

Research Paper



Analysis of the Impact of Wind Characteristics on the Dynamic and Morphological Conditions of Ergs in the Southern Coasts of Iran



Mehran Maghsoudi¹ , Hamid Ganjaeian²

1. Professor of Geomorphology, University of Tehran, Tehran, Iran. maghsoud@ut.ac.ir

2. Ph. D in geomorphology, University of Tehran, Tehran, Iran. h.ganjaeian@ut.ac.ir

Keywords

Sand dunes, Sand dune dynamics, Sand dune morphology, Southern coasts of Iran.

ABSTRACT

Introduction

Sand dunes are geomorphological features that play an important role in various planning processes due to their active dynamics and diverse shapes. They consist of sand formations that move under the influence of wind speed and direction in the region. Accordingly, sand dunes of different shapes and sizes represent the wind compression stage and can pose a serious threat to human activities, including agricultural lands and man-made areas. In fact, the movement of sand dunes causes severe damage to infrastructure and rural settlements in Iran every year. Identifying active dunes and monitoring areas with migrating sand dunes are important measures to reduce these damages. The geographical location of Iran has led to the presence of various types of sand dunes in many regions. Since Iran is located in the arid and desert belt of the world, a significant portion of its dry areas is covered by sand dunes, making their movement and the resulting sandstorms one of the major hazards in the arid and semi-arid regions of the country. Among the areas with a high density and variety of sand dunes is the southern coast of Iran. Given the concentration of residential and industrial areas in this region, the movement of sand dunes can pose a serious threat. Considering the importance of this issue, the present study assesses the morphological and dynamic status of the sand dunes on the southern coast of Iran.

Methodology

In this study, Landsat satellite images, Google Earth images, and statistical information from regional meteorological stations were used as the main research data. The primary research tools included ArcGIS (for preparing the required maps), WRplot (for analyzing wind speed and direction in the region), and the Sandrose graph (for evaluating the status of sand indicators). Considering the subject and objectives, the research was conducted in several stages. In the first stage, the exact area of the sand dunes was delineated using Google Earth images, and their morphometric characteristics were examined. Then, based on their shapes, the sand dunes were classified into different types. In the second stage, using Google Earth images and by monitoring individual sand dunes in the region, the dunes were divided into three categories of activity: active, semi-active, and inactive. In the third stage, the wind speed, wind direction, and the DPT index of the region's winds were evaluated, and their correlation with sand dune activity was analyzed.

Received: 2025/07/16

Accepted: 2025/09/30

Published: 2026/01/12

*Correspondin Author: Mehran Maghsoudi. maghsoud@ut.ac.ir

How to cite this article: Maghsoudi, Mehran., & Ganjaeian, H. (2026). Analysis of the Impact of Wind Characteristics on the Dynamic and Morphological Conditions of Ergs in the Southern Coasts of Iran .Hydrogeomorphology, 12(45): 123 – 141.

DOI: [10.22034/hyd.2025.68191.1801](https://doi.org/10.22034/hyd.2025.68191.1801)



Copyright: © by the authors

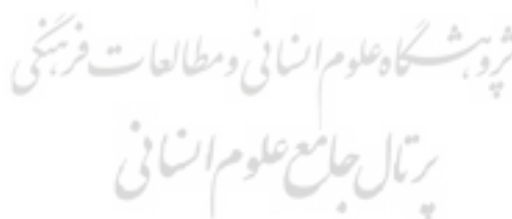
Publisher: University of Tabriz

Results and Discussion

The morphology of sand dunes is directly influenced by the conditions prevailing on the sandbanks (such as obstacles, vegetation, etc.) as well as the characteristics of regional winds. A study of the morphology of sand dunes along the southern coast shows that, unlike those in Khuzestan, they exhibit a wide variety of shapes. Extending from the Makran coast to the Persian Gulf, the sand dunes of the southern coast are shaped by diverse environmental conditions, which has led to the formation of different dune patterns. In addition to climatic factors, the topographic conditions of the southern coast are also highly diverse, directly contributing to the variation in sand dunes. A spatial analysis of dune types indicates that on the eastern Makran coast, due to the absence of topographic obstacles and the presence of low-slope lands, sand dunes are widely distributed, mainly appearing as thin to thick sand covers. In the central parts of the Makran coast, sand dunes are also widespread, but due to diverse topographic conditions, their types are highly varied. Toward the western Makran and the coasts of the Strait of Hormuz, topographic obstacles have caused the dunes to form in a narrow strip, while on the coasts of the Persian Gulf, limited sand resources and specific topographic conditions have resulted in scattered and very small dunes.

Conclusions

The results of this study show that the southern coastline of Iran contains a high density of sand dunes, with a total area of more than 2,750 square kilometers. Calculations of the areas of different dune types indicate that thin sand cover, medium sand cover, and composite width layers account for the largest portions, representing 59.8%, 10.9%, and 7.3% of the total dune area, respectively. The characteristics of regional winds were also evaluated. Overall, wind speed and duration on the Makran coast are higher than on the Persian Gulf coast, making the Makran dunes more active. Moreover, due to diverse topographic conditions and the influence of winds from multiple directions, the region's dunes exhibit great morphological diversity. The results of the correlation analysis between wind characteristics and sand dune displacement showed that the highest correlation coefficients, 0.514 for wind speed and 0.612 for the DPt index, were both recorded in the spring season. This indicates that sand dune activity reaches its peak in spring. Overall, the findings highlight that the southern coast of Iran has a high density of active dunes, which significantly affect human activities. Considering that this region is one of the country's key population, economic, and industrial centers, attention to the morphological and dynamic status of its sand dunes is of critical importance.



مقاله پژوهشی



تحلیل تاثیر خصوصیات باد بر وضعیت دینامیکی و مورفولوژیکی ریگزارهای سواحل جنوبی ایران

مهران مقصودی^{*}، حمید گنجائیان^۲

۱-استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. magsoud@ut.ac.ir

۲-دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. h.ganjaeian@ut.ac.ir

چکیده

ریگزارها از مجموعه‌ای از تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده‌اند که تحت تأثیر عوامل اقلیمی، به‌ویژه سرعت و جهت بادهای منطقه، همواره در حال تغییر و جابجایی هستند. موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بخش زیادی از آن را تپه‌های ماسه‌ای دربرگیرد. از جمله مناطقی که دارای تراکم و تنوع زیادی از انواع تپه‌های ماسه‌ای است، سواحل جنوبی ایران است. با توجه به اینکه تپه‌های ماسه‌ای دارای دینامیک فعالی هستند و می‌توانند نواحی انسانی را تهدید کنند، در این تحقیق به ارزیابی وضعیت دینامیکی و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای سواحل جنوبی ایران پرداخته شده است. در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست، تصاویر گوگل ارث و اطلاعات آماری مربوط ایستگاه‌های هواشناسی منطقه به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. در این تحقیق ابتدا وضعیت مورفومتری و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای بررسی شده است و سپس به ارزیابی خصوصیات بادهای منطقه و ارتباط آن با دینامیک و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای منطقه پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصله، در سواحل جنوبی ایران حدود ۲۷۵۰ کیلومترمربع تپه ماسه‌ای در اشکال مختلف وجود دارد که پوشش ماسه‌ای کم ضخامت، پوشش ماسه‌ای متوسط ضخامت و عرضی مرکب به ترتیب با ۵۹/۸، ۱۰/۹ و ۷/۳ درصد از کل مساحت ریگزارهای منطقه، دارای بیش‌ترین وسعت هستند. همچنین تحت تاثیر بادهای منطقه، بخش زیادی از تپه‌های ماسه‌ای جنوب ایران دارای وضعیت فعالی هستند و با توجه به اینکه ضریب همبستگی بین شاخص‌های سرعت باد و Dp_t به فعالیت تپه‌های ماسه‌ای منطقه در فصل بهار به ترتیب ۰/۵۱۴ و ۰/۶۱۲ بوده است، بنابراین می‌توان گفت که بیش‌ترین میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای مربوط به فصل بهار است.

کلیدواژه‌ها

تپه‌های ماسه‌ای، دینامیک
تپه‌های ماسه‌ای، مورفولوژی
تپه‌های ماسه‌ای، سواحل
جنوبی ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۲۲

ارجاع به این مقاله: مقصودی، مهران؛ گنجائیان، حمید. (۱۴۰۴). تحلیل تاثیر خصوصیات باد بر وضعیت دینامیکی و مورفولوژیکی ریگزارهای سواحل جنوبی ایران. هیدروژئومورفولوژی، ۱۲ (۴۵): ۱۴۱-۱۲۳.

*نویسنده مسئول: مهران مقصودی

رایانامه: magsoud@ut.ac.ir

شناسه دیجیتال مقاله: 10.22034/hyd.2025.68191.1801



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

ریگزارها از جمله مهم‌ترین عوارض ژئومورفولوژیکی به شمار می‌آیند که به دلیل دینامیک فعال و تنوع اشکالی که دارند، نقش اساسی در برنامه‌ریزی‌های مختلف محیطی، توسعه‌ای و مدیریت منابع طبیعی ایفا می‌کنند (ژانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۵: ۲؛ مقصودی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۱۴). این عوارض از مجموعه‌ای از تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده‌اند که تحت تأثیر عوامل اقلیمی، به‌ویژه سرعت و جهت بادهای منطقه، همواره در حال تغییر و جابجایی هستند (ماهیو^۲ و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۰۸؛ همدان^۳ و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۸؛ ژو^۴ و همکاران، ۲۰۲۰: ۴۲۳؛ مقصودی و گنجائیان^۵، ۲۰۲۵: ۴۲). بر این اساس، ریگزارها به‌عنوان نمایشگر مرحله تراکمی باد، اشکال متنوعی را در سطوح مختلف مکانی ایجاد می‌کنند و همین پویایی می‌تواند آن‌ها را به یک تهدید جدی برای فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه در حوزه‌های کشاورزی، منابع آب و کاربری‌های انسان‌ساخت تبدیل نماید (اوتمان^۶ و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۸۰؛ کیو^۷ و همکاران، ۲۰۲۱: ۲۰۳۵؛ آستریج^۸ و همکاران، ۲۰۲۱: ۶۴۳؛ دشتی^۹ و همکاران، ۲۰۲۱: ۲). در ایران، جابجایی تپه‌های ماسه‌ای هر ساله خسارات چشمگیری به زیرساخت‌ها، جاده‌ها و سکونتگاه‌های روستایی وارد می‌کند و همین امر ضرورت شناسایی تپه‌های فعال و پایش مناطق مستعد ماسه‌های مهاجر را بیش از پیش آشکار ساخته است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۷: ۸۲).

تپه‌های ماسه‌ای در بسیاری از مناطق جهان، به‌ویژه در کمربند پرفشار جنب‌حاره‌ای، از تراکم بالایی برخوردارند (صفری‌نامیوندی و همکاران، ۱۴۰۲: ۲). موقعیت جغرافیایی ایران نیز به‌گونه‌ای است که بخش وسیعی از آن تحت سیطره شرایط خشک و بیابانی قرار دارد و همین مسئله باعث شده تا ریگزارها سهم قابل‌توجهی از نواحی خشک کشور را پوشش دهند (صادقی‌روش، ۱۳۹۷: ۹۶؛ مشهدی، ۱۴۰۳: ۳۱۸). به همین دلیل، حرکت تپه‌های ماسه‌ای و بروز طوفان‌های ماسه‌ای به یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در ایران تبدیل شده است (گنجائیان و همکاران، ۱۴۰۲: ۳۶؛ نگهبان و همکاران، ۱۴۰۳: ۳۸۶). این شرایط نه تنها چالش‌های زیست‌محیطی را تشدید می‌کند بلکه پیامدهای اقتصادی و اجتماعی از جمله تهدید معیشت جوامع محلی، کاهش بهره‌وری اراضی کشاورزی، و افزایش هزینه‌های نگهداری و بازسازی زیرساخت‌ها را نیز به دنبال دارد (بتولی، ۱۳۹۸: ۱۲؛ جدیدالاسلامی قلعه‌نو و همکاران، ۱۴۰۳: ۷۸۵۶).

از جمله مناطقی که دارای تراکم و تنوع چشم‌گیری از اشکال تپه‌های ماسه‌ای است، سواحل جنوبی ایران می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در این ناحیه، به دلیل تنوع ژئومورفولوژیکی و تأثیر مستقیم رژیم بادهای محلی و منطقه‌ای، مجموعه‌ای از اشکال ماسه‌ای فعال و نیمه‌فعال به وجود آمده است. بخش عمده‌ای از این تپه‌ها دارای دینامیک فعال بوده و جابجایی مداوم آن‌ها، تهدیدی جدی برای نواحی سکونتگاهی، مناطق صنعتی و زیرساخت‌های حیاتی این منطقه به شمار می‌آید. اهمیت این موضوع زمانی بیشتر آشکار می‌شود که توجه کنیم سواحل جنوبی ایران علاوه بر تراکم بالای جمعیت، از جایگاه اقتصادی و ژئوپولیتیکی ویژه‌ای نیز برخوردار است؛ به همین دلیل، پایداری و توسعه این منطقه مستلزم شناخت دقیق‌تر رفتار ریگزارها و مدیریت علمی آن‌ها است.

با توجه به اهمیت موضوع و خلأ موجود در مطالعات جامع درباره ریگزارهای ساحلی ایران، پژوهش حاضر تلاش دارد با رویکردی تحلیلی به ارزیابی وضعیت مورفولوژیکی و دینامیکی تپه‌های ماسه‌ای سواحل جنوبی ایران بپردازد. این مطالعه با هدف شناسایی اشکال غالب، پایش جابجایی آن‌ها و تحلیل رابطه آن‌ها با شرایط بادی منطقه، می‌تواند ضمن پر کردن شکاف پژوهشی موجود، راهکارهای علمی و کاربردی برای مدیریت تهدیدات ناشی از حرکت تپه‌های ماسه‌ای ارائه دهد.

اهمیت بررسی تپه‌های ماسه‌ای سبب شده است تا در طی سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه صورت گیرد. از جمله این تحقیقات می‌توان به لنکستر^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد که به طبقه‌بندی تپه‌های ماسه‌ای بر اساس شکل پرداختند. هرماس^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی وضعیت حرکت تپه‌های ماسه‌ای در شمال غربی صحرای مصر پرداختند و نشان دادند که میزان حرکت

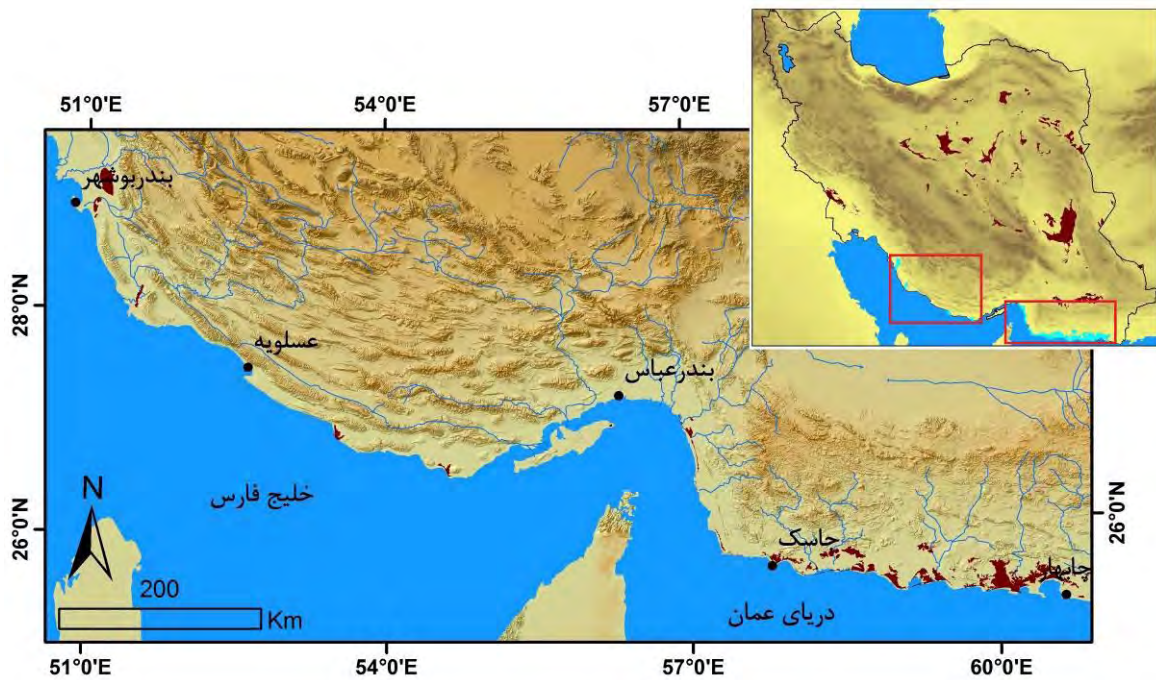
7. Qi
8. Ustrich
9. Dashti
10. Lancaster
11. Hermas

1. Zhang
2. Mahyou
3. Hamdan
4. Zou
5. Maghsoodi & Ganjaeian
6. Othman

تپه‌های ماسه‌ای این منطقه، متأثر از سرعت و جهت بادهای منطقه است. هرهر^۱ و همکاران (۲۰۱۸) بر مبنای روش‌های سنجش از دوری و میدانی، تاثیر خصوصیات باد را بر مناطق بیابانی مصر مورد ارزیابی قرار دارند. ژانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۹) نیز در پژوهشی در شمال چین به این نتیجه رسیدند که تحت تاثیر تغییرات خصوصیات بادهای منطقه، مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و وضعیت فرسایشی آن‌ها نیز با تغییرات زیادی مواجه می‌شود. سان و جاو^۳ (۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های سنجش از دوری و اطلاعات آماری نشان دادند که تحت تاثیر خصوصیات بادهای بیابان تاکلاماکان، بخش زیادی از تپه‌های ماسه‌ای این بیابان، دارای شکل طولی هستند. اختصاصی و دادفر (۱۳۹۲) به بررسی رابطه تندیادهای سواحل جنوبی ایران با مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر دو جهت بودن تاثیرات جهات بادهای منطقه بر حرکت تپه‌های ماسه‌ای است و همین مسئله نقش مهمی در تنوع شکل تپه‌های ماسه‌ای این منطقه دارد. شریفی‌پيچون و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و انطباق آن با داده‌های باد در منطقه ریگ زرین پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که تجمع حجم زیادی از ماسه در بخش جنوب شرقی ریگ و شکل‌گیری تپه‌های ستاره‌ای مرتفع در آن نشان‌دهنده دخالت بادهای غالب شمال غربی در فصل گرم، بادهای فرعی جنوب‌شرقی منطقه و هم‌افزایی نیروی باد همگرایی محلی است. نعیمی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای در شهرستان سبزوار پرداختند. در این تحقیق از شاخص لنکستر استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که در صورت افزایش فراوانی بادهای فرساینده و تبخیر تعرق پتانسیل به مقدار ۳۰٪، فعالیت تپه‌های ماسه‌ای در ایستگاه سبزوار ۳۸٪ افزایش خواهد یافت. جعفری و خان‌حسینی (۱۴۰۲) به بررسی نقش سرعت باد و فشار هوا بر هویت مکانی و پراکنش فضایی تپه‌های ماسه‌ای در ایران پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که بیش‌ترین میزان سرعت باد و جابجایی تپه‌های ماسه‌ای در ایران مربوط به ماه ژوئن است. مقصودی و گنجائیان (۱۴۰۴) به طبقه‌بندی و تحلیل وضعیت مورفولوژیکی و دینامیکی تپه‌های ماسه‌ای در دشت خوزستان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان دادند که مانند مرکزی ریگ اصلی، دارای فعالیت بیش‌تری نسبت به سایر مناطق است.

نتایج ارزیابی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که بیش‌تر مطالعات انجام‌شده یا به بررسی مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای پرداخته‌اند یا بر سرعت حرکت و جابجایی این تپه‌ها تمرکز داشته‌اند. به عبارت دیگر، تحقیقات گذشته غالباً به یکی از دو جنبه‌ی شکل و حرکت تپه‌های ماسه‌ای محدود بوده است و کم‌تر مطالعه‌ای به صورت هم‌زمان هر دو بعد را مورد بررسی قرار داده است. در تحقیق حاضر، رویکرد متفاوتی اتخاذ شده است؛ به‌طوری‌که علاوه بر تحلیل و ارزیابی تأثیر خصوصیات باد بر شکل و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای، میزان جابجایی و حرکت این تپه‌ها نیز به طور هم‌زمان مورد مطالعه قرار گرفته است. این رویکرد جامع، امکان بررسی ارتباط مستقیم بین ویژگی‌های باد و تغییرات مورفولوژیکی و حرکتی تپه‌ها را فراهم می‌کند و می‌تواند تصویری کامل‌تر از فرآیندهای دینامیکی در محیط‌های ماسه‌ای ارائه دهد.

موقعیت ریگزارهای سواحل جنوبی ایران: ریگزارهای سواحل جنوبی ایران با روند غربی-شرقی از شهرستان دشتستان در استان بوشهر آغاز شده و تا غرب شهرستان چابهار ادامه می‌یابند (شکل ۱). این ریگزارها از نظر تقسیمات سیاسی در محدوده استان‌های بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان قرار دارند. در سواحل خلیج فارس، تپه‌های ماسه‌ای این ریگزارها به‌صورت پراکنده دیده می‌شوند، اما در سواحل دریای عمان، به‌ویژه از محدوده جاسک تا چابهار، به‌صورت پیوسته گسترده شده‌اند. از نظر توپوگرافی، این ریگزارها تنوع زیادی دارند و با توجه به وسعت منطقه و تغییرات سرعت و جهت بادهای مورفولوژی متنوعی را نشان می‌دهند. از نظر اقلیمی، با توجه به اینکه ریگزارها در عرض‌های جغرافیایی تقریباً یکسانی قرار دارند و تحت تأثیر سیستم پرفشار جنب حاره هستند، آب و هوای منطقه گرم و شرجی است.



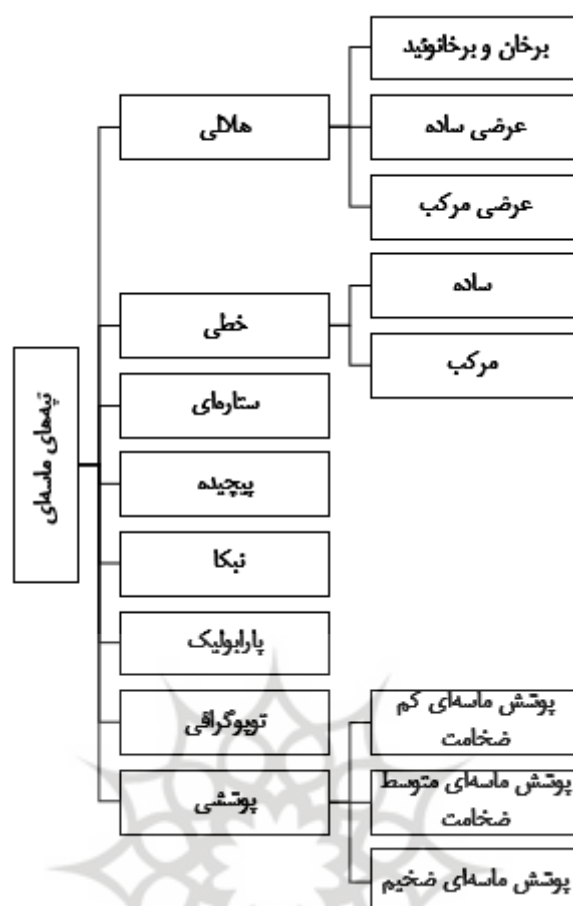
شکل (۱): نقشه موقعیت ریگ‌های سواحل جنوبی

Figure (1): Map of the location of ergs on the southern coast

۲-روش تحقیق

در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به ژوئن سال ۲۰۲۰، تصاویر گوگل ارث و اطلاعات آماری مربوط ایستگاه‌های هواشناسی منطقه به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای تحقیق، ArcGIS، WRplot، به‌منظور آنالیز وضعیت سرعت و جهت بادهای منطقه و Sandrose graph به‌منظور ارزیابی وضعیت شاخص‌های گلماسه بوده است. با توجه به موضوع و اهداف مورد نظر، این تحقیق در چند مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

مرحله اول (بررسی وضعیت دینامیکی و مورفولوژی ریگزارها): در این مرحله ابتدا با استفاده از تصاویر گوگل ارث، محدوده دقیق ریگ لوت ترسیم شده است و سپس به بررسی وضعیت مورفومتری شامل مساحت، طول و عرض تپه‌های ماسه‌ای آن پرداخته شده است. در ادامه با توجه به شکل تپه‌های ماسه‌ای، ریگزار لوت به طبقات مختلفی تقسیم شده است. به‌منظور انجام این طبقه‌بندی از مطالعات کتابخانه‌ای (فرایبرگر^۱، ۱۹۷۹؛ لنکستر، ۱۹۸۹ و لنکستر، ۲۰۱۰) و نظرات کارشناسان استفاده شده است و یک طبقه‌بندی بومی برای ریگزارهای ایران ارائه شده است (شکل ۲) و سپس تپه‌های ماسه‌ای ریگزارهای سواحل جنوبی بر مبنای آن، طبقه‌بندی شده است.



شکل (۲): طبقه‌بندی بومی شده تپه‌های ماسه‌ای ایران

Figure (2): Localized classification of Iranian sand dunes

مرحله دوم (ارزیابی وضعیت فعالیت ریگزارها): در این مرحله با استفاده از تصاویر گوگل ارث و پایش تپه‌های منفرد ماسه‌ای در منطقه، در نهایت تپه‌های ماسه‌ای منطقه از نظر فعالیت به ۳ دسته فعال، نیمه فعال و غیرفعال تقسیم شده است. لازم به ذکر است که برای این منظور، از تصاویر گوگل ارث مربوط به سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ استفاده شده است. مناطقی که ثابت بوده‌اند، به‌عنوان مناطق غیرفعال، مناطق با جابجایی کم‌تر از ۱۰ متر، به‌عنوان مناطق نیمه فعال و مناطق با جابجایی بیش از ۱۰ متر، به‌عنوان فعال در نظر گرفته شده است.

مرحله سوم (آنالیز وضعیت سرعت و جهت بادهای منطقه): در این پژوهش به‌منظور آنالیز بادهای منطقه، از اطلاعات ۸ ایستگاه هواشناسی استفاده شده است (جدول ۱) و بر اساس آن‌ها وضعیت سرعت و جهت بادهای و همچنین شاخص DPT منطقه ارزیابی شده است. در این مرحله ابتدا با استفاده از نرم‌افزار WRplot، گلباد سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه تهیه و سپس ارتباط آن با مورفولوژی و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای تحلیل شده است. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار SandRose Graph 3.0، به بررسی وضعیت شاخص DPT منطقه پرداخته شده است و سپس وضعیت همبستگی آن با فعالیت تپه‌های ماسه‌ای ارزیابی شده است. لازم به ذکر است که به‌منظور محاسبه ضریب همبستگی بین شاخص‌های سرعت باد و DPT با میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای، ابتدا بر مبنای پایش نقطه‌ای، میزان حرکت تپه‌های ماسه‌ای در بخش‌های مختلف ریگزارهای سواحل جنوبی محاسبه شد. در ادامه بر مبنای اطلاعات بدست آمده از ایستگاه‌ها، نقشه درونیابی شاخص‌های سرعت باد و DPT در محدوده مورد مطالعه تهیه شده است و سپس از طریق انطباق نقشه‌های دورنیابی شده

شاخص‌های سرعت باد و Dpt با میزان جابجایی تپه‌های ماسه‌ای، ضریب همبستگی بین شاخص‌های سرعت باد و Dpt با میزان فعالیت تپه‌های ماسه‌ای محاسبه شده است.

جدول (۱): اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table (1): Information about the studied stations

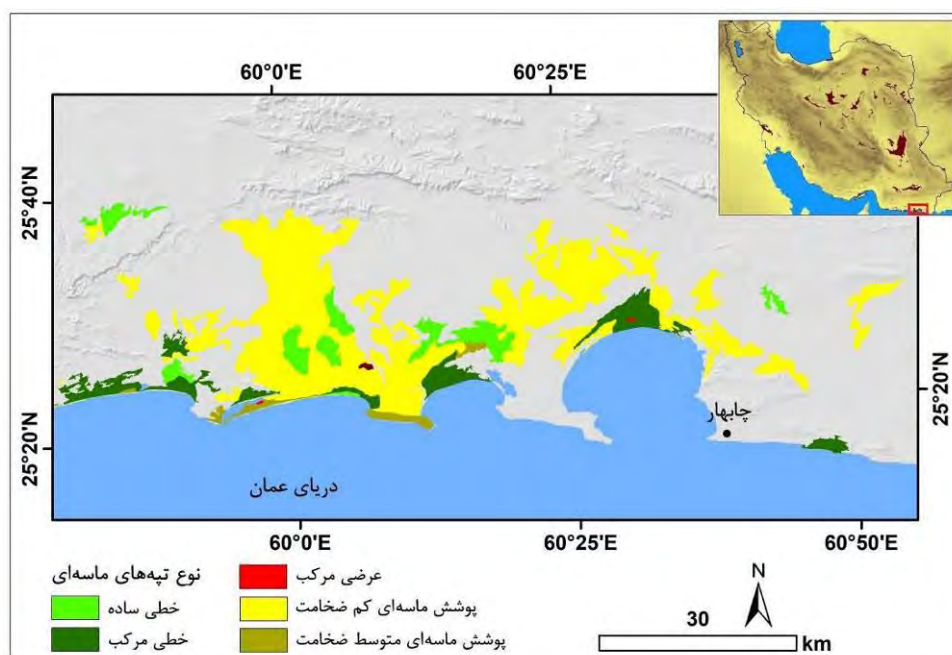
ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دوره آماری
۱	هندیجان	۴۹° ۴۴'	۳۰° ۱۷'	۲۰۰۳-۲۰۰۰
۲	خارک	۵۰° ۲۰'	۲۹° ۱۶'	۲۰۰۳-۱۹۸۲
۳	شیراز	۵۲° ۳۶'	۲۹° ۳۲'	۲۰۰۳-۱۹۷۶
۴	لامرد	۵۳° ۱۵'	۲۷° ۲۲'	۲۰۰۳-۱۹۹۶
۵	کهنوج	۵۷° ۴۲'	۲۷° ۵۸'	۲۰۱۳-۱۹۸۹
۶	جاسک	۵۷° ۴۶'	۲۵° ۳۸'	۲۰۰۳-۱۹۸۲
۷	کنارک	۶۰° ۲۲'	۲۵° ۲۶'	۲۰۰۳-۱۹۸۲
۸	ایران‌شهر	۶۰° ۱۲'	۲۷° ۱۲'	۲۰۰۳-۱۹۸۲

۳- نتایج و بحث

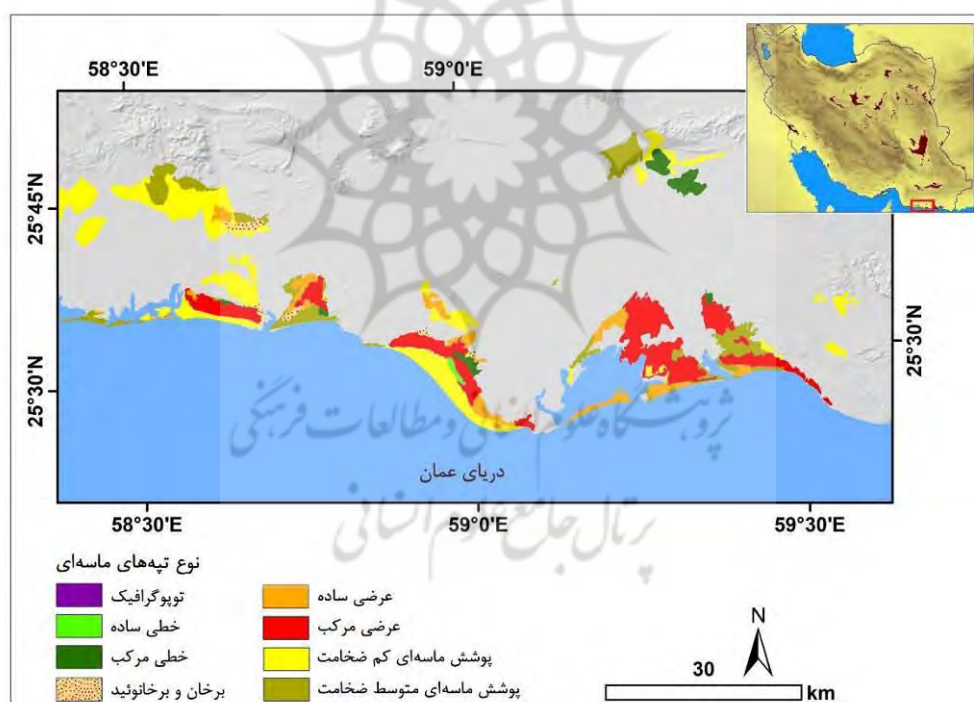
۳-۱- مورفومتری و طبقه مورفولوژیکی ریگزارهای سواحل جنوبی ایران

الف) مورفومتری ریگزارهای سواحل جنوبی ایران: ریگ ساحلی از تعداد زیادی ریگ‌های بزرگ و کوچک تشکیل شده است که مجموع مساحت آن‌ها ۲۷۵۱ کیلومترمربع است. محیط این ریگزارها نیز ۷۳۷۲ کیلومتر می‌باشد. این ریگ در سواحل خلیج فارس شامل ۴ ریگزار است ولی در سواحل مکران شامل تعداد زیادی ریگزار است که از غرب جاسک شروع و با طول حدود ۳۹۰ کیلومتر تا شرق چابهار ادامه دارد. ریگزارهای سواحل جنوبی از نظر ارتفاعی، بین ارتفاع صفر متر تا ۶۰۰ متر قرار دارند که مرتفع‌ترین آن‌ها مربوط به ریگزارهای دوره از ساحل در بخش میانی ساحل مکران است. همچنین ریگزارهای سواحل جنوبی نیز مانند سایر ریگزارها، دارای اشکال مختلفی هستند.

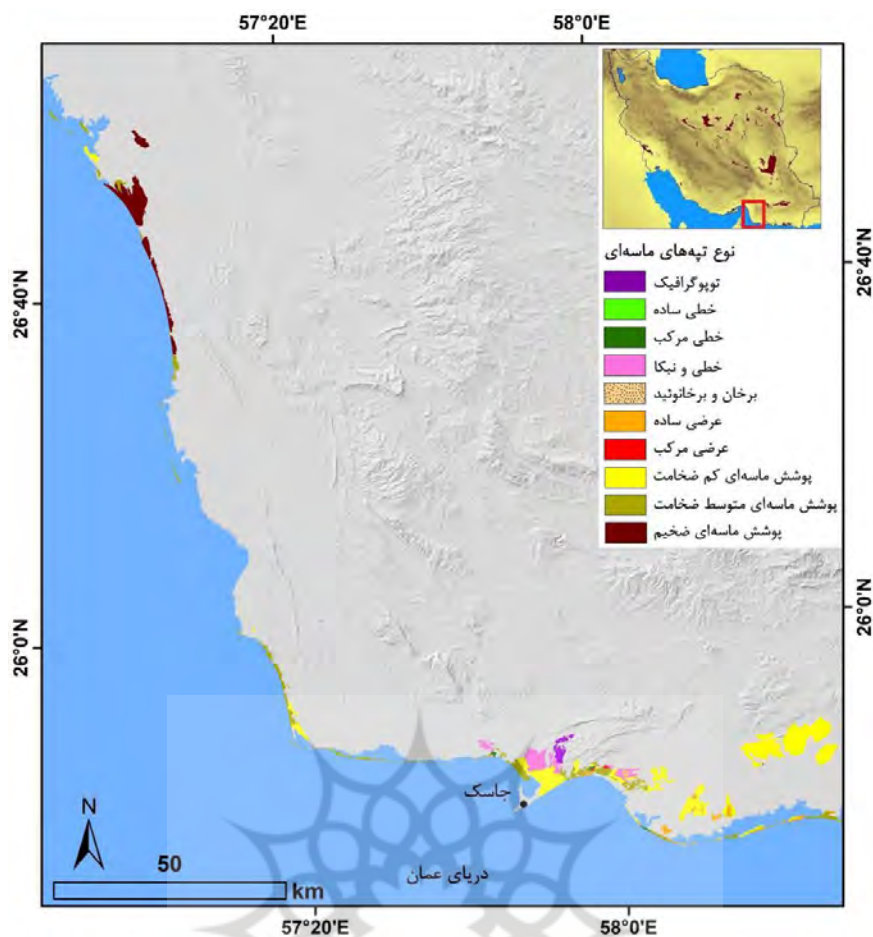
ب) مورفولوژی ریگزارهای سواحل جنوبی ایران: در این پژوهش بر مبنای تصاویر گوگل ارث و با توجه به الگوی ارائه شده (شکل ۲)، تپه‌های ماسه‌ای سواحل جنوبی به ۱۰ طبقه تقسیم شده است که عبارتند از عبارتند از تپه‌های ماسه‌ای توپوگرافیک، خطی ساده، خطی مرکب، خطی و نبکا، برخان و برخانوئید، عرضی ساده، عرضی مرکب، پوشش ماسه‌ای کم ضخامت، پوشش ماسه‌ای متوسط ضخامت و پوشش ماسه‌ای ضخیم (شکل‌های ۳ تا ۶). بررسی پراکنش مکانی نوع تپه‌های ماسه‌ای بیانگر این است که ریگزارهای ساحل مکران را عمدتاً پوشش‌های ماسه‌ای کم ضخامت و متوسط ضخامت در بر گرفته است و بخش‌های میانی این ریگزار دارای بیش‌ترین تنوع است. همچنین در سواحل خلیج فارس نیز پوشش‌های ماسه‌ای غالب است.



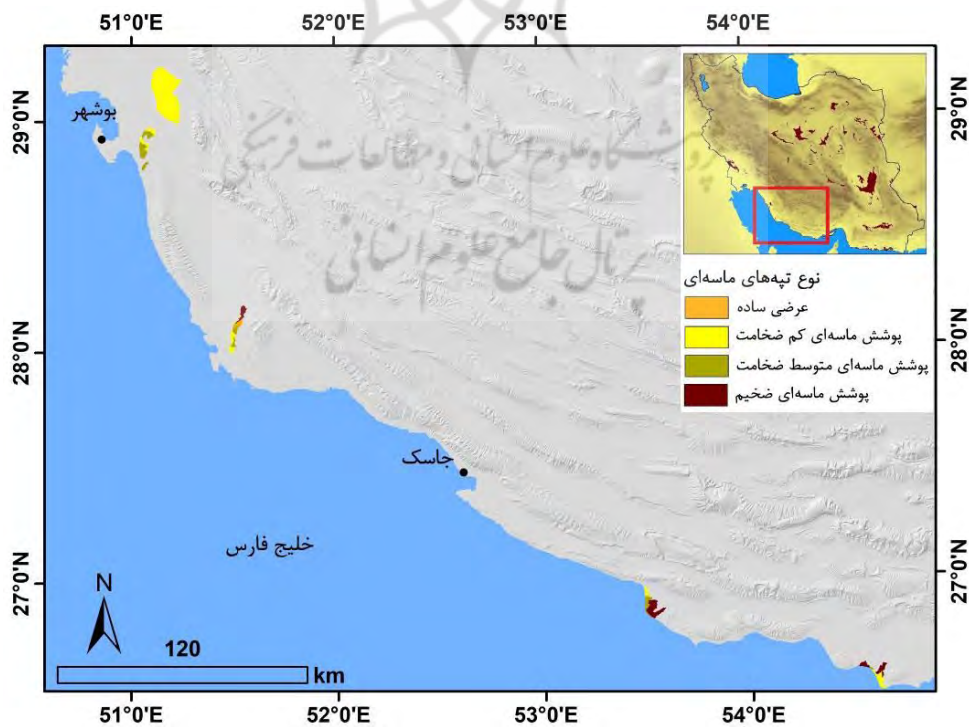
شکل (۳): نقشه طبقه‌بندی ریگزارهای سواحل مکران
Figure (3): Classification map of Makran coastal ergs



شکل (۴): نقشه طبقه‌بندی ریگزارهای سواحل مکران
Figure (4): Classification map of Makran coastal ergs



شکل (۵): نقشه طبقه‌بندی ریگزارهای سواحل مکران
Figure (5): Classification map of Makran coastal ergs

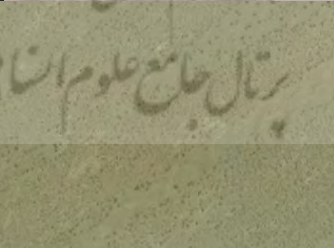


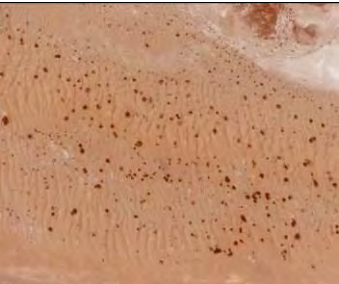
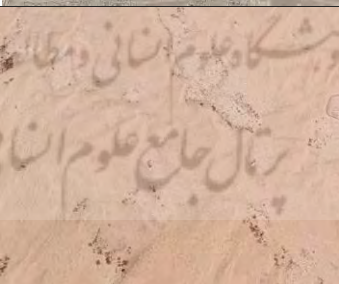
شکل (۶): نقشه طبقه‌بندی ریگزارهای سواحل خلیج فارس
Figure (6): Classification map of ergs on the Persian Gulf coast

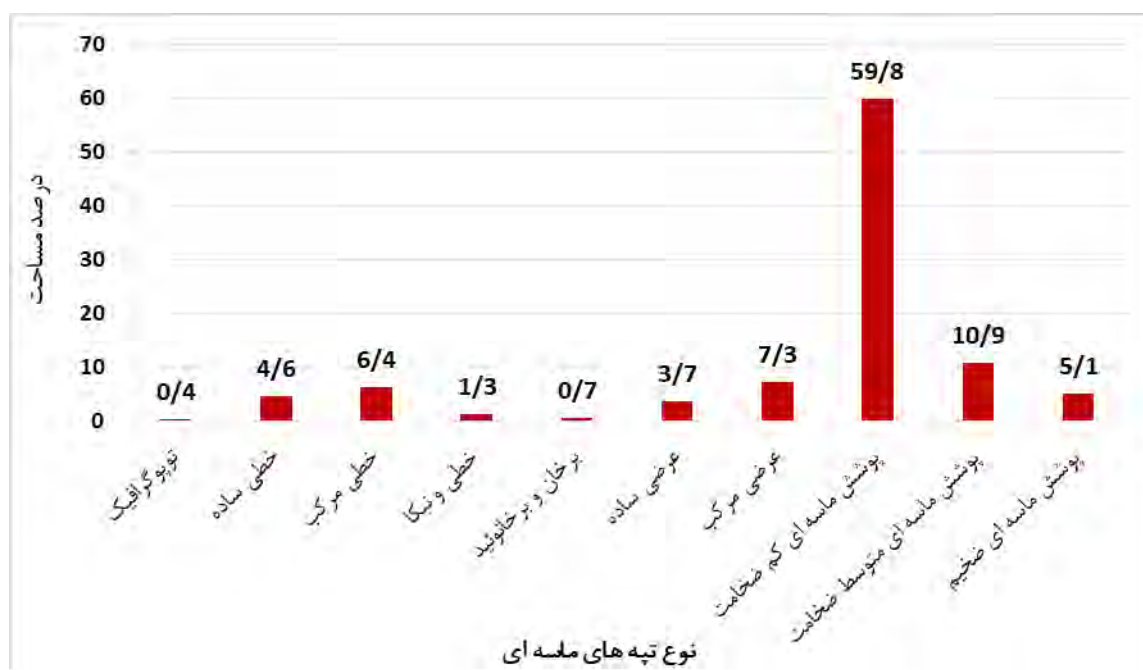
در جدول ۲ و شکل ۷ مساحت و درصد مساحت طبقات نشان داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، بخش زیادی از منطقه را پوشش‌های ماسه‌ای کم ضخامت دربرگرفته است به طوری که این طبقه با ۱۶۴۴ کیلومترمربع، ۵۹/۸ درصد از مساحت کل ریگزارهای منطقه را شامل می‌شود. پوشش‌های ماسه‌ای متوسط ضخامت و عرضی مرکب نیز به ترتیب ۳۰/۱ و ۲۰۰/۷ وسعت دارد.

جدول (۲): مساحت و درصد مساحت طبقات تپه‌های ماسه‌ای ریگ ساحلی

Table (2): Area and percentage of area of coastal sand dune layers

ردیف	نوع تپه‌های ماسه‌ای	تصویر ماهواره‌ای از تپه‌های ماسه‌ای	مساحت	درصد مساحت
۱	توپوگرافیک؛ یعنی دارای موانع توپوگرافیک در اطراف		۹/۹	۰/۴
۲	خطی ساده		۱۲۶/۱	۴/۶
۳	خطی مرکب		۱۷۵/۱	۶/۴
۴	خطی و نبکا		۳۵/۶	۱/۳
۵	برخان و برخانوئید		۱۸/۲	۰/۷

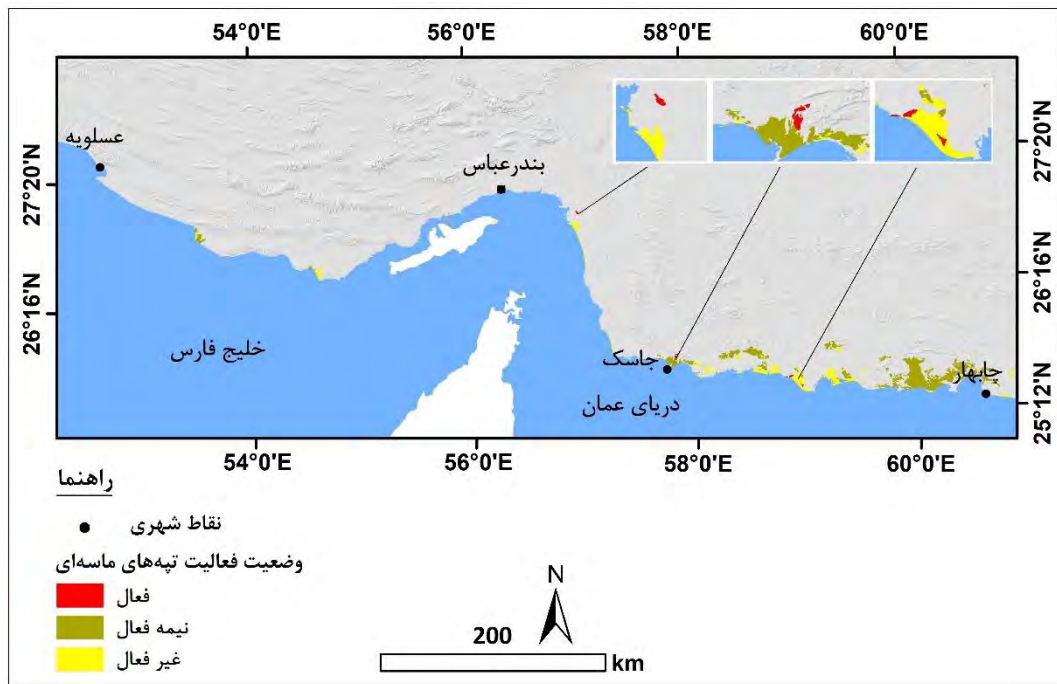
۳/۷	۱۰۲/۱		عرضی ساده	۶
۷/۳	۲۰۰/۷		عرضی مرکب	۷
۵۹/۸	۱۶۴۴		پوشش ماسه‌ای کم ضخامت	۸
۱۰/۹	۳۰۱/۱		پوشش ماسه‌ای متوسط ضخامت	۹
۵/۱	۱۳۹/۱		پوشش ماسه‌ای ضخیم	۱۰



شکل (۷): نمودار مساحت و درصد مساحت طبقات تپه های ماسه ای ریگ ساحلی
Figure (7): Diagram of the area and percentage of the area of coastal sand dune layers

۳-۲- ارزیابی وضعیت فعالیت ریگزارهای سواحل جنوبی ایران

تاثیرگذاری عوامل مختلف سبب شده است تا تپه های ماسه ای سواحل جنوبی ایران از نظر دینامیکی دارای وضعیت فعالی باشند. در این پژوهش به منظور ارزیابی وضعیت تپه های ماسه ای، از تصاویر گوگل ارث و نقاط نمونه متعددی استفاده شده است و در نهایت تپه های ماسه ای منطقه از نظر فعالیت به ۳ طبقه فعال، نیمه فعال و غیر فعال تقسیم شده اند (شکل ۸). در واقع، تحت تاثیر عوامل مختلف میزان فعالیت در بخش های مختلف ریگ ساحلی متفاوت است به طوری که در مناطق شرقی ساحل مکران، ریگزارها عمدتاً به صورت نیمه فعال هستند ولی در بخش های میانی این ساحل، بیش تر به صورت فعال هستند. همچنین در سواحل خلیج فارس نیز به دو صورت فعال و نیمه فعال هستند. تپه های ماسه ای غیر فعال در این محدوده تنها بخش های کمی از مناطق اطراف جاسک را شامل می شوند. بررسی مساحت طبقات ریگزارها بر اساس میزان فعالیت بیانگر این است که تپه های ماسه ای غیر فعال ۷۷۹/۶ کیلومترمربع، تپه های ماسه ای نیمه فعال ۱۹۷۸/۴ کیلومترمربع و همچنین تپه های ماسه ای فعال ۲۷/۳ کیلومترمربع از وسعت ریگزارهای منطقه را شامل می شوند.



شکل (۸): نقشه طبقه‌بندی ریگ ساحلی بر اساس وضعیت فعالیت

Figure (8): Map of coastal sand dune classification based on activity status

در این پژوهش به منظور ارزیابی میزان جابجایی صورت گرفته، پس از پایش‌های اولیه، دو منطقه نمونه به منظور محاسبه میزان جابجایی انتخاب شده است. منطقه اول در شمال غرب جاسک قرار دارد. در این منطقه با استفاده از تصاویر گوگل ارث، محدوده ۳ تپه منفرد مربوط به سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ ترسیم شده است (شکل ۹). بر اساس نتایج بدست آمده، تپه‌های مذکور در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ حدود ۴۹ متر جابجایی داشته‌اند. منطقه دوم نیز در غرب کنارک قرار دارد. در این منطقه به منظور ارزیابی میزان جابجایی، محدوده چندین تپه ماسه‌ای به هم چسبیده مربوط به سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ ترسیم شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، این تپه‌ها در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰، حدود ۳۰ متر جابجایی داشته‌اند.



شکل (۹): محدوده تپه‌های ماسه‌ای مورد مطالعه در طی سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰

Figure (9): Study area of sand dunes during 2005 and 2020

۳-۳- آنالیز بادهای منطقه

در این بخش به منظور بررسی خصوصیات بادهای منطقه و تحلیل اثرات آن بر ریگزارها، از اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های منطقه استفاده شده است. بررسی موقعیت ایستگاه‌ها بیانگر این است که ایستگاه‌های هندیجان، خارک، شیراز، لامرد، کهنوج، جاسک، کنارک و ایرانشهر در مجاورت ریگ ساحل جنوب قرار دارند که در ادامه به تشریح وضعیت سرعت و تداوم باد، جهات غالب باد و همچنین شاخص DPT این ایستگاه‌ها پرداخته شده است:

الف) سرعت باد و تداوم آن: با توجه به اینکه سرعت و تداوم سرعت باد به عنوان عامل اصلی در حرکت تپه‌های ماسه‌ای محسوب می‌شود، در این بخش به بررسی وضعیت بادهای با سرعت بیش از $6/2$ متر بر ثانیه (سرعت آستانه فرسایش بادی) در ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته شده است (جدول ۳). بر اساس نتایج حاصله، در ایستگاه هندیجان $68/4$ درصد از بادهای دارای سرعت بیش از $6/2$ متر بر ثانیه هستند که این میزان در ایستگاه خارک $63/6$ ، در ایستگاه شیراز 23 ، در ایستگاه لامرد $13/8$ ، در ایستگاه کهنوج $43/1$ ، در ایستگاه جاسک $64/8$ ، در ایستگاه کنارک $52/5$ و در ایستگاه ایرانشهر 57 بوده است. میانگین سالانه تعداد روزهای دارای باد با سرعت بیش از $6/2$ متر بر ثانیه در ایستگاه هندیجان 216 روز بوده است که این میزان در ایستگاه خارک $227/8$ ، در ایستگاه شیراز $74/8$ ، در ایستگاه لامرد $53/8$ ، در ایستگاه کهنوج $135/5$ ، در ایستگاه جاسک $232/5$ ، در ایستگاه کنارک 186 و در ایستگاه ایرانشهر 203 روز بوده است. همچنین بالاترین سرعت باد در ایستگاه هندیجان $22/8$ متر بر ثانیه بوده است که این میزان در ایستگاه خارک $30/2$ ، در ایستگاه شیراز $16/1$ ، در ایستگاه لامرد $21/4$ ، در ایستگاه کهنوج $17/6$ ، در ایستگاه جاسک $23/4$ ، در ایستگاه کنارک $21/2$ ، در ایستگاه ایرانشهر $16/6$ و در ایستگاه خاش نیز 24 متر بر ثانیه بوده است.

جدول (۳): محاسبه سرعت آستانه باد در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table (3): Calculation of threshold wind speed at the studied stations

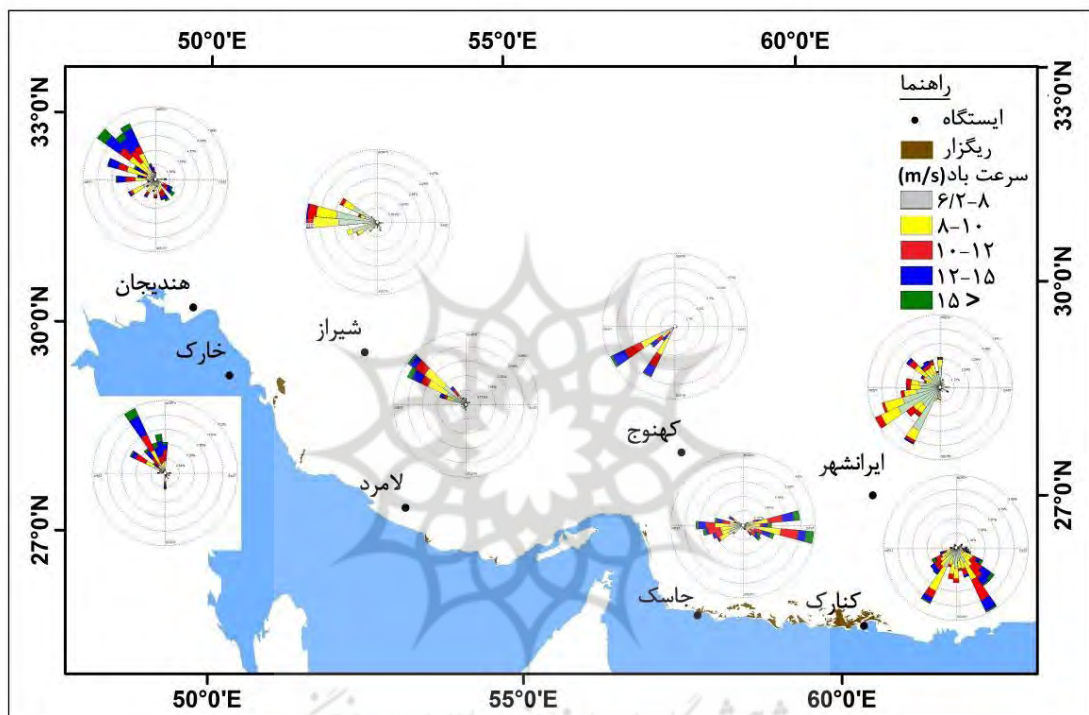
ردیف	ایستگاه	درصد باد بیش از $6/2$ متر بر ثانیه	میانگین سالانه تعداد روزهای با سرعت بیش از $6/2$ متر بر ثانیه	بالاترین سرعت باد در طی دوره زمانی مورد مطالعه
۱	هندیجان	$68/4$	216	$22/8$
۲	خارک	$63/6$	$227/8$	$30/2$
۳	شیراز	23	$74/8$	$16/1$
۴	لامرد	$13/8$	$53/8$	$21/4$
۵	کهنوج	$43/1$	$135/5$	$17/6$
۶	جاسک	$64/8$	$232/5$	$23/4$
۷	کنارک	$52/5$	186	$21/2$
۸	ایرانشهر	57	203	$16/6$

ب) جهات باد: نتایج بررسی جهت باد غالب فصلی و سالانه ایستگاه‌های منطقه بیانگر این است (جدول ۴) که در ایستگاه‌های هندیجان، خارک و لامرد جهت غالب باد در فصول مختلف سال از سمت جنوب غرب است. در ایستگاه شیراز در فصول مختلف سال از سمت جنوب است. در ایستگاه کهنوج، جهت باد غالب تمام فصل‌ها از سمت جنوب غرب است. در ایستگاه جاسک، جهت باد غالب تمام فصل‌ها از سمت جنوب شرق و جهت غالب باد سالانه نیز از سمت جنوب شرق است. در ایستگاه ایرانشهر، جهت باد غالب تمام فصل‌ها از سمت جنوب شرق و همچنین در ایستگاه خاش نیز جهت غالب باد در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان از سمت غرب، در فصل پاییز از سمت شمال شرق و جهت غالب باد سالانه نیز از سمت جنوب غرب است (شکل ۱۰).

جدول (۴): جهت باد فصلی و سالانه ایستگاه های مجاور ریگ سال جنوب

Table (4): Seasonal and annual wind directions at stations near the southern coastal dunes

ایستگاه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه
هندیجان	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب
خارک	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب
شیراز	جنوب	جنوب	جنوب	جنوب	جنوب
لامرد	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب
کهنوج	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب
جاسک	غرب	غرب	غرب	غرب	غرب
کنارک	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب شرق	جنوب غرب	جنوب شرق
ایران شهر	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب



شکل (۱۰): نقشه موقعیت ایستگاه های منطقه و وضعیت کلباد سالانه هر ایستگاه

Figure (10): Map of station locations and annual wind-rose conditions at each station

(ج) محاسبه مقادیر D_{Pt}^1 (توان حمل ماسه در جهات مختلف): نتایج بررسی میزان D_{Pt} فصلی و سالانه نیز بیانگر این است که میزان D_{Pt} در فصل زمستان بین ۱۷۴ تا ۴۵۳، در فصل بهار بین ۱۱۸ تا ۴۰۲، در فصل تابستان بین ۱۳۲ تا ۳۵۰، در فصل پاییز بین ۸۶ تا ۵۹۴ و در مجموع سالانه نیز بین ۱۸۸ تا ۳۲۷ بوده است. بر این اساس، بیشترین میزان D_{Pt} فصلی مربوط به فصل زمستان بوده است (جدول ۵).

جدول (۵): مقادیر DPT فصلی و سالانه ایستگاه‌های مجاور ریگ ساحلی

Table (5): Seasonal and annual DPT values at stations adjacent to the coastal dunes

ایستگاه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه
هندیجان	۲۶۳	۵۹۶	۲۸۰	۱۹۶	۳۳۶
خارک	۴۰۱	۳۷۷	۱۷۱	۵۶۵	۳۷۸
شیراز	۱۹۱	۲۴۸	۱۱۴	۹۱	۱۶۷
لامرد	۱۶۶	۲۸۰	۱۲۵	۱۰۲	۱۸۳
کهنوج	۱۷۲	۳۳۲	۳۳۳	۶۲	۲۵۵
جاسک	۳۴۰	۱۱۸	۲۶۶	۸۵	۲۰۵
کنارک	۴۵۳	۴۰۲	۳۵۰	۵۹۵	۳۲۳
ایران‌شهر	۱۴۶	۱۷۹	۲۳۴	۳۹	۱۵۰

بحث

الف) بررسی تأثیر ویژگی‌های باد در مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای

مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای به طور مستقیم تحت تأثیر شرایط محیطی ریگزارها، از جمله موانع طبیعی، پوشش گیاهی و سایر عوامل محلی، و همچنین ویژگی‌های باد منطقه قرار دارد. بررسی مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در سواحل جنوبی ایران نشان می‌دهد که برخلاف ریگزارهای خوزستان (مقصودی و گنجائیان، ۱۴۰۴)، این تپه‌ها دارای تنوع اشکال قابل توجهی هستند. این تنوع ناشی از گستردگی طولانی سواحل، از خلیج فارس تا مکران، و تفاوت شرایط محیطی و اقلیمی در طول مسیر است.

در کنار شرایط اقلیمی، توپوگرافی متنوع خط ساحلی نیز نقش مهمی در شکل‌گیری و پراکندگی تپه‌ها دارد. بررسی‌های مکانی نشان می‌دهد که در سواحل شرقی مکران، به دلیل نبود موانع توپوگرافی و وجود اراضی کم‌شیب، تپه‌های ماسه‌ای به صورت گسترده و غالباً به شکل پوشش‌های ماسه‌ای با ضخامت‌های مختلف مشاهده می‌شوند. در بخش‌های میانی سواحل مکران، هرچند تپه‌ها همچنان گسترده هستند، اما تنوع توپوگرافی منجر به شکل‌گیری انواع مختلف تپه‌ها با مورفولوژی متنوع شده است.

به سمت مناطق غربی مکران و سواحل تنگه هرمز، موانع توپوگرافی باعث شده تا تپه‌ها به صورت نواری باریک گسترش یابند. در سواحل خلیج فارس نیز، به دلیل محدودیت منابع ماسه و ویژگی‌های توپوگرافی، تپه‌های ماسه‌ای پراکنده و با گستردگی کم دیده می‌شوند. به طور کلی، می‌توان گفت که الگوهای تپه‌های ماسه‌ای در سواحل جنوبی ایران حاصل تعامل پیچیده بین بادهای منطقه‌ای، منابع ماسه‌ای، توپوگرافی و شرایط اقلیمی است.

ب) ارزیابی میزان همبستگی ویژگی‌های باد و جابجایی تپه‌های ماسه‌ای

برای تحلیل رابطه بین حرکت تپه‌های ماسه‌ای و ویژگی‌های باد، ضریب همبستگی بین این دو متغیر در دوره‌های زمانی مختلف محاسبه شد (جدول ۶). نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان همبستگی فصلی با ضریب ۰/۵۱۴ مربوط به فصل بهار است، در حالی که ضریب همبستگی سالانه برابر با ۰/۲۹۸ به دست آمده است.

علاوه بر این، بررسی همبستگی بین حرکت تپه‌های ماسه‌ای و شاخص DPT که نمایانگر شدت و جهت باد است نشان داد که بالاترین میزان همبستگی فصلی با ضریب ۰/۶۱۲ در فصل بهار مشاهده شد و ضریب همبستگی سالانه برابر با ۰/۴۸۷ است. این نتایج بیانگر این واقعیت است که تغییرات فصلی باد، به ویژه در بهار، تأثیر قابل توجهی بر جابجایی و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای دارند و حرکت سالانه تپه‌ها نیز تا حدی با ویژگی‌های باد مرتبط است، هرچند تأثیر آن کمتر از تغییرات فصلی است.

به طور کلی، یافته‌ها نشان می‌دهند که تعامل بین باد، توپوگرافی و منابع ماسه‌ای، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری و جابجایی تپه‌های ماسه‌ای سواحل جنوبی ایران دارد. این تحلیل می‌تواند در مطالعات مدیریت خاک و حفظ منابع طبیعی ساحلی و همچنین برنامه‌ریزی برای مقابله با فرسایش بادی مفید باشد.

جدول (۶): نتایج همبستگی ویژگی‌های باد و میزان جابجایی تپه‌های ماسه‌ای
Table (6): Correlation between wind properties and sand dune movement

همبستگی بین فعالیت حرکت تپه- های ماسه‌ای و سرعت باد	همبستگی بین فعالیت تپه‌های ماسه‌ای و DPT	دوره
۰/۲۳۵	۰/۵۳۷	زمستان
۰/۵۱۴	۰/۶۱۲	بهار
۰/۴۴۳	۰/۳۱۷	تابستان
۰/۳۱۲	۰/۴۳۴	پاییز
۰/۲۹۸	۰/۴۸۷	سالانه

۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که خط ساحلی جنوب ایران از جمله مناطق مهم کشور از نظر تراکم و تنوع تپه‌های ماسه‌ای است، به گونه‌ای که وسعت این عوارض بیش از ۲۷۵۰ کیلومترمربع برآورد می‌شود. بررسی‌های مورفولوژیکی نشان داد که انواع متنوعی از تپه‌های ماسه‌ای در منطقه شکل گرفته‌اند که تحت تأثیر شرایط توپوگرافی، ویژگی‌های باد و منابع ماسه، الگوهای گوناگونی از جمله تپه‌های برخان، برخانوئید، خطی ساده و مرکب، عرضی ساده و مرکب و همچنین پوشش‌های ماسه‌ای با ضخامت‌های مختلف را ایجاد کرده‌اند. در میان این اشکال، بیش‌ترین سطح مربوط به پوشش‌های ماسه‌ای کم ضخامت و متوسط ضخامت و تپه‌های عرضی مرکب است. از سوی دیگر، نتایج بررسی وضعیت سرعت و جهات بادهای منطقه حاکی از آن است که سرعت و فراوانی باد در برخی ایستگاه‌ها به‌ویژه در سواحل مکران به مراتب بیش‌تر از سواحل خلیج فارس بوده و همین امر موجب افزایش پویایی و تحرک تپه‌های ماسه‌ای در این ناحیه شده است. همبستگی میان شاخص‌های بادی و جابه‌جایی ماسه‌ها نیز بیش‌ترین مقدار را در فصل بهار نشان داد و بیانگر اوج فعالیت فرایندهای بادی در این فصل است. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که سواحل جنوبی ایران به دلیل تراکم بالای تپه‌های ماسه‌ای فعال و نقش آن‌ها در تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی، نیازمند توجه ویژه مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های حفاظتی است. توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی به پایش بلندمدت تغییرات مورفولوژیکی تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از فناوری‌های سنجش‌ازدور و GIS پرداخته شود تا روند جابه‌جایی و تغییر شکل آن‌ها به‌طور دقیق‌تر مشخص گردد. همچنین با توجه به نقش مؤثر باد در پویایی این عوارض، نصب و توسعه شبکه‌های ایستگاه‌های هواشناسی محلی می‌تواند در تحلیل دقیق‌تر شرایط جوی و پیش‌بینی تغییرات آینده مؤثر باشد. از سوی دیگر، طراحی و اجرای طرح‌های مدیریتی مانند تثبیت بیولوژیکی و مکانیکی تپه‌های ماسه‌ای در مناطق حساس به‌ویژه در مجاورت مراکز جمعیتی و صنعتی ضروری به نظر می‌رسد. توجه به ظرفیت‌های گردشگری ژئومورفولوژیک این عوارض نیز می‌تواند ضمن کاهش فشارهای مخرب انسانی، فرصتی برای توسعه پایدار منطقه فراهم آورد. نهایتاً لازم است سیاست‌گذاران با در نظر گرفتن پویایی طبیعی تپه‌های ماسه‌ای، برنامه‌های توسعه‌ای را به‌گونه‌ای تدوین کنند که کمترین تعارض میان فعالیت‌های انسانی و پدیده‌های ژئومورفولوژیک ایجاد شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی شماره ۹۸۰۰۷۶۳۵، حمایت‌شده توسط بنیاد ملی علم ایران (INSF) است.

References

- Batooli, H. (2019). Ecotourism aspects of sand dunes and the environmental risks facing it. *Iran Nature*, 4(3), 11-20. <https://doi.org/10.22092/irn.2019.119470> [In Persian].
- Dashti, A., Mohammad, R., & Al-Hurban, A. (2021). Sand dunes-induced geomorphological changes in Um Ar-Rimam depression, Kuwait. *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (1632), <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08108-w>.
- Ekhtesasi, M., & Dadfar, S. (2013). Investigation on Relationship between Coastal Hurricanes and Sand Dunes Morphology in South of Iran. *Physical Geography Research*, 45(4), 61-72. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2014.50072> [In Persian].
- Fryberger, S.G. (1979). Dune forms and wind regime. In: McKee, E.D. (Ed.), *A Study of Global Sand Seas. Geological Survey Professional Paper*, 137–169. <https://www.researchgate.net/publication/349216893>.
- Ganjaeian, H., Mohammadian, K., Javedani, M., & Safari Namivandi, M., 2023. Estimating the desertification potential of Yazd Province using DVI indices. *Desert management*, 11(2), 35-48. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2023.2004871.1419> [In Persian].
- Hamdan, M.A., Refaat, A.A., & Abdel Wahed, M. (2016). Morphologic characteristics and migration rate assessment of barchan dunes in the SoutheasternWestern Desert of Egypt. *Geomorphology*, 257, 57-74. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.12.026>.
- Hereher, M. (2018). Geomorphology and drift potential of major aeolian sand deposits in Egypt. *Geomorphology*, 304, 113- 120. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2017.12.041>.
- Hermas, E., Leprince, S., & El-Magd, I.A. 2012. Retrieving sand dune movements using sub-pixel correlation of multi-temporal optical remote sensing imagery, northwest Sinai Peninsula, Egypt. *Remote Sensing of Environment*, 121, 51- 60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.002>.
- Jadidoleslami ghalehno, M., Esfandiari Dorabad, F., Seraskanroud, S. A., Abedini, M., & Mostafazadeh, R. (2024). Assessing the hazards caused by the movement of sand dunes in the Sistan plain (Zabol) and its impact on rural settlements. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(1), 7855-7872. <https://doi.org/10.22034/jess.2023.395677.2023> [In Persian].
- Jafari, G. H., & Khanhasani, K. (2023). Investigating the Role of Wind Speed and Air Pressure on the Spatial Identity and Spatial Distribution of Dunes in Iran. *Journal of Environmental Studies*, 49(3), 255-277. <https://doi.org/10.22059/jes.2023.347480.1008351> [In Persian].
- Lancaster, N. (2009). Dune morphology and dynamics. In: Parsons A J, Abrahams AD (eds) *Geomorphology of desert environments. Springer*, 824 P. https://10.0.3.239/978-1-4020-5719-9_18
- Lancaster, N., 1995. *The Geomorphology of Desert Dunes. Routledge*, London, 290 P. <http://dx.doi.org/10.4324/9780203413128>.
- Lancaster, N., Nickling, W.G., & Gillies, J.A. (2010). Sand transport by wind on complex surfaces: Field studies in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 115(3), 1-10. <https://doi.org/10.1029/2009JF001408>.
- Maghsoudi, M., & Ganjaeian, H. (2025). Aeolian Geomorphology of Ergs and Dunefields in Iran. *Desert*, 30(1), 41-66. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2025.102461>.
- Maghsoudi, M., & Ganjaeian, H. (2024). Classification of ergs around the Kavir plain (Dasht-e Kavir) and the Masileh Playa and assessment of their changes. *Quaternary Journal of Iran*, 10(1, 2), 88-107. <https://doi.org/10.22034/irqua.2025.2054847.1042> [In Persian].
- Maghsoudi, M., & Ganjaeian, H. (2025). Classification and analysis of the morphological and dynamic status of sand dunes (Case study: Khuzestan Reg). *E.E.R.* 15(2), 1-19. <http://dx.doi.org/10.61186/jeer.15.2.1> [In Persian].
- Maghsoudi, M., & Ganjaeian, H. (2025). Studying the Distributions and Areas of Sand Dunes in Iran Using Remote Sensing Methods. *Geography and Environmental Planning*, 36(2), 89-112. <https://doi.org/10.22108/gep.2025.145019.1721> [In Persian].
- Maghsoudi, M., Fathollahzadeh, M., & Ganjaeian, H. (2021). Monitoring wind speed changes and its effect on the displacement and changes of sand dunes in the Lut Sand Dunes. *Sepehr*, 30(118), 13-126. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.246137> [In Persian].

- Maghsoudi, M., Ganjaeian, H., & Hoseini, S. (2018). Evaluating the Effectiveness of Supervised and Unsupervised Classification Methods in Monitoring Regs (Case Study: Jazmourian Reg). *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 9(32), 81-92. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161472.html [In Persian].
- Mahyou, H., Tychon, B., Balaghi, R., Mimouni, J., & Paul, R. (2010). Désertification des parcours arides au Maroc. *Tropicultura*, 28(2): 107-114. <https://www.researchgate.net/publication/46378957>
- Mashhadi, N. (2024). Morphodynamics of sand dunes and wind patterns (case study: New erg and Young, South-East of Qom). *Geography and Environmental Hazards*, 13 (1), 338-317. <https://doi.org/10.22067/geoe.2022.76706.1227> [In Persian].
- Naemi, M., Zandifar, S., Khosroshahi, M., Ashoori, P., & Abbasi, H. (2021). Investigating the Effects of Climate Change on the Mobility of Sand Dunes (Case study: Sabzevar City). *Desert Management*, 9(2), 1-18. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2021.246296> [In Persian].
- Negahban, S., Ganjaeian, H., Ghaysarian, S.S., & Ebrahimi, A. (2025). Identifying dust centers and analyzing the factors affecting their occurrence based on remote sensing data (Case study: Southwest Iran). *Geography and environmental hazards*, 13(4), 386-405. <https://doi.org/10.22067/geoe.2024.89088.1504> [In Persian].
- Othman, A., Al-Saady, Y., Shihab, A., & Al-Maamar, A. (2019). The Aeolian Sand Dunes in Iraq: A New Insight. *Environmental Remote Sensing and GIS in Iraq*, Edited by Ayad M. Fadhil Al-Quraishi (Iraq) and Abdelazim M. Negm (Egypt). *Springer*, 279-300. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21344-2_12.
- Qi, Y., Pan, M., Hao, Z., Yang, A., & Xue, W. (2021). Variations in aeolian landform patterns in the Gonghe Basin over the last 30 years. *Journal of Mountain Science*, 18 (8), 2034–2047. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6378-7>.
- Sadeghi Ravesh, M. (2018). Analysis of wind erosion and determination of sand movement direction in Khezrabad region. *Watershed Engineering and Management*, 10(1), 95-107. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/IJWMSE.2017.108120.1216> [In Persian].
- Safari Namivandi, M., Ganjaeian, H., Ebrahimi, A., & Ebadinezhad, S.A. (2023). Assessing Desertification Risk Potential Using DVI Model (Case Study: Northern Regions of Semnan Province). *Geographical studies of arid regions*, 14(53), 1-17. <https://doi.org/10.22034/jargs.2023.397791.1032> [In Persian].
- Sharifi Paichoon, M., Omidvar, K., & Miri, Z. (2020). Morphological study of the sand dunes in Zarrin Erg and its adaptation to the regional wind data. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 8(1), 1-27. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2345332.1399.8.1.1.6> [In Persian].
- Sun, W., & Gao, X. (2022). Geomorphology of sand dunes in the Taklamakan Desert based on ERA5 reanalysis data. *Journal of Arid Environments*, 207 (1), 77-99. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104848>.
- Ustrich, A., Mapelli, F.J., Mora, S.M., & Kittlein, M.J. (2021). Landscape Change and Associated Increase in Habitat Fragmentation During the Last 30 Years in Coastal Sand Dunes of Buenos Aires Province. *Argentina. Estuaries and Coasts*, 44(6), 643–656. <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00798-x>.
- Zhang, G.F., Molina, C.A., Shi, P., Lin, D., Guijarro, J.A., Kong, F., & Chen, D. (2019). Impact of near surface wind speed variability on wind erosion in the eastern agro-pastoral transitional zone of Northern China (1982–2016). *Agricultural and Forest Meteorology*, 271, 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.02.039>.
- Zhang, Z., Dong, Z., & Li, C. (2015). Wind regime and sand transport in China's Badain Jaran Desert. *Aeolian Research*, 17, 1- 13. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2015.01.004>.
- Zou, X., Li, H., Liu, W., Wang, J., Cheng, H., Wu, X., Zhang, C., & Kang, L. (2020). Application of a new wind driving force model in soil wind erosion area of northern China. *Journal of Arid Land*, 12, 423–435. <https://doi.org/10.1007/s40333-020-0103-9>.