Physical Geography Research Quarterly

Online ISSN: 2423-7760

Journal Homepage: jphgr.ut.ac.ir

Institute of Geography

# Analysis of Occurrence Patterns and Atmospheric Circulation Mechanisms Governing the Formation of Convective and Synoptic Wind Gusts in Western and Northwestern Iran

Alireza Naseri [1], Ghasem Keikhosravi [2] ✉, Zainab Mohammadi [3]

1. *Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran*
**Email:** ali_naseri@sbu.ac.ir
2. (Corresponding Author) *Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran*
**Email:** gh_keikhosravi@sbu.ac.ir
3. *Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran*
**Email:** z_mohammadi@sbu.ac.ir

**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:**
Convective Wind Gust,
Synoptic Wind Gust,
Atmospheric Circulation Patterns,
Omega,
Western and Northwestern Iran.

**ABSTRACT**

This study aims to identify the spatiotemporal patterns and atmospheric mechanisms influencing synoptic and convective wind gust events in western and northwestern Iran. To this end, wind gust data collected from 19 synoptic meteorological stations were analyzed, and convective wind gust events were distinguished from synoptic events based on present weather codes. Following the classification of these events, composite maps based on reanalysis data at different atmospheric levels were constructed to investigate the atmospheric patterns associated with each type of event. The results indicated that the highest potential for wind gusts occurred across the northern and northeastern parts of the region. On an annual scale, 68% of wind gust events are associated with synoptic systems, while 32% originate from convective processes. Synoptic wind gusts reveal the highest frequency during winter, whereas convective wind gusts peak in spring. Atmospheric circulation classification indicated that convective wind gusts exhibit greater pattern diversity than synoptic wind gusts, with 20 seasonal circulation patterns identified for convective events compared with 12 patterns for synoptic events. This difference highlights the simultaneous influence of large-scale atmospheric circulation, thermodynamic instability, surface heating, moisture availability, and topographic complexity on convective wind-gust development. In contrast, synoptic wind gusts are primarily influenced by specific large-scale atmospheric circulation patterns. For both wind gust types, key intensifying factors include upper-level troughs, strong pressure/temperature gradients, moisture transport from the Mediterranean and warm southern seas, and downward momentum transfer from upper levels to the surface.

**Cite this article:** Naseri, A., Keikhosravi, G., & Mohammadi, Z. (2026). Analysis of Occurrence Patterns and Atmospheric Circulation Mechanisms Governing the Formation of Convective and Synoptic Wind Gusts in Western and Northwestern Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 58 (3), 63-79.
http://doi.org/10.22059/jphgr.2026.419210.1007951

© The Author(s).

**Publisher:** University of Tehran Press

**Extended Abstract**

**Introduction**

Wind gusts are among the most hazardous atmospheric phenomena because of their sudden and substantial variations in wind speed, which can inflict substantial damage on infrastructure, agriculture, transportation systems, and other socio-economic sectors. Distinguishing between synoptic and convective wind gusts is of considerable importance in operational meteorology, hazard management, and climatological research because these two types differ fundamentally in their genesis, spatial scale, dynamical characteristics, intensity, and environmental impacts. Accordingly, this study investigates the occurrence frequency of wind gusts and classifies them into synoptic and convective categories on a seasonal basis. Furthermore, it identifies and analyzes the large-scale atmospheric circulation patterns and synoptic mechanisms responsible for the development of these wind gusts across western and northwestern Iran.

## Methodology

This study utilized wind gust observations from 19 METAR meteorological stations spanning the period 2012–2021. Convective wind gust events were identified from days on which wind gusts were recorded by using present weather (WW) codes, including codes 17, 30–35, and 80–99, representing thunderstorm- and dust-related phenomena. Synoptic wind gusts were distinguished based not only on their temporal persistence, which typically extends over several hours, but also on their broad spatial extent, often affecting areas spanning several hundred kilometers. Following the classification of wind gusts into convective and synoptic categories, the dominant and most frequently occurring atmospheric circulation patterns associated with these events were investigated using the National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) reanalysis dataset. The analyzed variables included omega vertical velocity, specific humidity, zonal and meridional wind components, and geopotential height at the 1000, 925, 850, 700, and 500 hPa pressure levels.

**Results and discussion**

The results indicated that the highest potential for wind gusts occurred across the northern and northeastern parts of the region. On an annual basis, 68% of the recorded wind gust events were of synoptic origin, whereas 32% were associated with convective processes. Seasonally, synoptic wind gusts occurred most frequently during winter, while convective wind gusts reached their maximum frequency in spring. The classification of atmospheric circulation patterns revealed that convective wind gusts exhibit substantially greater synoptic diversity than their synoptic counterparts, with 20 seasonal circulation patterns identified for convective events compared with 12 patterns for synoptic events. This greater diversity reflects the combined influence of large-scale atmospheric circulation, thermodynamic instability, surface heating, atmospheric moisture, and complex topography on the development of convective wind gusts. In contrast, synoptic wind gusts are primarily governed by well-defined large-scale atmospheric circulation patterns. Despite these differences, both types of wind gusts are favored by the presence of upper-level troughs, moisture transport from the Mediterranean Sea and the warm southern seas, strong pressure and temperature gradients, dynamically forced ascent, and the downward transport of momentum from the middle and upper troposphere to the surface. These processes constitute the primary dynamical mechanisms responsible for the intensification of wind gusts across western and northwestern Iran.

**Conclusion**

Across western and northwestern Iran, approximately 68% of annual wind gust events are of synoptic origin, whereas the remaining 32% are associated with convective processes. Convective wind gusts exhibit substantially greater diversity in atmospheric circulation patterns than synoptic wind gusts. A total of 20 seasonal circulation patterns were identified for convective events, including seven in spring, six in autumn, five in winter, and two in summer. Analysis of the dominant convective patterns indicates that, across all

seasons, interaction between the Arabian–Pakistan thermal low or the Sudan low and migratory highs, the Siberian–Tibetan High, and, in some cases, the Mediterranean trough, generate strong pressure and temperature gradients, enhance moisture transport from the Mediterranean Sea and the warm southern seas, and destabilize the lower troposphere. Simultaneously, deep upper-level troughs, negative omega values, intensified upper-level winds, and downward momentum transport promote dynamically forced ascent and the development of deep convection, thereby creating favorable conditions for severe wind gusts. In contrast, synoptic wind gusts are primarily influenced by a more limited range of large-scale atmospheric circulation configurations, resulting in lower pattern diversity. Overall, 12 circulation patterns were identified for synoptic wind gusts, comprising four patterns in spring, two in summer, two in autumn, and four in winter. The dominant circulation pattern in each season accounts for a substantial proportion of the observed events, explaining approximately 64% of spring, 89% of summer, 86% of autumn, and 77% of winter occurrences. A common characteristic of all synoptic wind gust patterns is the concurrent establishment of the subtropical high-pressure system adjacent to thermal lows or cyclones associated with the polar trough. This configuration produces strong pressure gradients, facilitates moisture transport from the Mediterranean Sea and the warm southern seas, strengthens the prevailing westerly and southwesterly flows, enhances dynamically forced ascent, and promotes the downward transfer of momentum from the middle and upper troposphere to the surface, thereby creating favorable conditions for the development of severe wind gusts. Overall, the results demonstrate that although synoptic and convective wind gusts share several key dynamical mechanisms, including the influence of upper-level troughs, dynamically forced ascent, and downward momentum transport, they differ fundamentally in their dependence on thermodynamic processes and local circulations. Convective wind gusts arise from the complex interaction between large-scale atmospheric circulation and mesoscale to local processes and therefore exhibit greater circulation-pattern diversity. In contrast, synoptic wind gusts are largely governed by well-defined large-scale circulation regimes. These findings advance the climatological understanding of wind gusts across western and northwestern Iran and provide a scientific basis for improving forecasting models, enhancing early warning systems, and strengthening risk management strategies for severe wind events in the region.

**Funding**
There is no funding support.

**Authors' Contribution**
All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

**Conflict of Interest**
The authors declared no conflict of interest.

**Acknowledgments**
The authors would like to express their sincere gratitude to all those who contributed to this research, particularly the Iran Meteorological Organization for providing the meteorological data, as well as those who evaluated the quality of the manuscript.

فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی

شاپا الکترونیکی: 2423-7760

Journal Homepage: jphgr.ut.ac.ir

# واکاوی الگوهای رخداد و سازوکارهای گردش جو مؤثر بر شکل‌گیری جست بادهای همرفتی و همدیدی در غرب و شمال غرب ایران

علیرضا ناصری [۱]، قاسم کیخسروی [۲] ✉، زینب محمدی [۳]

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: ali_naseri@sbu.ac.ir

۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: Gh_keikhosravi@sbu.ac.ir

۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: z_mohammadi@sbu.ac.ir

**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:**
*جست باد همرفتی*
*جست باد همدیدی*
*الگوهای گردش جوی*
*امگا*
*غرب و شمال غرب ایران.*

**چکیده**

این پژوهش با هدف شناسایی الگوهای زمانی – مکانی و سازوکارهای جوی مؤثر بر رخداد جست بادهای همدیدی و همرفتی در غرب و شمال غرب ایران، انجام گرفت. بدین منظور داده‌های جست باد ۱۹ ایستگاه سینوپتیک بررسی و با استفاده از کدهای هوای حاضر، رخدادهای همرفتی از همدیدی تفکیک شدند. با تفکیک رخدادها، جهت بررسی الگوهای جوی، نقشه‌های ترکیبی از داده‌های باز تحلیل در ترازهای مختلف ترسیم گردید. نتایج نشان داد که بیشترین استعداد وقوع جست بادها در پهنه‌هایی از بخش‌های شمال و شمال شرقی منطقه مشاهده می‌شود. در مقیاس سالانه، ۶۸ درصد رخدادها منشاء همدیدی و ۳۲ درصد منشاء همرفتی دارند، به‌طوری‌که جست بادهای همدیدی بیشترین فراوانی را در زمستان و جست بادهای همرفتی بیشترین فراوانی را در بهار دارند. طبقه‌بندی الگوهای جوی نشان داد که جست بادهای همرفتی از تنوع بیشتری نسبت به جست بادهای همدیدی برخوردارند، به‌گونه‌ای که برای آن‌ها ۲۰ الگوی فصلی، در مقابل ۱۲ الگوی همدیدی، شناسایی شد. این تفاوت بیانگر نقش هم‌زمان گردش بزرگ‌مقیاس جو، ناپایداری‌های ترمودینامیکی، گرمایش سطحی، رطوبت و توپوگرافی در شکل‌گیری جست بادهای همرفتی است. در مقابل، جست بادهای همدیدی عمدتاً تحت تأثیر آرایش‌های مشخص گردش بزرگ‌مقیاس جو قرار دارند. در هر دو نوع جست باد، استقرار ناوه‌های تراز بالا، گرادیان‌های شدید فشار و دما، انتقال رطوبت از مدیترانه و دریاهای گرم جنوبی و انتقال تکانه از ترازهای بالایی به سطح، مهم‌ترین عوامل تقویت جست بادها محسوب می‌شوند.

**استناد:** ناصری، علیرضا؛ کیخسروی، قاسم و محمدی، زینب. (۱۴۰۵). واکاوی الگوهای رخداد و سازوکارهای گردش جو مؤثر بر شکل‌گیری جست بادهای همرفتی و همدیدی در غرب و شمال غرب ایران. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۸ (۳)، ۷۹-۶۳.
http://doi.org/10.22059/jphgr.2026.419210.1007951

© نویسندگان

**ناشر:** مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

## مقدمه

بادهای جستی[1]نمونه‌ای از بادهای مخرب می‌باشند که به دلیل تغییرات شدید سرعت لحظه‌ای، می‌توانند آثار خسارتی قابل‌توجهی ایجاد کنند. این بادها در شرایط همدیدی و ترمودینامیکی خاصی رخ می‌دهند و در محیط‌های جغرافیایی مختلف ویژگی متفاوتی دارند. سازمان جهانی هواشناسی توصیه کرده است بادی که حداکثر ۳ ثانیه دوام داشته باشد به‌عنوان باد جستی در نظر گرفته شود، زیرا بیشترین سرعت در این بازه زمانی ثبت‌شده است، ولی تا ۱۰ دقیقه نیز قابل‌قبول است، به شرطی که بیشترین باد متوسط ۱۰ دقیقه‌ای ثبت‌شده در بازه زمانی ۱ ساعته باشد. با فرض اینکه باد متوسط در طول آن در یک ساعت تقریباً ثابت است. البته در تعریف باد جستی، بایستی منطقه موردمطالعه و پدیده غالب هواشناختی را نیز در نظر گرفت و میانگین‌گیری‌های متفاوتی قابل‌تعریف است (Harper et al,2010). طبق تعریف سازمان جهانی هواشناسی، باد جستی زمانی گزارش می‌شود که افزایش ناگهانی باد نسبت به آخرین گزارش ثبت‌شده به ۱۰ نات یا بیشتر (۲۰ کیلومتر در ساعت) برسد، مشروط بر اینکه میانگین سرعت باد قبل و یا بعد از تغییر به میزان ۱۵ نات (۳۰ کیلومتر در ساعت) یا بیشتر رسیده باشد. بایستی در نظر گرفت که در مطالعه سرعت باد مسئله پایداری جو نیز یک عامل تأثیرگذار است و باید در نظر گرفته شود. مطالعات نشان داده است که سرعت باد در جو خنثی ۰/۲ متر بر ثانیه قوی‌تر از جو پایدار است (Kent et al,2013). جست بادهای شدید در مناطق سراسر جهان می‌تواند با انواع طوفان‌ها مانند طوفان‌های استوایی (Stern et al,2021)، طوفان‌های برون‌حاره‌ای (Paulsen & Schroeder,2005)، جبهه‌ها و سیستم‌های همرفتی (به‌عنوان‌مثال، رعد و برق) مرتبط باشد، درحالی‌که طوفان‌ها می‌توانند بادهای شدید را برای ساعت‌ها یا روزها در برخی موارد حفظ کنند، به نظر می‌رسد سیستم‌های همرفتی منبع اصلی جست بادهای شدید بیش از ۲۵ متر بر ثانیه در بسیاری از مناطق باشند (Holmes,2002; Holmes & Moriarty,1999). حتی قوی‌ترین جست بادها در برخی از طوفان‌های برون‌حاره‌ای می‌توانند از سیستم‌های همرفتی در مقیاس متوسط ( Earl & Simmonds,2019) که با جریان‌های سینوپتیک ترکیب می‌شوند، ایجاد شوند. جست بادهای همرفتی مربوط به حرکات پایین‌سوی همرفتی و آمیختگی قائم با همرفت عمیق است (Brasseur,2001) و معمولاً با شرایط جوی ناپایدار، تغییرات زیاد در دما، فشار و جهت باد، سرعت‌های با اوج وزش شدید همراه هستند ( De Gaetano et al,2014; Spassiani & Mason,2021). از سوی دیگر، جسته‌ای تولیدشده توسط سامانه‌های همدیدی، در دوره‌های زمانی طولانی‌تر می‌مانند و با متوسط سرعت زیاد، ضریب جست باد کوچک‌تر و شرایط جوی سینوپتیکی پایدارتر، با تغییرات ملایم‌تر در فشار و دما نسبت به رویدادهای همرفتی مشخص می‌شوند (El Rafei et al,2023).

جست بادهای همرفتی می‌توانند در گستره‌های افقی متفاوتی رخ دهند و اندازه دامنه مکانی آن‌ها به نوع و ساختار سامانه همرفتی مولد جست بستگی دارد. یکی از سازوکارهای مهم ایجاد جسته‌ای شدید همرفتی، جریان‌های نزولی شدید ناشی از ابرهای تندری است (Fujita,1985). جست بادهای مرتبط با سامانه‌های همدیدی، از نظر سازوکار شکل‌گیری، تحت تأثیر سامانه‌هایی با مقیاس زمانی و مکانی بزرگ قرار دارند. سامانه‌های همدیدی از جمله چرخنده‌ای برون‌حاره‌ای، پرفشارها و جبهه‌های مرتبط با آن‌ها، معمولاً در گستره افقی حدود هزاران کیلومتر سازمان می‌یابند و طول عمر آن‌ها از حدود یک روز تا چند روز یا بیشتر است (Orlanski,1975). از جمله مطالعاتی که در سطح منطقه و جهان در زمینه جست بادها انجام‌گرفته است می‌توان به مطالعات ناصری و همکاران (۲۰۲۵) اشاره کرد، که با بررسی توزیع فضایی- زمانی جست بادهای رخ داده در منطقه غرب و شمال غرب ایران به این نتایج رسیدند که بخش‌های شمال

1Gusty Wind

شرقی منطقه موردمطالعه (استان‌های آذربایجان شرقی، اردبیل، قزوین) مستعد رخداد تعداد بیشتری جست باد هستند. ژاو و همکاران (۲۰۲۵) در بررسی پدیده خود–انسداد جبهه تند باد بر روی منطقه دلتای رودخانه یانگ تسه، چین به این نتیجه رسیدند که عواملی مانند اصطکاک توپوگرافی محلی و توزیع ناهمگن دمایی در توده هوای سرد می‌توانند باعث تغییر سرعت در بخش‌های مختلف جبهه جست باد شوند (Zhou et al,2025). کروگر و همکاران (۲۰۱۰) با واکاوی داده‌های جست بادهای ۹۴ ایستگاه هواشناسی، سازوکارهای تولید جست بادها را در افریقای جنوبی را مشخص کردند. دو دلیل اصلی وزش باد جستی، فعالیت طوفان‌های تندری و سامانه‌های کم‌فشار برون‌حاره‌ای است که با عبور جبهه‌های سرد بر فراز شبه‌قاره افریقای جنوبی مرتبط است (Kruger et al,2010). گرچه پژوهش‌های فوق درک ارزشمندی از ماهیت جست بادها و پدیده‌های حدی ارائه می‌دهند، اما هیچ‌کدام به بررسی شرایط همدیدی جست بادها در حالت همرفتی و همدیدی نپرداختند. پژوهش حاضر ضمن بررسی فراوانی وقوع جست بادها و تفکیک این جست بادها در گروه همدیدی و همرفتی به تفکیک فصول، سعی در شناسایی الگوهای همدیدی کلان‌مقیاس مولد این بادها در منطقه شمال غرب و غرب ایران دارد. دستیابی به چنین طبقه‌بندی می‌تواند گامی مهم در جهت درک بهتر رفتار این پدیده مخاطره‌آمیز و بهبود دقت در سیستم‌های هشدار سریع و برنامه‌ریزی‌های محیطی و زیربنایی باشد.

## روش پژوهش

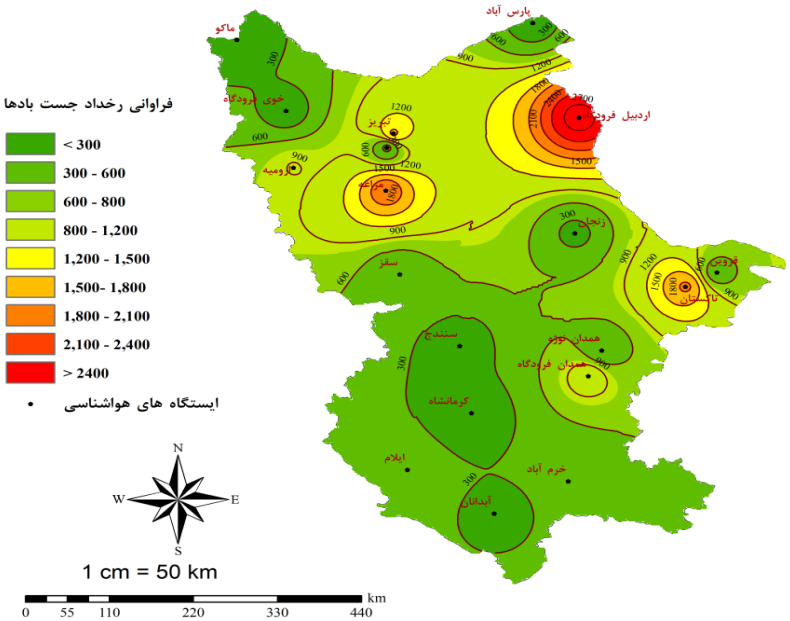
در این پژوهش ابتدا از داده‌های جست باد، که از ۱۹ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی که در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۱ به فاصله زمانی هر نیم ساعت ثبت گردیده بود استفاده شد. دلیل انتخاب این دوره آماری کامل بودن داده‌های جست باد از لحاظ نداشتن گپ زمانی و همچنین فراوانی بیشتر ایستگاه‌ها در منطقه می‌باشد. تفکیک جست بادهای همدیدی از همرفتی اهمیت بالایی در هواشناسی عملی، مدیریت مخاطرات و مطالعات اقلیمی دارد. این دو نوع باد از نظر منشأ، دامنه، شدت و اثرات محیطی کاملاً متفاوت هستند. روش‌های مختلفی برای این تفکیک ارائه‌شده است، از جمله بر اساس تصاویر راداری – ماهواره‌ای در زمان وقوع جست باد (Yao et al,2018) و یا جدا کردن آن‌ها با استفاده از جستجوی توفان‌های تندری در زمان ثبت گزارش‌های جوی. در این مطالعه از نتایج تحقیقات چوی و هدایت (Choi & Hidayat,2002)، کوک و همکاران (Cook et al,2003) و محمدی و همکاران (۱۴۰۲) استفاده گردید. لذا برای تفکیک جست بادهای همرفتی در روزهای که جست باد ثبت‌شده بود با استفاده از کدهای هوای حاضر که شامل کدهای ۱۷، ۳۰ تا ۳۵، ۸۰ تا ۹۹ می‌باشد مبادرت به استخراج جست بادهای همرفتی (تندری و گردوخاک) شد. در بررسی جست بادهای همدیدی نیز علاوه بر زمان رخداد که معمولاً برای چند ساعت جریان دارند، پهنه مساحتی آن‌ها نیز، که چند صد کیلومتر را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Bluestein,2020)، در نظر گرفته شد. بعد از تفکیک جست بادهای همرفتی و همدیدی، در مورد جست بادهای همرفتی، الگوهای گردش همدیدی حاکم بر زمان وقوع رخدادها به‌عنوان الگوهای زمینه‌ای گردش جو بررسی و طبقه‌بندی شدند تا شرایط بزرگ‌مقیاس همراه با وقوع این رخدادها مشخص شود. به‌منظور تعیین الگوهای غالب گردش جو، طبقه‌بندی الگوهای همدیدی در چند مرحله انجام شد. در مرحله نخست، برای هر رخداد جست باد همرفتی و همدیدی، وضعیت ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۱۰۰۰،۸۵۰،۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال بررسی شد. همچنین موقعیت و آرایش مراکز فشار، ناوه‌ها و پشته‌ها و نحوه استقرار سامانه‌های مؤثر بر منطقه موردتوجه قرار گرفت. در مرحله دوم، رخدادهایی که از نظر آرایش مکانی فشار، موقعیت ناوه‌ها و پشته‌ها، جهت جریان و سازوکار دینامیکی حاکم، ویژگی‌های مشابهی داشتند در یک گروه اولیه قرار گرفتند. در مرحله سوم الگوهای اولیه از نظر شباهت ساختاری و سازوکار شکل‌گیری با یکدیگر مقایسه شدند. چنانچه دو یا چند الگو از نظر موقعیت و

آرایش مراکز فشار، ساختار ناوه و پشته، جهت غالب جریان و سازوکار ایجاد جست باد تفاوت معناداری نداشتند، به‌عنوان یک الگوی واحد ادغام شدند. در مرحله چهارم، برای هر الگوی نهایی، یک نمونه نماینده بر اساس بیشترین میزان انطباق با ساختار غالب گروه انتخاب و مؤلفه‌های امگا، نم ویژه، باد مداری – نصف‌النهاری و ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۱۰۰۰، ۹۲۵، ۷۰۰،۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال مورد تحلیل قرار گرفتند. برای ترسیم و بازنمایی الگوهای همدیدی، داده‌های جوی در محدوده مکانی ۰ تا ۷۰ درجه عرض شمالی و ۰ تا ۹۰ درجه طول شرقی مورداستفاده قرار گرفتند. این محدوده با هدف پوشش منطقه موردمطالعه و سامانه‌های جوی پیرامونی مؤثر بر شرایط جوی آن انتخاب شد. پردازش، ترسیم و بازنمایی میدان‌های دینامیکی و ترمودینامیکی در محیط نرم‌افزار GRADS انجام گرفت. قابلیت این نرم‌افزار در پردازش و نمایش هم‌زمان متغیرهای مختلف جوی، امکان بررسی ساختار و آرایش سامانه‌های همدیدی و ارتباط آن‌ها با رخدادهای جست باد را فراهم می‌کند.

## یافته‌ها

### بررسی توزیع سالانه جست بادها

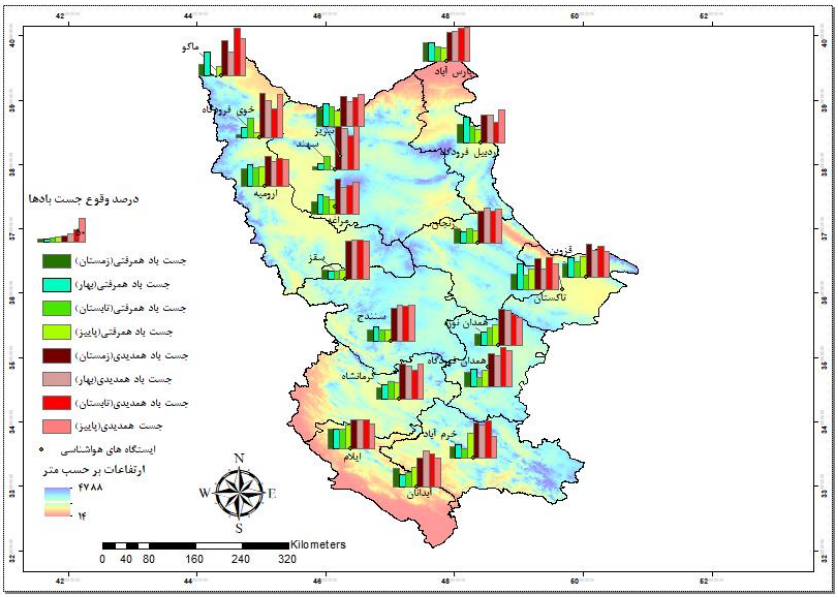
تحلیل فراوانی سالانه جست بادها امکان شناخت الگوهای کلی و روندهای بلندمدت این پدیده را فراهم می‌سازد. فراوانی رخدادها می‌تواند تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل از جمله تغییرات فصلی، شرایط محلی، سامانه‌های فشار جوی و الگوهای جوی جهانی قرار گیرد. بر اساس نتایج حاصل از ایستگاه‌های سینوپتیک فرودگاهی و مطابق شکل (۱)، ایستگاه اردبیل با ثبت ۲۸۴۳، تعداد گزارش رخداد در جایگاه نخست قرار دارد. پس از آن، ایستگاه‌های مراغه با ۲۰۶۴ رخداد، تاکستان با ۱۸۴۴ رخداد و تبریز با ۱۵۵۵ رخداد به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرارگرفته‌اند. از منظر توزیع مکانی، نتایج نشان می‌دهد که پهنه‌های از بخش‌های شمالی و شمال شرقی منطقه، شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و قزوین بیشترین استعداد را برای وقوع جست بادها را دارند. این تمرکز مکانی می‌تواند ناشی از ترکیب عوامل محلی (توپوگرافی کوهستانی و ناهمگونی‌های دمایی) با سامانه‌های همدیدی فعال باشند که شرایط لازم را برای تشدید ناپایداری جوی و افزایش شدت بادهای لحظه‌ای را فراهم می‌سازد.




**شکل ۱.** فراوانی رخداد جست بادهای منطقه غرب و شمال غرب ایران بر حسب روز (۲۰۲۱-۲۰۱۲)

**بررسی توزیع زمانی و مکانی جست بادهای همرفتی و همدیدی**

شکل (۲) نسبت وزش جست بادهای همدیدی و همرفتی را به تفکیک فصول سال نشان می‌دهد. به‌طورکلی در منطقه موردمطالعه، جست بادهای همدیدی، سهم بیشتری از رخدادها را نسبت به جست بادهای همرفتی دارند. به‌طورکلی در مقیاس سالانه حدود ۶۸ درصد رخدادهای جست بادها دارای منشاء همدیدی هستند. این حالت بیانگر نقش غالب سامانه‌های جوی در شکل‌گیری این پدیده است. در میان ایستگاه‌های موردمطالعه، ایستگاه‌های سهند، سقز و خوی با بیش از ۸۰ درصد رخداد همدیدی، بیشترین وابستگی به شرایط همدیدی را نشان می‌دهند. نتایج تحلیل فصلی بیانگر آن است که زمستان با ۲۶ درصد بیشترین سهم رخدادهای همدیدی را دارد. این موضوع با شدت و فراوانی سامانه‌های بارشی و جبهه‌های سرد در این فصل قابل توجیه است. در مقابل، فصل بهار با ۲۴ درصد کمترین سهم را به خود اختصاص داده است که می‌تواند ناشی از افزایش نقش عواملی محلی همانند گرمایش روزانه و ناپایداری کوچک‌مقیاس باشد. فصول تابستان و پاییز نیز با ۲۵ درصد در حد میانه قرار دارند و نشان‌دهنده تأثیر هم‌زمان سامانه‌های همدیدی و شرایط محلی هستند. نسبت وزش جست بادهای همرفتی در مقیاس سالانه حدود ۳۲ درصد است. در میان ایستگاه‌های موردمطالعه، ایستگاه‌های تبریز، اردبیل، و ارومیه از بیشترین روزهای وقوع جست بادهای همرفتی برخوردار هستند. این حالت بیانگر نقش برجسته عوامل محلی همچون توپوگرافی کوهستانی، عرض جغرافیایی بالا در تشدید ناپایداری‌های همرفتی و افزایش احتمال وقوع تند بادهای لحظه‌ای است. در مقیاس فصلی نیز، بالاترین وقوع جست بادهای همرفتی با فراوانی ۲۸ درصد متعلق به فصل بهار است.




**شکل ۲.** درصد وقوع جست بادهای همرفتی و همدیدی در منطقه غرب و شمال غرب ایران (۲۰۲۱-۲۰۱۲)

**بررسی الگوهای گردش همدیدی زمینه‌ای مرتبط با رخدادهای جست باد همرفتی**

ازآنجاکه جست بادهای همرفتی پدیده‌هایی با ساختار و فرایندهای کوچک‌تر از مقیاس همدیدی هستند، نقش گردش جوی بزرگ‌مقیاس در این پژوهش نه در شناسایی مستقیم خود جست بادها، بلکه به‌منظور شناسایی شرایط و الگوهای گردش همدیدی همراه با رخداد، به‌عنوان الگوهای گردش همدیدی زمینه‌ای مرتبط با وقوع جست بادهای همرفتی بررسی‌شده‌اند. برای شناسایی الگوهای گردش همدیدی زمینه‌ای مؤثر بر رخداد جست بادهای همرفتی، تمامی روزهایی

که در آن‌ها حداقل دو ایستگاه هواشناسی وقوع جست باد را ثبت کرده بودند، موردبررسی قرار گرفت. از مجموع ۱۱۷ روز رخداد، با وارسی چشمی نقشه‌های ترازهای مختلف جو، ۲۰ سامانه جوی مؤثر در دوره آماری موردمطالعه شناسایی و طبقه‌بندی شد. توزیع فراوانی این الگوهای همدیدی بر اساس تفکیک فصول در جدول (۱) ذکرشده است. الگوهای همرفتی جست باد از نظر تنوع نسبت به موارد همدیدی بیشتر است، زیرا این نوع بادها مستقیماً به ناپایداری‌های کوچک‌مقیاس جوی وابسته‌اند که خودشان طیفی وسیعی از شرایط شکل‌گیری را دارند. درواقع، همرفت می‌تواند تحت تأثیر ترکیب‌های مختلفی از گرمایش سطحی، رطوبت، توپوگرافی و تغییرات محلی فشار ایجاد شود، ازاین‌رو هر تغییر کوچک در شرایط ترمودینامیکی یا سطحی می‌تواند به یک الگوی جدید از جست باد همرفتی منجر شود. در فصل بهار در مجموع ۷ الگوی جوی در رخداد جست باد همرفتی مؤثر است که در این میان الگوی کم‌فشار پاکستان–عربستان، پرفشار مهاجر در لایه‌های زیرین وردسپهر و الگوی پرفشار آزور– افریقا در ترازهای بالایی وردسپهر با فراوانی وقوع ۴۸ درصد، جزء الگوهای پرتکرار این فصل بشمار می‌رود. در فصل زمستان مجموع الگوهای جوی به ۵ مورد می‌رسد. الگوی پرتکرار این فصل نیز با فراوانی وقوع ۳۸ درصد، مربوط به الگوی پرفشار تبت– سیبری، پرفشار مهاجر و کم‌فشار ادغامی سودانی–مدیترانه‌ای در لایه‌های زیرین و الگوی ناوه قطبی و پرفشار آزور– آفریقا در لایه‌های بالای جوی است. در فصل پاییز مجموع الگوهای جوی رخداد جست باد همرفتی به ۶ مورد می‌رسد. بالا بودن تنوع الگوها در فصل پاییز عمدتاً ناشی از افزایش هم‌زمان ناپایداری‌های ترمودینامیکی و گذار دینامیکی جو از تابستان به پاییز است. در این فصل، کاهش سریع دمای سطح زمین در شب‌ها در کنار باقی ماندن نسبی گرمای ذخیره‌شده تابستانی، شرایطی را ایجاد می‌کند که در آن شیوهای قائم دما تقویت‌شده و محیط را برای رشد ابرهای همرفتی مساعد می‌کند. الگوی پرتکرار این فصل با فراوانی وقوع ۳۵ درصد متعلق به الگوی پرفشار سیبری، کم‌فشار سودان– عربستان در لایه پایین ورد سپهر و پرفشار آزور – آفریقا مرتبط با لایه بالایی ورد سپهر است. در فصل تابستان در مجموع دو الگوی جوی در رخداد جست بادهای همرفتی مؤثر هستند. کم بودن رخداد جست بادهای همرفتی در این فصل نسبت به دیگر فصول، عمدتاً ناشی از غلبه شرایط پایداری جوی و کاهش ناپایداری ترمودینامیکی مؤثر است. الگوی پرتکرار این فصل با فراوانی وقوع ۷۰ درصد، متعلق به الگوی جوی کم‌فشار پاکستان– عربستان و پرفشار مهاجر در لایه‌های نزدیک به سطح زمین و الگوی پرفشار آزور–آفریقا و ناوه مدیترانه‌ای مرتبط با لایه‌های بالای جوی است.

**جدول ۱.** الگوهای گردش همدیدی زمینه‌ای مرتبط با رخداد جست بادهای همرفتی به تفکیک فصول (۲۰۲۱-۲۰۱۲)

| فصل | الگوی همدیدی لایه‌های زیرین؛ و میانی وردسپهر | فراوانی رخداد (روز) | درصد وقوع نسبت به فصل |
|---|---|---|---|
| بهار | کم‌فشار پاکستان– عربستان؛ پرفشار آزور–افریقا | ۶ | ۹ |
| | کم‌فشار پاکستان– عربستان، پرفشار سیبری؛ پرفشار عربستان– افریقا | ۶ | ۹ |
| | کم‌فشار پاکستان– عربستان، پرفشار مهاجر؛ پرفشار آزور– افریقا، سلول‌های چرخندی | ۳۲ | ۴۸ |
| | کم‌فشار پاکستان– عربستان، پرفشار مهاجر؛ پرفشار آزور–ناوه قطبی | ۹ | ۱۴ |
| | پرفشار تبت، ناوه تاوه قطبی، کم‌فشار سودان؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور– افریقا | ۵ | ۸ |
| | کم‌فشار پاکستان، ناوه تاوه قطبی؛ ناوه قطبی، آزور | ۲ | ۳ |
| | پرفشار سیبری، کم‌فشار سودان؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور | ۶ | ۹ |
| زمستان | پرفشار تبت؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور | ۳ | ۱۴ |
| | کم‌فشار سودان، پرفشار مهاجر؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور و افریقا | ۳ | ۱۴ |
| | پرفشار تبت–سیبری، پرفشار مهاجر، کم‌فشار سودانی و مدیترانه‌ای؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور– افریقا | ۸ | ۳۸ |
| | پرفشار سیبری، کم‌فشار اروپائی؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور و افریقا | ۵ | ۲۴ |
| | پرفشار تبت، کم‌فشار دریای خزر؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور و افریقا | ۲ | ۱۰ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| پاییز | کم‌فشار سودان، پرفشار مهاجر؛ پرفشار آزور و افریقا | ۳ | ۱۸ |
| | پرفشار سیبری، کم‌فشار سودان و عربستان؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور و افریقا | ۶ | ۳۵ |
| | پرفشار سیبری و مهاجر، کم‌فشار دریای خزر؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور و افریقا | ۲ | ۱۲ |
| | پرفشار سیبری و تبت، ناوه قطبی؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور و افریقا | ۳ | ۱۸ |
| | پرفشار مهاجر، ناوه قطبی؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور و افریقا | ۱ | ۶ |
| | پرفشار مهاجر و سیبری؛ ناوه قطبی، پرفشار آزور و افریقا | ۲ | ۱۲ |
| تابستان | کم‌فشار عربستان، پرفشار مهاجر؛ پرفشار آزور و افریقا | ۴ | ۳۰ |
| | کم‌فشار پاکستان–عربستان، پرفشار مهاجر؛ پرفشار آزور و افریقا، ناوه مدیترانه | ۹ | ۷۰ |

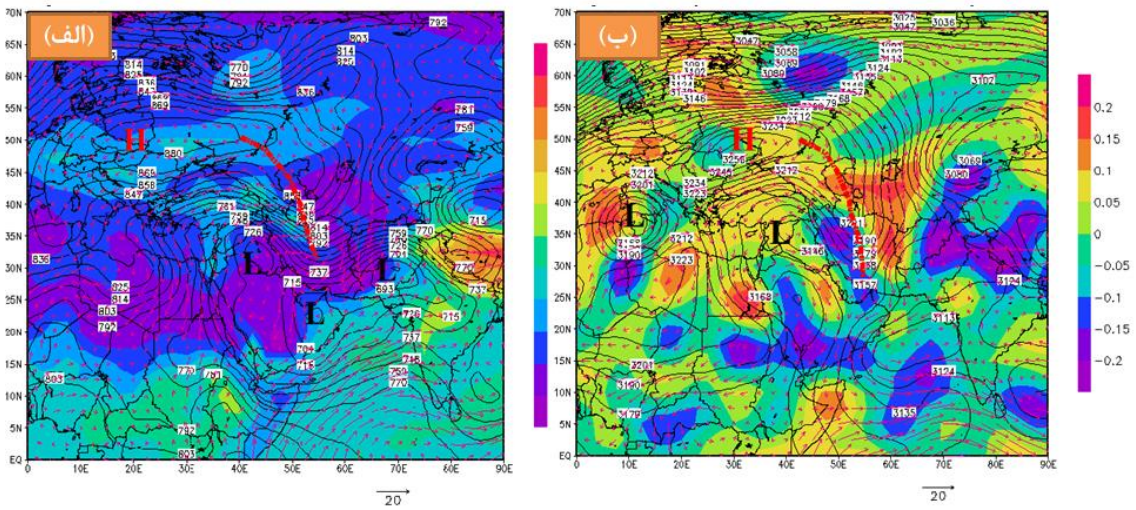
**تحلیل الگوهای پرتکرار گردش همدیدی زمینه‌ساز رخداد جست بادهای همرفتی به تفکیک فصل**

بررسی ساختارهای جوی مؤثر بر رخداد جست بادهای همرفتی نشان داد که این پدیده در طول سال تحت تأثیر ۲۰ الگوی گردش جوی متمایز قرار دارد. لازم به ذکر است که تمامی الگوهای پرتکرار گاست در تمامی فصول به‌صورت تفصیلی تحلیل‌شده‌اند. بااین‌حال، به‌منظور جلوگیری از افزایش حجم مقاله، دو فصلی که بیشترین فراوانی وقوع گاست همرفتی را داشته‌اند، انتخاب شدند و پرتکرارترین الگوی همرفتی در هر یک از این دو فصل، با تمرکز بر شناسایی سازوکارهای دینامیکی و ترمودینامیکی حاکم بر سامانه‌های مربوط، به‌صورت تفصیلی موردبررسی قرار گرفت. در این تحلیل، نقش ویژگی‌های جوی هر الگو در ایجاد ناپایداری، توسعه همرفت و تولید تندبادهای سطحی در مقیاس منطقه‌ای تبیین می‌شود. لازم به ذکر است در بررسی هر الگو، نقشه‌های جوی ترازهای ۱۰۰۰،۹۲۵،۸۵۰،۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که الگوهای گردش جو در ترازهای ۱۰۰۰ تا ۸۵۰ هکتوپاسکال از نظر آرایش سامانه‌های جوی و میدان باد، شباهت زیادی به یکدیگر دارند، درحالی‌که از تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به بالا، تغییرات چشمگیری در ساختار و پیکربندی الگوهای جوی مشاهده می‌شود. ازاین‌رو، به‌منظور پرهیز از افزایش حجم مقاله و جلوگیری از ارائه مطالب تکراری، تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال به‌عنوان نماینده وردسپهر پایین و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به‌عنوان نماینده وردسپهر میانی برای تحلیل و تفسیر سامانه‌های جوی انتخاب شدند.

**تحلیل گردش همدیدی الگوی پرتکرار زمینه‌ساز رخداد جست بادهای همرفتی در فصل بهار**

فصل بهار در منطقه غرب و شمال غرب ایران، دوره گذار بین رژیم گردش جوی زمستانه و تابستانه است. در این فصل تضادهای حرارتی و دینامیکی جو به بیشترین مقدار خود می‌رسد و همین حالت سبب افزایش فراوانی سامانه‌های جوی جست بادهای همرفتی می‌شود. در این فصل، ۷ الگوی جوی در وقوع جست بادهای همرفتی مؤثر هستند. که در این میان الگوی ترکیبی سامانه کم‌فشار عربستان– پاکستان و پرفشار مهاجر در لایه‌های زیرین وردسپهر و واچرخندهای آزور – افریقا، سلول‌های چرخندی در ترازهای بالای وردسپهر نقش اصلی را در ایجاد جست بادها ایفا می‌کنند. سامانه مذکور در مجموع ۴۸ درصد رخداد جست بادها را در فصل بهار توجیه می‌کند. سامانه ۲۲ ژوئن ۲۰۱۶، به‌عنوان نماینده این الگو انتخاب‌شده است. بر اساس نقشه تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال، وقوع جست باد در منطقه غرب و شمال غرب ایران از برهمکنش هم‌زمان چندین سامانه فشاری می‌باشد. در بخش جنوبی ایران سه سلول کم‌فشار به ترتیب بر فراز پاکستان، عربستان و عراق مشاهده می‌شود. زبانه‌های کم‌فشار ناشی از این سه سلول، در الگویی ترکیبی تمام محدوده پاکستان تا عراق و بخش‌هایی از جنوب ایران را در برگرفته است. در مقابل، هسته واچرخندی بر فراز اروپای مرکزی و شرقی استقرار دارد. زبانه شرقی این واچرخند در گسترش شرقی خود در محدوده شمالی دریای مازندران تغییر مسیر داده و با امتدادی شمالی جنوبی وارد ایران شده و در ادامه تقریباً تمام پهنه ایران را در برگرفته است. در بخش شمالی این زبانه

رطوبت دریای مازندران در گردشی واچرخندی به منطقه شمال غربی ایران فرا رفت شده و میدان رطوبتی گسترده‌ای را در این محدوده ایجاد کرده است. شیو دمایی و فشاری ایجادشده در محدوده دریای مازندران و شمال عراق ناپایداری شدیدی را در منطقه شمال غربی ایران رقم زده است. فشردگی منحنی‌های پربندی و تند بادهای حاصل‌شده مؤید این شیو ارتفاعی و فشاری است. در لایه میانی ورد سپهر همچنان همان الگوی لایه زیرین ورد سپهر، الگوی غالب و کنترل کنند شرایط جوی منطقه شمال غرب ایران می‌باشد. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال همچنان زبانه شرقی واچرخند حاکم بر روی اروپا و گسترش این زبانه بر روی ایران پدیده غالب بر روی ایران می‌باشد، و سلول چرخندی مستقر بر روی شمال عراق و ترکیه و شیو ارتفاعی حاصل از تقابل این دو سامانه کنترل‌کننده اصلی ناپایداری‌های لایه میانی است. میدان امگای منفی شکل‌گرفته بر روی نیمه غربی نتیجه این شیو ارتفاعی و حرارتی شکل‌گرفته بر روی محدوده غرب آسیا و شرق اروپا می‌باشد. انطباق کامل هسته امگای منفی (با مقدار ۰/۱- تا ۰/۲- پاسکال بر ثانیه) با محور ناوه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بر فراز غرب و شمال غرب ایران، بیانگر وقوع صعود دینامیکی قابل‌توجه در بخش جلویی ناوه است. این صعود هوا نه‌تنها باعث افزایش رطوبت نسبی، تراکم بخار آب و گسترش ابرناکی می‌شود، بلکه با تقویت حرکات قائم و افزایش ناپایداری جو، تبادل هوا بین لایه‌های مختلف جو را نیز افزایش می‌دهد. در چنین شرایطی، بخشی از تکانه موجود در لایه‌های میانی جو به سمت سطح زمین منتقل می‌شود و در نتیجه سرعت بادهای سطحی افزایش می‌یابد. این فرایند می‌تواند به تقویت بادهای شدید و وقوع جست بادهای قابل‌توجه در منطقه منجر شود (شکل ۳).

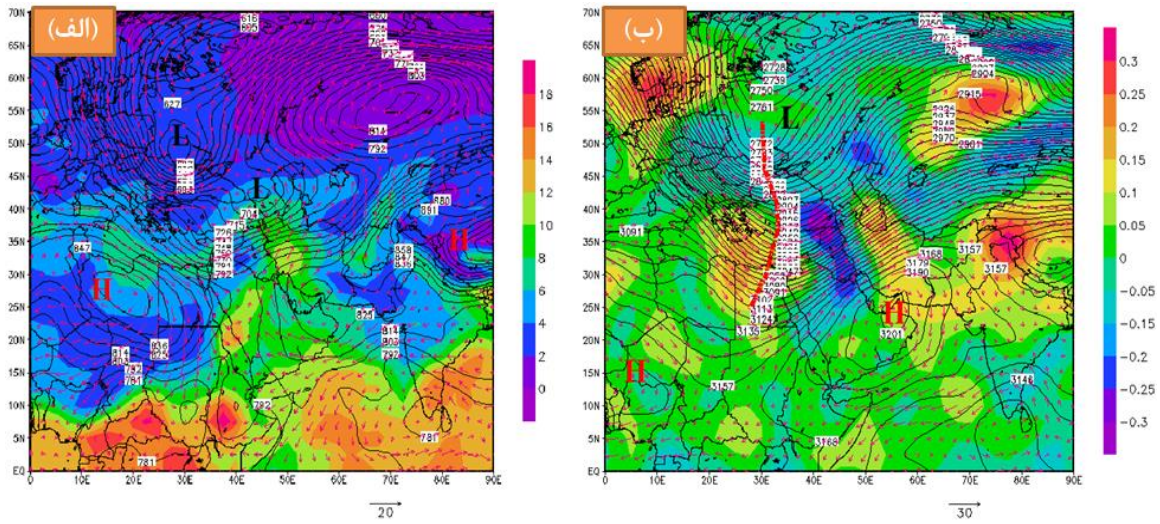



**شکل ۳.** نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پربندها)، نم ویژه (طیف رنگی) و بردار باد در تراز ۹۲۵(الف)، نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پربندها)، امگا (طیف رنگی) و بردار باد در تراز ۷۰۰(ب)، در تاریخ ۲۲ ژوئن ۲۰۱۶

### تحلیل گردش همدیدی الگوی پرتکرار زمینه‌ساز رخداد جست بادهای همرفتی در فصل پاییز

در فصل پاییز، وقوع جست بادهای همرفتی عمدتاً از الگوهای همرفتی با تنوع و فراوانی بالاتری تبعیت می‌کنند که ناشی از ناپایداری شدید جوی، افزایش تبادل حرارتی سطحی و عبور متناوب سامانه‌های جوی ناپایدار هستند. در این فصل در مجموع ۶ الگوی همرفتی در وقوع جست بادها مؤثر هستند. که در این میان الگوی ترکیبی سامانه پرفشار سیبری، کم‌فشار سودان و عربستان در ترازهای زیرین و ناوه جنب قطبی، پرفشار آزور و افریقا در ترازهای بالای جوی، الگوی پرتکرار این فصل را شامل می‌شود. سامانه مذکور در مجموع ۳۵ درصد رخداد جست بادها را در فصل پاییز توجیه می‌کند. سامانه ۲ دسامبر ۲۰۱۶، به‌عنوان نماینده این الگو انتخاب‌شده است. با توجه به بررسی نقشه‌های ترازهای

مختلف جوی در روز ۲ دسامبر ۲۰۱۶، شکل‌گیری جست بادها و ناپایداری‌های همرفتی نتیجه برهمکنش چندین سامانه جوی است. در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال، پرفشار سیبری و تبت در موقعیت‌های نرمال خود یعنی در محدوده دریاچه‌های بایکال، بالخاش و صحرای تبت استقرار دارند. زبانه جنوب غربی این پرفشار با گسترش جنوب غرب سو پس از عبور از روی کشورهای افغانستان، پاکستان وارد بخش‌های جنوب شرقی و جنوبی ایران شده و در ادامه زبانه‌های آن تا دریای عرب و سرخ امتدادیافته است. تندبادهای ایجادشده بر روی دریاهای عمان، عرب در گردش واچرخندی رطوبت این دریاهای گرم را به درون سامانه‌های کم‌فشاری مستقر بر روی سودان و شمال عربستان را فرا رفت می‌کنند. بدین ترتیب پرفشار سیبری–تبت و کم‌فشار حرارتی سودان– عربستان با کشیدن هوای مرطوب از سمت دریای سرخ، یک مسیر انتقال رطوبت را به سمت شمال غرب ایجاد می‌کنند. این مسیر مانند یک کانال رطوبتی عمل کرده و هوای گرم و مرطوب را وارد منطقه می‌کند. همچنین در همین تراز منبع رطوبتی دیگری نیز از طریق دریای مدیترانه صورت می‌گیرد. استقرار و پویایی ناوه مدیترانه‌ای که بخشی از آن، منطقه مدیترانه و شمال غرب ایران را در برگرفته است، در چرخش پا ساعت‌گرد خود رطوبت منطقه مدیترانه را به جلو ناوه در شمال غرب ایران فرا رفت می‌کند. از دیدگاه ترمودینامیکی این آرایش سینوپتیکی به فرا رفت هم‌زمان دو مؤلفه کلیدی ناپایدار می‌انجامد: ریزش هوای مرطوب و سرد از طریق ناوه مدیترانه‌ای از یک‌سو، و تزریق رطوبت غنی سودانی از سوی دیگر، باعث افزایش قابل‌توجه رطوبت در لایه‌های پایین وردسپهر شده به‌طوری‌که مقادیر نم ویژه در محدوده حدود ۸ تا ۱۲ گرم بر کیلوگرم در غرب و شمال غرب ایران مشاهده می‌شود. ورود این حجم از رطوبت در لایه زیرین وردسپهر انرژی ترمودینامیکی لازم را برای توفان‌های همرفتی فراهم کرده است. از طرفی تقابل دو توده هوای گرم و مرطوب سودانی با هوای سرد ناوه مدیترانه‌ای، منجر به ایجاد شیو فشاری و دمایی شدید در منطقه غرب و شمال غرب ایران گردیده است، این وضعیت با افزایش همگرایی افقی جریان‌ها، سرعت بادهای سطحی را در حدود ۱۰ تا ۱۵ متر بر ثانیه افزایش می‌دهد. در ادامه، همگرایی شدید در سطح زمین همراه با صعود اجباری هوا در محیطی ناپایدار، به رشد ابرهای همرفتی عمیق و جست بادهای شدید در سطح زمین می‌گردند. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، گسترش شمال سوی زبانه‌های پرفشار آزور–آفریقا موجب تشدید جریانات سرد شمالی در پشت ناوه مدیترانه‌ای شده است. در نتیجه ناوه‌ای عمیق از شرق دریای مدیترانه تا غرب ایران گسترش‌یافته است. شکل‌گیری این الگو موجب تقویت گرادیان ارتفاع ژئوپتانسیل و افزایش سرعت جریان‌های غربی و جنوب غربی در غرب و شمال غرب ایران شده است. تراکم خطوط جریان در این ناحیه بیانگر افزایش سرعت بردار باد (بیش از ۳۰ نات) در تراز میانی وردسپهر است که نقش مهمی در انتقال تکانه و تقویت گردش سامانه ایفاء می‌کند. میدان امگا نیز شرایط مساعد برای توسعه ناپایداری را نشان می‌دهد. استقرار مقادیر منفی (۰/۰۵– تا ۰/۳–) امگا بر روی غرب و شمال غرب ایران بیانگر حاکمیت حرکت‌های صعودی در این منطقه است. این صعود در اثر واداشت دینامیکی ناشی از ناوه و همگرایی جریان‌ها در لایه‌های زیرین جو تقویت‌شده و زمینه رشد ابرهای همرفتی را فراهم می‌کند (شکل ۴).




**شکل ۴.** نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پربندها)، نم ویژه (طیف رنگی) و بردار باد در تراز ۹۲۵(الف)، نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پربندها)، امگا (طیف رنگی) و بردار باد در تراز ۷۰۰(ب)، در تاریخ ۲ دسامبر ۲۰۱۶

### بررسی الگوهای جوی رخدادهای جست باد همدیدی

به‌منظور شناسایی الگوهای گردش جوی حاکم بر رخداد جست بادهای همدیدی، تمامی روزهایی که در آن‌ها حداقل ۳ ایستگاه هواشناسی وقوع جست باد را ثبت کرده بودند، انتخاب و موردبررسی قرار گرفتند. در مجموع ۷۶۳ روز در دوره آماری موردمطالعه شناسایی شد. نتایج بررسی چشمی نقشه‌های همدیدی در ترازهای مختلف جو نشان داد که رخدادهای مذکور در قالب ۱۲ سامانه جوی مؤثر قابل‌تفکیک و طبقه‌بندی هستند. توزیع فراوانی این الگوهای همدیدی بر اساس تفکیک فصول در جدول (۲) ذکرشده است. در فصل بهار ۴ الگوی همدیدی در رخداد جست بادهای همدیدی مؤثر هستند، که الگوی پرفشار مهاجر– ناوه قطبی، با فراوانی وقوع ۶۴ درصد، رایج‌ترین سامانه در این فصل می‌باشد. در فصل تابستان شرایط همدیدی ترازهای پایین جو، در هر دو الگوی همدیدی یکسان است، اما در ترازهای میانی و بالایی جو پرفشار مهاجر و افریقا نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. در این فصل الگوی کم‌فشار پاکستان، عربستان و پرفشار مهاجر با فراوانی وقوع ۱۵۴ روز (۸۹ درصد)، مهم‌ترین سامانه همدیدی در رخداد جست باد معرفی می‌شود. در فصول سرد سال (پاییز و زمستان)، دو الگوی همدیدی اصلی بیشترین نقش را در تشکیل جست بادها ایفا کرده‌اند. استقرار و جابه‌جایی پرفشار سیبری، ناوه قطبی و کم‌فشار سودان به‌عنوان عوامل غالب یا کنترل‌کننده سامانه‌های دوره سرد عمل کرده است. به‌طوری‌که الگوی همدیدی پرفشار سیبری، کم‌فشار سودان– ناوه مدیترانه‌ای و واچرخند آفریقا با فراوانی وقوع ۸۶ درصد در فصل پاییز و الگوی همدیدی پرفشار سیبری و تبت، ناوه جنب قطبی، کم‌فشار سودان واچرخند آزور با رخداد ۲۲۸ روز (۷۷ درصد) در طول دوره آماری موردمطالعه الگوهای پرتکرار جست بادها در منطقه معرفی می‌شوند.

**جدول ۲.** الگوهای جوی رخدادهای جست بادهای همدیدی به تفکیک فصول (۲۰۲۱-۲۰۱۲)

| فصل | الگوی همدیدی لایه‌های زیرین؛ و میانی وردسپهر | فراوانی رخداد (روز) | درصد وقوع نسبت به فصل |
|---|---|---|---|
| پاییز | پرفشار سیبری، زبانه کم‌فشار اروپائی؛ واچرخند افریقا | ۱۶ | ۱۴ |
| | پرفشار سیبری، کم‌فشار سودان؛ ناوه مدیترانه‌ای و واچرخند افریقا | ۷۳ | ۸۶ |
| تابستان | کم‌فشار پاکستان و عربستان، پرفشار مهاجر؛ ناوه مدیترانه‌ای، واچرخند آفریقا–عربستان | ۱۵۴ | ۸۹ |
| | کم‌فشار پاکستان، عربستان؛ پرفشار افریقا | ۱۸ | ۱۱ |
| بهار | ناوه جنب قطبی، واچرخند مهاجر؛ ناوه مدیترانه‌ای، واچرخندهای آفریقا–عربستان | ۱۴۵ | ۶۴ |

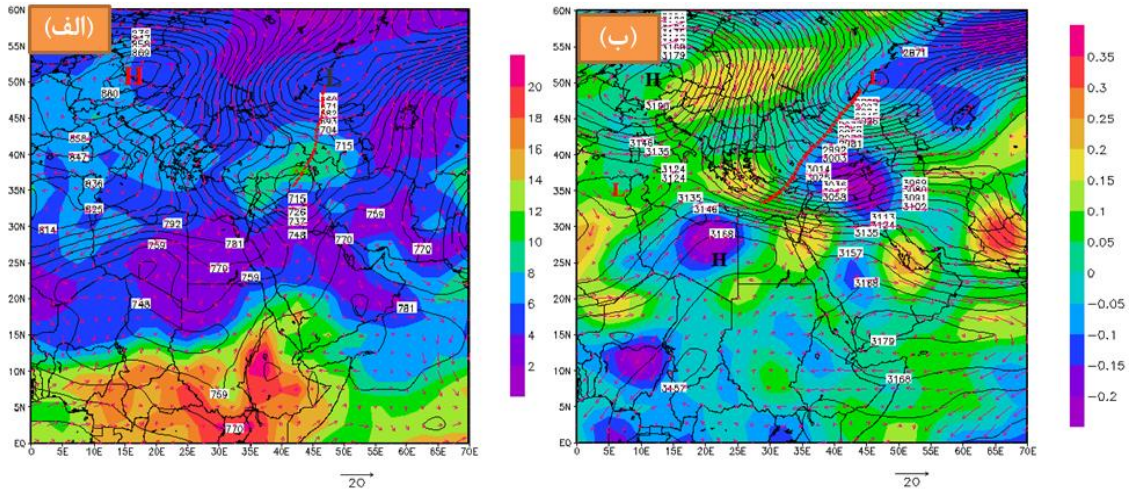
| | | | |
|---|---|---|---|
| | کم‌فشار پاکستان، ایران مرکزی؛ پرفشار عربستان و مهاجر | ۴۷ | ۲۱ |
| | کم‌فشار اروپائی؛ پرفشار عربستان | ۱۰ | ۱۰ |
| | نفوذ ناوه قطبی؛ پرفشار افریقا | ۱۲ | ۴ |
| زمستان | پرفشار سیبری؛ کم‌فشار اروپائی | ۱۶ | ۶ |
| | پرفشار سیبری؛ ناوه قطبی | ۳۷ | ۱۳ |
| | پرفشار سیبری و تبت، ناوه جنب قطبی، کم‌فشار سودان واچرخند آزور–عربستان | ۲۲۸ | ۷۷ |
| | کم‌فشار سودان و مدیترانه‌ای؛ ناوه قطبی | ۷ | ۲ |

**تحلیل جوی الگوهای پرتکرار منجر به جست بادهای همدیدی به تفکیک فصل**

بررسی الگوهای جوی نشان داد که سامانه‌های مؤثر بر رخداد جست بادهای همدیدی در طول سال، در قالب ۱۲ الگوی اصلی طبقه‌بندی می‌شوند. در میان این ۱۲ الگو، همانند الگوهای همرفتی دو فصل که بالاترین فراوانی داشتند انتخاب و الگوی پرتکرار آن به‌صورت کامل و تفصیلی موردبررسی قرارگرفته‌اند تا سازوکارهای دینامیکی و نقش جابه‌جایی و گسترش آن‌ها در ایجاد جست بادها با منشأ همدیدی در منطقه غرب و شمال غرب تبیین شود.

**تحلیل جوی الگوی پرتکرار منجر به جست بادهای همدیدی در فصل بهار**

در فصل بهار در مجموع ۴ الگوی جوی منجر به رخداد جست باد همدیدی در منطقه می‌شود، که الگوی جوی ناوه جنب قطبی و واچرخند مهاجر در تراز زیرین وردسپهر و چرخند مدیترانه‌ای و واچرخندهای آفریقا و عربستان در ترازهای میانی نقش اساسی را در تکوین و گسترش بادهای جستی، بر روی منطقه فراهم می‌کنند. این الگو با فراوانی وقوع ۱۴۵ روز حدود ۶۴ درصد رخداد جست بادها، در این فصل را شامل می‌شود. تاریخ ۲۰ آوریل ۲۰۱۸ نماینده این الگوی همدیدی می‌باشد. همان‌طور که بر روی نقشه تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال ملاحظه می‌شود زبانه گسترده‌ای از هسته مرکزی ناوه جنب قطبی که در این الگو عموماً در محدوده دریای سیاه و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه استقرار دارد، با راستایی شمال شرقی – جنوب غربی پس از عبور از منطقه شمال غرب ایران و تمام پهنه کشور عراق و در ادامه بخش شرقی دریای مدیترانه را در برگرفته است. در کنار این شرایط همدیدی، واچرخند آزور نیز هوای سرد عرض‌های جنب قطبی را در گردش واچرخندی به بخش شرق مدیترانه وارد می‌کند. تقابل ناوه جنب قطبی، واچرخند مهاجر و ناهمواری‌های کوهستانی، منجر به ایجاد شیو دمایی و فشاری شدید و متعاقب آن تشدید سرعت بادهای سطحی، به بیش از ۱۵ نات در بخش غرب و شمال غرب ایران می‌شود. با توجه به شرایط همدیدی ترازهای زیرین ورد سپهر، ناوه شرق مدیترانه حاصل از تاوه جنب قطبی نقش انتقال رطوبت را از دریای مدیترانه به جلو ناوه در منطقه شمال غرب و غرب را بازی می‌کند. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، وجود ناوه نسبتاً عمیق از شرق مدیترانه تا غرب ایران موجب تقویت جریانات غربی و افزایش انحنای سیکلونیک در منطقه شده است. ناوه مذکور در امتداد تاوه جنب قطبی و پرفشار آزور تقویت‌شده و هم‌زمان با آن نیز سلول واچرخندی افریقا نیز تکوین پیداکرده است. با حاکمیت این سامانه و الگوی چرخشی حاصل از آن، رطوبت دریای مدیترانه به جلو ناوه، فرا رفت می‌شود. تقابل میدان فشاری و دمایی ایجادشده در این تراز منجر به ایجاد جست بادهای شدید باد، با سرعت بیش از ۲۰ نات در منطقه غرب و شمال غرب ایران می‌شود. نقشه‌های ترکیبی امگا، جریان و ارتفاع تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، میدان گسترده‌ای از امگای منفی را در جلو ناوه نشان می‌دهد. بالاترین مقدار امگای منفی با بزرگی ۰/۱۵– تا ۰/۲– پاسکال بر ثانیه درست بر روی منطقه غرب و شمال غرب ایران قرار دارد. انطباق بسیار خوب میدان امگای منفی یا جریانات بالاسوی با میدان رطوبتی، به‌خوبی نقش جریانات بالای سوی قوی را در تشدید میعان در درون جریانات و رشد قطرات درون سامانه را نشان می‌دهد (شکل ۵).

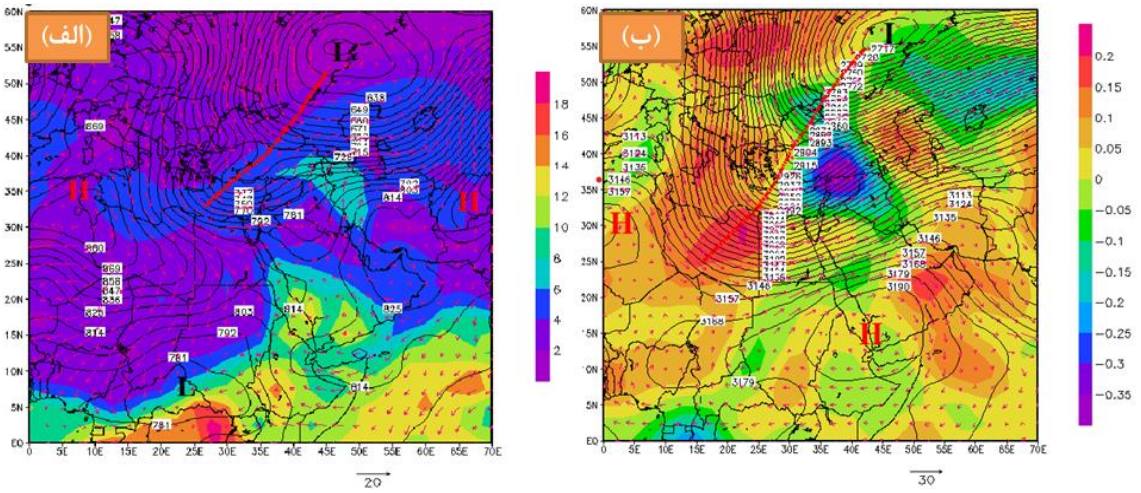



**شکل ۵.** نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پربندها)، نم ویژه (طیف رنگی) و بردار باد در تراز ۹۲۵(الف)، نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پربندها)، امگا (طیف رنگی) و بردار باد در تراز ۷۰۰(ب)، در تاریخ ۲۰ آوریل ۲۰۱۸

### تحلیل جوی الگوی پرتکرار منجر به جست بادهای همدیدی در فصل زمستان

در فصل زمستان در مجموع ۴ الگوی جوی در وقوع جست بادها مؤثر هستند. الگوی ترکیبی سامانه پرفشار سیبری- تبت، چرخند وابسته به ناوه جنب قطبی، کم‌فشار سودان و واچرخندهای آزور - عربستان نقش اصلی را در ایجاد جست بادها در منطقه موردمطالعه ایفا می‌کنند. سامانه مذکور در مجموع ۷۷ درصد رخداد جست بادها را در فصل زمستان توجیه می‌کند. سامانه ۷ فوریه ۲۰۲۰، به‌عنوان نماینده این الگو انتخاب‌شده است. در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال، هسته چرخندی در شمال دریای خزر استقراریافته و محور ناوه جنب قطبی تا شمال غرب ایران و در ادامه کشور عراق و دریای مدیترانه امتدادیافته است. از سوی دیگر، زبانه پرفشار تبت – سیبری با راستایی شمال شرقی – جنوب غربی بیشتر پهنه کشور ایران تا شمال غرب و در ادامه بخش شرقی شبه‌جزیره عربستان، دریای عمان و عرب را در برگرفته است. به‌طوری‌که انتهای جنوبی زبانه پرفشار تا خلیج عدن گسترش‌یافته است. این الگوی گسترش شرایط مناسبی را برای فرا رفت هوای گرم و مرطوب دریاهای گرم عمان و عرب را در غالب گردشی واچرخندی به سمت کم‌فشار سودانی هدایت می‌کند. هم‌زمان، ناوه جنب قطبی با انتقال رطوبت دریای مدیترانه، منبع رطوبتی دوم سامانه را فراهم می‌سازد. بنابراین، تغذیه رطوبتی سامانه از دو منشأ اصلی، یعنی دریاهای گرم جنوبی از طریق کم‌فشار سودانی و دریای مدیترانه در امتداد ناوه جنب قطبی، صورت می‌گیرد. همچنین استقرار پرفشار آزور در غرب ناوه، با تشدید گرادیان فشار افقی میان پرفشارهای جنب‌حاره‌ای و چرخند شمال دریای خزر موجب افزایش سرعت جریان‌های جنوب غربی شده است. بررسی میدان باد تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال نیز نشان می‌دهد که در امتداد عراق تا شمال غرب ایران، بادهای جنوب غربی با سرعت بیش از ۱۰ نات برقرار می‌باشد، وجود چنین باد نسبتاً قوی، همراه با ناپایداری ناشی از همگرایی دو منبع رطوبتی و صعود دینامیکی در جلوه ناوه، شرایط مناسبی را برای انتقال تکانه و وقوع جست بادهای شدید فراهم می‌کند. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، ناوه عظیم جنب قطبی با گسترش جنوب سوی خود، ساختاری کشیده در راستای شمال شرق- جنوب غرب ایجاد کرده است که از عرض‌های حدود ۶۰ درجه شمالی تا عرض‌های میانی قاره آفریقا (حدود ۲۰ درجه شمالی) امتداد می‌یابد. وجود این ناوه عمیق موجب تقویت جریان‌های غربی و افزایش انحنای سیکلونیک در منطقه شده است. تراکم خطوط جریان بیانگر افزایش گرادیان باد و شکل‌گیری جریان‌های شبه جتی در تراز میانی است که شمال غرب ایران را در ناحیه پیش ناوه قرار داده و زمینه‌ساز ناپایداری دینامیکی قابل‌توجهی شده است. هم‌زمان، میدان عمودی حرکت، نشان‌دهنده

هسته‌ای از مقادیر منفی در منطقه مطالعاتی است که بیانگر صعود قوی هوا در اثر واگرایی در سطوح بالایی جو می‌باشد. این صعود دینامیکی موجب رشد سریع ابرهای همرفتی عمیق و در ادامه ایجاد جریان‌های نزولی جبرانی شده که می‌تواند به وقوع ریزش‌های ناگهانی باد یا همان جست بادها منجر شود (شکل ۶).




**شکل ۶.** نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پربندها)، نم ویژه (طیف رنگی) و بردار باد در تراز ۹۲۵(الف)، نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل (پربندها)، امگا (طیف رنگی) و بردار باد در تراز ۷۰۰(ب)، در تاریخ ۷ فوریه ۲۰۲۰

## بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که رخداد جست بادها در غرب و شمال غرب ایران عمدتاً تحت تأثیر سامانه‌های همدیدی قرار دارد و حدود ۶۸ درصد رخدادها منشأ همدیدی دارند. این نتیجه با مطالعات انجام‌شده که در اروپا انجام‌گرفته است همخوانی دارد، که نشان می‌دهند بادهای شدید در عرض‌های میانی عمدتاً در ارتباط با ناوه‌های عمیق، چرخندهای برون‌حاره‌ای و گرادیان‌های شدید فشار ایجاد می‌شوند (Taszarek et al,2020; Portal et al,2025). این شباهت بیانگر این است که فرآیندهای دینامیکی حاکم بر ایجاد بادهای شدید از قوانین فیزیکی مشابهی پیروی می‌کند. یکی از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، تنوع بیشتر الگوهای گردش همدیدی زمینه‌ای مرتبط با رخداد جست باد همرفتی نسبت به الگوهای همدیدی بود. این موضوع نشان می‌دهد که جست بادهای همرفتی علاوه بر گردش بزرگ‌مقیاس، به شرایط ترمودینامیکی، گرمایش سطح، رطوبت، گرادیان قائم سرعت باد و ناهمواری‌های سطح زمین نیز وابسته هستند. این نتایج با مطالعات انجام‌گرفته توسط فوجیتا و واکیموتو مطابقت دارد، به‌طوری‌که آن‌ها نشان دادند بادهای مخرب همرفتی حاصل برهمکنش فرایندهای دینامیکی، بارش، تبخیر، هوای خشک میانی و انتقال تکانه به سطح زمین هستند (Fujita & Wakimoto,1981). همچنین، در پژوهشی رومانیک و همکاران، نشان دادند که شکل‌گیری بادهای شدید ناشی از جریان‌های نزولی هوا در ابرهای همرفتی، تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند شرایط ترمودینامیکی جو، بارش و تبخیر قرار دارد (Romanci et al,2022). بنابراین تنوع بیشتر الگوهای همرفتی در پژوهش حاضر را می‌توان ناشی از تأثیر هم‌زمان عوامل مختلف در شکل‌گیری این نوع جست بادها دانست. در تمامی الگوهای پرتکرار این پژوهش، استقرار ناوه در ترازهای میانی و بالایی، مقادیر منفی امگا و افزایش سرعت باد در وردسپهر میانی مشاهده شد. این ویژگی بیانگر نقش کلیدی صعود دینامیکی و انتقال تکانه از ترازهای فوقانی به سطح زمین در وقوع جست بادها است. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده بر روی سامانه همرفتی نیز در فرانسه و ایتالیا نیز نشان می‌دهد که حضور ناوه عمیق، برش

عمودی باد و جریان جت تراز پایین مهم‌ترین شرایط محیطی برای توسعه بادهای شدید همرفتی هستند ( Taszarek et al,2020). نتایج این پژوهش همچنین به نقش مهم انتقال رطوبت از دریای مدیترانه، دریای سرخ، دریای عمان و دریای عرب را در شکل‌گیری جست بادها نشان می‌دهد. این یافته‌ها با مطالعات اخیر پورتال که در سال ۲۰۲۵ انجام‌گرفته است همخوانی دارد که نشان دادند محیط‌های مستعد همرفت شدید در مدیترانه، عمدتاً در نواحی دارای شار رطوبتی قوی و صعود گسترده دینامیکی توسعه می‌یابند (Portal et al,2025). همچنین در مطالعاتی که توسط محمدی و لشکری در بررسی نقش جابه‌جایی مکانی پرفشار عربستان انجام‌گرفته است، نشان می‌دهند که مهم‌ترین منبع رطوبتی در همه سامانه‌های بارشی در لایه وردسپهر زیرین دریاهای عرب و عمان است. این رطوبت از طریق جریانات شرقی گردش واچرخندی پرفشار عربستان به درون سامانه سودانی و سپس در امتداد زبانه کم‌فشار بر روی منطقه منتقل می‌شود (محمدی و لشکری،۱۳۹۷؛ لشکری و محمدی،۱۳۹۴). تمرکز بیشترین فراوانی جست بادها در استان اردبیل، آذربایجان شرقی و قزوین نیز بیانگر تأثیر مستقیم ناهمواری‌های سبلان، سهند، البرز و زاگرس بر تشدید سرعت باد است. رشته‌کوه‌ها با کانالیزه کردن جریان، افزایش گرادیان فشار محلی و تقویت آشفتگی، انتقال تکانه به سطح را افزایش می‌دهند. مطالعات انجام‌شده در مناطق کوهستانی شمال ایتالیا که توسط پوچلیو انجام‌گرفته است، نیز نقش تعیین‌کننده توپوگرافی را در تشدید بادهای ناشی از سامانه‌های همرفتی تأیید می‌کنند (Pucillo et al,2020). در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اگر چه جست بادهای همدیدی و همرفتی هر دو از صعود دینامیکی، انتقال تکانه و انتقال رطوبت تأثیر می‌پذیرند، اما وابستگی بیشتر جست بادهای همرفتی به فرآیندهای مزو – ماکرو مقیاس و ترمودینامیکی موجب افزایش تنوع الگوهای جوی آن‌ها شده است.

## نتیجه‌گیری

جست بادها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی و جوی شناخته می‌شوند که به دلیل افزایش ناگهانی و شدید سرعت باد، قابلیت ایجاد خسارات گسترده به زیرساخت‌ها، تأسیسات، بخش کشاورزی و شبکه‌های حمل‌ونقل .... دارند. در منطقه موردمطالعه، بخش‌های شمال شرقی منطقه شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی (تبریز) و قزوین بیشترین استعداد وقوع جست باد را دارند. در مقیاس سالانه، حدود ۶۸ درصد از جست بادها منشاء همدیدی و ۳۲ درصد منشاء همرفتی دارند. بیشترین سهم جست بادهای همدیدی در زمستان و کمترین آن در بهار مشاهده می‌شود. در مقابل، جست بادهای همرفتی بیشترین فراوانی را در بهار و کمترین فراوانی را در زمستان دارند. شناسایی و طبقه‌بندی الگوهای جوی مؤثر بر وقوع جست بادها (اعم از الگوهای همدیدی و همرفتی)، ضمن سازوکارهای فیزیکی شکل‌گیری این پدیده، نقش مهمی در بهبود پیش‌بینی، توسعه سامانه‌های هشدار زودهنگام و کاهش خسارات ناشی از آن ایفا می‌کنند. الگوهای همرفتی جست باد از نظر تنوع وقوع، نسبت به جست بادهای همدیدی بیشتر هستند، جست بادهای همرفتی حاصل برهمکنش آرایش‌های گردش بزرگ‌مقیاس با فرآیندهای ترمودینامیکی و ویژگی‌های سطح زمین هستند. ازاین‌رو، تغییر در هر یک از مؤلفه‌های محیطی، شامل الگوهای بزرگ‌مقیاس، گرمایش سطحی، رطوبت، ویژگی‌های توپوگرافی و تغییرات فشار محلی، می‌تواند به شکل‌گیری الگوهای متفاوتی از جست بادهای همرفتی منجر شود. بر این اساس، در فصل بهار هفت الگوی جوی، در پاییز شش الگو، در زمستان پنج الگو و در تابستان دو الگوی جوی برای رخداد جست بادهای همرفتی شناسایی شد. بررسی الگوهای غالب همرفتی نشان داد که در تمامی فصول، برهمکنش سامانه‌های کم‌فشار حرارتی عربستان– پاکستان یا کم‌فشار سودانی با پرفشار مهاجر، پرفشار سیبری–تبت و در برخی موارد ناوه

مدیترانه‌ای، موجب ایجاد گرادیان‌های شدید فشار و دما، انتقال رطوبت از دریای مدیترانه و دریاهای گرم جنوبی و تقویت لایه‌های زیرین جو می‌شود. هم‌زمان، در ترازهای میانی و بالایی جو، استقرار ناوه‌های عمیق، مقادیر منفی امگا، افزایش سرعت بادهای تراز بالا و انتقال تکانه به سطح زمین، ضمن تقویت صعود دینامیکی و رشد ابرهای همرفتی، زمینه وقوع جست بادهای شدید را فراهم می‌کنند. تفاوت اصلی میان فصول، بیشتر در نوع آرایش سامانه‌های همدیدی و سهم نسبی منابع تأمین رطوبت مشاهده شد تا در سازوکار فیزیکی حاکم بر شکل‌گیری جست بادها. در مقابل، جست بادهای همدیدی عمدتاً تحت تأثیر محدودی از آرایش‌های گردش بزرگ‌مقیاس جو قرار دارند، ازاین‌رو تنوع الگوهای مؤثر بر آن‌ها کمتر است. در مجموع، ۱۲ الگوی جوی برای رخداد این نوع جست بادها شناسایی شد که شامل چهار الگو در بهار، دو الگو در تابستان، دو الگو در پاییز و چهار الگو در زمستان است. نتایج نشان داد که الگوهای غالب هر فصل سهم عمده‌ای از رخدادها را تبیین می‌کنند، به‌گونه‌ای که الگوی غالب بهار حدود ۶۴ درصد، تابستان ۸۹ درصد، پاییز ۸۶ درصد و زمستان ۷۷ درصد از رخدادهای فصلی را شامل می‌شود. ویژگی‌های مشترک همه الگوهای همدیدی جست باد، استقرار هم‌زمان سامانه‌های پرفشار جنب‌حاره‌ای در مجاورت کم‌فشارهای حرارتی یا چرخندهای وابسته به ناوه جنب قطبی است که با ایجاد شیو فشاری شدید، انتقال رطوبت از دریای مدیترانه و دریاهای گرم جنوبی، تقویت جریان‌های غربی و جنوب غربی، صعود دینامیکی و انتقال تکانه از ترازهای بالایی وردسپهر به سطح، شرایط لازم را برای شکل‌گیری جست بادهای شدید را فراهم می‌کنند. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اگر چه سازوکارهای دینامیکی حاکم بر جست بادهای همرفتی و همدیدی در برخی مؤلفه‌ها، نظیر نقش ناوه‌های تراز بالا، صعود دینامیکی و انتقال تکانه اشتراک دارند، اما تفاوت اصلی آن‌ها در میزان وابستگی به فرآیندهای ترمودینامیکی و گردش‌های محلی است. جست بادهای همرفتی حاصل برهمکنش پیچیده فرآیندهای همدیدی و محلی بوده و از تنوع الگوهای بیشتری برخوردارند، درحالی‌که جست بادهای همدیدی تحت کنترل آرایش‌های مشخص گردش بزرگ‌مقیاس جو قرار دارند. این یافته‌ها علاوه بر ارتقای شناخت اقلیمی شناسی جست بادها در منطقه غرب و شمال غرب ایران، می‌تواند مبنای مناسبی برای بهبود مدل‌های پیش‌بینی، توسعه سامانه‌های هشدار زودهنگام و مدیریت مخاطرات ناشی از بادهای شدید در منطقه باشد.

**حامی مالی**

این اثر حامی مالی نداشته است.

**سهم نویسندگان در پژوهش**

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیه مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری، تجزیه‌وتحلیل، تفسیر، اصلاح و نهایی سازی مقاله مشارکت 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 سازمان هواشناسی بابت تأمین داده‌های هواشناسی و همچنین کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## منابع

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)، ۹۰-۳۷. DOI:10.22059/jphgr.2015.53679

محمدی، محمد حسام؛ مشکوتی، امیرحسین؛ قادر، سرمد و آزادی، مجید. (۱۴۰۲). بررسی توزیع زمانی- مکانی و امکان پیش‌بینی جست باد در ایران. *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۲(۴۵)، ۲۰۹-۲۲۸.

محمدی، زینب و لشکری، حسن. (۱۳۹۷). نقش جابه‌جایی مکانی پرفشار عربستان و رودباد جنب‌حاره‌ای در الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره ۵۰، شماره ۳، صص ۵۰۹-۴۹۱. doi:10.22059/jphgr.2018.249422.1007165

ناصری، علیرضا؛ کیخسروی، قاسم و محمدی، زینب. (۱۴۰۵). واکاوی توزیع فضایی- زمانی جست بادهای رخ داده در منطقه غرب و شمال غرب ایران و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۳۰(۹۶)، ۳۹-۲۲. doi:10.22034/gp.2025.65401.3357.

## References

Bluestein, H. B. (2020). *Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes: Gust fronts and convective outflow boundaries*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42054-4

Brasseur, O. (2001). Development and application of a physical approach to estimating wind gusts. *Monthly Weather Review*, *129*, 5–25. https://doi.org/10.1175/1520-0493

Choi, E. C. C., & Hidayat, F. A. (2002). Gust factors for thunderstorm and non-thunderstorm winds. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *90*(12), 1683–1696. https://doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00279-9

Cook, N. J., Harris, R. I., & Whiting, R. (2003). Extreme wind speeds in mixed climates revisited. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *91*(3), 403–422. https://doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00397-5

De Gaetano, P., Repetto, M. P., Repetto, T., & Solari, G. (2014). Separation and classification of extreme wind events from anemometric records. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *126*, 132–143. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2014.01.006

Earl, N., & Simmonds, I. (2019). Sub-synoptic scale features of the South Australia Storm of September 2016 – Part II: Analysis of mechanisms driving the gusts. *Weather*, *74*(9), 301–307. https://doi.org/10.1002/wea.3384

El Rafei, M., Sherwood, S., Evans, J., & Dowdy, A. (2023). Analysis and characterisation of extreme wind gust hazards in New South Wales, Australia. *Natural Hazards*, 875–895. https://doi.org/10.1007/s11069-023-05887-1

Fujita, T. T. (1985). *The downburst: Microburst and macroburst* (Satellite and Mesometeorology Research Project). Department of the Geophysical Sciences, University of Chicago.

Fujita, T. T., & Wakimoto, R. M. (1981). Five scales of airflow associated with a series of downbursts on 16 July 1980. *Monthly Weather Review*.

Harper, B. A., Kepert, J. D., & Ginger, J. D. (2010). *Guidelines for converting between various wind averaging periods in tropical cyclone conditions* (Bureau Research Report 055). Australian Bureau of Meteorology.

Holmes, J. D. (2002). A re-analysis of recorded extreme wind speeds in region A. *Australian Journal of Structural Engineering*, *4*(1), 29–40. https://doi.org/10.1080/13287982.2002.11464905

Holmes, J. D., & Moriarty, W. W. (1999). Application of the generalized Pareto distribution to extreme value analysis in wind engineering. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *83*(1–3), 1–10. https://doi.org/10.1016/S0167-6105(99)00056-2

Kent, E. C., Fangohr, S., & Berry, D. I. (2013). A comparative assessment of monthly mean wind speed products over the global ocean. *International Journal of Climatology*, *33*(11), 2520–2541. https://doi.org/10.1002/joc.3606

Kruger, A. C., Goliger, A. M., Retief, J. V., & Sekele, S. (2010). Strong wind climatic zones in South Africa. *Wind & Structures*, *13*(1), 37–55.

Lashkari, H., & Mohammadi, Z. (2015). The effect of the position of the Arabian subtropical high-pressure system on precipitation systems in southern and southwestern Iran. *Physical Geography Research*, *47*(1), 37–90. https://doi.org/10.22059/jphgr.2015.53679 [In Persian]

Mohammadi, M. H., Mashkooti, A. H., Ghader, S., & Azadi, M. (2023). Investigation of the spatiotemporal distribution and predictability of wind gusts in Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(45), 209–228. [In Persian]

Mohammadi, Z., & Lashkari, H. (2018). The role of the spatial displacement of the Arabian high-pressure system and the subtropical jet stream in the synoptic and thermodynamic patterns of severe wet spells in southern and southwestern Iran. *Physical Geography Research*, *50*(3), 491–509. https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.249422.1007165 [In Persian]

Naseri, A., Keikhosravi, Q., & Mohammadi, Z. (2026). Analysis of the spatiotemporal distribution of wind gusts occurring in western and northwestern Iran and their relationship with teleconnection patterns. *Geography and Planning*, *30*(96), 22–39. https://doi.org/10.22034/gp.2025.65401.3357 [In Persian]

Orlanski, I. (1975). A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *56*(5), 527–530. https://doi.org/10.1175/1520-0477-56.5.527

Paulsen, B. M., & Schroeder, J. L. (2005). An examination of tropical and extratropical gust factors and the associated wind speed histograms. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *44*(2), 270–280. https://doi.org/10.1175/JAM2199.1

Portal, A., Angelidou, A., Rousseau-Rizzi, R., Raveh-Rubin, S., Givon, Y., Catto, J. L., Battaglioli, F., Taszarek, M., Flaounas, E., & Martius, O. (2025). Convective environments within Mediterranean cyclones. *Atmospheric Science Letters*. https://doi.org/10.1002/asl.1302

Pucillo, A., Miglietta, M. M., Lombardo, K., & Manzato, A. (2020). Application of a simple analytical model to severe winds produced by a bow echo-like storm in northeast Italy. *Meteorological Applications*, *27*, e1868. https://doi.org/10.1002/met.1868

Romanic, D., Taszarek, M., & Brooks, H. (2022). Convective environments leading to microburst, macroburst and downburst events across the United States. *Weather and Climate Extremes*, *37*, 100474. https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100474

Spassiani, A. C., & Mason, M. S. (2021). Application of self-organizing maps to classify the meteorological origin of wind gusts in Australia. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *210*, 104529. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2021.104529

Stern, D. P., Bryan, G. H., Lee, C. Y., & Doyle, J. D. (2021). Estimating the risk of extreme wind gusts in tropical cyclones using idealized large-eddy simulations and a statistical-dynamical model. *Monthly Weather Review*, *149*(12), 4183–4204. https://doi.org/10.1175/MWR-D-21-0059.1

Taszarek, M., Allen, J. T., Pucik, T., Hoogewind, K. A., & Brooks, H. E. (2020). Severe convective storms across Europe and the United States. Part II: ERA5 environments associated with severe wind, hail, lightning, and tornadoes. *Journal of Climate*, *33*. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0346.1

Yao, Z., Li, X., & Xiao, J. (2018). Characteristics of daily extreme wind gusts on the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Journal of Arid Land*, *10*, 673–685.

Zhou, W., Hu, W., Dai, J., Zhang, Y., Lu, L., Ou, J., ... & Zhang, Y. (2025). Case study on the phenomenon of gust front self-occlusion over the Yangtze River Delta region, China. *Meteorology and Atmospheric Physics*, *137*(4), 34.