The Journal of Geographical Research on Desert Areas
11th Year – No. 1- Spring and Summer 2023, pp: 51-66
Home page: http://grd.yazd.ac.ir/
P-ISSN: 2345-332X E-ISSN: 2588-7009

Original Research Article

Revealing the harvesting, transfer and sedimentation areas of the Lut desert world heritage from 2019 to 2020

Samad Fotoohi [1*], Hossain Negaresh[2], Roghayeh Delaram [3], Masoud Sistani Badooei[4], Mohammad Zabihi-nejad[5]

[1] Ph.D in geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Iran
[2] Ph.D in geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Iran
[3] [3]Ph.D candidate in geomorphology and environmental management, University of Sistan and Baluchestan, Iran
[4] Ph.D candidate in geomorphology and environmental management, University of Sistan and Baluchestan, Iran
[5] Meteorological expert of synoptic station, Kerman Province, Iran

10.22034/GRD.2023.19259.1557

Received:
November 20, 2022
Accepted:
April 25, 2023

Keywords:
Lut desert, Radar interferometry, Rig Yalan, Geomorphology, Klut

Abstract

Kluts and Rig Yalan are the most important geomorphological phenomena of the Lut desert, which are located in the active hydro- eolian and aeolian erosion zone. They undergo significant geomorphological changes every year. In this research, by using RS and GIS, the erosion cycle has been revealed in the area of Kluts, Rig Lut and the transition area between them. The results were obtained in the interval of one year using the radar differential interferometric technique implemented on the radar data of Sentinel 1 satellite. It was shown that, in the area of Kluts, the highest rate of drilling is related to the northern half of this area. The yards have been excavated by 2.4 cm to the central parts by 0.3 cm. The southern half of this area has been excavated up to 0.002 cm, except for the corridors of the Kluts and smooth surfaces where sediments are accumulated. They are located in most of the northern parts of the central area. The sediment excavation reaches 2.3 cm over there. But in the southern parts, the extent of sediment accumulation is impressive, the maximum of which is up to 4 cm in the south. It is located in the east of this range. In the sand dune range of the region, there is a decrease of 4 cm in the height of the sand dunes in the western and northwestern parts. There is also an increase of 5 cm in their height in the eastern and especially the northeastern parts. Therefore, the height of the sand pyramids has a west-east trend, and it increases in the eastern parts. Therefore, in the studied area, the erosion cycle continues to rotate in a counter-clockwise direction.

E-ISSN: 2588-7009 /© 2023. Published by Yazd University. This is an open access article under the CC BY 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

* **Corresponding Author:** Samad Fotoohi
Address: Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan,Iran
Email: samadfotohi@yahoo.com

Extended Abstract

1. Introduction

Soil erosion is a phenomenon referring to the wear and tear of soil on the surface of the earth and its transfer to another place by water or wind processes. It has caused the emergence of many geomorphological forms in the world. The world's reservoirs are large, and they have active dynamics due to the instability of sands and undergo many geomorphological changes in a short period of time. There are many wind landforms of compression and erosion type in the Lut desert. They are one of the most important natural attractions of the Lut plain, which are rare or unique in the world. Landforms such as huge sand dunes and pyramids, which are unique in the world, have a very high ability to attract different tourists, including adventure tourists, scientific tourists, educational tourists, and other tourists. In this research, the Dayvis erosion cycle has been investigated in the Lut desert geoforms using differential radar interferometric techniques, and the collection and deposition points have been revealed.

2. Research Methodology

In order to reveal the harvesting, transportation and sedimentation areas of the Lut desert world heritage, the radar data of Sentinel 1 satellite and the digital model at a height of 30 meters have been used for software processing. The radar technology has been used in the radar interferometric method (DInSAR). In this research, Landsat 8 satellite images have served to prepare a map of the study area, so has an ASTER satellite digital elevation model (DEM) with a resolution of 30 meters helped to prepare a hypsometric map. Also, the study has benefited from radar processing, vector layers of geoscience databases, and windfalls of synoptic stations located around the study area. The stations provide wind direction and speed information under the surveillance of the National Meteorological Organization. Information processing has also been done with the SNAP and GIS software.

3. Results and discussion

In order to reveal the harvesting, transportation and sedimentation areas of the Lut desert world heritage area, the differential radar interferometry method was used from 2019 and 2020. This was along with the radar data of the Sentinel 1 satellite, which is of C-Band type and has a wave penetration with a wave frequency of 405 5 GHz. According to the outputs, the phase difference between the two data in the Kluts has a negative trend, and the erodibility of the Kluts is quite noticeable, which is caused by the winds of the region.

It should be noted that, due to the resistance of Lut to the internal forces of the earth, the effect of faults in the bedrock and the area of the Kluts is very small. The observed changes are only due to wind erosion. After the unwrapping process, the unwrapped layer is converted into a displacement layer and then georeferenced. The final map of the vertical displacement of Lute Kluts was drawn in a general and classified manner, which shows many changes during a year. But, in general, the northern parts of Klut have more erosion resistance due to high wind speed and high erosion power. The yardangs in the northwest parts of Kluts provide evidence for it. Therefore, most of the area of Kluts is eroded every year, and the sediments are accumulated in many parts of Rig Yalan. Middle Hamada can be considered as a transition range. In order to investigate the dominant processes in the creation of geomorphological complications in Lut, the synoptic data were analyzed at Shahdad, Nehbandan and Nusratabad stations, and the gulbads of the region were drawn. According to the winds of the region, the erosion trend of the Kluts from the northwest to the southeast shows a significant trend in the wind erosion.

4. Conclusion

Since the Lut desert is the most important natural feature of the country that has been registered globally, investigating its geomorphological complications is also a research priority. These surveys provide accurate information about the conditions and characteristics of the region. Among the phenomena there, Kluts and Rig Yalan are the most important geomorphological features in Lut. They are located in the hydro-eolian region and

are always subject to significant geomorphological changes. According to the investigations carried out in this research, there is an erosion cycle in the areas of Kluts, Rig Yalan and Middle Hamada. In the area of Kluts, the highest rate of excavation was observed in the northern and central parts. In the northern part of the Middle Hamada, referred to as the transfer zone, the sediments are excavated, but the sediment is accumulated in the southern parts of this region. In different parts of the Lut sand, known as the sedimentation area, the accumulation of sediments is so different that, in the western and western parts, the height of the sand pyramids has decreased, but in the eastern and especially the northern parts. The east shows an increase in the height and accumulation of sediments. According to the findings, the erosion cycle in this range is rotational and counterclockwise. Among the studies on Lut, there is the article 'Thermal cyclone of Lut', which refers to the existence of a thermal cyclone in Lut and a counterclockwise air flow.

کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی
سال یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان۱۴۰۲، صفحات۶۶-۵۱
Home page: http://grd.yazd.ac.ir/
P-ISSN: 2345-332X E-ISSN: 2588-7009

مقاله پژوهشی

آشکارسازی مناطق برداشت، انتقال و رسوب‌گذاری عرصه میراث جهانی بیابان لوت در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰

صمد فتوحی [۱*]، حسین نگارش [۲]، رقیه دلارام [۳]، مسعود سیستانی بدوئی [۴]، محمد ذبیحی‌نژاد [۵]

[۱] دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران.
[۲] استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران.
[۳] دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران.
[۴] دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران.
[۵] کارشناس هواشناسی ایستگاه سینوپتیک، استان کرمان، ایران.

10.22034/GRD.2023.19259.1557

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۸/۲۹
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۲/۵

چکیده

کلوت‌ها و ریگ یلان مهم‌ترین پدیده‌های ژئومورفولوژیکی بیابان لوت هستند که در منطقه فعال فرسایشی هیدرو-ائولین و ائولین قرار داشته و هرساله دچار تغییرات ژئومورفولوژیکی قابل‌توجهی می‌شوند. در تحقیق حاضر با استفاده از RS و GIS اقدام به آشکارسازی سیکل فرسایش در محدوده کلوت‌ها، ریگ لوت و محدوده انتقال بین آن‌ها شده است. نتایج به‌دست‌آمده در فاصله زمانی یک‌ساله با استفاده از فن تداخل سنجی تفاضلی راداری بین داده‌های رادار ماهواره سنتینل ۱ نشان داد که در محدوده کلوت‌ها (منطقه برداشت)، بیشترین میزان حفر مربوط به نیمه شمالی این منطقه بوده که از قسمت‌های شمالی یعنی محدوده گسترش یاردانگ‌ها به میزان ۲/۴ سانتی‌متر تا قسمت‌های مرکزی به میزان ۰/۳ سانتی‌متر برداشت‌شده است. نیمه جنوبی این منطقه نیز به‌غیراز دالان‌های کلوت‌ها و سطوح هموار که محل انباشته شدن رسوبات است، تا ۰/۰۰۲ سانتی‌متر مورد حفر قرارگرفته است. در بیشتر قسمت‌های شمالی محدوده مرکزی (محدوده انتقال) فرآیند حفر رسوبات به میزان به ۲/۳ سانتی‌متر می‌رسد. اما در قسمت‌های جنوبی این محدوده، انباشته شدن رسوبات چشم‌گیر هست که حداکثر آن تا میزان ۴ سانتی‌متر در جنوب شرق این محدوده قرار دارد. در محدوده ریگ لوت (منطقه نشست) نیز کاهش ۴ سانتی‌متری ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در بخش‌های غربی و شمال غربی و همچنین افزایش ۵ سانتی‌متری ارتفاع آن‌ها در قسمت‌های شرقی و بخصوص شمال شرقی چشم‌گیر بوده است. بنابراین افزایش ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای روندی غربی- شرقی داشته که ارتفاع آن در قسمت‌های شرقی افزایش می‌یابد. بنابراین در منطقه موردمطالعه، سیکل فرسایش به‌صورت چرخشی در جهت عکس عقربه‌های ساعت به فعالیت خود ادامه می‌دهد.

کلیدواژه‌ها:
بیابان لوت، ریگ یلان، ژئومورفولوژی، کلوت، تداخل‌سنجی راداری

E-ISSN: 2588-7009 /© 2023. Published by Yazd University. This is an open access article under the CC BY 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

*نویسنده مسئول: صمد فتوحی
آدرس: دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران. ایمیل : samadfotohi@yahoo.com

۱ مقدمه

فرسایش خاک پدیده‌ای است که با فرسودگی و از بین رفتن خاک سطح زمین و انتقال آن به‌جای دیگر توسط فرآیندهای آبی یا بادی انجام می‌گیرد. این فرآیند موجب پدید آمدن اشکال و لند فرم‌های ژئومورفولوژیکی متعددی در جهان شده است (شایان و زارع، ۱۳۹۰). فرآیند فرسایش شامل سه مرحله برداشت، حمل و رسوب‌گذاری است (مایر و همکاران[1]، ۱۹۶۹). مجموعه اعمال فرسوده‌شدن قسمتی از سطح زمین، برداشته شدن، حمل‌ونقل مواد آن و انباشته کردن این مواد در اصطلاح علم ژئومورفولوژی فرسایش نامیده می‌شود (شایان،۱۳۸۴). بنابراین مطالعه عوامل فرسایش و شکل‌بندی که از آن‌ها حاصل می‌شود، در قلمرو ژئومورفولوژی قرار می‌گیرد (رجایی، ۱۳۸۳).

فرسایش خاک یک فرآیند طبیعی است که در مقیاسی بزرگ‌تر از مقیاس زمین‌شناسی رخ می‌دهد (خواجویی و همکاران، ۱۳۹۴). بر طبق تئوری دیویس، سه عامل ساختمان، دوره و عوامل اساس تحول یک ناهمواری است. اما به‌تدریج عامل دوره یا زمان بیش از دو عامل اخیر موردتوجه قرار گرفت (رجایی،۱۳۷۳). وقتی در دیدگاه دیویس صحبت از مراحل جوانی، رسیدگی و پیری می‌شود درواقع تکوین یک‌چشم انداز ژئومورفیک در سه تابلو زمانی طرح و سپس برای هر یک از آن‌ها ویژگی‌ها و روابط معینی تعریف می‌شود. طبق نظر دیویس، اشکال زمین در زمان‌های طولانی‌تر یا رو به تکامل است، یا به‌تدریج تحلیل می‌رود، به عبارتی نظر بر تغییر پیش‌رونده و برگشت‌ناپذیر دارد به‌طوری‌که این مفهوم ریشه در تکامل آلی، بیشینه‌سازی آنتروپی و پس‌خوراند مثبت دارد (ساکی و همکاران، ۱۳۹۱).

ژئومورفولوژیست‌ها با توجه به اشکال و لندفرم‌ها موجود به مفهوم فرسایش می‌پردازند. بادهای سطحی با جابجایی و حمل ذرات خاک در سطح زمین تأثیر بسیار زیادی درشدت فرسایش دارند (تاگ دین و همکاران، ۱۹۸۶). در بیابان لوت لند فرم‌های بادی زیادی از نوع تراکمی و سایشی وجود دارد. این پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناختی یکی از مهم‌ترین جاذبه‌های طبیعی دشت و بیابان لوت است که می‌توان گفت در جهان کم‌نظیر و یا بی‌نظیر است. لند فرم‌هایی مانند کلوت‌ها و هرم‌های عظیم ماسه‌ای که در نوع خود در دنیا بی‌نظیر هستند از قابلیت بسیار بالایی برای جذب گردشگران مختلف ازجمله جهانگردان ماجراجو، جهانگردان علمی، آموزشی و سایر جهانگردان برخوردار می‌باشند (مقصودی و همکار ۱۳۸۳). وسعت ریگزارهای جهان زیاد است و این مناطق به دلیل ناپایداری ماسه‌ها دارای دینامیک فعالی بوده و در بازه زمانی اندک، دچار تغییرات ژئومورفولوزیکی زیادی می‌شوند. پدیده فرسایش عامل اصلی تشکیل تپه‌های ماسه‌ای است. حاکمیت شرایط خشک و از طرفی همواری نسبی توپوگرافی در مناطق مرکزی ایران موجب شده است که این مناطق به‌طور گسترده تحت تأثیر رفت‌وروب بادی قرار گیرد (رفاهی، ۱۳۸۰). در قسمت شرقی واحد لوت میانی پهنه‌های ماسه‌ای با مساحت بیش از ده هزار کیلومترمربع وجود دارند که عرض آن‌ها ۵۲ و طول آن‌ها ۱۶۳ کیلومتر است و اشکال تراکمی ماسه‌بادی زیادی در آن‌ها تشکیل گردیده که در اصطلاح محلی به این منطقه ریگ لوت می‌گویند (بهنیافر و قنبرزاده،۱۳۹۷). در فرهنگ علمی، اصطلاح ریگ به قطعات متلاشی‌شده از سنگ‌های مختلف الجنسی اطلاق می‌شود که سطح آن‌ها وسیله فرایندهای بیرونی، به‌ویژه آب‌های جاری و امواج دریا به‌طور کامل ساییده شده و اندازه تقریبی آن‌ها از پسته تا یک بادام، متفاوت است (محمودی، ۱۳۸۱). لوت مرکزی، محل استقرار ریگ‌های چاله لوت است که بیشترین نمود آن در مشرق بوده ولی پراکندگی و گسترش آن در جنوب، مغرب و مرکز دشت را هم شامل می‌شود. ریگ لوت یا ریگ یلان در مقیاس ایران شاخص‌ترین نمونه ازنظر تنوع مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای است (رامشت و بابا جمالی، ۱۳۹۹).

پرحجم‌ترین رشته‌های ماسه‌ای ایران و مرتفع‌ترین هرم‌های ماسه‌ای نواحی خشک کره زمین در آن قرارگرفته است (محمودی،۱۳۸۱). بخش میانی لوت جنوبی که بین کلوت‌ها در غرب لوت و ریگ لوت در شرق است، به‌صورت سنگفرش بیابانی مشخص می‌شود و پوشیده از سنگ‌های ریزودرشت است. در بخش غربی لوت جنوبی کلوت‌ها به‌عنوان یکی از لند فرم‌های منحصربه‌فرد مناطق بیابانی جهان قرار دارد. ازنظر تعریف کلوت به برجستگی‌های نامنظمی اطلاق می‌شود که بین شیارهای بادرفتی به وجود می‌آیند. رأس این برجستگی‌ها مسطح بوده و سمت رو به باد آن‌ها پرشیب‌تر از سمت باد پناهی آن‌هاست (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۹۷). کلوت‌ها ازلحاظ شکل ناهمواری مجموعه‌ای به‌صورت تپه‌های منفرد و یا غالباً رشته‌های موازی و نواری هستند و در ایران غالباً از نوع مزو و مگا هستند. کلوت یک واژه ایرانی است و مشابه خارجی آن بسیار کم است و سایر کشورها بیشتر کلوتک (یاردانگ) دارند. جهت کلوت‌ها شمال غربی– جنوب شرقی یعنی همان جهت باد غالب در آن قسمت از لوت است (نگارش،۱۳۹۱). محیط مناسب برای تشکیل کلوت‌ها، اقلیم خشک همراه با باران کم و باد شدید و مداوم است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۵). مشخص‌ترین و متراکم‌ترین کلوت ایران در غرب لوت با وسعتی حدود ۱۰ هزار کیلومترمربع و به عرض حدود ۷۰ کیلومترمربع و طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر دیده می‌شود (علائی طالقانی، ۱۳۹۴) که همه‌ساله دچار تغییر و تحول می‌شوند.

یکی از عواملی که موجب این تغییر و تحولات در نقاط مختلف شده، پدیده فرسایش است که موجب پدید آمدن اشکال و لند فرم‌های ژئومورفولوژیکی متعددی در جهان شده است (شایان و همکار، ۱۳۹۰). ژئومورفولوژیست‌ها فرسایش را یک‌روند طبیعی در نظر می‌گیرند که جزئی از چرخهٔ طبیعت هست و اگر فرسایش نبود، هم‌اکنون بسیاری از لند فرم‌ها وجود نداشتند. تحولات چاله لوت در

[1] Mayer et al

دوران چهارم زمین‌شناسی واقع‌شده که در این دوره عامل فرسایش بادی- آبی (هیدرو-ائولین) باعث تغییر حوضه و اشکال ژئومورفولوژی موجود در آن بخصوص کلوت‌ها شده است (بایرام کمکی و همکار،۱۳۸۴). فرسایش آبی و بادی جزء فرآیندهای غالب تشکیل‌دهنده اشکال یاردانگ‌های شمال دشت لوت است که نیروی باد یکی از مهم‌ترین عوامل تکوین کلوت‌ها در این منطقه است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۴). داده‌های رسوب‌شناسی نشان می‌دهد که کلوت‌ها منشأ پلایایی دارند که پس از خشک شدن طی کواترنر تحت تأثیر کاوش بادی قرارگرفته و مورفولوژی کنونی را به وجود آورده است. دامنه شرقی هریک از کلوت‌ها تحت تأثیر کاوش بادی بیش از دامنه غربی آن‌ها فرسایش یافته است. عدم تقارن شیب دامنه‌های کلوت‌ها می‌تواند وزش همگرای بادها را در راستای یک سامانه کم‌فشار توجیه کند (رامشت و همکار، ۱۳۹۸). تحقیقات زیادی در مورد ژئوفرم‌های بیابان لوت و همچنین فرسایش در این منطقه صورت گرفته است که در ادامه به‌اختصار به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

ریگ لوت توسط پژوهشگران زیادی موردبررسی قرارگرفته است اما از این میان آلفونس گابریل[1] تنها محققی است که در زمان‌های گذشته (سال‌های ۱۹۲۸-۱۹۲۷، ۱۹۳۳ و ۱۹۳۷) از مرکز لوت مرکزی و حاشیه غربی بخش شرقی ریگ لوت گذشته و نوشته‌های او واقعیت بیشتری دارد (محمودی، ۱۳۸۱). کرینسلی[2] در سال ۱۹۷۰ به بررسی ژئومورفولوژی و اقلیم گذشته پلایای ایران پرداخته و عنوان کرد که یاردانگ‌ها وسعت زیادی از لوت مرکزی را گرفته است. مک کاولی[3] و همکاران ۱۹۷۷ به یاردانگ‌های لوت اشاره کرده و ارتفاع آن‌ها را حدود ۸۰ متر و طولشان را از چند متر تا صدها کیلومتر متفاوت دانسته و عرض راهروهای بین را هم بیش از ۱۰۰ متر عرض قلمداد می‌کنند. بسیاری از دانشمندان جهان مثل کوک[4] و همکاران (۱۹۷۲) در کتاب ژئومورفولوژی بیابان‌های جهان، پارسون و آبراهامز[5](۲۰۱۶) در کتاب ژئومورفولوژی قلمروهای بیابانی و توماس[6] (۲۰۱۸) در کتاب ژئومورفولوژی مناطق خشک به مطالعه مشخصات کلوت‌های ایران پرداختند. احسانی و کوئل ۲۰۰۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، یاردانگ‌های بیابان لوت را آنالیز کرده و با توجه به نقشه‌ها، تغییرات طبیعی سطح لوت را با توجه به شیب و شکل طبقه‌بندی کرده و نقش باد سیستان را در این تغییرات مؤثر دانسته‌اند. در ایران نیز مشهدی و همکاران (۱۳۸۱) به مطالعه ژئومورفولوژی یاردانگ‌های لوت پرداختند و در این پژوهش نشان دادند که دو نوع لندفرم کاملاً مجزا در یاردانگ‌ها وجود دارند. یکی پشته‌ها و دیگری راهروها. چهره پشته‌ها عمدتاً تحت تأثیر فرسایش بادی- آبی قرار دارد. علوی پناه (۱۳۸۳) نیز کلوت‌های لوت را ازنظر منابع آب و رطوبت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی کرد. مهرشاهی و نکونام (۱۳۸۸) چهره‌های شگفت‌انگیز فرسایش بادی در بیابان‌های ایران ازجمله کلوت‌ها را بررسی کرده و آن‌ها را حاصل رسوبات ریزدانه جوان مانند رس و سیلت در اثر باد بردگی ذرات ریزتر دانستند. یمانی (۱۳۹۲) با تکیه‌بر فرم‌های ایجادشده توسط باد به تحلیل جهت بادها بدون در نظر گرفتن آمار اقلیمی پرداخت. نتایج پژوهش وی حاکمیت یک سامانه کم‌فشار در لوت را نشان می‌دهد که این سامانه جریان بادی را برخلاف عقربه‌های ساعت ایجاد می‌کند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی جابه‌جایی برخان‌های غرب لوت (پشوئیه) پرداخته و میزان عوارض سطح ریگ را با استفاده از عکس‌های هوایی و سلهای سطحی مشخص نموده و بیان داشتند که این جابه‌جایی به سمت جنوب و جنوب شرق اتفاق می‌افتد. مقصودی و همکاران (۱۳۹۹) تغییرات سرعت باد و اثر آن بر جابه‌جایی و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در ریگ لوت را مورد پایش قراردادند و به این نتیجه رسیدند که مناطق شمالی ریگ با کاهش ارتفاع و مناطق جنوبی ریگ با افزایش ارتفاع روبرو هستند.

در پژوهش حاضر به‌منظور تکمیل نظریه‌های قبل و آشکارسازی مناطق برداشت و رسوب‌گذاری عرصه میراث جهانی بیابان لوت از داده‌های راداری ماهواره سنتینل ۱ و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده‌شده است. سنتینل ۱ ماهواره مدار قطبی است که در سال ۲۰۱۴ به صورت راداری تصویربرداری را آغاز کرد و می‌تواند پدیده‌ها و عوارض را در شب و روز بدون در نظر داشتن شرایط آب و هوایی جمع‌آوری و اخذ کند. فناوری‌های جدید در سنجش‌ازدور تحولی عظیم در روش‌های تحقیق در علوم طبیعی به وجود آورده است. فنون تداخل‌سنجی تفاضلی راداری نیز از فنون جدید سنجش‌ازدور است که دقت و قدرت تفکیک مکانی بالا و امکان اخذ اطلاعات در هر شرایط آب و هوایی اشاره نمود (احمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین در پژوهش حاضر، برای اولین بار در دنیا اقدام به بررسی دقیق و جامع سیکل فرسایش دیویس در عوارض ژئومورفولوژیکی شاخص و شناخته‌شده عرصه میراث جهانی بیابان لوت شده است که این کار با استفاده از فنون تداخل‌سنجی تفاضلی راداری (اینترفرامتری) انجام گرفته و نقاط برداشت و رسوب‌گذاری در سه قسمت (برداشت، انتقال و نشست) آشکارسازی شده است.

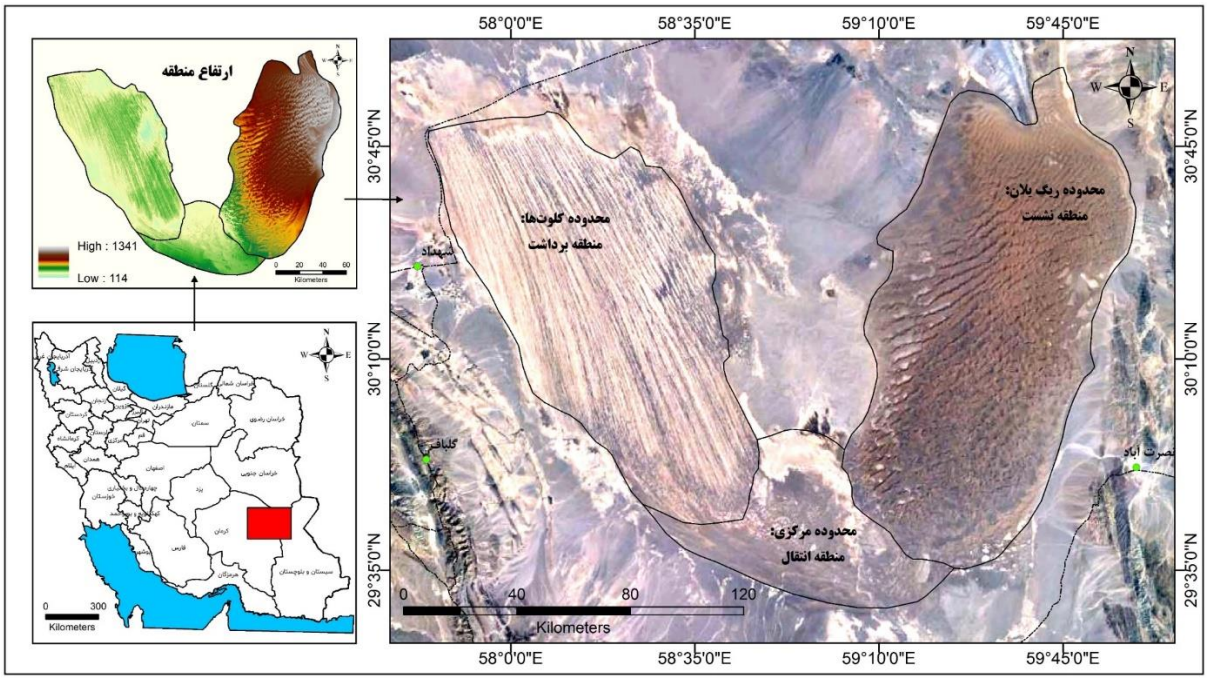
۲ معرفی منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در محدوده شمالی بیابان لوت با مساحتی بالغبر ۲۴۲۳۰ کیلومترمربع و محیط ۹۳۳ کیلومتر، مابین ″۵۰ ′۴۳ °۵۷ تا ″۱۴ ′۵۹ °۵۹ طول شرقی و ″۳۴ ′۲۸ °۲۹ تا ″۵۵ ′۵۷ °۳۰ عرض‌شمالی واقع است و ازنظر تقسیمات سیاسی در سه استان کرمان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی قرار دارد که بیشترین مساح[7]ت آن متعلق به استان کرمان است. بهترین راه

---

1 Alphonse Gabriel
2 Krinsley
3 McCauley
4 Cook
5 Parson & Abrahams
6 Thomas

دسترسی به این منطقه از طریق کیلومتر ۴۰ جاده شهداد- نهبندان به کلوت‌ها و کیلومتر ۳۴ نصرت‌آباد- بم به ریگ لوت هست. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه ۱۱۴ متر در جنوب غرب کلوت‌ها و ۱۳۴۱ متر در شمال شرق ریگ لوت است. نزدیک‌ترین شهرها به منطقه شامل شهداد در ۲۰ کیلومتری غربی، نصرت‌آباد در ۳۵ کیلومتری شرقی، نهبندان در ۸۰ کیلومتری شمال شرقی و بم در ۶۵ کیلومتری جنوب غربی هست. با توجه به ماهیت این منطقه، سکونت‌گاه‌های اطراف آن پراکنده و بافاصله زیادی نسبت به هم قرار دارند (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

ازلحاظ زمین‌شناسی، منطقه موردمطالعه در قسمت مرکزی بلوک لوت قرار دارد که از غرب به‌وسیله گسل نای‌بند (ارتفاعات کرمان) و از شرق به‌وسیله گسل نهبندان- خاش (ارتفاعات نصرت‌آباد) محدودشده است. سنگ‌بستر منطقه موردمطالعه به دلیل تراکم و سخت شدگی سنگ‌های دگرگونی، بسیار مستحکم و پایدار بوده است (درویش زاده، ۱۳۸۹). بنابراین به دلیل زیرساخت آتش‌فشانی و دگرگون شدن و مستحکم شدن آن در حرکات سیمرین پیشین، در رسوبات نئوژن و کواترنر شامل (مارن، سیلت، رس ژیپس دار و لیمون‌های نمک‌دار) (علایی طالقانی، ۱۳۸۸)، هیچ‌گونه اثرات و شواهدی مبنی بر حرکات تکتونیکی و درونی زمین بخصوص در محدوده کلوت‌ها دیده نمی‌شود. با توجه به موارد ذکرشده در این محدوده با توجه به نقشه‌های زمین شناسی گسل نیز وجود ندارد (شکل ۲).

در منطقه مورد مطالعه به دلیل شرایط آب و هوایی بسیار خشک و تغییرات دمایی زیاد هم در شب و روز و هم در فصل‌های مختلف سال، فرسایش ترموکلاستی، سازندهای زمین‌شناسی اطراف را به‌شدت تحت تأثیر خود قرار داده و به همراه وجود بادهای شدید از شمال غرب به جنوب شرق باعث مسلح شدن این بادها به ذرات ماسه شده که به دلیل سست بودن رسوبات دریاچه‌ای پلایای لوت که از دوره کواترنر در این منطقه رسوب‌گذاری شده است، نقش فرسایندگی زیادی در محدوده کلوت‌ها ایفا نموده است. بنابراین فرسایش بادی بسیار شدیدتر از فرسایش آبی در این منطقه عمل نموده که باعث تغییرات زیادی در وضعیت ژئومورفولوژیکی منطقه می‌شود.

۳ روش تحقیق

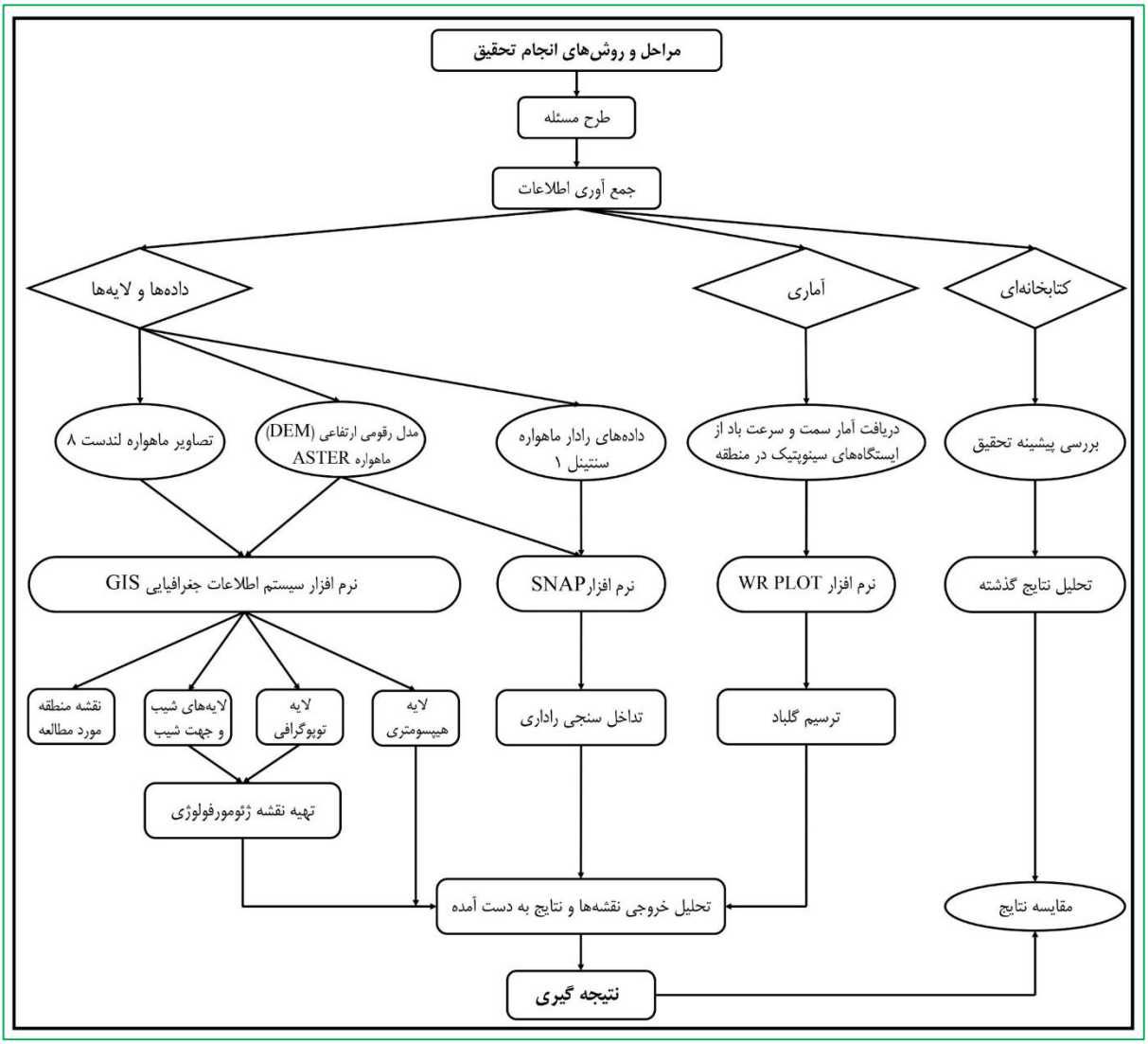
روش انجام تحقیق به صورت زیر است.

جهت آشکارسازی مناطق برداشت، انتقال و رسوب‌گذاری عرصه میراث جهانی بیابان لوت از داده‌های رادار ماهواره سنتینل ۱ و مدل رقومی ارتفاعی ماهواره ASTER باقدرت تفکیک ۳۰ متر برای پردازش‌های نرم‌افزاری بهره برده شده است. فناوری رادار که به لطف توسعه سریع فنّاوری فضایی فراهم آمده (فرتی[1] و همکاران، ۲۰۰۷) با روش تداخل‌سنجی راداری (DInSAR [2]) انجام‌گرفته که این کار

[1] Ferretti

[2] Differential SAR Interferometry

با استفاده از اختلاف سیگنال‌های برگشتی دو داده (آخوندزاده، ۱۳۸۴) در دو زمان متفاوت توسط ماهواره‌ای که بافاصله مشخص از سطح زمین در حال گردش است و قابلیت کار در تمامی شرایط جوی را دارد (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۴) محاسبه‌شده است. در (شکل ۳) موقعیت و مشخصات داده‌های مورداستفاده جهت پردازش در تحقیق نشان داده‌شده است.

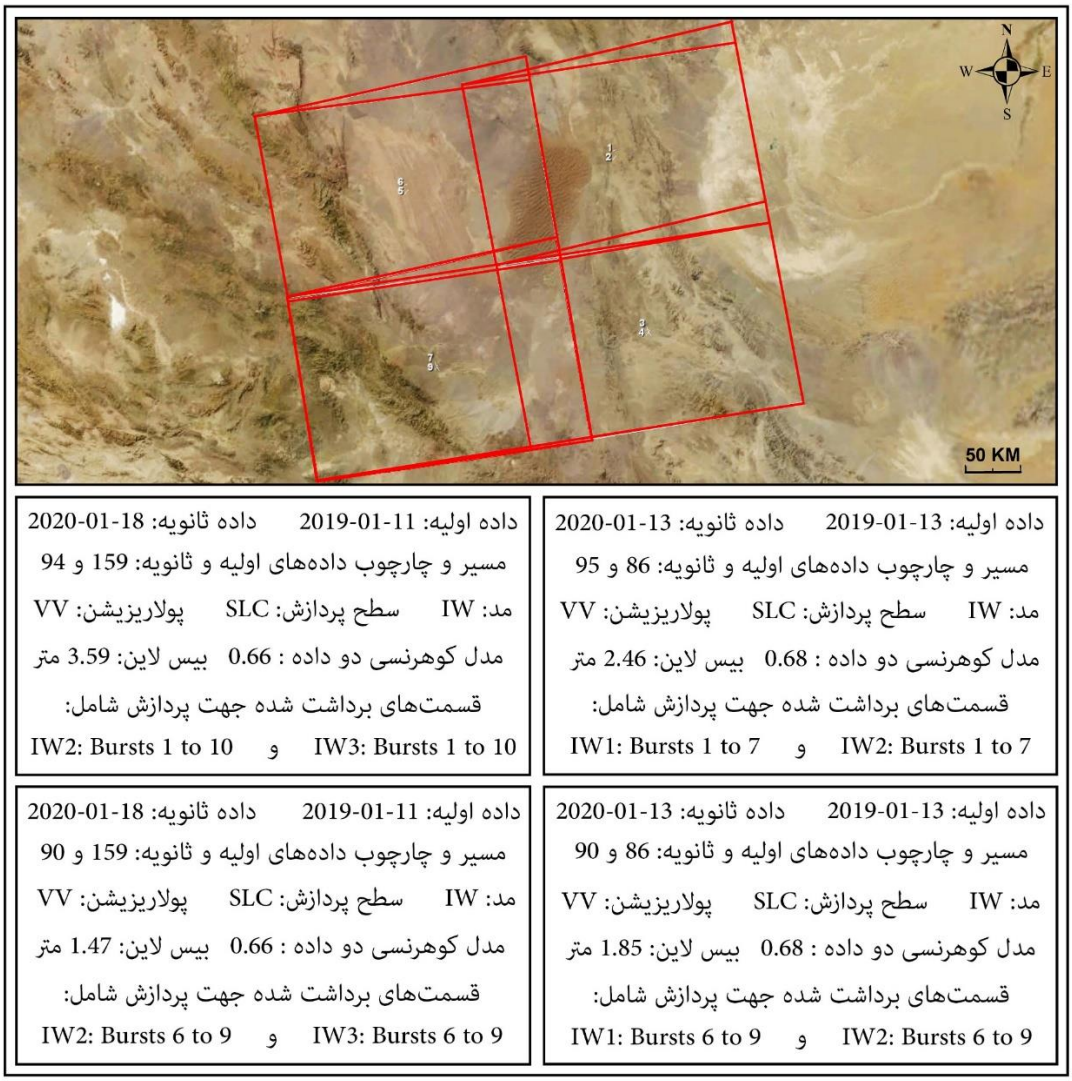


شکل ۲- فرایند تحقیق

ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

پهنه میراث جهانی بیابان لوت در ۴ محدوده داده رادار سنتینل ۱ با باند C که با طول موجی برابر با فرکانس ۵/۴۰۵ گیگاهرتز است، با جهت پرواز ماهواره به صورت Ascending قرار داشته که پردازش هر موزائیک به صورت جداگانه انجام و درنهایت لایه‌های نهایی با یکدیگر موزائیک و برش داده‌شده است. در آخر بعد از انجام عملیات مختلف بر روی تصاویر، فاز به‌دست‌آمده ناشی از جابجایی سطح زمین است که در آن اعداد مثبت نشان‌دهنده رسوب‌گذاری سطح زمین و اعداد منفی نشان‌دهنده میزان برداشت یا پایین رفتن سطح زمین است. (شکل ۴).

در این تحقیق همچنین از تصاویر ماهواره لندست ۸ جهت تهیه نقشه منطقه مورد مطالعه، مدل رقومی ارتفاعی جهت تهیه نقشه هیپسومتری و پردازش‌های راداری، لایه‌های وکتوری پایگاه داده‌های علوم زمین و آمار سمت و سرعت باد ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در اطراف منطقه مورد مطالعه از بدو تأسیس تا مهرماه ۱۴۰۱ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است که گلباد سالیانه این ایستگاه‌ها توسط نرم‌افزار WR Plot ترسیم شده است. پردازش اطلاعات رادار در نرم‌افزارهای SNAP و سایر نقشه‌ها در GIS انجام‌گرفته است.

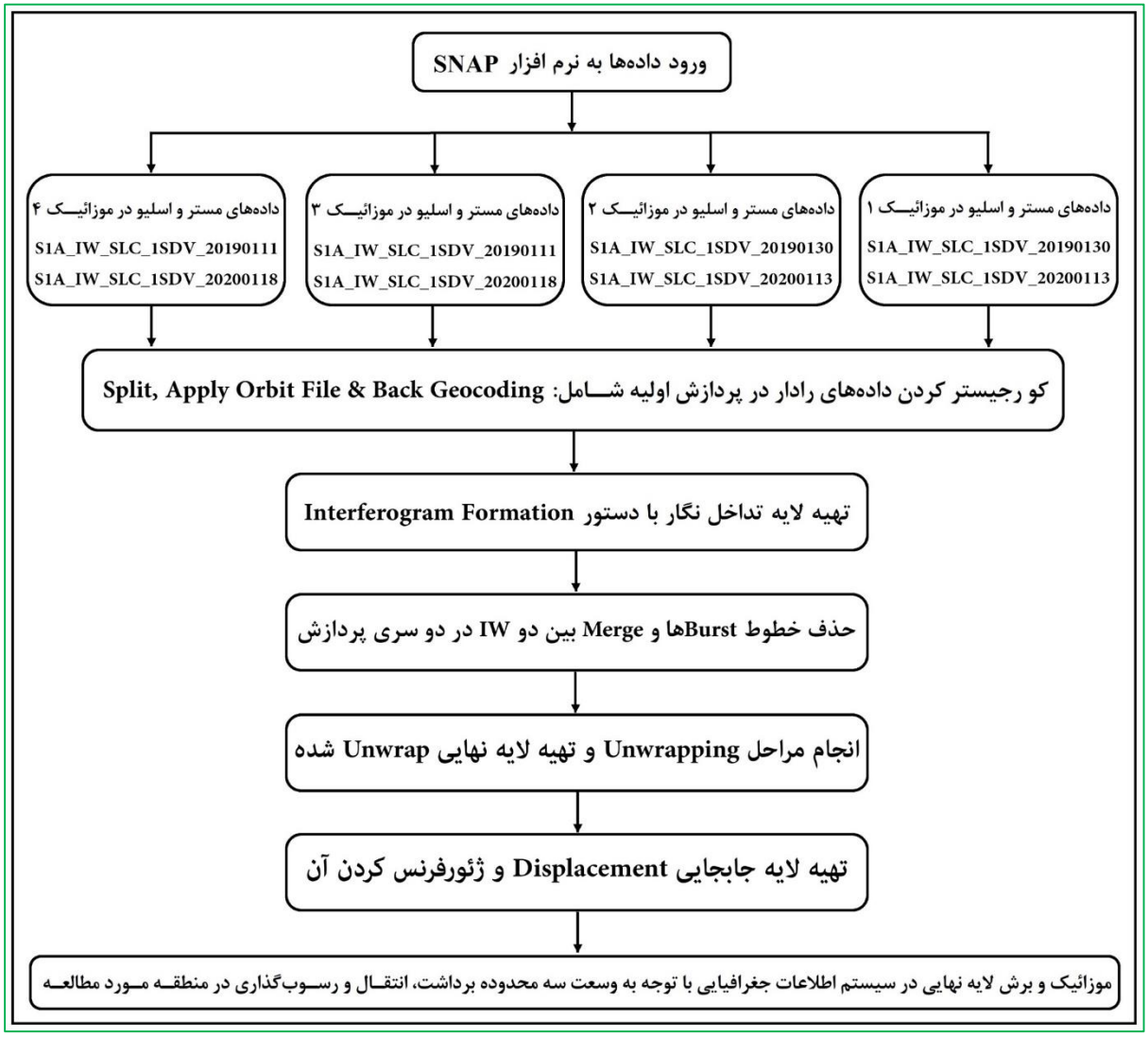


شکل ۳- موقعیت و مشخصات داده‌های استفاده‌شده در تحقیق جهت پردازش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۱

٤ یافته‌ها و بحث

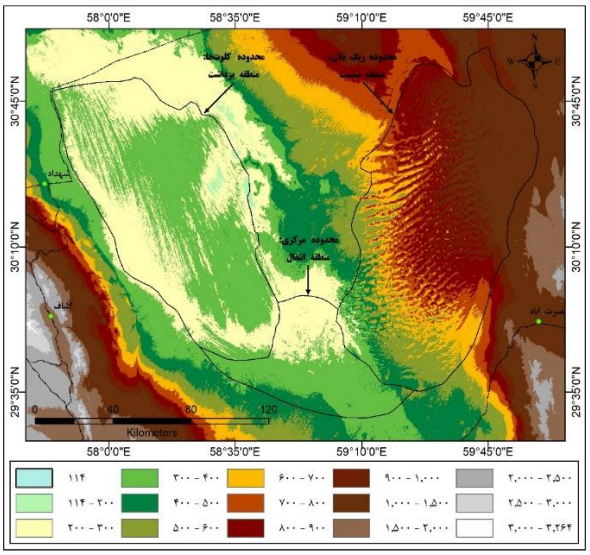
شرایط توپوگرافی، هیپسومتری و ژئومورفولوژیکی بیابان لوت و همچنین ارتفاعات اطراف این بیابان که آن را محصور کرده است باعث شده تا این منطقه ازلحاظ هواشناسی و اقلیم‌شناسی دارای الگوی ویژه فرسایشی باشد. از یک‌سو قرارگیری در عرض‌های پایین جغرافیایی و قرارگیری آن در میان ارتفاعات اطراف لوت و ایجاد مرکز پرفشار در حالت بادپناهی این بیابان تحت تأثیر این دو علت، و از سوی دیگر تشکیل مرکز کم‌فشار همرفتی- حرارتی سطحی ناشی از دریافت انرژی بسیار زیاد خورشیدی در روز اختلاف دمایی بسیار زیادی رابین سطح و ترازبالای جو ایجاد نموده است. بنابراین با توجه به اینکه پایین‌ترین ارتفاع در عرصه میراث جهانی بیابان لوت حدود ۱۱۴ متر و بالاترین ارتفاع در اطراف بیابان لوت مربوط به ارتفاعات کوهستانی جنوب غربی آن حدود ۳۲۶۴ متر از سطح آب‌های آزاد است، این اختلاف ارتفاع باعث شده تا فشار و دمای سطح زمین نیز تحت تأثیر قرارگرفته و باعث ایجاد اختلاف دما و فشار و وزش بادهای شدید شود که این اختلاف ارتفاع به همراه سایر عوامل دیگر درونی و بیرونی با مقیاس مختلف در سیکل فرسایشی نقش چشمگیری را ایفا نماید و اشکال مختلف فرسایشی بادی را در منطقه شکل دهد (شکل ۵).



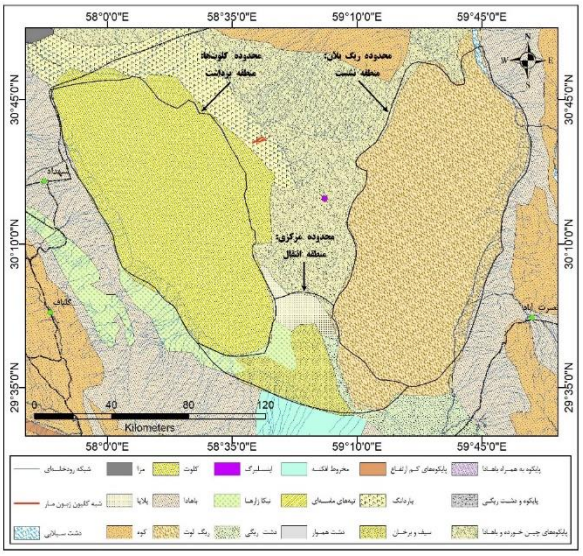
شکل ٤- مراحل اجرای تداخل سنجی تفاضلی راداری در منطقه موردمطالعه

ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

درنهایت اثر عوامل اقلیمی، خود را به صورت اشکال مختلف ژئومورفولوژیکی درروی سطح زمین نشان می‌دهد که کلوت‌ها و ریگ یلان نمونه بارز آن است. علاوه بر دو عارضه فوق در منطقه مورد مطالعه به دلیل تنوع سازندهای زمین‌شناسی و شرایط رسوب‌شناسی، اشکال ژئومورفولوژیکی بسیاری وجود دارد که در اطراف عرصه میراث جهانی بیابان لوت به وجود آمده است. باهادا، مخروط افکنه‌های ردیفی و بریده‌شده، اینسلبرگ، مئاندرهای دشتی و دره‌ای، دشت ریگی، پلایا، شبه کانیون و دیگر عوارض ژئومورفولوژیکی به چشم می‌خورد. در محدوده کلوت‌ها نیز اشکال فرسایشی مانند یاردانگ و در داخل محدوده ریگ یلان نیز اشکال تراکمی مانند سیف، برخان، تپه‌های ستاره‌ای و هرم‌های ماسه‌ای وجود دارد (شکل ۶).

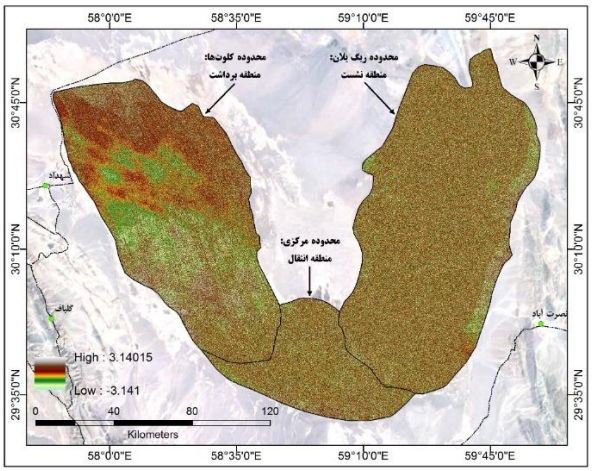


شکل ۵- نقشه هیپسومتری منطقه
ترسیم: نگارندگان

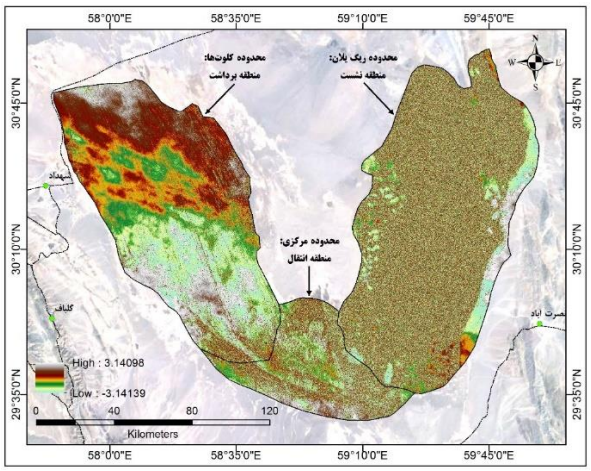


شکل ۶- نقشه ژئومورفولوژی منطقه
ترسیم: نگارندگان

با توجه به توضیحات فوق، اقدام به شناسایی مناطق فرسایشی در سه محدوده برداشت، انتقال و نشست می‌گردد که این کار با استفاده از نرم‌افزار SNAP انجام گرفته است. به‌منظور دقت در ساخت لایه‌های مختلف در هر مرحله، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ماهواره Aster باقدرت تفکیک ۳۰ متر استفاده‌شده است. در (شکل ۷) فاز Deburst شده و Merge شده حاصل از خروجی تداخل نگار یا Interferogram و در (شکل ۸) فاز فیلتر شده حاصل از لایه تداخل نگار با روش Goldstein نشان داده‌شده است.



شکل ۷- لایه تداخل‌نما در بازه زمانی ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰

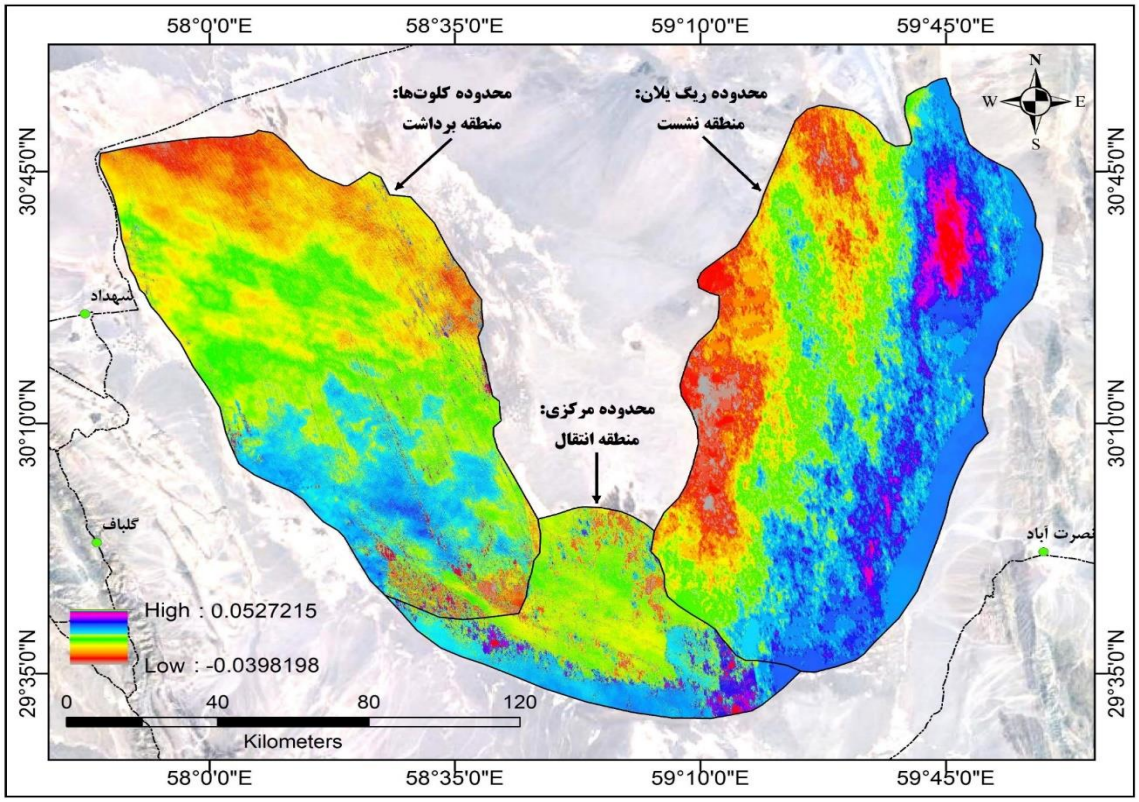


شکل ۸- لایه فاز فیلتر شده بین سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰

همان‌گونه که در تصاویر فوق مشخص است، اختلاف فاز بین دو داده اخذ شده در کلوت‌ها روندی منفی داشته و کاملاً محسوس است و فرسایش‌پذیری محدوده برداشت را نشان می‌دهد. این اختلاف فاز بیشتر ناشی از فرسایش بادهای شدید از شمال‌غرب به جنوب‌شرق منطقه است. اما وضعیت فاز در محدوده‌های انتقال و نشست نوسانات زیاد و مساحت محدودی دارد که ناشی از جابجایی ماسه‌های روان در اثر باد در محدوده تپه‌های ماسه‌ای است.

بنابراین تغییرات فاز تقریباً در تمام منطقه دیده می‌شود که دلیل آن را می‌توان در فرسایش شدید بادی جستجو کرد. بنابراین اثرات فرسایش بادی در منطقه برداشت به صورت حفر باعث رفت و روب شده و همچنین در محدوده نشست به صورت رسوب‌گذاری دیده می‌شود. در محدوده انتقال نیز فرسایش و رسوب‌گذاری به صورت هم‌زمان وجود دارد. لازم به ذکر است که به دلیل مقاومت بلوک لوت نسبت به نیروهای درونی زمین، اثر گسل‌ها در تغییرات ارتفاعی در سنگ‌بستر بلوک لوت بسیار کم بوده و تغییرات مشاهده‌شده تنها در اثر فرسایش بادی است. در ادامه پردازش‌های نرم‌افزاری، پس از انجام مراحل Unwrapping، لایه‌های

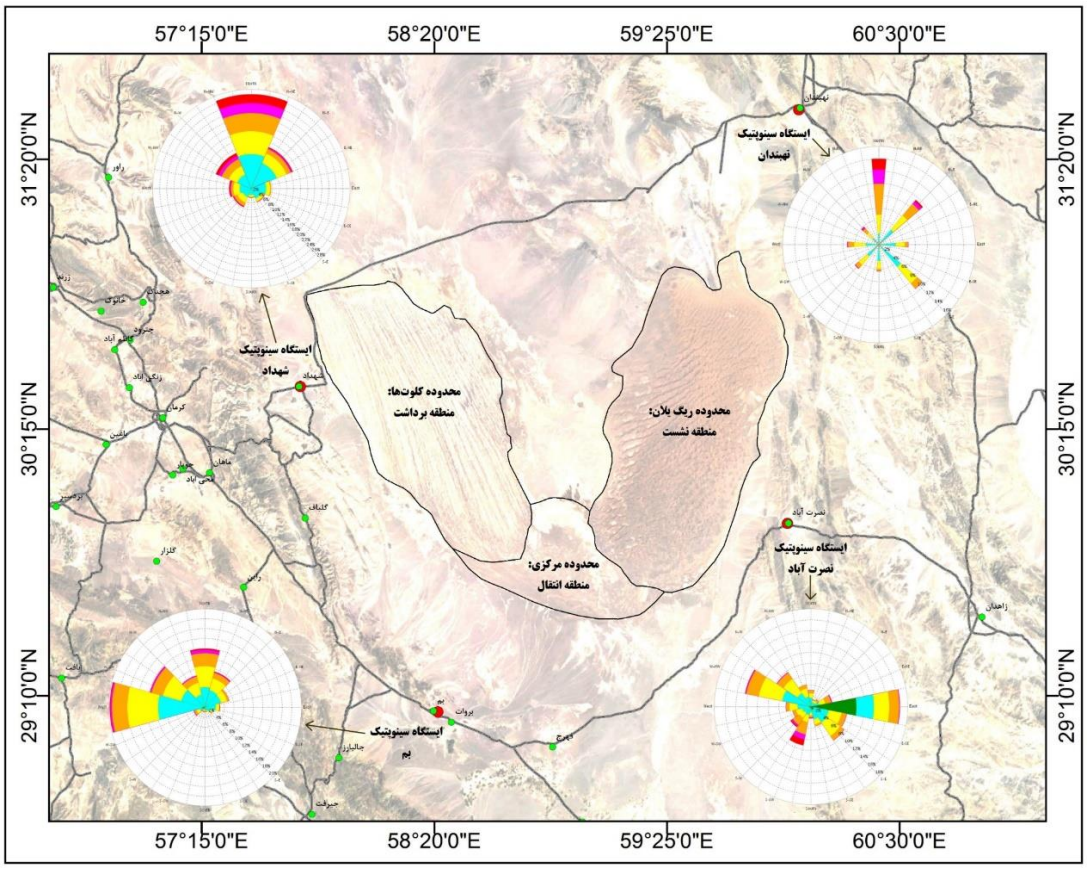
Unwrap شده به لایه‌های جابجایی یا لایه‌های Displacement تبدیل‌شده و سپس ژئورفرنس گردیدند. در (شکل ۹)، نقشه نهایی جابجایی عمودی منطقه مورد مطالعه به صورت طبقه‌بندی‌شده نشان داده‌شده است که در طول یک سال تغییرات زیادی را نشان می‌دهد.



شکل ۹- نقشه تغییرات ارتفاعی کلوت‌های منطقه

همان‌گونه که در (شکل ۹) مشخص است، فرسایش بادی در کلوت‌های بیابان لوت بسیار شدید است به‌گونه‌ای که در اکثر مساحت محدوده فوق روندی منفی در نقشه Displacement دیده می‌شود و تنها کمتر از ۶ درصد از مساحت منطقه دارای نشست رسوبات بادی بوده است. از دلایلی که می‌توان در این روند مثبت اشاره کرد، وضعیت توپوگرافی و حالت بادپناهی ارتفاعات برای نشست ماسه‌های روان در دالان‌های بین کلوت‌ها و سایر قسمت‌های جنوبی و شرقی در هنگام پایان توفان است. همچنین در قسمت‌های شرقی و شمال شرقی ریگ یلان، افزایش ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای مشخص بوده که ناشی از رسوب‌گذاری در این محدوده است. اما به صورت کلی قسمت‌های شمالی کلوتها به دلیل سرعت‌بالای باد و قدرت فرسایش زیاد دارای فرسایش‌پذیری بیشتری بوده‌اند که یاردانگ‌های قسمت‌های شمال غربی کلوت‌ها نیز می‌تواند شاهدی بر این گفته باشد. بنابراین قسمت اعظم مساحت کلوت‌ها در منطقه برداشت سالیانه در حال فرسایش است و در نقطه مقابل، در قسمت‌های زیادی از ریگ یلان این رسوبات انباشته می‌گردد. در محدوده مرکزی یا انتقال نیز دو نوع تغییرات وجود دارد. در قسمت‌های شمالی آن‌که به صورت سطوح صاف و هموار است، رسوبات تنها منتقل می‌شوند و اندکی فرسایش وجود دارد اما در قسمت‌های جنوبی این منطقه که تپه‌های ماسه‌ای در آن قرار دارد، رسوب‌گذاری زیادی دیده می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پردازش اطلاعات، در محدوده کلوت‌ها بیشترین میزان حفر مربوط به نیمه شمالی این منطقه بوده که از قسمت‌های شمالی یعنی محدوده گسترش یاردانگ‌ها به میزان ۲/۴ سانتی‌متر تا قسمت‌های مرکزی به میزان ۰/۳ سانتی‌متر برداشت‌شده است. نیمه جنوبی این منطقه نیز به‌غیراز دالان‌های کلوت‌ها و سطوح هموار که محل انباشته شدن رسوبات است، تا ۰/۰۰۲ سانتی‌متر مورد حفر قرارگرفته است. در بیشتر قسمت‌های شمالی محدوده مرکزی نیز فرآیند حفر رسوبات به میزان به ۲/۳ سانتی‌متر می‌رسد. اما در قسمت‌های جنوبی این محدوده، انباشته شدن رسوبات چشم‌گیر هست که حداکثر آن تا میزان ۴ سانتی‌متر در جنوب شرق این محدوده قرار دارد. همچنین در محدوده ریگ لوت نیز کاهش ۴ سانتی‌متری ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای در بخش‌های غربی و شمال غربی و همچنین افزایش ۵ سانتی‌متری ارتفاع آن‌ها در قسمت‌های شرقی و بخصوص شمال شرقی به‌وضوح دیده می‌شود که بادهای در جهات مختلف و بخصوص بادهای شمالی باعث برگشت رسوبات و درنتیجه افزایش ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای در این پهنه است.

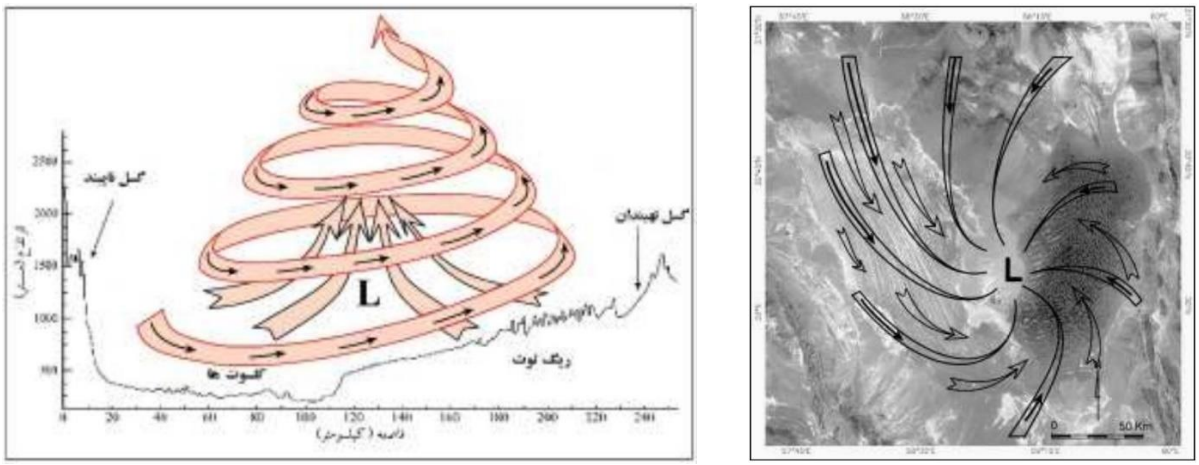
بررسی داده‌های سمت و سرعت باد ایستگاه‌های سینوپتیک اطراف منطقه مورد مطالعه در قالب گلباد، روند معناداری را در سیکل فرسایشی بادی و تغییرات ژئومورفولوژیکی نشان می‌دهد. به‌گونه‌ای که بادهای مؤثر در سیکل فرسایش در ایستگاه شهداد از شمال و شمال‌غرب به جنوب و جنوب‌شرق، در ایستگاه بم از غرب به شرق، در ایستگاه نصرت‌آباد از جنوب‌غرب و جنوب به شمال‌شرق و شمال و در ایستگاه نهبندان ازشمال و شمال‌شرق به جنوب و جنوب‌غرب است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- گلباد سالیانه بلندمدت ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه

منبع: اداره کل هواشناسی،

۱۴۰۰ ترسیم: نگارندگان



شکل ۱۱- الگوی حرکتی سامانه کم فشار عرصه میراث جهانی بیابان لوت (منبع: یمانی، ۱۳۹۳: ۱۳۶ و ۱۳۸)

بنابراین در منطقه مورد مطالعه یک روند چرخشی در جریان باد به صورت سیکلون با جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت وجود دارد که در به وجود آمدن آن، عوامل اقلیمی و توپوگرافی ارتفاعات اطراف آن نقش اساسی داشته و ضمن تأیید پژوهش یمانی (۱۳۹۳) به صورت کلی عاملی اساسی در سیکل فرسایشی در عرصه میراث جهانی بیابان لوت بوده است (شکل ۱۱).

۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

ازآنجایی‌که لوت مهم‌ترین اثر طبیعی کشور است که ثبت جهانی شده است، بررسی عارضه‌های ژئومورفولوژی آن نیز از اولویت‌های پژوهشی است. این بررسی‌ها باعث شناخت و اطلاع دقیق از شرایط و ویژگی‌های منطقه می‌شود. از این میان کلوت‌ها و ریگ یلان مهم‌ترین پدیده‌های ژئومورفولوژیکی لوت هستند، که در این پژوهش موردبررسی قرارگرفته شد. کلوت‌ها و ریگ یلان در منطقه هیدرو-ائولین قرار دارند و همواره دچار تغییرات ژئومورفولوژیکی قابل‌توجه هستند. بسیاری از محققانی که در بیابان لوت، مطالعاتی انجام داده‌اند بدون استدلالات علمی محل برداشت را کلوت‌ها و محل رسوب‌گذاری را ریگ یلان می‌دانند این پژوهش با مستندات علمی، محل برداشت‌ها، مسیرهای انتقال و رسوب‌گذاری را با دقت میلی‌متری بررسی کرده و نتایج ذکر شد. بر اساس مطالعه انجام‌شده، بیشترین حفر مربوط به محدوده شمالی کلوت‌ها به میزان ۲/۴ سانتی‌متر و در قسمت‌های مرکزی حدود ۰/۳ سانتی‌متر است. در نیمه جنوبی کلوت‌ها میزان برداشت نسبت به مناطق شمالی کمتر بوده و تا ۰/۰۰۲ سانتی‌متر مشاهده می‌شود. در قسمت‌های شمالی محدوده مرکزی نیز رسوبات به میزان ۲/۳ سانتی‌متر برداشت‌شده است ولی در قسمت‌های جنوب‌شرقی این محدوده، رسوبات به حدود ۴ سانتی‌متر انباشته شده است. در قسمت‌های مختلف ریگ لوت که تحت عنوان منطقه نشست است، انباشت رسوبات متفاوت بوده است به‌طوری‌که در قسمت‌های غربی و شمال غربی ریگ ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای حدود ۴ سانتی‌متر کاهش‌یافته اما در بخش‌های شرقی و با وضوح بیشتر در شمال شرق افزایش ۵ سانتی‌متری ارتفاع هرم‌های ماسه‌ای مشاهده می‌شود. سیکل فرسایش در این محدوده به صورت چرخشی و در جهت عکس عقربه‌های ساعت است. ازجمله مقالاتی که در لوت کارشده و می‌توان به‌عنوان تأییدی بر این پژوهش به آن استناد کرد، مقاله سیکلون حرارتی لوت یمانی است که در آن اشاره به وجود یک سیکلون حرارتی در لوت کرده است و جریان هوا در این سیکلون را برخلاف عقربه‌های ساعت بیان می‌کند. در منطقه مورد مطالعه یک روند چرخشی در جریان باد به صورت سیکلون با جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت وجود دارد که در به وجود آمدن آن، عوامل اقلیمی و توپوگرافی ارتفاعات اطراف آن نقش اساسی داشته است.

References

- Ahmadabadi, A, Karam, A, Safari, A, Yazdan Panah, M (2019), Estimating the horizontal and vertical displacement of the sand dunes of Rig Ardestan using radar interferometry and spectral indices, quantitative geomorphological researches., No. 4, PP 1-17. [In Persian]
- Akhundzadeh, Mehdi (2005), Demonstration of land subsidence due to petroleum extraction using SAR interferometer method in remote sensing, Tehran Geomatics Conference, Iran Mapping Organization, [In Persian]
- Alaei Taleghani, Mahmoud (2011), Geomorphology of Iran, Qomes Publishing House, Tehran. [In Persian]
- Alavi Panah, S- K (2003), surveying the resources and soil surface moisture of Lut Desert using satellite data, Geographical Researches, No. 4, PP 271-280. [In Persian]
- Basodeb, B, translated by Alavipanah, S-K, Omidipour, M, Alavipanah, S (2014), research methods in remote sensing, Tehran, Tehran University Press, 140 pages. [In Persian]
- Bayram Kamgami, Ch, Alavi Panah, S-K () study of spectral resolution of Lut desert information classes using satellite data, Geographical Research, No. 54, PP. 13-28. [In Persian]
- Behniafar, A, Qanbarzadeh, H (2017), Geomorphology of arid and desert areas (processes, landforms, human activities and hazards), Sokhon Gostar Publishing, p. 598 [In Persian]
- Cook, R, Warren, A, Goudie, A (2002), Desert geomorphology, UCL, press
- Darvishzadeh, A (۲۰۱۰), Geology of Iran, Tectonics, Metamorphism and Magmatism, International Publishing Company, Tehran. [In Persian]
- Ehsani, A.H, and Quiel, F, (2008). Application of Self Organizing Map and SRTM data to characterize yardangs in the Lut desert Iran, Remote Sensing of Environment, Vol, 112, pp 3284-3294.

- Ferreti, A, Savio, G, Barzaghi, R, Borghi, A, Musazzi, S, Novali, F, Prati, C, Rocca, F (2007), submillimetr Accuracy of InsarTim Series: Experimental Validation Geosience and Remote Sensing, Vol 45, PP 1142-1153
- Krinsley, D.H., 1970. A geomorphological and palaeoclimatological study of the playas of Iran. USGS Final Scientific Report, Contract, PROCP, 700-800
- Mahmoudi, F-A (2002), Geographical Distribution of Iran's Important Forests, Forests and Ranges Research Institute, first edition, [In Persian]
- Maqshoodi, M (2016), monitoring of sand displacement and barkhans of West Lut (Pashouyeh), Quantitative Geomorphological Researches, fifth year, number 1, PP. 176-189. [In Persian]
- Maqshoodi, M, Emaaldin, S () Evaluation of geotourism characteristics of landforms in desert areas with emphasis on Lott Plain, Tourism Management Studies, No. 6, PP. 108-95. [In Persian]
- Maqshoodi, M, Fethullah Zadeh, M, Ganjaian, H (2020), Monitoring the changes in wind speed on displacement and the changes of sand dunes in Yag Lut, Geographical Information Scientific-Research Quarterly (Sephar), Volume 30, No. 118, PP 113-126. [In Persian]
- Maqshoodi, M, Hajizadeh, A-H, Nizam Mohale, M-A, Bayati Sadaqat, Z (2015), investigation of paleoenvironmental conditions of egg-shaped clots in Lot plain using grain measurement, Scientific-Research Quarterly of Geographical Information, Volume 24, Number 96, P. 63[In Persian]
- Maqshoodi, M, Khan-Babaei, Z, Mohammadi, A, Mahboubi, S, Baharond, M () study of the environmental conditions of Pluvial lakes in Iran using sedimentary evidence (a case study of Lut desert clods), Natural Geographical Researches, no. 1, PP142-125 [In Persian]
- Mashhadi, N, Alavi Panah, S-K, Ahmadi, H (2002), Geomorphological Study of Lot Yardangs, Biyaban, Volume 7, Number 2, PP. 25-43. [In Persian]
- Mayer, L.D et al, (1969), Mathematical Simulation of Processes of Soil Erosion by Water.Trans.Am.soc. agric. Engric, 12(6),754-758
- McCauley, J.F., M.J. Grolier, C.S. Breed., 1977. Yardangs in Geomorphology in arid regions, edited by D.O. Doehring. Geomorphology Symposium, Binghamton, NY, 233- 272 pp
- Mehrshahi, D, Nekonam, Z (2009), The Surprising Faces of Wind Erosion in the Deserts of Iran, Roshd Education Geography Magazine, No. 88, PP 3-7 [In Persian]
- Mohajjel, M (2009), Thin-skinned deformation near Shahdad, southeast Iran, Journal of Asian Earth Sciences 36, 146–155.
- Nagaresh, H (2012), Structural Geomorphology and Dynamics, Mashhad, Marandiz Publications, 238 pages. [In Persian]
- Rajaei, A- H (2004), Erosion and the Resulting Shapes, Geo-Space Magazine, No. 11, PP. 128-139. [In Persian]
- Ramsht, M-H, Babajamali, F (2018), Analytical Geomorphology of Iran, Tehran, Samit Publications, first edition, 282 pages [In Persian]
- Refahi, H- Q (2001), wind erosion and its control, second edition, Tehran University Press, P. 3. [In Persian]
- Saki, F, Tharvati, M-Z, Moghimi, E (201۱), analysis of the balance of geomorphological forms based on Davis and Gilbert's point of view and its adaptation to the concepts of Quranic verses, Sarzemen Geographical Quarterly, year 9, number 36, PP 45-60 [In Persian]
- Shayan, S (2004), Dictionary of Natural Geography Terms, Tehran, Madrasah Publications [In Persian]

- Shayan, S, Zare, Gh-R (2011), explaining the concept of erosion from the perspective of geomorphology and comparing it with the perspective of natural resources, Environmental Erosion Research, No. 1, P. 87 [In Persian]
- Tage Din, S.S. (1986) Some aspect of sand stabilization in Egypt. In: El-Baz, F., Hassan, M.F.A. (Eds.), Physics of Desertification. Martinus-Nijhoff, Dordrecht, pp: 118–126.
- Yamani, M (2014), Thermal cyclone Lot and its effect on wind landforms, Geography and Environmental Planning, serial number 53, number 1, PP 121-140 [In Persian]
- Yarahmadi, J, Rostai, Sh, Sharifi Kia, M, Rostai, M-A (2018), Identification and monitoring of domain instability using differential interferometric processing method, case study: Garmi Chai Miane catchment, Quantitative Geomorphology Researches, Volume 3, Number 4, PP. 44-59 [In Persian]