



Morphogenetic Characteristics of the Rig-e Yalan Based on Statistical Analysis of Sedimentological Data

Roghayeh Delaram¹ Samad Fotoohi² Hossain Negaresh³ Syed Ali al-Modarsi⁴

1. Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: r.delaram10169@yahoo.com
2. Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: samadfotohi@yahoo.com
3. Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: H_negaresh@gep.usb.ac.ir
4. Department of Remote Sensing and GIS, Islamic Azad University, Yazd Branch, Iran. Email: almodaresi@yahoo.com

Article Info

Article Type:
Research Article

Article History:

Received:
11 Sep 2025
Received in revised form:
6 Nov 2025
Accepted:
26 Jan 2026
pp.31-43

Keywords:

Geomorphological features,
sedimentology,
depositional environments,
aeolian deposits,
Lut Desert

ABSTRACT

The Lut Desert, located in the eastern part of the Central Iranian Plateau, covers about 1.5% of the country's area. This region is mainly covered by Quaternary sediments. Sedimentological studies of sandy-field deposits, in addition to identifying and distinguishing different depositional environments and facies, provide valuable information about transport and depositional processes, the energy of the depositional environment, source-rock characteristics, weathering processes, and flow type.

In this study, geomorphological features were examined and analyzed to identify wind direction and velocity. Based on standard sampling methods for surface-sediment investigations, 19 surface sediment samples were collected from sandy masses along a transverse profile of the Lut Desert for sedimentological and morphoscopic analyses. The samples were analyzed in the laboratories of the Geological Survey of Iran in terms of grain size distribution and morphoscopy. The data obtained from grain-size and morphoscopic analyses were processed using SPSS software.

The results indicate sediments mostly in the sand-size range, as well as muddy sand and sandy mud in some locations, with a small amount of gravel in certain areas. Based on sedimentological statistical parameters and morphoscopic investigations, the sediments are interpreted as being predominantly of aeolian origin, while in some areas they indicate playa and alluvial deposits.

Cite this article: Dalaram, R., Fatuhi, S., Negaresh, H., & Al-Modarresi, S. A. (2026). Morphogenetic Characteristics of the Rig-e Yalan Based on Statistical Analysis of Sedimentological Data. *Quantitative Geomorphological Research*, 14(4). 31-43.

Doi: [10.22034/gmpj.2025.526882.1564](https://doi.org/10.22034/gmpj.2025.526882.1564)

Extended Abstract

Introduction

The Lut Desert, located in eastern Iran, covers an area of about 24,230 square kilometers and extends across Kerman, Sistan and Baluchestan, and South Khorasan provinces. It lies within the Lut River basin and is bordered by several adjacent basins and salt flats. The minimum and maximum elevations in the region are 114 and 1,341 meters, respectively. Wind is one of the most important geomorphic agents in this desert. According to available data, winds with speeds below 16 km/h occur about 60% of the time, while winds above this threshold account for the remaining 40%. Among these, roughly 26% exceed 50 km/h. Although strong winds still shape the desert surface, extremely intense winds of 100–300 km/h, which were reported in the past, are no longer observed. Meteorological records from surrounding stations show that the dominant wind direction is from the north and northeast during most months of the year. These prevailing winds play a major role in the movement of sand dunes and the displacement of sandy landforms across the Lut Desert.

Methodology

Nineteen sediment samples were collected from the Rig Yelan, Kalutk, and Middle Hamadai areas for laboratory analysis. The samples were examined in the laboratories of the Geological Survey and Mineral Explorations of Iran using grain-size analysis, morphoscopic observation, and chemical analysis of major and trace elements. Grain-size distribution was determined by wet sieving with an Analysette 3 wet sieve shaker manufactured by Fritsch, Germany. The sieving process lasted approximately 30 minutes and used meshes of 2 mm, 1 mm, 500 μm , 250 μm , 125 μm , 63 μm , and <63 μm . The fraction finer than 63 μm was analyzed using a laser particle-size analyzer. Statistical parameters including mean, kurtosis, inclusive graphic standard deviation, and inclusive graphic skewness were calculated using Sedilizer software. In addition, sediment particles were studied under a Nikon SMZ1500 binocular microscope to observe

morphological characteristics, and photographs were taken of the selected fractions. The resulting data were processed using SPSS software through univariate analysis, including frequency histograms, P-P plots, Q-Q plots, and box plots, as well as bivariate analysis for correlation coefficients. These methods provided a comprehensive characterization of the sediments and supported interpretation of their physical and geochemical properties.

Results and discussion

Sedimentological and morphoscopic analyses of Lut Desert sediments provide important evidence for transport mechanisms, depositional environments, source rock properties, and weathering history. Grain-size statistics, including mean size, sorting, skewness, and kurtosis, were calculated using Sedimizer software and show that the deposits are dominated by sand, gravelly muddy sand, and muddy sand. Sorting ranges from poor to moderate, suggesting mainly aeolian transport with limited fluvial input. Skewness and kurtosis values indicate a mixed grain-size distribution and moderate peakness, reflecting variable transport energy and depositional conditions.

Morphoscopic observations show clear contrasts between aqueous and aeolian grains. Water-laid sediments are generally smoother and more rounded, whereas wind-blown particles are better sorted and often display matte surfaces and pit-like textures. In the Lut Desert, quartz, feldspar, calcite, and clay minerals are the main constituents, with aeolian sediments concentrated mainly in the 125 and 63 μm fractions. The presence of feldspar and lithic fragments indicates low mineralogical maturity and proximity to source areas, while opaque quartz grains support wind transport.

Overall, the Lut Desert sediments record alternating humid and arid phases, along with tectonic activity, sea-level changes, and shifts in river base level during the Pleistocene and Holocene. Three sediment groups are distinguished: well-sorted aeolian sands, mixed water-and-wind deposits, and poorly sorted coarse sediments associated with alluvial fan and fluvial settings.

Conclusion

Based on the study results, the main surface landforms in Rig-e Yalan include star-shaped dunes, wind pits or deflation basins, sabkha-like hollows, sand ridges, longitudinal and seif dunes, barchans, and kaluts. Erosion in the Lut Desert is extremely intense due to strong winds, to the extent that the trunks of tamarisk and gaz trees are exposed up to 120 cm above the sediment surface. Grain-size analysis and sedimentological statistical parameters show that the sampled sediments represent three sedimentary environments and two transport processes. These environments are aeolian, playa, and alluvial, formed by the combined action of wind and water. Mineralogical and morphoscopic analyses indicate that quartz, feldspar, calcite, and clay minerals are the dominant components of the sandy sediments in the Lut Desert and Rig-e Yalan. The presence of particles with varying degrees of roundness, opaque and transparent grains, and low mineralogical maturity suggests multiple sediment sources and transport histories. Outside the Kalut area, large alluvial-fan deposits in the northern, northwestern, and western parts of the Lut block are important sources of sand. Since lithic fragments are less resistant chemically and mechanically, quartz grains are preferred for surface-texture studies. Coarser fractions contain more lithic fragments, while medium fractions contain more quartz, detrital carbonates, feldspar, and heavy minerals.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

ویژگی‌های مورفونز ریگ یلان براساس تجزیه آماری داده‌های رسوب‌شناسی

رقیه دلارام^۱، صمد فتوحی^۲✉، حسین نگارش^۳، سیدعلی المدرسی^۴۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: r.delaram10169@yahoo.com

۲- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

رایانامه: samadfotohi@yahoo.com۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: h_negaresh@gep.usb.ac.ir۴- گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه آزاد اسلامی یزد، یزد، ایران رایانامه: almodaresi@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۷	
صص. ۴۳-۳۱	
واژگان کلیدی: اشکال ژئومورفولوژیکی، رسوب‌شناسی، محیط‌های رسوبی، نهشته‌های بادی، بیابان لوت	بیابان لوت در بخش خاور فلات مرکزی ایران با حدود ۱/۵ درصد از مساحت کشور را در برگرفته است. این منطقه عمدتاً به‌وسیله رسوبات کواترنری، پوشیده شده است. بررسی‌های رسوب‌شناسی در رسوبات پهنه‌های ماسه‌ای، علاوه بر شناسایی و تشخیص نوع محیط‌های رسوبی و رخساره‌های مختلف، اطلاعات ارزشمندی در خصوص فرایندهای حمل‌ونقل، رسوب‌گذاری، انرژی محیط رسوبی، اختصاصات سنگ منشاء و فرایندهای هوازدگی و نوع جریان در اختیار ما قرار می‌دهد. در این پژوهش، ضمن بررسی و تحلیل اشکال ژئومورفولوژیکی در راستای شناسایی جهت و سرعت باد، براساس روش‌های استاندارد نمونه برداری برای بررسی‌های رسوبات سطحی، ۱۹ نمونه رسوب سطحی، برای انجام تحقیقات رسوب‌شناسی و مورفوسکوپی از توده‌های ماسه‌ای در پروفیل عرضی بیابان لوت برداشت شد. نمونه‌ها در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی کشور از نظر دانه‌بندی و مورفوسکوپی تجزیه شدند. پردازش داده‌های حاصل از دانه‌بندی و مورفوسکوپی در نرم‌افزار SPSS انجام شد. نتایج بررسی‌ها نشان‌دهنده رسوبات با اندازه در حد ماسه، ماسه گلی و گل ماسه‌ای در برخی نقاط با کمی گراول است، که با استفاده از پارامترهای آماری رسوب‌شناسی و بررسی‌های مورفوسکوپی غالباً نشان‌دهنده منشأ بادی و در برخی نقاط رسوبات پلاپی و آبرفتی است.

استناد: دلارام، رقیه، فتوحی، صمد، نگارش، حسین، المدرسی، سیدعلی. (۱۴۰۵). ویژگی‌های مورفونز ریگ یلان براساس تجزیه آماری داده‌های رسوب‌شناسی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۴(۴)، ۳۱-۴۳.

Doi: 10.22034/gmpj.2025.526882.1564

مقدمه

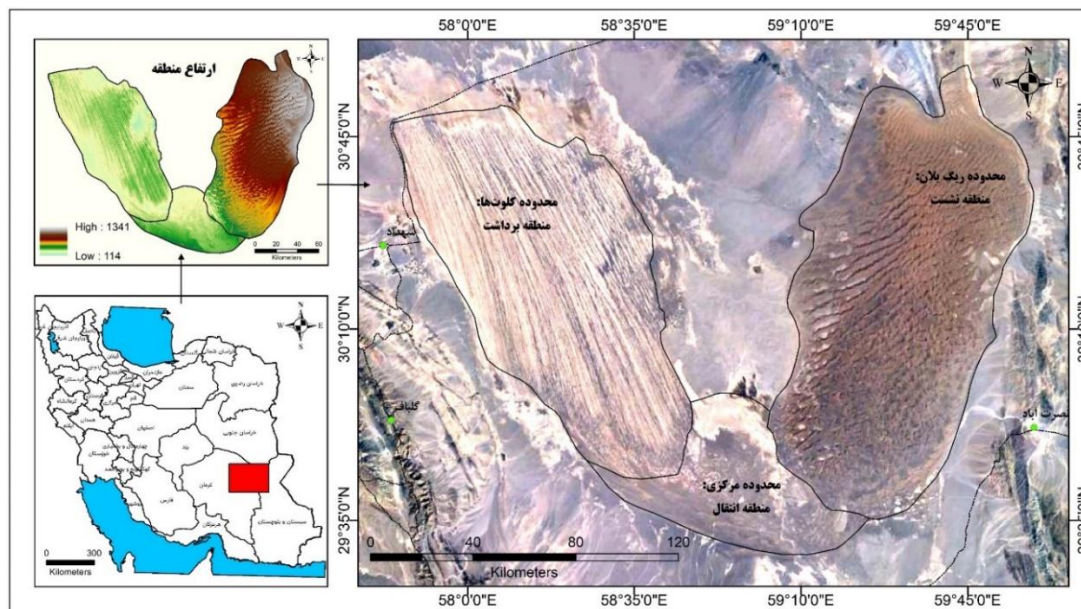
بیابان لوت با مساحتی بالغ بر ۲۴۲۳۰ کیلومتر مربع در شرق ایران، مابین $50^{\circ} 43' 50''$ تا $59^{\circ} 59' 14''$ طول شرقی و $28^{\circ} 34' 34''$ تا $29^{\circ} 55' 55''$ عرض شمالی واقع است و از نظر تقسیمات سیاسی در سه استان کرمان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی قرار دارد که بیشترین مساحت آن متعلق به استان کرمان است. بیابان لوت در حوضه آبریز کویر لوت در بخش خاور فلات مرکزی ایران قرار گرفته و در تقسیم‌بندی‌های دفتر مطالعات پایه منابع آب، حوضه ششم از فلات مرکزی است. این حوضه از مشرق به حوضه رود مشکیل، هامون هیرمند و نمکزار خواف، از شمال به حوضه کویر مرکزی، از مغرب به حوضه‌های ریگ زرین و کویر درانجیر و از جنوب به حوضه جازموریان محدود می‌گردد. کمینه و بیشینه ارتفاع منطقه ۱۱۴ متر در جنوب غرب کلوت‌ها و ۱۳۴۱ متر در شمال شرق ریگ لوت است. سنگ‌بستر منطقه مورد مطالعه به دلیل تراکم و سخت‌شدگی سنگ‌های دگرگونی، بسیار مستحکم و پایدار بوده است (درویش‌زاده، ۱۳۷۱). بنابراین به دلیل زیرساخت آتش‌فشانی و دگرگون‌شدن و مستحکم شدن آن در حرکات سیمین پیشین، در رسوبات نئوژن و کواترنر شامل (مارن، سیلت، رس ژیبس‌دار و لیمون‌های نمک‌دار) (علایی طالقانی، ۱۳۹۰)، 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 زمین‌شناسی گسل نیز وجود ندارد.

فرآیند فرسایش شامل سه مرحله برداشت، حمل و رسوب‌گذاری است (مایر و همکاران^۱، ۱۹۶۹). مطالعه عوامل فرسایش و شکل‌بندی که از آن‌ها حاصل می‌شود، در قلمرو ژئومورفولوژی قرار می‌گیرد (رجایی، ۱۳۸۳). بیابان لوت از سه محدوده برداشت (کلوت‌ها)، محدوده رسوبگذاری (ریگ یلان) و محدوده انتقال (همادای میانی) تشکیل شده است (شکل ۱). بدین‌صورت که در غرب بیابان لوت فرسایش بادی بر محیط غلبه می‌کند و ضمن توسعه و گسترش انواع مختلف کلوت‌ها، مواد حمل شده را در بخش شرقی بیابان لوت تحت تأثیر بادهای محلی انباشته کرده که امروزه به ریگ یلان معروف شده است.

کلوت‌ها، تپه‌های مورب و یا رشته‌های کم و بیش موازی می‌باشند که به وسیله دالان‌ها و راهروهای متعدد از همدیگر جدا می‌شوند. امتداد شیارها بین آنها شمال، شمال غربی- جنوب، جنوب شرقی و منطبق بر وزش بادهای ۱۲۰ روزه در سیستان است (نگارش، ۱۳۹۱). کلوت‌ها به‌عنوان یکی از لندفرم‌های منحصربه‌فرد مناطق بیابانی در غرب لوت با وسعتی حدود ۱۰ هزار کیلومتر مربع و به عرض حدود ۷۰ کیلومتر مربع و طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر دیده می‌شود (علائی طالقانی، ۱۳۹۰) که همه‌ساله دچار تغییر و تحول می‌شوند. رأس این برجستگی‌ها مسطح بوده و سمت رو به باد آن‌ها پرتیب‌تر از سمت باد پناهی آن‌هاست (بهنیافر و قنبرزاده، ۱۳۹۷). داده‌های رسوب‌شناسی نشان می‌دهد که کلوت‌ها منشأ پلایایی دارند که پس از خشک شدن طی کواترنر تحت تأثیر کاوش بادی قرار گرفته و مورفولوژی کنونی را به وجود آورده است (رامشت و همکار، ۱۳۹۸). 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 شرقی پرچم‌ترین رشته‌های ماسه‌ای ایران و مرتفع‌ترین هرم‌های ماسه‌ای نواحی خشک کره زمین در آن قرار گرفته است (محمودی، ۱۳۸۸). تغییرات سرعت باد و اثر آن، بر

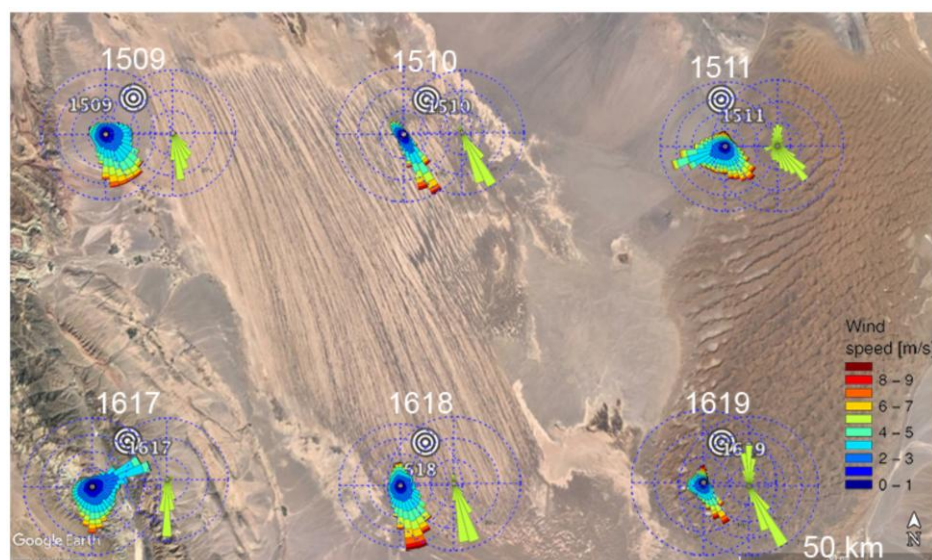
¹ - Mayer et al

جابه‌جایی و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای در ریگ لوت تاثیرگذار است. مناطق شمالی ریگ با کاهش ارتفاع و مناطق جنوبی ریگ با افزایش ارتفاع روبرو هستند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

در دشت لوت درصد میانگین سرعت باد کمتر از ۱۶ کیلومتر در ساعت حدود ۶۰ درصد و ۴۰ درصد سرعت بادهای لوت بیش از ۱۶ کیلومتر در ساعت است. در حال حاضر تمام اشکال سطحی لوت تحت تاثیر بادهای با سرعت بیش از ۱۶ کیلومتر در ساعت هستند. از ۴۰ درصد بادهای با سرعت بیش از ۱۶ کیلومتر در ساعت، حدود ۲۶ درصد سرعتی بیش از ۵۰ کیلومتر در ساعت دارند. در حال حاضر باد شدیدی مثل بادهای قدیمی با حداقل فراتر از ۱۰۰ کیلومتر و یا تا ۳۰۰ کیلومتر در ساعت در منطقه وزش ندارد (مقیمی، ۱۴۰۱) (جدول ۱). برپایه داده‌های مربوط به ویژگی‌های باد (جهت و سرعت) و نرخ مهاجرت بارخان‌ها و جهت حرکت عوارض ماسه‌ای در ایستگاه‌های هواشناسی کرمان، زاهدان، بم و نصرت‌آباد در اطراف بیابان لوت، روند معناداری را در جابجایی اشکال ناهمواری ماسه‌ای و تغییرات ژئومورفولوژیکی نشان می‌دهد. جهت باد غالب و جهت باد با سرعت حداکثر در ایستگاه‌های یادشده شمال و شمال شرق در اغلب ماه‌های سال است (شکل ۲ و جدول ۱).



شکل ۲. جهت و سرعت باد (کلبادهای رنگی) و ترسیم گلماسه‌ها با استفاده از سرعت آستانه فرسایش بادی (کلبادهای سبز) در ایستگاه‌های محدوده بیابان لوت (بازه زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۳) (Radebaugh et al., 2017)

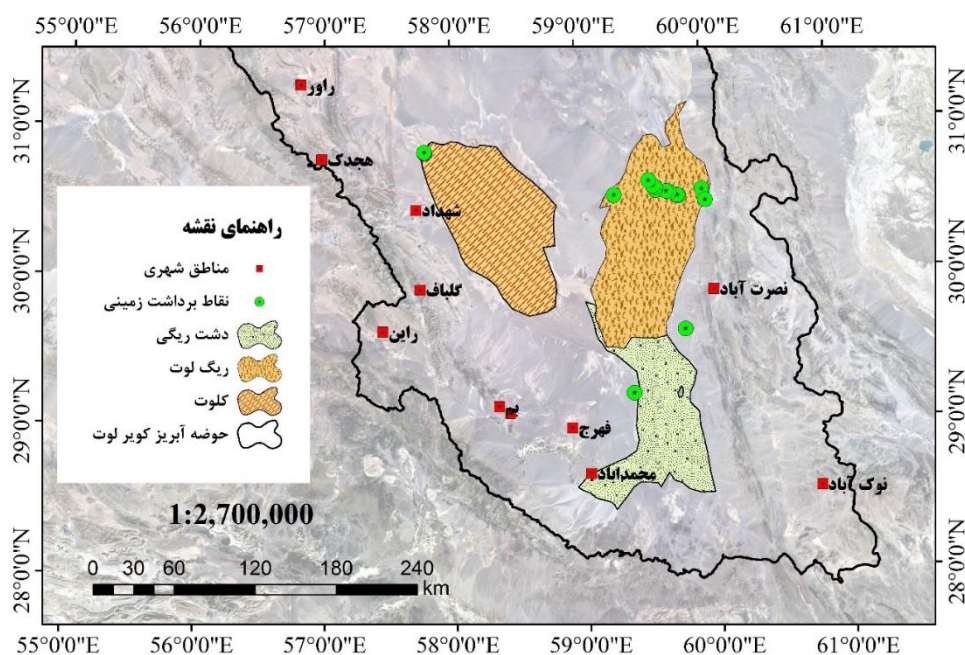
جدول ۱. جهت و سرعت بادهای غالب در طول سال (ایستگاه‌های کرمان، زاهدان، بم، نصرت آباد)

ماه	باد غالب	جهت باد با حداکثر سرعت	سرعت حداکثر
فروردین	شمال - شمال شرق - جنوب غربی	جنوب غربی	< ۳۴
اردیبهشت	شمال - شمال شرق - جنوب غربی	شمال	< ۳۴
خرداد	شمال - شمال شرق	شمال - شمال شرق	۲۳-۲۲
تیر	شمال - شمال شرق	شمال شرق	۲۳-۲۲
مرداد	شمال - شمال شرق	شمال	۲۳-۲۲
شهریور	شمال - شمال شرق	شمال	۲۳-۲۲
مهر	شمال - شمال شرق	شمال	۲۳-۲۲
آبان	شمال - شمال شرق	شمال	۱۶-۱۱
آذر	شمال	شمال	۲۱-۱۷
دی	شمال	شمال	۲۱-۱۷
بهمن	شمال - شمال شرق - جنوب غربی	جنوب غربی	۲۳-۲۲
اسفند	شمال - جنوب غربی	جنوب غربی	< ۳۴

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۹ نمونه رسوبی از رسوبات محدوده ریگ یلان، کلوته‌ها و همادای میانی، برداشت و جهت انجام آنالیزهای مختلف به آزمایشگاه ارسال شد (شکل ۳). مهم‌ترین آزمایش‌های انجام شده روی رسوبات عبارتند از: دانه‌بندی، مورفوسکوپی و تجزیه شیمیایی برای شناسایی عناصر اصلی و فرعی که در آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد. به منظور تعیین توزیع اندازه ذرات رسوبی، نمونه‌ها در داخل الک شیکر مرطوب مدل Analysette 3 ساخت شرکت Fritsch آلمان قرار گرفته و به روش تر و به مدت متوسط ۳۰ دقیقه سرنده شدند. الک‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل ۲ میلی‌متر، ۱ میلی‌متر، ۵۰۰ میکرون، ۲۵۰ میکرون، ۱۲۵ میکرون، ۶۳ میکرون و کوچکتر از ۶۳ میکرون است. این نمونه‌ها پس از خشک شدن، وزن شده و ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون با دستگاه دانه‌بندی

لیزری^۱ تجزیه شد. همچنین پارامترهای آماری از قبیل میانگین، کشیدگی، انحراف معیار ترسیمی جامع و کج شدگی ترسیمی جامع رسوبات با استفاده از نرم افزار سدی لایزر محاسبه شد. به منظور بررسی دقیق‌تر، رسوبات توسط میکروسکوپ بیناکولار ساخت کمپانی Nikon مدل SMZ1500 مورد مطالعه مورفوسکوپی قرار گرفت و فراکسیون‌های مورد مطالعه عکس تهیه شد. برای پردازش و بررسی آماری داده‌های رسوب‌شناسی تک متغیره (تعیین پارامترهای آماری، ترسیم نمودارهای هیستوگرام فراوانی عناصر، نمودارهای P-P Plot, Q-Q Plot و نمودارهای Box Plot)، دو متغیره (تعیین ضرایب همبستگی) در نرم افزار SPSS انجام شد.



شکل ۳. مناطق تحت تأثیر فرسایش و رسوب‌گذاری در بیابان لوت و موقعیت نقاط برداشت نمونه

نتایج

شواهد ژئومورفیک زمینی ریگ یلان

با هدف تکمیل و تطبیق اطلاعات بدست آمده و همچنین جهت برداشت رسوبات برای آنالیز آزمایشگاهی و بررسی لندفرم‌های و عوارض سطحی و شناسایی فرآیندهای موثر با هدف شناسایی جهت و سرعت احتمالی باد و همچنین میزایش فرسایش بادی مطالعات صحرایی در لوت انجام شد. از مهم ترین عوارض سطحی در ریگ یلان، می‌توان به تپه‌های ستاره‌ای شکل، بادچاله‌ها یا تشتک‌های بادی، چاله‌های سیرابی، تیغه‌های ماسه‌ای، تپه‌های طولی و سیف، برخان و کلوت‌ها اشاره کرد. پوشش گیاهی قابل مشاهده گز و تاق است که تنه گیاهان مستقر در این ناحیه نشان دهنده حجم حمل مواد است بطوری که ارتفاع تنه بعضی از گیاهان به ۱۲۰ سانتی متر می‌رسید (شکل ۴).

¹. Laser particle Sizer Analysette 22



شکل ۴. طبقه‌بندی اشکال ژئومورفولوژی ریگ یلان: (a) تپه‌های ماسه‌ای سیف، (b) بادچاله‌ها یا تشتک‌های بادی، (c) تپه‌های ستاره‌ای شکل، (d) بارخان

رسوب‌شناسی

شناسایی و تشخیص نوع محیط‌های رسوبی و رخساره‌های مختلف با آنالیز اندازه دانه‌ها میسر می‌گردد که اطلاعات ارزشمندی در خصوص فرایندهای حمل‌ونقل، رسوب‌گذاری، انرژی محیط رسوبی، اختصاصات سنگ منشاء و فرایندهای هوازدگی و نوع جریان در اختیار ما قرار می‌دهد (Folk, 1974; Snelder et al., 2011). تعیین اندازه‌ی ذرات رسوبی از جمله شاخص‌هایی است که شرایط محیط رسوب‌گذاری و انرژی جریان را نشان می‌دهد. پارامترهای آماری از قبیل میانگین (MZ)، کشیدگی^۱ (نوک تیزی منحنی توزیع ذرات)، کودفی^۲، انحراف معیار ترسیمی جامع^۳ و کج‌شدگی ترسیمی جامع^۴ (نامتقارن بودن منحنی توزیع ذرات)، رسوبات با استفاده از نرم‌افزار سدیمنت‌سایز^۵ محاسبه و در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج دانه‌بندی، نوع رسوبات بر مبنای مثلث‌های نام‌گذاری استاندارد فولک ۱۹۷۴ مشخص شدند. رسوبات برداشت شده از بیابان لوت دارای تیپ‌های رسوبی به‌ترتیب فراوانی، ماسه، گل ماسه‌ای گراولی، ماسه گلی و گل ماسه‌ای هستند (شکل ۵). جورشدگی رسوبات بر اساس انحراف معیار ترسیمی جامع در محدوده خوب قرار گرفته است با توجه به عملکرد فرایند بادی، تغییرات جزئی به‌دلیل جنس رسوبات در برخی قسمت‌های محدوده‌های ماسه است و وجود گل در برخی نمونه‌ها است. با توجه به جدول ۲ میانگین جورشدگی نمونه‌ها عدد ۱/۲۵ (جورشدگی ضعیف تا متوسط) و جورشدگی بین ۰/۹ تا ۲/۹ متغیر است. میانگین میزان کج‌شدگی در رسوبات کویر لوت ۰/۲۵ است که کج‌شدگی زیاد به‌سمت ذرات ریز

¹. Kurtosis

². Phi quartile Deviation

³. Inclusive Graphic Standard Deviation

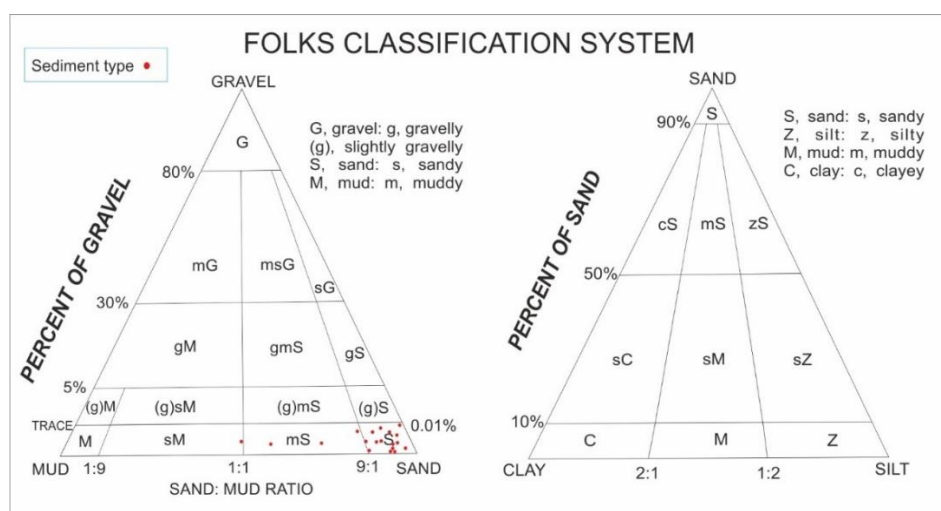
⁴. Inclusive Graphic Skewness

⁵. Sediment Size

را دارد. میانگین کشیدگی برای نمونه برداشت شده از محدوده‌های ماسه بادی ۱/۰۷ (کشیدگی متوسط) است (جدول ۲). رسوبات با پارامترهای ذکر شده به ماهیت سنگ منشأ، فرایندهای هوازدگی، سایش و جورشدگی انتخابی آن‌ها در هنگام حمل و نقل بستگی دارد. وجود رسوبات با جورشدگی خوب تا بد، با کشیدگی میانگین متوسط^۱ و کج‌شدگی بسمت ذرات ریزدانه، نشان از تأمین رسوبات غالباً با منشأ بادی و در برخی موارد با منشأ رودخانه‌ای دارد (Al Ghadban and El Sammak, 2005).

جدول ۲. پارامترهای آماری رسوبات در نمونه‌های برداشت شده در بیابان لوت

Field. No	Mud	Sand	Gravel	Average	Sorting	Skewness	Kurtosis	Type Sediment
L-01	5.10	94.9	0.00	0.348	1.108	0.692	1.216	Sand
L-02	8.32	91.7	0.00	0.254	1.016	0.597	1.166	Sand
L-03	9.14	90.9	0.00	0.351	1.051	0.621	1.201	Sand
L-04	4.57	95.5	0.00	0.298	1.082	0.715	1.232	Sand
L-05	7.62	92.4	0.00	0.284	1.102	0.702	1.252	Sand
L-06	4.53	95.5	0.00	0.321	0.942	0.684	1.092	Sand
L-07	8.67	91.4	0.00	0.301	1.195	0.795	1.345	Sand
L-08	9.68	90.4	0.00	0.361	1.204	0.755	1.354	Sand
L-09	5.21	94.8	0.00	0.369	0.924	0.524	1.074	Sand
L-10	4.39	95.7	0.00	0.275	0.932	0.625	1.082	Sand
L-11	11.22	88.8	0.00	0.372	1.246	0.745	1.396	Sand
L-12	10.34	89.7	0.00	0.319	1.198	0.568	1.348	Sand
L-13	4.60	95.4	0.00	0.305	0.985	0.585	1.135	Sand
L-14	8.97	91.1	0.00	0.342	1.075	0.675	1.225	Sand
L-15	70.21	29.79	0.00	2.14	1.84	0.567	1.342	Sandy mud
L-16	32.48	67.52	0.00	2.52	1.76	0.506	1.451	Muddy sand
L-17	36.48	57.29	6.23	2.65-	2.97	0.29	1.68	gravelly sandy mud
L-18	39.11	59.68	1.21	2.12-	2.75	0.25	1.57	gravelly sandy mud
L-19	4.33	95.7	0.00	0.312	0.865	0.465	1.015	Sand

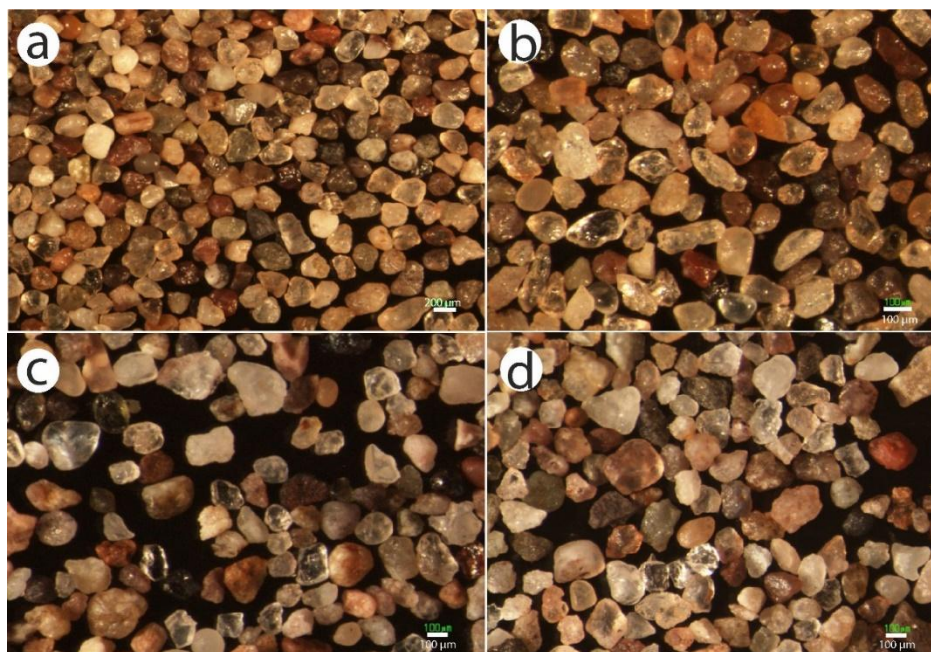


شکل ۵. درصد پراکندگی انواع مختلف تیپ‌های رسوبی در ماسه‌های بادی بیابان لوت در مثلث‌های نام‌گذاری رسوبات فولک (۱۹۷۴) با کمی تغییرات

مورفوسکوپی

مورفولوژی یک دانه رسوبی به چندین فاکتور از جمله کانی‌شناسی اولیه، طبیعت سنگ منشا و درجه هوازدگی سپس درجه سایش در طی حمل و نقل و بعداً خوردگی یا انحلال در طی دپازن بستگی دارد. هر محیط رسوبی توسط فرایندهای انتقال و ته‌نشست خاص خود، اثرات منحصر به فرد ریخت‌شناسی بر روی سطح دانه‌های رسوبی تخریبی انباشته شده در آن محیط می‌گذارد (Hamzeh et al., 2016). مطالعات مورفوسکوپی و به عبارت دیگر بررسی شکل دانه‌ها ارتباط مستقیم با ترکیب و اندازه‌ی دانه، نوع حرکت و مسافت حمل شده دارد. مطالعه رسوبات بادی منجر به شناسایی اجزای تشکیل‌دهنده‌ی رسوبات، سنگ منشاء رسوبات آواری، محیط تشکیل رسوبات و آب‌وهوای ناحیه منشاء می‌شود. طبیعی است که از نظر ژنتیکی با مواد مادری‌شان (سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی) ارتباط داشته باشند. رسوبات نهشته شده در محیط‌های آبی به‌طور معمول بیشتر گرد شده‌اند و دارای سطح صاف و صیقلی و در برخی مواقع همراه با گودی‌های V شکل بر روی سطح خود هستند. این در حالی است که رسوبات موجود در محیط‌های بادی جورشدگی خوبی دارند و گودی‌های بشقاب مانند بر روی سطح خود نشان می‌دهند. در برخی موارد این رسوبات اشکال نیمه گردشده بر روی سطح خود دارند (Fitzsimmons et al., 2009). برپایه نتایج کانی‌شناسی به روش XRD و مورفوسکوپی با میکروسکوپ بینوکولار، غالب کانی موجود در رسوبات ماسه‌ای بیابان لوت و ریگ یلان شامل کوارتز، فلدسپار، کلسیت و کانی‌های رسی است. نهشته بادی بستر ریگ لوت بدلیل ریزدانه بودن (ماسه دانه ریز و بسیار دانه ریز) غالباً (بیش از ۹۵ درصد) در فراکسیون‌های ۱۲۵ و ۶۳ میکرون متمرکز هستند. در فراکسیون ۱۲۵ میکرون، کوارتز، خرده سنگ‌های آذرین و فلدسپار، کلسیت و در فراکسیون ۶۳ میکرون کوارتز، کربنات تخریبی، فلدسپار، کانی‌های رسی و بصورت محدود هالیت و آراگونیت قابل مشاهده است. میزان جورشدگی و گردشدگی در فراکسیون ۱۲۵ میکرون بمراتب بهتر است و به دلیل عدم حضور رس از نظر بافتی در محدوده رسیده یا مچور تا سوپرمچور قرار می‌گیرد. فراکسیون ۶۳ میکرون میزان گردشدگی نسبت به فراکسیون ۱۲۵ میکرون کمتر می‌باشد. وجود فلدسپات و خرده سنگ (ذراتی که سریع متلاشی می‌شوند) نشان‌دهنده‌ی

مچورتی کانی‌شناسی پایین است که حاکی از رسوبات نزدیک به منشاء است. کدر و مات بودن ذرات کوارتز شاهدهی بر حمل تحت تاثیر باد می‌باشد (شکل ۶).

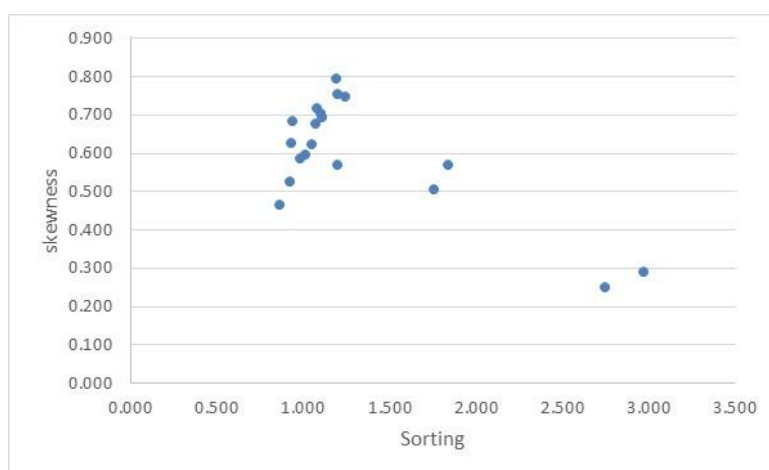


شکل ۶. تصویر میکروسکوپی دانه‌های رسوبی رسوبات بادی (a) - کوارتز، خرده آهکی تخریبی، فلدسپار، خرده سنگ، میکا و ژپس نیمه‌گردشده (فراکسیون ۲۵۰ میکرون) (نمونه L02)، (b) - خرده سنگ‌های آذرین، کوارتز و فلدسپار تقریباً نیمه‌گردشده (فراکسیون ۶۳ میکرون) (نمونه L05)، (c) - کوارتز، خرده آهکی تخریبی، فلدسپار، خرده سنگ، نیمه‌گردشده (فراکسیون ۱۲۵ میکرون) (نمونه L09)، (d) - خرده آهکی تخریبی، کوارتز، فلدسپار و خرده سنگ نیمه‌زاویه‌دار (فراکسیون ۱۲۵ میکرون) (نمونه L13)

خاستگاه رسوبات بادی

تشکیلات لوت به احتمال زیاد، تحت تاثیر پرشدن فرافتادگی حاصله از عملکرد گسل‌های فعال حاشیه بلوک لوت در اواخر دوره پلیوسن و یا اوایل دوره پلیستوسن می‌باشد (Krinsley, 1970). قطر ذرات تشکیل دهنده رسوبات این تشکیلات، وضعیت لایه‌بندی و بالاخره درشت شدن ذرات به طرف حاشیه، همه نشان‌دهنده شرایط کویری است که تحت تاثیر دوره‌های مرطوب و خشک نوسان داشته است. ترکیب سنگ‌های رسوبی آواری متأثر از فرایندهای رسوبی، درجه هوازدگی و ویژگی‌های سنگ منشأ است به نظر می‌رسد که در پلیستوسن، به دلیل تغییرات گسترده اقلیمی و همچنین پیش‌روی و پس‌روی آب دریاها در اثنای فازهای یخچالی و تغییرات سطح اساس رودخانه‌ها، نرخ فرسایش بیش از امروز بوده است و تکاپوهای تکتونیکی بسیار فعال بوده‌اند. پایین رفتن سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها در دوره‌های یخچالی، رژیم آبی رودخانه‌ها را تغییر داده و در بخش انتهایی رودخانه‌ها، فرسایش بستر، فرایند غالب بوده است. در مقابل، در دوره‌های بین یخچالی، سطح آب‌های آزاد افزایش یافته و برای این که رودخانه بستر خود را هم‌سان با سطح آب‌های آزاد نگه دارد، مجبور به رسوب‌گذاری شده است. اما برخلاف تصور عمومی، عصر هولوسن با وجود کوتاه بودن (حدود ۱۰۰۰۰ سال) شرایط ثابت و پایداری را از نظر اقلیمی پشت سر نگذاشته است (تقی‌زاده، ۱۳۸۸). نهشته‌های کواترنری در بیابان لوت از جنس رسوبات

رسی-سیلنتی، ماسه و گاهی گراولی و رسوبات تبخیری دریایی است. بخش غالب نهشته‌های کواترنری دارای منشأ خشکی و بخشی حاصل فعالیت بادهای غالب در منطقه بوده است که منجر به تشکیل رسوبات بادرفتی به شکل تپه‌های ماسه بادی می‌شود. همبستگی بین میزان جورشدگی و کج‌شدگی، کاربرد زیادی برای بررسی ژنز و منشاء رسوبات (Folk, 1966) و استنباط تغییرات انرژی محیط و منشاء ذرات در محیط‌های دریاچه‌ای دار (Jiang and Ding, 2010). همان‌گونه که در شکل ۵ قابل مشاهده است تعداد حدود ۱۹ نمونه دانه‌بندی شده در ۳ محدوده نمودار قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده‌ی نوع مکانسیم رسوب‌گذاری، فرایند و منشاء رسوبات می‌باشد. نمونه‌ی قرار گرفته در محدوده‌ی A با توجه به جورشدگی خوب و میزان کج‌شدگی مثبت (ذرات دانه ریز) مربوط به رسوبات بادی ریگ‌لوت می‌باشد که بصورت سکشن عمود بر نهشت رسوبات نمونه برداری انجام گرفته است. نمونه‌های محدوده B نیز احتمالاً تحت فرایند آبی و بادی در این محدوده است. تیپ این رسوبات گل ماسه ای و ماسه گلی است میزان جورشدگی ضعیف و کج‌شدگی به سمت رسوبات ریزدانه است. نمودار این رسوبات بصورت نرمال تا کشیده است. به نظر می‌رسد این محدوده غالباً تحت تاثیر محیط‌های پلایایی قدیمی بوده است، محدوده C با جورشدگی بد تا بشدت بد و کج‌شدگی به سمت ذرات دانه درشت مربوط به محیط‌های مخروط افکنه‌ای و رودخانه‌ای می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷. همبستگی بین میزان انحراف معیار ترسیمی جامع و میزان کج‌شدگی

بررسی‌های مورفوسکوپی، نشان می‌دهد ماسه‌های زرد تا قهوه‌ای خشک موجود در رسوبات ریگ‌لوت با منشاء بادی، بشکل مدور و با سطحی مات می‌باشند. علت این مسئله برخورد دانه‌های رسوبی به یکدیگر در حین حمل و جابجایی است. بررسی‌های مورفوسکوپی رسوبات ماسه بادی در دشت ریگی و پهنه کلوت، نشان‌دهنده‌ی وجود ذرات ماسه بادی به همراه رسوبات گل قرمز رنگ می‌باشد که حاکی از عملکرد همزمان فرایندهای بادی در مناطق حاشیه‌ی غربی پهنه کلوت با محیط پلایایی است. لذا رسوبات به صورت ترکیبی از رسوبات بادی و پلایایی می‌باشد. در دشت ریگی و پهنه کلوت وجود همزمان ذرات با گردشدگی‌های متفاوت، ذرات کدر و شفاف همچنین وجود رسوبات با رسیدگی (مچورتی) کانی‌شناسی پایین در نمونه‌های ماسه‌های بادی از تامین رسوب از چند منشا، با فواصل و فرایندهای مختلف در زمان‌های گذشته حکایت دارد. از منشاهای ماسه‌های بادی خارج از محدوده کلوت می‌توان به رسوبات مخروط‌افکنه‌ای بزرگ در بخش‌های شمالی و شمال غرب و غرب بلوک لوت که اکثراً ذرات آذرین و رسوبات مخروط افکنه‌ای که به ترتیب فراوانی آذرین،

دگرگونی و رسوبی تشکیل می‌دهند، اشاره کرد. همچنین درصد فراوانی کوارتز و خرده سنگ‌ها از غرب به شرق در ریگ لوت تغییر فاحشی نشان نمی‌دهد. در بخش‌های شرقی‌تر کلسیت و کانی‌های رسی افزایش محسوسی را نشان می‌دهد. نقش لیتولوژی، آب‌وهوای قدیمه و تکتونیک در تغییرات بلوغ کانی شناسی و درصد جنس ذرات تشکیل دهنده رسوبات ماسه‌ای این منطقه مؤثر بوده است. بطور کلی جنس ذرات از خرده‌سنگ، کوارتز، کربنات تخریبی، فلدسپات و کانی سنگین تشکیل شده است. در نمونه‌های L15، L16، L17 و L18 خرده‌های گلی و گاهی قطعات گیاهی نیز قابل مشاهده است. کوارتزهای بسیار زاویه‌دار، احتمالاً از رخنمون‌های نزدیک به محل رسوب‌گذاری منشأ گرفته‌اند. نمونه‌های برداشت شده از همادای میانی به طور متوسط از ۷۰ درصد کوارتز آبی و ۳۰ درصد کوارتز بادی تشکیل شده است. نمونه‌های برداشت شده از قسمت کلوت‌ها به طور متوسط از ۷۴ درصد کوارتز آبی و ۲۶ درصد کوارتز بادی تشکیل شده است. نمونه‌های برداشت شده از ریگ یلان که مربوط به ماسه بادی هستند به طور متوسط از ۳۷ درصد کوارتز آبی و ۶۳ درصد کوارتز بادی تشکیل شده است. با توجه به اینکه خرده‌سنگ‌ها، مقاومت شیمیایی و مکانیکی کمتری دارند، نمی‌توان اظهارنظر قطعی با استفاده از مطالعه آثار سطح دانه، به عوامل حمل و نقل پی برد، بنابراین از دانه‌های کوارتز برای مطالعه آثار سطحی دانه استفاده می‌شود. کربنات‌های تخریبی به علت داشتن سختی کمتر در تمامی نمونه‌ها گردشگی بهتری را نسبت به کوارتزها دارند. در فراکسیون‌های درشت‌تر خرده سنگ‌ها فراوان‌تر هستند ولی در فراکسیون‌های متوسط کوارتز، کربنات تخریبی، فلدسپات و کانی سنگین بیشتر مشاهده می‌گردد و کوارتزهای بادی در فراکسیون‌های ریزتر بیشتر مشاهده می‌گردند.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج بررسی‌ها، از مهم‌ترین عوارض سطحی در ریگ یلان، می‌توان به تپه‌های ستاره‌ای شکل، بادچاله‌ها یا تشک‌های بادی، چاله‌های سیرابی، تیغه‌های ماسه‌ای، تپه‌های طولی و سیف، برخان و کلوت‌ها اشاره کرد. میزان فرسایش در بیابان لوت با توجه به سرعت بالای باد بسیار بالاست، بطوری که تنه درخچه‌های گز و تاق تا ۱۲۰ سانتی متر خارج از رسوبات قرار گرفته است.

با توجه به آنالیز دانه بندی و تحلیل‌های پارامترهای آماری رسوب شناسی انجام گرفته رسوبات برداشت شده نشان دهنده نوع سه محیط رسوبی و دو نوع فرایند است. محیط‌های بادی، پلایایی و آبرفتی با فعالیت دو نوع فرایند بادی و آبی ایجاد شده است. برپایه نتایج کانی‌شناسی و مورفوسکوپی غالب کانی موجود در رسوبات ماسه‌ای بیابان لوت و ریگ یلان شامل کوارتز، فلدسپار، کلسیت و کانی‌های رسی است. در دشت ریگی و پهنه کلوت وجود همزمان ذرات با گردشگی‌های متفاوت، ذرات کدر و شفاف همچنین وجود رسوبات با رسیدگی (مچوریتی) کانی‌شناسی پایین در نمونه‌های ماسه‌های بادی از تامین رسوب از چند منشأ، با فواصل و فرایندهای مختلف در زمان‌های گذشته حکایت دارد. از منشاهای ماسه‌های بادی خارج از محدوده کلوت می‌توان به رسوبات مخروط افکنه‌ای بزرگ در بخش‌های شمالی و شمال غرب و غرب بلوک لوت که اکثراً ذرات آذرین و رسوبات مخروط افکنه‌ای که به ترتیب فراوانی آذرین، دگرگونی و رسوبی تشکیل می‌دهند، اشاره کرد. با توجه به اینکه خرده‌سنگ‌ها، مقاومت شیمیایی و مکانیکی کمتری دارند، نمی‌توان اظهارنظر قطعی با استفاده از مطالعه آثار سطح دانه، به عوامل حمل و نقل پی برد، بنابراین از دانه‌های کوارتز برای مطالعه

آثار سطحی دانه استفاده می‌شود. در فراکسیون‌های درشت‌تر خرده سنگ‌ها فراوان‌تر هستند ولی در فراکسیون‌های متوسط کوارتز، کربنات‌تخریبی، فلدسپات و کانی‌سنگین بیشتر مشاهده می‌گردد و کوارتزهای بادی در فراکسیون‌های ریزتر بیشتر مشاهده می‌گردند.

منابع

- بهنیا، ع.، قنبرزاده، ح. (۱۳۹۶)، ژئومورفولوژی نواحی خشک و بیابانی (فرآیندها، شکل‌های زمین، فعالیت‌های انسانی و مخاطرات)، انتشارات سخن گستر، ۵۹۸ صفحه.
- تقی‌زاده، ع. (۱۳۸۸)، بررسی ژئومورفولوژی سواحل شمالی خلیج فارس در کواترنر (اروند تا بوشهر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ۱۳۲ صفحه.
- درویش‌زاده، ع. (۱۳۷۱)، شرایط زمین شناسی ایجاد کویرها و بیابان‌های ایران، مجموعه مقالات بررسی مسائل مناطق بیابانی و کویری ایران.
- رامشت، م. ح.، باباجامالی، ف. (۱۳۹۷)، ژئومورفولوژی تحلیلی ایران، تهران، انتشارات سامیت، چاپ اول، ۲۸۲ صفحه.
- رجایی، ع. ح. (۱۳۸۳)، فرسایش و اشکال حاصل، مجله ژئوفضا، شماره ۱۱، ص. ۱۲۸-۱۳۹.
- نگارش، ح. (۱۳۹۱)، ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک، انتشارات مرنديز، مشهد، ۲۳۸ صفحه.
- علایی طالقانی، م. (۱۳۹۰)، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قومس، تهران، ۳۵۱ صفحه.
- محمودی، ف. (۱۳۸۸)، ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ ۹، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- مقصودی، م.، گراوند، ف.، عبدی نژاد، بایرامعلی، پیرانی، پ. (۱۳۹۹)، پایش تغییرات تپه‌های ماسه‌ای با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه بادنجه‌نمونه پژوهش: محدوده ریگ زهک در شرق دشت سیستان، سال ۳۱، پیاپی ۷۹، شماره ۳، مقیمی، ا. (۱۴۰۱)، استرژتی علم مخاطره‌شناسی آیا علم مخاطره‌شناسی استرژتی دارد؟، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، دوره ۹، ص ۴۵-۵۴.
- AlGhadban, A. N., El-Sammak, A. 2005. Sources, distribution and composition of the suspended sediments, Kuwait Bay, Northern Arabian Gulf, J Arid Environments, Vol. 60, pp. 647-661.
- Fitzsimmons, K.E., Magee, J.W., Amos, K.J. 2009. Characterisation of aeolian sediments from the Strzelecki and Tirari Deserts, Australia: implications for reconstructing palaeoenvironmental conditions, Sedimentary Geology, Vol. 218, pp. 61-73.
- Folk, R. L., 1966. A REVIEW OF GRAIN-SIZE PARAMETERS, Sedimentology the journal of the International Association of Sedimentologists, Vol. 6, pp. 73-93.
- Folk, R. L. 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publ, Co, Austin, TX, 182 p.
- Hamzeh, M. A., Gharaie, M. H. M., Lahijani, H. A. K., Djamali, M., Harami, R.M., Naderi-Beni, M. 2016. Holocene hydrological changes in SE Iran, a key region between Indian Summer Monsoon and Mediterranean winter precipitation zones, as revealed from a lacustrine sequence from Lake Hamoun, Quaternary International, Vol. 408, pp. 25-39.
- Jiang, H., Ding, Z. 2010. Eolian grain-size signature of the Sikouzi lacustrine sediments (Chinese Loess Plateau): Implications for Neogene evolution of the East Asian winter monsoon, Geological Society of America Bulletin, Vol. 122, pp. 843-854.
- Krinsley, D. B. 1970. Geomorphological and paleoclimatological Studies of the Playa of Iran, US Government Printing Office Washington D.C., Vol. 20, 402 p.
- Mayer, L. D., Wischmeier, W. H. 1969. Mathematical Simulation of Processes of Soil Erosion by Water. Trans. Am. soc. agric. Engric, 12(6), 754-758

- Radebaugh, J., Kerber, L., Narteau, C., Rodriguez, S., Gao, Xin. 2017. Yardages and dunes of Iran's LUT desert reveal winds on planetary surfaces, *Lunar and Planetary Science XLVIII*, 2p.
- Snelder, T.H., Lamouroux, N., Pellam, H. 2011. Empirical modelling of large scale patterns in river bed surface grain size, *J. Geomorphology*, Vol. 127, pp. 189-197.