

Evaluation of Spatio-Temporal Variations of Sand Dunes Surface Using Time Series Satellite Observations of Landsat Imageries (Case study: Rig-Zarin)

Dr. Mohamad Sharifi Paichoon^{1*}, Dr. Hamid Reza Ghafarian Malmiri², Zeynab Miri³

1-Assistant Professor of Geomorphology, University of Yazd*

2-Assistant Professor of Remote Sensing, University of Yazd

3-M.Sc of Science of Geomorphology, University of Yazd



Sharifi Paichoon, M & Ghafarian Malmiri, H R & Miri, Z. (2020).[Evaluation of Spatio-Temporal Variations of Sand Dunes Surface Using Time Series Satellite Observations of Landsat Imageries (Case study: Rig-Zarin)]. *Geography and Development*, 18(58), 45-58, <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2020.5175>

doi: <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2020.5175>

Received:12/12/2018

Accepted:13/10/2019

Keywords:

Eeywords:

Rig-Zarrin,

Sand dunes,

time series,

Sand dune

surface

fluctuation

ABSTRACT

Sand dunes are always moving due to various variables such as wind, sediment grain size, humidity, topography, morphology of hills and vegetation coverage. The purpose of this study is to investigate the amount of displacement of the Rig-Zarin surface in the northwest of Yazd city. To assess the changes and developments of the sand dunes, time series satellite observations of Landsat TM were utilized from 1977 to 2017. The results showed that the area of the sand dunes fluctuated during this time period, while increased in some time and decreased at another times. Nevertheless, the overall process of changes was incremental during the whole period, and the surface of the sand dunes has developed about 60 Km². The results also showed that in the two periods of time, from 1987 to 1993, as well as from 1998 to 2002, the area has decreased. In addition, the gradient of the incensement of area has not been the same and in some intervals the increase has been much more impressive. But, from 2002 to 2008, the increscent of area was less than 2Km² which are associated with increasing or decreasing soil moisture content. In the moist years, there is no possibility of area development, and the sand dune is compressed, so its surface has been reduced. But in droughts, especially in the last 10 years, the development of the surface area of Rig-Zarin was considerably impressive (about 30 Km²). Also, the results showed that the direction of movement has always changed.

Copyright©2020, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

1-Introduction

The accumulation of wind sands and the formation of sand dunes is one of the most dynamic and interesting natural phenomena in arid and semi-arid desert regions of the world. The surface of

these complications is constantly changing due to regional and local winds, soil moisture and also the topography of the infrastructure. The movement of sand dunes is one of the high risk factors for environmental hazards in these areas and threatens the human infrastructure and even the fragile ecosystems of these areas. The aim of this study is to study the changes in the surface area of golden sand dunes during a period of 40 years (from 1977 to 2017) for 40 years, based on which the amount and direction of sand dunes can be moved. In the deserts of central Iran. This can determine the role of erosive factors including harvesting sources, transfer processes, and the location and location of sedimentation. Zarrin sand is one of the largest sandstones and an index of Central Iran in the range

*Corresponding Author :

Mohamad Sharifi Paichoon

Address: Departman of Geomorphology,
University of Yazd

Tel: +98(351-8123276)

E-mail: mscharifi@yazd.ac.com

between $38^{\circ} 54'$ to $40^{\circ} 55'$ east longitude and $34^{\circ} 32'$ to $36^{\circ} 33'$ north latitude. This sand is located at 40 km northwest of Bafgh desert (in Engir), northwest of Saghand village and south of Bayazeh village. The sand is located inside a pit that is surrounded on four sides by the surrounding heights, the highest of which is located in the southeastern part with an altitude of 3000 meters. The area of the sand is about 460 square kilometers and its length is about 60 kilometers.

2-Methods and Material

In the present study, in order to investigate the temporal-spatial changes of golden sand dunes from 8 images of LandsatTM, ETM + satellite for the years 1977, 1987, 1993, 1998, 2002, 2008, 2013, as well as Landsat 8 for 2017 used. These images were first classified as unsupervised in ENVI software and then as monitored. First, the ground points on the images were identified as monitored spectral samples (ROI) and then these points were introduced to the software as training points and then the pixels of the images were obtained based on the maximum similarity to the parts defined and the smallest distance from the mean pixel value of the defined sections were classified. Then, kappa coefficient was used to validate the classification results. After classifying the satellite images, post-classification operations were performed to improve the images and increase the capability of the classified images to become a map.

These operations include filtering (Majority filtering), combining classes) sifting classes (clump classes) and overlapping classes, and finally turning into a vector map to enter in to GIS environment. Therefore, the resulting maps were entered into GIS environment using remote sensing techniques and were prepared to perform the necessary techniques to evaluate the coverage and draw geographical maps of the area. At this stage, all images of Zarin sand were converted from raster to vector, and the area of the sand was measured and calculated separately in each of the years, and using Excel software for the obtained data, a line graph. Changes in area over time were plotted.

The results showed that Zarin Rig is in the shape of the English letter L and has developed in the northwest-southeast direction during the study period. The area of sand in 1977 was about 400 square kilometers. The width of Rig is greater in the northwestern part, while its height is greater in the southeastern part of Rig. Analysis of satellite imagery in 1987 showed that the area of Rig had increased by more than 40 square kilometers compared to ten years ago. Most of the sand development took place in the middle parts of this period. The area of Rig in 1993 has decreased by about 18 square kilometers compared to 6 years ago. An analysis of 1998 satellite imagery showed an increase in gravel area of about 16 square kilometers compared to five years ago, with most of its development occurring in the middle sections during this period.

3-Results and Discussion

Findings showed that Zarrin Rig is like L letter and has extended along the northwest-southeast direction. The area of the Rig has been about 400 Km² in 1977. The Width of the Rig is greater in the northwest but in the southeast the Rig has a lot more height. The analysis of satellite images in 1987 showed that its area has expanded compared to 10 years ago, so that its area has reached about 444 Km². The largest expansion has been in the middle and east parts. The area of the Erg in 1993 has decreased in compared to 6 years ago in 1978. This decrease was about 18 Km². The satellite image of 1998 showed the Erg area increased about 16 Km² compared to 5 years ago in 1993. But the rate of increase was more in the middle and north parts. Also, the Erg area has been decreased about 10Km² among 1998 to 2003, but since 2002 to 2008 the Erg has had the least fluctuation and only increased less than 2 Km². The observation and analysis of satellite images showed that Erg area increased in 2017 compared to 9 years ago in 2008. The rate of expansion has been about 30 Km² which shows the most changes and the most increase during all periods.

4-Conclusion

The results showed that the area of the sand dunes fluctuated from 1978 to now. So that in some periods its area has increased and in some periods it has decreased. Nevertheless, the overall process of changes was incremental during the whole period, and the surface of the sand dunes has developed about 60 Km². The results also showed that in the two periods of time, from 1987 to 1993, as well as from 1998 to 2002, the area has decreased. In addition, the gradient of the incensement of area has not been the same and in some intervals the increase has been much more impressive. But, from 2002 to 2008, the increscent of area was less than 2 Km² which are associated with increasing or decreasing soil moisture content. In the moist years, there is no possibility of area development, and the sand dune is compressed, so its surface has been reduced. But in droughts, especially in the last 10 years, the development of the surface area of Rig-Zarin was considerably impressive (about 30 Km²). Also, the results showed that the direction of movement has always changed

Keywords: Rig-Zarin, Sand dunes, Tme series, Sand dune surface fluctuation.

5-References

- Ahadnejad, M., (1999). Evaluation and Modeling of Land Use Changes Using Multiple Satellite Images and GIS, Thesis for submit Master of Science, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University.
- Ahmadvpour, A., Solaimani, S., Shokri, M., Gorbani, J., (2014). Comparison of three common methods in supervised classification of satellite data for vegetation studies, Journal of Rs and GIS for Natural Resources, Vol. 5, Issue 3, PP. 69-81:
http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_516651.html
- Anderson, R.S., Haff, P.K (1988). Simulation of aeolian saltation. Science 241, 820- 823.
https://www.researchgate.net/publication/258741843_Simulation_of_Aeolian_Saltation
- Bagnold, R.A. (1941). The physics of blown sand and desert dunes. Chapman and Hall, London, PP.104-106
- Buckley, R.C(1987). The effect of sparse vegetation on the transport of dune sand by wind. Nature, 325: 426-428.
https://www.researchgate.net/publication/232784554_The_effect_of_sparse_vegetation_on_the_transport_of_dune_sand_by_wind
- Gillette, D.A.; Niemeyer, T.C.; Helm, P.J. (2001). Supply-limited horizontal sand drift at an ephemerally crusted, unvegetated saline playa, Journal of Geophysical Research Atmospheres, Volume, 106, PP. 18085-18098.
https://www.researchgate.net/publication/248801658_Supplylimited_horizontal_sand_drift_at_an_ephemerally_crusted_unvegetated_saline_playa
- Hamdan, M.A.; Refaat, A.A.; Abdel Wahed, M (2016). Morphologic characteristics and migration rate assessment of Barchans dunes in the Southeastern Western Desert of Egypt. Geomorphology, 257; 57-74.
https://scholar.cu.edu.eg/sites/default/files/aaarefaat/files/dune_movement_published.pdf
- 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, volume 121, PP. 51-60;
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425712000144>
- Hesp, P.; Davidson-Arnott, R.; Walker, I.; Ollerhead, J (2005). Flow dynamics over a foredune at Prince Edward Island Canada. Geomorphology, 65: 71-84.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X04001667>
- Iversen, J.D.; Rasmussen, K.R (1994). Effect of slope on saltation threshold. Sedimentology, 41: 721- 728.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-3091.1994.tb01419.x>
- Jackson, N.L.; Nordstrom, K.F (1998). Aeolian transport of sediment on a beach during and after rainfall, Wildwood, NJ, USA. Geomorphology, 22: 151-157.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X97000652>
- Jamali, A. A.;Zerekia,S;Randhir, T(2018). Risk assessment of sand dune disaster in relation to geomorphic properties and vulnerability in the Saduq-Yazd Erg, Applied Ecology &Environmental Research 16(1):579-590,
https://www.researchgate.net/publication/322619719_Risk_assessment_of_sand_dune_disaster_in_relation_to_geomorphic_properties_and_vulnerability_in_the_Saduq-Yazd_Erg
- Jiang, H.; Dun, H.; Tong, D.; Huang, N (2017). Sand transportation and reverse patterns over leeward face of sand dune, Geomorphology, Volume 283, 15, PP. 41-47.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X16302732>

- Kuriyama, Y.; Mochizuki, N.; Nalashima, T. (2005). Influence of vegetation on Aeolian sand transport rate from a backshore to a foreshore at Hasaki, Japan.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-3091.2005.00734.x>
- Lancaster, N (1985). Winds and sand movements in the Namib sand sea. *Earth Surf. Proc. Land*, 10: 607-619.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/esp.3290100608>
- Leys J.F, Eldridge D.J (1991). Influence of cryptogamic crust disturbance to wind erosion on sand and loam rangeland soils. *Earth Surface Processes Landforms* 23:963-974.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291096-9837%281998110%2923%3A11%3C963%3A%3AAID-ESP914%3E3.0.CO%3B2-X>
- Maghsoudi, M. ; Navidfar, A.; Mohammadi, A. (2017). The sand dunes migration patterns in Mesr Erg region using satellite imagery analysis and wind data, *Natural Environment Change* Vol. 3, No. 1, Winter & Spring 2017, PP. 33-43.
https://jnec.ut.ac.ir/article_63753_1cd6ff2138c8e5ea5330651f2542cecf.pdf
- Mayaud, J. R., Bailey, R. M.; Wiggs, G. F. ; Weaver, C. M (2017). Modelling aeolian sand transport using a dynamic mass balancing approach. *Geomorphology* 280, 108-121.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S01695516311813>
- Marin, L.; Foeman, S. I.; Valdez, A.; Bunch, F. 2005. Twentieth century dune migration at the Great Sand Dunes National Park and Preserve, Colorado, relation to drought variability, *Geomorphology*, Volume 70, Issues 1-2, PP. 163-183.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S01695516311813>
- Miri, Z., (2018). Investigation of the formation and development of Zarrin Erg, Thesis for submit Master of Science of geomorphology, Faculty of Humanities and Social Sciences, 156 pages.
- Negaresh, H., Latifi, L., 2010. Investigation of Damage Caused by Fluid Sand Movement in East Zabol Using Satellite Images, *Physical geography research quarterly*, Vol. 41, Issue 67, P. 73-87.
https://jphgr.ut.ac.ir/article_21397.html
- Omidvar, K., (2007). *Natural Hazards*, Yazd University press, 311 Pages.
- Rubin, D.; Tsoar, H.; Blumberg, D., (2008). A second look at western Sinai seif dunes and their lateral migration, *Geomorphology*, Volume 93, Issues 3-4, PP. 335-342.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S01695516311813>
- Ramesht, M. H.; Seif, A., Mahmoudi, S., (2013). Study the Spread Amount Sand Dunes at the East of Jask in the Time Interval of (1990 to 2004) by GIS & RS, *Geography and development Iranian journal*, Vol. 11, Issue31, PP.121-136.
<http://ensani.ir/file/download/article/20130716140634-9505-100.pdf>
- Shao Y (2008). *Sand Dunes, Dynamics and Modelling, Physics and Modelling of Wind Erosion.*, Vol 37, PP.361-390.
https://www.researchgate.net/publication/51997450_Physics_and_Modelling_Wind_Erosion
- Tsoar, H (2001). Types of Aeolian Sand Dunes and Their Formation, *Geomorphological Fluid Mechanics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, PP.403-429.
https://www.researchgate.net/publication/227248748_Type_of_Aeolian_Sand_Dunes_and_Their_Formation
- Tsoar, H (2005). Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physical Journals*, 357: 50- 56.
https://www.researchgate.net/publication/228530676_Sand_dunes_mobility_and_stability_in_relation_to_climate
- White, B. R.; Tsoar, H (1998). Slope effect on saltation over a climbing sand dune, *Geomorphology*, Volume 22, Issue 2, PP.159-180.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S01695516311813>
- Wiggs, G.F.S.; Atherton, R.J.; Baird, A.J. (2004). Thresholds of aeolian sand transport: establishing suitable values. *Sedimentology*, 51: 95-108.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3091.2003.00613.x>
- Yang, Y.; Qu, Z.; Shi, P.; Liu, L.; Zhang, G.; Tang, Y.; & Shen, L (2014). Wind regime and sand transport in the corridor between the Badain Jaran and Tengger deserts, central Alxa Plateau, China. *Aeolian Research*, 12:143-156.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875963714000020>
- Yizhaq, h.; Ashkenazy, Y.; Tsoar, H (2009). Sand dune dynamics and climate change: A modeling approach, *Journal of geophysical research*.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2008JF001138>
- Zhang, W.; Qu, J.; Tang, L.; Jing, Z.; Bian, K.; Niu, Q (2016). Environmental dynamics of a star dune, *Geomorphology*, Volume 273, 15, PP.28-38.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S01695516311813>

ارزیابی تغییرات زمانی - مکانی ریگزارها با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ی لندست منطقه‌ی مورد مطالعه: ریگ زرین

دکتر محمد شریفی پیچون^{۱*}، دکتر حمیدرضا غفاریان^۲، زینب میری^۳

چکیده

تپه‌های ماسه‌ای بادی متأثر از متغیرهای مختلفی مانند باد، اندازه‌ی دانه‌های رسوبی، رطوبت، توپوگرافی منطقه، مورفولوژی تپه‌ها و پوشش گیاهی، مدام در حال حرکت و جابه‌جایی هستند. هدف پژوهش حاضر بررسی مقدار جابه‌جایی سطح زیربنای ریگ‌زرین در شمال غرب شهر یزد است. برای ارزیابی تغییر سطح ریگ‌زرین از تصاویر TM، ETM+ و OLI لندست طی دوره‌ی ۴۰ ساله (۱۹۷۷-۲۰۱۷) استفاده شد. ابتدا به منظور استخراج اطلاعات از تصاویر چندباندی از روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده و سپس نظارت‌شده استفاده شد. به منظور تبدیل تصاویر به نقشه از فیلترگذاری، ادغام و غربال کردن کلاس‌ها استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که ریگ زرین در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه نوسان داشته است؛ روند کلی تغییرات افزایشی بوده و طی این مدت سطح ریگ حدود ۶۰ کیلومتر مربع توسعه پیدا کرده است؛ اما در دو دوره‌ی زمانی، یعنی از ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۳ و همچنین از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ سطح ریگ زرین کاهش پیدا کرده است. به علاوه، گرادبان افزایش سطح ریگ نیز یکسان نبوده و در برخی بازه‌های زمانی میزان افزایش بسیار چشمگیرتر بوده است. به طوری که در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ مقدار افزایش کمتر از ۲ کیلومتر مربع و در سال‌های ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۷ مساحت ریگ بیش از ۴۰ کیلومتر مربع افزایش یافته است. بررسی نتایج با میزان خشکسالی‌ها در سال‌های مورد نظر نشان داد که این فراز و فرودها با افزایش یا کاهش رطوبت مرتبط است؛ به نحوی که در سال‌های مرطوب امکان توسعه نبوده و سطح آن کاهش و در خشکسالی‌ها، به ویژه در ۱۰ سال اخیر، میزان توسعه سطح ریگ‌زرین بسیار چشمگیر (حدود ۳۰ کیلومتر مربع) بوده است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۵۸، بهار ۱۳۹۹
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۱
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۱
صفحات: ۴۵-۵۸



واژه‌های کلیدی:

بادمحلی، تپه‌ماسه‌ای، مناطق خشک، تغییر سطح ریگ، ریگ زرین.

مقدمه

شکندنده این مناطق را تهدید می‌کند. حدود نیمی از مساحت کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و ریگزارهای وسیعی با تپه‌های ماسه‌ای گسترده و از نظر مورفولوژی متنوع در آن تشکیل شده است. جابه‌جایی دایمی آن‌ها در طول تاریخ خسارت‌های جانی و مادی فراوانی به همراه داشته است. تغییرات رطوبتی خاک و خشکسالی‌های اخیر در ایران، به ویژه در واحدهای مورد اشاره، فعالیت و به‌دنبال آن جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای را بیشتر کرده است. ایران جزو ده کشور اول مستعد وقوع مخاطرات طبیعی دنیا

تجمع ماسه‌های بادی و تشکیل تپه‌های ماسه‌ای یکی از پویاترین و جالب‌ترین پدیده‌های طبیعی مناطق خشک و نیمه‌خشک بیابان‌های دنیاست. سطح این عارضه‌ها به طور مداوم تحت تأثیر بادهای منطقه‌ای و محلی، رطوبت خاک و همچنین توپوگرافی زیربنا همواره در حال تغییر و جابه‌جایی است. جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای یکی از عوامل ریسک بالای مخاطرات محیطی برای مناطق مذکور به‌شمار می‌رود و زیرساخت‌های انسانی است و حتی اکوسیستم‌های

که دو فرایند مشخص بر دینامیک تپه‌ها عمل می‌کنند؛ یکی انتقال و حرکت مواد بر روی دامنه رو به باد تپه‌ها و دیگری رسوب‌گذاری بر روی دامنه پشت به باد (Tsoar et al, 2005: 50). مارین و همکاران (۲۰۰۵) جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای را در یک دوره زمانی ۶۳ ساله (۱۹۳۶-۱۹۹۹) در پارک ملی جنوب کلرادو بررسی کردند و نشان دادند که خشکسالی‌ها مقدار حرکت تپه‌ها را بیشتر کرده است؛ به نحوی که مقدار حرکت آن‌ها در خشکسالی‌ها ۳۰ متر در سال بوده که ۶ برابر بیشتر از سال‌های مرطوب قبلی بوده است (Marin et al, 2005: 163).

اسحاق و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی دینامیک تپه‌های ماسه‌ای در ارتباط با تغییرات بارش و شدت باد پرداختند و بیان کردند که با کاهش رطوبت و ایجاد بادهای نیرومند تپه‌های غیرفعال نیز فعال می‌شوند (Yizhag et al, 2009: 2).

شائو (۲۰۰۸) اظهار می‌دارد که دینامیک تپه‌های ماسه‌ای نتیجه برهمکنش بین جریان‌های اتمسفر، حرکت دانه‌های ماسه و ویژگی‌های مورفولوژیکی تپه‌ها است (Shao, 2008: 361).

روبین و همکاران (۲۰۰۸) تپه‌های ماسه‌ای شمشیری‌شکل و حرکت کناری آن‌ها را طی سال‌های ۱۹۷۳-۱۹۹۹ در صحرای سینا بررسی و مشاهده کردند که بخش‌های کناری این تپه‌ها در حدود ۱۳ متر جابه‌جا شده بودند (Rubin et al, 2008: 335). هرمس و همکاران (۲۰۱۲) حرکت تپه‌های ماسه‌ای را با استفاده از همبستگی پیکسل‌های تصاویر چندزمانه در شمال شرق بیابان مصر بررسی کردند. نتایج نشان داد که تپه‌ها به سمت شرق و جنوب‌شرق حرکت کرده‌اند (Hermas et al, 2012: 51). یانگ و همکاران (۲۰۱۴) رژیم بادهای را در ارتباط با حرکت تپه‌های

است (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۸: ۷۴). یکی از انواع مخاطرات طبیعی که هر ساله سبب وارد آمدن خسارات زیادی به ویژه در مناطق خشک و بیابانی دنیا می‌شود، توفانهای ماسه‌ای هستند (امیدوار، ۱۳۸۵: ۱۶۶).

مطالعه تپه‌های ماسه‌ای به علت تأثیراتی که بر روی منابع آب و خاک، حیات گیاهی و جانوری و تأسیسات و راه‌های ارتباطی دارند، اهمیت دارد (رامشت و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۲). درک موقعیت، رفتار و ماهیت تپه‌های ماسه‌ای و همچنین مکان برداشت، مسیر انتقال و محل رسوب‌گذاری آن‌ها بسیار مهم است؛ چرا که جابه‌جایی این تپه‌ها اثرات زیادی بر منابع آب و خاک و همچنین تغییرات اکوسیستم‌های مناطق خشک دارد. بر این اساس مطالعات نسبتاً زیادی راجع به تپه‌های ماسه‌ای و تغییرات سطح آن در سطح دنیا و همچنین ایران انجام گرفته است. به‌طور کلی انتقال تپه‌های ماسه‌ای یک فرایند پیچیده است و تحت تأثیر متغیرهای مختلفی قرار دارد، از جمله جهت بادهای متغیر (Lancaster, 1985: 607; Anderson & Haff, 1988: 820; Gillette et al, 2001: 85) و رطوبت سطح دانه‌ها (Jackson, 1998: 151; Wigg, 2004: 95) مورفولوژی سطح تپه‌ها (Leys & Eldrige, 1991: 963) توپوگرافی (Iverson & Rasmussen, 1991: 963) و پوشش گیاهی (Hesp et al, 2005: 71; Buckley, 1987: 426; Kuriyama, 2005: 1123). وایت و تسوار اثرات شیب دامنه تپه‌ها را بر روی جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شیب دامنه‌ها بر انتقال ذرات ماسه اثرگذار است و تنها ذرات کوچک‌تر از ۲۳۰ میکرون قادر به صعود روی یک شیب ۲۰ درجه بوده است (White & Tsoar, 1998: 160).

تسوار و همکاران (۲۰۰۵) بر روی گسترش و انتقال تپه‌های ماسه‌ای مطالعه‌ای را انجام دادند و بیان کردند

مرکز ارگ به شهر و زمین‌های کشاورزی نزدیک شده‌اند (Jamali, 2018: 579). هدف پژوهش حاضر مطالعه تغییرات سطح زیربنای تپه‌های ماسه‌ای ریگ زرین طی یک دوره ۴۰ ساله (سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۱۷) است که بر این اساس می‌توان میزان و جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای را در بیابان‌های ایران مرکزی مشخص کرد. این امر می‌تواند نقش عوامل فرسایشی، اعزاز منابع برداشت، فرایندهای انتقال، نحوه و مکان رسوب‌گذاری را مشخص کند.

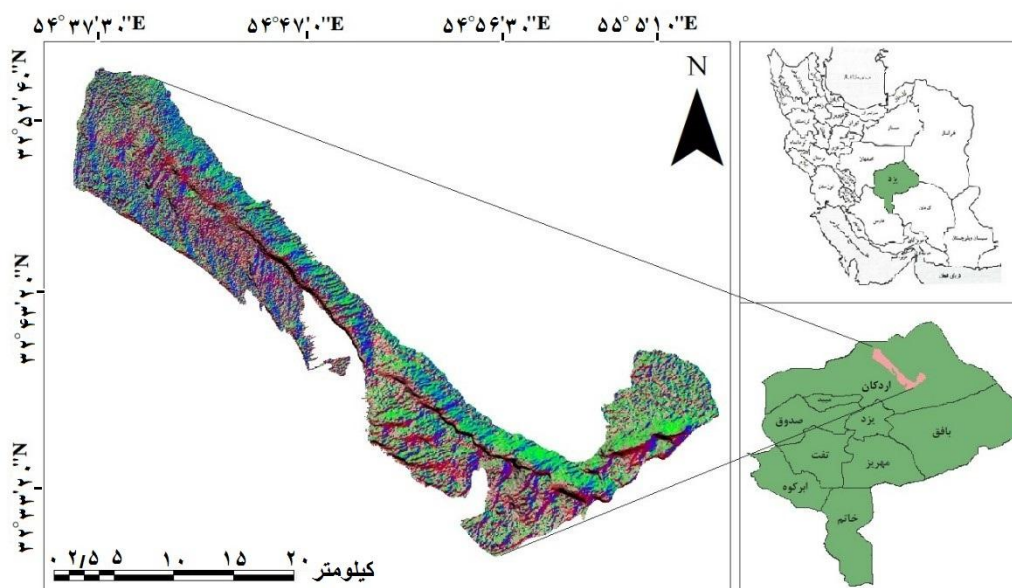
منطقه مورد مطالعه

ریگ زرین به‌عنوان یکی از ریگزارهای بزرگ و شاخص ایران مرکزی در محدوده میان $38^{\circ} 54'$ تا $55^{\circ} 04'$ طول شرقی و $32^{\circ} 54'$ تا $33^{\circ} 36'$ عرض شمالی جای دارد. این ریگ در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال غربی کویر بافق (در انجیر)، شمال غربی روستای ساغند و در جنوب روستای بیاضه قرار دارد (شکل ۱). این ریگ در داخل چاله‌ای قرار گرفته که از چهار سو توسط ارتفاعات اطراف آن احاطه شده است که مرتفع‌ترین آن‌ها در بخش جنوب شرقی با ۳۰۰۰ متر ارتفاع واقع شده است. مساحت ریگ حدود ۴۶۰ کیلومتر مربع و طول آن به حدود ۶۰ کیلومتر می‌رسد.

ماسه‌ای بین بیابان بدیان‌جان^۱ و تانگر^۲ در فلات مرکزی چین مطالعه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که ۹۹/۸ درصد حرکت ماسه‌ها در بهار و تابستان اتفاق می‌افتد (Yang et al, 2014:143). همدان و همکاران (۲۰۱۶) ویژگی‌های مورفولوژیک و حرکت برخان‌ها را در جنوب شرق بیابان‌های غربی مصر بررسی و نشان دادند که این تپه‌ها بین ۳ تا ۱۰ متر در سال حرکت می‌کنند (Hamdan et al, 2016: 57). مایود و همکاران (۲۰۱۷) به مدل‌سازی حرکت تپه‌های ماسه‌ای بادی پرداختند و بیان کردند که شناخت میزان تغییرات زمانی- مکانی جریان رسوب برای بررسی فرسایش سطحی و میزان رسوب‌گذاری در بیابان‌ها ضروری است (Mayaud et al, 2017: 108). ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی دینامیک تپه‌های ستاره‌ای شکل پرداختند و مشاهده کردند که انحراف و رکود جریان هوا تحت تأثیر شرایط توپوگرافی منطقه یکی از مکانیسم‌های اصلی تشکیل این تپه‌های ماسه‌ای است (Zhang et al, 2016: 143). ژیانگ و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی انتقال تپه‌های ماسه‌ای پرداختند و بیان کردند که بین مورفولوژی تپه‌ها و انتقال آن‌ها توسط باد ارتباط وجود دارد (Jiang et al, 2017: 41).

مقصودی و همکاران (۲۰۱۷) الگوی حرکت تپه‌های ماسه‌ای را در ریگ مصر مطالعه و مشاهده کردند که بادهای غالب با جهت شمال غرب- جنوب شرق عامل انتقال تپه‌ها به میزان حدود ۸ متر در سال است (Maghsoudi et al, 2017: 33).

جمالی و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی ریسک خطر تپه‌های ماسه‌ای برای شهرستان صدوق یزد پرداختند و بیان کردند که تپه‌های ماسه‌ای در سال‌های اخیر در



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در یزد و ایران

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

به بخش‌های تعریف‌شده و کمترین فاصله از میانگین ارزش پیکسلی بخش‌های تعریف‌شده، طبقه‌بندی شدند. چون هدف فقط شناسایی ریگزار بود، بر پایه این روش همه مناطق پوشیده از ریگ در این محدوده مشخص شدند. روش طبقه‌بندی نظارت‌شده با بیشترین شباهت، نسبت به روش نظارت‌شده با کمترین فاصله از میانگین و روش نظارت‌نشده، تشخیص دقیق‌تری از محدوده تپه‌های ماسه‌ای مورد نظر عرضه کرد. در ادامه، برای صحت‌سنجی نتایج طبقه‌بندی، از ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۰). این کار را می‌توان بدین صورت معنی کرد که پس از حذف تأثیر شانس در طبقه‌بندی، مقدار تطابق با واقعیت زمینی محاسبه خواهد شد. مقدار صفر تا یک سطحی از دقت را نشان می‌دهند. مقدار ۱ به معنی یک طبقه‌بندی کاملاً صحیح براساس نمونه‌های گرفته شد. مقادیر منفی کاپا به معنی ضعف طبقه‌بندی و نتایج بسیار بد تفسیر شد.

مواد و روش

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات زمانی- مکانی تپه‌های ماسه‌ای ریگ زرين از ۸ تصویر ماهواره لندست TM، ETM+ برای سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۷، ۱۹۹۳، ۱۹۹۸، ۲۰۰۲، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳ و همچنین از لندست ۸ برای سال ۲۰۱۷ استفاده شد. این تصاویر در نرم‌افزار ENVI^۱ در ابتدا به شکل نظارت‌نشده و سپس به شکل نظارت‌شده طبقه‌بندی شدند. برای طبقه‌بندی نظارت‌شده، ابتدا از بخش جنوب شرقی ریگزار (غرب روستای مغستان) منطقه مورد مطالعه در آبان ۱۳۹۶ بازدید شد (شکل ۲) و با استفاده از سامانه GPS چند نقطه به‌عنوان نقاط شاخص در جهت طبقه‌بندی نظارت‌شده مشخص شد. بدین ترتیب ابتدا نقاط زمینی بر روی تصاویر به‌عنوان نمونه‌های طیفی نظارت‌شده^۲ (ROI) مشخص شدند و سپس این نقاط به‌عنوان نقاط آموزشی به نرم‌افزار معرفی و سپس پیکسل‌های تصاویر اخذشده براساس بیشترین شباهت

1-The Environment For Visualizing Images
2-Region Of Interest

برگزیده و پیکسل‌های طبقه‌بندی نشده و مجزا را رفع کرده و به کلاس اطراف نسبت می‌دهد (احدنژاد، ۱۳۷۹؛ احمدپور و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۹)؛ بنابراین نقشه‌های منتج شده با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، وارد محیط GIS شدند و به منظور انجام تکنیک‌های لازم در جهت ارزیابی پوشش و ترسیم نقشه‌های جغرافیایی از منطقه آماده شد. در این مرحله تمامی تصاویر ریگ زرین، از حالت رستر به وکتور تبدیل شدند و مساحت ریگ در هر کدام از سال‌ها به طور جداگانه اندازه‌گیری و محاسبه شد و با استفاده از نرم‌افزار Excel برای داده‌های به دست آمده نمودار خطی تغییرات مساحت نسبت به زمان ترسیم شد.

پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، برای بهبود تصاویر و بالابردن قابلیت تصاویر طبقه‌بندی شده در جهت تبدیل شدن به نقشه، عملیات پس از طبقه‌بندی صورت گرفت. این عملیات شامل فیلترگذاری (Majority filtering) به منظور از بین بردن پیکسل‌های طبقه‌بندی شده نامرتب، ادغام کلاس‌ها (Combine classes)، انبوه کردن کلاس‌ها، غربال کردن کلاس‌ها (Clump classes) و روی هم گذاری کلاس‌ها و در نهایت تبدیل به نقشه وکتوری در جهت ورود به محیط GIS بود. براین اساس، در پژوهش حاضر پس از طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از یک فیلتر اکثریت 5×5 (Kernel size) اقدام به اصلاح تصویر طبقه‌بندی شد. نحوه عمل این فیلتر بدین صورت است که مقدار فراوان و غالب یک پیکسل و هشت پیکسل مجاور آن



شکل ۲: نمایی از بخش جنوب شرقی ریگ زرین در غرب روستای مغستان

تهیه عکس: نگارندگان، ۱۳۹۶

دستیابی به نتایج بهتر و ملموس‌تر دوباره ۸ تصویر پردازش شده در ۴ گروه قرار گرفتند. بدین ترتیب، چهار بازه زمانی به شرح زیر برای بررسی میزان جابه‌جایی مواد رسوبی و تپه‌های ماسه‌ای مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند.

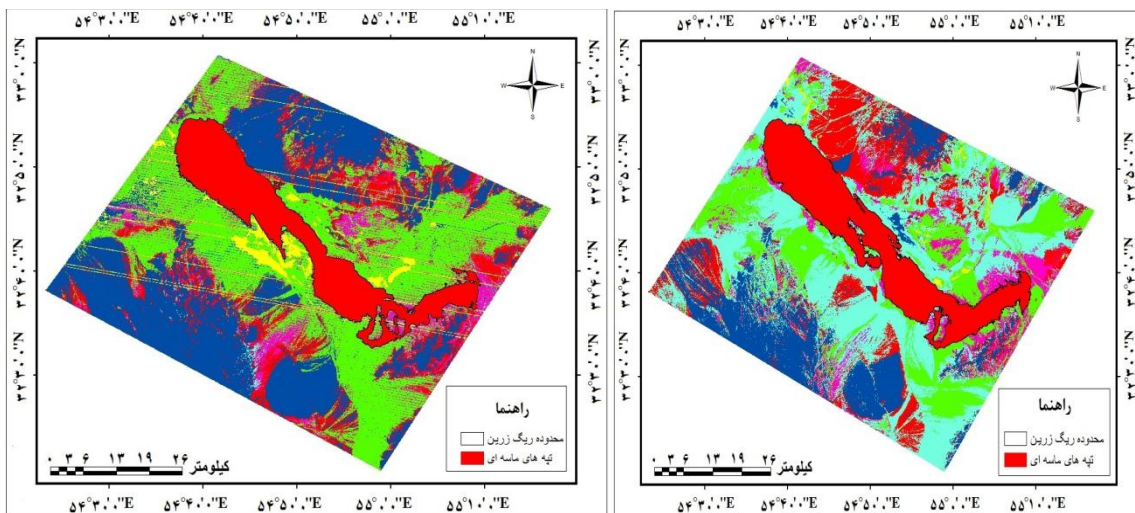
یافته‌های تحقیق

برای بررسی تغییرات و جابه‌جایی تپه‌های ماسه‌ای ریگ زرین طی بازه زمانی ۴۰ ساله، ۸ تصویر برای دوره‌های زمانی مختلف مورد استفاده و مساحت تپه‌های ماسه‌ای این ریگزار محاسبه شد. برای

تغییرات ریگ زرین از ۱۹۷۷-۱۹۸۷

به منظور مطالعه تغییرات سطح ریگ زرین، از قدیمی‌ترین تصاویر لندست در دسترس مرتبط با منطقه (تصویر TM سال ۱۹۷۷) به عنوان نقشه اولیه و پایه مطالعه ریگ زرین استفاده شده و سپس تصاویر سال‌های دیگر بر پایه این تصویر مورد ارزیابی قرار گرفته است و مقادیر تغییرات سطح ریگ در طول زمان بر پایه دوره‌های بیشتر از ۶ سال بررسی شدند. ریگ زرین به شکل L حرف انگلیسی در جهت شمال غرب جنوب شرق کشیده شده است (شکل ۱). وسعت این محدوده در سال ۱۹۷۷ حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع بوده است. بیشترین سطحی که این محدوده

در بر گرفته در شمال غرب و بخش‌های میانی بوده است و هرچه از شمال به سمت جنوب ریگ پیش برویم از پهنای ریگ کمتر و بر ارتفاع آن افزوده می‌شود (شکل ۳)، اما بررسی تصاویر ماهواره‌ای مرتبط با سطح ریگ زرین در سال ۱۹۸۷ نشان داد که سطح زیربنای آن در مقایسه با ۱۰ سال قبل گسترش بسیار زیادی پیدا کرده است (شکل ۳)؛ به طوری که مساحت آن به حدود ۴۴۴ کیلومتر مربع رسیده که افزایش تقریباً ۴۴ کیلومتر مربع را نشان می‌دهد. بیشترین توسعه ریگ به سمت بخش‌های میانی و شرقی بوده است، هر چند که در همه بخش‌های آن افزایش سطح به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۴).



شکل ۴: محدوده ریگ زرین در سال (۱۹۸۷)

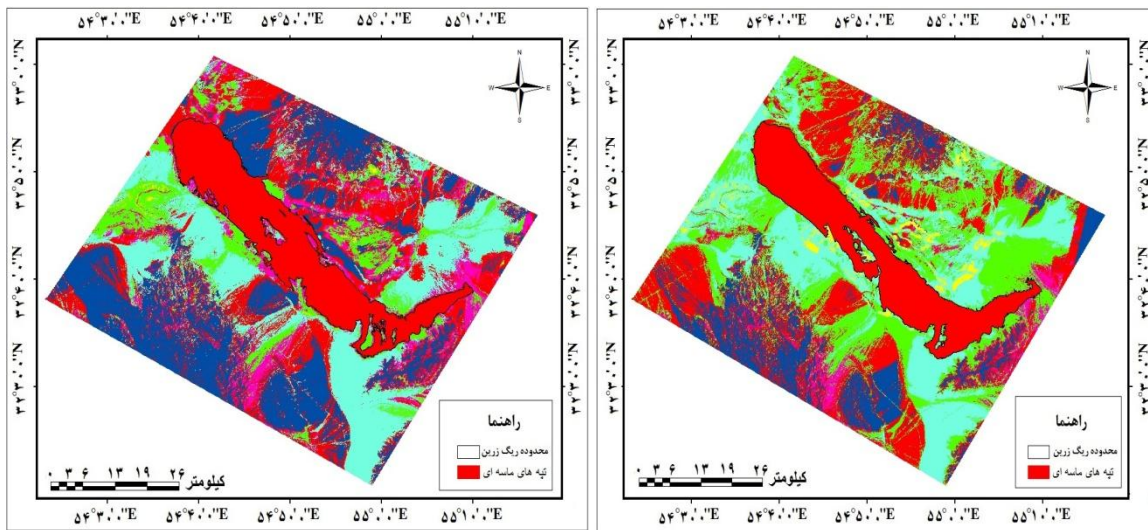
شکل ۳: محدوده ریگ زرین در سال (۱۹۷۷)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

تغییرات سطح ریگ زرین از ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۸

ریگ زرین در سال ۱۹۹۳ نسبت به ۶ سال قبل تغییرات هر چند کم، اما محسوسی داشته است. با این وجود، سطح ریگ نسبت به دوره قبل کاهش پیدا کرده است. در این دوره، توسعه ریگ در بخش‌های شمالی بیشتر، اما در بخش‌های میانی نسبت به سال‌های قبل کمتر شده و در قسمت‌های جنوب غرب افزایش پیدا کرده است. به طور کلی، طی دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۳ مساحت ریگ تقریباً ۱۸/۸۰ کیلومتر مربع کاهش مساحت داشته است (شکل ۵). همچنین، بررسی

وسعت زیربنای ریگ زرین در سال ۱۹۹۸ نشان داد که در این سال وسعت ریگ نسبت به سال‌های قبل در بخش‌های شمالی و میانی بیشتر شده است. افزایش سطح ریگ نیز بیشتر در همین مناطق مشاهده می‌شود، اما در قسمت‌های جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق ریگ زرین از وسعت آن کاسته شده است. بدین ترتیب، مساحت ریگ زرین طی ۷ سال از ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۲ حدوداً ۱۶/۴۲ کیلومتر مربع ریگ زرین افزایش داشته است (شکل ۶).



شکل ۶: محدوده ریگ زرین در سال (۱۹۹۸)

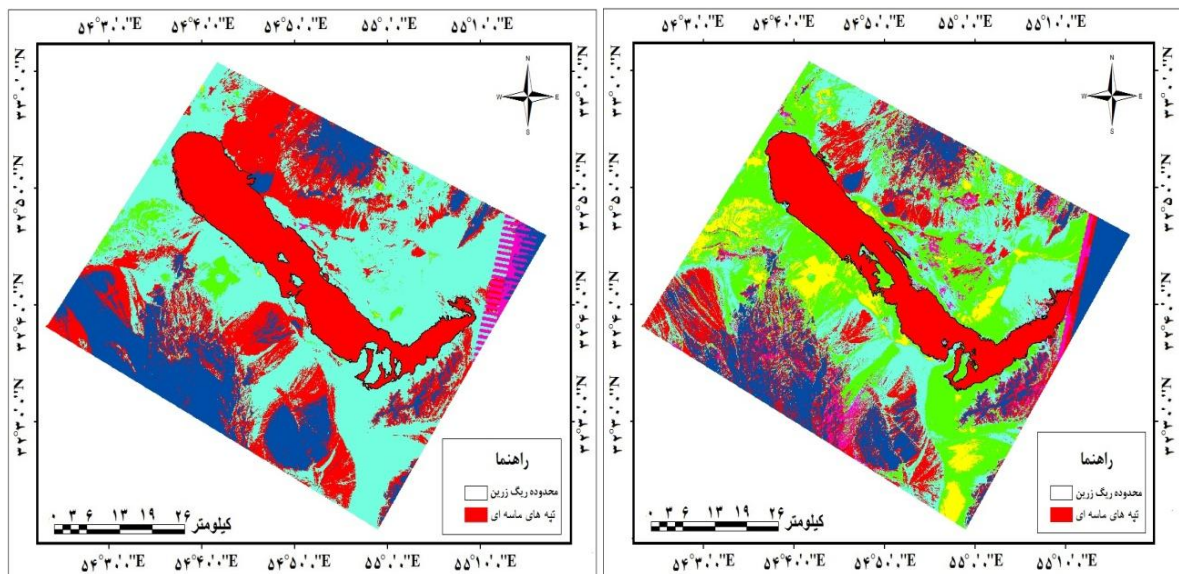
شکل ۵: محدوده ریگ زرین در سال (۱۹۹۳)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

شمال غرب و شمال شرق مانند سایر سال‌های قبل کمترین تغییرات را داشته است. درحالی‌که در بخش‌های میانی به وسعت ریگ افزوده شده است، در قسمت‌های جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق از وسعت آن کاسته شده است. هرچند که بخش جنوب غرب ریگ زرین کاهش محسوس تری داشته است. به‌طور کلی، مساحت ریگ در طول ۵ سال (از ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸) کمترین تغییر به نسبت دوره‌های قبل پیدا کرده و حدود $1/75$ کیلومتر مربع افزایش مساحت پیدا کرده است (شکل ۸).

تغییرات ریگ زرین از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸

ریگ زرین در سال ۲۰۰۲ نسبت به سال‌های قبل کاهش وسعت پیدا کرده است، اما مقدار کاهش در همه بخش‌های آن به شکل یکسان رخ نداده است؛ به‌گونه‌ای که پهنای ریگ در شمال بیشتر و در بخش‌های میانی و همچنین بخش‌های جنوب غرب از وسعت آن کاسته شده است و طی ۴ سال یعنی از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ حدوداً 10 کیلومتر مربع کاهش مساحت پیدا کرده است (شکل ۷). همچنین، وسعت ریگ در سال ۲۰۰۸ نیز هرچند با شیب کم، اما با افزایش مواجه بوده است. منطقه مورد مطالعه از شمال،



شکل ۸: محدوده ریگ زرین در سال (۲۰۰۸)

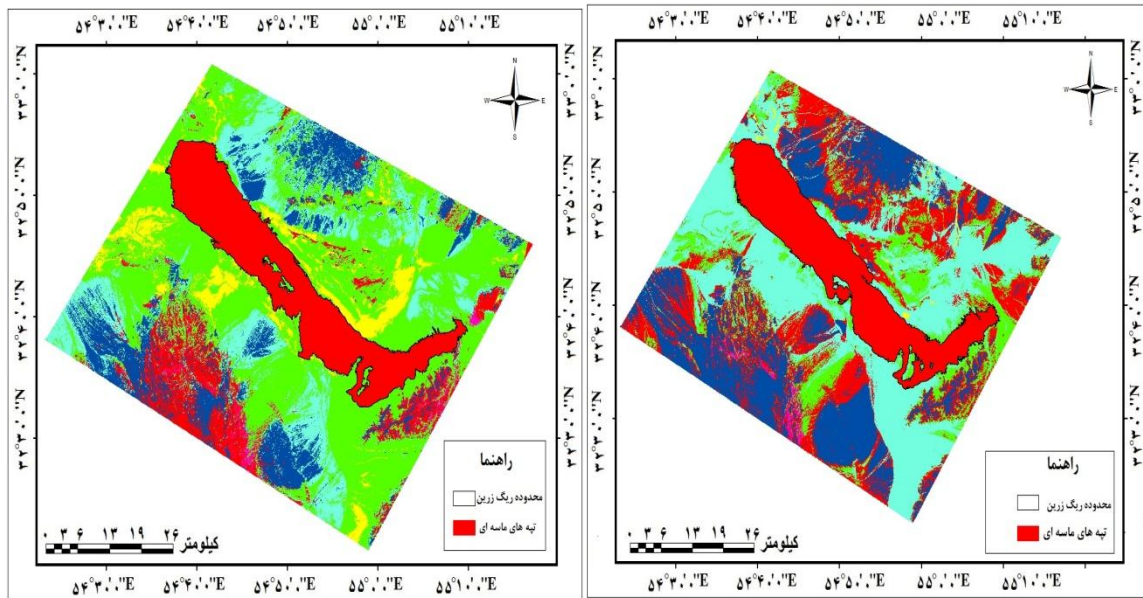
شکل ۷: محدوده ریگ زرین در سال (۲۰۰۲)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

بررسی وسعت ریگ زرین در سال ۲۰۱۷ نشان داد که تغییرات سطح آن در این دوره به نسبت همه بازه‌های زمانی مورد مطالعه بیشتر بوده و نسبت به گذشته ریگ سطح بیشتری را به خود اختصاص داده است. در این سال بیشترین تغییر وسعت ریگ در شمال و کمترین آن در قسمت‌های جنوبی رخ داده است. در بخش‌های میانی نیز افزایش سطح ریگ نیز قابل مشاهده است. مساحت ریگ زرین در این سال ۴۶۰/۲۴۹۲ کیلومتر مربع بوده است.

تغییرات ریگ زرین از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷

بر اساس تصویر ۲۰۱۳ مشاهده شد که مساحت ریگ در این سال در بخش شمالی نسبت به دوره قبلی افزایش داشته و در قسمت‌های مرکزی و جنوبی با کاهش مواجه شده است. پهنای ریگ زرین در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۲۰۰۸ در قسمت‌های شمالی کمتر دچار تغییر شده است، ولی در بخش جنوب غربی بر وسعت ریگ افزوده شده است؛ بر این اساس، مساحت ریگ نسبت به سال ۲۰۰۸ افزایش داشته که مقدار آن طی ۵ سال در حدود ۱۰ کیلومتر مربع بوده است (شکل ۹).



شکل ۱۰: محدوده ریگ زین در سال (۲۰۱۷)

شکل ۹: محدوده ریگ زین در سال (۲۰۱۳)

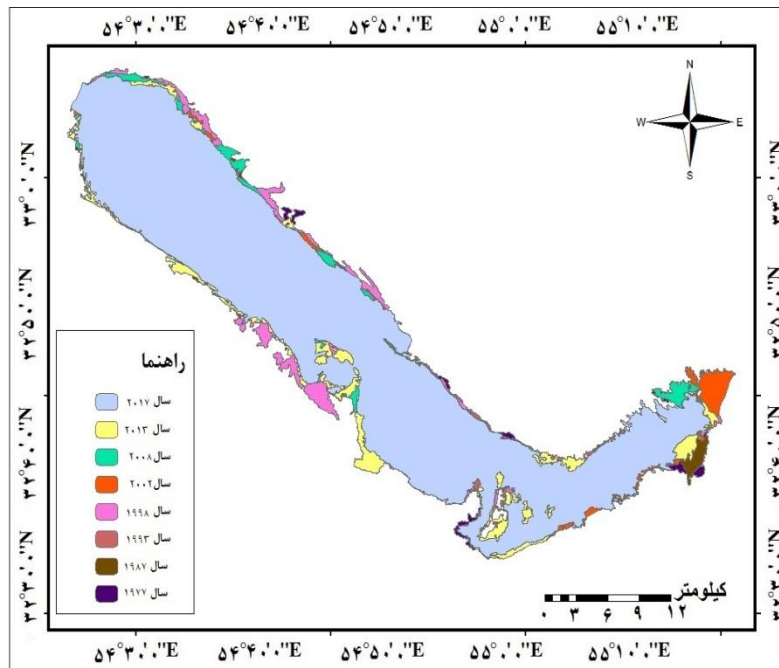
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

زین در طی دوره زمانی مطالعه، از سال‌های ۱۹۷۷ تا ۲۰۱۶، حدود ۶۰ کیلومتر مربع افزایش پیدا کرده است. همچنین، بررسی تصاویر حاکی از آن است که حرکت تپه‌های ماسه‌ای ریگ در سال‌های مختلف به طرف شرق بوده است؛ براین اساس، بیشترین تغییرات سطح ریگ در نواحی مرکزی، جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق به وقوع پیوسته است (شکل ۱۱).

بررسی تغییرات مساحت ریگ زین از سال

۱۹۷۷-۲۰۱۷

بررسی سطح زیربنای ریگ زین در طی دوره آماری ۴۰ سال (بررسی تصاویر طی ۴۰ سال) نشان داد که بیشترین تغییرات سطح در بخش‌های میانی و جنوب شرق ریگ زین اتفاق افتاده است و جهت حرکت کلی تپه‌ها بیشتر به سمت شرق متمایل بوده است (شکل‌های ۱۰-۴). بدین ترتیب، مساحت ریگ



شکل ۱۱: نمایش تغییرات ریگ زرين طی سال‌های ۱۹۷۷-۲۰۱۷

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

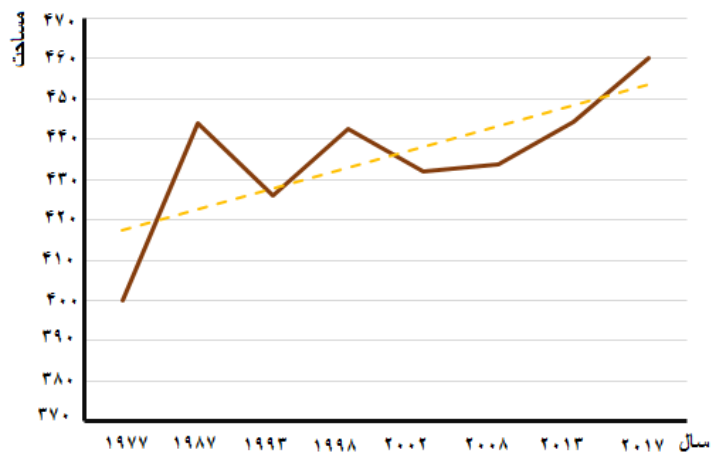
کمترین مساحت در سال ۱۹۷۷ بوده است. طی این دوره مساحت ریگ زرين ۶۰/۱۴۴۹ کیلومتر افزایش پیدا کرده است (شکل ۱۱).

بدین ترتیب، بررسی سطح ریگ و مقادیر آن در طول دوره ۴۰ سال نشان داد که تغییرات زیادی در ریگ‌زین طی این دوره صورت گرفته است؛ براین اساس بیشترین مساحت ریگ در سال ۲۰۱۷ و

جدول ۱: مساحت سال‌های مختلف ریگ زرين (۱۹۷۷ تا ۲۰۱۷)

مساحت (کیلومتر مربع)	سال	ردیف
۴۰۰/۱	۱۹۷۷	۱
۴۴۴/۰۲	۱۹۸۷	۲
۴۲۵/۹	۱۹۹۳	۳
۴۴۲/۳	۱۹۹۸	۴
۴۳۲/۱	۲۰۰۲	۵
۴۳۳/۸	۲۰۰۸	۶
۴۴۴/۱	۲۰۱۳	۷
۴۶۰/۲	۲۰۱۷	۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۱۲: نمایش تغییرات ریگ زرين (۱۹۷۷-۲۰۱۷) به صورت نمودار

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۶

نتیجه

مناطق داخلی فلات ایران به دلیل عدم بارش کافی جزو قلمروی اقلیمی خشک و در برخی موارد بسیار خشک به شمار رفته و در قلمروی فرایندهای بادی قرار دارد. بادهای منطقه‌ای و محلی توأمان در رُفت و روب بادی، انتقال ذرات ریزدانه و برجای‌گذاری آن‌ها نقش دارند. بادهای منطقه‌ای ایران مرکزی عمدتاً غربی و شمال غربی هستند، اما بادهای محلی تحت‌تأثیر ارتفاعات پیرامونی در فصول مختلف و حتی ساعات مختلف روز تغییر می‌کنند. به علاوه، نبود رطوبت کافی سبب فقدان یا دست‌کم فقر پوشش گیاهی شده و بارش‌های رگباری به‌سادگی حجم زیادی از مواد رسوبی تخریب‌شده ارتفاعات را به پایین دست انتقال داده و مخروط‌های افکنه بزرگ و کوچکی برحسب ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌های بالادست را به‌وجود آورده‌است.

بادها به‌سادگی مواد ریزدانه مخروط‌ها، به‌ویژه قاعده آن‌ها را برحسب شدت باد و توپوگرافی قلمرو بادی جابه‌جا و انتقال می‌دهد. بدین شکل تپه‌های ماسه‌ای متعددی در بسیاری پهنه‌های ایران مرکزی به‌وجود آمده‌اند که ریگزار نامیده می‌شوند. وجود همیشگی بادهای منطقه‌ای و محلی از یک‌سو و

ارزیابی صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر در بررسی

سطح ریگ زرين

در پژوهش برای طبقه‌بندی تصاویر در سال‌های مختلف از الگوریتم ROI استفاده شده‌است. برای بررسی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی از ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. این کار را می‌توان به این صورت معنی کرد که پس از حذف تأثیر شانس در طبقه‌بندی مقدار تطابق با واقعیت زمینی محاسبه خواهد شد (احدئزاد، ۱۳۷۹؛ احمدپور و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۲). در جدول زیر (جدول ۲) برای سال‌های مختلف از سال ۱۹۷۷ تا ۲۰۱۷ ضریب کاپا محاسبه شده‌است.

جدول ۲: ارزیابی طبقه‌بندی سال‌های (۱۹۷۷-۲۰۱۷)

سال	ضریب کاپا
۱۹۷۷	۰/۹۸۷
۱۹۸۷	۰/۹۵۶
۱۹۹۳	۰/۹۱۳
۱۹۹۸	۰/۸۸۶
۲۰۰۲	۰/۹۳۵
۲۰۰۸	۰/۸۹۴
۲۰۱۳	۰/۹۱۸
۲۰۱۷	۰/۹۷۳

مرطوب پیدا می‌کند. همچنین، مطالعه ریگ زرین یک نتیجه متفاوت و قابل تأملی را نشان داد و آن جهت حرکت ماسه‌های ریگ در سال‌های متوالی و نوسان سطح آن به شکل افزایشی و کاهش‌ی است. به‌گونه‌ای که جهت حرکت ریگزار یکسان و واحد نبوده و در هر چند سال یکبار به منظور توسعه تغییر پیدا کرده است. نتایج حاصل از تفسیر نقشه‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی طی سال‌های ۱۹۷۷ (۱۳۵۶) تا ۲۰۱۷ (۱۳۹۶) در یک دوره ۴۰ ساله میزان جابه‌جایی مکانی - زمانی تپه‌های ماسه‌ای را طی این مدت را نشان می‌دهد. برپایه این تصاویر، روند سطح زیربنای ریگ افزایشی بوده و طی این مدت حدود ۶۰ کیلومتر مربع بیشتر شده است و این امر پژوهش‌های قبلی را تأیید می‌کند. با این وجود طی دو بازه زمانی، یعنی از ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۳ و همچنین از ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲ سطح ریگ زرین کاهش پیدا کرده است. به‌علاوه، گرادیان افزایش سطح ریگ نیز یکسان نبوده و در برخی بازه‌های زمانی میزان افزایش بسیار چشمگیرتر بوده است، اما در پاره‌ای از اوقات مانند سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ مقدار افزایش مساحت ریگ کمتر از ۲ کیلومتر مربع بوده، اما از ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۷ مساحت ریگ بیش از ۴۰ کیلومتر مربع بیشتر شده است. شکل (۱۱) فراز و فرودهای تغییرات و شکست‌های طبیعی شیب تغییرات را به خوبی نشان می‌دهد. این فراز و فرودها در ارتباط با افزایش یا کاهش رطوبت بوده است. در سال‌های مرطوب امکان توسعه وجود نداشته و ریگزار فشرده‌تر شده؛ بنابراین سطح آن با کاهش مواجه شده است، اما در خشکسالی‌ها، به‌ویژه در ۱۰ سال اخیر میزان توسعه سطح ریگ زرین بیسار چشمگیر بوده است. این مسئله با نتایج برخی مطالعات هم‌خوانی دارد.

افزایش سطح مخروط‌افکنه‌ها به شکل سالانه سبب تغییر و توسعه ریگزارهای این منطقه از ایران می‌شود. در واقع، تحت شرایط فوق همه ریگزارهای داخلی فلات ایران همواره در حال تغییر، توسعه و جابه‌جایی از نظر سطح زیربنا هستند و به شکل کلی در صورت فراهم بودن شرایط توپوگرافی محلی هر سال بر وسعت آن‌ها افزوده می‌شود. مطالعه توسعه سطح این ریگزارها به دلیل اثراتی که بر منابع آب و خاک از یک سو و زیرساخت‌های انسانی از قبیل جاده‌ها و تأسیسات و ساختمان‌ها و... از دیگر سو دارند، حائز اهمیت است؛ از این رو در این مطالعه به بررسی سطح زیربنای ریگ زرین در ایران مرکزی و در شمال غرب شهر یزد پرداخته شده است. این ریگزار در داخل یک چاله گسلی و در داخل کویر زرین قرار گرفته است و هر چهار سوی آن را کوه‌های نسبتاً مرتفعی احاطه کرده است؛ بنابراین، جدای از آنکه بادهای منطقه‌ای عمدتاً با جهت شمال غرب در بیشتر ایام سال این منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، به دلیل تفاوت ارتفاعی زیاد این چاله با کوه‌های پیرامون خود، در بیشتر ایام سال و به‌ویژه در تابستان به شکل مرکز کم‌فشار در آمده و در معرض بادهای محلی نیز قرار می‌گیرد. همچنین، اختلاف ارتفاع زیاد در هر چهار طرف کویر و لخت بودن کوه‌ها سبب شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های متعدد و بزرگی در همه بخش‌های حاشیه ریگ شده است. بدین ترتیب، وجود مواد رسوبی فراوان و بادهای همیشگی منطقه‌ای و محلی سبب شکل‌گیری ریگ‌زرین و توسعه سالانه آن شده است. با این وجود، مقدار توسعه و تغییر ریگ تحت تأثیر دو عامل مهم دیگر شامل توپوگرافی و میزان خشکی نیز قرار دارد. از یک سو توپوگرافی محل امکان توسعه زیاد آن را نمی‌دهد و از سوی دیگر در سال‌های خشک ریگ توسعه بسیار بیشتری نسبت به سال‌های

- Buckley, R. C (1987). The effect of sparse vegetation on the transport of dune sand by wind. *Nature*, 325: 426- 428.
https://www.researchgate.net/publication/232784554_The_effect_of_sparse_vegetation_on_the_transport_of_dune_sand_by_wind
- Gillette, D.A.; Niemeyer, T.C.; Helm, P. J (2001). Supply-limited horizontal sand drift at an ephemerally crusted, unvegetated saline playa. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, Volume, 106, PP. 18085-18098.
https://www.researchgate.net/publication/248801658_Supplylimited_horizontal_sand_drift_at_an_ephemerally_crusted_unvegetated_saline_playa
- Hamdan, M.A.; Refaat, A.A.; Abdel Wahed, M (2016). Morphologic characteristics and migration rate assessment of Barchanss dunes in the Southeastern Western Desert of Egypt. *Geomorphology*, 257; 57-74.
https://scholar.cu.edu.eg/sites/default/files/aaarefaat/files/dune_movement_published.pdf
- 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*, Vol.121, PP.51-60.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425712000144>
- Hesp, P.; Davidson-Arnott, R.; Walker, I.; Ollerhead, J (2005). Flow dynamics over a foredune at Prince Edward Island Canada. *Geomorphology*, 65: 71-84.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X04001667>
- Iversen, J.D.; Rasmussen, K.R (1994). Effect of slope on saltation threshold. *Sedimentology*, 41: 721- 728.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-3091.1994.tb01419.x>
- Jackson, N.L.; Nordstrom, K.F (1998). Aeolian transport of sediment on a beach during and after rainfall, Wildwood, NJ, USA. *Geomorphology*, 22: 151-157.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X97000652>
- Jamali, A. A.; Zerekia, S. ; Randhir, T (2018). Risk assessment of sand dune disaster in relation to geomorphic properties and vulnerability in the Saduq-Yazd Erg, *Applied Ecology and Environmental Research* 16(1): 579-590, DOI: 10.15666/aeer/1601_579590
https://www.researchgate.net/publication/322619719_Risk_assessment_of_sand_dune_disaster_in_relation_to_geomorphic_properties_and_vulnerability_in_the_Saduq-Yazd_Erg
- احمدنژاد، محسن (۱۳۷۹). ارزیابی و مدل سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره های چندگانه و GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم انسانی. دانشگاه تربیت مدرس.
- احمدپور، امیر؛ کریم سلیمانی؛ مریم شکری؛ جمشید قربانی پاشاکلاهی (۱۳۹۰). مقایسه میزان کارایی سه روش رایج طبقه بندی نظارت شده داده های ماهواره ای در مطالعه پوشش گیاهی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. دوره ۲. شماره ۲. صفحات ۸۱-۶۹.
http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_516651.html
- امیدوار، کمال (۱۳۸۵). مخاطرات طبیعی، چاپ اول. انتشارات دانشگاه یزد.
<https://telketab.com/book>
- نگارش، حسین؛ لیلا لطیفی (۱۳۸۸). بررسی خسارت های ناشی از حرکت ماسه های روان در شرق زابل با استفاده از تصاویر ماهواره ای، پژوهش های جغرافیایی طبیعی. دوره ۴۱. شماره ۶۷. صفحات ۸۷-۷۳.
https://jphgr.ut.ac.ir/article_21397.html
- میری، زینب (۱۳۹۶). بررسی شکل گیری و توسعه ریگ زرین، پایان نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی دکتر محمد شریفی بیچون. دانشگاه یزد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. ۱۵۶ صفحه
- رامشت، محمدحسین؛ عبدالله سیف؛ شبزم محمودی (۱۳۹۱). بررسی میزان گسترش تپه های ماسه ای شرق جاسک در بازه زمانی (۱۳۸۳-۱۳۶۹)، با استفاده از GIS و RS. جغرافیا و توسعه. شماره ۳۱. صفحات ۱۳۶-۱۲۱.
<http://ensani.ir/file/download/article/20130716140634-9505-100.pdf>
- Anderson, R.S., Haff, P.K (1988). Simulation of aeolian saltation. *Science* 241, 820- 823.
https://www.researchgate.net/publication/258741843_Simulation_of_Aeolian_Saltation
- Bagnold, R.A. (1941). The physics of blown sand and desert dunes. Chapman and Hall, London, PP.104-106.

- Shao Y (2008). Sand Dunes, Dynamics and Modelling, Physics and Modelling of Wind Erosion., Vol 37, PP.361-390.
https://www.researchgate.net/publication/51997450_Physics_and_Modelling_Wind_Erosion
- Tsoar, H (2001). Types of Aeolian Sand Dunes and Their Formation, Geomorphological Fluid Mechanics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, PP.403-429.
https://www.researchgate.net/publication/227248748_Types_of_Aeolian_Sand_Dunes_and_Their_Formation
- Tsoar, H (2005). Sand dunes mobility and stability in relation to climate. Physical Journals, 357:50- 56.
https://www.researchgate.net/publication/228530676_Sand_dunes_mobility_and_stability_in_relation_to_climate
- White, B. R.; Tsoar, H (1998). Slope effect on saltation over a climbing sand dune, Geomorphology, Volume 22, Issue 2, PP.159-180.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X97000585>
- Wiggs, G.F.S.; Atherton, R.J.; Baird, A.J. (2004). Thresholds of aeolian sand transport: establishing suitable values. Sedimentology, 51: 95-108.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3091.2003.00613.x>
- Yang, Y.; Qu, Z.; Shi, P.; Liu, L.; Zhang, G.; Tang, Y; & Shen, L (2014). Wind regime and sand transport in the corridor between the Badain Jaran and Tengger deserts, central Alxa Plateau, China. Aeolian Research, 12: 143-156.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875963714000020>
- Yizhaq, h.; Ashkenazy, Y.; Tsoar, H (2009). Sand dune dynamics and climate change: A modeling approach, Journal of geophysical research, <https://doi.org/10.1029/2008JF001138>.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2008JF001138>
- Zhang, W.; Qu, J.; Tang, L.; Jing, Z.; Bian, K.; Niu, Q (2016). Environmental dynamics of a star dune, Geomorphology, Volume 273,15, PP.28-38.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X16306900>
- Jiang, H.; Dun, H.; Tong, D.; Huang, N (2017). Sand transportation and reverse patterns over leeward face of sand dune, Geomorphology, Volume 283, 15, PP. 41-47.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X16302732>
- Kuriyama, Y.; Mochizuki, N.; Nalashima, T. (2005). Influence of vegetation on Aeolian sand transport rate from a backshore to a foreshore at Hasaki, Japan. Sedimentology, 52: 1123-1132.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-3091.2005.00734.x>
- Lancaster, N (1985). Winds and sand movements in the Namib sand sea. Earth Surf. Proc. Land, 10: 607-619.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/esp.3290100608>
- Leys J F, Eldridge D J (1991). Influence of cryptogamic crust disturbance to wind erosion on sand and loam rangeland soils. Earth Surface Processes Landforms 23:963-974.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291096-9837%281998110%2923%3A11%3C963%3A%3AAID-ESP914%3E3.0.CO%3B2-X>
- Maghsoudi, M. ; Navidfar, A.; Mohammadi, A. (2017). The sand dunes migration patterns in Mesr Erg region using satellite imagery analysis and wind data, Natural Environment Change Vol. 3, No. 1, Winter & Spring 2017, PP. 33-43.
https://jnec.ut.ac.ir/article_63753_1cd6ff2138c8e5ea5330651f2542cecf.pdf
- Mayaud, J. R., Bailey, R. M.; Wiggs, G. F. ; Weaver, C. M (2017). Modelling aeolian sand transport using a dynamic mass balancing approach, Geomorphology 280, 108-121
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X16311813>
- Marin, L.; Foeman, S. I.; Valdez, A.; Bunch, F. 2005. Twentieth century dune migration at the Great Sand Dunes National Park and Preserve, Colorado, relation to drought variability, Geomorphology, Vol 70, Issues 1-2, PP. 163-183
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X05001418>
- Rubin, D.; Tsoar, H.; Blumberg, D (2008). A second look at western Sinai seif dunes and their lateral migration, Geomorphology, Volume 93, Issues 3-4, PP. 335-342.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X07000955>