Physical Geography Research Quarterly

Online ISSN: 2423-7760

Journal Homepage: jphgr.ut.ac.ir

Institute of Geography

Mechanisms of Synoptic-Scale Interactions Influencing Warm-Season Cold Anomalies in the Southern Coastal Regions of Iran

Soudabeh Sanadizadeh [1], Hassan Lashkari [2] ✉, Seyyed Jamaleddin Daryabari [3]

1. *Department of Physical Geography, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
Email: s.snz1363@gmail.com
2. (Corresponding Author) *Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran*
Email: h-Lashkari@sbu.ac.ir
3. *Department of Urban Planning, SE. C, Islamic Azad University, Semnan, Iran*
Email: jdeyabari47@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:
Received:
10 June 2026
Revised:
28 August 2026
Accepted:
7 October 2026
Available online:
27 October 2026

Keywords:
Cold anomalies,
Warm season,
Synoptic patterns,
Factor analysis,
Migratory anticyclone.

ABSTRACT

Cold anomalies can cause ecological disruptions in many regions; however, in the southern coastal areas of Iran—where the warm season is characterized by extremely high temperatures—temperatures below normal may temporarily improve thermal comfort conditions. This study investigates the synoptic mechanisms associated with warm-season cold anomalies using factor analysis. The warm season was defined as the period from April to October, and daily minimum temperature data from coastal and marine meteorological stations were obtained from the Iran Meteorological Organization over a span of 33 years (1986–2019). Extreme cold events were identified using the standardized Z-score index. Events were selected based on three criteria: $\boldsymbol{Z < -1.8}$, a minimum persistence of three consecutive cold days, and the involvement of at least 50% of the stations in the study area. In total, 31 cold or cool waves were identified comprising 113 days. The results indicate that 12 events were associated with the Migratory Anticyclone, 11 events related to the Siberian High, while the remaining events linked to the Polar Vortex pattern, the African Anticyclone, and a combined Siberian–Migratory circulation pattern. In the dominant Migratory Anticyclone pattern, the establishment of a high-pressure core extending from the Black Sea toward the Caspian region, together with the advection of relatively cold air from higher latitudes, resulted in a noticeable decrease in temperature over the southern coastal regions of Iran.

Cite this article: Sanadizadeh, S., Lashkari, H., & Daryabari, S. J. (2026). Mechanisms of Synoptic-Scale Interactions Influencing Warm-Season Cold Anomalies in the Southern Coastal Regions of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 58 (3), 43-61.
http://doi.org/10.22059/jphgr.2026.411439.1007920

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Although the Persian Gulf region is characterized by extremely high temperatures during the warm season, occasional cold anomalies can occur due to large-scale atmospheric circulation patterns. These events, while relatively rare, may significantly affect human comfort, energy consumption, agriculture, and environmental systems. Most climatological studies in Iran have focused on cold waves during the cold season, while warm-season cold anomalies have received far less attention. Understanding the synoptic mechanisms responsible for such events is therefore essential for improving climatic interpretation and forecasting capabilities. The present study aims to identify and classify the synoptic circulation patterns responsible for cold and cool waves during the warm season in the coastal regions of the Persian Gulf using statistical and synoptic analysis methods, particularly factor analysis.

Methodology

This study analyzed daily minimum temperature data from meteorological stations located along the northern coast of the Persian Gulf for the warm-season period (April–September) during 1990–2024. To identify extreme cold anomalies, temperature data were standardized using the Z-score index, calculated based on long-term climatological means and standard deviations. Cold events were defined using three simultaneous criteria: (1) standardized temperature values lower than −1.8, (2) persistence for at least three consecutive days, and (3) spatial coverage involving at least 50% of the studied stations.

After identifying the cold events, synoptic circulation patterns were examined using factor analysis in S-mode with the principal component method. This technique was applied to geopotential height fields to identify the dominant spatial structures of atmospheric circulation associated with the detected cold events. The adequacy of the dataset for factor analysis was confirmed using the Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) measure. Factors were extracted based on eigenvalues and explained variance, and the dominant factors were selected and interpreted based on their spatial loading patterns. Each extracted factor represents a distinct synoptic circulation regime influencing temperature anomalies over the study region.

Results and Discussions

The analysis identified 31 cold and cool waves during the warm season of the study period. Factor analysis revealed several dominant synoptic circulation patterns responsible for the occurrence of these events. The most influential pattern is associated with the strengthening and southwestward extension of the Siberian High, which leads to the advection of relatively cold continental air masses toward the Persian Gulf region. Another important pattern involves the influence of migratory anticyclones originating from higher latitudes that move southeastward toward the Middle East, producing temporary cooling over the region. A third circulation pattern is linked to the interaction between subtropical systems and regional pressure anomalies that facilitate the penetration of cooler air masses into the Persian Gulf coastal areas. These circulation regimes are typically accompanied by positive geopotential height anomalies over northern Eurasia and pressure gradients that channel cooler air toward lower latitudes. The spatial configuration of these systems plays a pivotal role in controlling the intensity and duration of warm-season cold anomalies in southern Iran.

Conclusion

The results indicate that warm-season cold anomalies in the Persian Gulf coastal region are strongly influenced by large-scale atmospheric circulation patterns originating from higher latitudes. The extension of the Siberian High, the passage of migratory anticyclones, and interactions with regional circulation systems constitute the main mechanisms responsible for these events.

By applying factor analysis to synoptic atmospheric fields, this study provides a systematic classification of the circulation patterns associated with warm-season cold waves in southern Iran. The findings improve understanding of the synoptic

drivers of temperature variability in the Persian Gulf region and may contribute to better forecasting, climate monitoring, and energy management strategies in this climatically sensitive area.

Funding
There is no funding support.

Authors' Contribution
All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Conflict of Interest
The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments
We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی
شاپا الکترونیکی: 2423-7760
Journal Homepage: jphgr.ut.ac.ir

تبیین سازوکارهای همدیدی مؤثر بر ناهنجاری‌های سرد فصل گرم در نواحی ساحلی جنوب ایران

سودابه سنادی زاده [۱]، حسن لشکری [۲]✉، سید جمال‌الدین دریاباری [۳]

۱- گروه جغرافیای طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: s.snz1363@gmail.com
۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: h-lashkari@sbu.ac.ir
۳- گروه برنامه‌ریزی شهری، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران. رایانامه: jdeyabari47@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۵/۰۳/۲۰
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۵/۰۶/۰۶
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۵/۰۷/۱۵
تاریخ چاپ:
۱۴۰۵/۰۸/۰۵

واژگان کلیدی:
ناهنجاری‌های سرد، فصل گرم سال، الگوهای همدیدی، واچرخند مهاجر، پرفشار سیبری.

چکیده

ناهنجاری‌های سرد در بسیاری از مناطق می‌توانند موجب اختلالات زیستی شوند، اما در نواحی ساحلی جنوب ایران که فصل گرم با گرمای شدید همراه است، وقوع دماهای کمتر از نرمال فرصتی برای بهبود آسایش حرارتی ایجاد می‌کند. این پژوهش با هدف تبیین سازوکارهای همدیدی مؤثر بر ناهنجاری‌های سرد فصل گرم و با بهره‌گیری از تحلیل عاملی انجام‌شده است. دوره گرم سال شامل ماه‌های آوریل تا اکتبر در نظر گرفته شد و داده‌های دمای حداقل روزانه ایستگاه‌های ساحلی و دریایی طی دوره ۳۳ ساله ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. برای شناسایی رخدادهای سرد فرین، از نمره استاندارد Z استفاده و نمونه‌ها بر اساس سه معیار انتخاب شدند: مقدار Z کمتر از ۱/۸-، تداوم حداقل سه‌روزه سامانه سرد، و درگیری ۵۰ درصد یا بیشتر ایستگاه‌ها. در مجموع ۳۱ موج سرد یا خنک شامل ۱۱۳ روز شناسایی شد. نتایج نشان داد که ۱۲ موج تحت تأثیر واچرخند مهاجر، ۱۱ موج ناشی از پرفشار سیبری و سایر رخدادها وابسته به الگوهای تاوه قطبی، واچرخند آفریقا و الگوی ترکیبی پرفشار سیبری–مهاجر بوده‌اند. در الگوی غالب واچرخند مهاجر، استقرار هسته پرفشار در محدوده دریای سیاه تا مازندران و فرا رفت هوای سرد عرض‌های شمالی موجب کاهش محسوس دما در منطقه شده است.

استناد: سنادی زاده، سودابه؛ لشکری، حسن و دریاباری، سید جمال‌الدین. (۱۴۰۵). تبیین سازوکارهای همدیدی مؤثر بر ناهنجاری‌های سرد فصل گرم در نواحی ساحلی جنوب ایران. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۸ (۳)، ۶۱-۴۳.
http://doi.org/10.22059/jphgr.2026.411439.1007920

© نویسندگان
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

مقدمه

جانداران در هر اقلیم، به‌تدریج متناسب با شرایط دمایی محیط خودسازگار می‌شوند یا در صورت ناتوانی در تحمل این شرایط، ناچار به ترک آن خواهند بود. در جانوران، این سازگاری گاه از طریق مهاجرت‌های فصلی صورت می‌گیرد؛ به‌گونه‌ای که بسیاری از پرندگان و گونه‌های حیات‌وحش با جابه‌جایی‌های دوره‌ای، از مواجهه مستقیم با شرایط دمایی نامطلوب اجتناب می‌کنند. در مقابل، انسان و گیاهان به دلیل وابستگی مکانی، امکان ترک دوره‌های نامناسب دمایی را ندارند. انسان ناگزیر است با بهره‌گیری از سرپناه و فناوری‌های تنظیم دما به ایجاد شرایط زیستی قابل‌تحمل بپردازد، درحالی‌که گیاهان چرخه رویشی و دوره رشد خود را با بازه‌های دمایی سازگار و مطلوب هماهنگ می‌کنند. با وجود این سازوکارهای طبیعی یا انسان‌محور سازگاری، هیچ اقلیمی در تمام طول سال شرایط کاملاً بهینه را برای موجودات زنده فراهم نمی‌کند و در برخی دوره‌ها رخدادهای دمایی فراتر از محدوده‌های معمول اقلیمی مشاهده می‌شود. این نوسانات دمایی، به‌ویژه در دوره گرم سال، می‌توانند پیامدهای قابل‌توجهی بر زیست‌بوم‌ها، کشاورزی و آسایش انسانی داشته باشند. در سطح جهانی نیز روندهای اخیر نشان می‌دهد که ناهنجاری‌های دمایی رو به افزایش‌اند. مطابق گزارش سازمان جهانی هواشناسی (WMO,2021)، میانگین سالانه دمای کره زمین طی پنج سال آینده احتمالاً بین ۰٫۹ تا ۱٫۸ درجه سلسیوس بالاتر از دوره مبنا (۱۸۵۰–۱۹۰۰) خواهد بود. این برآورد بیانگر تشدید تغییرپذیری دما و افزایش احتمال وقوع رخدادهای دمایی فرین در بسیاری از مناطق جهان، از جمله سواحل جنوبی ایران است. گرمایش جهانی عمدتاً به افزایش پیوسته غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو نسبت داده می‌شود که بخش عمده آن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و فعالیت‌های صنعتی است (Blanco et al.,2014:5). با وجود این، شدت اثرات گرمایش در مناطق مختلف یکسان نیست و به موقعیت جغرافیایی، الگوهای گردش جوّی و تغییرپذیری سامانه‌های همدیدی بستگی دارد (D'Ippoliti et al.,2010:37; IPCC,2023:4). مطالعات جدید نیز تأکید دارند که تشدید نوسانات دمایی و افزایش فرین‌ها به‌ویژه در عرض‌های میانی، نتیجه تقویت بلوکینگ و استقرار پرفشارهای پایدار در ترازهای میانی جو است (Gulev et al.,2023;499؛ Sherwood et al.,2023;112). اقلیم اروپا و نواحی پیرامونی آن) خاورمیانه (به‌شدت تحت تأثیر سامانه‌های چرخندی و واچرخندی اقیانوس اطلس و مدیترانه قرار دارد (Ozturk et al.,2021:325). این الگوها نقش مهمی در بروز رخدادهای حدی دمایی دارند، زیرا ساختارهای دینامیکی آن‌ها تعیین‌کننده نوع فرا رفت، واگرایی و افت یا افزایش دمای سطح زمین است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که الگوهای همدیدی خاص می‌توانند بیش از نیمی از واریانس امواج گرما یا سرما را تبیین کنند (Ventura et al.,2023:4679؛ Rey et al., 2022:0341). همچنین شواهد جدید نشان می‌دهد که با وجود روند کاهشی امواج سرد جهانی، رخدادهای استثنایی ناشی از فرود ناوه‌های عمیق و تقویت واچرخندهای مهاجر همچنان محتمل است (Zhang & Held, 2023:2301؛ Zhou et al., 2024:2301). پژوهش‌های منطقه‌ای نیز نقش پرفشار سیبری و ناوه‌های تراز میانی اوراسیا را در وقوع امواج سرد جنوب غرب آسیا برجسته کرده‌اند (Martínez- Castro et al., 2023:2157; Rahimi et al., 2023:106780). در مناطق ساحلی کم‌عرض جغرافیایی نیز نشان داده‌شده که جابجایی ادوات گردش عرض‌های میانی، حتی در فصل گرم سال، می‌تواند موجب فرا رفت هوای سرد و کاهش قابل‌توجه دما شود (Ghosh & Misra, 2022:1). یافته‌های جدید در خاورمیانه نیز نشان می‌دهد که نوسانات مدیترانه و شبه‌جزیره عربستان نقش مهمی در تقویت ناهنجاری‌های سرد دارند (Alizadeh- Choobari et al., 2024:23). در ایران نیز تحقیقات گسترده‌ای به بررسی الگوهای همدیدی رویدادهای حدی پرداخته‌اند. از جمله، (خسروی و همکاران،۱۳۹۰ :۵۹)، اثر دمای سطح دریای عمان را بر بارش جنوب شرق ایران

تحلیل کردند؛ (عساکره و همکاران،۱۳۹۲؛۳۵)، سازوکارهای گرماهای فرین کشور را شناسایی کردند؛ و (مسعودیان و دارند،۱۳۹۰؛۱۶۵)، پرفشار سیبری را مهم‌ترین عامل ایجاد سردی‌های گسترده دانستند. همچنین در اقلیم ایران روندی آشکار از کاهش رخدادهای سرد و افزایش رخدادهای گرم گزارش‌شده است (اسدی و مسعودیان،۱۳۹۱ :۳۱؛ علیجانی و فرجزاده،۱۳۹۶: ۲۲۹). فرین‌های دمایی سرد در کشور (کریمی و همکاران،۱۳۹۶: ۱۶۶) را موردبررسی قرار دادند. دماهای بسیار بالای ثبت‌شده طی سال‌های اخیر در برخی نواحی کشور (جمالی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۷؛ برون و همکاران،۱۳۹۹ :۵۵) نیز گویای اهمیت بررسی دقیق سازوکارهای دمایی است. در این میان، تحلیل‌های سینوپتیکی جدید نشان داده‌اند که ترکیب ناوه‌های تراز میانی، واچرخندهای سطحی و الگوهای جابه‌جایی توده‌هوا نقش کلیدی در شکل‌گیری ناهنجاری‌های دمایی دارد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۱؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۳؛ اسکندری‌دامنه و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۱۰؛ حجازی‌زاده و کربلایی،۱۴۰۱ :۲۱). مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بخش عمده پژوهش‌ها در ایران و سایر نقاط جهان بر موج‌های سرمای زمستانه و یا فرین‌های دمایی در مقیاس سالانه متمرکز بوده است و موج‌های سرد در دوره گرم سال کمتر موردتوجه قرارگرفته‌اند. همچنین اگرچه برخی پژوهش‌ها از شاخص‌های آماری مانند نمره استاندارد Z برای شناسایی رخدادهای فرین دمایی استفاده کرده‌اند، به‌کارگیری تحلیل عاملی (تحلیل مؤلفه‌های اصلی) برای استخراج الگوهای همدیدی شاخص در ارتباط با این رخدادها، به‌ویژه در قلمرو ایران، کمتر مشاهده می‌شود. در این زمینه، پژوهش حاضر با تمرکز بر موج‌های سرد دوره گرم سال و بهره‌گیری هم‌زمان از شاخص Z و تحلیل عاملی، می‌کوشد خلأ مزبور را تا حدی پوشش دهد و سازوکارهای همدیدی مؤثر بر این رخدادها را تبیین کند.

با توجه به این زمینه، هدف پژوهش حاضر تبیین سازوکارهای همدیدی مؤثر بر ناهنجاری‌های سرد فصل گرم سال در نواحی ساحلی جنوب ایران است. بدین منظور، نقشه‌های فشار سطح دریا مرتبط با رخدادهای سرد استخراج‌شده و با بهره‌گیری از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) در حالت S خوشه‌بندی و گونه‌شناسی شده‌اند (Peña et al., 2011). این روش امکان شناسایی الگوهای عمده گردش جوّی و نقش آن‌ها در پیدایش سرماهای فرین را فراهم می‌کند.

روش پژوهش

برای دستیابی به هدف پژوهش، ابتدا داده‌های دمای حداقل روزانه تمامی ایستگاه‌های منتخب در سواحل جنوبی ایران در دوره آماری ۳۳ ساله (۲۰۱۹–۱۹۸۶) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. انتخاب این دوره مطابق با سه‌چرخه خورشیدی اخیر (چرخه‌های ۲۲، ۲۳ و ۲۴) انجام گرفت تا پایداری آماری و پوشش زمانی کافی برای ارزیابی تغییرپذیری دما فراهم شود. تمامی ایستگاه‌هایی که در این بازه زمانی دارای آمار کامل و بدون گسست بودند، وارد تحلیل شدند. پراکنش مکانی این ایستگاه‌ها در شکل (۱) ارائه‌شده است. تمرکز بر ایستگاه‌های ساحلی و جزایر جنوبی به‌منظور کسب نمایه‌ای دقیق از ویژگی‌های اقلیم دریایی–ساحلی منطقه صورت گرفت. پس از گردآوری داده‌ها، نرمال بودن توزیع دمای حداقل روزانه در ایستگاه‌های منتخب با استفاده از آزمون اندرسون–دارلینگ در محیط نرم‌افزار Minitab مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که داده‌ها با توزیع نرمال سازگار بوده و امکان استفاده از روش‌های آماری مبتنی بر نرمالیت فراهم است. سپس، ماه‌های آوریل تا اکتبر به‌عنوان نماینده دوره گرم سال و سایر ماه‌ها به‌عنوان دوره سرد سال تفکیک شدند؛ تقسیم‌بندی‌ای که با رفتار دمایی نواحی کم‌عرض ساحلی و گزارش‌های جدید سازگار است (Ghosh & Misra, 2022:1; Rahimi et al., 2023:6780). برای شناسایی فرین‌های دمایی با استفاده از شاخص Z- Score

معمولاً از استانداردسازی داده‌های دما نسبت به میانگین بلندمدت استفاده می‌شود. این شاخص نشان می‌دهد که مقدار دما چند انحراف معیار با مقدار نرمال فاصله دارد.

رابطه (1) $$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

که در آن، X مقدار دما در روز موردنظر، μ میانگین بلندمدت دما در همان روز سال و σ انحراف معیار متناظر است. به‌این‌ترتیب، شاخص Z بیانگر میزان انحراف هر مقدار دما از شرایط اقلیمی معمول (نرمال بلندمدت) برحسب انحراف معیار است .استفاده از شاخص Z یکی از روش‌های معتبر در تشخیص فرین‌های دمایی به شمار می‌رود (Zhang & Held, 2023; Martínez‐Castro et al., 2023). مقادیر منفی شاخص نشان‌دهنده شرایط سردتر از نرمال و مقادیر مثبت بیانگر شرایط گرم‌تر از نرمال هستند. در این پژوهش، آستانه $Z < -1.8$ برای شناسایی ناهنجاری‌های سرد قابل‌توجه در نظر گرفته شد که بیانگر قرارگیری دما در بخش پایینی توزیع آماری و وقوع رخدادهای سرد نسبتاً نادر است. استفاده از این شاخص استاندارد امکان شناسایی عینی رخدادهای سرمایی و مقایسه آن‌ها در ایستگاه‌های مختلف منطقه موردمطالعه را فراهم می‌کند .بر اساس این رویکرد، مقادیر کمتر از ۱/۸− به‌عنوان مقادیر به‌طور معنادار سردتر از شرایط اقلیمی معمول در نظر گرفته شد. برای افزایش دقت تحلیل و جلوگیری از انتخاب رخدادهای محلی یا گذرا، سه شرط هم‌زمان در تعریف موج سرد لحاظ شد: تداوم حداقل سه‌روزه، پوشش حداقل ۵۰ درصد ایستگاه‌ها، و ثبت مقدار Z کمتر از ۱/۸− در نتیجه این فرآیند، مجموعاً ۱۷۱ روز به‌عنوان رخدادهای سرد دوره گرم سال شناسایی شدند. به‌منظور تبیین الگوهای همدیدی مؤثر بر رخدادهای سرد، داده‌های بازتحلیل فشار سطح زمین مربوط به ۱۷۱ روز سرد از پایگاه داده NCEP/NCAR استخراج شد. با تشکیل ماتریسی شامل ۹۲۵ نقطه شبکه و ۱۷۲ روز، تحلیل مؤلفه‌های اصلی در چارچوب آرایه S اجرا گردید. شاخص کفایت نمونه‌برداری KMO برابر با ۰،۸۹ به دست آمد (جدول ۱) که بیانگر مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی است (Mohammadi et al., 2021:14). پس از استخراج بردارهای ویژه از ماتریس همبستگی—که نیازی به نرمال‌سازی داده‌ها ندارد—۱۵ عامل نخست مجموعاً ۹۴ درصد از واریانس کل را توضیح دادند (جدول ۲). برای تسهیل در تفسیر الگوهای همدیدی و کاهش همبستگی بین بارهای عاملی، چرخش متعامد نوع Varimax به عوامل استخراج‌شده اعمال شد. با ارزیابی نقشه‌های بار عاملی و ملاحظات دینامیکی، پنج عامل غالب انتخاب و الگوهای همدیدی متناظر با آن‌ها به‌عنوان الگوهای شاخص مؤثر بر رخدادهای سرد دوره گرم سال تحلیل شدند.

جدول ۱. آزمون KMO و بارتلت به‌منظور اطمینان از مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی

KMO and Bartlett's Test[a]		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		۰/۸۹
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	.
	df	۲۰۳۰۱
	Sig.	۰,۰۰۰
a. Based on correlations		

جدول ۲. نمایش مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تراکمی برای نمونه‌های گزینش‌شده

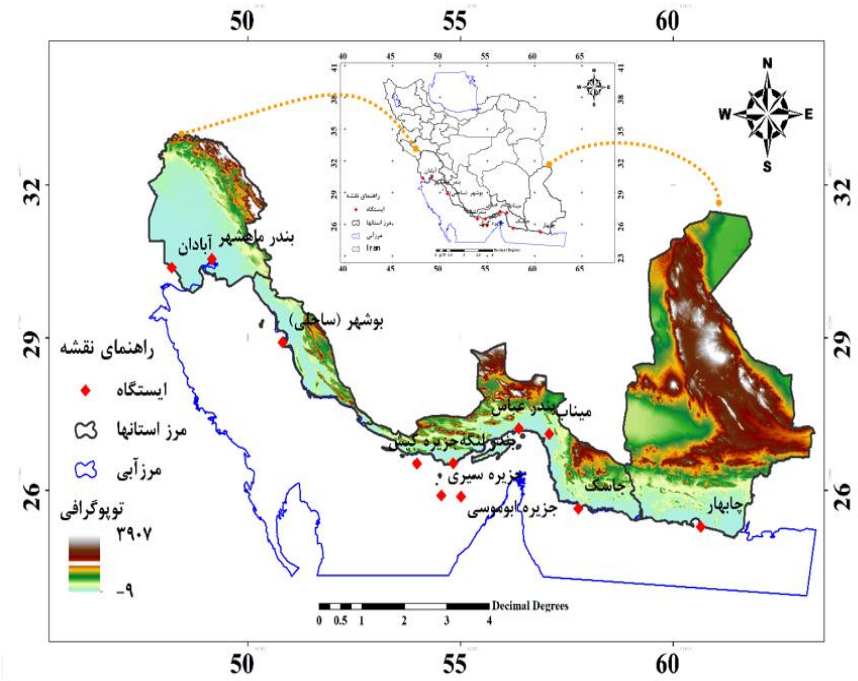
مجموع واریانس تبیین شده										
مجموع مربع بارها بعد از چرخش			مجموع مربع بارهای استخراج‌شده			نمرات ویژه اولیه				
درصد	درصد واریانس	مجموع	درصد	درصد واریانس	مجموع	درصد	درصد واریانس	مجموع	مؤلفه
۱۸/۳۳	۱۸/۳۳	۳۱/۵۳	۲۷/۸۸	۲۷/۸۸	۴۷/۹۶	۲۷/۸۸	۲۷/۸۸	۴۷/۹۶	۱
۳۳/۱۲	۱۴/۷۸	۲۵/۴۳	۴۱/۳۲	۱۳/۴۴	۲۳/۱۲	۴۱/۳۲	۱۳/۴۴	۲۳/۱۲	۲
۵۴/۷	۱۲/۵۸	۲۱/۶۴	۵۳/۴	۱۲/۰۸	۲۰/۷۷	۵۳/۴	۱۲/۰۸	۲۰/۷۷	۳
۵۷/۰۵	۱۱/۳۴	۱۹/۵۱	۶۳/۶۲	۱۰/۲۲	۱۷/۵۸	۶۳/۶۲	۱۰/۲۲	۱۷/۵۸	۴
۷۶/۶	۱۰/۵۵	۱۸/۱۵	۷۲/۰۹	۸/۴۶	۱۴/۵۶	۷۲/۰۹	۸/۴۶	۱۴/۵۶	۵
۷۳/۶۹	۶/۰۸	۱۰/۴۷	۷۷/۰۹	۴/۹۹	۸/۵۹	۷۷/۰۹	۴/۹۹	۸/۵۹	۶
۷۸/۳	۴/۶۱	۷/۹۳	۸۱/۷۷	۴/۶۸	۸/۰۵	۸۱/۷۷	۴/۶۸	۸/۰۵	۷
۸۲/۲۱	۳/۹۱	۶/۷۲	۸۴/۵۶	۲/۷۹	۴/۸	۸۴/۵۶	۲/۷۹	۴/۸	۸
۸۴/۵۲	۲/۳	۳/۹۷	۸۶/۹۳	۲/۳۷	۴/۰۷۶	۸۶/۹۳	۲/۳۷	۴/۰۷	۹
۸۶/۶۹	۲/۱۷	۳/۷۴	۸۸/۶۹	۱/۷۶	۳/۰۲	۸۸/۶۹	۱/۷۶	۳/۰۲	۱۰
۸۸/۶۱	۱/۹۱	۳/۲۹	۹۰/۱۲	۱/۴۲	۲/۴۵	۹۰/۱۲	۱/۴۲	۲/۴۵	۱۱
۹۰/۳۸	۱/۷۶	۳/۰۳	۹۱/۳۳	۱/۲۰	۲/۰۷	۹۱/۳۳	۱/۲	۲/۰۷	۱۲
۹۱/۷۷	۱/۳۹	۲/۳۹	۹۲/۴۸	۱/۱۵	۱/۹۸	۹۲/۴۸	۱/۱۵	۱/۹۸	۱۳
۹۲/۹۷	۱/۲	۲/۰۶	۹۳/۳۱	۰/۸۳	۱/۴۳	۹۳/۳۱	۰/۸۳	۱/۴۳	۱۴
۹۴	۱/۰۳	۱/۷۷	۹۴	۰/۶۸	۱/۱۸	۹۴	۰/۶۸	۱/۱۸	۱۵
						۲۷/۸۸	۲۷/۸۸	۴۷/۹۶	۱۶
						۴۱/۳۲	۱۳/۴۴	۲۳/۱۲	۱۷
						۵۳/۴	۱۲/۰۸	۲۰/۷۷	۱۸

برای تحلیل الگوهای غالب و پرتکرار مؤثر بر رخدادهای سرد، داده‌های بازتحلیل پایگاه NCEP/NCAR (https://psl.noaa.gov/) شامل مؤلفه‌های دمای هوا، باد مداری و نصف‌النهاری، و ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۱۰۰۰، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال مورداستفاده قرار گرفتند. این داده‌ها امکان ارزیابی ساختار سه‌بعدی سیستم‌های جوی و بررسی نقش لایه‌های مختلف تروپوسفر در شکل‌گیری و تداوم امواج سرد را فراهم می‌کنند. برای ترسیم و بازنمایی الگوهای همدیدی، از محیط نرم‌افزار GRADS بهره گرفته شد که به دلیل قابلیت در نمایش ترکیبی داده‌های دینامیکی و ترمودینامیکی، یکی از ابزارهای رایج در تحلیل سامانه‌های اقلیمی محسوب می‌شود.

با توجه به محدودیت حجم مقاله و به‌منظور جلوگیری از ارائه نقشه‌های متعدد، آرایش سامانه‌های جوی در هر الگو تنها در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال به‌عنوان نمایه‌ای از ساختار سطحی سامانه‌ها مورد تحلیل قرار گرفت؛ رویکردی که در بسیاری از مطالعات مشابه برای ارائه فشرده الگوهای همدیدی اتخاذ شده است (لشکری و محمدی،۱۳۹۴؛۸۰). ازاین‌رو، برای هر یک از پنج عامل غالب شناسایی‌شده، یک نقشه شاخص در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال استخراج گردید تا ویژگی‌های کلیدی سامانه‌های مولد، شدت گرادیان فشاری و الگوی جریانات همدیدی به‌طور دقیق نمایش داده شود. افزون بر این، برای تبیین نقش لایه‌های فوقانی در تقویت یا تضعیف موج سرد، نمونه‌ای از الگوی پرتکرار در طول عمر یک موج سرد انتخاب و در تمامی ترازهای مؤثر (۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال) موردبررسی قرار گرفت. این رویکرد امکان مقایسه ساختار عمقی سامانه‌ها و ارزیابی هم‌زمان الگوهای فرا رفت، تاوایی و میدان‌های ارتفاع ژئوپتانسیل را فراهم ساخت و تصویری جامع از رفتار دینامیکی موج سرد به دست داد.

محدوده موردمطالعه

با توجه به ماهیت تحقیق، این مطالعه در چارچوب روش‌شناسی محیطی–به‌گردشی انجام‌گرفته است. در راستای هدف پژوهش که تبیین الگوهای همدیدی منجر به بروز امواج سرد یا خنک در دوره گرم سال سواحل جنوبی ایران است، یک دوره آماری ۳۳ ساله منطبق با سه‌چرخه خورشیدی اخیر (چرخه‌های ۲۲، ۲۳ و ۲۴ خورشیدی) انتخاب گردید. انتخاب این بازه زمانی (۲۰۱۹–۱۹۸۶) امکان بررسی الگوهای فرین دمایی را در یک دوره طولانی‌مدت با تحول‌پذیری کافی فراهم می‌سازد. بر این اساس، تمام ایستگاه‌های همدیدی که در دوره ۳۳ ساله موردنظر دارای آمار کامل و بدون وقفه بوده‌اند شناسایی و استخراج شدند. شکل (۱)، پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب را نمایش می‌دهند. با توجه به هدف تحقیق، تنها ایستگاه‌هایی مورداستفاده قرار گرفتند که در نواحی هم‌جوار ساحل یا جزایر ایرانی خلیج‌فارس واقع‌شده‌اند تا نماینده دقیق‌تری از شرایط اقلیمی دریایی–ساحلی جنوب ایران باشند.



شکل ۱. منطقه موردمطالعه و موقعیت ایستگاه‌های همدیدی

یافته‌ها

تحلیل آماری الگوها و نمونه‌های انتخابی در فرین‌های خنک دوره گرم سال

بر اساس مجموعه معیارهای تعریف‌شده برای شناسایی رخدادهای سرد و همچنین بررسی‌های حاصل از تحلیل عاملی و ارزیابی چشمی نقشه‌های بار عاملی، در مجموع ۳۱ نمونه موج سرد یا خنک در دوره آماری موردمطالعه شناسایی شد. توزیع فراوانی این رخدادها (جدول ۳) نشان می‌دهد که دو الگوی همدیدی اصلی بیشترین نقش را در تشکیل سامانه‌های سرد دوره گرم سال ایفا کرده‌اند. در ۱۲ رخداد، استقرار و جابه‌جایی پرفشار مهاجر به‌عنوان عامل غالب یا کنترل‌کننده سامانه سرد عمل کرده است. همچنین ۱۱ رخداد در ارتباط با الگوی پرفشار سیبری شکل‌گرفته‌اند و نفوذ شاخه‌های جنوبی این پرفشار موجب فرا رفت هوای سرد و کاهش دما شده است. سایر الگوهای همدیدی از فراوانی کمتری برخوردار بوده‌اند. الگوی مرتبط با تاوه قطبی در سه مورد مشاهده شد، درحالی‌که پرفشار آفریقا نیز سه رخداد را به خود

اختصاص داده است. افزون بر این، الگوی ترکیبی پرفشار سیبری–مهاجر با دو رخداد سهم نسبتاً اندکی در میان الگوهای استخراج‌شده دارد. این توزیع نشان می‌دهد که گرچه چندین سازوکار مختلف می‌توانند موجب شکل‌گیری امواج سرد شوند، اما نقش سامانه‌های پرفشار میانی عرض‌ها و پرفشار قاره‌ای سیبری بسیار برجسته‌تر است. از سوی دیگر، توزیع زمانی رخدادها نشان می‌دهد که هیچ‌یک از موج‌های سرد در ماه‌های اصلی گرم یعنی ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر بروز نکرده‌اند. عمده فرین‌های سرد در ماه‌های حاشیه‌ای دوره گرم رخداده است؛ به‌گونه‌ای که از مجموع ۳۳ سامانه سرد یا خنک شناسایی‌شده، ۱۶ رخداد در نوامبر، ۷ رخداد در آوریل، ۶ رخداد در ماه می، ۳ رخداد در اکتبر و تنها یک مورد در سپتامبر ثبت‌شده است. این الگو بیانگر آن است که وقوع موج‌های سرد در نواحی ساحلی جنوب ایران عمدتاً محدود به اوایل بهار و اواخر پاییز است؛ زمانی که جابه‌جایی سامانه‌های پرفشار میانی عرض‌ها و فرا رفت هوای سرد به سطوح جنوبی‌تر بیشتر محتمل است.

جدول ۳. نمونه‌های فرین سرد مرتبط با الگوهای

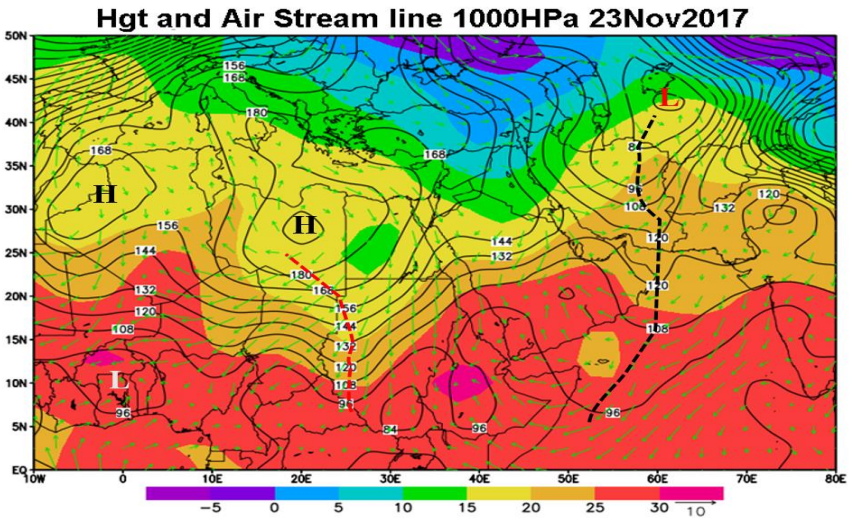
ردیف	سال	ماه	روز	نمونه الگوها
۱	۲۰۰۶	نوامبر	۳۰–۲۷	الگوی پرفشار مهاجر
۲	۲۰۱۷	نوامبر	۲۷–۲۶	الگوی پرفشار مهاجر
۳	۲۰۱۵	سپتامبر	۲۷	الگوی پرفشار مهاجر
۴	۱۹۹۷	آوریل	۱۳	الگوی پرفشار مهاجر
۵	۲۰۰۹	آوریل	۳	الگوی پرفشار مهاجر
۶	۱۹۹۷	آوریل	۱	الگوی پرفشار مهاجر
۷	۲۰۰۵	می	۸–۷	الگوی پرفشار مهاجر
۸	۱۹۹۵	اکتبر	۲۸–۲۷	الگوی پرفشار سیبری
۹	۱۹۹۵	اکتبر	۲۸	الگوی پرفشار سیبری
۱۰	۲۰۱۴	نوامبر	۳۰	الگوی پرفشار سیبری
۱۱	۲۰۰۶	نوامبر	۲۵	الگوی پرفشار سیبری
۱۲	۲۰۰۰	نوامبر	۲۴–۲۲	الگوی پرفشار سیبری
۱۳	۱۹۹۷	آپریل	۱۵	الگوی پرفشار سیبری
۱۴	۱۹۹۵	آپریل	۹	الگوی پرفشار سیبری
۱۵	۲۰۰۵	می	۹	الگوی پرفشار سیبری
۱۶	۱۹۹۸	می	۳	الگوی پرفشار سیبری
۱۷	۲۰۱۸	اکتبر	۳۱	الگوی تاوه قطبی
۱۸	۲۰۰۹	آوریل	۳–۲	الگوی تاوه قطبی
۱۹	۲۰۰۰	نوامبر	۲۵	الگوی پرفشار سیبری– مهاجر
۲۰	۲۰۰۳	می	۴	الگوی پرفشار سیبری– مهاجر
۲۱	۱۹۹۲	نوامبر	۲۶	الگوی پرفشار آفریقا
۲۲	۲۰۱۷	نوامبر	۲۳	الگوی پرفشار آفریقا
۲۳	۲۰۰۵	می	۶	الگوی پرفشار آفریقا

تحلیل همدیدی الگوهای منجر به امواج سرد در دوره گرم سال

بررسی الگوهای همدیدی نشان داد که سامانه‌های مؤثر بر ورود امواج سرد یا خنک به سواحل جنوبی ایران در قالب پنج الگوی اصلی طبقه‌بندی می‌شوند. در میان این پنج الگو، سه الگو از فراوانی پایینی برخوردار بوده و در مجموع تنها هفت نمونه را شامل می‌شوند. ازآنجاکه سهم این الگوهای کم فراوانی در شکل‌گیری فرین‌های سرد محدود بوده است،

در این بخش تنها یکی از این سه الگو به‌عنوان نمونه معرفی و تحلیل می‌شود تا تصویر کلی از سازوکار آن ارائه شود. در مقابل، دو الگوی پرفشار مهاجر و پرفشار سیبری به‌واسطه بسامد بالاتر و نقش تعیین‌کننده در ایجاد امواج سرد دوره گرم، اهمیت ویژه‌ای دارند و بخش عمده رخدادهای سرد را توضیح می‌دهند. به همین دلیل، این دو الگوی غالب که در مجموع بیش از دو سوم رخدادها را تشکیل داده‌اند، به‌صورت کامل و تفصیلی موردبررسی قرارگرفته‌اند تا سازوکارهای دینامیکی و نقش جابه‌جایی و گسترش آن‌ها در ایجاد فرا رفت سرد و کاهش دما در منطقه ساحلی جنوب تبیین شود.

الگوی پرفشار آفریقا



شکل ۲. نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۳ نوامبر ۲۰۱۷

جدول ۴. دماهای ثبت‌شده در ایستگاه‌های ساحلی مرتبط با موج سرمای ۲۳ نوامبر ۲۰۱۷

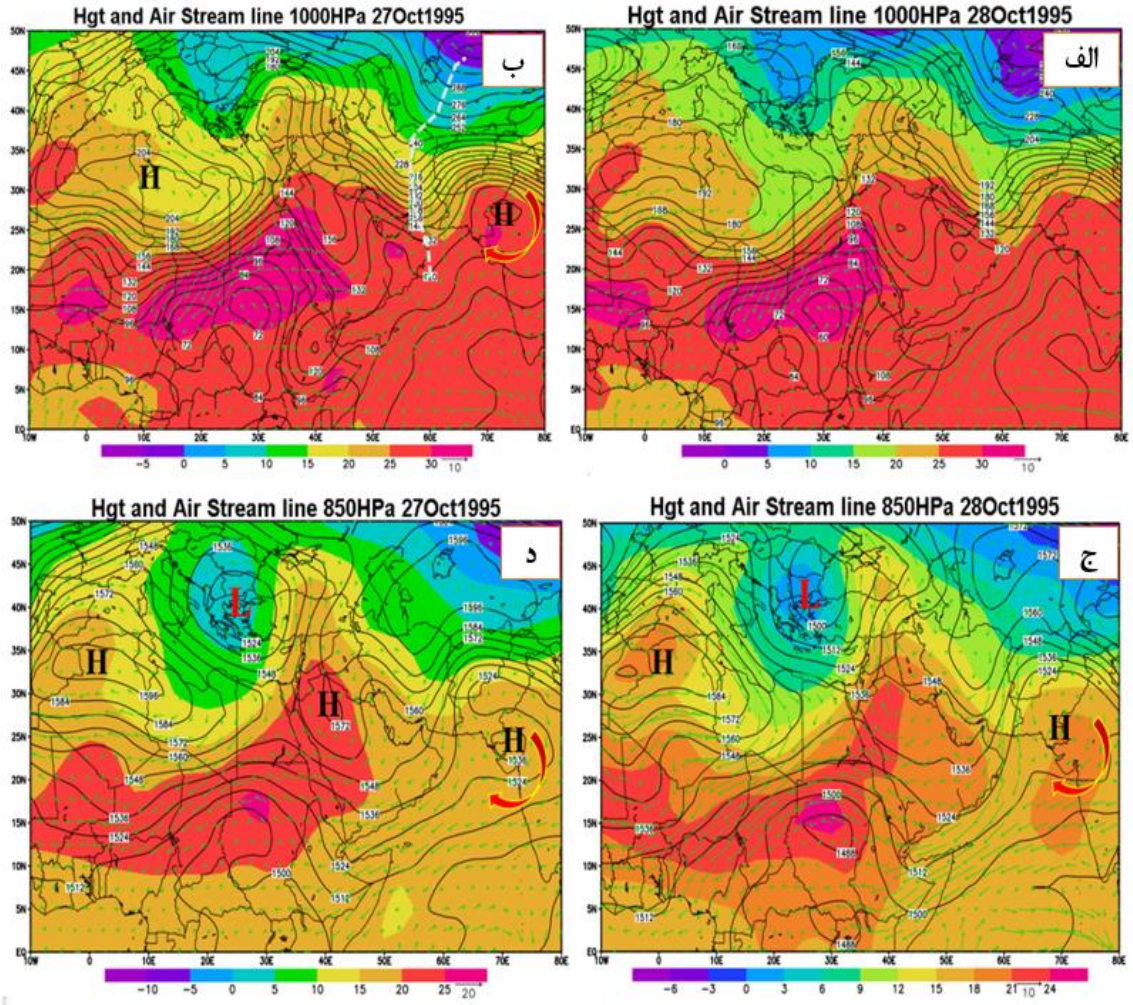
جاسک	چابهار	بندرعباس	میناب	بندرلنگه	جزیره کیش	جزیره سیری	جزیره ابوموسی	بوشهر ساحلی	بندر ماهشهر	آبادان	ایستگاه
۲۰	۱۸/۸	۱۰/۷	۱۰/۷	۱۴	۱۷/۸	۲۳	۲۳/۸	۱۴	۸/۸	۷/۴	۲۳ نوامبر ۲۰۱۷

برای این الگوی همدیدی که در سه مورد از رخدادهای سرد استخراج‌شده مشاهده‌شده است، نقش واچرخند آفریقا به‌عنوان سازوکار اصلی مشخص است. در این الگو، هسته پرفشار آفریقا در موقعیت معمول خود بر فراز غرب مصر، شمال صحرای آفریقا و بخش‌هایی از الجزایر—استقرار دارد. گسترش شاخه شمالی این واچرخند در لایه‌های زیرین و میانی تروپوسفر سبب می‌شود که بخش وسیعی از مدیترانه شرقی، آناتولی و شرق اروپا تحت تأثیر آن قرار گیرد. امتداد این زبانه تا عرض‌های جنب قطبی و نواحی جنوبی اروپا بیانگر توسعه غیرمعمول شاخه شمالی واچرخند در این رخدادهاست. تقویت این زبانه در لایه‌های زیرین موجب افزایش شیب فشاری و در نتیجه تشدید جریانات شمالی در بخش شرقی واچرخند آفریقا می‌شود. این جریانات، هوای سرد و نسبتاً سنگین عرض‌های جنب قطبی را به سمت فلات ایران فرا رفت داده و استمرار نفوذ آن تا پهنه جنوب کشور، زمینه‌ساز کاهش محسوس دما در سواحل جنوبی می‌گردد. از نظر مکانی، ایستگاه‌های جنوب غربی (به‌ویژه خوزستان و بوشهر) بیش از دیگر نواحی ساحلی تحت تأثیر این فرا رفت سرد قرار می‌گیرند. مطابق داده‌های جدول ۴، ایستگاه آبادان کاهش دمایی برابر با ۴/۷ درجه سانتی‌گراد و ایستگاه ماهشهر کاهش ۸/۸ درجه سانتی‌گراد را ثبت کرده‌اند؛ مقادیری که نسبت به میانگین بلندمدت منطقه، بین ۵ تا ۶ درجه سانتی‌گراد افت

دما را نشان می‌دهد. این میزان کاهش، نقش مؤثر نفوذ جریانات شمالی ناشی از آرایش خاص واچرخند آفریقا را در وقوع موج‌های سرد دوره گرم سال در جنوب کشور تأیید می‌کند.

الگوی پرفشار سیبری

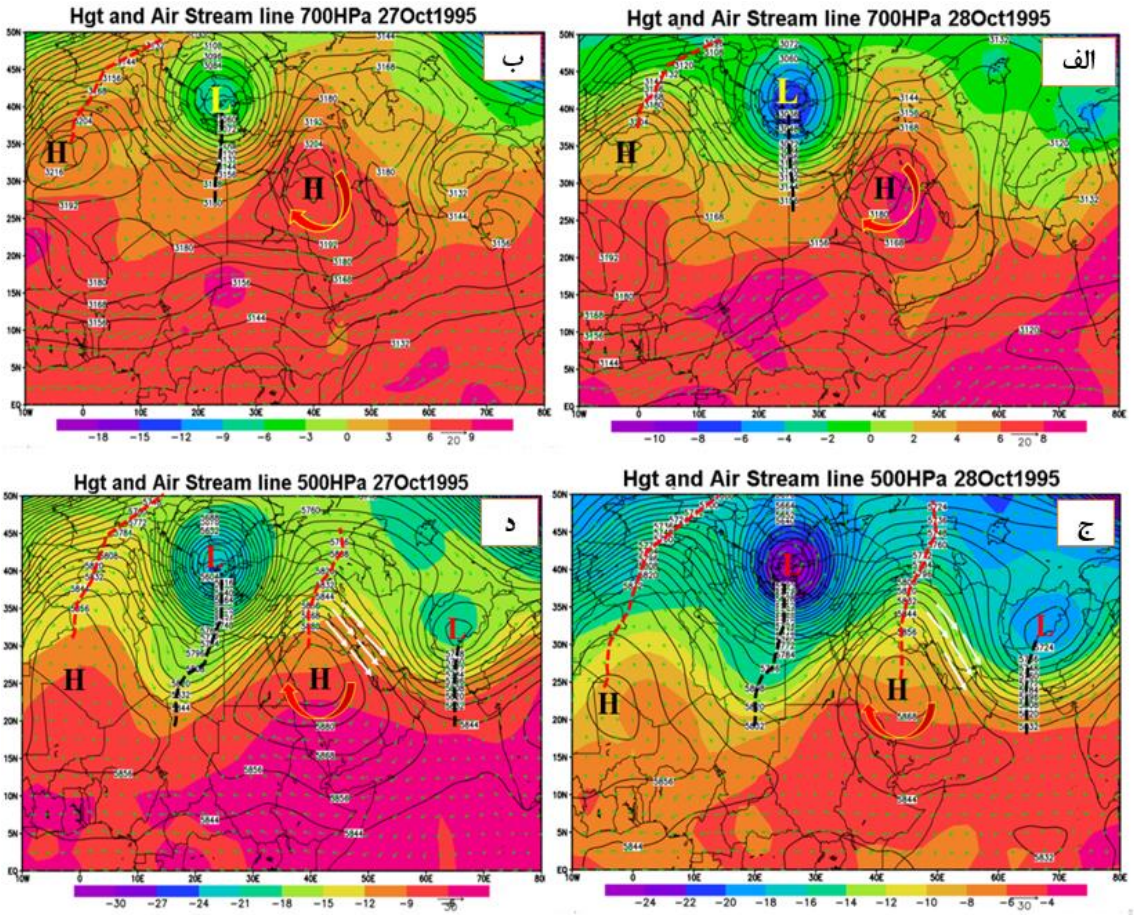
بررسی رخدادهای سرد نشان می‌دهد که ۱۱ نمونه از ۳۳ موج سرد شناسایی‌شده در دوره آماری تحت تأثیر الگوی پرفشار سیبری ایجادشده‌اند. در این الگو، هسته اصلی این پرفشار قدرتمند در ترازهای زیرین تروپوسفر یکی از دو موقعیت عمده را اشغال می‌کند: بخشی از نمونه‌ها با استقرار هسته بر نواحی بین دریاچه‌های بالخاش و بایکال، و بخشی دیگر با استقرار هسته در محدوده میان آرال و بایکال مشخص می‌شوند. با وجود این جابه‌جایی مکانی، زبانه پرفشار در تمامی موارد راستایی شمال شرقی – جنوب غربی دارد و همین آرایش، مسیر فرا رفت سرد را تعیین می‌کند. گسترش جنوب غرب سوی زبانه سیبری اغلب از نواحی افغانستان و شمال شرق ایران آغازشده و تا عرض‌های جنوبی‌تر امتداد می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که در بسیاری از موارد پس از عبور از نیمه شرقی ایران، زبانه تا شمال دریای عرب نیز گسترش پیدا می‌کند. در چنین شرایطی، با شمالی شدن جریانات بر امتداد زبانه پرفشار، هوای سرد جنب قطبی و توده سرد درون‌هسته سیبری به سمت ایران فرا رفت می‌یابد. نبود عوارض کوهستانی مؤثر در نیمه شرقی کشور موجب نفوذ آسان این هوای سرد به سمت سواحل جنوب شرق و جنوب میانی می‌شود؛ ازاین‌رو در این بخش‌ها سرعت باد بیشتر و نفوذ هوای سرد عمیق‌تر است و سرمای فرا رفتی تا میانه دریای عمان نیز امتداد دارد. در مقابل، وجود رشته‌کوه‌های همگن‌تر زاگرس جنوبی در نیمه جنوب غربی کشور مانعی طبیعی برای گسترش مستقیم جریانات سرد محسوب می‌شود. بنابراین شدت باد و میزان سرما در این بخش کاهش‌یافته و هوای سرد در ناحیه بادپناه تا حدودی تعدیل می‌شود. بااین‌حال، در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، این تفاوت شرقی–غربی کاهش‌یافته و رفتار میدان دما یکنواخت‌تر می‌شود. نتیجه آنکه در الگوی پرفشار سیبری، سواحل جنوب شرق و جنوب میانی (استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و هرمزگان) بیشترین تأثیرپذیری را از موج سرد دارند. شکل (۳. الف تا د) چگونگی آرایش پرفشار سیبری و سایر سامانه‌های مؤثر را در روزهای ۲۷ و ۲۸ اکتبر ۱۹۹۵ در ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، الگوی سیبری در هر دو روز و در هر دو تراز کاملاً پایدار بوده و ساختار آن تغییر محسوسی نداشته است.



شکل ۳. الف: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۸ اکتبر ۱۹۹۵ ب: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و نم ویژه (سایه‌های رنگی) تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۷ اکتبر ۱۹۹۵ ج: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۸ اکتبر ۱۹۹۵ د: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۲۷ اکتبر ۱۹۹۵

در ترازهای میانی تروپوسفر، الگوی همدیدی ماهیتی متفاوت از لایه زیرین پیدا می‌کند. شکل (۴. الف – د) وضعیت سامانه‌های مؤثر در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال را برای همان بازه زمانی نشان می‌دهد. برخلاف لایه زیرین که تحت سلطه پرفشار سیبری است، در لایه‌های میانی واچرخند عربستان سامانه غالب به شمار می‌رود. هسته این واچرخند بر نیمه غربی شبه‌جزیره عربستان مستقر است و پشته شمالی آن با راستایی تقریباً جنوبی–شمالی تا دریای سیاه و مازندران امتداد می‌یابد؛ به‌طوری‌که تقریباً سراسر ایران (به‌جز بخش‌هایی از شرق کشور) و عراق، جنوب قفقاز و پهنه دریای مازندران تحت حاکمیت آن قرار می‌گیرند. گسترش شمال سوی نیرومند این پشته همراه با شیب شدید دمایی در امتداد ضلع شرقی آن، موجب تقویت جریانات و تندبادهای شمالی شده و شکل‌گیری ناوه‌ای عمیق بر شرق ایران را تسهیل می‌کند. فرا رفت سرد ناشی از جریانات شمالی، که منشأ آن عرض‌های بالاتر از ۵۰ درجه شمالی است، سبب تشکیل مرکز کم ارتفاع بریده همراه با هسته سرد بر روی افغانستان می‌شود. گسترش جنوب سوی این کم ارتفاع بریده و سردچال همراه آن موجب تقویت فرا رفت سرد در لایه‌های میانی و در نهایت تشدید موج سرمایی بر سواحل جنوب شرق و جنوب میانی کشور می‌شود.

به استناد داده‌های جدول ۵، در این موج سرد نیز ایستگاه آبادان با دمای ۶/۱۵ درجه سانتی‌گراد و ماهشهر با ۱۵ درجه سانتی‌گراد کمترین دما را ثبت کرده‌اند.



شکل ۴. الف: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۸ اکتبر ۱۹۹۵ ب: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و نم ویژه (سایه‌های رنگی) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۷ اکتبر ۱۹۹۵ ج: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۸ اکتبر ۱۹۹۵ د: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۲۷ اکتبر ۱۹۹۵

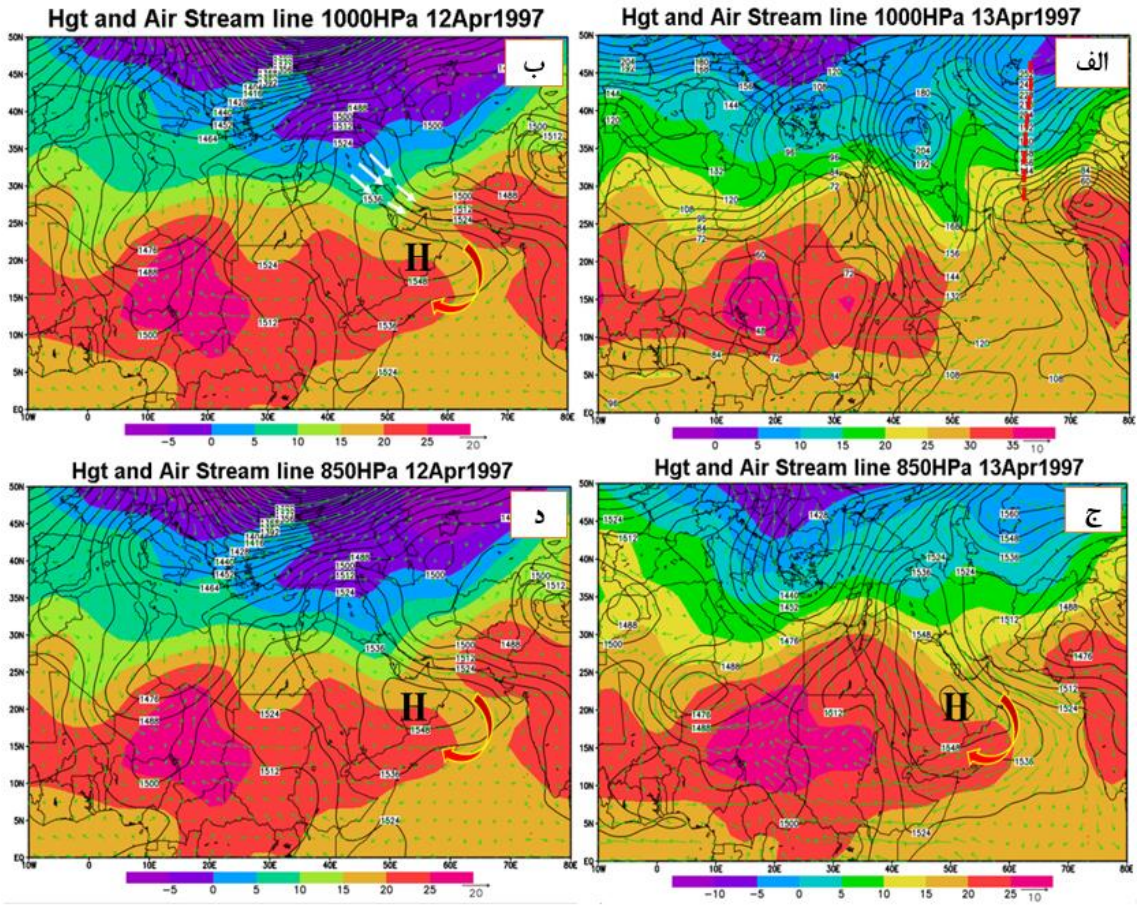
جدول ۵. دما ثبت‌شده مرتبط با موج سرمای ۲۷ و ۲۸ اکتبر ۱۹۹۵

ایستگاه	آبادان	بندر ماهشهر	بوشهر ساحلی	جزیره ابوموسی	جزیره سیری	جزیره کیش	بندرلنگه	میناب	بندرعباس	چابهار	جاسک
۲۷ اکتبر ۱۹۹۵	۱۵/۶	۱۵	۱۷/۵	۲۶/۶	۲۶/۵	۲۳	۲۲/۵	۲۵	۲۳/۶	۲۵	۲۵/۵
۲۸ اکتبر ۱۹۹۵	۱۵/۴	۱۶	۱۸/۵	۲۶/۴	۲۷	۲۳	۲۱/۵	۲۲/۴	۲۲/۲	۲۲	۲۵/۸

الگوی پرفشار مهاجر

این الگو با ۱۲ رخداد از مجموع موج‌های سرد شناسایی‌شده، پرتکرارترین الگوی همدیدی مؤثر بر کاهش دما در سواحل جنوبی ایران به شمار می‌رود. بررسی میدان‌های تروپوسفر زیرین در شکل (۵. الف–د) نشان می‌دهد که نحوه آرایش سامانه‌ها در این الگو رفتاری متفاوت از الگوی پرفشار سیبری دارد؛ به‌گونه‌ای که همسانی و تداوم الگوی لایه‌های زیرین در اینجا مشاهده نمی‌شود و ساختار سامانه‌ها از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به بالا به‌طور چشمگیری تغییر می‌کند. این در حالی است که در الگوی سیبری، ترازهای ۱۰۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، آرایش تقریباً مشابهی را در تمام طول رخداد حفظ می‌کردند. در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، هسته اصلی واچرخند مهاجر در اغلب نمونه‌ها بر روی یکی از دو

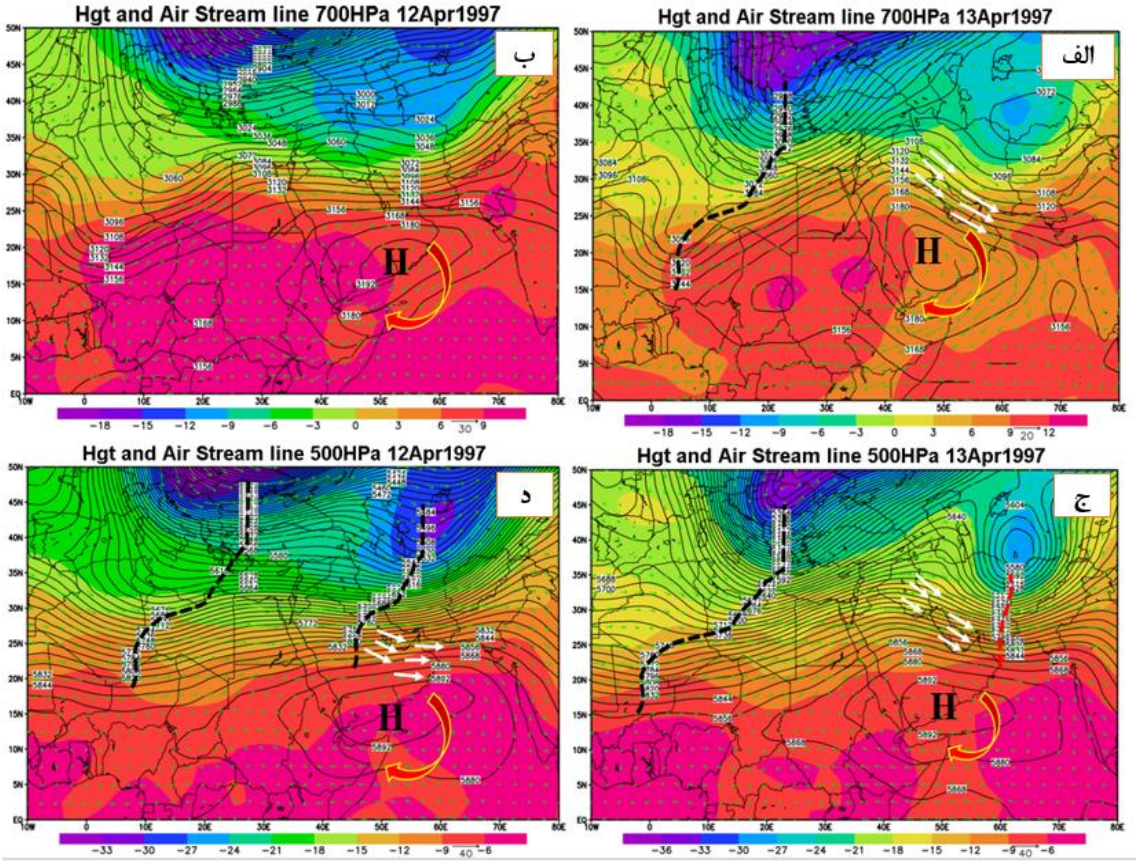
موقعیت قرار دارد :نواحی جنوبی تا جنوب شرقی دریای سیاه، یا محدوده دریای مازندران. در برخی رخدادها نیز این هسته مستقیماً بر روی حوضه دریای مازندران استقراریافته است. این واچرخند، که از عرض‌های میانی به‌سوی شرق حرکت می‌کند، با ورود به منطقه باعث ایجاد تغییرات قابل‌توجهی در شیب فشاری و جهت‌گیری جریانات نزدیک به سطح زمین می‌شود. زبانه پرفشار مرتبط با این واچرخند در بیشتر رخدادها راستای شمالی–جنوبی دارد و در برخی نمونه‌ها با راستای شمال‌غربی–جنوب شرقی بر ایران گسترده می‌شود. این زبانه در برخی روزها تا جنوب شبه‌جزیره عربستان نیز امتدادیافته و نقش مستقیم در هدایت جریانات شمالی و فرا رفت هوای سرد عرض‌های میانی بر فراز ایران داشته است. این الگوی آرایشی، برخلاف ساختار پایدار و کم تحول الگوی سیبری، بیانگر ماهیت مهاجر و پویا بودن سامانه پرفشار در این رخدادهاست؛ موضوعی که به‌ویژه در ترازهای بالاتر به تغییر کامل سامانه‌های حاکم منجر می‌شود و در بخش‌های بعدی تحلیل (شکل ۶. الف –د) تراز ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) به‌وضوح دیده خواهد شد.



شکل ۵. الف: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۳ آپریل ۱۹۹۷ ب: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و نم ویژه (سایه‌های رنگی) تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ آپریل ۱۹۹۷ ج: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۱۳ آپریل ۱۹۹۷ د: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ آپریل ۱۹۹۷

در تمامی ۱۲ رخداد منتسب به الگوی واچرخند مهاجر، یک هسته سرد مشخص در ترازهای پایین و میانی تروپوسفر مشاهده می‌شود که یا دقیقاً با هسته پرفشار و ارتفاعی واچرخند منطبق است یا در ضلع شرقی آن قرار می‌گیرد. این آرایش موجب می‌شود که با گسترش جنوب سوی زبانه پرفشاری، به‌ویژه در امتداد ضلع شرقی، تندبادهای شمالی

قدرتمندی شکل گیرد؛ جریاناتی که هوای سرد محبوس درون واچرخند را بر فراز ایران فرا رفت داده و موج سرمایی را تقویت می‌کنند. در برخی رخدادها، گسترش این سرما به حدی است که تا جنوب شبه‌جزیره عربستان نیز امتداد پیدا می‌کند. موقعیت قرارگیری هسته واچرخند مهاجر نقش تعیین‌کننده‌ای در الگوی مکانی نفوذ سرما بر سواحل جنوبی ایران دارد. هرچه هسته واچرخندی شرقی‌تر واقع شود، دامنه اثرپذیری موج سرد نیز به سمت سواحل جنوب شرق ایران انتقال می‌یابد؛ و در مواردی که هسته در بخش غربی‌تر (مثلاً بر فراز نواحی جنوب شرق دریای سیاه) مستقر است، بیشترین کاهش دما در سواحل جنوب غربی مشاهده می‌شود. این الگوی جابه‌جایی مکانی، ویژگی بارز واچرخند مهاجر در مقایسه با الگوی سیبری است که نسبتاً آرایش مکانی ثابت‌تری دارد. جدول (۶) پراکنش دمایی ثبت‌شده در روزهای ۱۲ و ۱۳ آوریل ۱۹۹۷ را به‌عنوان نمونه‌ای شاخص از این الگو نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، افت دما در امتداد مسیر فرا رفت سرد از عرض‌های میانی به‌وضوح قابل‌مشاهده بوده و تفاوت مکانی سردشدگی کاملاً با موقعیت هسته واچرخندی همخوانی دارد.



شکل ۶. الف: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۳ آپریل ۱۹۹۷ ب: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و نم ویژه (سایه‌های رنگی) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ آپریل ۱۹۹۷ ج: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۳ آپریل ۱۹۹۷ د: نقشه ارتفاع ژیوپتانسیل (کنتور) میدان باد و دما (سایه‌های رنگی) تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روز ۱۲ آپریل ۱۹۹۷

بررسی نقشه‌های تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که آرایش سامانه‌ها از این تراز به بالا دچار تغییر اساسی شده و الگوی حاکم کاملاً با ساختار ترازهای میانی تروپوسفر همخوان می‌شود. در این تراز، هسته واچرخندی عربستان شکل‌گرفته و سامانه غالب بر منطقه محسوب می‌شود؛ الگویی که در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز تداوم دارد و

ساختار عمودی منسجمی را ایجاد می‌کند. پشته این واچرخند با راستای جنوبی – شمالی از عرض‌های جنوبی شبه‌جزیره عربستان تا مرکز ایران امتدادیافته و در گسترش شمال سوی خود پهنه‌ای وسیع از مدیترانه شرقی تا شمال دریای مازندران را دربر می‌گیرد. این امتداد قدرتمند پشته موجب شکل‌گیری جریانات شمالی شدید در ضلع شرقی آن شده و در نتیجه فرا رفت هوای سرد عرض‌های جنب قطبی به‌ویژه بر روی نیمه شرقی ایران تشدید می‌شود. تداوم این فرا رفت سرد سبب تکوین ناوه‌ای عمیق در ترازهای میانی و شرقی کشور شده و شیو دمایی و ژئوپتانسیلی ایجادشده در دامنه شرقی پشته، به‌صورت تندبادهای مشخص در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در نیمه جنوبی کشور انعکاس یافته است. در ادامه این فرایند، در روز ۱۳ آوریل، بر اثر نفوذ قوی جریانات شمالی و سرمای فرا رفت شده، مرکز کم ارتفاع بریده‌ای با هسته سرد—به‌ویژه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال—بر فراز شرق ایران و افغانستان شکل‌گرفته است. این روز بیشترین شدت فرا رفت سرد را در سطح منطقه، به‌ویژه در ایستگاه‌های ساحلی نیمه شرقی، نشان می‌دهد. مطابق داده‌های ثبت‌شده، در این موج سرد نیز ایستگاه آبادان با دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد و ایستگاه ماهشهر با ۶/۷ درجه سانتی‌گراد کمترین دمای سواحل جنوبی را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۶. دماهای ثبت‌شده در ایستگاه‌های ساحلی مرتبط با موج سرد ۱۲ و ۱۳ آوریل ۱۹۹۷

ایستگاه	آبادان	بندر ماهشهر	بوشهر ساحلی	جزیره ابوموسی	جزیره سیری	جزیره کیش	بندرلنگه	میناب	بندرعباس	چابهار	جاسک
۱۲ آوریل ۱۹۹۷	۱۰	۷/۶	۱۴	۲۰	۱۹	۱۸/۲	۱۶/۶	۱۹/۸	۱۷/۶	۲۴/۷	۲۳
۱۳ آوریل ۱۹۹۷	۱۰	۹	۱۴/۵	۲۱	۲۰	۱۸	۱۶/۴	۱۹	۱۷	۲۲/۸	۲۲/۴

بحث

بررسی الگوهای همدیدی مرتبط با ناهنجاری‌های سرد فصل گرم سواحل جنوبی ایران نشان می‌دهد که هرچند تمامی الگوها در نهایت از طریق تقویت جریانات شمالی و انتقال هوای سرد عرض‌های بالاتر به منطقه عمل می‌کنند، اما مکانیسم‌های دینامیکی، ساختار عمودی سامانه‌ها و نواحی اثرپذیر میان آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است. الگوی پادگرد متحرک که بیشترین فراوانی را دارد، عمدتاً با هسته‌ای بر فراز دریای سیاه–مازندران در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال آغاز می‌شود، اما مهم‌ترین ویژگی آن تغییر کامل آرایش سامانه‌ها از تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به بالا و همگرایی الگو با واچرخند عربستان در ترازهای میانی است. این هم‌پوشانی موجب شکل‌گیری پشته‌ای شمال‌سو و ایجاد فرا رفت سرد عمیق بر نیمه شرقی کشور می‌شود؛ فرایندی که در نهایت زمینه را برای تشکیل ناوه‌های عمیق و هسته‌های کم ارتفاع بریده فراهم می‌کند. در مقابل، الگوی پرفشار سیبری با ساختار تراز پایین قوی‌تری عمل می‌کند و دامنه نفوذ آن تا حد زیادی تحت تأثیر توپوگرافی زاگرس قرار دارد. نبود مانع توپوگرافی مؤثر در شرق، سبب می‌شود که این الگو بیشترین اثرگذاری را بر نواحی جنوب شرق برجای گذارد؛ درحالی‌که زاگرس از نفوذ مستقیم آن به جنوب غرب می‌کاهد و الگوهای سردی را به‌صورت غیرمستقیم‌تر بروز می‌دهد. با وجود این تفاوت، در هر دو الگو، برهم‌کنش سرد چال‌های سطحی با سامانه‌های واچرخندی تراز میانی، عامل اصلی تشدید ناهنجاری‌هاست. الگوی پرفشار آفریقا اگرچه کم فراوانی‌ترین ساختار مشاهده‌شده است، اما بیشترین نقش را در ایجاد سردی‌های ناگهانی و کوتاه‌مدت ایفا می‌کند. این الگو با پشته‌های شمال سوی قوی از شمال آفریقا تا مدیترانه، جریانات شمالی را به‌گونه‌ای هدایت می‌کند که بیشترین اثر را بر سواحل جنوب غربی بر جای می‌گذارد؛ منطقه‌ای که در الگوی سیبری کمترین تأثیرپذیری را دارد. این موضوع نشان می‌دهد که مسیر فرا رفت سرد و جهت‌گیری پشته‌ها تعیین‌کننده اصلی مکان وقوع سردی است، نه صرفاً شدت

سامانه. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که ناهنجاری‌های سرد فصل گرم در جنوب ایران، برخلاف تصور رایج، تنها تابع نفوذ سامانه‌های سرد تراز پایین نیستند، بلکه محصول هم‌ترازی ساختاری سامانه‌ها از سطح زمین تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و تعامل پیچیده میان پشته‌ها، ناوه‌ها و شیب‌های فشار و دما هستند. این نتیجه بیانگر آن است که تحلیل پویای چند ترازی نه‌تنها ضروری، بلکه کلید درک فرآیندهای منجر به سردی‌های شدید در فصل گرم به شمار می‌رود. نتایج این مطالعه با یافته‌های پژوهش‌های پیشین از جمله جمالی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸)، اسدی (۱۴۰۰)، خسروی و همکاران (۱۳۹۰)، لشکری و همکاران (۱۳۹۷؛ ۱۴۰۱) و سنادی‌زاده و همکاران (۱۴۰۲) همخوانی دارد و تأکید می‌کند که سازوکارهای همدیدی کنترل‌کننده دماهای فرین در سواحل جنوبی کشور از الگوی مشخص و نسبتاً پایداری تبعیت می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در اقلیم‌های گرم، دماهای بسیار بالا ویژگی دائمی و تعیین‌کننده محیط محسوب می‌شوند؛ شرایطی که اگرچه طی زمان طولانی موجب سازگاری تدریجی موجودات زنده با محیط شده است، اما همچنان بخشی از گونه‌ها برای تطبیق با آن ناگزیر از صرف انرژی قابل‌توجهی هستند. انسان‌های ساکن این مناطق برای استمرار فعالیت‌های روزمره و ایجاد شرایط حرارتی قابل‌تحمل، هزینه‌های سنگینی را بابت سرمایش فضاهای مسکونی، اداری و تجاری متحمل می‌شوند. اختلاف قابل‌ملاحظه میان دماهای محیطی و محدوده آسایش حرارتی انسان نیز بدن را وادار به فعالیت فیزیولوژیکی مستمر برای دفع گرما از طریق تعریق و تشعشع می‌کند؛ امری که در نهایت افت بازدهی جسمی و ذهنی را به همراه دارد. در حوزه زیستی نیز گیاهان بومی با وجود تطابق فنولوژیک، تحت تنش شدید گرمایی تابستان قرار می‌گیرند و تنها گونه‌های معدودی قادر به ادامه حیات و تولید در این شرایط هستند. حتی همین گونه‌های مقاوم نیز در مواجهه با ناملایمات دمایی پیش‌بینی‌ناپذیر دچار کاهش عملکرد می‌شوند. جانوران اهلی و حیات‌وحش منطقه نیز با طیف مشابهی از چالش‌ها روبه‌رو هستند. در چنین شرایطی، وقوع دماهای فرین پایین یا امواج خنک در فصل گرم، فرصتی ارزشمند برای ساکنان سواحل جنوبی کشور فراهم می‌آورد؛ به‌گونه‌ای که امکان استفاده از فضاهای بیرونی افزایش‌یافته و مصرف انرژی سرمایشی در واحدهای مسکونی و خدماتی به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. ازآنجاکه تأمین انرژی سرمایشی در این فصل از سال یکی از چالش‌های عمده منطقه است، کاهش مصرف، پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی به همراه دارد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که امواج خنک سواحل جنوبی ایران عمدتاً توسط دو الگوی همدیدی غالب ایجاد می‌شوند که در مجموع ۲۳ نمونه از ۳۳ موج سرد شناسایی‌شده در دوره ۳۳ ساله را شامل می‌شوند؛ به‌بیان‌دیگر حدود ۷۰ درصد رخدادهای سردی با این دو الگو مرتبط است. الگوی پرفشار سیبری بیشتر مسئول سردشدگی در ایستگاه‌های میانی و جنوب شرق منطقه بوده، درحالی‌که پرفشار مهاجر بیشترین نقش را در سردی‌های بخش جنوب غربی ایفا کرده است .همچنین نتایج نشان می‌دهد که مطابق معیارهای استخراج موج‌های سرد، بیشترین رخدادهای فرین‌های دمایی در ماه‌های آوریل، اکتبر و نوامبر اتفاق افتاده و رخداد آن‌ها در اوج تابستان (ژوئن تا اوت) بسیار محدود بوده است. این الگو بیانگر نقش بازدارنده سامانه‌های تابستانه در نفوذ توده‌های خنک به منطقه و غلبه ساختارهای گرمایی در این بازه زمانی است؛ موضوعی که با فراوانی بیشتر امواج گرم نسبت به امواج سرد در فصل گرم مطابقت دارد.

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد و منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه‌کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

احمدی، محمود؛ لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم و آزادی، مجید. (۱۳۹۴). تحلیل شاخص‌های حدی دما در آشکارسازی تغییر اقلیم خراسان بزرگ. *جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)*، ۱۳(۴۵)، ۵۳–۷۵.

اسدی، اشرف. (۱۴۰۰). بررسی همدید رویدادهای حدی گرم ایران در ارتباط با تغییر اقلیم بر پایه الگوهای فرا رفت دما. *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۲(۶)، ۳۱–۴۶.

اسدی، اشرف و مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۹۳). بررسی همدید گرماهای فرین ایران بر پایه الگوهای ضخامت جو. *پژوهش‌های دانش زمین*، ۵(۱)، ۶۳–۷۵.

اسکندری دامنه، حامد؛ زهتابیان، غلامرضا؛ خسروی، حسن؛ آذرنیوند، حسین و براتی، علی‌اکبر. (۱۳۹۹). شبیه‌سازی و پیش‌بینی مؤلفه‌های اقلیمی دما و بارش در مناطق خشک (مطالعه موردی: دشت میناب). *جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)*، ۱۸(۶۶)، ۱۱۰–۱۲۸.

برنا، رضا. (۱۳۹۷). بررسی آماری–همدیدی توفان‌های تندری استان خوزستان. *آمایش فضا و ژئوماتیک*، ۲۲(۳)، ۱–۲۵.

برون، اشرف؛ ظهوریان پردل، منیژه؛ لشکری، حسن؛ شکیبا، علیرضا و محمدی، زینب. (۱۳۹۸). تحلیل همدیدی نقش پرفشار عربستان در امواج گرم استان خوزستان. *هواشناسی و علوم جو*، ۱(۲)، ۵۵–۶۷.

دانانیانی، پوپک؛ سوره، احسان و محمدی، بختیار. (۱۴۰۲). بررسی توفان‌های تندری در ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۰(۲)، ۹۲–۱۱۴. https://doi.org/10.61186/jsaeh.10.2.97

سنادی‌زاده، سودابه؛ لشکری، حسن و دریاباری، سید جمال‌الدین. (۱۴۰۲). الگوهای همدیدی منجر به وقوع فرین‌های دمایی بالا در دوره سرد ساحل جنوبی ایران. *جغرافیای طبیعی لا رستان*، ۱۶(۶۱)، ۲۳–۴۱.

جمالی‌زاده، ناهید؛ ظهوریان پردل، منیژه؛ لشکری، حسن؛ شکیبا، علیرضا و محمدی، زینب. (۱۳۹۸). تحلیل همدیدی و ساختار دینامیکی الگوهای تابستانه استان خوزستان. *جغرافیای طبیعی*، ۱۲(۱۴)، ۱۷–۲۹.

حجازی‌زاده، زهرا و کربلایی، علیرضا. (۱۴۰۱). آسایش حرارتی در ایران. *جغرافیا (فصلنامه علمی انجمن جغرافیایی ایران)*، ۱۳(۴۶)، ۲۱–۳۹.

خسروی، محمود؛ سلیقه، محمد و صباغی، بهروز. (۱۳۹۰). تأثیر آنومالی‌های دمای سطح دریای عمان بر بارندگی فصول پاییز و زمستان سواحل جنوب شرقی ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۳۷(۱۶)، ۵۹–۸۱.

عزیزی، قاسم؛ گرامی، محمد صالح و شریفی، لیلا. (۱۳۹۶). تحلیل فضایی توفان‌های تندری در گستره کشور ایران. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۷(۴۷)، ۲۴۳–۲۵۹. https://doi.org/20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3

عزیزی، قاسم؛ میری، مرتضی و رحیمی، مجتبی. (۱۳۹۴). شناسایی الگوهای همدیدی مؤثر در شکل‌گیری ناهنجاری‌های دمایی ایران و اروپا. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۷(۱)، ۹۱–۱۰۴. doi: 10.22059/jphgr.2015.53680

عساکره، حسین؛ مسعودیان، سید ابوالفضل و شادمان، حسن. (۱۳۹۲). تحلیل همدید پویشی فراگیرترین روز گرم ایران طی سال ۱۳۴۰ تا سال ۱۳۸۶. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲(۳)، ۳۵–۵۲.

علیجانی، بهلول و فرجزاده، حسن. (۱۳۹۴). تحلیل روند شاخص‌های دمای فرین در شمال ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۹(۵۲)، ۲۲۹–۲۵۶.

کریمی، مصطفی؛ احمدی، نعمت؛ مرادیان، مهرداد محمد؛ رفعتی, سمیه. (۱۳۹۹). واکاوی رخداد و الگوهای همدید موج‌های سرمایی ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۲(۲)، ۱۶۵–۱۷۷. ۱۰,۲۲۰۵۹dio/jphgr.2020.238066.1007089

لشکری، حسن؛ متکان، علی‌اکبر؛ آزادی، مجید و محمدی، زینب. (۱۳۹۷). تحلیل الگوهای همدیدی منجر به بارش‌های زودرس جنوب و جنوب غرب ایران طی دوره آماری ۱۹۷۹–۲۰۱۵. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۲(۶۴)، ۲۴۷–۲۶۶.

لشکری، حسن؛ محمدی، زینب و مرادی، محسن. (۱۴۰۱). تحلیل ساختاری و علت تشکیل هسته مرکزی پرفشار سیبری در محدوده دریاچه‌های بایکال و بالخاش. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱–۱.

لشکری، حسن و محمدی، زینب. (۱۳۹۴). اثر موقعیت استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای عربستان بر سامانه‌های بارشی در جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۷(۱)، ۷۳–۹۰. doi: 10.22059/jphgr.2015.53679

مسعودیان، سید ابوالفضل و دارند، محمد. (۱۳۹۰). تحلیل همدید سرماهای فرین ایران. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، ۹(۲۲)، ۱۶۵–۱۸۵.

References

Ahmadi, M., Lashkari, H., Kheikhsaravi, Gh., & Azadi, M. (2015). Analysis of temperature extreme indices in detecting climate change in Greater Khorasan. *Geography (Iranian Geographical Association), 13*(45), 53–75. [In Persian]

Alijani, B., & Farajzadeh, H. (2015). Trend analysis of extreme temperature indices in northern Iran. *Geography and Planning, 19*(52), 229–256. [In Persian]

Alizadeh-Choobari, O., Tavakoli, A., & Irannejad, P. (2024). Thermal extremes over the Middle East in a warming climate. *International Journal of Climatology*. https://doi.org/10.1002/joc.XXXX

Asadi, A. (2021). Synoptic analysis of extreme warm events in Iran in relation to climate change based on temperature advection patterns. *Climate Change Research, 2*(6), 31–46. [In Persian]

Asadi, A., & Masoudian, S. A. (2014). Synoptic analysis of extreme heat events in Iran based on atmospheric thickness patterns. *Earth Science Research, 5*(1), 63–75. [In Persian]

Asakereh, H., Masoudian, S. A., & Shadman, H. (2013). Synoptic–dynamic analysis of the most widespread warm day across Iran from 1961 to 2007. *Geography and Environmental Hazards, 2*(3), 35–52. [In Persian]

Azizi, G., Miri, M., & Rahimi, M. (2015). Identification of synoptic patterns influencing formation of temperature anomalies in Iran and Europe. *Physical Geography Research, 47*(1), 91–104. https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.53680 [In Persian]

Azizi, Q., Garami, M. S., & Sharifi, L. (2017). Spatial analysis of thunderstorm events across Iran. *Journal of Applied Research in Geographic Sciences, 17*(47), 243–259. https://doi.org/20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3 [In Persian]

Blanco, G., Gerlagh, R., Suh, S., Barrett, J., de Coninck, H. C., Morejon, C. F. D., Mathur, R., Nakicenovic, N., et al. (2014). Drivers, trends and mitigation. In *Climate change 2014: Mitigation of climate change*. IPCC WGIII Contribution to AR5. Cambridge University Press.

Borna, R. (2018). Statistical–synoptic analysis of thunderstorm events in Khuzestan Province. *Spatial Planning and Geomatics, 22*(3), 1–25. https://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-16524-fa.html [In Persian]

Boroon, A., Zahourian Pardel, M., Lashkari, H., Shakiba, A., & Mohammadi, Z. (2019). Synoptic analysis of the role of the Arabian High in warm waves of Khuzestan Province. *Meteorology and Atmospheric Sciences, 1*(2), 55–67. [In Persian]

Choi, W., Ho, C. H., Jung, J., Chang, M., & Ha, K. J. (2021). Synoptic conditions controlling the seasonal onset and days of heatwaves over Korea. *Climate Dynamics, 57*, 3045–3053.

D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., et al. (2010). The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: Results from the EuroHEAT project. *Environmental Health, 9*, 37. https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-37

Dananianii, P., Sooreh, E., & Mohammadi, B. (2023). Investigation of thunderstorm events in Iran. *Spatial Analysis of Environmental Hazards, 10*(2), 92–114. https://doi.org/10.61186/jsaeh.10.2.97 [In Persian]

Daniele de Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., Artés Vivancos, T., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). *Forest fire danger extremes in Europe under climate change*. Publications Office of the European Union.

Della-Marta, P. M., Luterbacher, J., von Weissenfluh, H., Xoplaki, E., Brunet, M., & Wanner, H. (2007). Summer heat waves over western Europe 1880–2003. *Climate Dynamics, 29*, 251–275.

Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, Gh., Khosravi, H., Azarniyund, H., & Barati, A. (2020). Simulation and prediction of climatic components of temperature and precipitation in arid regions (Case study: Minab Plain). *Geography (Iranian Geographical Association), 18*(66), 110–128. [In Persian]

García-Ortega, L., Alegre-Cebollada, J., García-Linares, S., Bruix, M., Martínez-del-Pozo, Á., & Gavilanes, J. G. (2011). The behavior of sea anemone actinoporins at the water–membrane interface. *BBA – Biomembranes, 1808*(9), 2275–2288.

Ghosh, S., & Misra, V. (2022). Future changes in heat extremes under amplified warming. *Geophysical Research Letters, 49*(18), e2022GLXXXX.

Gulev, S. K., Semenov, V. A., Latif, M., Chen, X., & Sillmann, J. (2023). Intensification of mid-latitude heatwaves linked to atmospheric blocking. *Nature, 618*, 499–505. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06184-3

Hejazi-Zadeh, Z., & Karbalaei, A. (2022). Thermal comfort in Iran. *Geography (Iranian Geographical Association), 13*(46), 21–39. [In Persian]

IPCC. (2023). *Global warming of 1.5°C: Summary and update*. World Meteorological Organization / Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jamali-Zadeh, N., Zahourian Pardel, M., Lashkari, H., Shakiba, A., & Mohammadi, Z. (2019). Synoptic dynamics and structural analysis of summer patterns in Khuzestan Province. *Natural Geography, 12*(14), 17–29. [In Persian]

Karimi, M., Ahmadi, N., Moradiyan, M. M., & Rafati, S. (2020). Synoptic patterns of cold waves of recent decades in Iran (2004–2013). *Physical Geography Research, 52*(2), 165–177. https://doi.org/10.22059/jphgr.2020.238066.1007089 [In Persian]

Khosravi, M., Saligheh, M., & Sabbaghi, B. (2011). Effects of sea surface temperature anomalies over the Oman Sea on autumn and winter precipitation in southeastern coastal Iran. *Geography and Planning, 37*(16), 59–81. [In Persian]

Lashkari, H., & Mohamadi, Z. (2015). The role of Saudi Arabian sub-tropical high pressure on the rainfall systems on south and southwest Iran. *Physical Geography Research, 47*(1), 73–90. https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.53679 [In Persian]

Lashkari, H., Metkan, A. A., Azadi, M., & Mohammadi, Z. (2018). Synoptic patterns associated with early-season precipitation in southern and southwestern Iran (1979–2015). *Geography and Planning, 22*(64), 247–266. [In Persian]

Lashkari, H., Mohammadi, Z., & Moradi, M. (2022). Structural analysis and the cause of formation of the Siberian High core over the Baikal–Balkhash basin. *Natural Environmental Hazards*, 1–1. [In Persian]

Lolis, C. J., Kotsias, G., & Farmakidis, D. (2022). A 40-year climatology of air temperature extremes in the southern Balkans based on ERA5. *Theoretical and Applied Climatology*, 1–23.

Martínez-Castro, D., Rodríguez-Fonseca, B., & Domínguez, C. (2023). Variability of warm extremes in subtropical regions under climate change. *Climate Dynamics, 61*, 2157–2173.

Masoudian, S. A., & Darand, M. (2011). Synoptic analysis of extreme cold events in Iran. *Geography and Development Quarterly, 9*(22), 165–185. [In Persian]

MedECC. (2020). *Climate and environmental change in the Mediterranean Basin*. Mediterranean Assessment Report. https://doi.org/10.5281/zenodo.4768833

Mohammadi, Z., Lashkari, H., & Mohammadi, M. S. (2021). Synoptic analysis and core situations of Arabian anticyclone in shortest period precipitation. *Arabian Journal of Geosciences, 14*(12), 1–18.

Ozturk, T., Matte, D., & Christensen, J. H. (2021). Robustness of future atmospheric circulation changes over the EURO-CORDEX domain. *Climate Dynamics*. https://doi.org/10.1007/s00382-021-06069-0

Peña, J. C., Aran, M., Cunillera, J., & Amaro, J. (2011). Atmospheric circulation patterns associated with strong wind events in Catalonia. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 11*, 145–155.

Rahimi, M., Azizi, F., & Tavakoli, A. (2023). Cold surges and thermal anomalies over Southwest Asia under climate variability. *Atmospheric Research, 285*, 106780.

Rey, A., Saeed, S., & Scaife, A. (2022). Drivers of extreme temperature variability in Eurasia. *Environmental Research Letters, 17*(3), 034012.

Sanadi-Zadeh, S., Lashkari, H., & Daryabari, S. J. (2023). Synoptic patterns leading to extreme cold events in the cold season over the southern coasts of Iran. *Natural Geography of Larestan, 16*(61), 23–41. [In Persian]

Sherwood, S. C., Webb, M., & Huber, M. (2023). Climate sensitivity constraints from recent warming. *Nature Climate Change, 13*, 112–120.

Sousa, P. M., Barriopedro, D., Ramos, A. M., García-Herrera, R., Espírito-Santo, F., & Trigo, R. M. (2019). Saharan air intrusions and Iberian heatwaves. *Weather and Climate Extremes, 26*, 1002.

Ventura, S., Miró, J. R., Peña, J. C., & Villalba, G. (2023). Analysis of synoptic weather patterns of heatwave events. *Climate Dynamics, 61*(9), 4679–4702.

WMO. (2021). *Global annual to decadal climate update*. World Meteorological Organization.

Zhou, C., Kaufmann, R., & Wang, J. (2024). Attribution of extreme temperature anomalies in Eurasia. *Nature Communications, 15*, 2301. https://doi.org/10.1038/s41467-024-XXXX