



Analysis of the Spatial and Temporal Distribution of Gusty Winds in the Western and Northwestern Regions of Iran and Its Relationship with Teleconnection Patterns

Alireza Naseri¹ , Ghasem Keikhosravi² , Zainab Mohammadi³

1. Department of Natural geography, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. E-mail: a.nasei1978@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Natural geography, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. E-mail: Gh_keikhosravi@sbu.ac.ir
3. Department of Natural geography, Faculty of Earth Sciences, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. E-mail: mohamadi.1040@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 18 January 2025

Revised: 21 September 2025

Accepted: 28 September 2025

Published: 10 May 2026

Keywords:

Gusty wind,
West and northwest of Iran,
Spatial and temporal
distribution,
Teleconnection patterns,
Lasso regression.

ABSTRACT

Gusts are very dangerous winds for man-made and natural structures, and other organisms, due to their instantaneous changes in speed and direction. Understanding the characteristics of gusts is essential to help better plan and minimize direct losses and properly design buildings and infrastructure. In this study, wind speed and direction data reported every half hour at meteorological stations were used to analyze gusts in the western and northwestern regions of Iran during the statistical period (2012-2021). The Mann-Kendall method and P-value statistic were used to determine seasonal and annual trends. To investigate the impact of meteorological elements such as pressure, temperature, and teleconnection patterns, regression approaches based on machine learning algorithms (Multiple linear regression (MLR) Lasso regression, Relative weighting method (RW), and Spearman correlation coefficient) were used using the Tidy models package in the R programming environment. In terms of spatial distribution, the northeastern parts of the region (East Azerbaijan, Ardabil, and Qazvin provinces) are more prone to gusty winds than other parts of the region. In terms of temporal distribution, most gusty winds occur in spring and winter. In examining the influence of each of the predictor components (pressure and temperature) on the response variable (wind gust) based on the output of the MLR and RW model results, it was determined that in 67 percent of the meteorological stations, the air pressure is introduced as the most important influencing factor in the occurrence of gusty winds. In examining the seasonal trend of gusty winds, the occurrence of gusty winds increases in 78 and 72 percent of stations in winter and spring, respectively. In the summer, the prevailing trend in most of the region is upward, and in the fall, stations in the southern, western, and northwestern parts of the region generally have increased occurrences. In examining the teleconnection patterns, in winter, the East Atlantic-West Russian (EA/WR) pattern and the Polar-Eurasian (POL) pattern, in spring, the West Pacific (WP) and East Atlantic (EA) patterns, in summer the East Atlantic (EA) pattern, and in autumn the two Scandinavian patterns (SCA) and the Tropical-Northern Hemisphere (TNH) pattern are considered to be the most important predictor variables affecting gusty wind events.

Cite this article: Naseri, A.R., Keikhosravi, Gh., & Mohammadi, Z. (2026). Analysis of the Spatial and Temporal Distribution of Gusty Winds in the Western and Northwestern Regions of Iran and Its Relationship with Teleconnection Patterns. *Journal of Geography and Planning*, 30(96), 22-39
<http://doi.org/10.22034/gp.2025.65401.3357>



Introduction

In the list of the most destructive weather events that have occurred in recent years in various regions of the world, the name of the Gusty Wind appears frequently. Wind gust is the average wind over a 10-minute period at a height of 10 meters above the ground, which includes wind speed and direction. In general, due to the relative smallness of vertical movements of the atmosphere (especially near the ground surface), the horizontal flow of air is referred to as wind, while the sudden and short-term increase in wind speed at a height of 10 meters above the ground is called gusty wind, which is considered one of the atmospheric hazards. These winds cause enormous damage to facilities, infrastructure, and agricultural products every year. This research attempts to examine the temporal and spatial distribution of strong winds, as well as the relationship between strong winds and teleconnection patterns, so that in the event of a recurrence of such an event, it can help regional planners such as the Provincial Crisis Management, Ministry of Energy, Agricultural Jihad, Meteorological Organization, and other relevant institutions.

Materials and Methods

After collecting wind gust events from meteorological stations, the Mann-Kendall method and P_value statistic were used in the R programming environment to determine the seasonal trend. To investigate the impact of meteorological elements such as pressure, temperature, and teleconnection patterns, regression approaches based on machine learning algorithms (Multiple linear regression, Lasso regression (MLR), Relative weighting method (RW) and Spearman correlation coefficient) were used using the Tidymodels package in the R programming environment. Finally, to examine the effect of each predictor variable (teleconnection patterns) on the response variable (wind gustiness), Lasso regression and Spearman's correlation coefficient were used in the R programming environment.

Results

In terms of spatial distribution, the northeastern parts of the region (Tabriz, Ardabil, and Qazvin provinces) are more prone to gusty winds than other parts of the region. In terms of temporal distribution, most gusty winds occur in spring and winter. In examining the influence of each of the predictor components (pressure and temperature) on the response variable (wind gust) based on the output of the MLR and RW model results, it was determined that in 67 percent of the meteorological stations, the air pressure is introduced as the most important influencing factor in the occurrence of gusty winds. In examining the seasonal trend of gusty winds, the occurrence of gusty winds increases in 78 and 72 percent of stations in winter and spring, respectively. In the summer, the prevailing trend in most of the region is upward, and in the fall, stations in the southern, western, and northwestern parts of the region generally have increased occurrences. In examining the teleconnection patterns, in winter, the East Atlantic-West Russian (EA/WR) pattern and the Polar-Eurasian (POL) pattern, in spring, the West Pacific (WP) and East Atlantic (EA) patterns, in summer the East Atlantic (EA) pattern, and in autumn the two Scandinavian patterns (SCA) and the Tropical-Northern Hemisphere (TNH) pattern are considered to be the most important predictor variables affecting gusty wind events.

Conclusion

The results of this research can be used as an introduction to future studies in the field of predicting the occurrence of wind gusts in the region. Identifying the temporal and spatial location of gusty winds, along with the mechanism of formation of this phenomenon and its relationship with teleconnection patterns, and ultimately its prediction, can help reduce natural disasters. Due to limitations in available observation data (mostly weather stations traditionally report on an hourly basis), this is not possible unless all wind measurement stations are equipped with sensors to record real-time wind direction and speed reports.

Keywords: Gusty wind, West and northwest of Iran, Spatial and temporal distribution, Teleconnection patterns, Lasso regression.



واکاوی توزیع فضایی-زمانی جست بادهای رخ داده در منطقه غرب، شمال غرب ایران و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور

علیرضا ناصری^۱، قاسم کیخسروی^۲، زینب محمدی^۳

۱. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a.nasei1978@gmail.com

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

۳. دانشجوی پسادکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: mohamadi.1040@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:

جست باد،

غرب و شمال غرب ایران، توزیع

زمانی و مکانی،

الگوهای پیوند از دور،

رگرسیون لاسو.

جست بادهای دلیل تغییرات لحظه‌ای سرعت و جهت از بادهای بسیار خطرناک برای سازه‌ها مصنوع و طبیعی، و سایر موجودات می‌باشد. درک ویژگی‌های جست بادهای، برای کمک به برنامه ریزی بهتر و به حداقل رساندن تلفات مستقیم و طراحی مناسب ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها ضروری است. در این پژوهش جهت واکاوی جست بادهای در منطقه غرب و شمال غرب ایران، در دوره آماری (۲۰۲۱-۲۰۱۲) از داده‌های سرعت و جهت باد که به فاصله هر نیم ساعت در ایستگاه‌های متار گزارش می‌شود استفاده گردید. جهت تعیین روند فصلی و سالانه از روش من کندانال و آماره P_value استفاده شد. برای بررسی میزان اثرگذاری عناصر هواشناسی فشار، دما و الگوهای پیوند از دور از رویکردهای رگرسیون مبناء در الگوریتم‌های یادگیری ماشین (رگرسیون خطی چندگانه، رگرسیون لاسو، روش وزن‌دهی نسبی و ضریب همبستگی اسپرمن) در محیط برنامه نویسی R تمرکز گردید. از لحاظ توزیع مکانی، بخش‌های شمال شرقی منطقه (استان‌های آذربایجان شرقی، اردبیل، قزوین) مستعد رخداد وزش بیشتر باد جستی نسبت به بخش‌های دیگر منطقه می‌باشند. از لحاظ توزیع زمانی در فصل بهار و زمستان بیشترین جست بادهای رخ می‌دهند. بر اساس برونداد نتایج مدل رگرسیون لاسو و وزن‌دهی نسبی، مشخص گردید که در ۶۷ درصد ایستگاه‌های متار، عنصر فشار هوا بعنوان مهمترین عامل تأثیرگذار در رخداد جست باد معرفی می‌شود. در بررسی روند فصلی جست بادهای، در فصل زمستان و بهار به ترتیب در ۷۸ و ۷۲ درصد ایستگاه‌ها، رخداد جست باد حالت افزایشی دارد. در فصل تابستان روند غالب در بخش اعظم منطقه، روند صعودی است و در فصل پاییز، بطور کلی ایستگاه‌های بخش‌های جنوبی، غربی و شمال غربی منطقه دارای رخداد افزایشی می‌باشند و هر چقدر به سمت نواحی داخلی منطقه حرکت می‌کنیم وقوع جست باد کاهش می‌شود. در بررسی الگوهای پیوند از دور، در فصل زمستان الگوی شرق اطلس- غرب روسیه و الگوی قطبی- اوراسیا، در فصل بهار الگوهای غرب اقیانوس آرام و شرق اطلس، در تابستان الگوی شرق اطلس و در فصل پاییز دو الگوی اسکاندیناوی و الگوی حاره- نیمکره شمالی از مهمترین متغیرهای پیشگوی تأثیرگذار در رخداد های جست باد محسوب می‌شوند.

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

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.65401.3357>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

در فهرست مخربترین رویدادهای جوی به وقوع پیوسته در سالیان گذشته در مناطق مختلف جهان، نام جست باد^۱ به دفعات به چشم می‌خورد (مشکوتی و همکاران، ۱۴۰۱). جست باد یا باد لحظه‌ای، میانگین باد در بازه زمانی ۱۰ دقیقه‌ای در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین است که شامل تندی و جهت باد می‌شود. بطور کلی به سبب کوچک بودن نسبی حرکات قائم جو (به ویژه در نزدیک سطح زمین) به جریان افقی هوا باد اطلاق می‌شود و در مقابل به افزایش ناگهانی و کوتاه مدت سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین، جست باد گفته می‌شود که یکی از مخاطرات جوی محسوب می‌شود.

جست بادهای، وزش بادهای شدید با حداکثر سرعت در یک زمان کوتاه هستند که معمولاً با طوفان‌های شدید مانند طوفان‌های استوایی، طوفان‌های فوق گرمسیری و طوفان‌های همرفتی شدید همراه هستند (استرن^۲ و همکاران، ۲۰۲۱؛ پاولسن و شرودر^۳، ۲۰۰۵؛ داودی^۴ و همکاران، ۲۰۱۰) سازمان جهانی هواشناسی توصیه کرده است بادی که حداکثر ۳ ثانیه دوام داشته باشد بعنوان جست باد در نظر گرفته شود، زیرا بیشترین سرعت در این بازه زمانی ثبت شده است، ولی تا ۱۰ دقیقه نیز قابل قبول است، به شرطی که بیشترین باد متوسط ۱۰ دقیقه‌ای ثبت شده در بازه زمانی ۱ ساعته باشد. با فرض اینکه باد متوسط در طول آن در یک ساعت تقریباً ثابت است. البته در تعریف جست باد، بایستی منطقه مورد مطالعه و پدیده غالب هواشناسی را نیز در نظر گرفت و میانگین گیری‌های متفاوتی قابل تعریف است (هارپر^۵ و همکاران، ۲۰۱۰). طبق تعریف سازمان جهانی هواشناسی، جست باد زمانی گزارش می‌شود که افزایش ناگهانی باد نسبت به آخرین گزارش ثبت شده 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.

در تعریف دیگری از سوی انجمن ملی جوی و اقیانوس شناسی آمریکا، جست باد به افزایش ناگهانی در سرعت باد اطلاق شده است و زمانی که سرعت باد به حداقل ۱۶ نات و تغییرات بین بیشینه و کمینه به حداقل ۹ نات می‌رسد، گزارش می‌شود. همچنین مدت زمان جست باد بطور معمول کمتر از ۲۰ ثانیه است. بایستی در نظر گرفت که در مطالعه سرعت باد مساله 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 قوی تر از جو پایدار است (کنت^۶ و همکاران، ۲۰۱۳). جست بادهای شدید در مناطق سراسر جهان می‌تواند با انواع طوفان‌ها مانند طوفان‌های استوایی (استرن^۷ و همکاران، ۲۰۲۱)، طوفان‌های فراگرمسیری (پاولسن و شرودر^۸، ۲۰۰۵)، جبهه‌ها و سیستم‌های همرفتی (به عنوان مثال، رعد و برق) مرتبط باشد، در حالی که 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 (هلمز^۹، ۲۰۰۲؛ هلمز و موریاتی^{۱۰}، ۱۹۹۹). حتی قوی‌ترین جست بادهای در برخی از طوفان‌های فرا استوایی می‌توانند از سیستم‌های همرفتی در مقیاس متوسط (ارل و سیموندز^{۱۱}، ۲۰۱۹) که با جریان‌های سینوپتیک ترکیب می‌شوند، ایجاد شوند.

1. Wind gust
2. Stern
3. Paulsen & Schroeder
4. Dowdy
5. Harper
6. Kent
7. Stern,
8. Paulsen & Schroeder
9. Holmes
10. Holmes & Moriarty
11. Earl & Simmonds

جست بادهای همرفتی مربوط به حرکات پایین سوی همرفتی و آمیختگی قائم با همرفت عمیق است (براسور^۱، ۲۰۰۱) و معمولاً با شرایط جوی ناپایدار، تغییرات زیاد در دما، فشار و جهت باد، سرعت‌های با اوج وزش شدید همراه هستند (دی گاتانو^۲ و همکاران، ۲۰۱۴؛ اسپاسیانی و میسون^۳، ۲۰۲۱). از سوی دیگر، جست‌های تولید شده توسط سیستم‌های سینوپتیکی، در دوره‌های زمانی طولانی‌تر می‌مانند و با متوسط سرعت زیاد، ضریب وزش کوچکتر و شرایط جوی سینوپتیکی پایدارتر، با تغییرات ملایم‌تر در فشار و دما نسبت به رویداد های همرفتی مشخص می‌شوند (ال رافعی^۴ و همکاران، ۲۰۲۳). جست بادهای شدید می‌توانند آسیب‌های ساختاری قابل توجهی از جمله تخریب زیرساخت‌ها مانند خطوط انتقال برق، نیروگاه‌های بادی و خورشیدی و منازل مسکونی ایجاد کنند. برای مثال در اکتبر ۲۰۱۹ در شهر پرت در غرب استرالیا، وزش باد گاستی با سرعت بیش از ۱۰۰ کیلومتر در ساعت باعث شکستن درختان، شاخه‌ها و قطعی گسترده برق برای بیش از ۲۵۰۰ خانه گردید (اداره هواشناسی استرالیا، ۲۰۱۹). وزش بادهای جستی همچنین برای هواپیما، مخصوصاً در زمان‌های نشست و برخاست می‌تواند خطرناک باشد (سوکخا^۵، ۱۹۹۷) و می‌توانند شرایط بسیار خطرناکی را برای آتش‌سوزی‌های جنگلی را ایجاد کنند (پوتر^۶، ۲۰۱۲). بادهای ناگهانی شدید ممکن است باعث کاهش بازده یا حتی توقف فعالیت بندرگاه‌ها شوند (سولاری^۷ و همکاران، ۲۰۱۲).

پیشینه پژوهش

مطالعات داخلی

محمدی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی توزیع زمانی و مکانی و پیش بینی جست باد مدل *WRF* به این نتیجه رسیدند که وقوع جست باد در مناطق جنوب شرق و شمال غرب بیشتر از سایر مناطق است. فراوانی وقوع جست بادهای روند صعودی داشته و اغلب جست بادهای در فصل بهار رخ می‌دهد و مدل *WRF* عملکرد مطلوبی جهت پیش بینی جست باد در ایران دارد.

پیشینه مطالعات در زمینه جست بادهای در ایران اندک می‌باشد از جمله حبیبی در بررسی پیش بینی جست باد در فصل‌های زمستان و بهار با استفاده از رگرسیون خطی در ایستگاه مهراباد تهران به این نتیجه رسید که ویژگی‌های انتخابی با روش پسر و برای پیش بینی سرعت باد در فصل زمستان مشابه فصل بهار است اما برای جهت باد کمی متفاوت است (حبیبی، ۱۴۰۰).

اولاد^۸ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی اقلیم شناسی میدان باد و جست بادهای خلیج فارس را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین سرعت باد را در خلیج فارس در فصل تابستان (خرداد ماه) و زمستان (بهمن ماه) داریم که جهت غالب آن بیشتر شمالی برآورد می‌شود.

مطالعات خارجی

عمده مطالعات در زمینه جست بادهای مربوط مطالعات خارجی می‌باشد که در ادامه به تعدادی از این مطالعات اشاره می‌گردد. ازورین^۹ و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی روند روزانه جست بادهای اسپانیا و پرتغال که با استفاده از شاخص صدک ۹۰ام انجام گرفت به این نتیجه رسیدند که، روند جست بادهای در دوره گرم سال (می تا اکتبر) افزایشی و دوره سرد سال (نوامبر تا آوریل) دارای روند کاهشی هستند. همچنین رخداد جست بادهای با شاخص نوسان اقیانوس اطلس شمالی دارای همبستگی منفی و با شاخص طبقه بندی نوع آب و هوای جنکینسون - کلیسون همبستگی مثبت نشان می‌دهد.

1. Brasseur
2. Gaetano
3. Spassiani, & Mason
4. El Rafei
5. Soekkhha
6. Potter
7. Solari
8. Owlad
9. Azorin

مور^۱ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از ۱۱۰ ایستگاه اب و هواشناسی آلمان در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۴، به بررسی و تجزیه - تحلیل توزیع زمانی و مکانی جست بادهای همرفتی پرداختند. نتایج بیانگر آن است همانند توفان‌های تندری، فراوانی جست بادهای همرفتی از جنوب به شمال آلمان کاهش می‌یابد که علت آن به خاطر توپوگرافی و شرایط اقلیمی منطقه است. مقادیر ضریب جست بادهای همرفتی عمدتاً در محدوده ۱ تا ۴ قرار دارند، حتی با توجه به نوع طوفان در بعضی از موارد به ضریب ۱۰ نیز می‌رسند. مقایسه مقادیر بازگشتی ۲۰ ساله جست بادهای همرفتی با جست بادهای متلاطم نشان می‌دهد، که جست بادهای متلاطم به ویژه در شمال آلمان فرکانس بالاتری دارند.

یائو^۲ و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی جست بادهای شدید فلات تبت با استفاده از توزیع ویبول و گمبل که از ۹۵ ایستگاه موجود در منطقه (۲۰۱۲-۲۰۰۸) استفاده کردند، به این نتیجه می‌رسند که توزیع مکانی سرعت جست بادهای شدید و جهت آنها بسیار متغیر است، بخش غربی فلات تبت مستعد وزش سرعت‌های بیشتر باد جستی نسبت به بخش شرقی است. حداکثر سرعت باد های جستی شدید در سه ایستگاه با مقادیر ۳۳،۳۰،۹ و ۳۲،۳ متر بر ثانیه ثبت شده است. عمده جست بادهای شدید از نوامبر تا آوریل رخ داده اند که عمدتاً توسط جریان‌های جت غربی ایجاد می‌شوند. همچنین تجزیه و تحلیل فضایی از داده‌های سرعت باد نشان داد که سرعت جست بادهای بطور تصاعدی با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد.

یک ژنراتور نوین گاست مبتنی بر نازل تطبیقی در آزمایش‌های تونل باد طراحی و آزمایش شد. این ابزار می‌تواند تغییرات ناگهانی سرعت باد را بازتولید کند و داده‌های ارزشمندی برای بررسی اثرات گاست بر سازه‌ها فراهم سازد (ود^۳ و همکاران، ۲۰۲۴). با توجه به اینکه بیشتر کارهای انجام شده در زمینه باد در ایران در زمینه ی روند سرعت باد در مقیاس ماهانه و سالانه (میرعباسی نجف آبادی و دین پژوه، ۱۳۹۴)، رفتار شناسی باد تحت تاثیر سامانه‌های همدیدی و واداشت‌های محیطی (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶) و یا شناسایی الگوهای همدید ایجاد کننده ی بادهای شدید (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۸) می‌باشد، لذا در این تحقیق تلاش خواهد شد با پر کردن خلاء تحقیقات اندکی که در رخداد جست بادهای در ایران انجام گرفته است، در منطقه مورد مطالعه به پرسش‌های ذیل پاسخ داده شود.

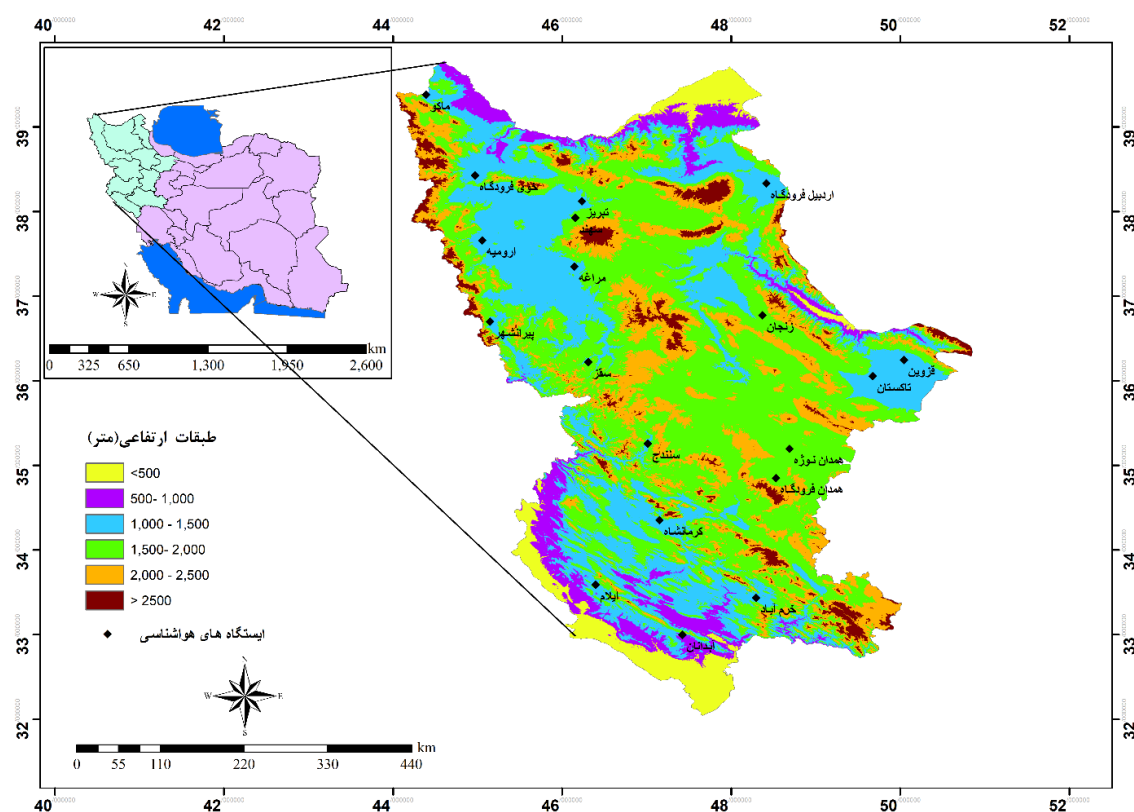
۱. توزیع زمانی و مکانی جست بادهای در منطقه غرب و شمال غرب ایران چگونه است؟

۲. در بین عناصر هواشناسی فشار و دما کدامیک در ایجاد جست بادهای شدید تأثیرگذار تر است؟

۳. ارتباط الگوهای پیوند از دور با رخداد جست بادهای در فصول مختلف سال چگونه می‌باشد؟

روش پژوهش

منطقه غرب و شمال غرب ایران شامل استان‌های کردستان، لرستان، ایلام، زنجان، همدان، آذربایجان شرقی، قزوین، آذربایجان غربی و اردبیل است. این منطقه در جوار کوه‌های زاگرس و البرز قرار دارد. این کوه‌ها به عنوان مانع‌هایی طبیعی، تأثیرات مهمی بر اقلیم منطقه و جریانات جوی دارند. همچنین، وجود دشت‌ها و نواحی کم‌ارتفاع در کنار این کوه‌ها، شرایط جوی خاصی را برای منطقه ایجاد می‌کند. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه همراه با ایستگاه‌های هواشناسی

در این پژوهش از دو دسته داده استفاده گردید. ۱- داده‌های جست باد که از ۱۸ ایستگاه متار هواشناسی که در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۱ ثبت گردیده بود استفاده شد (شکل ۱). دلیل انتخاب این دوره آماری کامل بودن داده‌های جست باد از لحاظ نداشتن گپ زمانی و همچنین فراوانی بیشتر ایستگاه‌ها در منطقه می‌باشد. ۲- داده‌های مرتبط با الگوی‌های پیوند از دور نیز از پایگاه داده‌های نوا^۱ بر اساس جدول ۱ استخراج گردید.

در ابتدا برای توزیع فضایی-زمانی جست بادها در منطقه مورد مطالعه برای تک تک ماه‌ها، فصول و سال‌ها داده‌های جست باد روزانه در طی دوره آماری ۱۰ ساله از سالنامه‌های هواشناسی استخراج گردید. برای تعیین روند فصلی از روش من کندال و آماره P value در محیط برنامه نویسی R استفاده شد.

روش من-کندال^۲ یک آزمون ناپارامتریک بوده و برای تعیین وجود روند و معنی داری آن‌ها استفاده می‌شود. این آزمون ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵ بسط و توسعه یافت (سرانو^۳ و همکاران، ۱۹۹۹). اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از مزایای استفاده از این روش است. از نقاط قوت این روش مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود (تورگای^۴ و همکاران، ۲۰۰۵). برای بررسی میزان اثر گذاری عناصر هواشناسی فشار و دما در ایجاد جست باد از آزمون رگرسیون خطی چندگانه^۵، رگرسیون لاسو^۶ و روش وزن دهی نسبی^۷ استفاده شد (کاباکوف^۸، ۲۰۲۲). رگرسیون خطی چند گانه، روشی است که با

1. NOAA
2. Mann - Kendall
3. Serrano
4. Turgay
5. Multiple linear regression
6. Lasso regression
7. Relative weight
8. Kabcoff

استفاده از آن می‌توان به تحلیل و بررسی توام چندین متغیر مختلف پرداخت. این روش نیازمند تعداد زیاد نمونه‌ها می‌باشد که در عین حال باید از دقت و صحت بالایی برخوردار باشند (جلالی لیچایی و نبی بیدهندی، ۱۳۸۵). رگرسیون خطی چند گانه در حقیقت، ارتباط یک سری از متغیرهای مستقل را با یک متغیر وابسته بیان می‌کند. در صورت وجود متغیرهای مستقل $x_1, x_2, \dots, x_n$ اگر ارتباط خطی بین آنها و متغیر y که وابسته به آنها است ایجاد گردد، رابطه ۱ حاصل خواهد شد.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \varepsilon \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن y متغیر وابسته (پاسخ)، $\beta_0 + \beta_1 + \beta_2$ ضرایب رگرسیون، $x_1 + x_2$ متغیرهای مستقل (پیشگو) و ε میزان خطا می‌باشد. مدل رگرسیونی لاسو می‌تواند بطور همزمان برآورد پارامترهای رگرسیونی و انتخاب متغیرهای مهم و همچنین میزان تأثیرگذاری متغیرهای مستقل را بر متغیر وابسته انجام داده و منجر به مدل‌های رگرسیونی دقیق با تفسیرپذیری بالا شود. عبارت دیگر در این روش، شانس آمدن متغیرهایی که توان پیش بینی پائینی دارند، در حضور دیگر متغیرهای توضیحی در مدل کم است، بنابراین این روش را می‌توان برای هدف انتخاب متغیر استفاده کرد (افرون^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). در رگرسیون لاسو با استفاده از تابع جریمه^۲ روی جمع قدر مطلق ضرایب مدل رگرسیونی، تعداد پارامترها کنترل می‌شود. مدل رگرسیون لاسو یکی از زیر مجموعه‌های الگوریتم‌های یادگیری ماشین^۳ است، با توجه به اینکه متغیرهای مستقل و وابسته پژوهش دارای ماهیت کمی هستند، بر روی رویکردهای رگرسیون در الگوریتم‌های یادگیری ماشین با استفاده از بسته Tidymodels تمرکز گردید. پس از طراحی و ساخت مدل، کارایی مدل با استفاده از معیارهای ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا ارزیابی می‌گردد. روش وزن دهی نسبی برای اهمیت میزان تأثیرگذاری متغیرهای پیشگو بر متغیر وابسته پیشنهاد می‌شود (جانسون، ۲۰۰۴: جانسون و لیبرتون، ۲۰۰۴: لیبرتون و تونیداندل، ۲۰۰۸)، در این روش با استفاده از ضریب تعیین و میزان همبستگی متغیرها، میزان اثر گذاری هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته برآورد می‌شود (کاباکوف، ۲۰۲۲). پیوند از دور بعنوان ارتباط هم زمان بین نوسانات عناصر اقلیمی یک مکان با تغییرات الگوهای فشار و درجه حرارت سطح دریا در نقاط جغرافیایی دیگر تعریف می‌شود (والاس و گرلر^۴، ۱۹۸۱). در این پژوهش جهت ارتباط جست بادهای رخ داده با الگوهای پیوند از دور از تحلیل همبستگی اسپرمن با سطح معناداری (P-value) و برای بررسی میزان اثرگذاری هر متغیر پیشگو (الگوهای پیوند از دور) بر متغیر پاسخ (جست باد) از رگرسیون لاسو استفاده گردید. تحلیل همبستگی یکی از روش‌های آماری برای بررسی شدت و جهت روابط بین متغیرهاست. یکی از مهم‌ترین تحلیل همبستگی، همبستگی اسپرمن است که به توزیع داده‌ها وابسته نیست، با بکارگیری بسته Corrrplot از مجموعه Tidymodels (وی و سیمکو^۵، ۲۰۲۱) در محیط برنامه نویسی R، ماتریس شبکه همبستگی بین متغیرها بررسی شد.

جدول ۱. فهرست شاخص‌های پیوند دور مورد استفاده در تحقیق (اکبری و پژوه، ۱۴۰۰)

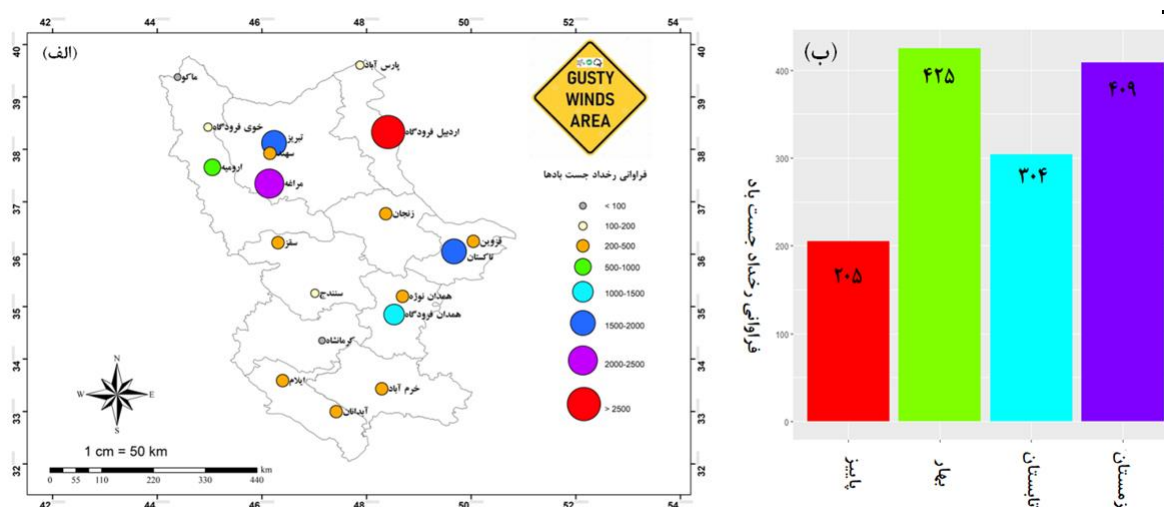
منطقه	تعریف لاتین	شاخص
نوسان اطلس شمالی	North Atlantic Oscillation	NAO
الگوی شرق اطلس	East Atlantic Pattern	EA
الگوی غرب اقیانوس آرام	West Pacific Pattern	WP
الگوی شرق، شمال اقیانوس آرام	East Pacific / North Pacific Pattern	EP/NP
الگوی اقیانوس آرام و آمریکای شمالی	Pacific/ North American Pattern	PNA
الگوی شرق اطلس و غرب روسیه	East Atlantic/ West Russia Pattern	EA/WR
الگوی اسکاندیناوی	Scandinavia Pattern	SCA
الگوی حاره و نیمکره شمالی	Tropical/ Northern Hemisphere Pattern	TNH
الگوی قطبی و اوراسیا	Polar/Eurasia Pattern	POL
الگوی انتقالی اقیانوس آرام	Pacific/Transition Pattern	PT

1. Efron
2. Penalty
3. Machine learning
4. Wallace and Guzzler
5. Wei and Simko

نتایج

تحلیل فراوانی سالانه و فصلی جست بادها

تحلیل فراوانی سالانه جست بادها به ما کمک می‌کند تا الگوهای کلی و روندهای بلندمدت این بادها را شناسایی کنیم. فراوانی جست بادها می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند تغییرات فصلی، عوامل محلی، سیستم‌های فشار جوی و الگوهای جوی جهانی قرار گیرد. بررسی داده‌های سالانه می‌تواند به شناسایی الگوهای تکرارپذیر و تأثیرات تغییرات اقلیمی بر وقوع این بادها کمک کند. با توجه به نتایج شکل (۱) از میان ایستگاه‌های متار، ایستگاه فرودگاه اردبیل با فراوانی رخداد ۲۸۴۳، ایستگاه مراغه با ۲۰۶۴، ایستگاه تاکستان با ۱۸۴۴ و ایستگاه تبریز با ۱۵۵۵ رخداد جست باد به ترتیب در رتبه‌های اول تا چهارم هستند. بنابراین از لحاظ توزیع مکانی، بخش‌های شمال شرقی منطقه (استان‌های تبریز، اردبیل، قزوین) مستعد رخداد وزش بیشتر باد جستی نسبت به بخش‌های دیگر منطقه می‌باشند. در مقیاس فصلی، تغییرات فصول می‌توانند به طور قابل توجهی بر روی شدت و فراوانی جست بادها تأثیر بگذارند، از لحاظ وقوع رخداد جست باد فصل بهار با بیشترین رخداد در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای بیشترین فراوانی می‌باشد با توجه به بالا بودن عامل همرفت در این فصل (بالا بودن رطوبت جو و ساعات افتابی)، به نظر می‌رسد سیستم‌های همرفتی منبع اصلی جست بادها در این فصل باشند که معمولاً با شرایط جوی ناپایدار و تغییرات زیاد در فشار، دما و جهت باد همراه هستند. بعد از فصل بهار، فصل زمستان از نظر رخداد جست باد در مرتبه دوم قرار دارد. در این فصل نیز در کنار سیستم‌های سینوپتیکی که باعث شکل‌گیری جست بادها می‌شوند، عوامل محلی نیز بر تشدید جست بادها تأثیرگذار هستند.

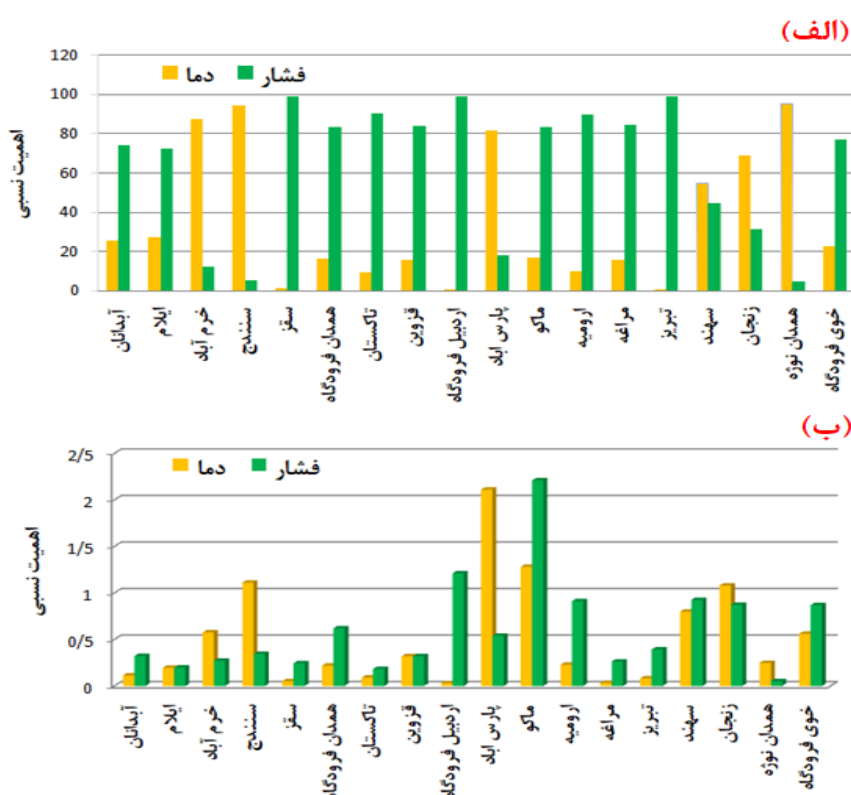


شکل ۲. مجموع فراوانی رخداد جست بادها در مقیاس سالانه (الف)، متوسط رخداد جست باد بر حسب فصول (ب)، (۲۰۲۱-۲۰۱۲)

بررسی عناصر هواشناسی فشار و دما در زمان وقوع جست باد و تعیین سهم نسبی هر یک از آنها

تجزیه و تحلیل رگرسیون یکی از مهمترین روش‌های تحلیل داده‌ها برای بررسی و مدلسازی روابط بین متغیرها می‌باشد. با توجه به اینکه تغییرات فشار و دما در ایجاد جست بادها مهم است، برای بررسی میزان تأثیرگذاری هر یک از مولفه‌های پیشگو (فشار و دما) بر متغیر پاسخ (جست باد) از روش‌های رگرسیون چندگانه (MLR)، رگرسیون لاسو (LR) و روش وزن دهی نسبی (RW) استفاده گردید. روش‌های یاد شده، مبتنی بر روش یادگیری ماشین نظارت شده می‌باشند که جهت مطالعه آماری، روابط بین دو یا چند متغیر مستقل و یک متغیر وابسته را بررسی می‌کنند. با توجه به نتایج مدل (MLR) و (RW) در شکل (۲ الف)، متغیر فشار هوا در سطح دریا در ۶۷ درصد ایستگاه‌های هواشناسی، عامل اصلی موثر در شکل‌گیری جست بادها می‌باشد و در ۳۳ درصد ایستگاه‌ها متغیر دما بعنوان عامل تأثیرگذار معرفی می‌شود. برای بررسی کارایی مدل RW، مدل رگرسیون لاسو

(شکل ۲ب) نیز بر روی متغیرهای پیشگو و پاسخ اعمال گردید. بر اساس برونداد مدل رگرسیون لاسو نیز در ۶۷ درصد ایستگاه‌ها، متغیر فشار هوا و ۲۸ درصد ایستگاه‌ها، عنصر دما از اهمیت بیشتری در رخداد جست بادهای برخوردار می‌باشد. در این مدل در ایستگاه قزوین ارزش نسبی عنصر دما و فشار یکسان گزارش می‌شود. بنابراین در مدل RW، ارزش متغیر دما نسبت به فشار هوا در ایستگاه‌های همدان، خرم‌آباد، پارس‌آباد، سهند، سنندج و زنجان بالاتر است و در مدل LR، ایستگاه‌های همدان، خرم‌آباد، پارس‌آباد، زنجان و ارومیه. لذا نتایج هر دو مدل تقریباً یکسان است. بنابراین با توجه به تأثیرگذاری دو متغیر، بالاخص عنصر تغییرات فشار این گونه می‌توان نتیجه گرفت در کنار شرایط همدیدی سامانه‌های ورودی به منطقه، شرایط جوی محلی و توپوگرافی محیط به دلیل مقیاس کوچک و موقتی این بادهای، بشدت در شکل‌گیری و شدت جست بادهای تأثیرگذار است. اگر عامل سامانه‌های همدیدی ورودی به تنهایی تأثیرگذار بود، بایستی عنصر تغییرات فشار هوا در تمامی ایستگاه‌ها نسبت به متغیر دما فزونی یابد.

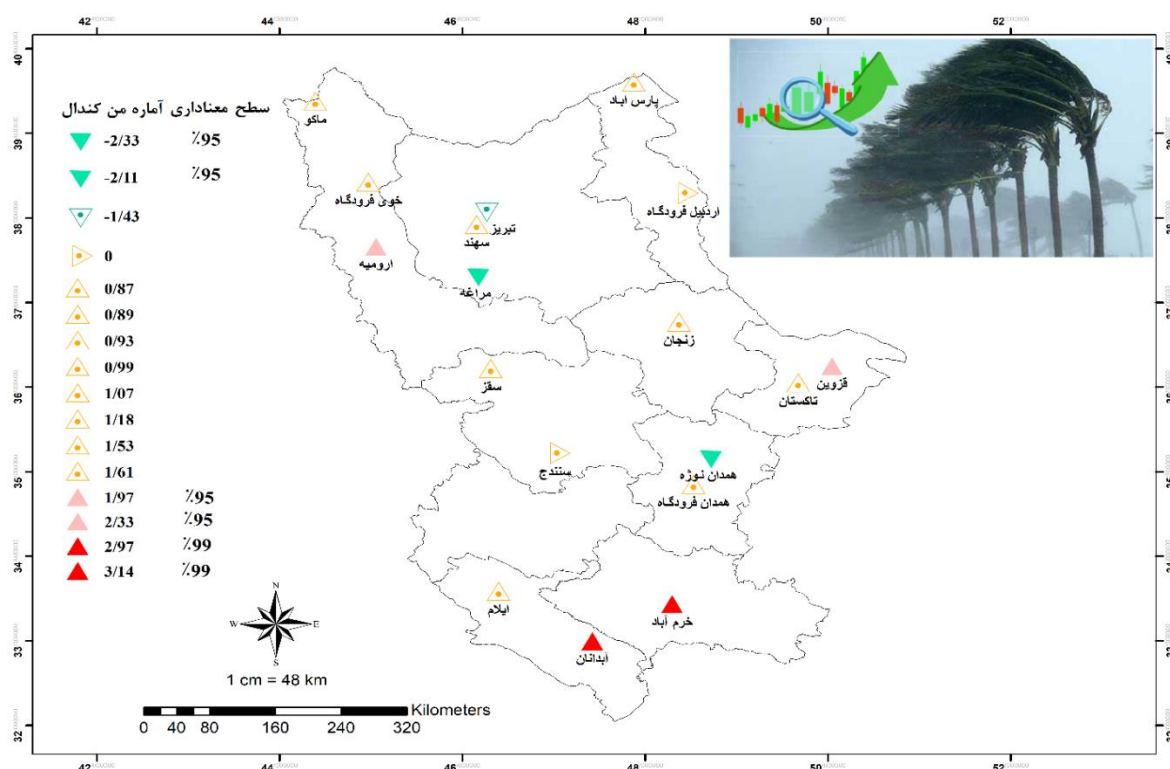


شکل ۳. اهمیت نسبی مبتنی بر جایگشت متغیرهای پیشگو در تبیین میزان اثرگذاری بر متغیر پاسخ با استفاده از مدل‌های RW (الف) و مدل LR (ب)

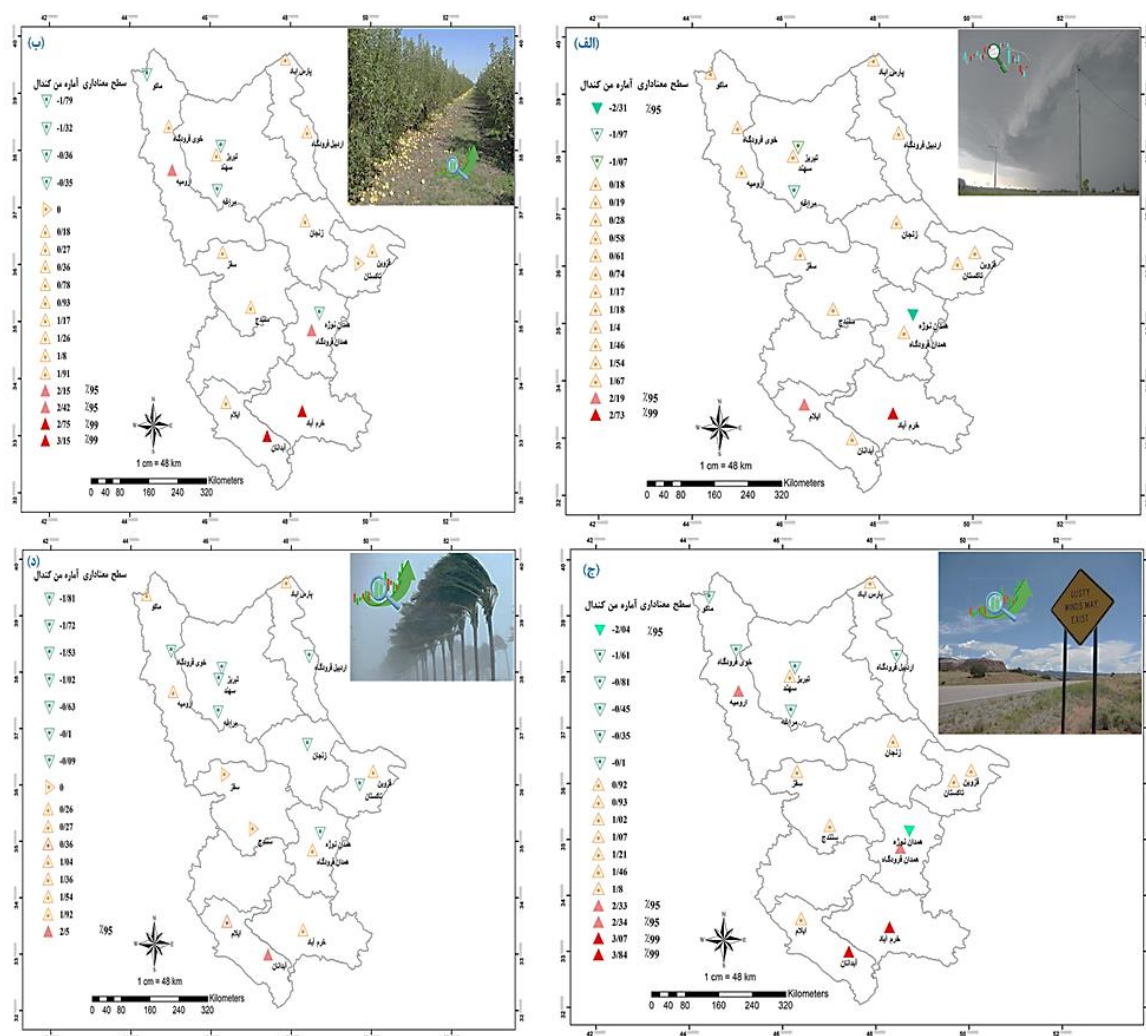
بررسی روند سالانه و فصلی جست بادهای

در این پژوهش برای تعیین وجود یا عدم وجود روند در سری زمانی جست بادهای رخ داده شده از آزمون من-کندال استفاده شد. این آزمون یکی از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سریهای زمانی است. اگر مقدار آماره بدست آمده مثبت باشد، روند صعودی و اگر مقدار آن منفی باشد، روند نزولی است. نتایج آزمون ناپارامتری من-کندال در اشکال شماره (۳ و ۴) نمایش داده شده است. در مقیاس سالانه ایستگاه‌های خرم‌آباد، آبدانان در سطح معناداری ۹۹٪ و ایستگاه‌های ارومیه و قزوین در سطح معناداری ۹۰٪ از نظر رخداد جست باد دارای روند افزایشی معنا دار و ۴۴ درصد ایستگاه‌ها دارای افزایش جزئی و غیر معنادار می‌باشند. در سطح منطقه تنها در سه ایستگاه رخداد جست باد کاهشی می‌باشد که دو مورد از این ایستگاه‌ها (مراغه، همدان نوژه) در سطح احتمالی ۹۵٪، معنادار می‌باشند (شکل ۳). در فصل زمستان (شکل ۴ الف)، ایستگاه‌های خرم‌آباد و ایلام

به ترتیب در سطح احتمالی ۹۹٪ و ۹۵٪، دارای روند افزایشی و ایستگاه همدان نوژه دارای روند کاهشی در سطح ۹۵٪ می‌باشد. در ۶۷ درصد ایستگاه‌ها نیز افزایش جزئی در رخداد جست باد در طول دوره آماری مشاهده می‌شود. بطور کلی در این فصل بخاطر بالا بودن میزان عبور سامانه‌های ناپایدار جوی از منطقه در ۷۸ درصد ایستگاه‌ها رخداد جست باد حالت افزایشی دارد. در فصل بهار (شکل ۴ ب)، فراوانی جست بادهای در ایستگاه‌های خرم آباد و آبدانان در سطوح احتمالی ۹۹٪ و ایستگاه‌های همدان فرودگاه و ارومیه در سطح اطمینان ۹۵٪، دارای روند صعودی معنادار و در ۵۰ درصد ایستگاه‌های دیگر با افزایش جزئی همراه است. تنها در ایستگاه‌های (ماکو، تبریز، مراغه، همدان نوژه) کاهش جزئی در وقوع جست گزارش می‌شود. در این فصل در منطقه غرب و شمال غرب ایران به علت افزایش دمای سطحی، رطوبت کافی در جو و ناپایداری بیشتر در لایه مرزی، شرایط مطلوب برای تشکیل همرفت عمیق و وقوع تعداد بیشتر توفان‌های تندی همراه با جست باد فراهم می‌شود. در فصل تابستان (شکل ۴ ج) روند افزایشی معناداری ایستگاه‌ها همانند فصل بهار است ایستگاه‌های خرم آباد، آبدانان، همدان فرودگاه و ارومیه در سطوح احتمالی ۹۹٪ و ۹۵٪ دارای روند صعودی هستند. در این فصل بر تعداد ایستگاه‌ها با رخداد کاهشی افزوده شده است که غیر از ایستگاه همدان نوژه، بقیه ایستگاه‌ها در بخش شمالی منطقه پراکنده شده‌اند. با این وجود روند غالب در بخش اعظم منطقه، روند صعودی است. نزدیکی به مناطق کوهستانی و ناپایداری‌های ناشی از امواج کوهستان می‌توانند بر تغییرات ناگهانی سمت و تندی باد و در نتیجه در وقوع جست باد تأثیرگذار باشند. شواهد گواه بر این مطلب دو ایستگاه هواشناسی همدان نوژه و فرودگاه همدان است. فرودگاه همدان به علت ارتفاع زیاد (۱۷۴۰٫۸ متر) نسبت به ایستگاه همدان نوژه (۱۶۷۹٫۹ متر) و نزدیکی به مناطق کوهستانی اطراف آن، باعث ایجاد ناپایداری و رخداد جست باد بیشتر و دارای روند معنادار افزایشی و بر عکس ایستگاه همدان نوژه دچار روند معناداری کاهشی است. در فصل پاییز (شکل ۴ د)، بطور کلی ایستگاه‌های بخش‌های جنوبی، غربی و شمال غربی منطقه دارای رخداد افزایشی می‌باشند و هر چقدر به سمت نواحی داخلی منطقه حرکت میکنیم از وقوع جست باد کاهسته می‌شود. در این فصل تنها ایستگاه آبدانان در سطح احتمالی ۹۵٪ دارای روند افزایشی و ۵۰ درصد دیگر ایستگاه‌ها افزایش جزئی و ۵۰ درصد دیگر کاهش جزئی در روند رخداد جست باد را ثبت کرده‌اند.



شکل ۴. نتایج آزمون من-کنдал و سطح معناداری در تعیین روند تغییرات سری زمانی سالانه

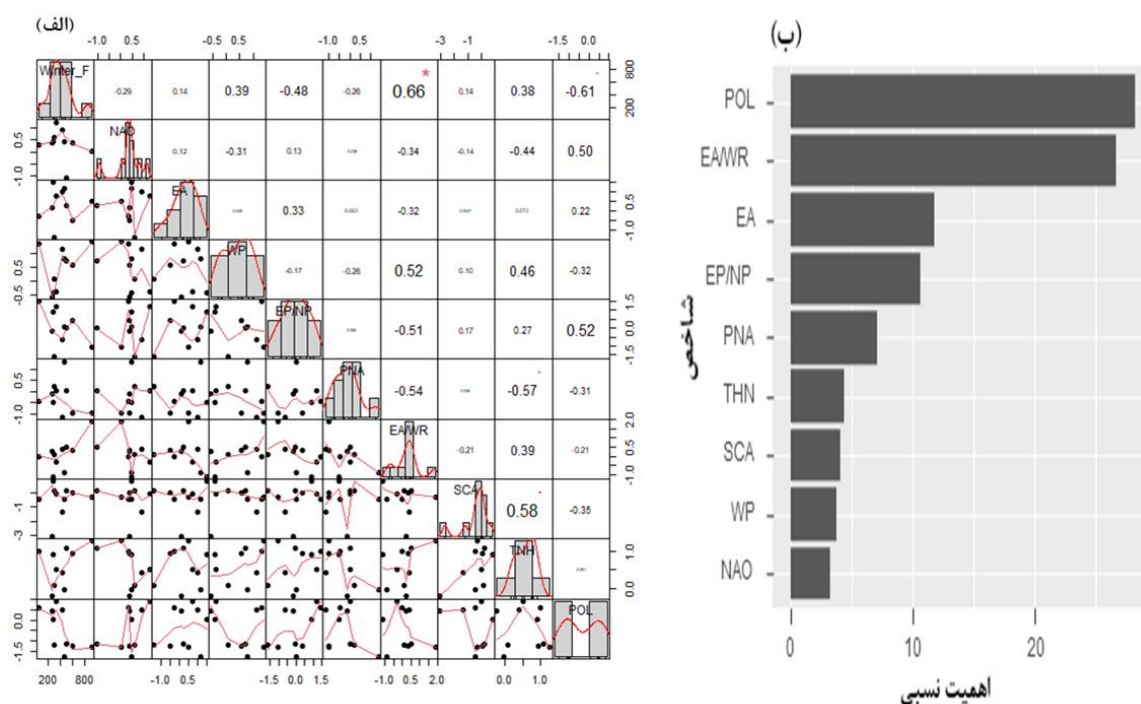


شکل ۵. نتایج آزمون من-کندال و سطح معناداری در تعیین روند تغییرات سری زمانی فصل‌های زمستان (الف)، بهار (ب)، تابستان (ج) و پاییز (د)

بررسی ارتباط الگوهای پیوند از دور با جست بادهای رخ داده در منطقه

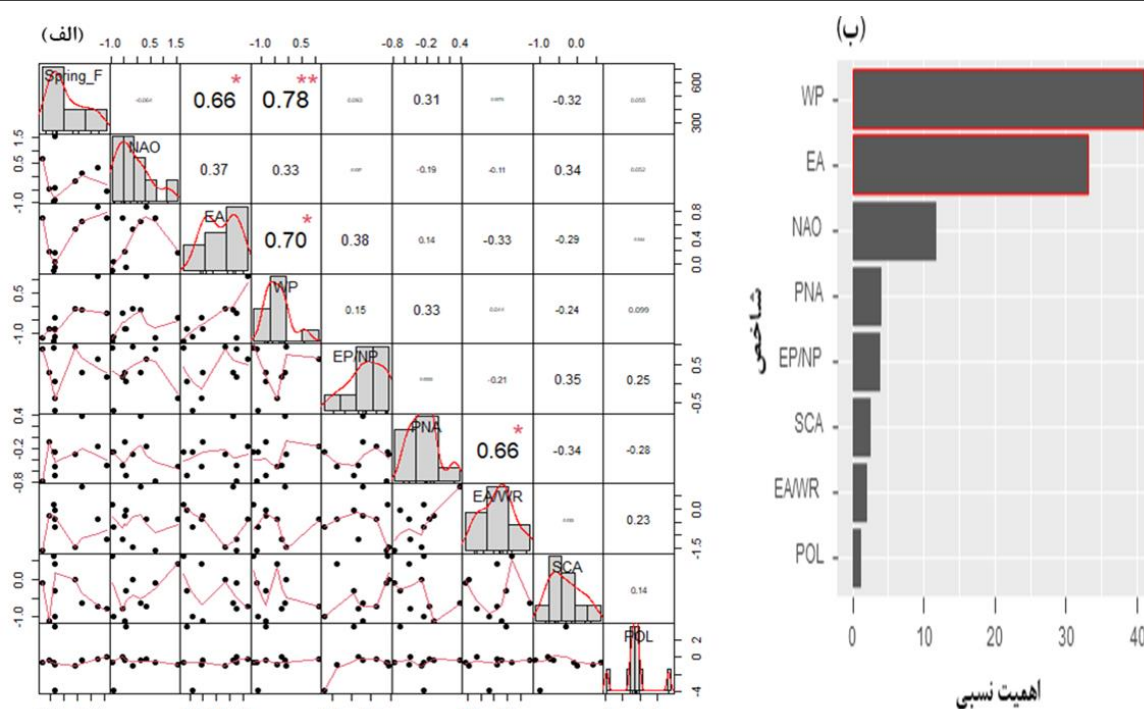
یکی از مهمترین عوامل اثر گذار بر نوسانات آب و هوایی، نقش الگوها و شاخص‌های آب و هوایی دور از منطقه مورد نظر است. شاخص‌های و الگوهای آب و هوایی معیارهایی هستند که بوسیله آنها تغییرات زمانی شدت و تغییرات مکانی الگوهای گردش جو اندازه گیری می‌شود و حسن مهم آن خلاصه شدن توان یک الگوی گستره سینوپتیکی در یک عدد خواهد بود (علیجانی، ۱۳۸۱). سیگنال‌های اقلیمی که بیانگر تغییرات دما و فشار هوا هستند، یکی از تأثیرگذارترین پارامترها در مقیاس جهانی بر الگوهای آب و هوایی به ویژه رخداد‌های حدی از قبیل جست بادهای هستند، به همین منظور برای ارزیابی گردش‌های اتمسفر در مقیاس بزرگ بر روی جست بادهای رخ داده، ۱۰ شاخص پیوند از دور انتخاب شدند. شکل شماره ۵ همبستگی اسپرمن بین الگوهای پیوند از دور و جست بادهای رخ داده فصل زمستان را همراه با اهمیت نسبی هر یک از الگوها را نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۵ الف)، الگوی شرق اطلس-غرب روسیه (EA/WR) و الگوی قطبی-اوراسیا (POL) به ترتیب در سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۰٪ با جست بادهای رخ داده در فصل بهار معنادار هستند. همانطور که در شکل (۵ ب) مشاهده می‌گردد، الگوی EA/WR و POL از مهمترین متغیرهای پیشگوی تأثیرگذار در رخداد های جست باد فصل زمستان بشمار می‌روند. الگوی شرق اطلس و غرب روسیه (EA/WR) یک نوسان اقلیمی است که به ارتباط بین فشار جو در شرق اقیانوس اطلس و مناطق غربی روسیه اشاره دارد. این

نوسان به‌ویژه بر شرایط جوی در اروپا، آسیای میانه و روسیه تأثیرگذار است و می‌تواند بر الگوهای بارش و دما در این مناطق تأثیر بگذارد. الگوی EA/WR در پیش‌بینی تغییرات فصلی، به‌ویژه در زمستان و بهار در مناطق اروپای شرقی و غربی روسیه اهمیت دارد. الگوی قطبی و اوراسیا (POL) یک نوسان اقلیمی است که به تغییرات فشار جو و جریان‌های هوایی در مناطق قطبی و اوراسیا مربوط می‌شود. این نوسان می‌تواند تأثیرات عمده‌ای بر شرایط جوی در نیمکره شمالی بگذارد (بارنستون، ۱۹۸۷).



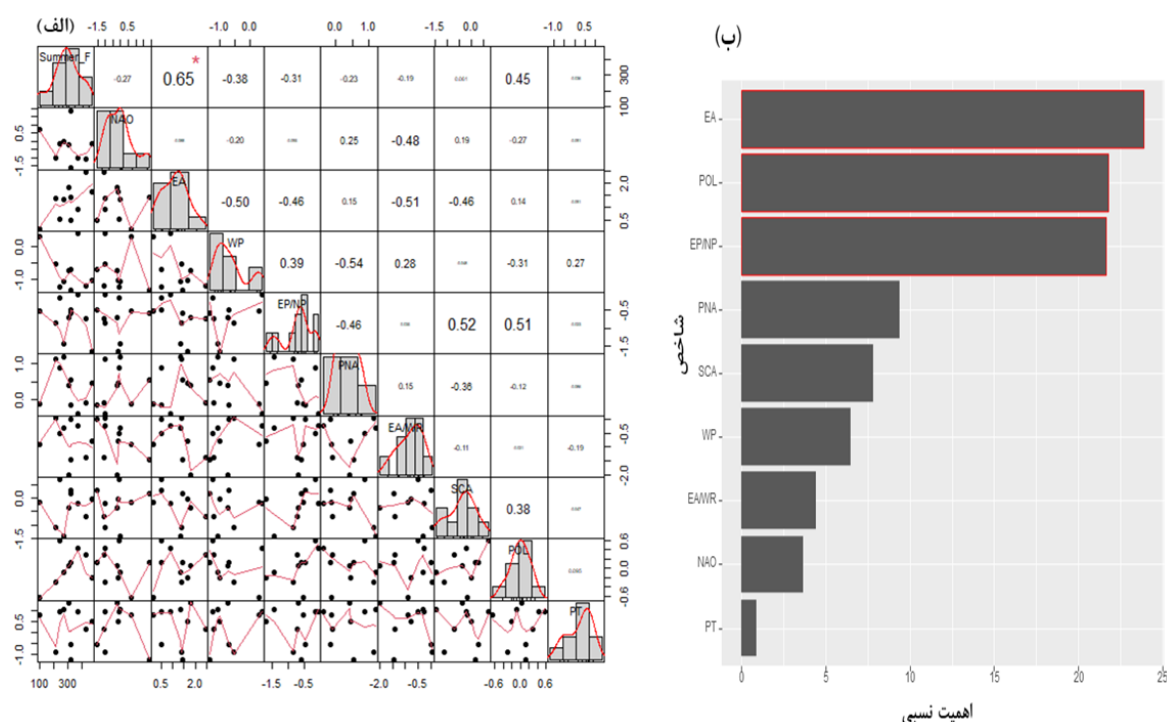
شکل ۶. همبستگی جست بادهای رخ داده فصل زمستان با شاخص‌های پیوند دور (الف) و اهمیت نسبی مبتنی بر جایگشت شاخص‌های پیوند از دور بر میزان تأثیرگذاری بر رخداد جست بادهای استفاده از مدل RW (* و * معناداری آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۰٪ را نشان می‌دهد)

در فصل بهار الگوهای معناداری نسبت به الگوهای معناداری فصل زمستان تغییر می‌کند. بر اساس شکل (الف)، الگوی غرب اقیانوس آرام (WP) و الگوی شرق اطلس (EA) به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۷۸ و ۰/۶۶ در سطوح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ با جست بادهای رخ داده در فصل بهار معنادار می‌باشند. الگوی WP با ضریب همبستگی ۰/۷۰ و سطح اطمینان ۹۵ درصد همچنین تأثیر قابل توجهی بر الگوی شرق اطلس (EA) دارد. نمودار رتبه بندی (شکل ۶ب) اهمیت نسبی شاخص‌های پیوند از دور، بیانگر نقش مهم الگوهای WP و EA بر اثرگذاری رخداد های جست باد در این فصل است. الگوی غرب اقیانوس آرام (WP) یکی از نوسانات اقلیمی است که در منطقه غربی اقیانوس آرام رخ می‌دهد. این نوسان به تغییرات فشار جو و الگوهای باد در این ناحیه وابسته است. در دوران‌های مثبت WP، شرایط جوی خاصی در نواحی آسیای شرقی و اقیانوس آرام به وجود می‌آید که می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر آب و هوا در این مناطق داشته باشد (والاس، ۱۹۸۱). الگوی شرق (EA) یک نوسان اقلیمی است که عمدتاً در نواحی شمالی اقیانوس اطلس و اروپا تأثیر دارد. این نوسان با تفاوت فشار جو در سطح دریا بین نواحی شرقی و غربی اقیانوس اطلس ارتباط دارد. الگوی شرق اطلس (EA) یک ویژگی مهم در تحلیل نوسانات جوی است (بارنستون، ۱۹۸۷).



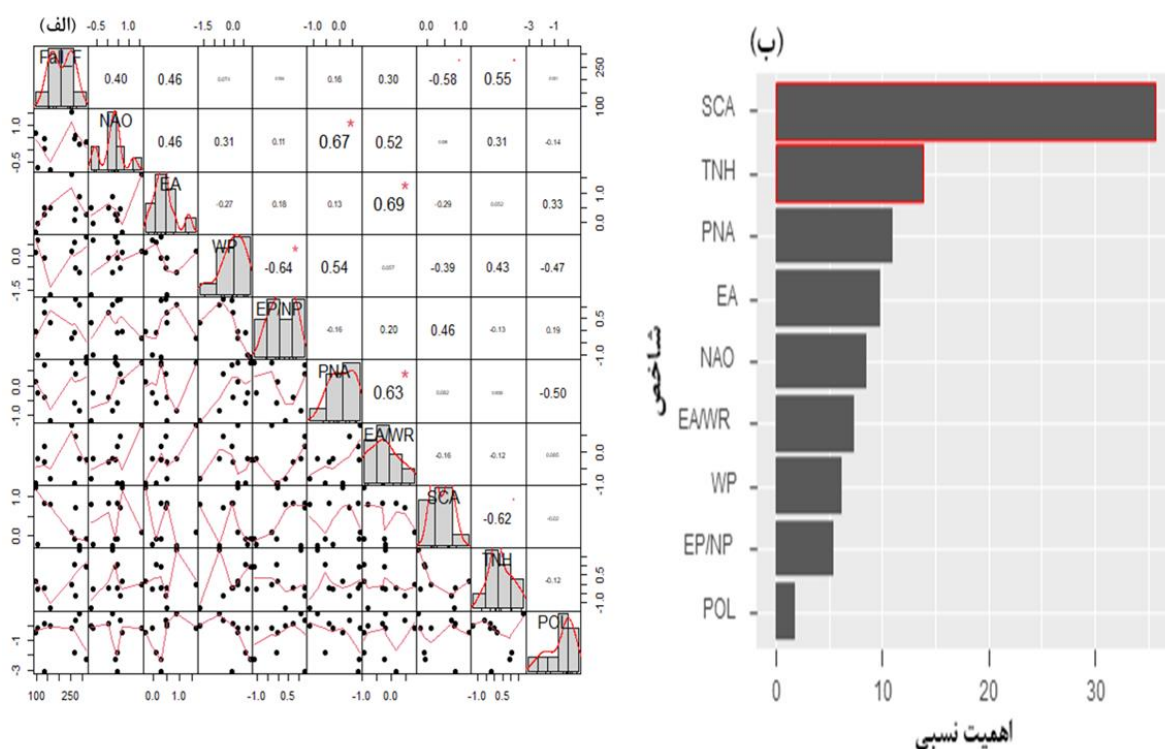
شکل ۷. همبستگی جست بادهای رخ داده فصل بهار با شاخص‌های پیوند دور (الف) و اهمیت نسبی مبتنی بر جایگشت شاخص‌های پیوند از دور بر میزان تأثیرگذاری بر رخداد جست بادهای استفاده از مدل RW (***) و * به ترتیب معناداری آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ را نشان می‌دهد)

در فصل تابستان بر اساس شکل (ب) سه الگوی مهم تأثیرگذار بر جست بادهای رخ داده عبارتند از الگوی شرق اطلس (EA)، الگوی قطبی-اوراسیا (POL) و الگوی شرق-شمال اقیانوس آرام (EP/NP)، که در این میان فقط الگوی EA یا ضریب همبستگی ۰/۶۵ با سطح اطمینان ۹۵٪ معنادار است (شکل ۷ الف). الگوی EA در دوره‌هایی که مثبت است شمال اروپا با دمای بالاتر و بارش بیشتری مواجه می‌شود، در حالی که در دوره‌های منفی شرایط خشک تری در این مناطق مشاهده می‌شود (هارل^۱، ۱۹۹۷). نوسانات در الگوی POL می‌تواند در مناطقی از اوراسیا منجر به تغییرات دمایی و بارشی گردد. الگوی شرق-شمال اقیانوس آرام (EP/NP) به نوسانات جوی و تغییرات فشار در منطقه شمالی اقیانوس آرام و سواحل غربی آمریکای شمالی اشاره دارد. این نوسان می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر شرایط جوی در اقیانوس آرام شمالی و مناطقی از آمریکای شمالی و آسیا داشته باشد (والاس، ۱۹۸۱). الگوی EP/NP به‌طور مستقیم با نوسانات دیگری مانند نوسان جنوبی اقیانوس آرام (SOI) و نوسانات اقیانوس هند ارتباط دارد. تغییرات در الگوی EP/NP می‌تواند بر شرایط اقلیمی در سایر نواحی جهان، از جمله آمریکای جنوبی و آسیا تأثیرگذار باشد (مانتوا^۲ و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل ۸. همبستگی جست بادهای رخ داده فصل تابستان با شاخص‌های پیوند دور (الف) و اهمیت نسبی مبتنی بر جایگشت شاخص‌های پیوند از دور بر میزان تأثیرگذاری بر رخداد جست بادهای استفاده از مدل RW (ب)، (* معناداری آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ را نشان می‌دهد)

کم تأثیرگذارترین الگوهای پیوند از دور از لحاظ درصد اطمینان نسبت به جست بادهای متعلق به فصل پاییز است، در این فصل دو الگوی اسکاندیناوی (SCA) و الگوی حاره- نیمکره شمالی (TNH) در سطوح اطمینان ۹۰ درصد نسبت به وقوع جست بادهای معنادار هستند. الگوی SCA یک نوسان اقلیمی است که به تغییرات فشار جو در منطقه اسکاندیناوی و نواحی اطراف آن اشاره دارد. این نوسان تأثیرات قابل توجهی بر شرایط جوی و دما در نواحی شمال اروپا و نواحی مجاور دارد (هارل و همکاران، ۱۹۹۷). الگوی اسکاندیناوی (SCA) ارتباط نزدیکی با نوسانات دیگری مانند نوسان اقیانوس اطلس شمالی (NAO) دارد. تغییرات در SCA می‌تواند بر نوسانات دیگر اقلیمی در نیمکره شمالی تأثیرگذار باشد و باعث تغییراتی در الگوهای جوی و اقلیمی جهانی شود (بارنز و همکاران، ۲۰۱۳). الگوی حاره و نیمکره شمالی (TNH) به نوسانات فشار جو و جریان‌های هوایی در مناطق حاره‌ای و استوایی نیمکره شمالی اشاره دارد. این نوسان به تغییرات اقلیمی در مناطقی از جمله آسیا، آفریقا و آمریکای شمالی منجر می‌شود و تأثیرات قابل توجهی بر بارش و دما در این مناطق دارد (چیانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). آن چیزی که در شکل ۸ (الف) بیشتر نمایان است، همبستگی و ارتباط نزدیک بین الگوهای پیوند از دور است، بطوریکه الگوی غرب اقیانوس آرام (WP) با الگوی شرق-شمال اقیانوس آرام (EP/NP)، الگوی آمریکای شمالی (PNA) با الگوی شرق اطلس و غرب روسیه (EA/WR)، الگوی شرق اطلس (EA) با الگوی شرق اطلس و غرب روسیه (EA/WR)، الگوی نوسان اطلس شمالی (NAO) با الگوی اقیانوس آرام و آمریکای شمالی (PNA) و الگوی اسکاندیناوی (SCA) با الگوی حاره- نیمکره شمالی (TNH) از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار هستند.



شکل ۹. همبستگی جست بادهای رخ داده فصل پاییز با شاخص‌های پیوند دور (الف) و اهمیت نسبی مبتنی بر جایگشت شاخص‌های پیوند از دور بر میزان تأثیرگذاری بر رخداد جست بادهای استفاده از مدل RW (ب)، (* معناداری آماری در سطح اطمینان ۹۰٪ را نشان می‌دهد)

نتیجه‌گیری

خسارت وارد شده توسط باد، مربوط به نیروی است که باد به یک مانع وارد می‌کند که متناسب با مربع سرعت باد است. جست بادهای شدید می‌توانند آسیب‌های ساختاری قابل توجهی از جمله تخریب زیرساخت‌ها مانند خطوط انتقال برق، نیروگاه‌های بادی، خورشیدی و منازل مسکونی ایجاد کنند. منطقه مورد مطالعه از قطب‌های کشاورزی کشور ایران است، همزمانی وقوع پدیده‌های همرفتی در فصل بهار با فصل رویش و گلدهی باغات، وقوع پدیده جست باد می‌تواند آسیب جدی به محصولات کشاورزی وارد نماید، لذا درک ویژگی‌های جست بادهای، برای کمک به برنامه ریزی بهتر و به حداقل رساندن تلفات مستقیم و طراحی مناسب ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها ضروری است. مطالعه حاضر به منظور بررسی توزیع فضایی و مکانی جست بادهای ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور انجام گرفت بدین منظور بعد از جمع‌آوری رخداد های جست باد از ایستگاه‌های متار برای تعیین روند فصلی از روش من کندانال و آماره P-value در محیط برنامه نویسی R استفاده شد. در مرحله بعد برای بررسی میزان اثر گذاری عناصر هواشناسی فشار و دما در ایجاد جست بادهای از رویکردهای رگرسیون در الگوریتم‌های یادگیری ماشین (رگرسیون خطی چندگانه، رگرسیون لاسو و روش وزن‌دهی نسبی) با استفاده از بسته Tidymodels تمرکز گردید. در نهایت جهت بررسی میزان اثرگذاری هر متغیر پیشگو (الگوهای پیوند از دور) بر متغیر پاسخ (جست باد) از رگرسیون لاسو و ضریب همبستگی اسپرمن در محیط برنامه نویسی R استفاده گردید. از لحاظ توزیع مکانی جست بادهای، بخش‌های شمال شرقی منطقه (استان‌های آذربایجان شرقی، اردبیل، قزوین) مستعد رخداد وزش بیشتر باد جستی نسبت به بخش‌های دیگر منطقه می‌باشند، بطوریکه بیشترین رخدادهای ایستگاه‌های فرودگاه اردبیل (۲۸۴۳ رخداد)، ایستگاه مراغه (۲۰۶۴ رخداد)، ایستگاه تاکستان (۱۸۴۴ رخداد) و ایستگاه تبریز (۱۵۵۵ رخداد) ثبت گردیده است. از لحاظ وقوع جست باد فصل بهار با بیشترین رخداد در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای بیشترین فراوانی می‌باشد. با توجه به بالا بودن عامل همرفت در این فصل (بالا بودن رطوبت جو و ساعات افتابی)، به نظر می‌رسد سیستم‌های همرفتی منبع اصلی جست بادهای در این فصل باشند. نتایج این بخش از تحقیق با

نتایج تحقیقاتی که در زمینه جست باد توسط محمدی و همکاران (۱۴۰۲) و نتایج تحقیقات قویدل و همکاران (۲۰۱۷) صورت گرفته است که معتقد بودند بیشترین رخداد جست باد در نیمه اول سال مخصوصاً فصل بهار رخ داده است، همخوانی دارد. بعد از فصل بهار، فصل زمستان از نظر رخداد جست باد در مرتبه دوم قرار دارد. در این فصل در کنار سیستم‌های سینوپتیکی که باعث شکل‌گیری جست بادهای می‌شوند، عوامل محلی نیز بر تشدید جست بادهای تأثیرگذار هستند. در بررسی میزان تأثیرگذاری هر یک از مولفه‌های پیشگو (فشار و دما) بر متغیر پاسخ (جست باد) بر اساس برون‌داد نتایج مدل (MLR) و (RW)، مشخص گردید که در ۶۷ درصد ایستگاه‌های متار، عنصر فشار هوا بعنوان مهمترین عامل تأثیرگذار در رخداد جست باد معرفی می‌شود. در بررسی روند فصلی جست بادهای، در فصل زمستان بخاطر بالا بودن میزان عبور سامانه‌های ناپایدار جوی از منطقه در ۷۸ درصد ایستگاه‌ها رخداد جست باد حالت افزایشی دارد. در فصل بهار به علت افزایش دمای سطحی، رطوبت کافی در جو و ناپایداری بیشتر در لایه مرزی، شرایط مطلوب برای تشکیل همرفت عمیق و وقوع تعداد بیشتر توفان‌های تندری همراه با جست باد فراهم می‌شود، بگونه‌ای که در بیش از ۷۲ درصد ایستگاه‌ها، جست بادهای روند افزایشی دارند. که از این تعداد ایستگاه‌های خرم‌آباد، آبدانان، همدان فرودگاه و ارومیه دارای روند صعودی معنادار می‌باشند. در فصل تابستان روند غالب در بخش اعظم منطقه، روند صعودی است. در فصل پاییز، بطور کلی ایستگاه‌های بخش‌های جنوبی، غربی و شمال غربی منطقه دارای رخداد افزایش می‌باشند و هر چقدر به سمت نواحی داخلی منطقه حرکت می‌کنیم از وقوع جست باد کاهسته می‌شود. الگوهای پیوند از دور که بیانگر تغییرات دما و فشار هوا هستند، یکی از تأثیرگذارترین پارامترها در مقیاس جهانی بر الگوهای آب و هوایی به ویژه رخداد‌های حدی از قبیل جست بادهای هستند. در فصل زمستان الگوی شرق اطلس - غرب روسیه (EA/WR) و الگوی قطبی و اوراسیا (POL) از مهمترین متغیرهای پیشگوی تأثیرگذار در رخداد‌های جست باد محسوب می‌شوند. در فصل بهار اهمیت نسبی شاخص‌های پیوند از دور، بیانگر نقش مهم الگوهای غرب اقیانوس آرام (WP) و شرق اطلس (EA) بر اثرگذاری رخداد‌های جست باد می‌باشند. در فصل تابستان الگوی شرق اطلس (EA) و در فصل پاییز دو الگوی اسکاندیناوی (SCA) و الگوی حاره - نیمکره شمالی (TNH) بیشترین اثرگذاری را در وقوع جست بادهای دارند. در همین راستا در ارتباط با روند جست بادهای و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور تحقیقی که توسط ازورین-مولینا و همکاران در سال ۲۰۱۶ در اسپانیا و پرتغال صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که روند جست بادهای در دوره گرم سال (می تا اکتبر) افزایشی و دوره سرد سال (نوامبر تا آوریل) دارای روند کاهشی هستند، همچنین رخداد جست بادهای با شاخص نوسان اقیانوس اطلس شمالی دارای همبستگی منفی و با شاخص طبقه بندی نوع آب و هوای جنکینسون - کلیسون همبستگی مثبت نشان می‌دهد. لازم به ذکر است این پژوهش به منظور به دست آوردن شناختی اولیه از چگونگی توزیع زمانی - مکانی، تعیین روند و ارتباط جست باد با سیگنال‌های اقلیمی صورت گرفت. نتایج این تحقیق می‌تواند مقدمه مطالعات آینده در زمینه پیش بینی وقوع جست باد در منطقه، مورد استفاده قرار گیرد. تشخیص موقعیت زمانی و مکانی رخداد جست باد در کنار ساز و کار شکل‌گیری این پدیده و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور و در نهایت پیش بینی آن می‌تواند به کاهش بلایای طبیعی کمک کند. با توجه به محدودیت‌ها در داده‌های مشاهدات موجود (عمدتاً ایستگاه‌های هواشناسی بصورت سنتی در ساعت دیده بانی توسط دیده بان مبادرت به انجام گزارش می‌کنند) این امر میسر نمی‌شود جز اینکه تمامی ایستگاه‌های سنجش باد مجهز به سنسورها جهت ثبت گزارشات جهت و سرعت باد بصورت لحظه‌ای باشند.

منابع

اکبری ازیرانی، طویه و پژوه، فرشاد (۱۴۰۰). *الگوهای پیوند از دور و بازخورد‌های جو- اقیانوس (با تاکید بر ایران)*، نشر جهاد دانشگاهی.

جلالی لیچایی، مجتبی و نبی بیدهندی، مجید (۱۳۸۵). مقایسه روش‌های رگرسیون خطی چندگانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای برآورد تخلخل و نفوذ پذیری، علوم زمین، ۱۴۹-۱۴۰.

- حبیبی، فریده (۱۴۰۰). امکان سنجی پیش بینی باد جستی با استفاده از داده کاوی و رگرسیون بر اساس مجموع داده‌های میدانی محدود، *مجله ژئوفیزیک/ایران*، ۱۵ (۲)، ۷۰-۴۷.
- رحیمی، نفیسه؛ جهانبخش، سعید؛ صلاحی، برومند (۱۳۹۸). تحلیل آماری - همدید بادهای توفنده زمستانه و تابستانه شهرستان‌های اردبیل، پارس آباد و خلخال در بازه زمانی ۱۹۹۲-۲۰۱۲. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*. ۲۳ (۷۰)، ۱۶۷-۱۴۵.
- عزیزی، قاسم؛ فرید مجتهدی، نیما؛ شعبان‌زاده؛ فائزه، نگاه؛ سمانه و عابد، حسن (۱۳۹۶). رفتارشناسی باد در ایستگاه‌های کوهستانی البرز غربی تحت تاثیر واداشتهای محیطی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*. ۲۱ (۶۲)، ۲۰۳-۲۲۲.
- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱). اقلیم شناسی سینوپتیک، انتشارات سمت.
- محمدی، محمدحسام؛ مشکوتی، امیرحسین؛ قادر، سرمد و آزادی، مجید (۱۴۰۲). بررسی توزیع زمانی- مکانی و امکان پیش بینی جست باد در ایران، *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۲ (۴۵)، ۲۲۸-۲۰۹.
- مشکوتی، امیرحسین؛ محمدی، امیرحسام؛ سرمد، قادر و آزادی، مجید (۱۴۰۱). ارزیابی دو روش پیش بینی تندی جست باد در ایران و پس پردازش نتایج با بهره گیری از شبکه عصبی مصنوعی، *مجله ژئوفیزیک/ایران*، ۱۶ (۲).
- میرعباسی نجف آبادی؛ رسول و دین پژوه، یعقوب (۱۳۹۴). بررسی روند تغییرات سرعت باد در ایستگاه‌های منتخب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*. ۱۹ (۵۲)، ۲۲۷-۳۰۱.
- Akbari Azirani Tayyebbeh; Pajouh Farshad. (2021). *Remote coupling patterns and atmosphere-ocean feedbacks (with emphasis on Iran)*, Jihad Daneshgahi Publications. [In persian]
- Alijani, Bahloul. (2002). *Synoptic Climatology*, Samt Publications. [In persian]
- Azorin-Molina, C., J.-A. Guijarro, T. R. McVicar, S. M. Vicente-Serrano, D. Chen, S. Jerez, and F. Espírito-Santo (2016), *Trends of daily peak wind gusts in Spain and Portugal, 1961–2014*, J. Geophys. Res. Atmos., 121, 1059–1078. doi:10.1002/2015JD024485
- Barnston, A. G., & Livezey, R. E. (1987). *Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns*. *Monthly weather review*, 115(6), 1083-1126.
- Brasseur O. 2001. *Development and application of a physical approach to estimating wind gusts*. *Mon Weather Rev* 129:5–25. DOI: 10.1175/1520-0493(2001)129<0005:DAAOAP>2.0.CO;2.
- Bureau of Meteorolog (2019). <http://www.bom.gov.au/climate/current/532/month/wa/archive/201910.-summary.shtml>.
- Chiang, J. C. H., & Friedman, A. R. (2012). *Seasonal and interannual variability of the tropical Northern Hemisphere*. *Journal of Climate*. DOI: 10.1029/2011JD016936.
- 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. DOI: 10.1016/j.jweia.2014.01.006.
- Deser, C., et al. (2010). "The role of the Arctic Oscillation in climate variability." *Nature*.
- Dowdy, A., Brown, A., Pepler, A., Thatcher, M., Rafter, T., & Evans, J. (2010). *Extreme temperature, wind and bushfire weather projections using a standardised method*. Vol. 27, pp. 3848-3868.
- 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>.
- Efron, B., Hastie, T., Johnstone, I. and Tibshirani, R. (2004), *Least Angle Regression*, *Annals of Statistics*, 32, 407–499. DOI: 10.1214/009053604000000067.
- El Rafei, M., Sherwood, S., Evans, J. P., & Ji, F. (2023). *Analysis of extreme wind gusts using a high-resolution Australian regional reanalysis*. *Weather and Climate Extremes*, 39, 100537. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100537>.

- 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>
- Ghavidel, Y., Baghbanan, P., Farajzadeh, M., 2017. *The spatial analysis of thunderstorm hazard in Iran*. *Arabian Journal of Geosciences*. 10 (5): 1-13. <http://doi.org/10.1007/s12517-017-2902-7>.
- Habibi Farideh. (2021). *Feasibility of wind forecasting using data mining and regression based on limited field data*, *Iranian Journal of Geophysics*, Volume 15, Number 2, [10.30499/ijg.2021.257169.1301](https://doi.org/10.30499/ijg.2021.257169.1301) [In persian].
- Harper, B. A., Kepert, J. D., & Ginger, J. D. (2010). *Guidelines for converting between various wind averaging periods in tropical cyclone conditions*.
- Holmes, J. D. (2002). *A re-analysis of recorded extreme wind speeds in region A*. *Australian Journal of Structural Engineering*, 4(1), 29-40. <http://dx.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. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105\(99\)00056-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-6105(99)00056-2).
- Hurrell, J. W. (1997). *Decadal variations in the North Atlantic Oscillation and associated climate impacts*. *Geophysical Research Letters*. DOI: [10.1023/A:1005314315270](https://doi.org/10.1023/A:1005314315270).
- Hurrell, J. W., & Van Loon, H. (1997). *Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation*. *Climatic change*, 36(3). 301-326, DOI: [10.1023/A:1005314315270s](https://doi.org/10.1023/A:1005314315270s).
- Jalali Lichaei Mojtaba; Nabi Bidhendi Majid. (2006). *Comparison of multiple linear regression methods and artificial neural networks for estimating porosity and permeability*, *Earth Sciences*, 149-140. [In persian]
- Johnson, J. and J. LeBreton. (2004). *History and Use of Relative Importance Indices in Organizational Research*. *Organizational Research Methods* 7: 238–257. <http://dx.doi.org/10.1177/1094428104266510>.
- Johnson, J. (2004). *Factors Affecting Relative Weights: The Influence of Sample and Measurement Error*. *Organizational Research Methods* 7: 283–299.
- Kabacoff, R.I. (2022). *R in Action, Third Edition, Data analysis and graphics with R and tidyverse*, Efron, B., Hastie, T., Johnstone, I. and Tibshirani, R. *Least Angle Regression*, *Annals of Statistics*, 32, 407–499.
- 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>.
- LeBreton, J. M and S. Tonidandel. (2008). *Multivariate Relative Importance: Extending Relative Weight Analysis to Multivariate Criterion Spaces*. *Journal of Applied Psychology* 93: 329–345. DOI: [10.1037/0021-9010.93.2.329](https://doi.org/10.1037/0021-9010.93.2.329).
- Mantua, N.J., Hare, S.R. (2002). *The Pacific Decadal Oscillation*. *Journal of Oceanography* 58, 35–44. <https://doi.org/10.1023/A:1015820616384>
- Meshkoti Amir Hossein; Mohammadi Amir Hossam; Sarmad Ghader; Azadi Majid. (2022). *Evaluation of two methods for predicting wind speed in Iran and post-processing the results using artificial neural networks*, *Iranian Journal of Geophysics*, Volume 16, Number 2. [10.30499/ijg.2022.316808.1381](https://doi.org/10.30499/ijg.2022.316808.1381) [In persian]
- Meteorology Glossary. (2012). AMS. URL: <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Gust>.
- Mohammadi Mohammad Hesam; Meshkooti Amir Hossein; Ghader Sarmad; Azadi Majid. (2023). *Study of the temporal-spatial distribution and the possibility of predicting wind gusts in Iran*, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, Year 12, Issue 45, 209-228, [10.22067/geoh.2022.74312.1148](https://doi.org/10.22067/geoh.2022.74312.1148) [In persian].

- Mohr, S., Kunz, M., Richter, A., and Ruck, B. (2017). *Statistical characteristics of convective wind gusts in Germany*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 17, 957–969, <https://doi.org/10.5194/nhess-17-957-2017>. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-957-2017>.
- Owlad, E., Stoffelen, A., Ghafarian, P., & Gholami, S. (2022). *Wind field and gust climatology of the Persian Gulf during 1988–2010 using in-situ, reanalysis and satellite sea surface winds*. Regional Studies in Marine Science, 52, 102255. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102255>.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAM2199.1>.
- Potter, B. E. (2012). *Atmospheric interactions with wildland fire behaviour—I. Basic surface interactions, vertical profiles and synoptic structures*. International Journal of Wildland Fire, 21(7), 779-801. DOI: [10.1071/WF11128](https://doi.org/10.1071/WF11128).
- Serrano, A., Mateos, V. L., and Garcia, J.A., (1999): *Trend Analysis of Monthly Precipitation Over The Iberian Peninsula for The Period 1921-1995*. Phys. Chem. EARTH (B), Vol. 24, NO. 1-2:85-90. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(98\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(98)00016-1).
- Soekkha, H. M. (Ed.). (1997). *Aviation safety: Human factors, system engineering. management*. VSP, 104, 266-277. <https://doi.org/10.1201/9780429070372>.
- Solari, G., Repetto, M. P., Burlando, M., De Gaetano, P., Pizzo, M., Tizzi, M., & Parodi, M. (2012). *The wind forecast for safety management of port areas*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 104, 266-277.
- 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. Standardised Method. Bureau Research Report 055, Australian Bureau of Meteorology, p. 63. DOI: [10.1016/j.jweia.2021.104529](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. DOI: [10.1175/MWR-D-21-0059.1](https://doi.org/10.1175/MWR-D-21-0059.1).
- Turgay, P. and Ercan K. (2005): *Trend Analysis in Turkish Precipitation Data*. Hydrological Processes Published Online in Wiley Inter Science (www.interscience.wiley.com). DOI: [10.1002/hyp.5993](https://doi.org/10.1002/hyp.5993).
- Wallace, J M; D. S. Guzzler (1981), *Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter*, Monthly Weather Review , 109: 784-812. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1981\)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2).
- Wei, T. and Simko, V. (2021). *R Package “Corrplot”: Visualization of a Correlation Matrix*. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2025.01.004>.
- Wood, K. M., Johnson, A., & Black, T. (2024). *Climatology and synoptic patterns of extreme wind gusts across the Middle East*. International Journal of Climatology, 44(3), 1550–1568. <https://doi.org/10.1002/joc.7892>.
- 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. <http://news.mrud.ir>. <https://doi.org/10.1007/s40333-018-0094-y>.