Analysis of the Sand Dunes Mobility Based on Climate Elements in East Azerbaijan Province

Jamshid Yarahmadi [a,*], Mehdi Eslahi [b], Hoshang Behrawan [a] Mohammad Khosrowshahi [c]

[a] *Assistant Professor, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran*
[b] *Researcher, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran*
[c] *Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.*

Research Full Paper

Article History (Received: 2023/11/29 Accepted: 2024/02/8)

Extended abstract

1- Introduction

Dunes are one of the most important and sensitive landforms sensitive to wind erosion. Their activity level varies depending on the intensity of various climatic and terrestrial factors. Dust caused by wind erosion in the area of dunes is one of the most important dangers and serious challenges in arid and semi-arid regions of the world, which has been aggravated by climate changes in recent years. Due to the location of IRAN in the dry and semi-arid belt, it has been exposed to numerous local and extra-local dust systems. Dust storms have been a serious crisis in the country's provinces for the past few years and have brought dangerous consequences for the residents of these provinces in terms of environment, health, and economy. The prolonged recent droughts in East Azerbaijan and the drying up of Lake Uremia have made the threat of sand and salt storms in the coastal areas of Lake Uremia possible. The purpose of this research was to introduce the dunes in the Uremia Lake basin in East Azerbaijan province, where the mobility of dunes was determined using the Lancaster index, and the level of their future activity was predicted by carrying out a sensitivity analysis.

2- Methodology

The dunes in the Lake Uremia basin in East Azarbaijan province were identified through the literature review and field visits, and then, using Google Earth images, their area was verified and then their spatial distribution map was prepared in the ArcGIS software environment. In the present project, the sand dunes of Shush Qom located in the village of Maqsoodlou and Gildir in the political area of Harris County are reported for the first time. Here, the mobility of sand dunes in the study area is calculated based on the Lancaster index. To calculate this index, meteorological data from the last 30 years of synoptic weather stations near the studied sand dunes have been used. Blaney Kridel method was used to calculate the annual potential evapotranspiration, and its calculations were done in the R program environment separately for each meteorological station. Also, the frequency of winds with a speed higher than the erosion threshold speed (6 m/s) at a height of 10 meters from the ground is considered. After calculating the amount of sand dunes mobility, the sensitivity analysis method has been used to reveal the possible effects of climatic change elements on the mobility of sand dunes.

3- Results

The results showed that the sand dunes of Qom Tepeh, located on the edge of Lake Urmia and west of Tabriz metropolis, were active in 81% of the last 30 years, and in other words, they were not active in only 19% of the statistical period. Also, the results of the Lancaster index indicate the intensification of

* **Corresponding Author: J.yarahmadi@areeo.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

the mobility of the sands in the Qom Tepeh dunes in recent years. This fact can be justified in the form of the prolonged of droughts and the expansion of the dry areas of the Uremia lake bed; Also, field observations indicate the instability of the surface of these dunes due to the indiscriminate extraction of sand from these hills for use in the sand brick production plant and other agricultural and industrial uses. The dominant wind direction of Shush Qom region is south-southwest and winds with intensity greater than (>6m/sec) constitute about 12% of all observed winds at the Harris synoptic station. Based on the results of the Lancaster index, the dunes of the Shush Qom region have been active in half of the studied period; Of course, the short statistical period of the Harris station (last 12 years) has prevented a detailed analysis of the past behavior of this sandy area. In both study sites, the activity of the sands was mainly limited to the top of the dunes. Despite observing a direct relationship between the Lancaster index with the frequency of winds above the threshold of erosion and evapotranspiration and an inverse relationship with precipitation, the sensitivity of the Lancaster index to the decreasing or increasing changes of climate variables is not the same in the mentioned sites.

4- Discussion & Conclusions

Sand dunes are one of the famous geomorphological forms in arid and semi-arid regions of the world, and their activity has intensified with climate changes in recent years. Therefore, investigating and monitoring the behavior of this phenomenon in terms of its impact on the emergence and escalation of the dust phenomenon is an undeniable necessity to reduce the effects of environmental crises. Even though today the Lancaster index is widely used in discussions related to the monitoring of sand dune activity in different weather conditions around the world, it is necessary to mention the lack of proper spatial distribution of weather stations and the short period of statistical observation. Also, the use of data from meteorological stations that are located further away from the sandy areas, makes the accuracy and correctness of the calculations of the Lancaster index doubtful, and the results should be evaluated with field observations and other valid scientific documents. On the other hand, in addition to analyzing the sensitivity of the Lancaster index, it is necessary to use the results of different climate change scenarios and appropriate downscaling methods in revealing the climate data changes affecting the Lancaster index in predicting the future behavior of sand dunes.

Key Words: Climate changes, East Azerbaijani, Tabriz, Lancaster index, Sand dunes

Cite this article: Yarahmadi, J., Eslahi, M., Behrawan, H.,& Khosroshahi, M. (2024). Analysis of the sand dunes mobility based on climate elements in the East Azerbaijan Province. *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2024; 14 (2) :1-18*. http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

تحلیل فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در ارتباط با عناصر اقلیمی در استان آذربایجان شرقی

جمشید یاراحمدی*: *استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران*
مهدی اصلاحی: *محقق پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران*
هوشنگ بهروان: *استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران*
محمد خسروشاهی: *استاد پژوهش، بخش تحقیقات بیابان،مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹)
DOI: http//doi.org/

چکیده

باتوجه به خسارات شدید پدیده گرد و غبار ناشی از فعالیت تپه‌های ماسه‌ای به زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌های روستایی و سلامت انسان‌ها، شناسایی توزیع مکانی تپه‌های ماسه‌ای فعال و پایش میزان فعالیت آنها از ملزومات مهم برای کاهش این آسیب‌ها می‌باشد. این تحقیق با هدف معرفی، پایش فعالیت‌ها و میزان تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای موجود در حوزه دریاچه ارومیه در استان آذربایجان‌شرقی انجام گرفته است. بدین منظور، ابتدا نقشه توزیع مکانی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده اطلاعات موجود در محیط گوگل ارث و مشاهدات میدانی در محیط GIS تهیه گردید. در ادامه، براساس داده‌های بلند مدت ساعتی سرعت باد، دمای هوا، بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل، شاخص لنکستر در ایستگاه‌های هواشناسی مجاور تپه‌های ماسه‌ای محاسبه شده و با انجام تحلیل حساسیت، میزان تحرک‌پذیری آتی آنها پیش‌بینی شده است. نتایج نشان داد که فعالیت تپه‌های ماسه‌ای موجود در هر دو سایت مورد مطالعه عمدتاً در محدوده راس تپه‌ها اتفاق افتاده است. علیرغم مشاهده رابطه مستقیم بین شاخص لنکستر با فراوانی بادهای بالاتر از آستانه فرسایش و تبخیر و تعرق و رابطه معکوس با بارش، حساسیت شاخص لنکستر نسبت به تغییرات کاهشی یا افزایشی متغییرهای اقلیمی در سایت‌های یاد شده یکسان نبوده است. همچنین، فعالیت تپه‌های ماسه‌ای گستره قوم تپه در سال‌های اخیر روند افزایشی داشته و این واقعیت احتمالاً در قالب تداوم خشکسالی‌ها و گسترش پهنه‌های خشک بستر دریاچه ارومیه قابل توجیه است. باتوجه به موقعیت مکانی کلانشهر تبریز نسبت به این گستره ماسه‌ای و غالب بودن بادهای شرقی بالاتر از آستانه فرسایش بادی در این منطقه، لزوم پایش گرد و غبارهای ناشی از فعالیت این گستره ماسه‌ای بر کیفیت هوای کلانشهر تبریز بسیار ضروری است.

واژگان کلیدی: آذربایجان‌شرقی، شاخص لنکستر، تبریز، تپه‌های ماسه‌ای، تحرک‌پذیری

* **نویسندهٔ مسئول:** J.yarahmadi@areeo.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

۱ـ مقدمه

گرد و غبار ناشی از فرسایش بادی در گستره تپه‌های ماسه‌ای، یکی از مهم‌ترین مخاطرات و چالش‌های جدی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است که با تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر تشدید شده است (Goudie, 2014). این در حالیست که مناطق خشک جهان ۴۱٪ از سطح زمین و ۲ میلیارد نفر از جمعیت جهان (که ۹۰٪ آنها در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند) را به خود اختصاص داده است (Teng et al., 2021). این پدیده در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را به خود معطوف داشته و همه ساله خسارات و تلفات فروانی در تمام نقاط جهان به وجود آورده است. این در حالی‌است که مناطق خشک جهان ۴۱٪ از سطح زمین و ۲ میلیارد نفر از جمعیت جهان (که ۹۰٪ آنها در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند) را به‌خود اختصاص داده است (Teng et al., 2021). این پدیده در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را به خود معطوف داشته و همه ساله خسارات و تلفات فروانی در تمام نقاط جهان به وجود آورده است.

مساحت بیابان‌های ایران از نظر اقلیمی ۷۰۰ هزار کیلومتر مربع بوده که حدود ۴۲/۵ درصد از مساحت این کشور را شامل می‌شود (Khosroshahi et al., 2009). تپه‌های ماسه‌ای در سراسر مناطق خشک و به ندرت نیمه خشک ایران پراکنده است. در این میان، اغلب تپه‌های ماسه‌ای ایران در لوت، دشت کویر، سیستان، جازموریان، خوزستان، مناطق ساحلی دریای عمان و خلیج فارس گسترش یافته‌اند (Abbasi, 2019). ایران به علت قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک در معرض سیستم‌های متعدد گرد و غبارهای محلی و فرامحلی قرار گرفته است (Rashki et al., 2013). توفان‌های گرد و غبار در کشور ما، طی چند سال اخیر به صورت بحران جدی استان‌های کشور را درگیر نموده و پیامدهای خطرناکی را در زمینه‌های زیست محیطی، بهداشتی و اقتصادی برای ساکنین این استان‌ها به بار آورده است (Karimi et al., 2011). تداوم خشکسالی‌های اخیر در گستره آذربایجان‌شرقی و خشک شدن دریاچه ارومیه، احتمال بروز طوفان‌های ماسه‌ای و نمکی در مناطق ساحلی دریاچه ارومیه را بطور جدی افزایش داده است. نظری سامانی و همکاران با بررسی تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری بادی اراضی حاشیه دریاچه ارومیه نشان دادند که اراضی قسمت‌های جنوب‌شرقی جزیره اسلامی و شمال‌غرب دریاچه ارومیه از حساسیت بیشتر برخوردار است. همچنین بیشترین مقدار پتانسیل حمل ماسه به ترتیب در ایستگاه‌های تبریز، خوی و ارومیه است. بر پایه وجود منابع تولید ماسه و انرژی باد در قسمت‌های غربی و شمال‌غربی دریاچه ارومیه، امکان شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای و فرسایش بادی در این مناطق وجود دارد (Nazari Samani et al., 2020).

فعالیت تپه‌های ماسه‌ای به‌عنوان تغییرات در میزان جابجایی ماسه‌ها در سطح تپه و یا نرخ انتقال آنها به محیط اطراف آن تعریف می‌شود (Thomas, 1992). یکی از اولین مدل‌های مربوط به فعالیت تپه‌های شنی از طرف ویلسون[1] ارائه شده که در آن، میانگین بارندگی سالانه به عنوان عامل تعیین کننده تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در نظر گرفته شده است (Wilson, 1973). در مقیاس جهانی، ایشان با استفاده از آستانه بارش ۱۵۰ میلیمتر، تپه‌های ماسه‌ای فعال را از تپه‌های تثبیت شده تفکیک کرده است. شاخص تحرک‌پذیری دیگری براساس میزان بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی از طرف اش و واسون[2] در سال ۱۹۸۳ ارائه گردید (Ash and Wasson, 1983) که بعداً با اضافه کردن فراوانی بادهای با سرعت بالاتر از آستانه انتقال توسط واسون (۱۹۸۴) اصلاح گردید (Wasson, 1984). این معادله در سال ۱۹۸۷ توسط

[1] .Wilson
[2] .Ash and Wasson

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

لنکستر[1] برای مطالعه تپه‌های ماسه‌ای در جنوب‌غربی کالاهاری بکار گرفته شد. یکسال بعد او شاخص تحرک پذیری تپه‌های ماسه‌ای را براساس نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق بالقوه سالانه به عنوان شاخص خشکی (P/PET) و درصد فراوانی بادهای با سرعت بیشتر از آستانه فرسایندگی ساده کرد (Lancaster, 1988). امروزه از شاخص لنکستر بطور گسترده‌ای در مباحث مربوط به پایش فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در شرایط مختلف آب و هوایی در سراسر جهان استفاده می‌شود (Abbasi et al., 2019). در سال‌های اخیر، یک مدل تجربی از طرف تسوار[2] مبتنی بر این فرض که توان باد مهم‌ترین عامل فعالیت تپه‌های ماسه‌ای بوده ارائه شد. از این‌رو، در مدل وی از ویژگی‌های باد موثر برای ارزیابی سایت‌های ماسه‌ای استفاده می‌کنند (Tsoar, 2005). یزاق[3] و همکاران یکی از جدیدترین مدل‌های ریاضی را برای شبیه‌سازی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای براساس توان باد و پوشش گیاهی توسعه داده و سپس آن را بر اساس قدرت باد و نرخ بارندگی در شرایط آب و هوایی مشابه بهبود بخشیده اند. در این مدل‌ها، نیروی باد ظرفیت انتقال شن و ماسه را تعیین می‌کند، در حالی که پوشش گیاهی، که به نوبه خود توسط بارش کنترل می‌شود، میزان ماسه موجود برای حمل و نقل را تعیین می‌کند (Yizhaq et al., 2009).

تپه‌های ماسه‌ای عمدتاً به عنوان تابعی از نیروی باد و پوشش گیاهی ممکن است ثابت، فعال یا تا حدی فعال باشند. این احتمال وجود دارد که تمامی تپه‌های ماسه‌ای ثابت فعلی، در گذشته فعال بوده و با تغییر آب و هوا تثبیت شده اند. اکثر دانشمندان از تغییر آب و هوا به عنوان تغییر در میزان بارندگی و دما یاد می‌کنند که دو عنصر مهم آب و هوایی هستند که رشد پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین، تغییرات اقلیمی در حال انجام ممکن است برخی از تپه های شنی ثابت فعلی را به تپه های فعال تبدیل کند و بالعکس(Tsoar, 2013).

مطالعات حرکت تپه‌های ماسه‌ای، پایه و اساس شناخت فرایندهای بادی و مقادیر انتقال ماسه را فراهم می‌سازد. در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری در زمینه شناخت فرایندهای تپه‌های ماسه‌ای صورت پذیرفته که در بر گیرنده مطالعه بادها و حرکت ماسه‌ها در تپه‌های مختلف بوده و پیشرفت‌های مهمی نیز در این زمینه حاصل شده است (Tavakkoli Fard et al., 2015).

ممقانی بنابی و همکاران اقدام به بررسی‌های کانی‌شناسی به منظور منشآ یابی و تحلیل مقطع تپه‌های ماسه‌ای صوفیان نموده و علت اصلی شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای این منطقه را برآیند بادهای غالب و ماسه‌های ریزدانه دانسته‌اند که در نتیجه حمل آنها توسط باد و آب تشکیل شده است. ایشان بالا بودن نسبت ذرات ماسه‌های کمتر از ۲۵۰ میکرون، ضعف پوشش گیاهی و جهت بادهای غالب محلی را عامل اصلی غالبیت فرسایش بادی این منطقه بیان کرده‌اند (Mamagane et al., 2018). فرسایش به عنوان یک عامل ثانویه، رسوبات با اندازه ماسه بادی را به منطقه تپه‌های شنی منتقل کرده است. از این رو تپه‌های ماسه‌ای دریاچه ارومیه از فعالیت‌های همزمان و مشترک فرآیندهای آبرفتی، رودخانه‌ای و بادی نشأت گرفته‌اند (Ahmady-Birgani et al., 2018). در تحقیقی دیگر، گلی و همکاران اقدام به تعیین پارامترهای رسوب-شناسی و ژئومورفولوژیکی رسوبات تپه‌های ماسه‌ای قوم تپه کرده و نتایج آنها نشان داد که اندازه این رسوبات در حد

1 . Lancaster
2 .Tsoar
3 .Yizhaq

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

ماسه تا سیلت بوده و اجزای آواری آنها شامل کوارتز، فلدسپات، و خرده سنگ‌های ماسه‌ای، کربناته و آذرین هستند که از ارتفاعات میشو و مورو در شرق این ناحیه نشات گرفته‌اند (Goli et al., 2019).

بهروان[1] و همکاران براساس تجزیه و تحلیل آمار رسوبات بادی چندساله، اندازه‌گیری و پایش منابع تولید ریزگردها با استفاده از شاخص RDD و همچنین اندازه‌گیری سرعت آستانه و شدت فرسایش بادی در دستگاه تونل بادی، منابع ماسه‌های روان استان آذربایجان شرقی را شناسایی کرده و در یافته های خود کانون تولید ریزگردهای حاشیه شرقی دریاچه ارومیه را فعال‌ترین کانون در سطح استان تشخیص داده‌اند. این کانون‌ها عمدتاً منطبق بر اراضی زراعی دیم، اراضی زراعی رهاشده، اراضی تالاب خشک‌شده یا دریاچه و مراتع تخریب یافته است (Behrawan et al., 2023).

هدف از این پژوهش، معرفی و تحلیل بیشتر تپه‌های ماسه‌ای در استان آذربایجان‌شرقی و بررسی دقیق‌تر میزان تحرک‌پذیری آنها با استفاده از شاخص لنکستر بوده تا با شناخت رفتار این پدیده‌های طبیعی در شرایط گذشته، با انجام تحلیل حساسیت، میزان فعالیت آنها را در آینده پیش‌بینی کرد.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

تپه‌های ماسه‌ای قوم تپه در شمالغرب تبریز و جنوب‌شرق صوفیان و در مجاورت روستای قوم تپه واقع شده است؛ این منطقه از شرق به کوه‌های مورو، از مغرب به کوه میشو و از طرف شمالغرب به بستر خشک شده دریاچه ارومیه محدود می‌شود؛ محدوده جغرافیایی تپه‌های ماسه‌ای قوم تپه در"۱۷ ′۱۳ °۳۸ تا "۵۳ ′۱۴ °۳۸ عرض شمالی و "۲۶ ′۰ °۴۶ تا "۱۲ ′۲ °۴۶ طول شرقی قرار دارد (شکل۱ راست). تپه‌های ماسه‌ای آقاقومی در جنوب روستای نظرلو و جنوب‌شرق زیناب و با فاصله ۱۲ کیلومتری از تپه‌های ماسه‌ای قوم تپه واقع شده است؛ مساحت سیف‌ها حدود ۴ هکتار برآورد شده و سطح بسیار وسیع که پوشیده از ماسه تثبیت شده می‌باشد حدود ۳۸۵ هکتار برآورد کرده‌اند. در سال‌های اخیر، براثر برداشت بی‌رویه از ماسه‌های موجود در این منطقه برای مصارف کشاورزی، تقریباً قسمت‌های فعال ماسه‌ای در حال نابودی کامل هستند.

تپه‌های ماسه‌ای گیلدیر و شوش قوم به ترتیب در مختصات جغرافیایی" ۳۵ ′۱۵ °۳۸ عرض شمالی و" ۵۸ ′۵۴ °۴۶ طول شرقی و"۰۹ ′۱۷ °۳۸ عرض شمالی و"۲۶ ′۰۱ °۴۷ طول شرقی قرار دارند. ارتفاع این مناطق به ترتیب ۱۵۷۴ و ۱۷۹۴ متر از سطح دریا می‌باشد. این مناطق با فاصله تقریبی ۱ کیلومتری از همدیگر و در فاصله ۸۰ کیلومتری از تبریز و ۱۰ کیلومتری شهرستان هریس واقع شده اند. منطقه گردشگری شوش قوم در حقیقت کویری گمشده در میان طبیعت کوهستانی آذربایجان شرقی محسوب می‌شود (شکل۱چپ). با این وجود، فعالیت افرود سواری در سطح تپه‌های ماسه‌ای شوش قوم سبب افزایش ناپایداری در سطوح تثبیت شده قبلی شده است.

1 .Behrawan

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

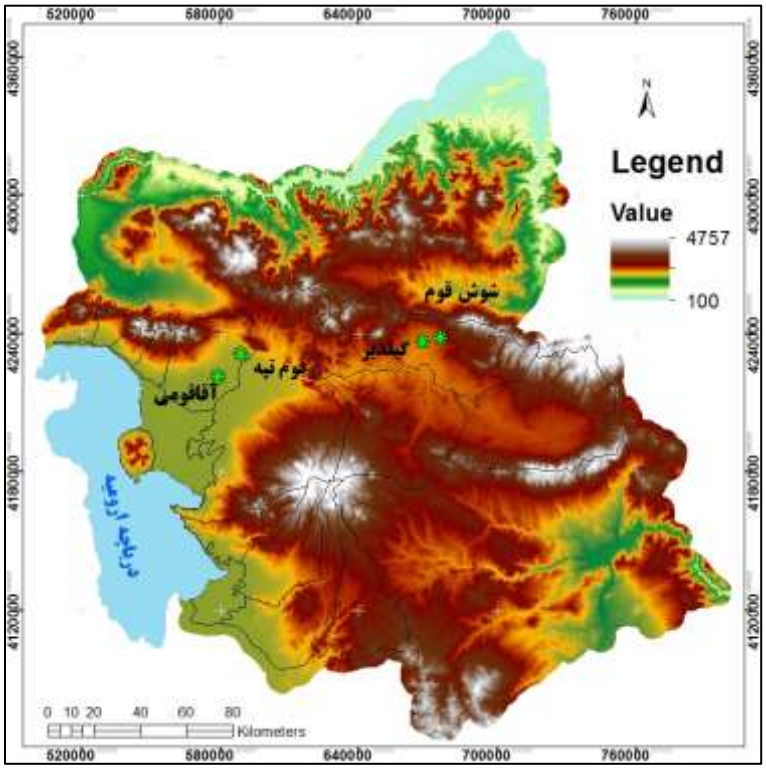


شکل۱: اشکال تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه قوم تپه(راست) و شوش قوم(چپ)

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

تپه‌های ماسه‌ای موجود در حوزه دریاچه ارومیه در گستره استان آذربایجان شرقی از طریق بررسی منابع و بازدیدهای میدانی شناسایی شده و در ادامه، با استفاده از تصاویر گوگل ارث محدوده آنها تدقیق شده و سپس نقشه توزیع مکانی آنها در محیط نرم‌افزارArcGIS تهیه گردید (شکل۲). تعدادی از این مناطق ماسه‌ای قبلاً در قالب گزارش طرح شناسایی پراکندگی ریگزارهای ایران (Mahmoudi 2002) و گزارش پروژه تحقیقاتی تعیین اشکال شن‌زارهای استان (Farahnak Ghazani 2013) نیز گزارش شده است. در پژوهش حاضر، تپه‌های ماسه‌ای شوش قوم واقع در روستای مقصودلو و گیلدیر در محدوده سیاسی شهرستان هریس برای اولین بار گزارش می‌شوند.



شکل۲: توزیع مکانی تپه‌های ماسه‌ای در استان آذربایجان شرقی

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

در اینجا، میزان تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه براساس شاخص لنکستر محاسبه شده است؛ برای محاسبه این شاخص، از داده‌های اقلیمی ۳۰ سال اخیر ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مجاور تپه‌های ماسه‌ای مورد مطالعه استفاده شده است. برای بررسی تحرک تپه‌های ماسه‌ای و شنزارها در قسمت‌های مختلف جهان، شاخص‌های مختلفی ارائه شده و همه آنها بر اساس دو فاکتور کنترل کننده میزان کاهش یا افزایش تحرک تپه‌های ماسه‌ای شکل گرفته‌اند. فاکتور اول مربوط به درجه بادخیزی می‌باشد (W) که به صورت درصد سالانه روزهایی که سرعت باد بیشتر از سرعت آستانه حرکت ماسه (بادهای بیشتر از ۱۲ گره دریایی) بوده بیان می‌شود. اگر درجه بادخیزی (W) افزایش پیدا کند بیشتر تپه‌های ماسه‌ای به صورت متحرک در می‌آیند. فاکتور دوم که رشد پوشش گیاهی به آن بستگی دارد، به صورت نسبت بین متوسط بارندگی سالانه (P) و تبخیر پتانسیل (PET) سالانه بیان می شود. به این نسبت بارندگی موثر نیز گفته می شود. پایه و اساس این مدل که تحت عنوان شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ای لنکستر (Lancaster,1988)، شناخته می‌شود، براساس مدل توسعه یافته فرسایش بادی چپیل و همکاران صورت گرفته است (Chepil et al, 1963). در این مدل، میزان تحرک ماسه (M) از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$M = \frac{W}{(P/_{PET})}$$ رابطه ۱

M = میزان فعالیت رسوبات بادی

W= درصد فراوانی بادهای با سرعت بیشتر از سرعت آستانهٔ فرسایش برحسب 6 m/s در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین

P= میانگین بارندگی سالیانه برحسب میلی متر

PE= تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه برحسب میلیمتر. در اینجا میزان تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش بلانی کریدل و در محیط برنامه R به تفکیک هر ایستگاه هواشناسی محاسبه شده است. این روش بر اساس بیلان حرارتی پایه‌گذاری شده و در آن، تبخیر- تعرق مرجع با درجه حرارت و مدت زمان تابش مرتبط می‌باشد (رابطه۲).

$$ET_0 = a + b[p(0.46T_a + 8.13)]$$ رابطه ۲

که در آن: ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)، a, b ضرایب ثابت اقلیمی و بستگی به حداقل رطوبت نسبی هوا، نسبت ساعات واقعی آفتاب به حداکثر ساعات آفتابی ممکن و سرعت باد در روز دارد. T متوسط دمای ماهانه (درجه سانتیگراد)، p ضریب مربوط به طول روز یا درصد تابش آفتاب در در ماه که بصورت روزنه توصیف می‌شود (Nazemi et al. 2021).

شاخص M در معادله فوق توسط لنکستر درجه بندی و در جدول شماره (۱) ارائه شده است (Lancaster 1988). این شاخص به طور گسترده‌ای توسط زمین‌شناس‌ها و ژئوموفولوژیست‌ها برای تعیین میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ی فعال یا تثبیت شده مورد استفاده قرارگرفته است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

جدول۱: مشخصات میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای براساس شاخص لنکستر

ردیف	شاخص لنکستر(M)	میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای
۱	**کمتر از ۵۰**	تپه‌های شنی غیر فعال و سطوح شن و ماسه توسط پوشش گیاهی تثبیت شده
۲	**۱۰۰-۵۰**	فعال فقط در مناطق تاج تپه‌های شنی
۳	**۲۰۰-۱۰۰**	تپه‌های شنی فعال است، اما مناطق بین تپه‌های ماسه‌ای توسط پوشش گیاهی تثبیت شده
۴	**بیشتر از ۲۰۰**	تپه‌های شنی به طور کامل فعال

پس از محاسبه میزان فعالیت رسوبات بادی، به منظور آشکارسازی اثرات احتمالی تغییر عناصر اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان، از روش تحلیل حساسیت استفاده شده است. آنالیز حساسیت روشی برای تغییر دادن ورودی‌های یک مدل آماری به صورت سازمان‌یافته (سیستماتیک) است تا بتوان تاثیرات این تغییرها را در خروجی مدل پیش‌بینی کرد. استفاده از آنالیز حساسیت جهت تعیین روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و همچنین تعیین اولویت تاثیر پارامترها بر خروجی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجا که برخی از عناصر اقلیمی مانند باران، باد و تبخیر و تعرق در میزان تحرک ماسه‌های روان تاثیر بسزایی دارند؛ از این‌رو، متغیرهای مورد نظر در دامنه‌ای معقول تغییر داده می‌شوند و اثر این تغییرات در خروجی مدل یعنی میزان حرکت ماسه محاسبه گردند. به این ترتیب حساسیت تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در مقابل افزایش یا کاهش هر یک از متغیرها اقلیمی ارزیابی شده است.

۴-یافته‌ها

۴-۱-محاسبات شاخص لنکستر برای مناطق قوم تپه و آقا قومی

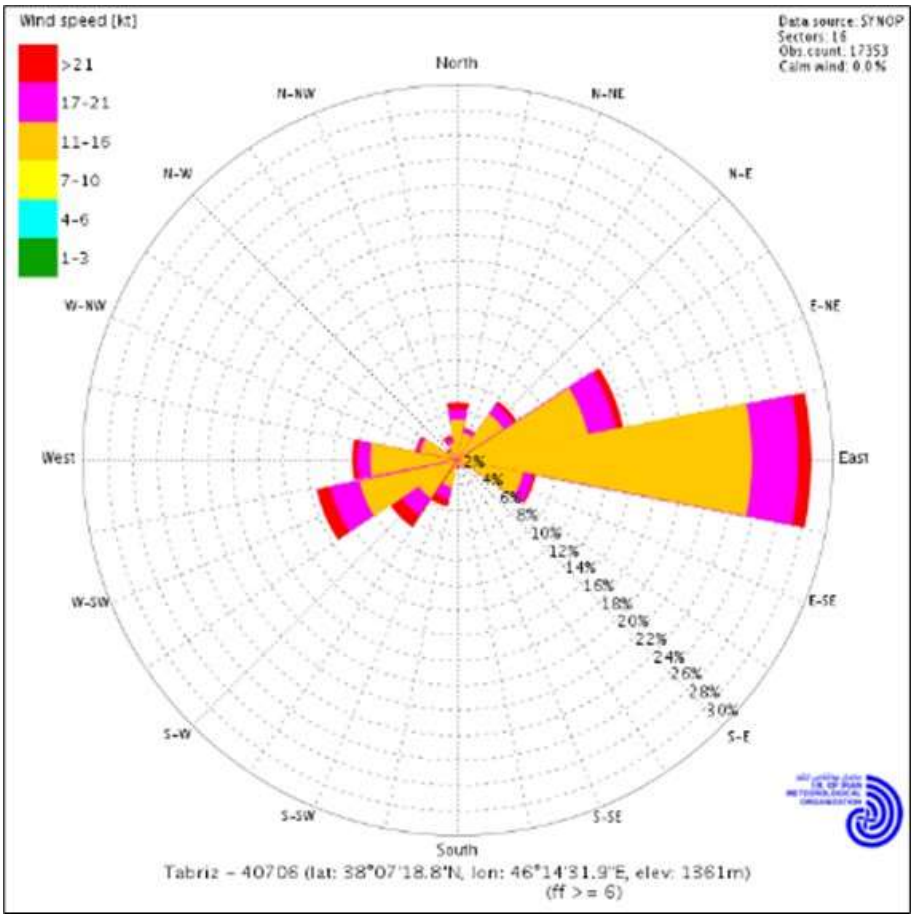
نتایج محاسبات داده‌های آستانه فرسایش بادی (6 m/sec)، براساس اطلاعات بادهای با سرعت بالاتر از ۶ متر بر ثانیه که از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تبریز(۱۹۹۰-۲۰۲۰) استخراج شده در جدول(۲) ارائه شده است. مطابق این اطلاعات، شدیدترین بادهای مشاهداتی در ماه‌های (Jul)، (Aug) و (Jun) به ترتیب با ۳۵/۴، ۳۱ و ۲۶ درصد است. همچنین، باد غالب این ایستگاه دارای جهت جغرافیایی شرقی بوده که حدود ۲۸ درصد از بادهای ثبت شده در این ایستگاه را تشکیل می‌دهد؛ حدود ۲۳ درصد از بادهای غالب نیز دارای سرعت (۱۱-۱۶) نات می‌باشد. جهت و تواتر بادهای بالاتر از ۶ متر در ثانیه ایستگاه هواشناسی تبریز در شکل (۳) نشان داده شده است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

جدول ۲: درصد فراوانی ماهانه طبقات سرعت باد در ایستگاه هواشناسی تبریز (۱۹۹۰-۲۰۲۰)

ماه	<6	6-10	11-15	16-20	>20	>6%	میانگین
Jan.	۹۳/۹۴	۵/۶۵	۰/۳۸	۰/۰۴	۰	۶/۰۶	۲/۳۵
Feb.	۸۹/۵۲	۹/۵۵	۰/۸۷	۰/۰۶	۰	۱۰/۴۸	۲/۸۳
Mar.	۸۲/۷۹	۱۵/۲۱	۱/۹۶	۰/۰۴	۰	۱۷/۲۱	۳/۴۰
Apr.	۸۰/۳۸	۱۷/۶۰	۱/۸۸	۰/۱۲	۰/۰۱	۱۹/۶۲	۳/۵۹
May	۷۹/۹۶	۱۸/۱۴	۱/۸۱	۰/۰۹	۰	۲۰/۰۴	۳/۶۵
Jun.	۷۳/۹۳	۲۴/۶۳	۱/۴۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۲۶/۰۷	۴/۱۰
Jul.	۶۴/۵۸	۳۴/۲۶	۱/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۳۵/۴۲	۴/۷۰
Aug.	۶۸/۹۳	۳۰/۰۸	۰/۹۸	۰/۰۱	۰	۳۱/۰۷	۴/۴۱
Sep.	۸۱/۹۹	۱۷/۱۵	۰/۸۵	۰/۰۱	۰	۱۸/۰۱	۳/۳۷
Oct.	۸۸/۸۱	۱۰/۴۹	۰/۶۱	۰/۰۸	۰/۰۱	۱۱/۱۹	۲/۷۱
Nov.	۹۲/۳۶	۷/۰۲	۰/۵۸	۰/۰۴	۰	۷/۶۴	۲/۴۰
Dec.	۹۵/۳۷	۴/۲۸	۰/۳۳	۰/۰۳	۰	۴/۶۳	۲/۲۲



شکل۳: گلباد ایستگاه تبریز برای بادهای با سرعت بیشتر از ۶ متر بر ثانیه (۱۹۹۰-۲۰۲۰)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

نتایج مربوط به محاسبات شاخص لنکستر برای مناطق قوم تپه و آقاقومی در جدول (۳) ارائه شده است؛ همانطوریکه پیداست، شاخص لنکستر در ۱۰٪ از کل سال‌های آماری در وضعیت فعال قرار داشته است که مربوط به سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ بوده است. در حالیکه، عدم تحرک تپه‌های ماسه(غیر فعال) از نظر شاخص لنکستر حدود ۱۹/۴ ٪ از سال‌های آماری را به خود اختصاص داده است؛ در ۷۱٪ از اوقات، تپه‌های ماسه‌ای در وضعیت فعال یا تحرک ماسه‌ها در راس تپه‌ها قرار داشتند.

جدول ۳: محاسبات شاخص لنکستر برای تپه‌های ماسه‌ای موجود در مناطق قوم تپه و آقا قومی (۱۹۹۰-۲۰۲۰)

وضعیت فعالیت	شاخص لنکستر	درصد باد	بارش موثر	بارش سالانه	تبخیر و تعرق پتانسیل	سال
فعال در نوک تپه	۷۹/۷۷	۱۰/۱۸	۰/۱۲۸	۱۴۸/۰۱	۱۱۵۹/۶	۱۹۹۰
غیر فعال	۴۵/۵۶	۱۰/۰۲	۰/۲۲۰	۲۴۹/۱۳	۱۱۳۳/۳	۱۹۹۱
غیر فعال	۳۳/۶۴	۸/۷۹	۰/۲۶۱	۲۷۷/۸۴	۱۰۶۳/۶	۱۹۹۲
غیر فعال	۳۴/۸۲	۱۱/۶۰	۰/۳۳۳	۳۶۲/۴	۱۰۸۷/۹	۱۹۹۳
غیر فعال	۳۶/۴۷	۱۲/۲۱	۰/۳۳۵	۳۷۴/۱۹	۱۱۱۷/۹	۱۹۹۴
فعال در نوک تپه	۷۲/۲۴	۱۰/۸۹	۰/۱۵۱	۱۷۵/۵۶	۱۱۶۴/۱	۱۹۹۵
فعال در نوک تپه	۷۳/۵۱	۱۶/۲۰	۰/۲۲۰	۲۵۱/۵	۱۱۴۱/۳	۱۹۹۶
فعال در نوک تپه	۹۲/۲۴	۱۵/۶۶	۰/۱۷۰	۱۹۲/۹۳	۱۱۳۶/۷	۱۹۹۷
فعال در نوک تپه	۷۸/۰۱	۱۵/۱۴	۰/۱۹۴	۲۳۳/۰۶	۱۲۰۰/۷	۱۹۹۸
فعال در نوک تپه	۸۶/۶۸	۱۵/۹۰	۰/۱۸۳	۲۲۰/۸	۱۲۰۳/۸	۱۹۹۹
فعال در نوک تپه	۸۶/۴۰	۱۴/۸۳	۰/۱۷۲	۲۰۴/۹۱	۱۱۹۳/۴	۲۰۰۰
فعال در نوک تپه	۹۱/۹۴	۱۵/۵۱	۰/۱۶۹	۲۰۳/۶۸	۱۲۰۷/۴	۲۰۰۱
فعال در نوک تپه	۵۵/۰۵	۱۴/۲۷	۰/۲۵۹	۳۰۲/۹۴	۱۱۶۸/۶	۲۰۰۲
فعال در نوک تپه	۷۵/۴۴	۱۴/۱۹	۰/۱۸۸	۲۱۸/۹۲	۱۱۶۳/۷	۲۰۰۳
فعال در نوک تپه	۵۴/۷۶	۱۳/۲۲	۰/۲۴۱	۲۸۴/۷۶	۱۱۷۹/۷	۲۰۰۴
فعال در نوک تپه	۶۹/۶۲	۱۳/۹۲	۰/۲۰۰	۲۳۳/۳	۱۱۶۷/۳	۲۰۰۵
فعال در نوک تپه	۵۴/۲۸	۱۳/۶۴	۰/۲۵۱	۳۰۵/۱۳	۱۲۱۴/۷	۲۰۰۶
فعال در نوک تپه	۸۶/۵۹	۱۶/۹۳	۰/۱۹۵	۲۲۹/۹۵	۱۱۷۶/۳	۲۰۰۷
فعال	۱۲۵/۵۸	۱۷/۵۴	۰/۱۴۰	۱۷۱/۵۳	۱۲۲۷/۸	۲۰۰۸
فعال در نوک تپه	۷۸/۸۱	۱۶/۲۶	۰/۲۰۶	۲۴۱/۹۱	۱۱۷۲/۵	۲۰۰۹
فعال	۱۰۶/۹۸	۱۵/۵۸	۰/۱۴۶	۱۸۳/۹۲	۱۲۶۲/۷	۲۰۱۰
فعال در نوک تپه	۶۶/۷۸	۱۶/۰۴	۰/۲۴۰	۲۸۲/۲۳	۱۱۷۴/۸	۲۰۱۱
فعال	۱۰۳/۵۰	۱۸/۶۷	۰/۱۸۰	۲۱۷/۱۹	۱۲۰۴/۳	۲۰۱۲
فعال در نوک تپه	۸۲/۵۲	۱۸/۰۵	۰/۲۱۹	۲۶۲/۵۴	۱۲۰۰/۶	۲۰۱۳
فعال در نوک تپه	۶۹/۱۵	۱۷/۴۷	۰/۲۵۳	۳۱۰/۹۷	۱۲۳۰/۹	۲۰۱۴
فعال در نوک تپه	۷۱/۷۷	۱۷/۰۹	۰/۲۳۸	۲۹۳/۴۵	۱۲۳۲/۱	۲۰۱۵
فعال در نوک تپه	۷۳/۷۵	۱۷/۵۶	۰/۲۳۸	۲۹۱	۱۲۲۲/۲	۲۰۱۶
فعال در نوک تپه	۸۹/۳۵	۱۴/۷۲	۰/۱۶۵	۲۰۴/۳۶	۱۲۴۰/۱	۲۰۱۷
غیر فعال	۴۹/۶۹	۱۵/۸۱	۰/۳۱۸	۳۸۸/۷۴	۱۲۲۲	۲۰۱۸
فعال در نوک تپه	۶۰/۲۸	۱۳/۴۳	۰/۲۲۳	۲۶۴/۹۹	۱۱۸۹	۲۰۱۹
غیر فعال	۴۸/۵۸	۱۴/۴۵	۰/۲۹۷	۳۴۵/۶۶	۱۱۶۲/۲	۲۰۲۰
میانگین	۷۲/۱	۱۴/۷	۰/۲	۲۵۵/۷	۱۱۸۱/۳	

۴-۲-نتایج محاسبات شاخص لنکستر برای منطقه شوش قوم

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

برای محاسبات مربوط به شاخص تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای موجود در این منطقه، از اطلاعات هواشناسی موجود ایستگاه سینوپتیک هریس (۲۰۰۸-۲۰۲۰) در ۱۰کیلومتری این منطقه استفاده شده است. نتایج آماری درصد ماهانه سرعت بادهای بیشتر از سطح آستانه فرسایش(6 m/sec<) مشاهداتی ایستگاه هواشناسی هریس در جدول (۴) ارائه شده است؛ جهت و تواتر بادهای بالاتر از ۶ متر در ثانیه ایستگاه هواشناسی هریس در شکل (۴) نشان داده شده و همانطوریکه پیداست، باد غالب در این ایستگاه دارای جهت جغرافیایی جنوب- جنوب غربی بوده که حدود ۱۸ درصد از بادهای ثبت شده در این ایستگاه را تشکیل می‌دهد؛ دومین باد غالب، بادهای با جهت غربی بوده که حدود ۱۴٪ از کل بادهای ثبت شده را بخود اختصاص داده است.

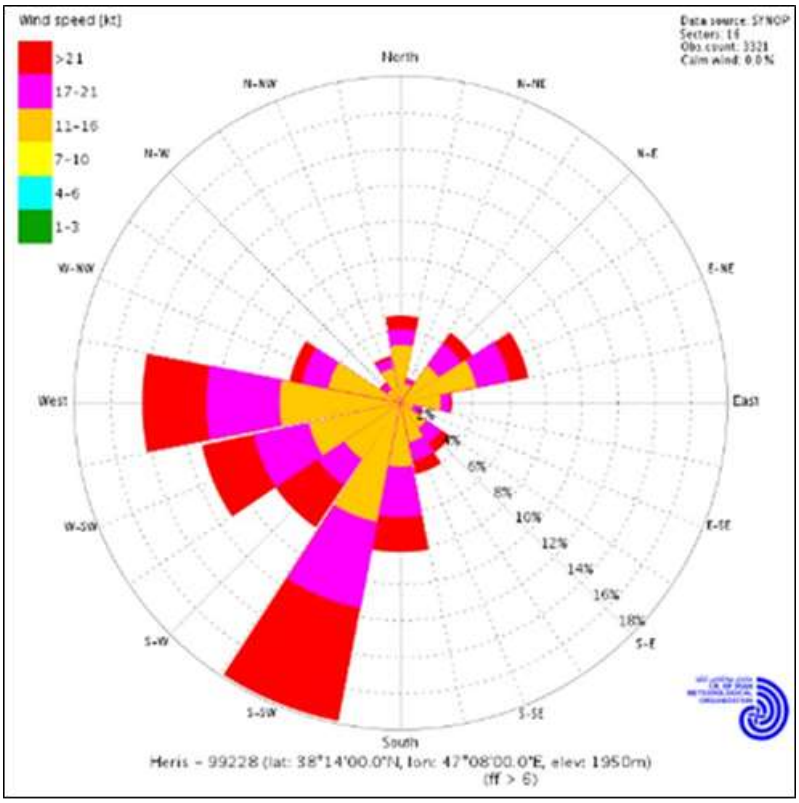
جدول ۴: درصد فراوانی ماهانه طبقات سرعت باد در ایستگاه هواشناسی هریس (۲۰۰۸-۲۰۲۰)

ماه	<6	6_10	11_15	16-20	>20	>6	میانگین
Jan	۹۱/۴۹	۶/۲۱	۲/۰۸	۰/۱۷	۰/۰۴	۸/۵	۲/۱۳
Feb	۹۱/۳۴	۶/۳۲	۱/۹۲	۰/۳۷	۰/۰۵	۸/۶۶	۲/۱۷
Mar	۷۹/۸۸	۱۳/۱۳	۵/۲۹	۱/۳۶	۰/۳۴	۲۰/۱۲	۵/۰۳
Apr	۷۸/۶۶	۱۵/۶۵	۵/۲۰	۰/۴۴	۰/۰۴	۲۱/۳۳	۵/۳۳
May	۸۰/۹۴	۱۴/۷۴	۳/۸۵	۰/۴۸	۰	۱۹/۰۷	۴/۷۷
Jun	۸۴/۹۵	۱۲/۳۲	۲/۶۰	۰/۰۹	۰/۰۵	۱۵/۰۶	۳/۷۷
Jul	۸۶/۱۴	۱۲/۸۹	۰/۸۸	۰/۰۹	۰	۱۳/۸۶	۳/۴۷
Aug	۸۹/۳۶	۱۰/۰۱	۰/۵۸	۰/۰۴	۰	۱۰/۶۳	۲/۶۶
Sep	۹۰/۵۹	۷/۵۹	۱/۵۹	۰/۱۸	۰/۰۵	۹/۴۱	۲/۳۵
Oct	۹۰/۵۳	۶/۶۰	۲/۴۹	۰/۳۹	۰	۹/۴۸	۲/۳۷
Nov	۹۶/۰۷	۳/۲۱	۰/۶۷	۰/۰۴	۰	۳/۹۲	۰/۹۸
Dec	۹۴/۴۰	۴/۱۲	۱/۲۷	۰/۲۱	۰	۵/۶	۱/۴۰
%	۸۸/۱۰	۹/۱۹	۲/۳۴	۰/۳۲	۰/۰۵	۱۱/۹	۲/۹۸

نتایج مربوط به محاسبات شاخص لنکستر برای منطقه ماسه‌ای هریس در جدول (۵) ارائه شده است؛ همانطوریکه پیداست، شاخص لنکستر در ۴۶٪ از سال‌های آماری وضعیت فعالیت تپه‌های ماسه‌ای را فعالیت در راس تپه نشان می‌دهد که مربوط به سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ بوده است. در حالیکه، عدم تحرک تپه‌های ماسه(غیر فعال) از نظر شاخص لنکستر حدود ۵۴ ٪ از سال‌های آماری را به خود اختصاص داده است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]



شکل ۴: گلباد ایستگاه هریس برای بادهای با سرعت بیشتر از ۶ متر بر ثانیه (۲۰۰۸-۲۰۲۰)

جدول ۵: محاسبات شاخص لنکستر برای تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه شوش قوم (۲۰۰۸-۲۰۲۰)

وضعیت فعالیت	شاخص لنکستر	درصد باد	بارش موثر	بارش سالانه (mm)	تبخیر و تعرق پتانسیل (mm)	سال
فعال در نوک تپه	۹۴	۱۷/۳۸	۰/۱۸	۲۷۱/۰۶	۱۴۶۶/۹	**۲۰۰۸**
فعال در نوک تپه	۷۱/۳	۱۷/۴۸	۰/۲۴	۳۳۹/۱۷	۱۳۸۴/۴	**۲۰۰۹**
فعال در نوک تپه	۶۱/۲	۱۵/۱۸	۰/۲۵	۳۶۵/۲۲	۱۴۷۲/۴	**۲۰۱۰**
غیر فعال	۳۴/۴	۱۲/۷۷	۰/۳۷	۵۱۹/۹۷	۱۴۰۱/۶	**۲۰۱۱**
غیر فعال	۴۸/۵	۱۲/۶۸	۰/۲۶	۳۴۴/۴	۱۳۱۸/۱	**۲۰۱۲**
فعال در نوک تپه	۷۲/۸	۱۵/۲۹	۰/۲۱	۳۰۱/۴۷	۱۴۳۵/۵	**۲۰۱۳**
غیر فعال	۴۰	۱۱/۴۹	۰/۲۹	۴۰۶/۲۷	۱۴۱۵/۲	**۲۰۱۴**
غیر فعال	۴۳/۱	۱۳/۲۶	۰/۳۱	۴۶۷/۲۱	۱۵۱۹/۶	**۲۰۱۵**
فعال در نوک تپه	۶۳/۴	۱۶/۰۲	۰/۲۵	۳۸۰/۳۳	۱۵۰۵/۳	**۲۰۱۶**
فعال در نوک تپه	۸۸	۱۳/۴۸	۰/۱۵	۲۳۳/۷۴	۱۵۲۵/۳	**۲۰۱۷**
غیر فعال	۲۶/۷	۸/۸۶	۰/۳۳	۴۹۷/۸۹	۱۵۰۲/۱	**۲۰۱۸**
غیر فعال	۲۳/۸	۵/۹۳	۰/۲۵	۳۵۶/۹۹	۱۴۳۰/۹	**۲۰۱۹**
غیر فعال	۲۶/۳	۷/۰۹	۰/۲۷	۳۹۵/۸۲	۱۴۶۹/۱	**۲۰۲۰**
میانگین	۵۳/۳۶	۱۲/۸۴	۰/۲۶	۳۷۵/۳۵	۱۴۴۹/۷۲	

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

۳-۴-نتایج تحلیل حساسیت شاخص لنکستر برای مناطق قوم تپه و آقا قومی

برای پیش‌بینی میزان فعالیت‌های آتی تپه‌های ماسه‌ای موجود در مناطق قوم تپه و آقا قومی، حساسیت هریک از پارامترهای اقلیمی موثر بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در قالب شاخص لنکستر در دامنه تغییرات (۱۰-۳۰) تا (۱۰- و ۳۰-) تحلیل شده و نتایج آن در جدول (۶) ارائه شده است؛ همانطوریکه پیداست، بین شاخص لنکستر با درصد بادهای بالاتر از آستانه فرسایش و میزان تبخیر و تعرق رابطه مستقیم و با میزان بارش رابطه عکس وجود دارد. بنظر می‌رسد که اثر کاهش درصد بادهای فرساینده در تغییرات میزان تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای بیشتر از افزایش آن بوده؛ بطوریکه با افزایش ۱۰ تا ۱۵ درصدی در میزان بادهای فرساینده، شاخص لنکستر به ترتیب ۱/۹ و ۶/۶ واحد افزایش می‌یابد، در حالیکه با کاهش همان درصد از میزان بادهای فرساینده، شاخص لنکستر به ترتیب به ۱۶/۶- و ۲۱/۲- کاهش پیدا می‌کند و به عبارت دیگر، از میزان تحرک تپه‌های ماسه‌ای کاسته می‌شود؛ این امر به وابستگی شدید میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای به بادهای با قدرت فرسایندگی بالا دلالت دارد. این وضعیت تقریباً برای بیان حساسیت تغییرات فعالیت تپه‌های ماسه‌ای نسبت به میزان تبخیر و تعرق نیز صادق است.

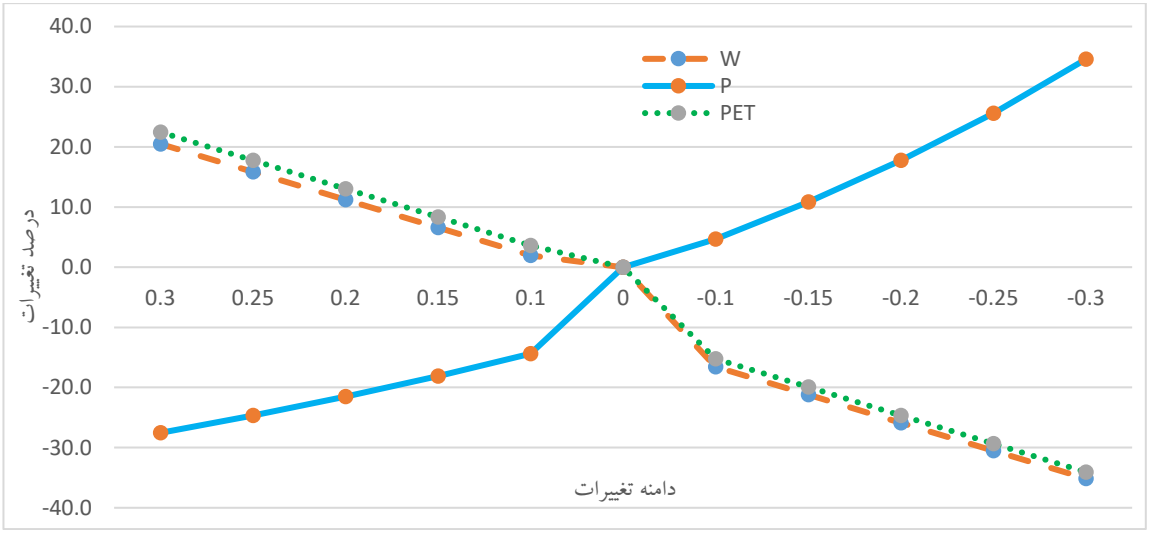
عکس این حالت در بارش مشاهده می‌شود؛ بطوریکه افزایش بارش در همان دامنه تغییرات یاد شده، موجب کاهش تحرک پذیری تپه‌های ماسه‌ای به ترتیب۱۴/۴- و ۱۸/۱- درصد شده در حالیکه کاهش میزان بارش در این دامنه‌ها، ۴/۷ و ۱۰/۸ درصد شده است. حساسیت شاخص لنکستر نسبت به تغییرات عوامل اقلیمی در شکل (۵) ارائه شده است.

جدول ۶: حساسیت شاخص لنکستر نسبت به تغییرات عوامل اقلیمی برای تپه‌های ماسه‌ای قوم تپه و آقاقومی

درصد تغییرات	M	PET	درصد تغییرات	M	P	درصد تغییرات	M	W	دامنه تغییرات
۲۲/۴	۸۸/۲۹	۱۵۳۵/۶۹	-۲۷/۵	۵۲/۲	۳۳۲/۴	۲۰/۵	۸۶/۹	۱۹/۱	۰/۳
۱۷/۷	۸۴/۹	۱۴۷۶/۶	-۲۴/۶	۵۴/۳	۳۱۹/۶	۱۵/۸	۸۳/۵	۱۸/۴	۰/۲۵
۱۳	۸۱/۵	۱۴۱۷/۶	-۲۱/۵	۵۶/۶	۳۰۶/۸	۱۱/۲	۸۰/۲	۱۷/۶	۰/۲
۸/۳	۷۸/۱	۱۳۵۸/۵	-۱۸/۱	۵۹/۱	۲۹۴/۱	۶/۶	۷۶/۸	۱۶/۹	۰/۱۵
۳/۶	۷۴/۷	۱۲۹۹/۴	-۱۴/۴	۶۱/۷	۲۸۱/۳	۱/۹	۷۳/۵	۱۶/۲	۰/۱
۰	۷۲/۱	۱۱۸۱/۳	۰	۷۲/۱	۲۵۵/۷	۰	۷۲/۱	۱۴/۷	0
-۱۵/۲	۶۱/۱	۱۰۶۳/۲	۴/۷	۷۵/۵	۲۳۰/۱	-۱۶/۶	۶۰/۱	۱۳/۲	-۰/۱
-۱۹/۹	۵۷/۷	۱۰۰۴/۱	۱۰/۸	۷۹/۹	۲۱۷/۳	-۲۱/۲-	۵۶/۸	۱۲/۵	-۰/۱۵
-۲۴/۶	۵۴/۳	۹۴۵	۱۷/۷	۸۴/۹	۲۰۴/۶	-۲۵/۹	۵۳/۵	۱۱/۸	-۰/۲
-۲۹/۴	۵۰/۹	۸۸۶	۲۵/۶	۹۰/۵	۱۹۱/۸	-۳۰/۵	۵۰/۱	۱۱	-۰/۲۵
-۳۴/۱	۴۷/۵	۸۲۶/۹	۳۴/۶	۹۷	۱۷۹	-۳۵/۱	۴۶/۸	۱۰/۳	-۰/۳

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]



شکل۵: نمودار حساسیت شاخص لنکستر نسبت به تغییر متغیرهای اقلیمی برای تپه‌های ماسه‌ای قوم تپه و آقاقومی

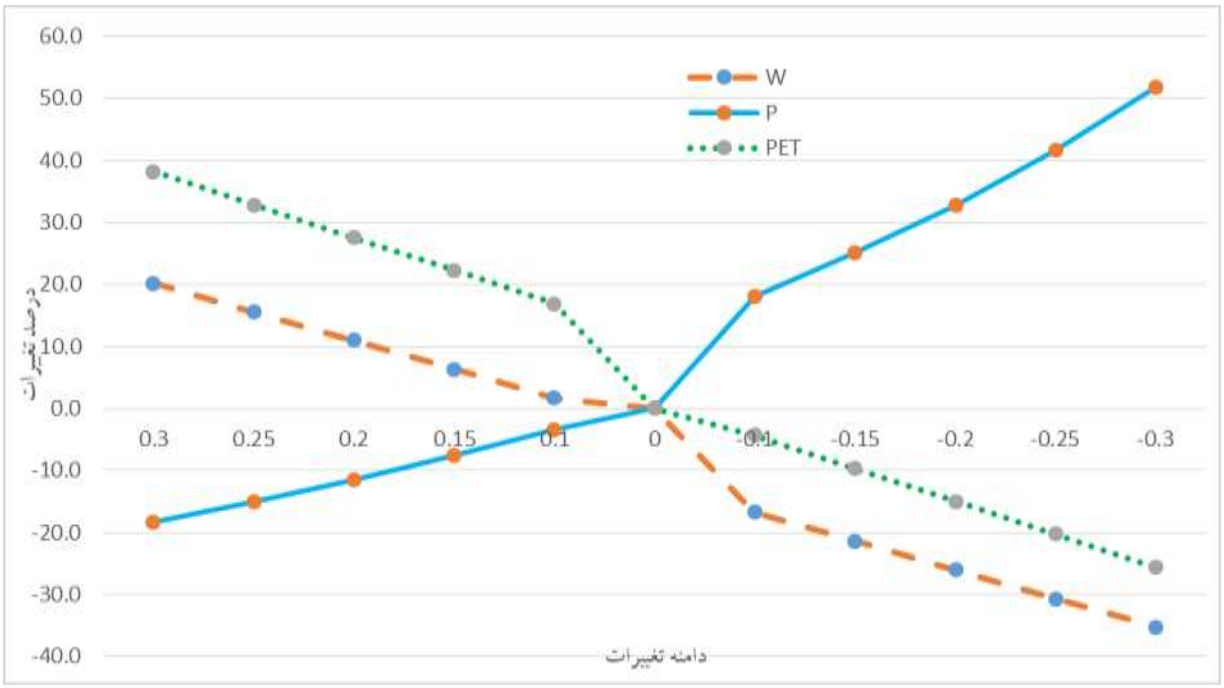
۴-۴-نتایج تحلیل حساسیت شاخص لنکستر برای گستره ماسه‌ای شوش قوم و گیلدیر

میزان تحرک‌پذیری آتی تپه‌های ماسه‌ای منطقه شوش قوم و گیلدیر از طریق تحلیل حساسیت هریک از پارامترهای اقلیمی موثر بر تحرک‌پذیری آنها در قالب شاخص لنکستر و در دامنه تغییرات ۳۰+ تا ۳۰- تحلیل شده و نتایج آن در جدول (۷) ارائه شده است؛ همانطوریکه پیداست، بین شاخص لنکستر با درصد بادهای بالاتر از آستانه فرسایش و میزان تبخیر و تعرق رابطه مستقیم و با میزان بارش رابطه عکس وجود دارد. آهنگ تغییرات شاخص لنکستر نسبت به کاهش درصد بادهای بالاتر از آستانه فرسایش در منطقه هریس خیلی بیشتر از حساسیت آن نسبت به افزایش بادهای بالاتر از ۶ متر بر ثانیه یک اندازه است. این وضعیت در مورد اثرگذاری تغییرات بارش بر تحرک پذیری تپه‌های ماسه‌ای در منطقه هریس هم صادق است. حتی این تغییرات به مراتب بیشتر از درصد تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل نیز می‌باشد. درصد تغییرات شاخص لنکستر در دامنه ۲۰+ تا ۲۰- در درصد بادهای بالاتر از آستانه فرسایش، به ترتیب موجب افزایش ۱۱٪ و ۲۶-٪ شاخص لنکستر در این منطقه می‌شود؛ در حالیکه، افزایش یا کاهش میزان بارش سالانه در منطقه در همان دامنه تغییرات به ترتیب موجب کاهش ۱۱/۴٪ و افزایش ۳۳٪ شاخص لنکستر خواهد شد، البته حساسیت شاخص لنکستر در دامنه تغییرات بالاتر از ۲۰ درصد نسبت به تغییرات پایین تر از آن خیلی زیاد بوده و این موضوع در ارتباط با متغیر بارش کاملاً مشهود است. آهنگ تغییرات تحرک تپه‌های ماسه‌ای در ارتباط با افزایش متغیر تبخیر و تعرق نسبت به کاهش مقادیر آن بیشتر بوده و این امر، بیانگر اهمیت خشکی هوا و اثرگذاری آن بر فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در منطقه است. شکل (۶) حساسیت شاخص لنکستر را نسبت به تغییرات عوامل اقلیمی نشان می‌دهد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

جدول ۷: حساسیت شاخص لنکستر نسبت به تغییرات عوامل اقلیمی برای تپه‌های ماسه‌ای شوش قوم و گیلدیر

درصد تغییرات	M	PET	درصد تغییرات	M	P	درصد تغییرات	M	W	دامنه تغییرات
۳۸/۲	۷۳/۸	۱۸۸۴/۶	-۱۸/۲	۴۳/۷	۴۸۸	۲۰/۲	۶۴/۲	۱۶/۷	۰/۳
۳۲/۹	۷۱	۱۸۱۲/۱	-۱۵	۴۵/۴	۴۶۹/۳	۱۵/۶	۶۱/۷	۱۶/۱	۰/۲۵
۲۷/۶	۶۸/۱	۱۷۳۹/۶	-۱۱/۴	۴۷/۳	۴۵۰/۵	۱۱	۵۹/۳	۱۵/۴	۰/۲
۲۲/۳	۶۵/۳	۱۶۶۷/۲	-۷/۶	۴۹/۴	۴۳۱/۷	۶/۴	۵۶/۸	۱۴/۸	۰/۱۵
۱۶/۹	۶۲/۴	۱۵۹۴/۷	-۳/۴	۵۱/۶	۴۱۲/۹	۱/۷	۵۴/۳	۱۴/۱	۰/۱
۰	۵۳/۴	۱۴۴۹/۷	۰	۵۳/۴	۳۷۵/۴	۰	۵۳/۴	۱۲/۸۴	۰
-۴/۳	۵۱/۱	۱۳۰۴/۷	۱۸/۱	۶۳/۱	۳۳۷/۹	-۱۶/۸	۴۴/۴	۱۱/۶	-۰/۱
-۹/۶	۴۸/۳	۱۲۳۲/۲	۲۵/۱	۶۶/۸	۳۱۹/۱	-۲۱/۴	۴۲	۱۰/۹	-۰/۱۵
-۱۵	۴۵/۴	۱۱۵۹/۸	۳۲/۹	۷۱	۳۰۰/۳	-۲۶	۳۹/۵	۱۰/۳	-۰/۲
-۲۰/۳	۴۲/۶	۱۰۸۷/۳	۴۱/۷	۷۵/۷	۲۸۱/۶	-۳۰/۶	۳۷	۹/۶	-۰/۲۵
-۲۵/۶	۳۹/۷	۱۰۱۴/۸	۵۱/۹	۸۱/۱	۲۶۲/۸	-۳۵/۳	۳۴/۶	۹	-۰/۳



شکل۶: نمودار حساسیت شاخص لنکستر نسبت به تغییرات متغیرهای اقلیمی برای تپه‌های ماسه‌ای شوش قوم و گیلدیر

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

تپه‌های ماسه‌ای از مهمترین و حساس‌ترین لندفرم‌های حساس به فرسایش بادی‌اند که میزان فعالیت آنها بسته به شدت عوامل متعدد اقلیمی و زمینی، متفاوت است. گرد و غبار ناشی از فرسایش بادی در گستره تپه‌های ماسه‌ای، یکی از مهم‌ترین مخاطرات و چالش‌های جدی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان است که با تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر تشدید شده است. از این‌رو، بررسی و شناخت این عوامل از جنبه تاثیر آنها بر بروز و تشدید پدیده گرد و غبار و تحرک پذیری ماسه‌های روان برای جلوگیری از تشدید بحران‌های زیست محیطی در آینده یک ضرورت انکار

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

ناپذیر است. این پژوهش با هدف معرفی تپه‌های ماسه‌ای موجود در حوزه دریاچه ارومیه در استان آذربایجان‌شرقی بوده و با استفاده از شاخص لنکستر میزان فعالیت آنها در ارتباط با عوامل اقلیمی تحلیل شده است، در ادامه، با انجام تحلیل حساسیت، روند تحرک‌پذیری آنها در آینده پیش‌بینی شده است. نتایج نشان داد که فعالیت تپه‌های ماسه‌ای موجود در هر دو سایت عمدتاً در محدوده راس تپه‌ها اتفاق افتاده است. علیرغم مشاهده رابطه مستقیم بین شاخص لنکستر با فراوانی بادهای بالاتر از آستانه فرسایش و تبخیر و تعرق و رابطه معکوس با بارش، حساسیت شاخص لنکستر نسبت به تغییرات کاهشی یا افزایشی متغییرهای اقلیمی در سایت های یاد شده یکسان نبوده است. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات نعیمی و همکاران در منطقه سبزوار(Naeimi et al., 2021) ، نتایج پایش تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای منطقه دیر بوشهر (Rahi et al., 2022) و نتایج بررسی تاثیر شرایط اقلیمی بر میزان فعالیت ماسه‌های روان منطقه منجیل و پیش‌بینی اثرات تغییر احتمالی پارامترهای اقلیمی بر تحرک‌پذیری ماسه‌های روان این منطقه (Zandifar et al., 2020) مطابقت دارد. با این وجود، ذکر این نکته ضروری است که با توجه به عدم توزیع مکانی مناسب ایستگاه‌های هواشناسی و بعضاً کوتاه بودن بازه زمانی داده‌های مشاهداتی این ایستگاه‌ها، بعضاً بناچار از داده‌های مشاهداتی ایستگاهی استفاده می‌شود که فاصله زیادی با موقعیت جغرافیایی گستره‌های ماسه‌ای داشته و از این‌رو، صحت نتایج حاصله در این قبیل موارد قابل بحث است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود وضعیت تثبیت یا فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در ارتباط با استقرار پوشش گیاهی در سطح این مناطق از طریق تفسیر رقومی سری زمانی داده‌های دورسنجی، بازدیدهای میدانی و اندازه‌گیری‌های مستقیم و پیوسته ارزیابی و پایش گردد. از طرف دیگر، در این تحقیق، رفتار آتی تپه‌های ماسه‌ای از طریق نتایج تحلیل حساسیت شاخص لنکستر نسبت به متغییرهای اقلیمی پیش‌بینی شده است؛ پیشنهاد می‌شود تاثیر پارامترهای اقلیمی بر فعالیت‌های آتی تپه‌های ماسه‌ای در قالب سناریوهای مختلف تغییر اقلیم و روش‌های مناسب ریزمقیاس نمایی این داده‌ها ارزیابی گردند.

۶- سپاس‌گزاری

مقاله حاضر مستخرج از نتایج گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی با شماره فروست ۶۰۸۹۲ به تاریخ ۱۴۰۰/۱۰/۱۸بوده که با حمایت مالی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان-شرقی اجراشده است؛ بدین‌وسیله از مساعدت کلیه همکاران این دو واحد تحقیقاتی تقدیر به عمل می‌آید.

منابع

1. Abbasi, H. (2019) Sand Dune Systems in Iran - Distribution and Activity. Wind Regimes, Spatial and Temporal Variations of the Aeolian Sediment Transport in Sistan Plain (East Iran), Philipps-Universität Marburg, Germani.
2. Abbasi, H.R., Opp, C., Groll, M ,.H., R. and Gohardoust, A. (2019) Assessment of the distribution and activity of dunes in Iran based on mobility indices and ground data. Aeolian Research 41, 1-17. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2019.07.005
3. Ahmady-Birgani, H., Agahi, E., Ahmadi, S.J. and Erfanian, M. (2018) Sediment Source Fingerprinting of the Lake Urmia Sand Dunes. Sci Rep 8(1), 1-15. (In Persian).
4. Ash, J.E. and Wasson, R.J. (1983) Vegetation and sand mobility in the Australian desert dunefield. Zeitschrift Fur Geomorphologie 45, 7-25.
5. Behrawan, H., Yarahmadi, J. and Abbasi, H. (2023) Measurement and monitoring of dust and sand storm resources in Jolfa, Shoshqhom and Gildirz regions of Eastern Azarbaijan Province, Iran, Watershed Management Research Journal Articles in Press. (In Persian).https://doi.org/10.22092/WMRJ.2023.363055.1548
6. Farahnak Ghazani, M. (2013) Classification of Iran's Sand-dune Systems, Using Morphology, Physico-chemical and Mineralogical characteristics, p. 60, Research Institute of Forests and

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]

Rangelands, Agriculture & Natural Resources Research Center of East Azarbaijan province. (In Persian).
7. Goli, T., Kavian, H., Kadkhodayi Ilkhchi, R. and Nouri Mokhoori, A. (2019) The Determination of the Sedimentologic and Geomorphologic Parameters of Sand Dunes of Qom Tapeh Using Geological and Meteorological Data, Northwest of Tabriz (Sufian) Hydrogeomorphology, 6(19), 19-36(In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1398.6.19.2.3
8. Goudie, A. (2014) Review Desert dust and human health disorders. Environment International 63(3), 101-113.
9. Karimi, k., Shahraeni, H. and Hafezi Moghadas, N. (2011) Dust source identification in Middle East with used remote sensing. Journal of Climatology Research 7(2), 57-72. (In Persian).
10. Khosroshahi, M., Khashki, M. and Ensafi Moghaddam, T. (2009) Determination of climatological deserts in Iran. Iranian J. Range Desert Res 16(1), 96–113. (In Persian).
11. Lancaster, N.(1988). Development of linear dunes in the southwestern Kalahari, southern Africa. . J. Arid Environ. 14, 233–244.
12. Mahmoudi, F. (2002) Geographical distribution of important sandstones in Iran, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran. (In Persian).
13. Mamagane, A., Zare Ahmadabad, M. and Maghsoudi, M. (2018) Determinatin of source areas of aolian sands Based on Mineralogy and Morphoscopy of Sand grains (Case Study: Sufian Qom Hill - North of Lake Urmia). Geography and Environmet Hazards 8(3), 77-95. (In Persian).https://doi.org/10.22067/GEO.V8I3.81703
14. Naeimi ,M., Zandifar, S., Khosroshahi M., Ashouri, P. and Abbasi, H.R. (2021) Investigating the Effects of Climate Change on the Mobility of Sand Dunes (Case study: Sabzevar City). Desert Management 9(2), 1-18. (In Persian). https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.246296
15. Nazari Samani, A., Rahdari, M.R. and Rahi, G.R. (2020). Evaluation of spatial changes of wind erosion of lands on the shores of Lake Urmia. Journal of Desert Management 15, 53-72.(In Persian). https://doi.org/20.1001.1.24763985.1399.8.15.4.2
16. Nazemi, A., Parandin, M.A. and Sadraddini, S.A. (2021) Evaluation of Different Determination Methods of Class A Pan Evaporation Coefficient For Estimation daily Evapotranspiration In Islamabad-Gharb Area. Water Engineering 9(1), 42-57. (In Persian).
17. Rahi, G., Bahreini, F., Khosroshahi, M. and Biabani, L. (2022) Monitoring and Predicting the Effect of Climatic Factors on Sand-Mobility Using Lancaster Index: A Case Study of Dayer, Bushehr Province. Desert Ecosystem Engineering Journal (DEEJ) 11(36), 41-54. (In Persian). https://doi.org/10.22052/deej.2021.11.36.41
18. Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Goudie, A.S. and Kahn, R.A. (2013) Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. Science of the Total Environment 434 (3), 552-564. (In Persian).
19. Tavakkoli Fard, A., ghasemieh, H., Nazari samani, A.A. and Mashhadi, N. (2015) Investigation morphology and sand dunes activity in different parts based on Lancaster index (Case stydy: Kashan Erg). Desert Ecosystem Engineering 3(5), 37-48. (In Persian).
20. Teng, Y., Zhan, J., Liu, W., Sun, Y., Agyemang, F.B., Liang, L. and Li, Z. (2021) Spatiotemporal dynamics and drivers of wind erosion on the Qinghai-Tibet Plateau, China. Ecological Indicators 123. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107340
21. Thomas, D.S.G. (1992) Desert dune activity: concepts and significance. J. Arid Environ. 22(1), 31–38.
22. Tsoar, H. (2005) Sand dunes mobility and stability in relation to climate. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 357(1), 50-56.
23. Tsoar, H. (2013) Treatise on Geomorphology, pp. 414-427.
24. Wasson, R.J. (1984) Late Quaternary palaeoenvironments in the desert dunefields of Australia. Late Cainozoic Palaeoclimates of the Southern Hemisphere, 419–432
25. Wilson, I.G. (1973) Ergs. Sedimentary Geology 10(2), Sedimentary Geology.
26. Yizhaq, H., Ashkenazy, Y. and Tsoar, H. (2009) Sand dune dynamics and climate change: A modeling approach. Journal of Geophysical Research 114(F1).
27. Zandifar, S., khosroshahi, M ,.Ebrahimikhusfi, Z. and Naeimi, M. (2020) Predicting Mobility of Sands in the Future Based on Sensitivity Analysis Test (Case Study: Manjil City Arid Regions Geographic Studies. (In Persian). https://doi.org/ 10(39), 18-35. 10.22034/jdmal.2021.243137

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.1]