

## Reviewing the Latest Climate State and Its Changes on Global and National Scales

Tajbakhsh Mosalman, S.<sup>1</sup> 

1. Faculty member of the Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences.

**Corresponding Author E-mail:** [sahartajbakhsh@gmail.com](mailto:sahartajbakhsh@gmail.com)

(Received: 10 Jun 2025, Revised: 13 Aug 2025, Accepted: 17 Aug 2025, Published online: 17 Aug 2025)

### Abstract

This article examines the latest climate situation in the world and Iran, and introduces anomalies related to the most important weather and climate indicators.

Global climate information has been collected using real-time data and reanalysis data based on the World Meteorological Organization report. For Iran, data measured at more than 1,000 stations across the country have been utilized. For areas where there is a lack of data, well-known interpolation methods have been used.

Some of the most important results obtained in the studies conducted show that the year 2024 was the warmest year in the past 175 years, and the average temperature at a height of two meters above the ground in this year was 1.55 degrees Celsius  $\pm$  0.13 degrees Celsius higher than the average temperature of 1850-1900 (the pre-industrial period). In 2024, unusual rainfall was evident in Asia and the Middle East, and severe droughts in South America. Ocean warming has reached its highest level in 65 years of observational record, and the rate of global average sea level rise in the past 10 years (2015-2024) was more than double the rate of sea level rise in the first decade of satellite data (1993-2002).

Temperature change in Iran in 2024 also had an increasing trend. Studies show that the average temperature at a height of two meters above the ground this year is 1.55 degrees Celsius  $\pm$  0.13 degrees Celsius higher than the 30-year long-term average. Meanwhile, the country's precipitation, despite significant decreases in winter and autumn, reached normal values due to compensation in the spring.

It is noteworthy that the changes in temperature and precipitation in Iran over the past 50 years, compared to the long-term averages of 30 years (1370-1400), show an increasing trend at a rate of approximately 0.4 degrees Celsius and a decreasing trend at a rate of 0.8 millimeters per year, respectively. In 2024, unusual and torrential rainfall occurred abundantly in the country, the most important examples of which are the flooding rainfall in the provinces of Sistan and Baluchestan and Khorasan Razavi.

The trend of increasing temperatures and climate change in the world is evident, which has led to an increase in the frequency of extreme events that cause great economic and social damage. In addition to the increase in temperature, the decrease in precipitation and the frequency of droughts are significant in Iran. Adopting measures related to adaptation to climate change in the country is obvious and should be implemented as soon as possible in all areas of activity, especially agriculture, water resources management, industry, and construction.

**Keywords:** Climate change, extreme weather, World Meteorological Organization, Intergovernmental Panel on Climate Change and Greenhouse Gases

**Cite this article:** Tajbakhsh, S. (2025). Examining the Latest State the Climate and Its Changes on a Global and National Scale. Journal of the Nivar, 49(128-129), 173-194. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2025.529698.1340>

## بررسی آخرین وضعیت اقلیم و تغییرات آن در مقیاس جهانی و ملی

سحر تاج بخش مسلمان<sup>۱</sup> ✉

۱. عضو هیات علمی پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو.

رایانامه نویسنده مسئول: [sahartajbakhsh@gmail.com](mailto:sahartajbakhsh@gmail.com)

(دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۲، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۶، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۵/۲۶)

### چکیده

در این مقاله به بررسی آخرین وضعیت اقلیم جهان و ایران پرداخته شده است و ناهنجاری‌های مرتبط با مهمترین شاخص‌های وضع هوا و اقلیم معرفی شده‌اند. اطلاعات اقلیمی در سطح جهانی با استفاده از داده‌های زمان واقعی و داده‌های باز تحلیل بر اساس گزارش سازمان جهانی هواشناسی جمع‌آوری شده است. برای ایران نیز از داده‌های اندازه‌گیری شده در بیش از ۱۰۰۰ ایستگاه در سراسر کشور بهره‌برداری شده است. برای مناطقی که کمبود داده وجود دارد از روش‌های درون‌یابی شناخته شده استفاده شده است. برخی از مهمترین نتایج بدست آمده در بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که سال ۲۰۲۴ گرم‌ترین سال در ۱۷۵ سال گذشته است و میانگین دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین در این سال معادل ۱.۵۵ درجه سلسیوس  $\pm 0.13$  درجه سلسیوس بالاتر از میانگین دمای ۱۸۵۰-۱۹۰۰ (دوره پیش از صنعتی شدن) بود. در سال ۲۰۲۴، بارش‌های نامتعارف در آسیا و خاورمیانه و خشکسالی‌های شدید در آمریکای جنوبی مشهود بود. میزان گرمای اقیانوس‌ها به بالاترین سطح خود در رکورد مشاهداتی ۶۵ ساله رسید و آهنگ افزایش میانگین سطح آب دریاها در ۱۰ سال گذشته (۲۰۱۵-۲۰۲۴) بیش از دو برابر نرخ افزایش سطح آب دریاها در دهه اول داده‌های ماهواره‌ای (۱۹۹۳-۲۰۰۲) بود.

تغییر دما در سال ۲۰۲۴ در ایران نیز روند افزایشی داشت. بررسی‌ها نشان می‌دهند میانگین دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین در این سال معادل ۱.۵۵ درجه سلسیوس  $\pm 0.13$  درجه سلسیوس بالاتر از میانگین بلند مدت ۳۰ ساله است. در همین حال بارش کشور، علیرغم کاهش‌های قابل توجه در زمستان و پاییز، به علت جبران آن در فصل بهار، به مقادیر نرمال رسید. شایان توجه است که تغییرات دما و بارش ایران طی ۵۰ سال گذشته کشور، نسبت به میانگین‌های بلند مدت ۳۰ ساله (۱۳۷۰-۱۴۰۰) به ترتیب روند افزایشی با آهنگ تقریبی ۰.۴ درجه سلسیوس و کاهش با آهنگ ۰.۸ میلیمتر در سال را نشان می‌دهند. در سال ۲۰۲۴ بارش‌های نامتعارف و سیل آسا در کشور به وفور رخ داد که مهمترین نمونه آنها بارندگی‌های سیلابی استانهای سیستان و بلوچستان و خراسان رضوی می‌باشند.

روند افزایش دما و تغییرات اقلیم در جهان مشهود است که موجب افزایش فراوانی رخداد پدیده‌های حدی شده است که خسارهای اقتصادی-اجتماعی زیادی به دنبال دارد. در ایران علاوه بر افزایش دما، کاهش بارش و تعدد وقوع خشکسالی‌ها قابل توجه است. اتخاذ تدابیر مرتبط با سازگاری با تغییر اقلیم در کشور بدیهی است و باید هرچه سریع‌تر در تمامی حوزه‌های فعالیت به ویژه کشاورزی، مدیریت منابع آب، صنعت و ساخت و ساز عملیاتی گردد.

**کلیدواژه‌ها:** تغییر اقلیم، وضع هوای فرین، سازمان جهانی هواشناسی، هیات بین دولتی تغییر اقلیم و گازهای گلخانه‌ای

## ۱. مقدمه

برای شاخص‌های بارش سنگین، رویدادهای موج گرمایی ۵۰ ساله و خشکسالی‌های کشاورزی و آبشناسی نیز تعریف شده است. در کنار این پدیده، وقوع واداشت‌های بزرگ مقیاس مانند النینو و لائینا می‌تواند تغییر دما و بارش را در سراسر جهان به شکل قابل توجهی تحت تاثیر قرار دهد. لذا نقش دورپیوندها در این رابطه نیز بسیار از اهمیت ویژه ای برخوردار است که در این مقاله به آن تا حدی پرداخته خواهد شد.

طی سالهای اخیر غلظت گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته است به گونه ای که در سال ۲۰۲۳، غلظت دی اکسید کربن، همچنین متان و اکسید نیتروژن در جو به بالاترین سطح در ۸۰۰ هزار سال گذشته رسیده است و داده‌های زمان واقعی از برخی مکان‌های خاص نشان می‌دهد که افزایش سطوح این سه گاز اصلی گلخانه ای در سال ۲۰۲۴ ادامه داشته است. محتوای گرمای اقیانوس‌ها و سطح دریا به بالاترین حد مشاهده شده رسیده است و سرعت افزایش آن شتاب می‌گیرد. وسعت یخهای دریای قطب جنوب به کمترین حد مشاهده شده خود رسیده است (۲). یخچال‌های طبیعی کلیدی به‌طور بی‌سابقه‌ای بی‌سابقه‌ای کاهش یافته اند.

بحران آب و هوا بزرگترین چالشی است که بشریت با آن روبرو است. گرمای شدید، سیل، خشکسالی، آتش‌سوزی جنگل و طوفان‌های حاره‌ای شدید در تمامی قاره‌ها، ویرانی به‌بار آورد و باعث خسارات اقتصادی و اجتماعی هنگفتی شد. پیامدها به ویژه برای جمعیت‌های آسیب‌پذیر که متحمل تأثیرات نامتناسبی هستند، ویرانگر بود. شرایط آب و هوایی مخاطره آمیز شدید، نیازهای مرتبط با کمک‌های بشردوستانه را تشدید کرد و میلیون‌ها نفر را با ناامنی غذایی حاد روبرو و صدها هزار نفر از خانه‌هایشان آواره شدند.

سازمان‌های هواشناسی و آب و هواشناسی با پایش بهینه جو و اقلیم در کنار افزایش همکاری با جامعه بین‌المللی برای مقابله با وسعت و بزرگی این چالش مشارکت نموده و با صدور هشدارهای زود هنگام در پی کاهش خسارات و نجات جان و مال جوامع از مخاطرات مرتبط با هوا و اقلیم اند. از سوی دیگر، برای مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم، گذار به انرژی‌های

تغییر اقلیم و پیامدهای آن از مهمترین چالش‌های امروز دنیا است. این پدیده ناشی از افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای است و می‌تواند بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی را تحت تاثیر قرار دهد. وضعیت اجتماعی-اقتصادی کشاورزان به ویژه در برابر تغییرات شدید آب و هوایی آسیب‌پذیر است و پیش‌بینی‌های آینده حاکی از افزایش قابل توجه دمای هوای محیط و الگوهای بارندگی شدید و غیرقابل پیش‌بینی است (۲۲). تغییر اقلیم پیامدهای متنوعی در حوزه‌های کاربردی متنوع دارد (۲۹) که قابل ارزیابی می‌باشند (۳۰). یکی از مهمترین پیامدهای تاثیرگذار تغییر اقلیم افزایش وقوع پدیده‌های فرین (حدی) است (۲۶) که می‌تواند بسیاری از حوزه‌های عملیاتی از جمله حمل و نقل، کشاورزی، مدیریت منابع آب، اقتصاد، بهداشت و غیره را تحت تاثیر قرار دهد و از مهمترین پدیده‌های آب و هوایی فرین می‌توان به امواج گرمایی، خشکسالی، سیلاب، وزش بادهای شدید، توفانهای گردوخاک، بارشهای شدید و سیلابی، برف سنگین و غیره اشاره نمود که در این مطالعه به این موضوع بیشتر پرداخته می‌شود.

فرانامه‌های گوناگون تغییر اقلیم که عمدتاً بر اساس میزان افزایش دمای جو، ناشی از تولید فزاینده گازهای گلخانه‌ای توسط بشر تعریف می‌شوند، تماماً بر افزایش رخداد مخاطرات فرین تاکید دارد. در گزارش ششم ارزیابی هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم برای فرانامه‌های مختلف افزایش دما، افزایش رخداد و شدت چند مخاطره جوی از جمله امواج گرمایی ۱۰ ساله، تعریف شده است. بر اساس این گزارش چنانچه دمای جو ۱.۵ درجه سلسیوس بالاتر از دوره پیش از انقلاب صنعتی باشد، فراوانی وقوع امواج گرمایی ۴.۱ برابر و میزان گرمای آن ۱.۹ درجه سلسیوس بیشتر خواهد شد. این شرایط برای افزایش ۲ درجه‌ای دما، به ترتیب موجب افزایش ۵.۶ برابری فراوانی وقوع و افزایش ۲.۶ درجه سلسیوس مقادیر دما می‌باشد. چنانچه دما به ۴ درجه بیشتر از دوره پیش از انقلاب صنعتی افزایش یابد، فراوانی رخداد ۹.۴ برابر و میزان دما ۵.۱ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد (۹). این بررسی

مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقیاس، همچنین، روند وضعیت خشکسالی کشور بر اساس شاخصهای یک ساله و ده ساله SPEI طی سالهای ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۳ ارائه خواهند شد که منبع تمامی داده‌ای مقیاس جهانی و ملی در ادامه آمده است.

بر اساس گزارش سازمان جهانی هواشناسی، منظور از غلظت CO<sub>2</sub> در جو تعادل بین منابع و چاه‌های CO<sub>2</sub> است. منابع انسانی CO<sub>2</sub> مربوط به سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تولید سیمان همراه با تغییرات کاربری زمین مانند جنگل‌زدایی است. چاه‌های CO<sub>2</sub> شامل جذب توسط پوشش گیاهی و اقیانوس است. بخشی از CO<sub>2</sub> که توسط فعالیت‌های انسانی منتشر می‌شود و در جو باقی می‌ماند، به عنوان بخش هوای شناخته می‌شود. سری زمانی داده‌های دی اکسید کربن از مجموعه داده‌های مرکز داده‌های گازه‌های گلخانه‌ای هواشناسی ژاپن و سازمان جهانی هواشناسی تهیه شده است (۱۱ و ۲۵).

داده‌های میانگین دما در ارتفاع دو متری از سطح زمین در مقیاس جهانی بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده دمای هوای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع حدود ۱.۵ تا ۲ متر و دمای سطح دریا که توسط کشتی‌ها و شناورهای اقیانوسی، تخمین زده می‌شود. داده‌ها از نظر کیفیت کنترل و برای تغییرات در نحوه اندازه‌گیری دما اصلاح می‌شوند. میانگین دمای جهانی همچنین با استفاده از داده‌های بازتحلیل نیز محاسبه شده‌اند. تخمین‌های مبتنی بر بازتحلیل، نمایانگر دمای هوا در سراسر خشکی و اقیانوس هستند. در نقشه ناهنجاری‌های دما برای سال ۲۰۲۴، از مقادیر میانه شش مجموعه داده استفاده شد که با شبکه مکانی مجموعه داده‌های NOAA, GlobalTemp و HadCRUT شبکه‌بندی مجدد شدند. لازم به ذکر است به منظور به حداقل رساندن تاثیر داده‌های پرت در سلول‌های شبکه، از متغیر میانه به جای میانگین استفاده شده است. به این ترتیب، شش سری داده استفاده شده در تهیه نقشه‌های مقیاس جهانی شامل ۴ سری داده‌های Berkeley Earth (۲۰)، GISTEMP v4 (۶)، HadCRUT.5.0.2.0 (۱۵)،

تجدیدپذیر یک ضرورت انکارناپذیر است و خدمات پشتیبانی سازمان‌های ملی آب و هواشناسی و اقلیم برای موفقیت در این تصمیم‌گیری کلان ضروری است. بهبود کیفی و کمی داده‌های هواشناسی با هدف پایش بهینه آب و هوا، تقویت پیش‌بینی‌ها و ایجاد ظرفیت برای خدمت به جامعه با دسترسی بهتر و بیشتر به اطلاعات هواشناسی و اقلیم و استفاده در کل زنجیره ارزش، امکان‌پذیرتر می‌سازد.

در این مقاله کوشش شده است که به بررسی آخرین وضعیت اقلیم در مقیاس جهانی و ملی بر اساس گزارش‌های سازمان جهانی هواشناسی و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور در مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی پرداخته شود. از این رو پس از ارائه این مقدمه، اطلاعات و داده‌های مورد استفاده و روش انجام کار معرفی می‌شود. پس بررسی نتایج حاصل از مطالعه وضع اقلیم در مقیاس‌های جهانی بر اساس مستندات سازمان جهانی هواشناسی (۲۶) و مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی سازمان هواشناسی کشور (۱۷) پرداخته می‌شود. نتایج این مطالعه و نتیجه‌گیری حاصل از این مطالعه ارائه می‌شود.

## ۲. داده و روش انجام کار

در این مطالعه سری زمانی غلظت دی‌اکسید کربن طی سالهای ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۳، محتوای گرمای آب اقیانوس‌ها طی سالهای ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۴ و میانگین تغییرات فصلی سطح آب اقیانوس‌ها در سالهای ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۴ در کنار الگوهای ناهنجاری دما و بارش و همچنین الگوی نقش محرک اقلیمی النینو-نوسان جنوبی در الگوی بارش سال ۲۰۲۴ در مناطق مختلف دنیا بر اساس گزارش سازمان جهانی هواشناسی و با استفاده از داده‌های معرفی شده در زیر برای مقیاس جهانی ارائه شده است. ناهنجاری‌های دما و بارش برای سالهای ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ نسبت به مقادیر بلند مدت ۳۰ ساله ۱۹۹۱-۲۰۲۰ تهیه شده‌اند.

در بررسی‌های مقیاس ملی نیز سری زمانی دما، بارش و تبخیر-تعرق کشور در ۵۰ سال اخیر (۱۳۵۴-۱۴۰۳) در مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی سازمان هواشناسی

الگوهای خشکسالی یکساله و ۱۰ سال شاخص SPEI استفاده شده است.

### ۳. بحث و بررسی

در این بخش به بررسی آخرین وضعیت اصلی ترین شاخص های اقلیمی در مقیاس جهانی و ملی پرداخته می شود. این مقاله برای بررسی مهمترین شاخص های مقیاس جهانی جهت شناسایی وضع اقلیم به متغیرهای دی اکسید کربن در جو، دما، بارش، محتوای گرمای اقیانوس، تراز آبها، میزان اسیدی شدن آب اقیانوسها، تعادل جرم یخچالها، افزایش مخاطرات فرین (حدی)، وسعت یخ-دریاها و در مقیاس ملی به شاخص های دما، بارش، تبخیر-تعرق، رخداد مخاطرات فرین و خشکسالی می پردازد.

### ۱.۳ مقیاس جهانی

#### ۱.۱.۳ دی اکسید کربن جو

میانگین سالانه جهانی کسر مولی دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) در جو (غلظت جوی) به بالاترین حد مشاهده شده جدید در سال ۲۰۲۳ رسید. که آخرین سال با ارقام سالانه جهانی تلفیقی در دسترس است (شکل ۱). با  $420.0 \pm 0.1$  قسمت در میلیون (ppm)، غلظت در سال ۲۰۲۳،  $2.3$  ppm بیشتر از سال ۲۰۲۲ و  $1.51\%$  از غلظت قبل از صنعتی شدن (در سال ۱۷۵۰) بود (۲۶). غلظت  $420$  ppm مربوط به  $3276$  GT دی اکسید کربن در جو است. بین ۱ ژانویه ۲۰۲۳ و ۳۱ دسامبر ۲۰۲۳، غلظت  $CO_2$  به میزان  $2.8$  ppm افزایش یافت که چهارمین تغییر بزرگ درون سالی از زمان شروع اندازه گیری های مدرن  $CO_2$  در دهه ۱۹۵۰ است. آهنگ رشد معمولاً در شرایط ال نینو به دلیل افزایش کلی انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از آتش سوزی و کاهش جذب خالص کربن زمینی بالاتر است. غلظت متان ( $CH_4$ ) و اکسید نیتروژن ( $N_2O$ )، دو گاز گلخانه ای کلیدی دیگر، نیز در سال ۲۰۲۳ به بالاترین سطح مشاهده شده رسید. غلظت  $CH_4$  به  $1934 \pm 2$  قسمت رسید. افزایش غلظت  $CO_2$  در جو که توسط انسان ایجاد شده است، بزرگترین عامل تغییرات اقلیمی است.  $CO_2$  حدود  $66\%$  از نیروی تابشی ناشی از تمام گازهای گلخانه ای با عمر

NOAA v6 (۷) و دو سری داده باز تحلیل ERA5 (۳) و JRA-3 (۱۱) می باشند.

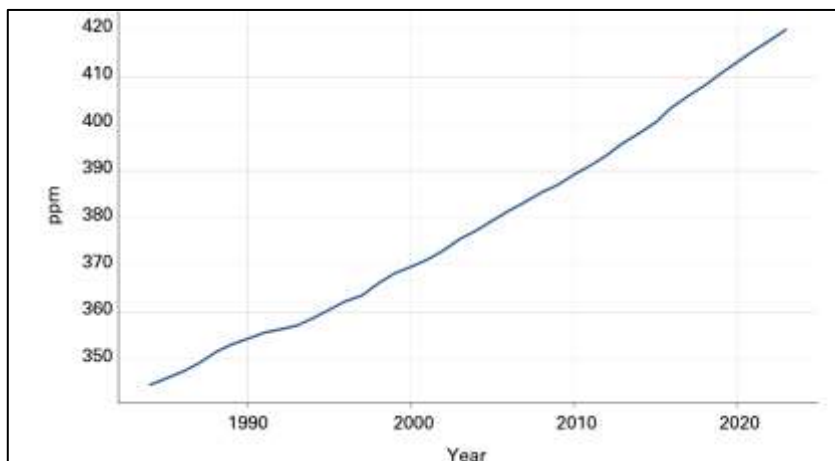
ادغام دمای اقیانوس از سطح تا اعماق اقیانوس - معمولاً تا عمق ۲۰۰۰ متر - معیاری از محتوای گرمای اقیانوس را ارائه می دهد (۱۲ و ۱۳). دمای اقیانوس بیش از یک قرن است که توسط کشتی های تحقیقاتی اندازه گیری می شود، اما مشاهدات برای تشکیل یک میانگین جهانی قبل از سال ۱۹۶۰ بسیار پراکنده هستند. اندازه گیری های اضافی با استفاده از دستگاه های پرتابی از کشتی ها از دهه ۱۹۷۰ انجام شده است. از حدود سال ۲۰۰۵، پوشش تقریباً جهانی تا عمق ۲۰۰۰ متر توسط شناورهای خودکار آرگو ارائه شده است. برای سری زمانی محتوای گرمای اقیانوس، از داده های مبنای ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۱ استفاده شده است که با پوشش تقریباً جهانی برای این دوره در دسترس است. آهنگ گرمایش بر حسب وات بر متر مربع به مساحت سطح اقیانوس اشاره دارد. تغییرات محتوای گرمای اقیانوس بر حسب زتاژول (ZJ) در سال ( $1w/m^2$ ) معادل  $11.35$  ZJ در سال است). ارزیابی این شاخص در سال ۲۰۲۴ بر اساس سه مجموعه داده ارائه شده در مقالات چن و همکاران (۱)، مانیر و همکاران (۱۳) و وان چاکمن و همکاران (۲۳) تهیه شده است. همچنین برای سری زمانی تراز آب دریاها داده های GMSL از مرجع CNES/Aviso+ که مرجع داده های ماهواره ای فرانسه می باشد، مورد استفاده قرار گرفته اند. لازم به ذکر است نقشه های نقش النیو بر بارش های سال ۲۰۲۴ بر اساس داده های موجود در منابع مقابل تهیه شده است (۵).

برای داده های بارش از مجموعه داده های مرکز جهانی اقلیم شناسی بارش با مدیریت مرکز هواشناسی آلمان و سازمان جهانی هواشناسی شامل داده های حدس اولیه ماهانه، محصول پایش (نسخه ۲۰۲۲)، داده های کامل ماهانه (نسخه ۲۰۲۲)، اقلیم شناسی بارش (نسخه ۲۰۲۲) استفاده شده است.

در مقیاس ملی نیز مشابه مقیاس جهانی هم از داده های واقعی اندازه گیری شده در ایستگاههای هواشناسی کشور (بیش از ۱۰۰۰ ایستگاه) و هم از داده های بازتحلیل ERA5 برای تهیه سریهای زمانی بارش، دما و تبخیر-تعرق و همچنین و

در طول دوره ۲۰۱۴-۲۰۲۳، ۴۸٪ از کل انتشارات ناشی از فعالیت‌های انسانی در جو باقی مانده و باعث افزایش غلظت جوی شده است. میزان تخمینی جذب در اقیانوس ۲۶٪ از انتشار و میزان تخمینی جذب در خشکی ۳۰٪ بوده است (۴).

طولانی از سال ۱۷۵۰ و حدود ۷۹٪ از افزایش در دهه گذشته را تشکیل (۱۴). غلظت‌های فعلی CO<sub>2</sub> در جو، بالاتر از هر زمان دیگری در حداقل ۲ میلیون سال گذشته است (۸). غلظت‌های CH<sub>4</sub> و N<sub>2</sub>O بالاتر از هر زمان دیگری در حداقل ۸۰۰۰۰۰ سال گذشته است.



شکل ۱ میانگین سالانه کسر مولی دی اکسید کربن اتمسفری در سطح جهانی از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۳ بر حسب (ppm) (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).

رسید. با وجود شرایط ال نینو در آغاز سال، آب‌های خنک‌تر از میانگین در امتداد سواحل غربی آمریکای جنوبی مشاهده شد.

شدیدترین ناهنجاری‌ها در شامل کانادا طی هر دو سال می‌باشد. نیمکره شمالی به مراتب متاثرتر از نیمه جنوبی در ناهنجاری‌های مثبت است و کشور ایران در هر دو سال در ناهنجاری مثبت ۱ تا ۳ درجه سلسیوس قرار دارد. در سال ۲۰۲۴، بیشتر مناطق قاره‌ای گرم‌تر از میانگین بلندمدت (۱۹۹۱-۲۰۲۰) بودند. تنها در مناطق محدودی اطراف ایسلند، بخش‌هایی از قطب جنوب و جنوبی‌ترین نقطه آمریکای جنوبی دمای پایین‌تر از میانگین داشتند. میانگین دمای سالانه بی‌سابقه یا نزدیک به بی‌سابقه در مناطق وسیعی از مناطق گرمسیری از آمریکای جنوبی و مرکزی در شرق تا غرب اقیانوس آرام مشاهده شد. سایر مناطق خشکی خارج از مناطق گرمسیری از جمله شرق آمریکای شمالی، شمال آفریقا و اروپا، و جنوب و شرق آسیا نیز دمای سالانه فوق‌العاده بالایی را تجربه کردند.

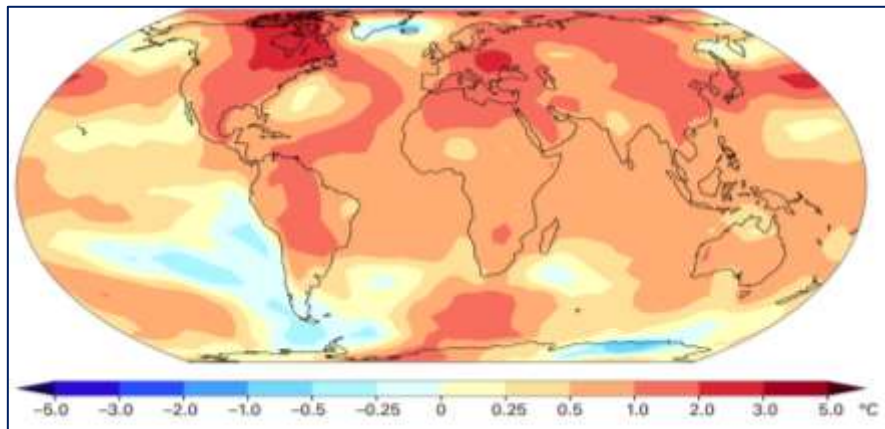
دمای سطح دریا در مناطق گرمسیری و شمالی اقیانوس اطلس، اقیانوس هند گرمسیری، بخش‌هایی از غرب اقیانوس آرام و بخش‌هایی از اقیانوس جنوبگان به بالاترین حد خود رسیدند. به صورت جداگانه گرم‌ترین سال‌های ثبت شده تا ۲۰۲۴، به صورت جداگانه گرم‌ترین سال‌های ثبت شده بوده‌اند.

### ۲.۱.۳ الگوهای جهانی دما و بارش

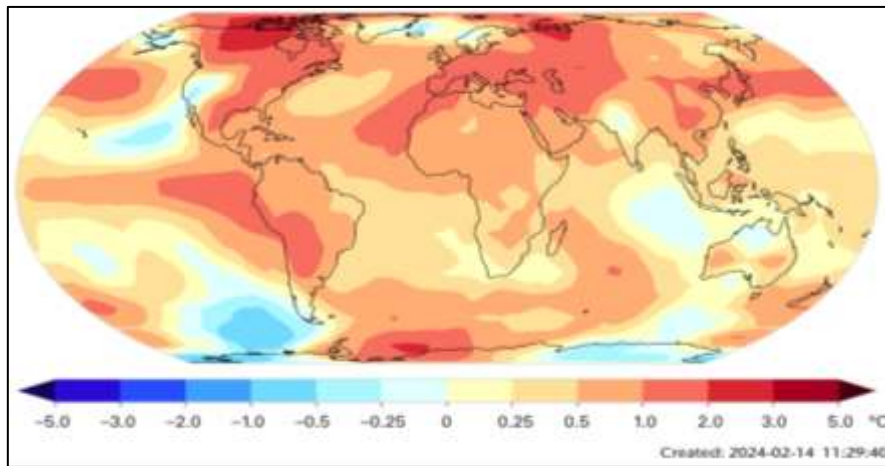
#### الف) ناهنجاری‌های دما

توزیع ناهنجاری دما طی سالهای ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ نسبت به میانگین بلندمدت ۱۹۹۱-۲۰۲۰ به شرح شکل‌های ۲ و ۳ می‌باشد. همان‌گونه که در این شکل‌ها دیده می‌شود بیشتر مناطق خشکی در سال ۲۰۲۴ گرم‌تر از میانگین بلندمدت (۱۹۹۱-۲۰۲۰) بودند، و مناطق محدودی در اطراف ایسلند، بخش‌هایی از قطب جنوب و جنوبی‌ترین نقطه آمریکای جنوبی دمای پایین‌تر از میانگین داشتند. میانگین دمای سالانه بی‌سابقه یا نزدیک به بی‌سابقه در مناطق وسیعی از مناطق گرمسیری از آمریکای جنوبی و مرکزی در شرق تا غرب اقیانوس آرام مشاهده شد. سایر مناطق خشکی خارج از مناطق گرمسیری از جمله شرق آمریکای شمالی، شمال آفریقا و اروپا، و جنوب و شرق آسیا نیز دمای سالانه فوق‌العاده بالایی را تجربه کردند.

دمای سطح دریا در مناطق گرمسیری و شمالی اقیانوس اطلس، اقیانوس هند گرمسیری، بخش‌هایی از غرب اقیانوس آرام و بخش‌هایی از اقیانوس جنوبگان به بالاترین حد خود رسیدند.



شکل ۲ ناهنجاری دمای میانگین سطح زمین در سال ۲۰۲۴ نسبت به میانگین بلند مدت ۱۹۹۱-۲۰۲۰ (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).



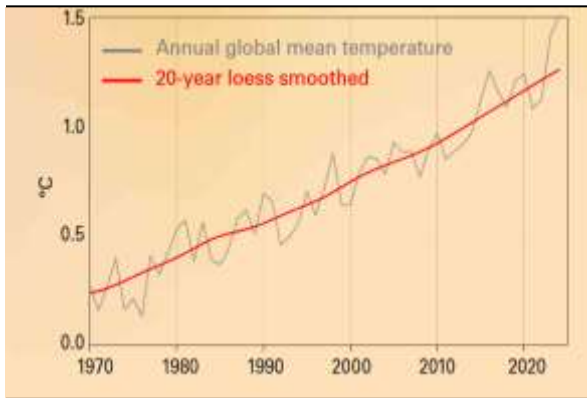
شکل ۳ ناهنجاری دمای میانگین سطح زمین در سال ۲۰۲۳ نسبت به میانگین بلند مدت ۱۹۹۱-۲۰۲۰ (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).

داشتند. تعدادی از سایر عوامل از جمله شروع سریع تر از حد انتظار چرخه خورشیدی، تأثیرات رو به رشد قوانین سازمان بین‌المللی دریانوردی (IMO) در خصوص لازم الاجرا شدن میزان گوگرد سوخت کشتیرانی در ژانویه ۲۰۲۰، فوران آتشفشان هونگا-تونگا هاآپای (HTHH) در ژانویه ۲۰۲۲ و کاهش دهه‌ای انتشار ذرات گرد و خاک شرق آسیا (شکل ۴) و همچنین الگوهای غیرعادی تغییرپذیری کمتر از دهه در گرد و غبار صحرا بر فراز گستره یخ‌های دریایی اقیانوس اطلس و/یا قطب جنوب نیز ممکن است نقشی داشته باشند. مقایسه شکل‌های ۴-ب و ۴-د نشان دهنده نقش النینو در افزایش دما می باشد. در این شکل ها عدم قطعیت‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ می باشد.

البته نقش عوامل موثر در ناهنجاری‌های میانگین دمای سطح زمین در سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ نیز قابل تامل است. رکوردهای ثبت شده در میانگین دمای سطح زمین در سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ در شرایطی رخ داد که دما به دلیل افزایش مداوم انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) ناشی از فعالیت‌های انسانی، افزایش یافته بود. با این حال، علیرغم گذار از لائینا به ال‌نینو، مقادیر خاص ناهنجاری در سال ۲۰۲۳ (و تا حدی کمتر از سال ۲۰۲۴) به دلیل قرار گرفتن در مرز یا خارج از محدوده پیش‌بینی‌های فردی، توجه را به خود جلب کرد. طبق برخی تحلیل‌ها (به عنوان مثال، تحلیل‌های رانتانن و لاکسونن (۱۹))، این مقادیر در انتهای طیف پیش‌بینی‌های مدل‌های اقلیمی از روندها به علاوه تغییرپذیری داخلی قرار



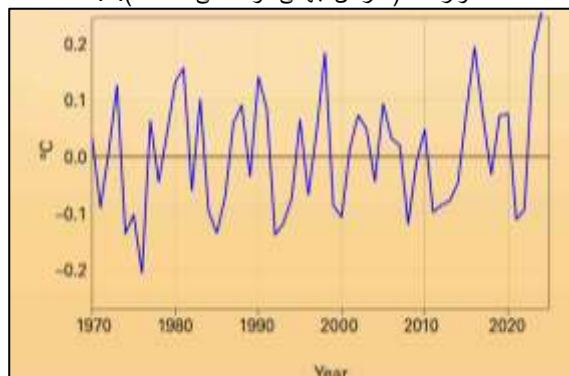
شکل ۴- (ب) مربوط به ENSO ۲۰۲۳ و سایر مولفه های پیش‌بینی نشده (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).



شکل ۴- (الف) ناهنجاری میانگین دمای سالانه در مقیاس جهانی و روند همواره شده (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).



شکل ۴- (د) مشابه شکل ب ولی برای سال ۲۰۲۴ (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).



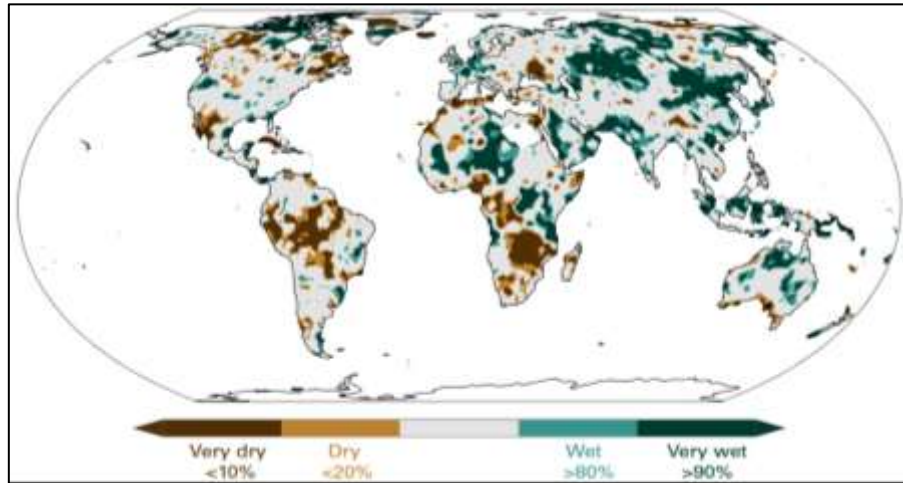
شکل ۴- ج اختلاف بین مقادیر سالانه و همواره شده (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).

### ب) ناهنجاری بارش

در سال ۲۰۲۴، شرایط خشک‌تر از مقادیر میانگین بلند مدت (۱۹۹۱-۲۰۲۰) در بیشتر مناطق جنوب آفریقا، برخی مناطق ساحلی غرب آفریقا و همچنین در امتداد ساحل شمال آفریقا مشاهده شد. بخش‌های بزرگی از آمریکای جنوبی، از دشت‌های آمازون و شمال رشته کوه‌های آند تا تالاب‌های پانتانال، نیز خشک‌تر از حد معمول بودند. شمال غربی مکزیک، برخی از جزایر کارائیب و بخش‌هایی از شمال آمریکای شمالی، مجموع بارش غیرمعمول کمی داشتند. مناطقی در امتداد ساحل جنوبی استرالیا، بخش‌های شمالی نیوزیلند، میزان بارش کمتری نسبت به حد معمول داشتند.

همچنین، جنوب و جنوب شرقی اروپا خشک‌تر از حد معمول بودند.

از سوی دیگر، بخش‌هایی از منطقه ساحل و بخش‌هایی از مرکز و جنوب شرق آفریقا، همچنین اروپای مرکزی و غربی مرطوب‌تر از حد معمول بودند. در جنوب نیوزیلند و بخش‌هایی از شرق و شمال استرالیا رطوبت بیشتر از مقادیر متوسط بودند. در مجمع‌الجزایر کانادا و برخی مناطق اطراف خلیج مکزیک نیز مرطوب‌تر از حد معمول بودند. مجموع بارندگی‌های بالاتر از حد نرمال در بخش‌های وسیعی از شمال شرقی، شرق و مرکز آسیا و به میزان کمتری نیز در جنوب شرق، جنوب و جنوب غرب آسیا مشاهده شد (شکل ۵).

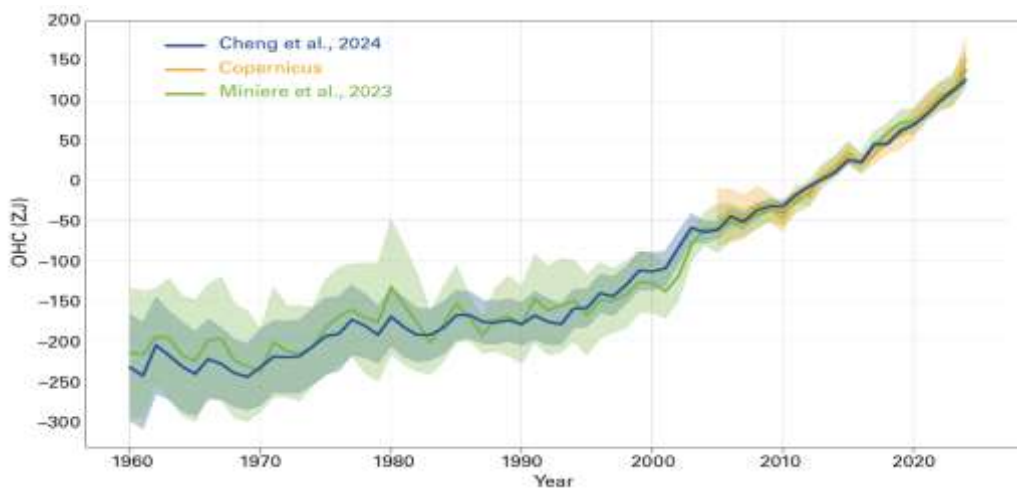


شکل ۵ بارش سالانه ۲۰۲۴ به صورت درصدهایی از توزیع ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰. مناطق قهوه‌ای به طور غیرمعمول خشک و مناطق سبز به طور غیرمعمول مرطوب هستند (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).

### ۳.۱.۳ محتوای گرمای اقیانوس‌ها

در سال ۲۰۲۴، میزان گرمای مشاهده‌شده اقیانوس‌های جهان رکورد جدیدی را ثبت کرد و از رکورد قبلی ثبت‌شده  $16 \text{ ZJ}$  در  $8 \pm$  سال ۲۰۲۳، فراتر رفت (شکل ۶). در طول هشت سال گذشته، هر سال رکورد جدیدی برای گرمای اقیانوس‌ها ثبت شده است. میزان گرمایش اقیانوس‌ها در دو دهه گذشته (۲۰۲۴-۲۰۰۵)،  $1.07-0.99 \text{ w/m}^2$  یا  $11.2-12.1 \text{ ZJ}$  در سال، بیش از دو برابر میزان مشاهده‌شده در دوره ۱۹۶۰-

۲۰۰۵ است. در آخرین گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) اعلام شده است تقریباً قطعی است که میزان گرمای اقیانوس‌ها از دهه ۱۹۷۰ افزایش یافته است و به احتمال زیاد عامل اصلی آن، تأثیر انسان بوده است. بر اساس مجموعه داده‌های مورد استفاده در اینجا، محتوای گرمای جهانی اقیانوس‌ها با نرخ میانگین  $0.1 \pm 0.6 \text{ w/m}^2$  (معادل  $6.8 \text{ ZJ}$  در سال) در سطح اقیانوس‌ها از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۲۴ افزایش یافته است که با گزارش IPCC مطابقت دارد (۹).



شکل ۶ محتوای گرمای سالانه اقیانوس‌های جهان تا عمق ۲۰۰۰ متر برای دوره ۱۹۶۰-۲۰۲۴، بر حسب زتاژول (۱۰۲۱ ژول). ناحیه سایه‌دار نشان‌دهنده محدوده عدم قطعیت ۲ سیگما در هر تخمین است (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).

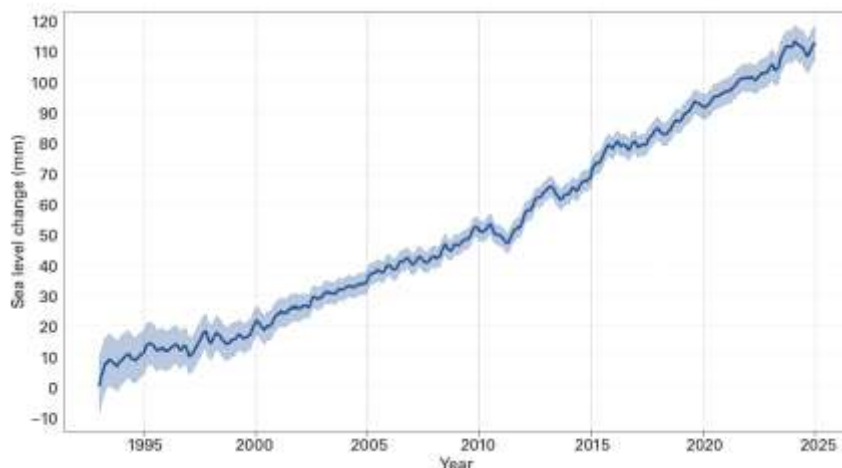
گرمایش دیدبانی شده اقیانوس نشان می‌دهد که در حال حاضر تعادل انرژی بین جو و اقیانوس تحت تاثیر عوامل

دیگر، مشابه گذشته برقرار نمی‌باشد. آهنگ گرمایش جو نشان می‌دهد که این سامانه با چه سرعتی انرژی مازاد را به

طوفان‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری را تشدید می‌کند و از بین رفتن مداوم یخ‌های دریا را در مناطق قطبی تشدید می‌کند. گرم شدن اقیانوس همراه با از بین رفتن یخ در خشکی باعث افزایش سطح دریا می‌شود (۱۰).

### ۴.۱.۳ میانگین سطح آب دریاها در مقیاس جهانی

آهنگ بلندمدت افزایش سطح آب دریاها از زمان شروع ثبت ماهواره‌ای بیش از دو برابر شده است و از ۲.۱ mm در سال بین سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۲ به ۴.۷ mm در سال بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۴ افزایش یافته است. در سال ۲۰۲۴، میانگین سطح جهانی دریا به بالاترین رکورد خود در ثبت ماهواره‌ای (از سال ۱۹۹۳ تا به امروز) رسید (شکل ۷).



شکل ۷ میانگین تغییرات فصلی سطح آب دریاها از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۴. ناحیه سایه‌دار نشان‌دهنده عدم قطعیت است (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).

داشت، اگرچه ممکن است عوامل مؤثر دیگری نیز وجود داشته باشد.

### ۵.۱.۳ محرک اقلیمی - النینو-نوسان جنوبی

النینو-نوسان جنوبی (ENSO) یکی از مهمترین عوامل تغییرپذیری سالانه و فصلی در الگوهای آب و هوایی در سراسر جهان است. این پدیده با تغییرات در وقوع و توزیع خطراتی مانند باران‌های شدید، سیل و خشکسالی، موج‌های گرما و دوره‌های سرما مرتبط است. ال نینو با دمای سطح دریا بالاتر از حد متوسط در شرق اقیانوس آرام گرمسیری و تضعیف بادهای تجاری در منطقه مشخص می‌شود. بادهای تجاری ضعیف، بالا آمدن آب‌های خنک‌تر را در امتداد

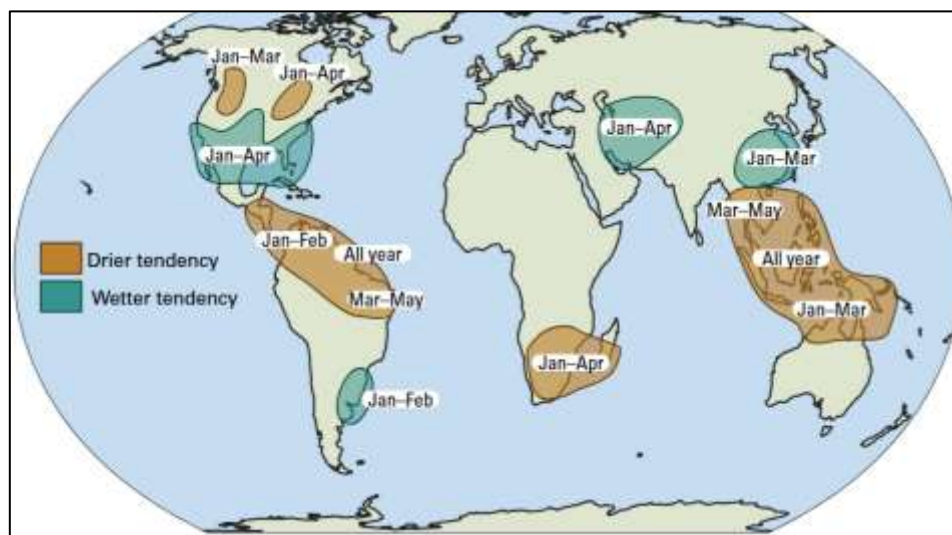
شکل گرما از واداشت‌های اقلیمی دریافت می‌کند. حدود ۵٪ از این انرژی مازاد، سطح خشکی زمین، ۱٪ جو و ۴٪ یخ‌کره را گرم و ذوب می‌کند. با این حال، اکثریت آن، حدود ۹۰٪، صرف گرم شدن اقیانوس می‌شود (۲۵). بنابراین، شاخص محتوای گرمای اقیانوس، یک شاخص کلیدی برای تغییرات اقلیمی است. تغییرات در دمای اقیانوس جهانی در مقیاس‌های زمانی صد ساله تا هزار ساله برگشت‌ناپذیر است و پیش‌بینی‌های اقلیمی نشان می‌دهد که گرم شدن اقیانوس در بقیه قرن بیست و یکم و پس از آن، حتی برای سناریوهای انتشار کم، ادامه خواهد یافت (۱۲). گرم شدن اقیانوس عواقب گسترده‌ای دارد، مانند تخریب اکوسیستم‌های دریایی، از بین رفتن تنوع زیستی و کاهش ذخیره کربن اقیانوس. این امر

تغییرات سالانه میانگین سطح جهانی دریا در طول روند بلندمدت با نوسان جنوبی ال نینو (ENSO) همبستگی دارد. افزایش و کاهش میانگین سطح جهانی دریا به دلیل ال نینو و لانینا و همچنین تغییرات مشخص الگوهای بارندگی که آب را بین اقیانوس و خشکی تبادل می‌کنند از یک سو و تغییرات محلی در محتوای گرمای اقیانوس از سوی دیگر رخ می‌دهد (۱۸ و ۲۵). ال نینوی قوی سالهای ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ به طور موقت سطح متوسط جهانی دریا را چندین میلی‌متر افزایش داد و در زمستان نیمکره شمالی ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ به اوج خود رسید. کاهش موقت سطح متوسط جهانی دریا در اوایل سال ۲۰۲۴ با پایان ال نینو و بازگشت به شرایط خنثی مطابقت

و پنجمین اوج بلند از سال ۱۹۵۰، آغاز سری زمانی، بود. از ژانویه ۲۰۲۴، ناهنجاری‌های دمای سطح دریا در شرق اقیانوس آرام گرمسیری کاهش نمود و در حدود ژوئن به شرایط خنثی ENSO بازگشت. شرایط خنثی یا ضعیف لائینا در پایان سال ۲۰۲۴ باقی ماند. دمای جهانی در سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ بالاتر از سال‌های قبل بود، که معمولاً در هنگام وقوع شرایط ال نینو اتفاق می‌افتد. هر ماه از سال ۲۰۲۴ شاهد گرمای بی‌سابقه یا نزدیک به رکورد بود و میانگین دمای سالانه برای این سال رکورد بالایی بود. با این حال، احتمالاً عوامل دیگری نیز در این امر دخیل بودند. برخی از الگوهای بارندگی در سال ۲۰۲۴، مانند شرایط خشک در شمال آمریکای جنوبی و جنوب آفریقا، از ویژگی‌های ال نینو بودند (شکل ۸). گذار از ال نینو به شرایط خنثی در طول سال ۲۰۲۴ نیز احتمالاً با کاهش موقت سطح متوسط جهانی دریاها همراه بوده است. همان گونه که در این شکل دیده می‌شود در سالهایی وقوع النینو، منطقه ایران و کشورهای همسایه شمال شرق با افزایش بارش طی ماههای ژانویه تا آوریل روبرو خواهند شد.

سواحل آمریکای جنوبی کاهش می‌دهند که به نوبه خود منجر به افزایش دمای سطح دریا می‌شود. لائینا، که با دمای سطح دریا پایین‌تر از حد متوسط در مرکز و شرق اقیانوس آرام گرمسیری و تقویت بادهای تجاری مشخص می‌شود، اثراتی دارد که عموماً برعکس اثرات ال نینو است. ال نینو معمولاً تأثیر گرمایش موقت بر میانگین دمای جهانی دارد و لائینا عموماً تأثیر سرمایش موقت دارد. بیشترین اثرات گرمایش یا سرمایش معمولاً دو تا سه ماه پس از اوج رویداد رخ می‌دهد، زیرا مدتی طول می‌کشد تا گرمایش یا سرمایش اضافی در اقیانوس به جو گسترش یابد و از طریق آن عبور کند. ال نینو و لائینا بر الگوهای بارندگی منطقه‌ای در سراسر جهان تأثیر می‌گذارند که می‌تواند بسته به قدرت و زمان وقوع رویداد و سایر عوامل هواشناسی همزمان متفاوت باشد.

پس از یک لائینای طولانی مدت که از سال ۲۰۲۰ تا اوایل ۲۰۲۳ ادامه داشت، ال نینو تا سپتامبر ۲۰۲۳ به خوبی تثبیت شد. این رویداد در طول نوامبر ۲۰۲۳ تا ژانویه ۲۰۲۴ به اوج خود رسید، زمانی که شاخص نینو اقیانوسی به ۲ درجه سلسیوس رسید که بالاترین اوج از زمان ال نینو ۲۰۱۵/۲۰۱۶



شکل ۸ اثرات معمول بارش فصلی ال نینو برای ژانویه تا ژوئن بر اساس منابع مختلف (سازمان جهانی هواشناسی، ۲۰۲۵).

ضمن این که عوامل دیگری نیز بر بارندگی تأثیر می‌گذارند. تغییر در الگوهای بارندگی همچنین می‌تواند بر سطح دریا تأثیر بگذارد، به طوری که میانگین جهانی سطح دریا در طول

شکل ۸ برخی از ناهنجاری‌های معمول بارندگی تحت تأثیر شرایط ال نینو را نشان می‌دهد. با این حال، هر ال نینو ویژگی‌های مشخص و متفاوت از سایر النینو‌ها را دارا است.

رویدادهای ال نینو بالاتر و میانگین جهانی سطح دریا در طول رویدادهای لانینا پایین تر است.

### ۶.۱.۳ برخی از رویدادهای شدید آب و هوایی با پیامدهای بالا (سال ۲۰۲۴)

رویدادهای شدید آب و هوایی در سال ۲۰۲۴ به عنوان یکی از تاثیرگذارترین پیامدهای تغییر اقلیم، منجر به بیشترین تعداد آوارگی‌های جدید ثبت شده در یک سال پس از سال ۲۰۰۸ شد. آوارگی‌های جدید، مداوم و طولانی مدت، تعداد قابل توجهی از مردم را در مناطق آسیب‌پذیر و درگیر جنگ تحت تأثیر قرار داده است. در کنار تخریب خانه‌ها، زیرساخت‌های حیاتی، جنگل‌ها، زمین‌های کشاورزی و تنوع زیستی، چنین رویدادهای شدید آب و هوایی، تاب‌آوری را تضعیف کرده و خطرات قابل توجهی را برای افراد در حال مهاجرت و کسانی که در حال حاضر در آوارگی زندگی می‌کنند، ایجاد می‌کند. اثرات ترکیبی شوک‌های مختلف، مانند تشدید درگیری، خشکسالی و قیمت بالای مواد غذایی داخلی، بحران‌های غذایی را در ۱۸ کشور در سطح جهان تا اواسط سال ۲۰۲۴ تشدید کرد (۲۶). هشت کشور در سال ۲۰۲۴ حداقل یک میلیون نفر بیشتر از حداکثر سالانه ۲۰۲۳ با ناامنی غذایی حاد مواجه بودند. کاهش برداشت جهانی غلات نتیجه خشکسالی گسترده است که در برخی مناطق، مانند آفریقای جنوبی، به شرایط ال‌نینو مرتبط است. طوفان‌های گرمسیری مسئول بسیاری از رویدادهای پرتلفات سال ۲۰۲۴ بودند.

• طوفان یاگی در اوایل سپتامبر پس از عبور از فیلیپین و جنوبی‌ترین بخش‌های چین، در شمال ویتنام به خشکی رسید. تلفات جانی و آوارگی در ویتنام، فیلیپین، جمهوری دموکراتیک خلق لائوس، تایلند و میانمار گزارش شده است خسارات قابل توجهی در اثر باد در چین و فیلیپین رخ داده است.

• در ایالات متحده آمریکا، طوفان‌های هلن در اواخر سپتامبر و میلتن در اکتبر، هر دو به عنوان طوفان‌های بزرگ در سواحل غربی فلوریدا به خشکی رسیدند. هر دو در زمان ورود به خشکی تأثیرات عمده‌ای داشتند و هلن باعث بارندگی‌های استثنایی و سیل شدید در جنوب شرقی ایالات

متحده، به ویژه غرب کارولینای شمالی، شد. هر دو طوفان تأثیرات اقتصادی ده‌ها میلیارد دلاری داشتند. بیش از ۲۰۰ مورد مرگ و میر با طوفان هلن مرتبط بود که بیشترین مرگ و میر ناشی از طوفان در سرزمین اصلی ایالات متحده از زمان کاترینا در سال ۲۰۰۵ است. این در حالی است که در اوایل سال ۲۰۲۴ مکزیک و آمریکای مرکزی تحت تاثیر خشکسالی شدید قرار داشتند (۲۰).

• افغانستان و مناطق همسایه پاکستان و جمهوری اسلامی ایران در اواخر زمستان و بهار با بلایای طبیعی متعددی روبرو شدند، از جمله سرمای غیرطبیعی و برف در ارتفاعات در اواخر فوریه و اوایل مارس ۲۰۲۴ و سپس چندین سیل در ماه‌های بعد که بدترین آنها بین ۱۰ تا ۱۷ مه افغانستان را تحت تأثیر قرار داد. در ۳۰ مه حدود ۳۵۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی دچار سیل شد. چند صد مورد مرگ در سیل گزارش شد و موج سرما نیز منجر به تلفات قابل توجهی شد.

• شیلی در اوایل سال دچار آتش‌سوزی‌های مخرب جنگلی شد. آتش‌سوزی در اطراف شهر وینا دل مار در ۲-۳ فوریه منجر به بیش از ۳۰۰ کشته و خسارت به چندین هزار ملک شد که از جمله بدترین خسارات ناشی از آتش‌سوزی در هر کجای جهان در این قرن است.

• فصل آتش‌سوزی‌های جنگلی در کانادا بسیار فعال بود، جایی که انتشار کربن ناشی از آتش‌سوزی‌های جنگلی دومین رکورد (از ۲۰۰۳ تاکنون) بود و منطقه سوخته یکی از پنج منطقه با بالاترین رکورد (از ۱۹۸۳ تاکنون) بود. غرب ایالات متحده نیز فصل آتش‌سوزی‌های جنگلی فعالی داشت. در مجموع، بیش از ۳۰۰ هزار جابجایی در هر دو کشور گزارش شده است. خشکسالی بسیاری از مناطق قاره آمریکا را تحت تأثیر قرار داد. خشکسالی شدید در مکزیک و بخش‌هایی از آمریکای مرکزی در سال ۲۰۲۳ تا ماه‌های اولیه ۲۰۲۴ ادامه یافت.

• یک استثنا در شرایط عموماً خشک آمریکای جنوبی، سیل اوایل ماه مه در ایالت ریوگرانده در جنوب برزیل

## ۲.۳ مقیاس ملی

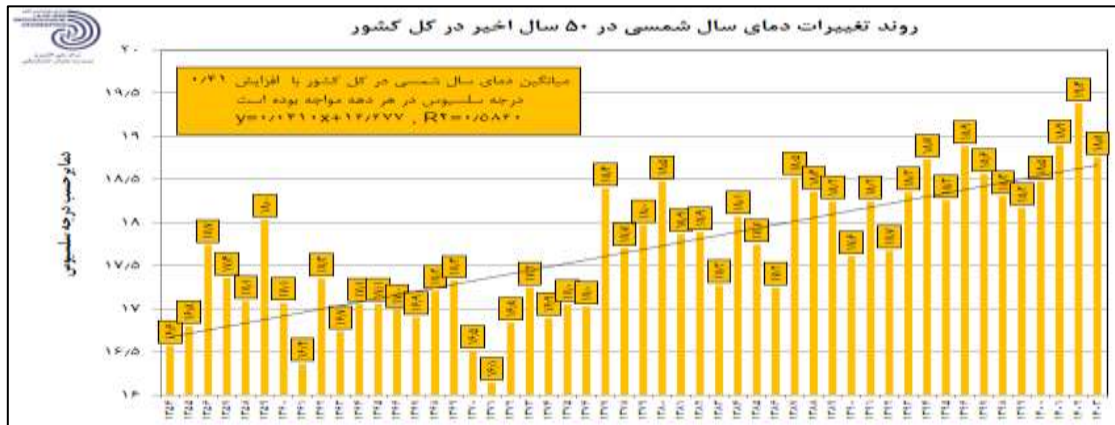
### ۱.۲.۳ دما

روند تغییرات دما در کشور طی ۵۰ سال گذشته مطابق شکل ۹ می باشد. همان گونه که در این شکل دیده می شود روند تغییرات دما در کشور از سال ۱۳۵۴ تا ۱۴۰۳ نسبت به میانگین های بلند مدت ۳۰ ساله (۱۳۷۰-۱۴۰۰) کاملاً افزایشی است. بررسی داده های ایستگاههای هواشناسی کشور مبین این حقیقت است که میانگین دمای کشور در هر دهه با آهنگ تقریبی ۰.۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است. طی ۵۰ سال گذشته کمترین دمای میانگین کشور مربوط به سال ۱۳۷۱ با مقدار ۱۶.۱ درجه سلسیوس و بیشترین دمای کشور مربوط به سال ۱۴۰۲ با ۱۹.۴ درجه سانتی گراد بوده است. لازم به ذکر است میانگین دمای کشور بین ۱۷ تا ۱۸ درجه سلسیوس می باشد که در مناطق کویری به ۲۵ و در مناطق سردسیر و کوهستانی به کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس نیز می رسد. شایان توجه این که در تابستان و پاییز ۱۴۰۳ روند افزایشی دمایی کشور به شدت محسوس بود. طولانی ترین امواج گرمایی در مرداد ۱۴۰۳ به ثبت رسید و آذر ماه همین سال گرمترین آذر ۳۳ سال گذشته در کشور تجربه شد. همچنین، اردیبهشت ۱۴۰۴، دمای کمینه و بیشینه و میانگین این دو، یعنی دمای متوسط در بسیاری از استانها بین ۳ تا ۵ درجه سلسیوس بالاتر از حد نرمال بود. برای مثال، تهران با ثبت دمای بیشینه ۳۷ درجه سلسیوس در اواخر این ماه رکورد ۵۰ ساله خود را شکست. این پدیده تنها محدود به ایران نیست، بلکه بخشی از روند جهانی تغییرات اقلیمی و بخصوص منطقه خاورمیانه است که با افزایش گازهای گلخانه ای تشدید می شود. با این حال، موقعیت جغرافیایی ایران، قرارگیری در کمربند خشک جهان و روند کاهش بارش سالانه (حدود ۱ میلیمتر در سال) و افزایش دما (حدود ۰.۵ درجه در هر دهه)، ایران را به یکی از نقاط بحرانی زمین تبدیل کرده است. در فصل بهار استانهای خراسان شمالی، البرز خراسان رضوی، سمنان و تهران به ترتیب با  $+۳/۸$ ،  $+۳/۷$ ،  $+۳/۶$  و  $+۳/۶$  درجه بیش از نرمال بیشترین افزایش دما نسبت به نرمال را داشته اند.

بود. بارندگی شدید مداوم منجر به سیل شد که بخش های بزرگی از شهر پورتو آلگره و بسیاری از مناطق اطراف را فرا گرفت و اثرات قابل توجهی بر کشاورزی و شیلات و همچنین بیش از ۲۰۰ کشته برجای گذاشت.

• بارندگی شدید منجر به سیل ناگهانی شدید در منطقه والنسیا اسپانیا در ۲۹ اکتبر شد که با یک استخر آب سرد در سطح بالا بر فراز جنوب اسپانیا همراه بود. توریست در غرب والنسیا ۱۸۵ میلی متر باران در یک ساعت را گزارش کرد که یک رکورد ملی اسپانیا است. در شش ساعت، ۶۲۱ میلی متر باران بارید و در ۲۴ ساعت ۷۷۲ میلی متر ثبت شد. این بارندگی منجر به سیل های استثنایی در پایین دست شد که به ویژه بخش جنوبی کلان شهر والنسیا را تحت تأثیر قرار داد. بیش از ۲۰۰ مورد مرگ و میر ۴۹ و خسارات شدید در جامعه والنسیا و مناطق اطراف گزارش شد.

• در طول تابستان نیمکره شمالی، مناطقی که به طور ویژه تحت تأثیر موج های گرما قرار گرفتند شامل شرق آسیا، جنوب شرقی اروپا، مدیترانه و خاورمیانه و جنوب غربی ایالات متحده بودند. این پس از گرمای بی سابقه در بسیاری از مناطق گرمسیری نیمکره شمالی در دوره قبل از موسمی از اواخر مارس تا مه، از جمله جنوب شرقی آسیا، غرب آفریقا و ساحل، و آمریکای مرکزی و همچنین شمال هند بود. از جمله مهمترین رویدادها، موج گرمای ماه ژوئن در عربستان سعودی بود، زمانی که دمای هوا در نزدیکی مکه در طول مراسم حج به ۵۰ درجه سلسیوس رسید. تلفات زیادی در طول مراسم حج گزارش شد که اکثریت قریب به اتفاق آنها تا حدی یا کاملاً به دلیل گرمای شدید بود.

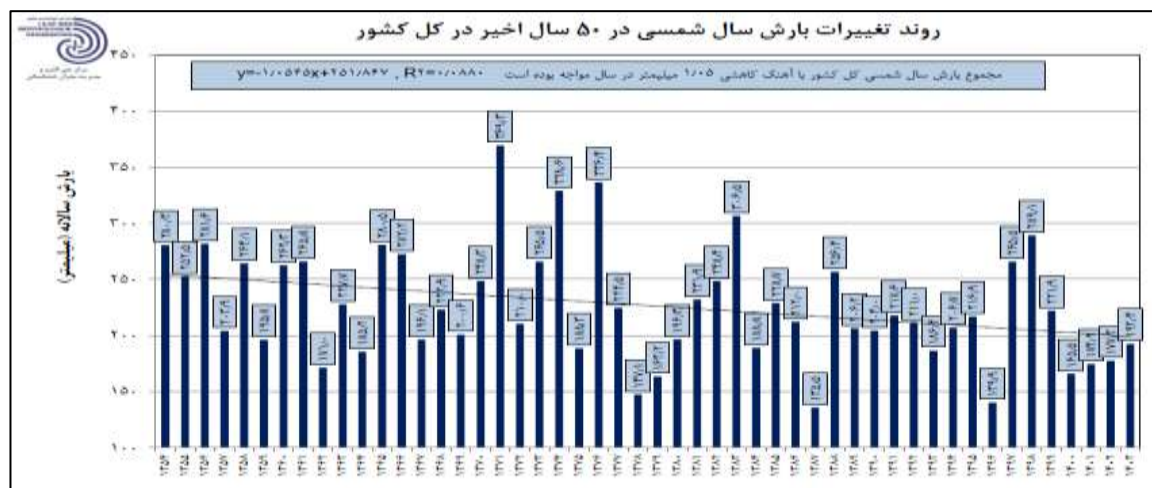


شکل ۹ روند تغییرات دمای کشور در ۵۰ سال اخیر (۱۳۵۴-۱۴۰۳). میله های زرد رنگ معرف میانین دمای هر سال می باشند (مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسال، ۱۴۰۳).

### ۲.۲.۳ بارش

بوده است. میانگین بارش ایران حدود ۲۵۰ میلیمتر می باشد که تقریباً یک سوم میانگین جهانی است. میانگین بارش در دنیا حدود ۸۳۰ میلیمتر است. لازم به ذکر است که در نوار شمالی ایران بارش میانگین بیش از ۱۵۰۰ میلیمتر و در مناطق شرق و جنوب شرق کشور کمتر از ۵۰ میلیمتر می باشد. شایان گفتن است که براساس اطلاعات آماری سازمان هواشناسی کشور کاهش بارش در سه سال آبی متوالی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱ به ترتیب به میزان ۳۹، ۲۴ و ۱۸/۳ درصد نسبت به بلند مدت، موجب خشکسالی شدید در بیشتر استان های کشور شده است.

تغییرات بارش ایران مشابه بسیاری از کشور های هم عرض جغرافیایی روند کاهشی را به دنبال داشته است. همان گونه که در شکل ۱۰ دیده می شود طی ۵۰ سال گذشته میانگین مجموع بارش در هر سال شمسی بیش از یک میلیمتر نسبت به میانگین بلند مدت ۳۰ ساله (۱۳۷۱-۱۴۰۰) کاهش داشته است. در این مدت، بیشترین بارش کشور در سال ۱۳۷۱ به میزان حدود ۳۷۰ میلیمتر و کمترین بارش کشور به میزان حدود ۱۳۵ میلیمتر در سال ۱۳۸۷ رخ داده است. طی سالهای اخیر (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳) نیز بارش کشور کمتر از ۲۰۰ میلیمتر



شکل ۱۰ روند تغییرات بارش کشور در ۵۰ سال اخیر (۱۳۵۴-۱۴۰۳). میله های آبی رنگ معرف میانگین بارش هر سال می باشند (مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسال، ۱۴۰۳).

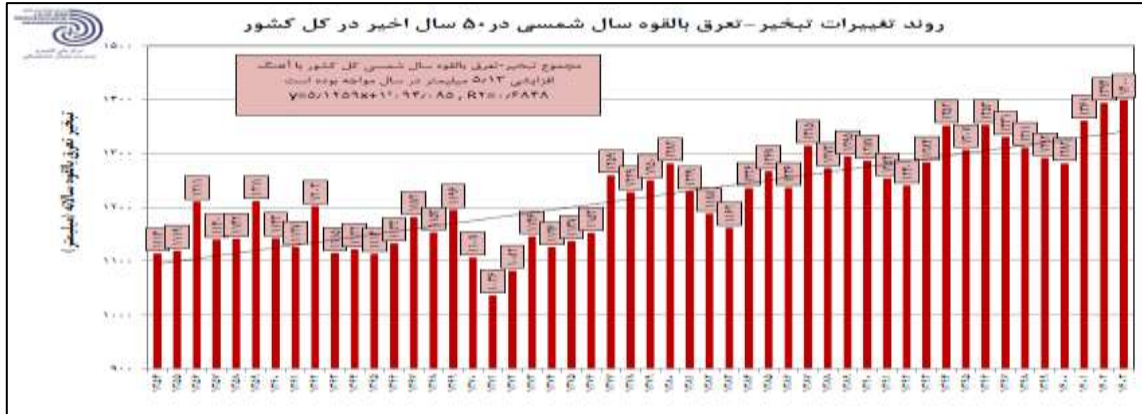
### ۳.۲.۳ تبخیر-تعرق

تغییرات این شاخص در کشور از سال ۱۳۵۴ تا ۱۴۰۳ نسبت به میانگین های بلند مدت ۳۰ ساله (۱۳۷۰-۱۴۰۰) روندی کاملاً افزایشی را نشان می دهد. بررسی داده های ایستگاههای

روند تغییرات تبخیر-تعرق کشور طی ۵۰ سال گذشته مطابق شکل ۱۱ می باشد. همان گونه که در این شکل دیده می شود

میانگین کشور مربوط به سال ۱۳۷۱ با مقدار ۱۰۳۶ میلیمتر و بیشترین میزان تبخیر-تعرق کشور مربوط به سال ۱۴۰۳ با ۱۴۰۰ میلیمتر بوده است.

هواشناسی کشور مبین این حقیقت است که میانگین تبخیر-تعرق کشور در هر سال با آهنگ تقریبی ۵ میلیمتر افزایش یافته است. طی ۵۰ سال گذشته کمترین میزان تبخیر-تعرق



شکل ۱۱. روند تغییرات تبخیر-تعرق کشور در ۵۰ سال اخیر (۱۳۵۴-۱۴۰۳). میله های قرمز معرف میانگین تبخیر-تعرق هر سال است (مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسال، ۱۴۰۳).

تعرق به شرح جدول ۱ می باشد.

ضریب همبستگی آزمون تعدیل یافته من کندال رتبه ای یا ناپارامتری برای آمار بارش سالانه ، دمای میانگین و تبخیر -

ضریب همبستگی رتبه ای (کندال تاو)	مقادیر p	آماره Z من کندال	شیب خط روند	عرض از مبدا خط روند
-0.21	0.001785	-2.19	-0.96	247.36
0.56	1.06E-08	5.72	0.04	16.62
0.65	3.07E-06	4.66	5.32	1089.60

جدول ۱ ضریب همبستگی رتبه ای، مقادیر p، آماره Z من کندال ، شیب روند و عرض از خط روند پارامترهای بارش ، دما و تبخیر و تعرق سالانه ۱۳۴۵ -

۱۴۰۳

سالانه ایران است که با خطی با عرض از مبدا ۲۴۷.۴ میلیمتر و شیب روند کاهشی ۰.۹۶- میلیمتر در سال توضیح داده می شود. سایر ضرایب همبستگی رتبه ای برای متغیرهای دما و تبخیر-تعرق به ترتیب حدود ۰/۵۵ و ۰/۶۵ می باشد که مقادیر قابل قبولی به نظر می رسدند.

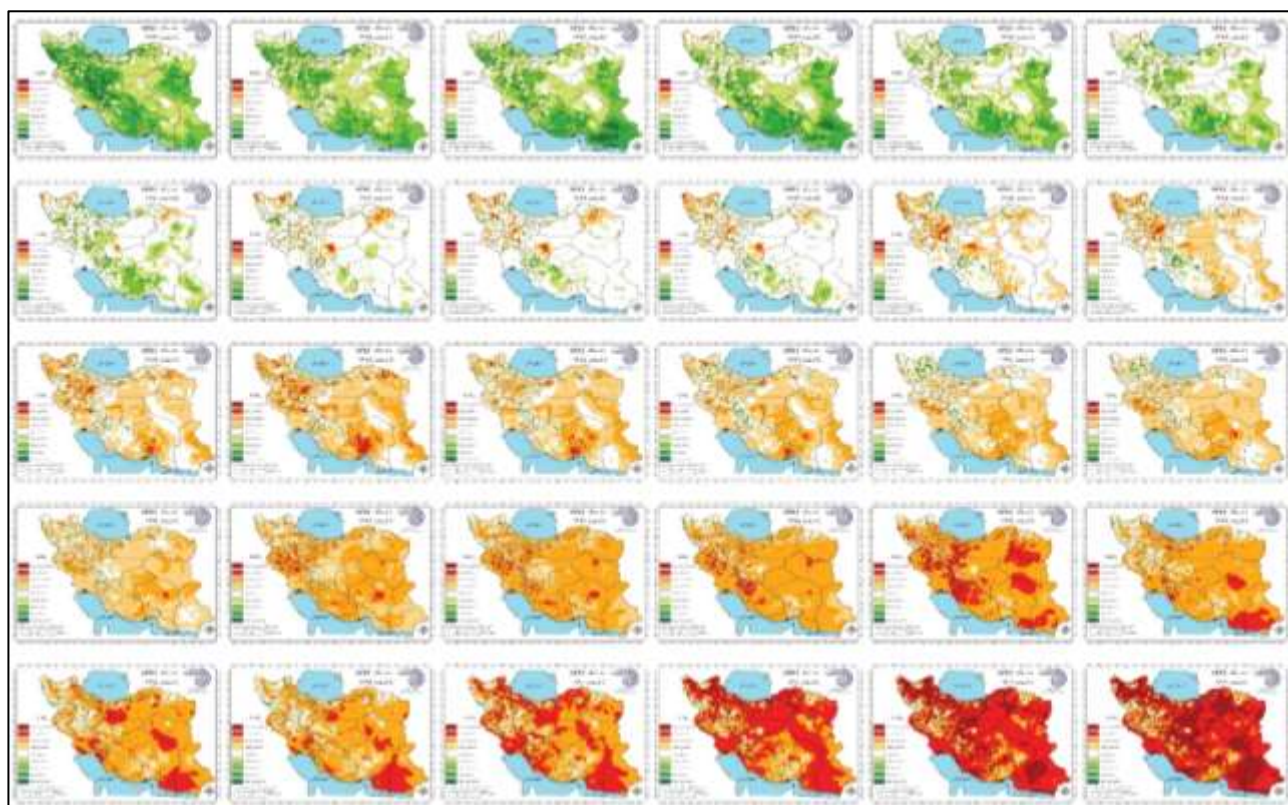
### ۴.۲.۳ خشکسالی

بررسی شاخص خشکسالی در سازمان هواشناسی کشور بر اساس شاخص های استاندارد شده بارش (SPI) و استاندارد شده بارش و تبخیر-تعرق (SPEI) محاسبه می شود. در شاخص SPI تنها عامل بارش لحاظ می شود ولی در شاخص SPEI علاوه بر بارش اثرات دما و در نتیجه تبخیر و تعرق نیز

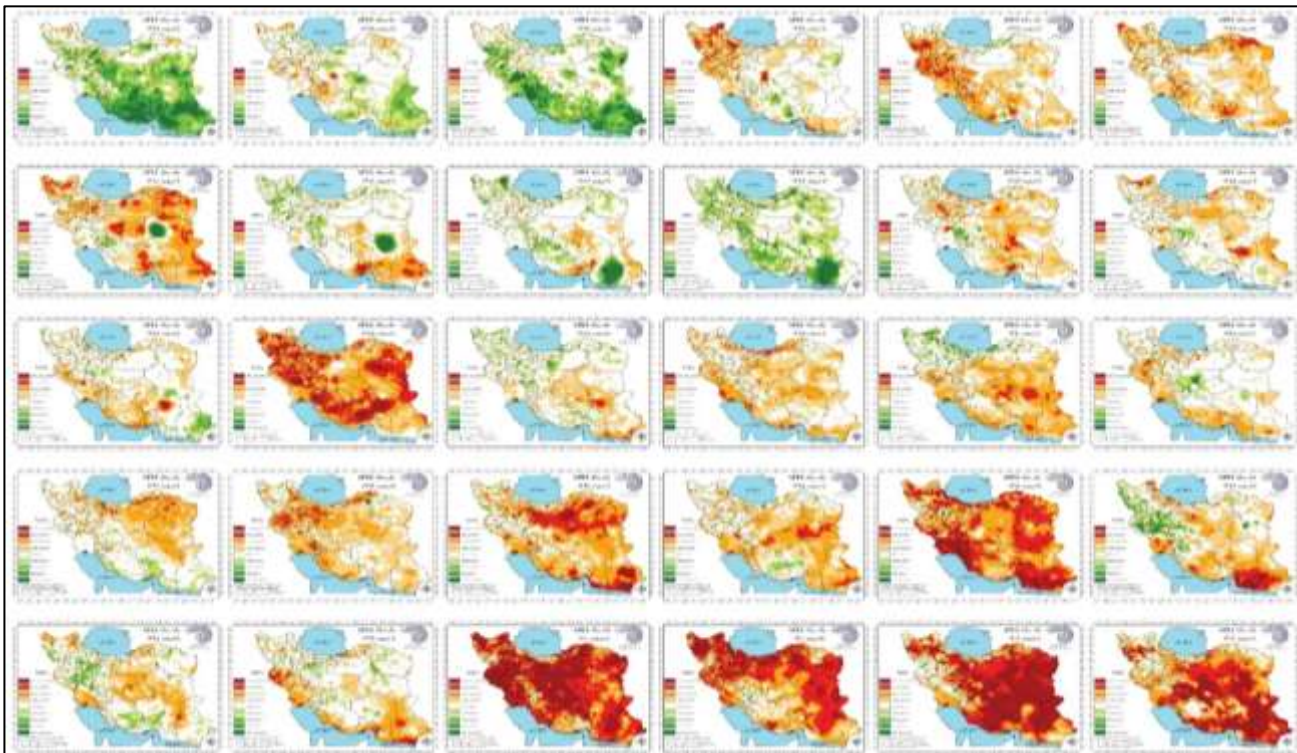
ضریب همبستگی آزمون تعدیل یافته من کندال رتبه ای یا ناپارامتری برای آمار بارش سالانه ۰.۲- است که بیانگر روند کاهش رتبه بارش در بازه ۵۰ سال اخیر است که روند قوی به شمار نمی رود. لازم به ذکر است در بازه ۵۰ ساله مورد مطالعه (۱۳۵۴ تا)، مقادیر بزرگ بارش در ابتدای دهه ۱۳۷۰ و تقریباً در میانه دوره ۵۰ ساله رخ داده است و به نظر می رسد به همین دلیل محاسبه روند تغییرات بر اساس آزمون من-کندال عادی نتایج روند کاهش را بدرستی نشان نمی دهد؛ امری که برعکس در آزمون اصلاح شده تصحیح شده است. آماره مقدار احتمال p-value زیر ۰.۰۵ و آماره استاندارد شده Z من کندال زیر ۲- معرف داری روند کاهشی بارش

که در سالهای اخیر ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۳ شرایط خشکسالی بسیار شدید غالب استانهای کشور را پوشش میدهد. الگوی پهنه بندی شاخص SPEI یکساله برای سالهای ۱۴۰۰ به بعد، مشابه شاخص ۱۰ ساله می باشد و اکثر استانهای کشور درگیر خشکسالی و کم بارشی هستند. بر اساس این شاخص طی سالهای قبل از ۱۴۰۰ نیز بیشتر نقاط کشور درگیر خشکسالی خفیف تا متوسط می باشد. تنها طی سالهای ۱۳۷۴ تا ۱۳۷۶ و همچنین سال ۱۳۸۳، ترسالی بر کشور حاکم بوده است. لذا از دیدگاه خشکسالی های سالانه که عمدتاً معرف خشکسالی هواشناسی می باشند و بلند مدت ۱۰ ساله که معرف خشکسالی آبشناسی می باشند، شرایط بسیار نامساعدی بر کشور حاکم است.

در نظر گرفته می شود. این شاخص ها برای بازه های زمانه یک ماهه تا ده ساله محاسبه می شوند. در این مقاله به بررسی شاخص خشکسالی SPEI برای بازه های یک ساله و ده ساله به منظور بررسی روند تغییرات خشکسالی کوتاه مدت و بلند مدت طی سالهای ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۳ پرداخته می شود. همان گونه که در شکل ۱۲ دیده می شود طی سالهای ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۰ شاخص SPEI ۱۰ ساله معرف روند ترسالی در غالب نقاط کشور حاکم می باشد. از سال ۱۳۸۱ به بعد به آرامی شرایط خشکی بر کشور حاکم می شود که حکایت از کاهش بارش، افزایش دما و افزایش تبخیر-تعرق دارد. طی سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲ خشکسالی های خفیف تا متوسط در کشور حاکم می شود و از سال ۱۳۹۲ به بعد به تدریج در کشور خشکسالی های شدید و بسیار شدید غالب هستند به گونه ای



شکل ۱۲ روند وضعیت شاخص خشکسالی SPEI (۱۰ ساله) در کشور طی سالهای ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۳ (مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی، ۱۴۰۳)



شکل ۱۳ روند وضعیت شاخص خشکسالی SPEI (۱ ساله) در کشور طی سالهای ۱۳۷۴ تا ۱۴۰۳ (مرکز ملی اقلیم و مدیریت بحران خشکسالی، ۱۴۰۳)

اول سال و در جنوب شرق در زمان فعالیت بارش های موسمی به وقوع پیوسته اند. بر اساس اطلاعات ثبت شده ۳۸ مورد وقوع سیلاب در سال ۱۴۰۳ در کشور گزارش شده است که بیشترین تکرار از استانهای گیلان، مازندران، فارس و کرمان گزارش شده است. متأسفانه، در مجموع حداقل ۴۴ نفر در سال ۱۴۰۳ جان خود را از دست داده اند. این سیلابها منجر به تخریب هزاران واحد مسکونی و تجاری، انسداد گسترده راههای ارتباطی، قطعی آب و برق، آسیب جدی به محصولات کشاورزی، باغات و دامداری ها شده است. به عنوان مثال ۸۰ درصد محصول خرماي جیرفت در اثر سیلاب مرداد ماه از بین رفت. مجموع خسارت مادی به این منطقه بیش از ۲۳ هزار میلیارد ریال برآورد شده است. تغییر کاربری اراضی و فرسودگی برخی زیر ساخت های کشور از مهمترین عوامل وقوع سیلاب در کنار پیامدهای تغییر اقلیم می باشند.

- آتشسوزی جنگلها با منشا طبیعی یا انسانی از دیگر موارد سوانح کشور می باشد که در سال ۱۴۰۳ حدود ۴۴ مورد آتشسوزی به ثبت رسیده است. این آتشسوزی ها

### ۵.۲.۳ برخی از رویدادهای شدید آب و هوایی با

#### پیامدهای بالا (سال ۱۴۰۳)

وضعیت اقلیم در سال گذشته حکایت از تغییرات شدید دمایی و سایر پارامترهای آب و هوایی دارد. همان گونه که اشاره شد، یکی از پیامدهای تاثیر گذار افزایش مخاطرات جوی با فراوانی و شدت بیشتر است که در ادامه به برخی از مهمترین آنها در سطح ملی و در سال ۱۴۰۳ پرداخته می شود.

رویدادهای شدید وضع هوا و اقلیم تأثیرات عمده ای بر زندگی مردم در سال گذشته داشته است. این رویدادها شامل سیل های بزرگ، وزش بادهای شدید، امواج گرمایی، خشکسالی، آتشسوزی جنگل ها و توفان گردوخاک بود که چالش هایی را در حوزه های اقتصادی-اجتماعی، سلامت و بهداشت، امنیت غذایی و آب و همچنین رفاه انسان به وجود آورد. بر اساس اطلاعات منتشر شده پژوهشکده سوانح طبیعی (۲۷)، شرح برخی از مهم ترین رویدادها در سطح ملی و برای سال ۱۴۰۳ در ادامه آمده است.

- سیلاب ها یکی از پرتکرار ترین و پرخسارت ترین سوانح کشور می باشد که طی سال ۱۴۰۳ بخش های وسیعی از کشور را تحت تاثیر قرار داده است. سیلابهای عمدتاً در نیمه

در حوزه سلامت موجب مصدومیت تعداد زیادی از هموطنان و مراجعه آنها به مراکز پزشکی و درمانی شد. تعطیلی مدارس و لغو پروازها از دیگر پیامدهای اجتماعی این مخاطره جوی بود و در مجموع ۲۴ مورد گزارش توفان گردوخاک در کشور برای سال ۱۴۰۳ ثبت شده است.

- در سال ۱۴۰۳ حدود ۲۰ مورد بارش برف سنگین و/یا کولاک برف در کشور گزارش و به ثبت رسیده است. تقریباً تمامی استانهای کشور به جز استانهای سیستان و بلوچستان، یزد و خوزستان درگیر این مخاطره در زمستان ۱۴۰۳ بودند. عمده تاثیر این مخاطره بر انسداد راههای کشور، کاهش شعاع دید افقی، اختلال در حمل و نقل، آسیب به شبکه های برق و خدمت رسانی و همراهی با ریزش محتمل بهمین در نقاط مرتفع گزارش شده است. همچنین متاسفانه این بارشهای سنگینی برف به جان باختن ۱۲ نفر از هم وطنان در استان تهران (شهرستان فیروزکوه)، کردستان (مریوان) و خراسان رضوی (خوشاب و ششتمد) منجر شد.

#### ۴. نتایج

در این مقاله به بررسی وضعیت اقلیم جهان و ایران با استفاده از داده های مشاهداتی و باز تحلیل و همچنین گزارش های منتشره سازمان جهانی هواشناسی و هیات بین دولتی تغییر اقلیم پرداخته شد. بررسی ها نشان می دهد روند افزایشی تولید گازهای گلخانه ای، افزایش دمای جو زمین و آب اقیانوس ها، ذوب شدن یخچالهای قطبی، کاهش وسعت یخ-دریاهای شمالگان و جنوبگان، افزایش تراز آب دریاها و افزایش رخداد مخاطرات فرین رخ داده است و همچنان در حال ادامه می باشد. در سالهای النینو، پیامدهای تغییر اقلیم تشدید می شود. سال ۲۰۲۴ گرمترین سال تاریخ کره زمین در ۱۷۵ سال گذشته شد. افزایش دما و سطح آب اقیانوس ها به بالاترین مقدار رسید. ذوب شدگی یخچالها به افزایش سطح آب اقیانوس ها نیز کمک کرد. پدیده های فرین به میزان زیادی افزایش یافته اند.

غالباً در ماههای تیر تا مهر اتفاق افاده است و بین یک تا چندین روز ادامه داشته اند. اغلب آتشسوزی ها در مراتع و جنگاها به وقوع پیوسته که آسیبهای زیادی وارد شده است. استانهای کرمانشاه، لرستان و ایلام پرتکرارترین استانها برای وقوع آتشسوزی جنگلها گزارش شده اند. خسارات گزارش شده برای بیش از ۴۲۰۰ هکتار از جنگلها، مراتع، پوشش یاهی، مزارع گندم، گیاهان علوفه ای و جنگلهای بلوط می باشد و سایر موارد (۲۸ مورد) میزان خسارت و تلفات نامشخص است.

- وزش بادهای بسیار شدید همراه با توفان در سال ۱۴۰۳ در حداقل ۸ مورد گزارش شده است که غالباً در استانهای اصفهان، خوزستان، لرستان، کرمان و هرمزگان می باشند. قطعی برق و اختلال در شبکه تلفن همراه، سقوط درختان و آسیب به شبکه خطوط برق و بخش کشاورزی از مهمترین گزارش خسارت در وزش بادهای بسیار شدید می باشد. الگوهای همرفتی تابستانی مهمترین دلیل وقوع این نوع توفان در کشور است.

- در ماههای دی و بهمن ۱۴۰۳ حداقل ۱۱ مورد گزارش سرمازدگی و یخبندان اعلام شده است که سه مورد آنها به صورت موج سرما و یخبندان گسترده در کشور رخ داد و حداقل ۲۰ استان کشور درگیر شدند. در جریان این سرمازدگی ها متاسفانه دو نفر از هموطنان جان خود را از دست دادند. همچنین خسارت گسترده به محصولات کشاورزی در هرمزگان وارد شد.

- توفان گردوخاک در سال ۱۴۰۳ یکی از مهمترین مخاطرات فصل بهار و تابستان به ویژه در جنوب شرق کشور بود و ماههای مرداد و شهریور بیشترین میزان رخداد به ثبت رسید. توزیع رخدادهای گردوخاک در سال ۱۴۰۳ در استانهای سیستان و بلوچستان، کرمان، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، یزد، هرمزگان و خوزستان ثبت شده که وقوع آنها خسارتهای زیادی را به زیر ساختهای حیاتی از جمله شبکه برق رسانی، آب و فاضلاب، معابر عمومی و ساختمانها وارد کرد. همچنین

کشورهای درحال توسعه و کمتر توسعه یافته، علاوه بر تلفات و خسارات گسترده، ریسک سرمایه گذاری را افزایش می دهد. امنیت غذایی به شدت به خطر می افتد و هزینه زندگی به سرعت افزایش می یابد. سلامتی و بهداشت مردم به خطر می افتد و آب آشامیدنی برای همگان در دسترس نمی باشد. مجموع این شرایط جامعه جهانی را به سمت فقر و بی عدالتی، بیماری، نابودی تنوع زیستی و غیره هدایت می کند. کشورهای جهان می بایست در قالب برنامه های مدون ملی، منطقه ای و بین المللی با همکاری و مشارکت جهانی از روند افزایش دمای ناشی از افزایش تولید گازهای گلخانه ای بشری پیشگیری کنند تا اهداف توسعه پایدار دست یافتنی تر شود. در این مسیر راهکارهای متعددی در راستای کاهش انتشار و سازگاری با تغییر اقلیم پیشنهاد شده است که دولت ها به فراخور شرایط اقتصادی و سیاسی خود می توانند آنها را بکار گیرند.

برای عبور از بحران و کاهش پیامدهای چندبعدی آن، اصلاح الگوی کشت، توسعه آبیاری نوین و جلوگیری از حفر و پر کردن چاه های غیرمجاز و کنترل شدید برداشت از چاه های مجاز متناسب با آمار بارش های تجمعی سالانه از مهمترین برنامه ها برای کاهش مصرف در بخش کشاورزی است. بهره برداری هوشمندانه از بارش های موسمی با هماهنگی وزارت نیرو، ستاد مدیریت بحران و نهادهای ذیربط برای مهار، ذخیره سازی و مدیریت بارش های احتمالی بیشتر از نرمال در تابستان و در جنوب شرق کشور با هدف تقویت منابع آبی و کاهش ریسک سیلاب ضروری است. مقابله با اثرات افزایش دما از طریق مدیریت یکپارچه بین بخشی در همکاری نزدیک سازمان هواشناسی کشور با وزارت بهداشت برای صدور هشدار گرمزدگی، با وزارت نیرو برای مدیریت بار مصرف برق و با سازمان منابع طبیعی برپا پیشگیری از حریق در جنگلها و مراتع در دوره گرما بدیهی است. سرمایه گذاری در انرژی های تجدیدپذیر با توسعه نیروگاه های خورشیدی و بادی برای کاهش فشار بر شبکه و پایین آوردن رد پای کربن می تواند یکی از مهمترین الویت های برنامه های دولت باشد و مشارکت مردم و تصویب قوانین بالادستی برای سرمایه

در ایران خشکسالی های پیاپی طی دو دهه اخیر، ذخایر آبی ایران را به مرز ورشکستگی رسانده است. نابهنجاری دمایی اخیر، کم بارشی های پی در پی و بخصوص سال آبی جاری این بحران را عمیق تر کرده است. کم بارشی مفرط و تبخیر شدید ناشی از گرما و البته برداشت های غیر مجاز از بالادست حوزه های آبی، ذخایر سدها و آبخوانها را تحلیل برده است. طی ۵۰ سال گذشته روند افزایش دما (هر دهه ۰.۴ درجه سلسیوس)، کاهش بارش (هر سال حدود ۱ میلیمتر) و افزایش تبخیر و تعرق (هر سال معادل ۵ میلیمتر) شرایط بغرنجی را برای کشور به همراه داشته است. وقوع پدیده های حدی مانند بارش های سیل آسا، خشکسالی های ممتد، افزایش شدت و فرکانس توفانها، افزایش مدت و فرکانس امواج گرمایی در کشور مشاهده شده است.

امواج گرمایی مکرر و طولانی مدت، تنها به افزایش دما محدود نمی شوند، بلکه با ایجاد زنجیره ای از اثرات مخرب، حیات طبیعی و انسانی را تهدید می کنند. تابستان ۱۴۰۳ طولانی ترین امواج گرمایی در کشور گزارش شد. اردیبهشت ۱۴۰۴ گرمترین اردیبهشت در ۵۰ سال اخیر بود. افزایش وقوع بارش های سیل آسا، وزش بادهای شدید و امواج گرمایی طولانی مدت در کنار زیر ساخت های فرسوده و عدم مدیریت بهینه در تغییر کاربری اراضی خسارات و تلفات ناشی از بحران جوی را به شدت افزایش می دهد.

تمامی این اطلاعات بر اساس داده ای جمع آوری شده در سازمان هواشناسی کشور و داده های بازتحلیل بدست آمده اند که ضرورت توسعه شبکه دیدبانی وضع هوا و اقلیم را توجیه می کند.

## ۵. نتیجه گیری

تغییر اقلیم به موجب افزایش گازهای گلخانه ای یکی از مهمترین چالش های پیش روی جهان امروز است. حیات بسیاری از موجودات زنده دریایی با افزایش نامتعارف دما به خطر افتاده است. این شرایط، همچنین، پیامدهای اقتصادی و اجتماعی گسترده ای به دنبال دارد. افزایش وقوع سیلابها، خشکسالی ها، توفانها، امواج گرمایی و غیره، به ویژه در

- ites/default/files/resources/files/GRFC2024-MYU-en.pdf.
- Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P. et al. ERA5 Monthly Averaged Data on Single Levels from 1940 to Present; Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2023. <https://doi.org/10.24381/cds.f17050d7>
  - Friedlingstein, P.; O'Sullivan, M.; Jones, M. W. et al. Global Carbon Budget 2024. Earth System Science Data 2024 [preprint], <https://doi.org/10.5194/essd-2024-519>.
  - Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET). El Niño and Precipitation; Agroclimatology Fact Sheet Series; Vol. 1; 2020.
  - GISTEMP Team, 2022: GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4., NASA Goddard Institute for Space Studies, <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.
  - Lenssen, N.; Schmidt, G.; Hansen, J. et al. Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model., Journal of Geophysical Research: Atmospheres 2019, 124 (12), 6307-6326. <https://doi.org/10.1029/2018JD029522>.
  - Huang, B.; Yin, X.; Menne, M. J. et al. NOAA Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 6.0.0. NOAA National Centers for Environmental Information, 2025. <https://doi.org/10.25921/rzxc-p717>.
  - Piecuch, C. G.; Quinn, K. J. El Niño, La Niña, and the Global Sea Level Budget. Ocean Science 2016, 12, 1165-1177. <https://doi.org/10.5194/os-12-1165-2016>.
  - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Masson-Delmotte, V; Zhai, P.; Pirani, A. et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA, 2021. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
  - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.,

گذاری در تولید انرژیهای پاک به خصوص در کلاتشهرها همانند شهرهای توسعه یافته دنیا از اصلی ترین برنامه های این اقدام است. احیای زیست بومها با کاشت گونه های گیاهی مقاوم به خشکی و احیای تالابها برای مقابله با گردوخاک پیشنهاد بسیار منطقی است. بازنگری در پروژه های توسعه بر اساس توان زیست محیطی مناطق از ضروریات است. آگاهی بخشی عمومی با آموزش جامعه برای کاهش مصرف آب و انرژی و رویارویی با امواج گرمایی نیز باید در دستور کار قرار گیرد. چشم انداز اقلیمی پیش رو، ترکیبی از افزایش دما، الگوهای بارشی ناپایدار و آغاز چالش برانگیز سالهای آبی پیش رو را نشان می دهد. ترکیب امواج گرمایی و رخداد خشکسالی های گسترده، شدید، ممتد و خزنده، عواقب ناخوش آیندی مانند توسعه بیابانها و تشدید توفانهای گرد و خاک و افزایش احتمال آتشسوزی جنگلهای غرب و شمال کشور را در پی دارد. ایران، امروز در خط مقدم تغییرات اقلیمی قرار دارد. رخداد های آب و هوایی پیش گفته در کنار فقدان مدیریت کارآمد در کنترل مصارف منابع، کشور را به سمت سناریوهای فاجعه باری سوق می دهد که مهار آنها تنها با عزم ملی و تفاهم و همکاری منطقه ای - بین المللی ممکن است. بی اعتنایی به این هشدارها، نه تنها امنیت زیست محیطی، بلکه ثبات اجتماعی و اقتصادی ایران را به خطر می اندازد. زمان اقدام اکنون است. در این راستا، پایش وضع هوا و اقلیم که از وظایف اصلی سازمانهای هواشناسی در سراسر دنیا است می تواند اطلاعات جامعی در خصوص دیدبانی مولفه های اصلی اقلیم در اختیار تصمیم گیران قرار دهد.

## منابع

- Cheng, L.; von Schuckmann, K.; Abraham, J. P. et al. Past and Future Ocean Warming. Nature Reviews Earth & Environment 2022, 3, 776-794. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00345-1>.
- Dinneen, J. Another Extreme Low for Antarctic Sea Ice Signals a Permanent Shift. New Scientist, 12 September 2024. <https://www.newscientist.com/article/2447700>. <https://www.fsinplatform.org/s>

- <http://www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/version/3/>.
17. National Center for Climate and Drought Crisis Management and the National Meteorological Organization, <http://ndc.irimo.ir>.
  18. Piecuch, C. G.; Quinn, K. J. El Niño, La Niña, and the Global Sea Level Budget. *Ocean Science* 2016, 12, 1165–1177. <https://doi.org/10.5194/os-12-1165-2016>.
  19. Rantanen, M.; Laaksonen, A. The Jump in Global Temperatures in September 2023 is Extremely Unlikely Due to Internal Climate Variability Alone. *npj Climate and Atmospheric Science* 2024, 7. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00582-9>.
  20. Rohde, R. A.; Hausfather, Z. The Berkeley Earth Land/Ocean Temperature Record. *Earth System Science Data* 2020, 12 (4), 3469–3479. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3469-2020>.
  21. Thiem, H. Multi-year Drought and Heat Waves Across Mexico in 2024; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 22 July 2024. <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/multi-year-drought-and-heat-waves-across-mexico-2024> drought .
  22. Verma, K. K., Song, X. P., Kumari, A., Jagadesh, M., Singh, S. K., Bhatt, R., Singh, M., Seth, C.S. and Li, Y.R. and Li, Y. R. (2025). Climate change adaptation: challenges for agricultural sustainability. *Plant, Cell & Environment*, 48(4), 2522-2533.
  23. Von Schuckmann, K.; Minière, A.; Gues, F. et al. Heat Stored in the Earth System 1960–2020: Where Does the Energy Go? *Earth System Science Data* 2023, 15 (4), 1675–1709. <https://doi.org/10.1029/2012GL051106>.
  24. von Schuckmann, K.; Moreira, L.; Cancet, M. et al. The State of the Global Ocean. In: Copernicus Ocean State Report, 8th edition; von Schuckmann, K.; Moreira, L.; Grégoire, M. et al., Eds.; Copernicus Publications, 2024. <https://doi.org/10.5194/sp-4-osr8-1-2024>.
  25. WCRP Global Sea Level Budget Group. Global Sea-level Budget 1993–present. *Earth System Science Data* 2018, 10, 1551–
  - Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Pö rtner, H.-O.; Roberts, D. C.; Tignor, M. et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA, 2022. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
  10. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate; Pö rtner, H.-O.; Roberts, D. C.; Masson-Delmotte, V. et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA. 2019. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>.
  11. Kosaka, Y.; Kobayashi, S.; Harada, Y. et al. The JRA-3Q Reanalysis. *Journal of the Meteorological Society of Japan, Ser. II* 2024, 102 (1), 49–109. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2024-004>.
  12. Levitus, S.; Antonov, J. I.; Boyer, T. P. et al. World Ocean Heat Content and Thermosteric Sea Level Change (0–2000 m), 1955–2010. *Geophysical Research Letters* 2012, 39 (10). <https://doi.org/10.1029/2012GL051106>.
  13. Minière, A.; von Schuckmann, K.; Sallée, J.-B. et al. Robust Acceleration of Earth System Heating Observed over the Past Six Decades. *Scientific Reports* 2023, 13, 22975. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49353-1> .
  14. Montzka, S. A. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI); National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Earth System Research Laboratories Global Monitoring Laboratory, 2024. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
  15. Morice, C. P.; Kennedy, J. J.; Rayner, N. A. et al. An Updated Assessment of Near-Surface Temperature Change From 1850: The HadCRUT5 Data Set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2021, 126 (3), e2019JD032361. <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>. HadCRUT.5.0.2.0 data were obtained from <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5> on 19 January 2025 and are © British Crown Copyright, Met Office 2025, provided under an Open Government Licence,

۲۹. سرائی تبریزی، م.، محمدیان خراسانی، ش.، میرزایی، م. و اسمعیل‌زاده هنجنی، ا. ۱۴۰۲. مباحث کاربردی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب (تألیف). نشر علمی و دانشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۳۲۵ صفحه.

۳۰. سوری نژاد، ع.، ۱۳۹۹: ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی تجدیدپذیر سی حوضه آبریز کشور، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۲، شماره ۳، ۳۵۱-۳۷۳.

1590. <https://doi.org/10.5194/essd-10-1551-2018>.

26. World Meteorological Organization (WMO)., No. 1368, 2025: State of Global Climate.; WMO: Geneva, 2025.

27. World Meteorological Organization (WMO). WMO Greenhouse Gas Bulletin, No. 20: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2023; WMO: Geneva, 2024.

۲۸. پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۴۰۳: گزارش سوانح و حوادث سال ۱۴۰۳.