



University of Tehran Press

Journal of Environmental Studies

Vol. 49, No. 3, Autumn 2023

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Investigating the Role of Wind Speed and Air Pressure on the Spatial Identity and Spatial Distribution of Dunes in Iran

Qolam Hassan Jafari¹ , Khadijeh Kanhassani² 

1. Department of geography, Faculty of humanities science, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Email: jafarihas@znu.ac.ir

2. Department of geography, Faculty of humanities science, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Email: kh.khanhasani@gmail.com

Article Info

Research Article:
Research Paper

Article history:

Received 12 September 2022

Received in revised form

07 October 2023

Accepted 21 October 2023

Publish online 22 October 2023

Keywords:

Iran, Wind, Wind Forms, Pressure.

ABSTRACT

Investigating the spatial identity and distribution of sand features depends on knowing the most critical dynamic factor affecting them. For this purpose, it is necessary to investigate the relationship of sand effects with the formation of pressure centers in different potentials, which lead to the creation of the wind, monthly, seasonally, and annually, at different speeds. In this article, the location of dunes relative to the centers of pressure and wind speed is evaluated descriptively. By average wind speed and pressure statistics, maps of wind speed and sea level pressure were drawn over thirty years and analyzed concerning the headquarters of the dunes. The wind speed increased from April, especially in the central, eastern, and southeastern regions of the country, and in May, it reaches 5m/s in the Kavir plain. In June, as the pressure decreases, the wind speed increases in all parts of the east and southeast. With the reduction of pressure in the central areas and internal basins, the wind speed and, as a result, the displacement of sand masses reaches their maximum. In September, the conditions for establishing low thermal pressure or cyclone systems are provided in the headquarters of the dunes. However, due to the minor pressure differences between these areas and their surrounding places, the wind speed is lower than the threshold required to move materials. In the cold seasons, due to the establishment of anticyclonic systems, the wind speed decreases and reaches below the material movement threshold.

Cite this article: Jafari, Q. H., Kanhassani, Kh. (2023). Investigating the Role of Wind Speed and Air Pressure on the Spatial Identity and Spatial Distribution of Dunes in Iran. *Journal of Environmental Studies*, 49 (3), 255- 277.
DOI: <http://doi.org/10.22059/JES.2023.347480.1008351>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <http://doi.org/10.22059/JES.2023.347480.1008351>

Extended Summary**Introduction**

Investigating the spatial identity and distribution of sand features depends on knowing the most critical dynamic factor affecting them. For this purpose, it is necessary to investigate the relationship of sand effects with the formation of pressure centers in different potentials, which lead to the creation of the wind, monthly, seasonally, and annually, at different speeds. In this article, the location of dunes concerning the centers of pressure and wind speed is evaluated descriptively and analytically. Sand transport by erosive winds is one of the most critical dominant processes in arid and semi-arid regions. Sand transportation is a widespread problem in the world now. Global estimates show that 49.5 million square kilometers of the world's surface is covered by dunes, mainly in dry areas (Sharsaza, 2008). So far, less attention has been paid to the air pressure and wind speed at the location of the dunes and at the national level. Therefore, in this article, we investigated the impact of pressure and monthly wind speed at the location of dunes throughout Iran and in a basin.

Materials and Methods

The research method of this article is descriptive-analytical; for this purpose, documentary and library sources were first studied, and at the same time, topographic maps of Iran's national coverage with a scale of 1:50000 were extracted from the National Geological Sciences Database. Areas with various types of sand effects were identified on the maps. In order to verify the validity of the work, the longitude and latitude in the areas where there were different types of sand utterly with different origins were evaluated in Google Earth. Finally, the digital layer of the height of different hydrological basins was extracted with a resolution of 30-meters from the USGS site. The places marked on the topographic map were completely consistent with the images prepared from Google Earth. In the next step, we re-evaluated the distribution map of sand features using the prepared layer with a 20-meter distance and matching their coordinates with Landsat satellite images. In order to determine the identity and location of dunes, the statistical data of wind speed and pressure were extracted from the Meteorological Organization and NOAA Center, respectively, and after preparing the average wind speed and pressure statistics, in the Arc GIS and GrADs maps software, wind speed and sea level pressure were plotted over thirty years. In the next step, by combining the thematic maps and matching them with each other, a map was prepared that showed the types of dunes and the dynamics that created them.

Discussion

The comparison of sea level pressure synoptic maps (SLP) shows that air dynamics are different in the warm and cold half of the year. In the cold months of the year, due to the source of cold Siberian air and western winds from the northeast into Iran as the Polar Vortex and the temperature gradient and as a result the pressure gradient in the area of Iran decreases, and therefore the wind speed does not reach the threshold necessary for moving and transporting sand. As a result, the transfer and movement of sands are reduced, especially in winter. Of course, the situation is different in the southern regions of Iran. In the warm half of the year, due to the retreat of the Polar vortex and the advance of the tropical zone to the northern latitudes, the general heat of Iran increases, especially in the eastern half of the country, so that from spring and the first of July, the sun rises in the sky of the Northern Hemisphere, including Iran, regions located in middle and high latitudes, they enjoy more sunny hours and day length, and as a result, the poleward side of the Hadley cell affects a wider area, so the dynamic descent of air and the conversion of potential energy into kinetic energy of air molecules above the sky of Iran; while increasing the general heat of the air, provides conditions that, in the form of positive feedback, cause the formation of local solid thermal low pressure centers in the eastern half of Iran, which due to the proximity of the opposite pressure centers and the presence of suitable morphological conditions, on the plains of the foothills, creates a rare collection of the best forms of sand dunes, which according to the general circulation of air molecules in the form of a cyclone in the coordinate plane, the southeast arrangement in the Lot area is consistent with the above anatomical dynamics. The noteworthy point is that despite the clockwise motion, the positive rotation of air molecules is the dominant flow in the coordinate plane of the lower part near the surface of the earth, and airflow is converging.

Conclusions

The wind speed increases from April, especially in the central, eastern, and southeastern regions of the country, and in May it reaches 5 meters per second in some parts of the Kavir plain. In June, as the pressure decreases, the wind speed increases in all parts of the east and southeast. With the reduction of pressure in the central areas and internal basins, the wind speed and, as a result, the displacement of sand masses reaches their maximum. In September, the conditions for establishing low thermal pressure or cyclone systems are provided in the headquarters of the dunes. However, due to the slight pressure differences between these areas with the surrounding areas, the wind speed is lower than the threshold required to move materials. In the cold seasons of the year, due to the establishment of anticyclonic systems, the wind speed decreases and reaches below the material movement threshold. Examining the average arrangement of wind

patterns in the geographical area of Iran in the monthly period can show the difference between the direct performance of the parameters in creating the wind and the change in its intensity, duration, direction, and extension. The results show that a perfect relationship between Iran's rainfall and temperature regime with the scattering of dunes, clots, and nebulae. In the northern and western regions of the country, no significant sand effects are seen.



بررسی نقش سرعت باد و فشار هوا بر هویت مکانی و پراکنش فضایی تپه‌های ماسه‌ای در ایران

غلامحسن جعفری^۱، خدیجه خان حسنی^۲

۱. گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، رایانامه: jafarihas@znu.ac.ir

۲. گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، رایانامه: kh.khanhasani@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

بررسی هویت مکانی و پراکندگی عوارض ماسه‌ای وابسته به شناخت مهم‌ترین عامل موثر دینامیکی آن، یعنی باد است. بدین منظور ارتباط آن با شکل‌گیری مراکز فشار با پتانسیل‌های متفاوت که منجر به ایجاد باد در سرعت‌های مختلف، به صورت ماهانه، فصلی و سالانه می‌شود، باید بررسی گردد. هدف این مقاله ارزیابی موقعیت مکانی تپه‌های ماسه‌ای در ارتباط با کانون‌های فشار و سرعت باد، به صورت توصیفی-تحلیلی است. به این منظور ابتدا در نقشه‌های توپوگرافی ایران، مناطق دارای انواع عوارض ماسه‌ای، مشخص گردید. با آماره‌ی میانگین، نقشه‌های سرعت باد و فشار سطح دریا طی بازه زمانی سی ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) ترسیم و در ارتباط با مقر تپه‌های ماسه‌ای، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که سرعت باد از ماه فروردین به خصوص در مناطق مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی کشور روند افزایشی دارد و در ماه اردیبهشت در دشت کویر به ۵ متربرثانیه نیز می‌رسد. در ماه خرداد با کاهش فشار، در همه قسمت‌های شرق و جنوب شرق سرعت باد بیشتر می‌شود. با کاهش فشار در مناطق مرکزی و حوضه‌های داخلی، سرعت باد و در نتیجه مقدار جابه‌جایی توده‌های ماسه‌ای به حداکثر خود می‌رسد. در ماه شهریور شرایط استقرار سیستم‌های کم فشار گرمایی یا سیکلونی در مقر تپه‌های ماسه‌ای فراهم می‌شود؛ ولی به دلیل تفاوت‌های ناچیز فشار این مناطق با نواحی اطراف، سرعت باد کمتر از آستانه لازم برای جابه‌جایی مواد است. در فصول سرد سال با توجه به استقرار سیستم‌های آنتی‌سیکلونی، سرعت باد کاهش می‌یابد و سرعت باد به زیر آستانه جابه‌جایی مواد می‌رسد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

کلیدواژه‌ها:

ایران، باد، عارضه‌های بادی، فشار.

استناد: جعفری، غلامحسن؛ خان حسنی، خدیجه. (۱۴۰۲). بررسی نقش سرعت باد و فشار هوا بر هویت مکانی و پراکنش فضایی تپه‌های ماسه‌ای در ایران. نشریه

محیط‌شناسی، ۴۹(۳)، ۲۵۵-۲۷۷.

DOI: <http://doi.org/10.22059/JES.2023.347480.1008351>

DOR: [20.1001.1.10258620.1402.49.3.1.5](https://doi.org/20.1001.1.10258620.1402.49.3.1.5)

© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.



DOI: <http://doi.org/10.22059/JES.2023.347480.1008351>

۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین فرآیندهای مسلط در مناطق خشک و نیمه‌خشک، حمل ماسه به وسیله بادهای فرساینده است. در حال حاضر حمل ماسه یک مشکل گسترده در جهان است. برآوردهای جهانی نشان می‌دهد که ۵/۴۹ میلیون کیلومترمربع از سطح جهان که عمدتاً در مناطق خشک قرار گرفته‌اند، به وسیله تپه‌های ماسه‌ای پوشیده شده‌اند (Shrestha, 2008). رژیم بادی با مقدار انرژی باد و تغییرپذیری آن، کنترل قابل توجهی روی مورفولوژی و تغییرات سطح زمین دارد (Pearce and Walker, 2005). نقصان رطوبت در این مناطق از تنوع اکولوژیکی آن کاسته و پوشش گیاهی اندکی بر روی آن مستقر کرده است. اگرچه کمبود بارش تا حدی سبب کمبود فرسایش آبی در این مناطق شده (هر چند که سیل‌های ناگهانی باعث فرسایش مقادیر قابل توجهی از خاک می‌شوند) اما نقصان پوشش گیاهی و چه‌بسا فقدان آن در مناطق مرکزی و شرقی کشور، به باد این اجازه را می‌دهد که به راحتی بر سطح خاک کاوش نماید و سالانه مقادیر فراوانی از خاک را با خود از نقطه‌ای به نقطه دیگر حمل نماید (Ghaemi Bafghi and Yar-Ahmadi, 2011). فرسایش بادی یکی از فرآیندهای اصلی مرتبط با تخریب زمین در اراضی خشک است و باعث نگرانی قابل توجهی برای مدیران و سیاست‌گذاران زمین در سطح جهان می‌شود (Duniway et al., 2019). فضای وسیع دشت‌ها، فقر یا عدم پوشش گیاهی، فراوانی ذرات ریزدانه، سست و منفصل بودن دانه‌ها، از جمله عواملی هستند که زمینه‌های لازم برای شکل‌زایی باد در دشت‌های داخلی را فراهم نموده‌اند. چون وزش باد حالت خود تشدید دارد و وقتی که شروع شود با شدت بیشتری توسعه می‌یابد، در نتیجه وسعت دشت نقش مهمی در سرعت باد دارد. از این نظر دشت‌های بیابانی و وسیع بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوب شرقی ایران بستر مناسبی برای اعمال شکل‌زایی باد فراهم نموده‌اند (Alaei- Taleghani, 2013). مناطق تحت تاثیر فرسایش بادی را می‌توان به سه منطقه برداشت، حمل و انباشت تقسیم‌بندی نمود. شناسایی این سه منطقه به دلیل تاثیر مستقیم آن در بررسی، ارزیابی و کنترل فرسایش بادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Khalifeh et al., 2007).

۲. پیشینه پژوهش

تاکنون در ایران و جهان مطالعات زیادی در مورد ماسه‌های بادی از دیدگاه‌های متفاوت صورت گرفته است. Zaady و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از روش‌های گرانولومتری و میکرو مورفولوژی ماسه‌های دشت یامین، در قسمت شرقی بیابان نجیو اسرائیل را مطالعه نمودند. با بررسی دقیق تفاوت‌های گرانولومتری رسوبات برخان به این نتیجه رسیدند که تفاوت معناداری بین اندازه‌ی ذرات برخان و فرایندهای بادی در فصول مختلف وجود دارد (Zaady et al., 2009). Tsoar و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی تاثیر تغییرات آب و هوایی بر روی تحرک و ثبات تپه‌های ماسه‌ای ساحلی در ایالت سیرا (شمال شرقی برزیل) مدلی ارایه دادند که چگونگی تحرک و ثبات تپه‌ها توسط باد را در دوره پلیستوسن تعیین می‌کند. تپه‌های شنی و ماسه‌ای در دوره‌هایی که انرژی باد زیاد باشد انباشته شده و زمانی که قدرت باد کم باشد، ثبات پیدا می‌کنند. هنگامی که تپه‌ها توسط گیاهان تثبیت شده باشند، حتی با افزایش قدرت باد نمی‌توانند فعال شوند (Tsoar et al., 2009). Silvestro و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی مورفولوژی تپه‌های شرق تاماسیا، مسیر حمل ماسه و مناطق احتمالی منشاء را شناسایی کردند، آن‌ها دریافتند که تغییرات شدید رژیم باد منجر به پیچیدگی الگوی تلماسه‌ها می‌شود (Silvestro et al., 2010). Hermas و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده تصاویر ماهواره‌ای اسپات تپه‌های ماسه‌ای شمال غرب شبه‌جزیره سینای مصر را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که متوسط سرعت حرکت تمام تپه‌های ماسه‌ای برخانی منطقه ۱۱/۹ متر در سال و جهت حرکت آنها به طرف شرق و شمال شرق بوده است (Heramas et al., 2012). Duniway و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی محرک‌ها و پیامدهای فرسایش بادی و انتشار گرد و غبار در زمین‌های خشک ایالات متحده، با تأکید بر پاسخ‌های عملی در دسترس سیاست‌گذاران و متخصصان، متوجه شدند در حالی که خاک‌های خشک اغلب نسبتاً پایدار هستند ولی وقتی توسط اختلالاتی از جمله آتش‌سوزی، چرای دام‌های اهلی و وسایل نقلیه دست خورده شوند، می‌توانند شار بادی افقی را تا حدی (در برخی موارد تا ۴۰ برابر) افزایش دهند (Duniway et al., 2019). Jarrah و همکاران (۲۰۲۰) چندین مدل رایج فرسایش بادی را برای مقایسه مفاهیم اساسی دینامیک فرسایش بادی بررسی نمودند و دستورالعمل‌هایی را با توجه به کاربرد مدل‌ها، اعتبار مورد انتظار، پایگاه‌های داده مورد نیاز، خروجی‌های موجود و جهت‌گیری‌های آینده تحقیقات مدل‌سازی ارایه دادند. مدل‌های مختلف فرسایش بادی با درجات مختلف پیچیدگی و قابلیت‌های خاص و همچنین طیف وسیعی از مقیاس‌های مکانی و زمانی

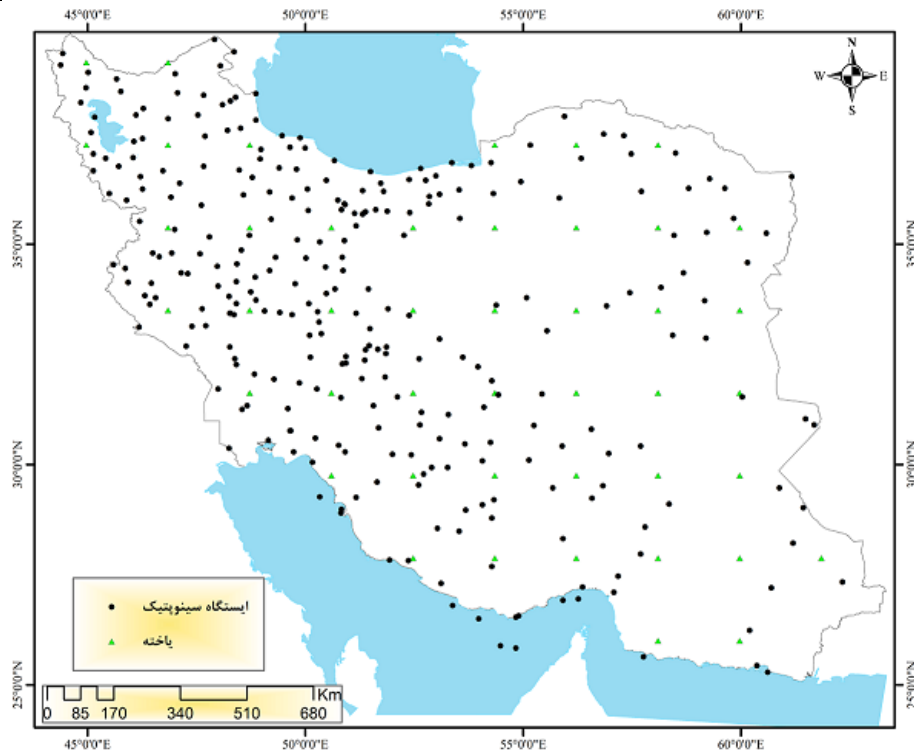
کاربرد خاصی دارند (Jarrah et al., 2020). Teng و همکاران (۲۰۲۱) دینامیک مکانی - زمانی فرسایش بادی فلات تبت را از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ با استفاده از معادله فرسایش بادی اصلاح شده ارزیابی کردند. علاوه بر این، همبستگی فضایی بین پویایی فرسایش بادی، تغییرات آب و هوا و فعالیت‌های انسانی را تحلیل نمودند و عوامل اصلی محرک را شناسایی کردند. تأثیر تغییر اقلیم بر فرسایش بادی با مقیاس بزرگ و تداوم فضایی مشخص می‌شود، در حالی که تأثیر فعالیت‌های انسانی بر فرسایش بادی در مناطق محلی رخ می‌دهد و به صورت تکه‌ای توزیع می‌شود (Teng et al., 2021).

اولین مطالعات در این زمینه در داخل کشور، توسط ملکوتی (1974) روی حرکت تپه‌های ماسه‌ای سیستان و بلوچستان انجام گرفت. وی با استفاده از تفسیر و مقایسه‌ی عکس‌های هوایی در سال‌های ۱۹۵۵ و ۱۹۶۴، ابتدا جهت توسعه‌ی تپه‌های ماسه‌ای و ارتباط آنها را با باد غالب مورد بررسی قرار داد و سپس با بهره‌گیری از دیدگاه کانی‌شناسی و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، منشأ تپه‌های ماسه‌ای شرق زابل را معرفی کرد (Malacoti, 1974). خلیفه و همکاران (2007) با پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل باد به شناسایی منابع تپه‌های ماسه‌ای اردستان اقدام نمودند. این تحقیق روشی جدید تحت عنوان «پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل باد» ارائه داد. آن‌ها با بهره‌گیری از تکنیک‌های پردازش تصاویر از یک سو و تحلیل گل ماسه‌های تهیه شده از سوی دیگر و برقراری ارتباط مناسب بین آن‌ها، محل‌های برداشت مرتبط با نهشته‌های موردنظر را شناسایی کردند (Khalifeh et al., 2007). یمانی (2002) به بررسی ارتباط قطر ذرات ماسه و فراوانی سرعت بادهای بیش از آستانه در منطقه‌ی کاشان پرداخت (Yamani, 2002). احمدی و همکاران (2001) در مطالعه‌ی تحت عنوان منشأ یابی تپه‌های ماسه‌ای جنوب بافق، نشان دادند که بادهای فرساینده در این منطقه از سمت جنوب غرب می‌وزند و رسوبات را به سمت تپه‌های ماسه‌ای حمل می‌کنند. مطالعات ژئومورفولوژی و رسوب‌شناسی نشان داد که منشأ تپه‌های ماسه‌ای، محلی و نزدیک بوده و بر روی دشت اپانداز در جنوب غربی ارگ و مسیل رود شور زرد و دیگر رخساره فرسایش بادی این دشت سر قرار دارد. به طور کلی منشأ اصلی از حوضه گسترشی رود شور زرد تا مجاور تپه‌های ماسه‌ای ادامه دارد و منشأ فرعی، دشت ریگی مجاور آن تشخیص داده شد (Ahmadi et al., 2001). مشهدی و همکاران (2002) به مطالعه‌ی رخساره‌های ژئومورفولوژی منطقه‌ی یاردانگ بیابان لوت براساس تفسیر واحدهای فتومورفیک تصاویر ماهواره‌ای پرداختند (Mashhadi et al., 2002). مقصودی (2006) با بررسی عکس‌های هوایی چاله سیرجان به همراه عملیات میدانی، نمونه‌برداری و دانه‌سنجی نمونه‌ها نشان داد که توسعه اشکال بادی در مناطقی که منشأ رسوبات آن سیلاب‌های صفحه‌ای است به حداکثر رسیده است. نتایج تحقیق نشان داد که بالا بودن نسبت ذرات ماسه‌های کمتر از ۲۵۰ میکرون، ضعف پوشش گیاهی و کمبود ریزش‌های جوی محیط مناسبی را جهت گسترش فرسایش بادی مهیا ساخته است. به طوری که با کاهش نسبت ذرات ماسه کمتر از ۲۵۰ میکرون و افزایش پوشش گیاهی و بارش از شدت فرسایش نیز کاسته شده است (Maqsoodi, 2006). نگارش و لطیفی (2007) با تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشکسالی‌های اخیر، ابتدا نقش انکارناپذیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در ایجاد توفان‌های شن و ماسه را مورد بررسی قرار دادند و سپس از طریق محاسبات آماری نسبت به تعیین مدل ریاضی پارامترهای ژئومورفیک و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و محاسبه میدانی، پیشروی تپه‌های ماسه‌ای و خسارت وارده به منطقه را پیش‌بینی نمودند (Latifi & Negaresh, 2007). اختصاصی و همکاران (2010)، به کمک نرم‌افزار گل ماسه‌نما، داده‌های بادسنجی ایستگاه سینوپتیک بافق طی یک دوره‌ی آماری چهارده ساله (۱۹۹۳-۲۰۰۶) نتیجه گرفتند که مقدار شاخص UDI (شاخص همگنی وزش باد) برابر با ۰/۲۶ است که نشان‌دهنده چند جهت‌بودن بادهای منطقه است. در نتیجه غالب تپه‌های ماسه‌ای موجود در ارگ، از نوع تپه‌های طولی یا سیلک و سیف و تپه‌های رفت‌وبرگشتی است که حاصل بادهای دوجتبه با یک جهت اصلی و یک جهت فرعی و از یک قطاع هستند (Ekhtesaci et al., 2010). توکلی فرد و همکاران (2014) میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای بند ریگ کاشان را با استفاده از شاخص لن‌کستر تحلیل نموده و نشان دادند که در بیشتر مناطق بند ریگ کاشان، تپه‌های ماسه‌ای از نوع «فعال» بوده و تنها بخش کوچکی در شمال و بخشی در جنوب آن، تپه‌های ماسه‌ای «بسیار فعال» دارد (Tavakoli-Fard et al., 2014). نظری سامانی و همکاران (2018) بر روی مدل‌سازی کمی ارتفاع و فاصله بین تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از مطالعات ژئومورفومتریک بیابان‌های داخلی ایران مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که در ابتدای ارگ ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای کم و به تدریج در مراکز ارگ بیشتر می‌شود. مدل‌سازی کمی روابط بین ارتفاع و فاصله تپه‌های ماسه‌ای در ارگ جن، حاکی از آن است که فعالیت تپه‌های ماسه‌ای محدود به قسمت رأس تپه‌هاست.

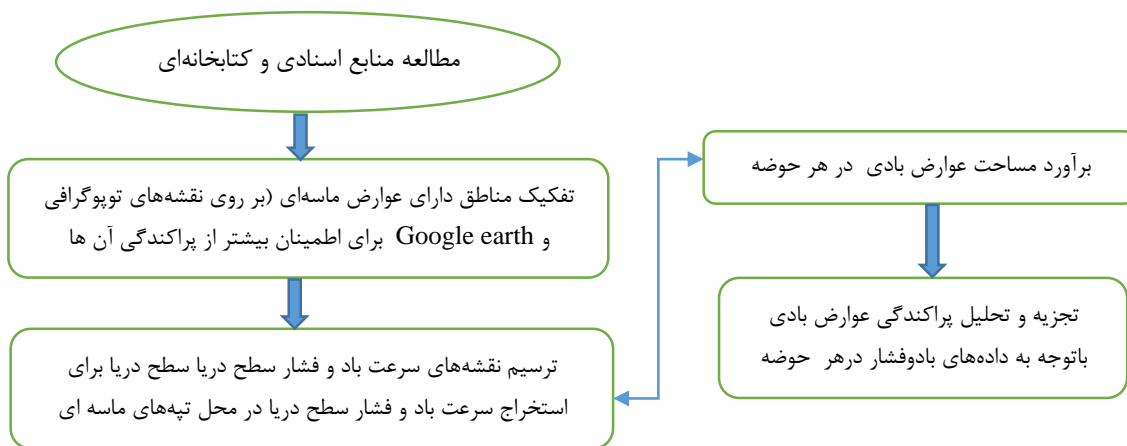
در ارگ کاشان مقایسه فاصله بین تپه‌های تثبیت‌شده، نشان داد که فاصله تپه‌های تثبیت‌شده کمتر از تپه‌های فعال و نیمه فعال است (Nazari-Samani et al., 2019). محمدنیا و همکاران (2019) با هدف بررسی توان رسوب‌زایی رخساره‌های ژئومورفولوژی شهرستان گناباد، به روش تعیین شدت فرسایش بادی، با استفاده از تونل باد و مدل تجربی اریفر پژوهشی انجام دادند. براساس نتایج تونل باد، میزان فرسایش بادی در رخساره تپه‌های ماسه‌ای شهرستان گناباد، بیشترین و در دشت‌های با پستی و بلندی و فرسایش آبی نسبتاً زیاد، کمترین مقدار براساس مدل اریفر ۱ در رخساره تپه‌های ماسه‌ای بیشترین و دشت‌های با پستی و بلندی و فرسایش آبی کم و سنگریزه زیاد کمترین مقدار بود (Mohammadnia et al., 2019). جبالی و چاهوکی (2021) با هدف ارزیابی خطر فرسایش بادی رخساره‌های زیستی - ژئومورفولوژی متنوع دشت ابرکوه واقع در استان یزد با بهره‌گیری از مدل خطر فرسایش باد WEHI، از سه مولفه فراوانی بادهای فرساینده، درصد اراضی بدون پوشش و رطوبت سطحی خاک استفاده کردند و نتیجه گرفتند که فرسایش بادی، به‌ویژه در رخساره‌های زیستی - ژئومورفولوژی دریاچه نمکی کویر و اراضی شور در حال گسترش است. در اراضی کشاورزی و دارای پوشش گیاهی تقریباً متراکم، خطر فرسایش بادی کم است (Jebali & Chahouhi, 2021). در مناطق خشک ایران، سالانه میلیون‌ها تن خاک در اثر فرسایش بادی از بین می‌رود و قسمت عمده آن‌ها در جایی رسوب می‌کند که سرعت باد کاهش می‌یابد و باد قدرت حمل مواد را از دست بدهد. درست است که ترسیب مواد بادی به شکل‌های مختلفی انجام می‌شود ولی شکل عمده آن‌ها به نام تپه‌های ماسه‌ای شناخته می‌شود. با توجه به موارد مطالعاتی فوق، به وضعیت فشار هوا و سرعت باد مکان استقرار تپه‌های ماسه‌ای، در سطح ملی، کمتر توجه شده است از این رو در این مقاله سعی شده، وضعیت فشار و سرعت باد ماهانه محل استقرار تپه‌های ماسه‌ای، در سراسر ایران و به صورت حوضه‌ای، مورد بررسی قرار گیرد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این مقاله موقعیت مکانی تپه‌های ماسه‌ای در ارتباط با کانون‌های فشار و سرعت باد، مورد ارزیابی قرار گرفت. روش تحقیق این مقاله توصیفی - تحلیلی است؛ به این منظور ابتدا به مطالعه منابع اسنادی و کتابخانه‌ای پرداخته شد و هم‌زمان با آن نقشه‌های توپوگرافی پوشش سراسری ایران با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از پایگاه ملی علوم زمین‌شناسی استخراج گردید و مناطق دارای انواع عوارض ماسه‌ای، بر روی آن‌ها تعیین گردید؛ به منظور صحت‌سنجی، طول و عرض جغرافیایی مناطقی که دارای انواع عارضه‌های ماسه‌ای با منشاءهای متفاوت بودند در Google earth مورد ارزیابی قرار گرفت؛ در نهایت لایه رقومی ارتفاع حوضه‌های مختلف هیدرولوژیکی با قدرت تفکیک ۳۰ متر از سایت USGS استخراج گردید؛ مکان‌های مشخص شده بر روی نقشه توپوگرافی کاملاً با تصاویر تهیه شده از Google earth انطباق داشت. در مرحله بعد با تهیه نقشه توپوگرافی با خطوط هم ارتفاع ۲۰ و تطبیق مختصات آن‌ها با تصاویر ماهواره‌ای لندست، به ارزیابی مجدد نقشه پراکندگی عوارض ماسه‌ای پرداخته شد. به منظور مشخص شدن هویت و مکان‌یابی تپه‌های ماسه‌ای، داده‌های آماری سرعت باد و فشار طی بازه زمانی سی ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) به ترتیب از سازمان هواشناسی و مرکز NOAA استخراج گردید (شکل ۱). پس از تهیه آماری میانگین سرعت باد و فشار، در محیط Arc GIS و نرم افزار Grads نقشه‌های سرعت باد و فشار سطح دریا طی بازه زمانی سی ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) ترسیم گردید، داده‌های مربوط به ترتیب از سازمان هواشناسی و مرکز ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی آمریکا دریافت گردید. در مرحله بعد با ترکیب نقشه‌های موضوعی و انطباق آن‌ها با یکدیگر، در واقع نقشه‌ای تهیه شد که انواع تپه‌های ماسه‌ای و دینامیک ایجادکننده آن‌ها را نشان داد. همچنین با توجه به داده‌های نقشه‌ی ترکیبی، لایه‌های اطلاعاتی متفاوت باد و فشار جدول‌های (۱ و ۲) تهیه گردید. در مرحله بعد مساحت هر یک از تپه‌های ماسه‌ای، کلوته و نیکاه‌ها در محیط Arc GIS محاسبه شد و مساحت هر یک از عوارض در کل حوضه‌ها مشخص گردید که نتیجه آن در قالب جدول (۳) ارائه شده است. سپس پراکندگی عوارض ماسه‌ای در هر یک از حوضه‌ها تجزیه و تحلیل شد (شکل ۲).



شکل ۱. پراکنش یاخته‌های پایگاه داده‌های سازمان هواشناسی و مرکز NOAA با قدرت تفکیکی $2/5 \times 2/5$ درجه به همراه ایستگاه سینوپتیکی در محدوده ایران زمین (مأخذ: مطالعات نگارندگان)



شکل ۲. چارچوب بررسی موقعیت مکانی تپه‌های ماسه‌ای در ارتباط با کانون‌های فشار و سرعت باد (مأخذ: مطالعات نگارندگان)

۳-۱. منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با مساحتی حدود ۱۶۴۹۵۰۰ کیلومتر مربع، ما بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی قرار دارد؛ ارتفاع میانگین آن از سطح دریا حدود ۱۳۰۰ متر است. حدود دوسوم سطح کشور را اقلیم خشک و نیمه‌خشک فراگرفته است. در آن سوی مرزهای شمالی، کشورهای ارمنستان، جمهوری آذربایجان و ترکمنستان واقع شده‌اند. در مشرق، افغانستان و پاکستان قرار دارند و در مغرب نیز ترکیه و عراق همسایگان ایران هستند. از سمت جنوب، مرز خشکی با هیچ کشوری ندارد و سراسر آن را دریای عمان و خلیج فارس در بر می‌گیرد (Alaei-Taleghani, 2013: 17-18). اختلاف پانزده درجه عرض جغرافیایی که بین جنوبی‌ترین و شمالی‌ترین نقطه ایران وجود

دارد و همچنین به علت چین‌خوردگی‌ها و پستی‌وبلندی‌های زیاد سبب برخورداری ایران از تنوع آب و هوایی بالا شده است. این گوناگونی در تمام ویژگی‌های جغرافیایی آن از مسایل انسانی تا ویژگی‌های طبیعی دیده می‌شود (Zomorodian, 2013: 11) (شکل ۳).



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی ایران (مأخذ: مطالعات نگارندگان)

۴. یافته‌های پژوهشی

بررسی هویت مکانی و پراکندگی تپه‌های ماسه‌ای وابسته به شناخت مهم‌ترین عامل موثر دینامیکی بر آن، یعنی باد است. ارتباط باد با جابه‌جایی زمین در مدار حرکت انتقالی سالانه که تغییرات طول مدت تابش، زاویه تابش و سطح تابش و در نتیجه شکل‌گیری مراکز فشار با پتانسیل‌های متفاوت، ایجاد باد با سرعت‌های مختلف را سبب می‌شوند. ویژگی‌های باد به صورت ماهانه و سالانه بررسی گردید. نتایج آن در قالب نقشه‌های سطح باد ارایه شده است که میانگین آرایش الگوهای آن در بازه‌های زمانی ماهانه در پهنه جغرافیایی ایران می‌تواند نشان‌دهنده تفاوت عملکرد مستقیم پارامترها، در ایجاد باد و تغییر در شدت، مدت، جهت و امتداد وزش آن باشد. مقایسه نقشه‌های سینوپتیکی فشار سطح دریا (SLP)^۱ نشان‌دهنده متفاوت بودن دینامیک هوا در نیمه گرم و سرد سال است؛ به طوری که نیمه سرد سال به دلیل منبع هوای سرد سیبری و بادهای غربی از شمال شرقی به داخل ایران به عنوان تاوه پیراقطبی و گرادیان دما و در نتیجه گرادیان فشار در پهنه ایران کم می‌شود و بنابراین سرعت بادها به آستانه لازم برای جابه‌جایی و انتقال ماسه‌ها نمی‌رسد. در نتیجه انتقال و جابه‌جایی ماسه‌ها به‌ویژه در زمستان کمتر است البته در نواحی جنوبی ایران شرایط فرق می‌کند. در نیمه گرم سال به دلیل عقب‌نشینی تاوه قطبی و پیشروی پرارتفاع جنب حاره به عرض‌های شمالی‌تر، گرمای عمومی ایران به‌ویژه در نیمه شرقی کشور بیشتر می‌شود به گونه‌ای که از بهار و اول تیر با اوج گرفتن خورشید در آسمان نیمکره شمالی از جمله ایران، مناطق واقع در عرض‌های میانی و بالای جغرافیایی، از ساعات آفتابی و

^۱. Sea-level pressure

طول روز بیشتر برخوردار می‌شوند. در نتیجه بخش قطب سوی سلول هدلی، پهنه وسیع‌تری را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بنابراین نزول دینامیکی هوا و تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی مولکول‌های هوا، بر فراز آسمان ایران، ضمن افزایش گرمای عمومی هوا، شرایطی را فراهم می‌نماید که در قالب پس‌خوراند مثبت، سبب شکل‌گیری کانون‌های کم‌فشار حرارتی قدرتمند محلی، در نیمه شرقی ایران می‌شود که به دلیل مجاورت و نزدیکی کانون‌های فشار متضاد و وجود شرایط مناسب مورفولوژیکی، بر روی دشت سرهای پایکوهی، مجموعه‌ای نایاب از بهترین اشکال تپه‌های ماسه‌ای را به وجود می‌آورند. با توجه به گردش کلی ملکول‌های هوا به صورت سیکلونی در صفحه مختصات، آرایش جنوب‌شرقی در محدوده لوت با دینامیک تشریحی فوق، هم‌خوانی دارد. با وجود حرکت ساعت‌گرد چرخندگی مثبت مولکول‌های هوا، جریان غالب هوا در صفحه مختصات بخش زیرین نزدیک سطح زمین، به صورت همگرا است. در نتیجه برآیند نیروهای موثر در این فرآیند، سبب جابه‌جایی ماسه‌ها به بخش مرکزی پهنه‌ها و بالا رفتن آن‌ها می‌شود، چنین به نظر می‌رسد که ایجاد تپه‌های ماسه‌ای چندوجهی با بالا آمدگی در بخش مرکزی هم‌سویی دارد. با توجه به این که مورفولوژی عارضه‌های ماسه‌ای و تغییر و تحول آن‌ها، ارتباط مستقیمی با ویژگی‌های فشار و سرعت میانگین باد در ماه‌ها و فصول مختلف دارد؛ بررسی تغییرات مورفولوژی عارضه‌های ماسه‌ای، در طول ماه‌های گرم سال حایز اهمیت است. از این‌رو سرعت باد و وضعیت فشار حوضه‌های ایران با توجه به جداول (۱ و ۲) تهیه و تاثیر آن‌ها در توزیع فضایی عارضه‌های بادی در طول سال بررسی گردیده است.

جدول ۱. سرعت باد ماهانه به تفکیک حوضه‌های مورد مطالعه (واحد متر بر ثانیه) (مأخذ: محاسبات نگارندگان)

نام حوضه	زیرشاخه	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	ags	sep	oct	nov	dec
لوت	شهداد ۱	۲/۵	۳/۵	۳/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۵/۵	۵	۴	۳/۵	۲/۵	۲/۵
	علی‌آباد	۳	۴	۳/۷۵	۴	۴	۴/۲۵	۵	۴/۵	۳/۷۵	۳/۵	۲/۷۵	۲/۵
	مهرآباد	۳	۳/۷۵	۳/۷۵	۲/۵	۴	۴/۵	۵	۴/۵	۴	۳/۷۵	۲/۷۵	۲/۷۵
	کرمان	۳	۳/۷۵	۳/۷۵	۲/۵	۴	۴/۵	۵	۴/۲۵	۳/۷۵	۳/۵	۲/۵	۲/۵
	کویر	۳	۴	۳/۷۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۵/۲۵	۴/۲۵	۴	۳/۵	۲/۷۵	۲/۷۵
	طیس	۲	۳	۳	۲/۵	۳/۵	۳/۵	۴/۵	۴	۳	۲/۲۵	۲	۱/۷۵
	شهداد ۲	۲/۵	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۷۵	۵	۳/۵	۴/۲۵	۳	۲/۵	۲/۵
سیرجان	شهربابک	۳	۴/۲۵	۴/۵	۵	۴/۵	۴/۲۵	۴/۷۵	۴/۷۵	۳/۷۵	۲/۷۵	۲/۷۵	۲/۷۵
گاوخونی	ورزنه	۲/۲۵	۳/۷۵	۴	۴/۵	۴	۴	۴	۳/۷۵	۳	۳	۲	۲/۵
دریاچه نمک	مرنجاب	۱٫۵	۲/۲۵	۳	۳	۳	۳	۳/۲۵	۳	۲/۵	۲	۲	۱/۵
	کاشان	۱/۷۵	۲/۵	۳	۳/۲۵	۳	۳	۳/۵	۳	۲/۵	۲	۲	۱/۵
هامون جازموریان	سیستان	۲/۵	۳/۵	۳/۵	۲/۵	۴	۴/۵	۴/۷۵	۴/۲۵	۳/۷۵	۳/۵	۲/۷۵	۲/۵
	کهنوج	۲/۵	۳	۳/۵	۴/۲۵	۴/۲۵	۴/۲۵	۴/۷۵	۴/۵	۳/۷۵	۲/۷۵	۲/۵	۲/۵
نمکزار خواف	حسین‌آباد	۳/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۵	۴/۵	۳	۳	۲/۷۵
	بمرود	۲/۵	۳/۵	۳/۵	۴	۳/۵	۳/۵	۴/۵	۴	۲/۲۵	۲/۵	۲/۵	۲/۲۵
	میمن شهر	۲/۲۵	۲/۷۵	۳	۳/۵	۴	۳/۲۵	۴/۲۵	۴/۲۵	۲	۲/۵	۲/۵	۲/۵
کویر سیاه کوه	همت آباد	۲/۷۵	۴	۴/۲۵	۴	۴/۵	۳	۴/۵	۵	۴/۲۵	۳	۳	۲/۷۵
	اردستان	۲	۲/۷۵	۳/۲۵	۴	۳/۵	۳	۴	۴	۳/۵	۲/۵	۲	۱/۷۵
	اردکان	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۳/۲۵	۳/۷۵	۲/۲۵	۲/۵	۲	۲
	یزد	۲/۷۵	۳/۷۵	۳/۵	۴	۳/۵	۴	۳/۵	۴	۲/۷۵	۲/۲۵	۲/۲۵	۲/۲۵
کویر درانجیر	کویر	۲/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۴	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۴	۲/۷۵	۲/۷۵	۲/۷۵	۲/۷۵
	رفسنجان	۳/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۵	۴/۵	۳	۳	۲/۷۵
	بافق	۲/۵	۳/۵	۳/۵	۴	۳/۵	۳/۵	۴	۴/۵	۲/۲۵	۲/۵	۲/۵	۲/۲۵
	یزد	۲/۲۵	۲/۷۵	۲/۷۵	۳	۲/۵	۴	۳/۲۵	۴/۲۵	۳/۷۵	۲	۲	۲/۲۵
	زرند	۲/۷۵	۴	۴/۲۵	۴	۳	۴	۴/۵	۵	۴/۲۵	۳	۳	۲/۷۵

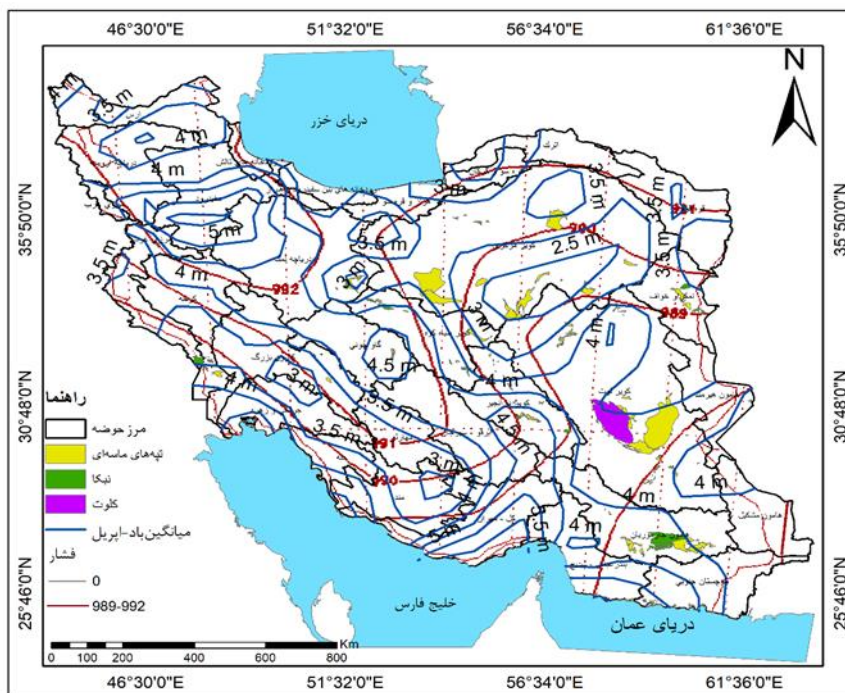
ادامه جدول ۲. فشار ماهانه از سطح دریا برحسب میلی بار (مأخذ: محاسبات نگارندگان)

نام حوضه	زیرشاخه	ژانویه	فوریه	مارس	فروردین	می	خرداد	جولای	مرداد	شهریور	اکتبر	نوامبر	دسامبر
کویر درانجیر	کویر	۹۹۸/۵	۹۹۵	۹۹۲/۵	۹۹۰/۵	۹۹۸/۵	۹۸۴/۵	۹۸۲/۵	۹۸۴/۵	۹۸۹	۹۹۴/۵	۹۹۷	۹۹۷/۵
	رفسنجان	۹۹۰	۹۹۳/۵	۹۹۲/۵	۹۹۰	۹۸۷	۹۹۳	۹۸۲	۹۸۴	۹۸۸/۵	۹۹۳/۵	۹۹۷	۹۹۸/۵
	بافق	۹۹۰	۹۹۳/۵	۹۹۲/۵	۹۸۹/۵	۹۸۷/۵	۹۹۳/۵	۹۸۲	۹۸۴/۵	۹۸۸/۲۵	۹۹۴	۹۹۷	۹۹۸/۵
	یزد	۹۸۹/۵	۹۹۳/۵	۹۹۲/۵	۹۸۹/۵	۹۸۷/۵	۹۹۳/۵	۹۸۲	۹۸۴/۵	۹۸۸/۵	۹۹۳/۲۵	۹۹۷	۹۹۸/۵
	زرند	۹۸۹/۵	۹۹۳/۵	۹۹۲	۹۸۹/۵	۹۸۷	۹۹۳	۹۸۱/۵	۹۸۴	۹۸۸/۵	۹۹۳/۵	۹۹۶/۵	۹۹۸/۵
بلوچستان جنوبی	زرآباد	۹۹۰	۹۹۳/۵	۹۹۱/۵	۹۸۷/۵	۹۸۳/۵	۹۷۸/۵	۹۶۶/۵	۹۷۹	۹۸۳/۵	۹۹۰	۹۹۴	۹۹۶
	کیدر	۹۹۰	۹۹۳/۵	۹۹۱/۵	۹۸۷/۵	۹۸۳/۵	۹۷۸/۵	۹۶۶/۵	۹۷۹	۹۸۳/۵	۹۹۰	۹۹۴	۹۹۶
	ریگ سفر	۹۸۹/۵	۹۹۳/۵	۹۹۱/۵	۹۸۷/۵	۹۸۳/۵	۹۷۸/۵	۹۶۶/۵	۹۷۹	۹۸۳/۵	۹۹۰	۹۹۴	۹۹۶
	ناصرآباد	۹۹۰	۹۹۳/۵	۹۹۱/۵	۹۸۷/۵	۹۸۳/۵	۹۷۸/۵	۹۶۶/۵	۹۷۹	۹۸۳/۵	۹۹۰	۹۹۴	۹۹۶
	چابهار	۹۹۰	۹۹۳/۵	۹۹۱/۵	۹۸۷/۵	۹۸۳/۵	۹۷۸/۵	۹۶۶/۵	۹۷۹	۹۸۳/۵	۹۹۰	۹۹۴	۹۹۶
بندرعباس	جاسک	۹۹۰	۹۹۳	۹۹۱/۵	۹۸۷/۵	۹۸۳/۵	۹۷۸/۵	۹۶۶/۵	۹۷۹	۹۸۴	۹۹۰	۹۹۴	۹۹۶
کویر مرکزی	سبزوار	۹۸۵/۵	۹۹۷/۵	۹۹۳/۵	۹۹۰	۹۸۵	۹۸۵	۹۸۳/۵	۹۸۵/۵	۹۹۰	۹۹۷/۵	۹۹۷/۵	۹۹۹
	ترود	۹۸۵/۵	۹۹۷/۵	۹۹۳/۵	۹۹۰/۵	۹۸۹	۹۸۹	۹۸۳/۵	۹۸۵	۹۸۹/۵	۹۹۷/۵	۹۹۷/۵	۹۹۸/۵
	دامغان	۹۸۴/۵	۹۹۸/۵	۹۹۲/۵	۹۸۹/۵	۹۸۴	۹۸۴	۹۸۳/۵	۹۸۴	۹۸۴/۵	۹۷۷/۲۵	۹۷۷/۲۵	۹۹۸/۵
	بشرویہ	۹۹۸	۹۹۸/۵	۹۹۲	۹۸۹/۵	۹۸۳/۵	۹۸۳/۵	۹۸۲/۵	۹۸۴/۵	۹۸۸	۹۹۷	۹۹۷	۹۹۸/۵
	خیرآباد	۹۹۸	۹۹۸/۵	۹۹۲	۹۸۹/۵	۹۸۳/۵	۹۸۳/۵	۹۸۲/۵	۹۸۴/۵	۹۸۷/۵	۹۹۷/۵	۹۹۷/۵	۹۹۸/۵
	شاهرود	۹۹۸	۹۹۸	۹۹۳	۹۹۰/۵	۹۸۵	۹۸۵	۹۸۳	۹۸۵	۹۸۷/۵	۹۷۷	۹۷۷	۹۹۰/۵
	طیس	۹۹۸	۹۹۸/۵	۹۹۲/۵	۹۸۹/۵	۹۸۵	۹۸۵	۹۸۲/۵	۹۸۴/۵	۹۸۸	۹۷۷	۹۷۷	۹۸۹/۵
کرخه	ام الدیس	۹۹۷/۵	۹۹۷/۵	۹۹۲/۵	۹۸۹/۵	۹۸۶/۵	۹۸۱/۵	۹۸۷	۹۷۹/۵	۹۸۵/۵	۹۹۲/۵	۹۹۵/۵	۹۸۹/۵
	شوش	۹۹۷/۵	۹۹۷/۵	۹۹۲/۵	۹۸۹/۵	۹۸۶/۵	۹۸۱/۵	۹۸۷	۹۷۹/۵	۹۸۵/۵	۹۹۲/۵	۹۹۵/۵	۹۸۹/۵
	تیپو	۹۹۷/۵	۹۹۷/۵	۹۹۲/۵	۹۸۹/۵	۹۸۶/۵	۹۸۱/۵	۹۸۷	۹۷۹/۵	۹۸۵/۵	۹۹۲/۵	۹۹۵/۵	۹۸۹/۵
	علی‌آباد	۹۹۷/۵	۹۹۷/۵	۹۹۲/۵	۹۸۹/۵	۹۸۶/۵	۹۸۱/۵	۹۸۷	۹۷۹/۵	۹۸۵/۵	۹۹۲/۵	۹۹۵/۵	۹۸۹/۵

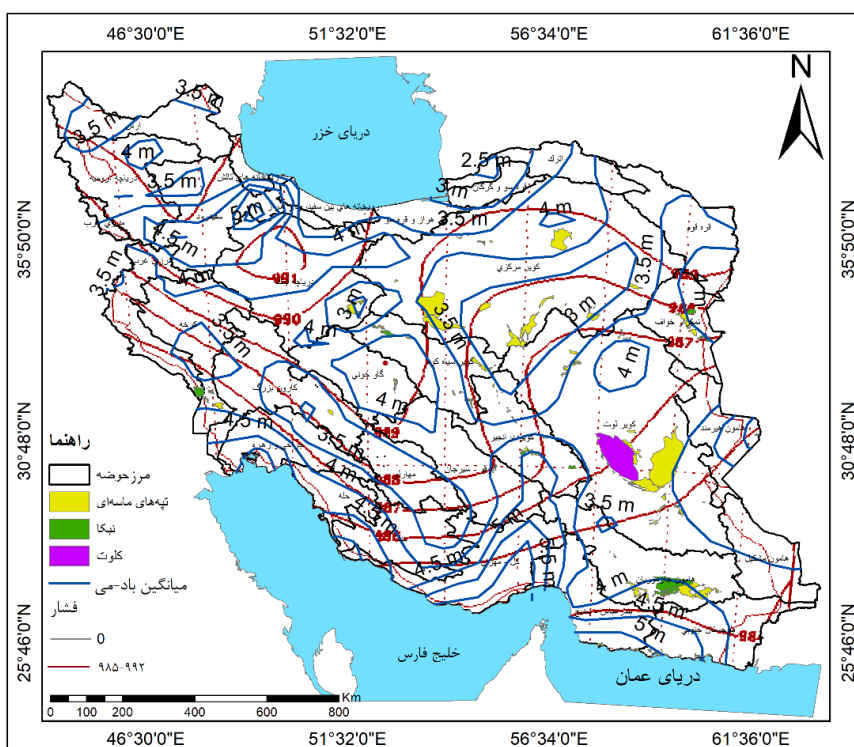
با توجه به پراکنندگی عارضه‌های ماسه‌ای در ایران می‌توان گفت که در دوره‌ی گرم سال (بهار و تابستان) در سطوح بالای جو، سیستم پرفشار جنب حاره‌ای و در سطوح پایین جو در اثر گرم شدن سطح زمین، سیستم کم‌فشار حرارتی ایجاد می‌شود. بنابراین در سطح زمین منطقه چرخندگی مثبت و سیکلونیک حاکم است. استقرار مرکز کم‌فشار سطحی، نزول دینامیکی هوا، تبخیر زیاد و نزدیکی مراکز پراارتفاع اطراف، منجر به شکل‌گیری بادهایی با سرعت زیاد می‌شود. با توجه به گذر آن از آستانه سرعت لازم برای انتقال ماسه، اجازه جابه‌جایی ماسه‌ها و شکل‌گیری انواع تپه‌های ماسه‌ای را می‌دهد.

۱-۴. فصل بهار

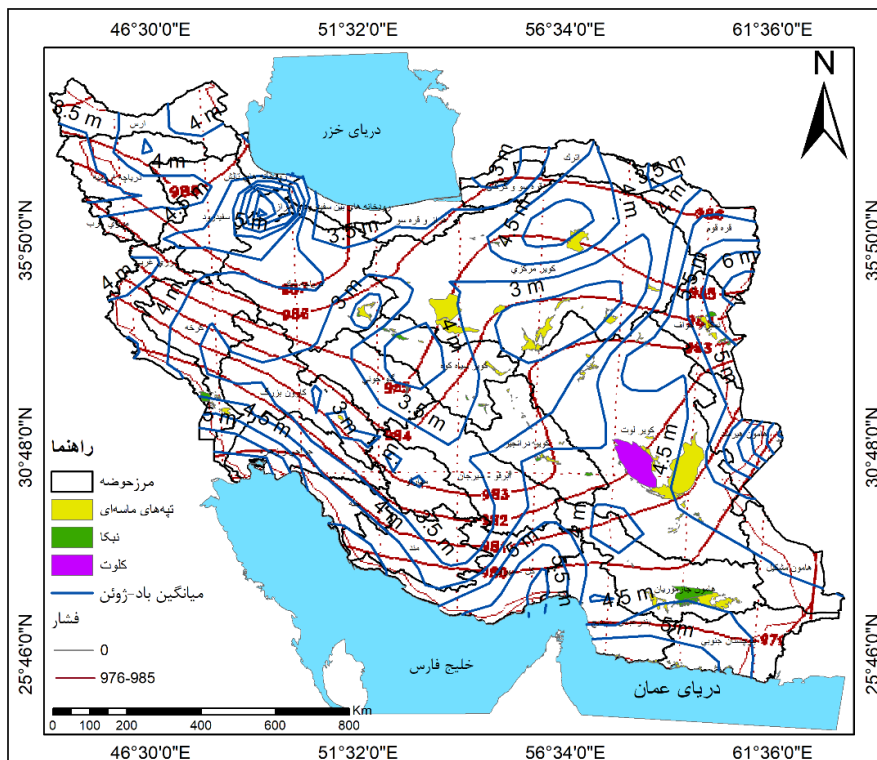
در فصل بهار مناطق مرکزی به‌ویژه در شرق و جنوب‌شرقی تحت تسلط سامانه چرخندی مثبت یا سیکلونی است، به‌گونه‌ای که میانگین سرعت باد در نیمه‌ی شرقی در ماه فروردین به ۴ متر بر ثانیه می‌رسد و میزان فشار ۹۸۹ میلی بار است و بیشترین سرعت باد برای کویر لوت، هامون جازموریان، کویر درانجیر، نمکزار خواف و گاوخونی است و در کویر مرکزی (ریگ خارتوران و ریگ چاه‌جم) نیز از سرعت باد کاسته شده است، در ماه اردیبهشت نیز این میزان چرخندگی مثبت شدت بیشتری گرفته است؛ در این ماه سرعت باد در کویر مرکزی به ۵ متر بر ثانیه می‌رسد. در ماه خرداد نیز مناطق مرکزی تحت سلطه‌ی چرخندگی سیکلونی قرار دارد. شدت فشار در ماه خرداد نسبت به ماه‌های می و فروردین کاسته شده، همچنان که از شدت فشار کاسته می‌شود بر سرعت باد افزوده شده که دال بر یک سیستم کم‌فشار است (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).



شکل ۴. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه فروردین (مأخذ: مطالعات نگارندگان)



شکل ۵. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه اردیبهشت (مأخذ: مطالعات نگارندگان)

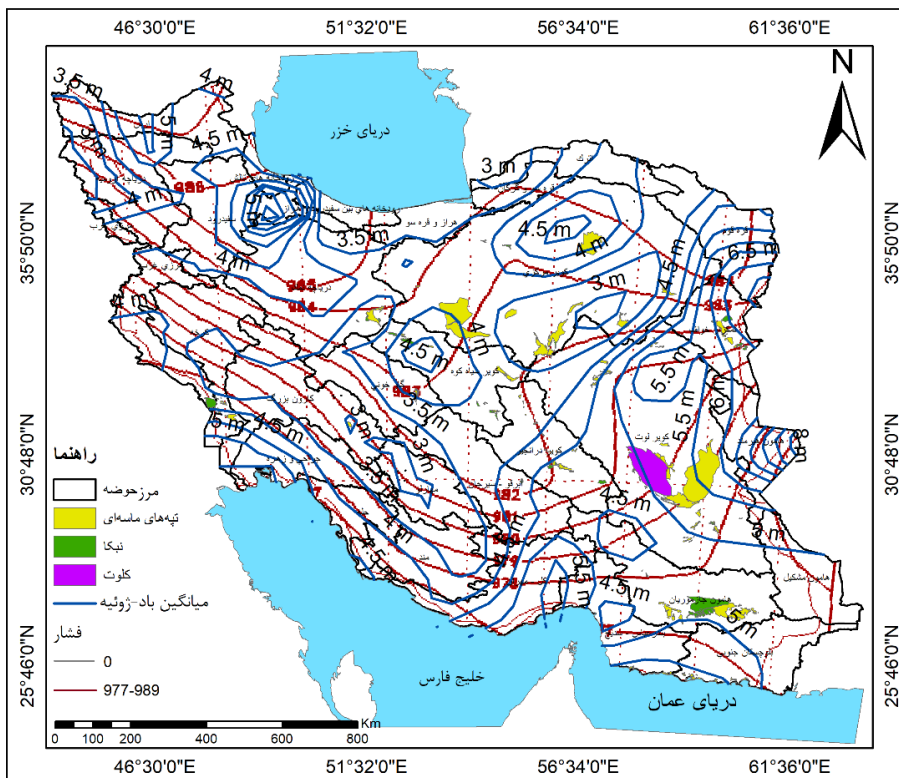


شکل ۶. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه خرداد (مأخذ: مطالعات نگارندگان)

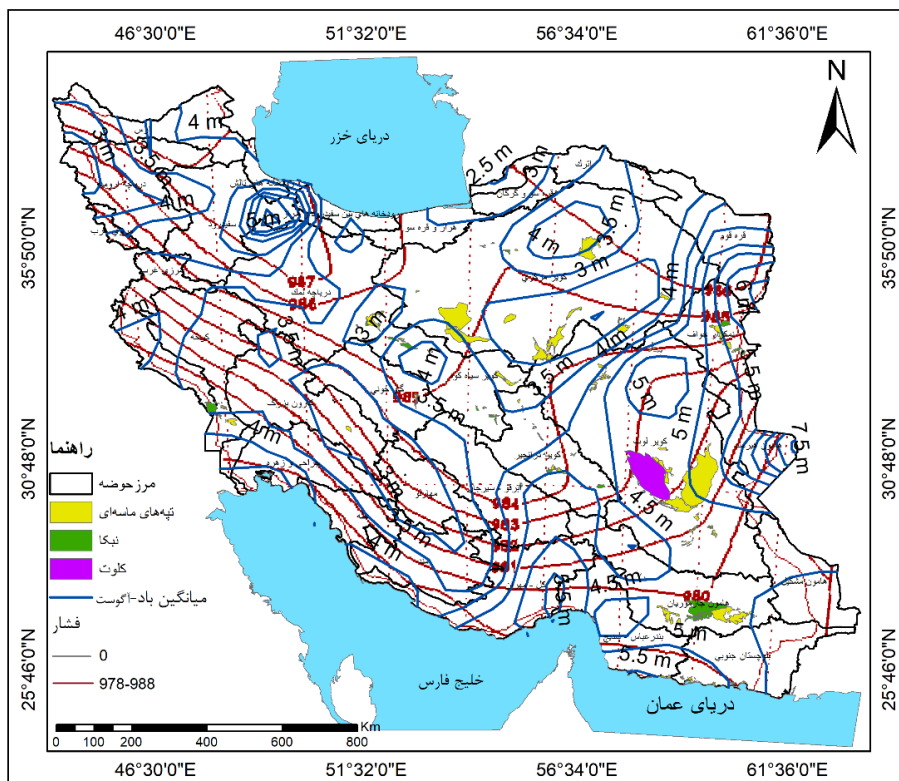
۲-۴. فصل تابستان

از آغاز تیر (جولای) تا پایان شهریور (شهریور)، با توجه به میانگین باد دریافتی بر روی ایران و همچنین مکان‌گزینی کانون‌های فشار از جمله استقرار پراارتفاع جنب حاره بر روی حاشیه شرقی دریای مازندران که تحت عنوان پراارتفاع ترکمنستان در بعضی از منابع معرفی شده و تشدید کم‌فشار گرمایی مستقر بر روی نیمه شرقی که در این دوره به سمت شمال جابه‌جا شده و شیو فشاری^۱ زیادی را در جهت نصف‌النهاری موجب شده است. در ماه جولای نیز حوضه‌های مرکزی زیر سلطه‌ی جریان سیکلونی هستند و بر سرعت باد افزوده شده است به طوری که در نیمه شرقی به خصوص کویر لوت شاهد افزایش سرعت باد و کاهش مقدار فشار هستیم. در ماه‌های مرداد و شهریور از شدت سرعت باد کاسته شده به طوری که در ماه جولای به ۶ متر بر ثانیه می‌رسد ولی در ماه شهریور به ۳/۵ متر بر ثانیه رسیده است و فشار نیز بیشتر شده است. با توجه به شواهد موجود می‌توان گفت که در مناطق مرکزی به‌ویژه در شرق و جنوب شرق که شرایط جوی برای استقرار کم‌فشار گرمایی (سیکلون) فراهم شده و از میزان شدت این چرخندگی به مرور که به ماه شهریور رسیده کاسته می‌گردد (شکل‌های ۷، ۸ و ۹).

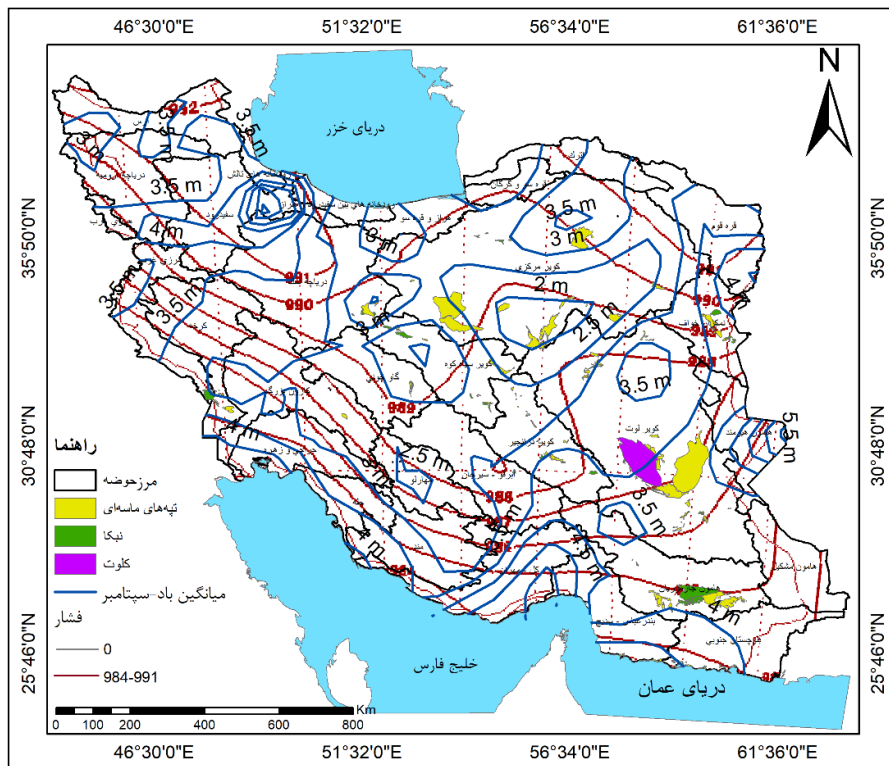
^۱. Gradient



شکل ۷. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه ژوئیه (مأخذ: مطالعات نگارندگان)



شکل ۸. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه مرداد (مأخذ: مطالعات نگارندگان)



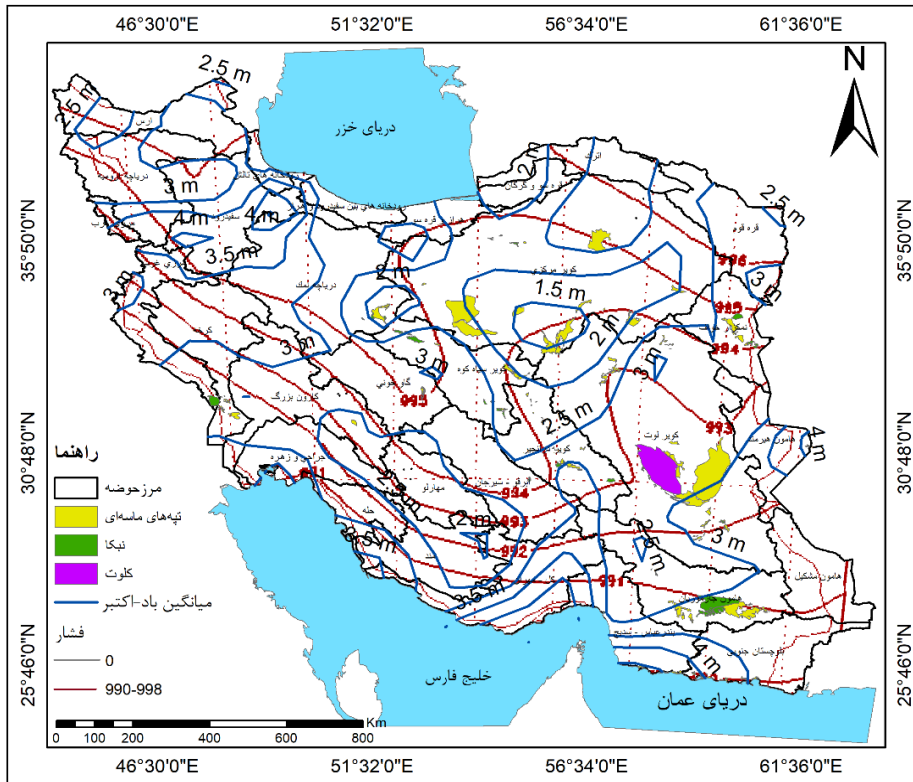
شکل ۹. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه شهریور (مأخذ: مطالعات نگارندگان)

در دوره‌ی سرد سال (پاییز و زمستان) در نتیجه‌ی عقب‌نشینی پرفشار جنب حاره به عرض‌های جنوبی‌تر و توسعه‌ی بادهای غربی در سطوح بالای جو، اغتشاش‌های جوی از نوع چرخندی است. در حالی که در سطح زمین به علت از دست دادن گرما یک پرفشار سرد مستقر می‌شود. نتیجه چنین وضعیتی از کانون‌های فشار، ایجاد چرخندگی منفی و جوی فشارورده^۱ در این مناطق است. در نتیجه سرعت باد در این پهنه‌ها کاهش یافته و در مواردی که بستگی به شرایط محلی دارد از جمله در طبرس که تحت تاثیر سامانه سیبری قرار می‌گیرد، شکل عارضه‌های ماسه‌ای و جهت‌گیری‌شان عوض می‌شود.

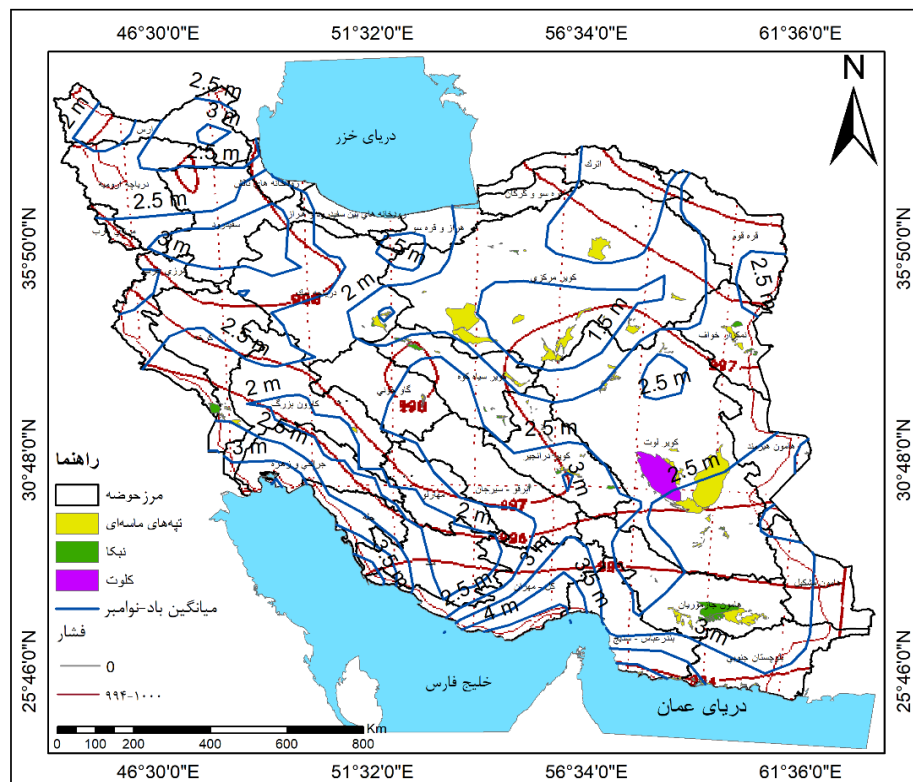
۳-۴. فصل پاییز

در اوایل فصل پاییز آغاز مهر چرخندگی سیکلونی شدت خود را در سطح زمین از دست می‌دهد و نسبت به فصل تابستان ضعیف‌تر می‌شود، به این صورت که در ماه اکتبر سرعت باد در شرق و جنوب‌شرقی بیشتر و هر چه به نیمه شمالی نزدیک می‌شود از سرعت باد کاسته شده و بر شدت فشار نیز افزوده می‌گردد. در ماه آبان کم‌کم شاهد استقرار آنتی‌سیکلون هستیم و این که از شدت سیکلون کاسته شده است و سرعت باد در مناطق مرکزی به حدود ۲/۵ تا ۱/۵ متر بر ثانیه می‌رسد، به جز در حوضه هامون جازموریان که به ۳ متر بر ثانیه رسیده است. در ماه آذر نیز چرخش آنتی‌سیکلونی به داخل مناطق مرکزی راه پیدا کرده است. می‌توان گفت که تقریباً تمام مناطقی که دارای عارضه ماسه‌ای است تحت سلطه این سیستم آنتی‌سیکلونی قرار می‌گیرند و در این فصل به تدریج از دامنه‌ی نفوذ بادهای کاسته می‌شود (شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲).

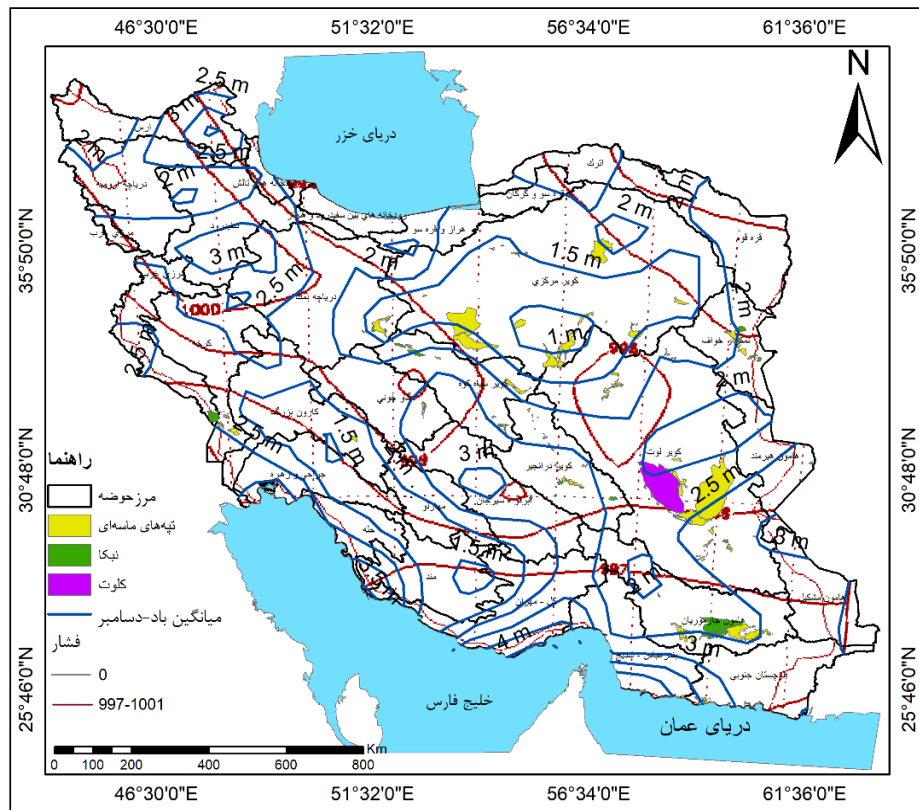
^۱. Barotropic



شکل ۱۰. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه مهر (مأخذ: مطالعات نگارندگان)



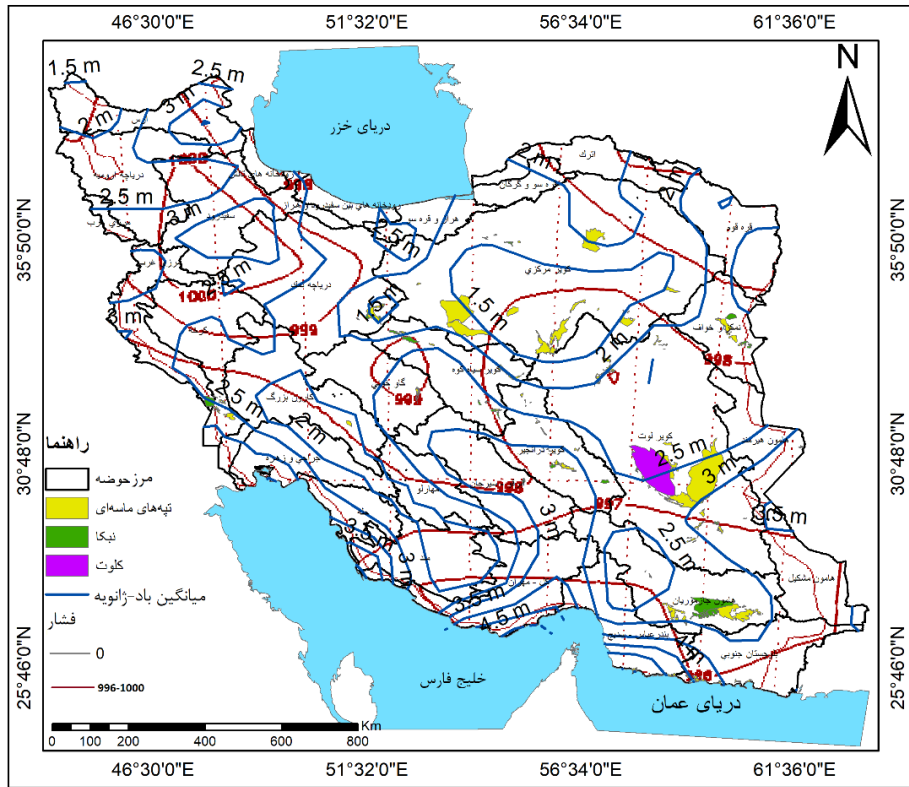
شکل ۱۱. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه آبان (مأخذ: مطالعات نگارندگان)



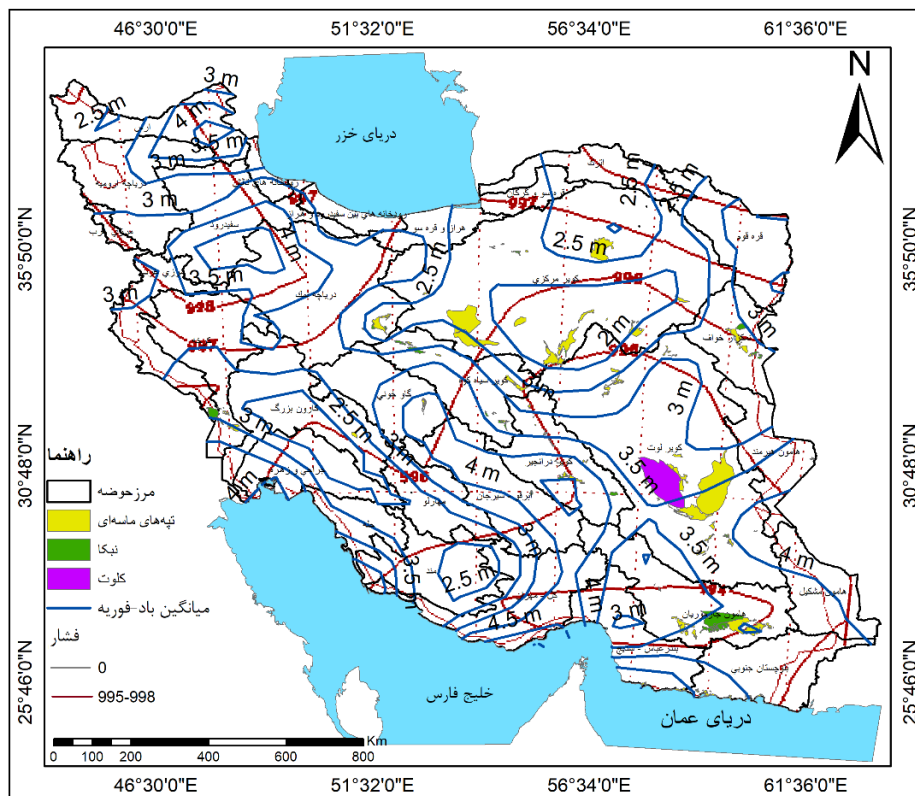
شکل ۱۲. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه آذر (مأخذ: مطالعات نگارندگان)

۴-۴. فصل زمستان

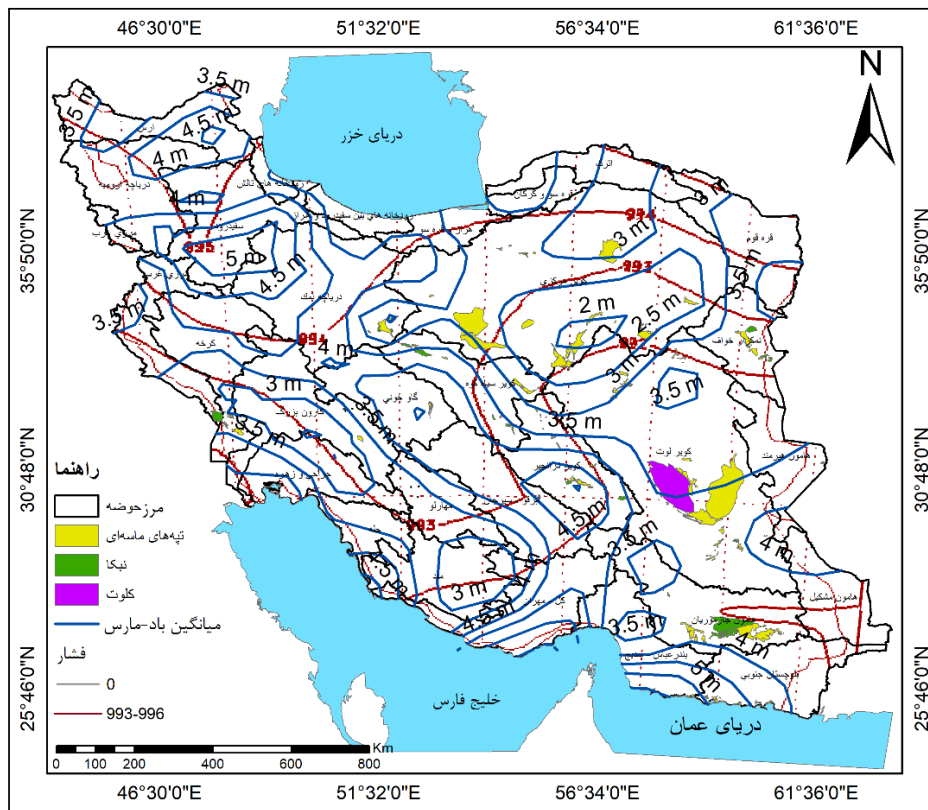
به طور کلی مناطق داخلی ایران، از آغاز دی تا پایان اسفند، در فصل زمستان به خصوص در ماه دی و بهمن، زیر سلطه‌ی سیستم پرفشار و چرخندگی منفی (آنتی‌سیکلون) است ولی در ماه اسفند در نیمه شمال شرقی از شدت آن کاسته شده است. سرعت باد در ماه دی در حوضه‌های مرکزی بین ۱/۵ تا ۳ متر بر ثانیه می‌رسد و فشار به حدود ۹۹۸ میلی بار می‌رسد در حالی که در ماه بهمن سرعت باد بین ۲/۵ تا ۳/۵ متر بر ثانیه می‌رسد که فشار به حدود ۹۹۴ میلی بار رسیده و سرعت باد نسبت به ماه قبل بیشتر و از شدت فشار کاسته شده است؛ این نشان‌دهنده استقرار یک سیستم پرفشار بر روی مناطق مرکزی ایران است (شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵).



شکل ۱۳. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه دی (مأخذ: مطالعات نگارندگان)



شکل ۱۴. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه بهمن (مأخذ: مطالعات نگارندگان)



شکل ۱۵. توزیع فضایی عارضه‌های بادی با سرعت میانگین باد و فشار در ماه اسفند (مأخذ: مطالعات نگارندگان)

۵. بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهاد

با توجه به ارتباط منطقی تپه‌های ماسه‌ای با وضعیت فشار و سرعت باد، نقشه‌های ماهانه، فصلی و سالانه فشار و سرعت باد در پهنه ایران ترسیم شد. بر اساس این نقشه‌ها و نقشه پراکندگی تپه‌های ماسه‌ای، تغییر در شدت و ضعف عملکرد کانون‌های فشار و سرعت باد در جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای، از بعد مکانی- زمانی مشخص می‌شود. به دنبال آن می‌توان سامانه‌های مدیریت تثبیت تپه‌های ماسه‌ای و جلوگیری یا کاهش آلودگی هوا را به صورت منطقه‌ای اولویت‌بندی کرد. پراکندگی پهنه‌های ماسه‌ای نشان می‌دهد ارتباط بسیار خوبی بین رژیم بارش و دمایی ایران با پراکندگی تپه‌های ماسه‌ای، کلوت‌ها و نیک‌ها وجود دارد. به طوری که در مناطق شمال و غرب کشور به دلیل بارش بیشتر و نقش آن در افزایش پیوند مولکولی و چسبندگی ذرات خاک سبب شده است تا عوارض ماسه‌ای چندان مهمی دیده نشوند. ولی با گذر به مناطق مرکزی به ویژه شرق و جنوب‌شرقی، ضمن کاهش میانگین بارش و افزایش دما؛ ترازنامه آبی این مناطق منفی شده و در نتیجه پیوند کلوت‌بندی ذرات خاک کاهش یافته و با توجه به تغییرات شدید فشار و شکل‌گیری بادهای با سرعت و نیروی برشی بیشتر از آستانه تحمل ذرات خاک‌های سطحی مناطق فوق، ذرات خاک در امتداد بادهای جابه‌جا شده و اشکال مختلفی را به وجود می‌آورند. شایان ذکر است که میزان این جابه‌جایی با توجه به مقدار سرعت باد، ابعاد و اندازه ذرات، پوشش گیاهی، میزان چسبندگی ذرات خاک، سطح آب زیرزمینی و مقدار بارش متفاوت است. فصل بهار زمان شروع تحلیل وضعیت فشار و سرعت باد در مکان و مقر تپه‌های ماسه‌ای، در نظر گرفته شد. سرعت باد از ابتدای فصل بهار (ماه فروردین) به خصوص در مناطق مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی کشور روند افزایشی پیدا می‌کند و از ۲ تا ۳ متر بر ثانیه در ماه بهمن به ۴ متر بر ثانیه در ماه فروردین می‌رسد و در ماه اردیبهشت در بعضی از مکان‌های دشت کویر به ۵ متر بر ثانیه نیز افزایش می‌یابد. در ماه خرداد با کاهش فشار سرعت باد در همه قسمت‌های شرقی و جنوب‌شرقی بیشتر می‌شود و جابه‌جایی‌هایی در تپه‌های ماسه‌ای ایجاد می‌کند. با کاهش فشار در مناطق مرکزی و حوضه‌های داخلی ایران، سرعت باد به حداکثر

می‌رسد؛ در این زمان با توجه به حداکثر سرعت باد در مقر تپه‌های ماسه‌ای (۶ متر بر ثانیه) مقدار جابه‌جایی در توده‌های ماسه‌ای نیز به حداکثر خود می‌رسد که باید مورد توجه مسئولین و مدیران امور زمین قرار گیرد. توجه به این نکته ضروری است که در ماه شهریور هر چند شرایط استقرار سیستم‌های کم فشار گرمایی یا سیکلونی در مقر تپه‌های ماسه‌ای فراهم است ولی به دلیل تفاوت‌های ناچیز فشار این مناطق با نواحی اطراف، سرعت باد کمتر از آستانه لازم برای جابه‌جایی مواد بادرفتی می‌گذرد. در فصول سرد سال با توجه به استقرار سیستم‌های آنتی سیکلونی سرعت باد کاهش می‌یابد و به جز در اوایل فصل پاییز (ماه مهر) که در نواحی شرق و جنوب شرق امکان دارد سرعت باد از آستانه جابه‌جایی مواد به صورت محلی بگذرد؛ در بقیه مناطق کشور سرعت باد زیر آستانه جابه‌جایی مواد توسط باد خواهد بود. چنین وضعیتی در فصل زمستان نیز تداوم می‌یابد و با استقرار سیستم‌های آنتی سیکلونی بر مقر تپه‌های ماسه‌ای، سرعت باد در این فصل به حداقل خود می‌رسد. در راستای مطالعات نظری سامانی و همکاران (۱۳۹۵) می‌توان چنین نتیجه گرفت که باد با سرعت بیش از ۳ متر بر ثانیه (۵ نات) منجر به جابه‌جایی ماسه و تحرک تپه‌های ماسه‌ای می‌شود؛ با شروع ماه‌های گرم سال، سرعت باد افزایش یافته و جابه‌جایی ماسه و تپه‌های ماسه‌ای به حداکثر خود می‌رسد. چنانچه مقصودی و همکاران (۱۳۹۹) در پایش تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابه‌جایی و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در ریگ لوت و مقصودی و همکاران (۱۳۹۹) در پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه بادسنجی در محدوده ریگ زهک در شرق دشت سیستان به این نتیجه رسیده‌اند که در ماه‌هایی که سرعت باد مساوی یا بیشتر از ۶ متر بر ثانیه می‌شود، جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در ریگ لوت و در شرق دشت سیستان به حداکثر خود رسیده است. کاهش سرعت باد در پست‌ترین قسمت چاله‌ها اتفاق می‌افتد و در شرق مناطق مرطوب چاله‌ها، ماسه رسوب‌گذاری شده و تپه‌های ماسه‌ای تشکیل می‌شوند. در این تحقیق جهت مشخص ساختن مکان قرارگیری و پراکندگی تپه‌های ماسه‌ای در حوضه‌های داخلی ایران از میانگین ماهانه سرعت باد استفاده گردید. مسلماً مقادیر حداکثر سرعت باد به همراه جهت آن‌ها در جابه‌جایی مواد رسوبی نقش بیشتری اعمال می‌نماید. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی پراکندگی تپه‌های ماسه‌ای با توجه به حداکثر سرعت بادها و جهات متفاوت آن‌ها در هر حوضه مورد ارزیابی قرار گیرد.

۶. منابع

- Ahmadi, H., Feyznia, S., Ekhtasasi, M. R., & Ghanei Bafghi, M. J. (2001). The origin of the sand dunes of the south of Bafgh Geography: Desert: Volume 6, No. 2, from 33 to 50.
- Alaei-Taleghani, M. (2013). *Geomorphology of Iran*, Gomes Publishers Tehran, 360.
- Duniway, M. C., Pfennigwerth, A. A., Fick, S. E., Nauman, T. W., Belnap, J., & Barger, N. N. (2019). Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere*, 10(3), e02650.
- Ekhtesaci, M., & Dadfar, S., Tajamulian, M., & Shah-bandari, R. (2009). Investigating the relationship between the UDI sand transport homogeneity index and the shape of sand dunes, a case study of sand dunes in Bafaq city, the second national conference on wind erosion and Dust storms, Yazd.
- Ghaemi Bafghi, M. J., & Yarahmadi, A. R. (2011). Investigation of the granulometric relationship of sand dunes sediments with prevailing wind direction (Case study: Hassanabad Bafgh Citadel), *Geography: Geographical Information*, No. 8, from 57-61.
- Hermas, E., Leprince, S., & El-Magd, I. A. (2012). Retrieving Sand Dune Movements Using Sub-Pixel, Correlation of Multi-Temporal Optical Remote Sensing Imagery, Northwest Sinai Peninsula, and Egypt. *Remote, Sensing of Environment*, 121: 51- 50.
- Jarrah, M., Mayel, S., Tatarko, J., Funk, R., & Kuka, K. (2020). A review of wind erosion models: Data requirements, processes, and validity. *Catena*, 187, 104388.
- Jebali, A., & Zare Chahouki, A. (2021). Evaluation of Wind Erosion Risk in Abarkouh Plain Using Landsat Satellite Imageries. *Desert Management*, 9(3), 17-32.
- Khalifeh, E., Kavianpour, M. R., Pakparvar, M., & Vafae, S. (2007). Methods of Satellite Images and Wind Analysis in Identifying the Sources of Sand Hills (Ardestan Study Area), *Iranian Rangeland and Desert Research Quarterly*, Volume 14, Number 2, Pages 204-221.
- Maqsoodi, M. (2016). Knowing the processes affecting the development and transformation of sand features (Case study: Chale Sirjan sand features). *Geographical Researches*, 38(56): 149-160.

- Mashhadi, N., Alavi Panah, S. K., & Ahmadi, H. (2002). Geomorphological study of Lot yardlands, Biyaban, 7(2): 25-43.
- Maghsoudi, M., geravand, F., Abdinejad, B. R., & Pirani, P. (2020). Monitoring Changes in Sand Dunes by Analyzing Satellite Images and Wind Station Data (Case Study: Zahak Erg Region in the East of Sistan Plain). *Geography and Environmental Planning*, 31(3), 131-148.
- Maghsoudi, M., Fathollahzadeh, M., & Ganjaeian, H. (2021). Monitoring changes in wind speed and their effect on the displacement of sand dunes in the Lut Desert. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 30(118), 113-126.
- Mohammadnia, M., AmirAhmadi, A., & ZanganeAsadi M. (2019). Investigation of the Potential of Sedimentation in Geomorphologic Facies in Gonabad Township Using Wind Tunneland IRIFR1 Model. *GeoRes*. 2019; 34 (4): 577-586.
- Nazari-Samani, A. A., Abbasi, H. R., Ahmadi, H., & Rahdari, M. R. (2017). Quantitative Modeling of Height and Distance between Sand Hills Using Geomorphometric Studies in the Inner Deserts of Iran, *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, Volume 24, pp. 210-223.
- Negaresh, H., & Latifi, L. (2008). Geomorphological Analysis of the Progress of Sand Hills in the East of Sistan Plain in Recent Drought Years, *Geography and Development*, No. 12, pp. 43-60.
- Pearce, K. I., & Walker, I. J. (2005). Frequency and magnitude biases in the 'Fryberger' model, with implications for characterizing geomorphically effective winds. *Geomorphology*, 68(1-2), 39-55.
- Shrestha, D.P. (2008). Guidelines for monitoring and assessment of wind erosion at site level: prepared for the ACSAD, Damascus, Syria. Enschede, ITC, 2008.
- Silvestro, S., Fenton, L. K., Vaz, D. A., Bridges, N. T., & Ori, G. G. (2010). Ripple migration and dune activity on Mars: Evidence for dynamic wind processes. *Geophysical Research Letters*, 37(20).
- Tavakoli-Fard, A., Ghasemieh, H., Nazari-Samani, A. A., & Mashhadi, N. (2014). Analysis of the activity of sand dunes in Kashan sand dunes using Lancaster index, *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, Volume 3, Number 5, Page 37 48.
- Teng, Y., Zhan, J., Liu, W., Sun, Y., Agyemang, F. B., Liang, L., & Li, Z. (2021). Spatiotemporal dynamics and drivers of wind erosion on the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Ecological Indicators*, 123, 107340.
- Tsoar, H., Levin, N., Porat, N., Maia, L. P., Herrmann, H. J., Tatum, S. H., & Claudino-Sales, V. (2009). The effect of climate change on the mobility and stability of coastal sand dunes in Ceará State (NE Brazil). *Quaternary Research*, 71(2), 217-226.
- Yamani, M. (2002). The role of local low pressure cells in the establishment of sand complexes in Iran (case study: Bandrig Kashan). *Planning and preparation of space*. 6 (4):155-133.
- Zaady, E., Dody, A., Weiner, D., Barkai, D., & Offer, Z. Y. (2009). A comprehensive method for aeolian particle granulometry and micromorphology analyses. *Environmental monitoring and assessment*, 155(1), 169-175.
- Zomorodian, M. Jm (2012). *Geomorphology of Iran, first volume: construction processes and internal dynamics*, Ferdowsi University of Mashhad Publications, 251 p.