

Original Research Paper

Sedimentary facies deposited on the continental shelf in the south part of Caspian sea-Iran

Afshin Karimkhani-Bahador¹, Sadat Feiznia², Mohsen Aleali¹ and Mehran Arian¹

¹Department of Earth Sciences, College of Convergent Sciences and Technologies, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2022 May 21

Accepted: 2022 September 20

Available online: 2023 June 22

Keywords:

Sedimentary facies

Sedimentary environment

Caspian Sea

Continental shelf

Superficial deposits

ABSTRACT

To prepare sedimentological data, 98 surface sampling stations have been designed from the seabed in the continental shelf in the southern part of the Caspian Sea and along the coast of Iran. Indicators such as the type and amount of sediment load transported to the sedimentation environment, the energy of waves and sea currents, as well as how the slope of the seabed changes, play a role in the production and diversity of the sedimentary facies. 9 sedimentary facies are the most abundant in the surface deposits of this area and on average, in the sediments of the continental shelf, there are 1% by weight of coarse-grained particles, 25% by weight of medium-grained particles and 74% by weight of fine-grained particles. The composition of sedimentary facies in this area is controlled by indicators such as the size of sedimentary particles, the amount of sedimentary load carried to the environment, the energy of waves and sea currents, and how the slope of the seabed changes. In the marine environment of the study area, sub-sedimentary environments, Backshore, Foreshore, Shoreface, Offshore transition zone and offshore can be identified. The two facies of slightly gravelly Mud and Mud are more abundant than other facies.

1. Introduction

The Caspian Sea has an area of about 438,000 square kilometers due to the fluctuations of its water level, especially in the last hundred years. The water volume of this sea is about 80,000 cubic kilometers and the average depth is 180 meters. About 85% of the Caspian Sea inflow discharge comes from the Volga River and about 60% of the sediment discharge comes from its southern part. The formation of the Caspian Sea as a closed internal basin begins five million years ago, and before that the Caspian Sea was located in the Paratethys Ocean. The Caspian Sea has had significant water level changes during its

geological time. The most important reason for the fluctuations of the Caspian Sea level can be the changes in climatic conditions. Also, the interpretation of water level fluctuation data of the Caspian Sea is mostly based on indirect data. The average sea surface temperature in the South Caspian region varies from 25°C in summer to 10°C in winter. The salinity of the Caspian Sea is brackish water. The salinity of the South Caspian Sea is 14 psu in the eastern part and 13 psu in the western part, which is higher in the eastern part due to the climatic conditions and humidity.

* Corresponding author: Sadat Feiznia; E-mail: sfeiz@ut.ac.ir

Citation:

Karimkhani-Bahador, A., Feiznia, S., Aleali, M., and Arian, M., 2023. Sedimentary facies deposited on the continental shelf in the south part of Caspian Sea-Iran. Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, 33(3), 129, 27-54. <https://doi.org/10.22071/gsj.2022.343081.2000>

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2023 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2022.343081.2000

 dor: 20.1001.1.10237429.1402.33.3.1.2



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Sedimentary facies are one of the suitable indicators for identifying types of sedimentary environments. According to the type and formations of sedimentary facies, the deposits of the eastern part of the South Caspian Sea have more carbonate abundance due to climatic conditions and biological processes, but the sediments in the central and western parts are more affected by terrigenous sediment production processes. The superficial sedimentary facies of the seabed are a great indicator for detecting heavy metal pollution so that the South Caspian deposits show high enrichment of arsenic and cadmium metals and moderate enrichment of lead and zinc.

2. Research Methodology

For this research, the number of 98 sampling stations in the southern part of the Caspian Sea has been determined and the sampling operation of the sea bed has been carried out by the Van Veen Grab device. The minimum and maximum sampling depth is 1.5 meters and 370 meters. The distance between the sampling stations has been determined according to the two factors of bathymetry contour and the area affected by the sediment load of the river. The samples collected from the seabed cover about 40 cm of seabed thickness. Sedimentological data generation by wet granulometry method has been done in Sedimentology Laboratory of Geology and Mineral Exploration Organization of Iran. By measuring the diameter of sediment particles, the type of sedimentary facies of each sampling station was determined.

3. Results

In order to identify the real and natural features of the sedimentology of this area, the conditions of a bulk sample have been considered so that the current conditions of sedimentary particles can be investigated without any interference. The deposited gravelly sediment particles include rock fragments, shell fragments, and plant fragments.

The main abundance of gravel grains in the superficial deposits of the seabed in terms of water depth is within the shoreline up to 20 meters deep. With increasing depth and moving away from the shoreline and decreasing the energy of the sedimentary environment, the amount of gravel grains decreases to a very significant amount, so that these grains can be observed at a maximum depth of about 60 meters.

97% of all sand particles in the studied area are deposited from the shoreline to a depth of 20 meters. The distribution of sedimentary components in the size of sand in coastal areas that are far from river mouths is different from the areas around river mouths, so that in the deposits of the areas near the mouth of the rivers, the abundance of sand grains decreases significantly from a depth of 8 meters and approximately from the depth of 12 meters,

its amount reaches below 20% and these sedimentary grains are replaced by silt-sized deposits that are also accompanied by clay grains. And approximately from the depth of 12 meters amount sand grains are below 20% and these sedimentary grains are replaced by silt and clay grains (mud).

The distribution of silt and clay particles based on depth indicates that in shallow areas (shoreline up to 20 meters depth), the abundance of silt particles is greater and in areas with a depth of more than 20 meters, more percentage of clay particles are seen. The maximum amount of silt size sediments in shallow areas is equal to 56% and the maximum amount of clay particles in areas with a depth of more than 20 meters is equal to 94%.

4. Discussion

The South Caspian continental shelf has its own characteristics, such as 1- various widths, 2- the changing slope of the seabed and 3- the distribution of sedimentary facies. The continental shelf in the east of the South Caspian Sea has a wider width, so that its distance from the shoreline reaches nearly 70 km. The smallest width of the continental shelf in the South Caspian can be seen in two areas: Chalus area with an amount of 8.5 km and Kohneh-Sefidroud area with an amount of 7 km.

Changes in the slope of the seabed in the South Caspian region depend on various factors and the most important of them are, a) the reciprocal performance of the energy of the rivers in the region compared to the energy of the sea currents, b) structural geology activities. The continental shelf regions of the Caspian Sea can divide into backshore zone, shoreface zone, transitional offshore zone and offshore zone based on the depth of fair-weather wave base and storm wave base conditions.

The backshore zone in the South Caspian Sea starts from the shoreline and develops towards the land. The extent of this area according to intensity of marine storms, the slope of the seabed and the coastal zone are different. It varies from 50 meters to 200 meters wide along the South Caspian shoreline. The extent of the foreshore zone starts from the mean sea level and continues towards the sea basin to the depth of FWWB. The foreshore is located in the depth range between 0.5 and 8 meters. Shoreface has an average percentage of 3.63% gravel sediment particles, 66.13% sand and 30.24% mud sediment particles. The transitional offshore zone is located in the range between the fair-weather wave base depth (FWWB) and the storm wave base depth (SWB). The transitional offshore zone has an average frequency of gravel particles of 2.26 percent, sand particles of 22.48 percent, and mud particles of 75.26 percent. The offshore zone extends from a depth of 25 meters to a depth of 200 meters. The offshore zone has an average abundance of gravel particles of 0.11 percent, sand particles of 3.64 percent, and mud particles of 96.25 percent.

Various factors play a role in how the sediment particles are transported, how they are distributed and deposited on the seabed in the sedimentation environment of the South Caspian. The most important of which are the flow of prevailing winds, the flow of sea currents, and the currents resulting from changes in the salinity of the water column. The energy of the transport environment (hydrodynamic characteristics) has a great influence on the distribution of sediment particles in terms of size. In the deposits of the southern Caspian continental shelf in the western (Astara to Rudsar) and central (Rudsar to Sari) parts, the abundance of terrigenous particles is much higher than the eastern part (Sari to Bandar Turkmen) and in the eastern part, the abundance of fine grain size particles from the other two parts are more. In the superficial deposits of the seabed in the studied area, according to the abundance of sediment particles, 9 main sedimentary facies have been identified which are: Sand Facies, slightly gravelly Sand Facies, slightly gravelly muddy Sand, muddy Sand Facies, gravelly muddy Sand Facies, slightly gravelly sandy Mud, slightly gravelly Mud, sandy Mud Facies and Mud Facies. The distribution pattern of sedimentary facies in this area shows the concentration of fine-grained facies (mud facies) in the eastern part and the abundance of medium grained facies (sandy facies) in the middle and western parts. In the area of the mouth of the Sefid Roud River in the western part, and Tajen and Telar Rivers in the eastern part, strips of mud facies are observed, which is the result of the influence of sea currents in the region. For a full answer, more comprehensive investigations are needed.

5. Conclusion

The sediments left on the width of the continental shelf of the

South Caspian Sea, in terms of sediment particle size, consist of an average of 1% by weight of coarse-grained particles (gravel), 25% by weight of medium grained particles (sand) and about 74% by weight of fine-grained particles (mud). Among the diameters of the sedimentary particles deposited on the seabed, in the sand type facies, there are sedimentary particles in the size category of medium sand to very fine sand, and in the mud type facies, sedimentary particles are abundant in the size of medium silt to fine silt. The most abundant components of sediments in the size of gravel include Clastic particles and in the size of sand include biological parts.

The facies deposited in the backshore sedimentation environment are: sand facies [S], gravelly Sand facies [(g)S], slightly muddy Sand [(g)mS]. The facies deposited in the depositional environment of the Shoreface zone include: sand facies [S], slightly gravelly Sand facies [(g)S], slightly gravelly muddy Sand [(g)mS], muddy sand facies [mS], sandy Mud facies [sM], slightly gravelly sandy Mud facies [(g)sM], slightly gravelly Mud facies [(g)M]. The facies deposited in the transitional offshore zone depositional environment include: Mud facies [M], slightly gravelly Mud [(g)M], slightly gravelly sandy Mud [(g)sM], sandy Mud facies [sM], slightly gravelly muddy Sand [(g)mS], muddy Sand [mS], gravelly muddy Sand [gmS]. The facies deposited in the offshore zone sedimentation environment include: Mud facies [M], slightly gravelly sandy Mud [(g)sM], sandy Mud facies [sM].

Acknowledgements

I would like to express my gratitude to the Geology survey and Mineral Exploration of Iran for their support in carrying out this research.

رخساره‌های رسوبی نهشته‌های سطحی فلات قاره دریای کاسپین جنوبی، محدوده کشور ایران

افشین کریم‌خانی بهادر^۱، سادات فیض‌نیا^{۲*}، محسن آل‌علی^۱ و مهران آرین^۱

^۱گروه علوم زمین، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
^۲دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

دریای کاسپین بزرگ‌ترین گستره آبی محصور در ناحیه قاره‌ای سیاره زمین است. برای تهیه داده‌های رسوب‌شناسی ۹۸ ایستگاه برداشت نمونه سطحی از بستر دریا در محدوده فلات قاره (بیشینه ژرفای ۲۰۰ متر) بخش جنوبی دریای کاسپین و در امتداد سواحل ایران طراحی شده است. شاخص‌هایی همانند نوع و میزان بار رسوبی حمل شده به محیط رسوب‌گذاری، انرژی امواج و جریان‌های دریایی و همچنین چگونگی تغییرات شیب بستر دریا در تولید و تنوع رخساره‌های رسوبی نهشته‌های عهد حاضر نقش دارند. ۹ رخساره رسوبی در نهشته‌های سطحی این ناحیه بیشترین فراوانی را دارند و به‌طور میانگین در رسوبات فلات قاره، ۱ درصد وزنی ذرات درشت‌دانه، ۲۵ درصد وزنی ذرات متوسط دانه و ۷۴ درصد وزنی ذرات ریزدانه وجود دارد. زیر محیط‌های رسوبی، پس‌کرانه‌ای، پیشانی ساحلی، ناحیه انتقالی فراساحلی و فراساحلی قابل‌شناسایی هستند که ترکیب فراوانی رخساره‌های رسوبی در پهنه پس‌کرانه‌ای و پهنه پیشانی ساحلی بیشتر به شکل رخساره‌های گروه ماسه‌ای و در ناحیه انتقالی فراساحلی و ناحیه فراساحلی، بیشترین فراوانی را رخساره‌های گروه گلی دیده می‌شود. به‌طور عمومی دو رخساره رسوبی با ترکیب، گل باکمی گراول و گل از دیگر رخساره‌های دیگر فراوانی بیشتری دارند.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

رخساره‌های رسوبی

محیط رسوبی

دریای کاسپین

فلات قاره

نهشته‌های سطحی

۱- پیش‌نوشتار

دریای کاسپین با توجه به نوسانات سطح تراز آب آن به‌ویژه در یک صد سال اخیر، دارای مساحتی در حدود ۴۳۸۰۰۰ کیلومتر مربع است. حجم آب این دریا در حدود ۸۰،۰۰۰ کیلومتر مکعب و ژرفای متوسط ۱۸۰ متر است. حدود ۸۵ درصد از دبی آب ورودی به دریای کاسپین از رودخانه ولگا و حدود ۶۰ درصد تخلیه بار رسوبی از بخش جنوبی آن تامین می‌شود (Lahijani, 1997).

حوضه دریای کاسپین جنوبی به‌صورت یک بلوک پایدار لرزه‌ای کم و بیش سخت است و می‌توان بیان کرد که یک پوسته اقیانوسی باقی‌مانده در داخل پوسته قاره‌ای می‌باشد (Berberian, 1983, Priestley et al., 1994). اصولاً فرورفتگی کاسپین تحت‌تاثیر عملکرد یک سری گسل‌های نرمال تشکیل شده است (نبوی، ۱۳۵۵). بر پایه مطالعات جکسون و همکاران (Jackson et al., 2002) داده‌های ژئوفیزیکی نشان می‌دهند که حوضه کاسپین جنوبی، بر روی یک پوسته اقیانوسی (بازالتی) به سبب ۱۲ تا ۱۸ کیلومتر قرار دارد و دربردارنده توالی ستبری (۱۵ تا ۲۵ کیلومتر) از رسوبات است (شکل ۱). با مدل‌سازی رسوب‌گذاری و فرونشینی حوضه کاسپین جنوبی توسط گرین و همکاران (Green et al., 2009)، مشخص می‌شود که بارگذاری رسوبی و تراکم بر روی فرونشینی حرارتی

حاصل از سرد شدن لیتوسفر از میان زیستی پسین به حدی موثر است که حتی نیاز به هیچ سازوکار فرونشینی اضافی در دوره‌های پالئوژن و نوژن وجود ندارد. پی‌سنگ حوضه کاسپین جنوبی ویژگی‌های ژئوفیزیکی یک پوسته ستبر اقیانوسی غیرمعمول و یا یک پوسته قاره‌ای نازک شده با سرعت بالا را نشان می‌دهد. بخش درونی حوضه کاسپین جنوبی در مقایسه با رشته‌کوه‌های اطرافش، به‌طور نسبی بدون زمین‌لرزه است (Allen et al., 2002).

شکل‌گیری دریای کاسپین به‌صورت حوضه بسته داخلی از پنج میلیون سال پیش آغاز می‌شود و دریای کاسپین پیش از آن در مجموعه اقیانوسی پاراتتیس قرار می‌گرفت (لاهیجانی، ۱۳۸۳). جنبش کوهزایی آلپی در دوران سوم سبب جدا شدن نسبی حوضه پونتو-کاسپی (دریای سیاه، کاسپین و آزوف) از دریای آزاد گشت، به‌طوری‌که کوه‌های قفقاز بزرگ به‌صورت جزیره‌ای در میان آن‌ها قرار داشت (Varushenko et al., 1987). پس از دوره پلیوسن میانی که دریای کاسپین به‌عنوان یک حوضه آبی محصور در خشکی درآمد است چرخه‌های متعدد پیشروی و پسروی در آن اتفاق افتاده است (Fedorov, 1995). دریای کاسپین در طی زمان زمین‌شناسی خود دارای تغییرات تراز سطح آب قابل ملاحظه‌ای (شکل ۲) بوده

* نویسنده مسئول: سادات فیض‌نیا؛ E-mail: sfeiz@ut.ac.ir

ماخذنگاری:

کریم‌خانی‌بهادر، ا.، فیض‌نیا، س.، آل‌علی، م. و آرین، م.، ۱۴۰۲، رخساره‌های رسوبی نهشته‌های سطحی فلات قاره دریای کاسپین جنوبی، محدوده کشور ایران، ۳۳ (۳)، ۱۲۹، ۲۷-۵۴.
<https://doi.org/10.22071/gsj.2022.343081.2000>

doi: 10.22071/gsj.2022.343081.2000

doi: 20.1001.1.10237429.1402.33.3.1.2

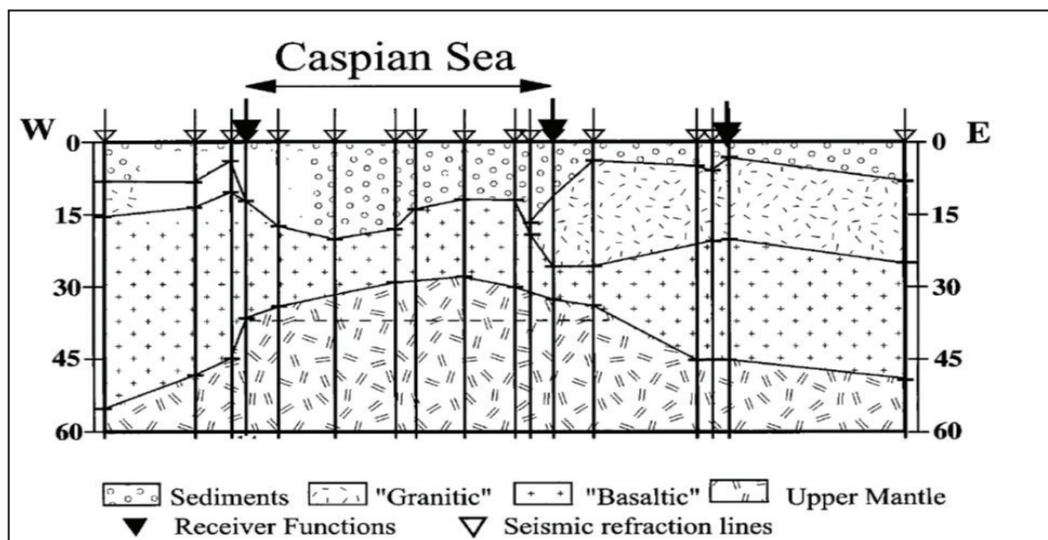
حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

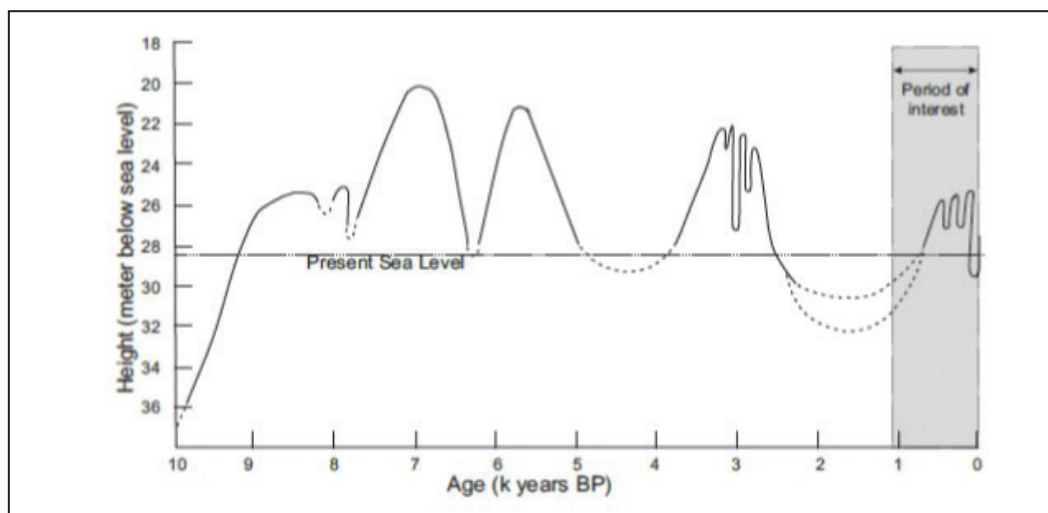
میانگین دمای سطح آب دریا در منطقه کاسپین جنوبی از 25°C در فصل تابستان تا 10°C در فصل زمستان متغیر است. میزان شوری آب دریای کاسپین به طور عمومی حالت لب شور (Brackish water) است. شوری آب دریای کاسپین جنوبی در بخش خاوری به میزان ۱۴ psu و در بخش باختری به مقدار ۱۳ psu است که به علت شرایط اقلیمی و رطوبت کمتر بخش خاوری است (Kosarev, 2005). تغییرات شوری بر اساس تغییرات ژرفای آب دریا به صورت ستونی در محدوده ۵/۰ psu نوسان دارد (Kosarev, 1975).

است (Varushchenko et al., 1987; Rychagov, 1997; Dolukhanov et al., 2010; Lahijani et al., 2009; Naderi-Beni et al., 2013). مهم‌ترین دلیل نوسانات سطح تراز آب دریا کاسپین می‌تواند تغییرات شرایط اقلیمی دانست (Arpe et al., 2000). و همچنین تفسیر داده‌های تغییرات سطح تراز آب دریای کاسپین بیشتر بر اساس داده‌های غیر مستقیم است (Kroonenberg et al., 2000; Kakroodi et al., 2012).



شکل ۱- برش ساختاری پوسته و بخش بالایی گوشته از حوضه کورا در باختر تا حوضه کپه‌داغ در خاور دریای کاسپین جنوبی (Jackson et al., 2002).

Figure 1. Crust and uppermost mantle cross-section between the Kura Basin to the west of the South Caspian Basin until the Kopet Dag mountains to the east. (Jackson et al., 2002)



شکل ۲- نوسانات تراز سطح آب دریای کاسپین در زمان هولوسن (Rychagov, 1997).

Figure 2. Fluctuations of Caspian Sea level during the Holocene. (Rychagov, 1997).

با توجه به اندازه ذرات رسوبی و ترکیب شیمیایی نهشته‌های سطحی بستر دریای کاسپین می‌توان ۵ رخساره رسوبی را (شکل ۳) معرفی کرد:

- ۱- رخساره کربنات - دیاتومه‌ای (سیلیسی) که بیشتر به صورت توده‌های منفرد کوچک در بخش کاسپین شمالی قابل مشاهده است؛
- ۲- رخساره آواری - کربناتی که بیشترین پراکنش آن در کاسپین شمالی است و همچنین به صورت یک نوار باریکی در بخش خاوری کاسپین میانی و جنوبی نیز این رخساره پراکنش دارند؛
- ۳- رخساره کربناتی که تمرکز پراکنش آن در بخش خاوری مناطق کاسپین شمالی،

رخساره‌های رسوبی که شامل اندازه ذرات، بافت رسوبی، ساختار رسوبی، قطعات فسیلی و رنگ است (Tucker, 2001) یکی از شاخص‌های مناسب برای شناسایی انواع محیط‌های رسوبی می‌باشد. بر اساس مطالعات لاهیجانی و همکاران (Lahijani et al., 2019) با توجه به نوع و سازنده‌های رخساره‌های رسوبی، نهشته‌های بخش خاوری کاسپین جنوبی به دلیل شرایط اقلیمی و فرایندهای زیستی فراوانی کربنات بیشتری دارند اما رسوبات در بخش‌های مرکزی و باختری بیشتر تحت تأثیر فرایندهای تولید رسوبات آواری می‌باشند.

میانی و جنوبی است؛ ۴- رخساره آواری که در بخش باختری مناطق کاسپین شمالی، میانی و جنوبی پراکنده و نهشته شده است؛ ۵- رخساره شیمیایی که تنها محدود به منطقه ناحیه خلیج قره بغاز است (شکل ۳).
رخساره‌های رسوبی سطحی بستر دریا یک نشانگر بسیار خوبی برای شناسایی آلاینده‌گی به فلزات سنگین است به طوری که نهشته‌های کاسپین جنوبی غنی‌شدگی زیاد نسبت به فلزات آرسنیک و کادمیم و غنی‌شدگی متوسط به فلزات سرب و روی انسان‌زاد است.

شکل ۳- نقشه پراکنش رسوبات سطح دریای خزر از نظر (a) اندازه و (b) ترکیب (after Klenova et al., 1962; Kholodov and Lisitsina, 1989; Lahijani and Tavakoli, 2012).

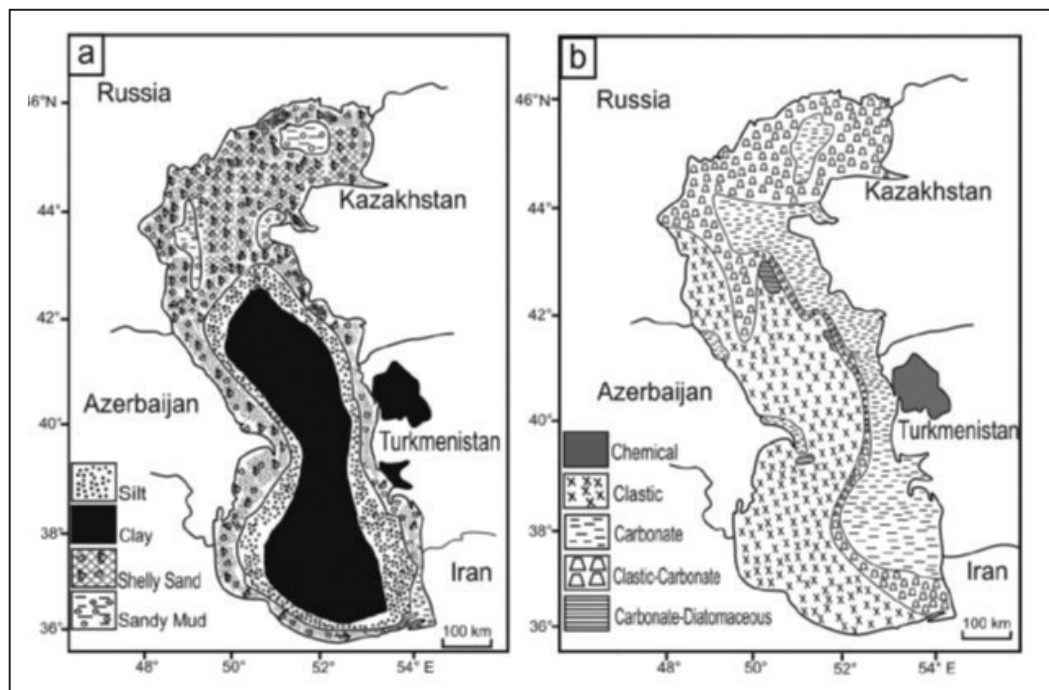


Figure 3. Distribution map of Caspian Sea surface sediments in terms of a) grain size and b) composition (after Klenova et al., 1962; Kholodov and Lisitsina, 1989; Lahijani and Tavakoli, 2012).

جهت مشخص کردن درصد فراوانی ذرات رسوبی کوچک‌تر از ۶۳ میکرون، از دستگاه لیزر پارتیکل ساخت شرکت فریج مدل Analysette 22 Compact بهره گرفته شده است. در فرایند انجام دانه‌بندی ترتیب چیدمان الک‌ها مطابق جدول ۱ است. با اندازه‌گیری قطر ذرات سازنده رسوبات نوع رخساره رسوبی (Folk, 1980; Folk and Ward, 1957; Blair and McPherson, 1999) هر یک از ایستگاه‌ها تعیین (جدول ۲) و مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۶).

۳- داده‌ها و اطلاعات ۳-۱- داده‌های ذرات رسوبی

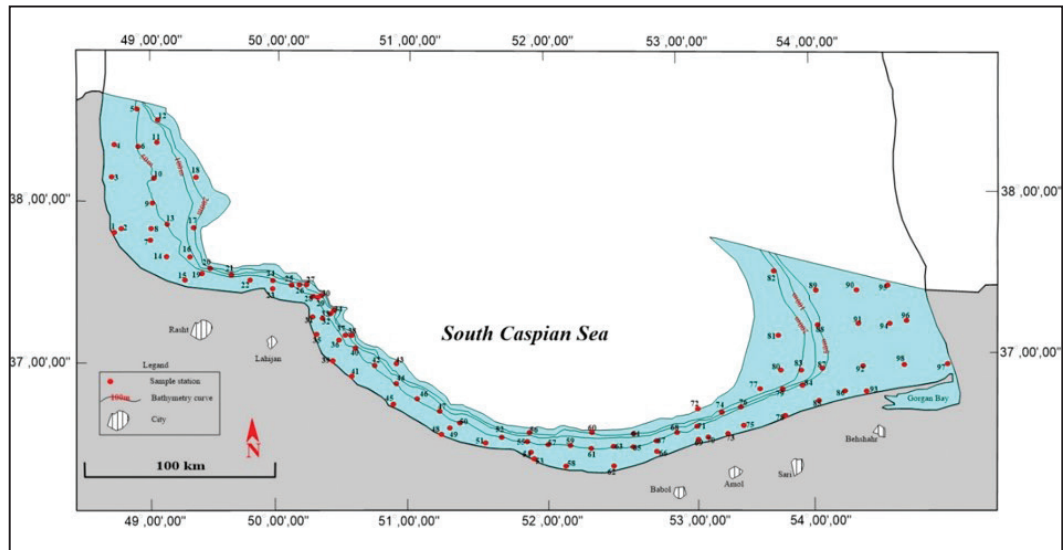
جهت شناسایی طبیعی و واقعی ویژگی‌های رسوب‌شناسی این ناحیه شرایط یک نمونه کلی (Bulk Sample) مورد توجه بوده است تا بدون هیچگونه دخل و تصرفی شرایط امروزی ته‌نشست ذرات رسوبی مورد بررسی قرار گیرد.
- داده‌های ذرات گراول (Gravel Particles Size): ذرات رسوبی گراولی ته‌نشین شده شامل قطعات سنگ، قطعات پوسته صدف و قطعات گیاهی است (شکل ۷).

۲- روش پژوهش ۲-۱- جمع‌آوری نمونه‌ها

این پژوهش از سال ۱۳۹۵ شروع و تا سال ۱۳۹۷ ادامه پیدا کرد. برای این موضوع تعداد ۹۸ ایستگاه نمونه‌برداری (پیوست ۱) در بخش جنوبی دریای کاسپین تعیین و عملیات نمونه‌برداری از بستر دریا توسط دستگاه Van Veen Grab انجام شده است (شکل‌های ۴ و ۵). کمینه و بیشینه ژرفای نمونه‌برداری به ترتیب ۱/۵ متر و ۳۷۰ متر است.
فاصله بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری با توجه به دو عامل منحنی‌های هم‌ژرفا و منطقه تحت‌تأثیر بار رسوبی رودخانه تعیین شده است. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از بستر دریا حدود ۴۰ سانتی‌متر ستبرای بستر دریا را شامل می‌شوند. بر اساس شیوه‌نامه گوغان (Coggan, et al., 2007) رسوبات برداشت شده در کیسه‌های پلاستیکی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس برای آزمایش دانه‌بندی به آزمایشگاه رسوب‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران فرستاده شد.

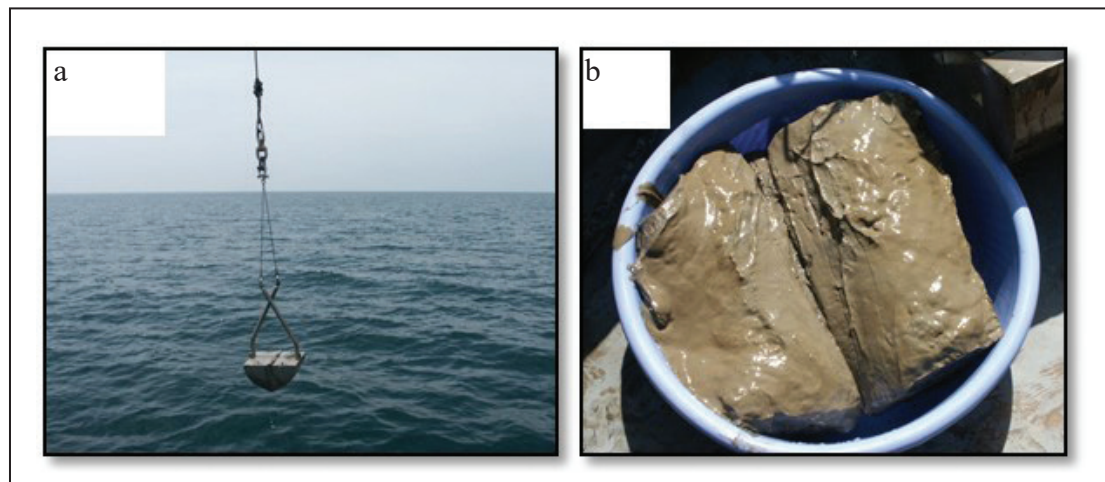
۲-۲- تولید داده‌های رسوب‌شناسی

برای تعیین اندازه قطر ذرات رسوب و تولید داده‌های رسوب‌شناسی مناسب از آزمایش دانه‌بندی به روش مرطوب استفاده شده است (ASTM, D4698-92, 2013) و همچنین



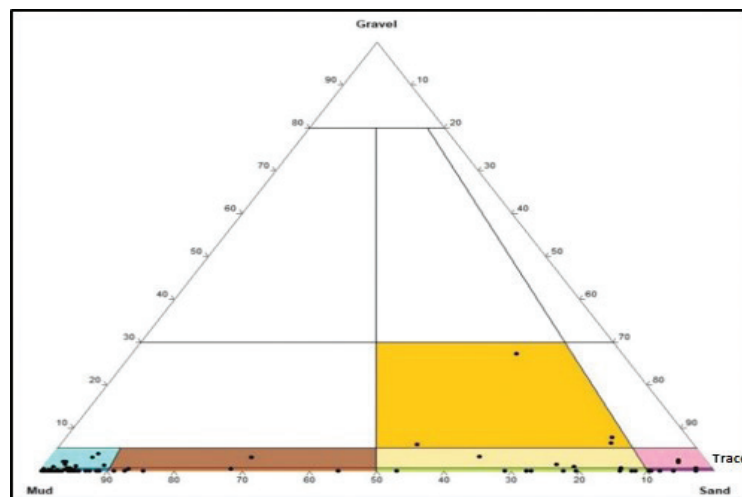
شکل ۴- جانمایی ایستگاه‌های نمونه برداری.

Figure 4. Location of sampling stations.



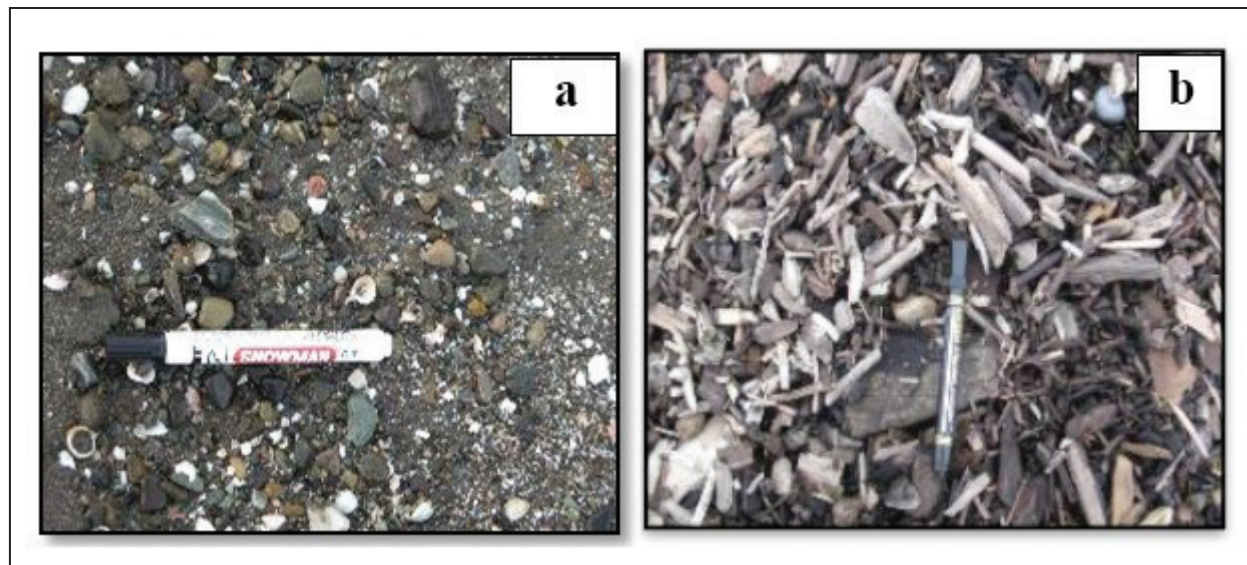
شکل ۵- (a) دستگاه نمونه گیر Van Veen؛ (b) نمونه برداشت شده از بستر دریا.

Figure 5. a) Van veen grab; b) A sample taken from the seabed.



شکل ۶- تقسیم‌بندی مثلثی رخساره‌های رسوبی (Folk, 1980).

Figure 6. Triangular division of sedimentary facies (Folk, 1980)



شکل ۷- سازنده‌های دانه‌های گراولی، (a) خرده‌های سنگی و قطعات صدف جانوران دریایی؛ (b) خرده‌های گیاهی.

Figure 7. Component of gravel size, a) Rock and Shell fragments; b) Plant fragments

جدول ۱- ترتیب چیدمان الک‌ها در آزمایش دانه‌بندی.

Table 1. The arrangement of the sieves in the granulometry analysis

ردیف	اندازه الک بر اساس میلی‌متر	شماره الک بر اساس مش
۱	۴ ^{mm}	۵ mesh
۲	۲ ^{mm}	۱۰ mesh
۳	۱ ^{mm}	۱۸ mesh
۴	۰.۵۰۰ ^{mm}	۳۵ mesh
۵	۰.۲۵۰ ^{mm}	۶۰ mesh
۶	۰.۱۲۵ ^{mm}	۱۲۰ mesh
۷	۰.۰۶۳ ^{mm}	۲۳۰ mesh

جدول ۲- درصد فراوانی هر یک از سازنده‌های رسوبات و رخساره‌های رسوبی.

Table 2. Percentage abundance of each of the component of sediments and sedimentary facies.

شماره نمونه	درصد گراول	درصد ماسه	درصد گل	ژرفا (m)	رخساره رسوبی (Folk, 1980)	شماره نمونه	درصد گراول	درصد ماسه	درصد کل	ژرفا (m)	رخساره رسوبی (Folk, 1980)
۱	0.00	79.64	20.36	2	muddy Sand	۲۳	0.00	3.32	96.68	12	Mud
۲	27.37	57.03	15.60	10	gravelly muddy Sand	۲۴	0.00	4.17	95.83	45	Mud
۳	0.50	12.85	86.66	7	slightly gravelly sandy Mud	۲۵	0.01	0.77	99.23	37	Mud
۴	6.16	52.91	40.93	3	gravelly muddy Sand	۲۶	0.00	0.40	99.60	90	Mud
۵	0.12	2.51	97.37	46	slightly gravelly sandy Mud	۲۷	0.00	1.41	98.59	183	Mud
۶	0.00	5.85	94.14	58	Mud	۲۸	0.00	0.36	99.64	83	Mud
۷	0.00	4.46	95.55	22	Mud	۲۹	0.18	1.69	98.14	49	slightly gravelly Mud
۸	0.65	3.67	95.68	30	slightly gravelly Mud	۳۰	0.00	2.13	97.87	221	Mud
۹	0.19	5.03	94.78	46	slightly gravelly Mud	۳۱	0.00	77.67	22.34	6.8	muddy Sand
۱۰	0.22	2.48	97.30	58	slightly gravelly Mud	۳۲	0.00	72.81	27.19	18	muddy Sand
۱۱	0.00	1.02	98.98	78	Mud	۳۳	0.00	0.91	99.09	81	Mud
۱۲	0.00	1.53	98.47	300	Mud	۳۴	0.00	0.59	99.41	214	Mud
۱۳	1.33	8.89	89.78	60	slightly gravelly sandy Mud	۳۵	0.07	88.23	11.70	2	slightly gravelly muddy Sand
۱۴	0.00	2.39	97.62	22	Mud	۳۶	0.00	1.34	98.66	34	Mud
۱۵	0.00	92.01	7.99	5	Sand	۳۷	0.18	1.40	98.42	60	Mud
۱۶	0.00	2.76	97.24	75	Mud	۳۸	0.01	1.52	98.47	110	Mud
۱۷	0.00	5.07	94.93	150	Mud	۳۹	0.08	90.25	9.67	3	slightly gravelly Sand
۱۸	0.00	6.81	93.20	210	Mud	۴۰	0.00	0.60	99.40	53	Mud
۱۹	0.20	95.42	4.38	20	slightly gravelly Sand	۴۱	0.35	65.47	34.19	7	slightly gravelly muddy Sand
۲۰	1.17	4.77	94.06	42	slightly gravelly Mud	۴۲	0.00	0.79	99.21	56	Mud
۲۱	0.32	30.66	69.01	40	slightly gravelly sandy Mud	۴۳	0.00	0.75	99.25	367	Mud
۲۲	0.08	7.28	92.64	18	slightly gravelly Mud	۴۴	0.00	0.46	99.55	54	Mud

Table 2. Continued

شماره نمونه	درصد گراول	درصد ماسه	درصد گل	ژرفا (m)	رخساره رسوبی (Folk,1980)	شماره نمونه	درصد گراول	درصد ماسه	درصد گل	ژرفا (m)	رخساره رسوبی (Folk,1980)
۴۵	1.51	75.88	22.61	7.8	slightly gravelly muddy Sand	۷۲	0.00	8.75	91.26	370	Mud
۴۶	0.00	0.72	99.28	57	Mud	۷۳	0.10	79.39	20.51	3.8	slightly gravelly muddy Sand
۴۷	0.50	0.40	99.11	52	slightly gravelly Mud	۷۴	0.00	5.38	94.63	85	Mud
۴۸	0.08	72.09	27.83	4.5	slightly gravelly muddy Sand	۷۵	0.00	90.60	9.40	7	Sand
۴۹	3.21	6.23	90.56	4.5	slightly gravelly Mud	۷۶	0.00	4.57	95.43	45	Mud
۵۰	0.00	3.12	96.88	47	Mud	۷۷	0.00	2.36	97.64	268	Mud
۵۱	0.56	86.43	13.01	7.4	slightly gravelly muddy Sand	۷۸	0.00	14.03	85.97	4.8	Sandy Mud
۵۲	0.00	1.36	98.64	55	Mud	۷۹	0.00	0.65	99.35	100	Mud
۵۳	0.00	52.88	47.12	2.5	muddy Sand	۸۰	0.00	1.62	98.38	293	Mud
۵۴	0.00	68.93	31.07	6.8	muddy Sand	۸۱	0.00	0.25	99.75	350	Mud
۵۵	0.00	12.61	87.39	41	sandy Mud	۸۲	0.00	1.46	98.54	236	Mud
۵۶	0.00	0.93	99.07	330	Mud	۸۳	0.00	2.87	97.13	188	Mud
۵۷	0.15	4.16	95.69	45	slightly gravelly Mud	۸۴	0.08	0.79	99.13	27	Mud
۵۸	6.43	81.44	12.13	7.3	gravelly muddy Sand	۸۵	0.00	97.30	2.70	2	Sand
۵۹	0.28	3.64	96.08	47	slightly gravelly Mud	۸۶	0.00	44.17	55.83	8	sandy Mud
۶۰	0.00	1.44	98.56	223	Mud	۸۷	0.00	0.69	99.31	50	Mud
۶۱	0.00	2.69	97.31	52	Mud	۸۸	0.00	5.85	94.15	55	Mud
۶۲	0.00	95.87	4.13	4.8	Sand	۸۹	3.95	6.74	89.31	21	slightly gravelly sandy Mud
۶۳	0.00	3.00	97.01	47	Mud	۹۰	0.18	1.52	98.30	10	slightly gravelly Mud
۶۴	0.00	2.02	97.98	155	Mud	۹۱	0.00	8.33	91.67	15	Mud
۶۵	0.00	2.90	97.10	42	Mud	۹۲	2.09	2.86	95.06	17	slightly gravelly Mud
۶۶	7.90	80.9	11.2	7	gravelly muddy Sand	۹۳	0.56	85.85	13.59	4.8	slightly gravelly muddy Sand
۶۷	0.59	4.19	95.22	42	slightly gravelly Mud	۹۴	0.29	1.44	98.27	8.8	slightly gravelly Mud
۶۸	0.00	15.26	84.74	41	sandy Mud	۹۵	0.39	1.19	98.42	6.2	slightly gravelly Mud
۶۹	0.00	97.53	2.47	3.5	Sand	۹۶	1.46	3.07	95.47	6.5	slightly gravelly Mud
۷۰	0.05	93.91	6.04	4.5	slightly gravelly Sand	۹۷	0.00	87.65	12.35	1.5	muddy Sand
۷۱	0.00	11.08	88.92	38	sandy Mud	۹۸	0.50	28.06	71.44	3.4	slightly gravelly sandy Mud

فاصله دارند متفاوت‌تر از مناطقی اطراف دهانه رودخانه‌ها است، به طوری که در نهشته‌های نواحی نزدیک دهانه رودخانه‌ها فراوانی ماسه‌ای از ژرفای ۸ متری کاهش چشم‌گیری پیدا می‌کند و تقریباً از ژرفای ۱۲ متری مقدار آن به زیر ۲۰ درصد می‌رسد و جای این دانه‌های رسوبی را نهشته‌هایی در اندازه سیلت می‌گیرد که با دانه‌های رسی نیز همراه می‌باشند.

- داده‌های ذرات گل (Mud Particles Size): ذرات رسوبی ریز دانه مجموع فراوانی ذراتی در اندازه سیلت و رس است. توزیع پراکنش ذرات سیلتی و رسی بر اساس ژرفا مشخص می‌کند که در مناطق کم‌ژرفا (خط ساحلی تا ژرفای ۲۰ متر) فراوانی بیشتر

فراوانی اصلی دانه‌های گراول در نهشته‌های سطحی بستر دریا از نظر ژرفای آب در محدوده خط ساحلی تا ژرفای ۲۰ متر است. با افزایش ژرفا و دور شدن از نوار ساحلی و کم شدن انرژی محیط رسوبی از میزان دانه‌های گراول به مقدار خیلی قابل ملاحظه‌ای کاسته می‌شود به طوری که این دانه‌های را در بیشینه ژرفای حدود ۶۰ متری می‌توان دیده کرد (جدول ۳).

- داده‌های ذرات ماسه (Sand Particles Size): ۹۷ درصد از کل ذرات ماسه پراکنده در منطقه مورد مطالعه از خط ساحلی تا ژرفای ۲۰ متر نهشته شده است. توزیع اجزای رسوبی در اندازه ماسه در کرانه‌های ساحلی که از دهانه رودخانه‌ها

رسوبی در حد اندازه سیلت در مناطق کم‌ژرفا برابر ۵۶ درصد است و بیشینه مقدار ذرات رسی در مناطق با ژرفای بیشتر از ۲۰ متر برابر ۹۴ درصد است.

در اندازه ذرات سیلت است و در مناطق با ژرفای بیشتر از ۲۰ متر درصد فراوانی ذرات کوچک‌تر از ۴ میکرون یا ذرات رسی بیشتر دیده می‌شود. بیشینه مقدار سازنده‌های

جدول ۳- درصد فراوانی پراکنش دانه‌های گراول بر اساس ژرفا.

Table 3. The frequency of distribution of gravel grains based on depth

ژرفا (متر)	بیشینه درصد	درصد میانگین
۰ - ۲۰	۲۷	۰/۲۷
۲۰ - ۳۰۰	۵/۳	۰/۵

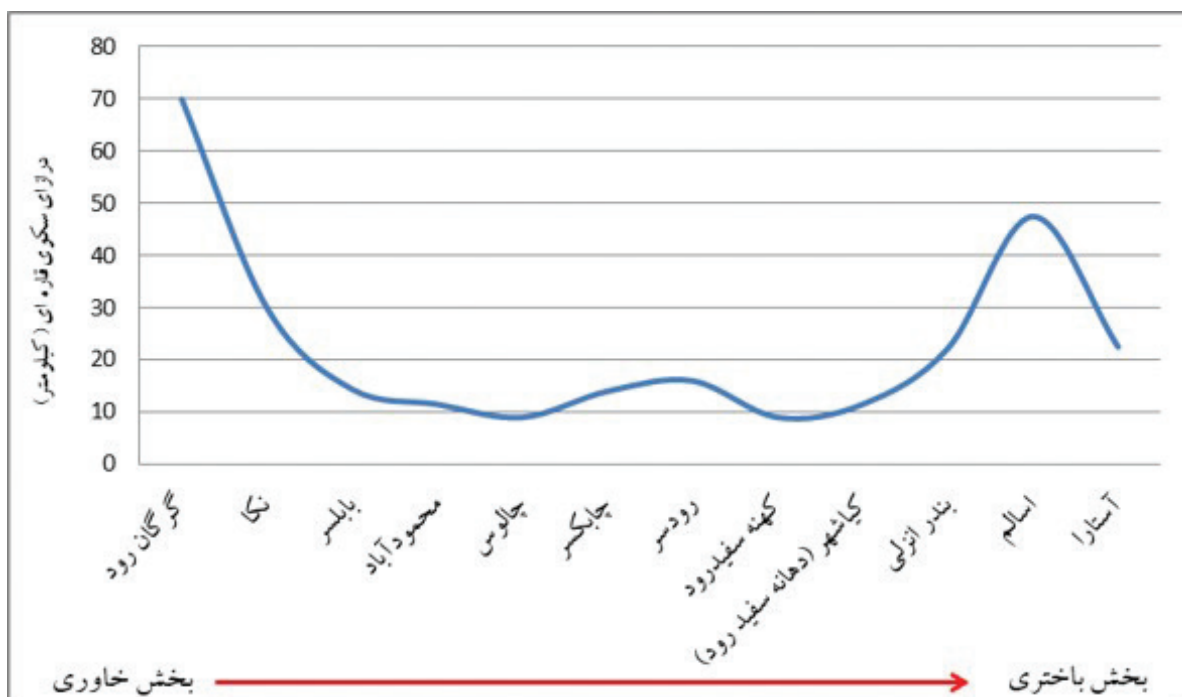
۴- بحث

۴-۱- ویژگی‌های محیط رسوبی و ریخت‌شناسی گستره جنوبی کاسپین ناحیه

فلات قاره

۷۰ کیلومتر می‌رسد. با حرکت به طرف باختر این فاصله از خط ساحلی کاهش پیدا می‌کند که کمترین فاصله از خط ساحلی را در دو ناحیه چالوس به میزان ۸/۵ کیلومتر و کهنه سفیدرود به مقدار ۷ کیلومتر وجود دارد، حدفاصل این دو ناحیه پهنای فلات قاره به‌طور میانگین ۱۴ کیلومتر می‌باشد (جدول ۴). با گذر از ناحیه کهنه سفیدرود پهنای فلات قاره مجدد روند افزایشی پیدا می‌کند و این افزایش تا ناحیه اسالم ادامه دارد و با حرکت به سمت کشور آذربایجان پهنای فلات قاره روند کاهش را به نمایش می‌گذارد (شکل ۸).

کاسپین جنوبی دارای ویژگی‌های مخصوص به خود همانند، ۱- پهنای گوناگون آن در طول خط ساحلی (Shoreline)؛ ۲- چگونگی تغییرات شیب بستر و ۳- چگونگی پراکنده‌گی رخساره‌های رسوبی است. با اندازه‌گیری‌های میدانی و نقشه‌های موجود میزان فاصله از خط ساحلی (پهنای فلات قاره) در بخش خاوری کاسپین جنوبی (ناحیه بندر ترکمن، محل مصب گرگان‌رود و مرز آبی با کشور ترکمنستان) از پهنای زیادتری برخوردار است به طوری که فاصله آن از خط ساحلی تا نزدیک به



شکل ۸- تغییرات پهنای فلات قاره‌ای در کاسپین جنوبی.

Figure 8. Variations of continental shelf width in South Caspian.

جدول ۴- تغییرات وسعت فلات قاره‌ای در کاسپین جنوبی.

Table 4. Changes in the extent of the continental shelf in the South Caspian.

ردیف	ناحیه	فاصله از خط ساحلی به کیلومتر
۱	گرگان رود	۷۰
۲	نکا	۳۰
۳	بابلسر	۱۴/۵
۴	محمودآباد	۱۱/۵
۵	چالوس	۹
۶	چابکسر	۱۴
۷	رودسر	۱۶
۸	کهنه سفیدرود	۹
۹	کیاشهر (دهانه سفیدرود)	۱۱/۵
۱۰	بندر انزلی	۲۲/۵
۱۱	اسالم	۴۷/۵
۱۲	آستارا	۲۲/۵

فعالیت‌های زمین‌ساختی در طول زمان زمین‌شناسی نیز بر شکل‌گیری ریخت‌شناسی بستر دریا و بخش ساحلی تأثیرهای بسیاری زیادی گذاشته است. محیط‌های رسوب‌گذاری دریایی بر اساس شاخص‌های گوناگونی همانند، ژرفای آب دریا، میزان و ژرفای نفوذ نور خورشید، تغییرات در شیب بستر دریا طبقه بندی می‌شود. سو (Coe, 2003) مناطق کم ژرفا و فلات قاره بر پایه نوسان‌های تراز جریان‌های جزر و مدی به همراه ژرفای پایه امواج در حالت اقلیمی عادی و توفانی طبقه‌بندی کرده است (شکل ۱۱).

در ناحیه کاسپین جنوبی از دیدگاه تغییرات شیب بستر دریا (جدول ۵) عوامل گوناگونی نقش دارند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به عملکرد متقابل انرژی رودخانه‌های منطقه نسبت به انرژی جریان‌های دریایی و همین‌طور فعالیت‌های زمین‌ساختی اشاره کرد. محیط دلتایی در ناحیه کاسپین جنوبی یک حالت حد واسطه از تشکیل و تکامل دلتای تحت‌تأثیر امواج دریا و دلتای تحت کنترل قدرت رودخانه (Galloway, 1975) را نمایش می‌دهد (شکل ۹)، که همین موضوع یکی از عوامل گوناگونی تغییرات شیب بستر دریا در این ناحیه می‌باشد (شکل ۱۰). همچنین

جدول ۵- مقدار شیب بستر دریا در ناحیه کاسپین جنوبی.

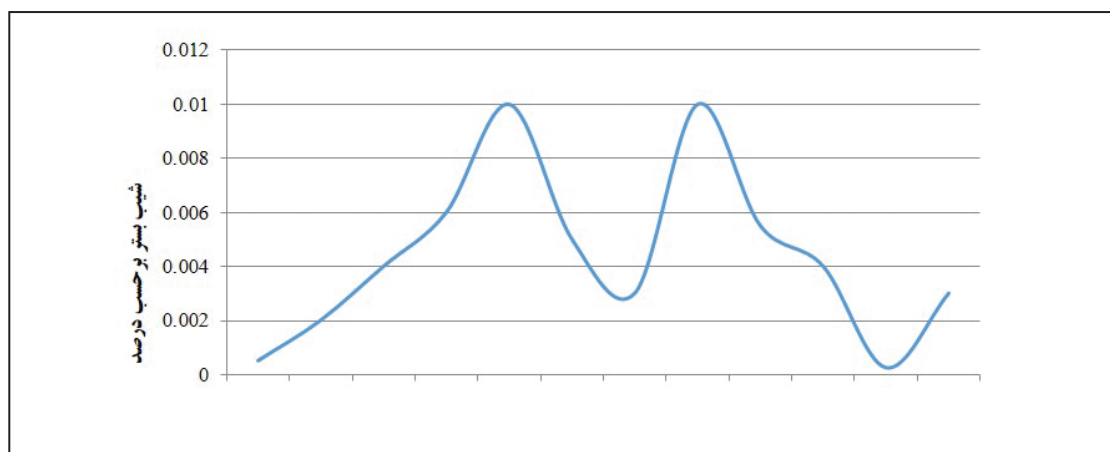
Table 5. The amount of seabed slope in the South Caspian region

ردیف	ناحیه	مقدار متوسط شیب به درصد	مقدار متوسط شیب به درجه
۱	گرگان‌رود	۰/۰۰۰۵	۰/۰۲
۲	نکا	۰/۰۰۲	۰/۱۱
۳	بابلسر	۰/۰۰۴	۰/۲۲
۴	محمودآباد	۰/۰۰۰۶۲	۰/۰۳
۵	چالوس	۰/۰۱	۰/۶۷
۶	چابکسر	۰/۰۰۵	۰/۲۸
۷	رودسر	۰/۰۰۳	۰/۱۷
۸	کهنه سفیدرود	۰/۰۱	۰/۶۷
۹	کیاشهر (دهانه سفیدرود)	۰/۰۰۵۵	۰/۳۱
۱۰	بندر انزلی	۰/۰۰۴	۰/۲۲
۱۱	اسالم	۰/۰۰۲	۰/۱۱
۱۲	آستارا	۰/۰۰۳	۰/۱۷



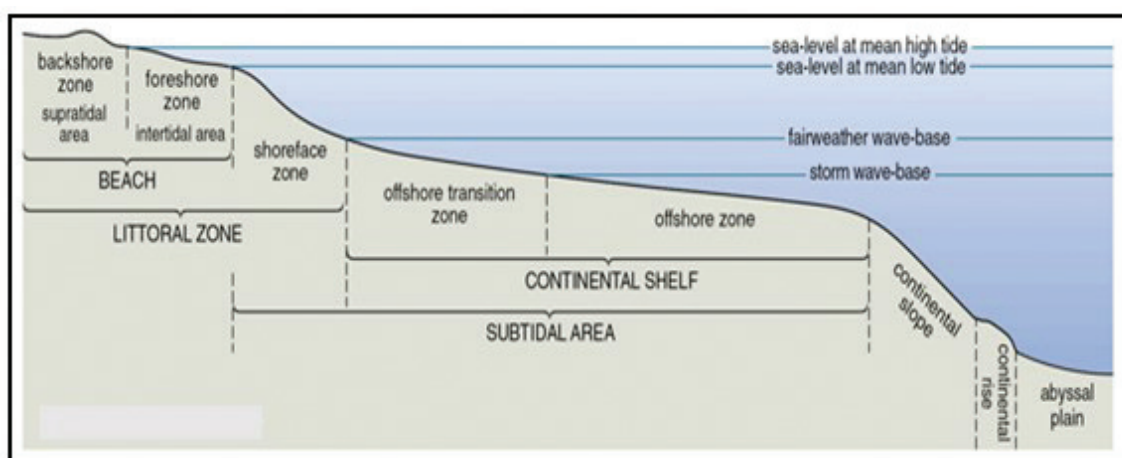
شکل ۹- (a) دلتای رودخانه گرگان‌رود؛ (b) دلتای رودخانه سفیدرود.

Figure 9. a) Gorganrood River Delta; b) Sefidrood River Delta.



شکل ۱۰- تغییرات شیب فلات قاره‌ای تا محدوده ژرفای ۵۰ متر در ناحیه کاسپین جنوبی.

Figure 10. Variations of the slope of the continental shelf up to the depth of 50 meters in the South Caspian region



شکل ۱۱- تقسیم‌بندی مناطق گوناگون محیط رسوبی دریایی (Coe et al., 2003)

Figure 11. Classification of different areas of the marine sedimentary environment in the South Caspian region (Coe et al., 2003).

ساحل (Longshore current) و فیزیوگرافی بستر دریا است.

- پهنه انتقالی فراساحلی (Transitional Offshore Zone): منطقه مهم دیگر از نظر تنوع رخساره‌های رسوبی در بستر دریای کاسپین جنوبی، پهنه حد واسط بین ناحیه پیشانی ساحل و ناحیه فراساحل است. محیط رسوبی منطقه انتقالی فراساحلی در محدوده بین ژرفای پایه امواج در آب‌وهوای طبیعی (FWWB) و پایه ژرفای امواج در آب‌وهوای توفانی (SWB) واقع شده است (شکل ۸). این بخش از بستر دریا دیگر متعلق به منطقه ساحلی یا Littoral Zone نیست، بلکه ناحیه ابتدایی فلات قاره یا Continental shelf است و به علت قرار گیری بین دو ناحیه FWWB و SWB ناحیه گذر تدریجی از رسوبات منطقه کم ژرفا به منطقه با ژرفای زیاد است (شکل ۸).

سازوکار چگونگی انتقال بار رسوبی به این ناحیه از سمت بخش خشکی بیشتر به شکل بار رسوبی معلق است و در رده بعدی حمل ذرات رسوبی به صورت بار رسوبی بستر به محیط رسوب‌گذاری انتقال می‌یابد. این محیط رسوبی از کمینه محدوده ژرفای ۸ متر تا ۱۰ متر شروع و تا بیشینه ژرفای ۲۵ متر ادامه پیدا می‌کند. به‌طور کلی پهنای این ناحیه در بستر دریای کاسپین جنوبی از کمینه مقدار ۱/۲ کیلومتر در نواحی مرکزی تا بیشینه پهنای ۲۳ کیلومتر در نواحی خاوری متغیر است. نهشته‌های ته‌نشست شده در محیط رسوب‌گذاری ناحیه انتقالی فراساحلی (Offshore transitional) دارای میانگین درصد فراوانی ذرات رسوبی گراول ۲۶/۲ درصد، ذرات رسوبی ماسه ۴۸/۲۲ درصد و ذرات رسوبی گل ۲۶/۷۵ درصد است. شکل توزیع و پراکندگی رخساره‌های رسوبی در این ناحیه از محیط رسوب‌گذاری تحت کنترل عملکرد جریان‌های دریایی سطحی و زیر سطحی و ریخت‌شناسی بستر دریا است (Bondarenko, 1994; Richardson, 2012).

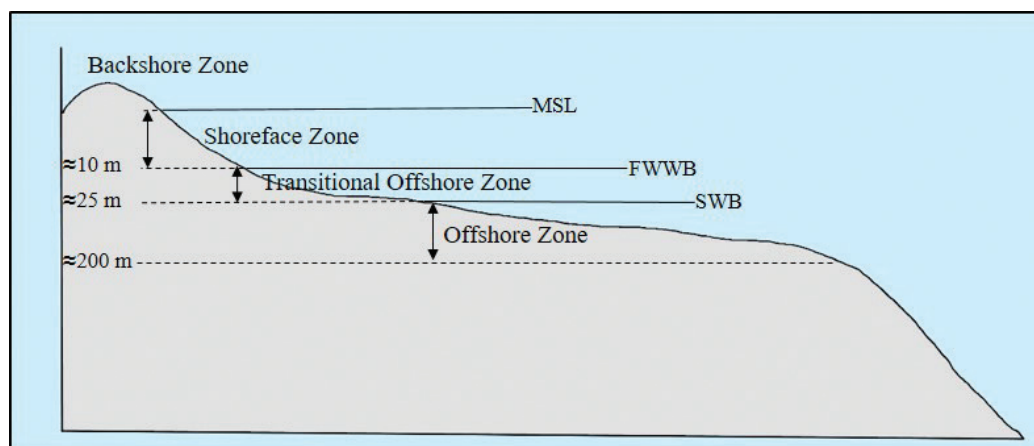
- پهنه فراساحلی (Offshore Zone): پهنه فراساحلی از ژرفای ۲۵ متری تا ژرفای ۲۰۰ متری امتداد دارد. ذرات رسوبی در این ناحیه بیشتر در دسته دانه‌های رسوبی ریزدانه (سیلت و رس) قرار می‌گیرند که به صورت بار معلق رسوبی به محیط رسوب‌گذاری حمل و ته‌نشست می‌شوند. با توجه به فاصله این ناحیه از خط ساحلی و میزان ژرفای محیط به طور کلی این محدوده از انرژی محیطی کمی برخوردار می‌باشد (Kholodov and Lisitsina, 1989). رسوبات تشکیل شده در محیط رسوب‌گذاری فراساحلی (Offshore) دارای میانگین درصد فراوانی ذرات رسوبی گراول ۱۱/۰ درصد، ذرات رسوبی ماسه ۶۴/۳ درصد و ذرات رسوبی گل ۲۵/۹۶ است.

با انجام تغییراتی در مدل ارائه شده توسط سو (Coe et al., 2003)، بخش‌های گوناگون فلات قاره دریای کاسپین جنوبی مطابق شکل ۱۲ طبقه‌بندی شده است.

- پهنه پس کرانه‌ای (Backshore Zone): منطقه‌ای که از انتهای پهنه پیش کرانه‌ای شروع و به سمت خشکی تا ناحیه‌ای که رشد گیاهان در آن بیشتری است ادامه می‌یابد (Coe et al., 2003). در دریای کاسپین جنوبی، این منطقه به دلیل ناچیز بودن جریان‌های جزر و مدی از موقعیت خط ساحلی شروع می‌شود (شکل ۱۲) و وسعت این ناحیه با توجه به شیب بخش بستر دریا و ساحل و همچنین شدت توفان‌های دریایی متفاوت است و از پهنای ۵۰ متر تا ۲۰۰ متر در طول خط ساحلی کاسپین جنوبی متغیر است (شکل ۱۳).

- پهنه پیش کرانه‌ای (Foresore Zone): بخشی از شیب ساحلی است که در زیر آب قرار دارد و این منطقه در دریای کاسپین جنوبی نیز به دلیل نبود جریان‌های جزر و مد بسیار باریک است به‌طوری‌که می‌توان از پهنای آن چشم‌پوشی کرد (شکل ۱۲).

- پهنه پیشانی ساحلی (Shoreface Zone): بخشی از منطقه ساحلی است که تنوع زیادی از رخساره‌های رسوبی در آن دیده می‌شود. گستره این ناحیه از ژرفای میانگین سطح تراز آب دریا شروع و به سمت حوضه دریایی تا ناحیه ژرفای پایه امواج در آب‌وهوای طبیعی (FWWB) ادامه پیدا می‌کند (شکل ۸). در منطقه موردبررسی، پهنه پیشانی ساحلی در محدوده ژرفای بین ۵/۰ تا ۸ متر قرار دارد. پهنای و گسترش آن از خط ساحلی به سمت حوضه دریا با توجه به شیب بستر دریا در بخش‌های مختلف متفاوت است. پهنای این ناحیه از کمینه میزان ۱/۳ کیلومتر در بخش‌های باختری و مرکزی تا بیشینه مقدار حدود ۲۰ کیلومتر در بخش‌های خاوری در نوسان است و بار رسوبی ته‌نشست شده در این ناحیه بیشتر به شکل بار بستر به محیط حمل و رسوب‌گذاری می‌کند. در دو ناحیه، پهنه پس کرانه‌ای و پهنه پیش کرانه‌ای بیشترین تاثیر فعالیت‌های تخریبی با منشأ انسانی دیده می‌شود که این فرایندهای فرسایشی غیر طبیعی بیشترین تغییرات در شکل خط ساحلی (Shore Line) ایجاد می‌کنند. نهشته‌های برجای گذاشته شده در محیط رسوب‌گذاری پیشانی ساحلی (Shoreface) دارای میانگین درصد فراوانی ذرات رسوبی گراول ۶۳/۳ درصد، ماسه ۱۳/۶۶ درصد و ذرات رسوبی ریزدانه یا گل ۲۴/۳۰ درصد است. در پهنه پیشانی ساحلی چگونگی حمل و نقل ذرات رسوبی و نحوه پراکنش رخساره‌های رسوبی بیشتر تحت‌تاثیر انرژی امواج، جریان‌های دریایی موازی با



شکل ۱۲ - تقسیم‌بندی عمومی مناطق گوناگون محیط رسوبی دریایی در ناحیه کاسپین جنوبی.

Figure 12. General classification of different areas of the marine sedimentary environment in the South Caspian region



شکل ۱۳- ناحیه پس کرانه‌ای در کاسپین جنوبی.

Figure 13. Backshore Zone in the South Caspian.

۲-۴- رسوب‌شناسی

به‌طور عمومی ذرات رسوبی گراولی و ماسه‌ای با در نظر گرفتن انرژی محیط رسوب‌گذاری در بخش‌های ساحلی و کم‌ژرفا ته‌نشست می‌شوند و با افزایش ژرفا و رسیدن به ژرفای متوسط ذرات سیلت و سپس در مناطق ژرفای زیاد محیط رسوب‌گذاری ذرات رسوبی رس در محیط رسوبی دریایی نهشته می‌گردد (Kholodov and Lisitsina, 1989).

در چگونگی حمل و نقل، نحوه پراکنش ذرات رسوبی و نهشته شده آن‌ها بر روی بستر دریا در محیط رسوب‌گذاری کاسپین جنوبی عوامل گوناگونی نقش دارند که از مهم‌ترین آن‌ها جهت جریان بادهای چیره، جهت جریان‌های دریایی، جریان‌های حاصل از تغییرات شوری ستون آب می‌باشند (Bondarenko, 1994; Richardson, 2012).

ذرات گراولی این ناحیه از نظر جنس به سه شکل خرده سنگ، خرده پوسته صدف جانداران دریایی و خرده گیاهان دیده می‌شوند (شکل ۱۰). اجزا خرده سنگی همگی منشأ بیرون از محیطی (Extra environmental) دارند و به صورت بار بستر به محیط حمل شده‌اند به‌طوری‌که در بخش‌های مرکزی دریای کاسپین جنوبی در مناطقی همانند چالوس و یا رامسر، جنس غالب رسوبات در دو پهنه پس کرانه‌ای و پهنه پیشانی ساحلی ذرات گراولی می‌باشد (شکل ۱۴). در نحوه توزیع و پراکنش ذرات گراولی با جنس خرده سنگی بیشترین عامل میزان انرژی جریان‌های حاصل از امواج دریا است.

بخش دیگری از ذرات گراولی را قطعات گیاهی تشکیل می‌دهد که بخشی از این ذرات منشأ خارج محیط دارند و بخش از آن‌ها باقی‌مانده گیاهان تولید شده در محیط مانند جلبک‌ها هستند. ذرات زیستی از دیگر ذرات گراولی است که همگی آن‌ها دارای منشأ درون حوضه‌ای (Intra environmental) هستند.

عمده فراوانی ذرات رسوبی متوسط دانه (دانه‌های ماسه‌ای) از نظر جنس را خرده سنگ‌ها و خرده‌های پوسته صدف تشکیل می‌دهد. بیشترین فراوانی ذرات

ماسه‌ای از نظر اندازه ذرات در رده ماسه متوسط تا خیلی ریز قرار دارد. جورشدگی این ذرات در مناطق کم‌ژرفا (از خط ساحلی تا ۲۰ متر) در دسته‌بندی متوسط تا خوب قرار می‌گیرد (جدول ۶). در نواحی کم‌ژرفا، شاخص گردشدگی دانه‌های ماسه در دسته‌بندی دانه‌های زاویه‌دار تا گرد و همچنین از نظر شاخص کرویت در دسته‌بندی کرویت بالا قرار می‌گیرند (شکل ۱۵). رسوبات ماسه‌ای از نظر بلوغ (Maturity) به علت فراوانی بسیار کم دانه‌های رسوبی ریزدانه و داشتن جورشدگی و گردشدگی خوب دارای بلوغ بافتی (Textural Maturity) در رده بالغ قرار می‌گیرند (Folk, 1980).

در مورد ذرات ریزدانه نحوه فراوانی ذرات رسوبی ریز دانه بر اساس ژرفا این گونه است که در مناطق کم‌ژرفا (خط ساحلی تا ژرفای ۲۰ متر) ترتیب فراوانی آن‌ها شامل خرده سنگ، خرده صدف و کانی رسی است و در مناطق با ژرفای بیشتر از ۲۰ متر ترتیب فراوانی آن‌ها کانی رسی، خرده سنگ و خرد صدف است. انواع رخساره‌های رسوبی تشکیل شده و نحوه پراکنش آن‌ها توسط شاخص‌هایی همانند اندازه قطر ذرات، انرژی جریان‌های دریایی و تغییرات روند شیب بستر دریا کنترل می‌شود.

انرژی محیط حمل و نقلی (ویژگی‌های هیدرودینامیکی) اثرگذاری زیادی بر چگونگی و پراکنش ذرات رسوبی از نظر اندازه را، بر عهده دارد. به‌طور طبیعی با فاصله گرفتن از خط ساحلی (Shore Line)، کاهش انرژی محیط و کاسته شدن از قطر ذرات رسوبی ته‌نشست شده دیده می‌شود. البته در این بین می‌تواند حالت‌های غیرطبیعی نیز اتفاق بیفتد به این معنا که در بخش‌های با ژرفای زیاد، کم‌وبیش بر اثر عواملی مانند تغییرات ناگهانی در رژیم جریان‌های دریایی و یا عوامل زمین‌ساختی، ذرات درشت‌دانه یا متوسط دانه در این مناطق رسوب‌گذاری نماید. در اثر عملکرد جریان‌های دریایی سطحی (امواج دریا) یک حالت آشفته‌گی محیطی در ستون آب دریا ایجاد می‌شود که باعث حمل نقل ذرات رسوبی با قطرهای گوناگون شوند و

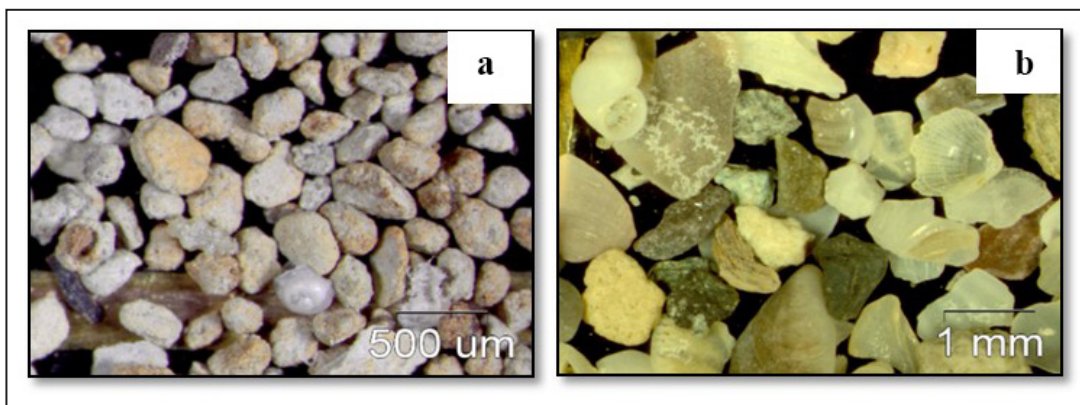
در شکل‌گیری فیزیوگرافی بستر دریا نقش مهمی دارند و پیامد این عوامل نهشته شدن رخساره‌های گوناگون در فضای رسوب‌گذاری موجود است. در نهشته‌های فلات قاره کاسپین جنوبی در بخش‌های باختری (محدوده آستارا تا رودسر) و مرکزی (رودسر تا ساری) فراوانی ذرات آواری به مراتب بیشتر از بخش خاوری (ساری تا بندر ترکمن) است و در بخش خاوری فراوانی ذرات ریز دانه از دو بخش دیگر بیشتر است (شکل ۱۶).

در نتیجه در برخی مناطق حالت جورشدگی هیدرولیکی را در بستر دریا تولید می‌کند، که همین موضوع نقش مهمی در تولید و باز تولید انواع رخساره‌های رسوبی دارد. روند تغییرات شیب بستر دریا در یک ناحیه نسبت به ناحیه دیگر، با ایجاد تفاوت در میزان حجم فضای رسوب‌گذاری (Accommodation space) در به وجود آمدن رخساره‌های رسوبی گوناگون تاثیرگذار است. یکی از شاخص‌ترین عوامل موثر فعالیت‌های زمین‌ساختی است که با ایجاد ساختارهایی از نوع کششی و یا فشارشی



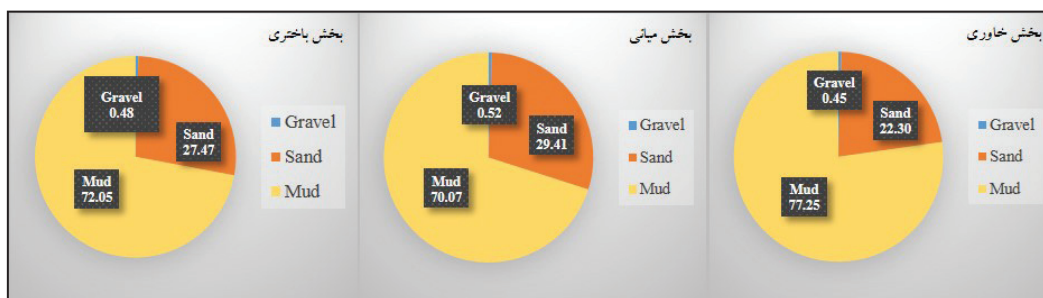
شکل ۱۴- نمای عمومی از ذرات گراولی در بخش‌های پس کرانه‌ای و پیشانی ساحلی.

Figure 14. General view of gravel particles in the backshore and foreshore sections.



شکل ۱۵ - سازه‌های دانه‌های ماسه‌ای، (a) دانه‌های ماسه‌ای در ژرفای ۲۰۰-۳۰۰ متر؛ (b) دانه‌های ماسه‌ای در ژرفای کمتر از ۲۰ متر.

Figure 15. Component of sand size, a) sand grain at a depth of 20300- m; b) sand grain at a depth of less than 20 m.



شکل ۱۶- تغییرات درصد فراوانی ذرات رسوبی در سه بخش خاوری، میانی و باختری کاسپین جنوبی.

Figure 16. Changes in the abundance percentage of sediment particles in the three eastern, middle and western parts of the South Caspian

جدول ۶- درصد فراوانی پراکنش دانه‌های ماسه‌ای و ویژگی‌های آن‌ها بر اساس ژرفا.

Table 6. The percentage of the distribution of sand grains and their characteristics based on depth.

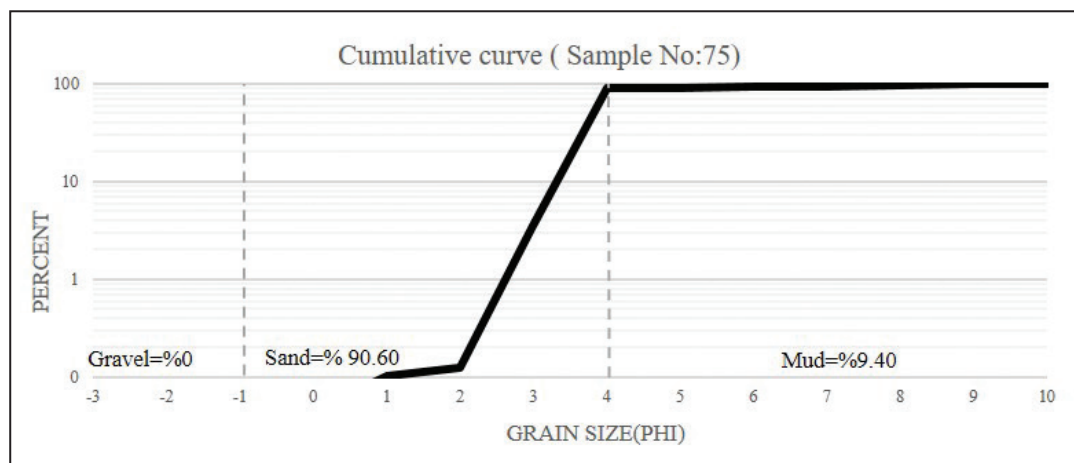
ژرفا (متر)	بیشینه فراوانی	میانگین فراوانی	توصیف
۲۰ - ۰	۹۷ %	۷۱ %	الف) بیشترین فراوانی دانه‌های ماسه تا ژرفای ۸ متری و از ژرفای ۱۲ متری کمتر از ۲۰ درصد است. ب) جورشدگی در رده متوسط تا خوب جور شده است. پ) جنس ذرات ماسه‌ای از خرده‌سنگ، خرده پوسته صدف و قطعات گیاهی تشکیل شده است. ت) بیشترین فراوانی اندازه ذرات ماسه‌ای در رده ذرات ماسه‌ای متوسط تا بسیار ریز است. ث) منحنی توزیع نرمال داده‌ها: نزدیک به توزیع است و در برخی مناطق منحنی توزیع چولگی مثبت را نمایش می‌دهد.
۳۰۰ - ۲۰	۳/۵ %	۱۳ %	ت) بیشترین فراوانی اندازه ذرات ماسه‌ای در رده ذرات ماسه‌ای بسیار ریز است. گردشدگی ذرات رسوبی در رده گرد شده تا خوب گرد شده است.

۳-۴- نوع و ویژگی‌های رخساره رسوبی

در نهشته‌های سطحی بستر دریا در منطقه مورد مطالعه با توجه به میزان فراوانی دانه‌های سازنده رسوبات (گراول، ماسه، گل) تعداد ۹ رخساره رسوبی اصلی شناسایی شده است.

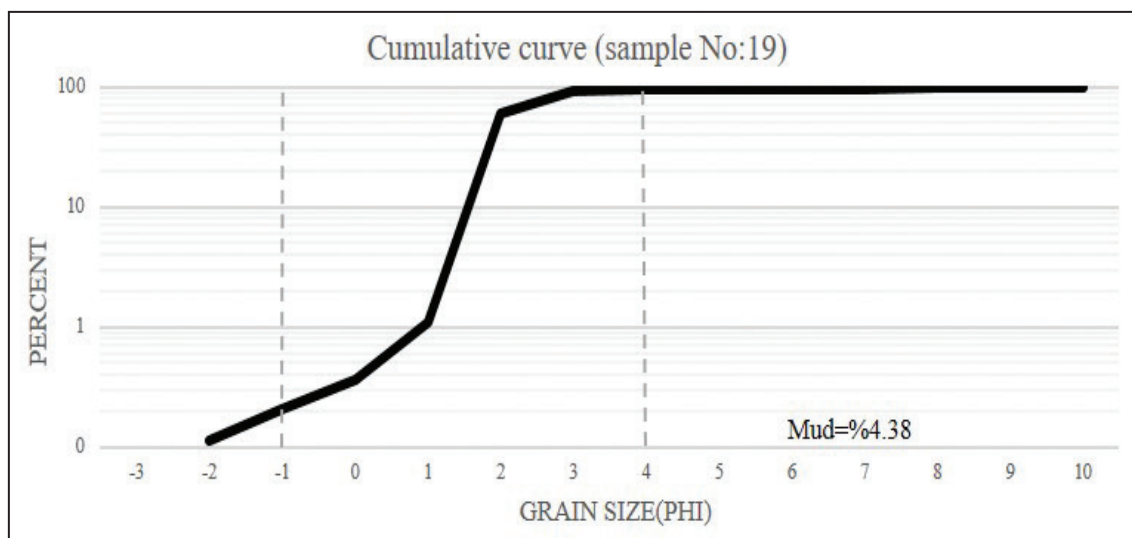
– رخساره ماسه‌ای (Sand Facies [S]): پراکنش دانه‌های ماسه‌ای در ناحیه جنوبی دریای کاسپین تشکیل دهنده یک پهنه مستقل در نوار حاشیه‌ای خط ساحلی دریای کاسپین است که وسعت گسترش این ذرات رسوبی در روی بستر دریا در بخش‌های گوناگون متفاوت است به طوری که در نواحی باختری و مرکزی این ذرات رسوبی تا ژرفای ۸ تا ۱۰ متری قابل مشاهده است اما با حرکت به سمت خاور از پهنای پراکنش رخساره رسوبی ماسه‌ای کاسته می‌شود. این موضوع را می‌توان در نواحی نزدیکی مصب رودخانه گرگان‌رود مشاهده کرد که بیشتر ترکیب سازنده‌های رسوبی را ذرات دانه‌ریز و در حد سیلت و رس می‌باشد. شکل منحنی توزیع ذرات رسوبی در رخساره ماسه‌ای در محدوده ژرفای صفر تا حدود ۷ متر دارای یک شکل منحنی توزیع ذرات رسوبی کم‌ویش عادی است، به طوری که در برخی نمونه‌ها مقدار عددی شاخص‌های آماری اندازه قطر میانه و میانگین ذرات رسوبی به یکدیگر بسیار نزدیک است. همین موضوع دلیل وجود جورشدگی خوب تا متوسط در این رخساره رسوبی می‌باشد (جدول ۷). از ژرفای حدود ۷ متر به بعد منحنی توزیع ذرات رسوبی

به سمت مثبت (دانه‌ریز) چولگی پیدا می‌کند (شکل ۱۷).
– رخساره ماسه با کمی گراول: (slightly gravelly Sand Facies [(g)S]) این رخساره در بیشتر مناطق بستر دریا دیده می‌شوند و دانه‌های در اندازه گراول موجود در این پهنه را قطعات صدف و در بعضی نواحی دانه‌های گراول از خرده‌سنگ تشکیل می‌دهند. از نظر ژرفا حضور پراکنش این رخساره همانند پهنه رخساره‌ای ماسه‌ای می‌باشد. قطر میانه ذرات در این رخساره در رده ماسه ریز (جدول ۸) و قطر میانگین دانه‌های نهشته شده در این پهنه در رده ماسه خیلی ریز است (Folk, 1980). جورشدگی رسوبات این پهنه در رده جورشدگی متوسط است. ژرفای پراکنش رخساره ماسه با کمی گراول در محدوده ژرفای صفر تا حدود ژرفای ۱۰ متر دیده می‌شود که با توجه به منحنی‌های تجمعی این رخساره از نظر فرایند حمل و نقل به‌طور کلی این گونه است که در حدود ۵/۰ درصد ذرات رسوبی به شکل غلتیدن و سر خوردن به محیط رسوبی حمل شده‌اند و در حدود ۹۰ درصد وزنی ذرات رسوبی متوسط دانه به شکل جهشی حمل و نقل شده‌اند. در ترکیب این رخساره رسوبی در برخی مناطق ذرات رسوبی ریزدانه نیز دیده می‌شود (شکل ۱۸) که در بیشینه فراوانی درصد وزنی آن‌ها ۵/۹ درصد است که به صورت معلق به محیط رسوبی حمل و سپس ته‌نشست می‌شوند.



شکل ۱۷ - منحنی توزیع فراوانی ذرات رسوبی در رخساره ماسه‌ای.

Figure 17. The frequency distribution curve of sedimentary particles in the Sand facies



شکل ۱۸- منحنی توزیع فراوانی ذرات رسوبی در رخساره ماسه با کمی گراول.

Figure 18. The frequency distribution curve of sedimentary particles in the slightly gravelly Sand facies

جدول ۷- شاخص‌های آماری رسوب‌شناسی رخسار ماسه‌ای.

Table 7. Sedimentary statistical index of sand facies.

مقدار / توصیف	شاخصه آماری
3.14Φ (Very fine sand size)	میانگین
2.01Φ (Fine sand size)	میانه
Well to Moderately Sorted	جورشدگی
Near Symmetrical	چولگی
Mesokurtic	کشیدگی

جدول ۸- شاخص‌های آماری رسوب‌شناسی رخسار ماسه با کمی گراول.

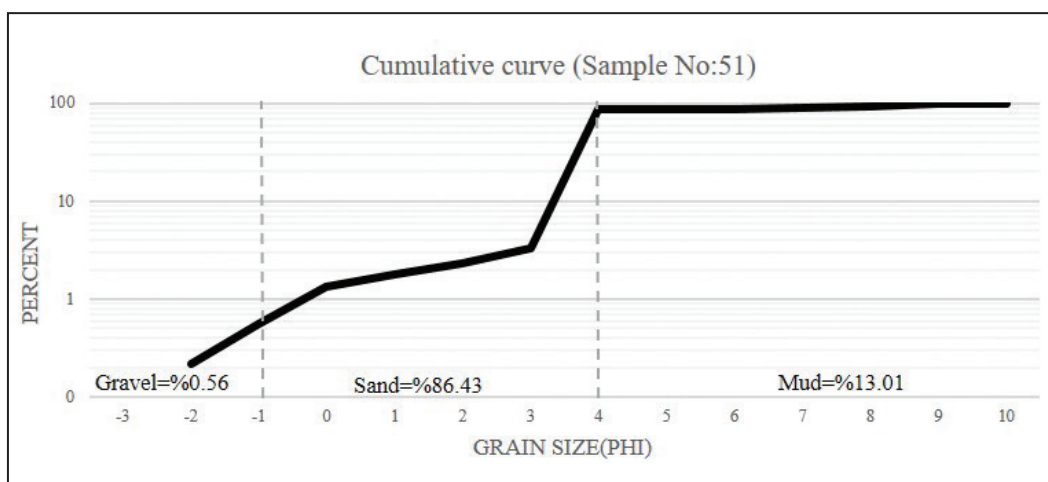
Table 8. Sedimentary statistical index of slightly gravelly Sand facies

مقدار / توصیف	شاخصه آماری
3.03Φ (Very Fine sand size)	میانگین
2.94Φ (Fine sand size)	میانه
Medium sorted	جورشدگی
Near Symmetrical	چولگی
Mesokurtic	کشیدگی

تا ۰/۵ درصد وزنی ترکیب رخصاره را ذرات درشت‌دانه (گراول) تشکیل می‌دهند. - رخصاره ماسه گلی (muddy Sand Facies [mS]): اجزای رسوبی این رخصاره از نظر اندازه در دو بخش قرار می‌گیرند یکی دانه‌های نهشته شده در اندازه ماسه که بیشترین درصد فراوانی وزنی را دارند (بین ۵۹٪ تا ۸۵٪) و دیگری، دانه‌های در اندازه گل است که فراوانی آن‌ها از ۱۲ درصد تا ۴۷ درصد وزنی را در این رخصاره رسوبی متفاوت است. با بررسی‌های میدانی ژرفای پراکنش این رخصاره از کمینه ژرفای ۱ متر شروع و تا بیشینه ژرفای ۲۰ متر ادامه پیدا می‌کند. همچنین با اندازه‌گیری‌های بافت رسوبی این پهنه معلوم می‌شود که ذرات رسوبی از دیدگاه جورشدگی ضعیف هستند (جدول ۱۰)، اندازه میانگین در حد ماسه بسیار ریز و میانه ذرات در حد ماسه‌ریز قرار دارند. با توجه به منحنی‌های تجمعی رخصاره ماسه گلی (شکل ۲۰) به طور میانگین در حدود ۲۰ درصد فراوانی وزنی ذرات رسوبی در محیط رسوب‌گذاری به شکل معلق و در حدود ۸۰ درصد به صورت جهشی در محیط حرکت و ته‌نشست می‌شوند.

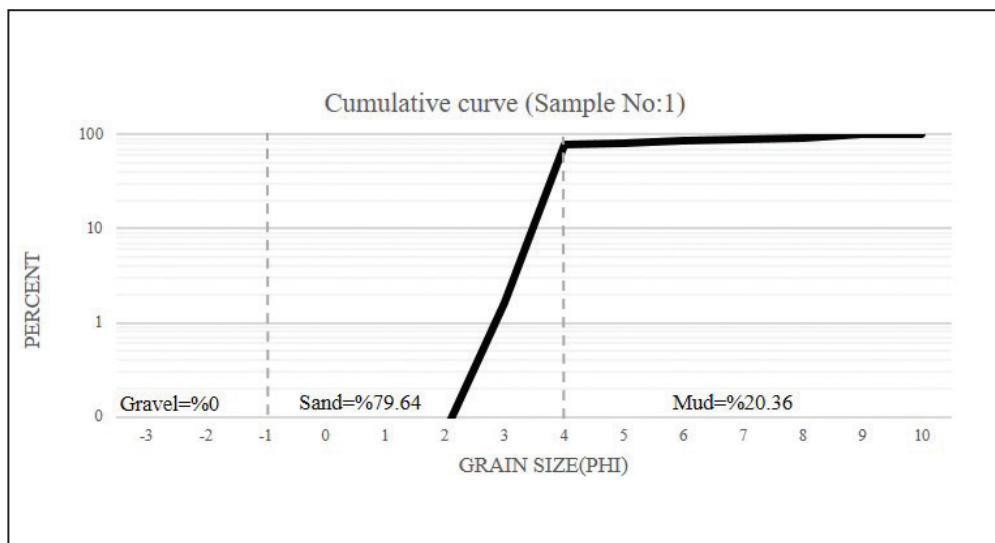
- رخصاره ماسه گلی با کمی گراولی (slightly gravelly muddy Sand [(g)mS]): نهشته‌های این نوع رخصاره رسوبی از کمینه ژرفای ۳/۵ متر و تا بیشینه ژرفای ۲۰ متر دیده می‌شود و ذرات گراولی آن‌ها را بیشتر خرده صدف، صدف کامل و یا خرده چوب تشکیل شده است. اندازه قطر میانه ذرات در رده ماسه خیلی ریز و قطر میانگین دانه‌های نهشته شده در این پهنه در رده سیلت درشت است (جدول ۹). جورشدگی رسوبات این پهنه در رده ضعیف تا بسیار ضعیف قرار می‌گیرد. از نظر کج‌شدگی یا چولگی منحنی چگونگی نهشته‌های این رخصاره چولگی مثبت یا راست را نشان می‌دهد. منحنی توزیع این رخصاره به سمت دانه ریز تا خیلی ریز تمایل دارد (Folk, 1980).

با توجه به منحنی‌های تجمعی رخصاره ماسه گلی با کمی گراول (شکل ۱۹) فراوانی درصد وزنی ذرات ماسه در این رخصاره بین ۶۵ درصد تا ۸۹ درصد متغیر است. همچنین درصد فراوانی وزنی ذرات ریزدانه (گل) بین ۴/۵ درصد تا ۳۰ درصد متفاوت است که این ذرات به شکل معلق در محیط جابه‌جا می‌شوند. در حدود ۰/۲



شکل ۱۹ - منحنی توزیع فراوانی ذرات رسوبی در رخصاره ماسه گلی با کمی گراول.

Figure 19. The frequency distribution curve of sedimentary particles in the slightly gravelly muddy Sand facies.



شکل ۲۰ - منحنی توزیع فراوانی ذرات رسوبی در رخصاره ماسه گلی.

Figure 20. The frequency distribution curve of sedimentary particles in the muddy Sand facies

جدول ۹- شاخص‌های آماری رسوب شناسی رخسار ماسه گلی با کمی گراول.

Table 9. Sedimentary statistical index of slightly gravelly muddy Sand facies

شاخصه آماری	مقدار / توصیف
میانگین	5Φ (Coarse Silt size)
میانه	3.6Φ (Very Fine sand size)
جورشدگی	Poorly to Very poorly sorted
چولگی	Strongly fine or fine skewed
کشیدگی	Platykurtic or Mesokurtic

جدول ۱۰- شاخص‌های آماری رسوب شناسی رخسار ماسه گلی.

Table 10. Sedimentary statistical index of muddy Sand facies.

شاخصه آماری	مقدار / توصیف
میانگین	4.15Φ (Very Fine sand size)
میانه	3.62Φ (Fine sand size)
جورشدگی	Poorly sorted
چولگی	Strongly fine skewed
کشیدگی	Mesokurtic

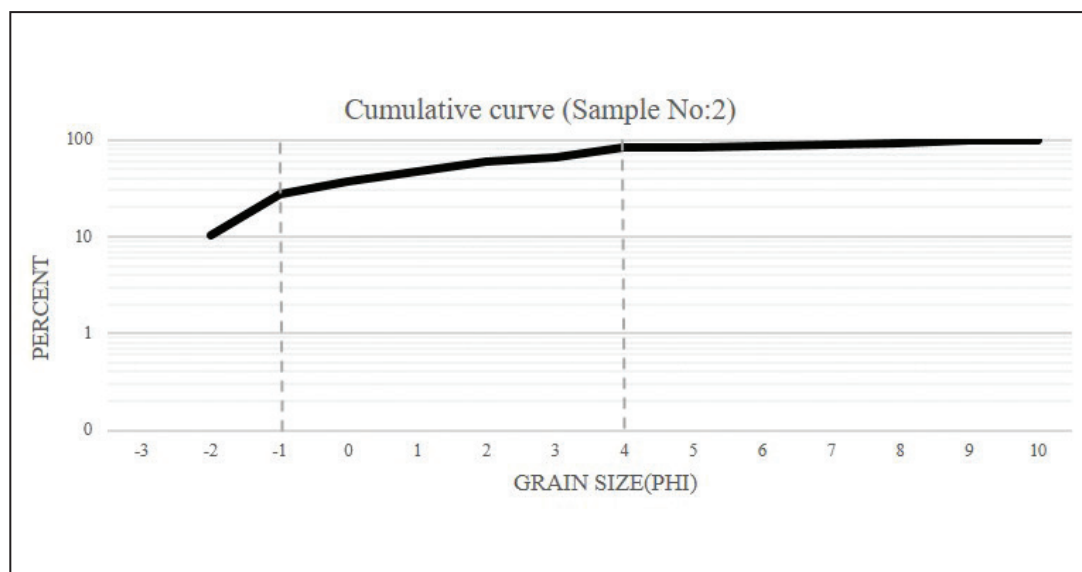
تجمعی (شکل ۲۱) در پهنه‌های رخساره ماسه گلی گراول‌دار به طور میانگین حدود ۱۰ درصد وزنی دانه‌ها متعلق به ذرات رسوبی درشت دانه، حدود ۲۰ درصد وزنی را ذرات رسوبی ریزدانه و حدود ۷۰ درصد وزنی شامل ذرات رسوبی متوسط دانه یا ماسه‌ای می‌شود.

- رخساره گل ماسه‌ای با کمی گراول (slightly gravelly sandy Mud [(g)sM]): این نوع رخساره را در محدوده ژرفای ۳ متر تا ۶۰ متر می‌توان مشاهده کرد و بیشتر قطعات گراولی را پوسته صدف تشکیل می‌دهد. قطر میانه و میانگین دانه‌های نهشته شده در این پهنه در رده سیلت متوسط است (جدول ۱۲) و جورشدگی رسوبات این پهنه در رده ضعیف تا خیلی ضعیف قرار می‌گیرد (Folk, 1980).

با توجه به منحنی‌های تجمعی (شکل ۲۲) درصد میانگین فراوانی وزنی اجزای سازنده این رخساره این گونه است که در حدود ۸ درصد تا ۳۰ درصد دانه‌های رسوبی را اجزای ماسه‌ای (متوسط دانه) و حدود ۷۰ درصد تا ۸۹ درصد را از اجزای ریز دانه یا گل و ذرات درشت‌دانه (گراول) با میانگین فراوانی در حدود ۰/۳ درصد تا ۱/۵ درصد تشکیل می‌دهند.

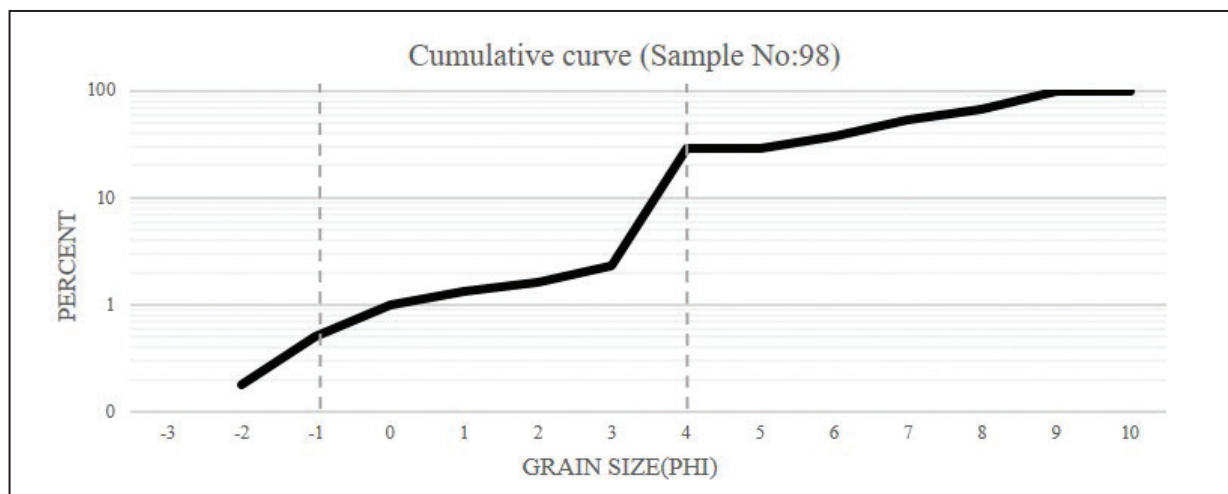
- رخساره ماسه گلی گراولی (gravelly muddy Sand Facies [gmS]): اجزای رسوبی این رخساره از نظر قطر اندازه ذرات در سه رده اندازه قرار می‌گیرند، بیشترین درصد فراوانی دانه‌های نهشته شده این رخساره در اندازه ذرات رسوبی ماسه (متوسط دانه) قرار دارد. ذرات رسوبی در ابعاد گل (ریزدانه) دومین درصد فراوانی را دارند و ذرات رسوبی درشت دانه (گراول) کمترین درصد فراوانی اجزای سازنده این رخساره رسوبی را تشکیل می‌دهند. ژرفای پراکنش این پهنه از کمینه ژرفای ۲ متر تا بیشینه ژرفای ۲۰ متر قرار دارد و بیشتر در نواحی مصب رودخانه‌ها، دیده می‌شوند.

همچنین در برخی مناطق از بستر دریا با افزایش مقدار رشد جانوران کف‌زی دریایی و باقی ماندن پوسته این جانوران در بین رسوبات دریایی به صورت محدوده‌های لکه‌ای با وسعت‌های گوناگون تشکیل می‌گردند. با اندازه‌گیری های بافت رسوبی این رخساره مشخص می‌شود که ذرات رسوبی از دیدگاه جورشدگی در رده خیلی ضعیف جور شده است (جدول ۱۱) و اندازه میانگین در حد ماسه متوسط و میانه ذرات در حد ماسه متوسط قرار دارند (Folk, 1980). با توجه به منحنی‌های



شکل ۲۱- منحنی توزیع فراوانی ذرات رسوبی در رخساره ماسه گلی گراولی.

Figure 21. The frequency distribution curve of sedimentary particles in the gravelly muddy Sand facies.



شکل ۲۲ - منحنی توزیع فراوانی ذرات رسوبی در رخساره گل ماسه‌ای با کمی گراول.

Figure 22. The frequency distribution curve of sedimentary particles in the slightly gravel sandy Mud facies

جدول ۱۱- شاخص‌های آماری رسوب‌شناسی رخسار ماسه گلی گراولی.

Table 11. Sedimentary statistical index of gravelly muddy Sand facies.

مقدار / توصیف	شاخص آماری
2.55Φ (Medium sand size)	میانگین
2.29Φ (Medium sand size)	میانه
Very poorly sorted	جورشدگی
Fine skewed / Near Symmetrical	چولگی
Platykurtic	کشیدگی

جدول ۱۲- شاخص‌های آماری رسوب‌شناسی رخسار گل ماسه‌ای با کمی گراول.

Table 12. Sedimentary statistical index of slightly gravelly sandy Mud facies.

مقدار / توصیف	شاخص آماری
6.33Φ (Medium Silt size)	میانگین
6.60Φ (Medium Silt size)	میانه
Poorly to Very poorly sorted	جورشدگی
Coarse Skewed	چولگی
Very Platykurtic / Platykurtic	کشیدگی

با بررسی‌های میدانی ژرفای پراکنش این پهنه از کمینه ژرفای ۴ متر تا بیشینه ژرفای ۵۵ متر قرار دارد و بیشتر در مناطقی دیده می‌شود که سطح اثر انرژی امواج کمترین تاثیر دارد، از طرفی با اندازه‌گیره‌های بافت رسوبی این پهنه مشخص می‌شود (جدول ۱۳) که ذرات رسوبی از دیدگاه شاخص جورشدگی در رده ضعیف تا بسیار ضعیف هستند و همچنین اندازه میانگین و میانه اندازه ذرات در حد سیلت متوسط دانه قرار دارد (Folk, 1980).

- رخساره گل با کمی گراولی (slightly gravelly Mud [(g)M]): اجزای رسوبی این رخساره از نظر اندازه از دو بخش تشکیل شده است، دانه‌های نهشته شده در اندازه گل (سیلت و رس) که بیشترین درصد وزنی را اشغال می‌کنند به همراه ذراتی در اندازه گراول، با این تاکید که قطعات درشت‌تر از ۲ میلی‌متر را قطعات زیستی یا پوسته صدف تشکیل می‌دهند و اجزای سنگی را بیشتر در ژرفاهای کم می‌توان دید.

جدول ۱۳- شاخص‌های آماری رسوب شناسی رخساره گل کمی گراول.

Table 13. Sedimentary statistical index of slightly gravelly Mud facies.

شاخصه آماری	مقدار / توصیف
میانگین	7.49 (Medium Silt size)
میانه	7.43 (Medium Silt size)
جورشدگی	Poorly to Very poorly sorted
چولگی	Near Symmetrical
کشیدگی	Platykurtic / Mesokurtic

میانگین ذرات رسوبی این رخساره در رده سیلت درشت و مقدار میانه ذرات رسوبی در حد سیلت متوسط‌دانه قرار دارند (Folk, 1980).
با توجه به منحنی‌های تجمعی رخساره گل ماسه‌ای (شکل ۲۴)، به شکل میانگین در حدود ۱۶ درصد ذرات سازنده این رخساره را ذرات رسوبی گلی و حدود ۸۴ درصد دانه‌های رخساره گل ماسه‌ای را دانه‌های ماسه‌ای تشکیل می‌دهند.

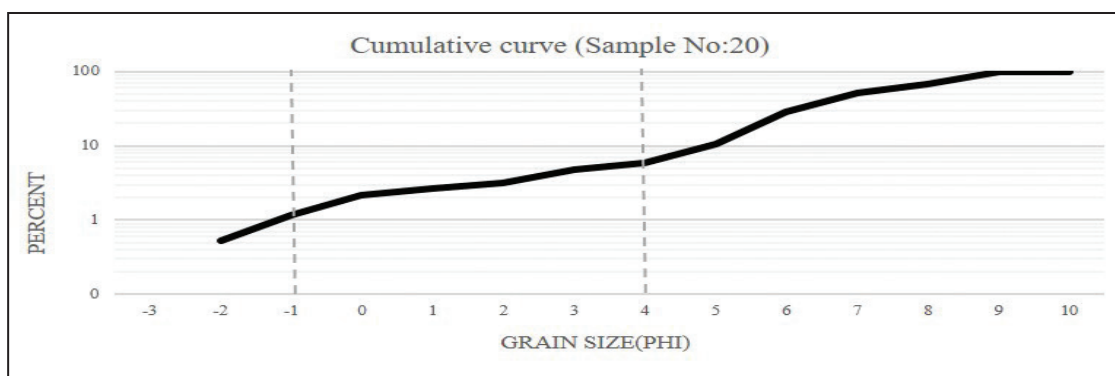
رخساره گل (Mud Facies [M]): بیشترین فراوانی اجزای رسوبی این رخساره از نظر قطر اندازه ذرات رسوبی در رده گل (سیلت + رس) قرار دارند. ژرفای پراکنش این رخساره رسوبی از کمینه ژرفای ۶/۵ متر شروع و تا بیشینه ژرفای ۳۰۰ متر ادامه دارد. با اندازه‌گیری‌های بافت رسوبی (جدول ۱۵) این رخساره مشخص می‌شود که ذرات رسوبی از دیدگاه جورشدگی ضعیف تا بسیار ضعیف هستند، اندازه میانگین ذرات این رخساره رسوبی در اندازه سیلت ریز و شاخص میانه ذرات در اندازه سیلت خیلی ریزدانه قرار دارد (Folk, 1980).

با توجه به منحنی‌های تجمعی پهنه رخساره گلی، بیش از ۹۰ درصد سازنده‌های این رخساره در رده اندازه ذرات رسوبی ریزدانه قرار می‌گیرد (شکل ۲۵) و کمتر از ۱۰ درصد سازنده‌های این رخساره را ذرات رسوبی متوسط‌دانه یا درشت‌دانه تشکیل می‌دهد.

با توجه به منحنی‌های تجمعی رخساره گل با کمی گراول مقدار میانگین فراوانی وزنی ذرات درشت‌دانه بین ۱/۵ درصد تا ۳ درصد متغیر است و فراوانی وزنی میانگین ذرات ریزدانه یا گل بین ۹۱ درصد تا ۹۸ درصد است (شکل ۲۳).

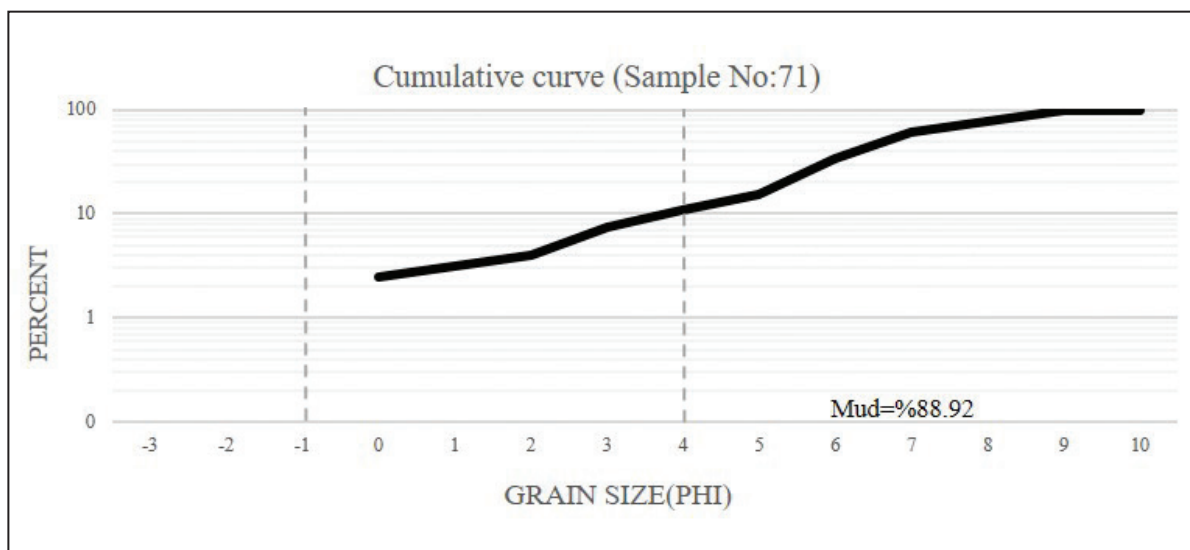
رخساره گل ماسه‌ای (sandy Mud Facies [sM]): اجزای رسوبی رخساره گل ماسه‌ای از نظر اندازه در دو بخش قرار می‌گیرند، دانه‌های نهشته شده در اندازه گل که بیشترین درصد وزنی را اشغال می‌کنند به همراه ذراتی در اندازه قطر ماسه که اجزای سازنده این رخساره رسوبی را تشکیل می‌دهند. میانگین درصد فراوانی وزنی ذرات ریزدانه بین ۸۵ درصد تا ۸۷ درصد و ذرات ماسه‌ای بین ۱۳ درصد تا ۱۵ درصد متغیر است.

ژرفای پراکنش این پهنه از کمینه ژرفای ۸ متر تا بیشینه ژرفای ۵۰ متر قرار دارد و بیشتر در نواحی دهانه رودخانه‌ها دیده می‌شود. این رخساره را به‌ویژه در ناحیه خاوری دریای کاسپین جنوبی و در منطقه گرگان‌رود با گسترده‌گی زیاد قابل مشاهده است. با اندازه‌گیری‌های بافت رسوبی (جدول ۱۴) این رخساره مشخص می‌شود که ذرات رسوبی از دارای جورشدگی ضعیف تا بسیار ضعیف هستند، اندازه قطر



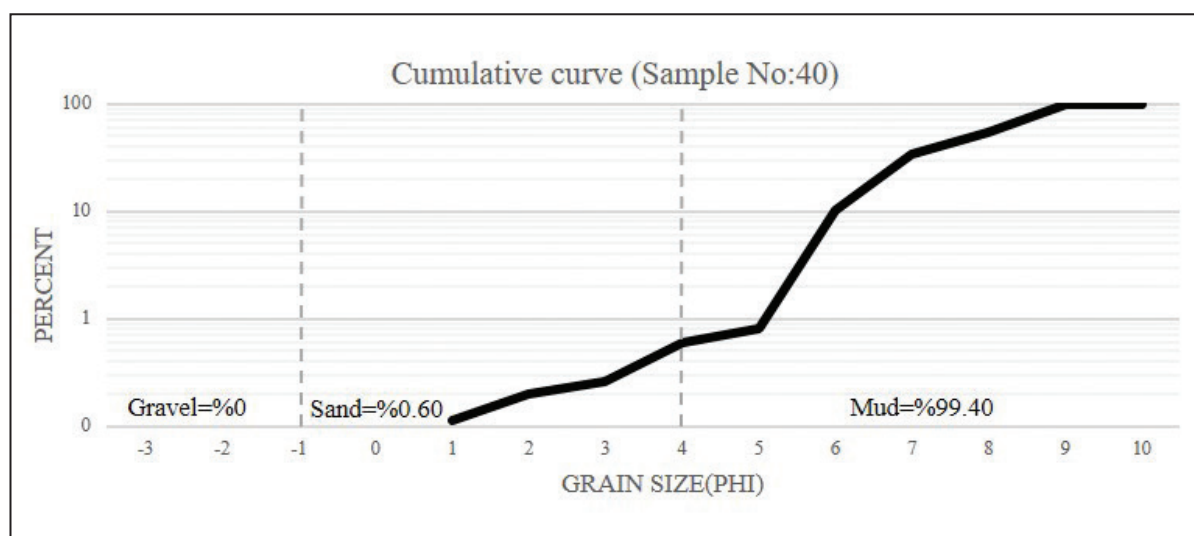
شکل ۲۳- منحنی توزیع فراوانی ذرات رسوبی در رخساره گل کمی گراول.

Figure 23. The frequency distribution curve of sedimentary particles in the slightly gravelly Mud facies.



شکل ۲۴- منحنی توزیع فراوانی ذرات رسوبی در رخساره گل ماسه‌ای.

Figure 24. The frequency distribution curve of sedimentary particles in the sandy Mud facies.



شکل ۲۵- منحنی توزیع فراوانی ذرات رسوبی در رخساره گل.

Figure 25. The frequency distribution curve of sedimentary particles in the Mud facies.

جدول ۱۴- شاخص‌های آماری رسوب‌شناسی رخسار گل ماسه‌ای.

Table 14. Sedimentary statistical index of sandy Mud facies.

مقدار / توصیف	شاخص آماری
5.80 (Corse Silt size)	میانگین
6.13 (Medium Silt size)	میانه
Poorly to Very poorly sorted	جورشدگی
Near Symmetrical	چولگی
Platykurtic	کشیدگی

جدول ۱۵- شاخص‌های آماری رسوب‌شناسی رخسار گل.

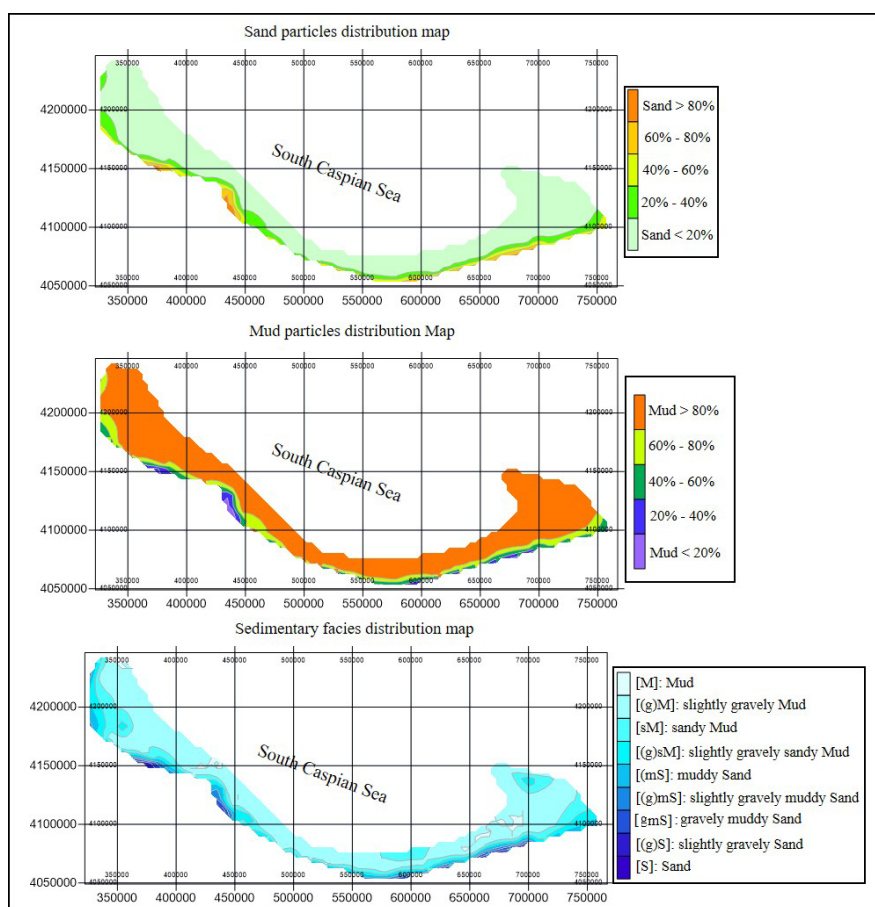
Table 15. Sedimentary statistical index of Mud facies

مقدار / توصیف	شاخص آماری
7.64 (Fine Silt size)	میانگین
8.07 (Very Fine Silt size)	میانه
Poorly to Very poorly sorted	جور شدگی
Coarse Skewed	چولگی
Platykurtic	کشیدگی

۴-۴- پراکنش ذرات رسوبی و رخساره‌ها

انتهایی خاوری نزدیک میزان ذرات ریزدانه در رسوبات افزایش می‌یابد. الگوی پراکنش رخساره‌های رسوبی در این ناحیه نمایشگر وجود تمرکز رخساره‌های ریزدانه (رخساره‌های گلی) در بخش خاوری و فراوانی رخساره‌های متوسط‌دانه (رخساره‌های ماسه‌ای) در بخش‌های میانی و باختری است (شکل ۲۶). منطقه با ژرفای زیاد، ناحیه مصب رودخانه سفیدرود در بخش باختری و رودخانه‌های تاج و تَلار در بخش خاوری، نوارهایی از رخساره گلی [M] دیده می‌شود که در نتیجه عملکرد تأثیرگذاری جریان‌های دریایی در منطقه است. برای پاسخ کامل احتیاج به بررسی‌های جامع‌تری است.

نحوه پراکنش ذرات رسوبی ریز دانه با ذرات متوسط و درشت دانه متفاوت است، ذرات رسوبی ماسه‌ای بیشترین تمرکز را در مناطق کم ژرفای بخش‌های مرکزی و باختری به‌ویژه در محیط‌های دلتایی و پیشانی ساحلی دارند و هرچه بر ژرفای آب دریا افزوده می‌شود از درصد فراوانی ذرات ماسه‌ای کاسته می‌گردد (شکل ۲۶). رسوبات ریزدانه (گل) نهشته شده در ناحیه مورد مطالعه تابع انرژی محیط و مقدار بار رسوبی حمل شده به محیط رسوب‌گذاری است به گونه‌ای که در مناطق کم ژرفای بخش‌های میانی و باختری به علت بیشتر بودن بار رسوبی ماسه‌ای فراوانی نهشته‌های ریزدانه به مراتب کمتر از بخش خاوری است (شکل ۲۶) و هرچه به بخش



شکل ۲۶- الگوی پراکنش ذرات رسوبی، a) ماسه؛ b) گل و ج) رخساره‌های رسوبی در نهشته‌های فلات قاره دریای کاسپین جنوبی.

Figure 26. Distribution pattern of sedimentary particles, a) sand; b) mud and c) sedimentary facies in the deposits of the continental shelf of the South Caspian Sea.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها در محدوده فلات قاره کاسپین جنوبی (تا بیشینه ژرفای ۲۰۰ متر) مشخص می‌کند که ۹ رخساره رسوبی بیشترین فراوانی را در نهشته‌های برجای گذاشته شده عهد حاضر دارند. این رخساره‌ها با یکدیگر یک مرز تدریجی دارند و عبور از یک رخساره به رخساره دیگر ناگهانی نیست.

۹ رخساره‌های رسوبی نهشته شده در سکوی قاره‌ای بخش جنوبی دریای کاسپین بر اساس طبقه‌بندی فولک ۱۹۸۰ عبارت است از:

۱) ماسه گلی گراولی [gmS]، ۲) ماسه باکمی گراول [gS]، ۳) ماسه گلی باکمی گراول [(g)ms]، ۴) ماسه [S]، ۵) ماسه گلی [mS]، ۶) گل [M]، ۷) گل ماسه‌ای باکمی گراول [(g)sM]، ۸) گل باکمی گراول [(g)M]، ۹) گل ماسه‌ای [sM]

نهشته‌های برجای گذاشته شده در روی پهنای بستر سکوی قاره‌ای دریای کاسپین جنوبی از نظر اندازه ذرات رسوبی به طور میانگین از ۱ درصد وزنی ذرات درشت‌دانه (گراول)، ۲۵ درصد وزنی ذرات متوسط دانه (ماسه) و حدود ۷۴ درصد وزنی ذرات ریزدانه (گل) تشکیل شده است. در بین قطر ذرات رسوبی نهشته شده در بستر دریا، در رخساره‌های نوع ماسه‌ای ذرات رسوبی در رده اندازه ماسه متوسط تا ماسه بسیار ریز و در رخساره‌های نوع گلی ذرات رسوبی در اندازه سیلت متوسط تا سیلت ریز فراوانی دارند. بیشترین فراوانی اجزای سازنده رسوبات در اندازه ذرات گراولی (۴ mm تا ۲ mm) شامل قطعات تخریبی و در اندازه ذرات ماسه‌ای از قطعات زیستی است.

در ناحیه مورد مطالعه رسوب‌گذاری اصلی در سه بخش، پیشانی ساحلی در محدوده ژرفای ۰/۵ متر تا ۱۰ متر، ناحیه انتقالی فراساحلی که بین ژرفای ۱۰ متر تا ۲۵ متر و ناحیه فراساحلی که از ژرفای ۲۵ متر تا ۲۰۰ متری اتفاق می‌افتد.

چگونگی پراکنش رخساره‌های رسوبی نتیجه عملکرد شاخص‌های گوناگون همانند اندازه قطر ذرات رسوبی، انرژی محیط رسوب‌گذاری و شیب بستر دریا است که در این رابطه می‌توان بیان کرد که به طور طبیعی به فاصله گرفتن از خط ساحلی به سمت محیط دریایی قطر ذرات رسوبی نهشته شده کاسته می‌شود که این فرایند در تعامل مستقیم با انرژی محیط می‌باشد. انرژی محیط رسوب‌گذاری ناشی از فعالیت

جریان‌های سطحی (انرژی امواج) و جریان‌های زیر سطحی (تغییرات دمایی، تغییرات چگالی، جریان‌های موازی با ساحل) می‌باشد که در چگونگی پراکنش ذرات رسوبی نقش دارند. تغییرات شیب بستر دریا نیز عامل دیگری است که بر پراکنش ذرات رسوبی و تشکیل رخساره‌های رسوبی تاثیر گذار است.

پیشروی رخساره‌های ریزدانه به سوی مناطق کم‌ژرفا در بخش باختری (ناحیه تالش) به علت انرژی جریان‌های دریایی است که از عرض‌های جغرافیایی بالاتر به این سمت توده آب را به حرکت می‌آورند.

رخساره‌های برجای گذاشته شده در محیط رسوب‌گذاری پس‌کرانه‌ای (Backshore) عبارت است از: رخساره ماسه‌ای [S]، ماسه باکمی گراول [(g)S]، رخساره ماسه گلی باکمی گراول [(g)ms] و رخساره‌های نهشته شده در محیط رسوب‌گذاری پیشانی ساحلی (Shoreface) شامل: رخساره ماسه‌ای [S]، رخساره ماسه باکمی گراول [(g)S]، رخساره ماسه گلی باکمی گراول [(g)ms]، رخساره گل ماسه‌ای [sM]، رخساره گل ماسه باکمی گراول [(g)sM]، رخساره گل باکمی گراول [(g)M]، رخساره گل ماسه‌ای [sM]، رخساره ماسه گلی باکمی گراول [(g)ms]، ماسه گلی [mS]، ماسه گلی گراولی [gmS] و رخساره‌های نهشته شده در محیط رسوب‌گذاری فراساحلی (Offshore transitional) دربرگیرنده: رخساره گل [M]، رخساره گل باکمی گراول [(g)M]، رخساره گل ماسه باکمی گراول [(g)sM]، رخساره گل ماسه‌ای [sM]، رخساره ماسه گلی باکمی گراول [(g)ms]، ماسه گلی [mS]، ماسه گلی گراولی [gmS] و رخساره‌های نهشته شده در محیط رسوب‌گذاری فراساحلی (Offshore) شامل: رخساره گل [M]، رخساره گل ماسه باکمی گراول [(g)sM]، رخساره گل ماسه‌ای [sM] با بهره‌گیری از نتایج این تحقیق و انجام مطالعات رسوب‌شناسی توالی عمودی نهشته‌ها می‌توان زمینه‌ای برای تحقیقات تکمیلی در مورد شناسایی نوع و عملکرد عوامل تاثیرگذار بر محیط رسوب‌گذاری پیشنهاد کرد.

سپاسگزاری

از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور بابت حمایت‌های خود در پیشبرد و انجام این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را می‌کنم.

پیوست یک- مختصات جغرافیایی نقاط برداشت نمونه.

Appendix 1. Geographical coordinates of sampling pointssshelf of the South Caspian Sea.

شماره نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شماره نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شماره نمونه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	49° 0'25.02"E	28.17"N'37°44	۳۴	17.00"E'50°22	42.00"N'37°20	۶۷	0.00"E'52°15	0.00"N'36°42
۲	49° 2'50.96"E	41.89"N'37°44	۳۵	17.00"E'50°16	20.00"N'37°14	۶۸	0.00"E'52°22	60.00"N'36°43
۳	34.00"E'48°58	38° 0'30.00"N	۳۶	19.00"E'50°24	9.00"N'37°12	۶۹	51.00"E'52°29	37.00"N'36°41
۴	34.00"E'48°58	38° 9'51.00"N	۳۷	21.00"E'50°26	47.00"N'37°13	۷۰	19.00"E'52°33	7.00"N'36°42
۵	49° 6'0.00"E	0.00"N'38°21	۳۸	22.00"E'50°28	47.00"N'37°13	۷۱	0.00"E'52°30	0.00"N'36°46
۶	49° 7'60.00"E	38° 9'60.00"N	۳۹	17.00"E'50°22	37° 6'45.00"N	۷۲	0.00"E'52°30	0.00"N'36°50
۷	0.00"E'49°15	0.00"N'37°42	۴۰	0.00"E'50°30	37° 9'60.00"N	۷۳	57.00"E'52°39	8.00"N'36°43
۸	30.00"E'49°14	0.00"N'37°45	۴۱	32.00"E'50°29	37° 2'17.00"N	۷۴	60.00"E'52°37	0.00"N'36°49
۹	30.00"E'49°14	30.00"N'37°52	۴۲	0.00"E'50°37	37° 5'30.00"N	۷۵	19.00"E'52°45	0.00"N'36°45
۱۰	30.00"E'49°14	38° 0'0.00"N	۴۳	0.00"E'50°45	37° 5'30.00"N	۷۶	0.00"E'52°45	0.00"N'36°50
۱۱	30.00"E'49°14	60.00"N'38°10	۴۴	0.00"E'50°45	37° 0'0.00"N	۷۷	0.00"E'52°52	60.00"N'36°54
۱۲	30.00"E'49°14	60.00"N'38°17	۴۵	27.00"E'50°43	24.00"N'36°54	۷۸	53° 0'29.00"E	29.00"N'36°47
۱۳	0.00"E'49°21	0.00"N'37°46	۴۶	0.00"E'50°52	60.00"N'36°55	۷۹	53° 0'0.00"E	60.00"N'36°54
۱۴	0.00"E'49°21	0.00"N'37°37	۴۷	51° 0'0.00"E	0.00"N'36°52	۸۰	53° 0'0.00"E	37° 0'0.00"N
۱۵	0.00"E'49°28	33.00"N'37°29	۴۸	51° 0'0.00"E	0.00"N'36°46	۸۱	53° 0'0.00"E	37° 9'60.00"N
۱۶	0.00"E'49°30	0.00"N'37°37	۴۹	51° 3'45.00"E	26.27"N'36°47	۸۲	53° 0'0.00"E	0.00"N'37°28
۱۷	0.00"E'49°30	30.00"N'37°45	۵۰	51° 7'0.00"E	0.00"N'36°49	۸۳	53° 6'60.00"E	37° 0'0.00"N
۱۸	0.00"E'49°30	38° 0'0.00"N	۵۱	0.00"E'51°15	0.00"N'36°43	۸۴	53° 6'60.00"E	60.00"N'36°54
۱۹	17.00"E'49°34	30.00"N'37°31	۵۲	0.00"E'51°22	0.00"N'36°45	۸۵	19.00"E'53°13	2.00"N'36°51
۲۰	0.00"E'49°37	60.00"N'37°32	۵۳	54.00"E'51°31	52.00"N'36°38	۸۶	60.00"E'53°21	50.00"N'36°52
۲۱	0.00"E'49°45	30.00"N'37°31	۵۴	2.00"E'51°31	55.00"N'36°39	۸۷	0.00"E'53°15	37° 0'0.00"N
۲۲	0.00"E'49°52	0.00"N'37°30	۵۵	0.00"E'51°30	0.00"N'36°43	۸۸	0.00"E'53°15	0.00"N'37°12
۲۳	50° 0'0.00"E	30.00"N'37°27	۵۶	0.00"E'51°30	0.00"N'36°46	۸۹	0.00"E'53°15	0.00"N'37°22
۲۴	50° 7'0.00"E	0.00"N'37°28	۵۷	0.00"E'51°37	0.00"N'36°42	۹۰	0.00"E'53°30	0.00"N'37°22
۲۵	50° 0'0.00"E	0.00"N'37°30	۵۸	46.00"E'51°42	41.00"N'36°35	۹۱	0.00"E'53°30	0.00"N'37°12
۲۶	8.00"E'50°10	23.00"N'37°28	۵۹	60.00"E'51°44	30.00"N'36°41	۹۲	0.00"E'53°30	37° 0'0.00"N
۲۷	10.00"E'50°12	23.00"N'37°28	۶۰	0.00"E'51°52	0.00"N'36°45	۹۳	0.00"E'53°30	14.00"N'36°53
۲۸	11.00"E'50°14	45.00"N'37°26	۶۱	0.00"E'51°52	60.00"N'36°40	۹۴	60.00"E'53°40	9.00"N'37°12
۲۹	0.00"E'50°15	60.00"N'37°24	۶۲	60.00"E'51°59	1.00"N'36°35	۹۵	16.00"E'53°41	30.00"N'37°22
۳۰	14.00"E'50°18	8.00"N'37°25	۶۳	60.00"E'51°59	30.00"N'36°40	۹۶	48.00"E'53°46	12.00"N'37°12
۳۱	0.00"E'50°15	0.00"N'37°19	۶۴	52° 7'0.00"E	60.00"N'36°43	۹۷	54° 0'7.00"E	23.00"N'36°59
۳۲	14.00"E'50°18	39.00"N'37°18	۶۵	52° 7'0.00"E	30.00"N'36°40	۹۸	0.00"E'53°45	37° 0'0.00"N
۳۳	30.00"E'50°21	0.00"N'37°20	۶۶	40.00"E'52°14	41.00"N'36°38			

کتابنگاری

- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.
 لاهیجانی، ح.، ۱۳۸۳، مقدمه‌ای بر ویژگی‌های دریای خزر، انتشارات نوربخش، ۱۱۹ ص.
 علیزاده‌لاهیجانی، ح.، کامران‌پور، ع. و امینی، ع.، ۱۳۸۴، آلودگی فلزات سنگین در رسوبات دلتای سفیدرود، مجله علوم و فنون دریایی، دوره ۴، شماره ۳-۴، ص ۴۳ تا ۵۲.

References

- Allen, M. B., Jones, S., Ismail-Zadeh, A., Simmons, M., and Anderson, L., 2002. Onset of subduction as the cause of rapid Pliocene-Quaternary subsidence in the South Caspian Basin. *Geology*, 30, 775–778.
- Arpe, K., and Leroy, S. A. G., 2007. The Caspian Sea level forced by the atmospheric circulation, as observed and modelled, *Quaternary Int.*, 173–174, 144–152.
- Arpe, K., Bengtsson, L., Golitsyn, G. S., Mokhov, I. I., Semenov, V. A., and Sporyshev, P. V., 2000. Connection between Caspian Sea-level variability and ENSO, *Geophysics. Res. Lett.*, 27, 2693–2696.
- Arpe, K., Leroy, S. A. G., Lahijani, H., and Khan, V., 2012. Impact of the European Russia drought in 2010 on the Caspian Sea level, *Hy-drol. Earth Syst. Sci.*, 16, 19–27, doi: 10.5194/hess-16-19-2012.
- ASTM, D4698-92., 2013. Standard practice for total digestion of sediment samples for chemical analysis of various metals, ASTM International, West Conshohocken, PA, <http://www.astm.org>.
- Berberian, M., 1983. The southern Caspian: a compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust, *Can. J. Earth Sci.*, 20, 163–183.
- Blair, T.C., and Mcpherson, J.G., 1999. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles, *Journal of Sedimentary Research*, DOI: 10.2110/jsr.69.6.
- Bondarenko, A.L., 1994. Natural investigation of the Caspian Sea currents. Russian Academy of Science, Water Problem Institute, Moscow, Russia. [In Russian]
- Coe, A.L., Bosence, D.W.J., Church, K.D., Flint, S.S., Howell, J.A., and Wilson, C.L., 2003. *The Sedimentary Record of Sea-Level Change*, Cambridge University Press, pp. 288.
- Coggan, R., Populus, J., White, J., Sheehan, K., Fitzpatrick, F., and Piel, S., 2007. Review of Standards and Protocols for Seabed Habitat Mapping. MESH, Peterborough.
- Dolukhanov, P.M., Chepalyga, A.L., and Lavrentiev, N.V., 2010. The Khvalynian transgressions and early human settlement in the Caspian basin, *Quaternary Int.*, 225, 152–159.
- Fedorov, P. V., 1995. Modern geology of Caspian sea. *Vestnic Russian Academy of science*. Vol. 65. No. 7. pp 622-625.
- Folk, R.I., 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Co., Texas.
- Folk, R.I., and Ward, W.C., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size. *Journal sedimentary petrology*. 27(1). 3-26.
- Galloway, W. E., 1975. Process framework for descibing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems, in M. L. Broussard, ed., *Delta, Models for exploration*, Houston Geol. Soc., Houston, Texas, pp.87-98.
- Green, T., Abdullayev, N., Hossack, J., Riley, G., and Roberts, A., 2009. Sedimentation and subsidence in the South Caspian Basin, Azerbaijan. Geological Society, London, Special Publications. 312. 241-260. 10.1144/SP312.12.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M., and Berberian, M., 2002. Active tectonics of the South Caspian Basin, *Geophysical Journal International* Volume 148, Issue 2, Pages 214-245.
- Kakroodi, A. A., Kroonenberg, S. B., Hoogendoorn, R. M., Mo-hammd Khani, H., Yamani, M., Ghassemi, M. R., and Lahijani, H. A. K., 2012. Rapid Holocene Sea level changes along the Iranian Caspian coast, *Quaternary Int.*, 263, 93–103.
- Karimkhani-Bahador, A., Feiznia, S., Aleali, M., and Arian, M., 2021. Impact of river sediments on contamination of shallow marine deposits in the South part Caspian Sea-Iran, *International Journal of Environmental Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03358-3>.
- Kholodov, V.N., and Lisitsina, N.A., 1989. *Caspian sedimentary problems*. Nauka, Moscow, Russia.
- Klenova, M.V., Solovev, V.F., Aleksina, F.A., Vikhrenko, I.M., Kulakova, L.C., Maev, E.G., Rikhter, V.G., and Skorhiakova, N.S., 1962. Geological structure of the Caspian Sea Shelf and slope. Soviet Academy of Sciences, Moscow, Russia.
- Kosarev, A.N., 1975. Hydrology of the Caspian and Aral seas. Moscow State University, Moscow, Russia. [In Russian]
- Kosarev, A.N., 2005. Physico-geographical conditions of the Caspian Sea. In *The Caspian Sea environment*. Edited by A.G. Kostianoy and A.N. Kosarev. Springer, Berlin. pp. 5–31.

- Kroonenberg, S. B., Badyukova, E. N., Storms, J. E. A., Ignatov, E. I., and Kasimov, N. S., 2000. A full sea level cycle in 65years: barrierdynamics along Caspian shores, *Sediment. Geol.*, 134, 257–274. doi:10.1016/S0037-0738(00) 00048-8.
- Lahijani, H., 1997. Riverine sediments and stability of Iranian coast of Caspian Sea, PH.D thesis, Moscow, RAN, SCC “CASPY” 120pp.
- Lahijani, H., 2004. *Introduction to the characteristics of the Caspian Sea*, Noorbakhsh Press, pp. 119. (In Persian)
- Lahijani, H., and Tavakoli, V., 2012. Identifying provenance of South Caspian coastal sediments using mineral distribution pattern. *Quaternary International*, 261: 128–137. doi: 10.1016/j.quaint.2011.04.021.
- Lahijani, H., kamranpour, A., Amini, A. 2005. Contamination of heavy metals in sediments of the Sefirod river delta, *The Journal of Marine Science and Technology*, vol.4, no. 3-4, pp. 43–52. (In Persian)
- Lahijani, H., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V., and Hosseindoost, M., 2009. Evidence for late Holocene highstands in Central Gilane – East Mazanderan, South Caspian coast, Iran. *Quaternary International*, 197: 55–71. doi: 10.1016/j.quaint.2007.10.005.
- Nabavi, M. H., 1976. *Introduction to the geology of Iran*, Geological survey of IRAN, Press pp. 109. (In Persian)
- Naderi Beni, A., Lahijani, H., Mousavi Harami, R., Arpe, K., Leroy, S.A.G., Marriner, N., Berberian, M., Andrieu-Ponel, V., Djamali, M., Mahboubi, A., and Reimer, P.G., 2013. Caspian sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea. *Climate of the Past*, 9: 1645–1665. doi:10.5194/cp-9-1645-2013.
- Priestley, K., Baker, C., and Jackson, J., 1994. Implications of earthquake focal mechanism data for the active tectonics of the South Caspian Basin and surrounding regions, *Geophys. J. Int.*, 118, 111–141.
- Rafiei, B., Ahmadi-Ghomi, F., and Karimkhani, A., 2017. Assessment of the anthropogenic influx of metallic pollutant in the sefidrud delta, Gilan province, IRAN, *Marine pollution Bulletin*.
- Richardson, J., 2012. Tectonic, climatic, and sedimentary processes recorded by Pleistocene fold growth strata, the South Caspian basin, Azerbaijan. Ph.D. thesis, Durham University, Durham, UK.
- Rychagov, G.I., 1997. Holocene oscillations of the Caspian Sea and fore-casts based on palaeogeographical reconstructions, *Quaternary Int.*, 41–42, 167–172 doi:10.1016/S1040-6182(96)00049-3.
- Tucker, M. E., 2001. *Sedimentary Petrology*, 3rd, 262 pp. Oxford: Blackwell Science.
- Varushenko, S.I., Varushenko, A. N., and Kilge, R. K., 1987. Changing of the Caspian Sea Regime and Enclosed 6. Basins in Geological Time, Moscow, Nauka, pp. 240.