۸۲/۶۶	۱۹/۶۶
۲۲	۴۰۷۲۹	زنجان	زنجان	۴۸° ۳۱' ۱۸/۱۲"	۳۶° ۳۹' ۳۷/۰۸"	۱۶۵۹/۴۰	۱۰/۸۰	۳۰۹/۶۳	۱۱/۷۷
۲۳	۴۰۷۴۳	سبزوار	خراسان رضوی	۵۷° ۳۸' ۵۷/۸۴"	۳۶° ۱۲' ۲۵/۹۲"	۹۶۲/۰۰	۱۷/۵۶	۲۱۰/۱۷	۱۸/۲۰
۲۴	۴۰۷۵۷	سمنان	سمنان	۵۳° ۲۵' ۱۷/۰۰"	۳۵° ۳۵' ۱۸/۰۰"	۱۱۲۷/۰۰	۱۷/۸۷	۱۵۱/۲۹	۱۸/۷۱
۲۵	۴۰۷۴۷	سندج	کردستان	۴۷° ۰۰' ۵۳/۰۰"	۳۵° ۱۵' ۱۶/۰۰"	۱۳۷۳/۴۰	۱۳/۹۹	۴۸۴/۷۲	۱۴/۴۹
۲۶	۴۰۷۳۹	شاهرود	سمنان	۵۴° ۵۵' ۴۷/۰۰"	۳۶° ۲۲' ۵۰/۰۰"	۱۳۲۵/۲۰	۱۴/۲۳	۱۸۱/۲۸	۱۵/۱۸
۲۷	۴۰۷۹۸	شهرکرد	چهارمحال و بختیاری	۵۰° ۵۰' ۲۲/۰۰"	۳۲° ۱۷' ۳۲/۰۰"	۲۰۴۸/۹۰	۱۲/۲۶	۳۴۴/۶۵	۱۱/۸۱
۲۸	۴۰۸۴۸	شیراز	فارس	۵۲° ۳۶' ۰۹/۰۰"	۲۹° ۳۳' ۴۱/۰۰"	۱۴۸۸/۰۰	۱۷/۸۷	۳۴۶/۷۰	۱۹/۰۹

شماره ردیف	کد ایستگاه	نام ایستگاه	نام استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)		گذشته دور (۱۹۹۶-۱۹۷۲)		گذشته نزدیک (۱۹۹۷-۲۰۲۱)	
						متوسط دما (درجه سانتی گراد)	متوسط بارش (میلی متر)	متوسط دما (درجه سانتی گراد)	متوسط بارش (میلی متر)	متوسط دما (درجه سانتی گراد)	متوسط بارش (میلی متر)
۲۹	۴۰۸۵۹	فسا	فارس	۵۳° ۴۳' ۱۰/۰۰"	۲۸° ۵۳' ۵۸/۰۰"	۱۲۶۸/۰۰	۲۰/۲۸	۳۲۱/۲۴	۱۹/۸۳	۲۵۵/۶۷	
۳۰	۴۰۷۳۱	قزوین	قزوین	۵۰° ۰۱' ۱۲/۰۰"	۳۶° ۱۹' ۰۹/۴۸"	۱۲۷۹/۱۰	۱۳/۴۱	۳۳۸/۹۰	۱۴/۳۴	۳۰۲/۴۹	
۳۱	۴۰۷۸۵	کاشان	اصفهان	۵۱° ۲۸' ۵۱/۰۰"	۳۳° ۵۸' ۰۱/۰۰"	۹۵۵/۰۰	۱۹/۷۹	۱۳۹/۰۷	۱۹/۶۸	۱۲۸/۰۰	
۳۲	۴۰۸۴۱	کرمان	کرمان	۵۶° ۵۷' ۴۲/۸۴"	۳۰° ۱۵' ۲۰/۱۶"	۱۷۵۴/۰۰	۱۶/۵۶	۱۵۲/۴۸	۱۷/۳۳	۱۱۵/۶۶	
۳۳	۴۰۷۶۶	کرمانشاه	کرمانشاه	۴۷° ۰۹' ۱۲/۰۰"	۳۴° ۲۱' ۰۸/۰۰"	۱۳۱۸/۵۰	۱۴/۴۹	۴۶۵/۶۳	۱۵/۹۸	۳۹۱/۵۵	
۳۴	۴۰۷۳۸	گرگان	گلستان	۵۴° ۲۴' ۴۷/۱۶"	۳۶° ۵۴' ۱۸/۰۰"	۱۳/۳۰	۱۷/۳۰	۵۸۵/۹۵	۱۷/۶۷	۴۹۹/۴۷	
۳۵	۴۰۷۴۵	مشهد	خراسان رضوی	۵۹° ۳۷' ۵۲/۰۰"	۳۶° ۱۴' ۱۱/۰۰"	۹۹۹/۲۰	۱۳/۶۹	۲۸۰/۰۵	۱۵/۸۴	۲۳۰/۷۹	
۳۶	۴۰۸۲۱	یزد	یزد	۵۴° ۱۷' ۲۱/۱۲"	۳۱° ۵۴' ۱۴/۰۴"	۱۲۳۰/۲۰	۱۹/۰۲	۶۴/۹۰	۲۰/۶۱	۵۰/۴۷	

۳. آزمون داده پرت

بر اساس تعریف، داده‌های پرت^۱ به داده‌هایی اطلاق می‌شود که به‌طور قابل توجهی با سایر داده‌های موجود در یک مجموعه تفاوت دارند و از الگوی کلی یا روند غالب پیروی نمی‌کنند. این داده‌ها ممکن است ناشی از خطاهای اندازه‌گیری، خطاهای ثبت، شرایط محیطی خاص یا تغییرات واقعی اما نادر در پدیده مورد بررسی باشند. شناسایی و بررسی داده‌های پرت از اهمیت زیادی برخوردار است، چراکه می‌تواند تحلیل‌های آماری را تحت تأثیر قرار دهند و به نتایج گمراه‌کننده منجر شوند. بسته به هدف تحقیق، داده‌های پرت ممکن است حذف، اصلاح یا به‌صورت مجزا تحلیل شوند. در این پژوهش برای یافتن این داده‌ها از آزمون گروبز-بک استفاده شد.

اگر N داده x_1 و ... و x_N اعضای نمونه باشند، ابتدا از آنها لگاریتم (طبیعی) گرفته می‌شود. داده‌های جدید را y_1, \dots, y_N می‌نامیم ($y_i = \ln x_i$)، سپس میانگین و انحراف معیار y_i ها را حساب نموده (S_y, \bar{y})، آنگاه، K_N که به آماره گروبز-بک معروف است و همچنین X_H (پوش بالای داده‌ها) و X_L (پوش پایین داده‌ها) را به شرح روابط بیان شده در زیر محاسبه می‌شود. اگر داده‌ای از X_H بزرگتر باشد، به داده پرت بالا و اگر از X_L کوچکتر باشد به داده پرت پایین معروف است. قابل ذکر است که در صورت حذف داده پرت، به تعداد داده‌های پرت در نمونه، داده مفقود به وجود می‌آید. بنابراین با این داده‌ها مشابه نمونه‌های دارای داده مفقود رفتار می‌شود. زیرا از تصادفی بودن خارج می‌شوند.

$$K_N \quad (1)$$

$$\cong -3.62201 + 6.28446N^{1/4} - 2.49835N^{1/2} + 0.491436N^{3/4} - 0.037911N$$

$$X_H = \text{Exp}(\bar{y} + K_N \cdot S_y) \quad (2)$$

$$X_L = \text{Exp}(\bar{y} - K_N \cdot S_y) \quad (3)$$

این آزمون در سطح $\alpha = 10\%$ معتبر است.

۴. روش‌های تعیین اقلیم

وضعیت اقلیم هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دو دوره متوالی ۲۵ ساله از کل بازه زمانی ۵۰ ساله آماری (۱۹۷۲ تا ۲۰۲۱) بررسی شد. به این منظور، ابتدا یک بازه ۲۵ ساله در نظر گرفته و وضعیت اقلیمی ایستگاه‌ها در دوره ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۶ تعیین شد. پس از آن، وضعیت اقلیم در دوره ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۱ مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب، طی بازه ۵۰ ساله مورد مطالعه، اقلیم ایستگاه‌ها در دو بازه زمانی ۲۵ ساله به صورت مجزا مشخص شد.

در این پژوهش، برای تعیین وضعیت اقلیم در تمامی ایستگاه‌ها، از چهار روش معتبر و رایج طبقه‌بندی اقلیم شامل دومارتن، ایوانف، سلیمانوف و آمبرژه استفاده شده است. انتخاب این چهار روش به دلیل سادگی محاسبات، اتکای آن‌ها بر داده‌های پایه (دما و بارش)، قابلیت مقایسه در مطالعات بلندمدت و کاربرد وسیع آن‌ها در پژوهش‌های تغییر اقلیم، به‌ویژه در ایران صورت پذیرفته است (صادقی و همکاران، ۱۴۰۲). پس از تعیین وضعیت اقلیمی هر ایستگاه بر اساس این چهار روش در هر دو بازه زمانی بیان شده، تغییرات احتمالی نوع اقلیم ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

در نهایت، نتایج حاصل از هر روش تعیین اقلیم به منظور ارزیابی توانایی آن‌ها در آشکارسازی تغییرات اقلیمی مورد مقایسه و تحلیل قرار خواهد گرفت. این مقایسه به شناسایی روش‌های مناسب‌تر برای آشکارسازی تغییر اقلیم در پهنه ایران کمک می‌کند

۴-۱. روش دومارتن^۲:

دومارتن بر اساس مقادیر دما و بارش، رابطه تجربی زیر را ارائه داد (Jahangir and Danehkar., 2022):

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (4)$$

که در آن I : ضریب خشکی، T : متوسط دمای سالانه ($^{\circ}C$)، P : متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)، است.

² De Martonne

¹ Outliers

جدول ۳. ضریب رطوبتی ایوانف (Ivanov, 1954)

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دومارتن (I)
اقلیم بسیار مرطوب جنگلی	$I \geq 1/5$
اقلیم مرطوب جنگلی	$1/49 \geq I \geq 1$
اقلیم استپی جنگلی	$0/99 \geq I \geq 0/6$
استپی	$0/59 \geq I \geq 0/3$
بیابانی	$0/29 \geq I \geq 0/13$
صحرائی	$0/12 \geq I \geq 0$

۳-۴. روش سلیانینوف^۲:

این روش بر اساس نسبت بارش به گرما استوار است (Bahmani et al., 2021). ضریب به اصطلاح هیدروترمیک سلیانینوف بر اساس فرمول ۷ تعیین می شود:

$$I = \frac{\sum P}{0.1 \sum H} \quad (7)$$

در این فرمول $\sum P$: مقدار کل بارش سالانه (بر حسب میلی متر)، $\sum H$: مجموع درجه-روز سالانه بر مبنای صفر $^{\circ}C$ ، در صورتی که $I < 0.5$ باشد منطقه بیابانی، اگر $0.5 < I < 0.7$ منطقه استپ خشک، چنانچه $0.7 < I < 1.0$ باشد، منطقه به عنوان استپ معمولی طبقه بندی شده و در صورتی که $I > 1.0$ باشد آن منطقه دارای آب و هوای استپی جنگلی خواهد بود. مهم ترین مزیت ضریب هیدروترمیک (رطوبت-گرما) سلیانینوف ساده بودن آن و مهیا بودن آمار هواشناسی مورد نیاز برای محاسبه آن است.

۴-۴. اقلیم نمای آمبرژه^۳:

در روش طبقه بندی آمبرژه عوامل تعیین کننده اقلیم در هر منطقه به صورت زیر تعریف می شوند (Rouzkhosh et al., 2022):

بر این اساس، ۶ نوع اقلیم را می توان مشخص کرد که در جدول ۲ معرفی شده اند.

۲-۴. روش ایوانف^۱:

روش ایوانف بر مقایسه بارش و تبخیر استوار است (Rouzkhosh et al., 2022). در این روش ضریب رطوبتی I با استفاده از فرمول های زیر محاسبه می شود:

$$I = \frac{P}{\sum E} \quad (5)$$

$$E = 0.0018(2.5 + T^2)(100 - r) \quad (6)$$

که در آن I : ضریب رطوبتی ایوانف، T : متوسط دمای ماهانه ($^{\circ}C$)، r : متوسط رطوبت نسبی ماهانه (%)، E : تبخیر ماهانه (cm)، P : مقدار بارش سالانه (cm)، $\sum E$: جمع تبخیر در ماه های سال (cm). در این روش لازم است ابتدا با توجه به رطوبت نسبی و دما، تبخیر ماهانه و سپس تبخیر سالانه محاسبه شود. پس از محاسبه I ، طبقه بندی اقلیمی در این روش با توجه به محدوده های نشان داده شده در جدول ۳ انجام می شود:

جدول ۲. ضریب خشکی دومارتن (De Martonne, ۱۹۲۶)

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دومارتن (I)
خشک	کوچک تر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگ تر از ۳۵

³ Emberger

¹ Ivanov

² Selyaninov

اساس ۴ روش تعیین اقلیم (دومارتن، ایوانف، سلیمانوف و آمبرژه) تعیین شد. نتایج تعیین اقلیم و نیز مقدار آماره‌های اقلیمی چهار روش مورد بررسی در جدول ۴ آورده شده‌اند. مطابق نتایج جدول یاد شده، با توجه به کاهش قابل توجه مقادیر شاخص دومارتن در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره گذشته نزدیک می‌توان نتیجه گرفت که شرایط اقلیمی در بسیاری از مناطق ایران به سمت خشکی و افزایش دما گرایش داشته است.

M : میانگین حداکثرهای دما در گرم‌ترین ماه سال، m : میانگین حداقل‌های دما در سردترین ماه سال، P : میانگین بارش سالانه.

آمبرژه بر اساس تجربیات خود اقلیم‌نمایی را تهیه کرد که مطابق شکل ۳ از دو محور متعامد تشکیل شده است. بر محور افقی مقدار m (برحسب °C) و بر محور عمودی مقدار Q_2 که از فرمول زیر به دست می‌آید منتقل می‌شود:

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2} \quad (۸)$$

در این رابطه m و M بر حسب درجه کلونین، و P بر حسب میلی‌متر است. صفحه اقلیم‌نمای آمبرژه به قسمت‌های مختلف که هر یک مشخص‌کننده شرایط اقلیمی خاصی می‌باشد، تقسیم‌بندی شده است. مختصات هر نقطه از نظر Q_2 و m در داخل یکی از این مناطق قرار می‌گیرد.

۵. نتایج و بحث

پیش از ورود به تحلیل‌های اقلیمی، داده‌های خام از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفتند تا از صحت و کفایت آن‌ها برای تحلیل‌های بعدی اطمینان حاصل شود. در این راستا، برای شناسایی داده‌های پرت، از آزمون گروپز-سبک استفاده شد که یکی از آزمون‌های معتبر آماری برای تشخیص مقادیر غیرعادی در سری‌های زمانی است. نتایج حاصل از این آزمون نشان داد که بخش عمده‌ای از ایستگاه‌های مورد مطالعه، فاقد مقادیر پرت در داده‌های دما و بارش هستند و تنها در تعداد اندکی از ایستگاه‌ها داده پرت شناسایی شد. این موارد پس از بررسی‌های تکمیلی و مقایسه با منابع ثانویه، اصلاح گردیدند. این مرحله به عنوان گامی مقدماتی، نقش مهمی در افزایش اعتبار نتایج حاصل از تحلیل‌های اقلیمی دارد.

در ادامه همان‌گونه که بیان شد دوره آماری ۵۰ ساله به دو دوره ۲۵ ساله شامل گذشته دور (۱۹۹۶-۱۹۷۲) و گذشته نزدیک (۲۰۲۱-۱۹۹۷)، تقسیم شد و وضعیت اقلیمی در محدوده هر یک از ایستگاه‌ها و در هر یک از دو دوره بر

جدول ۴. مقایسه مقادیر شاخص اقلیمی و وضعیت اقلیمی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دو دوره گذشته دور (۱۹۹۶-۱۹۷۲) و گذشته نزدیک (۲۰۲۱-۱۹۹۷)

ردیف	نام ایستگاه	روش دومارتن				روش ایوانف				روش سلیانینوف				روش آمبرژه					
		گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته نزدیک		نوع اقلیم			
														شاخص	میانگین دمای حداقل °				
۱	آبادان	۴/۹۲	خشک	۳/۸۹	خشک	۰/۱۷	بیابانی	۰/۱۲	صحرائی	۰/۰۶	بیابانی	۰/۰۴	بیابانی	۶/۲۰	۱/۲۳	بیابانی گرم معتدل	۷/۲۹	۰/۹۷	بیابانی گرم معتدل
۲	اراک	۱۴/۳۸	نیمه خشک	۱۲/۱۹	نیمه خشک	۰/۸۱	استپی جنگلی	۰/۶۳	استپی جنگلی	۰/۲۱	بیابانی	۰/۱۷	بیابانی	-۷/۷۷	۲/۲۳	خشک سرد	-۵/۵۰	۲/۰۸	خشک سرد
۳	ارومیه	۱۷/۱۱	نیمه خشک	۱۳/۴۸	نیمه خشک	۱/۷۱	بسیار مرطوب جنگلی	۱/۱۶	مرطوب جنگلی	۰/۲۸	بیابانی	۰/۲۱	بیابانی	-۸/۴۲	۲/۶۱	خشک سرد	-۶/۶۹	۲/۱۹	خشک سرد
۴	اصفهان	۴/۷۰	خشک	۴/۷۸	خشک	۰/۲۳	بیابانی	۰/۲۰	بیابانی	۰/۰۶	بیابانی	۰/۰۶	بیابانی	-۲/۹۴	۰/۹۰	خشک سرد	-۲/۸۸	۰/۹۲	خشک سرد
۵	اهواز	۶/۷۸	خشک	۵/۶۶	خشک	۰/۲۲	بیابانی	۰/۱۷	بیابانی	۰/۰۸	بیابانی	۰/۰۶	بیابانی	۶/۲۳	۱/۶۹	بیابانی گرم معتدل	۷/۴۶	۱/۴۴	بیابانی گرم معتدل
۶	بابلسر	۳۴/۹۰	مرطوب	۳۲/۵۸	مرطوب	۶/۶۷	بسیار مرطوب جنگلی	۵/۱۲	بسیار مرطوب جنگلی	۰/۴۷	بیابانی	۰/۴۲	بیابانی	۳/۰۳	۹/۵۱	بیابانی گرم خفیف	۴/۹۰	۹/۵۱	بیابانی گرم خفیف
۷	بم	۱/۸۹	خشک	۱/۴۵	خشک	۰/۰۶	صحرائی	۰/۰۴	صحرائی	۰/۰۲	بیابانی	۰/۰۲	بیابانی	۴/۲۳	۰/۵۰	بیابانی گرم خفیف	۵/۹۱	۰/۳۹	بیابانی گرم معتدل

ردیف	نام ایستگاه	روش دومارتن				روش ایوانف				روش سلیمانوف				روش آمبرژه							
		گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته نزدیک		نوع اقلیم					
														شاخص	میانگین دمای حداقل*						
۸	بندر انزلی	۶۹/۹۷	مرطوب	۶۵/۹۱	مرطوب	۱۴/۹۵	بسیار مرطوب جنگلی	۱۲/۲۰	بسیار مرطوب جنگلی	۰/۹۵	استپ معمولی	۰/۸۷	استپ معمولی	۳/۱۵	بیابانی گرم خفیف	۱۹/۷۰	بیابانی گرم خفیف	۴/۷۴	میانگین دمای حداقل*	۱۹/۶۳	شاخص
۹	بندر لنگه	۴/۵۲	خشک	۲/۷۰	خشک	۰/۲۷	بیابانی	۰/۱۶	بیابانی	۰/۰۵	بیابانی	۰/۰۳	بیابانی	۱۲/۹۹	بیابانی گرم شدید	۱/۹۲	بیابانی گرم شدید	۱۴/۳۵	میانگین دمای حداقل*	۱/۱۹	شاخص
۱۰	بندرعباس	۵/۹۱	خشک	۳/۷۹	خشک	۰/۳۹	استپی	۰/۲۳	بیابانی	۰/۰۷	بیابانی	۰/۰۴	بیابانی	۱۱/۳۳	بیابانی گرم شدید	۲/۱۹	بیابانی گرم شدید	۱۱/۵۶	میانگین دمای حداقل*	۱/۴۲	شاخص
۱۱	بوشهر (فرودگاه)	۷/۲۵	خشک	۷/۰۲	خشک	۰/۴۶	استپی	۰/۴۱	استپی	۰/۰۹	بیابانی	۰/۰۸	بیابانی	۹/۲۸	بیابانی گرم شدید	۲/۴۱	بیابانی گرم شدید	۱۱/۰۲	میانگین دمای حداقل*	۲/۵۱	شاخص
۱۲	بیرجند	۶/۸۹	خشک	۵/۰۷	خشک	۰/۳۱	استپی	۰/۲۳	بیابانی	۰/۰۹	بیابانی	۰/۰۷	بیابانی	-۳/۲۴	خشک سرد	۱/۳۵	خشک سرد	-۳/۱۸	میانگین دمای حداقل*	۰/۹۹	شاخص
۱۳	تبریز	۱۲/۸۲	نیمه خشک	۱۰/۸۷	نیمه خشک	۰/۸۸	استپی جنگلی	۰/۶۷	استپی جنگلی	۰/۲۰	بیابانی	۰/۱۶	بیابانی	-۷/۰۶	خشک سرد	۲/۰۳	خشک سرد	-۵/۹۳	میانگین دمای حداقل*	۱/۸۱	شاخص
۱۴	ترت حیدریه	۱۱/۵۷	نیمه خشک	۹/۴۵	خشک	۰/۶۴	استپی جنگلی	۰/۵۱	استپی	۰/۱۶	بیابانی	۰/۱۳	بیابانی	-۵/۲۹	خشک سرد	۲/۰۸	خشک سرد	-۴/۳۶	میانگین دمای حداقل*	۱/۷۸	شاخص
۱۵	تهران (فرودگاه مهرآباد)	۹/۳۱	خشک	۸/۱۳	خشک	۰/۴۲	استپی	۰/۳۴	استپی	۰/۱۲	بیابانی	۰/۱۰	بیابانی	-۱/۲۵	خشک سرد	۱/۹۰	خشک سرد	۱/۱۲	میانگین دمای حداقل*	۱/۸۲	شاخص

ردیف	نام ایستگاه	روش دومارتن				روش ایوانف				روش سلیانینوف				روش آمبرژه			
		گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته نزدیک		نوع اقلیم	
														شاخص	میانگین دمای حداقل*		
۱۶	خرم آباد	۱۹/۴۴	نیمه خشک	۱۶/۸۵	نیمه خشک	۰/۹۸	استپی جنگلی	۰/۷۶	استپی جنگلی	۰/۲۶	بیابانی	۰/۲۲	بیابانی	۳/۶۲	خشک سرد	۱/۳۴-	۳/۱۵
۱۷	خوی	۱۳/۹۷	نیمه خشک	۱۱/۶۵	نیمه خشک	۱/۲۱	مرطوب جنگلی	۰/۸۷	استپی جنگلی	۰/۲۱	بیابانی	۰/۱۷	بیابانی	۲/۱۸	خشک سرد	-۷/۳۷	۱/۸۷
۱۸	رامسر	۴۷/۵۳	مرطوب	۴۷/۱۷	مرطوب	۱۱/۶۸	بسیار مرطوب جنگلی	۸/۱۵	بسیار مرطوب جنگلی	۰/۶۵	استپ خشک	۰/۶۳	استپ خشک	۱۳/۳۲	بیابانی گرم خفیف	۴/۴۲	۱۳/۸۴
۱۹	رشت	۵۴/۳۰	مرطوب	۴۸/۷۵	مرطوب	۱۰/۵۶	بسیار مرطوب جنگلی	۹/۵۳	بسیار مرطوب جنگلی	۰/۷۴	استپ معمولی	۰/۶۵	استپ خشک	۱۳/۶۰	خشک معتدل	۲/۵۰	۱۲/۴۸
۲۰	زابل	۲/۰۴	خشک	۱/۳۲	خشک	۰/۰۷	صحرائی	۰/۰۴	صحرائی	۰/۰۲	بیابانی	۰/۰۲	بیابانی	۰/۴۶	بیابانی معتدل	۱/۳۳	۰/۲۹
۲۱	زاهدان	۲/۹۱	خشک	۲/۲۸	خشک	۰/۱۳	بیابانی	۰/۰۹	صحرائی	۰/۰۴	بیابانی	۰/۰۳	بیابانی	۰/۶۲	خشک سرد	-۰/۴۱	۰/۵۱
۲۲	زنجان	۱۴/۸۸	نیمه خشک	۱۳/۰۶	نیمه خشک	۱/۱۶	مرطوب جنگلی	۱/۰۵	مرطوب جنگلی	۰/۲۴	بیابانی	۰/۲۰	بیابانی	۲/۱۴	خشک سرد	-۷/۰۶	۲/۰۵
۲۳	سبزوار	۷/۶۲	خشک	۶/۳۳	خشک	۰/۳۳	استپی	۰/۲۶	بیابانی	۰/۱۰	بیابانی	۰/۸۰	بیابانی	۱/۵۱	خشک سرد	-۰/۶۹	۱/۳۰
۲۴	سمنان	۵/۴۳	خشک	۴/۶۰	خشک	۰/۲۴	بیابانی	۰/۱۸	بیابانی	۰/۰۷	بیابانی	۰/۰۶	بیابانی	۱/۱۱	خشک سرد	-۰/۱۶	۰/۹۷

ردیف	نام ایستگاه	روش دومارتن				روش ایوانف				روش سلیانینوف				روش آمبروزه			
		گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته نزدیک		نوع اقلیم	
														شاخص	میانگین دمای حداقل*		
۲۵	سنندج	۲۰/۲۰	مدیترانه‌ای	۱۴/۴۷	خشک	۱/۱۱	مرطوب جنگلی	۰/۷۸	استپی جنگلی	۰/۲۹	بیابانی	۰/۲۰	بیابانی	۳/۱۳	خشک سرد	۲/۳۵	خشک سرد
۲۶	شاهرود	۷/۴۸	خشک	۵/۶۶	خشک	۰/۴۷	استپی	۰/۳۳	استپی	۰/۱۱	بیابانی	۰/۰۸	بیابانی	۱/۴۰	خشک سرد	۱/۱۳	خشک سرد
۲۷	شهرکرد	۱۵/۴۸	نیمه خشک	۱۳/۷۳	نیمه خشک	۱/۰۲	مرطوب جنگلی	۰/۹۲	استپی جنگلی	۰/۲۳	بیابانی	۰/۲۱	بیابانی	۲/۳۱	خشک سرد	۲/۰۰	خشک سرد
۲۸	شیراز	۱۲/۴۴	نیمه خشک	۱۰/۰۸	نیمه خشک	۰/۵۷	استپی	۰/۴۲	استپی	۰/۱۶	بیابانی	۰/۱۳	بیابانی	۲/۵۶	خشک سرد	۲/۱۵	بیابانی معتدل
۲۹	فسا	۱۰/۶۱	نیمه خشک	۸/۵۷	خشک	۰/۴۱	استپی	۰/۳۵	استپی	۰/۱۳	بیابانی	۰/۱۱	بیابانی	۲/۳۵	بیابانی معتدل	۱/۸۴	بیابانی معتدل
۳۰	قزوین	۱۴/۴۸	نیمه خشک	۱۲/۴۳	نیمه خشک	۰/۹۷	استپی جنگلی	۰/۸۴	استپی جنگلی	۰/۲۱	بیابانی	۰/۱۸	بیابانی	۲/۳۳	خشک سرد	۲/۱۷	خشک سرد
۳۱	کاشان	۴/۶۸	خشک	۴/۳۱	خشک	۰/۱۸	بیابانی	۰/۱۶	بیابانی	۰/۰۶	بیابانی	۰/۰۵	بیابانی	۰/۹۴	خشک سرد	۰/۸۷	خشک سرد
۳۲	کرمان	۵/۷۴	خشک	۴/۲۳	خشک	۰/۲۷	بیابانی	۰/۱۸	بیابانی	۰/۰۸	بیابانی	۰/۰۶	بیابانی	۱/۱۰	خشک سرد	۰/۸۲	خشک سرد
۳۳	کرمانشاه	۱۹/۰۲	نیمه خشک	۱۵/۰۷	نیمه خشک	۱/۰۲	مرطوب جنگلی	۰/۷۰	استپی جنگلی	۰/۲۷	بیابانی	۰/۲۰	بیابانی	۳/۱۰	خشک سرد	۲/۶۲	خشک سرد
۳۴	گرگان	۲۱/۴۷	مدیترانه‌ای	۱۸/۰۵	نیمه خشک	۲/۳۲	مرطوب جنگلی	۲/۰۴	بسیار مرطوب جنگلی	۰/۲۸	بیابانی	۰/۲۴	بیابانی	۵/۴۴	بیابانی معتدل	۴/۲۷	بیابانی معتدل

روش آمبروزه		روش سلیانینوف				روش ایوانف				روش دومارتن				نم ایستگاه	رتبه				
نوع اقلیم	گذشته نزدیک		نوع اقلیم	گذشته دور		نوع اقلیم	گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک	نوع اقلیم	گذشته دور	نوع اقلیم	گذشته نزدیک						
	شاخص	میانگین دمای حداقل*		شاخص	میانگین دمای حداقل*											شاخص	میانگین دمای حداقل*	شاخص	میانگین دمای حداقل*
خشک سرد	۱/۷۴	-۲/۴۱	خشک سرد	۲/۰۳	-۵/۲۳	بیابانی	۰/۱۲	بیابانی	۰/۱۷	استپی	۰/۴۸	استپی جنگلی	۰/۸۱	خشک	۸/۹۳	نیمه خشک	۱۱/۸۲	مشهد	۳۵
بیابانی معتدل	۰/۳۶	۰/۶۹	خشک سرد	۰/۴۵	-۱/۲۷	بیابانی	۰/۰۲	بیابانی	۰/۰۳	صحرائی	۰/۰۹	صحرائی	۰/۰۹	خشک	۱/۶۵	خشک	۲/۲۴	یزد	۳۶

* منظور از میانگین دمای حداقل، میانگین حداقل‌های دما در سردترین ماه سال است.

ممکن است به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص، تأثیر جریان‌های جوی، یا شرایط محلی باشد.

۷. روش ایوانف

پس از تعیین مقادیر شاخص اقلیمی ایوانف در دو دوره گذشته دور (۱۹۹۶-۱۹۷۲) و گذشته نزدیک (۲۰۲۱-۱۹۹۷)، وضعیت اقلیمی در محدوده هر یک از ایستگاه‌ها و در هر یک از دو دوره بر اساس این شاخص هم تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که، کاهش چشمگیری در مقادیر شاخص ایوانف در تمامی ایستگاه‌ها در گذشته نزدیک در مقایسه با گذشته دور اتفاق افتاده است (جدول ۴). با توجه به معادله‌های ۴ و ۵، کاهش مقادیر این شاخص می‌تواند ناشی از کاهش بارش و یا افزایش تبخیر (به دلیل افزایش دما و یا کاهش رطوبت نسبی) باشد که نشان‌دهنده خشک‌تر شدن شرایط اقلیمی در محدوده تمامی ایستگاه‌های مناطق مورد مطالعه است.

در برخی ایستگاه‌ها، تغییر نوع اقلیم به وضوح قابل شناسایی است. به عنوان مثال، تغییر اقلیم از بیابانی به صحرایی در آبادان و زاهدان، و تغییر از استپی به بیابانی در بندرعباس، بیرجند و سبزوار، گواهی بر تشدید شرایط خشک و افزایش تنش‌های آبی است. همچنین، تغییر اقلیم از استپی جنگلی به استپی در تربت حیدریه و مشهد و تغییر از اقلیم مرطوب جنگلی به استپی جنگلی در سنندج، شهرکرد و کرمانشاه، بیانگر کاهش رطوبت و افزایش گرما در این مناطق است.

کاهش‌های قابل توجه شاخص ایوانف در ایستگاه‌هایی مانند ارومیه، رامسر، بابلسر، بندرانزلی، گرگان و رشت نیز نمایانگر کاهش رطوبت و بارش و افزایش تبخیر در این مناطق است، هرچند که این مناطق اقلیم مرطوب‌تری نسبت به دیگر مناطق کشور دارند. این مسئله می‌تواند هشداردهنده تغییرات اقلیمی حتی در نواحی مرطوب‌تر کشور باشد.

از سوی دیگر، در برخی از ایستگاه‌ها مانند بم، بوشهر (فرودگاه)، سمنان، یزد، زابل و زاهدان مقدار کاهش این شاخص در مقایسه با ایستگاه‌های مناطق پرباران کمتر می‌باشد. علت اصلی این موضوع نیز ناچیز بودن مقادیر این شاخص در این شهرها می‌باشد. به عنوان مثال مقدار شاخص ایوانف در یزد در گذشته دور ۰/۰۸ بوده است که در گذشته

۶. روش دومارتن

بر اساس شاخص دومارتن (معادله ۴) کاهش مقدار این شاخص، نشان‌دهنده کاهش بارش و یا افزایش دما و یا ترکیبی از هر دو است که منجر به کاهش منابع آبی و تشدید خشکی می‌شود (جدول ۴).

تغییرات اقلیمی که در ایستگاه‌هایی مانند تربت حیدریه، مشهد و فسا مشاهده شده است، انتقال اقلیم از نیمه‌خشک به خشک را نشان می‌دهد. این تغییرات گویای تشدید شرایط خشکی در این مناطق است که می‌تواند به کاهش منابع آب و افزایش تنش‌های زیست‌محیطی منجر شود. همچنین تغییر اقلیم از مدیترانه‌ای به نیمه‌خشک در سنندج و گرگان (ناحیه‌ای که به لحاظ اقلیمی پیش از این رطوبت‌نسبی بیشتری داشت)، موید روند کلی خشکی، کاهش بارش و یا افزایش دما در این مناطق است.

کاهش قابل توجه در شاخص دومارتن در ایستگاه‌هایی مانند بیرجند و زاهدان که هر دو دارای اقلیم خشک هستند، نشان می‌دهد که شدت خشکی در این مناطق افزایش یافته است. به عبارتی دیگر، حتی اگر طبقه‌بندی اقلیمی تغییر نکرده باشد، کاهش محسوس این شاخص بیانگر تغییرات نامطلوب در شرایط آب و هوایی مانند کاهش بارش‌های فصلی یا افزایش دمای هوا است. این امر در شهرهای آبادان، ارومیه، کرمانشاه، اهواز و رشت نیز دیده می‌شود و حاکی از کاهش بارش و گسترش خشکی در اکثر شهرهای کشور است.

ایستگاه‌هایی مانند بابلسر، بندرانزلی و رامسر هم که در مناطق مرطوب کشور قرار دارند با تغییر جزئی در مقدار شاخص دومارتن مواجه شده‌اند. از میان ۳۶ ایستگاه مورد بررسی در ۳۵ ایستگاه در مقدار شاخص دومارتن کاهش اتفاق افتاده است، یعنی اقلیم منطقه در گذشته نزدیک نسبت به گذشته دور خشک‌تر شده است. تنها ایستگاهی که مقدار شاخص دومارتن در آن در گذشته نزدیک نسبت به گذشته دور کمی افزایش داشته است (۰/۷)، ایستگاه اصفهان است. به عبارت دیگر تنها در این شهر یک ثبات نسبی از نظر شرایط اقلیمی بر اساس این شاخص وجود داشته است. این ثبات نسبی

۹. روش اقلیم‌نمای آمبرژه

روش اقلیم‌نمای آمبرژه نیز مانند سه روش پیشین نشان‌دهنده کاهش شاخص اقلیمی در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه است. این کاهش‌ها، که در برخی موارد چشمگیر هستند، بیانگر روند غالب خشکی اقلیمی و افزایش دما در دوره گذشته نزدیک (۱۹۹۶-۲۰۲۱) در مقایسه با گذشته دور (۱۹۷۲-۱۹۹۶) است. تغییر نوع اقلیم در ایستگاه‌هایی مانند تهران (فرودگاه مهرآباد)، شیراز و یزد از خشک سرد به بیابانی معتدل، نشان‌دهنده تشدید شرایط گرم و خشک در این مناطق است که می‌تواند ناشی از پیامدهای مستقیم افزایش دما و کاهش بارش باشد.

این شاخص فقط در سه ایستگاه ساحلی بوشهر، رامسر و بابلرس افزایش جزئی داشته است و تقریباً در سایر ایستگاه‌ها مقدار این شاخص کاهش یافته است. کاهش‌های قابل توجه این شاخص، در نقاط مختلف کشور از جمله بیرجند، سنج، کرمان و مناطق مرکزی و جنوبی نیز تأییدکننده روند کلی خشکی اقلیم در ایران است. علاوه بر این، تقریباً در همه ایستگاه‌ها (به جز زابل) مقدار میانگین حداقل‌های دما در سردترین ماه سال در گذشته نزدیک نسبت به گذشته دور افزایش یافته است که این موضوع هم نشان‌دهنده افزایش دمای حداقل در سردترین ماه سال تقریباً در تمامی پهنه ایران است.

با توجه به نتایج حاصل از چهار روش معتبر تعیین اقلیم شامل دومارتن، ایوانف، سلیمانوف و آمبرژه، روند کلی تغییرات اقلیمی در پهنه ایران طی نیم قرن گذشته به وضوح نشان‌دهنده افزایش قابل توجه دما و کاهش قابل توجه بارش است. این تغییرات می‌تواند منجر به گسترش مناطق خشک و نیمه‌خشک در اغلب مناطق کشور و تشدید شرایط خشکی و کاهش روان‌آب در کشور شود. یافته‌های حاضر با نتایج مطالعات پیشین داخلی و بین‌المللی همخوانی دارد. برای نمونه، سالاری و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی شاخص‌های اقلیمی کشور، افزایش دما و کاهش بارندگی را به‌ویژه در نیمه غربی کشور گزارش کرده‌اند. همچنین، آفاکوچک و همکاران (Aghakouchak et al., 2015) کاهش بارندگی

نزدیک به ۰/۰۶ کاهش یافته است. طبیعی است که مقدار این شاخص هیچگاه نمی‌تواند از صفر کمتر شود و در نتیجه کاهش ۰/۰۲ این شاخص در این شهر، می‌تواند ناشی از بسیار خشک‌تر شدن شرایط اقلیمی باشد.

به طور کلی، نتایج روش ایوانف، نشان می‌دهد که در همه مناطق آب و هوایی ایران، شرایط اقلیمی به سمت اقلیم‌های گرم‌تر و خشک‌تر در مقایسه با شرایط قبلی اقلیمی آن مناطق در حال وقوع است.

۸. روش سلیمانوف

پس از تعیین مقادیر شاخص اقلیمی سلیمانوف (معادله ۷) در دو دوره گذشته دور (۱۹۹۶-۱۹۷۲) و گذشته نزدیک (۱۹۹۶-۲۰۲۱)، وضعیت اقلیمی در محدوده هر یک از ایستگاه‌ها و در هر یک از دو دوره بر اساس این شاخص هم تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر شاخص سلیمانوف، در دوره‌های ذکر شده و در ایستگاه‌های مورد مطالعه (جدول ۴)، همانند دو روش قبلی (دومارتن و ایوانف)، تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها مقادیر این شاخص در دوره گذشته نزدیک در مقایسه با گذشته دور کاهش یافته‌اند. این موضوع نشان‌دهنده تشدید کاهش بارندگی و یا افزایش دما است. کاهش قابل توجه شاخص در ایستگاه‌هایی مانند سنج، مشهد، کرمانشاه، ارومیه، گرگان، بابلرس، بندر انزلی و رامسر هم تأییدکننده افزایش خشکی در گستره وسیعی از مناطق ایران است.

مقدار این شاخص تنها در ۳ ایستگاه اصفهان، بم و زابل بدون تغییر باقی مانده است. یکی از دلایل آن می‌تواند به ناچیز بودن مقادیر این شاخص در شهرهای بم و زابل (فقط ۰/۰۲) مربوط باشد. به عبارت دیگر، با توجه به اینکه حداقل مقدار این شاخص می‌تواند صفر باشد و مقادیر این شاخص در این دو شهر نزدیک به صفر می‌باشد، در نتیجه امکان کاهش این شاخص در این دو شهر چندان میسر نمی‌باشد. تغییر اقلیم در ایستگاه رشت که از اقلیم استپ معمولی به استپ خشک تغییر یافته‌است، نمونه‌ای دیگر از تغییر اقلیم است.

و اثرات آن بر خشکی دریاچه ارومیه و بحران آب را به عنوان پیامد مستقیم تغییرات اقلیمی در شمال غرب ایران گزارش داده‌اند.

در مناطق شمالی مانند رشت و گرگان نیز کاهش بارش و تغییر الگوهای بارندگی فصلی گزارش شده است که با یافته‌های مهدوی و همکاران (Mahdavi et al., 2021) همخوانی دارد. آن‌ها تأکید دارند که تغییر اقلیم منجر به نوسانات شدیدتر بارش و کاهش میانگین بارندگی سالانه در حوضه‌های شمالی ایران شده است. در مناطق شرقی نظیر مشهد و زاهدان نیز مطالعه بیات ورکشی و همکاران (Bayatavrkeshi et al., 2023) حاکی از افزایش روند خشکسالی و کاهش رطوبت خاک طی دهه‌های اخیر است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

همچنین پژوهش‌های میان‌آبادی و داوری (۱۴۰۲) و آریاصدر و همکاران (۱۴۰۳) نشان داده‌اند که تغییرات اقلیمی در ایران تأثیر قابل توجهی بر منابع آب زیرزمینی داشته و موجب کاهش سطح و کیفیت آن‌ها شده است. این یافته‌ها با بررسی‌های باعزم و همکاران (۱۳۹۵) نیز سازگاری دارد و حاکی از ضرورت اتخاذ سیاست‌های سازگار با تغییر اقلیم برای مدیریت منابع آبی است. این همخوانی نتایج، اعتبار روش‌های به کار گرفته شده در این مطالعه را تقویت کرده و بر ضرورت برنامه‌ریزی‌های جامع برای کاهش آسیب‌پذیری اقلیمی در کشور تأکید می‌کند.

به طور کلی تحلیل داده‌های اقلیمی ۳۶ ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از چهار روش معتبر تعیین اقلیم (دومارتن، ایوانف، سلیمانوف و آمبرژه) در دو بازه زمانی گذشته دور (۱۹۹۶-۱۹۷۲) و گذشته نزدیک (۲۰۲۱-۱۹۹۷) نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه و گسترده در الگوهای اقلیمی کشور است. روند کلی داده‌ها، گویای افزایش دما و کاهش بارش در بیشتر مناطق کشور است که باعث شده اقلیم اغلب ایستگاه‌ها از مرطوب یا نیمه‌خشک به سمت خشک و بیابانی تغییر یابد. نتایج حاصل از چهار روش تعیین اقلیم، نشان می‌دهد که در اغلب مناطق ایران، شاخص‌های اقلیمی به طور قابل توجهی تغییر پیدا کرده‌اند؛ این تغییرها عمدتاً ناشی از

افزایش دما و کاهش بارش بوده که بیانگر گرایش اقلیم مناطق به سمت شرایط گرم‌تر و خشک‌تر شدن است. این تغییرات نه تنها بازتاب‌دهنده افزایش دما و کاهش بارش در بازه ۲۵ سال گذشته است، بلکه نشان‌دهنده وقوع شکست‌ها و تغییرات ناگهانی در برخی مناطق نیز می‌باشد که اهمیت پایش مستمر و دقیق‌تر را دوچندان می‌کند. این تغییرات اقلیمی پیامدهای مهمی بر شرایط محیط زیست کشور، منابع آب کشور و تولیدات کشاورزی خواهند داشت.

۱۰. نتیجه‌گیری

بررسی داده‌های اقلیمی ایران با بهره‌گیری از چهار روش معتبر تغییر اقلیم شامل: دومارتن، ایوانف، سلیمانوف و آمبرژه در بازه‌های زمانی ۱۹۹۶-۱۹۷۲ (گذشته دور) و ۲۰۲۱-۱۹۹۷ (گذشته نزدیک)، نشان‌دهنده روندی نگران‌کننده از افزایش خشکی و تغییر شرایط اقلیمی به سوی شرایط گرم‌تر و خشک‌تر شدن در بخش‌های وسیعی از کشور است. شاخص‌های اقلیمی در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه، به ویژه در تربت حیدریه، سنندج، گرگان، مشهد و فسا، به گونه‌ای تغییر یافته‌اند که حاکی از تغییر شرایط اقلیمی از شرایط مرطوب یا نیمه‌خشک به سمت شرایط اقلیمی خشک و یا بیابانی است. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که بر اساس روش دومارتن، در برخی ایستگاه‌ها نظیر تربت حیدریه، سنندج، گرگان، مشهد و فسا تغییر اقلیم اتفاق افتاده است؛ در حالی که بر اساس روش ایوانف، دامنه بیشتری از تغییر در ایستگاه‌هایی چون آبادان، بندرعباس، بیرجند، تربت حیدریه، خوی، سبزوار، سنندج، شهرکرد، کرمانشاه، مشهد و زاهدان دیده شده است. در روش آمبرژه نیز شهرهایی چون تهران، شیراز و یزد به اقلیم بیابانی معتدل نزدیک شده‌اند. کاهش شدید مقادیر شاخص‌های اقلیمی در ایستگاه‌هایی مانند تربت حیدریه، مشهد، گرگان، سنندج و فسا که در چندین روش اقلیمی شناسایی شده‌اند، گویای شدت تغییرات اقلیمی در این نواحی است. هرچند برخی از ایستگاه‌های مناطق مرطوب مانند بابل، رامسر و بندر انزلی همچنان ویژگی‌های اقلیم مناطق مرطوب را حفظ کرده‌اند، اما مقادیر شاخص‌های

تغییرات اقلیمی موثر می‌باشند، این موضوع لازم است در پژوهش‌های آتی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

1. Sadr, A., Rahimi, D., Amiri, H., & Zand, M. (2024). The effect of climate change on groundwater resources in the Cham Anjir watershed. *Spatial Planning*, 14(4), 53–80. <https://doi.org/10.22108/sppl.2024.141550>. 1790 (In Persian)
2. Omidvar, K., Taei, N., & Mohammadi Ravari, F. (2025). Detection of temporal-spatial changes in autumn precipitation in Iran based on long-term statistics and nonparametric tests. *Nivar*, 49(128–129), 1–18. <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.471556>. 1301 (In Persian)
3. Baazem, Z., Nasirian, A., Shafiei, Sh., & Behrouzian, M. (2016). Investigation of climate change effects on groundwater resources in Iran. In 4th National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture, and Urban Management (Tehran). <https://civilica.com/doc/612037> (In Persian)
4. Doostan, R. (2019). An analysis of precipitation changes in Iran. In 6th Regional Conference on Climate Change (Tehran). <https://civilica.com/doc/1002836> [In Persian]
5. Ministry of Energy & Plan and Budget Organization of Iran. (2024). Design guidelines for urban and rural water transfer and distribution systems, Code No. 117, 2nd revision (2024/03/19). Tehran: Ministry of Energy. (In Persian)
6. Raeisi Nafchi, A., & Soltani Mohammadi, A. (2016). Analysis of temporal changes in rainfall and mean, minimum, and maximum temperature (Case study: Shahrekord station). *Nivar*, 40(94–95), 69–80. <https://doi.org/10.30467/nivar.2016.42661> (In Persian)
7. Roumi, F. (2022). Climate change and its implications for Iran's national security. *Political and International Approaches*, 14(1), 203–228. (In Persian)
8. Salari, A., Tavakkol Sadr Abadi, M., Zarei, A., & Bahrami, M. (2015). Evaluation of climatic indices and overall trends of climate change: A case study of Shiraz synoptic

اقلیمی آن‌ها نیز مقداری کاهش یافته است. به طور کلی، نتایج همه روش‌های تعیین اقلیم نشان می‌دهند که مقادیر شاخص‌های اقلیمی در حال کاهش هستند و اقلیم اکثر مناطق کشور از وضعیت قبلی خود به وضعیتی گرم‌تر و خشک‌تر در حال تبدیل شدن است. به عبارت دیگر در ۲۵ سال اخیر تمامی مناطق کشور با افزایش دما و یا کاهش بارش و در نتیجه تغییر شرایط اقلیمی مواجه بوده است. این روند نه تنها بیانگر خشکی بیشتر در اکثر مناطق کشور است، بلکه ضرورت برنامه‌ریزی‌های دقیق و اقدامات لازم به منظور مدیریت اثرات منفی تغییر اقلیم و همچنین سازگاری با تغییر اقلیم را برجسته می‌سازد. بر مبنای آشکارسازی تغییرات اقلیمی و یافته‌های این پژوهش، پیشنهادهای زیر به منظور مدیریت تغییرات اقلیمی و سازگاری با شرایط پیش‌رو در پهنه کشور که لازم است مورد توجه برنامه‌ریزان و دست‌اندرکاران قرار گیرد، مطرح می‌شوند.

با توجه به کاهش مقادیر شاخص‌های اقلیمی و نیز جابجایی طبقه اقلیمی اکثر ایستگاه‌ها به سمت گرم‌تر و خشک‌تر شدن، لازم است در جهت تدوین سیاست‌های ملی، ضمن آگاه‌سازی‌های مدیریتی و عمومی، با ارائه برنامه‌های کاهش اثرات و آمادگی در سطوح مختلف، ظرفیت سازگاری با تغییر اقلیم را در سطح کشور بهبود بخشید.

تدوین برنامه‌ها با هدف مدیریت ریسک تغییرات اقلیمی بسیار مهم می‌باشد. زیرا با توجه به نتایج بدست آمده زیرا بر اساس نتایج بدست آمده اقلیم بسیاری از ایستگاه‌ها از جمله شهرهایی نظیر تربت حیدریه، مشهد، گرگان و سمنان با کاهش شدید بارندگی و افزایش دما و تغییر نوع اقلیم مواجه هستند. بنا بر این، لازم است با آینده‌نگری در سیاست‌های مدیریت منابع آب و الگوهای کشت بازننگری اساسی صورت گیرد.

تمرکز پژوهش حاضر بر بررسی تغییرات اقلیم بر مبنای روش‌های تعیین اقلیم بوده است. از آنجا که عوامل انسانی و گسترش پهنه‌های شهری کشور به لحاظ سکونت‌گاهی و جمعیتی بر تغییر کاربری اراضی، تشدید عوامل دمایی و سایر متغیرهای هواشناسی و نیز افزایش بهره‌برداری از منابع آب بر

17. AghaKouchak, A., Norouzi, H., Madani, K., Mirchi, A., Azarderakhsh, M., Nazemi, A., ... & Hasanzadeh, E. (2015). Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: call for action. *Journal of Great Lakes Research*, 41(1), 307-311.
18. Allahverdipour, P., Ghorbani, M. A., & Asadi, E. (2024). Evaluating the effects of climate change on the climatic classification in Iran. *Water and Soil Management and Modelling*, 4(3), 95-112.
19. Bahmani, S., Salimi, H., & Sanikhani, H. (2021). Spatiotemporal analysis of aridity indices by using the nonparametric methods (case study: Sirvan river basin, Kurdistan Province, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-13.
20. Bayatavrkeshi, M., Imteaz, M. A., Kisi, O., Farahani, M., Ghabaei, M., Al-Janabi, A. M. S., ... & Yaseen, Z. M. (2023). Drought trends projection under future climate change scenarios for Iran region. *Plos one*, 18(11), e0290698.
21. Chernykh, D., Rakhymbek, K., Biryukov, R., Bondarovich, A., Lubenets, L., & Baiburin, Y. (2025). The Calculation and Mapping of the Moisture Indices of the East Kazakhstan Region for the Preventive Assessment of the Climate-Hydrological Background. *Climate*, 13(7), 142.
22. De Martonne, E. (1926). *Les Alpes: Géographie générale*. Paris: Armand Colin.
23. Elsaidy, A., Yimer, E. A., Mogheir, Y., Huysmans, M., Villani, L., & van Griensven, A. (2025). Groundwater drought and anthropogenic amplifiers: A review of assessment and response strategies in arid and semi-arid areas. *Science of The Total Environment*, 179406. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179406>
24. Fathi, T. A., Shafizadeh, M. H., & Kouchakzadeh, M. (2022). Spatial-temporal analysis of Iran's climatic classification based on Domarten method and Mann-Kendall test in the statistical period of 1995-2019.
25. Ghazi, B., Salehi, H., Cheshami, M., Zeydalinejad, N., & Linh, N. T. T. (2025). Projection of climate change impact on main climate variables and assessment of the future of Köppen-Geiger climate classification in Iran. *Acta Geophysica*, 73(2), 2017-2027.
- station. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 6(2), 138-150. (In Persian)
9. Soltani Eidghameshi, A., & Shahandeh, R. (2024). Long-term assessment of temperature and precipitation changes in 22 Iranian cities over six decades (1958-2017). <https://civilica.com/doc/2268019> (In Persian)
10. Sadeghi, H., Mohammadi, H., Shamsipour, A. A., & Karimi, M. (2023). Climatic zoning of the southern coastal strip of the Caspian Sea using multivariate statistical methods. *Geography and Environmental Planning*, 34(2), 55-74. <https://doi.org/10.22108/gep.2022.127922.1409> (In Persian)
11. Alizadeh Choobari, O., & Najafi, M. S. (2017). Trends of air temperature and precipitation changes in different regions of Iran. *Journal of Earth and Space Physics*, 43(3), 569-584. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2017.60300> (In Persian)
12. Farkhzadeh, B., Choobe, S., & Imani, R. (2025). Assessment of the impact of climate change on drought characteristics and trivariate return period risk in western Iran. *Ecology Journal*, 12(1), 635-656. (In Persian)
13. Ghochanian, M., Ansari, H., & Mosaedi, A. (2024). Analysis of climatic trends in Neyshabur plain based on temperature and precipitation extremes indices (1992-2021). *Nivar*, 48(124-125), 163-186. <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.446447.1284> (In Persian)
14. Mianabadi, A., & Davari, K. (2023). Investigation of changes in precipitation and temperature amounts and distributions in Iran and their effects on extreme events. *Journal of Water and Sustainable Development*, 10(2), 13-26. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i2.2301-1203> (In Persian)
15. Nazari Tehrudi, M., Ahmadi, F., & Khalili, K. (2017). Investigation of rainfall trend and trend change time in Lake Urmia watershed. <https://civilica.com/doc/721995> (In Persian)
16. Abtew, W., & Melesse, A. (2012). *Evaporation and evapotranspiration: measurements and estimations*. Springer Science & Business Media.

- report of the intergovernmental panel on climate change, 2(1), 2391.
34. Minaei, M., & Irannezhad, M. (2018). Spatio-temporal trend analysis of precipitation, temperature, and river discharge in the northeast of Iran in recent decades. *Theoretical and applied climatology*, 131, 167-179.
 35. Mustafayev, Z., Medeu, A., Skorintseva, I., Bassova, T., & Aldazhanova, G. (2024). Improvement of the methodology for the assessment of the agro-resource potential of agricultural landscapes. *Sustainability*, 16(1), 419.
 36. Naderi, M., Saatsaz, M., & Behrouj Peely, A. (2024). Extreme climate events under global warming in Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 69(3), 337-364.
 37. NCCO (National Center for Climate Observations). (2024). *Annual Climate Report for Iran*. Tehran: NCCO Publications.
 38. Rouzkhosh, M., Jaafarzadeh Haghighifard, N., Varshosaz, K., Orak, N., & Dashti, S. (2022). Changes in Climate Indices (Ivanov, Barat, and Emberger) Due to Greenhouse Gas Emissions From Gas Flares In Ahvaz Oil Field (2008-2018). *Archives of Hygiene Sciences*, 11(2), 163-174.
 39. UNEP (United Nations Environment Programme). (2023). *Global Environmental Outlook*.
 40. WMO (World Meteorological Organization). (2023). *State of the Global Climate 2022*. Geneva: WMO.
 41. Zhou, S., Yu, B., & Zhang, Y. (2023). Global concurrent climate extremes exacerbated by anthropogenic climate change. *Science Advances*, 9(10), eabo1638.
 26. Gu, L., Chen, J., Yin, J., Slater, L. J., Wang, H. M., Guo, Q., ... & Zhao, T. (2022). Global increases in compound flood-hot extreme hazards under climate warming. *Geophysical Research Letters*, 49(8), e2022GL097726.
 27. Gudko, V., Usatov, A., Minkina, T., Azarin, K., Tarigholizadeh, S., Sushkova, S., & Kravchenko, E. (2024). Spatiotemporal shifts in humidification zones: assessing climate impact on bioclimatic landscapes. *International Journal of Biometeorology*, 68(12), 2565-2578.
 28. IPCC. (2023). *Sixth Assessment Report (AR6)*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/>
 29. Ivanov, N. N. (1954). *Transpiration and Water Regime of Plants*. Moscow: Academy of Sciences of the USSR.
 30. Jahangir, M. H., & Danehkar, S. (2022). A comparative drought assessment in Gilan, Iran using Pálfai drought index, de Martonne aridity index, and Pinna combinative index. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(1), 90.
 31. Karimi, V., Karami, E., & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 1-15.
 32. Mahdavi, P., Kharazi, H. G., Eslami, H., Zohrabi, N., & Razaz, M. (2021). Drought occurrence under future climate change scenarios in the Zard River basin, Iran. *Water Supply*, 21(2), 899-917.
 33. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). *Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment*