



Studying the morphology and spatial changes of Azerbaijan Ergs using satellite images and analysis of erosive winds(case study: Qomtape and Maghsudlu Ergs)

Mehran Maghsoudi¹ | Abolfazl Ghojzadeh Helani² | Ariyan Allahveisi³ | Zeynab Barati⁴

1. Corresponding Author, Department of Geomorphology, Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran. maghsoud@ut.ac.ir
2. Faculty of Geography, University of Tehran aras international campus, jolfa . gojehzdeh@ut.ac.ir
3. Department of Geomorphology, Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran. ariyan.veisi@ut.ac.ir
4. Department of Geomorphology, Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran. barati.z@ut.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol:	15
No:	57
P:	1-22
Received:	2023-06-25
Revised:	2024-01-16
Accepted:	2024-01-17
Published:	2024-11-01

Keywords:

- Wind
- Drift Potential
- Sand Dunes
- Qom Tepe
- Maqsoodlu

Cite this Article:

Maghsoudi, Mehran., Ghojzadeh Helani, Abolfazl., Allahveisi, Ariyan & Barati, Zeynab. (2024). Studying the morphology and spatial changes of Azerbaijan sands using satellite images and analysis of erosive winds(case study: Qomtape and Maghsudlu Ergs). *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 15(57): 1-22..
doi: 10.22034/JARGS.2024.403993.1044

Publisher: Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



[10.22034/JARGS.2024.403993.1044](https://doi.org/10.22034/JARGS.2024.403993.1044)

Abstract

Aim: The distribution of sand dunes is important for studying wind erosion, and statistics on their area and distribution have been collected. While East Azerbaijan is not a dry region, it shows influences from arid and desert geomorphology. However, research on its sand fields, such as Maqsoodlu sand in the east and Qomtepe sand in the west, has been limited. This research aims to observe and monitor the amount and direction of movement of sand dunes and the amount of destruction of surrounding lands annually using Google Earth images and meteorological synoptic data.

Material & Method: For this purpose, the statistics and meteorological data of 19 synoptic stations of the province were used to determine the prevailing wind and the origin of wind deposits, as well as the drift potential (DP), the resulting drift potential (RDP), and the resulting drift direction (RDD) caused by the sand from each sand obtained.

Finding: According to the study, the rate of erosion and change in area in the erg of Qomtape was higher than in the erg of Maghsudlu, and the distance of 37 years was estimated at 72.41 percent for the erg of Qomtape and 26.95 percent for the erg of Maghsudlu. The potential/direction of sand Drift also showed that the origin of the sands of Maghsudlu reg is from the side of Mount Sahand, and the origin of the sands of the reg of Qomtape is from the side of Lake Urmia.

Conclusion: The origin of the region's wind Sands due to the prevailing wind direction, which is predominantly northern, can also be expressed as the presence of fine sediment at the end of the region's cone deposits and the place where plate floods spread. The place where plate floods spread supplies most of the area's sands, and the end of the fine sediment deposits provide the fine sediment.

Innovation: In this research, an analysis of the sand drift potential and its paths helps us interpret the formation of the ridges elsewhere.

Extended Abstract

1. Introduction

Arid and semi-arid lands cover more than two-thirds of Iran's area. Due to the lack of humidity in these lands, the variety of vegetation is limited, so the wind easily attacks the land's surface and carries soil particles with it. The movement of sand dunes causes severe damage to Iran's infrastructure and rural settlements every year. Identifying active dunes and monitoring areas with dune migrating sands are important measures to reduce these damages. Most of Iran's sand dunes are located in the desert plain, Lut desert, and its surroundings. In addition to these cases, the presence of two sandy areas northwest of the country, including the two Ergs of Qomtepe and Maqhsoudlu, is interesting. The Erg of Qomtepe and Maqhsoudlu resulted from thousands of years of wind and soil activity, which ultimately led to their formation. Erg Qomtepe and Maqhsoudlu, with their unique nature around them, are some of the most attractive tourism phenomena in East Azerbaijan tourism. At the same time, the movement of sand and the destruction of the surrounding lands cause much damage to the people of the region every year, so monitoring the amount and direction of movement of these sand dunes for planning is one of the tasks of researchers. By analyzing the anemometer data of a station, it is possible to predict the type of malleable sand dunes and the amount and direction of sediment movement. One of the proposed methods in this field, which was used for the first time by Freiburger and Dean, is the statistical analysis of winds with speeds exceeding the threshold wind speed. This research aims to observe and monitor the amount and direction of movement of sand dunes and the amount of destruction of surrounding lands annually using Google Earth images and meteorological synoptic data.

2. Materials and Methods

In order to investigate the changes and displacement of sand dunes and evaluate the changes in the range of sand dunes in the study area, Google Earth images with different time intervals were used. In the next step, the wind data of meteorological stations in the region was used to know the wind regime and also to know the potential of wind erosion, which includes statistical data from the establishment of 19 synoptic stations located in East Azarbaijan province until May 2022 as the most appropriate and available statistical data; A total of 164,869 data have been analyzed. Sand Rose software was also used to draw sand. The Sand Rose graph is a wind-powered sand chart that Freiburger and Dean first used. To draw this diagram, winds that are faster than the erosion speed threshold are converted into vector units as sand transport potentials, and by drawing them, the sand is drawn in different directions. A new method was used to draw a geomorphological map. The Alus Landform dataset presents the landform classes created by combining the ALOS CHILI Continuous Heat Load Index and Multiscale Topographic Position Index (ALOS MTPI). This index is coded based on the ALOS 30m Digital Elevation Model data in Google Earth Engine.

3. Results and Discussion

Based on the drawn winds, the percentage of repetition of the wind direction is different in different stations. However, in general, in the studied stations, the wind frequency was highest in the north, northeast, and east directions. Tabriz Airport, Maragheh Airport, Mianeh, Marand, Warzghan, Shabestar, Ajabshir, Bonab, and Charaoimaqh had one-way prevailing winds. However, two-way prevailing winds were observed at Jolfa, Sarab, Kalibar, and Hari's stations. In other stations, the prevailing winds were multi-directional. The results of the calculation and preparation of the Sand Rose graph for the studied stations, the calculation of DPt showed that the maximum and minimum DPt are related to Khosrowshahr ($V.U < 20000$) and Charaoimaqh ($0.2 V.U$) stations, respectively. Freiburger and Dean's classification showed that wind erosion potential was high except for the Sahand and Khosrowshahr stations. The resulting drift direction (RDD) in the studied area showed that the sand sediments in Khosrowshahr, Bostanabad, Ajabshir, Marand to the north, in Warzghan, Ahar and Haris to the northeast, in Tabriz airport to the east, in Maragheh and Bonab airports to the east. To the west, in Sarab, Malkan, and Sahand, east of Tabriz and Shabstar, they move to the northwest, in Kalibar to the southeast, and in Mianeh and Jolfa to the southwest. The analysis of the one-way index in the region showed that according to the classification of Freiburger and Din, Maqhsoudlu sand has unidirectional wind, and Qomtepe Erg has multi-directional wind. Google Earth images from 1985 and 2022 were used to estimate the displacement of the Maqhsoudlu and Qomtepe sand dunes. The amount of displacement for Maqhsoudlu Erg was estimated to be 7.31 meters per year, and for Qomtepe sand, the displacement cannot be measured. Due to encroachment in the sand area of Qomtepe with the construction of an industrial town, excessive harvesting, and poor management in preserving and maintaining this natural heritage, it will be destroyed in the next few years.

4. Conclusions

This research shows that the amount of displacement related to Maghsoudlu Erg was estimated at 31.7 meters per year, and the amount of movement of sand dunes in Qomtepe Erg cannot be predicted due to poor management in preserving the sands of the region due to indiscriminate harvesting for sand factories. Also, the rate of erosion and area change in Qomtepe sand has a higher trend compared to Maghsoudlu Erg, and it was estimated to be 72.41% for Qomtepe and 26.95% for Maghsoudlu Erg after 37 years since 1985. In the end, based on the results of this research, it can be said that by establishing a desert studies research center in this province, rather than studying, planning to deal with the development of sandy areas in East Azerbaijan province. Moreover, the research gap and the lack of research resources regarding the Ergs of the northwest of the country, especially the East Azerbaijan province, which caused many problems during the research, should be resolved.

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.



مطالعه مورفولوژی و تغییرات مکانی ریگ‌های آذربایجان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل بادهای فرساینده (مطالعه موردی: ریگ قوم‌تپه و مقصودلو)

مهران مقصودی^۱ ، ابوالفضل قوجه‌زاده هلانی^۲، آریین الله‌ویسی^۳، زینب براتی^۴

- ۱- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. maghsoud@ut.ac.ir
- ۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، پردیس بین‌المللی ارس دانشگاه تهران، ارس، آذربایجان شرقی. gojehzdeh@ut.ac.ir
- ۳- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ariyan.veisi@ut.ac.ir
- ۴- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. barati.z@ut.ac.ir

چکیده:

هدف: پراکندگی ریگ‌زارها در کشور از دیدگاه فرسایش بادی، دارای اهمیت زیادی است و تاکنون آمارهای مختلفی از مساحت و پراکندگی این اشکال در کشور ارائه شده است. علی‌رغم این که آذربایجان شرقی جزء مناطق خشک محسوب نمی‌شود؛ اما عوارض ژئومورفولوژی مناطق خشک و بیابانی در منطقه دیده می‌شود که تا به حال مطالعات کمتری بر روی ریگ‌زارهای منطقه انجام گرفته است. یکی از این ریگ‌ها، ریگ مقصودلو در شرق و دیگری ریگ قوم‌تپه در غرب استان واقع شده است. هدف از این تحقیق مشاهده و پایش میزان و جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای و میزان تخریب زمین‌های اطراف آن به صورت سالانه است. **مواد و روش:** برای این منظور آمار و داده‌های هواشناسی ۱۹ ایستگاه سینوپتیک استان به منظور تعیین باد غالب و منشأ رسوبات باد و همچنین تعیین پتانسیل حمل ماسه (DP)، برآیند پتانسیل حمل حاصله (RDP) و برآیند جهت حمل ماسه (RDD) ناشی از هر ریگ به دست آمد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که میزان جابه‌جایی برای ریگ مقصودلو سالانه ۷/۳۱ متر تخمین زده شد و میزان حرکت تپه‌های ماسه در ریگ قوم‌تپه به دلیل ضعف مدیریتی در حفظ ماسه‌های منطقه قابل پیش‌بینی نبود. بر اساس این تحقیق میزان فرسایش و تغییر مساحت در ریگ قوم‌تپه در مقایسه با ریگ مقصودلو از روند بیشتری برخوردار بوده و به فاصله ۳۷ سال ۷۲/۴۱ درصد برای قوم‌تپه و ۲۶/۹۵ درصد برای ریگ مقصودلو برآورد شد.

نتیجه‌گیری: منشأ ماسه‌های بادی منطقه با توجه به جهت باد غالب که عمدتاً شمالی است، همچنین وجود رسوبات ریزدانه در انتهای مخروط افکنه‌های منطقه و محل پخش سیلاب‌های صفحه‌ای می‌توان گفت که قسمت اعظم ماسه‌های منطقه از محل گسترش سیلاب‌های صفحه‌ای و انتهای مخروط افکنه‌ها که رسوبات ریزدانه را فراهم می‌آورند، تأمین می‌شود.

نوآوری: در این تحقیق، تجزیه و تحلیل پتانسیل حمل ماسه و مسیرهای آن‌ها به ما کمک می‌کند تا شکل‌گیری تپه‌ها را در مکان‌های دیگر تفسیر کنیم.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره:	۱۵
دوره:	۵۷
صفحه:	۱-۲۲
تاریخ دریافت:	۱۴۰۲/۰۴/۰۴
تاریخ ویرایش:	۱۴۰۲/۱۰/۲۶
تاریخ پذیرش:	۱۴۰۲/۱۰/۲۷
تاریخ انتشار:	۱۴۰۳/۰۸/۱۱

کلیدواژه‌ها:

- باد
- پتانسیل حمل
- تپه‌های ماسه‌ای
- قوم‌تپه
- مقصودلو

نحوه ارجاع به این مقاله:

مقصودی، مهران، قوجه‌زاده هلانی، ابوالفضل، الله‌ویسی، آریین و براتی، زینب. (۱۴۰۳). مطالعه مورفولوژی و تغییرات مکانی ریگ‌های آذربایجان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل بادهای فرساینده (مطالعه موردی: ریگ قوم‌تپه و مقصودلو). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۵(۵۷): ۱-۲۲.

doi: 10.22034/JARGS.2024.403993.1044

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



© نویسنده(گان).

۱- مقدمه

بیش از دوسوم مساحت ایران را اراضی خشک و نیمه‌خشک فراگرفته است (Ahmadi, 2012). در این اراضی به علت نقصان رطوبت، تنوع پوشش گیاهی محدود است، بنابراین باد به راحتی بر سطح اراضی حمله کرده و ذرات خاک را با خود حمل می‌کند. وسعت ماسه‌زارها در ایران ۱۳ میلیون هکتار است که در این میان ۵ میلیون هکتار آن تپه‌های ماسه‌ای فعال است (Parsamehr et al., 2018). جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای هرساله آسیب‌های شدیدی به زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌های روستایی ایران وارد می‌کند. شناسایی تپه‌های فعال و پایش مناطق دارای ماسه‌های مهاجر تپه‌ماسه‌ای از اقدامات مهم برای کاهش این آسیب‌ها است. محمودی (Mahmoudi, 1994) کتابی با عنوان «پراکنش ریگزارهای ماسه‌ای ایران» منتشر کرد که حدود ۳۵۳۸۵ کیلومتر مربع (بدون در نظر گرفتن ورقه‌های ماسه و تپه‌های نیکا) را پوشش می‌دهد. پس از آن، عباسی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (لندست ۷ و ۸)، عکس‌های هوایی، تصاویر Google Earth ادغام شده با عملیات صحرائی، نقشه‌های توزیع تپه‌های ماسه‌ای را تهیه کرد. نتایج آن مطالعه نشان داد تپه‌های ماسه‌ای در ایران به ۱۱ ریگ^۱ یا ارگ^۲ و ۹۷ پهنه ماسه‌ای^۳ شامل می‌شوند که تقریباً ۴/۶ میلیون هکتار را پوشش می‌دهند (Abbasi et al., 2019). بیش‌تر تپه‌های ماسه‌ای ایران در دشت کویر و بیابان لوت و اطراف آن قرار دارند. علاوه بر این موارد وجود دو منطقه ریگی در شمال غرب کشور جالب توجه است که شامل دو ریگ قوم‌تپه و مقصودلو است. ریگ ماسه‌ای قوم‌تپه و مقصودلو حاصل هزاران سال فعالیت باد و خاک است که در نهایت منجر به تشکیل شدن آن‌ها شده است. ریگ قوم‌تپه و مقصودلو با طبیعت منحصر به فرد اطراف آن قطعاً یکی از جذاب‌ترین پدیده‌های گردشگری در زمینه ژئوتوریسم آذربایجان شرقی است. این در حالی است که حرکت ماسه‌ها و تخریب زمین‌های اطراف سالانه خسارات زیادی را متوجه مردم منطقه می‌کند لذا رصد و پایش میزان و جهت حرکت این تپه‌های ماسه‌ای جهت برنامه‌ریزی یکی از وظایف محققین است. از لحاظ فعالیت‌های تپه‌های ماسه‌ای در رابطه با آب‌وهوا، تپه‌های ماسه‌ای به دو صورت فعال یا غیرفعال طبقه‌بندی می‌شوند (Tsoar, 2005). انواع تپه‌های ماسه‌ای مرتبط با توجه به حالت باد غالب باد، یعنی یک‌جهتی، دو جهتی و یا پیچیده ثبت می‌شوند. بادهای تک جهتی با تپه‌های ماسه‌ای عرضی همراه هستند و رژیم‌های دو جهتی برای تشکیل تپه‌های خطی مناسب هستند، در حالی که یک رژیم باد پیچیده تپه‌های ماسه‌ای ستاره‌ای را تشکیل می‌دهند (Her her, 2017). از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی یک ایستگاه، می‌توان نوع تپه‌های ماسه‌ای شکل‌پذیر، میزان و جهت حرکت رسوبات را پیش‌بینی کرد. یکی از روش‌های پیشنهادی در این زمینه که برای اولین بار توسط فرایبرگر و دین مورد استفاده قرار گرفت، تحلیل آماری بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه باد است (Fryberger et al., 1979). در این روش، سرعت‌های مختلف باد در جهات مختلف با سرعت بیش از سرعت آستانه باد به واحدهای بردار مساوی تبدیل می‌شود و سپس با ترسیم آن‌ها در جهات مربوطه، گلماسه تشکیل می‌شود. مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است. برخی از این آثار در ادامه ارائه شده است: رجبی و همکاران (Rajabi et al., 2006) در تحلیل مورفودینامیکی باد با استفاده از مدل گلماسه در استان سیستان و بلوچستان، پتانسیل حمل ماسه ۱۳۷۶ و ۱۱۱۷ واحد برداری توسط باد برای مناطق زابل و زهک به دست آوردند، آن‌ها نشان دادند که RDD^۴ به سمت جنوب شرقی است که دقیقاً با جهت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان مطابقت دارد. ممقانی و همکاران (Mamqani et al., 2019) به منشأیابی ماسه‌های بادی با استفاده از کانی‌شناسی و مورفوسکوپی دانه‌های ماسه در قوم‌تپه صوفیان پرداختند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که عامل اصلی منابع تأمین ماسه، بادهای غالب با حمل رسوبات ریز و خرده‌سنگ‌های (کربناتی و ولکانیکی) بستر رودخانه‌های قدیمی و اراضی بایر بدون پوشش سطحی بوده و هر جا سیلاب صفحه‌ای گسترده‌تر بوده، فرسایش بادی به نفع توسعه تلماسه‌ها بیشتر بوده است. مقصودی و همکاران (Maghsoudi et al., 2017) به مطالعه بررسی الگوهای توسعه تپه‌های ماسه‌ای در منطقه ارگ مصر پرداختند و میانگین جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای را ۸ متر در سال اندازه‌گیری کردند. یوسفی مبرهن و همکاران (Yousefi Mobarhan et al., 2021) به بررسی عوامل اقلیمی مؤثر بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی، فراوانی روزهای گردوغبار در ایستگاه‌های سینوپتیک استان سمنان در طول دوره آماری ۱۵ سال (۲۰۰۳-۲۰۱۷) پرداختند و به این نتیجه رسیدند که حساسیت تحرک‌پذیری ماسه نسبت به تغییرات افزایش ناشی از باران بیشتر از سرعت باد و نسبت به تغییرات کاهش ناشی از باران کمتر از سرعت باد است و اگر مقادیر میانگین سرعت باد ۳۰ درصد در آینده کاهش یابد و یا مقدار بارندگی به مقدار ۳۰ درصد افزایش یابد، وضعیت تپه‌ها از

1. Sand sea
2. Ergs

3. Dune field
4. Resultant drift direction

حالت کاملاً فعال به غیرفعال تغییر خواهد کرد. مقصودی و همکاران (Maghsoudi et al., 2021) 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 جنوب شرق در حال جابه‌جایی است که این امر در مطالعات میدانی نیز تأیید شد. اختصاصی و همکاران (Ekhtesasi et al., 2002) فرسایش بادی را تجزیه و تحلیل کرده و جهت حرکت ماسه‌ها را در دشت یزد بر اساس سرعت آستانه ۱۲ نات، $V.U1$ ۸۲/۵ با $V.U$ ۷۷ درجه نسبت به شمال جغرافیایی تعیین کردند. احمدی (Ahmadi., 2011) پتانسیل حمل ماسه را به ترتیب $40/1/09$ و $490/51$ $V.U$ با جهت جنوب غربی از طریق روش کلاس سرعت فرایبرگر برای جاسک و کرمان محاسبه کرد. هیو دانگ و همکاران (Hu, Dong et al., 2021) به بررسی رژیم بادی و اشکال بادی در ساحل شرقی دریاچه چینگهای در فلات شمال شرقی تبت در کشور چین با استفاده از داده‌های ساعتی یک‌ساله در چهار ایستگاه با استفاده از DP و RDP پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد که محیط بادی با انرژی بالا، علاوه بر رژیم باد چند جهته و محلی بسیار متغیر، از عوامل اصلی هستند که احتمالاً مسئول همزیستی چندین نوع از شکل‌های زمینی بادی (به‌عنوان مثال، معکوس عرضی، بارچانویید و استاردون) هستند. فیتزسیمونز و همکاران (Fitzsimmons et al., 2020) در پژوهشی به بررسی تقاطع بین رژیم‌های بادی، توپوگرافی و تأمین رسوبات در جنوب شرقی قزاقستان و غرب چین پرداختند، آن‌ها ویژگی‌های مورفولوژیکی تپه‌های خطی را در چهار سایت با استفاده از یک رویکرد نقشه‌برداری نیمه‌اتوماتیک ارزیابی کردند و تنوع در جهت‌گیری‌های تپه را با توجه به مسیرهای بادی تغییر یافته شن و ماسه شناسایی شده از داده‌های مجدد هواشناسی برای هر سایت تجزیه و تحلیل کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین جهت باد مسئول تأمین رسوب است، در حالی که قوی‌ترین بادها جهت‌گیری تپه را هدایت می‌کند، همچنین جهت‌گیری‌های باد به شدت تحت تأثیر توپوگرافی قرار دارد. فیلیپ و همکاران (Philip, 2004) در یک تحلیل دینامیکی از حرکت تپه‌های ماسه‌ای در صحرای سینای مصر، پتانسیل رانش ماسه را بیش از $V.U$ ۴۰۰ با جهت حرکت از غرب و شمال غرب به سمت شرق و جنوب شرقی تخمین زدند. زیو و همکاران (Zu et al., 2008) در بررسی ویژگی‌های رژیم‌های بادی در صحرای تاکلاماکان چین، پتانسیل رانش ماسه $V.U$ ۲۰۰ را در کلاس انرژی باد کم بر اساس طبقه‌بندی فرایبرگر به دست آوردند. شناخت تپه‌های ماسه‌ای منجر به شناخت تغییر و تحولات اقلیم کواترنری، تغییر و جابه‌جایی الگوهای فشار در سطح زمین، فرسایش و رسوب‌گذاری حوضه‌های آبریز، تغییر میزان بارش و رطوبت سطح زمین و به تبع آن تغییر در میزان پوشش‌های گیاهی، تغییر در جهت و سرعت باد و همچنین عملکردهای انسان می‌شود. پراکندگی و شناسایی این ریگ‌زارها در کشور از دیدگاه فرسایش بادی، دارای اهمیت زیادی است شناسایی علل این تغییرات می‌تواند ما را در فهم هر چه بیشتر تحول ریگ‌های منطقه مورد مطالعه که مطالعات خیلی کمی بر روی آن انجام شده است و محیط پیرامونی آن رهنمون باشد. هم‌چنین مطالعه توسعه سطح این ریگ‌زارها به دلیل اثراتی که بر منابع آب و خاک از یک‌سو و زیرساخت‌های انسانی از قبیل جاده‌ها و تأسیسات و ساختمان‌ها و غیره از دیگر سو دارند، حائز اهمیت است.

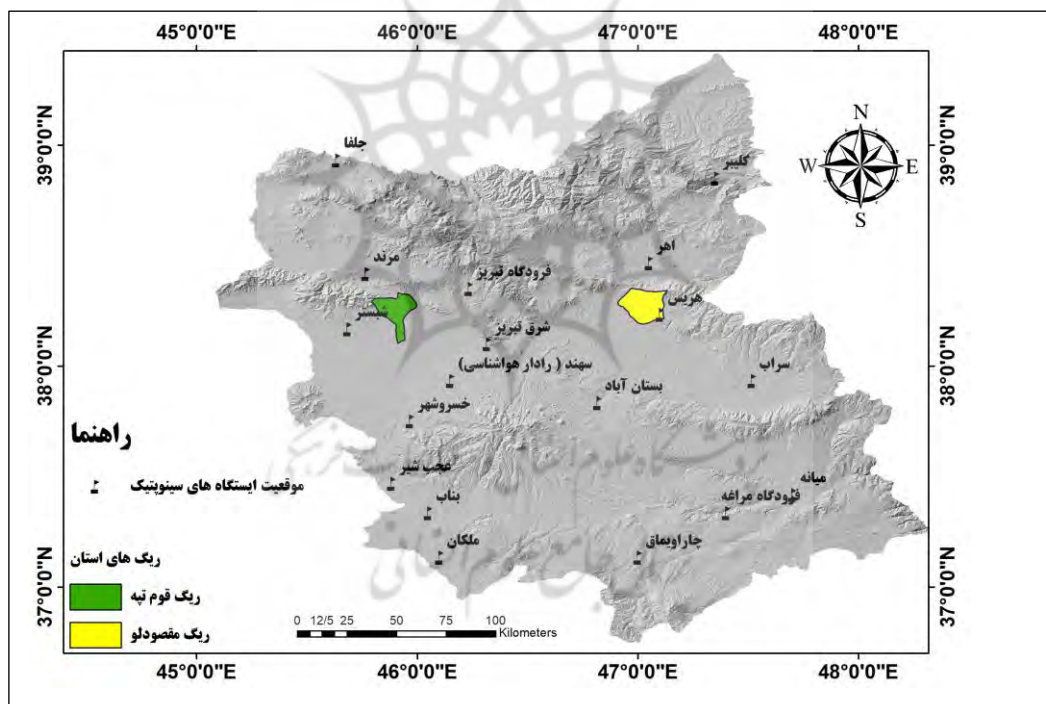
۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی با وسعت $45490/88$ کیلومتر مربع در شمال غرب ایران و بین 45 درجه و 30 دقیقه تا 47 درجه و 43 دقیقه طول شرقی، 36 درجه و 47 دقیقه تا 38 درجه و 42 دقیقه عرض شمالی واقع شده است. کوه آتش‌فشانی سهند با ارتفاع 3707 متر به‌عنوان بلندترین منطقه استان، در جنوب شهر تبریز واقع شده است. آب‌های سطحی حاصل از بارش و ذوب برف در دامنه‌های آن به‌صورت رودهای پرآبی مانند صوفی‌چای، قرانقوچای، قلعه‌چای، اوجان‌چای، آجی‌چای جریان می‌یابد.

دشت‌های استان در میان کوه‌های مرتفع جای گرفته و از مواد فرسایش یافته از سطح این کوهستان‌ها تشکیل شده است (شکل ۳B و شکل ۴). خاک آن‌ها حاصلخیز بوده و مراکز مسکونی در داخل آن‌ها شکل یافته از جمله دشت سراب، جلفا، مرند، میانه، اهر، یکانت و بستان‌آباد و جلگه‌های ساحل دریاچه ارومیه بخش‌های عمده استان آذربایجان شرقی در محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه قرار گرفته و رودهایی که از کوهستان‌های اطراف سرچشمه می‌گیرند، در مصب خود جلگه‌هایی انباشته از آبرفت رودها، ایجاد می‌کنند. این جلگه‌ها هرچه از پای کوه به طرف دریاچه ارومیه می‌روند، شورتر می‌شوند، مانند جلگه تبریز و مراغه. (شکل ۴) علاوه بر وضعیت

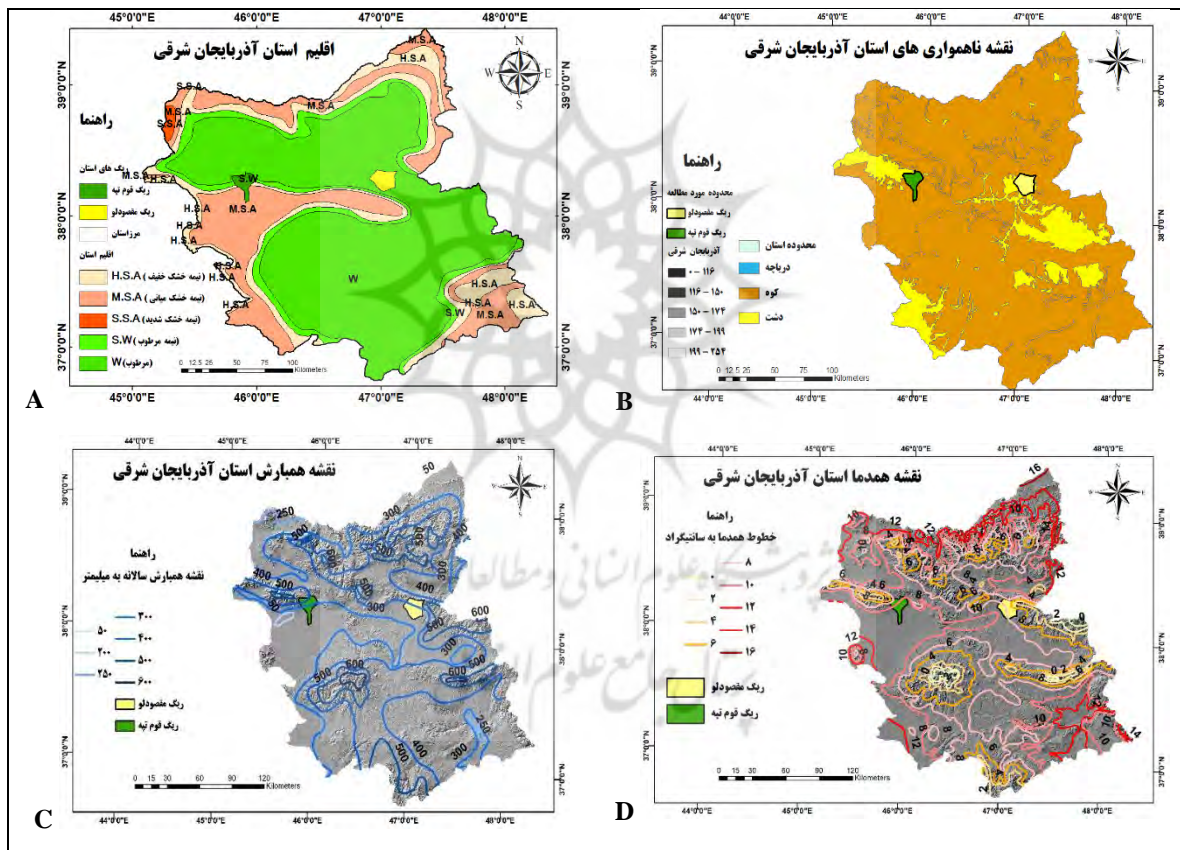
ناهمواری‌ها، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا، عواملی مانند پوشش گیاهی و دوری و نزدیکی از بدنه‌های آبی نیز بر اقلیم منطقه اثر گذاشته است. به طوری که دریاچه ارومیه در غرب استان و قوری گل در مرکز و سایر دریاچه‌ها بر وضع رطوبتی استان تأثیرگذار بوده است هم‌چنان که مشاهده می‌شود بیشترین درصد مساحت استان که شامل قسمت‌های جنوبی، مرکزی و شمال است تحت تأثیر اقلیم مرطوب و کمترین مساحت استان تحت تأثیر آب‌وهوای نیمه‌خشک شدید در قسمت‌های شمال غرب و جنوب شرق است. ریگ مقصودلو در اقلیم مرطوب و ریگ قوم‌تپه در اقلیم نیمه‌خشک میانی است (Khalili et al., 2004) (شکل ۳A). هم‌چنین جنگل‌های ارسباران در شمال استان و مراتع سرسبز در دامنه‌های ارتفاعات استان در تعدیل هوا نقش مهمی دارد (Educational Research and Planning Organization East Azarbaijan Province, 2022). هم‌چنان که مشاهده می‌شود بیشترین درصد مساحت استان که شامل قسمت‌های جنوبی، مرکزی و شمال است تحت تأثیر اقلیم مرطوب و کمترین مساحت استان تحت تأثیر آب‌وهوای نیمه‌خشک شدید در قسمت‌های شمال غرب و جنوب شرق است (شکل ۳C). بررسی نقشه هم‌باران استان مؤید این مطلب است که میزان بارندگی در مرکز استان بیشتر بوده و رقم ۶۰۰ میلی‌متر در سال را نشان می‌دهد. مناطق جنوب شرق و شمال غرب و نیز شمال شرق استان از کمترین میزان بارش برخوردار بوده است که از ۵ میلی‌متر تا ۲۵۰ میلی‌متر متغیر است. ریگ مقصودلو با میزان بارندگی ۵۰۰ میلی‌متر و ریگ قوم‌تپه با میزان بارش ۳۰۰ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین میزان بارش را دارند (شکل ۳D). ریگ مقصودلو در اقلیم مرطوب و ریگ قوم‌تپه در اقلیم نیمه‌خشک میانی است (Khalili et al, 2004). منطقه ریگی روستای مقصودلو در ۱۶ کیلومتری جنوب هریس و با مساحت تقریباً $3/74 \text{ km}^2$ است. ریگ قوم‌تپه با مساحتی حدود $2/98 \text{ km}^2$ در ۳۰ کیلومتری شمال غرب تبریز واقع شده است (شکل ۳B).



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی



شکل ۲. سمت راست ریگ مقصدلو، سمت چپ ریگ قوم تپه



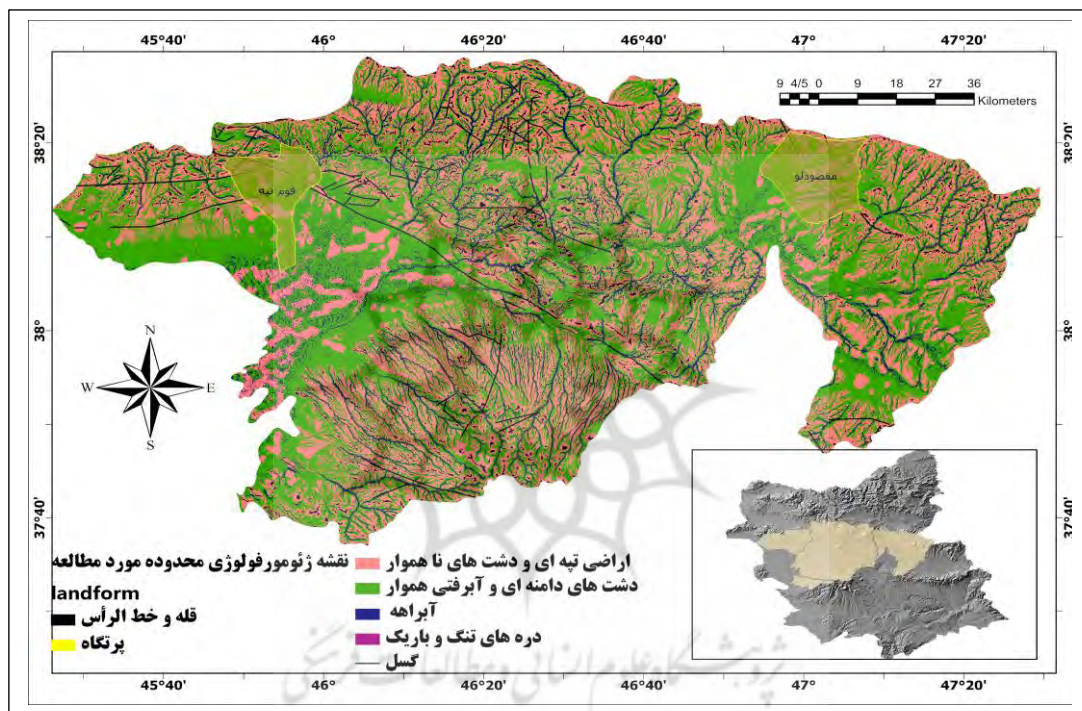
شکل ۳. نقشه آب و هوایی استان آذربایجان شرقی

۲-۲- روش پژوهش

➤ داده‌های تحقیق

به‌منظور بررسی تغییرات و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای و ارزیابی تغییرات محدوده تپه‌های ماسه‌ای در منطقه مورد مطالعه از تصاویر Google Earth با فواصل زمانی مختلف استفاده گردید. در مرحله بعد از داده‌های باد ایستگاه‌های هواشناسی منطقه برای شناخت رژیم باد و همچنین آگاهی از پتانسیل فرسایش بادی که شامل داده‌های آماری از بدو تأسیس ۱۹ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان آذربایجان شرقی تا ماه می ۲۰۲۲ به‌عنوان مناسب‌ترین و در دسترس‌ترین داده‌های آماری استفاده شد؛ که در مجموع ۱۶۴۸۶۹ داده

مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (جدول ۱). همچنین برای ترسیم گلماسه از نرم‌افزار Sand Rose استفاده شد. گلماسه، نمودار ماسه قابل حمل توسط انرژی باد است که برای اولین بار توسط فرایبرگر و دین (Fryberger et al., 1979) استفاده گردید. برای ترسیم این نمودار، داده‌هایی که سریع‌تر از آستانه سرعت فرسایش هستند، به صورت پتانسیل رانش ماسه به واحدهای برداری تبدیل می‌شوند که با ترسیم آن‌ها، ماسه در جهات مختلف رسم می‌شود. برای رسم نقشه ژئومورفولوژی از روش جدید استفاده شد. مجموعه داده آلوس لندفرم^۱ رده‌های شکل زمین را ارائه می‌کند که با ترکیب شاخص بار حرارتی پیوسته ALOS CHILI و شاخص موقعیت توپوگرافی چند مقیاسی (ALOS MTPI) ایجاد شده‌اند این شاخص بر اساس داده‌های مدل رقومی ارتفاعی آلوس ۳۰ متری در سامانه گوگل ارث انجین کد نویسی شده است به این منظور با استفاده از پروداکت لندفرم چند مقیاس آلوس برای سه حوضه آبریز هریس - تبریز و صوفیان کدنویسی این پروداکت انجام شد و نقشه لندفرم حوضه آبریز استخراج گردید. برای طبقه‌بندی بهتر می‌توان در بین رده‌ها نیز طبقه‌بندی به صورت دستی انجام داد تا یک طبقه‌بندی بهینه برای چشم‌انداز منطقه ایجاد شود (Mokarram et al., 2014). طبقه‌بندی مجدد با استفاده از رده‌های طبقه‌بندی نقشه تولید شده و ویژگی‌های ژئومورفولوژی حوضه آبریز در محیط نرم‌افزار (ARCGIS pro) انجام شد. تعداد شش کلاس در این طبقه‌بندی مشخص گردید (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه ژئومورفولوژی محدوده مورد مطالعه در زیرحوضه‌های هریس، تبریز و صوفیان

➤ تحلیل داده‌های باد

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار WRPLOT ۸.۰.۲ که برای محاسبات آماری باد و نمودار گلباد طراحی شده است برای دوره آماری ایستگاه‌های سینوپتیک (جدول ۱) استفاده شد. گلباد، ساده‌ترین روش برای نمایش آماری داده‌های بادسنجی و نشان دادن طول موج جهت باد و سرعت آن در هر جهت است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی

سال آماری	ارتفاع (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه
۱۹۸۵-۲۰۲۲	۷۱۵	۴۵°/۳۸	۵۶°/۳۸	جلفا
۱۹۸۶-۲۰۲۲	۱۳۴۵	۴۷°/۰۳	۲۸°/۳۸	اهر
۱۹۵۱-۲۰۲۲	۱۳۵۵	۴۶°/۱۴	۲۱°/۳۸	فرودگاه تبریز
۱۹۸۵-۲۰۲۲	۱۶۵۰	۴۶°/۰۹	۳۷°/۵۶	سهند (رادار هواشناسی)
۱۹۸۶-۲۰۲۲	۱۶۸۳	۴۷°/۳۱	۳۷°/۵۶	سراب
۱۹۹۹-۲۰۲۲	۱۱۶۶	۴۷°/۲۱	۳۸°/۵۱	کلیبر
۱۹۵۱-۲۰۲۲	۱۳۳۹	۴۶°/۸۴	۳۷°/۲۰	فرودگاه مراغه
۱۹۸۷-۲۰۲۲	۱۱۰۱	۴۷°/۴۲	۳۷°/۲۵	میانه
۲۰۰۰-۲۰۲۲	۱۳۳۲	۴۵°/۴۶	۳۸°/۲۵	مرند
۲۰۱۱-۲۰۲۲	۱۶۷۳	۴۸°/۳۹	۳۸°/۳۰	ورزقان
۲۰۱۲-۲۰۲۲	۱۴۲۲	۴۵°/۴۱	۳۸°/۱۰	شیبستر
۲۰۰۸-۲۰۲۲	۱۹۰۵	۴۷°/۰۶	۳۸°/۱۴	هریس
۲۰۱۶-۲۰۲۲	۱۵۱۵	۴۶°/۱۰	۳۸°/۰۶	شوق تبریز
۲۰۱۲-۲۰۲۲	۱۲۹۹	۴۵°/۵۳	۳۷°/۲۸	عجب شیر
۱۹۹۹-۲۰۲۲	۱۲۸۵	۴۶°/۰۳	۳۷°/۲۰	بناب
۲۰۱۶-۲۰۲۲	۱۳۸۵	۴۵°/۵۸	۳۷°/۴۵	خسروشهر
۲۰۰۶-۲۰۲۲	۱۷۳۰	۴۶°/۴۹	۳۷°/۵۰	بستان‌آباد
۲۰۱۵-۲۰۲۲	۱۹۳۱	۴۷°	۳۷°/۰۸	چاراویماق
۲۰۰۸-۲۰۲۲	۱۳۰۰	۴۶°/۰۶	۳۷°/۰۸	ملکان

➤ تحلیل داده‌های گلماسه

گلماسه یک نمودار برداری از انرژی حمل ماسه است که قدرت فرسایش بادی و مقدار نسبی حمل ماسه را در جهات مختلف نشان می‌دهد. برخلاف گلباد که واحد اندازه‌گیری آن برحسب سرعت باد است، واحد بازوها در گلماسه بر اساس یک واحد برداری (V.U) تعریف می‌شود. با در نظر گرفتن فرضیه‌های مختلف، لتو-لتو (Lettau et al., 1978) معادله زیر را برای تخمین گلماسه پیشنهاد کرد:

$$q = (C'' p/g) V^2 (V - V_t) \quad (1)$$

که در آن q نرخ حمل ماسه ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{hr}$)، g شتاب گرانشی (m/s^2)، C'' یک ثابت بدون بعد است که بر اساس قطر دانه تعیین می‌شود، p چگالی هوا (kg/m^3) است. V سرعت برشی باد (نات) و V_t سرعت آستانه برشی باد (گره) است. فرایبرگر (۱۹۷۹) این رابطه را به‌صورت زیر ساده کرد:

$$Q = (V^2 - V_t^2)t \quad (2)$$

که در آن Q مقدار حمل ماسه است که به‌صورت واحد برداری نشان داده شده است، V سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (نات)، V_t سرعت آستانه باد (نات) و t فراوانی بادها است. با سرعتی بیشتر از سرعت آستانه (%). در واقع، $V^2 (V - V_t)$ فاکتور وزنی است که نشان می‌دهد بادهای قوی‌تر وزن بیشتری دارند و بادهای ضعیف‌تر وزن کمتری دارند. برای کاهش ضریب وزنی و ساده‌سازی نمودار

گلماسه، ضریب وزنی بر ۱۰۰ تقسیم می‌شود (Awadhi et al., 2005). اولین مرحله در محاسبه پتانسیل حمل ماسه، تعیین سرعت آستانه فرسایش است. در این تحقیق با توجه به بررسی‌های انجام‌شده تاکنون، سرعت آستانه فرسایش بین ۶/۷ نات بوده است (Fryberger et al., 1979). پس از تعیین مقادیر ضریب وزنی و در نظر گرفتن مقادیر فرکانس هر کلاس سرعت، مقادیر پتانسیل حمل (DP) برای هر جهت جغرافیایی محاسبه شد که مجموع آن‌ها در هر کلاس سرعت به‌عنوان DPt در نظر گرفته شد. فرایبرگر و دین شاخص‌های مختلفی را از نمودار گلماسه استخراج کردند که می‌تواند برای تعیین جهت حرکت ماسه به شرح زیر مفید باشد: پتانسیل حمل کل (DPt): یک مقدار عددی یا اسکالر است که از مجموع مقادیر DP به دست می‌آید. جهت‌های مختلف در واقع، DPt شاخصی است که کل انرژی باد به حمل ماسه در منطقه را نشان می‌دهد. فرایبرگر و دین قدرت فرسایش بادی را بر اساس شاخص پتانسیل رانش باد در جدول ۲ طبقه‌بندی کردند.

جدول ۲. طبقه‌بندی محیط‌های انرژی باد با استفاده از پتانسیل رانش (DP) و جهت رانش (RDP) (اصلاح‌شده توسط فرایبرگر و دین، ۱۹۷۹)

DP (vector units)	Wind energy environment	RDP/DP	Directional variability	Directional category (probability distribution)
<200	low	<0.3	High	Complex or obtuse bimodal
200-400	Intermediate	0.3-0.8	Intermediate	Obtuse or acute bimodal
>400	High	>0.8	low	Acute unimodal

با توجه به پیچیدگی و حجم بالای محاسبات آماری نسبت به نمودار گلماسه، برای محاسبه و نمودار، از نمودار گلماسه استفاده شد. این نرم‌افزار که در اصل بر اساس معادلات و روابط پیشنهادی فرایبرگر و لتو^۳ طراحی شده بود می‌تواند گلماسه مربوطه را به صورت آماری تجزیه و تحلیل کند و آن‌ها را با دریافت داده‌های بادسنجی ایستگاه مربوطه و سرعت آستانه فرسایش بادی رخساره‌های مختلف مجاور رسم کند. گلماسه ترسیم شده می‌تواند پتانسیل رانش ماسه را توسط باد و جهت آن ارائه دهد.

➤ محاسبات جابه‌جایی ماسه

برای محاسبه مقادیر پتانسیل حمل ماسه (DP) در جهات مختلف جغرافیایی از رابطه‌ی فرایبرگر (Fryberger 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 رده‌های سرعت باد که در روش فرایبرگر و دین پیشنهاد گردیده است، مستقیماً از سرعت‌های باد ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده، لذا به منظور محاسبه مقادیر DP معادله‌ی ارائه شده توسط فرایبرگر و دین به صورت زیر اصلاح شده است:

$$TDP = \frac{\sum V_{ij}^2 (V_{ij} - V_t)}{N} * \quad (3)$$

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

V_t : سرعت آستانه فرسایش بادی در رخساره مورد نظر

N : تعداد کل ساعات دیده‌بانی در طول دوره‌ی آماری مورد نظر

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

$$T = \frac{n}{N} \quad (4)$$

n : تعداد ساعات دیدبانی در مدت زمان موردنظر (سالانه، فصلی و ماهانه)

N : تعداد کل ساعات دیده‌بانی در طول دوره آماری موردنظر

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 موردنظر است.

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 می‌شود و وضعیت نهایی حمل ماسه را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

$$RDP = \sqrt{C^2 + D^2} \quad (5)$$

$$C = \sum (DP_i) \sin \theta_i \quad (6)$$

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

θ : زاویه جهت حمل ماسه (جهت باد)

DP: توان حمل ماسه

RDD: جهت 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:

$$RDD = \text{Arc tan} (c/d) \quad (7)$$

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

$$UDI = RDP / DPT \quad (8)$$

Q_s : به منظور تعیین مقدار ماسه منتقل شده در واحد زمان، از یک واحد عرض توسط محققین بسیاری، مدل‌های ریاضی مختلفی ارائه شده است که عمدتاً بر پایه اصول تئوری و همچنین مطالعات تجربی استوار است 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. ($kgm^{-1}s^{-1}$)

$$Q_s = \frac{4}{3} B \left(\frac{\rho}{g} \right) U^3 * \quad (9)$$

Q_s = مقدار ذرات حمل شده به صورت جهشی

B = ضریب برخورد یا ضریب‌ای (Impact coefficient) که مقدار آن برای ماسه یکنواختی با قطر متوسط ۰/۲۵ میلی‌متر برابر

۰/۸ است.

P = چگالی هوا

g = شتاب ثقل

U* = سرعت اصطکاکی

DSF و TSF: در نرم‌افزار گلماسه‌نما با توجه به دبی جریان ماسه محاسبه شده به روش‌های مختلف و همچنین فراوانی بادهای بیشتر از سرعت آستانه فرسایش نسبت به برآورد مقدار ماسه‌ی حمل شده در جهات مختلف (TSF) و نیز برآیند حمل ماسه (DSF)، مقدار نهایی حمل ماسه در راستایی که ماسه در حال پیشروی است، اقدام می‌گردد که روابط مربوط به برآورد مقدار ماسه حمل شده در جهات مختلف (TSF) با استفاده از رابطه‌ی لتولتو به شرح ذیل است:

$$Vq = \sum_{i=1}^n v_i^2 (v_i - v^*_{i}) \quad (10)$$

$$Q_s = c \left(\frac{a}{0.25} \right)^{0.5} \left(\frac{p}{9.8} \right) \left(\frac{Vq}{N} \right) \quad (11)$$

$$\left(\frac{p}{9.8} \right) \left(\frac{Vq}{N} \right) \quad (12)$$

TSF=Qs*T

که در آن

$$Q_s = \text{دبی جریان ماسه بر حسب kg/m.s}$$

$d =$ قطر متوسط ذرات ماسه بر حسب میلی‌متر که در حالت استاندارد مقدار آن ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

$P =$ چگالی هوا معمولاً معادل ۱/۲۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

$N =$ تعداد کل دیده‌بانی‌های سرعت و جهت باد.

$TSF =$ مقدار کل ماسه حمل شده در جهات مختلف که معمولاً بر حسب kg/m.year بیان می‌شود.

$T =$ دوره‌ی زمانی مورد نظر (سال، فصل، ماه) که بر اساس تعداد ساعات دیده‌بانی در طول روز محاسبه می‌گردد.

روابط محاسبه برآیند حمل ماسه (DSF) نیز مشابه روابط فوق بوده با این تفاوت که در آن ابتدا مقدار V_g برای تمام جهات جغرافیایی ۸ گانه محاسبه می‌شود و سپس از برآیند برداری آن‌ها جهت محاسبه RQS و DSF استفاده می‌گردد در هنگام برآورد مقادیر TSF و DSF مقدار دبی جریان (Q_s) بر اساس رابطه مورد نظر محاسبه می‌گردد.

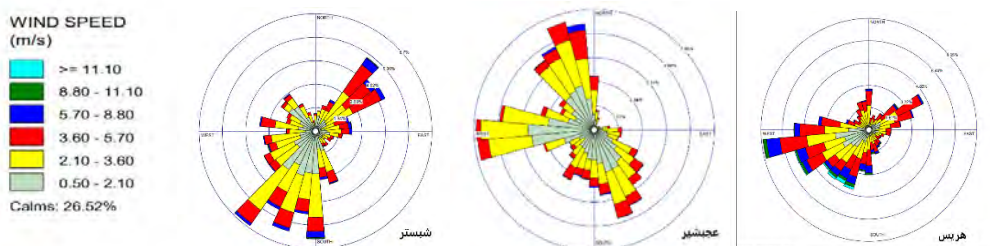
۳- یافته‌ها

۳-۱- رژیم باد

باد در تمام نقاط زمین با شدت و ضعف وجود دارد؛ اما مسئله‌ی اصلی تأثیرات آن است که تغییراتی را در مورفولوژی سطح زمین ایجاد می‌کند. باد از یک طرف چهره ناهمواری‌های موجود منطقه را دستخوش تغییرات کوچک و بزرگ می‌نماید و از طرف دیگر مواد تخریب شده را از جایی به جای دیگر حمل نموده و ناهمواری‌های جدید را در منطقه به وجود می‌آورد. باد معمولاً ماسه‌ها را به شکل تپه یا رشته تپه‌هایی در سطح زمین برجای می‌گذارد. با توجه به اینکه جهت باد، مسیر و کشیدگی تپه‌های ماسه‌ای را شکل می‌دهد (Refahi, 1999). منطقه مورد مطالعه از این امر مستثنی نبوده و تحت تأثیر باد غالب جنوب غربی است. حمل ماسه کوچک‌ترین بخش فرآیند جابه‌جایی ماسه است (Maghsoudi et al., 2017). تجزیه و تحلیل داده‌های سینوپتیک در این کار نشان می‌دهد که حدود ۰٪ تا ۲۶/۵٪ از داده‌های ثبت شده ۳ ساعته در شرایط آرام قرار دارند و در بقیه زمان‌ها سرعت بیش از ۰/۵ متر بر ثانیه بر منطقه حاکم است. کمترین و بیشترین درصد بادهای آرام به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های شرق تبریز، مرند و میانه است. همچنین مطالعات نشان می‌دهد که ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای سرعت باد بیشتر ۱۱/۱۰ متر بر ثانیه بوده و ایستگاه اهر دارای ۱۵/۶ درصد باد بالای ۱۱/۱۰ متر بر ثانیه است. به جز ایستگاه اهر، در سایر ایستگاه‌ها حداکثر فرکانس باد در کلاس سرعت ۰/۵ - ۲۱۰ و سپس در کلاس ۳/۶۰ - ۲/۱۰ و ۳/۶۰ - ۵/۷۰ بوده است. تجزیه و تحلیل میانگین سرعت باد در منطقه مورد مطالعه نشان داد که حداکثر و حداقل میانگین سرعت باد به ترتیب ۲۲/۲۵ متر بر ثانیه و ۱/۶ متر بر ثانیه بود که مربوط به ایستگاه خسروشهر و کلیبر بود (جدول ۳).

۳-۱-۱- نمودار گلباد منطقه مورد مطالعه

همانطور که توسط گلباد رسم شده (شکل ۵) و جدول ۵ نشان داده شده است، درصد تکرار جهت باد در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است؛ اما به‌طور کلی در ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشترین فراوانی باد در جهت شمال، شمال شرق و شرق بوده است. فرودگاه تبریز، فرودگاه مراغه، میانه، مرند، ورزقان، شبستر، عجب‌شیر، بناب و چارویماق بادهای غالب یک‌طرفه داشتند اما در ایستگاه‌های جلفا، سراب، کلیبر و هریس بادهای غالب دوطرفه مشاهده شد. در سایر ایستگاه‌ها بادهای غالب از نوع چندجهته بودند.



شکل ۵. گلباد سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی

جدول ۳. درصد فرکانس کلاس سرعت باد (m/s) در ایستگاه‌های سینوپتیک استان آذربایجان شرقی

کلاس سرعت باد ایستگاه	آرام	۰/۰۵-۲/۱۰	۲/۱۰-۳/۶۰	۳/۶۰-۵/۷۰	۵/۷۰-۸/۸۰	۸/۸۰-۱۱/۱۰	>= ۱۱/۱۰	میانگین
جلفا	۱۶/۸	۳۷/۷	۲۰/۳	۱۵/۱	۸/۲	۱/۷	۰/۲	۳/۱
اهر	۱	۲/۹	۲/۷	۱۳/۴	۳۹/۹	۲۴/۴	۱۵/۶	۳/۵۳
فرودگاه تبریز	۳/۵	۲۷/۷	۳۲/۵	۲۴/۷	۹/۸	۰/۹	۰/۱	۳/۶۲
سهند (رادار هواشناسی)	۵/۴	۲۶/۳	۲۴/۱	۲۲/۶	۱۳/۹	۴/۹	۲/۶	۵/۲۲
سراب	۱۰/۴	۳۶/۸	۲۶/۷	۱۹/۴	۶	۰/۵	۰/۱	۲/۸۶
کلیبر	۳/۵	۲۷/۳	۳۱/۱	۳۲/۱	۵/۱	۰/۶	۰/۲	۱/۶
فرودگاه مراغه	۸/۷	۲۹/۸	۳۱/۷	۲۱/۴	۶	۰/۶	۰/۱	۳/۳۵
میانه	۲۶/۵	۳۷/۹	۲۱	۱۲/۱	۲/۴	۰/۱	۰	۲/۰۲
مرند	۲۶/۵	۳۷/۹	۲۱	۱۲/۱	۲/۴	۰/۱	۰	۲/۶۴
ورزقان	۵/۲	۳۰/۸	۳۶/۶	۲۲/۴	۲/۸	۰/۳	۰/۱	۲/۸۱
شبه‌سار	۴/۴	۳۷/۳	۳۵/۵	۱۸/۲	۳/۳	۰/۲	۰/۱	۲/۷
هریس	۲/۹	۲۶/۳	۳۲/۴	۲۸/۱	۷/۱	۱/۷	۱	۳/۸۶
شرق تبریز	۰	۶/۲	۳۲/۸	۴۰/۳	۱۷/۹	۲	۰/۲	۵/۰۵
عجب‌شیر	۲/۹	۴۳/۳	۳۴/۱	۱۱	۰/۹	۰	۰	۲/۲۶
بناب	۲۱/۴	۳۶/۸	۲۳	۱۵/۳	۳/۳	۰/۲	۰	۲/۳۵
خسروشهر	۰/۷	۲۷/۱	۲۶/۱	۱۳/۵	۶/۹	۱	۰	۷۲/۲۵
بستان‌آباد	۰/۷	۱۲/۴	۳۱/۹	۳۶/۸	۱۳/۳	۲/۹	۰/۹	۴/۹۹
چاراویماق	۰/۸	۵۸/۲	۳۳/۹	۶/۷	۰/۳	۰	۰	۲/۰۳
ملکان	۳/۹	۲۸	۳۳/۶	۲۶/۲	۷/۶	۰/۶	۰	۳/۷۳

جدول ۴. درصد تکرار باد ۸ جهت جغرافیایی در ایستگاه‌های استان

ایستگاه	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
جلفا	۱/۵۶	۳/۱۴	۴/۴	۱/۸۷	۱/۹۵	۱/۳۲	۱/۵۲	۱/۸۹
اهر	۲/۲۷	۲/۶	۲/۳۸	۲/۰۲	۳/۳۹	۴/۱۵	۳/۸۴	۳/۰۱
فرودگاه تبریز	۱/۳	۶/۶	۲۳/۵	۲/۷	۱/۳	۸	۱/۱	۰/۱
سهند (رادار هواشناسی)	۳/۱۲	۴/۷۳	۴/۰۷	۲/۰۸	۵/۵	۴/۷۶	۲/۲۵	۱/۹۱
سراب	۱/۴۴	۲/۵	۳/۱۲	۳/۰۲	۲/۳۸	۲/۷۴	۲/۳۶	۱/۷۲
کلیبر	۲/۷۵	۱/۸۷	۲/۹۲	۳/۴	۳/۵	۴/۴۵	۴/۰۵	۳/۱۶
فرودگاه مراغه	۱/۸۸	۲/۳۷	۳/۶۵	۳	۲/۷۱	۲/۳۴	۲/۳۶	۲/۳۴
میانه	۱/۲۶	۲/۴۸	۲/۲۷	۰/۹	۱/۰۸	۱/۹۵	۱/۸۱	۱/۰۶
مرند	۱/۳۹	۲/۸۵	۳/۰۹	۵/۵	۲/۷۶	۲/۸۷	۲	۱/۴۴
ورزقان	۱/۵۸	۲/۳۴	۲/۹۶	۲/۲۹	۲/۳۴	۳/۲۱	۲/۰۹	۱/۹
شبه‌سار	۲/۰۳	۳/۴۲	۲/۸۴	۲/۲۶	۲/۵۲	۲/۴	۲/۵۶	۱/۹۵
هریس	۳/۳۳	۵/۱	۴/۵۳	۵/۱۶	۴/۶۷	۳/۸۹	۳/۲۴	۲/۸۳
شرق تبریز	۳/۹۲	۵/۱	۴/۵۳	۵/۱۶	۴/۶۷	۳/۸۹	۳/۲۴	۲/۸۳
عجب‌شیر	۲/۶۹	۱/۸۲	۲/۲	۲/۲۲	۲/۲۱	۲/۲۸	۲/۰۷	۲/۱۶
بناب	۱/۸۲	۲/۵۹	۲/۷۴	۲/۱۹	۲/۳۴	۲/۱۱	۱/۸	۱/۸۳
خسروشهر	۴۴/۴۹	۴۱/۴۶	۳۷/۱۳	۱۵/۲۰	۱۹/۲۵	۴/۴۵	۴/۰۵	۳/۱۶
بستان‌آباد	۳/۳	۳/۲۵	۳/۸۳	۴/۵۷	۴/۶۳	۴/۸۵	۳/۶۷	۳/۴۵
چاراویماق	۱/۵۱	۱/۳۲	۲/۱۸	۲/۰۷	۲/۱۲	۲/۳۲	۱/۷	۱/۵۶
ملکان	۲/۳۹	۴/۴۴	۳/۷۲	۳/۰۳	۳/۱۹	۳/۸۷	۲/۶۳	۲/۶۳

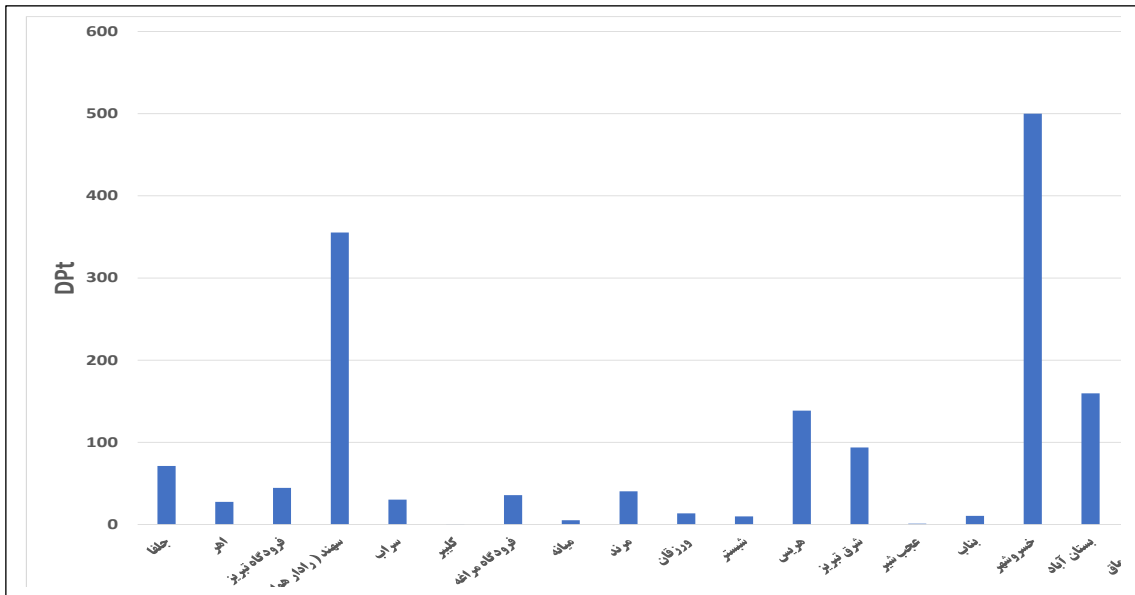
۳-۱-۲- نتایج ترسیم گلماسه

نتایج محاسبات و تهیه گلماسه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است. محاسبه DPT نشان داد که حداکثر و حداقل DPT به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های خسروشهر ($V.U > 20000$) و چاراویماق ($V.U 0.2$) است (شکل ۹). طبق طبقه‌بندی فرایبرگر و دین (جدول ۲)، پتانسیل فرسایش بادی به‌جز ایستگاه سهند و خسروشهر بالابود. جهت رانش حاصله (RDD) در منطقه مورد مطالعه نشان داد که رسوبات ماسه در خسروشهر، بستان‌آباد، عجب‌شیر، مرنده به سمت شمال، در ورزقان، اهر و هریس به سمت شمال شرقی، در فرودگاه تبریز به سمت شرق، در فرودگاه مراغه و بناب به سمت غرب، در سراب، ملکان، سهند شرق تبریز و شبستر به سمت شمال غرب، در کلیبر به سمت جنوب شرق و در میانه و جلفا به سمت جنوب غرب حرکت می‌کنند؛ و هیچ برداری به سمت جنوب نیست. تجزیه و تحلیل شاخص یک‌طرفه در منطقه نشان داد که بر اساس طبقه‌بندی فرایبرگر و دین (جدول ۲)، هریس، فرودگاه تبریز، کلیبر، میانه، عجب‌شیر، خسروشهر و چاراویماق جزء بادهای یک‌طرفه با زاویه تند بالابودند. (شکل ۷). ایستگاه‌های باد دوجهته با زاویه مات شامل سهند، سراب، شبستر، شرق تبریز، بناب بستان‌آباد و ملکان بودند و بادهای با زاویه شدید چند جهتی شامل ایستگاه‌های اهر، فرودگاه مراغه، شبستر، مرنده، ورزقان و جلفا هستند. بنابراین ریگ مقصودلو دارای باد یک‌جهتی و کویر قوم‌تپه دارای باد چند جهتی است (شکل ۷). نتایج جدول ۶ نشان داد که حداکثر دبی بیش از ۹۰۰۰ کیلوگرم بر متر بر ثانیه متعلق به ایستگاه خسروشهر بوده و در مرحله بعد متعلق به ایستگاه سهند با $351/71$ کیلوگرم متر بر ثانیه است. حداقل جریان 0.2 کیلوگرم بر متر بر ثانیه متعلق به ایستگاه کلیبر است. حداکثر جریان کل ماسه (TSF) و حداقل جریان ماسه به ترتیب $551759/2$ تن در مترمربع و $57/91$ تن در مترمربع در سال متعلق به ایستگاه‌های بستان‌آباد و کلیبر بود. از این مقدار، سالانه $25561/31$ و $47/38$ تن در مترمربع با DSF همسو می‌شد. گلباد سالانه در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که تسلط بادهای غالب بر نواحی مختلف ریگی استان متفاوت است و این به دلیل شرایط وزش باد و مورفولوژیکی منطقه است. اما جهات غالب شمال، شمال غرب و غرب بیشترین فراوانی را داشتند. اگرچه جهت باد با بیشترین بسامد و سرعت را می‌توان بر اساس گلباد نشان داد، اما تأثیرگذارترین بادهای فرسایشی و رانش ماسه را لزوماً نمی‌توان به جهت نسبت داد. بنابراین، برای تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی، نمودار گلباد کافی نیست. در عوض، ترکیب سرعت آستانه فرسایش خاک توسط باد و استفاده از نمودارهای گلماسه نیز مورد نیاز است. در تحقیق حاضر، در اکثر ایستگاه‌ها، گلباد و گلماسه در یک جهت بودند.

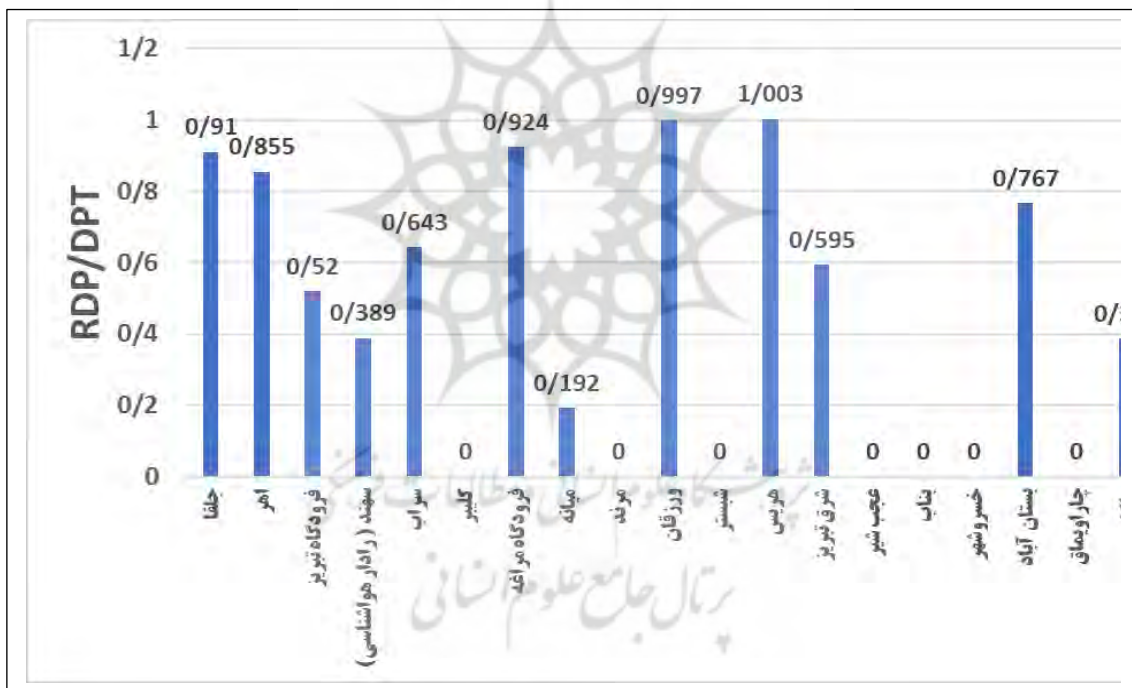
جدول ۵. مقادیر تخلیه رسوب و رسوبات منتقل شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	Qs (kg/m.s)	RQs (kg/m.s)	TSF kg/m.year	DSF kg/m.year	RDP	RDD	DPT	RDP/DPT
جلفا	۸۹/۶۵	۴/۲	۲۶۱۷۸۰/۵	۱۲۲۷۳/۵	۶۴/۷۷۷	۲۶۱	۷۱/۲	۰/۹
اهر	۴۵/۵۳	۱/۶۵	۱۳۳۹۵۵/۷	۴۸۲۸/۹	۳۳/۶۰۱	۵۴	۲۷/۶	۰/۸
فرودگاه تبریز	۶۷/۶۲	۱/۶۴	۱۹۷۴۴۲/۲	۴۷۸۹/۸	۳۳/۱۹۵	۲۷۷	۴۴/۶	۰/۵
سهند (رادار هواشناسی)	۳۵۱/۷۱	۹/۵۸	۱۰۲۶۹۷۹	۲۷۹۷۶/۷	۱۳۸/۲۲۱	۳۲۴	۳۵۵/۴	۰/۴
سراب	۴۱/۰۵	۱/۳	۱۱۹۸۷۴/۱	۳۸۰۳/۸	۱۹/۴۱۶	۵۵	۳۰/۲	۰/۶
کلیبر	۰/۰۲	۰/۰۲	۵۷/۹۱	۴۷/۳۸	۰	۲۷۰	۰/۳	۰
فرودگاه مراغه	۵۲/۶۱	۲/۲	۱۵۳۳۲۷/۸	۶۴۳۲/۵	۳۳	۲۷۰	۳۵/۷	۰/۹
میانه	۸/۱۶	۰/۰۶	۲۳۸۱۷/۱۱	۱۷۶/۸	۱	۱۸۰	۵/۲	۰/۲
مرند	۴۱	۲/۱۴	۱۱۹۷۰۹	۶۲۴۰/۸	۳۴/۱۳۲	۵	۴۰/۴	۰/۸
ورزقان	۱۹/۸۱	۰/۹	۵۷۸۳۵/۸۶	۲۶۱۳/۴	۱۳/۴۵۴	۴۲	۱۳/۵	۰/۱
شبستر	۱۶/۶۲	۰/۲۴	۴۸۵۳۴/۱۸	۶۹۲/۰	۳/۶۰۶	۳۲۶	۹/۸	۰/۴
هریس	۱۳۹/۵	۹/۷۹	۴۰۷۳۳۵/۵	۲۸۵۹۹/۲	۱۳۹	۱۸۰	۱۲۸/۶	۱/۰
شرق تبریز	۱۳۲/۸۶	۳/۹۶	۳۸۷۹۳۷/۲	۱۱۵۵۱/۵	۵۵/۷۸۵	۲۸۵	۹۳/۸	۰/۶
عجب‌شیر	۱/۹۱	۰/۰۳	۵۵۶۷/۴۹	۹۰/۴	۰	۲۷۰	۱	۰
بناب	۱۶/۶۴	۰/۴۲	۴۸۶۰۰/۴۵	۱۲۱۶/۲	۷	۲۷۰	۱۰/۵	۰/۷
خسروشهر	۹۹۹۹۲۷/۴۴	۱۲۴۴۰۰/۰۳	۲۹۱۱۹۲/۹	۳۶۳۳۴۸۱/۰	۰	۲۷۰	۲۰۸۷۴۷۷	۰
بستان‌آباد	۱۸۸/۹۶	۸/۷۵	۵۵۱۷۵۹/۲	۲۵۵۶۱/۳	۱۲۲/۴۸۳	۱۴	۱۵۹/۷	۰/۷
چاراویماق	۰/۴	۰/۰۱	۱۱۵۷/۶۴	۳۴/۰	۰	۲۷۰	۰/۲	۰
ملکان	۴۵/۶۲	۰/۷۲	۱۳۳۲۱۱/۷	۲۰۸۹/۰	۱۰/۸۱۷	۳۰۴	۲۷/۹	۰/۴

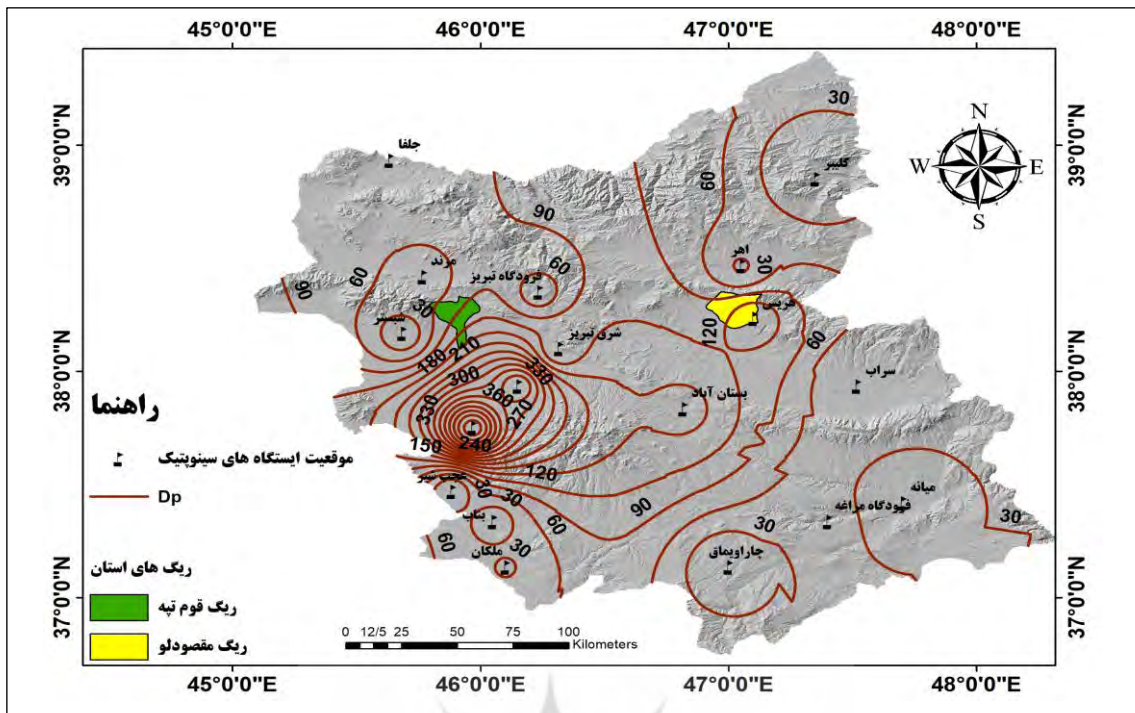
1. Resultant Drift Direction



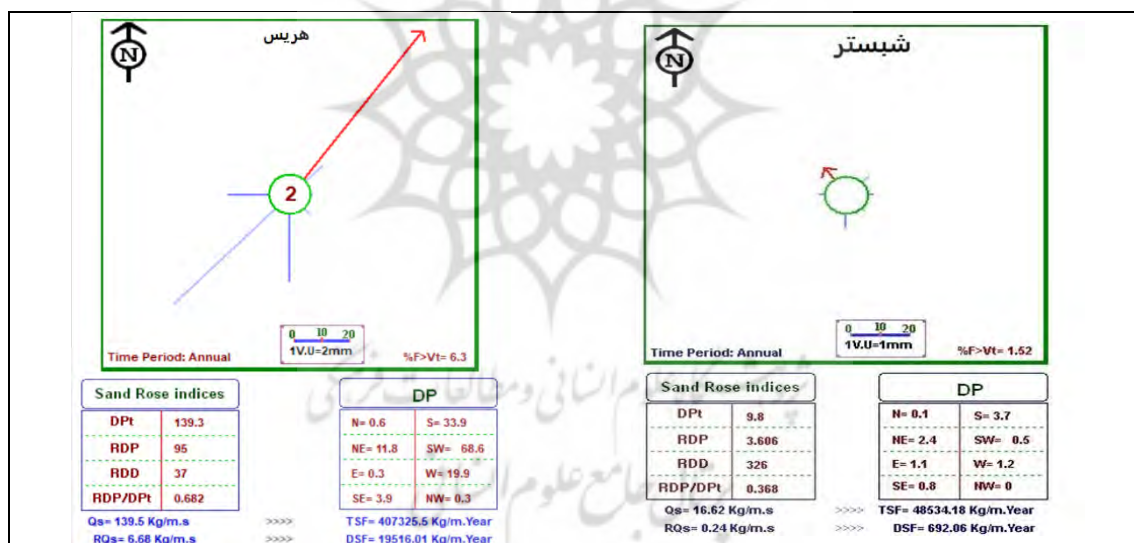
شکل ۷. نمودار پتانسیل رانش ماسه (DP) در ایستگاه های سینوپتیک استان آذربایجان شرقی



شکل ۸. نمودار نسبت DP به RDP در ایستگاه های سینوپتیک استان آذربایجان شرقی



شکل ۹. پتانسیل رانش در ریگ‌های استان آذربایجان شرقی



شکل ۱۰. نمودار گلماسه ایستگاه‌های مورد مطالعه

بیشترین میزان حمل ماسه در منطقه توسط بادهای با سرعت متوسط و فراوانی بالا رخ داده است. این نتیجه برخلاف تصویری است که در مورد بادهای لحظه‌ای و طوفانی ذکر شد، زیرا بادهای با سرعت کمتر از سرعت آستانه فرسایش حذف شده و بادهای با سرعت بالا به دلیل بسامد کم نقش قابل توجهی در تشکیل تپه‌های ماسه‌ای مقصودلو و قوم‌تپه نداشته‌اند. با توجه به شاخص تک جهتی، نوع رژیم باد تأثیرگذار در تشکیل تپه‌های ماسه‌ای و مورفولوژی رسوب قابل پیش‌بینی است؛ به عبارت دیگر با دانستن شاخص یک طرفه باد، نوع بادهای یک طرفه و دوطرفه در هم جهت یا مخالف یا چند جهتی، بدیهی است که این موضوع یکی از عوامل تأثیرگذار در شکل‌گیری ریگ‌های آذربایجان است. وجود تپه‌های عرضی در ریگ مقصودلو مؤید این موضوع است (شکل ۱۱)؛ اما در ریگ قوم‌تپه به دلیل عدم مدیریت صحیح و برداشت بی‌رویه اشکال ژئومورفولوژی قابل تشخیص نبودند (شکل ۱۲).

۳-۲- تخمین میزان فرسایش

تحرک، مهم‌ترین ویژگی تپه‌های ماسه‌ای است (Mohammadi et al., 2017). جابه‌جایی ماسه‌های بادی حاصل فرسایش باد است؛ لذا کنترل سرعت و میزان جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای در مناطق کوهستانی با توجه به اینکه اکثر زمین‌ها برای زراعت مناسب است برای جلوگیری از آسیب و خسارت‌های ناشی از آن لازم و ضروری است.



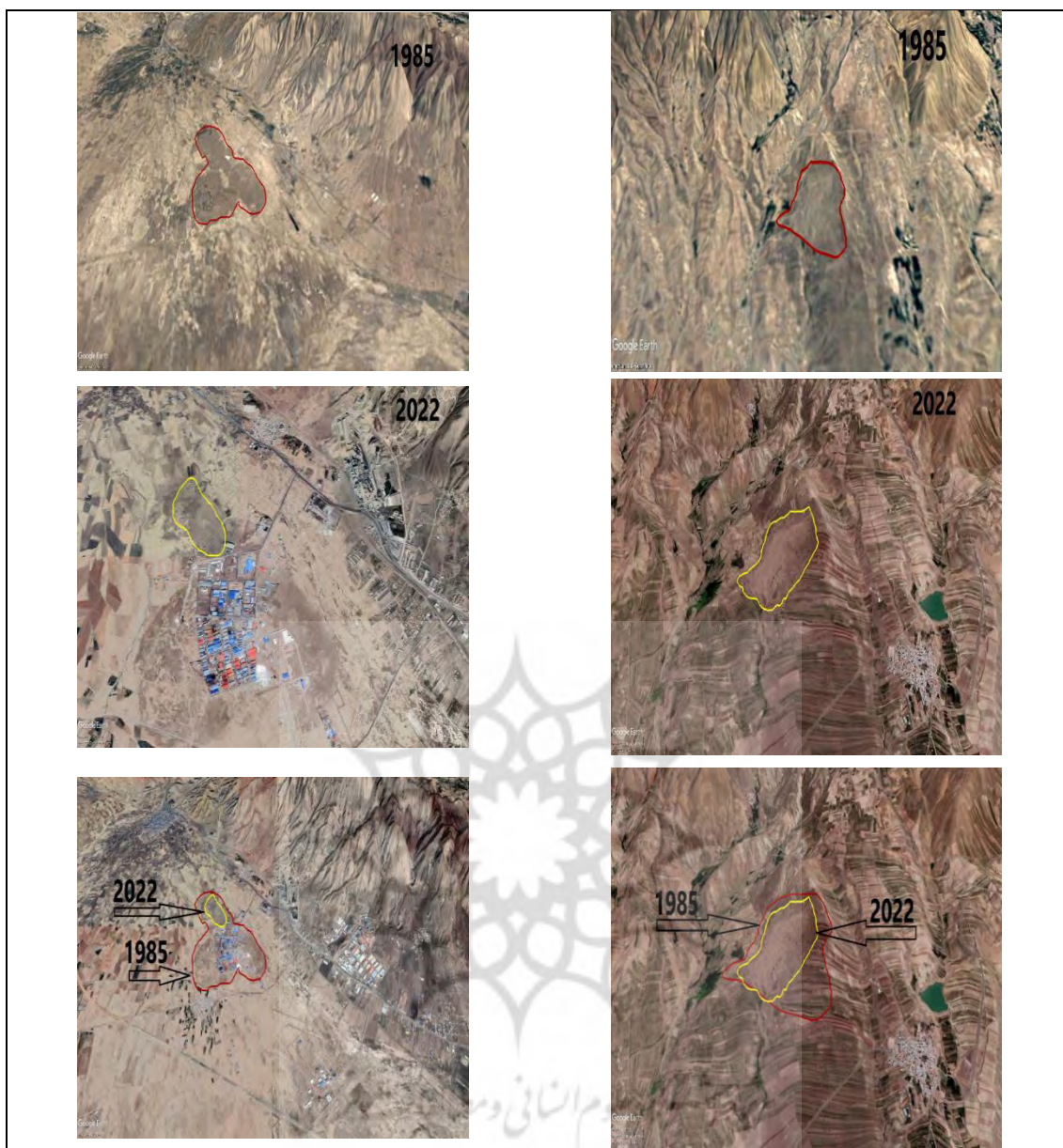
شکل ۱۱. تپه‌های عرضی ریگ مقصودلو

شکل ۱۲. برداشت بی‌رویه از ماسه‌های قوم‌تپه و برهم زدن مورفولوژی ریگ

برای تخمین میزان جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای مقصودلو و قوم‌تپه از تصاویر Google Earth سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۲۲ استفاده شد (شکل ۱۳ و ۱۴). میزان جابه‌جایی برای ریگ مقصودلو سالانه ۷/۳۱ متر تخمین زده شد (شکل ۱۳) و برای ریگ قوم‌تپه متأسفانه جابه‌جایی قابل‌اندازه‌گیری نیست. به دلیل دخل و تصرف در محدوده ریگ قوم‌تپه با احداث شهرک صنعتی و نیز همچنان که در قبل اشاره شد برداشت بی‌رویه و ضعف مدیریتی در حفظ و نگهداری از این میراث طبیعی تا چند سال آینده به‌طور کامل از بین خواهد رفت (شکل ۱۴) (جدول ۷).

جدول ۶. جدول مساحت و تغییرات ریگ‌های مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی

ریگ	تاریخ	مساحت (کیلومتر مربع)	تغییرات مساحت به درصد
قوم‌تپه	۱۹۸۵	۱۰/۸	۷۲/۴۱
	۲۰۲۲	۲/۹۸	
مقصودلو	۱۹۸۵	۵/۱۲	۲۶/۹۵
	۲۰۲۲	۳/۷۴	



شکل ۱۴. ریگ قوم تپه

شکل ۱۳. ریگ مقصودلو

۴- بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق رصد و پایش میزان و جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای و میزان تخریب زمین‌های اطراف به طور سالانه است. این تپه‌ها نیز به‌مانند تپه‌های ماسه‌ای جهت و سمت رو به باد دارای شیب ملایم و سمت پشت به باد دارای شیب تند است. منشأ ماسه‌های بادی منطقه با توجه به جهت باد غالب که عمدتاً شمالی است، همچنین وجود رسوبات ریزدانه در انتهای مخروط افکنه‌های منطقه و محل پخش سیلاب‌های صفحه‌ای می‌توان گفت که قسمت اعظم ماسه‌های منطقه از محل گسترش سیلاب‌های صفحه‌ای و انتهای مخروط افکنه‌ها که رسوبات ریزدانه را فراهم می‌آورند، تأمین می‌شود. تثبیت این تپه‌ها یکی از اهداف اصلی برنامه‌های بیابان‌زدایی در نیم‌قرن گذشته در ایران بوده است. بر این اساس، شناسایی مناطق دارای تپه‌های ماسه‌ای فعال در اولویت‌بندی اقدامات پایش و تثبیت از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق سعی شده است با استفاده از تصاویر Google Earth و داده‌های سینوپتیک هواشناسی و محاسبات کمی، میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای، سرعت و حرکت آن‌ها و همچنین عوامل مؤثر بر شدت و الگوی حرکت آن‌ها شناسایی شود. بر این اساس میزان جابه‌جایی مربوط به ریگ مقصودلو سالانه $7/31$ متر تخمین زده شد

و میزان حرکت تپه‌های ماسه در ریگ قوم‌تپه به دلیل ضعف مدیریتی در حفظ ماسه‌های منطقه به دلیل برداشت‌های بی‌رویه برای کارخانه‌های شن و ماسه قابل پیش‌بینی نیست (شکل ۱۰). بر اساس این تحقیق منبع تأمین ماسه ریگ مقصودلو با توجه به باد غالب منطقه، کوه سهند و ریگ قوم‌تپه، دریاچه ارومیه تشخیص داده شد. میزان فرسایش و تغییر مساحت در ریگ قوم‌تپه در مقایسه با ریگ مقصودلو از روند بیشتری برخوردار بوده و از سال ۱۹۸۵ به فاصله زمانی ۳۷ سال ۷۲/۴۱ درصد برای قوم‌تپه و ۲۶/۹۵ درصد برای ریگ مقصودلو برآورد شد. این استان با توجه به نوع آب‌وهوای حاکم بر آن و نیز در سال‌های اخیر خشک شدن دریاچه ارومیه آن را مستعد ایجاد مناطق ریگی کرده است. با توجه به این که شغل اصلی مردم این مناطق کشاورزی است و زمین‌های زراعی برای آن‌ها ارزشمند است؛ لذا با تخریب محیط‌زیست کوهستان در اثر حرکت تپه‌های ماسه‌ای نه تنها زندگی انسانی به خطر می‌افتد بلکه هدف رسیدن به توسعه‌ی مداوم و پایدار با مشکل روبه‌رو می‌شود که از پیامدهای آن می‌توان به مهاجرت روستائیان به شهرها، کمبود مواد غذایی و فقر شدید را نام برد. چنانچه به صورت علمی و جدی برای رفع مشکلات آن‌ها چاره‌اندیشی نشود در دراز مدت با فاجعه انسانی و زیست‌محیطی روبه‌رو خواهیم شد؛ لذا پیشنهاد می‌گردد مرکز مطالعات بیابان در این استان تشکیل شود و نسبت به مطالعه و برنامه‌ریزی برای مقابله با توسعه‌ی مناطق ریگی در استان آذربایجان شرقی پردازد و خلأ مطالعاتی و کمبود منابع تحقیقاتی در خصوص ریگ‌های شمال غرب کشور مخصوصاً استان آذربایجان شرقی که در طول تحقیق باعث مشکلات عدیده‌ای می‌شد برطرف گردد.

۵- سپاس‌گزاری

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

۶- فهرست منابع

- احمدی، حسن & مصباح‌زاده، طیبه. (۱۳۹۰). مقایسه مقادیر توان حمل ماسه برآورد شده به دو روش سرعت‌های لحظه‌ای و روش کلاس‌های سرعت فرایبرگر با استفاده از نرم‌افزار گلماسه‌نما (مطالعه موردی: جاسک و کرمان). آب و خاک، ۲۵(۱)، ۲۵-۲۰. doi: 10.22067/jsw.v0i0.8500
- اختصاصی، محمدرضا و صارمی نایینی، محمدعلی و صارمی نایینی، عبدالله، ۱۳۸۴، طراحی نرم‌افزار گلماسه‌نما (sand rose graph) (2.0) پردازشگر توان فرسایش خاک و حمل رسوب توسط باد، اولین همایش ملی فرسایش بادی، یزد، <https://civilica.com/doc/101053>
- خلیلی، علی، درویش صفت، علی اصغر، برادران راد، رضا و بذرافشان، جواد. (۱۳۸۳). پیشنهاد روش برای پهنه‌بندی اقلیمی در محیط GIS (مطالعه موردی شمال غرب ایران در سیستم سلینینف). بیابان، ۹(۲)، ۲۲۷-۲۳۸. <https://sid.ir/paper/5368/fa>. SID. م. ر. رجبی، ف. روحانی، ک. مختاری، (۱۳۸۶). تحلیل مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای منطقه زابل و زهک با استفاده از نمودار گلماسه، پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، ۵(۱)، ۱-۱۴، magiran.com/p649932
- مرضیه مکرّم، سعید نگهبان، (۱۳۹۳). طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) مطالعه موردی: منطقه جنوبی شهرستان داراب، نشریه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۳(۹۲)، ۵۷-۶۵. magiran.com/p1416786
- ممقانی، عباس، زارع احمدآباد، محسن & مقصودی، مهران. (۱۳۹۸). منشأیابی ماسه‌های بادی با استفاده از کانی‌شناسی و مورفوسکوپی دانه‌های ماسه (مطالعه موردی: قوم تپه صوفیان - شمال دریاچه ارومیه). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۸(۳)، ۷۷-۹۵. doi: 10.22067/geo.v8i3.81703
- مهران مقصودی، محمد فتح‌الله‌زاده، حمید گنجائیان، (۱۴۰۰). پایش تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابه‌جایی و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در ریگ لوت، نشریه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۰(۱۱۸)، ۱۱۳-۱۲۶. magiran.com/p2322375
- یوسفی مبرهن، ابراهیم، قدرتی، منصور، خسروشاهی، محمد. (۲۰۲۱). پایش و پیش‌بینی عوامل اقلیمی موثر بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای استان سمنان. حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی)، ۴(۱۰)، ۱۲۷-۱۴۲. <https://sanad.iau.ir/journal/wsra/Article/18085?jid=18085>

References

- Abbasi, H. & Rohipour, H. (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>
- Ahmadi, H. (1391). *Applied Geomorphology*, University of Tehran.
- Ahmadi, H. and T. Mesbahzadeh (2011). Comparison of Sand Drifts Potential Stimating, Using Momentum Method and Fryberger Velocity Classes Method (Case Study: Jask and Kerman). *Water and Soil* 25(1):11-18. 10.22067/jsw.v0i0.8500 [in persian]
- Ekhtesasi, M., et al. (2002). Design of sand rose graph 2.0 software fo processing soil erosion and sediment transport by wind, 1st National Conference on Wind Erosion and Dust Storms.46-54. <https://civilica.com/doc/101053/> [in persian]
- Fitzsimmons, K. E., et al. (2020). Intersections between wind regimes, topography and sediment supply: Perspectives from aeolian landforms in Central Asia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 540: 109531,1-19. 10.17632/6t3kg4v7vb.1
- Fryberger, S., & Dean, G. (1979). *Dune forms and winds regims*. Washington.
- G. Philip, O.E.A. Attia, M.Y. Draz, and M.S. El Bann,(2004). Dynamics of sand dune movement and their environmental impacts on the reclamation area in new SINAI,EG.Proceeding of the 7th Conf. Geology of Sinai for Development Ismailia, 2004, pp. 169- 180. <https://www.researchgate.net/publication/258770267>
- Gill, T. Kandakji, T. & Lee, J. (2020). Identifying and characterizing dust point sources in the southwestern United States using remote sensing and GIS. *Geomorphology* 353 107019. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.107019>
- HerHer, M. (2010). Sand movement patterns in the Western Desert of Egypt: an environmental concern. *Environmental Earth Sciences* 59:1119–1127. 10.1016/j.jaridenv.2021.104451
- Khalili,A. Darvish Sefat,A. Baradran Rad,R. Bazarrafshan,J.(2004). a method for climatic zoning in GIS environment, a case study of northwest Iran in the Selianinov system. *Journal of DESERT (BIABAN)* 9(2):227-238. <https://sid.ir/paper/5368/fa> [in persian]
- Lancaster, N. (1983). Controls of Dune Morphology in the Namib Sand Sea. *Developments in Sedimentology*, Volume 38, 1983, Pages 261-289. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(08\)70799-4](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(08)70799-4)
- Lettau K., and Lettau H. H. 1978. A note on the use of the "Fryberger method" for evaluating potential sand transport by wind. *Journal of Sedimentary Research* 67 (3): 499–501. <https://doi.org/10.1306/D42685A9-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- M.R. Rajabi, F. Rouhani, K. Mokhtari (2006). Analysis of the morphology of sand dunes in Zabol and Zahk region using sand Rose diagram. *Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Year 5, Issue 1, Page 1-14. magiran.com/p649932 [in persian]
- Maghsoudi, M. Navidfard, A. & Mohammadi, A. (2017). The sand dunes migration patterns in Mesr Erg. *Spring Vol. 3, No. 1, Winter & Spring* , pp. 33-43. DOI: 10.22059/jnec.2017.225011.6
- 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. <http://magiran.com/p2322375> [in persian]
- Mahmoudi, F. (1994). *Geographical distribution of important sand dunes in Iran*, Geographical research. (Vol. 1).Azmon Publications
- Mamqani Benabi Abbas, Mohsen Zare Ahmedabad Mohsen, Mehran Maghsoudi Mehran (2019). Provenance of wind sands using mineralogy and morphoscopy of sand grains (Case study: Sufian Hill tribe - north of Lake Urmia). *Geography and Environmental Hazards*, Number 31, Pages 77-95. DOI: 10.22067/geo.v8i3.81703 [in persian]
- May, J.H. (2013). Dunes and dunefields in the Bolivian Chaco as potential records of environmental change. *Aeolian Research* 10: 89–102. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.04.002>
- Mesbahzadeh, T. & Ahmadi, H. (2012). Investigation of sand drift potential (Case study: Yazd – Ardakan Plain). *J. Agr. Sci. Tech* Vol. 14: 919-928. <https://www.researchgate.net/publication/285965100>
- Mokarram,M. , et al.(2014). Landform classification using the topographic position index (TPI)(Case Study: The southern district of Darab city). *Scientific* 1-14. <http://magiran.com/p1416786> [in persian]
- Parsamehr, A. H., et al. (2018). Analysis of Erosive Winds and Sand Drift Potential in Central Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal* 1(2): 1-10. DOI: 10.22052/jdee.2018.105704.102
- Ping, L. & Zhibao, D. (2016). Unravelling raked linear dunes to explain the coexistence of bedforms in complex dunefields. *NATURE COMMUNICATIONS*.Article number: 14239,pp.1-9. DOI: 0.1038/ncomms14239

- Refahi, H. q. (1999). Wind erosion and its control, University of Tehran Printing and Publishing Institute. URL: <http://dml.sanru.ac.ir/article-1-166-en.html>
- Ruiping Zu, Xian Xue et al, (2008). Characteristics of near-surface wind regimes in the Taklimakan Desert, China. *Geomorphology* Volume 96, Issues 1–2, 1 April 2008, Pages 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.07.008>
- Stone, A. (2013). Age and dynamics of the Namib Sand Sea: A review of chronological evidence and possible landscape development models. *Journal of African Earth Sciences* Volume 82, Pages 70-87 <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2013.02.003>
- Tsoar, H. (2005). Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Phys* Volume 357, Issue 1, Pages 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.05.067>
- Xie, S. (2021). The mechanism of sand damage at the Fushaliang section of the Liuyuan–Golmud expressway. *Aeolian Research* Volume 48, 100648. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100648>
- Yang, H. & Cao, J. (2019). Characteristics of Aeolian Dune, Wind Regime and Sand Transport in Hobq Desert, China. *Applied Science*. 9, 5543, pp.1-21 <https://doi.org/10.3390/app9245543>
- Yousefi Mobarhan, E., et al. (2021). Monitoring and Forecasting of Effective Climatic Factors on the Mobility of Sand Dunes in Semnan province. *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 10(4): 127-142. <https://doi.org/10.30495/wsrsj.2021.18085> [in persian]
- Zhengcai, Z. Zhibao, D. & Aiguo, Z. (2016). The effect of the time interval used to calculate mean wind velocity on the calculated drift potential, relative drift potential, and resultant drift direction for sands from three deserts in northern China. *Theor Appl Climatol* 123:151–160. <https://doi.org/10.22067/geo.v8i3.81703>

