



Connection of Eurasia-Northern Atlantic Blockings with Pervasive wet and dry months in Iran

Meysam Toulabi nejad ^a, Zahra Hejazi zadeh ^{b*}, Anthony R. Lupo ^c, Mohammad Saliqeh ^d

^a PhD in Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

^b Professor, Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

^c Professor of Atmospheric Sciences, Department of Soil, Environmental and Atmospheric Sciences, University of Missouri – Columbia, USA

^d Associate Professor, Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 1 May 2021

Revise: 19 May 2021

Accepted: 9 July 2021

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship between Eurasia-Northern Atlantic Blocking with wet and dry months in Iran. The research data were included monthly rainfall of 43 Iranian synoptic stations, geopotential height data, and Blocking components from 1973 to 2018. To study Blockings, the Blocking Index (BI) was used; ZSI index was used to extract dry and wet year months. To investigate the relationship between Blocking components with drought and wet year, Pearson correlation and multivariate regression were used. The results of rainfall data showed that dry months occurred almost 3 times higher than wet months. The results showed that Rex and cuts of low Blockings have the highest strength and severity in the North Atlantic region. The study of the monthly relationship of blocking components with wet and dry months showed that the relationship was more frequent and significant in the months. With the abundance and severity of the scouring of the trolley, they have also increased and whenever the intensity and abundance are less. Wet year had also dropped and dry months in Iran have grown. In terms of location, the nucleus formed between 30 and 55 degrees north and +30 to -30 in the Atlantic area have had the greatest effect on Iran's inclusive wet year, because the formation of blockings in the blue zone and more power to affect Putting the lands on their path. But whenever Blockings are formed during 50 to 90 degrees, the drought has increased more. The results of multivariate regression test between blocking components and wet year (drought) showed that the effect of blocking components on Iran's wet year was about 96% and drought was about 84%.

Keywords: Blocking systems, BI index, wet year, Drought, Iran.

*. Corresponding author: Zahra Hejazi zadeh E-mail: hejazizadeh@tmu.ac.ir Tel: + 989121092405

How to cite this Article: Toulabi nejad, M., Hejazizadeh, Z., R. Lupo, A., Saligheh, M. (2021). Connection of Eurasia-Northern Atlantic Blockings with Pervasive wet and dry months in Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 83-104.

doi: 10.22067/geoh.2021.70187.1054



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant with open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 10, Issue 3 - Number 39, Fall 2021

<https://geoeh.um.ac.ir>

doi: <https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.70187.1054>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره سی و نهم، پاییز ۱۴۰۰، صص ۱۰۴-۸۳

مقاله پژوهشی

پیوند بندال‌های اوراسیا- اطلس شمالی با ماه‌های تر و خشک فراگیر در ایران

میثم طولابی نژاد- دکتری اقلیم‌شناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران.

زهرا حجازی زاده^۱- استاد گروه اقلیم‌شناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

آنتونی آرلویو- استاد علوم جوی، دانشکده خاک، محیط‌زیست و علوم جوی، دانشگاه میسوری-کلمبیا، آمریکا.

محمد سلیقه- دانشیار گروه اقلیم‌شناسی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۴/۱۸

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی ارتباط بلاکینگ‌های اوراسیا- اطلس شمالی با ماه‌های تر و خشک فراگیر در ایران نوشته شد. داده‌های تحقیق شامل: بارش ۴۳ ایستگاه سینوپتیک ایران، داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ و مؤلفه‌های بلاکینگ از سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸ می‌باشد. برای مطالعه بلاکینگها از شاخص بلاکینگ (BI) استفاده شد؛ و برای استخراج ماه‌های خشک و تر نیز از شاخص ZSI استفاده شد. برای بررسی ارتباط مؤلفه‌های بلاکینگ با خشکسالی و ترسالی‌ها نیز از همبستگی پیرسون و رگرسیون چند متغیره استفاده گردید. نتایج بررسی داده‌های بارش نشان داد که ماه‌های خشک تقریباً ۳ برابر بیشتر از ماه‌های تر رخ داده است. نتایج نشان داد که بلاکینگ رکس و بریده کم‌فشار بیشترین قدرت و شدت را در منطقه اطلس شمالی داشته‌اند. بررسی ارتباط ماهانه مؤلفه‌های بلاکینگ با ماه‌های تر و خشک فراگیر نشان داد که ارتباط ماه‌های تر با فراوانی و شدت مستقیم و معنادار بوده است. با رشد فراوانی و شدت بلاکینگ ترسالی‌ها نیز افزایش پیدا کرده‌اند؛ و هر زمان که شدت و فراوانی کمتر شده است. ترسالی نیز کاهش یافته و ماه‌های خشک فراگیر در ایران نیز رشد کرده‌اند. از لحاظ موقعیت مکانی نیز هسته بلاکینگ‌های تشکیل شده بین

Email: hejazizadeh@tmu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۰۹۲۴۰۵

نحوه ارجاع به این مقاله :

طولابی نژاد، میثم، حجازی زاده، زهرا، آر لویو، آنتونی، سلیقه، محمد. (۱۴۰۰). پیوند بندال‌های اوراسیا-

اطلس شمالی با ماه‌های تر و خشک فراگیر در ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۰(۳)، صص ۱۰۴-۸۳.

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.70187.1054>

عرض ۳۰ تا ۵۵ درجه شمالی و طول ۳۰+ تا ۳۰- در منطقه اطلس بیشترین اثر را در ترسالی‌های فراگیر ایران داشته‌اند، چراکه تشکیل بلاکینگ‌ها در پهنه آبی انرژی و قدرت بیشتری برای تحت تأثیر قرار دادن سرزمین‌ها در مسیر خود دارند؛ اما هر زمان که بلاکینگ‌ها در طول ۵۰ تا ۹۰ درجه شرقی شکل گرفته‌اند خشکی فراگیر بیشتر شده است. نتایج آزمون رگرسیون چند متغیره بین مؤلفه‌های بلاکینگ و ترسالی (خشکسالی) نشان داد که اثر مؤلفه‌های بلاکینگ بر ترسالی‌های ایران حدود ۹۶ درصد و خشکسالی حدود ۸۴ درصد بوده است.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌های بندال، شاخص BI، ترسالی، خشکسالی، ایران.

۱- مقدمه

یکی از الگوهای گردشی که احتمال اثر آن بر روی اقلیم ایران زیاد است، سامانه‌های بندالی است. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که جریان‌های غربی که در حالت طبیعی از غرب به شرق در حال حرکت هستند، مسیر اصلی خود را به سمت شمال یا جنوب تغییر داده و اقلیم مناطقی را که می‌بایست از روی آنها عبور می‌کردند را متأثر می‌کند. البته، برای مناطق واقع در ناحیه پشته، خشکی و گرما و برای مناطق واقع در ناحیه ناوه نیز، ناپایداری، سرما و بارش به ارمغان می‌آورد (شویرز و همکاران^۱، ۲۰۰۴). این ناهنجاری آب‌وهوایی از دهه ۵۰ میلادی و به‌ویژه در سال‌های گذشته مورد توجه اقلیم‌شناسان قرار گرفته است؛ اما، هنوز توافق کلی در مورد سازوکار، ایجاد، تداوم و مرگ آن وجود ندارد (عزیزی و خلیلی، ۱۳۹۰).

بندال بروز یک ناهنجاری جوی، پدیده‌ای طبیعی است که ریشه در تغییرپذیری اقلیم و مهمتر از همه، گردش عمومی جو دارد. با توجه به این مهم می‌توان گفت که سیستم‌های کنترل‌کننده گردش عمومی جو، سیکلون‌ها، آنتی-سیکلون‌ها و جبهه‌های هوا می‌باشند که آب‌وهوای عرض‌های میانه کره زمین را کنترل می‌کنند (کاوایانی و علیجانی، ۱۳۹۰)؛ بنابراین علل بروز فرین‌های اقلیمی نظر بارش‌های سنگین را نیز باید در تغییرات و ناهنجاری الگوهای جوی جستجو کرد. یکی از این ناهنجاری‌ها، بندال جوی یا همان سیستم مانع می‌باشد. پدیده بندال به عنوان یکی از ناهنجاری‌های جوی می‌تواند بسیار مؤثر باشد (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۱). این سیستم بندال به عنوان پدیده‌ای دینامیک معرفی شده که پیش‌بینی آن می‌تواند وضعیت هوا را در مقیاس متوسط و کوتاه بهبود بخشد (پاوان و همکاران^۲، ۲۰۰۰؛ شبار و همکاران^۳، ۲۰۰۱؛ تریگو و همکاران^۴، ۲۰۰۶، ۲۰۰۴؛ شیرر و همکاران^۵، ۲۰۰۶)؛ بنابراین شناسایی این سامانه‌ها و همزمانی آن با ترسالی‌ها در پیش‌آگاهی این پدیده‌ها دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. ایران نیز

1 Schwierz et al
2 Pavan et al
3 Shabbar et al
4 Trigo et al
5 Scherer et al

که در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی قرار دارد؛ در نتیجه تحت تأثیر جریان‌های غربی است؛ بنابراین سامانه‌های باران‌زایی که روی اقیانوس اطلس و به‌ویژه در شرق این اقیانوس شکل می‌گیرند، در اغلب موارد در بستر موج‌های غربی بدون عبور از روی ترکیه و ایران از سمت اروپای مرکزی به‌سوی عرض‌های بالا حرکت می‌کنند. چنانچه این سامانه‌های باران‌زا با کمک بندال‌ها بتوانند به عرض‌های پایین‌تر نفوذ کنند می‌توانند ایران را متأثر کرده و باعث ترسالی در ایران گردند؛ اما چنانچه نتوانند نفوذ کنند ایران با خشکسالی مواجه خواهد شد که اثرات زیان‌بار انسانی و زیست محیطی جبران‌ناپذیری به بار خواهد آمد.

پژوهش‌های فراوانی چه در سطح جهان و چه در سطح ایران نشان داده‌اند که اکثر نوسانات اقلیمی متأثر از الگوهای گردش جوی هستند (تران و همکاران^۱، ۲۰۰۲؛ فاولر و آدامز^۲، ۲۰۰۴؛ خوش اخلاق، ۱۳۷۶؛ ناظم السادات و همکاران، ۱۳۸۶؛ صداقت کردار و فتاحی، ۱۳۸۷؛ طولابی نژاد و همکاران، ۱۳۹۷). رکس^۳ (۱۹۵۰)، از اولین پژوهشگرانی است که در مورد بندال به تحقیق پرداخته و اثرات آن بر سطح زمین و عناصر اقلیمی را شرح داد. سپس تریدل^۴ (۱۹۸۱)، عملکرد بندال‌ها در نیمکره شمالی را مورد بررسی قرار داد؛ اما از اولین محققینی که با مدل عددی به بررسی بندال پرداختند می‌توان به وایدنمن^۵ و همکاران (۲۰۰۲)، اشاره نمود که به مطالعه اقلیم‌شناختی از رخداد بندال در نیمکره شمالی و جنوبی برای یک دوره ۳۰ ساله پرداختند. در این مطالعه ویژگی‌های آنتی سیکلون بندال شامل؛ مطالعه فراوانی رخداد، منطقه تشکیل آن، طول مدت روزهای بندال و شدت آن مورد بررسی قرار گرفته به طوری که نتایج نشان دادند که رخدادهای بندال در نیمکره شمالی و جنوبی بیشترین فراوانی و شدت را در فصل سرد دارند. همچنین تریگو و همکاران (۲۰۰۴)، آشکار ساخت که سامانه‌های بندالی در بهار و اواخر زمستان به حداکثر قدرت خود می‌رسند و در فصل پاییز و تابستان حداقل روزهای همراه با این سیستم‌ها مشاهده می‌شود. وی همچنین به بررسی ارتباط بندال با ناهنجاری دمایی و بارشی پرداخت که نتایج ارتباط معناداری را نشان دادند. سیلمن^۶ (۲۰۰۸)، با استفاده از مدل زوجی جوی اقیانوسی ECHAM5 / MPI-OM به شناسایی و شبیه‌سازی بندال‌ها پرداخت و نتایج قابل توجهی به دست آورد. او نتیجه گرفت مدل فوق، ضمن کاهش خطاهای احتمالی در تحلیل و شبیه‌سازی وقایع حدی، خروجی‌های توانمندی را برای پیش‌بینی‌های جوی ارائه می‌دهد. همچنین با تمرکز بر روی فراوانی و توزیع مکانی و فضایی بندال‌ها، به همبستگی‌های معناداری بین وقوع بندال و دماهای کمینه زمستان در اروپای مرکزی دست یافت. لupo و همکاران^۷ (۲۰۱۷)، فهرست جامعی از سامانه‌های جهانی بندال که در اواخر قرن بیستم رخ داده و شامل

1 Tran et al

2 Fowler & Adams

3 Rex

4 Triedl

5 Wiedenmann et al

6 Silmann

7 Lupo et al

شدت بندال بود، مورد بررسی قرار دادند. علاوه بر تأیید نتایج سایر آزمایشگاه‌های شناخته شده، آن‌ها دریافتند که بندال‌های نیمکره شمالی قوی‌تر از حوضه نیمکره جنوبی بوده و رویدادهای زمستانی قوی‌تر از تابستان است. وولینگ^۱ و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیقی با عنوان بلاکینگ و پاسخ آن به تغییر اقلیم، وقایع مسدود کننده اتمسفری با تأثیر بالا را با استفاده از مدل‌های عددی در برخی از الگوهای آب‌وهوایی عرض‌های جغرافیایی میانه بررسی کردند. ایشان دریافتند که اصطلاح "بلاک یا انسداد" طیف‌های متنوعی از الگوهای سینوپتیک را در بر می‌گیرد که با تغییرپذیری طبیعی؛ احتمالاً طی چند دهه آینده بر تغییرات اقلیمی منطقه حاکم خواهد شد. صدف و همکاران^۲ (۲۰۲۰) با اثر سیستم‌های بلاکینگ را بر بارش‌های سنگین پاکستان در دوره مرطوب بررسی کرده و دریافتند که وجود یک سیستم بلاک در غرب پاکستان عنصر بسیار مهمی برای این گونه بارش‌ها می‌باشد.

در ایران نیز نخستین قدم اساسی در شناخت پدیده بندال در ایران را عزیزی (۱۳۷۸) برداشت و به بررسی اثر این سامانه بر بارش‌های ایران پرداخت. همچنین عزیزی و همکاران (۱۳۹۰)، در تحقیقی دیگر با تحلیل اثر سامانه بندال در ایجاد بارش‌های شدید دریافتند که، استقرار سامانه بندال در غرب منطقه مورد مطالعه و جابجایی ناوه وابسته بدان به عرض‌های جنوبی‌تر همراه با سبب فعالیت مناسب ناوه کم ارتفاع جنوب سامانه در منطقه شمالغرب ایران شده و در نتیجه وقوع بارش شدید در منطقه مورد مطالعه را باعث گردیده است. ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۱)، اثر سامانه‌های بندالی بر دوره‌های خشک شمال غرب ایران را بررسی کرده و دریافتند که الگوهای حاکم بر دوره‌های خشک در این منطقه یکسان نیستند. عابدی و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی اقلیمی سامانه‌های بندالی نیمکره شمالی و ایران پرداخته و دریافتند که رخداد بندال در اطلس دو برابر آرام و سه برابر آمریکا و غرب اروپا است و کمترین رخدادها در شرق آسیا و شرق اروپا است. در ایران یازده سال بدون رخداد و سال ۱۹۷۵ بیشترین درصد فراوانی مشاهده شد. طولابی نژاد و همکاران نیز (۱۳۹۷) نیز توزیع فضایی سامانه‌های بندالی و همزمانی آن با ترسالی‌های فصل‌های سرد در ایران را بررسی کرده و دریافتند در مواقع ترسالی در ایران طی ماه‌های سرد سال، هسته اصلی بندال‌ها در میان طول جغرافیایی ۳۰ درجه غربی تا ۳۰ درجه شرقی بر روی پهنه‌های آبی شکل می‌گیرد و هرچه به فصل گرم سال نزدیک می‌شویم، این هسته‌ها به خشکی منتقل شده و مناطق تحت سیطره خود را با دگرگونی مثبت در پارامتر بارش و در نتیجه ترسالی مواجه می‌سازد.

کشور پهناور ایران بارشی در حدود یک سوم بارش جهانی دارد و در یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است، بنابراین خشکی جزء فطرت و صفت اصلی این منطقه به شمار می‌آید. تغییرات شدید مقدار بارش و شدت و پراکنش زیاد آن از دیگر خصوصیات آن به حساب می‌آید. در سال‌های اخیر بنا به عللی که غالباً مربوط به تغییرات جهانی اقلیم هستند، ناهنجاری‌های بارش در نواحی مختلف کشور فزونی یافته است و نوسان‌های شدید

1 Woollings et al

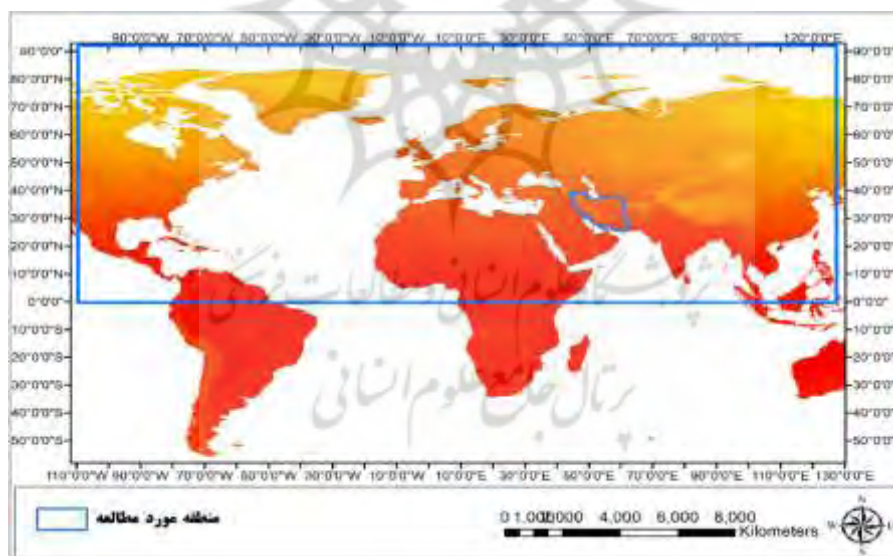
2 Sadaf et al

مکانی و زمانی خشک‌سالی (ترسالی)، خسارات هنگفتی را بر اقتصاد کشور به‌ویژه در طی دهه‌های اخیر تحمیل کرده است. کاهش عملکرد مراتع، کاهش تولید محصولات زراعی به‌ویژه دیم، کاهش منابع آب کشاورزی و شرب، کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی، طغیان آفات و بیماری‌های گیاهی و دامی، افزایش مهاجرت و در نهایت اثرات سوء زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی از جمله آثار منفی خشک‌سالی‌ها هستند که توسعه پایدار کشور را مورد تهدید قرار داده است. لذا تعیین ویژگی‌های زمانی-مکانی خشک‌سالی‌ها (ترسالی)‌ها در یک منطقه و شناسایی علل وقوع آن‌ها یکی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزان محیطی و اقتصادی به‌ویژه برنامه‌ریزان حوزه مدیریت منابع آب می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده شناسایی بندال‌ها

محدوده انتخاب شده دربرگیرنده ۰ تا ۹۰ درجه عرض شمالی و از ۱۰۰ درجه طول غربی تا ۱۲۰ درجه طول شرقی می‌باشد. جهت مطالعه پدیده بندال از لحاظ منشأ شکل‌گیری، تکامل و عوامل کنترل‌کننده سیستم‌های مورد نظر می‌بایستی با دیدی گسترده‌تر در پی کشف مجهولات باشیم، و در راه تحقق اهداف مورد نظر، منطقه وسیع‌تر از منطقه خاورمیانه در نظر گرفته شد. شکل (۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه جهت شناسایی مکان رخداد بندال

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

برای انجام این تحقیق از چند دسته داده شامل: داده‌های بارش ۴۳ ایستگاه سینوپتیک (شکل ۲) سطح کشور در مقیاس ماهانه، داده‌های تراز ۵۰۰ و داده‌های مربوط به خصوصیات بندال‌ها (شامل: طول و عرض بندال، شدت شاخص بندال، عمر یا تداوم بندال، منطقه وقوع بندال و نوع بندال) از سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. (جدول ۱).

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده در تحقیق

متغیرها	مقیاس	هدف	شاخص‌ها
بارش	روزانه، ماهانه	بررسی دوره‌های تر و خشک فراگیر	zsi
Lev 500 Hgt	روزانه و ماهانه	استخراج بندال‌ها	شاخص دو بعدی باریوپدرو
داده مؤلفه‌های بندال از مرکز CBS (طول عمر، شدت، طول، عرض، محل تشکیل، نوع بندال)	روزانه و ماهانه	بررسی تغییرات بندال‌ها	شاخص وایدنمن (BI)

۲-۳- روش انجام پژوهش

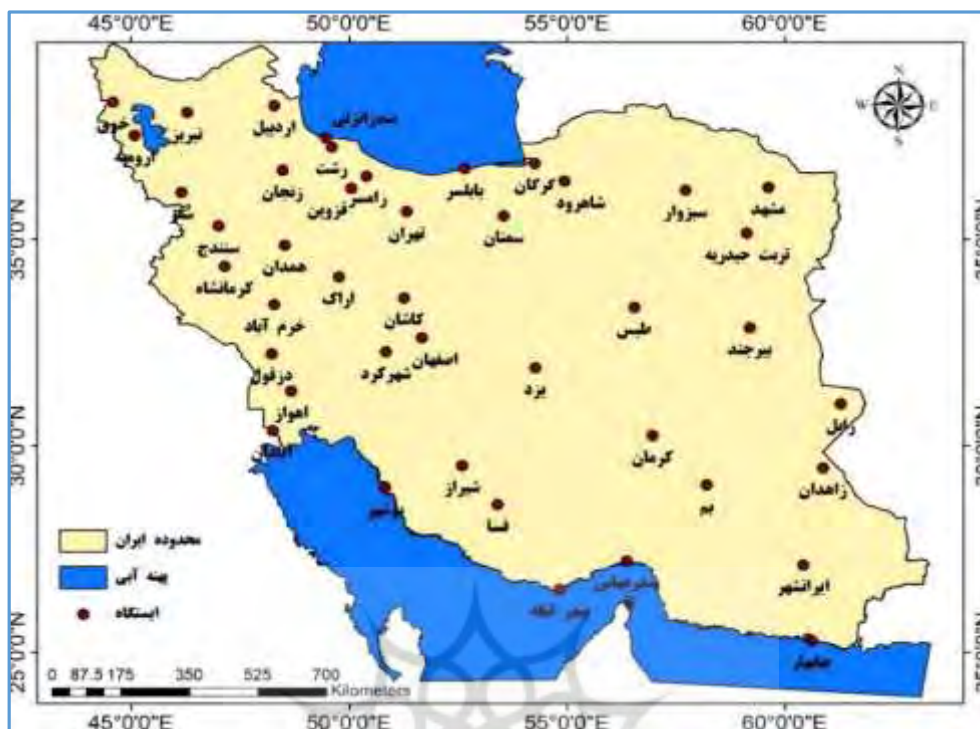
روش کار بدین صورت است که ابتدا داده‌های بارش ۴۳ ایستگاه سینوپتیک (شکل ۲) سطح کشور از سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸ (۴۶ سال) در مقیاس ماهانه از سازمان هواشناسی دریافت و با استفاده روش Z استاندارد فراوانی ماه‌های تر و خشک فراگیر ایران طی ۴۶ سال بصورت ماهانه شناسایی و استخراج شد. نحوه استخراج ترسالی‌ها و خشکسالی‌های فراگیر بدین گونه بود که حداقل ۵۰ درصد به علاوه ۱ ایستگاه (در نهایت ۲۲ ایستگاه) درگیر ترسالی و یا خشکسالی باشند. پارامترهای مربوط به بندال‌ها از مرکز مطالعات بندال (CBS^۱) (آرشیو رخدادهای بندال در مقیاس جهانی) به آدرس الکترونیکی <http://weather.missouri.edu> واقع در دانشگاه میسوری آمریکا دریافت گردید. از آنجاکه اطلاعات این آرشیو از سال ۱۹۷۰ در دسترس می‌باشد، در این تحقیق از شاخص عددی BI استفاده شد. این داده‌ها با استفاده شاخص تعدیل شده شدت بندال (شاخص BI^۲) که توسط وایدنمن و همکاران^۳ (۲۰۰۸) و شاخص دو بعدی آشکارسازی بندال که توسط باریوپدرو و همکاران^۴ (۲۰۰۶) ابداع شده‌اند، تهیه می‌شوند.

1 Center for Blocking Studies

2 blocking index

3 Wiedenmann et al

4 Barriopedro et al



شکل ۲- پراکنش فضایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

۲-۴- معرفی شاخص BI

در این پژوهش از روش شاخص تعدیل شده شدت بندال (BI) برای شناسایی عناصر و خصوصیات بندال‌ها استفاده گردید. خصوصیات بندال‌ها شامل: شدت بندال، منطقه وقوع و مدت دوام بندال‌ها می‌باشد که با استفاده از داده ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ محاسبه می‌شود. این شاخص اولین بار توسط لویو و اسمیت (۱۹۹۵) ارائه و سپس توسط وایدنمن و همکاران (۲۰۰۲) اصلاح گردید. مقدار عددی این شاخص بین ۱ تا ۱۰ می‌باشد. مقادیر نزدیک به ۱۰ بندال‌های قوی‌تری نسبت به مقادیر نزدیک به ۱ خواهد داشت (لویو و همکاران، ۱۹۹۷؛ لویو، ۲۰۰۸). در این شاخص تنها بندال‌هایی که حداقل ۵ روز از زمان تشکیل آن گذشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرند و کمتر از ۵ روز بندال حساب نمی‌شود. چگونگی شناسایی بندال با روش عددی وایدنمن و همکاران از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود:

$$BI = 100[MZ/(RC) - 1.0]$$

رابطه ۱:

$$RC = \frac{\frac{(ZU+MZ)}{2} + \frac{(Zd+MZ)}{2}}{2}$$

رابطه ۲:

در این روابط:

BI = شدت بندال

RC = میانه کم ارتفاع ترین منحنی محور ناوه‌های دو طرف پشته در یک عرض جغرافیایی معین.

MZ = حداکثر ارتفاع ژئوپتانسیل در محور پشته.

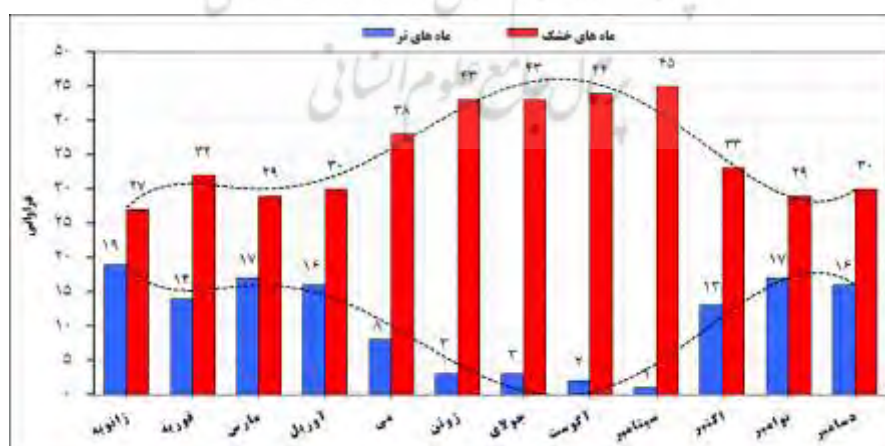
Zu = کمترین مقدار ارتفاع ژئوپتانسیل در محوره ناوه بالادست.

Zd = کمترین مقدار ارتفاع ژئوپتانسیل در محوره ناوه پایین دست.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- توزیع ماهانه خشکسالی و ترسالی‌ها در ایران

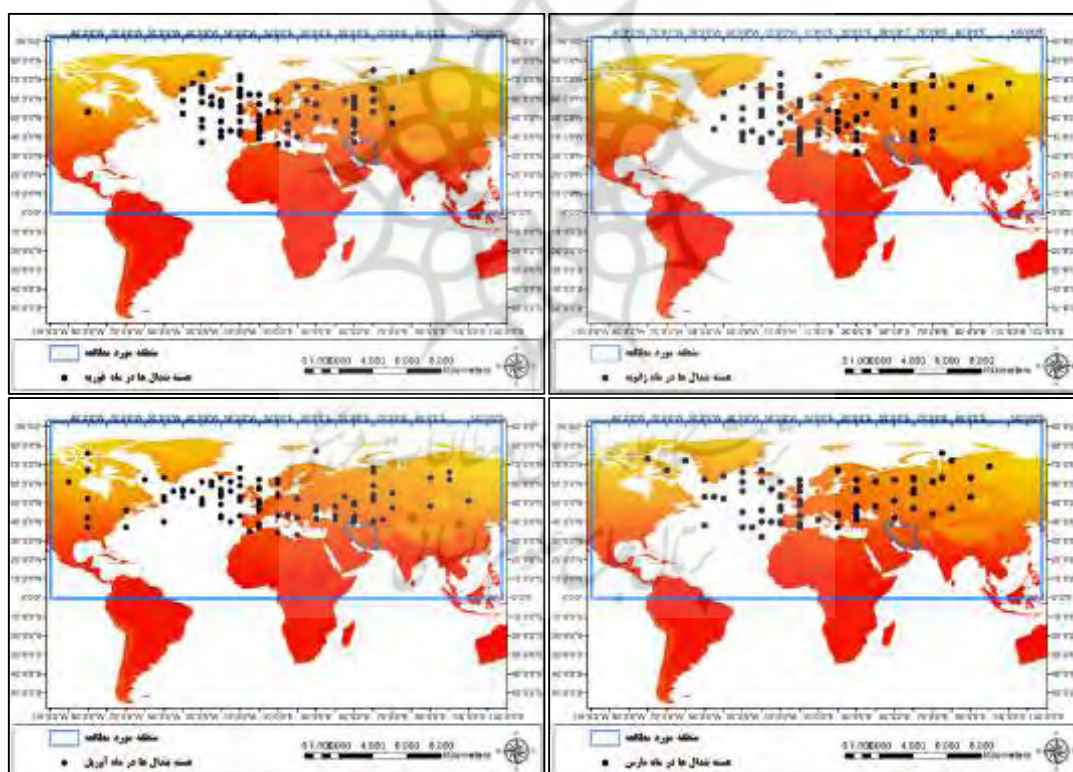
تحلیل داده‌های بارش بلندمدت ماهانه نشان داد که در ایران تعداد ماه‌های خشک فراگیر (۷۶٪ درصد) بیشتر از ماه‌های تر فراگیر (۲۳/۴) می‌باشد. طی دوره ۶۶ ساله، از بین ۱۲۹ مورد ماه‌تر، ۱۱۲ مورد آن در ماه‌های سرد و ۱۷ مورد آن در ماه‌های گرم به وقوع پیوسته است. در این بین ماه ژانویه با فراوانی ۱۹ و ماه سپتامبر با ۱ مورد ترسالی دارای بیشترین و کمترین وقوع ترسالی فراگیر در ایران بوده‌اند. همچنین از بین ۴۲۳ مورد خشکسالی فراگیر در ایران، ۲۱۳ مورد در ماه‌های سرد و ۲۱۰ مورد آن در ماه‌های گرم به وقوع پیوسته است. در این میان ماه سپتامبر با ۴۵ و ماه ژانویه با ۲۷ مورد دارای بیشترین و کمترین وقوع خشکسالی فراگیر در ایران طی دوره مورد مطالعه بوده‌اند. در کل می‌توان گفت که در ایران بدلیل موقعیت خاص جغرافیایی و قرارگیری در منطقه جنب حاره، ماه‌های خشک ۳ برابر بیشتر از ماه‌های تر رخ می‌دهند (شکل ۳).

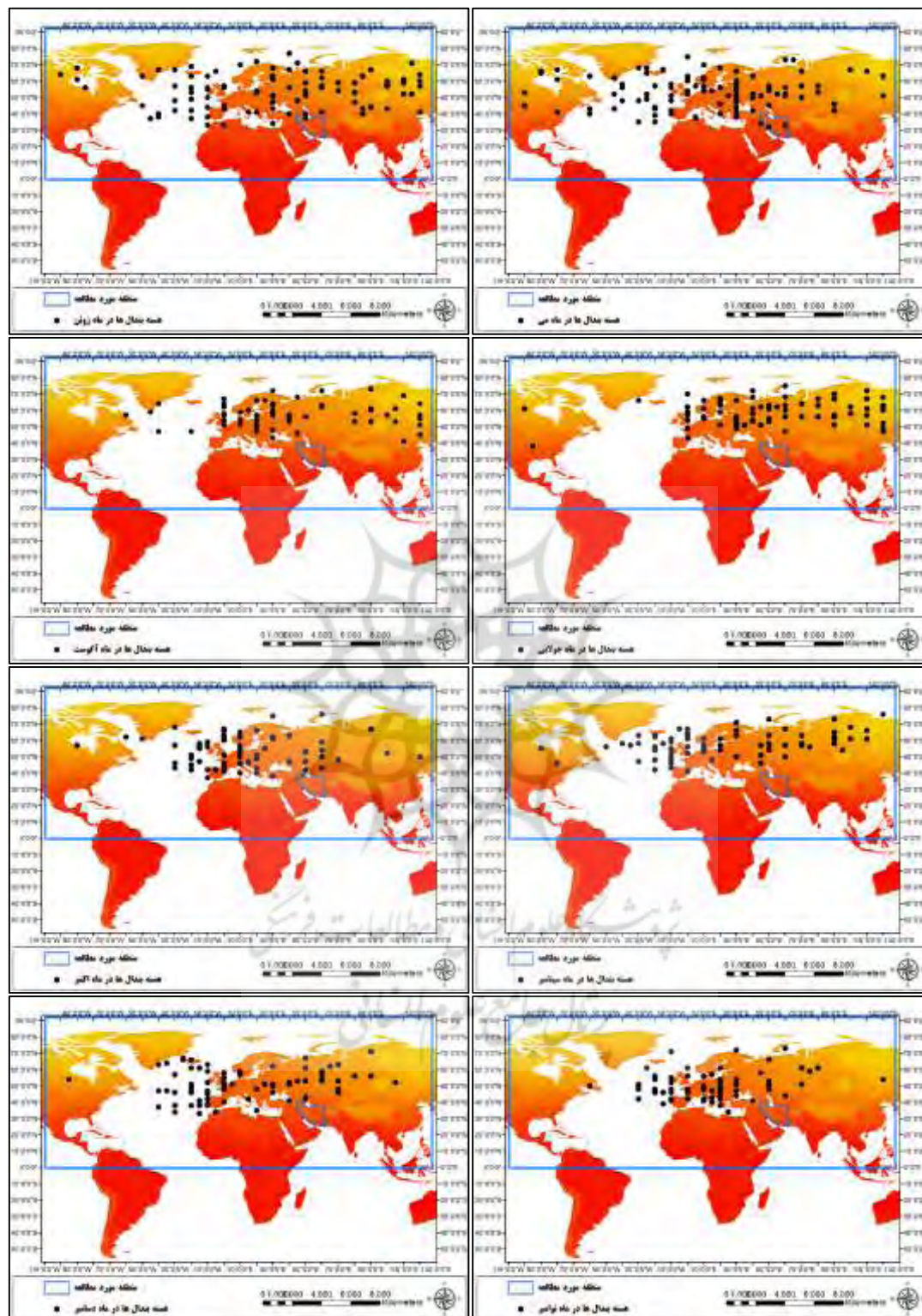


شکل ۳- مقایسه فراوانی ماه‌های تر و خشک فراگیر ایران

۳-۲- توزیع فضایی بندال‌ها

شکل (۴) پراکنش فضایی محل تشکیل هسته‌های بندال در منطقه مورد مطالعه را بین سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. با بررسی فراوانی داده‌ها، در کل دوره مورد مطالعه ۹۷۷ مورد هسته بندال تشکیل شده است که اغلب آن‌ها در منطقه اطلس شمالی بین طول ۳۰ درجه غربی و ۳۰ درجه شرقی و بین عرض‌های جغرافیایی از ۳۰ تا ۷۰ درجه شمالی قرار دارند اما اغلب بندال‌های مؤثر بر آب‌وهوای ایران در عرض‌های میانه بین ۳۰ تا ۵۵ درجه شمالی و بین ۴۰ درجه غربی تا ۸۰ درجه شرقی تشکیل می‌شوند. با توجه به قرارگیری ایران بین عرض ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی، با کاهش تشکیل هسته بندال‌ها در عرض‌های ۳۰ و ۳۵ درجه شمالی و در مسیر بودن ایران برای این بندال‌ها می‌تواند ایران را با خشکسالی بخصوص در ماه‌های سرد مواجه سازد. همچنین نتایج پراکنش فضایی نشان داد که در ماه‌های گرم سال اغلب بر روی خشکی‌های نیمکره شمالی شکل گرفته‌اند ولی در ماه‌های سرد سال هسته بندال‌ها در منطقه اطلس شمالی (بین ۳۰+ تا ۳۰-) بر روی پهنه‌های آبی شکل گرفته‌اند.





شکل ۴- پراکنش فضایی محل تشکیل هسته بندالها در ماه‌های مختلف (۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸)

۳-۳- توزیع آماری ماهانه مؤلفه‌های بندال

نتایج حاصل از فراوانی بلندمدت ماهانه نشان می‌دهد که طی دوره مورد مطالعه (۶۶ سال)، از ۹۷۷ مورد بندال تشکیل شده در منطقه مورد مطالعه، بیشترین فراوانی رخداد بندال در ماه می با ۱۰۱ مورد و کمترین فراوانی با ۶۰ مورد در ماه آگوست به وقوع پیوسته است. همچنین از ۹۷۷ مورد رخداد بندال، ۵۷۰ مورد به سال‌های اکتبر تا آوریل؛ یعنی ۷ ماه سرد سال که عمده بارش‌های ایران نیز در آن‌ها اتفاق می‌افتد تشکیل شده است و ۴۰۷ مورد نیز در ۵ ماه گرم سال (می تا سپتامبر) که ماه‌های کم بارش ایران هستند روی داده است. در واقع حدود ۵۸ درصد از کل بندال‌ها طی ماه‌های سرد و ۴۲ درصد در ماه‌های گرم به وقوع پیوسته‌اند (جدول ۲).

تحلیل حاصل از داده‌های میانگین بلندمدت ماهانه شدت شاخص بندال (BI) در منطقه مورد مطالعه (جدول ۲) نشان می‌دهد که بالاترین میانگین شدت شاخص BI در منطقه مورد مطالعه به مقدار $BI \ 3/9$ مربوط به ماه ژانویه می‌باشد، اما کمترین مقدار این شاخص که ضعیف‌ترین نوع بندال نیز محسوب می‌شود، دارای شدت $BI \ 2/1$ است که در ماه جولایی به وقوع پیوسته است. شدیدترین بندال ثبت شده داده طی ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸ نیز با $BI \ 6/3$ در نوامبر ۱۹۹۷ و ضعیف‌ترین کل دوره با $BI \ 0/7$ در آگوست ۱۹۸۸ روی داده است. میانگین بلندمدت شدت بندال در ماه‌های سرد که ماه‌های پر بارش ایران نیز می‌باشد (اکتبر تا آوریل)؛ $BI \ 3/5$ بوده است اما در ۵ ماه گرم سال (می تا سپتامبر) که ماه‌های کم بارش و یا خشک ایران هستند این مقدار به $BI \ 2/4$ می‌رسد. در واقع شدت بندال در ماه‌های سرد بیشتر از ماه‌های گرم سال است.

میانگین بلندمدت ماهانه تداوم نشان می‌دهد که طولانی‌ترین بندال‌ها در ماه جولایی با $10/2$ روز و سپس ماه‌های ژانویه و دسامبر با ۱۰ روز تداوم به وقوع پیوسته‌اند و کوتاه‌ترین بندال‌ها در ماه آگوست با $7/7$ روز شگل گرفته‌اند؛ بنابراین می‌توان گفت که طول عمر بندال‌ها در ماه‌های سرد با $9/2$ روز بیشتر از ماه‌های گرم با ۹ روز می‌باشد. طولانی‌ترین بندال ثبت شده طی سال‌های مورد مطالعه (۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸) با ۳۵ روز تداوم از ۴ ژوئن تا ۹ جولایی ۲۰۰۲ به ثبت رسیده است؛ کوتاه‌ترین بندال‌ها نیز اکثراً ۵ روز تداوم داشته‌اند و کمتر از ۵ روز بندال محسوب نشده است. در کل دوره مورد مطالعه، میانگین بلندمدت تداوم بندال در ماه‌های سرد (اکتبر تا آپریل)؛ $9/2$ روز بوده است اما در ۵ ماه گرم سال (می تا سپتامبر) که ماه‌های کم بارش و یا خشک ایران هستند این مقدار به ۹ روز رسیده است. در واقع همانند مقدار شدت، عمر بندال‌ها نیز در ماه‌های سرد بیشتر از ماه‌های گرم سال است. (جدول ۲).

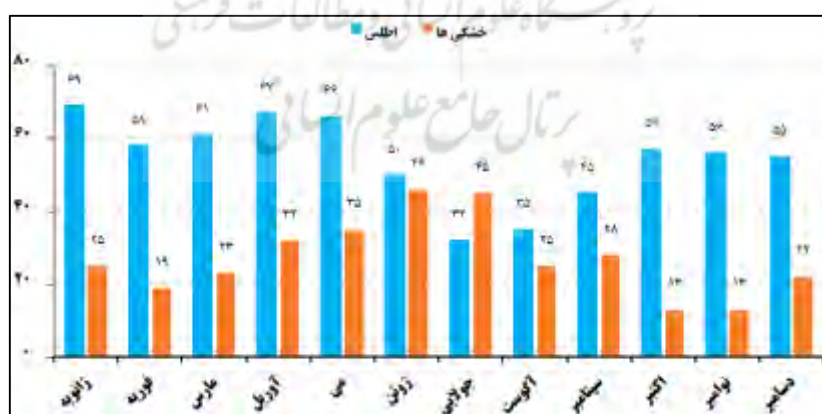
جدول ۲- شدت و تداوم ماهانه بندال‌ها در منطقه مورد مطالعه

ماه	فراوانی	شدت (BI)			تداوم (طول عمر)		
		میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل
ژانویه	۹۴	۳/۹	۶	۱/۵	۱۰	۲۹	۵
فوریه	۷۷	۳/۸	۶/۱	۱	۹/۴	۳۱/۵	۵

ماه	فراوانی	شدت (BI)			تداوم (طول عمر)		
		میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل
مارس	۸۴	۳/۵	۵/۸	۱/۵	۸/۵	۲۱	۵
آوریل	۹۹	۳	۴/۷	۱/۵	۸/۶	۲۲	۵
می	۱۰۱	۲/۸	۴/۴	۱/۶	۸/۶	۲۹/۵	۵
ژوئن	۹۶	۲/۴	۳/۶	۱/۲	۸/۸	۳۵	۵
جولایی	۷۷	۲/۱	۳/۲	۰/۹	۱۰/۲	۳۲	۵
آگوست	۶۰	۲/۲	۳/۷	۰/۷	۷/۷	۱۸/۵	۵
سپتامبر	۷۳	۲/۶	۴/۷	۱/۲	۹/۱	۲۲/۵	۵
اکتبر	۷۰	۳/۱	۴/۸	۱/۵	۸/۸	۲۴	۵
نوامبر	۶۹	۳/۴	۶/۳	۱/۶	۸/۸	۲۲	۵
دسامبر	۷۷	۳/۷	۵/۸	۱/۴	۱۰/۱	۳۳/۵	۵
میانگین	۹۷۷	۳	۴/۹	۱/۳	۹/۱	۲۶/۷	۵

۳-۴- توزیع ماهانه بندال‌ها بر اساس منطقه تشکیل

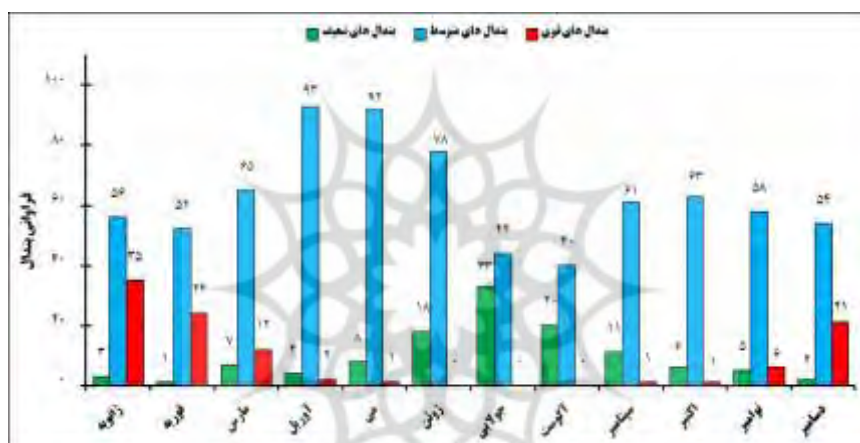
همانطور که شکل (۵) نشان می‌دهد از مجموع ۹۷۷ هسته بندال شکل گرفته در کل دوره مورد مطالعه، ۶۵۱ مورد در منطقه اطلس شمالی و ۳۲۶ مورد نیز در خشکی‌های شمالی تشکیل شده‌اند؛ که در این میان بیشترین بندال مربوط ماه ژانویه در منطقه اطلس شمالی با ۶۹ مورد و کمترین هسته‌های تشکیل بندال در دو ماه اکتبر و نوامبر با ۱۳ مورد بر روی خشکی‌هاست؛ بنابراین می‌توان گفت که ماه‌های سرد در منطقه اطلس هسته بندال‌ها بیشتر شکل می‌گیرند و هرچه به ماه‌های گرم سال نزدیک می‌شویم تشکیل هسته بندال‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۵- توزیع ماهانه بندال‌ها بر اساس منطقه تشکیل

۳-۵- شدت بندال در بازه زمانی ماهانه

با مقایسه ضرایب شدت ماهانه بندال مشخص شد که هسته بندال‌های با شدت قوی در ماه‌های سرد به ترتیب فراوانی در ماه‌های ژانویه، فوریه، دسامبر، مارس، نوامبر و آوریل شکل می‌گیرند و کمترین فراوانی هسته بندال‌های قوی نیز از ماه می تا اکتبر تشکیل می‌شوند. ماه‌های فصل تابستان فاقد بندال قوی بوده‌اند. بندال‌های با شدت متوسط بیشتر در فصل بهار و ماه‌های آوریل، می، ژوئن و مارس فعالیت خود را آغاز کرده‌اند. بندال‌های ضعیف نیز بیشتر در ماه‌های جولای و آگوست در فصل تابستان و ماه ژوئن در فصل بهار شکل می‌گیرند. کمترین فراوانی رخداد بندال‌های ضعیف نیز در دسامبر و ژانویه رخ داده است. در کل می‌توان گفت بندال‌های قوی همزمان با فصول پربارش ایران فعالیت خود را آغاز می‌کنند ولی در فصول کم بارش اکثریت با بندال‌های ضعیف است (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه شدت بندال در بازه زمانی ماهانه

۳-۶- پراکنش ماهانه گونه‌های بندال

تحلیل ماهانه بندال‌ها نشان داد که از لحاظ نوع بندال، بریده کم‌فشار از میان ۹۷۷ بندال تشکیل شده در منطقه مورد مطالعه با ۳۰۲ مورد بیشترین و رکس با ۶۷ مورد کمترین فراوانی را هم در مجموع سالانه و هم مجموع فصلی به خود اختصاص داده‌اند. فراوانی بلندمدت ماهانه نشان می‌دهد از ماه ژانویه تا می بیشترین فراوانی با بندال از نوع بریده کم‌فشار است، اما در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر و همچنین دسامبر، فراوانی با بندال بریده پرفشار است. دو ماه اکتبر و نوامبر بیشترین فراوانی به بندال امگایی اختصاص دارد؛ بنابراین می‌توان گفت در ماه‌های سرد اکثریت تشکیل بندال‌ها با بریده کم‌فشار است و هرچه به فصول گرم نزدیک می‌شویم بندال بریده پرفشار و سپس امگایی بیشترین فراوانی را دارا می‌باشند (جدول ۳).

جدول ۳- فراوانی ماهانه پراکنش نوع بندال در منطقه مورد مطالعه

نوع بندال/ماه	امگایی	بریده پرفشار	بریده کم‌فشار	دوقطبی	رکس	مجموع
ژانویه	۱۳	۱۱	۴۵	۱۲	۱۳	۹۴
فوریه	۱۹	۱۴	۳۱	۵	۸	۷۷
مارس	۱۸	۱۰	۴۱	۱۱	۴	۸۴
آوریل	۱۷	۱۵	۵۵	۸	۴	۹۹
می	۲۹	۱۷	۴۳	۱۰	۲	۱۰۱
ژوئن	۲۹	۳۱	۲۹	۴	۳	۹۶
جولایی	۲۲	۴۱	۲	۱۰	۲	۷۷
اگوست	۲۳	۲۳	۷	۴	۳	۶۰
سپتامبر	۲۹	۳۰	۳	۱۰	۱	۷۳
اکتبر	۲۴	۱۵	۱۷	۸	۶	۷۰
نوامبر	۲۱	۲۱	۱۴	۵	۸	۶۹
دسامبر	۱۷	۲۲	۱۵	۱۰	۱۳	۷۷
مجموع ماهانه	۲۶۱	۲۵۰	۳۰۲	۹۷	۶۷	۹۷۷

۳-۷- شدت (BI) ماهانه گونه‌های بندال

همانطور که میانگین بلندمدت ماهانه نشان می‌دهد شدیدترین بندال‌ها در ماه‌های سرد سال از نوامبر تا مارس به وقوع پیوسته‌اند. همچنین با توجه به جدول (۴) در بلندمدت بندال نوع رکس با $BI \ 3/1$ نسبت به انواع دیگر بندال‌ها از شدت بیشتری برخوردار بوده است؛ بنابراین در مواقع ترسالی که عموماً در ماه‌های سرد ایران رخ می‌دهند این بندال‌ها موثرند. نتایج بررسی ماهانه نشان داد که در ماه‌های سرد بندال دو قطبی، رکس و سپس بریده کم‌فشار و در رتبه‌های بعدی قرار دارند؛ اما در ماه‌ها و فصول گرم سال شدت بندال‌ها با رکس، بریده پرفشار و امگایی می‌باشد؛ بنابراین این نوع از بندال‌ها در وقوع دوره‌های خشک ایران که اکثر مواقع نیز در ماه‌های گرم ایران رخ می‌دهند اثر بیشتری دارند. در ماه‌های گرم کمترین شدت با بریده کم‌فشار و دوقطبی است. در ماه‌های سرد کمترین شدت با بریده پرفشار است. بررسی میانگین بلندمدت حداکثر شدت بندال نیز نشان داد بندال‌های دوقطبی، بریده کم‌فشار و رکس در ماه ژانویه؛ و بندال‌های امگایی و بریده پرفشار در فوریه در حالت قوی خود شکل گرفته‌اند، در نتیجه می‌توان گفت اکثر بندال‌ها در ماه‌های سرد در قوی‌ترین حالت و در ماه‌های گرم در ضعیف‌ترین حالت خود بوده‌اند (جدول ۴).

جدول ۴- میانگین شدت وقوع بندال (BI) بر اساس نوع بندال

نوع بندال/ماه	امگایی	بریده پرفشار	بریده کم‌فشار	دوقطبی	رکس	میانگین BI
ژانویه	۳/۵	۳/۸	۴	۴/۳	۳	۳/۹
فوریه	۳/۸	۳/۹	۳/۷	۴/۱	۳/۸	۳/۸
مارس	۳/۵	۳/۳	۳/۶	۳/۲	۳/۷	۳/۵
آوریل	۳	۳/۲	۳	۳/۱	۳/۱	۳
می	۲/۹	۲/۵	۲/۷	۳/۱	۳/۳	۲/۸
ژوئن	۲/۴	۲/۳	۲/۵	۲/۲	۲/۵	۲/۴
جولایی	۱/۹	۲/۲	۲	۱/۹	۱/۲	۱/۲
اگوست	۲/۲	۲/۱	۱/۹	۲	۲/۷	۲/۲
سپتامبر	۲/۷	۲/۶	۲/۲	۲/۵	۲/۱	۲/۶
اکتبر	۳/۳	۲/۹	۳/۱	۳/۲	۲/۹	۳/۱
نوامبر	۳/۵	۳/۳	۳/۳	۳/۱	۳/۵	۳/۴
دسامبر	۳/۷	۳/۵	۳/۷	۳/۸	۳/۹	۳/۷
میانگین BI	۳	۳	۲/۹	۳	۳/۱	۳

۳-۸- طول عمر (تداوم) گونه‌های بندال

همانطور که میانگین بلندمدت ماهانه نشان می‌دهد طولانی‌ترین بندال‌ها در ماه می با ۱۱ روز و سپس ماه‌های ژانویه، فوریه، سپتامبر و دسامبر با ۱۰ روز به وقوع پیوسته‌اند. کوتاه‌ترین بندال‌ها در ماه مارس، اگوست و ژوئن دارای ۸ روز ماندگاری بوده‌اند. بررسی میانگین بلندمدت تداوم نشان داد طولانی‌ترین تداوم در ماه می با ۱۹ روز از نوع رکس بوده است، همچنین بندال امگا در ماه‌های می، ژوئن و اکتبر با ۱۰ روز، بندال بریده پرفشار با ۱۱ روز در ماه جولایی، بندال بریده کم‌فشار با ۱۱ روز در ماه سپتامبر، بندال دوقطبی با ۱۳ روز در فوریه شکل گرفته‌اند. از لحاظ مجموع میانگین تداوم ماهانه نیز بیشترین عمر را بندال‌های تشکیل شده در ماه‌های سرد داشته‌اند اما از لحاظ حداکثرها، بیشترین تداوم بندال‌ها در ماه‌های گرم سال به وقوع پیوسته‌اند (جدول ۵).

جدول ۵- میانگین طول عمر (تداوم) انواع بندال در منطقه مورد مطالعه

نوع بندال/ماه	امگایی	بریده پرفشار	بریده کم‌فشار	دوقطبی	رکس	میانگین تداوم
ژانویه	۹	۸	۱۰	۱۰	۱۱	۱۰
فوریه	۹	۱۰	۸	۱۳	۱۱	۱۰
مارس	۸	۸	۹	۹	۶	۸
آوریل	۷	۹	۹	۹	۱۰	۹

نوع بندال/ماه	امگایی	بریده پرفشار	بریده کم فشار	دوقطبی	رکس	میانگین تداوم
می	۱۰	۱۰	۹	۹	۱۹	۱۱
ژوئن	۱۰	۸	۹	۱۰	۶	۸
جولایی	۹	۱۱	۸	۱۰	۸	۹
آگوست	۸	۷	۹	۸	۸	۸
سپتامبر	۹	۹	۱۱	۹	۱۲	۱۰
اکتبر	۱۰	۸	۸	۱۰	۹	۹
نوامبر	۸	۱۰	۹	۹	۹	۹
دسامبر	۹	۹	۱۰	۹	۱۳	۱۰
میانگین تداوم	۸/۸	۸/۸	۹/۲	۹/۵	۱۰/۲	۹

۳-۹- همبستگی ماهانه بین ماه‌های تر فراگیر و مؤلفه‌های بندال

جدول (۶) همبستگی بین فراوانی ماه‌های تر و مؤلفه‌های بندال را در مقیاس بلندمدت ماهانه نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۲۸ ارتباط میان فراوانی ماه‌های تر با فراوانی وقوع و شدت بندال به ترتیب با ۰/۹۷۶ و ۰/۸۷۵ در سطح معناداری ۰/۰۱ می‌باشد که نشان دهنده ارتباط قوی و مثبت بین این پارامترها می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان گفت که با وقوع بندال‌های بیشتر در منطقه و افزایش شدت بندال‌ها، سامانه‌های مؤثر بر بارش ایران نیز در حالت تقویت خود قرار می‌گیرند و ترسالی یا تر ماهی گسترده در ایران حاکم می‌شود. همچنین بین فراوانی ماه‌های تر و عمر بندال ارتباط مثبت در حدود ۳۴ درصد برقرار است؛ اما این ارتباط فاقد معناداری بوده است. در کل بندال قوی و با طول عمر زیاد با افزایش دوره‌های تر فراگیر در ایران همراه است. نتایج حکایت از ارتباط مستقیم و معنادار بین فراوانی و شدت بندال در سطح ۹۵ درصد اطمینان دارند. ارتباط بین ترسالی و بندال‌های بریده پرفشار و امگا منفی و معنادار و با رکس و بریده کم فشار مثبت و معنادار است و با بندال دوقطبی ارتباط مثبت اما معنادار نمی‌باشد.

جدول ۶- همبستگی بین ترسالی و مؤلفه‌های بندال در مقیاس ماهانه

میانگین تداوم بندال	میانگین شدت بندال (BI)	فراوانی تشکیل بندال	فراوانی ماه‌های تر
۱	۱	۱	۱
۰/۳۱۳	-۰/۵۹۹*	-۰/۸۳۴**	-۰/۸۸۷**
۰/۰۰۲	-۰/۶۴۹	-۰/۷۶۳**	-۰/۷۷۴**
۰/۳۷۳	۰/۴۹۸	۰/۶۳۲*	۰/۶۴۶*
-۰/۲۳۱	۰/۳۵۹	۰/۲۸۵	۰/۳۷۳
۰/۳۳۶	۰/۳۴۲	۰/۳۵۳	۰/۸۳۹**
۱	۱	۰/۸۷۵**	۰/۹۷۶**
میانگین تداوم بندال	میانگین شدت بندال (BI)	فراوانی تشکیل بندال	فراوانی ماه‌های تر

	فرآوانی ماه‌های تر	فرآوانی تشکیل بندال	میانگین شدت بندال (BI)	میانگین تداوم بندال
رکس	۰/۷۴۳**	۰/۷۰۶*	-۰/۷۴۹**	۰/۴۳۶
**ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد، *ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد)				

جدول (۷) همبستگی بین فرآوانی ماه‌های خشک و مؤلفه‌های بندال را در مقیاس بلندمدت ماهانه نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۲۹ ارتباط میان فرآوانی ماه‌های خشک با فرآوانی وقوع با ۰/۶۱۱ در سطح معناداری ۰/۰۵ می‌باشد که نشان دهنده ارتباط معنادار و مثبت بین این پارامترها می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان گفت که با وقوع بندال‌های بیشتر در منطقه، ماه‌های خشک نیز افزایش یافته‌اند؛ اما در همین بازه زمانی بین فرآوانی ماه‌های خشک و شدت بندال ارتباط معکوس و قوی با ضریب ۰/۹۰۶- در سطح معناداری ۰/۰۱ حاکم بوده است که نشان از اثر زیاد این شاخص در خشکسالی‌ها دارد. به طوری که هر وقت بندال قوی بوده و یا ضریب شدت بالا بوده، در نتیجه سامانه‌های بارشی نیز تقویت می‌شوند و ماه‌تری را سپری خواهیم کرد در نتیجه خشکسالی‌ها کمتر می‌شود؛ بنابراین ارتباط معکوس و معنادار نشان می‌دهد بندال‌های با عمر کوتاه و شدت کم (بندال ضعیف) باعث تضعیف سامانه‌های بارشی و در نتیجه افزایش فصول خشک ایران می‌شوند. همچنین بین فرآوانی ماه‌های خشک و عمر بندال ارتباط معکوس در حدود ۱۲ درصد برقرار است که این ارتباط فاقد سطح معناداری درخور توجهی بوده است؛ اما در کل بندال ضعیف با عمر کوتاه در فرآوانی خشکسالی‌های ایران مؤثر می‌باشند. همچنین ارتباط بین خشکسالی و بندال‌های بریده پرفشار و امگا مثبت و معنادار و با رکس و بریده کم‌فشار منفی و معنادار است و با بندال دوقطبی ارتباط معکوس داشته اما فاقد سطح معناداری است.

جدول ۷- همبستگی بین خشکسالی و مؤلفه‌های بندال در مقیاس ماهانه

	فرآوانی ماه‌های خشک	فرآوانی تشکیل بندال	میانگین شدت بندال (BI)	میانگین تداوم بندال
فرآوانی ماه‌های خشک	۱			
فرآوانی تشکیل بندال	۰/۶۱۱*	۱		
میانگین شدت بندال (BI)	-۰/۹۰۶**	-۰/۶۰۱*	۱	
میانگین تداوم بندال	-۰/۱۱۹	۰/۱۱۱	۰/۲۸۶	۱
امگایی	۰/۷۸۷**	۰/۵۸۶*	-۰/۷۰۴*	-۰/۱۳۸
بریده پرفشار	۰/۷۷۴**	۰/۴۳۸	-۰/۷۴۹**	۰/۱۰۷
بریده کم‌فشار	-۰/۵۸۹*	۰/۱۹۶	۰/۴۴۶	-۰/۰۷۳
دوقطبی	-۰/۲۷۳	۰/۰۵۸	۰/۲۶۵	۰/۶۰۵*
رکس	-۰/۷۴۳**	-۰/۵۹۳*	۰/۸۳۴**	۰/۴۱۵
**ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد، *ضریب معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد)				

۳-۱۰- مدل رگرسیون چند متغیره بین ترسالی و خشکسالی‌ها و مؤلفه‌های بندالی

به منظور تعیین اثر تجمعی کل مؤلفه‌های بندالی شامل (فراوانی بندال، میانگین شدت بندال (BI) و میانگین عمر یا تداوم بندال بر نوسان‌پذیری ماه‌های تر و خشک در ایران طی دوره‌های زمانی ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸ آزمون رگرسیون چندمتغیره مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمون فراوانی ماه‌های خشک به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای فراوانی بندال، میانگین شدت بندال (BI) و میانگین عمر بندال به عنوان متغیرهای مستقل مورد آزمون قرار گرفتند تا مشخص گردد که آیا ارتباطی بین آن‌ها وجود دارد یا خیر؟ و آیا تغییر در پارامترهای بندال باعث تغییر در فراوانی ترسالی و یا خشکسالی شده است یا خیر؟

با توجه به معادله رگرسیون چند متغیره، بین مؤلفه‌های بندال و فراوانی ماه‌های تر فراگیر در ایران، ضریب تبیین داده‌های متناظر برابر با ۹۶/۵ درصد مورد محاسبه قرار گرفته است. بدین معنی که پارامترهای بندال در مجموع ۹۶/۵ درصد از تغییرات ترسالی در ایران طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه (۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸) را تبیین می‌کنند. به عبارت بهتر با ضریب خطای کمتر از ۰/۰۱ می‌توان گفت ۹۶/۵ درصد از نوسانات ترسالی ایران تحت تأثیر مؤلفه‌های بندال قرار دارد. در نتیجه با اطمینان بالا می‌توان نتیجه گرفت که وقوع بندال‌های قوی با طول عمر بیشتر با ترسالی و افزایش ماه‌ها و فصول تر همراه هستند؛ زیرا بندال‌ها با چرخش‌های سیکلونیک خود در اطراف ایران باعث کشیده شدن سامانه‌های بارشی به سمت ایران می‌شوند. (جدول ۸).

همچنین نتایج رگرسیون نشان داد که پارامترهای بندال در مجموع ۸۳/۴ درصد از تغییرات خشکسالی فراگیر در ایران طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه (۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸) را تبیین می‌کنند. به عبارت بهتر با اطمینان بالا درصد می‌توان گفت ۸۳/۴ درصد از نوسانات خشکسالی‌های فراگیر ایران تحت تأثیر تغییرات مؤلفه‌های بندال قرار دارد. در نتیجه با اطمینان حدود ۸۴ درصدی می‌توان گفت که وقوع بندال‌های ضعیف با طول عمر کم باعث تضعیف سامانه‌ای بارشی شده و در نتیجه با خشکسالی و افزایش ماه‌های خشک فراگیر همراه هستند.

جدول ۸- تعیین اثر تجمعی کل مؤلفه‌های بندال بر نوسان‌پذیری ترسالی و خشکسالی فراگیر ایران

نوع متغیر	معادله رگرسیون	R-Sq	P-VALUE
ترسالی	$f_{wet} = -3.47 + 0.452 f_{bandal} + 1.61 ave_{bi} + 0.059 ave_{tadavom}$	۹۶/۵	۰/۰۰۰
خشکسالی	$f_{dry} = 58.6 - 0.0610 f_{bandal} - 9.98 ave_{BI} + 1.29 ave_{tadavom}$	۸۳/۴	۰/۰۰۲

۴- نتیجه‌گیری

نتایج بررسی داده‌های بارش ایران طی ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۸ مشخص شد که طی این دوره، ایران ۱۲۹ ماه ترسالی فراگیر و ۴۲۳ ماه را با خشکسالی گسترده در ایران حاکم بوده است. در کل می‌توان گفت که در ایران بدلیل موقعیت خاص جغرافیایی و قرارگیری در منطقه جنب حاره، ماه‌های خشک تقریباً ۳ برابر بیشتر از ماه‌های تر رخ داده است. نتایج حاصل از بررسی پراکنش انواع بندال نشان داد که از میان انواع بندال، بیشترین قدرت و شدت را بندال رکس و سپس بریده کم‌فشار داشته است. این بندال‌ها ارتباط مستقیمی در مقیاس ماهانه با ترسالی و رابطه معکوسی با خشکسالی‌های فراگیر ایران دارند؛ اما در ماه‌های خشک حداکثر شدت و تداوم با بندال‌های امگا و بریده پرفشار بخصوص در ماه‌های گرم سال بوده است در نتیجه خشکسالی‌های فراگیر ایران نیز بیشتر شده‌اند. همچنین از لحاظ پراکنش منطقه‌ای نوع بندال، بندال‌ها شکل گرفته در منطقه اطلس بیشتر از نوع بریده کم‌فشارند اما در منطقه خشکی‌های شمالی بیشتر از نوع امگا و سپس بریده پرفشار بوده است.

نتایج تحلیل فضایی نشان داد هر زمان که بندال‌های بریده کم‌فشار و رکس بخصوص در منطقه اطلس و در فصل سرد شکل گرفته، در ایران ترسالی‌های گسترده حکم‌فرما بوده است و زمانی که بریده پرفشار و امگا بخصوص در فصول گرم بیشتر شده ایران دچار خشکسالی گسترده می‌شود.

نتایج حاصل از بررسی ارتباط ماهانه مؤلفه‌های بندالی با دوره‌های تر و خشک در ایران نشان داد که رابطه دوره-های تر با فراوانی و شدت رابطه‌های مستقیم و معنادار بوده است؛ یعنی با رشد فراوانی و شدت بندال ترسالی‌ها نیز افزایش پیدا کرده‌اند و هر زمان که شدت و فراوانی کمتر شده است، دوره‌های تر در ایران نیز با کاهش روبرو شده است؛ اما ارتباط بین خشکسالی و مؤلفه‌های بندال نشان داد که خشکسالی با فراوانی بندال ارتباط مستقیم و با شدت بندال رابطه‌ای معکوس دارد، بنابراین با کاهش شدت بندال‌ها دوره‌های خشک در ایران نیز رشد کرده‌اند. در نتیجه می‌توان گفت که افزایش وقوع بندال‌های ضعیف، باعث تضعیف سامانه‌های بارشی شده و در نتیجه ایران با خشکسالی و افزایش ماه‌های خشک همراه می‌شود. همچنین نتایج آزمون رگرسیون چند متغیره بین مؤلفه‌های بندال به عنوان متغیرهای وابسته و ترسالی به عنوان متغیر مستقل نشان داد که اثر بندال بر ترسالی‌ها بیشتر از خشکسالی‌ها بوده است. به طوری که در کل دوره ضریب اثر گزاری مؤلفه‌های بندالی بر ترسالی‌های ایران حدود ۹۶ درصد و خشکسالی حدود ۸۴ درصد بوده است.

از لحاظ موقعیت مکانی نیز بندال‌های بین عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۵۵ بیشترین اثر را در ترسالی‌های فراگیر ایران داشته‌اند و بندال‌های ۶۵ به بالاتر اثر کمتری داشته‌اند. همچنین بندال‌های شکل گرفته در عرض‌های ۳۵ تا ۵۵ درجه شمالی قوی‌تر از بندال‌های تشکیل شده در عرض‌های ۶۵ و ۷۰ درجه بوده‌اند. این بندال‌ها هر زمان در که در منطقه اطلس بوده‌اند اثر مثبتی در ترسالی‌های ایران داشته‌اند و هر زمان که در عرض‌های واقع در خشکی‌ها (۴۰ درجه

شرقی به بالا) شکل گرفته‌اند ایران درگیر خشکسالی فراگیر بوده است چراکه با تشکیل بندال‌ها و چرخند‌ها در پهنه‌ای آبی انرژی جنبشی بیشتر و قدرت بیشتری برای تحت تأثیر قرار دادن سرزمین‌های در مسیر خود داشته‌اند. محل دقیق قرارگیری هسته‌های پرفشار و کم‌فشار بندال‌ها نیز نقش بسزایی در ترسالی و خشکسالی‌های ایران داشته است؛ به طوری که اگر هسته پرفشار بندالی نظیر امگا بین طول جغرافیایی ۴۰ تا ۸۰ درجه شرقی قرار داشته ایران درگیر خشکسالی بوده است و هر زمان که هسته پرفشار آن بین طول جغرافیایی ۳۰ درجه شرقی تا ۵۰ درجه طول غربی قرار داشت ایران ترسالی را تجربه می‌کرده است چراکه بال راست این بندال به صورت ناوهای عمیق فرود مدیترانه را شکل داده و ایران در سمت راست محور این ناوه واقع می‌شده است، در نتیجه مناطق بیشتری از ایران با بارش و ترسالی روبرو شده‌اند. همچنین اگر هسته پرفشار امگایی در طول شرقی ۸۰ تا ۱۰۰ درجه طول شرقی شکل می‌گرفت بال سمت چپ این بندال نیز بصورت تشکیل ناوه بارش ایران را تحت تأثیر قرار می‌داده است؛ بنابراین با بررسی محل تشکیل و تشخیص نوع بندال شکل گرفته می‌توان وقوع بارش و یا عدم بارش را طی روزها و ماه‌های عادی پیش‌بینی نمود و خود را برای روبرو شدن با آن آماده نمود. در واقع با بررسی دقیق بندال‌ها هنگام تشکیل و مسیریابی آن‌ها می‌توان شرایط اقلیمی آینده مناطق سر راه این سیستم‌ها را به طور دقیق پیش‌بینی کرد.

کتابنامه

- خوش اخلاق، فرامرزی؛ ۱۳۷۶. بررسی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال دوازدهم. دوره دوم. شماره ۴۵. صص ۱۵۴-۱۳۶.
- ذوالفقاری، حسن؛ معصوم پور سماکوش، جعفر؛ رشیدی ناصرخانی، احمد؛ میری، مرتضی؛ ۱۳۹۱. تأثیر سامانه‌های بندالی جو بر وقوع و استمرار دوره‌های خشک غرب و شمال غرب ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. سال سوم. شماره ۹ و ۱۰. صص ۱۰۱-۱۱۹.
- صداقت کردار، عبدالله؛ فتاحی، ابراهیم؛ ۱۳۸۷. شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران. جغرافیا و توسعه. شماره ۱۱. صص ۵۹-۷۶.
- طولابی نژاد، میثم؛ حجازی زاده، زهرا؛ سلیقه، محمد؛ ۱۳۹۸. توزیع فضایی سامانه‌های بندالی و همزمانی آن با ترسالی‌های فصل‌های سرد در ایران. فصلنامه جغرافیا. دوره هفدهم. شماره ۶۲. صص ۲۰-۴۰.
- طولابی نژاد، میثم؛ حجازی‌زاده، زهرا؛ بساک، عاطفه؛ بزمی، نسرين؛ ۱۳۹۷. اثرات نوسان اطلس شمالی بر ناهنجاری تراز میانی جو و بارش ایران (مطالعه موردی: غرب ایران). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. دوره هجدهم. شماره ۴۹. صص ۱۹-۳۵.

عابدی، فاطمه؛ رحیمی، داریوش؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ کیخسروی کیانی، محمد صادق؛ ۱۳۹۷. بررسی اقلیمی سامانه‌های بندالی نیمکره شمالی و ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره پنجاهم. شماره ۴. صص ۶۵۵ - ۶۶۷.

عزیزی، قاسم؛ ۱۳۷۸. بلاکینگ. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۳۷. صص ۳۶-۵۰.
عزیزی، قاسم؛ ۱۳۷۵. بندال و اثر آن بر بارش‌های ایران. رساله دکتری جغرافیای طبیعی. دانشگاه تربیت مدرس.
عزیزی، قاسم؛ خلیلی، مائده؛ ۱۳۹۰. نقش بلاکینگ در رخداد سرماهای فرین ایران. فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره چهل و سوم. شماره ۷۷. صص ۳۹ - ۵۲.

عزیزی، قاسم؛ سلطانی، محسن؛ حنفی، علی؛ رنجبرسعدت‌آبادی، عباس؛ میرزایی، ابراهیم؛ ۱۳۹۰. اثر سامانه بندال در ایجاد بارش‌های شدید (مطالعه موردی: بارش ۴ تا ۷ آبان ماه ۱۳۸۷ شمال غرب ایران). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال بیست و ششم. شماره ۴. صص ۱۱۷-۱۴۷.

کاوایانی، محمدرضا؛ علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۰. مبانی آب و هواشناسی. چاپ نهم. انتشارات سمت.
ناظم السادات، محمدجعفر؛ سامانی، نوزر؛ مولایی نیکو، مصطفی؛ ۱۳۸۴. تغییر اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، بر همکنش با پدیده النینو نوسانات جنوبی. مجله علمی کشاورزی. دوره بیست و هشتم. شماره ۲. صص ۱۰۰-۸۱.

- Barriopedro, David, Ricardo García-Herrera, Anthony R. Lupo, Emiliano Hernández., 2006. A Climatology of Northern Hemisphere Blocking. *J. Climate*, 19: 1042-1063.
- Fowler. A, K. Adams., 2004. Twentieth Century Droughts and Wet Periods in Auckland (New Zealand) and Their Relationship to ENSO. *International Journal of Climatology*, 24: 1974-1961.
- Lupo, A. R., Clark, J. V., Hendin, A. M., Kelly, A. S., Mihalka, K. M., Perrin, B. L., Puricelli, K. M., 2008. The Global Increase in Blocking Occurrences, 21th Conference on Climate Variability and Change/88th Annual Meeting of the American Meteorological Society 19 - 24 January.
- Lupo, A., 1997. A Diagnosis of Two Blocking Events that Occurred Simultaneously in the Mid-Latitude Northern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, 125: 1801 - 1823.
- Lupo, A.R., Smith P.J., 1995. Planetary and synoptic-scale interactions during the life-cycle of a multitude blocking anticyclone over the North Atlantic. *Tellus*, 47: 575-596.
- Lupo. A R., Andrew D. Jensen, Igor I. Mokhov, and Alexander V. Timazhev., 2017. Changes in Blocking Characteristics during the First 21Part of the 21st Century. Conference Proceedings Paper. ECAS2017.
- Pavan, V., Molten, F., and C. Brankovic., 2000. Wintertime variability in the EuroAtlantic region in observations and in ECMWF seasonal ensemble experiments. *Quart. J. Roy. Meteor.Soc*, 126: 2143-2173.
- Rex, D., 1950. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional Climate. I: An aerological study of blocking. *Tellus*, 2: 169-211.
- Sadaf, N., Lin, Y., Dong, W., 2020. Atmospheric blocking modulates the odds of heavy precipitation over Pakistan, EGU General Assembly 2020, Online, 4-8 May 2020, EGU2020-4364, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-4364>.

- Scherer, S.C., Croci-Maspoli, M., Schwarz, C., Appenzeller, C., 2006. Two-dimensional indices of atmospheric blocking and their statistical relationship with winter climate patterns in the Euro-Atlantic region. *Int. J. Climatology*, 26, 233–249.
- Schwierz, C., Croci-Maspoli, M. and Davies, H. C., 2004. Perspicacious Indicators of Atmospheric Blocking, *Geophysical Research Letters*, 31, 1-14.
- Shabbar, A., Huang, J.P., and K. Higuchi., 2001. The relationship between the wintertime North Atlantic Oscillation and blocking episodes in the North Atlantic. *Int. J. Climatology*, 21: 355–369.
- Silmann, J., 2008. Atmospheric Blocking in Present and Future Climate Model Simulations, Ph.D. Thesis Prepared Within the International Max Planck Research School on Earth System Modeling.
- Tran, L, Gregory, K.C and V.Wesner., 2002. Drought in Bulgaria and Atmospheric Synoptic Conditions over Europe. *Kluwer Academic Publishers*, 57: 149-157.
- Triedl, R. A., E. C. Birch, and P. Sajecki., 1981. Blocking action in the Northern Hemisphere, *Atmosphere-Ocean*, 19(1): 1-23.
- Trigo, I. F., G. R. Bigg and T. D. Davies., 2002. Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean, *Mon. Wea. Rev.*, 130(3): 549-569.
- Trigo, R. M., Trigo, I.F., DaCamara, C.C., and T. J. Osborn., 2004. Climate impact of the European winter blocking episodes from the NCEP/NCAR reanalysis. *Climate Dyn.* 23: 17–28.
- Wiedenmann, J.M., A.R. Lupo, I.I. Mokhov, and E.A. Tikhonova., 2002. The Climatology of Blocking Anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: Block Intensity as a Diagnostic. *J. Climate*, 15: 3459–3473.
- Woollings, T.J., Barriopedro, D., Methven, J., Son, S.W., Martius, O., 2018. Blocking and its response to climate change, *Current Climate Change Reports*, 4: 287–300.