



Research Article

Analysis of the positioning of pressure systems in the Afria Zone during the last fifty years of dust days in Iran

Gholamreza Barati^{1*} , Mohammad Moradi², Mersad Jafari Gharehchi¹

1-Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2-Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS), Tehran, Iran

Received: 09 Sep 2024 Accepted: 21 May 2025

Extended Abstract

Introduction

Pressure systems, including low and high pressures, are among the most important factors in shaping the general circulation of the atmosphere on Earth. These systems influence seasonal air circulation and wind patterns, and depending on the conditions of the water and land areas over which they blow, they determine the type of movable particles, especially floating particles (in this research, dust).

Study area

The land of research for this study with an environmental approach, encompasses the country of Iran in the southwest of Asia, covering an area of 1.65 million square kilometers. With a synoptic approach, it includes a region extending from the equator to 70 degrees north latitude and from 20 degrees west to 100 degrees east longitude.

Materials and Methods

In the current research, the hourly codes "06," representing the general concept of "visibility in meters," were collected from the dust code set for 38 cities in Iran over half a century (1970 to 2020) and related to the local time of 15:00 from the National Meteorological Organization. In this study, a dusty day was defined as a day with at least one hourly dust report. The selection of meteorological stations was conducted in a way that covers all over Iran. By arranging visibility values in daily tables and obtaining the frequency of stations with dust (abbreviated as "EDR"), 612 charts of the fluctuations in EDR frequency (one chart for each month) were drawn, and by applying two identifiers of "dust events based on visibility distance for at least during 3 consecutive days" and "dust reports from at least two adjacent stations," a total of 561 dust waves were identified. Therefore, each dust wave has three distinct elements, which include an increasing amplitude, a peak day, and then a decreasing amplitude of dust frequency. The aim of the continuous selection method of days for retrieving dust waves was to test the hypothesis of the impact of pressure systems on the arrangement and duration of the elements mentioned above in the form of positioning patterns of these systems. In the synoptic section, the loading of daily air-maps at the level of 1000 hPa from NCEP/ENCAR and the design of positioning patterns of pressure centers, both low and high pressure, during peak dust days was conducted in two time frames: the first time "distinguished by warm and cold periods of the year" and the second time "distinguished by two 25-year periods." For this purpose, the months of "June, July, August, and September" were considered representative of the warm period of the year, while the months of "December, January, February, and March" were considered representative of the cold period of the year.

Citation: Barati, Gh.R. et al, 2025. Analysis of the positioning of pressure systems in the Afria Zone during the last fifty years of dust days in Iran, *Res. Earth. Sci.* 16(2), (131-144) DOI: 10.48308/esrj.2024.236608.1231

* Corresponding author E-mail address: G_barati@sbu.ac.ir



Results and Discussion


The initial results showed that over the past half-century, among the 38 selected cities in Iran, three cities -Bandar Abbas, Bandar Genaveh, and Dezful—have been distinctly the dustiest in Iran. It was also determined that out of 561 dust wave events recorded in Iran, 189 occurred during the warm and 207 during the cold season. The trend in the frequency of dust waves indicates an increase in this dust hazard over the past half-century, especially during the warm season. In the synoptic section, the results indicated the northward advance of subtropical high-pressure centers over the past 25 years, particularly during the cold season. As a result, the desert belt in this part of the Earth has transformed into a buffer zone between generally low-pressure systems in the south and generally high-pressure systems in the north. This condition is also observed, albeit with less intensity, during the warm season. In this study, this supercontinent devoid of pressure systems during peak storm days of the cold season, extending from the deserts of Africa to the deserts of Asia, was referred to as "Afria" to indicate its orbital direction over the desert lands of these two continents, including the Sahara in Africa and the deserts of Hijaz, Iran, Turan, Tarim and Gobi in Asia. The deserts of this zone are the source of air currents or well-organized winds from the Hadley cell.

Conclusion

Comparison of the northerly positioning of subtropical high-pressure foci suggested the expansion of the Hadley cell in three zones of "African Desert", "Southern Mediterranean Waters" and "Hejaz". If it is determined in the future and with sufficient data that this expansion has also included the land of Iran, we should be more concerned than ever about the arrival of dust from the dusty deserts of Turkmenistan (Central Asia) to Sistan and Baloochestan in the east and southeast of Iran, and as a result, days darker than dust.

Keywords: Pressure systems, Afria zone, Dust days, Iran.

تحلیل جانمایی سامانه‌های فشار در پهنه آفريا (Afria) طی روزهای غباری پنجاه ساله اخیر ایران

غلامرضا براتی^{۱*} , محمد مرادی^۲، مرصاد جعفری قره چی^۱

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱

چکیده گسترده

مقدمه

سامانه‌های فشار شامل کم‌فشارها و پرفشارها از مهمترین عوامل شکل‌گیری گردش عمومی جو روی کره زمین هستند. این سامانه‌ها، گردش فصلی هوا و الگوی بادها را شکل می‌دهند و بسته به شرایط پهنه‌های آبی و خشکی که از روی آنها می‌وزند، نوع ذرات جابجا شونده بویژه ذرات شناور (در این پژوهش غبار) را تعیین می‌کنند.

منطقه مورد مطالعه

سرزمین پژوهش این تحقیق در رویکرد محیطی، کشور ایران را در جنوب باختری آسیا و با مساحت ۱,۶۵ میلیون کیلومتر مربع در برمی‌گیرد و با رویکرد همدید، پهنه‌ای را در عرض جغرافیایی از استوا تا ۷۰ درجه شمالی و در طول جغرافیایی از ۲۰ درجه باختری تا ۱۰۰ درجه خاوری شامل است.

مواد و روش‌ها

در پژوهش کنونی، کدهای ساعتی «۰۶» به مفهوم کلی «افق دید بر حسب متر»، از مجموعه کدهای غبار برای ۳۸ شهر از ایران طی نیم سده (۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰) و مربوط به ساعت ۱۵ به گاه محلی از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. در این تحقیق، روز غباری، روزی تعریف شد که دست کم دارای یک گزارش ساعتی از گرد و غبار باشد. گزینش ایستگاه‌های هواشناسی به شیوه‌ای انجام شد که سراسر ایران را فراگیرد. با چینش مقادیر افق دید در جدول روزانه و دستیابی به فراوانی ایستگاه‌های دارای ریزگرد (به شیوه کوتاه‌نوشت: ادر)، ۶۱۲ نمودار از افت و خیزهای فراوانی ادرها (برای هر ماه یک نمودار) ترسیم شد و با کاربست دو شناسه «رخداد غبار بر اساس مسافت افق دید دست کم در ۳ روز پیاپی» و «گزارش غبار دست کم در دو ایستگاه کنار هم» جمعا ۵۶۱ موج غبار شناسایی شد. از این رو هر موج غبار دارای سه عنصر آشکار، به ترتیب شامل یک دامنه افزایشی، یک روز اوج و سپس یک دامنه کاهش از فراوانی ادرها بود. هدف از شیوه انتخاب پیوسته روزها برای بازیابی موج‌های غبار، آزمودن گمان تاثیر سامانه‌های فشار بر ترتیب و دوام عناصر یاد شده در قالب الگوهای جانمایی این سامانه‌ها بود. در بخش همدید، بارگیری نقشه‌های روزانه هوا در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال از پایگاه بازکاوی داده‌های جو و طراحی الگوهای جانمایی مراکز فشار اعم از کم فشار و پرفشار طی روزهای اوج غبار در دو نَهَنج زمانی انجام شد:

استناد: براتی، غ.ر. و همکاران، ۱۴۰۴. تحلیل جانمایی سامانه‌های فشار در پهنه آفريا (Afria) طی روزهای غباری پنجاه ساله اخیر ایران، پژوهش‌های دانش زمین: ۱۶(۲)، (۱۴۴-۱۳۱)، DOI: 10.48308/esrj.2024.236608.1231

E-mail: G_barati@sbu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



بار نخست «به تفکیک دوره‌های گرم و سرد سال» و بار دوم «به تفکیک دو دوره ۲۵ ساله». برای این کار، ماه‌های «ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر» نماینده دوره گرم سال و ماه‌های «دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس» نماینده دوره سرد سال در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نخستین نتایج نشان داد طی نیم سده اخیر از میان ۳۸ شهر برگزیده ایران، سه شهر بندرعباس، بندر گناوه و دزفول با تفاوتی آشکار از دیگر شهرها؛ غباری‌ترین شهرهای ایران بوده‌اند. همچنین مشخص شد از ۵۶۱ موج غبار بازیابی شده در ایران، ۱۸۹ موج در دوره گرم سال و ۲۰۷ موج در دوره سرد سال رخ داده‌اند. روندیابی فراوانی موج‌های غبار گویای افزایش مخاطره ریزگرد طی نیم سده اخیر بویژه در دوره گرم سال است. در بخش همدید، نتایج گویای پیشروی مراکز پرفشار جنب‌حاره طی ۲۵ سال اخیر به سمت شمال بویژه در دوره سرد سال بود. به گونه‌ای که کمربند بیابانی در این بخش از کره زمین، به پهنه‌ای حایل میان سامانه‌های عموما کم‌فشار در جنوب و سامانه‌های عموما پرفشار در شمال تبدیل شده است. این شرایط با شدتی کمتر در دوره گرم سال هم دیده می‌شود. در پژوهش کنونی، این پهنه تهنی شده از سامانه‌های فشار طی روزهای اوج توفان‌های دوره سرد سال که از بیابان‌های آفریقا تا بیابان‌های آسیا امتداد یافته است؛ «آفریا» یعنی پهنه‌ای غبارخیز و مشترک میان «آفریقا و آسیا» نامیده شد تا گویای راستای مداری آن روی سرزمین‌های بیابانی این دو خشکی شامل ساها را در خشکی آفریقا و بیابان‌های حجاز، ایران، توران، تاریخ و گبی در خشکی آسیا باشد. بیابان‌های این پهنه؛ وزشگاه جریان‌های هوا یا بادهای بسامان از یاخته هدلی است.

نتیجه‌گیری

مقایسه جابجایی‌های شمالسوی رخ داده در جانمای کانون‌های کم‌فشار و پرفشار یاد شده؛ بویژه در گستره سه پهنه «بیابان آفریقا»، «آب‌های مدیترانه جنوبی» و «حجاز»، گمان گسترش یاخته هدلی را مطرح می‌کند. چنانچه در آینده و با داده‌های کافی بتوان این گسترش را علاوه بر سه پهنه یاد شده، به سرزمین ایران هم تعمیم داد؛ می‌توان گفت از میان چشمه‌های غبار که از پیرامون، کشور ما را نشانه رفته‌اند، در آینده باید شاهد تقویت بیش از پیش چشمه توران (آسیای میانه) به سوی چاهه سیستان و بلوچستان در خاور و جنوب خاوری ایران و در نتیجه روزهایی تاریک‌تر از غبار باشیم. البته مرتبط با این هشدار، در الگوی همدید دوره گرم سال نیز به شکل محسوس، تقویت و جنوبی‌تر شدن پرفشارهای آسیای میانه مشاهده شد.

واژگان کلیدی: سامانه‌های فشار، پهنه آفریا، روزهای غباری، ایران.

مقدمه

روزهای غباری آبادان نسبت به شهر دزفول که به مراتب از مرز ایران و عراق دورتر است؛ باید مربوط به عوامل درون‌سرزمینی مانند سطوح دستکاری شده پیرامون شهرها و زمین‌های احتکار شده برای افزایش قیمت باشد. همچنین مرتبط با عوامل برون‌سرزمینی می‌توان در پژوهش‌های خارجی به طور نمونه به مسیر جابجایی ۶۰۰۰ کیلومتری غبار در تحقیق شاهسونی و همکاران (Shahsavani et al, 2010) و نیز ناسادورا و همکاران (Natsagdorja et al, 2003) و در پژوهش‌های داخلی به افزایش چشمه‌های غبارخیز از سوی عراق، سوریه و حجاز تا سه برابر و نیم (Buchani and Fazeli, 2011) اشاره کرد. تاکنون در برخی از پژوهش‌های مربوط به فراوانی روزهای غباری، بازه‌های

آلودگی هوا یکی از بزرگ‌ترین بلاهای عصر کنونی است (Manisalidis et al, 2020) و بر حسب اینکه چه سبب‌برایی از نیمرخ جو را درگیر کند، می‌تواند در درجه نخست از نوع گازهای گلخانه‌ای باشد که اغلب پایین‌ترین لایه جو را درگیر می‌کند و ناشی از شرایط پایداری جو و بیشتر متاثر از عوامل درون‌سرزمینی است و در درجه دوم می‌تواند از نوع غبار باشد که سبب‌برایی چندین کیلومتری از جو ناپایدار را درگیر می‌کند و سهمی از آلودگی متاثر از عوامل برون‌سرزمینی است. مرتبط با عوامل درون‌سرزمینی موثر بر توفان‌های غبار در ایران، کرمی (karami, 2010) برای توفان‌های غبار استان خوزستان دریافت که فراوانی کمتر

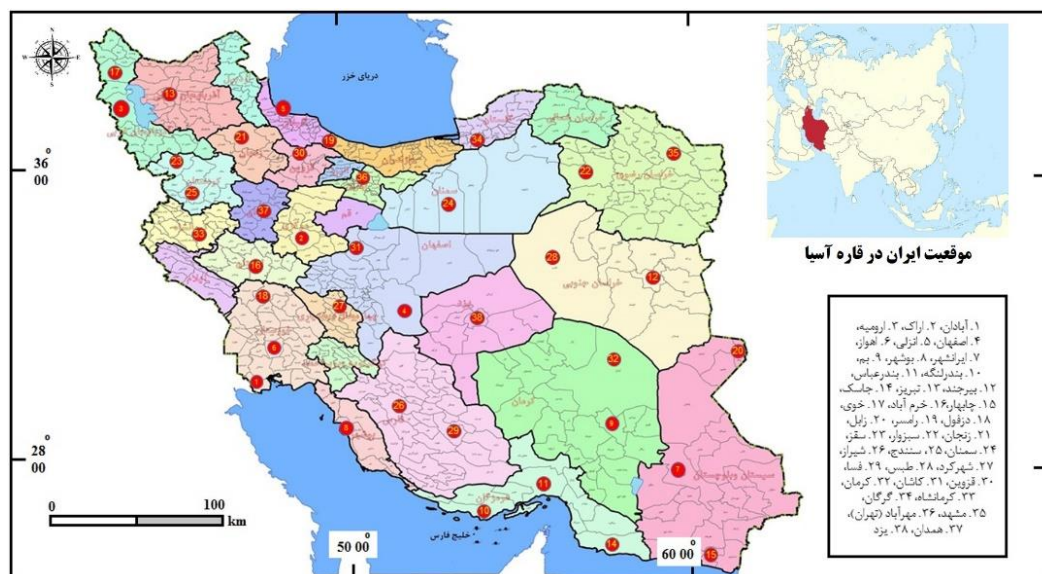
اصل عربی نیستند. در این مقاله فارسی‌نگاشت آنها به کار رفت) تا باختر چین طی دو دوره گرم و سرد سال مورد توجه بوده است. بدین معنا که هر سه رویکرد از محققان پیشین در یک بازه زمانی طولانی‌تر یعنی ۵۰ سال و نیز در پهنه‌ای گسترده‌تر از این اقیانوس تا چین مورد توجه قرار گرفت تا نقش سامانه‌های یاد شده در روزهای اوج غبار در قالب الگوهای همدید طراحی و تحلیل شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سرزمین پژوهش این تحقیق در رویکرد محیطی، کشور ایران را در جنوب باختری آسیا و با مساحت ۱,۶۵ میلیون کیلومتر مربع در برمی‌گیرد و با رویکرد همدید، پهنه‌ای را در عرض جغرافیایی از استوا تا ۷۰ درجه شمالی و در طول جغرافیایی از ۲۰ درجه باختری تا ۱۰۰ درجه خاوری شامل است. برای این پژوهش از میان کدهای گرد و غبار از ۰۵ تا ۰۹ به ترتیب از کدهای کداری هوا تا کدهای توفان گردوخاک، داده‌های کد ۰۶ برای مجموعه ۳۸ ایستگاه داده‌سنجی جوی در گستره ایران و برای بازه آماری ۵۰ ساله (۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰) استخراج شد. شکل ۱، پراکنش ایستگاه‌های برگزیده را نشان می‌دهد.

زمانی بیشینه و کمینه این روزها مورد توجه بوده است. از این دسته تحقیقات می‌توان موارد افزایش روزهای غباری در غرب ایران طی ماه‌های مه، ژون و ژولای (Azizi et al, 2012)، در تابستان‌های ایران (Abdi Vishkaee, 2011) با افزایش بادهای شمالی (Dadashi-Roudbari; 2020)، در تابستان و بهار ایران با افزایش بادهای شمال باختری (Al-Khalidi et al, 2021)، طی دوره گرم سال در ایران (Kutiel, 2003) و افزایش روزهای غباری ترکمنستان در فصل بهار (Orlovsky et al, 2005) را یاد کرد. در برخی دیگر از تحقیقات، به شناسایی سرزمین‌هایی پرداخته‌اند که از سطوح آنها، غبار برداشت می‌شود مانند بازیابی چشمه‌های گسترده غباری عراق (Wilkerson, 1991) و حجاز (Naserpour et al, 2015) به سمت غرب و جنوب غرب ایران و نیز چشمه بیابان توران (ترکمنستان) به سمت خراسان (Mohamadi and Hosseinzadh, 2015). در این میان برای برخی محققان نقش جانمایی سامانه‌ها یا زبانه‌های فشار مانند پرفشار آזור (Barati et al, 2011)، حجاز (Alizadeh-Mofidi and Jafari, 2022) و حتی هندوکش (Choozari et al, 2014) در افزایش روزهای غباری ایران و یا بخش‌هایی از کشور بازیابی شده است. در پژوهش کنونی، فراوانی روزهای غباری ایران با محوریت جانمایی سامانه‌های کمفشار و پرفشار در گستره‌ای از اقیانوس اطلس (واژه‌های جغرافیایی اطلس، آناتولی، اتریش و ... در

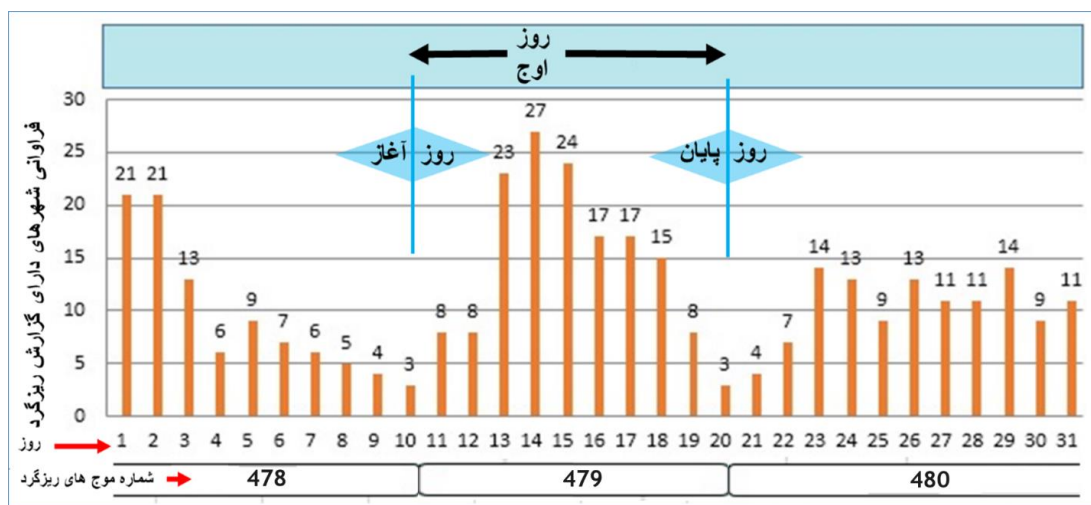


شکل ۱: نقشه موقعیت سرزمین پژوهش و ایستگاه‌های سی و هشتگانه برگزیده
Fig. 1: Map of the study area and the thirty-eight selected stations

روش تحقیق

شناسه «۰۶» نماینده گردوغبار شناور در هوا و ناشی از توفان ماسه و خاک است که از جاهای دور به ایستگاه آمده است. تا کنون این شناسه در تحقیقات بسیاری مانند منشایابی توفان‌های غباری جنوب غرب ایران (Naserpour et al, 2015) بررسی ریزگردهای استان ایلام (Heydari et al, 2019) و بررسی توفان‌های غباری جنوب ایران (Barati et al, 2017) استفاده شده است. داده‌های این کدها شامل مقادیر روزانه افق دید بر حسب متر هستند که طی بازه ۵۰ ساله اخیر و به تفکیک هر ماه در جداول روزانه مرتب شدند تا با شناسایی روزانه شهرهای درگیر، تغییرات آنها در قالب نمودارهای ماهانه نشان داده شود. بر پایه این تغییرات، هر روزی که فراوانی ایستگاه‌های دارای ریزگرد (به شیوه کوتاه‌نوشت: اِدِر)، در آن از روزهای پیش و پس بیشتر بود و به ترتیب دامنه‌ای فزاینده و پس از آن کاهش نشان داد؛ یک موج از این مخاطره شناسایی شد. در این تحقیق، روز غباری به روزی گفته شد که حداقل دارای یک گزارش ساعتی از گرد و غبار در نوبت‌های ساعتی دیده‌بانی باشد. در تحقیقات ناسادورا و همکاران (Natsagdorja et al, 2003) برای مغولستان و گودون و تادهانتر (Godon and Todhunter, 1998) برای داکوتای آریزونا و نیز عزیزی و همکاران (Azizi et al, 2012) برای نیمه غربی ایران؛ فراوانی روزانه بیشتر توفان‌های غباری در ساعات عصرگاهی (بین ۱۲ تا ۱۸) نسبت به نوبت‌های هفتگانه دیگر بوده است.

از این رو داده‌های افق دید در پژوهش کنونی از ساعت ۱۵:۳۰ به وقت محلی برابر با ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ، برداشت شد. پس از شناسایی روزانه ادرها، دو شناسه برای تعیین موج غبار، تعریف شد: یکی رخداد غبار بر اساس مسافت افق دید دست کم در ۳ روز پیاپی و دیگری گزارش غبار دست کم در دو ایستگاه کنار هم. انتقال مقادیر مسافت افق دید به جداول روزانه و سپس انتقال فراوانی ادرها طی هر ماه به نمودار ماهانه، جمعا ۶۱۲ نمودار از افت و خیز ادرها، با دامنه‌های بلند و کوتاه ارایه داد. در پژوهش کنونی و بر پایه نمودارهای رسم شده، گروهی از ادرها که فراوانی آنها طی روزهای پیاپی از افزایشی آشکار طی چند روز آغازین، سپس کاهش آشکار در روزهای بعد و میان این دو دامنه افزایشی و کاهش، یک روز اوج نشان داد؛ «موج غبار» تعریف شد. ترتیب این افزایش، اوج و کاهش طی روزهای رخداد موج، گویای خیزش و سپس فروکش کردن یک توفان انگاشته شد تا در بخش بررسی‌های همدید و بر پایه نقشه‌های روزانه تراز جوی از تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (بارگیری شده از پایگاه بازکاوی داده‌های جوی)^۱ و طی روزهای اوج از هر موج غبار، جانمایی سامانه‌های فشار موثر بر آن پایش شود. در پژوهش کنونی تا زمانی که این پدیده مبتنی بر داده‌های فراوانی ادرها بوده است، «موج غباری» و از زمانی که با تغییرات سامانه‌های فشار موثر بر آن در نقشه‌های هوا مستند شد، «توفان غبار» نامیده شد. شکل ۲، شیوه بازیابی یک موج غبار را در ماه مارس سال ۲۰۱۲ نشان می‌دهد.

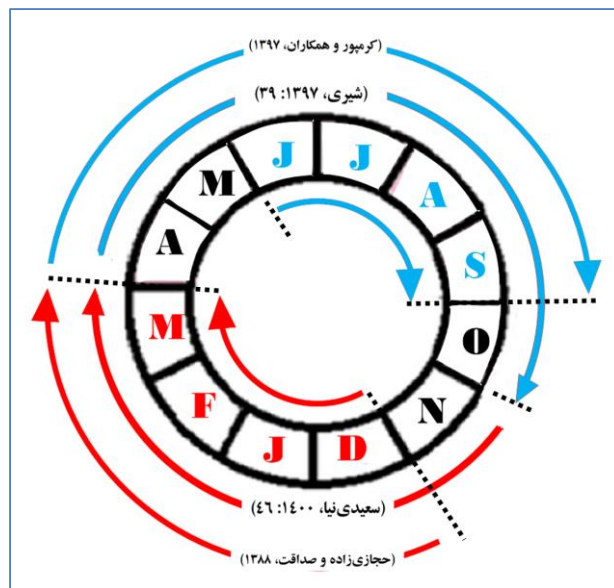


شکل ۲: مشخصات و شیوه بازیابی موج غبار طی مارس ۲۰۱۲

Fig. 2: Characteristics and retrieval method of the dust wave during March 2012

در پایان این مرحله، مجموع ۵۶۱ موج غبار شناسایی شد که با کاربست سنج «برای هر ماه یکی»، به ۳۹۶ موج کاهش یافت و این تعداد در دوره‌های سرد و گرم از هر سال به ترتیب به ۲۰۷ و ۱۸۹ موج تفکیک شدند. برای تعیین دوره‌های گرم و سرد سال در این تحقیق با توجه به واقعیت‌هایی مانند گستردگی سرزمین و تقدم و تاخر آغاز و پایان گرما و سرمای هوا در عرض‌های جنوبی‌تر و شمالی‌تر ایران، ماه‌های «ژوئن، جولای، اوت و سپتامبر» نماینده دوره گرم سال و ماه‌های «دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس» نماینده

دوره سرد سال منظور شدند. این انتخاب هماهنگ با چارچوب ماه‌های انتخابی محققان پیشین است. چنانکه پیش از این سعیدی‌نیا و همکاران (Barati et al, 2021)، مارس تا نوامبر و حجازی‌زاده و صداقت (Hejazizadeh and Sedaghat, 2010)، مارس تا دسامبر را نماینده ماه‌های دوره گرم سال گرفته‌اند. همچنین ماه‌های دوره سرد سال در تحقیق شیری (Shiri, 2016)، از آوریل تا اکتبر و در تحقیق روحبخش و همکاران (Roohbakhsh et al, 2018)، آوریل تا سپتامبر منظور شده است (شکل ۳).



شکل ۳: بازخوانی ماه‌ها در دوره‌های گرم و سرد سال با پژوهش‌های پیشین

Fig. 3: References of months in warm and cold periods of the year based on previous studies

سال؛ موجی که روز اوج آن دارای بیشترین ادر بود؛ موج نشاندار غبار آن دوره تعیین شد (شکل ۴).

در آخرین مرحله با کاربست سنج «برای هر دوره یک موج» و با هدف طراحی الگوهای همدید جانمایی سامانه‌های فشار، از هر یک از دوره‌های گرم و سرد در هر



شکل ۴: گزینش مرحله‌مند امواج نشاندار غبار در ایران به ترتیب از بازه، ماه تا دوره

Fig. 4: Stepwise selection of marked dust waves in Iran, respectively from interval to month and period

به لحاظ روزهای غباری بسیار پرتکرار هستند و با فاصله‌ای از این سه شهر، چهار شهر بعدی شامل جاسک، زابل، اهواز و بوشهر رتبه‌دار شهرهای غباری هستند. از این رو در مرحله

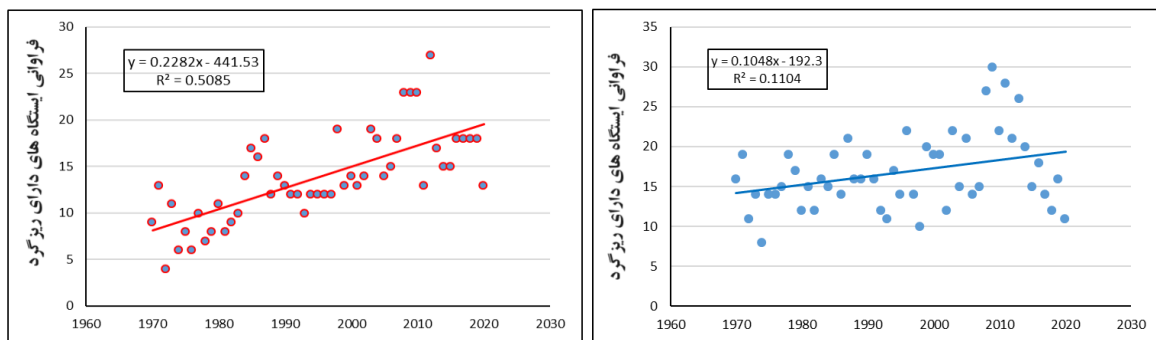
برای دستیابی به اطمینان بیشتر نسبت به درستی انتخاب موج‌های غبار، فراوانی ادرها طی روز اوج به شیوه کاهشی مرتب و مشخص شد که شهرهای بندرعباس، گناوه و دزفول

نخست با حذف ۳ شهر بندرعباس، گناوه و دزفول و در مرحله دوم با حذف ۴ شهر بعدی، موج‌های غبار بازرسی شد و از این راه، بازیابی ۵۶۱ موج غبار طی نیم سده اخیر در ایران تایید شد. در بخش همدید، نقشه‌های روزانه هوا در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال از پایگاه بازکاوی داده‌های جو ENCEP/ENCAR بارگیری تا الگوهای جانمایی مراکز فشار اعم از کم‌فشار و پرفشار طی روزهای اوج غبار در دو نَهَنج (در پارسی به معنای ظرف، آنچه در آن مواد مختلف بریزند) زمانی یکبار «به تفکیک دوره‌های گرم و سرد سال» و بار دوم «به تفکیک دو دوره ۲۵ ساله» طراحی شود.

نتایج

نخستین نتایج نشان داد طی نیم سده اخیر از میان ۳۸ شهر برگزیده ایران، سه شهر بندرعباس، بندر گناوه و دزفول با تفاوتی آشکار از دیگر شهرها طی سال پربارتر بودند. پیش از این مرشدی نودژ و رضازاده (Morshedi and

Rezazadeh, 2016)، فراوانی بالای گردوغبار در بندرعباس را با غلبه بادهای جنوبی در این شهر مرتبط دانسته‌اند. همچنین مشخص شد از ۵۶۱ موج غبار بازیابی شده در ایران طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۰، با سنج «یک موج غبار از هر ماه»، ۱۸۹ موج غبار برای دوره گرم سال یعنی ماه‌های ژون، ژولای، اوت و سپتامبر و ۲۰۷ موج برای دوره سرد سال یعنی ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس به دست می‌آید. پالایش موقت و دو مرحله‌ای ۳ و ۴ شهر پرتکرار و متاثر از عوامل محلی در میان ادراها از مجموع شهرهای سی و هشتگانه، قابلیت طراحی الگوهای همدید جانمایی سامانه‌های فشار را برای امواج غبار شناسایی شده تایید کرد. شکل ۵، تغییرات فراوانی ادراها را در ایران و طی نیم سده در دو دوره سرد و گرم سال نشان می‌دهد. بر این اساس مخاطره غبار طی نیم سده اخیر بویژه طی دوره گرم سال روند افزایشی داشته است.



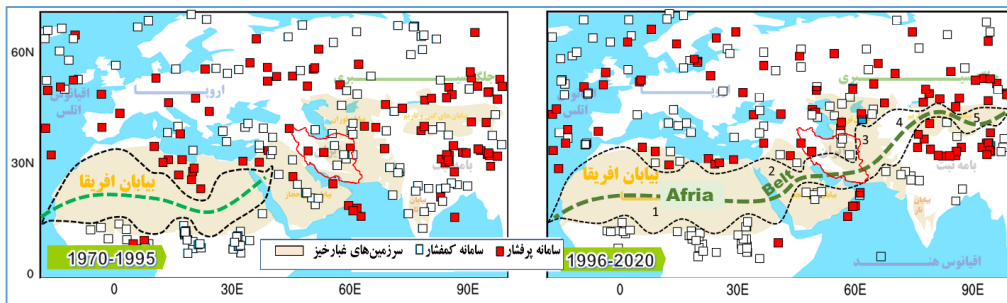
شکل ۵: تغییرات فراوانی ادراها در ایران به تفکیک دوره‌های سرد (سمت راست) و گرم (سمت چپ) سال (۱۹۷۰-۲۰۲۰)
Fig. 5: Variations in the frequency of EDRs in Iran, differentiated by cold (right) and warm (left) periods every year (1970–2020)

پژوهش کنونی، این پهنه تهی شده از سامانه‌های فشار طی روزهای اوج توفان‌های دوره سرد سال که از بیابان‌های آفریقا تا بیابان‌های آسیا امتداد یافته، با خط‌چین مشخص شده است؛ «آفرا»^۳ نامیده شد تا گویای راستای مداری آن روی سرزمین‌های بیابانی این دو خشکی شامل صحرا در خشکی آفریقا و بیابان‌های حجاز، ایران، توران، تاریم و گبی در خشکی آسیا باشد. جانمایی سامانه‌های فشار طی روزهای اوج توفان‌های نشاندار در دوره سرد سال و طی دو بازه ۲۵ ساله نشان داد مجموعه سامانه‌هایی که سرشت حاره‌ای و جنب‌حاره‌ای دارند، به عرض‌های بالاتر کوچیده‌اند. این جابجایی روی سرزمین‌های هند، ایران و

الگوی جانمایی سامانه‌های موثر بر گرد و غبار طی دوره سرد سال: برای دستیابی به تأثیرات همبسته مجموعه سامانه‌های فشار بر رخداد توفان‌های غبار در گستره‌ای فراتر از ایران یعنی از سواحل باختری آفریقا تا باختر چین، کانون کم‌فشار و پرفشار طی دوره سرد سال و در بازه ۲۵ ساله (۱۹۷۰ تا ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰)، جانمایی شد (شکل ۶). نتایج گویای پیشروی مراکز پرفشار جنب‌حاره^۲ طی ۲۵ سال اخیر به سمت شمال در دوره سرد سال بود. به گونه‌ای که کمربند بیابانی در این بخش از کره زمین، به پهنه‌ای حایل میان سامانه‌های عموماً کم‌فشار در جنوب و سامانه‌های عموماً پرفشار در شمال تبدیل شده است. در

و پرفشارها روی اقیانوس اطلس شمالی بیشتر شده است. کم‌فشارهای روی ایران، اغلب به سوی پهنه خزر و جلگه توران گراییده‌اند (شکل ۶).

بویژه بیابان آفریقا آشکارتر است. کم‌فشارهای دریای مدیترانه به بخش‌های میانی دریا و پیرامون ایتالیا روی آورده‌اند. پرفشار تبت، روی این بامه متمرکزتر شده است. کم‌فشار گنگ به شدت ضعیف شده است. فراوانی کم‌فشارها

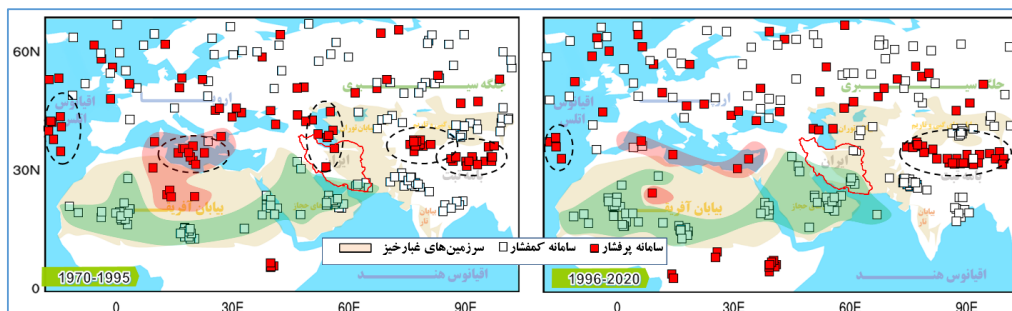


شکل ۶: جانمای کم‌فشارها و پرفشارها در روزهای اوج توفان‌های غبار ایران در دو بازه ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۵ (سمت چپ) و ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ (سمت راست) طی دوره سرد سال

Fig. 6: Positioning of low-pressure and high-pressure systems on peak dust storm days in Iran during two periods: 1970–1995 (left) and 1996–2020 (right) in every cold season

می‌تواند موضوع تحقیقات آینده و مرتبط با سرعت بیشتر گرم‌تر شدن سرزمین‌های پست جنوب آسیا نسبت به بامه‌ها و کوهستان‌های این بخش از جهان باشد. محققان برای مناطق پست این بخش از جهان، افزایش دمای هوا را تا بیش از ۴ درجه سلسیوس در بنگلادش تا سال ۲۱۰۰ (Caesar et al, 2015) و افزایش تا نزدیک ۵ درجه سلسیوس برای هند تا سال ۲۰۸۰ (Jat et al, 2016) ذکر کرده‌اند ولی این افزایش برای سرزمین‌های بلند و کوهستانی با تعابیر گوناگون مانند کوچک‌تر شدن یخچال‌های طبیعی روی تبت (Latif et al, 2019)، هیمالیا و جنوب شرق تبت (Zhang et al, 2021) و کاهش پوشش برف بامه تبت (Li et al, 2018) یاد شده است.

الگوی جانمایی سامانه‌های موثر بر گرد و غبار طی دوره گرم سال: جانمایی سامانه‌های فشار طی روزهای اوج توفان‌های نشاندار غبار ایران در دوره گرم سال و طی دو بازه ۲۵ ساله در شکل ۷ نشان می‌دهد طی ۲۵ سال دوم، بخش‌هایی از خاور بیابان ساهارا در آفریقا از سامانه‌های فشار خالی و تمرکز کم‌فشارهای دریای مدیترانه در بخش میانی دریا از میان رفته است. تحقیقات اخیر نیز امینی و همکاران (Amini et al, 2017) گویای گرم‌تر شدن دریای مدیترانه طی دهه‌های اخیر است. آیا کاهش تمرکز سامانه‌ها روی مدیترانه با کاهش اختلاف دمای این دریا با خشکی‌ها پیرامون پیوند دارد؟ همچنین، پرفشارهای روی بامه‌های تبت و پامیر، با پیوستن به هم، راستای مداری‌تری یافته‌اند. این تمرکز و پیوستگی

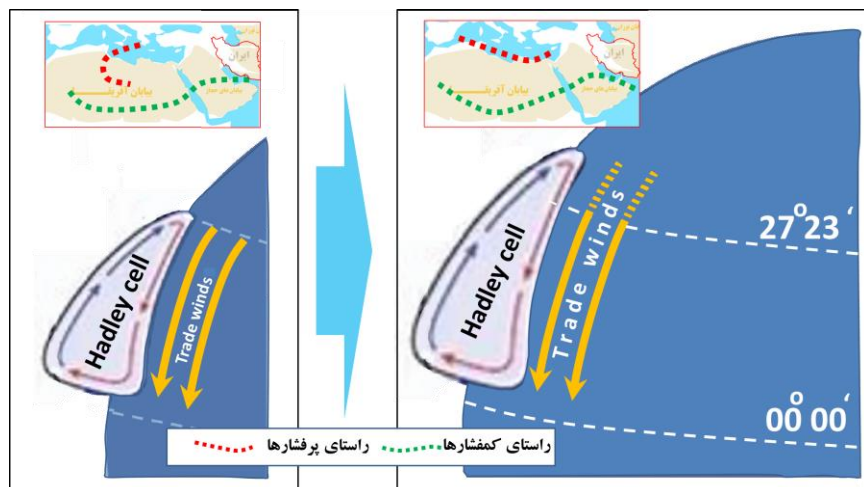


شکل ۷: جانمای کم‌فشارها و پرفشارها در روزهای اوج توفان‌های غباری ایران در دو بازه ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۵ (سمت چپ) و ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۰ (سمت راست) طی دوره گرم سال

Fig. 7: Positioning of low-pressure and high-pressure systems on peak dust storm days in Iran during two periods: 1970–1995 (left) and 1996–2020 (right) in the warm season.

بادهای بسامان از یاخته هدلی^۵ است. این بادهای بنا به نظر دیاز و برادلی (Diaz and Bradley, 2004) یکی از اجزای یاخته هدلی هستند و مانند کمربندی دور تا دور کره زمین را در دو نیمکره فراگرفته‌اند. مقایسه جابجایی‌های شمالسوی رخ داده در کانون‌های پرفشاری یاد شده؛ بویژه در گستره سه پهنه بیابان آفریقا، آب‌های مدیترانه جنوبی و حجاز؛ گمان گسترش یاخته هدلی را مطرح می‌کند (شکل ۸).

از یک سو چنانکه در شکل ۷ دیده می‌شود، بیشتر کانون‌های پرفشار بازیابی شده در پژوهش کنونی یعنی مربع‌های سرخ‌رنگ در شمال بیابان آفریقا و حجاز هستند. این پهنه که با رنگ سرخ روشن مشخص شده، محل نزول جریانات هوای اوج گرفته از همگرایی استوایی است و از سوی دیگر کانون‌های کمفشاری جنوب سرزمین‌های یاد شده یعنی مربع‌های خالی داخل پهنه سبز روشن در محل بالاروی و همگرایی حاره^۴ دیده می‌شوند. سرزمین‌های حایل میان این دو دسته سامانه؛ وزشگاه جریان‌های هوا یا



شکل ۸: الگوی گسترش شمالسوی یاخته هدلی طی دو بازه ۲۵ ساله در پهنه بیابان‌های آفریقا تا حجاز

Fig. 8: Northward expansion pattern of the Hadley cell over two 25-year periods over the desert regions from Africa to Hijaz

دیده شدند، در بازه ۲۵ ساله اخیر روی خزر مرکزی تمرکز و در عین حال کاهش یافته‌اند. در مجموع کانون‌های پرفشاری روی خشکی‌ها شامل بامه‌های تبت و پامیر تقویت و کانون‌های پرفشاری روی آب‌های شمال باختری آفریقا، مدیترانه و خزر از میان رفته‌اند. از این رو در صف‌آرایی مداری کم‌فشارها و پرفشارها به ترتیب روی مدارهای ۲۰ و ۴۰ درجه شمالی، قرارگیری ایران میان این دو صف، آشکارتر شده است و پرفشارهای جنب حاره‌ای روی پهنه آفرا افزایش یافته‌اند (شکل ۷). چنانکه شکل ۷ نشان می‌دهد در ۲۵ سال نخست، پرفشارها روی بامه تبت، بامه پامیر، دریای خزر، دریای مدیترانه و اقیانوس اتلس تمرکز دارند ولی در ۲۵ سال دوم تمرکز آنها روی دریاهای خزر و مدیترانه از میان رفته، روی اقیانوس کم شده ولی روی دو بامه تبت و پامیر افزایش یافته است تا آنجا که یک کمربند سراسری و یکپارچه را تشکیل داده‌اند. در ۲۵ سال دوم، تحقیقات گویای گسترش پهنه‌های یخ و برف روی تبت و

چنانچه در آینده و با داده‌های کافی بتوان این گسترش را علاوه بر سه منطقه یاد شده، به سرزمین ایران هم تعمیم داد؛ در این صورت به نظر می‌رسد باید شاهد تقویت چشمه ریزگرد توران (آسیای میانه) بود و برای خاور ایران بویژه سیستان و بلوچستان روزهای تاریک‌تری را پیش‌بینی کرد. البته مرتبط با این هشدار، در الگوی همدید دوره گرم سال (شکل ۷) نیز به شکل محسوس، تقویت و جنوبی‌تر شدن پرفشارهای آسیای میانه مشاهده می‌شود. اینکه آیا پیوستگی کانون‌های پرفشار روی این دو بامه گویای افزایش اختلاف دما میان بلندی‌های این دو بامه با سرزمین‌های پست و گاه بیابانی جنوب، باختر و شمال آنها به ترتیب شامل بیابان تهر در هند، توران در ترکمنستان و تاریم در چین است یا نه؛ شایسته انجام پژوهش‌های بیشتری در آینده است. همچنین شبیه شرایط پرفشارهای مدیترانه، پرفشارهایی که طی ۲۵ سال نخست، به گونه‌ای پراکنده روی خزر از سمت جنوب تا ایران و از سمت شمال تا قفقاز

حامل غبار و مورد اشاره محققان احمدی و همکاران (Ahmadi et al, 2015)، کاسکائوتیس و همکاران (Kaskaoutis et al, 2019)، یو و همکاران (Yue et al, 2019)، روباخیتی و همکاران (Rupakheti et al, 2019) و محمدپور و همکاران (Mohammadpour et al, 2022) را از آسیای میانه برای پر کردن چاه‌های فشار کم در جنوب ایران نه تنها به سوی شرق و جنوب شرق بلکه بر کل ایران سرعت ببخشد و مسلط کند. موضوع گسترش یاخته هدلی، پیش از این در بحث گردش عمومی جو در تحقیقات، با تعبیر شمال‌سوتر شدن مسیر توفان‌های استوایی (Lu et al, 2007) و افزایش خطر آنها در عرض‌های بالاتر (Sharmila and Walsh, 2018) و نیز در بحث از سامانه‌های پرفشاری کرانه شمالی یاخته هدلی در تحقیق گریس و دیویس (Grise and Davise, 2020) و اسمیت و گریس (Schmidt and Grise, 2017) اشاره شده است. این گسترش بنا به نظر شیان و همکاران (Xian et al, 2021) با افزایش موج‌های گرما در اروپا مرتبط است. شایان ذکر است، جابجایی شمال‌سوی یاخته هدلی با آغاز تابستان و سپس جابجایی جنوب‌سوی آن با آغاز زمستان و عکس آن در نیمکره جنوبی، پدیده‌ای سالانه است که به شیوه خورشیدآهنگ و یا به عبارت دیگر گهواره‌ای و در شعاعی ثابت رخ می‌دهد. از این رو گسترش شمال‌سوی یاخته هدلی را می‌توان، همان جابجایی شمال‌سو سالانه دانست که از حالت ثابت خارج شده، شعاع خود را به سمت عرض‌های بالا به شکلی غیرعادی افزایش می‌دهد. با اینکه از یک سو گسترش یاخته هدلی را نمی‌توان بی‌ارتباط با تغییر آب‌وهوا دانست و از سوی دیگر محققان (Ridder et al, 2022; Wainwright et al, 2021; Dunning et al, 2018) از جمله پیامدهای تغییرات آب‌وهوا را رخداد بارش‌های رگباری و شدید می‌دانند؛ با این همه وقتی سطوح سرزمینی ایران، سترده از گیاه و عموماً دستکاری شده باشد؛ سیلاب‌های حاصل از این بارش‌ها فرساینده شده، می‌توانند خوراک بیشتری را در دوره‌های خشکی که میان بارندگی‌ها رخ می‌دهد، در اختیار بادهایی بگذارند که پهنای نصف‌النهاری این یاخته را از شمال به جنوب ایران در می‌نوردند. در پایان، قضاوت درباره پیوند گرمای کم‌سابقه چندسال اخیر ایران طی تابستان بویژه گرمای امسال (تابستان ۱۴۰۳) با گسترش یاخته هدلی که در این پژوهش کار شد، اندکی

پامیر نیست بلکه گویای کاهش این پهنه‌هاست. پس چرا با افزایش کانون‌های پرفشار روی این دو بامه روبرو هستیم؟ آیا گرم‌تر شدن بیشتر سرزمین‌های پست پیرامون این دو بامه مانند بنگلادش و آبخیزهای گنگ و براهماپوترا (Caesar et al, 2015) هندوستان (Jat et al, 2016; Naveendrakumar, 2012)، بیابان تار (Chaturvedi et al, 2012)، سند (Im et al, 2017)، هنگ‌کُنگ (et al, 2015)، در افزایش این سامانه‌های پرفشاری نقش دارد؟ بر همین روال، کاهش همگرایی پرفشارها روی آب‌های خزر، مدیترانه و نیز آب‌های اقیانوس در شمال باختری آفریقا نیز طی ۲۵ سال اخیر نیز می‌تواند متأثر از گرم‌تر شدن این آب‌ها نسبت به ۲۵ سال پیشین باشد.

نتیجه‌گیری

از گذشته تا کنون در عرصه آب و هواشناسی، صف‌آرایی کم‌فشارها در راستای کمربند همگرایی حاره و پرفشارها در عرض‌های جنب‌حاره، توجیه‌کننده پیدایش بادهای بسامان بوده است. در پژوهش کنونی شواهد روشنی از پیدایش پهنه‌ای حایل میان این دو راستا یعنی راستای مداری کم-فشارهای یاد شده و راستای نسبتاً مداری پرفشارها روی بیابان بزرگ ساهارا در آفریقا به دست آمد. این شواهد نشان داد پهنه حایل طی دهه‌های اخیر از آفریقا به سمت ایران، آسیای میانه و تا باختر چین پیشروی کرده؛ عملاً از خاستگاه خود یعنی آفریقا تبدیل به پهنه‌ای از آفریقا تا آسیا شده است. در پژوهش کنونی این پهنه به حسب ترکیب نام این دو قاره، «آفریا» نامیده شد. بر پایه داده‌های به کار گرفته شده در پژوهش کنونی، تطبیق پهنه «آفریا» با عرصه یاخته هدلی که در وزشگاه بادهای بسامان است و جریان‌های هوای گرم و خشک را از سرزمین‌های جنب مداری شمال ساهارا به سوی کمربند همگرایی حاره می‌برد؛ گمان بزرگ‌تر شدن سلول هدلی را طی دو تا سه دهه اخیر قوت بخشید و الگوهای همدید طراحی شده نیز این احتمال را گواهی داد که سرزمین ایران هم درگیر این گسترش شمال‌سو شده باشد. گرچه الگوهای همدید و فصلی طراحی شده نشان دادند که این گسترش در ایران بر خلاف دوره سرد سال، در دوره گرم سال هنوز به اندازه بیابان آفریقا نیست ولی می‌تواند با این آهنگ، جریان‌های جنوب‌سو و

سپاسگزاری

نویسنده این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

شتابناک است و باید داده‌های مورد استفاده در بازه‌ای بلندتر و در وسعتی بیشتر کنکاش شوند.

پانویس

1-ENCEP/ENCAR
2-Subtropical high
3-Africa – Asia

4-Tropical convergence
5-Hedley cell

References

- Abdi Vishkaee, F., Flamant, J., Cuesta, F.C., lamant, P. and Khaledifard, H.R., 2011. Multiplatform observations of dust vertical distribution during transport over northwest Iran in the summertime, *J. Geophysical research.* v.116, D5. Doi.org/10.1029/2010JD014573
- Ahmadi, Z., Doostan, R. and Mofidi, A., 2015. Synoptic Analysis of Dust from the Warm Half of the Year in Southern Khorasan Province, *Physical Geography Quarterly*, v. 29(8), p. 41-62 (In Persian).
- Alizadeh-Choozari, O., Zawar-Reza, P. and Sturman, A., 2014. The “wind of 120days” and dust storm activity over the Sistan Basin, *Atmospheric Research*, v. 143, p. 328-341. Doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.02.001
- Al-Khalidi, J., Bakr, D. and Abdullah, A.A., 2021. Synoptic analysis of dust storm in Iraq, *Environment Asia*, v. 14(1), p. 13-22. Doi.org/10.14456/ea.2021.2
- Amini, M., Barati, Gh., Shakiba, A., Moradi, M. and Karampour, M., 2017. The impact of monthly fluctuations Mediterranean Sea surface temperature in the fluctuations of monthly precipitation northwest Iran. *Researches in Earth Sciences*, v. 8(3), p. 28-41 (In Persian).
- Azizi, G., Shamsipour, A., Miri, M. and Safarrad, T., 2012. Statistic and Synoptic Analysis of Dust Phenomena in West of Iran. *Journal of Environmental Studies*, v. 38(3), p. 123-134 Doi: 10.22059/jes.2012.29154 (In Persian).
- Barati, G., Moradi, M. and Saaidinya, M., 2021. Synoptic Analysis of Hottest Cities in Iran. *Researches in Earth Sciences*, v. 12(2), p. 64-73. Doi:10.52547/esrj.12.2.64 (In Persian).
- Barati, G., Moradi, M., Shamekhi, A. and Dadashi-Roodbari, A., 2017. Analysis of Relations between Dust Storms and Indus Low Pressure over Southern Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, v. 6(13), p. 91-108. Doi: 10.22111/jneh.2017.3116 (In Persian).
- Barati, G., Lashkari, H. and Karami, F., 2011. The Convergence of Pressure Systems and the Occurrence of Dust Storms in Khuzestan Province. *Geography and Development*, v. 9(22), p. 39-56. Doi: 10.22111/gdij.2011.569 (In Persian).
- Boochani, M.H. and Fazeli, D., 2011. Environment Challenges and its Consequences Case Study: Dust and its Impact in the West of Iran. *Guidance of political, defense and security*, v. 12(3), p. 125 (In Persian).
- Caesar, J., Janes, T.J., Lindsay, A. and Bhaskaran, B., 2015. Temperature and precipitation projections over Bangladesh and the upstream Ganges, Brahmaputra, and Meghna systems. *Environmental science. Processes & impacts*, v. 17(6), p. 1047-56. Doi:10.1039/c4em00650j
- Chaturvedi, R.K., Joshi, J., Jayaraman, M. and Govindasamy, B., 2012. Multi-model climate change projections for India under representative concentration pathways, *Current Science*, v. 103(7), p. 791-802.
- Dadashi-Roudbari, A., 2020. Analysis of spatiotemporal variations of vertical and horizontal patterns of aerosols and evaluation of its Climate feedback in Iran, Ph.D. Thesis of Urban Climatology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (In Persian).
- Diaz, H.F. and Bradley, R.S., 2004. The Hadley Circulation: Present, Past, and Future. In: Diaz, H.F., Bradley, R.S. (eds) *The Hadley Circulation: Present, Past and Future. Advances in Global Change Research*, v. 21. p. 1-5. Doi.org/10.1007/978-1-4020-2944-8_1
- Dunning, C.M., Black, E. and Allan, R.P., 2018. Later wet seasons with more intense rainfall over Africa under future climate change, *Journal of Climate*, v. 31(23), p. 9719-9738.
- Godon, N.A. and Todhunter, P.E., 1998. A climatology of airborne dust for the Red River Valley of North Dakota. *Atmospheric Environment*, v. 32, p. 1587-1594. 10.1016/S1352-2310(97)00389-0
- Grise, K.M. and Davis, S.M., 2020. Hadley cell expansion in CMIP6 models, *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 20(9), p. 5249-5268. DOI: 10.5194/acp-2019-1206
- Heidari, M., Khaledi, S. and Akbari Azirani, T., 2019. The Trend of Dust Storm Frequencies and its Impact on Public Health, *Ilam*

- Province. *Physical Geography Research*, v. 51(1), p. 123-134 (In Persian).
- Hejazizade, Z. and Sedaghat, M., 2010. Numerical Tracking of Middle Eastern Cyclones in the Cold Period of the Year. *Physical Geography Research*, v. 41(69), p. 1-17 (In Persian).
- Im, E.S., Pal, J.S. and Eltahir, E.A.B., 2017. Deadly heat waves projected in the densely populated agricultural regions of South Asia, *Science Advances*, v. 3(8), Doi: 10.1126/sciadv.1603322.
- Jat, M.L., Dagar, J.C., Sapkota, T.B., Singh, Y., Govaerts, B., Ridaura, S.L., Saharawat, Y S., Sharma, R.K., Tatarwal, J.P., Jat, R.K., Hobbs, H. and Stirling, C., 2016. Climate Change and Agriculture: Adaptation Strategies and Mitigation Opportunities for Food Security in South Asia and Latin America, *Advances in Agronomy*, v. 137, p. 127-235.
- Karami, F., 2010. Synoptic analysis of dust storms in Khuzestan province. Master's thesis. Department of Natural Geography, Kermanshah, Razi University (In Persian).
- Kaskaoutis, D.G., Francis, D., Rashki, A., Chaboureaud, J.P. and Dumka, U.C., 2019. Atmospheric dynamics from synoptic to local scale during an intense frontal dust storm over the Sistan Basin in winter 2019. *Geosciences*, v. 9(10), p. 453-473. Doi.org/10.3390/geosciences9100453
- Kotharkar, R., Ramesh, A. and Bagade, A., 2018. Urban Heat Island studies in South Asia: A critical review. *Urban Climate*. v. 24, p. 1011-1026. Doi: 10.1016/J.UCLIM.2017.12.006
- Kutiel, H., 2003. Dust Storms in the Middle East: Sources of Origin and their Temporal Characteristics. *Indoor Built Environ*. v. 12(6), p. 419-426. Doi.org/10.1177/1420326X03037110
- Latif, A., Ilyas, S., Zhang, Y., Xin, Y., Lin, Z. and Zhou, Q., 2019. Review on global change status and its impacts on the Tibetan Plateau environment. *Journal of Plant Ecology*. v. 12 (6), p. 917-930. Doi: 10.1093/jpe/rtz038
- Li, C., Su, F., Yang, D., Tong, K., Meng, F. and Kan, B., 2018. Spatiotemporal variation of snow cover over the Tibetan Plateau based on MODIS snow product, 2001-2014. *International Journal of Climatology*, v. 38(2), p. 708-728. Doi.org/10.1002/joc.5204
- Lu, J., Vecchi, G.A. and Reichler, Th., 2007. Expansion of the Hadley cell under global warming, *Geophysical Research Letters*, v. 34, L06805, Doi: 10.1029/2006GL028443.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A. and Bezirtzoglou, E., 2020. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, v. 8, Doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014
- Mofidi, A. and Jafari, S., 2022. The Role of Regional Atmospheric Circulation over the Middle East on the Occurrence of Summer Dust-storms in Southwest Iran. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, v. 2(5), p. 17-45 (In Persian).
- Mohamadi moradian, J. and Hosseinzadeh, S.R., 2015. The Study of Desert Dust in Mashhad Metropolis Using Satellite Images and Synoptic Datasets (2009 - 2013). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, v. 4(2), p. 35-57. Doi: 10.22067/geo.v4i2.45800 (In Persian).
- Mohammadpour, K., Sciortino, M., Kaskaoutis, D. and Rashki, A., 2022. Classification of synoptic weather clusters associated with dust accumulation over southeastern areas of the Caspian Sea (Northeast Iran and Karakum desert). *Aeolian Research*, v. 54(1), p. 100771-100789
- Morshedi Nodezh, T. and Rezaazadeh, M., 2016. Investigation and analysis of local dust in Hormozgan: case study: Bandar Abbas. The second national conference on sustainable development in energy, water and environment engineering systems, <https://civilica.com/doc/627726/> (In Persian).
- Naserpour, S., Alijani, B. and Zeaiean, P., 2015. Sources of Dust Storms in South West Iran Using Satellite Images and Weather Maps. *Physical Geography Research*, v. 47(1), p. 21-36. Doi: 10.22059/jphgr.2015.53676 N2096 (In Persian).
- Natsagdorja, L., Jugdera, D. and Chungb, Y.S., 2003. Analysis of Dust Storms Observed in Mongolia during 1937-1999, *Atmospheric Environment*, v. 37, p. 1401-1411. Doi: 10.1016/S1352-2310(02)01023-3
- Naveendrakumar, G., Vithanage, M., Kwon, H.H., Chandrasekara, S.S.K., Iqbal, M.C.M., Pathmarajah, S., Fernando, W.C.D.K. and Obeysekera, J., 2015. South Asian perspective on temperature and rainfall extremes: A review, *Atmospheric Research*, v. 225 p. 110-120.
- Orlovsky, L., Orlovsky, N. and Durdyev, A., 2005. Dust Storms in Turkmenistan. *Journal of Arid Environments*, v. 60 (1), p. 83-97. Doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2004.02.008
- Ridder, N.N., Ukkola, A.M., Pitman, A.J. and Perkins-Kirkpatrick, S.E., 2022. Increased occurrence of high impact compound events under climate change, *npj climate and atmospheric science*, v. 5(1), Doi: 10.1038/s41612-021-00224-4
- Roohbakhsh Sigaroodi, H., Karampoor, M., Ghaemi, H., Moradi, M. and Azadi, M., 2018. Investigating Minimum and Maximum Temperature Anomalies during Warm Seasons to Reveal Warm and Cool Spell over Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, v. 7(3), p. 161-187. Doi: 10.22067/geo.v0i0.73549 (In Persian).

- Rupakheti, D., Kang, S., Bilal, M., Gong, J., Xia, X. and Cong, Z., 2019. Aerosol optical depth climatology over Central Asian countries based on Aqua-MODIS Collection 6.1 data: Aerosol variations and sources. *Atmospheric Environment*, v. 207, p. 205-214.
- Schmidt, D.F. and Grise, K.M., 2017. The Response of Local Precipitation and Sea Level Pressure to Hadley Cell Expansion, *Geophysical Research Letters*, v. 44(20), p. 10,573-10,582. Doi.org/10.1002/2017GL075380
- Shahsavani, A., Yarahmadi, M., Haghhighifard, N.J., Naimabadie, A., Mahmoudian, M.H., Saki, H., Sowlat, M.H., Soleimani, Z. and Naddafi, K., 2011. Dust Storms: Environmental and Health impacts. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, v. 2(4), p. 45-56. Doi.org/10.29252/JNKUMS.2.4.45 (In Persian).
- Sharmila, S. and Walsh, K.J., 2018. Recent poleward shift of tropical cyclone formation linked to Hadley cell expansion. *Nature Climate Change*, v. 8, p. 730-736. Doi.org/10.1038/s41558-018-0227-5
- Shiri, F., 2016. Statistical-synoptic analysis of cold record cities over Iran during four recent decades. Master's thesis. Department of Natural Geography, Shahid Beheshti University (In Persian).
- Wainwright, C.M., Finney, D.L., Kilavi, M., Black, M. and Marsham, J.H., 2021. Extreme rainfall in East Africa, October 2019–January 2020 and context under future climate change, *Weather*, v. 76(1), p. 26-31.
- Wilkerson, W.D., 1991. Dust and Sand Forecasting in Iraq and Adjoining Countries. Environmental Science Air Weather Service, Scott Air Force Base, Illinois.
- Xian, T., Xia, J., Wei, W., Zhang, Z., Wang, R., Wang, L.P. and Ma, Y.F., 2021. Is Hadley Cell Expanding? *Atmosphere*, v. 12(12), p. 1699. <https://doi.org/10.3390/atmos12121699>
- Yue, L., Yougui, S., Kaskaoutis, D.G., Xiuling, Ch., Mamadjanov, Y. and Liangcheng, T., 2019. Atmospheric dust dynamics in southern Central Asia: Implications for buildup of Tajikistan loess sediments, *Atmospheric Research*, v. 229, p. 74-85
- Zhang, Y., Gao, T., Kang, S., Shangguan, D. and Luo, X., 2021. Albedo reduction as an important driver for glacier melting in Tibetan Plateau and its surrounding areas. *Earth-Science Reviews*, v. 220, p. 103735. Doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2021.103735.