



## Analysis of Wind Regime and Sand Transport Potential in the Marginal Ergs of the Namak Lake, Central Iran

Ariyan Allahveisi<sup>1</sup> | Mehran Maghsoudi<sup>2</sup> | Abolfazl Ghojzadeh Helani<sup>3</sup> | Mehdi Safari Namivandi<sup>4</sup>

1. Department of Physical geography, Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran. [ariyan.veisi@ut.ac.ir](mailto:ariyan.veisi@ut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Physical geography, Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran. [maghsoud@ut.ac.ir](mailto:maghsoud@ut.ac.ir)
3. Department of Physical geography, Aras international campus, University of Tehran, jolfa, Iran. [gojhzdeh@ut.ac.ir](mailto:gojhzdeh@ut.ac.ir)
4. Department of Border Guard, Faculty of Border, Imam Hassan Mojtaba University, Tehran, Iran. [safarimehdi534@gmail.com](mailto:safarimehdi534@gmail.com)

### Article Information

#### Research Paper

**Vol:** 16  
**No:** 60  
**P:** 1-19  
**Received:** 2023-06-23  
**Revised:** 2023-12-20  
**Accepted:** 2024-01-11  
**Published:** 2025-08-01

#### Keywords:

- Sand transportation
- wind regime
- Qom Namak lake
- Golbad
- Golmase

#### Cite this Article:

Allahveisi, Ariyan., Maghsoudi, Mehran., Ghojzadeh Helani, Abolfazl., Safari Namivandi, Mehdi. (2025). Analysis of Wind Regime and Sand Transport Potential in the Marginal Ergs of the Namak Lake, Central Iran. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 16(60): 1-19.  
doi: 10.22034/jargs.2024.403721.1042

**Publisher:** Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



[10.22034/jargs.2024.403721.1042](https://doi.org/10.22034/jargs.2024.403721.1042)

### Abstract

**Aim:** This study aims to analyze the wind regime and estimate sand drift potential in the ergs along the southern margin of Qom Namak Lake. It also investigates how erosive wind direction and strength influence the formation of aeolian geomorphological features, improving the understanding of morphodynamic processes in the region.

**Materials and Methods:** To achieve the research objectives, 20 years of meteorological data from five synoptic stations around the study area were used. WRPLOT View 7 and Sand Rose software were employed to plot wind rose and sand rose diagrams and to analyze the DP, RDP, RDD, and UDI indices. A geomorphological map of the area was also prepared, and sand transport pathways were interpreted.

**Findings:** At Qom and Aran & Bidgol stations, dominant winds blow from the north and northwest, producing the highest sand transport potential along the northeast–southwest axis. Kashan, Garmsar, and Ardestan stations experience winds primarily from the east and southeast, with Garmsar and Ardestan showing multidirectional patterns at obtuse angles, significantly influencing sediment displacement and dune dynamics.

**Conclusion:** The findings indicate that the directional variability and intensity of winds in the study area directly affect sand displacement and accumulation. The prevailing pattern of sand movement corresponds to the orientation of the region's sand dunes, which are primarily directed toward the east and southeast. It was also determined that much of the transported sediment originates from surrounding alluvial fans with diverse lithological compositions. These results confirm the crucial role of climatic factors, topography, and sediment sources in the dynamism of aeolian landforms and geomorphic processes in the region.

**Innovation:** This study applies a vector-based, quantitative approach to sand drift analysis using wind indices, helping explain dune formation patterns and predict future morphological changes. These results support better resource management and planning in arid environments.

## **Extended Abstract**

### **1. Introduction**

Wind is one of the main causes of erosion and degradation on the surface of the Earth. The amount of wind energy and its variability play an important role in the formation of erosive faces, the development and movement of wind sediments, especially sand dunes. This phenomenon is highly dynamic and has time changes and at the same time acts on a large scale. The achievement of easy and practical methods of wind data analysis has been the focus of experts from the past to the present, so that by analyzing the wind data of a station, the type of sand dunes that can be formed, the amount and direction of movement of sediments can be predicted. Typically, the direction of the prevailing wind determines the direction of the displacement of the largest amount of sediment particles. One of these methods, first proposed and used by Freiburger and Dean, was statistical analysis of winds exceeding the threshold velocity of wind erosion. In this method, different wind speeds in different directions, which have a speed exceeding the rate of erosion threshold, are converted into identical vector units and are formed Sand rose by drawing them in the corresponding directions. Using this method, in addition to analyzing wind abundance and determining the direction of eroding winds, the amount of wind power in transporting sand sediments, the amount of sediment discharge and the final direction of transporting wind sediments can be achieved. The main objective and hypothesis of this research is to analyze the abundance of eroding winds and estimate the potential and final direction of the sand transport flow at the surface of the Ergs on the southern edge of the Namak Lake and examine its relationship with the geomorphology of existing wind shapes using time series data of the side and wind speed recorded at the synoptic stations located around these Ergs.

### **2. Materials and methods**

The study used meteorological data from five stations at different intervals around these Ergs to analyze the wind situation and examine the eroding winds at the level of the study area. WRPLOT VIEW 7 was used to perform wind statistics and draw Wind rose. Wind rose is the simplest method to comply with Statistical wind data shows the abundance of the direction and speed of the winds in each direction. Sand Rose Graph 3 software was also used to draw the Sand rose of the stations around the Ergs due to the high volume of calculations. The software can well show the power and direction of carrying sand by wind. Sand Rose is a graph of the amount of wind energy used to transport sand and represents the erosion power of the wind and the relative amount of sand in different directions. Unlike Sand rose, where the unit of arm size is based on wind speed, the unit of arms in Sand rose is based on a vector unit (v.u) defined.

### **3. Results and Discussion**

The results of the analysis of the Wind rose of the stations in the study area for the seasons of the year show that in Qom station, western winds are dominant with a percentage of occurrence of about 20 to 25 percent in all seasons, and other winds blow from the eastern and Northwestern directions and between the East and Southeast. For the summer season in addition to the westerly direction, winds with an easterly direction of about 20-25% also prevail. The results of annual Storms Rose indicate that winds with westerly directions prevail in the Stations of Qom and Kashan and Garmsar. At Arran and biddegal stations, there is a wide variety of wind directions. these winds also blow from the Northeast, East, West and northwest directions in addition to the northern directions. But unlike other stations, wind does not blow from the North and West, and most winds blow from the south and East. Analysis of the net direction of sand movement (RDD) of the stations studied shows that the direction of sand movement at Qom station is southward at Aran and Bidgul station to the East and southeast, at Kashan station to the east-northeast, at Ardestan station to the Northeast, and at Garmsar station to the East and Southeast. The analysis of the direction of movement of the Sand rose shows full compliance with the Storms rose of the study stations, which indicates the systematization of the trend of changes in wind direction, as well as the acceptability of the results of the Storm rose of the storm.

### **4. Conclusion**

The study shows that on a regional scale, natural changes in the area, ranging from expansion and contraction, are mainly the result of wind regimes, the supply of sand and its transport, especially from prone areas and geological resources, as well as the Ergs of this area in the eastern part are fed by sand-

sized particles obtained from alluvial fan systems at the periphery of eroding heights with a variety of substrate rocks including granite, limestone, basalt and andesite. In conclusion, the use of the results of this study enables us to understand the speed and direction of eroding winds, the ability to drift sediments by wind, the amount of discharge and the direction of movement of sediments, as well as the type of morphology of wind sediments.

### **5. Acknowledgment & Funding**

- Authors are thankful to all interview participants for supporting this research.
- The manuscript did not receive a grant from any organization

### **6. Conflict of Interest**

- The authors declare no conflict of interest.




دانشگاه حکیم سبزواری

# مطالعات خرفایی مناطق خشک



## تحلیل رژیم باد و پتانسیل حمل ماسه در ریگ‌های حاشیه دریاچه نمک قم، ایران مرکزی

آرین الله‌ویسی<sup>۱</sup>، مهران مقصودی<sup>۲</sup> , ابوالفضل قوجه‌زاده هلانی<sup>۳</sup>، مهدی صفری نامیوندی<sup>۴</sup>

- ۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. [ariyan.veisi@ut.ac.ir](mailto:ariyan.veisi@ut.ac.ir)  
 ۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. [maghsoud@ut.ac.ir](mailto:maghsoud@ut.ac.ir)  
 ۳- گروه جغرافیای طبیعی، پردیس ارس، دانشگاه تهران، جلفا، ایران. [gojehzdeh@ut.ac.ir](mailto:gojehzdeh@ut.ac.ir)  
 ۴- گروه مرزبانی، دانشکده مرزبانی، دانشگاه امام حسن مجتبی (ع)، تهران، ایران. [safarimehdi534@gmail.com](mailto:safarimehdi534@gmail.com)

### چکیده

**هدف:** هدف اصلی این پژوهش تحلیل رژیم بادی و برآورد پتانسیل حمل ماسه در ریگ‌های واقع در حاشیه جنوبی دریاچه نمک قم است. همچنین بررسی رابطه بین جهت و توان بادهای فرساینده با شکل‌گیری اشکال ژئومورفولوژیکی در این ناحیه مورد توجه قرار گرفته است تا از این طریق شناخت بهتری از فرآیندهای مورفودینامیک حاصل شود.

**مواد و روش:** برای دستیابی به اهداف پژوهش، داده‌های ۲۰ ساله پنج ایستگاه سینوپتیک اطراف منطقه استفاده شد. از نرم‌افزارهای WRPLOT View 7 و Sand Rose برای ترسیم گل‌باد و گلماسه و همچنین تحلیل شاخص‌های DP، RDP، RDD و UDI بهره گرفته شد. همچنین، نقشه ژئومورفولوژیکی منطقه ترسیم گردید و مسیرهای حرکت ماسه تحلیل شدند.

**یافته‌ها:** یافته‌ها نشان داد که در ایستگاه‌های آران و بیدگل و قم، باد غالب از شمال و شمال‌غرب، در حالی که در ایستگاه‌های کاشان، گرمسار و اردستان، بادها از شرق و جنوب‌شرق می‌وزند. بیشترین پتانسیل حمل ماسه مربوط به جهات شمال شرقی و جنوب غربی در ایستگاه‌های قم و آران و بیدگل است. در برخی ایستگاه‌ها، مانند گرمسار و اردستان، توزیع بادها چندجهته و با زاویه منفرجه بوده است که تأثیر زیادی بر جابه‌جایی رسوبات بادی دارد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تنوع جهتی و شدت باد در منطقه مورد مطالعه، تأثیر مستقیمی بر جابه‌جایی و انباشت ماسه‌ها دارد. الگوی غالب حرکت ماسه در راستای شرق و جنوب‌شرق است که به‌خوبی با جهت شکل‌گیری ریگ‌های منطقه مطابقت دارد. همچنین مشخص شد که منشأ بخش زیادی از رسوبات، مخروط‌افکنه‌های اطراف با ترکیب سنگ‌شناسی متنوع است. این نتایج مؤید نقش تعیین‌کننده عوامل اقلیمی، توپوگرافی و منابع رسوبی در پویایی اشکال بادی و فرآیندهای ژئومورفیک منطقه است.

**نوآوری و کاربرد نتایج:** نوآوری اصلی پژوهش، تحلیل برداری و عددی مسیر رانش ماسه با استفاده از شاخص‌های باد است که در تبیین الگوی شکل‌گیری ریگ‌ها و پیش‌بینی تحولات آتی آن‌ها نقش مؤثری دارد. این نتایج در مدیریت منابع طبیعی و مناطق بیابانی قابل بهره‌برداری است.

### اطلاعات مقاله

#### مقاله پژوهشی

دوره:	۱۶
شماره:	۶۰
صفحه:	۱-۱۹
تاریخ دریافت:	۱۴۰۲/۰۴/۰۲
تاریخ ویرایش:	۱۴۰۲/۰۹/۲۹
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۲/۱۰/۲۱
تاریخ انتشار:	۱۴۰۴/۰۵/۱۰

#### کلیدواژه‌ها:

- پتانسیل حمل ماسه
- رژیم بادی
- دریاچه نمک قم
- گل‌باد
- گلماسه

#### نحوه ارجاع به این مقاله:

الله‌ویسی، آرین، مقصودی، مهران، قوجه‌زاده هلانی، ابوالفضل، صفری نامیوندی، مهدی. (۱۴۰۴). تحلیل رژیم باد و پتانسیل حمل ماسه در ریگ‌های حاشیه دریاچه نمک قم، ایران مرکزی. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۶(۶۰): ۱-۱۹. doi: 10.22034/jargs.2024.403721.1042

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



© نویسنده(گان).

## ۱- مقدمه

باد یکی از عوامل اصلی ایجاد فرسایش و تخریب در سطح زمین است. مقدار انرژی باد و تغییرپذیری آن، نقش مهمی در تشکیل رخساره‌های فرسایشی، توسعه و حرکت رسوبات بادی، به ویژه تپه‌های ماسه‌ای دارد (Pearce and Walker, 2005). این پدیده به شدت پویا و دارای تغییرات زمانی بوده و در عین حال در سطح وسیعی عمل می‌کند. تحرک تپه‌های ماسه‌ای و رسوب‌گذاری ماسه‌های بادی از شرایط باد غالب در منطقه خشک تبعیت می‌کند. سرعت و جهت باد از عوامل مهم در تعیین میزان فرسایش باد هستند و در کنترل شدت فرسایش بادی نقش مهمی دارند (Skidmore, 1987) (Zhang, Wieland et al., 2012). در واقع، فرسایش بادی ارتباط مستقیمی با سرعت باد دارد و هر چه سرعت باد بیش‌تر از مقدار آستانه باشد افزایش در سرعت باد باعث تقویت فرسایش بادی و در نتیجه تشدید فرسایش بادی می‌شود (Zhang, Zou et al., 2004) و (Sterk, 2000). دستیابی به روش‌های آسان و کاربردی تحلیل داده‌های باد، از گذشته تا به حال مورد توجه متخصصان بوده است؛ به طوری که بتوان با تحلیل داده‌های بادسنجی یک ایستگاه، نوع تپه‌های ماسه‌ای قابل تشکیل، میزان و جهت حرکت رسوبات را پیش‌بینی کرد. به طور معمول جهت باد غالب، سمت‌وسوی جابه‌جایی بیش‌ترین مقدار ذرات رسوب را تعیین می‌کند (Skidmore, 1987). یکی از این روش‌ها که اولین بار توسط فریبرگر و دین پیشنهاد و مورد استفاده قرار گرفت، تحلیل آماری داده‌های با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی بود. در این روش سرعت‌های مختلف باد در جهات مختلف که دارای سرعتی بیش از سرعت آستانه فرسایشی هستند، به واحدهای برداری یکسان تبدیل شده و با رسم آن‌ها در جهت‌های مربوطه، گلماسه شکل می‌گیرد. با استفاده از این روش، علاوه بر تحلیل فراوانی باد و تعیین جهت داده‌های فرسایشی می‌توان به مقدار توان باد در حمل رسوبات ماسه‌ای، مقدار دبی رسوب و جهت نهایی حمل رسوبات بادی دست یافت. پتانسیل رانش ماسه<sup>۱</sup> و متغیرهای کلیدی مرتبط، یعنی جهت خالص حرکت ماسه (جهت بردار منتجه)<sup>۲</sup>، پتانسیل رانش حاصل یا اندازه بردار برآیند<sup>۳</sup>، شاخص همگنی جهت حمل ماسه<sup>۴</sup> UDI یا RDP/DP، به طور گسترده در مطالعات رژیم باد، انتقال شن و ماسه و ژئومورفولوژی<sup>۵</sup> تپه‌های شنی استفاده شده است (Abbasi, Opp et al., 2019). بیشترین مدل مورد استفاده برای برآورد حمل و نقل ماسه بادی توسط فریبرگر و دین تهیه شده است. مدل فریبرگر، مبتنی بر استفاده از داده‌های سرعت و جهت باد برای تخمین پتانسیل حمل ماسه (DP) است. (DP) به عنوان توان بالقوه باد برای انتقال رسوبات در جهت معین تعریف می‌شود، همچنین برای توصیف محیط انرژی باد استفاده می‌شود (Fryberger, Dean et al., 1979). این یک عامل کلیدی در سایدگی ذرات رسوب از سطوح زمین است؛ بنابراین منابع بادی را فعال می‌کند، رویدادهای گرد و غبار و طوفان شن را ایجاد می‌کند و همچنین فرآیندهای که منجر به تشکیل تپه می‌شوند را هدایت می‌کند. این مدل به طور گسترده‌ای در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است تا ظرفیت باد را برای حمل و نقل ماسه تخمین بزند. (Livingstone, Bristow et al., 2010; Al-Awadhi and Al-) (Dousari, 2013; Zhang, Dong et al., 2015). در ارتباط با تحلیل باد و بررسی میزان فرسایشی آن، تحقیقاتی در جهان و ایران صورت گرفته است. اهلرز اولین کسی بود که نقشه کاربردی اراضی ایران را ارائه کرد که تپه‌های ماسه‌ای را به مساحت ۱۸۲۹۰۰ کیلومتر مربع نشان می‌داد (Ehlers, 1980). محمدی کتابی با عنوان «پراکنش ریگ‌زارهای ایران» منتشر کرد که حدود ۳۵۳۸۵ کیلومتر مربع (بدون در نظر گرفتن ورقه‌های شن و تپه‌های نیکا) را پوشش می‌دهد (Mahmmodi, 2002).

عباسی و همکاران به ارزیابی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای و تغییرات فضایی محیط انرژی باد بر اساس شاخص جابه‌جایی و داده‌های زمینی در ۲۰۴ ایستگاه هواشناسی پرداختند. آن‌ها سه مدل متداول برای جابه‌جایی تپه شنی شامل شاخص جابه‌جایی لنکستر، شاخص جابه‌جایی تسوار و شاخص توسعه یافته توسط اسحاق و همکاران را برای ارزیابی جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای ایران استفاده کردند. تجزیه و تحلیل شاخص‌ها نشان داد که جابه‌جایی تپه‌ها با تنوع فضایی زیاد در سراسر بیابان‌های ایران مشخص می‌شود. آن‌ها سه مدل تپه‌های شنی کاملاً فعال را در دشت سیستان، کل کویر لوت و همچنین در منطقه زیرکوه قاین و دیهوک شناسایی

1. Drift Potential (DP)
2. Resultant Drift Direction (RDD)
3. Resultant Drift Potential (RDP)
4. Uni Directional Index (UDI)

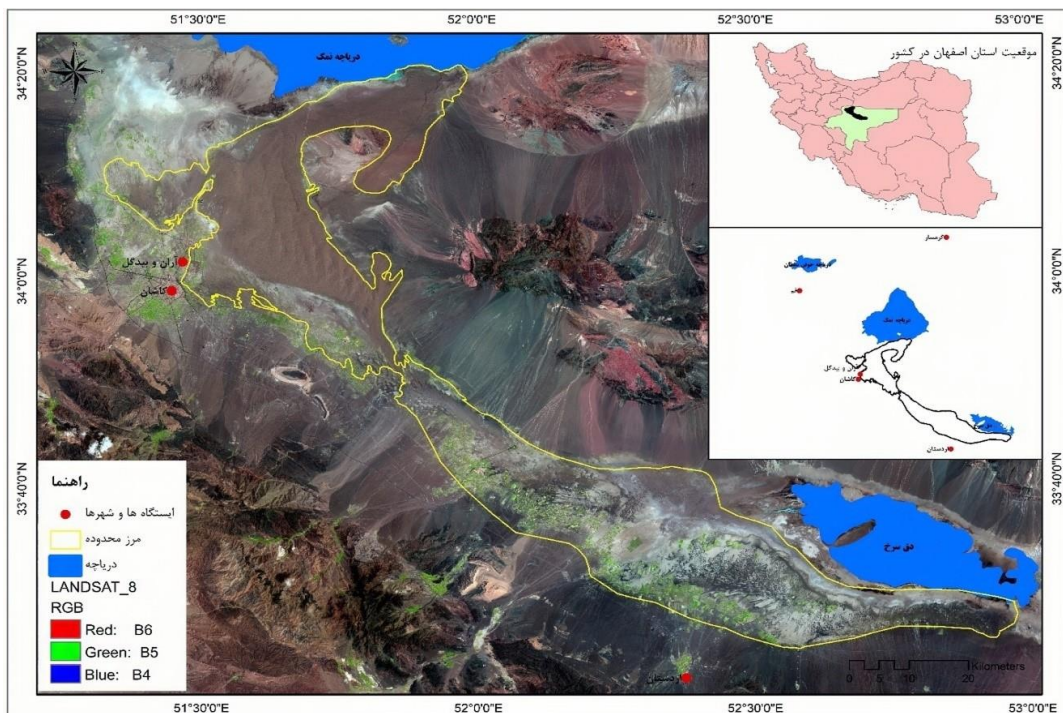
کردند (Abbasi, Opp et al., 2019). یانگ و همکاران ویژگی‌های تپه‌های ماسه‌ای، رژیم بادی و انتقال ماسه در کویر هوبک<sup>۱</sup> در چین را مطالعه کردند. بررسی‌ها نشان داد که ۵۱/۸٪ از تپه‌های ماسه‌ای دارای جابه‌جایی و تنها ۸/۳٪ از آن‌ها تثبیت شده‌اند. جهت باد غالب منطقه مورد مطالعه جنوب و جنوب‌غربی با میانگین سرعت ۴ تا ۸ متر بر ثانیه بوده است. رابطه بین پتانسیل رانش با میانگین و حداکثر سرعت باد همبستگی زیادی را نشان داد و هیچ رابطه معناداری با درجه حرارت نداشت (Yang, Cao et al., 2019). مقصودی و همکاران در پژوهشی به پایش و جابه‌جایی برخان‌های غرب ریگ لوت پرداختند و با استفاده از سله‌های موجود در سطح و مقایسه آن با عکس‌های هوایی سال‌های مختلف، میزان حرکت و جابه‌جایی ریگ و برخان‌ها را مشخص کردند. بر این اساس مشخص شد ریگ مورد نظر به سمت جنوب و جنوب‌شرق در حال جابه‌جایی است که این امر در مطالعات میدانی نیز تأیید شد. در این پژوهش به منظور تعیین نحوه تغییرات تپه‌های ماسه‌ای ریگ لوت به بررسی خصوصیات باد و تأثیرات آن بر مورفولوژی و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای ریگ لوت پرداخته شد (Maghsoudi, Fathollahzadeh et al., 2021). توکلی فرد و همکاران به بررسی دانه‌بندی رسوبات بادی در قسمت شمالی ارگ کاشان بر اساس الک خشک پرداختند و با استفاده از پارامترهای آماری از قبیل قطر، میانگین، جورشدگی، کج شدگی، کشیدگی، d10 و d90 بررسی کردند و دریافتند که متغیرهای قطر میانگین، جورشدگی، d10 و d90 بین تپه‌های تثبیت شده و تپه‌های ماسه‌ای فعال در سطح ۹۵ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. همچنین، مشخص شد که در تپه‌های عرضی، متغیرهای قطر میانگین و d90 در دامنه پست به باد با بخش پایینی دامنه رو به باد اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد دارند، در حالی که با بخش میانی و بالایی دامنه رو به باد اختلاف معنی‌داری ندارند و این مبین آن است که نسبت همگنی ابعاد دانه‌های ماسه در تپه‌های مختلف متفاوت است و این ناشی از تفاوت تغییرات سرعت باد در قسمت‌های مختلف ارگ و همچنین تپه‌های مختلف است (Tavakkoli Fard, Nazari Samani et al., 2014). محمدخان و کشفی به بررسی ریگ اردستان در شمال شرقی کاشان از طریق مقایسه زمانی مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای و ویژگی‌های باد در یک دوره سی ساله پرداختند، آن‌ها با استفاده از اطلاعات حاصل از انجام کارهای آزمایشگاهی (مورفومتری و مورفوموسکوپ) روند تغییرات را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که غالب نمونه‌ها از عمدتاً مخروط افکنه‌های حاشیه جنوبی چاله منشأ گرفته و جهات غالب نقل و انتقال آن‌ها نیز به سوی شمال شرق و سپس مشرق است (Mohammadkhan and Kashfi, 2018). هدف و فرض اصلی از انجام این تحقیق، تحلیل فراوانی بادهای فرساینده و برآورد پتانسیل و جهت نهایی جریان حمل ماسه در سطح ریگ‌های حاشیه جنوبی دریاچه نمک و بررسی ارتباط آن با ژئومورفولوژی اشکال بادی موجود با استفاده از داده‌های سری زمانی سمت و سرعت باد ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در اطراف این ریگ‌ها است.

## ۲- مواد و روش

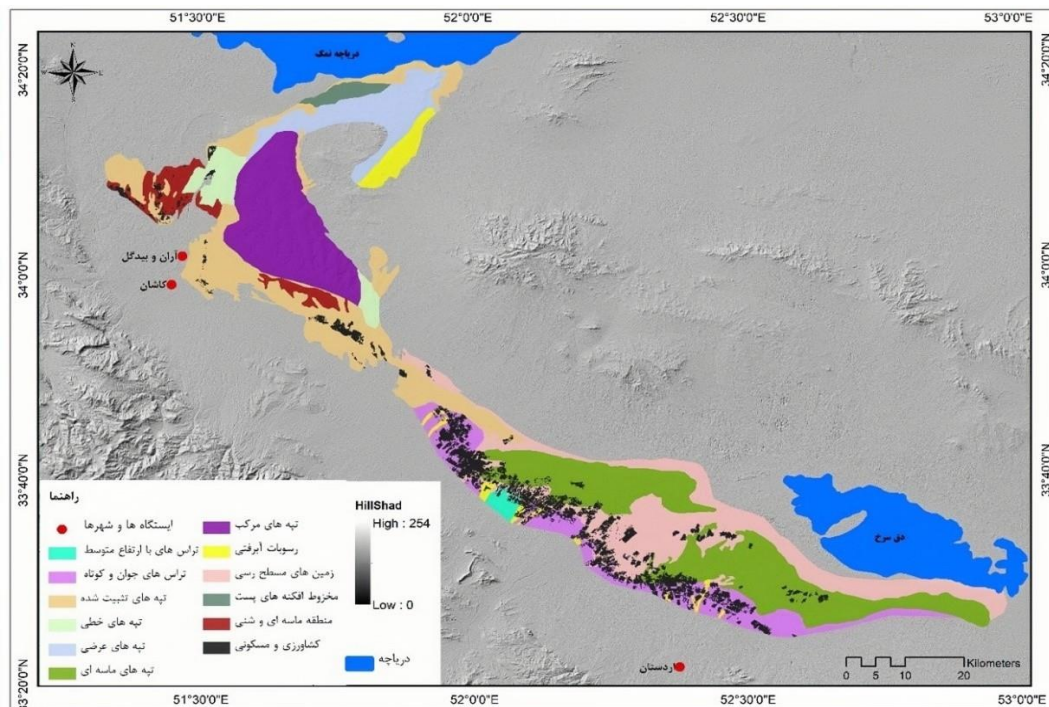
### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال استان اصفهان و جنوب دریاچه نمک قم در قسمت شرقی شهرستان کاشان و شمال شهرستان اردستان واقع شده است و شامل دو ریگ اردستان و بندریگ کاشان است. نوار بندریگ کاشان که یکی از محدود پهنه‌های ماسه‌ای بزرگ ایران با تنوع اشکال ماسه‌ای است که به شکل هلالی با تحدب غربی در حاشیه جنوبی دریاچه‌ی نمک واقع در ۷۰ کیلومتری شمال شرقی شهر کاشان شروع و تا ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی آن ادامه دارد. طول تحدب خارجی آن با احتساب پیش تپه‌های ماسه‌ای شمال غربی، حدود ۱۱۵ کیلومتر و طول قوس داخلی آن حدود ۶۰ کیلومتر است. این توده‌ی ماسه‌ای از امتداد جنوبی به رشته‌ی ماسه‌ای ریگ اردستان می‌پیوندد و تا شمال نایین به صورت یک رشته باریک به عرض متوسط ۶ تا ۸ کیلومتر و طول بیش از ۲۴۰ کیلومتر امتداد می‌یابد با این تفاوت که با ادامه آن به سمت جنوب شرق و مشرق، انسجام و پیوستگی خود را از دست می‌دهد (Yamani, 2002). این ناحیه بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی قرار گرفته است و مساحت آن ۷۳۱ کیلومتر مربع است. بند ریگ کاشان شامل طیف گسترده‌ای از لندفرم‌های بیابانی و خشک و اشکال بادی است، از جمله مخروط افکنه‌ها، تپه‌های ماسه‌ای با اشکال و اندازه‌های مختلف، اشکال مختلف بستر بیابان و همچنین رخساره‌های مختلف ژئومورفولوژیکی مربوط به پلایاها (به عنوان مثال در اطراف دریاچه نمک) است. این منطقه همچنین دارای کاربری‌های مختلفی است (مانند مناطق مسکونی، پارک‌های صنعتی،

زمین‌های کشاورزی و باغی، مراتع). به لحاظ ژئومورفولوژیکی، این پهنه پوشیده از ماسه است و یک مجموعه ماسه‌ای محسوب می‌شود. عمده‌ترین زیر واحدهای تشکیل‌دهنده این گروه دشت‌های آبرفتی و دارای توپوگرافی مسطح با شیب ملایمی به سوی مرکز دشت است و دشت سیلابی شمرده می‌شود. همان‌طوری که از نقشه ژئومورفولوژی می‌توان دریافت که هر چه از حاشیه ارگ‌ها به سمت مرکز آن حرکت کنیم ارتفاع آن به تدریج بیشتر می‌شود (شکل ۱). به طور کلی تپه‌های ماسه‌ای در مورفودینامیک‌های مختلفی ظاهر می‌شوند، که هر یک از آن‌ها دامنه‌ای از اندازه (ارتفاع و پهنای)، با فاصله‌های مختلف را نشان می‌دهند. وجود نیمرخ‌های لایه‌ای نیز دلیلی بر این مدعا است. دشت ریگی، قله سنگ‌های چند وجهی، اشکال تراکمی ماسه‌های بادی، نبکا، برخان، ریگ، تپه‌های ماسه‌ای هرمی، پیکان ماسه‌ای سیف یا شمشیر، ریپل مارک از جمله اشکال ژئومورفولوژیکی این منطقه است (Lorestani, Shahriar et al., 2011). منطقه دوم ریگ اردستان در جنوب بند ریگ کاشان در گستره مرکزی شهرستان اردستان در شمال استان اصفهان واقع شده است. این ناحیه در عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی قرار گرفته است و مساحت آن بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر مربع است. به لحاظ زمین‌شناسی، این منطقه در زون ساختاری ایران مرکزی و در حاشیه کویر و جنوب فرونشست دق سرخ جای گرفته است. ساختارهای تبخیری رسی و نمکی از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی موجود در منطقه است. همچنین، برجستگی‌هایی در قالب تپه شاهد در حوضه در حال فرونشست برجای مانده که آغاز پیدایش آن‌ها به گمان از اولیگوسن و در بعضی نواحی در اواخر ائوسن بوده است. به لحاظ ژئومورفولوژیکی، عمده‌ترین زیرواحدهای تشکیل‌دهنده این گروه دشت‌های آبرفتی و دارای توپوگرافی مسطح و شیب ملایمی به سوی مرکز دشت است. ارتفاع ریگ اردستان از جنوب غربی به شمال ۱۴۱۰ تا ۹۱۰ متر و به طور متوسط شیب آن ۰/۵ درصد است. مقدار متوسط ۳۰ ساله بارش منطقه ۱۳۳ میلی‌متر است که به شکل ناهمگن و اکثراً به صورت رگبار است. این منطقه در حد فاصل منحنی‌های هم‌دمای ۱۷/۵ الی ۱۵ درجه سانتیگراد محصور شده است. اقلیم منطقه بسیار گرم با تابستان‌های خشک (کوپن)، نیمه بیابانی شدید (گوسن)، خشک (دومارتن) و خشک و سرد (آمبرژه) است. (شکل ۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه ژئومورفولوژی و ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

## ۲-۲- روش پژوهش

در این پژوهش به منظور آنالیز وضعیت باد و بررسی بادهای فرساینده در سطح منطقه مورد مطالعه از داده‌های هواشناسی موجود پنج ایستگاه در فواصل زمانی مختلف در اطراف این ریگ‌ها استفاده شد. جدول ۱، مشخصات ایستگاه‌های موجود و دوره آماری آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

دوره آماری	استان	نوع ایستگاه	ایستگاه
۲۰۰۱ - ۲۰۲۰	قم	سینوپتیک	قم
۲۰۰۷ - ۲۰۱۶	اصفهان	کلیماتولوژی	آران و بیدگل
۲۰۰۱ - ۲۰۲۰	اصفهان	سینوپتیک	کاشان
۲۰۰۱ - ۲۰۲۰	اصفهان	سینوپتیک	اردستان
۲۰۰۱ - ۲۰۲۰	سمنان	سینوپتیک	گرمسار

برای انجام محاسبات آماری باد و رسم گل‌باد از نرم‌افزار 7 WRPLOT view استفاده شد. گل‌باد ساده‌ترین روشی است که مطابق داده‌های آماری بادسنجی، فراوانی سمت و سرعت بادهای را در هر جهت نشان می‌دهد. هم‌چنین به منظور ترسیم گلماسه ایستگاه‌های موجود در اطراف بندریگ به دلیل حجم بالای محاسبات، از نرم‌افزار 3 Sand Rose Graph استفاده شد. این نرم‌افزار به خوبی می‌تواند توان و جهت حمل ماسه را توسط باد نشان دهد (parsamehr and khosrovani 2017). گلماسه، نموداربرداری مقدار انرژی باد برای حمل ماسه بوده و بیانگر توان فرسایشی باد و مقدار نسبی حمل ماسه در جهات مختلف است. بر خلاف گل‌باد که واحد اندازه‌گیری آن بر حسب سرعت باد است، واحد بازوها در گلماسه بر اساس یک واحد برداری (v.u) تعریف شده است.

### • محاسبات جابه‌جایی ماسه

برای محاسبه مقادیر پتانسیل حمل ماسه (DP) در جهات مختلف جغرافیایی از رابطه (Fryberger, Dean et al., 1979) که مبتنی بر معادلات پایه بگنولد و لتو-لتو است استفاده شد. با توجه به این که جهت محاسبه مقادیر DP در نرم‌افزار Sand Rose Graph به جای متوسط‌گیری از کلاس‌های سرعت باد که در روش فریبرگر و دین پیشنهاد گردیده است، مستقیماً از سرعت‌های باد ثبت

شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده؛ لذا به منظور محاسبه مقادیر DP معادله ارائه شده توسط (فریبرگر و دین) به صورت زیر اصلاح شده است:

$$DP = \frac{\sum V_{ij}^2 (V_{ij} - V_T)}{N} * T \quad (1)$$

$V_{ij}$ : سرعت بادهای بیشتر از سرعت آستانه فرسایش در ساعات دیدبانی مختلف و در جهت جغرافیایی  $Z$

$V_T$ : سرعت آستانه فرسایش بادی در رخساره مورد نظر

$N$ : تعداد کل ساعات دیدبانی در طول دوره آماری مورد نظر

$T$ : فاکتور تعدیل زمانی که خود از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T = \frac{n}{N} \quad (2)$$

$n$ : تعداد ساعات دیدبانی در مدت زمان مورد نظر (سالانه، فصلی و ماهانه)

$N$ : تعداد کل ساعات دیدبانی در طول دوره آماری مورد نظر

DP: مقادیر توان حمل برای هریک از جهات جغرافیایی و در هریک از کلاس‌های سرعت محاسبه شده است.

از مجموع مقادیر DP در جهات مختلف، مجموع توان حمل ماسه (DPt) به دست می‌آید و در واقع شاخصی است که بیانگر کل انرژی باد جهت حمل ماسه در ایستگاه مورد نظر است. (Fryberger, Dean et al., 1979). قدرت فرسایشی باد را بر اساس شاخص توان حمل باد طبق جدول ۲، طبقه‌بندی کردند.

جدول ۲. تقسیم‌بندی قدرت فرسایش باد در محیط‌های بیابانی (Fryberger, Dean et al., 1979).

قدرت فرسایشی باد	مجموع توان حمل ماسه (DPt)	ردیف
کم	<۲۰۰	مساحت
متوسط	۲۰۰ - ۴۰۰	محیط
زیاد	>۴۰۰	طول آبراهه اصلی

RDP: بیانگر مقدار یا اندازه بردار برآیند (بردار منتهجه) توان حمل ماسه است که از جمع برداری مقادیر DP در جهات مختلف ۸ یا ۱۶ گانه حاصل می‌آید و وضعیت نهایی حمل ماسه را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

$$RDP = \sqrt{C^2 + D^2} \quad (3)$$

$$C = \sum (DP_i) \sin \theta_i \quad (4)$$

$$D = \sum (DP_i) \cos \theta_i \quad (5)$$

$\theta$ : زاویه جهت حمل ماسه (جهت باد)

DP: توان حمل ماسه

RDD: جهت خالص حرکت ماسه (جهت بردار منتهجه) را در طول سال، ماه یا فصل مورد نظر نشان می‌دهد و با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$(c/d) RDD = \text{Arc tan} \quad (6)$$

شاخص همگنی جهت حمل ماسه (UDI) که عبارت از نسبت مقدار نهایی حمل ماسه (اندازه بردار منتهجه) به کل توان حمل ماسه است مطابق رابطه زیر به دست آمد (Fryberger, Dean et al., 1979). تغییرپذیری جهت باد را بر اساس شاخص همگنی طبق جدول ۳، طبقه‌بندی کردند. هر چه عدد به دست آمده به یک نزدیک‌تر باشد بادهای یک جهته در منطقه زیادتر بوده و برعکس هر چه مقدار این نسبت به سمت صفر متمایل باشد بادهای قدرتمند چندجهتی بر منطقه حاکم هستند.

$$UDI = RDP / DPt \quad (7)$$

جدول ۳. تقسیم‌بندی شاخص تغییرپذیری جهت باد (Fryberger, Dean et al., 1979)

ردیف	شاخص همگنی جهت باد (UDI)	قدرت فرسایشی باد	طبقه‌بندی جهت باد
۱	$> 0.8$	کم	بادهای یک جهته
۲	$0.3 - 0.8$	متوسط	بادهای دو جهته با زاویه منفرجه
۳	$< 0.3$	زیاد	بادهای چند جهته مرکب با زاویه تند

به منظور تعیین مقدار ماسه منتقل شده در واحد زمان، از یک واحد عرض از معادلات ارائه شده توسط بگنولد، زینگ، ۱۹۵۳، کاوامورا، ۱۹۶۴، هسو، ۱۹۷۳ و لتو-لتو، ۱۹۷۸ استفاده شده است که عمدتاً بر پایه اصول تئوری و همچنین مطالعات تجربی استوار هستند و تقریباً در کلیه آن‌ها دبی جریان یا مقدار مواد منتقل شده به وسیله باد با توان سوم سرعت باد متناسب هستند و بر اساس وزن مواد منتقله در واحد عرض در واحد زمان بیان می‌گردند. در این تحقیق قطر متوسط ذرات  $0.25$  میلی‌متر و چگالی هوا  $1/225$  در نظر گرفته شده است و تمامی روابط بر همین اساس محاسبه شده‌اند. به منظور محاسبه مقدار کل ماسه حمل شده در جهت مختلف (TSF) از رابطه زیر (رابطه ۸) استفاده می‌شود که حاصل آن قاعدتاً برای هر یک از روابط استفاده شده در بالا متفاوت است:

$$TSF = Q * T \quad (8)$$

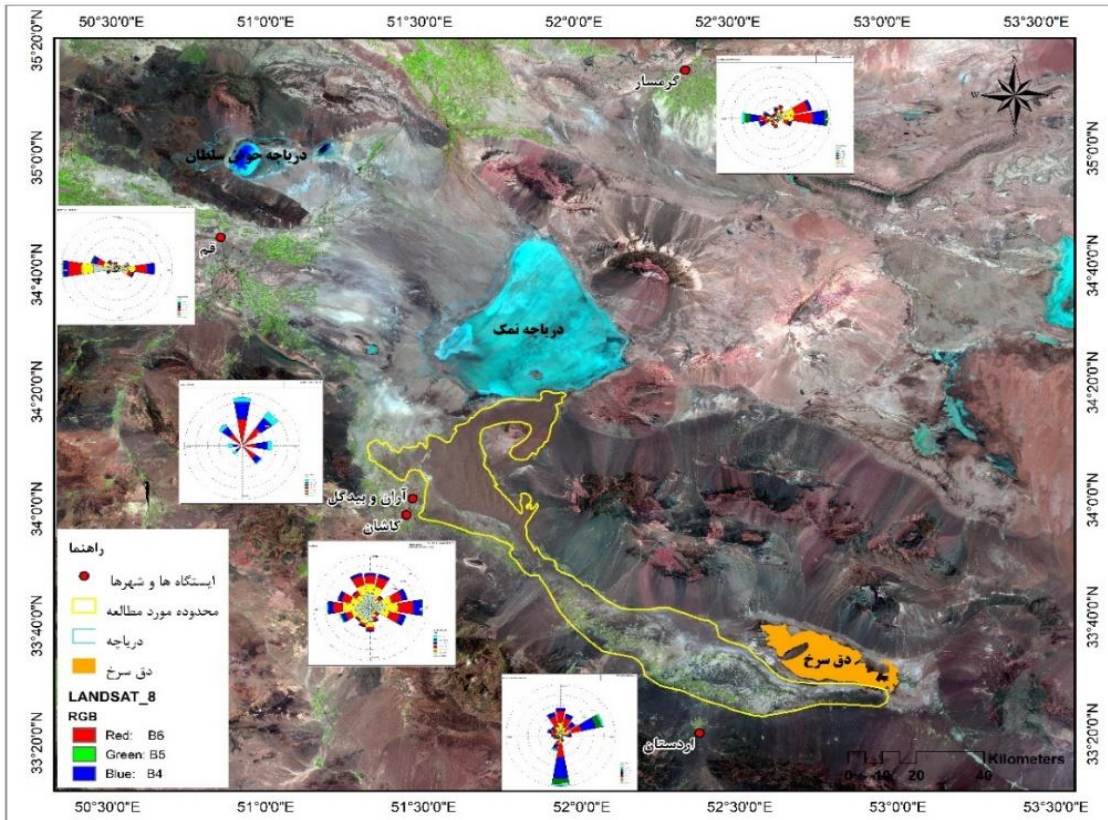
Q: مقدار دبی ماسه محاسبه شده با استفاده از هر یک از روابط

T: طول دوره زمانی (سال، فصل، ماه) که بر اساس تعداد ساعات دیده‌بانی در طول روز محاسبه می‌گردد.

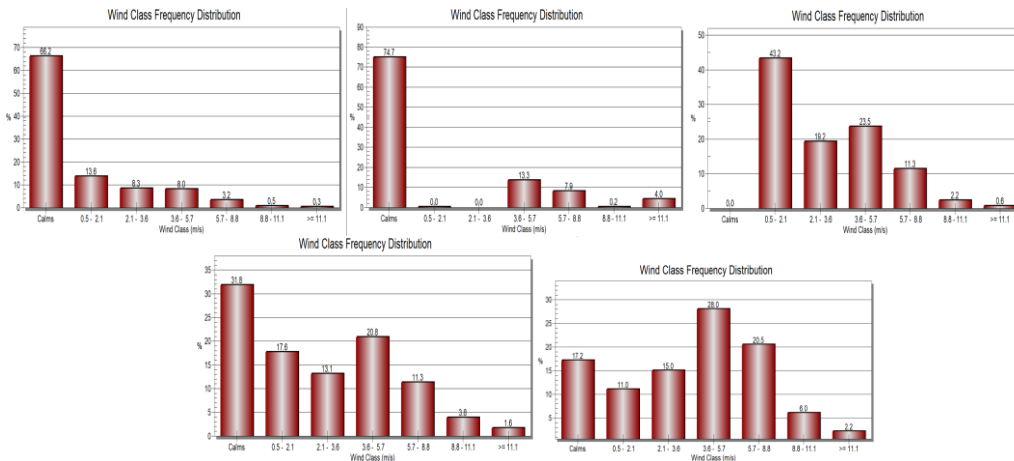
محاسبه برآیند حمل ماسه (DSF) نیز مشابه رابطه TSF است؛ با این تفاوت که در آن ابتدا مقدار  $Vq$  برای تمام جهات جغرافیایی ۸ گانه محاسبه می‌شود و سپس از برآیند برداری آن‌ها جهت محاسبه DSF استفاده می‌گردد.

### ۳- یافته‌ها

در فصول خشک، اثر سرعت و جهت باد غالب مهم‌ترین عامل جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای است. تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که در ایستگاه‌های کاشان و گرمسار واقع در نیمه غربی و شمالی منطقه مورد مطالعه غالب بادها از جهات شرقی می‌وزند؛ اما در ایستگاه قم واقع در شمال غربی، غالب بادها از سمت غربی به شرق می‌وزند. در ایستگاه قم حدود ۲۵ درصد از بادها از جهات غربی و حدود ۱۷ درصد هم از سمت شرقی می‌وزند و بقیه بادها غالباً از جهات شمال غربی و جنوب شرقی می‌وزند و از جهات جنوبی و شمالی آن، درصد بادها بسیار ناچیز و قابل اغماض است. در ایستگاه آران و بیدگل حدود نیمی از بادها از جهات شمال و شمال شرقی و شمال غربی می‌وزند و بقیه بادها دارای تنوع زیاد در جهات شرق جنوب شرق و غرب هستند. در ایستگاه کاشان بادها با تنوع زیاد از تمامی جهات می‌وزند؛ اما در جهات شرقی و غربی غالب‌تر است. در ایستگاه اردستان حدود ۲۶ درصد از بادها از جهات جنوبی و بقیه بادها از جهات شمالی با تنوع زیاد می‌وزند. در ایستگاه گرمسار نیز حدود ۴۰ درصد از بادها از سمت شرق و شمال شرق و بقیه بادها از سایر جهات بالاخص سمت غربی می‌وزند (شکل ۴). نتایج جدول درصد وقوع طبقات سرعت باد هم‌چنین نشان می‌دهد که ایستگاه آران و بیدگل دارای بیشترین فراوانی بادهای آرام در منطقه با  $74/7$  درصد است و بعد از آن ایستگاه‌های کاشان، گرمسار و اردستان به ترتیب با  $66/2$ ،  $31/8$  و  $17/2$  درصد قرار دارند. بیشترین فراوانی بادهای منطقه مورد مطالعه برای ایستگاه‌های آران و بیدگل و کاشان مربوط به بادهای آرام است و برای ایستگاه قم مربوط به طبقه  $5/5$  تا  $2/1$  متر بر ثانیه با  $43/2$  درصد و برای ایستگاه گرمسار مربوط به طبقه آرام با  $31/8$  درصد است. برای ایستگاه اردستان هم مربوط به طبقه  $3/6$  تا  $6/6$  درصد است. در بین ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه ایستگاه اردستان با دارا بودن  $8/2$  درصد از بادهای با سرعت بالاتر از  $8/8$  متر بر ثانیه بالاترین درصد قوی‌ترین بادها را دارد. درصد بادهای بالاتر از سرعت آستانه ۶ متر بر ثانیه برای ایستگاه‌های اردستان، آران و بیدگل، گرمسار، قم و کاشان و به ترتیب  $28/7$ ،  $12/1$ ،  $16/7$  و  $14/1$  و ۴ درصد است. (جدول ۴) و (شکل ۵) و (شکل ۶). در کل، گل بادهای سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که درصد فراوانی وقوع بادهای با سرعت‌های مختلف برای هر ایستگاه متفاوت است که این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از شرایط جغرافیایی، مرفولوژیکی و بادناکی هر منطقه باشد.



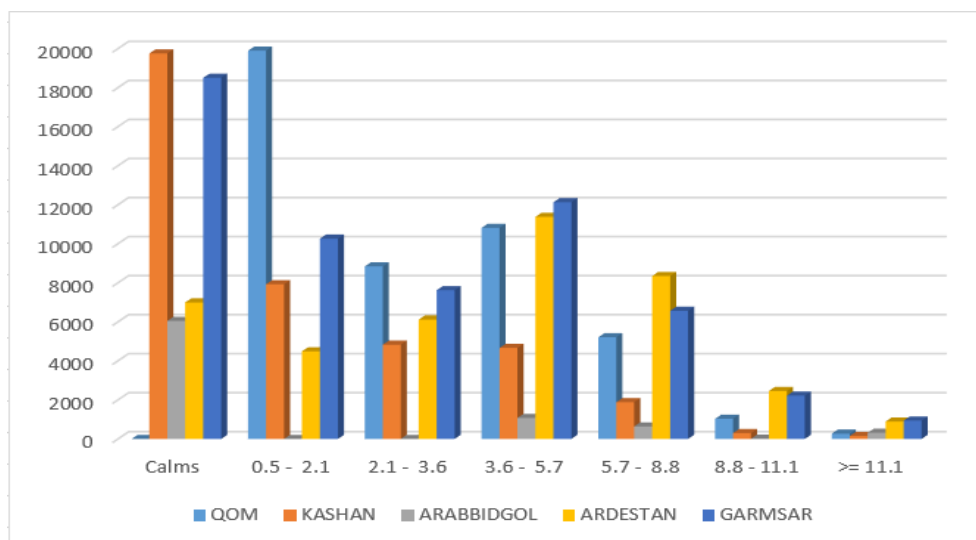
شکل ۴. گل‌بادهای سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه



شکل ۵. نمودار توزیع فراوانی کلاس‌های باد ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

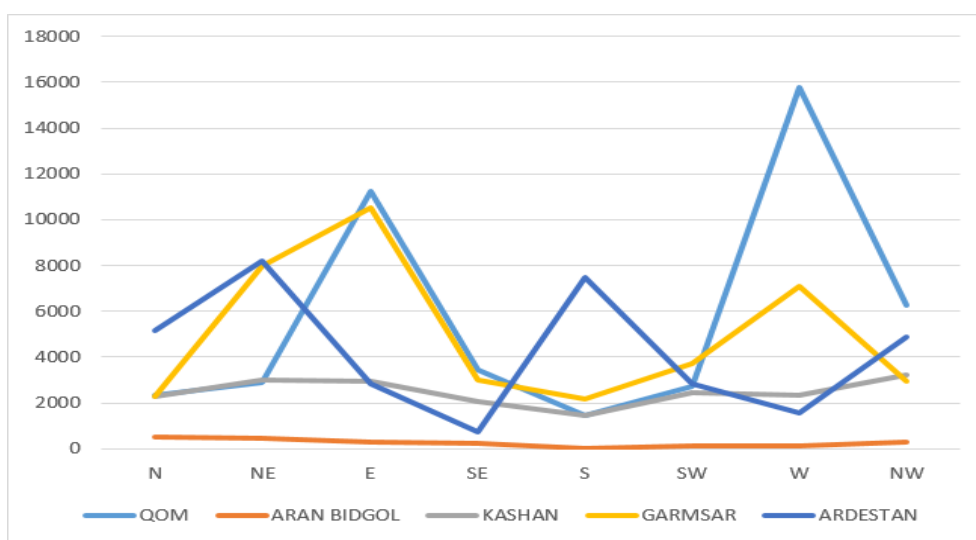
جدول ۴. درصد وقوع طبقات سرعت باد ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

درصد وقوع طبقات سرعت باد						ایستگاه
>۱۱	۱۱-۸/۸	۸/۸-۶	۶-۳/۶	۳/۶-۲/۱	۲/۱-۰/۵	
۰.۶	۲.۲	۱۱.۳	۲۳.۵	۱۹.۲	۴۳.۲	آرام
۴	۰.۲	۷.۹	۱۳.۳	۰.۰	۰.۰	آران و بیدگل
۰.۳	۰.۵	۳.۲	۸	۸.۳	۱۳.۶	کاشان
۲.۲	۶	۲۰.۵	۲۸	۱۵	۱۱	اردستان
۱.۶	۳.۸	۱۱.۳	۲۰.۸	۱۳.۱	۱۷.۶	گرمسار



شکل ۶. نمودار فراوانی طبقات سرعت باد ایستگاه‌های بندریگ کاشان

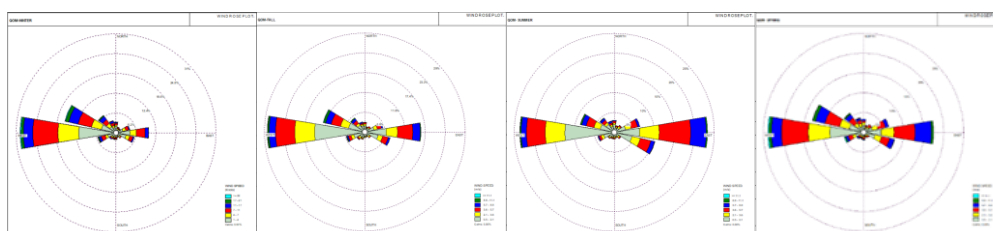
شکل ۷، نیز فراوانی طبقات باد بر اساس جهات جغرافیایی باد ثبت شده در هر جهت را برای کلیه ایستگاه‌های بادسنجی نشان می‌دهد. مطابق شکل ۷، بالاترین تعداد باد برای ایستگاه قم در بین جهتهای جنوب غرب تا شمال غرب به وقوع می‌پیوندد و در کل نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارای بالاترین تعداد بادهای ثبت شده در این جهات نسبت به سایر ایستگاه‌ها در سال است. برای ایستگاه گرمسار بالاترین تعداد باد برای جهات بین شمال تا جنوب شرقی است برای ایستگاه اردستان بین شمال تا شرق، ایستگاه کاشان در جهت شرق و ایستگاه آران بیدگل در جهات شمالی است (شکل ۷).



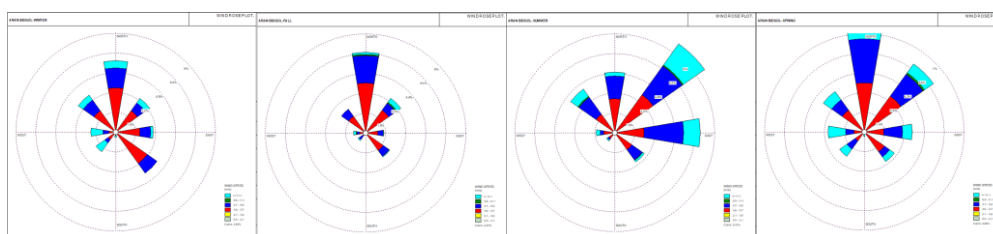
شکل ۷. نمودار فراوانی طبقات باد بر اساس جهات جغرافیایی ایستگاه‌های بندریگ کاشان

نتایج تحلیل گل‌بادهای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه برای فصول سال نشان می‌دهد که در ایستگاه قم (شکل ۸) بادهای غربی با درصد وقوع حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد در کلیه فصول غالب هستند و سایر بادهای از جهات شرقی و شمال غربی و مابین شرق-جنوب شرقی می‌وزند. برای فصل تابستان علاوه بر جهت غربی، بادهای با جهت شرقی با حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد نیز غالب هستند. در ایستگاه آران و بیدگل (شکل ۹)، در فصل بهار و تابستان، غالب بادهای این ایستگاه از جهات شمالی و شمال شرقی و شرق می‌وزند. در فصل بهار حدود نیمی از بادهای از جهات شمالی می‌وزند؛ اما در فصل تابستان، با تنوع زیاد از جهات شرقی شمال شرق و شمال غرب می‌وزند. فصول بهار و زمستان ایستگاه آران و بیدگل دارای بیشترین تنوع جهات وزش باد هستند با این وجود جهات شمال شرقی و شمالی دارای بیشترین درصد وزش باد هستند. در ایستگاه کاشان (شکل ۱۰)، جهات شمالی و شرقی آن دارای

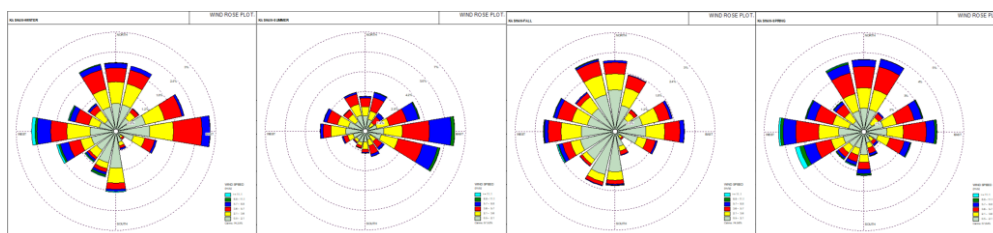
بیشترین درصد وقوع جهات باد هستند. به جز در فصل پاییز که بادی از جهات جنوبی نمی‌وزد بادها غالباً از تمامی جهات دیگر می‌وزند. در فصل بهار و تابستان و زمستان، تنوع بادها بیشتر می‌شود؛ اما همچنان بادهای جهت شمالی و حوالی آن و جهت شرقی بادهای غالب این ایستگاه هستند و درصد کمی هم از جهات جنوبی می‌وزند. در ایستگاه اردستان در جنوب شرقی (شکل ۱۱)، غالب بادها از سمت جنوب و حدود یک سوم هم در فصل تابستان از سمت شرق می‌وزند. در ایستگاه گرمسار در قسمت شمالی منطقه (شکل ۱۲) در فصل تابستان و پاییز مشابه هم بوده و اکثر بادها از سمت غرب می‌وزند اما در بهار و زمستان روندشان برعکس شده و بیشتر از سمت شرق می‌وزند.



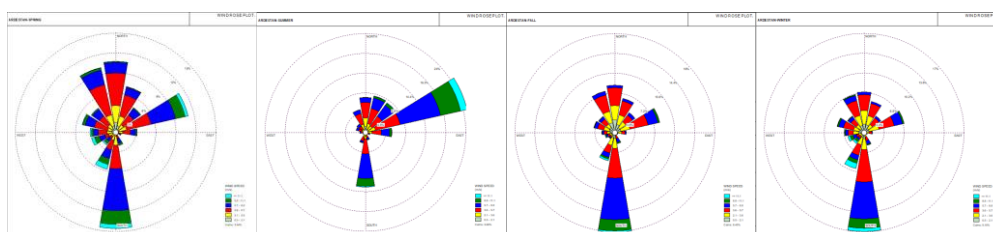
شکل ۸. گل‌بادهای فصول سال به ترتیب برای ایستگاه سینیوپتیک قم



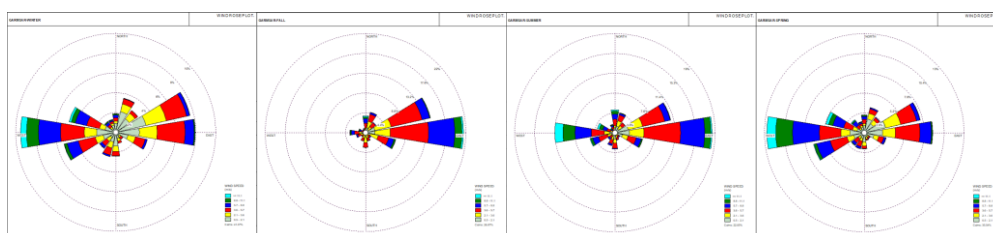
شکل ۹. گل‌بادهای فصول سال به ترتیب برای ایستگاه سینیوپتیک آران و بیدگل



شکل ۱۰. گل‌بادهای فصول سال به ترتیب برای ایستگاه سینیوپتیک کاشان

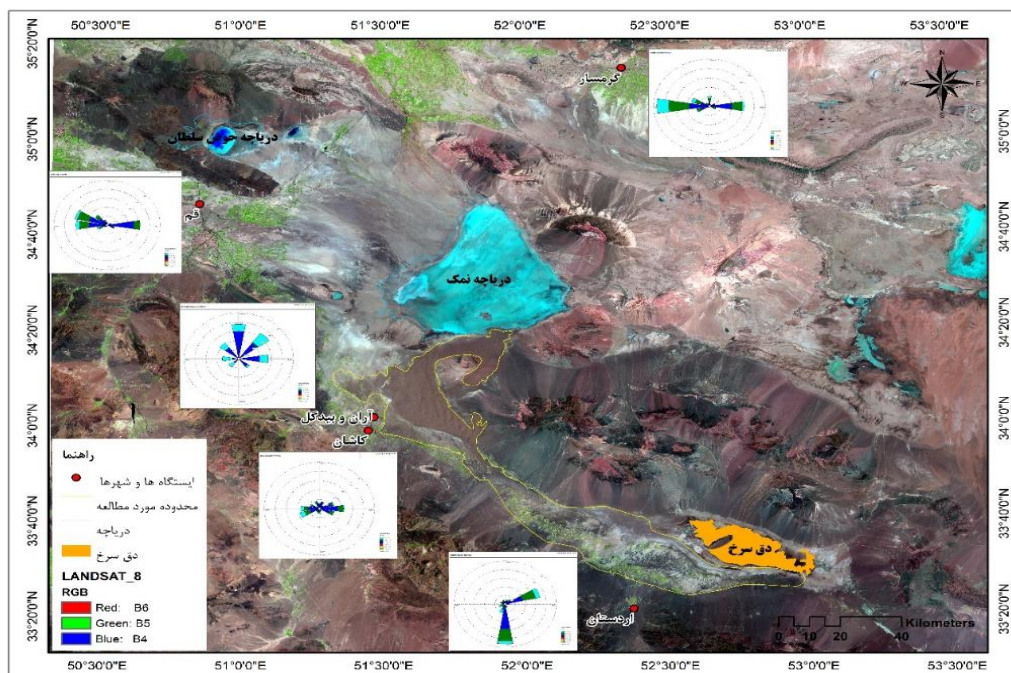


شکل ۱۱. گل‌بادهای فصول سال به ترتیب برای ایستگاه سینیوپتیک اردستان



شکل ۱۲. گل‌بادهای فصول سال به ترتیب برای ایستگاه سینیوپتیک گرمسار

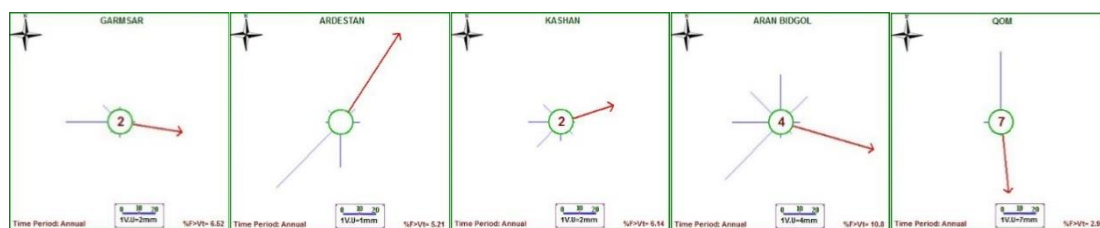
به منظور بررسی طوفان خیزی ریگ‌های جنوب دریاچه نمک قم و مطالعه بادهای فرساینده آن، گل‌طوفان‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه ترسیم شد (شکل ۱۳). اگرچه در کل حدود یک پنجم از بادهای منطقه مورد مطالعه بالاتر از آستانه ۶ متر بر ثانیه هستند؛ اما همه فعالیت‌های فرسایشی ناشی از باد مانند برداشت، حمل و رسوب‌گذاری مربوط به این نوع بادهای است و با توجه به حاکمیت شرایط اقلیمی خشک، همواری سطح زمین، رطوبت اندک خاک و وجود ذرات ریزدانه در سطح، می‌توان گفت فرسایش بادی در این منطقه شدید است. نتایج گل‌طوفان‌های سالانه بیانگر آن است که بادهای با جهات غربی در ایستگاه‌های قم و کاشان و گرمسار بادهای غالب هستند. در ایستگاه آران و بیدگل تنوع جهات باد زیاد است. این بادهای علاوه بر جهات شمالی از جهات شمال شرقی، شرق و غرب و شمال غرب نیز می‌وزند. در ایستگاه اردستان؛ اما برخلاف سایر ایستگاه‌ها، بادی از جهات شمالی و غربی نمی‌وزد. و بیشتر بادهای از سمت جنوبی و شرقی می‌وزند.



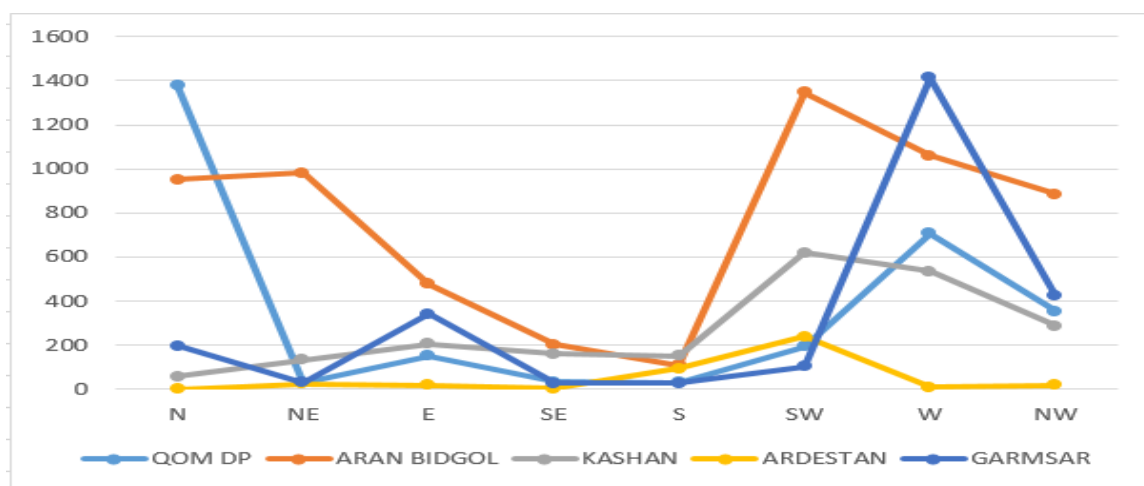
شکل ۱۳. گل‌طوفان‌های سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

در شکل ۱۴، گل‌ماسه‌های سالانه مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود و همچنین اطلاعات مربوط به تحلیل گل‌ماسه‌ها در جدول ۵ آورده شده است. نسبتی حمل ماسه از جهت مختلف است ترسیم شد. گل‌ماسه همانند گل‌طوفان با توجه به میزان سرعت آستانه ترسیم می‌گردد. با این اختلاف که در گل‌ماسه بر خلاف گل‌طوفان درصد فراوانی بادهای در نظر نبوده و به جای آن عامل دیگری تحت عنوان توانمندی حمل ماسه را که در حقیقت بازگوکننده توان باد در حمل ذرات خاک است، برای جهت‌های مختلف محاسبه می‌کنند. تحلیل جهت خالص حرکت ماسه (RDD) ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که جهت حرکت ماسه‌ها در ایستگاه قم به سمت جنوب در ایستگاه آران و بیدگل به سمت شرق و جنوب شرق، در ایستگاه کاشان به سمت شرق-شمال شرق، در ایستگاه اردستان به سمت شمال شرق است و در ایستگاه گرمسار به سمت شرق و جنوب شرق است. تحلیل جهت حرکت گل‌ماسه‌ها مطابق کامل با گل‌طوفان‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد که نشان از نظام‌مند بودن روند تغییرات جهت باد و همچنین قابل قبول بودن نتایج حاصل از گل‌طوفان را دارد. با استفاده از گل‌باد به تنهایی نمی‌توان به مؤثرترین بادهای دخیل در فرسایش بادی در جهت غالب باد دست یافت چون که در ترسیم گل‌طوفان و گل‌ماسه، از سرعت‌های باد کمتر از سرعت آستانه صر نظر می‌شود، بنابراین ممکن است که تحلیل جهت بادهای فرساینده بر اساس گل‌باد با تحلیل گل‌طوفان و گل‌ماسه یکسان نباشد. نتایج پتانسیل حمل ماسه (DP) بر اساس جهات جغرافیایی در شکل ۱۵ آورده شده است. مطابق این شکل برای ایستگاه قم، بالاترین پتانسیل حمل ماسه مربوط به جهات شمالی و غربی است، برای ایستگاه آران و بیدگل جهات شمال شرق

و جهات مابین جنوب تا غرب است. برای ایستگاه کاشان، جنوب غربی، برای ایستگاه اردستان مابین جنوب تا غرب و برای ایستگاه گرمسار جهت آن نسبت به سایر ایستگاه‌ها متفاوت و بالاترین مقدار آن مربوط به جهات جنوب غرب تا شمال غربی است (شکل ۱۵).



شکل ۱۴. گل‌ماسه‌های ایستگاه‌های بند ریگ کاشان



شکل ۱۵. پتانسیل حمل ماسه (DP) جهات هشت گانه.

مجموع توان حمل ماسه (DPt) برای ایستگاه‌های قم، آران و بیدگل، کاشان، اردستان، گرمسار به ترتیب ۱۸۹/۳، ۳۳۸/۷، ۵۵/۷، ۵۴/۶، ۵۱/۹ است که بیانگر قدرت فرسایشی متوسط برای ایستگاه آران و بیدگل و قدرت فرسایشی کم برای ایستگاه‌های قم، کاشان، اردستان و گرمسار است. بالاترین مقدار بردار برآیند توان حمل ماسه (RDP)، مربوط به ایستگاه های قم و آران و بیدگل است و بعد از آن به ترتیب ایستگاه‌های گرمسار، اردستان و کاشان قرار دارند. بررسی شاخص همگنی جهت حمل ماسه (UDI)، نیز مطابق روش فرایبرگر و دین بیانگر بادهای یک جهته برای ایستگاه قم و بادهای دوجته با زاویه منفرجه برای ایستگاه‌های آران و بیدگل، کاشان، اردستان، گرمسار است (جدول ۵).

جدول ۵. نتایج گل‌ماسه‌های ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	DPt	RDP	RDD (degree)	UDI
قم	۱۸۹/۳	۱۶۵/۸۷۳	۱۷۴	۰/۸۷۶
آران و بیدگل	۳۳۸/۷	۱۳۷/۰۸۸	۱۰۶	۰/۴۰۵
کاشان	۵۵/۷	۳۴/۷۸۵	۷۲	۰/۶۲۵
اردستان	۵۴/۶	۳۸/۲۷۵	۳۳	۰/۷۰۱
گرمسار	۵۱/۹	۴۰/۴۴۷	۹۹	۰/۷۷۹

نتایج حاصل از دبی حمل ماسه (Qs) در جدول ۶، نشان می‌دهد که برای ایستگاه آران و بیدگل، بیشترین مقدار دبی حمل ماسه مطابق رابطه کاومورا حدود ۳۷/۷۸ کیلوگرم بر متر در ثانیه و کمترین مقدار آن مربوط به رابطه زینگ با حدود ۱۲/۱ کیلوگرم بر متر در ثانیه است. بیشترین و کمترین مقدار دبی حمل ماسه برای ایستگاه قم به ۱۳/۵۶ و ۴/۴ کیلوگرم بر متر در ثانیه مطابق روابط کاومورا و زینگ است. بیشترین و کمترین دبی حمل ماسه برای ایستگاه کاشان به ترتیب ۷/۸۲ (رابطه کاومورا) و ۳/۶۷ (رابطه

زینگ) کیلوگرم بر متر در ثانیه است. بیشترین و کمترین دبی حمل ماسه برای ایستگاه اردستان به ترتیب ۷/۴۴ (رابطه کاومورا) و ۳/۳ (رابطه زینگ) کیلوگرم بر متر در ثانیه است. در ایستگاه گرمسار هم نیز بیشترین و کمترین دبی حمل ماسه به ترتیب ۷/۵۴ (رابطه کاومورا) و ۳/۷۱ (رابطه لتو و لتو) کیلوگرم بر متر در ثانیه است.

در جدول ۷، مقدار ماسه حمل شده (TSF) و برآیند حمل ماسه (DSF) مطابق روابط بگنولد، زینگ، کاومورا، هسو و لتو-لتو محاسبه شده است. بیشترین و کمترین مقدار کل ماسه حمل شده (TSF) به ترتیب برای ایستگاه قم ۳۹ و ۱۲ تن بر متر در سال، برای ایستگاه آران و بیدگل ۱۱۰ و ۳۵ تن بر متر در سال، برای ایستگاه کاشان ۲۲ و ۱۰ تن بر متر در سال، برای ایستگاه اردستان ۲۱ و ۹/۶ تن بر متر در سال است و برای ایستگاه گرمسار ۲۲ و ۱۰ تن بر متر در سال است. بیشترین و کمترین مقدار برآیند حمل ماسه (DSF) برای ایستگاه قم حدود ۳۴ و ۸ تن بر متر در سال، برای ایستگاه آران و بیدگل حدود ۴۳ و ۱۲ تن بر متر در سال، برای ایستگاه کاشان حدود ۱۴ و ۶/۷ تن بر متر در سال، برای ایستگاه اردستان حدود ۱۴ و ۵ تن بر متر در سال و برای ایستگاه گرمسار هم حدود ۱۷ و ۸ تن بر متر در سال است.

جدول ۶. مقدار دبی ماسه حمل شده (Qs) برای هر رابطه

ایستگاه	دبی حمل ماسه (Kg/m.s) Qs			
	بگنولد (۱۹۴۱)	زینگ (۱۹۵۳)	کاومورا (۱۹۶۴)	لتو و لتو (۱۹۷۸)
قم	۵/۶۵	۴/۴	۱۳/۵۶	۱۳/۵
آران و بیدگل	۱۵/۵۵	۱۲/۱	۳۷/۷۸	۲۴/۱۵
کاشان	۴/۷۲	۳/۶۷	۷/۸۲	۳/۹۶
اردستان	۴/۲۴	۳/۳	۷/۴۴	۳/۹
گرمسار	۴/۷۸	۳/۷۲	۷/۵۴	۳/۷۱

جدول ۷. مقدار ماسه حمل شده (TSF) و برآیند حمل ماسه (DSF) مطابق روابط بگنولد، زینگ، کاومورا، هسو و لتو-لتو

ایستگاه	قم		آران و بیدگل		کاشان		اردستان		گرمسار	
	TSF (kg/m.y ear)	DSF (kg/m.y ear)	TSF	DSF	TSF	DSF	TSF	DSF	TSF	DSF
بگنولد	۱۶۵۰۵/۶۹	۱۱۰۴۰/۷	۴۵۴۰۵/۰۴	۱۶۱۷۳/۴۹	۱۳۷۷/۸۸	۸۶۱۴/۷۴	۱۲۳۷۹	۷۱۵۲/۶	۱۳۹۵۴/۳۳	۱۰۶۸۰/۰۹
زینگ	۱۲۸۴۳/۴۹	۸۵۹۱/۰۴	۳۵۳۳۰/۸	۱۲۵۸۵	۱۰۷۱/۲۴	۶۷۰۳/۳۴	۹۶۳۲/۴۱	۵۵۶۵/۶۲	۱۰۸۵۸/۲۱	۸۳۱۰/۴۴
کاومورا	۳۹۵۸۰/۹۶	۳۰۱۵۳/۸۷	۱۱۰۳۲۰/۲	۴۳۴۱۴/۸۹	۲۲۸۲/۴۶	۱۴۴۱/۳۲	۲۱۷۱/۲۲	۱۴۳۹/۲۷	۲۲۰۰۶/۰۶	۱۷۲۷۲/۶
لتو و لتو	۳۹۴۳۲/۶۲	۳۴۴۴۹/۰۱	۷۰۵۰۸/۵۸	۲۸۶۲۸/۸۷	۱۱۵۷/۱۳	۷۳۰۹/۸۸	۱۱۳۹۳/۸	۷۸۸۸/۱۵	۱۰۸۲۸/۸۱	۸۵۱۰/۶۶
هسو	۲۲۱۰۲/۳۴	۱۴۷۸۴/۳۱	۶۰۸۰۰/۷۱	۲۱۶۵۷/۵	۱۸۴۴/۵۷	۱۱۵۳/۷۷	۱۶۵۷۶/۴	۹۵۷۷/۸۶	۱۸۶۸۵/۸۸	۱۴۳۰۱/۴۳

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

در فصول خشک که طوفان‌های شن و گرد و غبار یک پدیده رایج است، چهار رژیم باد در بیابان‌های ایران غالب است: (۱) باد شمال غربی که بیشتر مناطق ایران و عراق را در بر می‌گیرد، (۲) طوفان‌های غربی یا غربی‌های غالب که از غرب به شرق در عرض‌های جغرافیایی میانی می‌وزند، (۳) بادهای صد و بیست روزه که به صورت باد بسیار شدید شمالی یا شمال غربی که شرق و جنوب شرق کشور را می‌پوشاند و (۴) باد شدید جنوب غربی یا موسمی که بر نواحی شرقی دریای عمان مسلط است. علاوه بر این، توپوگرافی نامنظم و رشته کوه‌های بزرگ در داخل و اطراف بیابان‌های ایران بر بادهای سطحی، انتقال شن و ماسه و تشکیل تپه‌ها تأثیر می‌گذارد. البرز و زاگرس دو رشته کوه اصلی که کویرهای ایران را احاطه کرده‌اند و رشته کوه‌های کوچک دیگری مانند کوه‌های کرکس، کوهبنان، مکران، بارز و بزمان در کویرهای مرکزی ایران قرار دارند. باد صد و بیست روزه در دالانی بین کوه‌های هندوکوش در افغانستان و کوه‌های باگران و آهنگران در جنوب خراسان سرعت می‌گیرد (Abbasi, Opp et al., 2019). عامل محرک شکل‌های تپه‌های ماسه‌ای مربوط به رژیم‌های باد و ماسه و همچنین مقدار و اندازه دانه رسوبات است. همچنین ماسه برآیند وزش باد است و

توده‌های ماسه‌ای در جهت بادهای غالب گسترده شده‌اند. در این پژوهش، سرعت و جهت بادهای فرساینده و توان و جهت حمل ذرات رسوب ناشی از فرسایش بادی در ایستگاه‌های منتخب واقع در حاشیه جنوبی دریاچه نمک قم، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج دلالت بر این داشت در ایستگاه آران و بیدگل واقع در قسمت غربی بندریگ غالب بادهای شمالی می‌وزند؛ اما در کاشان و گرمسار واقع در قسمت غربی و نیمه شمالی ریگ غالب بادهای از سمت شرق می‌وزند. در ایستگاه قم در قسمت شمال غربی منطقه مورد مطالعه اکثر بادهای از سمت غرب و همچنین در ایستگاه اردستان در جنوب شرقی بندریگ از سمت جنوب به شمال می‌وزند. در کل حدود یک پنجم از بادهای منطقه مورد مطالعه بالاتر از آستانه ۶ متر بر ثانیه هستند. نتایج گل‌طوفان‌های سالانه بیانگر آن است که بادهای با جهات شرقی و جنوبی در ایستگاه‌های قم و گرمسار و کاشان بادهای غالب هستند. در ایستگاه آران و بیدگل تنوع جهات باد زیاد است این بادهای علاوه بر جهات شمالی از جهات شرقی و غرب-شمال غربی نیز می‌وزند. در ایستگاه اردستان؛ اما برخلاف سایر ایستگاه‌ها، بادی از جهات شمالی نمی‌وزند و بیشتر از سمت جنوب می‌وزند. فرسایشی‌ترین بادهای در شرق منطقه مورد مطالعه و از جنوب غرب در اردستان است که باز هم بادهای با سرعت کمتر عموماً در جهت مخالف می‌وزند بر خلاف این فرسایشی‌ترین (بالاترین سرعت) بادهای برای حاشیه غربی منطقه در ایستگاه‌های کاشان، و قم از جهت شرقی و شمال شرقی و با بادهایی با سرعت کمتر از سمت غرب یا جنوب غربی است. با توجه به این رژیم‌های باد چند وجهی در اطراف منطقه، سرعت تشکیل ورقه‌های شنی زیاد است و تپه‌های شنی موجود معمولاً طولی هستند. رژیم باد چندوجهی همچنین منجر به ارتفاع کمتر و تحرک بیشتر تپه‌ها می‌شود. این پارامترهای باد ممکن است به توضیح انبساط و انقباض مشاهده شده در سطح و حجم ریگ‌های منطقه مورد مطالعه کمک کند. در این ریگ‌ها بیشتر لندفرم‌های بادی، از جمله تپه‌های هلالی، خطی و ستاره‌ای، به علاوه نیک‌ها و ورقه‌های شنی وجود دارند. در حواشی ریگ‌ها تپه‌های شنی طولی غالب است که برخی از تپه‌های برخان نیز وجود دارد. این تپه‌ها معمولاً در رژیم‌های باد یک‌طرفه یا دو جهته گسترده یافت می‌شوند و گاهی اوقات نیز در رژیم‌های باد پیچیده رخ می‌دهند. این دو شکل از تپه‌های ماسه‌ای (هلالی و خطی) به عنوان تپه‌های ماسه‌ای بسیار فعال دسته‌بندی می‌شوند و با سرعت‌های بسیار متغیر و در جهات مختلف حرکت می‌کنند. باید یادآوری کرد که وجود تپه‌هایی که با رژیم بادی فعلی در هماهنگی نیستند (مانند هرم‌ها و تپه‌های مرکب (آکله) متعلق به دوره‌های بسیار قدیمی‌تر است که شدت فرسایش بادی بیشتر بوده است. تأمین شن و ماسه نیز عامل مهمی در توسعه کلی ریگ‌ها است. در دسترس‌ترین منابع شن خارجی برای ریگ‌های منطقه در شمال شرقی و جنوب شرقی است (شکل ۱)، که منشأ آن مخروط افکنه‌ها است که شامل شن، ماسه، سیلت و خاک رس است. گلین اشاره کرده است که در بسیاری از مناطق بیابانی، یک منبع مهم ذرات شن و ماسه در رسوبات رسوب شده در مخروط افکنه‌ها است که از ارتفاعات کوهستانی مجاور خارج می‌شوند (Glennie, 2010). به طور معمول، حدود ۶۰ درصد از این نوع رسوبات از ذرات به اندازه ماسه تشکیل شده است. این با مشاهدات این مطالعه مطابقت دارد که واحدهای ژئومورفولوژیکی مانند پدیمنت‌ها، پدیدمان‌ها و رخساره‌های مخروطی حاشیه‌ای تا کوه‌های فرسایشی در نواحی شرقی بالادست منطقه نقش کلیدی در گسترش آن در امتداد حاشیه شمال شرقی و جنوب شرقی بازی می‌کنند. در بین ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه ایستگاه اردستان با دارا بودن ۸/۲ درصد از بادهای با سرعت بالاتر از ۸/۸ متر بر ثانیه بالاترین درصد قوی‌ترین بادهای را دارد. درصد بادهای بالاتر از سرعت آستانه ۶ متر بر ثانیه برای ایستگاه‌های اردستان، آران و بیدگل، گرمسار، قم و کاشان، و به ترتیب ۲۸/۷، ۲۱/۱، ۱۶/۷ و ۱۲/۱ و ۴ درصد است تحلیل جهت خالص حرکت ماسه (RDD) ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که جهت حرکت ماسه‌ها در ایستگاه قم به سمت جنوب، در ایستگاه آران و بیدگل و اردستان به سمت شرق و جنوب شرق، در ایستگاه کاشان به سمت شرق-شمال شرقی، در ایستگاه اردستان به سمت شمال شرق است. تحلیل جهت حرکت گل‌ماسه‌ها مطابقت کامل با گل‌طوفان‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد که نشان از نظام‌مند بودن روند تغییرات جهت باد و همچنین قابل قبول بودن نتایج حاصل از گل‌طوفان را دارد. برای ایستگاه قم، بالاترین پتانسیل حمل ماسه (DP) مربوط به جهات شمالی و غربی است، برای ایستگاه آران و بیدگل جهات شمال شرقی و جهات مابین جنوب تا غرب است. برای ایستگاه کاشان جنوب غربی، برای ایستگاه اردستان مابین جنوب تا غرب و برای ایستگاه گرمسار جهت آن نسبت به سایر ایستگاه‌ها متفاوت و بالاترین مقدار آن مربوط به جهات جنوب غرب و شمال غربی است. مجموع توان حمل ماسه (DPt) برای ایستگاه‌های قم، آران و بیدگل، کاشان، اردستان، گرمسار به ترتیب ۱۸۹/۸۳، ۳۳۸/۷، ۵۵/۷، ۵۴/۶، ۵۱/۹ است که بیانگر قدرت فرسایشی متوسط برای ایستگاه آران و بیدگل و قدرت فرسایشی کم برای ایستگاه‌های قم، کاشان، اردستان و گرمسار است. بالاترین مقدار بردار برآیند توان حمل ماسه (RDP)، مربوط به ایستگاه‌های قم و آران و بیدگل است و بعد از آن به ترتیب ایستگاه‌های گرمسار، اردستان و کاشان قرار دارند. بررسی شاخص همگنی جهت حمل ماسه (UDI)، نیز مطابق روش فرایبرگر و دین بیانگر بادهای یک جهته برای

ایستگاه قم و بادهای دوجبهته با زاویه منفرجه برای ایستگاه‌های آران و بیدگل، کاشان، اردستان، گرمسار است. بین دو نمودار مجموع پتانسیل حمل ماسه (DPT) و شاخص همگنی جهت حمل ماسه (UDI) برای ایستگاه قم همگنی بالایی وجود دارد به طوری که هر زمان که شاخص UDI نزدیک به یک بوده و باد یک جهته بوده‌اند شاخص توان حمل ماسه نیز اعداد بالاتری را نشان می‌دهد؛ اما در ایستگاه آران و بیدگل بین دو نمودار ناهمگنی بیشتر است. بیشترین مقدار دبی حمل ماسه برای ایستگاه آران و بیدگل مطابق رابطه کاومورا حدود  $37/78$  کیلوگرم بر متر در ثانیه و کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه اردستان طبق رابطه زینگ با حدود  $3/3$  کیلوگرم بر متر در ثانیه است. بیشترین و کمترین مقدار گل ماسه حمل شده (TSF) به ترتیب برای ایستگاه قم  $39$  و  $12$  تن بر متر در سال، برای ایستگاه آران و بیدگل  $110$  و  $35$  تن بر متر در سال، برای ایستگاه کاشان  $22$  و  $10$  تن بر متر در سال، برای ایستگاه اردستان  $21$  و  $9/6$  تن بر متر در سال و برای ایستگاه گرمسار  $22$  و  $10$  تن بر متر در سال است. با توجه به شاخص همگنی جهت باد می‌توان نوع رژیم بادی مؤثر در شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای و مورفولوژی رسوبات را در منطقه پیش‌بینی کرد. به عبارت دیگر با اطلاع از شاخص همگنی باد، نوع بادهای یک جهته، دو جهته همسو یا مخالف و یا بادهای چند جهته مشخص می‌شود که این موضوع یکی از عوامل مؤثر در شکل‌گیری نوع رخساره‌های فرسایشی مانند بارخان، سیف و .. است. این پژوهش نشان می‌دهد که در مقیاس منطقه‌ای، تغییرات طبیعی در این منطقه، اعم از انبساط و انقباض، عمدتاً نتیجه رژیم‌های باد، عرضه ماسه و حمل و نقل آن، به ویژه از مناطق مستعد و منابع سنگ‌شناسی است همچنان که ریگ‌های این منطقه در قسمت شرقی توسط ذرات به اندازه ماسه که از سیستم‌های مخروط افکنه در حاشیه ارتفاعات در حال فرسایش با انواع سنگ‌های بستر شامل گرانیت، سنگ آهک، بازالت و آندزیت به دست می‌آید تغذیه می‌شوند. نتایج پژوهش پارسامهر و خسروانی نشان داد که بیشترین مقدار رسوب جابه‌جاشده مربوط به منطقه اردستان و و کمترین آن مربوط به ایستگاه کاشان در استان اصفهان است که با این پژوهش همخوانی دارد (parsamehr & khosrovani, 2017) و البته باید متذکر شد که ایستگاه اردستان پس از ایستگاه گرمسار و ایستگاه قم با بیشترین و کمترین مقدار ماسه کل حمل شده که در خارج از محدوده جغرافیایی استان اصفهان قرار دارند که دلیل آن افزایش سرعت بادهای بیش از آستانه فرسایشی و به تبع آن با قابلیت حمل ماسه، میزان رسوبات منتقل شده نیز افزایش می‌یابد. همچنین این پژوهش با نتایج تحقیق عباسی (Abbasi et al., 2019) که منطقه مورد مطالعه را بیشتر تحت تأثیر بادهای شرقی- غربی و شمال غربی- جنوب شرقی و شمال شرقی- جنوب غربی و منابع ماسه آن‌ها از رسوبات حاصل از حاشیه مسیله و کوهستان‌های اطراف می‌دانست تا حدود بسیار زیادی تطبیق دارد.

در پایان می‌توان گفت استفاده از نتایج این پژوهش ما را در شناخت سرعت و جهت بادهای فرساینده، توان حمل رسوبات توسط باد، مقدار دبی و جهت حرکت رسوبات و همچنین نوع مورفولوژی رسوبات بادی توانمند می‌سازد.

## ۵- سپاس‌گزاری

با سپاس از همه اساتید بزرگوار دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران که در طول پژوهش ما را هدایت و راهنمایی نموده‌اند.

## ۶- فهرست منابع

- لرستانی، قاسم. شهریار، علی. مقصودی. مهران. (۲۰۱۱). تأثیر توزیع قطر و فراوانی ذرات ماسه در تغییر شکل اجزای اصلی برخان مطالعه موردی: برخان‌های مرنجاب. جغرافیا و توسعه. جلد ۹، (۲۵)
- محمودی، فرج‌الله. (۱۳۸۱). پراکنندگی ریگزارهای ایران. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- محمدخان، شیرین. سادات کشفی، فهیمه (۱۳۹۴). جهات انتقال ماسه‌های بادی منطقه اردستان از طریق مقایسه زمانی مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای و ویژگی‌های باد. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی سال چهارم شماره ۱ (پیاپی ۱۳)
- یمانی، مجتبی. (۱۳۸۱). نقش سلول‌های کم فشار محلی در استقرار مجموعه‌های شنی ایران (مطالعه موردی: بند ریگ کاشان). مجله آمایش فضا ۴(۴): ۱۳۳-۱۵۵.

## References

- Abbasi, H., et al. (2019). "Wind regime and sand transport in the Sistan and Registan regions (Iran/Afghanistan)." *Zeitschrift für Geomorphologie* 62(1): 41-57. [https://doi.org/10.1127/zfg\\_suppl/2019/0543](https://doi.org/10.1127/zfg_suppl/2019/0543)
- Abbasi, H. R., et al. (2019). "Assessment of the distribution and activity of dunes in Iran based on mobility indices and ground data." *Aeolian Research* 41: 100539. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2019.07.005>
- Al-Awadhi, J. M. and A. M. Al-Dousari (2013). "Morphological characteristics and development of coastal nabkhas, north-east Kuwait." *International Journal of Earth Sciences* 102(3): 949-958. <https://doi.org/10.1007/s00531-012-0833-9>
- Ehlers, E. (1980). *Iran: Grundzüge einer geographischen Landeskunde*, Wissenschaft Buchgesellschaft.
- Fryberger, S., et al. (1979). "Dune Forms and Wind Regime: A Study of Global Sand Seas: Reston, Virginia." US Geological Survey. <https://doi.org/10.1017/9781108355568.013>
- Glennie, K. W. (2010). *Desert sedimentary environments*, Elsevier.
- Livingstone, I., et al. (2010). "The Namib Sand Sea digital database of aeolian dunes and key forcing variables." *Aeolian Research* 2(2-3): 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2010.08.001>
- Lorestani, Q., et al. (2011). "The effect of diameter distribution and abundance of sand particles on the deformation of the main components of the barchans, a case study: Maranjab barchans." *Geography and Development* 9(25): 179-196. 10.22111/gdij.2011.516 **[In Persian]**
- Maghsoudi, M., et al. (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. [https://www.sepehr.org/article\\_246137\\_en.htm](https://www.sepehr.org/article_246137_en.htm)
- Mahmudi, F. (2002). "Sand Seas Distribution of Iran." *Research Institute Forests and Rangelands Iran* 187. **[In Persian]**
- Mohammadkhan, S. and F. Kashfi (2018). "Directions of aeolian sand transport in the Ardestan region through temporal comparison of sand dune morphometry and wind characteristics." *Quantitative Geomorphological Research* 4(1): 59-74. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1394.4.1.5.8> **[In Persian]**
- parsamehr, A. H. and z. khosrovani (2017). "Analysis of erosive winds and depositions drift potential in desert regions of Esfahan Province." 23(4): 832-842. [https://ijrdr.areeo.ac.ir/article\\_109516\\_en.html](https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_109516_en.html)
- Pearce, K. I. and I. J. Walker (2005). "Frequency and magnitude biases in the 'Fryberger' model, with implications for characterizing geomorphically effective winds." *Geomorphology* 68(1-2): 39-55. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.030>
- Skidmore, E. (1987). "Wind-erosion Direction Factors as Influenced by Field Shape and Wind Preponderance." *Soil Science Society of America Journal* 51(1): 198-202. <https://doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100010041x>
- Sterk, G. (2000). "Flattened residue effects on wind speed and sediment transport." *Soil Science Society of America Journal* 64(3): 852-858. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.643852x>
- Tavakkoli Fard, A., et al. (2014). "Investigation of granulometry of aeolian sediments in relation of sand dune morphology (Case study: Kashan Erg)." *Journal of Range and Watershed Management* 67(2): 189-202. [https://jrwm.ut.ac.ir/article\\_51826\\_en.html](https://jrwm.ut.ac.ir/article_51826_en.html)
- Yamani, M. (2002). "The role of local low pressure cells in the establishment of sand complexes in Iran (case study: Bandrig Kashan)." *The Journal of Spatial Planning* 6(4): 133-155. <https://ensani.ir/fa/article/45224/> **[In Persian]**
- Yang, H., et al. (2019). "Characteristics of aeolian dune, wind regime and sand transport in Hobq Desert, China." *Applied Sciences* 9(24): 5543. <https://doi.org/10.3390/app9245543>
- Zhang, C.-L., et al. (2004). "Aerodynamic roughness of cultivated soil and its influences on soil erosion by wind in a wind tunnel." *Soil and Tillage Research* 75(1): 53-59. [https://doi.org/10.1016/s0167-1987\(03\)00159-4](https://doi.org/10.1016/s0167-1987(03)00159-4)
- Zhang, Z., et al. (2015). "Wind regime and sand transport in China's Badain Jaran Desert." *Aeolian Research* 17: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2015.01.004>
- Zhang, Z., et al. (2012). "Identifying sensitive areas to wind erosion in the Xilingele grassland by computational fluid dynamics modelling." *Ecological informatics* 8: 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2011.12.002>