

Synoptic Analysis of Atmospheric Patterns Governing Extreme Cold Waves in Northwestern Iran

Roghieh Jafari¹, Karim Amini-Nia²✉, Ali Panahi³

1. PhD Candidate in Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanities, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran. Email: Ro.jafari2500@gmail.com
2. Faculty Member, Department of Geography, Faculty of Humanities, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran. Email: 1502166992@iau.ir
3. Associate Professor, Department of Geography, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran . Email: alipanahi@iaut.ac.ir

ARTICLE INFO

Abstract

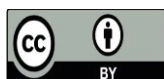
Article type:
Research Paper

Article history:
Received: 28 March 2025
Revised: November 27, 2025
Accepted: April 28, 2026
Published: April 28, 2026

Keywords:
Siberian High;
Blocking; Cold Wave;
European High
Pressure; Northwestern
Iran

Extreme cold temperature events are among the natural characteristics of climate that occur annually and cause numerous problems in agricultural, industrial, and economic sectors, as well as road-related hazards. A sharp decrease in temperature can adversely affect various aspects of human life and activities, as well as the ecological conditions of plants. The aim of this study is to investigate the synoptic atmospheric patterns influencing extreme cold waves in northwestern Iran. For this purpose, daily minimum temperature data from 36 synoptic stations in northwestern Iran were used over the period 1986–2017 for the months of January, February, March, April, November, and December. Using the standardized cold day index, days with intensity lower than -1.2 were identified as extreme cold days on a monthly basis for each station. By applying factor analysis to sea-level pressure data corresponding to extreme cold days, four dominant patterns affecting the formation of cold waves in northwestern Iran were extracted as representative patterns. Synoptic analysis of these patterns indicates that the dominant synoptic systems responsible for extreme cold waves include the Siberian High, migratory European high-pressure systems, or their ridges at sea level over the northwestern region of Iran, which lead to the advection of cold air from higher northern latitudes toward the region. At the 500 hPa level, the presence of ridges, blocking conditions, or the establishment of the western arm of a deep trough over northwestern Iran, along with mid-tropospheric convergence, enhances subsidence and atmospheric stagnation in the lower levels. This process strengthens the intrusion of cold air from higher latitudes and ultimately leads to the formation of extreme cold waves over northwestern Iran.

How to cite: Jafari, R., Amini Nia, K. and Panahi, A. (2026). Synoptic Analysis of Atmospheric Patterns Governing Extreme Cold Waves in Northwestern Iran. *Geography and Regional Planning*, 16 (62),562-580. <https://doi.org/10.22034/jgeoq.2026.580925.4436>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights
Education
DOI: <https://doi.org/10.22034/jgeoq.2026.580925.4436>

Publisher: Qeshm Institute of Higher

Introduction

Extreme temperature events are among the most significant climatic hazards, with cold waves and extremely cold days representing prominent manifestations of such extremes. Cold waves occur when exceptionally low minimum temperatures persist over a region and often lead to substantial damage in agricultural, industrial, economic, transportation, and social sectors. Due to the reduced solar angle and lower background temperatures, cold waves tend to be more intense and widespread during winter.

The intensity, duration, and spatial extent of cold waves are controlled by complex synoptic and dynamic atmospheric processes. Synoptic climatological analysis provides an effective framework for identifying the origin, pathways, persistence, and dominant pressure systems responsible for extreme cold events. Northwestern Iran is one of the coldest regions of the country and has frequently experienced severe and widespread cold waves, resulting in considerable socio-economic losses. Therefore, identifying the dominant synoptic patterns governing extreme cold waves in this region is essential for improving regional climate understanding and enhancing early warning and planning strategies.

Methodology

This study investigates the synoptic atmospheric patterns associated with extreme cold waves in northwestern Iran using daily minimum temperature data from 36 synoptic stations for a 32-year period (1986–2017). The analysis focuses on the months of January, February, March, April, November, and December, which are most prone to cold extremes.

Extreme cold days were identified using the standardized anomaly index (Z-score) of daily minimum temperature. Days with standardized values ≤ -1.2 were classified as extreme cold days. A cold wave event was defined when at least 50% of the stations experienced extreme cold conditions for a minimum duration of two consecutive days. Based on this criterion, 128 widespread cold wave events were identified during the study period.

To analyze the governing synoptic patterns, gridded sea-level pressure (SLP), 500 hPa

geopotential height, and 700 hPa omega vertical velocity data were obtained from the NCEP/NCAR reanalysis dataset, covering the spatial domain of 10° – 80° E and 10° – 70° N at 6-hour intervals.

A rotated factor analysis (Varimax rotation, maximum likelihood method) was applied to SLP fields corresponding to the identified cold wave days in order to classify dominant synoptic patterns. The Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) statistic (0.94) confirmed the suitability of the dataset for factor analysis. Four dominant synoptic patterns were extracted, explaining approximately 64.65% of the total variance.

Results and Discussion

The results reveal four major synoptic patterns responsible for the formation of widespread extreme cold waves in northwestern Iran:

1. Siberian High – Northwestern European Low Pattern

This pattern is characterized by the strong expansion of the Siberian High toward Iran at the surface, accompanied by a deep mid-tropospheric trough and, in some cases, omega-shaped blocking at the 500 hPa level. These conditions promote intense cold air advection from higher latitudes and dynamic subsidence, leading to persistent and severe cold waves.

2. Siberian High – Northern Russia Low Pattern

In this pattern, a pronounced low-pressure system over northern Russia interacts with the Siberian High, placing northwestern Iran beneath the western flank of a deep trough at mid-levels. The vertical alignment of surface and upper-level systems enhances cold air intrusion and sustains cold waves lasting up to three days.

3. Siberian High Ridge – Mediterranean Low Pattern

This pattern involves a strong Siberian High with multiple pressure cells and an active Mediterranean low-pressure system. The resulting pressure gradient facilitates cold and dry air transport toward northwestern Iran. Mid-level ridging reinforces atmospheric stability and subsidence, maintaining cold conditions for shorter durations.

4. European High-Pressure System with Omega Blocking

The fourth pattern represents a relatively long-lasting cold wave (up to six days) caused by a migratory European high-pressure system at sea level combined with omega blocking in the mid-troposphere. This configuration leads to prolonged atmospheric stagnation, strong subsidence, and sustained cold air advection from northern Europe into northwestern Iran.

Analysis of 700 hPa omega fields across all patterns indicates dominant positive omega values, reflecting widespread subsidence, atmospheric stability, and suppression of vertical motion, which play a crucial role in maintaining extreme cold conditions.

Conclusion

The synoptic analysis demonstrates that extreme cold waves in northwestern Iran are

primarily controlled by the interaction between surface high-pressure systems (especially the Siberian High) and mid-tropospheric circulation patterns, including deep troughs, ridges, and blocking systems. The vertical coherence between lower- and mid-level atmospheric systems is a key factor in the intensity, duration, and spatial extent of cold waves.

The findings highlight the dominant role of the Siberian High, either independently or in combination with European migratory highs and mid-level blocking, in generating extreme cold conditions. Monitoring the evolution and movement of these synoptic systems can significantly improve early warning capabilities and help mitigate the adverse impacts of cold waves on agriculture, infrastructure, and society in northwestern Iran.

Ethical considerations

Following the principles of research ethics

The authors have observed the principles of ethics in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by all of them.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

First author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Second author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and

interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Third author: Preparation of samples, conducting experiments and collecting data, performing calculations, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparing a draft of the article

Ethical Considerations

The authors affirm that they have adhered to ethical research practices, avoiding plagiarism, misconduct, data fabrication or falsification, and have provided their consent for this article's publication.

Funding

This research was conducted without any financial support from Payam Noor University.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest



انجمن ژئوپلیتیک ایران

فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی منطقه‌ای

شاپا چاپی: ۶۴۶۲-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲-۲۷۸۳

Homepage: <https://www.jgeoqeshm.ir/>



تحلیل هم‌دید الگوهای جوی حاکم بر امواج سرد فرین در شمال غرب ایران

رقیه جعفری^۱، کریم امینی نیا^۲✉، علی پناهی^۳

۱. دانشجوی دکتری تخصصی آب و هواشناسی (اقلیم‌شناسی)، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران. ایمیل: Ro.jafari2500@gmail.com

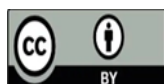
۲. عضو هیات علمی گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران. ایمیل: 1502166992@iau.ir

۳. دانشیار گروه جغرافیا، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران. ایمیل: alipanahi@iaut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۷ دی ۱۴۰۴ تاریخ بازنگری: ۶ آذر ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: ۸ اردیبهشت ۱۴۰۵ تاریخ انتشار: ۸ اردیبهشت ۱۴۰۵</p>	<p>فرین‌های دمایی سرد یکی از جنبه‌های طبیعی اقلیم می باشد که همه ساله وقوع آن باعث مشکلاتی در بخش‌های کشاورزی، صنعتی، اقتصادی و همچنین حوادث جاده‌ای می شود. افت شدید دما می‌تواند اثر نامطلوبی بر جنبه‌های مختلف زندگی و فعالیت جانداران و همچنین شرایط زیست گیاهان بگذارد. هدف از این تحقیق، بررسی هم‌دید الگوهای جوی موثر بر امواج سرمایی فرین در شمال غرب ایران است. بدین منظور از داده‌های حداقل دمای روزانه ۳۶ ایستگاه هم‌دید شمال غرب کشور در بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۸۶ برای ماه‌های ژانویه، فوریه، مارچ، آوریل، نوامبر و دسامبر استفاده شد. با استفاده از ضریب شاخص استاندارد روزهای سرد با شدت پایین‌تر از ۱/۲- به عنوان روزهای سرد فرین برای هر ایستگاه به صورت ماهانه استخراج شد. با اعمال تکنیک تحلیل عاملی بر روی فشار تراز دریای معادل روزهای سرد فرین، ۴ الگوی تاثیر گذار بر شکل گیری امواج سرمایی شمال غرب ایران به عنوان نماینده انتخاب شد. نتایج بررسی هم‌دید این الگوها نشان می‌دهد که سامانه‌های سینوپتیکی حاکم بر امواج سرمای فرین، حضور پرفشار سبیری، پرفشارهای مهاجر اروپایی و یا زبانه‌های آنها در سطح دریا در منطقه شمال غرب کشور می باشند که باعث ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی به سمت این منطقه می شوند. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز وجود پشته و یا وقوع حالت بلوکی و یا مستقر شدن بازوی غربی ناوه عمیق بر فراز شمال غرب ایران، همگرایی در تراز میانی جو، سبب تقویت حرکات دینامیکی فرونشینی و ایستایی در ترازهای زیرین جو شده و با تقویت ریزش هوای سرد عرض‌های بالا بر روی منطقه موجب شکل گیری امواج سرمایی شمال غرب کشور می‌شود.</p>
<p>کلیدواژه‌ها: پرفشار سبیری، بلاکینگ، موج سرمایی، پرفشار اروپایی، شمال غرب ایران</p>	

استناد: جعفری، رقیه، امینی نیا، کریم و پناهی، علی. (۱۴۰۵). تحلیل هم‌دید الگوهای جوی حاکم بر امواج سرد فرین در شمال غرب ایران.

جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱۶(۶۲)، ۵۶۲-۵۸۰. DOI:10.22034/jgeoq.2026.580925.4436



© نویسنده‌گان

ناشر: موسسه آموزش عالی قشم

مقدمه

رخداد دماهای فرین از جمله رویدادهای مهم دمایی محسوب میشود که موجهای سرمای و روزهای سرد نمودی از این رویداد فرین است. یکی از حالت‌های ویژه‌ی دمایی که در آن مقادیر فرین دمای حداقل مشاهده شده، امواج سرما میباشد (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۲، ص. ۱۳۰). احتمال وقوع امواج سرمای در تمام طول سال وجود دارد و در هر فصلی مشکلات و آسیب‌های خاص خود را ایجاد میکند. این امواج در فصل زمستان به دلیل کم بودن زاویه تابش خورشید و سردتر بودن هوا، با قدرت بیشتری عمل می‌کنند و نه تنها حیات تمامی موجودات زنده را با خطر مواجه می‌نمایند؛ بلکه نقش مهم و تعیین کننده‌ای در مسائل اقتصادی، زیست محیطی و عمرانی مانند جاده سازی، سدسازی و پل سازی دارند (هژبرپور و علیجانی، ۱۳۸۶، ص. ۸۹). شدت و ضعف امواج سرمای تابع عوامل و الگوهای همدید و پویایی پیچیده‌ای می‌باشد که برخی از آن‌ها کمتر مورد بررسی و شناسایی قرار گرفته‌اند و تحلیل آن‌ها با استفاده از روش همدید می‌تواند ویژگی‌هایی مانند منشأ، مسیر، شدت و فراوانی سامانه‌های فشار را شناسایی نموده و به شناخت بنیادی عوامل پدید آورنده و ویژگی‌های آن‌ها کمک موثری کند (جهانبخش، رضایی، قاسمی و تدینی، ۱۳۹۰، ص. ۳). منطقه شمال غرب کشور از مناطق بسیار سرد کشور محسوب می‌شود و رخداد سرماهای شدید همیشه سبب خسارات فراوان در این منطقه شده‌اند. بر این اساس، مطالعه الگوهای ایجادکننده امواج سرمای فراگیر می‌تواند به افزایش آگاهی ما از رفتار این پدیده اقلیمی کمک شایانی کند.

بسیاری از مطالعات همدید در این زمینه نشان می‌دهد که پرفشار سیبری، پرفشار کانادا و پرفشار قطب جنوب عامل اصلی و از اجزای اساسی گردش عمومی جو در زمستان است که با ریزش هوای سرد به سمت جنوب و باعث افت دما شده و اقلیم مناطق تحت پوشش خود را کنترل می‌کنند (تاکاهاشی، ۱۹۹۰؛ پیترسن، ۱۹۵۰؛ کلاین، ۱۹۵۷؛ چانگ، ۱۹۷۲). تانهیل^۱ (۱۹۸۲، ص. ۴۶) امواج سرمای تگزاس را بررسی نمود و نتایج مطالعه وی نشان داد که عامل اصلی وقوع امواج سرد سواحل تگزاس ریزش هوای سرد از عرض‌های بالا می‌باشد. دومنکاز، کیسلی، پیترووویچ، پتروویچ و لیکسو^۲ (۲۰۰۳، ص. ۹۸۷) رابطه بین تغییرات دمای مناطق جنوبی و مرکزی اروپا و الگوهای گردشی جو را طی قرن بیستم مطالعه کردند. نتایج نشان داد وزش بادهای شمالی و شرقی به عنوان بادهای نصف النهاری و شرایط آنتی سیکلونی شرایط حدی دمای سرد را ایجاد می‌کند. نینومیا، نیشیمورا، سوزوکی و ماتسومورا^۳ (۲۰۰۶، ص. ۶۶) نشان دادند علت سرمای فرین سواحل چین، گسترش پرفشار سیبری بر روی بخش‌های مورد مطالعه است. مولر و بری^۴ (۲۰۰۷، ص. ۱۲۶۹) در مطالعه الگوهای گردش جوی که منجر به یخبندان‌های شدید آمریکای مرکزی می‌شود به این نتیجه رسیدند که ناهنجاری و اچرخندی بر روی آمریکای جنوبی منجر به جریان‌های جنوبی و وزش هوای سرد به سمت آمریکای جنوبی می‌شود که یخبندان‌های شدید و گسترده‌ای را به همراه دارد. همچنین برخی مطالعات، الگوی پرفشار شمال دریای خزر را موثر بر وقوع موج سرمای ترکیه (کوتیل و ترکیس^۵، ۲۰۰۵) و شرق مدیترانه (کستوپولو و جونز^۶، ۲۰۰۷، ص. ۱۳۵۱) می‌دانند. اشکرافت، پزا و سیموندز^۷ (۲۰۰۹، ص. ۶۶۸۰) علت وقوع همدید رویدادهای سرد جنوب استرالیا را، شکل گیری الگوهای موجی در غرب منطقه به عنوان عامل اصلی شناسایی کردند. عالی جهان، صلاحی، قویدل رحیمی و فرج زاده (۲۰۱۹، ص. ۳۴۲) امواج سرمای کمتر از ۱۵- درجه سانتیگراد را در شمال غرب ایران طی سالهای ۱۸۷۱ تا ۲۰۱۲

1. Tannehill.

2. Domonkos, Kysely, Piotrowicz, Petrovic, Likso.

3. Ninomiya, Nishimura, Suzuki, Matsumura.

4. Muller, Berri.

5. Kutiel, and Turkes.

6. Kostopoulou, and Jones.

7. Ashcroft, Pezza, Simmonds.

بررسی کردند. نتایج نشان داد که در تراز دریا پرفشار سیبری همراه با بلاکینگ جوی، منجر به انتقال امواج سرد از عرضهای شمالی به نواحی شمال غرب ایران شده و در نتیجه امواج سرد بسیار شدید و طولانی مدت را در این منطقه سبب می‌شود. مطالعه فتاحی و صالحی (۱۳۸۸، ص. ۱۲۷) نشان داد که تیپ های هوای پرفشار اروپای شمالی، پرفشار سیبری و پرفشار اروپای شرقی بیشترین تأثیر را در وقوع یخبندانهای ایران دارند. لشکری و کیخسروی (۱۳۸۹، ص. ۱۷۵) شرایط سینوپتیکی موج سرمایی ۸-۱۵ دی ماه ۱۳۸۵ ایران زمین را بررسی کردند. نتایج نشان داد که زبانه سردی که از نزدیک قطب کشیده شده، مرکز کم ارتفاعی که روی شمال سیبری بسته شده است و در نهایت نفوذ یک موج سرما از سمت شمال سرمای شدیدی را روی ایران حاکم کرده است. کریمی، نگارش، طاووسی و علیجانی (۱۳۹۱، ص. ۷۴) امواج سرماهای دی و بهمن ۱۳۸۳ استان چهار محال و بختیاری بررسی و نشان دادند الگوی حاکم بر امواج سرمای شدید، الگوی پرفشار سیبری بوده است و همزمان با نفوذ و گسترش زبانه‌ی پرفشار سیبری به منطقه در تراز میانی جو فرازهایی تا ارتفاع ۵۸۰۰ متر تشکیل شده که ریزش هوای بسیار سرد به منطقه را در امتداد شرقی این فرازاها توجیه می‌کند. عزیزی و یوسفی (۱۳۸۴، ص. ۱۴۹) با بررسی الگوهای همدید موثر در شکل گیری ناهنجاری‌های دمایی ایران و اروپا با استفاده از دمای حداقل (۲۰۱۰-۱۹۵۱) در دوره های سرد؛ نقش مهم شکل گیری سامانه‌های بندالی و پشته قوی روی اروپا و اطلس را در وقوع دمای حداقل فرین در ایستگاه‌های ایران نشان داد. دوستکامیان، جلالی و طاهریان زاده (۱۳۹۶، ص. ۶۷۰) امواج سرمایشی و فراگیر شمال غرب کشور را در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ بررسی کردند. بیشتر سرماهای فراگیر شمال غرب بر اساس شکل گیری پر فشار سیبری در سطح زمین است. در بیشتر الگوها مهمترین پدیده و عامل اصلی وقوع سرما استقراره ناوه عمیق بر روی منطقه است. یار مرادی، کیخسروی و نصیری (۱۳۹۷، ص. ۶۵) در بررسی امواج سرمای غرب کشور نشان دادند که عامل اصلی امواج سرمای منطقه الگوی پرفشاری با فشار مرکزی بیش از ۱۰۳۲ هکتوپاسکال بر روی شمالغرب و غرب در تراز سطح دریا و نیز قرارگیری قطاع غربی ناوه عمیق بر روی مناطق غربی ایران در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال است. شهابی کوتنایی (۱۳۹۳) به تحلیل همدید موج های سرمای زمستانی در ایران پرداخت. نتایج نشان داد نحوه ی آرایش دو سامانه ی پرفشار سیبری و آזור نقش بسیار مهمی در هدایت هوای سرد عرض‌های شمالی به سوی کشور ایفا کرده اند. الگوهای تراز میانی جو در شدید ترین ، فراگیر ترین و مداوم ترین امواج سرمای زمستانی هنگامی شکل گرفته اند که سامانه های مانع در شرق اروپا استقرار یافته و ناوه ی شرقی آن ها بر روی ایران قرار گرفته است. مطلبی‌زاده (۱۳۹۴) به تحلیل سینوپتیک امواج سرمای منطقه شمال غرب ایران پرداخت. نتایج نشان داد الگوی فشار حاکم در طول ایام حاکمیت امواج سرمای وضعیت پرفشاری بوده که منشا آن پرفشارهای سیبری، مهاجر غربی و پرفشار ادغامی می‌باشند. همچنین در ترازهای میانی جو در شمال شرق ایران ناوهای مستقر بوده است. رضازاده و علیجانی (۱۳۹۶، ص. ۱۸۳) در یک دوره آماری ۲۳ ساله به تحلیل سینوپتیکی امواج فراگیر سرما در شمال غرب کشور پرداختند. نتایج نشان داد که علت بیش تر یخبندانهای شدید سطح بالا ناشی از استقرار یک فرود عمیق در غرب ایران بوده که هوای سرد مناطق قطبی را به ایران هدایت می‌کند. استقرار فراز مانع در شرق این فرود سبب ایستایی نسبی این فرود شده و تداوم سرما را در منطقه تشدید می‌کند. در سطح زمین هم اکثرا پرفشارهای مهاجر غربی و گسترش زبانه پرفشار سیبری بر شدت سرمای هوای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌افزاید. کریمی و کاکی (۱۳۹۷، ص. ۱۷۰) شرایط همدید رخداد سرماهای فراگیر غرب ایران برای دوره ۱۹۹۲-۲۰۱۵ بررسی کردند. نتایج نشان داد که عامل اصلی ایجاد سرماهای فراگیر غرب ایران با توجه به مکان گزینی مراکز فشار، نفوذ سرما از سمت شمال شرق، شمال غرب و شمال به منطقه می‌باشد. تحقیقات انجام شده نشان از اهمیت بررسی فرین های آب و هوایی دارد. با توجه به بحران تغییرات اقلیمی جهانی و تاثیر بسزای آن بر روند فرین های دمای، بنظر میرسد مطالعه این تغییرات به صورت محلی و منطقه ای جهت جلوگیری از خسارات احتمالی و اثرات اقتصادی - اجتماعی آن که میتواند بر تمامی

برای امواج سرمای‌ی برای تحلیل‌های سینوپتیکی در نظر گرفته شد به این صورت است که، اولاً در بیش از ۵۰ درصد از ایستگاه‌ها در هر روز دما کمتر و مساوی آستانه $1/2$ - باشد. دوماً تداوم این روزهای حداقل ۲ روزه باشد. با چنین وصفی، باید روزهای سرد فرین با تداوم ۲ روزه در حداقل ۵۰ درصد ایستگاه‌ها رخ داده باشد که به عنوان امواج سرمای‌ی فراگیر در نظر گرفته شود. با چنین وصفی در طی سال‌های مورد مطالعه ۱۲۸ موج سرمای‌ی شناسایی شد.

دو رویکرد عمده در اقلیم‌شناسی هم‌دید، رویکرد گردشی به محیطی و رویکرد محیطی به گردشی است. اختلاف این دو رویکرد در روش طبقه‌بندی جو و محیط سطحی در ارتباط با یکدیگر است. در رویکرد گردشی به محیطی محقق طبقه‌بندی هم‌دید را در ارتباط با یک ناحیه مطرح می‌کند. در مقابل، در رویکرد محیطی به گردشی الگوهای گردشی جو را در ارتباط با شرایط محیطی ویژه‌ای مورد بررسی قرار می‌دهد (یارنال، ۱۳۹۰: ۱۹۳). با یک رویکرد محیطی به گردشی، در این پژوهش ابتدا روزهای سرد فرین (با آستانه شاخص استاندارد کمتر از $1/2$ -) استخراج شده و سپس بر اساس روزهای استخراج شده با تداوم حداقل ۲ روزه، سامانه‌های سینوپتیکی به وجود آورده این امواج توسط تحلیل عاملی استخراج و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

برای دماهای حداقل روزانه با آستانه شاخص استاندارد $1/2$ - و تداوم ۲ روزه در منطقه شمال غرب ایران ۱۲۸ موج سرما در طی دوره مورد مطالعه استخراج شد. برای کاهش حجم داده‌ها و بررسی دقیق‌تر بر روی شرایط سینوپتیکی به وجود آورنده این شرایط از روش تحلیل عاملی دوران یافته ۱ (واریماکس ۲) به روش درستیابی بیشینه ۳ استفاده شد که یکی از محبوبترین روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی در بین جامعه اقلیم‌شناسان می‌باشد.

پس از انتخاب داده‌ها، ماتریس پراکنش به آرایه P و 128×1125 تشکیل داده شد. در این ماتریس ۱۱۲۵، تعداد پیکسل‌های فشار تراز دریا و ۱۲۸ تعداد امواج سرمای‌ی شمال غرب در طی سال‌های مورد مطالعه هستند. پس از محاسبه ماتریس همبستگی، با استفاده از محاسبه دترمینان ضرایب همبستگی بین متغیرها و یا معیار کایزر-میر-آلکاین ۴ (KMO) صحت تحلیل عاملی مورد آزمون قرار گرفت. معیار KMO برابر با ۰/۹۴ بود و محاسبه دترمینان ماتریس همبستگی برابر صفر است که نشان می‌دهد که انتخاب متغیرها مناسب می‌باشد. مشخصات این عامل‌ها در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول شماره ۱: مشخصات عامل‌های حاصل از تحلیل عاملی بر روی فشار تراز دریا

درصد واریانس	درصد روزهای طبقه بندی شده	روز نماینده	تداوم امواج سرمای‌ی روز نماینده
۲۷	۴۶	۱۹۹۰/۱/۲۶	۲ روزه، ۲۶ تا ۲۷ ژانویه ۱۹۹۰
۱۷	۲۲	۲۰۰۹/۱/۲	۳ روزه، ۲ تا ۴ ژانویه ۲۰۰۹
۱۲	۱۸	۱۹۸۸/۲/۲۶	۲ روزه، ۲۶ تا ۲۷ فوریه ۱۹۸۸
۱۰	۱۴	۱۹۹۲/۱/۲۴	۶ روزه، ۲۴ تا ۲۹ ژانویه ۱۹۹۲
عامل اول (الگوی اول)			
عامل دوم (الگوی دوم)			
عامل سوم (الگوی سوم)			
عامل چهارم (الگوی چهارم)			

¹ - Rotated Factor Analysis

² - Varimax

³ - Maximum Likelihood

⁴ -Ksiser- Meyer- Olkin

بحث و یافته‌ها

چهار عامل اصلی اول به عنوان الگوهای موثر بر شکل‌گیری امواج سرمای فراگیر در شمال غرب شناسایی شد که این چهار عامل اول حدود ۶۵/۶۴ درصد از پراش الگوهای فشار تراز دریا را در روزهای مورد مطالعه توجیه می‌کنند. لازم به ذکر است که در الگوی دوم و چهارم که تعداد روزهای سرمای بیش از دو روز بوده، فقط نقشه‌های دو روز به عنوان نماینده ارائه می‌شود. بررسی‌ها به صورت روزانه طی وقوع موج انجام و نتایج با ارائه نقشه دو روز تفسیر شده است.

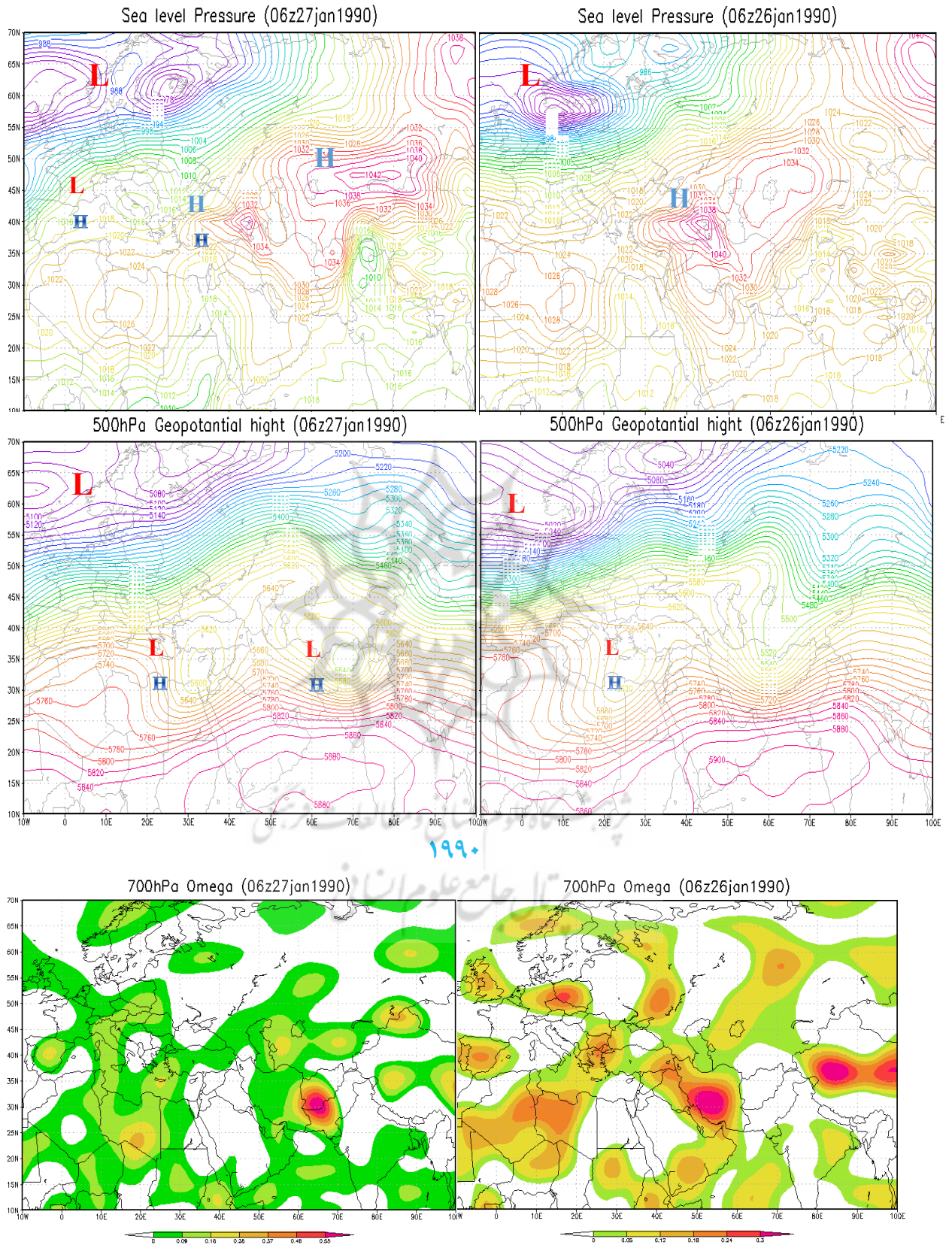
الگوی اول: پرفشار سیبری - کم فشار شمال غرب اروپا

الگوی پراکنش دمایی منطقه در هر دو روز مشابه بوده و بخش‌های جنوبی و شرقی بیش‌ترین افت دما را داشته‌اند. دمای هوا در این دو روز کمتر از ۲- بوده و در برخی مناطق جنوب و شرق منطقه (ارتفاعات سهند و سلان) تا ۲۸- نیز رسیده است. به سمت شمال غرب به شدت شیب دمایی افزایش داشته و کمینه دما در این بخش‌ها به ۲- درجه سانتیگراد می‌رسد. شمال غرب تا جنوب غرب منطقه نیز دمایی کم‌تر از ۱۲- درجه سانتیگراد را تجربه نموده‌اند.

شکل ۲ آرایش فشار تراز دریا و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی را در روز ۲۶ و ۲۷ ژانویه ۱۹۹۰ در ساعت 00,06 UTC را در الگوی اول نشان می‌دهد. نقشه‌ی تراز دریای در روز ۲۶ ژانویه وجود سیستم پرفشار سیبری در روسیه با فشار مرکزی کمتر از ۱۰۴۱ و گسترش زبانه آن تا روی ایران (یک سلول با فشار مرکزی ۱۰۳۴ هکتوپاسکال در شرق دریای خزر و سلول قویتری با فشار مرکزی ۱۰۴۲ هکتوپاسکال بر روی مرز ایران، ترکیه و آذربایجان) و سیستم کم‌فشار بسیار قوی در غرب اروپا را نشان می‌دهد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نفوذ یک ناوه عمیق با محور شمال شرق - جنوب غرب از روسیه تا بخش‌های شرقی ایران دیده می‌شود که شمال غرب ایران زیر بازوی غربی این ناوه قرار دارد. این امر باعث ریزش هوای سرد عرض‌های بالا به پشت این ناوه (شمال غرب ایران) می‌شود. بنابراین شرایط نفوذ زبانه پرفشار حرارتی سیبری برای ایجاد موج سرد مهیا شده است. روز ۲۷ ژانویه شکل‌گیری یک بلوکینگ امگایی شکل با پربند ۵۶۴۰ ژئوپتانسیل متر بر فراز شمال شرق دریای خزر قابل مشاهده است. در دو سمت این بلوکینگ امگایی، دو سلول کم‌ارتفاع یکی بر فراز شرق دریای مدیترانه و دیگری بر روی پاکستان بسته شده است (شکل ۲). این امر باعث ریزش هوای سرد از عرض‌های بالاتر را در بازوی شرقی این بلوکینگ بر روی منطقه می‌شود و فعالیت پرفشار سیبری باعث تداوم موج سرمای شده است.

برای بررسی شرایط دینامیکی الگوها، نقشه‌های امگای تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال نیز ارائه شده است که جهت سهولت بررسی مقادیر منفی که شرایط صعود را نشان می‌دهد، حذف شده و مقادیر مثبت، که گویای شرایط فرونشینی و حرکات قائم پایین سو و ایستایی جو می‌باشد، با رنگها نشان داده شده است. در الگوی اول، نقشه امگا تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در روز ۲۶ ژانویه مقادیر مثبت را در مسیر زبانه پرفشار سیبری و نفوذ آن به داخل کشور در بیشتر نقاط ایران به جز بخش‌های شمال شرقی کشور نشان می‌دهد. این وضعیت گویای همگرایی هوا در ترازهای میانی جو و شرایط نزول و فرونشینی دینامیکی توده هوا در ترازهای زیرین جو می‌باشد که در نهایت منجر به شرایط پایداری جو و نفوذ هوای سرد و خشک به اغلب نقاط کشور می‌باشد. هسته بیشینه مقادیر مثبت امگا در منطقه شمال غرب ایران واقع شده است (شکل ۳).

شکل ۲: توزیع فشار تراز دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت 00,06 UTC در روزهای ۲۶ و ۲۷ ژانویه



شکل ۳: نقشه امگا تراز ۷۰۰ hpa در ساعت 00,06 UTC در روز ۲۶ و ۲۷ ژانویه ۱۹۹۰

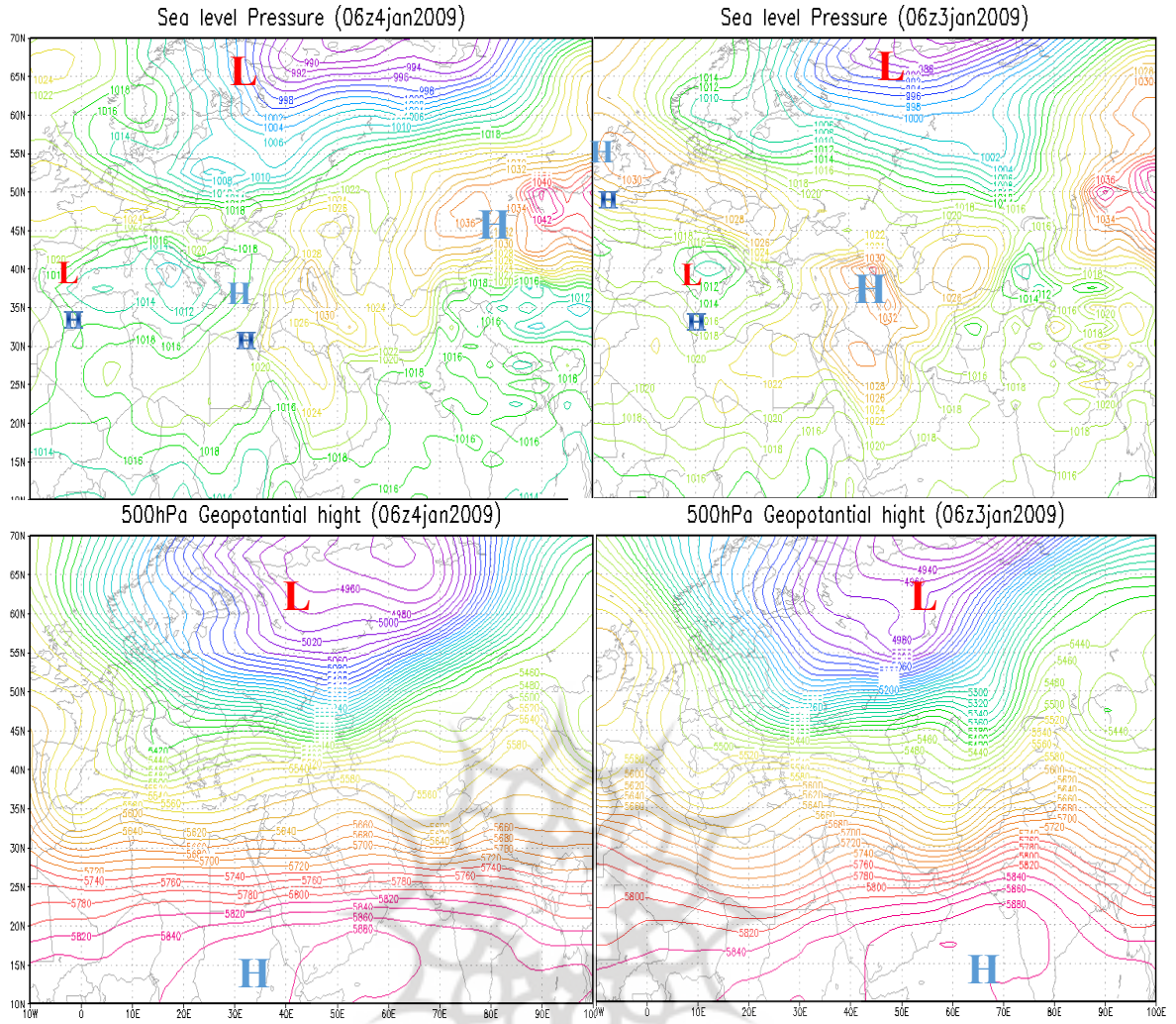
الگوی دوم: پرفشار سیبری - کم فشار شمال روسیه

الگوی دوم یک موج سرمای سه روزه است که از روز دوم ژانویه آغاز و تا چهارم ژانویه ۲۰۰۹ ادامه داشته است. در هر سه روز کمینه دما در شمال غرب، شمال و شرق منطقه رخ داده و شدت سرما به سمت جنوب و شمال شرق منطقه کم شده است. بیشینه دما به حدود ۵- درجه سانتیگراد و کمینه دما در شمال غرب منطقه به ترتیب در روزهای ۳، ۴ و ۵ ژانویه به حدود ۱۲-، ۲۷- و ۲۰- درجه سانتیگراد رسیده است.

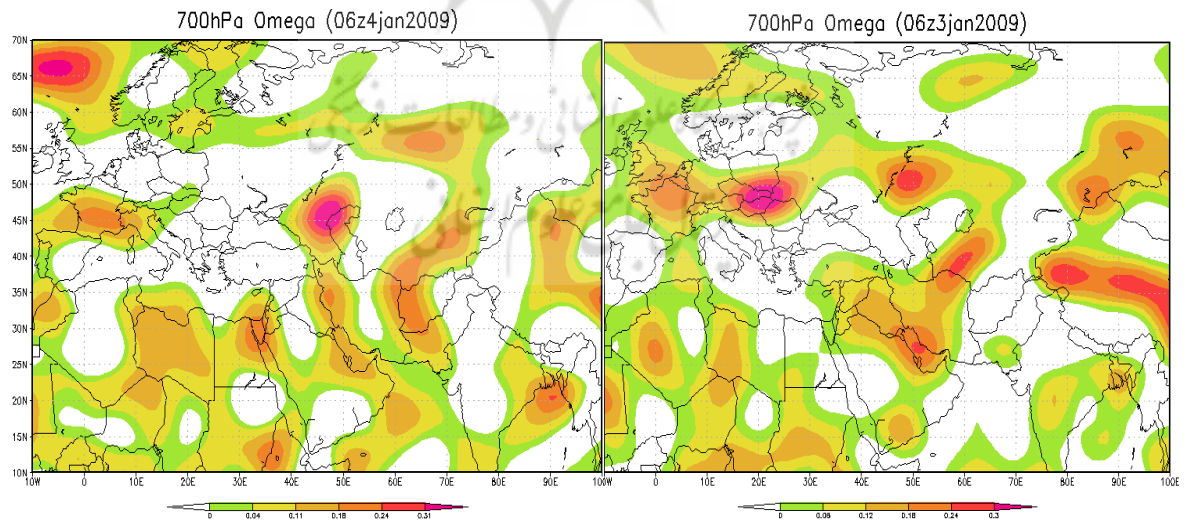
شکل ۴ توزیع فشار تراز دریا و تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در روزهای سوم تا چهارم ژانویه ۲۰۰۹ در الگوی دوم نشان می‌دهد. حضور یک سامانه کمربندی پرفشار از غرب اروپا- اقیانوس اطلس، غرب دریای مدیترانه تا غرب ایران و یک سامانه کم فشار قوی با فشار مرکزی ۹۸۲ هکتوپاسکال در شمال روسیه دیده می‌شود. بررسی نقشه‌های ۳۱ دسامبر ۲۰۰۸ و ۱ ژانویه ۲۰۰۹ نشان می‌دهد که سامانه پرفشاری که در روز دوم ژانویه ۲۰۰۹ به مرز شمال غرب ایران وارد شده، در واقع زبانه‌ای از پرفشار سیبری است و باعث ایجاد موج سرمایی با تداوم ۳ روزه شده است. زبانه پرفشار یاد شده در روزهای سوم و چهارم ژانویه با امتداد شمال غرب- جنوب شرقی بخش‌های وسیعی از ایران را تحت پوشش قرار داده است (شکل ۴).

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال حضور یک ناوه عمیق از سامانه کم ارتفاع شمال روسیه که با محور شمال شرق- جنوب غرب از شمال دریای خزر تا روی عربستان گسترش یافته، دیده می‌شود. بخش‌های شمال غربی ایران زیر بازوی غربی این ناوه قرار گرفته است. در واقع پشته‌ای از روی دریای مدیترانه به سمت دریای سیاه در حال شکل‌گیری و حرکت به سمت شمال غرب ایران است. بررسی نقشه‌های تراز دریا تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که سامانه کم ارتفاع شمال روسیه و سامانه پرفشار سیبری، سامانه‌ای دینامیکی هستند که از تراز دریا تا تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال گسترش یافته‌اند. بنابراین ریزش هوای سرد شمال روسیه به بازوی غربی ناوه، سبب تقویت پرفشار سیبری و موج سرما در منطقه شمال غرب ایران شده است. در ادامه در روزهای سوم و چهارم ژانویه ۲۰۰۹ پشته شکل گرفته با محور تقریباً شمال غربی- جنوب شرقی که از روی ترکیه تا روی عربستان امتداد یافته است شمال غرب کشور را تحت تاثیر قرار می‌دهد (شکل ۴).

نقشه‌های امگا در روزهای دوم تا چهارم ژانویه ۲۰۰۹ نیز شرایط نزول دینامیکی جو را در محل استقرار پرفشار سیبری نشان می‌دهد. در شمال غرب و بخش‌های وسیعی از کشور، شرایط پایداری دینامیکی جو با مقادیر مثبت امگا دیده می‌شود (شکل ۵).



شکل ۴: توزیع فشار تراز دریا و ۵۰۰ hpa در ساعت 00,06 UTC در روزهای ۲، ۳ و ۴ ژانویه ۲۰۰۹



شکل ۵: نقشه امگا تراز ۷۰۰ hpa در ساعت 00,06 UTC در روز ۲ ژانویه ۲۰۰۹

الگوی سوم: زبانه پرفشار سیبری - کم فشار دریای مدیترانه

الگوی سوم یک موج دو روزه سرمای فراگیر در روزهای ۲۶ و ۲۷ فوریه ۱۹۸۸ می باشد. در این الگو شدت سرما نسبت به دو الگوی قبلی ضعیفتر بوده و کمینه دمای منطقه در روز ۲۶ و ۲۷ فوریه به ترتیب حدود ۱۸- و ۱۹- درجه سانتیگراد در بخش-

های جنوبی منطقه رخ داده است. از بخش‌های جنوبی منطقه به سمت شمال از شدت سرما کاسته شده، تا جاییکه در بیشینه دمای منطقه به ۱- درجه سانتیگراد می‌رسد.

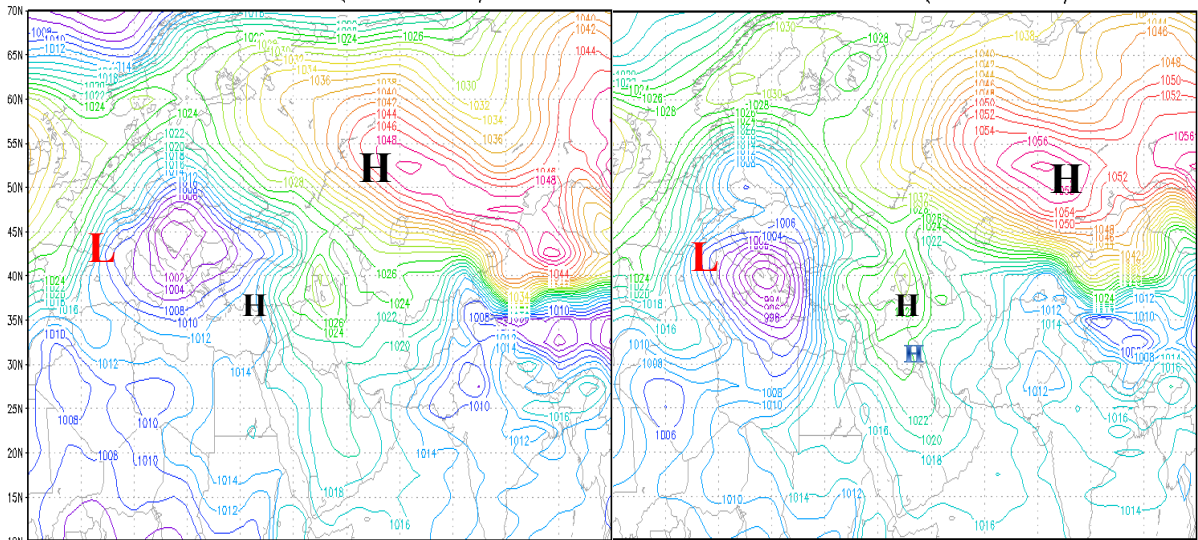
آرایش الگوی فشار تراز دریا نشان می‌دهد که الگوی غالب، سامانه پرفشار سیبری بسیار قوی با چند سلول مجزا، سلول بسته شده در روسیه با فشار مرکزی ۱۰۶۰ هکتوپاسکال است. زبانه‌ای از این سامانه، بخش‌هایی از ایران، عراق، ترکیه تا عربستان را تحت تاثیر قرار داده است. یک سلول پرفشار حاصل از زبانه‌ی پرفشار سیبری، در روز ۲۶ فوریه با فشار مرکزی ۱۰۳۲ هکتوپاسکال و در روز ۲۷ فوریه با فشار مرکزی ۱۰۳۰ هکتوپاسکال در شمال غرب ایران بسته شده است که سبب ریزش هوای سرد و خشک شمال روسیه به سمت شمال غرب ایران می‌شود. حضور سامانه کم فشاری بر روی شمال دریای مدیترانه در تقابل با سامانه پرفشار سیبری دیده می‌شود که بخش‌های وسیعی از اروپا و شمال آفریقا را در بر گرفته است (شکل ۶).

توزیع الگوی فشار در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد که سامانه پرفشار سیبری تا تراز میانی جو نیز به صورت دینامیکی گسترش یافته و در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به صورت یک سامانه پر ارتفاع فعال است. بر روی دریای مدیترانه نیز یک مرکز کم ارتفاع قوی فعال است که با همراهی کم فشار تراز دریا گویای یک سیکلون دینامیکی قدرتمند در منطقه است. در این زمان بخش‌های شمال غربی ایران زیر محور جلویی (بازوی شرقی) پشته‌ای قرار گرفته که امتداد محور آن جنوبی - شمالی است و از عربستان تا روی ترکیه امتداد یافته است. حضور این پشته به همراه پرفشار سیبری در تراز دریا حاکی از یک سامانه پرفشاری دینامیکی است که شرایط را برای فرونشینی جو و ریزش هوای سرد و خشک عرض‌های شمالی به سمت شمال غرب ایران تقویت می‌کند (شکل ۶).

نقشه امگای تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای روزهای ۲۶ و ۲۷ فوریه، مقادیر مثبت را در محل استقرار پرفشار سیبری در روسیه و زبانه آن در شمال غرب ایران نشان می‌دهد. بنابراین در شمال غرب ایران شرایط پایداری جو در این موج سرمای دو روزه حاکم است و موجب فرونشینی جو در این بخش‌ها می‌شود و در نتیجه موج سرمایی را به مدت دو روز در منطقه تقویت می‌کند (شکل ۷).

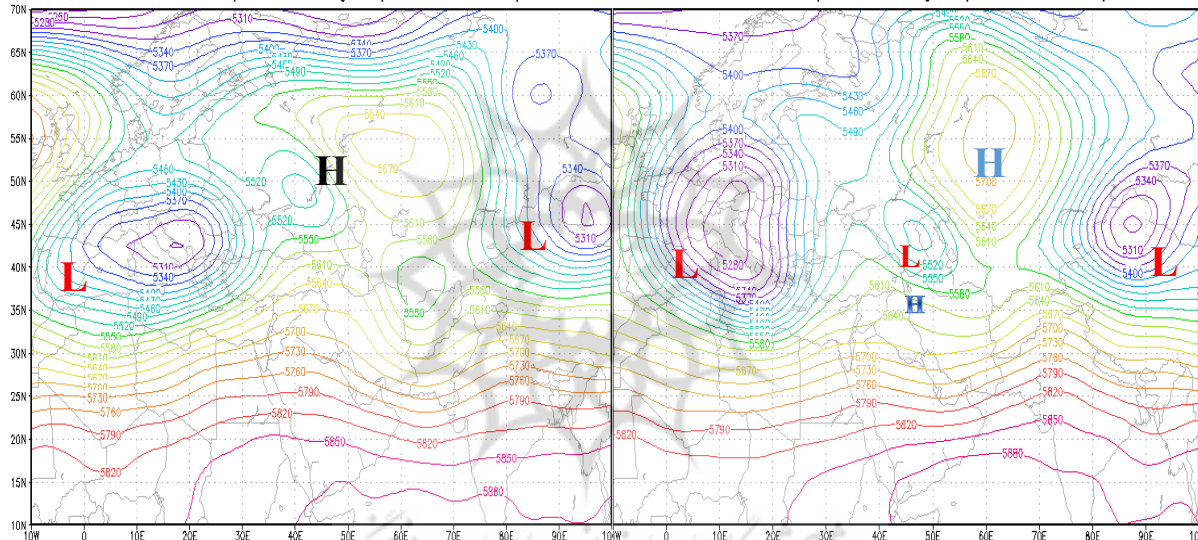
Sea level Pressure (06z27feb1988)

Sea level Pressure (06z26feb1988)



500hPa Geopotential hight (06z27feb1988)

500hPa Geopotential hight (06z26feb1988)

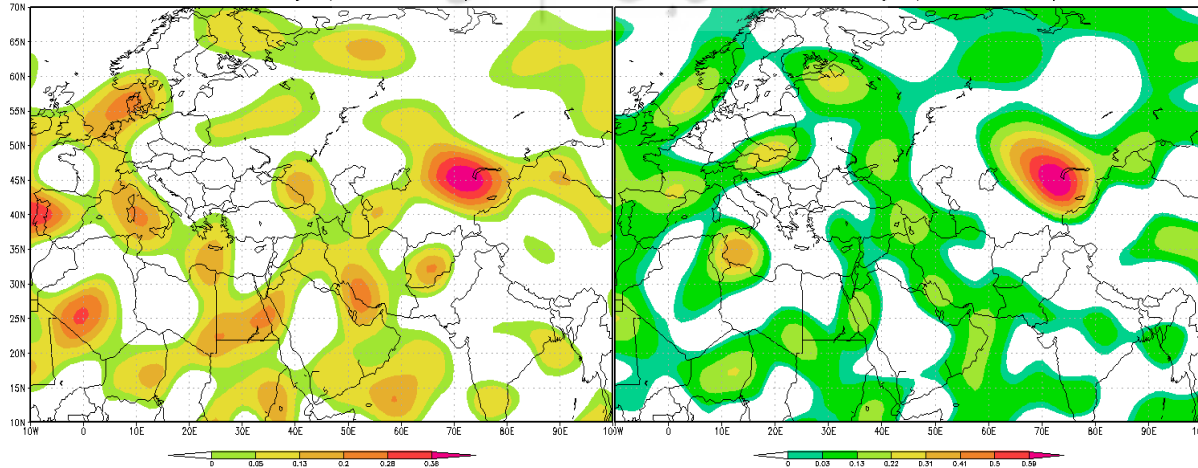


شکل ۶: توزیع الگوی فشار تراز دریا و hpa +۵۰ در ساعت 00,06 UTC در روزهای ۲۶ و ۲۷ فوریه

۱۹۹۸

700hPa Omega (06z27feb1988)

700hPa Omega (06z26feb1988)



شکل ۷: نقشه امگا تراز ۷۰۰ hpa در ساعت 00,06 UTC در روز ۲۷ فوریه ۱۹۹۸

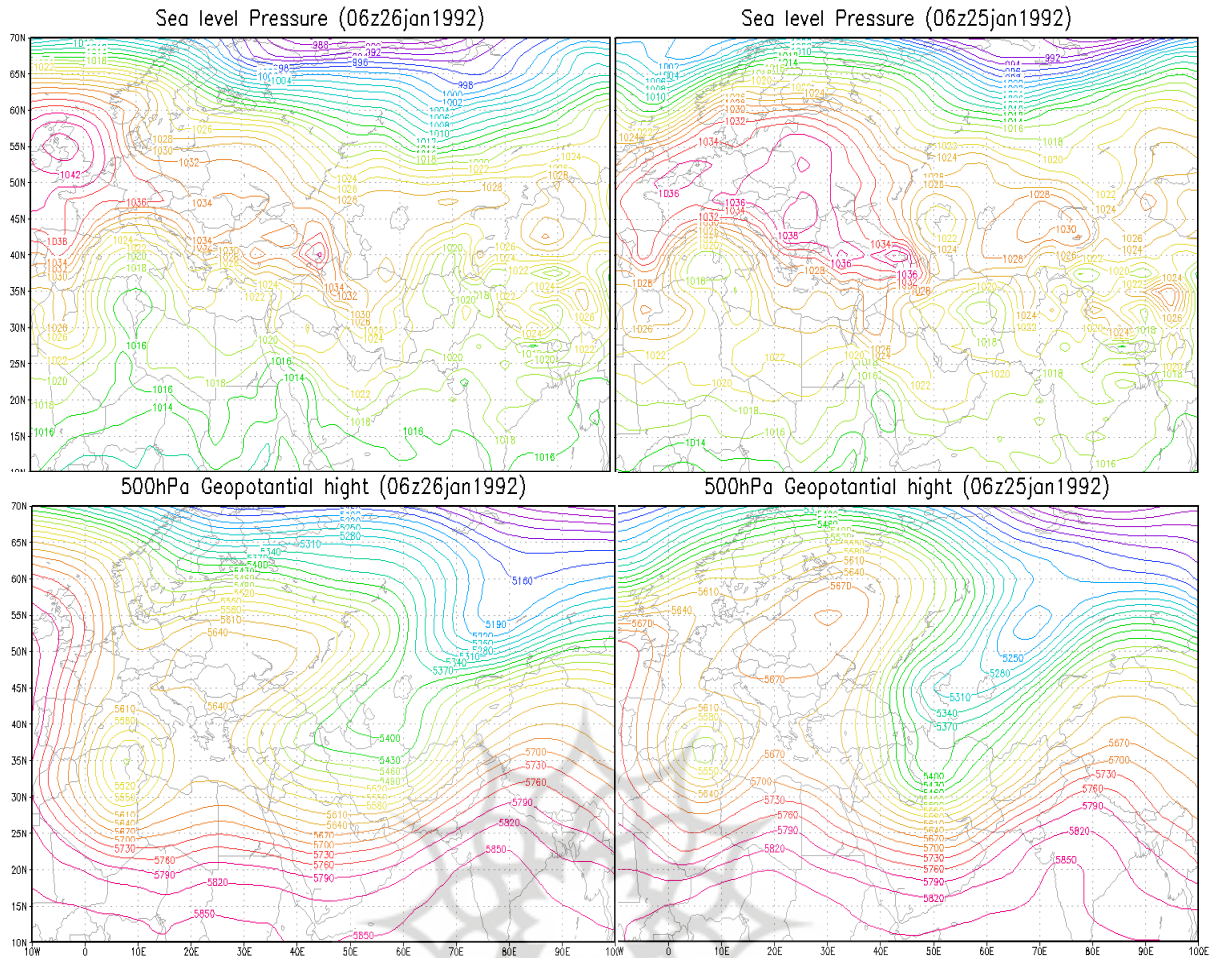
الگوی چهارم: سامانه پرفشار اروپایی

الگوی چهارم یک موج سرمایی نسبتاً شدید با تداوم شش روزه در شمال غرب ایران بوده است که از ۲۴ ژانویه ۱۹۹۲ آغاز و تا ۲۹ ژانویه ادامه داشته است. کم‌ترین دمای ثبت شده در این روزها ۲۸- درجه سانتیگراد است که در تمامی این روزها در بخش‌های جنوبی تا جنوب شرق منطقه رخ داده است. بیشینه دمای ثبت شده نیز صفر درجه سانتیگراد بوده، که در شمال شرقی منطقه رخ داده است.

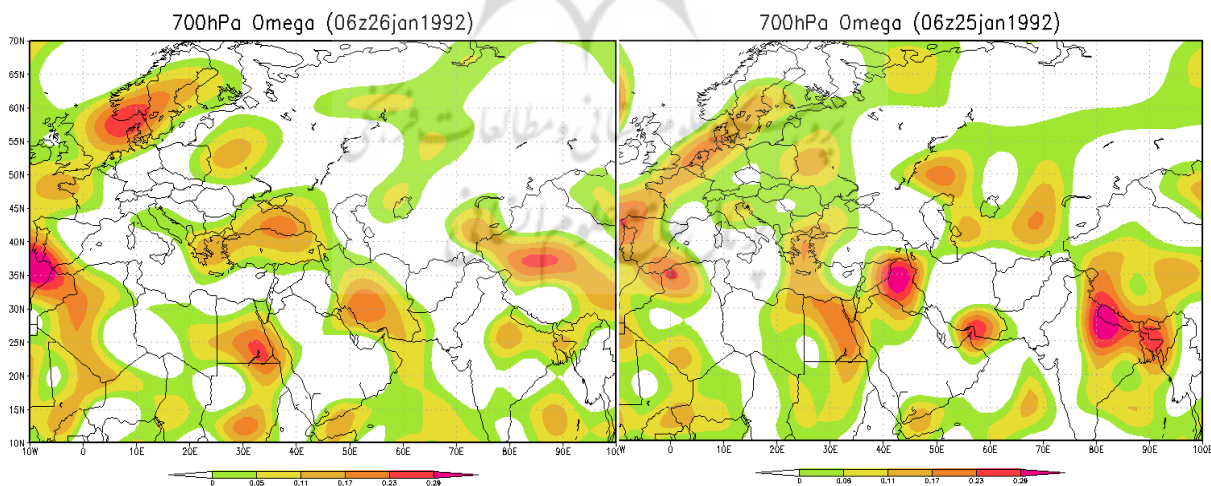
بررسی نقشه‌های فشار تراز دریا و ۵۰۰ هکتوپاسکال در این الگو، گویای همراهی یک سامانه بلوکیگ امگایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با پرفشار اروپایی تراز دریا می‌باشد که موج سرمایی ۶ روزه را ایجاد کرده است (شکل ۸). فقط نقشه‌های روزهای ۲۵ و ۲۶ ژانویه ارائه شده است). روز ۲۴ ژانویه ۱۹۹۲ یک سامانه پرفشار اروپایی قوی با مرکز ۱۰۴۰ هکتوپاسکال بر روی دریای سیاه بسته شده و در طول دوره ۶ روز مورد مطالعه، فعال بوده است. زبانه‌ای از این سامانه با محور شمال غربی- جنوب شرقی از شمال غرب وارد ایران شده است. تا روز ۲۶ ژانویه این سامانه پرفشار به مرز آذربایجان و شمال غرب ایران می‌رسد. همچنین زبانه آن با امتداد شمال غربی- جنوب شرقی تا بخش‌های مرکزی ایران نفوذ کرده است.

در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مرکز سامانه پرفشار بر روی اروپا بین شمال اروپا و دریای مدیترانه قرار گرفته و پشته آن به سمت بخش‌های شمالی اروپا است. دو سامانه کم ارتفاع در دو سمت این بلوکیگ، روی روسیه و غرب دریای مدیترانه فعال است. فرود عمیق سامانه کم ارتفاع روی روسیه تا روی دریای خزر و داخل ایران با محور شمال شرقی- جنوب غربی امتداد یافته است بخش‌های شمال غرب ایران در زیر محور پایینی و بازوی غربی این ناوه واقع شده‌اند. بنابراین ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی در این بخش باعث ایجاد موج سرمایی شدید در منطقه شده است. در روز ۲۵ ژانویه شمال غرب ایران زیر پشته موج کوتاه از ناوه شمال روسیه واقع شده است. همچنین بلوکیگ امگایی به سمت شرق در حال حرکت است و مرکز آن به غرب روسیه رسیده است. در روز ۲۶ همچنان حرکت مرکز بلوکیگ را تا روی دریای سیاه و بریده کم فشار نیز به روی شمال آفریقا حرکت کرده است و تا روز ۲۹ ژانویه شمال غرب ایران را تحت تاثیر قرار داده و این شرایط تداوم داشته است.

بررسی نقشه امگا در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، مقادیر مثبت امگا، در مرکز سامانه بلوکیگ مستقر در شرق اروپا، حرکات قائم پایین سو و پایداری جو را از تراز دریا تا تراز میانی نشان می‌دهد. در روز ۲۵ ژانویه که سلول پرفشاری از سامانه مذکور بر شمال غرب کشور بسته شده و شمال غرب کشور در عقب ناوه عمیق شمال روسیه قرار گرفته، مقادیر امگا در منطقه مثبت می‌باشد که شرایط پایداری جو و تقویت موج سرمایی را نشان می‌دهد. در روز ۲۶ ژانویه شرایط پایداری با مقادیر مثبت امگا در قسمتهای وسیعی از ایران گسترش یافته است. در طول موج سرمایی ۶ روزه در این الگو با توجه به شرایط سینوپتیکی حضور پرفشار اروپایی در تراز دریا و بلوکیگ ترازهای میانی جو، مقادیر مثبت امگا، شرایط پایداری و فرونشینی دینامیکی جو از ترازهای زیرین تا تراز میانی جو و تقویت موج سرمایی را در شمال غرب کشور نشان می‌دهد.



شکل ۸: توزیع الگوی فشار تراز دریا و ۵۰۰ hpa در ساعت ۰۰,۰۶ UTC در روزهای ۲۵ تا ۲۶ ژانویه ۱۹۹۲



شکل ۹: نقشه امگا تراز ۷۰۰ hpa در ساعت ۰۰,۰۶ UTC در روزهای ۲۵ تا ۲۶ ژانویه ۱۹۹۲

نتیجه گیری

وقوع امواج سرماییه شدید همه ساله زیانها و خسارتهایی را در بخش های مختلف کشاورزی، اقتصادی، صنعتی، حوادث جاده ای و سایر مشکلات اجتماعی را به همراه دارد. بنابراین شناخت شرایط حاکم بر شکل گیری این امواج می تواند در پیش بینی و

افزایش آگاهی هنگام بروز آن، از بسیاری حوادث جلوگیری کند. بررسی شرایط همدید الگوهای موثر بر شکل‌گیری امواج سرمای فراگیر در شمال غرب نشان داد که چهار الگو بر ایجاد موج سرمای فرین در این منطقه موثر است. در تمامی این الگوها همراهی و تطابق سامانه‌های تراز زیرین جو با تراز میانی جو موجب ریزش هوای سرد عرض‌های شمالی بر روی منطقه شمال غرب کشور و ایجاد موج سرمای فرین و فراگیر شده است.

در الگوی اول، پرفشار سیبری با همراهی ناوه عمیق در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و همچنین شکل‌گیری یک بلاکینگ امگایی شکل (فراز مانع) موجب تداوم ریزش هوای سرد سیبری و عرض‌های بالا بر روی منطقه و ایجاد شرایط نزول دینامیکی و پایداری در جو شده و شرایط را برای ایجاد موج سرما فراهم کرده است. در الگوی دوم، یک موج سرمای با تداوم سه روزه که هماهنگی زبانه پرفشار سیبری در تراز زیرین با قرار گرفتن شمال غرب ایران در زیر بازوی غربی ناوه عمیق شمال روسیه در ترازهای میانی جو موجب ریزش هوای سرد عرض‌های بالا و منطقه سیبری به شمال غرب ایران و شکل‌گیری موج سرما شده است. در الگوی سوم یک موج سرمای دو روز جریان داشته است، در ترازهای میانی جو حضور کم ارتفاع و پشته‌ای قوی در بخش‌های شمال غربی کشور در همراهی با پرفشار سیبری در تراز دریا، سبب ریزش هوای سرد و خشک عرض‌های شمالی و روسیه بر روی منطقه و ایجاد شرایط دینامیکی ایستایی و فرونشینی جو در این منطقه شده است. یک موج سرمای ۶ روزه در الگوی چهارم مشاهده شد، پرفشار مهاجراروپایی در تراز دریا با همراهی بلوکینگ امگایی در ترازهای میانی جو سبب تقویت و ریزش هوای سرد عرض‌های شمال اروپا بر روی شمال غرب ایران و ایجاد موج سرمای فراگیر شده است.

بنابراین پرفشار سیبری در تراز پایین جو با همراهی استقرار فراز مانع و یا پشته‌های ترازهای میانی جو بر روی شمال غرب ایران، بیشترین تاثیر را شکل‌گیری موج سرما دارد. همچنین پرفشارهای مهاجر غربی نیز با هماهنگی فراز مانع تراز میانی جو نیز موجب شکل‌گیری موجهای سرمای می‌شوند. در نتیجه با رصد حرکت سامانه‌ی سیبری و سامانه‌های پرفشار مهاجر، چند روز قبل از وقوع موج سرما میتوان، آن را پیش‌بینی کرد و با هشدار به موقع آن، جلوی بسیاری از خسارات را چه در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و چه در سایر بخش‌های جامعه گرفت.

منابع

- جهانبخش، سعید؛ رضایی، سمیه؛ قاسمی، احمد رضا؛ تدینی، معومه؛ ۱۳۹۰. تحلیل سینوپتیکی یخبندان‌های بهاره تبریز (مطالعه موردی: سرمای بهار ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) تحقیقات جغرافیایی. شماره ۱۰۲. صص: ۲۴-۱.
- دوستکامیان، مهدی، جلالی، مسعود، طاهریان زاده، اله مراد، ۱۳۹۶، تحلیل آماری- سینوپتیکی امواج سرمایشی و فراگیر شمال غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۹، شماره ۴، صص ۷۱۸-۶۹۹.
- رضازاده، یعقوب، علیجانی، بهلول، ۱۳۹۶، تحلیل آماری سینوپتیکی امواج سرمای خسارت بار شمال غرب ایران، جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۶۱، صص ۲۰۲-۱۸۳.
- شاهبایی کوتنایی، علی، ۱۳۹۳، تحلیل همدید موج‌های سرمای زمستانی در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، استاد راهنما دکتر حسین عساکره.
- عزیزی، قاسم و یوسفی، حسن، ۱۳۸۴، زمانبندی ورود پرفشار سیبری به سواحل جنوبی دریای خزر، مجله مدرس، شماره ۶۳-۶۴، صص ۱۶۵-۱۴۹.
- علیجانی، بهلول؛ هوشیار، محمود؛ ۱۳۸۷. شناسایی الگوهای سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۶۵. صص: ۱۶-۱.

- فتاحی، ابراهیم؛ صالحی پاک، تهمنه، ۱۳۸۸، تحلیل الگوهای سینوپتیکی یخبندانهای زمستانه ایران، فصلنامه جغرافیا و توسعه. شماره ۱۳، صص ۱۳۶-۱۲۷.
- کریمی، مصطفی، کاکای، سیف الله، ۱۳۹۷، تحلیل آماری-همدیدی الگوهای سرماهای فراگیر غرب ایران، مخاطرات محیط طبیعی سال هفتم، شماره ۱۸، صص ۱۸۸-۱۶۹.
- کریمی، صادق؛ نگارش، حسین؛ طاوسی، تقی و علیجانی، بهلول، ۱۳۹۱، تحلیل همدید امواج سرماهای فراگیر ایران (موردی موج سرمای دی و بهمن ۱۳۸۳ استان چهارمحال و بختیاری)، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۹، صص ۷۶-۵۵.
- لشکری، حسن و کیخسروی، قاسم، ۱۳۸۷، تحلیل سینوپتیکی موج سرمای ۱۵-۸ در ماه ۱۳۸۵ در ایران، مجله مدرس علوم انسانی، شماره ۱۴، صص ۱۷۷-۱۵۵.
- مسعودیان، سید ابوالفضل؛ دارند، محمد؛ ۱۳۹۲. تحلیل همدید یخبندانهای فراگیر و با دوام ایران. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۵۰، صص: ۱۴۴-۱۲۹.
- مطلبی زاده، سلماز، ۱۳۹۴، شناسایی، طبقه بندی و تحلیل سینوپتیک امواج سرمای منطقه شمال غرب ایران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، استاد راهنما، یوسف قویدل رحیمی.
- یار مرادی، زهرا، کیخسروی، قاسم، نصیری، بهرز، ۱۳۹۷، بررسی امواج سرمای ناحیه غرب ایران، پژوهشهای دانش زمین، شماره ۳۵، صص ۶۷-۵۱.
- یارنال، برنت، ۱۳۹۰، اقلیم شناسی همدید و کاربردهای آن در مطالعات محیطی، برگردان سیدابوالفضل مسعودیان، چاپ دوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- هژبریور، قاسم، علیجانی، بهلول، ۱۳۸۶، تحلیل همدید یخبندانهای استان اردبیل، فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره ۵، شماره ۱۰، صص ۱۰۶-۸۹.

References

- Aalijahan, Mehdi, Salahi, Bromand, Ghavidel Rahimi, Yousef, Farajzadeh Asl, Manuchehr, 2019, A new approach in temporal-spatial reconstruction and synoptic analysis of cold waves in the northwest of Iran, Theoretical and Applied Climatology, Vol.137, pp:341-352.
- Ashcroft L.C. Pezza A.B. Simmonds I. (2009), Cold Events Over Southern Australia: Synoptic Climatology and Hemispheric Structure, Journal of Climate, Vol. 22, PP: 6679-6698.
- Chang, J. 1972. Atmospheric Circulation Systems and Climates. Oriental Publishing Company, Hawaii.
- Domonkos P, Kysely J, Piotrowicz K, Petrovic P, Likso T (۲۰۰۳) Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. Int J Climatol 23(9):987-1010
- Klein, W.H. 1957. The Frequency of Cyclones and Anticyclones in Relation to the Mean Circulation. Journal of Applied Meteorology. 15: 98-102.
- Kostopoulou, E. and Jones, P. D, (2007), Comprehensive analysis of the climate variability in the eastern Mediterranean, Part II: relationships between atmospheric circulation patterns and surface climatic elements, Int. J. Climatol, 27: 1351-1371.
- Kutiel, H. and Turkes, M, (2005), New evidence for the role of the North Sea-Caspian Patter on the temperature and precipitation regimes in continental central Turkey, Geografiska Annaler: Series A, Phys Geography, 87: 501- 513.

- Muller, GV. and Berri GJ (2007), Atmospheric Circulation Associated with Persistent Generalized Frosts in Central-Southern South America, Mon. Wea. Rev. 135, 4, 1268-1289.
- Ninomiya, K, Nishimura T, Suzuki T, Matsumura, S (2006), Polar-air outbreak and air-mass transformation over the east coast of Asia as simulated by an AGCM. J Meteor Soc Japan No. 84: 47-68.
- Pettersen, S. 1950. Some Aspects of the General Circulation of the Atmosphere. Centenary Proceedings. R. M. S: 120-155.
- Takahashi H (1990) Migration of the cold air mass related to rain belt formation of the Chinese continent and atmospheric systems during the Baiu season (in apanese). Geographical Rev Japan Series A 64: 10-24.
- Tannehill IR (1982) Severe cold waves on the Texas coast. MonWeather Rev 56(2):41-47.

