

Analysis of Monthly Precipitation and Temperature Anomalies in Iran and Their Association with Atmospheric Circulations during Autumn and Winter 2024-2025

Ranjbar Saadat Abadi, A. 

Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran.

Corresponding Author E-mail: aranjbar@gmail.com

(Received: 30 April 2025, Revised: 6 May 2025, Accepted: 29 July 2025, Published online: 20 Sep 2025)

Summary

Iran, situated within arid and semi-arid regions due to its geographical and general atmospheric circulation characteristics, has experienced intensified climatic extremes over recent decades. Extreme temperature variability and erratic precipitation patterns define these zones, but the past two decades have witnessed unprecedented drought frequency, severity, and their spatial extents. The autumn and first half of winter 2024–2025 stood out as exceptionally dry and warm, as revealed in this study.

Utilizing monthly data from 179 synoptic stations spanning 1951 to February 2025, alongside NCEP/NCAR reanalysis datasets (including sea-level pressure, geopotential heights at 850 mb, 700 mb, 500 mb, and 200 mb, and 200 mb wind components), this research calculated annual climatic indices for precipitation and temperature. Five-month averages (October–February) were analyzed to assess trends across two periods: 1951–2024 and 1991–2024. To evaluate the anomalous conditions of 2024–2025, monthly temperature and precipitation data were chronologically ranked within these sequences, and a spatiotemporal variation was derived by comparing station-level deviations against long-term averages.

Composite maps of monthly sea-level pressure and geopotential height, stratified into three layers (1991–2020 climatic averages, Study period (October 2024–February 2025), and anomalies), were analyzed alongside the 200 hPa jet stream dynamics. This approach identified spatial shifts in high/low-pressure systems and alterations in jet stream patterns, elucidating how atmospheric dynamics influenced nationwide precipitation and temperature distributions.

The analysis revealed pronounced climatic shifts during autumn and winter 2024–2025. Precipitation Changes (PC) ranged spatially from -91.27% to +40.37%, with 90% of stations reporting negative deviations. Monthly negative PC exceeding -50% thresholds are affected 70% (October), 81% (November), 95% (December), 94% (January), and 71% (February) of stations. Concurrently, 79% of stations recorded temperature increases, peaking at +2.05°C in November 2024. The five-month average temperature exceeded climatic norms by +1.8°C, with January 2025 and November 2024 exhibiting maximum warming, while February 2025 showed relative cooling.

These anomalies are correlated with Northern Hemisphere atmospheric shifts. The Icelandic Low (strengthened except in November [+13 mb]) and Aleutian Low (intensified in December/February [-13 mb over the North Pacific] but weakened in October/January [+13 mb over the eastern Pacific and western U.S.]) interacted with Siberian, Azores, and Canadian Highs under meridional anomaly regimes. Persistent geopotential ridges extended from Northwest Africa to Western Europe and Greenland, accompanied by positive anomalies over Europe and North America. This pattern is intensified in January 2025, the third-driest month in 74 years, with amplified ridges over the eastern North Pacific, eastern Atlantic jet stream, and Indian subcontinent. The November 2024 subtropical ridge expansion from the Bab-el-Mandeb Strait to Northern Iran (+500 hPa anomalies) resulted in the second-hottest month on record.

The clockwise rotation of the North Atlantic Jet Stream axis (shifted from SW-NW to W-E) induced severe contour gradients south of the Icelandic Low, and enhanced westerlies over the southwestern North Atlantic and 20°N–35°N latitudes, and suppressed Mediterranean transient eddies, collectively reducing precipitation over Iran. The convergence of long-term trends (declining precipitation and persistent warming) with anomalous atmospheric patterns has exacerbated aridity and temperature extremes across the Middle East, underscoring the compound impacts of climate change and atmospheric variability on regional hydroclimatic regimes.

Keywords: Precipitation deficit, temperature anomalies, jet stream dynamics, Mediterranean trough suppression, Iran.

Cite this article: Ranjbar Saadat Abadi, A. (2025). Analysis of Monthly Precipitation and Temperature Anomalies in Iran and Their Association with Atmospheric Circulations during Autumn and Winter 2024-2025. *Journal of the Earth and Space Physics*, 51(2), 477-498. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2025.394264.1007684>



© Authors Retain the Copyright and Full Publishing Rights.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2025.394264.1007684>

Print ISSN: 2538-371X
Online ISSN: 2538-3906

تحلیل بی‌هنجاری‌های ماهانه بارش و دمای ایران و الگوهای فشاری همراه شده با آن در

پاییز و زمستان ۱۴۰۳

عباس رنجبر سعادت‌آبادی[✉]

پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: aranjbar@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۴/۲/۱۰، بازنگری: ۱۴۰۴/۲/۱۶، پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۵/۷، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۶/۲۹)

چکیده

تحلیل داده‌های ماهانه دمای هوا و بارش ۱۷۹ ایستگاه همدیدی و داده‌های بازتحلیل، بیانگر خشکسالی بی‌سابقه ایران در پاییز و زمستان ۱۴۰۳ است. بارش پنج ماهه (اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵) نسبت به دوره اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ با کاهش ۳۷/۲ درصدی (۷۵/۷ میلی‌متر) و دمای آن با افزایش $1/8^{\circ}\text{C}$ همراه بود. روند بلندمدت ۶۰ ساله نیز روند کاهشی بارش ($-0/103\text{mm/yr}$) و افزایشی دما ($+0/033^{\circ}\text{C/yr}$) را نشان می‌دهد. در ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه به ترتیب حدود ۷۰، ۸۱، ۹۵، ۹۴ و ۷۱ درصد ایستگاه‌ها، درصد تغییرات بارش منفی را گزارش کرده‌اند، که نشانه‌ای از خشکسالی شدید و فراگیر است. ژانویه ۲۰۲۵ سومین ژانویه خشک در ۷۴ سال اخیر بود، در حالی که نوامبر ۲۰۲۴ با بی‌هنجاری دمایی $+2/05^{\circ}\text{C}$ پس از سال‌های ۲۰۲۳ و ۱۹۹۸ سومین نوامبر گرم این دوره بوده است. طی دوره مورد مطالعه، گسترش سامانه‌های پرفشار از دو محور، فلات تبت به سمت ایران و اروپا به سمت مدیترانه، همراه با تقویت پراارتفاع جنب حاره، افزایش بادهای غربی ترازهای زیرین و ردسپهر، بی‌هنجاری‌های مثبت قوی فشار سطح دریا و ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی اروپا و دریای مدیترانه قابل ملاحظه بوده است. چرخش ساعتگرد محور جت اطلس شمالی نسبت به شرایط اقلیمی آن، افزایش بادهای غربی شدید در عرض‌های جغرافیایی جنب حاره و ارتقای همرفت در اقیانوس هند از مهم‌ترین ویژگی‌های الگوهای بزرگ مقیاس غالب بوده است که مجموع این عوامل، شرایطی جوی را ایجاد کرد که مانع فعالیت و عمیق شدن ناوه‌های ارتفاعی به عرض‌های جنوبی‌تر، به‌ویژه بر روی دریای مدیترانه طی این مدت شده است.

واژه‌های کلیدی: کاهش بارش تجمعی، بی‌هنجاری‌های دمایی، دینامیک جت، ناوه مدیترانه، ایران.

۱. مقدمه

می‌باشد. برای نمونه پیل و همکاران (۲۰۰۴) تغییرات بارش را متأثر از موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی محلی دانسته‌اند و هایلک و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر همزمان فاصله از منابع آبی و پوشش گیاهی را بر توزیع بارش مؤثر دانسته‌اند. الگوهای فصلی بارش که زیرایف (۲۰۰۴)، (۲۰۰۶) آنها را متأثر از نوسانات سالانه دمای هوا و تابش خورشیدی می‌داند، تحت تأثیر تغییرپذیری داخلی سامانه اقلیم قرار دارد.

مطالعات انجام شده در ارتباط با تغییرات بارش در ایران و دیگر مناطق را می‌توان به چند دسته کلی، از قبیل موارد زیر طبقه‌بندی کرد:

- بررسی رخداد‌های فرین (بارش‌ها و خشکسالی‌های

کشور ایران به دلیل شرایط جغرافیایی و گردش کلی جو جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان است. تغییرات شدید دمایی و به‌ویژه بارش یکی از ویژگی‌های مهم این مناطق به‌شمار می‌روند اما طی دو دهه اخیر بسامد، شدت و وسعت خشکسالی چشمگیر بوده است که پاییز و نیمه اول زمستان ۱۴۰۳ یکی از دوره‌های بسیار خشک و گرم بوده که در این مطالعه بررسی شده است. بارش به‌عنوان عنصری کلیدی در سامانه اقلیمی زمین، از طریق سازوکارهای پیچیده انتقال قائم و افقی جرم و انرژی شکل می‌گیرد. ویژگی‌های بلندمدت بارش در مقیاس جهانی و منطقه‌ای نشان‌دهنده ناهمگنی مکانی و پیچیدگی‌های عوامل و گردش‌های جوی مؤثر در تغییرات بارش در نواحی مختلف

مدت یا فراوانی دوره‌های خشک و تر و تغییرات آنها (هافمن و همکاران (۲۰۱۶)، محمودی و همکاران (۲۰۲۱)، سینگ و همکاران (۲۰۱۴)، زولینا و همکاران (۲۰۱۳)، راتان و ونوگوپال (۲۰۱۳)، پاتووریو همکاران (۲۰۱۴)؛ کالیرو و کاسکارلی، (۲۰۲۰)).

نتایج حاصل از این مطالعات به ارتباط بارش‌ها با برخی از دورپیوندها از جمله تغییر فازهای انسو، فازهای مختلف MJO، فازهای بحرانی EA-WR، مسیرهای توفان اطلس و مدیترانه، ناوه مدیترانه، ادغام کمفشار دینامیکی واقع در شرق مدیترانه و کمفشار گرمایی سودان، پرفشار واقع بر روی شبه‌جزیره عربستان، پرفشارهای سیبری و آزرورز، چرخندهای دو مرکز شرق مدیترانه و شمال دریای سرخ اشاره شده است. برای نمونه رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی داده‌های ۱۰ ایستگاه طی ۱۹۸۱-۲۰۱۰ دریافتند تقویت پرفشار بر اروپا همراه با ناوه عمیق مدیترانه‌ای، الگوی جوی غالب در دوره‌های خشک غرب ایران است. محمودی و همکاران (۱۴۰۱) در تحلیل داده‌های ۴۳ ایستگاه طی ۱۹۷۶-۲۰۰۹، استقرار همزمان کمفشار بر دریای سرخ و پرفشار بر اروپا را عامل خشکسالی‌های فراگیر شناسایی کردند. معتمدی و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که روندهای کاهشی بارش ایران از ۲۰۰۹ به بعد قابل‌توجه بوده است. بهرامی و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که تغییر فازهای ENSO (به‌ویژه استقرار لانیای ضعیف پس از النینوی قوی) با ایجاد بی‌هنجاری‌های فشار و گردش جو، نقش کلیدی در کاهش شدید بارش پاییزه ایران دارد. آنها نتیجه گرفتند که تقویت پرفشار سیبری، گسترش پرارتفاع جنب‌حاره‌ای بر روی عربستان و شمال آفریقا، گسترش شرق‌سوی پرفشار آزرورز و تضعیف کمفشار ایسلند از عوامل مؤثر بر کاهش بارش ایران در این گونه شرایط بوده است. نتایج مطالعه ایران‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸) بر رابطه بین الگوهای چرخندزایی مدیترانه و بارش سالانه ایران (۲۰۰۲-۱۹۶۰) نشان داد که چرخندهای دو مرکز شرق مدیترانه و شمال دریای سرخ بیشترین تأثیر مکانی بر بارش ایران داشته‌اند، به‌طوری‌که فراوانی چرخندهای مراکز شرق مدیترانه و شمال دریای

شدید). اغلب این مطالعات برای بررسی‌های همیدی-دینامیکی الگوهای جوی و یا شبیه‌سازی عددی برای رخدادهای موردی در یک منطقه (رنجبر سعادت‌آبادی و مرادی (۱۳۹۷)، خان‌سالاری و همکاران، (۲۰۲۱)، مرادی و رنجبر سعادت‌آبادی (۱۳۹۸-الف و ب)، مرادی و رنجبر سعادت‌آبادی (۱۳۹۹)، محمودی و همکاران (۱۴۰۱)، رنجبر سعادت‌آبادی و امینی (۱۳۸۹)، و راستگو و رنجبر سعادت‌آبادی (۱۳۹۷)) و یا بررسی‌های آماری طولانی مدت برای یک منطقه وسیعتر (بیجندی و همکاران (۱۴۰۰)، حاجی محمدی و همکاران (۱۳۹۳)، خوش اخلاق (۱۳۷۶)، خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۱)، احمدی گیوی و همکاران (۱۳۸۹) و موسوی بایگی و اشرف (۱۳۹۰)) انجام شده است.

- مطالعه همبستگی و ارتباط بین بی‌هنجاری‌های دمای سطح دریا و (SST) و تغییرات بارش در مناطق مختلف، برای نمونه می‌توان به مطالعات، رنجبر سعادت‌آبادی و ایزدی (۱۳۹۲)، رسولی و همکاران (۱۳۹۰)، پاولینگ و همکاران (۲۰۰۶) اشاره کرد.

- مطالعات مرتبط با اثرات دورپیوندی و الگوهای جوی و بارش، از قبیل بهرامی و همکاران (۲۰۲۱)، محمدپور و همکاران (۱۴۰۲)، جمشیدی و همکاران (۱۳۹۹)، بهرامی و همکاران (۱۳۹۸) و (۲۰۲۱)، احمدی گیوی و پرهیزکار (۱۳۸۷) و فنایی و همکاران (۱۳۹۸).

- مطالعاتی که نقش گردش‌های جوی و ساز و کار، تأثیرپذیری الگوهای بارش از نوسانات گردش جوی را بررسی کردند (آرازنی و همکاران (۲۰۲۱)، لشکری و محمدی (۱۳۹۴)، محمدنژاد و همکاران (۱۳۸۸)، نصرافهانی (۱۳۸۲)، تواردوز و همکاران (۲۰۱۱)، کوجوچوفسکی (۱۹۹۳)، ویبیک (۱۹۹۹).

- مطالعات انجام‌شده در خصوص مسیرهای توفان و شار فعالیت موج (بهرامی و همکاران (۱۳۹۷)، احمدی گیوی و همکاران (۲۰۱۳)، نصرافهانی و همکاران (۲۰۱۱).

- بررسی روندهای بارش در دوره‌های مختلف که بیانگر کاهش بارش در بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی طی دو دهه اخیر (یاراحمدی و همکاران، (۱۳۹۸). ۷- بررسی آماری

سرخ، همبستگی معناداری با بارش ۸۵٪ مساحت ایران (به جز جنوب شرق و مرکز) دارد.

تغییرات بارش به عوامل متعددی، از شرایط جغرافیایی و محلی تا اثرات دورپیوندی از قبیل، IOD، MJO، ENSO، QBO، AO، EA-WR، NAO، که اغلب به صورت غیرخطی با یکدیگر برهمکنش داشته، بستگی دارد، اما براین نقش این عوامل می تواند در تغییرات الگوهای جوی، به ویژه کم فشار دینامیکی و تغییرات وضعیت ناوهای، که تعیین کننده تغییرات بارش ها در عرض های میانی هستند تا حد بسیار زیادی آشکار شود. بر این اساس و با توجه به این که مطالعات قبلی بیشتر به صورت مطالعات موردی و یا برای یک منطقه خاص و یا با لحاظ یکی از عوامل تأثیرگذار بر تغییرات بارش بوده است در این پژوهش سعی شده با بررسی بی هنجاری های ماهانه بارش و دمای هوا در ۱۷۹ ایستگاه سینوپتیک طی دو بازه زمانی (اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵ و دوره ۶۰ ساله ۱۹۶۴-۲۰۲۴) نسبت به دوره اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰، و تحلیل میدان های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۵۰۰، ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال و میدان باد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال در ماه های اکتبر، نوامبر و دسامبر ۲۰۲۴ و ژانویه و فوریه ۲۰۲۵، در پی شناسایی الگوهای جوی مؤثر بر تغییرات مشاهده شده، به طور عمیق تر پرداخته شود. لذا این مطالعه ضمن بررسی درصد تغییرات بارش و دما در ایستگاه های مورد مطالعه، تلاش می کند با بررسی تغییرات میدان های هواشناختی مؤثر بر این تغییرات در مقیاس نیم کره ای، شکاف تحقیقاتی موجود در زمینه تحلیل زمانی، بی هنجاری الگوهای جوی و تغییرپذیری اقلیمی را پر کند.

۲. داده ها و روش تحقیق

در این مطالعه برای بررسی تغییرات بارش و دمای هوا از داده های ماهانه ۱۷۹ ایستگاه همدید، طی دوره ۱۹۵۱ تا فوریه ۲۰۲۵ و برای بررسی الگوهای جوی و بی هنجاری آنها در مقیاس نیم کره ای، از داده های ماهانه فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۵۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال و باد تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال، مرکز

NCEP/NCAR طی دوره اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ و ماه های اکتبر، نوامبر، دسامبر ۲۰۲۴ و ژانویه و فوریه ۲۰۲۵ استفاده شده است.

با توجه به این که سازمان جهانی هواشناسی از یک گروه بندی سه ماهه به صورت: مارس، آوریل و می برای فصل بهار، ژوئن، ژوئیه و اوت برای تابستان، سپتامبر، اکتبر و نوامبر برای پاییز؛ و دسامبر، ژانویه و فوریه برای زمستان، برای فصول هواشناسی استفاده می کند و در سپتامبر تقریباً در اکثر مناطق ایران، فاقد بارش است، در این مطالعه ماه های اکتبر و نوامبر برای فصل پاییز و دسامبر، ژانویه و فوریه برای فصل زمستان باشد، از این رو، دوره پنج ماهه، اکتبر تا فوریه را به عنوان پاییز و زمستان در نظر گرفته شده است. بر این اساس ابتدا داده های ماهانه بارش و دمای هوای ۱۷۹ ایستگاه هواشناسی، برای ماه های فوق طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۲۵، دریافت و پس از کنترل آنها، مراحل زیر انجام شد:

- در هر سال، متوسط ماهانه بارش و دمای هوای ۱۷۹ ایستگاه محاسبه شد و به عنوان شاخص بارش یا دمای هوای آن ماه در نظر گرفته شد.

- متوسط کل پنج ماه در هر سال محاسبه و روند تغییرات بارش و دمای هوای این دوره محاسبه شد.

- طی دوره های ۱۹۵۱-۲۰۲۴ و ۱۹۹۱-۲۰۲۴، برای هر یک از ماه های مورد مطالعه، مقادیر ماهانه دما و بارش از کم به زیاد مرتب شده و سپس رتبه بارش و دمای ماه های اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵ در هریک از سری های زمانی مرتب شده، تعیین شد.

- نمایه درصد تغییر ماهانه کمیت های بارش و دمای هوا در پاییز و زمستان ۱۴۰۳ برای همه ایستگاه های مورد مطالعه بر اساس رابطه زیر محاسبه و بررسی شد:

$$PG_i = \frac{(m_i - M)}{|M|} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، PG_i درصد تغییر، m_i مقدار ماهانه یکی از فراسنج های بارش و دما و M مقدار میانگین همان فراسنج در دوره اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ برای همان ماه و $|M|$ قدر مطلق آن است.

- با استفاده از داده های تحلیل مجدد NCEP/NCAR،

داده شده است. متوسط دمای پاییز و زمستان کشور در دوره ۳۰ ساله اول (۱۹۶۵-۱۹۹۴) در بیشتر سال‌ها کمتر از متوسط ۶۰ ساله بوده اما در دوره ۳۰ ساله دوم (۱۹۹۵-۲۰۲۴)، تعداد سال‌هایی که متوسط دمای آنها بیش از میانگین ۶۰ ساله بوده است قابل ملاحظه می‌باشد. این در حالی است که تغییرات بارش در این دوره بر عکس تغییرات دما بوده است (شکل ۱). طی این دوره ضریب همبستگی بین این دو کمیت، -0.31 بوده است و بارش روند کاهشی (حدود 0.1 میلی‌متر در سال) و دمای هوا روند افزایشی (حدود 0.3 درجه سلیسوس در سال) داشته است. کمینه (پیشینه) بارش و دمای هوا طی این دوره به ترتیب به مقدار 22.8 میلی‌متر در سال ۱۹۹۶ (۶۰ میلی‌متر در سال ۱۹۶۸) و 7.2 درجه سلیسوس در سال ۱۹۸۲ (12.3 درجه سلیسوس در سال ۲۰۲۳) و این مقادیر در پنج ماهه اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵، 24.4 میلی‌متر و 10.4 درجه سلیسوس و متوسط کل دوره ۶۰ ساله 40.3 میلی‌متر و 9.7 درجه سلیسوس بوده است. برای بررسی تغییرات بارش و دمای ماهانه دوره مورد مطالعه، میانگین ایستگاهی بارش و دمای ایستگاهی برای هر سال طی دوره‌های ۱۹۵۱-۲۰۲۴ و ۱۹۹۱-۲۰۲۴، محاسبه، سپس برای هریک از ماه‌های مورد مطالعه، مقادیر از کم به زیاد مرتب شده و در نهایت رتبه بارش و دمای ماه‌های اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵ در هر یک از سری‌های زمانی مرتب شده، تعیین شد.

نقشه‌های ماهانه فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰، ۵۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال، جت استریم‌های تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال و ضخامت لایه بین ۵۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال، برای ماه‌های اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵ و بی‌هنجاری کمیت‌های فوق نسبت به مقادیر مشابه دوره اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ محاسبه و تحلیل شد.

با توجه به این که ضخامت لایه بین ۵۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال طبق معادله ۲، ارتباط مستقیمی با دمای این لایه از جو دارد.

$$Thic = z_{500} - z_{1000} = \frac{2R_a}{g} \bar{T} \quad (2)$$

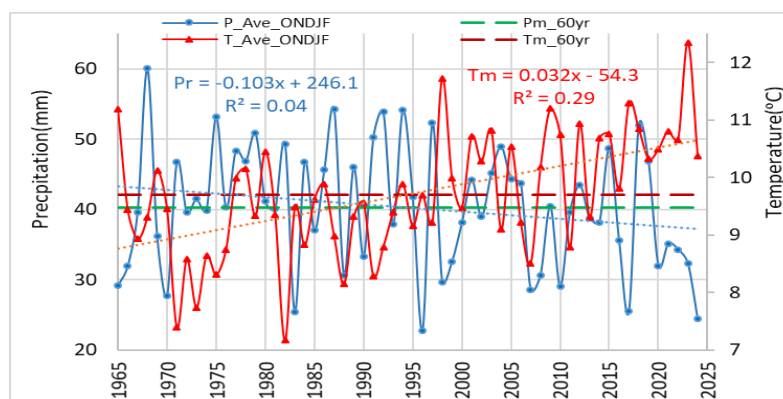
که در این رابطه R_a ، ثابت جهانی گاز، g ، شتاب گرانش و $\bar{T}$ ، متوسط لایه دمای بین دو سطح فشاری است، در نتیجه ضخامت لایه بین دو سطح فشاری متناسب با متوسط دمای آن لایه است.

سپس برای همه کمیت‌های بالا، نقشه‌های ترکیبی از میانگین اقلیمی ۳۰ ساله کمیت‌های فوق، مقادیر مشابه در پاییز و زمستان ۱۴۰۳ و بی‌هنجاری آنها، رسم، و تغییرات شدت و جابه‌جایی مکانی الگوهای فشاری نسبت به شرایط معمول ارزیابی شد.

۳. بحث و نتایج

۳-۱. تغییرات بارش و دمای هوای کشور

تغییرات متوسط پنج ماهه (از اکتبر تا فوریه) بارش و دمای هوا طی دوره ۶۰ ساله (۱۹۶۵-۲۰۲۵) در شکل زیر نشان



شکل ۱. تغییرات بارش و دمای پاییز و زمستان (دوره پنج ماهه اکتبر تا فوریه)، منحنی توپر قرمز، خط نقطه‌چین و خط‌چین به ترتیب تغییرات دما، روند تغییرات و متوسط ۶۰ ساله دما و به همین ترتیب منحنی آبی، خطوط نقطه‌چین آبی و خط‌چین سبز به ترتیب تغییرات بارش، روند تغییرات و متوسط ۶۰ ساله بارش را نشان می‌دهد.

گسترده‌ای در بخش‌های مختلف داشته باشد. در ارتباط با مقوله گرمایش جهانی، برای بررسی این که آیا متوسط‌های ماهانه بارش و دما در دهه‌های اخیر تغییرات قابل توجهی داشته است، این تغییرات برای دوره ۳۴ ساله اخیر (۱۹۹۱-۲۰۲۴) نیز بررسی شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. مقایسه تغییرات ماهانه بارش و دمای هوا در دو دوره فوق نشان می‌دهد که رکورد کمینه بارش در ماه‌های دسامبر و ژانویه و بیشینه بارش ماه‌های نوامبر، دسامبر و فوریه در این دو دوره تغییر نکرده است اما سایر مقادیر تغییراتی داشته است.

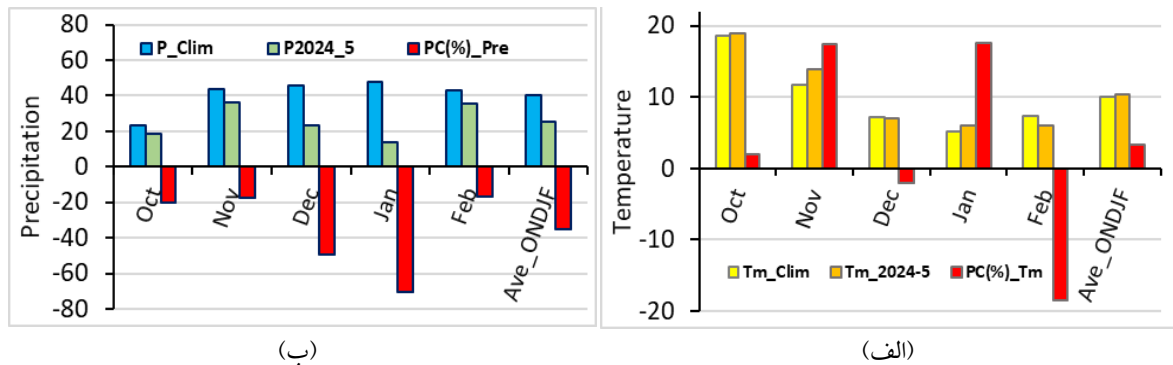
۲-۳. تغییرات ماهانه بارش و دمای هوای کشور در پاییز و زمستان ۱۴۰۳

برای بررسی تغییرات بارش ۵ ماهه (از اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵)، میانگین بارش و دمای هوای ۱۷۹ ایستگاه هواشناسی به صورت ماهانه با مقادیر مشابه دوره اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ مقایسه شد. مقادیر دمای هوا و بارش ماهانه در ۵ ماهه فوق، مقادیر مشابه دوره اقلیمی و همچنین درصد تغییرات این دوره در شکل ۲ نشان داده شده است.

در دوره ۷۴ ساله ۱۹۵۱-۲۰۲۴: در سری زمانی مرتب‌شده از کم به زیاد دوره ۷۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۴)، بارش و دمای هوا در اکتبر ۲۰۲۴، به ترتیب رتبه ۴۰ و ۵۸، به همین ترتیب در نوامبر ۲۰۲۴، رتبه ۴۲ و ۷۲، در دسامبر ۲۰۲۴ رتبه ۸ و ۳۶، در ژانویه ۲۰۲۵ رتبه ۳ و ۵۷ و در فوریه ۲۰۲۵، رتبه ۳۱ و ۳۱ را داشته است (جدول ۱). کوچکی (بزرگی) رتبه در این سری زمانی برای بارش بیانگر دوره خشک (تر) و برای دما دوره سرد (گرم) می‌باشد. برای مثال رتبه بارش ژانویه ۲۰۲۵ که ۳ می‌باشد نشان‌دهنده آن است که طی یک دوره ۷۴ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۵)، مقدار بارش ژانویه ۲۰۲۱ کمترین مقدار (رتبه ۱) یعنی خشک‌ترین ماه ژانویه طی این دوره بوده و بعد از آن ژانویه ۱۹۸۷ (رتبه ۲) بوده است و پس از این دو مورد ژانویه ۲۰۲۵ قرار داشته است. دمای ماه نوامبر ۲۰۲۴ رتبه ۷۲ را داشته است که نشان می‌دهد طی ۷۴ سال اخیر، فقط میانگین دمای نوامبر سال‌های ۲۰۲۳ و ۱۹۹۸، بیش از دمای هوا در نوامبر ۲۰۲۴ بوده است. در این ماه، سال‌های ۲۰۲۳، ۱۹۹۸، ۲۰۲۴ و ۲۰۲۲ رتبه‌های ۱ تا ۴ رکورد بیشینه دما را داشته‌اند این که سه تا از رکوردهای دمایی طی ۷۴ سال گذشته در سه سال اخیر رخ داده است جای تأمل داشته و این موضوع می‌تواند پیامدهای

جدول ۱. کمینه، بیشینه متوسط بارش و دمای ماهانه (از اکتبر تا فوریه) در دوره‌های ۱۹۵۱-۲۰۲۴ و ۱۹۹۱-۲۰۲۴ و مقادیر ماهانه بارش و دما ماه‌های پاییز و زمستان ۵-۲۰۲۴ و رتبه این مقادیر در دو دوره زمانی فوق، علامت "=" به معنی مساوی بودن با دوره ۱۹۵۱-۲۰۲۴ می‌باشد.

دما (°C)					بارش (mm)					۱۹۵۱-۲۰۲۴
اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	ماه
۱۵/۵	۸/۸	۲/۹	-۲/۸	۰/۳	۷/۶	۸/۴	۷/۳	۴/۴	۱/۶	کمینه
۲۰/۶	۱۴/۷	۱۰/۸	۹/۱	۹/۹	۹۰/۸	۱۱۷/۹	۹۷/۳	۱۲۶/۵	۷۰/۴	بیشینه
۱۸/۲	۱۱/۷	۶/۸	۴/۷	۶/۶	۴۱/۶	۴۶/۸	۴۴/۸	۳۹	۲۱/۵	میانگین
۱۹	۱۳/۸	۷	۶/۱	۶	۳۵/۶	۱۴/۱	۱۷/۶	۳۶/۳	۱۸/۴	بی‌هنجاری ۲۰۲۴-۲۰۲۵
۵۸	۷۲	۳۶	۵۷	۳۱	۳۱	۳	۸	۴۲	۴۰	رتبه
دما (°C)					بارش (mm)					۱۹۹۱-۲۰۲۴
۱۶/۸	۹/۴	۳/۸	-۰/۴	۴/۲	۱۵	=	=	۱۰/۱	۵/۹	کمینه
=	=	=	۸/۸	۹/۵	=	۸۸/۹	=	=	۶۲/۶	بیشینه
۱۸/۷	۱۲	۷/۳	۵/۳	۷/۲	۴۲/۱	۴۶/۱	۴۳/۴	۴۲/۷	۲۲/۲	میانگین
۰/۳۶	۲/۰۵	-۰/۱۵	۰/۹۱	-۱/۳۹	-۷/۲۳	-۳۳/۶۴	-۲۲/۶۵	-۷/۵۴	-۴/۶۴	بی‌هنجاری ۲۰۲۴-۲۰۲۵
۲۱	۳۲	۱۵	۲۴	۱۱	۱۵	۲	۵	۱۸	۱۹	رتبه



شکل ۲. میانگین دوره اقلیمی (۲۰۲۰-۱۹۹۱) و ماهانه (از اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵) دمای میانگین (الف) و بارش (ب) ایستگاه هواشناسی و درصد تغییر آنها.

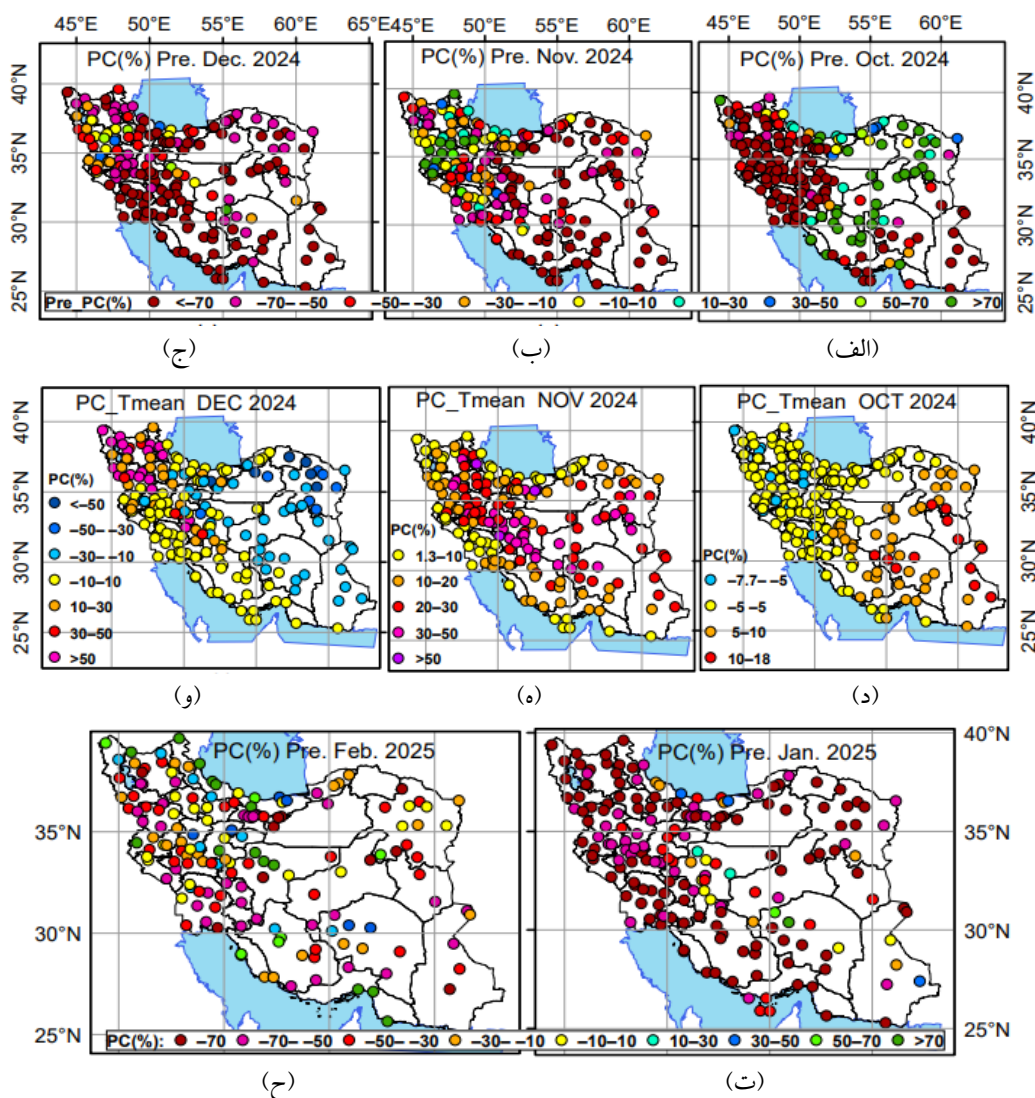
برای ایستگاه هواشناسی در دوره پنج ماهه (از اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵) محاسبه و در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. در شکل ۳ توزیع مکانی درصد تغییرات ماه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. درصد تغییرات بارش در اکتبر ۲۰۲۴، در حدود ۷۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، منفی بوده و در ۶۰ درصد ایستگاه‌ها، درصد تغییرات کاهشی بارش بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد شرایط معمول به‌طوری‌که در بیش از ۳۰ درصد ایستگاه‌های کشور درصد تغییرات ۱۰۰ درصد بوده است. طی دوره پاییز و زمستان ۱۴۰۲، کاهش بارش در بیشتر نقاط کشور از جمله، غرب، شمال غرب، جنوب غرب و جنوب شرق قابل ملاحظه بوده و در مناطق شمال شرق، سواحل جنوبی دریای خزر، مرکز جنوب کشور بارش افزایشی بوده است (شکل ۴-الف). گستره درصد تغییرات دمای هوا در اکتبر ۲۰۲۴، بین ۷/۷- تا ۱۸/۲۸ درصد بوده و در بیش از ۵۵ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، دمای هوا افزایشی بوده است. بیشترین افزایش دما، در این ماه، در نیمه شرقی کشور رخ داده است (شکل ۳-د). درصد تغییرات بارش در نوامبر ۲۰۲۴، در بیش از ۸۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، منفی بوده و در ۴۸ درصد ایستگاه‌ها، درصد تغییرات کاهشی بارش بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد شرایط معمول بوده است (شکل ۳-ب). درصد تغییرات دمای هوا در نوامبر ۲۰۲۴ در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه، مثبت بوده و دمای هوا در این ماه نسبت به شرایط معمول، افزایش قابل توجهی داشته است (شکل ۳-ه). بیشینه افزایش‌ها در ارتفاعات زاگرس رخ داده که

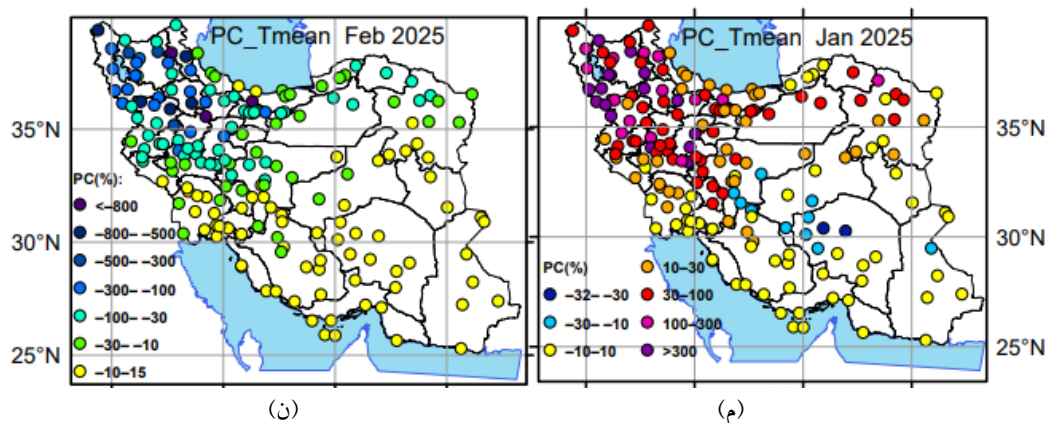
بی‌هنجاری متوسط دمای هوای کشور در ماه‌های اکتبر و نوامبر ۲۰۲۴ و ژانویه ۲۰۲۵، مثبت و در ماه‌های دسامبر و فوریه ۲۰۲۵، منفی بوده و محدوده تغییرات آن طی این دوره، از $-1/36^{\circ}\text{C}$ در فوریه ۲۰۲۵ تا $+2/05^{\circ}\text{C}$ در نوامبر ۲۰۲۴ متغیر بوده است. دمای متوسط پنج‌ماهه مورد مطالعه نسبت به شرایط اقلیمی دوره مشابه، به اندازه $1/8^{\circ}\text{C}$ گرم‌تر بوده که ماه‌های ژانویه ۲۰۲۵ و نوامبر ۲۰۲۴ بیشینه درصد افزایش و فوریه ۲۰۲۵ بیشینه درصد کاهش را داشته است (شکل ۲-الف). در همه این ماه‌ها میانگین بارش ایستگاه‌های کشور، با بی‌هنجاری منفی همراه بوده است (شکل ۲-ب). بیشترین بی‌هنجاری منفی بارش در ماه‌های ژانویه و فوریه رخ داده که مقادیر آنها به ترتیب $33/64\text{mm}$ (از $47/78\text{mm}$ دوره اقلیمی) در ماه ژانویه و $22/65\text{mm}$ (از $45/65\text{mm}$ دوره اقلیمی) در ماه فوریه بوده است و بارش کل ۵ ماهه مورد نظر، با بی‌هنجاری منفی $75/70\text{mm}$ (از $203/10\text{mm}$ دوره اقلیمی) همراه بوده است (شکل ۲-ب). درصد تغییرات بارش در همه ماه‌ها منفی بوده و در ماه‌های ژانویه ۲۰۲۵ و دسامبر ۲۰۲۴ بیشترین درصد کاهشی بارش کشور رخ داده است. با توجه به این که بارش این ماه‌ها اغلب به شکل برف می‌باشد، کاهش شدید آن می‌تواند اثرات بیشتری بر روی منابع آبی داشته باشد.

۳-۲-۱. توزیع مکانی و درصد تغییرات ماهانه بارش و دمای هوای کشور در پاییز و زمستان ۱۴۰۳
برای این منظور درصد تغییرات بارش و دمای هوای ماهانه

ایستگاه‌های مورد مطالعه، درصد تغییرات بارش منفی بوده و مقادیر منفی در بیش از ۸۰ درصد ایستگاه‌ها، بیش از ۵۰ درصد بوده است. تغییرات دمای هوا در بیش از ۶۲ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه مثبت بوده است. بیشترین افزایش دما، در این ماه، در نیمه شمالی کشور، به ویژه نواحی شمال غرب و غرب رخ داده است (شکل ۳-م). درصد تغییرات بارش در فوریه ۲۰۲۵، بین ۱۰۰- تا بیش از ۱۰۰ درصد بوده (شکل ۳-ح) و در این ماه، در ۷۱ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، درصد تغییرات بارش منفی بوده که در ۳۸ درصد ایستگاه‌های کشور، درصد تغییرات منفی بارش، بیش از ۵۰ درصد بوده است. در این ماه کاهش دما در اکثر ایستگاه‌های واقع در نیمه شمالی کشور مشاهده می‌شود به طوری که بیشترین کاهش در نواحی شمال غرب رخ داده است (شکل ۳-ن).

می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای بر منابع طبیعی از جمله آبی و جنگل‌ها و مراتع، کشاورزی و ... داشته باشد (شکل ۳-د). درصد تغییرات بارش نزدیک به ۹۵ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، در دسامبر ۲۰۲۴، منفی بوده و در بیش از ۷۳ درصد ایستگاه‌ها، درصد تغییرات کاهشی بارش بیش از ۵۰ درصد و در ۵۳ درصد آنها بیش از ۷۰ درصد بوده است (شکل ۳-ج). درصد تغییرات دمای هوا در دسامبر ۲۰۲۴ در بیشتر ایستگاه‌های واقع در نیمه شرقی (نیمه غربی) کشور منفی (مثبت) بوده به طوری که بیش از ۵۱ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، درصد تغییرات دما مثبت بوده و نواحی شمال غرب و ارتفاعات زاگرس، بیشینه درصد افزایش دما را داشته است (شکل ۳-و). گستره درصد تغییرات بارش در ژانویه ۲۰۲۵، بین ۱۰۰- تا ۵۵/۲۸ درصد بوده است (شکل ۳-ت). در این ماه، در ۹۴ درصد





شکل ۳. درصد تغییرات بارش ایستگاه‌های هواشناسی در ماه‌های: الف-اکتبر ۲۰۲۴، ب-نوامبر ۲۰۲۴، ج-دسامبر ۲۰۲۴، ت-ژانویه ۲۰۲۵، ح-فوریه ۲۰۲۵ و درصد تغییرات دمای هوا در ایستگاه‌های هواشناسی در ماه‌های: د-اکتبر ۲۰۲۴، ه-نوامبر ۲۰۲۴، و-دسامبر ۲۰۲۴، م-ژانویه ۲۰۲۵ و ن-فوریه ۲۰۲۵

است.

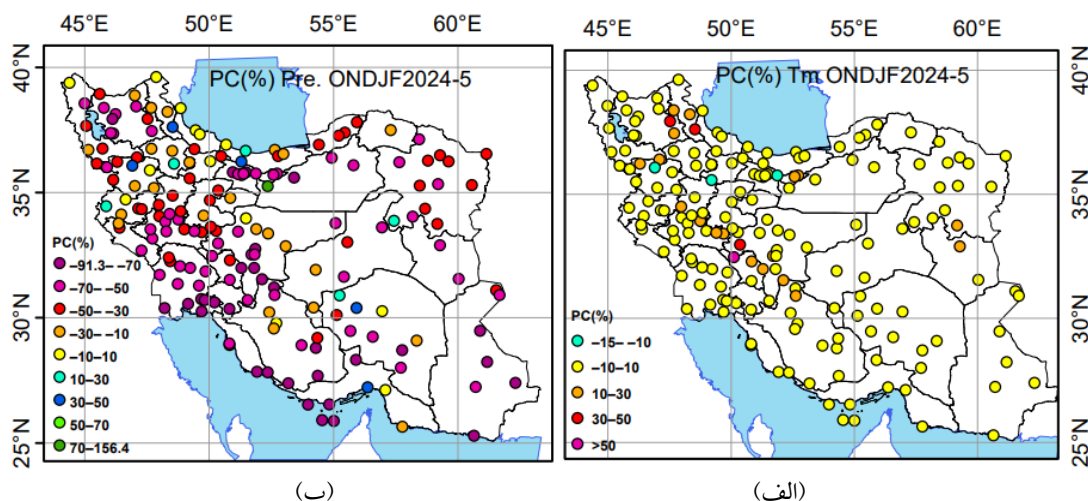
۲-۲-۳. تغییرات بارش و دمای هوای کشور در ۵ ماهه

منتهی به فوریه ۲۰۲۵

گستره درصد تغییرات دمای هوا در در پاییز و زمستان ۱۴۰۳ بین ۱۵/۹۴- تا ۶۸/۶۸ درصد در ایستگاه‌های مورد مطالعه متغیر بوده است (شکل ۴-الف). در حدود ۷۹ (۲۱) درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، درصد تغییرات دمای هوای طی این مدت مثبت (منفی) بوده است که این موضوع بیانگر افزایش قابل ملاحظه و فراگیر افزایش دما، به‌ویژه در پاییز و اوایل زمستان ۱۴۰۳ بوده است. این در حالی است که رخداد سرمای شدید کم سابقه در فوریه ۲۰۲۵ باعث تعدیل دمای این دوره شده است که اگر ماه فوریه لحاظ نشود، در ۹۷ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه، درصد تغییرات دمای هوا در چهار ماهه اکتبر ۲۰۲۴ تا ژانویه ۲۰۲۵ مثبت بوده است. گستره درصد تغییرات بارش در پاییز و زمستان ۱۴۰۳ بین ۹۱/۲۷- تا ۴۰/۳۷ درصد (البته در یک ایستگاه (گرمسار-سمنان)، ۱۵۶/۴۴ درصد بود که در اینجا به دلیل تفاوت قابل ملاحظه درصد تغییرات در نظر گرفته نشده است) بوده است (شکل ۴-ب). در حدود ۹۰ درصد ایستگاه‌ها، درصد تغییرات بارش منفی بوده و این تغییرات منفی در حدود ۷۳ درصد ایستگاه‌ها، بیش از ۳۰ درصد بوده

۳-۳. الگوهای همدیدی ماهانه پاییز و اکتبر ۱۴۰۳

در فصل سرد نیمکره شمالی، چهار سامانه پرفشار و دو سامانه کم‌فشار غالب هستند (آهرنس، ۲۰۱۱). این سامانه‌ها در طول سال به‌طور مداوم وجود دارند، هرچند شدت و گستره نفوذ آنها متغیر است. در شرق اقیانوس اطلس، بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ و ۳۵ درجه شمالی، سامانه پرفشار برمودا-آزورز و در اقیانوس آرام، پرفشار اقیانوس آرام به‌عنوان واچرخنده‌های جنب حاره‌ای شناخته می‌شوند که در پاسخ به همگرایی هوا در ترازهای فوقانی ایجاد می‌شوند. با توجه به سامانه‌های جوی آورده‌شده در شکل‌های ۵ تا ۷، به‌ترتیب میانگین‌های ماهانه فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، ضخامت لایه ۵۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال و میدان باد در تراز ۲۰۰hPa و همچنین بی‌هنجاری‌های آنها نسبت به دوره اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ از اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵ مورد بررسی قرار گرفته است. در تمامی نقشه‌های ترکیبی ارائه‌شده در این زمینه، مقادیر بی‌هنجاری‌ها به‌صورت مناطق رنگی، متوسط اقلیمی به‌صورت پرندهای مشکی، و مقادیر ماهانه مربوط به دوره مورد مطالعه به‌صورت پرندهای رنگی نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴. درصد تغییرات دمای هوا (الف) و بارش (ب) ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی در پاییز و زمستان ۱۴۰۳.

۳-۳-۱. میدان فشار سطح دریا و بی‌هنجاری آن در

پاییز و زمستان ۱۴۰۳

نقشه میانگین دوره اقلیمی (۱۹۹۱-۲۰۲۰) فشار سطح دریا برای ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه و بی‌هنجاری‌های آن در سال ۲۰۲۴ و ژانویه ۲۰۲۵ در شکل ۵ نشان داده شده است. در اکتبر ۲۰۲۴، پرفشار اقیانوس آرام که در شرایط معمول در یک سطح نسبتاً کوچک در محدوده طول و عرض جغرافیایی به ترتیب $100^{\circ}W$ و $30^{\circ}N$ قرار دارد، ۲۴ به‌طور قابل توجهی گسترش یافته و ضمن گسترش به عرض‌های شمالی‌تر در روی اقیانوس آرام، گسترش طولی زیادی داشته است. مرکز کم‌فشار آلودن با جابه‌جایی نسبی به سمت شرق، با کم‌فشار شدید و گسترده‌ای که در اکتبر ۲۰۲۴ بر روی جزیره بافین و محدوده اطراف آن ایجاد شده، ادغام شده است (شکل ۵-الف). در این ماه، کم‌فشار ایسلند با تقویت به سمت شمال شرق، گسترش زیادی یافته است. بی‌هنجاری فشار تراز دریا در اکتبر ۲۰۲۴ نسبت به میانگین اقلیمی آن، نشان‌دهنده افزایش بی‌هنجاری قوی مثبت (تا بیش از ۱۳ میلی‌بار) در نیمه جنوبی کم‌فشار آلودن و دو هسته بی‌هنجاری قوی دیگر، یکی در نواحی جنوب غرب روسیه و دیگری در شمال شرق روسیه است (شکل ۵-الف). همچنین بی‌هنجاری مثبت فشار (حدود ۵ تا ۹ میلی‌بار) در روی ایالات متحده و محدوده پرفشار کانادا، پرفشار برمودا (آزورز)، بخش جنوبی پرفشار سبیری (محدوده فلات

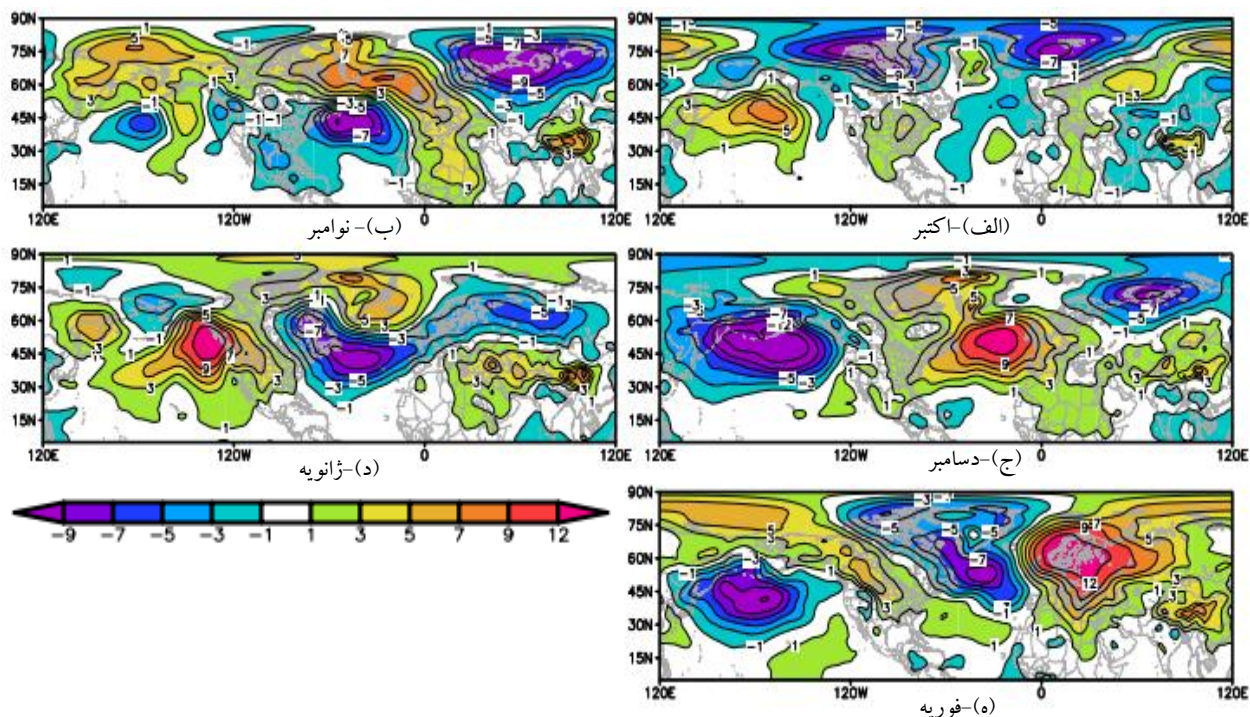
تبت) و بخش شرقی آفریقا و دریای مدیترانه مشاهده می‌شود. به این ترتیب، به نظر می‌رسد در ماه اکتبر ۲۰۲۴ بیشتر فعالیت سامانه کم‌فشار ایسلند و آلودن به سمت شمال شرقی شرایط معمول خود گرایش داشته و بخش‌های مرکزی و شمال شرقی پرفشار سبیری نیز حدود ۲ تا ۳ میلی‌بار نسبت به شرایط معمول ضعیف‌تر بوده است. ماه نوامبر: برای این ماه در دوره اقلیمی، سامانه‌های کم‌فشار ایسلند و کم‌فشار آلودن مشاهده می‌شوند که زبانه سامانه پرفشار سبیری در بین زبانه‌های این دو سامانه کم‌فشار قرار گرفته است (شکل ۵-ب). فشار سطح دریای ماه نوامبر ۲۰۲۴ بیانگر جابه‌جایی قابل ملاحظه کم‌فشار ایسلند است، به‌طوری که هسته مرکزی آن، ضمن جابه‌جایی غرب‌سوی حدود ۱۰ درجه‌ای، از عرض جغرافیایی حدود ۶۰ درجه به عرض حدود ۴۵ درجه منتقل شده و یک سامانه کم‌فشار با پربند بسته شده 1005 hPa بر روی دریای بارنت ایجاد شده است. به نظر می‌رسد در نوامبر ۲۰۲۴ سامانه کم‌فشار ایسلند به دو بخش، یکی در بخش شمال غربی اطلس شمالی و دیگری بر روی دریای بارنت تقسیم شده است (شکل ۵-ب). بی‌هنجاری فشار سطح دریا در ماه نوامبر ۲۰۲۴ بیانگر افزایش قابل ملاحظه فشار در نواحی شمال اقیانوس اطلس (تا بیش از 13 hPa) و با شدت کمتر، از حدود 11 hPa بر روی اروپا تا حدود ۹ تا 5 hPa بر روی دریای مدیترانه و شمال آفریقا می‌باشد. علاوه بر این، بی‌هنجاری قوی مثبت فشار در شمال و بخش مرکزی تا شرقی اقیانوس آرام و

داده است. در این ماه، یک کمربند فشاری گسترده از روی آمریکا، اقیانوس آرام شمالی تا روی اروپا و شرق آسیا مشاهده می‌شود (شکل ۵-ج).

ژانویه: در ژانویه ۲۰۲۵، کم‌فشار ایسلند به سمت جنوب غربی شرایط اقلیمی خود جابه‌جا شده و بی‌هنجاری مثبت قوی فشاری در شمال اقیانوس اطلس بر روی گرینلند و نواحی شمالی آن همراه با بی‌هنجاری منفی شدید در بخش وسیعی از اقیانوس اطلس شمالی مشاهده می‌شود. ادامه این بی‌هنجاری‌های منفی فشار تا روی اروپای شمالی روسیه و نیمه شمالی پرفشار سیبری گسترش یافته است (شکل ۵-د). بی‌هنجاری منفی ضعیف فشار در شمال نواحی مرکزی اقیانوس آرام و بی‌هنجاری مثبت بسیار قوی در بخش شمال غربی اقیانوس آرام شمالی و با شدت کمتر در نواحی جنوبی‌تر، مرکز و شمال غربی آن مشاهده می‌شود که این افزایش فشار سبب محدودتر شدن کم‌فشار آلویشن در ژانویه ۲۰۲۵ شده است. بی‌هنجاری مثبت فشار بر روی فلات تبت، خاورمیانه، دریای سیاه، دریای مدیترانه و بخش‌هایی از شمال شرق آفریقا نیز مشاهده می‌شود (شکل ۵-د).

همچنین بر روی فلات تبت تا حدود ۹ hPa مشاهده می‌شود. بی‌هنجاری قوی منفی فشار در دو منطقه، یکی بین عرض‌های جغرافیایی حدود ۳۵ تا ۴۵ شمالی، بر روی اطلس شمالی و دیگری بر روی دریای بارنت تا دریای کارا برجسته است (شکل ۵-ب).

ماه دسامبر: شرایط اقلیمی ماه دسامبر از نظر سامانه‌های کم‌فشار و پرفشار مشابه شرایط ماه نوامبر بوده، با این تفاوت که کم‌فشار آلویشن و پرفشار سیبری نسبت به ماه نوامبر حدود ۵ میلی‌بار تقویت شده‌اند (شکل ۵-ج). در دسامبر ۲۰۲۴، کم‌فشار ایسلند یک جابه‌جایی شرق‌سوی قابل ملاحظه‌ای داشته، به‌طوری‌که بیشترین فعالیت آن در محدوده دریای بارنت مشاهده می‌شود. کم‌فشار آلویشن و پرفشار سیبری تقویت و گسترش بیشتری نسبت به شرایط معمول داشته‌اند (شکل ۵-ج). مناطق همراه با بی‌هنجاری مثبت قوی فشار در اقیانوس اطلس شمالی تا بیش از ۹ hPa، بر روی آمریکا، کانادا، اروپا، محدوده پرفشار سیبری و شمال آفریقا، از حدود ۹ hPa تا ۳ hPa قابل مشاهده است. بی‌هنجاری منفی قوی فشار در آرام شمالی، تا بیش از ۹ hPa در یک سطح وسیع و دریای بارنت تا حدود ۷ hPa رخ



شکل ۵. بی‌هنجاری‌های ماهانه فشار سطح دریا نسبت به میانگین اقلیمی (دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰) آن برای ماه‌های: الف-اکتبر ۲۰۲۴، ب-نوامبر ۲۰۲۴، ج-دسامبر ۲۰۲۴، د-ژانویه و ه-فوریه ۲۰۲۵.

بی‌هنجاری‌های فشار سطح دریا در ماه‌های مطالعه‌شده در اکثر نواحی نیمکره شمالی به‌ویژه در نواحی اقیانوس‌های آرام و اطلس، روی آمریکا و اروپا و نواحی از شرق چین وفلات تبت زیاد بوده که در اغلب نواحی بی‌هنجاری‌های مثبت غالب بوده است. در محدوده نزدیک به ایران گسترش بی‌هنجاری‌های مثبت فشار سطح دریا از سمت غرب چین و فلات تبت به سمت ایران و همچنین از روی اروپا به سمت جنوب و دریای مدیترانه و نواحی شمالی آفریقا می‌تواند از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کاهش بارش ایران در این ماه‌ها باشد. در ژانویه که بی‌هنجاری‌های مثبت نواحی فلات تبت و نیمه جنوبی اروپا به یکدیگر متصل شده و کل مناطق همجوار با این محور دارای بی‌هنجاری مثبت بوده است (شکل ۵-د). این شرایط با بی‌هنجاری‌های مثبت ارتفاعی تراز ۵۰۰ میلی بار همراه شده است. افزایش فشار بر روی مدیترانه، به‌ویژه نواحی شرقی آن می‌تواند سبب کاهش چرخندزایی و عبور پیچک‌های گذرا از این منطقه باشد. همچنین گسترش زیانه پرفشار از سمت شرق بر روی ایران همراه با افزایش ارتفاع در ترازهای میانی و زیرین وردسپهر، مانع از عبور سامانه‌های بارش‌زا از روی منطقه شده است.

فوریه: در این ماه تقویت سامانه‌های کم‌فشار ایسلند و آلوئن (با بیشینه حدود ۹ hPa) و همچنین تقویت قابل‌ملاحظه سامانه پرفشاری سیبریو گسترش شرق سوی آن مشاهده می‌شود (شکل ۵-ه). گسترش بی‌هنجاری‌های قوی مثبت بر روی اروپا (با بیشینه حدود ۱۳ hPa) و با شدت کمتر در نواحی شمال و شمال غربی آن، در این ماه قابل‌ملاحظه بوده است.

۳-۲. الگوهای تراز ۵۰۰ hPa و بی‌هنجاری‌های آن

اکتبر: میانگین اقلیمی ارتفاع تراز ۵۰۰ hPa ماه اکتبر، دو ناوه در غرب و شرق آرام شمالی، دو ناوه در غرب و شرق اطلس شمالی، دو پشته ارتفاعی قوی بر روی نیمه غربی اروپا و نوار غربی آمریکا و یک پشته ضعیف ارتفاعی بر روی ایران مشاهده می‌شود (شکل ۶-الف). بی‌هنجاری‌های ارتفاع تراز ۵۰۰ hPa بیانگر افزایش ارتفاع قابل‌ملاحظه، تا

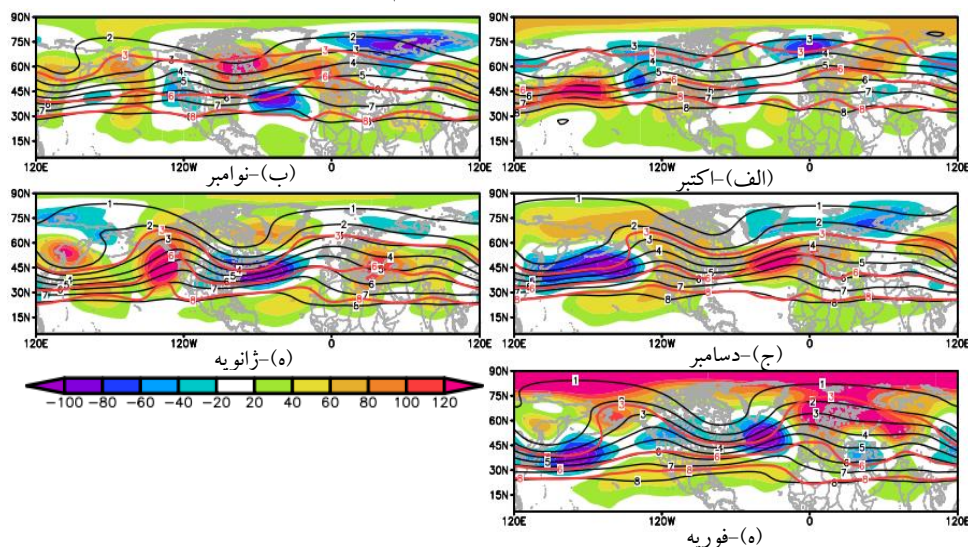
بیش از ۱۶۰ m بر روی آرام شمالی و با شدت ضعیف‌تر تا حدود ۱۲۰ m بر روی آمریکا، اروپا و عرض‌های جغرافیایی بالای ۸۰ درجه شمالی می‌باشد. بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی ارتفاعی سطح ۵۰۰ hPa بیانگر جابه‌جایی شرق سوی ناوه‌ها و پشته‌های ارتفاعی نسبت به شرایط اقلیمی آن بوده است (شکل ۶-الف).

نوامبر: شرایط اقلیمی ارتفاع تراز ۵۰۰ hPa ماه نوامبر ناوه عمیق در نواحی شرقی آمریکا و دو ناوه در نواحی غرب و شرق اقیانوس آرام شمالی و دو پشته ارتفاعی گسترده بر روی اروپا و نواحی غربی آمریکا مشاهده می‌شود. بی‌هنجاری ارتفاعی بیانگر بی‌هنجاری‌های مثبت (منفی) بر روی ناوه‌ها (پشته‌ها)ی ارتفاعی شرایط اقلیمی بوده، که تضعیف آنها نسبت به شرایط اقلیمی را نشان می‌دهد. بیشینه بی‌هنجاری مثبت (منفی) ارتفاعی به ترتیب به میزان بیش از ۱۶۰ m در محدوده ناوه واقع در نیمه غربی آمریکا، و بیش از ۱۰۰ m بر روی اطلس شمالی و دریای بارت مشاهده می‌شود. بی‌هنجاری مثبت بر روی ایران، افغانستان، پاکستان، هند، دریای عمان، عربستان و نواحی شمالی اقیانوس هند گسترش یافته، که بیانگر استقرار پرفشار جنب‌حاره بر روی این نواحی و در نتیجه کاهش بارش نسبت به شرایط اقلیمی آن می‌باشد. افزایش (کاهش) ارتفاع در محدوده ناوه‌ها (پشته‌ها) در نوامبر ۲۰۲۴ می‌تواند بیانگر تضعیف یا جابه‌جایی آنها نسبت به شرایط اقلیمی آن باشد (شکل ۶-ب).

دسامبر: شرایط اقلیمی ارتفاع تراز ۵۰۰ hPa ماه دسامبر دو ناوه عمیق یکی در نواحی شرقی آمریکا و دیگر در نواحی غربی اقیانوس آرام شمالی قرار گرفته که ناوه واقع در شرق آمریکا ضعیف ولی ناوه آرام شمالی تا بیش از ۱۰۰ m نسبت به شرایط معمول تقویت شده است (شکل ۶-ج). دو پشته ارتفاعی گسترده یکی بر روی نواحی شرقی اطلس شمالی و غرب اروپا و دیگری بر روی نیمه غربی آمریکا همراه با بی‌هنجاری‌های قوی مثبت ارتفاعی تا بیش از ۱۲۰ m، بیانگر تقویت شدید این دو پراارتفاع در دسامبر ۲۰۲۴ بوده است. در نواحی شرقی مدیترانه، روی عربستان، عراق، ترکیه تا روی اروپا بی‌هنجاری‌های مثبت ارتفاعی از حدود

۳-۳-۳. جت‌های تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال

در شکل ۷، مقادیر اقلیمی، هم‌سرعت‌های باد ماه‌های اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵ و بی‌هنجاری سرعت باد دوره مطالعه شده نسبت به دوره اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نشان داده شده است. در این شکل سه جت اصلی، جت واقع در اقیانوس آرام شمالی، جت واقع در اقیانوس اطلس شمالی و جت واقع در سواحل شمالی آفریقا تا شرق ایران که در این مطالعه به ترتیب جت آرام، جت اطلس و جت جنب حاره نامیده می‌شوند، مشاهده می‌شود. در اکتبر ۲۰۲۴ جت غرب آرام نسبت به شرایط اقلیمی آن، حدود ۲۰ متر بر ثانیه تضعیف شده و ضمن جابه‌جایی حدود ۱۰ درجه‌ای به عرض‌های شمالی‌تر، در نواحی شمال غربی آرام شمالی، به صورت پشته درآمده است (شکل ۷-الف). جت جنب حاره، در اکتبر ۲۰۲۴ نسبت به شرایط معمول آن، بر روی ایران پهن و تا حدود ۱۰ متر بر ثانیه تقویت شده و ضمن گسترده‌گی غرب سو، در بخش شرقی نیز به جت آرام متصل شده است (شکل ۷-الف). در اکتبر ۲۰۲۴ جت اطلس ضمن جابه‌جایی شرق سو، پهن و تقویت شده و هسته آن به دو بخش (یک بخش کوچک در جنوب شرق آمریکا و بخش دیگر آن در نواحی شمالی اطلس شمالی) تقسیم شده است (شکل ۷-الف).



شکل ۶. بی‌هنجاری‌های ماهانه و میانگین اقلیمی (دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰) ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای ماه‌های: الف-اکتبر ۲۰۲۴، ب-نوامبر ۲۰۲۴، ج-دسامبر ۲۰۲۴، د-ژانویه و ه-فوریه ۲۰۲۵، پرندهای سیاه، میانگین اقلیمی، سطوح رنگی شده بی‌هنجاری‌های ماهانه و پرندهای قرمز، مقادیر ماهانه دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهند. اعداد ۱، ۲ تا ۸ آورده شده بر روی پرندها، به ترتیب نشان دهنده مقادیر ۵۱۰، ۵۲۰ تا ۵۸۰ دکامتر می‌باشند.

۲۰ m تا ۱۰۰ m گسترش یافته، که بیانگر تضعیف ناوه شرق مدیترانه در این ماه است (شکل ۶-ج).

ژانویه: بی‌هنجاری‌های مثبت ارتفاعی در این ماه بسیار گسترده و قوی بوده و بجز در محدوده ناوه ایسلند (نواحی شرق آمریکا و غرب اطلس)، تقریباً در بقیه نواحی، به‌ویژه بر روی آمریکا، اقیانوس آرام شمالی، اروپا، نواحی جنب حاره اطلس شمالی و شرق آسیا قابل‌ملاحظه بوده است (شکل ۶-د). در این ماه امواجی ضعیفی در نواحی شمال آفریقا تا جنوب خلیج فارس و روی عربستان غالب بوده است.

فوریه: در این ماه ناوه‌های سامانه‌های فشاری ایسلند و آلوشن، نسبت به شرایط اقلیمی، ضمن افزایش طول موج و تقویت شدن، اندکی هم به سمت شرق جابه‌جا شده و پشته ارتفاعی روی نواحی مرکزی آمریکای شمالی نسبت به شرایط اقلیمی تضعیف شده است (شکل ۶-ه). بی‌هنجاری مثبت ارتفاعی در نواحی جنب حاره ار اقیانوس آرام تا اطلس و همچنین بر روی اروپا و روسیه گسترش یافته است. در روی خاورمیانه یک ناوه با طول موج بلند همراه با بی‌هنجاری منفی ارتفاعی تا ۴۰ m قرار گرفته است.

در ماه نوامبر ۲۰۲۴، جت جنب حاره‌ای تقویت و در محدوده طول‌های جغرافیایی حدود 25°E تا 60°E پهن شده، به‌طوری که کل ایران رو در بر گرفته و در راستای طولی نیز به جت اقیانوس آرام وصل شده است. هسته جت اقیانوس آرام شمالی در راستای طولی نیز افزایش یافته است (شکل ۷-ب). در این ماه جت اطلس ضمن انتقال به عرض‌های جغرافیایی جنوبی‌تر، گسترده‌تر شده و راستای محور آن به جای این که در راستای جنوب غربی به شمال شرقی باشد، به‌صورت ساعتگرد چرخیده و در راستای غربی-شرقی و حتی گرایش به جنوب شرقی تغییر جهت داده است. چرخش ساعتگرد محور جت اطلس به‌گونه‌ای است که تقریباً بخش خروجی سمت راست آن، در محدوده ورودی سمت چپ جت جنب حاره واقع شده، که این شرایط می‌تواند چرخندزایی حوضه مدیترانه را سرکوب کند. بی‌هنجاری‌های سرعت باد در اطلس شمالی در ماه نوامبر بسیار زیاد بوده به‌طوری که بادهای غربی در بخش‌های غربی و شرقی جت تقویت شده‌اند (شکل ۷-ب).

در دسامبر ۲۰۲۴، جت جنب حاره و جت آرام ضمن تقویت و گسترش طولی، و با یکدیگر ادغام شده‌اند. بی‌هنجاری‌های بادهای غربی (حدود ۵ تا ۲۵ متر بر ثانیه) محدوده‌های عرض جغرافیایی 25°N تا 40°N و طول جغرافیایی حدود 0°E تا حدود 30°W ادامه داشته است. تقویت و امتداد یافتن شرق و غرب سوی جت حاره، اجازه نفوذ امواج راسبی به عرض‌های جنوبی‌تر در نواحی شرق مدیترانه و خاورمیانه را نمی‌دهد که پیامد آن می‌تواند کاهش بارش در این مناطق باشد. جت اطلس ضمن پهن شدن، به‌گونه‌ای به دو بخش تقسیم شده که یک بخش آن با چرخش ساعتگرد قابل ملاحظه محور جت، در بخش جنوب شرقی موقعیت شرایط اقلیمی آن و در امتداد جت جنب حاره قرار گرفته و بخش دیگر آن که در شمال شرق موقعیت هسته اقلیمی آن قرار گسترش یافته است (شکل ۷-ج).

در ژانویه ۲۰۲۵، هسته جت جنب حاره باریک‌تر شده و در حالی با جت آرام متصل شده که هسته جت آرام جابه‌جایی

شمال سو داشته و به‌سمت شرق هم گسترش یافته است. در این ماه جت اطلس ضمن چرخش ساعتگردی محور آن پهن و تا حدود ۲۰ متر بر ثانیه تقویت و همچنین گسترده‌گی زیادی داشته است (شکل ۷-د). گسترده‌گی جت‌های اطلس و جنب حاره، همراه با چرخش ساعتگردی محور جت اطلس از یک طرف و گسترده‌گی جنوب غرب سوی جت اطلس به‌گونه‌ای بوده است که خروجی‌های سمت راست جت‌های آرام و اطلس به‌ترتیب با ورودی‌های سمت چپ جت‌های اطلس جنب حاره تداخل کرده است. در فوریه ۲۰۲۵، هسته جت‌های جنب حاره‌ای و آرام تقویت شده و گسترده‌تر شده و کمربندی از بادهای غربی شدید در محدوده‌های عرض جغرافیایی 15°N تا 35°N درجه شمالی به‌گونه‌ای ایجاد شده است که به‌نظر می‌رسد هر سه جت به یکدیگر متصل شده‌اند. جت اطلس ضمن تقویت و پهن‌شدگی قابل ملاحظه، به‌سمت شمال و شمال شرق موقعیت اقلیمی خود جابه‌جایی داشته و محور آن نیز چرخش ساعتگردی داشته و در راستای غربی-شرقی به‌جای جنوب غربی به شمال شرقی تغییر جهت داشته است (شکل ۷-ه).

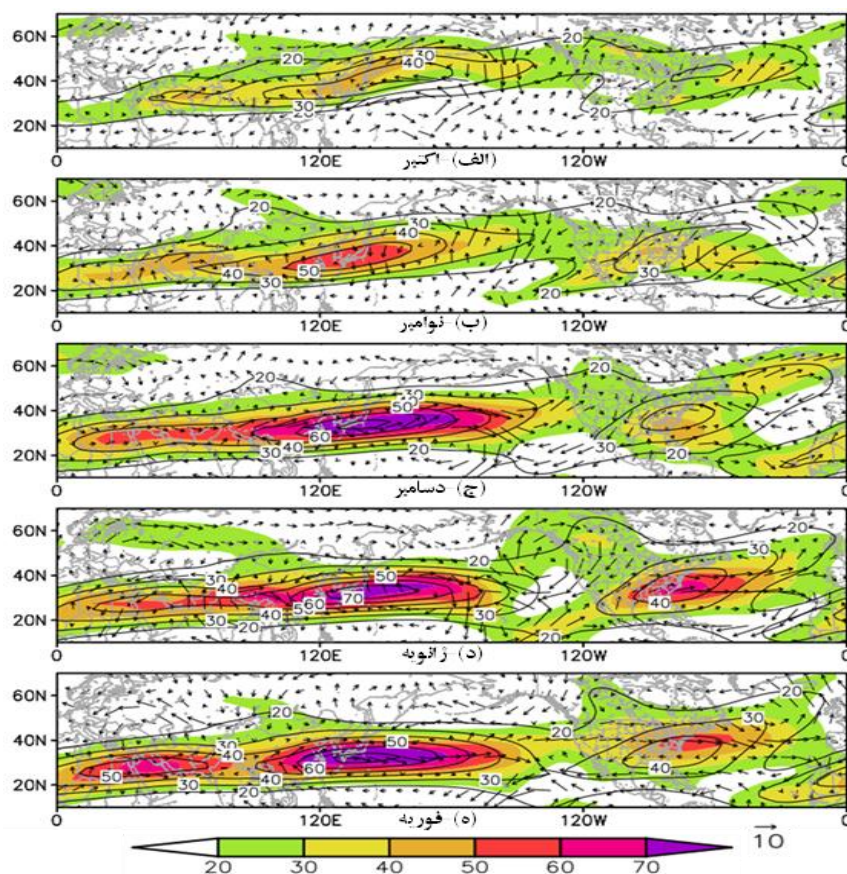
۳-۳-۴. بی‌هنجاری کمیت‌های جوی متوسط سه ماهه (نوامبر ۲۰۲۴ تا ژانویه ۲۰۲۵)

درصد تغییرات کاهشی بارش و افزایش دما، در سه ماهه نوامبر ۲۰۲۴ تا ژانویه ۲۰۲۵، مطابق با مقادیر آورده‌شده در جدول ۱، چشمگیری بوده لذا متوسط سه بی‌هنجاری‌های کمیت‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز 500 hPa ، ضخامت لایه 1000 hPa – 500 hPa و دمای تراز 850 hPa در شکل ۸ آورده شده است. متوسط سه ماهه (نوامبر-دسامبر-ژانویه) بی‌هنجاری‌های فشار سطح دریا بیانگر شش منطقه گسترده همراه شده با بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی است (شکل ۸-الف). بی‌هنجاری‌های قوی مثبت (تا حدود 6 hPa) در دو منطقه ۱-چین فلات تبت تا شمال پاکستان و ۲-نواحی شمالی اطلس شمالی، روی گرینلند و شمال شرق کانادا رخ داده و این بی‌هنجاری‌های مثبت با شدت کمتری نیز در نواحی شمالی آفریقای شمالی،

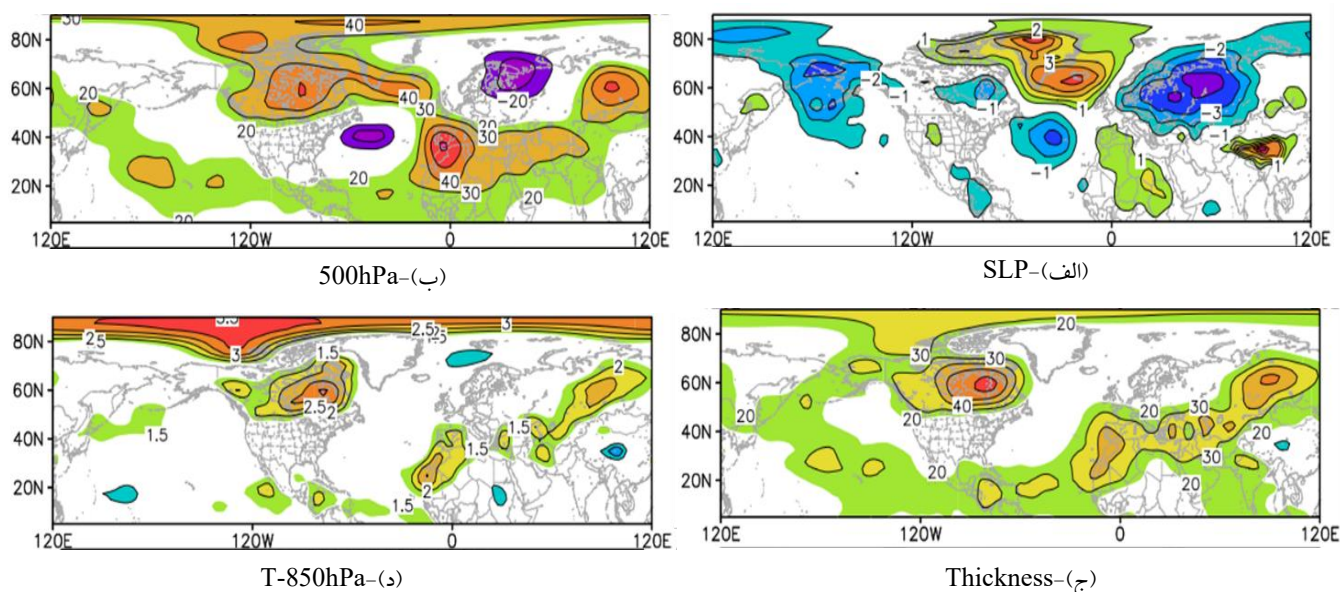
از یک طرف و گسترش غرب‌سوی بی‌هنجاری‌های روی مغولستان یک کمربند ارتفاع زیاد بر روی این مناطق ایجاد می‌کند که می‌تواند، ضمن مختل کردن چرخندزایی بر روی مدیترانه، مانع عبور سامانه‌های بارش‌زا بر روی ایران شود. مراکز بی‌هنجاری‌های منفی بر روی اطلس شمالی و یکی دیگر بر روی اسکاندیناوی قرار گرفته که به‌نظر می‌رسد در این حالت مسیر چرخندهای اطلس شمالی به عرض‌های جغرافیایی شمالی‌تر منتقل شده و محدوده (شکل ۸-ب). بی‌هنجاری‌های مثبت ضخامت لایه ۵۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال در این دوره بر روی کانادا بسیار زیاد بوده و بیشینه آن تا حدود ۶۰ m+ رسیده است (شکل ۸-ج). محور بی‌هنجاری‌های مثبت ضخامت از روی دریای کارایب تا روی مراکش و ادامه آن تا مغولستان در این دوره غالب بوده است.

غرب دریای مدیترانه نیز مشاهده می‌شود. بی‌هنجاری‌های قوی منفی (تا حدود ۵hPa-) در روی روسیه و سیبری مشاهده می‌شود که ادامه آنها به سمت شمال غرب آرام شمالی گسترش یافته و در نواحی شمالی آرام شمالی، این بی‌هنجاری‌ها با شدت بیشتری رخ داده است. همچنین بی‌هنجاری‌های قوی منفی (تا حدود ۴ hPa-) در روی اطلس شمالی و با شدت کمتر بر روی نواحی مرکزی کانادا مشاهده می‌شود.

بی‌هنجاری‌های ارتفاع تراز ۵۰۰hPa سه ماهه مورد مطالعه، به‌صورت سه مرکزی اصلی که در روی مغولستان (تا حدود ۵۰ m)، روی مراکش و اسپانیا (تا حدود ۶۰ m) و روی خلیج هادسون (تا حدود ۵۰ m)، به‌طوری مشاهده می‌شود که تقریباً به یکدیگر متصل شده‌اند. گسترش بی‌هنجاری‌های مثبت ارتفاعی از غرب دریای مدیترانه به سمت شرق، تا روی ایران



شکل ۷. هم سرعت‌های باد و بی‌هنجاری بادهای باد تراز ۲۰۰hPa ماه‌های اکتبر ۲۰۲۴ تا فوریه ۲۰۲۵. منحنی‌های بسته شده، سیاه رنگ که مقادیر هم سرعت باد، به فواصل ۱۰ متر بر ثانیه از یکدیگر (از ۲۰ متر بر ثانیه تا ۷۰ متر بر ثانیه) را نشان می‌دهند مربوط به شرایط اقلیمی جت‌ها بوده، سطوح رنگی شده سرعت‌های باد بیش از ۲۰ متر بر ثانیه در ماه‌های: اکتبر ۲۰۲۴، ب-نوامبر ۲۰۲۴، ج-دسامبر ۲۰۲۴، د-ژانویه و ه-فوریه ۲۰۲۵ می‌باشد و بردارهای سیاه رنگ، بی‌هنجاری‌های باد این ماه‌ها نسبت به شرایط اقلیمی آنها را نشان می‌دهد.

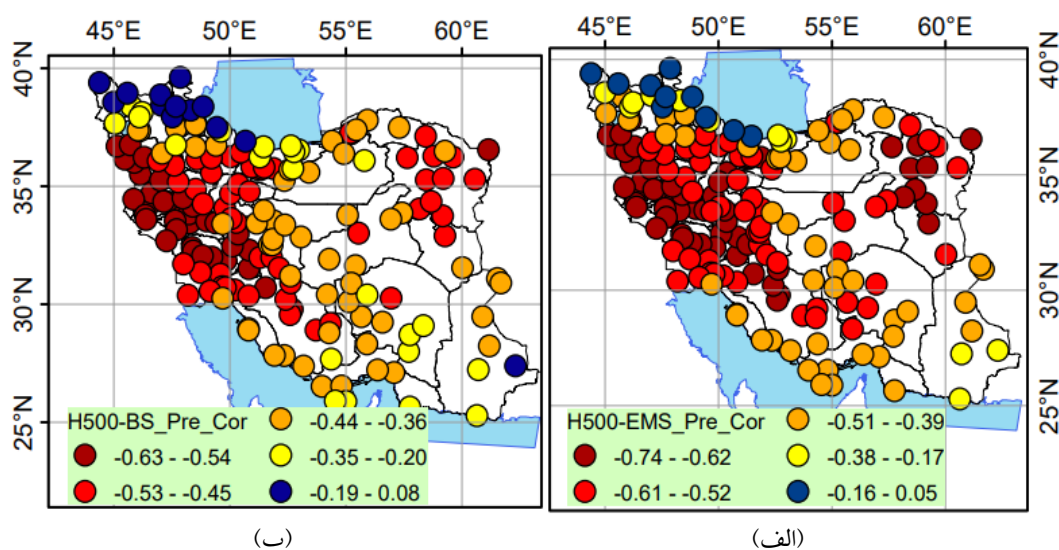


شکل ۸. متوسط سه ماهه (نوامبر ۲۰۲۴ تا ژانویه ۲۰۲۵) بی‌هنجاری‌های کمیت‌های: الف- فشار سطح دریا، ب-ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ hPa، ج-ضخامت لایه ۵۰۰-۱۰۰۰ هکتوپاسکال و د-دمای تراز ۸۵۰ hPa.

ارتفاع تراز ۵۰۰hPa در دو سطح، ۱-نواحی شرقی مدیترانه (27.5-35°N, 25-35°E) و ۲-نواحی دریای بارت (55-75°N, 15-60°E) با متوسط بارش سه ماهه هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره ۵۰ ساله (۱۹۷۵-۲۰۲۴) محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات ارتفاع این مناطق با اکثر بارش‌ها رابطه معکوس داشته و فقط در تعداد اندکی از ایستگاه‌های واقع در شمال و شمال غرب کشور همبستگی معناداری نشان داده نشد.

این شرایط با بی‌هنجاری‌های مثبت دمایی ترازهای پایین و ردسپهر (۸۵۰ hPa) همراه شده که بیشینه مقادیر در نواحی قطبی (عرض‌های جغرافیایی بالاتر از ۸۰°N)، روی کانادا، روی مراکش و غرب مدیترانه، روی ایران تا شرق روسیه مشاهده می‌شود (شکل ۸-د).

در شکل ۹ ضریب همبستگی بین بارش ایستگاه‌ها و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ hPa نشان داده شده است. برای این منظور همبستگی بین میانگین سه ماهه (نوامبر-ژانویه)،



شکل ۹. ضریب همبستگی بین بارش با متوسط سطحی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰hPa: الف) نواحی شرقی دریای مدیترانه ب) محدوده دریای بارت.

۴. بحث

به‌طور کلی اغلب بارش ایران تحت‌تأثیر، سامانه‌های کم‌فشار دینامیکی، به‌ویژه کم‌فشارهای واقع در بخش شرقی دریای مدیترانه می‌باشد. در این ارتباط عمیق‌شدن ناوه مدیترانه و گسترش آن به عرض‌های جنوبی‌تر سبب ادغام کم‌فشار دینامیکی مدیترانه با کم‌فشار گرمایی سودانی (مرادی و همکاران، ۱۳۸۶) و در نتیجه تقویت سامانه بارش‌زا شده که نواحی شرقی مدیترانه از جمله ایران را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در این حالت استقرار پرفشار بر روی شبه‌جزیره عربستان، سبب ایجاد جریان‌های شرقی بر روی دریای عمان و شمال غرب اقیانوس هند می‌شود (لشکری و محمدی، ۱۳۹۴). این جریان‌های گرم و مرطوب شرقی ضمن امتداد یافتن از محدوده خلیج باب‌المندب تا اوسط دریای سرخ، به‌سمت راست منحرف شده و در نواحی شمال غربی عربستان با جریان‌های جنوب غربی کم‌فشار مدیترانه ترکیب شده و تغذیه رطوبتی مناسبی، برای بارش‌های منطقه فراهم می‌آورد (رنجبر سعادت آبادی و ایزدی، ۱۳۹۲). برای اثرگذاری مناسب این سامانه‌های بارش‌زا بر روی ایران، علاوه‌بر بسامد، شدت و مدت ماندگاری سامانه کم‌فشار دینامیکی در شرق مدیترانه، وجود یک کمربند پرفشار در عرض‌های شمالی ایران (عرض‌های جغرافیایی حدود 35° – 45° N)، به‌دلیل گسترش زبانه پرفشار از روی اروپا تا روی دریای سیاه و نواحی غربی خزر از یک طرف و گسترش شرق سوی زبانه پرفشار سبیری از طرف دیگر ضروری می‌باشد. این در حالی است که در پاییز و زمستان ۱۴۰۲، بی‌هنجاری‌های منفی قوی و گسترده فشار و ارتفاع در شمال ایران (محدوده اوراسیا) و همچنین افزایش قابل‌ملاحظه ارتفاع بر روی مدیترانه سبب، مختل کردن فعالیت چرخندهای مدیترانه‌ای و عبور آنها از روی ایران شده است.

بر این اساس، چرخندهای شرق مدیترانه و ناوه‌های همراه‌شده با آنها می‌تواند مهم‌ترین واداشت لازم برای ایجاد بارش‌های منطقه محسوب شود که بسامد و شدت این سامانه‌ها، بستگی به عوامل متعددی از جمله عوامل

دورپیوندی دارد. این عوامل به‌شدت بر یکدیگر اثر گذار بوده و اغلب این برهمکنش‌ها غیرخطی می‌باشد. لذا تغییرات بارش نتیجه برهمکنش مجموعه‌ای از عوامل متعدد است که در مقیاس‌های مختلف زمانی عمل می‌کنند. برای مثال با وجود این‌که اشل و فارل (۲۰۰۰) نشان داند که سازوکار تغییر پذیری بارش در شرق مدیترانه با تغییر پذیری اقلیمی بزرگ مقیاس در شمال اقیانوس اطلس ارتباط دارد و یک کنش از راه دور قوی بین شمال اقیانوس اطلس و مدیترانه وجود دارد، به‌طوری که در فاز مثبت NAO، به‌دلیل تقویت پرفشار آزرورز مسیر توفان‌های اطلس به عرض‌های شمالی‌تر منتقل می‌شود محدوده مدیترانه، کمتر تحت‌تأثیر این توفان‌ها قرار می‌گیرد اما در فاز منفی شرایط بهتری می‌تواند برای حوضه مدیترانه باشد، اما بررسی شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) در دوره مورد مطالعه رفتار یکسانی نداشته است. این شاخص در ماه‌های اکتبر، نوامبر ۲۰۲۴ و ژانویه ۲۰۲۵، مقادیر منفی به‌ترتیب، -0.38 ، -0.23 و -0.52 و در ماه‌های دسامبر ۲۰۲۴ و فوریه ۲۰۲۵ به‌ترتیب مقادیر مثبت 1.21 و 1.60 را داشته است.

یکی دیگر از مهم‌ترین دورپیوندهای تأثیرگذار بر بارش ایران، نوسان مادن-جولین (MJO) است. با توجه به مطالعات انجام‌شده قبلی از قبیل (رنجبر سعادت آبادی و سوری، ۱۳۹۶)، محمدپور و همکاران (۱۴۰۲)، غضنفری لاکه و همکاران (۱۳۸۸)، ارتقا (سرکوب) همرفت در روی اقیانوس هند (نواحی غربی آرام استوایی)، فازهای ۳ تا ۵، شاخص MJO با دوره‌های خشک و بی‌هنجاری منفی بارش بر روی ایران همراه است، در پاییز و زمستان ۱۴۰۲، MJO دارای مقادیر و بیشینه‌های قابل‌ملاحظه ارتقای همرفت بر روی اقیانوس هند (محدود طول‌های جغرافیایی حدود 60° E تا 160° E)، و سرکوب همرفت در نواحی غربی اقیانوس آرام بوده به‌طوری که این شرایط در دوره‌های ۱- از حدود ۵ تا ۲۵ اکتبر ۲- از اواسط نوامبر تا اواسط دسامبر و ۳- از اواسط ژانویه تا اواسط فوریه، غالب بوده است. همرفت اقیانوس هند استوایی و دوقطبی اقیانوس هند تحت‌تأثیر نوسان شبه دوسالانه (QBO) است، به‌گونه‌ای که در فاز شرقی (غربی) این نوسان، همرفت اقیانوس هند

تقویت (تضعیف) می شود (اندرو و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین QBO و دوقطبی اقیانوس هند (IOD) رابطه قوی در فصل پاییز (سپتامبر-نوامبر) داشته و در فازهای غربی-شرقی، به ترتیب بی‌هنجاری‌های مثبت بارش در غرب اقیانوس هند (منطقه گرمایشی IOD) و بی‌هنجاری‌های منفی بارش در شرق اقیانوس هند (منطقه سرمایشی IOD) به‌طور همزمان رخ می‌دهد (گارسیا فرانکو و همکاران، ۲۰۲۲). مطابق جهت بادهای تراز ۵۰۰ hPa، QBO از ماه نوامبر ۲۰۲۴، در فاز منفی قرار گرفته است.

گارسیا فرانکو و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که QBO از طریق سه سازوکار: پایداری ایستایی، مدولاسیون گردش واکر و اثرات تابشی ابرهای سطوح زیرین، همرفت حاره‌ای را تعدیل می‌کند. با توجه به برهمکنش‌های پیچیده و گسترده عوامل دورپیوندی، از قبیل ارتباط QBO با نوسان جنوبی آرام استوایی (ENSO)، با MJO، با IOD و ارتباط بین آنها با NAO، بررسی این عوامل در یک مقاله مسیر نبوده و هر کدام از این عوامل، از دیدگاه‌های مختلف، نیاز به مطالعه و بررسی عمیق دارند.

۵. نتیجه‌گیری

تحلیل بی‌هنجاری‌های بارش و دمای ماهانه ایران در پاییز و زمستان ۱۴۰۳ بر اساس داده‌های ۱۷۹ ایستگاه همدیدی، نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در این دو پارامتر جوی است. در این دوره، گستره درصد تغییرات بارش بین ۲۷/۹۱- تا ۳۷/۴۰ درصد متغیر بوده و تقریباً ۹۰ درصد ایستگاه‌ها تغییرات بارش منفی را گزارش کرده‌اند. این کاهش بارش در بیشتر نواحی کشور، به‌ویژه در مناطق غرب، شمال غرب، جنوب غرب و جنوب شرق کشور، قابل ملاحظه بوده است. در مقابل، بی‌هنجاری متوسط دمای هوای کشور در ماه‌های اکتبر و نوامبر ۲۰۲۴ و ژانویه ۲۰۲۵، مثبت بوده و بیشینه افزایش به اندازه $2/05^{\circ}\text{C}$ در نوامبر ۲۰۲۴ روی داده است. دمای متوسط پنج ماهه مورد مطالعه نسبت به شرایط اقلیمی دوره مشابه، به اندازه $1/8^{\circ}\text{C}$ گرم‌تر بوده که ماه‌های ژانویه ۲۰۲۵ و نوامبر ۲۰۲۴ بیشینه درصد

افزایش و فوریه ۲۰۲۵ بیشینه درصد کاهش را داشته است. تغییرات دمای هوا در پاییز و زمستان ۱۴۰۳ به‌طور عمده مثبت بوده و در ۷۹ درصد ایستگاه‌ها افزایش دما مشاهده شده است. در اکتبر ۲۰۲۴، درصد تغییرات دما بین ۷/۷- تا ۲۸/۱۸ درصد متغیر بوده و در بیش از ۵۵ درصد ایستگاه‌ها افزایش دما ثبت شده است.

تغییرات کمیت‌های وضع هوا مانند دما و بارش منتج از تغییرات رخ داده در الگوهای جوی می‌باشد. تغییرات این سامانه‌ها برآیند عوامل تأثیرگذار و برهمکنش‌های جوی-اقیانوسی است که در دوره مطالعه شده، اغلب این سامانه‌ها با بی‌هنجاری‌ها متناوب نصف‌النهاری همراه بوده‌اند. در همه ماه‌های مطالعه شده، بی‌هنجاری‌های مثبت فشار سطح دریا در محدوده فلات تبت و چین و همچنین روی اروپا و آمریکا با شدت و ضعف‌های مختلف ادامه داشته است. کم‌فشار ایسلند، به جز در ماه نوامبر که با بی‌هنجاری‌های قوی مثبت (تا حدود ۱۳ hPa)، در بقیه ماه‌ها، نسبت به شرایط معمول تقویت شده است ولی گستره و شدت این بی‌هنجاری‌های منفی متغیر بوده است. کم‌فشار آلوین در دسامبر و فوریه تقویت شده و بی‌هنجاری‌های قوی منفی (تا حدود ۱۳ hPa-) در بخش وسیعی از آرام شمالی غالب بوده اما در ماه‌های اکتبر و ژانویه، به‌ویژه در ژانویه تضعیف شده و بی‌هنجاری‌های قوی مثبت فشار (تا حدود hPa ۱۳+)، مخصوصاً در بخش شرقی آن گسترش یافته و تقریباً نواحی غربی آمریکا نیز تحت تأثیر بی‌هنجاری مثبت فشار قرار گرفته است. تقویت و گسترش پشته ارتفاعی از شمال غرب آفریقا بر روی نواحی غربی اروپا (شرق اطلس شمالی) تا شرق گرینلند تقریباً در همه ماه‌های مورد مطالعه و همچنین بر روی آمریکا و نواحی غربی آن در ماه‌های اکتبر، دسامبر، مشاهده می‌شود. این شرایط با بی‌هنجاری مثبت ارتفاعی بر روی اروپا و آمریکا، به‌ویژه نواحی غربی آنها همراه شده است. تداوم این حالت در ماه‌های مطالعه شده، می‌تواند بیانگر تقویت بنیاد در این مناطق باشد. در ژانویه ۲۰۲۵ که سومین رکورد کم بارشی طی دوره ۷۴ ساله را داشته است تقویت و توسعه پشته‌های ارتفاعی

ارتباط، بررسی ارتقای قابل‌ملاحظه همرفت در مناطق اقیانوس هند استوایی، که احتمالاً اثر فاز شرقی QBO آنرا تقویت کرده و اثرات آن بر روی بارش ایران یکی از نکات کلیدی و اولویت‌دار می‌تواند باشد. دیدگاه کلی این شرایط می‌تواند حاصل همگرایی تغییرات اقلیمی بلندمدت (شامل کاهش بارش و گرمایش پایدار) با الگوهای جوی غیرعادی باشد که سبب کاهش (افزایش) قابل‌ملاحظه بارش (دما) در بسیاری از مناطق جهان، به‌ویژه منطقه خاورمیانه شده است.

مراجع

احمدی گیوی، ف.؛ ایران نژاد، پ. و محمدنژاد، ع.، (۱۳۸۹). اثر پُرفشارهای جنب حاره و سیبری بر خشکسالی‌های غرب ایران، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۱-۲۳ اردیبهشت، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

احمدی گیوی، ف. و پرهیزکار، د. (۱۳۸۷). بررسی نقش انسودر بارش سالانه ایران در دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰، *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۲۵-۳۷.

ایران نژاد، پ.؛ احمدی گیوی، ف. و محمدنژاد، ع. (۱۳۸۸) اثر مراکز چرخندزای مدیترانه بر بارش سالانه ایران در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲، *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۹۱-۱۰۵.

بیجندی، م.؛ اربابی سبزواری، ا.؛ رنجبر سعادت آبادی، ع. و دریاباری س. ج. ا.، (۱۴۰۰). بررسی رخداد بارشهای فرین شمال شرق ایران طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۰. *نشریه هواشناسی و علوم جو*، ۴(۴)، ۲۸۴-۳۰۷.

بهرامی، ف.؛ رنجبر سعادت آبادی، ع.؛ مشکوتی، ا. ح. و کمالی، غ.، (۱۳۹۷). مطالعه توفان‌های اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه بر مبنای شار فعالیت موج راسبی در دوره‌های خشک و تر بهار ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ در ایران. *نشریه هواشناسی و علوم جو*، ۱(۱)، ۱-۱۳.

بهرامی، ف.؛ رنجبر سعادت آبادی، ع. و مشکوتی، ا. ح. (۱۳۹۸). مطالعه بی‌هنجاری الگوهای فشار و بارش پائیزه ایران در حالت‌های مختلف تغییر فاز انسودر شدت‌های مختلف. *نشریه هواشناسی و علوم جو*، ۲(۳)،

در شرق اقیانوس آرام شمالی، جنوب شرق اطلس، شمال شرق آفریقا تا روی اروپا و از شبه قاره هند تا روی فلات تبت قابل‌ملاحظه بوده است. تقویت و توسعه پراارتفاع جنب حاره بر روی ایران در نوامبر ۲۰۲۴ غالب بوده، به‌طوری‌که بی‌هنجاری‌های مثبت ارتفاعی تراز ۵۰۰ hPa از خلیج باب‌المندب تا شمال ایران گسترش یافته و بیشینه این مقادیر بر روی جنوب شرق ایران و خلیج فارس قرار گرفته است، که سبب افزایش قابل‌ملاحظه دمای هوا در ایران شده و این ماه دومین رکورد، ماه گرم طی ۷۴ سال اخیر را داشته است.

از بارزترین ویژگی‌های الگوهای همدیدی غالب در طی دوره مورد مطالعه چرخش ساعتگرد محور جت اطلس شمالی بوده که در شرایط معمول، محور این جت در راستای جنوب‌غربی-شمال‌شرقی است اما در همه ماه‌های مورد مطالعه، محور این جت به‌صورت غربی-شرقی تغییر موقعیت داده است. این شرایط با ایجاد گرادیان‌های کنتوری شدید در بخش جنوبی کم ارتفاع ایسلند و افزایش شدید بادهای غربی در محدوده جنوب غربی اقیانوس اطلس شمالی همراه بوده است. افزایش بادهای غربی در این منطقه و همین‌طور در روی ایران و اغلب در عرض‌های جغرافیایی حدود 20°N - 35°N می‌تواند یکی از مهم‌ترین عواملی باشد که از عمیق شدن پیچک‌های گذرا در محدوده دریای مدیترانه باشد که پیامد آن کاهش بارش بر روی ایران طی این مدت بوده است. همچنین بی‌هنجاری‌های مثبت فشار و تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ hPa، سه ناحیه (۱-محدوده جزایر هاوایی در اقیانوس آرام، ۲-محدوده غرب مراکش و نواحی جنوب غربی اقیانوس اطلس و ۳-بخش‌های شرقی دریای مدیترانه) هماهنگ و هم‌فاز بوده است، که با توجه به همبستگی بالای بین تغییرات ارتفاع نواحی شرقی مدیترانه با بارش ایران، احتمال می‌رود که این همبستگی برای این نواحی هم وجود داشته باشد.

بررسی ارتباط بین این نواحی و همچنین نقش عوامل دورپیوندی و برهمکنش آنها، به‌ویژه QBO، MJO و NAO، می‌تواند در مطالعات بعدی بررسی شود که در این

۲۱۴-۲۲۸.

جمشیدی خزلی، ت؛ رنجبر سعادت آبادی، ع؛ نصر اصفهانی، م. ع؛ تاج بخش، س. و محب الحجه، ع. ر. (۱۳۹۹). اثر عوامل دورپیوندی و انتشار موج راسبی بر الگوهای جوی در بارش سیل آسای ایلام و پیش‌بینی‌پذیری آن با استفاده از مدل میان مقیاس WRF. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۲(۳۵)، ۱۱۳-۱۳۷.

حاجی محمدی، ح؛ راستی، ف. و کرمی، م. (۱۳۹۳). بررسی همدیدی سامانه‌های واچرخندی و ارتباط آن با خشکسالی‌های استان فارس، دومین همایش ملی بیابان بارویکرد مدیریت مناطق خشک و بیابانی، اقلیم شناسی و روند خشکسالی در مناطق خشک، سمنان. خوش اخلاق، ف. (۱۳۷۶) بررسی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران. *تحقیقات جغرافیایی*، ۴۵، ۱۵۴-۱۳۶.

خوش اخلاق، ف؛ عزیزی، ق. و رحیمی، م. (۱۳۹۱). الگوهای همدید خشکسالی و ترسالی زمستانه در جنوب غرب ایران. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵، ۵۷-۷۷.

راستگو، ر. و رنجبر سعادت آبادی، ع. (۱۳۹۷). مطالعه بارش‌های شدید و حدی استان بوشهر از دیدگاه همدیدی-دینامیکی. *نشریه هواشناسی و علوم جو*، ۱(۱)، ۷۷-۹۶.

رسولی، ع. ا؛ بابائیان، ا؛ قائمی، ه. و زوار رضا، پ. (۱۳۹۰). ارتباط بین بارش‌های فصلی ایران و دمای پهنه‌های آبی منطقه‌ای. *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۲(۵۶)، ۱-۲۴.

رنجبر سعادت آبادی، ع. پناهی، ع. و فتاحی، ا. (۱۳۹۳). تأثیر نابهنجاری‌های ماهانه الگوهای گردشی جو در رخداد دوره‌های خشک و تر در غرب و شمال غرب ایران، *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۷، ۹۱-۱۰۹.

رنجبر سعادت آبادی، ع. و امینی، ن. (۱۳۸۹). مطالعه بارش‌های همرفتی شدید فصل تابستان استان گلستان (۱۳۸۰-۱۳۸۶). *مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱(۲)، ۷۶-۵۷.

رنجبر سعادت آبادی، ع. و ایزدی، پ. (۱۳۹۲). ارتباط بی‌هنجاری‌های دمای آب سطح اقیانوس هند و دریای عرب با بی‌هنجاری‌های بارش نیمه جنوبی ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۹(۴)، ۱۳۵-۱۵۷.

رنجبر سعادت آبادی، ع. و سوری، م. (۱۳۹۶). مطالعه بی‌هنجاری گردش‌های جوی همراه‌شده با فعالیت نوسان مادن-جولین و بارش زمستانه ایران. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۱(۱)، ۴۹-۶۵.

رنجبر سعادت آبادی، ع. و مرادی، م. (۱۳۹۷). مطالعه بارش‌های همرفتی کوتاه مدت منجر به رخداد سیل در منطقه کن و سیجان. *نشریه هواشناسی و علوم جو*، ۱(۲)، ۱۶۳-۱۷۶.

غضنفری لاکه، بوالقاسم. (۱۳۸۸). مطالعه موردی توزیع رطوبت و بارش بر روی کشور در زمستان ۱۳۸۶ و ارتباط احتمالی آن با همرفت MJO. *پایان نامه کارشناسی ارشد*. به راهنمایی فرهنگ احمدی گیوی و علیرضا محب الحجه. تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک.

فناهی، س. ح؛ احمدی گیوی، ف. و محب الحجه، ع. ر. (۱۳۹۸) بررسی انرژی‌تیک اثر دورپیوند شرق اطلس/غرب روسیه (EA/WR) بر منطقه مدیترانه و جنوب غرب آسیا. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۴۵(۳)، ۶۴۵-۶۶۶.

لشکری، ح. و محمدی، ز. (۱۳۹۴). اثر موقعیت استقرار پرفشار جنب حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۷(۱)، ۷۳-۹۰.

محمدپور، ک؛ حجازی زاده، ز؛ قائمی، ه. و سلیقه، م. (۱۴۰۲). واکاوی بی‌هنجاری بارش‌های زمستانه ایران تحت تأثیر نوسان مادن جولیان طی دوره (۱۹۸۰-۲۰۲۰). *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۴(۴۵)، ۱-۱۴.

محمدنژاد، ع. ر؛ احمدی گیوی، ف. و ایران‌نژاد، پ. (۱۳۸۸). اثر بازه‌های نوسان سالانه کمربند پرفشار جنب حاره و پرفشار سیبری بر چرخندزای مدیترانه و

ناهمواری زمین در شکل‌گیری سامانه‌های آب و هوایی
بر روی ایران. *پایان‌نامه* دکتری، به راهنمایی امیرحسین
مشکوتی، مجید آزادی و عباسعلی علی اکبری بیدختی،
دانشگاه آزاد اسلامی-واحد علوم تحقیقات.
موسوی بایگی، م. و اشرف، ب. (۱۳۹۰). مطالعه الگوهای
سینوپتیکی منجر به خشک‌سالی‌های پاییزه و زمستانه
در استان خراسان رضوی. *مجله پژوهش‌های حفاظت
آب و خاک*، ۴، ۱۶۷-۱۸۴.
نصراصفهانی، م. ع. (۱۳۸۲)، بررسی دوره یکساله
چرخندزایی در شرق مدیترانه و اثرات آن بر آب و
هوای خاورمیانه و ایران. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد
هواشناسی*، به راهنمایی فرهنگ احمدی گیوی و
علیرضا محب الحجه، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه
تهران.
یاراحمدی، ا؛ کریمپور، م؛ قایمی، ه؛ مرادی، م. و نصیری،
ب. (۱۳۹۸). تحلیل آماره‌ها و بی‌هنجاری‌های بارش
دوره سرد سال به منظور درک اثر تغییر اقلیم بر مناطق
مختلف ایران (۱۹۵۱-۲۰۱۰). *نشریه تحقیقات کاربردی
علوم جغرافیایی*، ۱۹ (۵۳)، ۱-۱۸.

بارش ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۵ (۴)، ۱۱۵-
۱۳۰.
محمودی، پ؛ طاوسی، ت. و کردی تمندانی، ص.
(۱۴۰۱). شناسایی الگوهای ناهنجاریهای همدیدی
منجر به خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های فراگیر ایران.
فصلنامه پژوهشهای جغرافیای طبیعی، ۱ (۱)، ۲۰-۱.
مرادی، م. و رنجبر سعادت‌آبادی، ع. (۱۳۹۸-الف). مطالعه
همدیدی بارش شدید آبادان در آذر ماه ۸۹. *مجله
دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی*، ۱ (۲)، ۱۶۹-
۱۴۳.
مرادی، م. و رنجبر سعادت‌آبادی، ع. (۱۳۹۸-ب). بررسی
موردی بارش‌های سیل‌آسا در ماه مارس ۲۰۱۹، *مجله
علمی و ترویجی نیوار*، ۴۳ (۱۰۴)، ۷۸-۹۴.
مرادی، م. و رنجبر سعادت‌آبادی، ع. (۱۳۹۹). بررسی
همدیدی سیلاب سیستان و بلوچستان و برف سنگین
گیلان در زمستان ۱۳۹۸. *مجله جغرافیا و مخاطرات
محیطی*، ۳ (۳۵)، ۲۲۷-۲۴۳.
مرادی، م؛ مشکوتی، ا. ح؛ آزادی، م. و بیدختی، ع. ع.
(۱۳۸۶). بررسی نقش کم‌فشار حرارتی سودان-اتیوپی و

Ahmadi-Givi, F., Nasr-Esfahany, M. &
Mohebalhojeh, A. R. (2013). Interaction of
North Atlantic baroclinic wave packets and the
Mediterranean storm track. *Quarterly Journal
of the Royal Meteorological Society*, 140 (680),
754-765. <https://doi.org/10.1002/qj.2171>
Ahrens, C. D. (2011). *Essentials of meteorology:
An invitation to the atmosphere*. Brooks/Cole
Araźny, A., Bartczak, A., Maszewski, R. &
Krzemiński, M. (2021). The influence of
atmospheric circulation on the occurrence of
dry and wet periods in Central Poland in 1954–
2018. *Theor. Appl. Climatol.*, 146, 1079–1095.
<https://doi.org/10.1007/s00704-021-03780-0>.
Andrews, M. B., Knight, J. R., Scaife, A. A., &
Wicker, W. (2024). Influence of the Quasi-
Biennial Oscillation on tropical convection and
its teleconnection to the midlatitudes in boreal
winter. *Quarterly Journal of the Royal
Meteorological Society*, 160, 2510-2521.
<https://doi.org/10.1002/qj.4721>
Bahrami, F., Ranjbar Saadatabadi, A., Meshkatee,
A. M., & Kamali, Gh. (2020). Autumn rainfall
anomalies and regional atmospheric circulation
along establishment of weak La Nina after
strong El Nino in Iran. *Iranian Journal of
Geophysics*, 13(4), 1–15.

Bahrami, F., Saadatabadi, A. R., Krakauer, N. Y.,
Mesbahzadeh, T., & Sardoo, F. S. (2021).
Synoptic-Dynamic Patterns Affecting Iran's
Autumn Precipitation during ENSO Phase
Transitions. *Climate*, 9(7), 1-20.
<https://doi.org/10.3390/cli9070106>
Baldwin, M.P., Gray, L.J., Dunkerton, T.J.,
Hamilton, K., Haynes, P.H., Randel, W.J.,
Holton, J.R., Alexander, M.J., Hirota, I.,
Horinouchi, T., & Jones, D.B.A. (2001). The
quasi-biennial oscillation. *Reviews of
Geophysics*, 39(2), 179–229. Available from:
<https://doi.org/10.1029/1999RG000073>
Caloiero, T., & Coscarelli, R. (2020). Analysis of
the characteristics of dry and wet spells in a
Mediterranean region. *Environ. Process.*, 7,
691–701. [https://doi.org/10.1007/s40710-020-
00454-3](https://doi.org/10.1007/s40710-020-
00454-3).
Eshel, G., & Farrell, B. F. (2000). Mechanisms of
Eastern Mediterranean rainfall variability. *J.
Atmos. Sci.*, 57, 3219–3232.
García-Franco, J. L., Gray, L. J., Osprey, S.,
Chadwick, R., & Martin, Z. (2022). The
tropical route of quasi-biennial oscillation
(QBO) teleconnections in a climate model.
Weather and Climate Dynamics, 3(3), 825–
844. <https://doi.org/10.5194/wcd-3-825-2022>.

- García-Franco, J. L., Gray, L. J., Osprey, S., Jaison, A. M., Chadwick, R., & Lin, J. (2023). Understanding the Mechanisms for Tropical Surface Impacts of the Quasi-Biennial Oscillation (QBO). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128(15), e2023JD038474. <https://doi.org/10.1029/2023JD038474>.
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., & New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *J. Geophys. Res.*, 113, D20119. <https://doi.org/10.1029/2008JD010201>.
- Khansalaria, S., Ranjbar-Saadatabadi, A., Fazel-Rastgar, F. & Raziei, T., (2021). Synoptic and dynamic analysis of a flash flood-inducing heavy rainfall event in arid and semi-arid central-northern Iran and its simulation using the WRF model. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 93, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2020.101198>
- Mahmoudi, P., Amir Jahanshahi, S., Daneshmand, N., et al. (2021). Spatial and temporal analysis of mean and frequency variations of dry spells in Iran. *Arab J Geosci*, 14, 478. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06861-6>
- Motamedi, A., Gohari, A., & Haghighi, A. T. (2023). Three-decade assessment of dry and wet spells change across Iran, a fingerprint of climate change. *Sci Rep*, 13, 2888. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-20040-0>.
- Nasr-Esfahany, MA., Ahmadi-Givi, F. & Mohebalhojeh, AR. (2011). An energetic view of the relation between the Mediterranean storm track and the North Atlantic Oscillation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137 (656), 749-756.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Pauling, A., Luterbacher, J., Casty, C., & Wanner, H. (2006). 500 years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation. *Clim. Dyn.*, 26, 387–405.
- Peel, M. C., McMahon, T. A., & Finlayson, B. L. (2004). Continental differences in the variability of annual runoff – update and reassessment. *J. Hydrol.*, 295, 185–197. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.03.004>.
- Ratan, R., & Venugopal, V. (2013). Wet and dry spell characteristics of global tropical rainfall. *Water Resour. Res.*, 49, 3830–3841.
- Singh, D., Tsiang, M., Rajaratnam, B., & Diffenbaugh, N. S. (2014). Observed changes in extreme wet and dry spells during the South Asian summer monsoon season. *Nat. Clim. Change*, 4, 456–461.
- Twardosz, R., Niedźwiedź, T., & Łupikasza, E. (2011). The influence of atmospheric circulation on the type of precipitation (Krakow, southern Poland). *Theor Appl Climatol*, 104, 233–250. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0340-5>
- Wibig, J. (1999). Precipitation in Europe in reaction to circulation patterns at the 500 hPa level. *Int. J. Climatol.*, 19(3), 253–269.
- Zolina, O., Simmer, C., Belyaev, K., Gulev, S. K., & Koltermann, P. (2013). Changes in the duration of European wet and dry spells during the last 60 years. *J. Clim.*, 26, 2022–2047.
- Zveryaev, I. I. (2004). Seasonality in precipitation variability over Europe. *J. Geophys. Res.*, 109, D05103. <https://doi.org/10.1029/2003JD003668>.
- Zveryaev, I. I. (2006). Seasonally varying modes in long-term variability of European precipitation during the 20th century. *J. Geophys. Res.*, 111, D21116. <https://doi.org/10.1029/2005JD006821>.