



Investigation of depositional environments in the Sangachin Area, Caspian Sea

Reza Behbahani^{1*}, Ali Shakiba Azad¹, Zahra Sharifi¹ and Azadeh Feyzi Rad¹

1- Marine Geology Office, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article type: Original Research	In this study, the facies and depositional environments (marine, coastal, and continental settings) of the Sangachin Area (central part of the South Caspian Basin) have been investigated. In this research, two hundred and nineteen surface sediment samples were taken unsystematically in the shallow-deep areas of the Caspian seabed, coastal area and surrounding land. Sedimentary components are composed of gravel, sand and mud size particles. Six sediments types, slightly gravelly sandy Mud, gravelly Mud, muddy sandy Gravel, slightly gravelly Sand, slightly gravelly muddy Sand and gravelly muddy Sand constitute the largest percentage of all components. The components are classified into three categories: clastic (quartz, feldspar, mica, Pyroxene, and rock-fragment), non-skeletal particles (intraclast) and organic-biogenic (plant debris, marine and non-marine organisms (ostracoda, bivalves, bryozoa and Gastropoda)). The land part composed of the wetland, paleo-lagoon and marsh. The transitional and marine parts composed of the shore, the shoreface, offshore-transition and offshore, respectively. The shore zone consists of foreshore, backshore and shore dune ridges (sand dune). The non-skeletal/skeletal accumulations sub-environment has been observed in the offshore-transition and offshore environments. Rock-fragments are one of the dominant components in all identified environments (excluding offshore-transition and offshore environments). Also, non-marine bioclasts (such as non-marine bivalves <i>Dreisssea polymorpha</i> and non-marine gastropods) in the wetland, paleo-lagoon and marsh environments; marine bioclasts (such as bivalves <i>Cerastoderma glaucum</i>) in the paleo-lagoon, shore, shoreface, offshore-transition and offshore environments and non-skeletal particles (intraclast) have been observed in the offshore-transition and offshore environments. Based on high-resolution shallow seismic studies in the marine area, two environments were identified: the continental shelf (shoreface and offshore-transition zones) and the continental slope (offshore zone) with stratiform and chaotic sub-bed sediments.
Article history: Received: 2026 August 3 Accepted: 2026 October 17	
Keywords: Sediment type Marine bivalve Shoreface Non-skeletal/skeletal Accumulation Shallow seismography	

DOI: 10.22084/psj.2026.33004.1503

Corresponding author: Reza Behbahani, **E-mail:** rezabehbahani30@yahoo.com

Cite this article: Reza Behbahani, Ali Shakiba Azad, Zahra Sharifi and Azadeh Feyzi Rad (2026). Investigation of depositional environments in the Sangachin Area, Caspian Sea, Applied Sedimentology, Vol. 14, No. 27, pp: 219-249.



Journal of Applied Sedimentology by Bu-Ali Sina University Press is licensed under CC BY-NC 4.0

Web Site: <https://psj.basu.ac.ir> **E-mail:** nfag@basu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Investigation of the sedimentary components and facies of recent depositional environments—such as marine zones (shoreface, offshore-transition, and offshore), shore, lagoon, and marsh—provide valuable data for the precise identification and differentiation of ancient marine, coastal, and continental depositional environments for researchers. Given the absence of prior researches on recent depositional environments in the Sangachin area, there is an obvious necessity for such studies. Furthermore, this research reports, for the first time, the occurrence of skeletal and non-skeletal accumulations sub-environment within the marine zone of the South Caspian Basin (specifically in offshore-transition and offshore settings). Skeletal and non-skeletal accumulations have been identified worldwide, yet their distribution, origin, and morphology remain poorly understood (Bialik et al., 2022). One recent example has been identified in the offshore waters of the Maltese Islands (central Mediterranean Sea) (Bialik et al., 2022). These accumulations range from a few meters to tens of meters in diameter in the Mediterranean Sea and are situated at water depths exceeding 200 meters.

This study aims to examine the components, sedimentary facies, and depositional environments within the Sangachin area (located in the northwestern part of the Bandar-e Anzali area) at a scale of 1:50,000 (covering an area of 600 square kilometers). Given the limited extent of the continental and transitional zones relative to the marine zone, the marine area holds greater significance in this research.

Materials and Methods

In this study, 219 surface sediment samples were collected—using both systematic (at 3-km intervals) and non-systematic (based on field observations) approaches—from shallow and deep areas of the Caspian Sea bed and from land locations (including shore, wetland, paleo-lagoon, and marsh environments). Sampling was designed based on facies variations and diverse sedimentary environments. Sedimentological analyses—comprising grain-size analysis, identification of constituents, sediment classification, assessment of roundness and sphericity, and

identification of sedimentary facies—were performed on the samples. To conduct sedimentological studies, the collected samples were analyzed at the sedimentology laboratory of the Geological Survey and Mineral Explorations of Iran using a vibratory sieve shaker (Fritsch-analyssette 3 Pro) for particles larger than 63 microns. Parameters such as diversity of sediment types (homogeneous or heterogeneous), mean dominant particle size, sorting, color, sediment type, and major constituents were considered for the identification of sedimentary facies. Furthermore, this study employed a standard model of Sub-Bottom Profiler (SES-2000) to conduct high-resolution, shallow-depth geophysical surveys along two seismic profiles, aiming to gather data on seabed and sub-seabed sedimentation patterns as well as seabed morphology. Seismic data acquisition was carried out at a frequency of 8 kHz using a research vessel belonging to the Meteorological Organization.

Results and Discussion

Sedimentological analysis results indicate the presence of three major sediment types based on the Folk classification (Folk, 1974)—namely slightly gravelly sandy Mud (45%), gravelly Mud (8%), and muddy sandy Gravel (24%)—which collectively account for 77% of the total samples. Additionally, other sediment types were observed in smaller quantities (totaling approximately 23%), including slightly gravelly Sand (7%), slightly gravelly muddy Sand (5%), gravelly muddy Sand (5%), sandy Gravel (3%), muddy Gravel (1.8%), gravelly Sand (0.6%), Gravel (0.6%), and Sand (0.6%). Sedimentary components are classified into three categories: siliciclastic, non-skeletal calcium carbonate, and organic-biogenic. Siliciclastic particles include quartz, feldspar, mica, pyroxene, rock fragments, and clay minerals. With the exception of clay minerals (clay-sized) and rock fragments (gravel- to sand-sized), the other siliciclastic particles range in size from sand to clay. Organic-biogenic components, ranging from sand to gravel in size, consist of plant fragments and remains of marine and non-marine (freshwater) organisms (ostracods, bivalves, bryozoans—exclusively marine—and gastropods). Rock fragments across various environments are composed primarily of shale and volcanic types, with

smaller amounts of plutonic varieties. The identified sedimentary environments do not exhibit significant differences regarding rock fragment types. Furthermore, the studied sediments across these various environments contain a wide range of siliciclastic particles—varying from rounded and sub-rounded to sub-angular (predominantly sub-rounded to sub-angular). Particle roundness and sphericity within the identified sedimentary environments do not display any specific pattern or trend. The identified facies are generally poorly sorted; however, the sedimentary facies associated with sand dunes and skeletal/non-skeletal accumulations exhibit well and moderate sorting, respectively.

Depositional environments are classified into three categories: continental (wetland, paleo-lagoon, and marsh), transitional (shore), and marine (shoreface, offshore-transitional zone, and offshore). The shore is subdivided into backshore, foreshore, and sand dune sub-environments. Deposits within the wetland and paleo-lagoon environments are characterized by a dominant facies of poorly sorted, gray-brown slightly gravelly sandy Mud and a predominantly fine-grained texture. The constituents of the wetland, paleo-lagoon, and marsh sediments consist of a mixture of siliciclastic and biogenic particles and exhibit a high degree of similarity. These deposits are primarily composed of rock fragments, plant debris, and non-marine bioclasts (ostracods, bivalves, and gastropods), with lesser amounts of quartz, mica, pyroxene, and feldspar particles. It should be noted that marine bivalves and gastropods have been observed in paleo-lagoon deposits, while herbaceous plant remains have been found in marsh deposits. The deposits of the foreshore zone are characterized by a dominant facies of poorly sorted, gray-colored muddy sandy Gravel or slightly gravelly Sand, consisting predominantly of medium- to fine-grained particles. These deposits are composed mainly of shale rock fragments and bioclasts (marine bivalves and ostracods), with lower amounts of plant fragments, quartz, feldspar, pyroxene, and mica. The backshore deposits are characterized by a dominant facies of muddy sandy Gravel, slightly gravelly Sand, or gravelly Sand. These sediments are brownish-gray, poorly sorted, and consist predominantly

of coarse-to fine-grained particles. They are composed mainly of rock fragments (shale, plutonic and volcanic rocks) and bioclasts (marine bivalves, gastropods, and ostracods), with lower amounts of plant fragments, quartz, pyroxene, mica, and feldspar. The shoreface deposits are characterized by a dominant sandy facies—with minor amounts of gravel or gravelly Mud—ranging in color from gray to brown. they are poorly sorted and composed predominantly of heterogeneous, medium- to fine-grained particles. These sediments consist primarily of rock fragments and reworked bioclasts (bivalves, ostracods, and gastropods), with lesser amounts of quartz, feldspar, and mica. The deposits of the offshore-transition zone consist predominantly of poorly sorted, gray-to-brown facies—ranging from gravelly muddy Sand, slightly gravelly muddy Sand, gravelly Mud, slightly gravelly sand, to slightly gravelly sandy Mud—characterized by a heterogeneous, predominantly medium-to-fine-grained texture. These sediments are composed primarily of intraclasts (non-skeletal particles) and marine bioclasts (bivalves, ostracods, bryozoans, and gastropods), with lesser amounts of rock fragments, quartz, feldspar, and mica. The offshore deposits consist predominantly of poorly sorted, gray-to-brown, gravelly Mud or slightly gravelly muddy sand, characterized by a heterogeneous, fine-to-medium grain-size distribution. These sediments are composed primarily of intraclasts and marine bioclasts (bivalves and gastropods), with a subordinate amount of quartz grains. The skeletal/non-skeletal accumulation deposits consist of a dominant facies—ranging from muddy Gravel, Gravel, sandy Gravel to muddy sandy Gravel—that is gray to brown in color, moderately sorted, and characterized by a heterogeneous mixture of coarse- to medium-grained particles. These sediments are composed primarily of marine bioclasts (bivalves, bryozoans, ostracods, and gastropods) and, with lesser amounts of intraclasts.

The presence of comminuted intraclast fragments within skeletal/non-skeletal accumulations—characteristic of offshore and offshore-transition settings—indicates the influence of marine currents on the intrabasinal transport of sedimentary particles. Given the abundance of bioclasts, the absence

of siliciclastic grains (such as quartz, feldspar, and mica), and the predominance of gravel-sized particles, it is likely that high-energy marine currents and relatively high nutrient levels played a role in the formation of these accumulations in the studied area.

In terms of the combination of morphological concepts and depositional environments, the Caspian Sea area within the study zones comprises two environments: the continental shelf (consisting of the shoreface and the offshore-transition zones) and the continental slope (the offshore zone). Gas seepage is evident in the soft sub-bottom sediments of the continental shelf environment. This seepage is identified by the truncation of seismic reflectors in seismic profiles. The seismic data pattern within the sediments underlying the shoreface and offshore-transition zones exhibits a stratified character, featuring parallel to sub-parallel reflectors. Seismic profiles recorded in the slope zone reveal slide deposits—characterized by a slide zone with irregular, chaotic internal reflectors—resulting from seabed instability along the slope.

Conclusion

Field observations and facies analysis of the various deposits in the studied areas indicate that they were deposited across a relatively wide spectrum of environments, including wetland, lagoon, marsh, shore zone (fore and back shore), shoreface, offshore-transition, and offshore settings. Furthermore, skeletal/non-skeletal accumulations sub-environment have been identified within the offshore-transition and offshore zones. Wetland, paleo-lagoon, and marsh

environments consist primarily of rock fragments, plant debris, and non-marine bioclasts (ostracods, bivalves, and gastropods); foreshore, backshore, and shoreface environments are composed mainly of rock fragments and marine bioclasts (bivalves, gastropods, and ostracods); offshore-transition and offshore environments consist largely of non-skeletal particles (intraclasts) and marine bioclasts (ostracods—exclusively in the offshore-transition environment—bivalves, bryozoans—exclusively in the offshore-transition environment—and gastropods); and the skeletal/non-skeletal accumulation sub-environment is composed primarily of bioclasts (ostracods, bivalves, bryozoans, and gastropods).

Seismic data from sediments beneath the shoreface and offshore-transition zones (continental shelf environment) exhibit a stratified character with parallel to sub-parallel reflectors, whereas sediments beneath the offshore zone (continental slope environment) display irregular and chaotic internal reflectors. These chaotic reflectors are indicative of a slide zone.

Nutrient-rich marine currents likely contribute to the formation of skeletal and non-skeletal accumulations on the Caspian Sea bed in the Sangachin area. It should be noted that more comprehensive and extensive data are required in future studies to identify the parameters influencing the formation of these accumulations and to resolve existing uncertainties.



بررسی محیط‌های رسوبی ناحیه سنگاچین، دریای خزر

رضا بهبهانی^{۱*}، علی شکیباآزاد^۱، زهرا شریفی^۱ و آزاده فیضی‌راد^۱

۱- دفتر بررسی‌های زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۷/۲۵ کلیدواژه‌ها: نوع رسوب دوگه‌ای دریایی پهنه ساحلی تجمع اسکلتی - غیراسکلتی لرزه‌نگاری کم‌ژرفا	در این مطالعه، رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی دریایی، ساحلی و قاره‌ای ناحیه سنگاچین (بخش میانی حوضه خزر جنوبی) مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، دویست و نوزده نمونه رسوب سطحی به صورت غیرسیستماتیک از نواحی کم‌ژرفا-ژرف بستر دریای خزر، ساحلی و خشکی (قاره‌ای) برداشت شد. اجزای رسوبی از ذرات در اندازه‌های گراول، ماسه و گل تشکیل شده است. شش نوع رسوب گل ماسه‌ای با کمی گراول، گل گراولی، گراول ماسه‌ای گلی، ماسه با کمی گراول، ماسه گلی با کمی گراول و ماسه گلی گراولی بیش‌ترین درصد از کل اجزاء را تشکیل داده‌اند. اجزاء در سه دسته آواری (کوارتز)، فلدسپار، میکا، پیروکسن و خرده‌سنگ، غیراسکلتی (اینتراکلاست) و آلی-زیستی (قطعات گیاهی، موجودات دریایی و غیردریایی (استراکودا، دوگه‌ای، گاستروپودا و بریوزوا)) طبقه‌بندی شده‌اند. بخش خشکی از تالاب، لاگون دیرینه و مرداب، بخش حد واسط از رسوبات کناره (Shore) و بخش دریایی از پهنه ساحلی (Foreshore)، حد واسط فراساحلی (Offshore-transition) و فراساحلی (Offshore) تشکیل شده است. محیط کناره از رسوبات جلوی کناره (Foreshore)، پشت کناره (Backshore) و پشته‌های دون سدی (تپه ماسه‌ای) (Sand dune) مرتبط با ناحیه پشت کناره تشکیل شده است. زیرمحیط تجمع‌های اسکلتی-غیراسکلتی (accumulation) (Non-skeletal/skeletal) در محیط‌های حد واسط فراساحلی و فراساحلی مشاهده شده است. خرده‌سنگ‌ها یکی از اجزای غالب در تمام محیط‌های شناسایی شده (به استثنای محیط‌های حدواسط فراساحلی و فراساحلی) است. همچنین، بایوکلاست‌های غیردریایی (نظیر دوگه‌ای غیردریایی <i>Dreissaea polymorpha</i> و گاستروپودا غیردریایی) در محیط‌های تالاب (Wetland)، لاگون دیرینه و مرداب (Marsh)، بایوکلاست‌های دریایی (نظیر دوگه‌ای دریایی <i>Cerastoderma glaucum</i>) در محیط‌های لاگون دیرینه، کناره، پهنه ساحلی، حد واسط فراساحلی و فراساحلی و ذرات غیراسکلتی (اینتراکلاست) در محیط‌های حدواسط فراساحلی و فراساحلی مشاهده شده است. بر اساس مطالعات لرزه‌نگاری کم‌ژرفای با دقت بالا در پهنه دریایی، دو محیط سکوی قاره (نواحی پهنه ساحلی و حدواسط فراساحلی) و شیب قاره (ناحیه فراساحلی) با رسوبات زیربستر لایه‌ای و آشفته شناسایی شدند.

DOI: 10.22084/psj.2026.33004.1503

* نویسنده مسئول: رضا بهبهانی، E-mail: rezabehbahani30@yahoo.com

استناد: رضا بهبهانی، علی شکیباآزاد، زهرا شریفی و آزاده فیضی‌راد (۱۴۰۵). بررسی محیط‌های رسوبی ناحیه سنگاچین، دریای خزر، رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۱۴، شماره ۲۷، صفحه ۲۱۹ تا ۲۴۹.

این نشریه علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را براساس لایسنس کرییتیو کامنز (CC BY-NC 4.0) به نویسندگان واگذار کرده است.

آدرس وبسایت نشریه: <https://psj.basu.ac.ir> ایمیل نشریه: nfag@basu.ac.ir

۱- پیشگفتار

مطالعه اجزاء و رخساره‌های رسوبی محیط‌های رسوبی مدرن نظیر بخش‌های دریایی (پهنه ساحلی^۱، حدواسط فراساحلی^۲ و مناطق فراساحلی^۳)، کناره^۴، تالاب^۵ و مرداب^۶ اطلاعات بسیار ارزشمندی برای شناسایی دقیق و تفکیک محیط‌های رسوبی دیرینه دریایی، ساحلی و قاره‌ای از یکدیگر به پژوهشگران ارائه می‌دهد. با توجه به این که در پژوهش‌های پیشین، هیچ‌گونه مطالعاتی در ارتباط با محیط‌های رسوبی مدرن در ناحیه سنگاچین انجام نشده است، نیاز به انجام این نوع مطالعات احساس می‌شود. لازم به ذکر است که در مطالعات پیشین، بیش‌ترین پژوهش در مورد رسوب‌شناسی، آلودگی زیست‌محیطی و ژئوشیمی رسوبی در بخش‌های مختلف ساحلی و دریایی بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی انجام شده است (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶؛ ابراهیمی‌پرگو و درویشی خاتونی، ۱۴۰۲؛ معینی، ۱۴۰۲ و ۱۴۰۴). در حالی که بررسی مجموعه رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی ساحلی، قاره‌ای و دریایی مدرن با یکدیگر و ارتباط بین آن‌ها بسیار کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است (بهبهانی و همکاران، ۱۴۰۳) و کمبود این نوع مطالعات در بخش‌های ساحلی-دریایی کشور، کاملاً مشهود می‌باشد. در ضمن در این پژوهش برای نخستین بار، زیر محیط رسوبی تجمع‌های اسکلتی-غیراسکلتی^۷ در پهنه دریایی حوضه خزر جنوبی (در محیط‌های رسوبی حدواسط فراساحلی و فراساحلی) گزارش شده است. واژه «تجمع»^۸ معمولاً در متون علمی برای اشاره به عوارض زیست‌زا که برجستگی‌های غوطه‌ور (از چند تا صدها متر ارتفاع) را تشکیل می‌دهند، استفاده می‌شود. این برجستگی‌ها از انواع موجودات تشکیل شده‌اند که قادر به دام انداختن رسوبات ریزدانه هستند (نظیر مرجان‌های آب سرد، بریوزوآها و پلی‌چات‌ها). تجمع‌ها، اشکال پلان گرد، نیم‌دایره‌ای، بیضوی یا کشیده را نشان می‌دهند (رایدینگ، ۲۰۰۲؛ هنریت و همکاران، ۲۰۱۴). اصطلاحات مورد استفاده برای توصیف لندفرم‌های زیردریایی زیستی در آب‌های سرد در منابع مختلف متناقض است. اصطلاحاتی مانند "ریف‌های تکه‌ای"^۹، "ریف‌های ستونی"^{۱۰}، "ریف‌های صخره‌ای"^{۱۱}،

"پشته‌های کربناته"^{۱۱} و موارد دیگر اغلب برای اشاره به ساختارهای زیستی "پشته‌مانند" توسعه‌یافته در دریاها معتدل استفاده می‌شوند (وود، ۲۰۰۱؛ باره و همکاران، ۲۰۱۰). به منظور جلوگیری از ایجاد سردرگمی در واژه‌های موجود، ما در اینجا از واژه عمومی «تجمع‌های اسکلتی-غیراسکلتی» برای توصیف مشاهدات استفاده می‌کنیم. تجمع‌های اسکلتی-غیراسکلتی در سراسر جهان شناسایی شده‌اند، اگرچه توصیف دقیقی از پراکندگی، منشأ و ریخت‌شناسی آن‌ها اغلب نادیده گرفته می‌شود (بیالیک و همکاران، ۲۰۲۲). یکی از نمونه‌های امروزی شناسایی‌شده در مناطق فراساحلی جزایر مالت (بخش مرکزی دریای مدیترانه) می‌باشد (بیالیک و همکاران، ۲۰۲۲). این تجمع‌ها در دریای مدیترانه از چند متر تا ده‌ها متر قطر دارند. عمدتاً در ژرفای آب بیش از ۲۰۰ متر قرار دارند که احتمالاً در طول آخرین چرخه یخبندان شکل گرفته‌اند. این تجمع‌ها از ساختارهای زیستی به هم پیوسته توسط موجودات قشرساز^{۱۲} کف‌زی (اسفنج‌ها و مرجان‌های آب سرد) تشکیل شده‌اند (بیالیک و همکاران، ۲۰۲۲). تجمع‌های اسکلتی-غیراسکلتی در طیف وسیعی از ژرفا، از مناطق ساحلی گرفته تا محیط‌های ژرف‌تر، توسعه یافته‌اند (راموس و همکاران، ۲۰۱۷؛ واینبرگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ هبلن و همکاران، ۲۰۱۹). این ساختارهای زیستی در امتداد حاشیه‌های اقیانوس اطلس (از شمال نروژ تا موریتانی و از برزیل تا کانادا) و دریای مدیترانه مشاهده و مستند شده‌اند (لوایکانو و همکاران، ۲۰۰۸؛ وایت و دورچل، ۲۰۱۰؛ کاربرد و همکاران، ۲۰۱۹؛ هبلن و همکاران، ۲۰۱۹). در این نوشتار سعی شده است که در محدوده سنگاچین (سنگرچین؛ ناحیه شمال باختری ورقه بندرانزلی) در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ (مساحت ۶۰۰ کیلومتر مربع)، اجزاء، رخساره‌های رسوبی و محیط‌های رسوبی مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به وسعت کم بخش‌های قاره‌ای و حدواسط ناحیه مورد مطالعه نسبت به بخش دریایی، پهنه دریایی از اهمیت بیش‌تری در این پژوهش برخوردار است.

^۸ Accumulation^۹ Patch reefs^{۱۰} Pinnacle reefs^{۱۱} Carbonate mounds^{۱۲} Encrusting organisms^۱ Shoreface^۲ Offshore-transition^۳ Offshore^۴ Shore^۵ Wetland^۶ Marsh^۷ Non-skeletal/skeletal accumulations

۲- موقعیت زمین‌شناسی، جغرافیایی و تغییرات سطح آب ناحیه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی واقع شده است. حوضه خزر جنوبی در مجاورت با پهنه ساختاری البرز، بلندی‌های تالش و پهنه ساختاری کپه داغ قرار گرفته است (جکسون و همکاران، ۲۰۰۲). حوضه خزر جنوبی بخشی از حوضه‌های اقیانوسی دیرینه پالئوتتیس (دونین-کربونفر) و نئوتتیس (ژوراسیک میانی-کرتاسه آغازین) است و رسوبات بر روی پوسته ستبر بازالتی نهشته شده‌اند (جکسون و همکاران، ۲۰۰۲). تغییرات نسبی سطح آب دریای خزر در طی کواترنری، بستگی به تأثیرات نسبی تغییرات آب و هوایی، تجمع و ذوب صفحه‌های یخی و تطابق ایزوستاتیک^{۱۳} دارد (کورپیچ و همکاران، ۲۰۲۲). چندین فاز تراز بالای آب طولانی‌مدت^{۱۴} (نظیر آپشرونین، باکونین، خزرین و خلاوینین^{۱۵}) در طی کواترنری در دریای خزر شناسایی شده است (یانینا، ۲۰۱۴؛ کریژسمن و همکاران، ۲۰۱۹؛ کورپیچ و همکاران، ۲۰۲۲). در حال حاضر سطح آب دریای خزر حدود ۲۵/۵- متر زیر سطح جهانی آب دریا است و در طی کواترنری دارای نوسان است (کریژسمن و همکاران، ۲۰۱۹).

در این پژوهش، ناحیه سنگاچین به مختصات جغرافیایی طول جغرافیایی ۴۹° و ۱۵' خاوری تا ۴۹° و ۳۰' خاوری و عرض جغرافیایی ۳۷° و ۳۰' شمالی تا ۳۷° و ۴۵' شمالی مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱). با توجه به پیمایش در منطقه مورد مطالعه، واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی (زمین‌ریخت^{۱۶}) کرانه ساحلی^{۱۷}، خط‌کناره^{۱۸}، تپه‌های ماسه‌ای^{۱۹} (سدهای ماسه‌ای) شناسایی شده‌اند. با توجه به مجاورت ناحیه مورد مطالعه با ورقه ۱/۵۰۰۰۰ بندرانزلی، شباهت بسیار زیادی در ارتباط با ویژگی‌های اقلیمی و میزان بارش بین این دو ناحیه وجود دارد. آمارهای اقلیمی و بارش در ناحیه بندرانزلی توسط بهبهانی و همکاران (۱۴۰۳) توضیح داده شده است. در ناحیه مورد مطالعه، هیچ رودخانه فعالی وجود ندارد.

تالاب و لاگون دیرینه مشاهده شده در ناحیه مورد مطالعه (شکل ۱)، بخشی از تالاب و لاگون دیرینه انزلی است. وجود ذرات آواری در محیط‌های رسوبی بخش‌های خشکی، حدواسط و دریایی ناحیه مورد مطالعه، نشان‌دهنده نقش فرسایش در تامین رسوبات آواری از واحدهای زمین‌ساختی مرتفع البرز است. با توجه به نبود رودخانه فعال در ناحیه مورد مطالعه، رودخانه‌های ورودی به تالاب انزلی نقش بسزایی در انتقال ذرات آواری به محیط‌های رسوبی تالاب، لاگون دیرینه، مرداب و کناره دارند (بهبهانی و همکاران، ۱۴۰۳). همچنین، جریان‌های دریایی و امواج نیز نقش انتقال و پراکنش ذرات آواری را در محیط جلوی کناره و محیط‌های دریایی کم‌ژرفا/ژرف دارند.

۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش دویست و نوزده نمونه رسوب سطحی به صورت سیستماتیک (با فواصل ۳ کیلومتر) و غیرسیستماتیک (با توجه به مشاهدات میدانی) از نواحی کم‌ژرفا و ژرف بستر دریای خزر و خشکی (محیط‌های کناره، تالاب، لاگون دیرینه و مارش) محدوده مورد مطالعه، برداشته شد. مبنای نمونه‌برداری تغییرات رخساره‌ای و محیط‌های رسوبی بوده است. مطالعات رسوب‌شناسی (بررسی اندازه ذرات^{۲۰}، شناسایی اجزای تشکیل‌دهنده، تعیین نوع رسوب^{۲۱}، تعیین میزان گردش‌دگی^{۲۲}، تعیین میزان کرویت^{۲۳} و شناسایی رخساره‌های رسوبی^{۲۴}) بر روی نمونه‌هایی که توسط نمونه‌گیر فکی^{۲۵} (نمونه‌های دریایی، مردابی و تالابی) و بیلچه دستی (نمونه‌های خشکی) برداشت شد، صورت گرفت (شکل ۱). برداشت نمونه از محیط‌های آبی (دریا، مرداب و تالاب) توسط قایق انجام شده است. به منظور انجام مطالعات رسوب‌شناسی، نمونه‌های برداشت‌شده توسط دستگاه الک و لرزاننده مرطوب فریتچ (مدل آنالایست ۳ پرو)^{۲۶} (برای ذرات بالای ۶۳ میکرون) در آزمایشگاه رسوب‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی مورد آنالیز قرار گرفتند. بر اساس وزن بدست‌آمده در هر رده رسوبی، درصد وزنی هر رده محاسبه (حاصل تقسیم وزن هر رده بر وزن کل نمونه

²⁰Grain-size

²¹Sediment type

²²Roundness

²³Sphericity

²⁴Sedimentary facies

²⁵Van Veen Grab

²⁶Vibratory sieve shaker (Fritsch-analysette 3 Pro)

¹³Isostatic adjustment

¹⁴Prolonged Caspian Sea highstand phases

¹⁵Apsheronian, Bakunian, Khazarian and Khvalynian

¹⁶Landforms

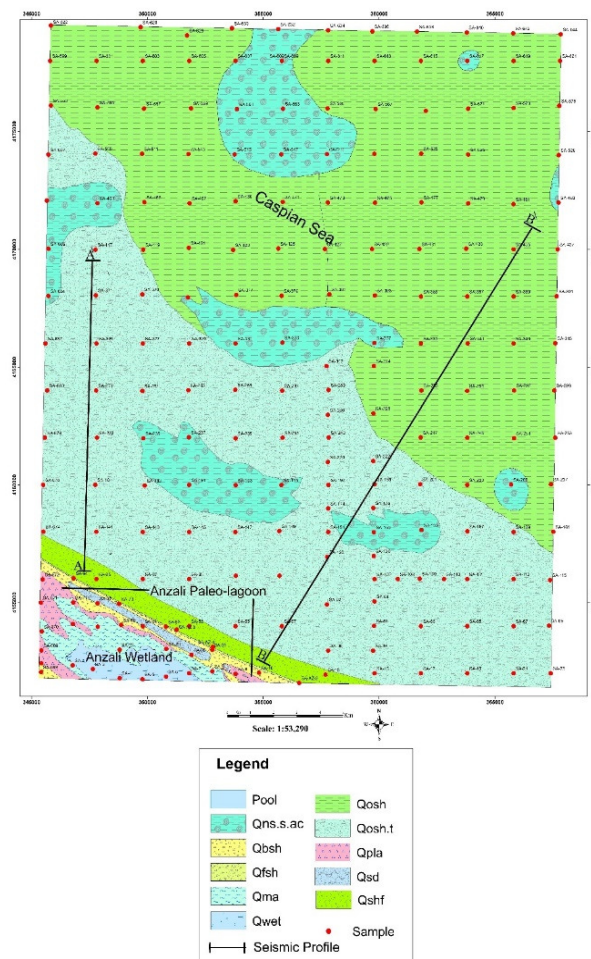
¹⁷Beach

¹⁸Shoreline

¹⁹Sand dune

شکل (کرویت و گردشگری) ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات مورد ارزیابی قرار گرفته است. جورشدگی رسوبات نیز با توجه به نتایج دانه‌بندی و مشاهده چشمی تعیین شده است.

ضربدر ۱۰۰) و با توجه به رده‌بندی فولک (فولک، ۱۹۷۴)، نوع رسوب تعیین شده است. برای مطالعه بافت رسوبی باید ویژگی‌هایی همانند اندازه و شکل اجزای رسوبی به همراه طرز قرار گرفتن ذرات (فابریک) رسوب مورد مطالعه قرار گیرد که در این پژوهش، ویژگی‌های بافتی شامل اندازه و



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی، نقاط (ایستگاه‌های) بررسی شده (SA) و نیم‌رخ‌های لرزه‌ای در ناحیه مورد مطالعه. حروف اختصاری محیط‌ها و زیرمحیط‌های رسوبی در جدول ۱ تعریف شده است.

Fig. 1. Geographical location, studied points (stations) (SA) and seismic profiles in the studied area. The abbreviations of the depositional environments and sub-environments are defined in Table 1.

جدول ۱. نمادهای معرف محیط‌ها و زیرمحیط‌های رسوبی در ناحیه مورد مطالعه.

Table 1. The representative symbols of depositional environments and sub-environments in the studied area.

Symbol	Depositional Environment	Symbol	Depositional Environment/Sub-environment
Qosh.t	Offshore-transition	Qma	Marsh
Qsd	Sand dune	Qfsh	Foreshore
Qshf	Shoreface	Qbsh	Backshore
Qp.la	Paleo-lagoon	Qns.s.ac	Non-skeletal/skeletal accumulation
Qosh	Offshore	Qwet	Wetland

در شرایط استاندارد تضمین می‌کند. ژرفای نفوذ برداشت تا بیشینه ۵۰ متر رسوبات نرم در شرایط ایده‌آل می‌باشد. برداشت داده‌های لرزه‌ای در این پژوهش با فرکانس ۸ کیلوهرتز و توسط شناور تحقیقاتی سازمان هواشناسی مستقر در بندر انزلی انجام شده است.

۴- نتایج

۴-۱- اندازه ذرات، گردش‌دگی، کرویت و انواع

رسوبات

نتایج حاصل از دانه‌سنجی (درصد ذرات در اندازه گراول، ماسه و گل)، گردش‌دگی، کرویت، انواع رسوب و محیط رسوبی برخی از نمونه‌های مطالعه شده در جدول ۲ ارائه شده است. به دلیل جلوگیری از ازدیاد حجم این نوشتار، فقط نتایج دانه‌سنجی ۶۴ نمونه در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس اندازه ذرات مطالعه شده، پراکنش اجزای رسوبی در قالب سه گروه در اندازه‌های ذرات در حد گراول، ماسه، سیلت و رس (ذرات در اندازه گل) تقسیم می‌شود. نتایج بررسی‌های رسوب‌شناسی نشان‌دهنده وجود سه نوع رسوب عمده بر اساس تقسیم‌بندی فولک (فولک، ۱۹۷۴) شامل: گل‌ماسه‌ای با کمی گراول (۴۵ درصد)، گل گراولی (۲۴ درصد) و گراول ماسه‌ای گلی (۸ درصد) می‌باشد که مجموعاً ۷۷ درصد از کل اجزا را تشکیل داده‌اند. همچنین انواع رسوب ماسه با کمی گراول (۷ درصد)، ماسه گلی با کمی گراول (۵ درصد)، ماسه گلی گراولی (۵ درصد)، گراول ماسه‌ای (۳ درصد)، گراول گلی (۱/۸ درصد)، ماسه گراولی (۰/۶ درصد)، گراول (۰/۶ درصد) و ماسه (۰/۶ درصد) نیز در این نمونه‌ها به مقدار کم‌تر (در مجموع حدود ۲۳ درصد) مشاهده شده است (شکل ۲). در محیط‌های رسوبی مطالعه شده، پراکندگی انواع رسوبات متفاوت است (شکل ۳). محیط‌های تالاب/مرداب/لاگون دیرینه^۶ از رسوب گل ماسه‌ای با کمی گراول، محیط پشت کناره^۷ از رسوبات ماسه ماسه با کمی گراول، ماسه گراولی و گراول ماسه‌ای گلی، محیط جلوی کناره^۸ از رسوبات ماسه گلی گراولی و ماسه با کمی گراول، محیط پهنه ساحلی از رسوبات گل گراولی و ماسه با کمی گراول، محیط حد واسطه فرا ساحلی از

به منظور تکمیل مطالعات، در محدوده اندازه‌های ۲ میلی‌متر تا ۱۲۵ میکرون توسط میکروسکوپ نیکون (مدل اس ام زد ۱۵۰۰)^۱، بررسی‌های مورفوسکوپی و مورفومتری انجام شده است. همچنین، برای شناسایی دقیق نوع خرده‌سنگ‌ها، اجزای زیستی و غیراسکلتی موجود در رسوبات، ۴۲ برش نازک تهیه شد و با میکروسکوپ پلاریزان نیکون مدل (E-200) مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به این که رسوبات مورد مطالعه، عمدتاً از مخلوط^۲ ذرات آواری، غیراسکلتی و آلی-زیستی تشکیل شده‌اند، بررسی بلوغ بافتی^۳ دارای ابهام و پیچیدگی‌هایی است. به همین علت از بررسی این شاخص در این پژوهش صرف‌نظر شده است. همچنین برای تعیین میزان گردش‌دگی و کرویت برای رسوبی آواری از نمودار مقایسه‌ای گردش‌دگی و کرویت برای ذرات در اندازه ماسه پاورس (پاورس، ۱۹۵۳) استفاده شده است. در ضمن، برای شناسایی رخساره‌های رسوبی، پارامترهای تنوع جنس رسوبات^۴، میانگین اندازه ذرات غالب^۵، جورشدگی^۶، رنگ، نوع رسوب و اجزای غالب تشکیل‌دهنده^۷ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که عدم استفاده از رخساره‌های استاندارد (کدهای رخساره‌ای) (میل، ۱۹۷۸ و ۲۰۰۶) و عناصر ساختاری (میل، ۱۹۹۵ و ۲۰۱۳) در شناسایی و طبقه‌بندی رخساره‌ها به دلیل نبود سیستم‌های رودخانه‌ای (محیط‌های کانال و دور از کانال) و مخروط‌های افکنه در ناحیه مورد مطالعه است. با توجه به مشاهدات صحرایی-میدانی و رخساره‌های رسوبی شناسایی‌شده، محیط‌های رسوبی منطقه مورد مطالعه تعیین شده است.

در ضمن، در این پژوهش سعی شده است با استفاده از دستگاه Sub-Bottom Profiler مدل استاندارد (SES-2000)، دو نیمرخ (پروفیل) لرزه‌ای در ناحیه دریایی مورد مطالعه، مورد بررسی ژئوفیزیکی کم‌ژرفا با دقت بالا قرار گرفته تا اطلاعاتی در مورد وضعیت رسوب‌گذاری در بستر و زیربستر دریا و ریخت‌شناسی بستر دریا بدست آید. دقت اسمی (قدرت تفکیک) این دستگاه کم‌تر از ۱۰ سانتی‌متر در جهت عمودی بوده و برداشت داده با فرکانس‌های ۴ تا ۱۲ کیلوهرتز، تفکیک‌پذیری ۱۵ سانتی‌متر را در ۵ متر اول

^۶ Sorting

^۷ Major constituents

^۸ Wetland/marsh/paleo-lagoon

^۹ Backshore

^{۱۰} Foreshore

^۱ Nikon (SMZ 1500)

^۲ Hybrid

^۳ Textural maturity

^۴ Homogeneous-heterogeneous

^۵ Mean dominant particle size

اسکلتی-غیراسکلتی از رسوبات گراول ماسه‌ای گلی، گراول ماسه‌ای، گراول و گراول گلی و زیرمحیط تپه ماسه‌ای از رسوب ماسه تشکیل شده است (شکل ۳).

رسوبات ماسه گلی با کمی گراول، ماسه گلی گراولی، گل ماسه‌ای با کمی گراول، ماسه با کمی گراول و گل گراولی، محیط فرا ساحلی از رسوبات ماسه گلی با کمی گراول، گل ماسه‌ای با کمی گراول و گل گراولی و زیرمحیط تجمع‌های

جدول ۲. درصد ذرات در اندازه‌های گراول، ماسه و گل بدست آمده از دستگاه الک-لرزاننده، گردشگری-کرویت غالب ذرات رسوبی آواری بر اساس مطالعات مورفومتری، نوع رسوب و محیط رسوبی.

Table 2. Percentage of gravel, sand and mud size particles obtained from the sieve-shaker device, dominant roundness-sphericity of the clastic sediment particles, sediment type and depositional environment.

Sample No.	Weight Sa.(gr)	Gravel%	Sand%	Mud%	Roundness	Sphericity	Sediment Type	Depositional Environment
SA-AZ-2	100	17	41	42	SR	Low-moderate	gM	Shoreface
SA-AZ-4	100	1	99	0	SA-SR	Low-moderate	(g)S	Backshore
SA-AZ-5	100	2	98	0	SA-SR	Low-moderate	(g)S	Shoreface
SA-1	100	3	17	80	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Marsh
SA-2	100	2	16	82	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Marsh
SA-3	100	1	14	85	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Wetland
SA-4	100	3	10	87	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Wetland
SA-5	100	2	12	86	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Wetland
SA-6	100	1	11	88	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Wetland
SA-7	100	4	15	81	SR	Low-moderate	(g)sM	Wetland
SA-8	100	3	17	80	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Marsh
SA-9	100	4	17	79	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Paleo-lagoon
SA-10	100	28	38	34	SR	Low-moderate	gmS	Foreshore
SA-13	100	2	91	7	SA-SR	Low-moderate	(g)S	Shoreface
SA-15	100	2	81	17	SA-SR	Low-moderate	(g)mS	Offshore-transition
SA-17	100	12	68	20	SA-SR	Low-moderate	gmS	Offshore-transition
SA-19	100	8	66	26	SR	Low-moderate	gmS	Offshore-transition
SA-21	100	3	72	26	SA-SR	Low-moderate	(g)mS	Offshore-transition
SA-23	100	1	46	54	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-24	100	4	16	80	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Marsh
SA-27	100	2	19	79	SR	Low-moderate	(g)sM	Marsh
SA-29	100	3	19	78	SR	Low-moderate	(g)sM	Marsh
SA-30	100	2	90	8	SR	Low-moderate	(g)S	Backshore
SA-31	100	1	97	2	SR	Low-moderate	(g)S	Foreshore
SA-36	100	12	71	18	SR	Low-moderate	gmS	Offshore-transition
SA-38	100	4	17	79	SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-50	100	3	17	80	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Paleo-lagoon
SA-51	100	1	91	8	SR	Low-moderate	(g)S	Backshore
SA-52	100	2	93	5	SA-SR	Low-moderate	(g)S	Foreshore
SA-53	100	3	90	7	SR	Low-moderate	(g)S	Shoreface
SA-55	100	1	95	4	SA-SR	Low-moderate	(g)S	Offshore-transition
SA-57	100	14	74	11	SA-SR	Low-moderate	gmS	Offshore-transition

ادامه جدول ۲
Continuation of table 2

Sample No.	Weight Sa.(gr)	Gravel %	Sand %	Mud %	Roundness	Sphericity	Sediment Type	Depositional Environment
SA-61	100	1	10	89	SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-63	100	2	44	54	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-65	100	1	14	85	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-67	100	1	15	84	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-69	100	9	50	41	SA-SR	Low-moderate	gmS	Offshore-transition
SA-70	100	4	5	91	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Paleo-lagoon
SA-71	100	1	13	86	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Paleo-lagoon
SA-72	100	0	94	6	SR	Low-moderate	S	Sand dune
SA-73	100	59	28	12	SA-SR	Low-moderate	msG	Backshore
SA-82	100	6	71	23	SA-SR	Low-moderate	gmS	Offshore-transition
SA-84	100	2	10	88	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-94	100	1	96	3	SA-SR	Low-moderate	(g)S	Foreshore
SA-95	100	1	92	7	SR	Low-moderate	(g)S	Shoreface
SA-97	100	12	72	16	SA-SR	Low-moderate	gmS	Offshore-transition
SA-99	100	1	15	84	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-107	100	1	14	85	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-108	100	1	22	77	SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-109	100	1	12	87	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-110	100	2	29	69	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-111	100	1	17	82	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-113	100	3	21	75	SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-115	100	2	12	86	SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-128	100	6	29	65	SR	Low-moderate	gM	Offshore-transition
SA-130	100	2	19	79	SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-141	100	1	12	87	SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-143	100	2	14	84	SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-145	100	1	12	87	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-147	100	1	13	86	SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-149	100	2	12	86	SA-SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-151	100	2	21	77	SR	Low-moderate	(g)sM	Offshore-transition
SA-153	100	45	35	20	-	-	msG	Non-skeletal/skeletal accumulation
SA-155	100	71	21	8	-	-	msG	Non-skeletal/skeletal accumulation

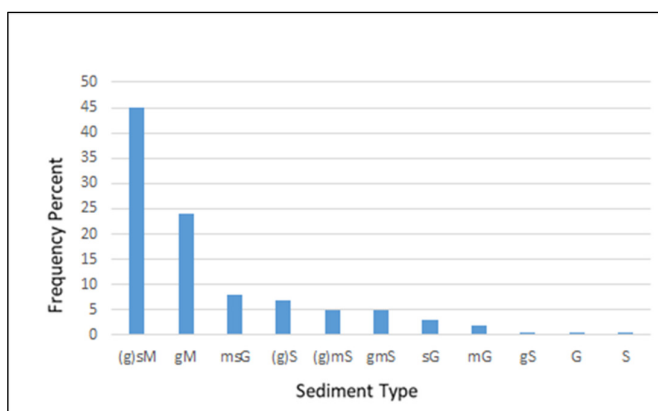
۴-۲- اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات

به طور کلی از آنجا که رسوب‌گذاری در محدوده مورد مطالعه حاصل برهم‌کنش فرآیندهای حمل و نقل مواد و رسوب‌گذاری ذرات خارج از حوضه و درون حوضه است، اجزاء در سه دسته آواری، غیراسکلتی کربنات کلسیم و

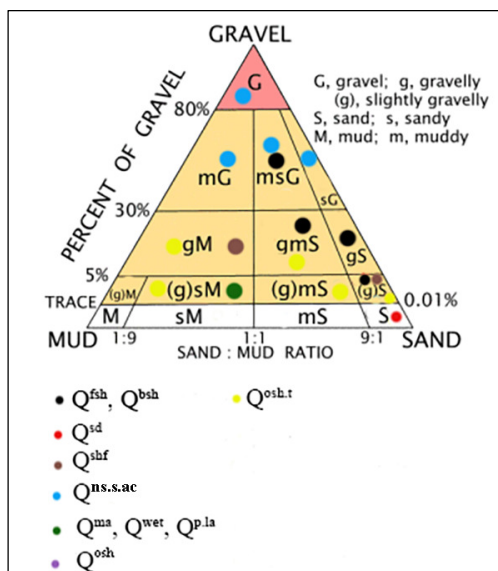
آلی-زیستی تقسیم شده‌اند. ذرات آواری شامل کوارتز، فلدسپار، میکا، پیروکسن، خرده‌سنگ و کانی رسی هستند. به استثنای کانی رسی (در اندازه رس) و خرده‌سنگ‌ها (در اندازه گراول-ماسه)، سایر ذرات آواری در اندازه ماسه تا رس می‌باشند. اجزای آلی-زیستی در اندازه ماسه و گراول

گوناگون دارای طیف وسیعی از ذرات آواری گردشده، نیمه‌گردشده تا نیمه‌زاویه‌دار (عمدتا نیمه‌گردشده تا نیمه‌زاویه‌دار) هستند (جدول ۲) (شکل ۴). میزان گردش‌دگی و کروییت ذرات در محیط‌های رسوبی شناسایی شده، الگو و روند خاصی را نشان نمی‌دهد. به دلیل وجود طیف گوناگونی از ذرات آواری با گردش‌دگی‌ها و کروییت‌های متفاوت، این پارامتر کمک مناسبی به شناسایی محیط‌های رسوبی در ناحیه مورد مطالعه نمی‌کند.

از قطعات گیاهی، موجودات دریایی و غیردریایی (آب شیرین) (استراکودا^۱، دوکفه‌ای^۲، بریوزوآ^۳) (منحصرا دریایی) و گاستروپودا^۴) تشکیل شده‌اند (شکل ۴). خرده‌سنگ‌ها در محیط‌های گوناگون عمدتاً از انواع شیلی و ولکانیکی و به مقادیر کمتر از انواع پلوتونیک تشکیل شده‌اند. محیط‌های رسوبی شناسایی شده از نظر انواع خرده‌سنگ‌ها تفاوت قابل توجهی نشان نمی‌دهند. در جدول ۳، محیط‌های رسوبی به همراه اجزای رسوبی تشکیل‌دهنده ذکر شده است. در ضمن، رسوبات مطالعه شده در محیط‌های رسوبی



شکل ۲. فراوانی انواع رسوبات در محدوده مورد مطالعه. رسوبات گل ماسه‌ای با کمی گراول و گل گراولی از سایر انواع رسوبات فراوان‌تر هستند.
Fig. 2. Abundance of sediments types in the studied area. Slightly gravelly sandy mud and gravelly mud deposits are more abundant than other types of sediments.



شکل ۳. فراوانی انواع رسوبات در محیط‌های رسوبی گوناگون مطالعه شده. مثلث با تغییراتی از فولک (فولک، ۱۹۷۴) ارائه شده است.

Fig. 3. The abundance of sediments types in different sedimentary environments (modified after Folk (1974)).

⁴ Gastropoda

¹ Ostracoda

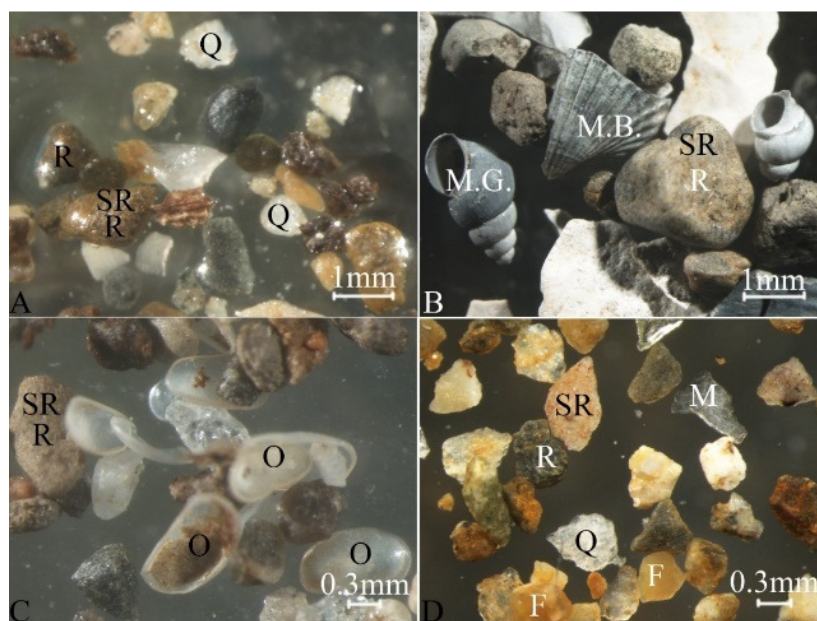
² Bivalve

³ Bryozoa

جدول ۳. اجزای تشکیل‌دهنده و محیط‌ها/زیرمحیط‌های رسوبی شناسایی شده. لازم به ذکر است که اجزای رسوبی محیط‌های مرداب، تالاب و لاگون دیرینه با یکدیگر دارای شباهت و همچنین، اجزای محیط‌های پهنه ساحلی و حوضات فراساحلی یکسان هستند. تفاوت عمده بین محیط‌های مرداب، تالاب و لاگون دیرینه، وجود دوکفه‌ای و گاستروپودای دریایی در محیط لاگون دیرینه است.

Table 3. Components and identified depositional environments/sub-environments. It should be noted that the sedimentary components of the marsh, wetland, and paleo-lagoon environments are similar to each other. Meanwhile, the components of the shoreface and offshore-transitional environments are the same. The major difference between the marsh, wetland, and paleo-lagoon environments is the presence of marine bivalves and marine gastropods in the paleo-lagoon environment.

Component	Depositional Environment/Sub-environment	Component	Depositional Environment/Sub-environment
Broken-unbroken marine bivalve/gastropoda/ostracoda/ bryozoa, intraclast	Non-skeletal/skeletal accumulation	Broken-unbroken marine bivalve/gastropoda/ostracoda, rock-fragment, quartz, feldspar, Pyroxene, plant debris, mica	Backshore
Broken-unbroken marine bivalve/gastropoda/ostracoda, rock-fragment, quartz, feldspar, mica	Shoreface	Broken-unbroken marine bivalve/ostracoda, rock-fragment, quartz, feldspar, mica, Pyroxene, plant debris	Foreshore
Rock-fragment, quartz, feldspar, broken bivalve	Sand dune (barrier dune ridge)	Plant debris, rock-fragment, broken and unbroken non-marine bivalve/ostracod/gastropoda, quartz, feldspar, mica, Pyroxene	Marsh
Broken-unbroken marine bivalve/gastropoda/ostracoda/bryozoa, intraclast, rock-fragment, quartz, feldspar, mica	Offshore-transition	Plant debris, rock-fragment, broken and unbroken non-marine bivalve/ostracoda/gastropoda, marine bivalve/gastropoda, quartz, feldspar, mica, Pyroxene	Paleo-lagoon
Broken-unbroken marine bivalve/gastropoda, intraclast, quartz	Offshore	Plant debris, rock-fragment, broken and unbroken non-marine bivalve/ostracoda/gastropoda, quartz, feldspar, mica, Pyroxene	Wetland



شکل ۴. اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات ناحیه مورد مطالعه. A- خرده‌سنگ (R) و ذره کوارتز (Q) در نمونه SA-619 (محیط فراساحل) (رده ۲۵۰ میکرون). B- خرده‌سنگ (R)، دوکفه‌ای دریایی (M.B.) و گاستروپودای دریایی (M.G.) در نمونه SA-95 (محیط پهنه ساحلی) (رده ۱ میلی‌متر). C- استراکودا (O) و خرده‌سنگ (R) در نمونه SA-10 (محیط جلوی کناره) (رده ۲۵۰ میکرون). D- خرده‌سنگ (R)، ذره کوارتز (Q)، ذره فلدسپار (F) و میکا (M) در نمونه SA-7 (محیط تالاب) (رده ۵۰۰ میکرون). به ذرات نیمه‌گردشده (SR) توجه شود.

Fig. 4. Sediments components. A- Rock-fragment (R) and quartz grain (Q) in sample SA-619 (offshore) (250 micron fraction). B- Rock-fragment (R), marine bivalve (M.B.) and marine gastropoda (M.G.) in sample SA-95 (shoreface) (2 mm fraction). C- Ostracoda (O) and rock-fragment (R) in sample SA-10 (250 micron fraction). D- Rock-fragment (R), quartz grain (Q), feldspar (F) and mica (M) in sample SA-7 (wetland) (500 micron fraction). Pay attention to semi-rounded (SR) particles.

۳-۴- رخساره‌های رسوبی

رخساره رسوبی، مجموعه‌ای از رسوبات با ویژگی‌های زیستی، فیزیکی و شیمیایی مشخص که در محیط‌های رسوبی خاصی نهشته شده‌اند، می‌باشد (نیکولز، ۲۰۰۹). رخساره‌های شناسایی شده غالب (فراوان) در محیط‌های رسوبی گوناگون ناحیه مورد مطالعه در جدول ۴ ذکر شده

جدول ۴. رخساره‌های شناسایی شده غالب و محیط‌های رسوبی در ناحیه مورد مطالعه. لازم به ذکر است که رخساره شناسایی شده برای محیط مرداب مشابه با محیط تالاب است.

Table 4. Dominant identified facies and depositional environments in the studied area. It should be noted that the identified facies for the marsh environment is similar to the wetland environment.

Sedimentary Facies	Depositional Environment/Sub-environment	Sedimentary Facies	Depositional Environment/Sub-environment
Non-homogenous coarse to medium grained moderately sorted gray to brown msG/sG/mG/G with marine bioclast	Non-skeletal/skeletal accumulation	Non-homogenous coarse to fine-grained poorly sorted gray to brown (g)S/gS/msG with rock-fragment and marine bioclast	Backshore
Non-homogenous fine-grained poorly sorted gray to brown (g)S/gM with rock-fragment and marine bioclast	Shoreface	Non-homogenous medium to fine-grained poorly sorted gray (g)S/gmS with rock-fragment and marine bioclast	Foreshore
Non-homogenous fine-grained well sorted gray to brown S with rock-fragment	Sand dune (barrier dune ridge)	Non-homogenous fine-grained poorly sorted gray to brown (g)sM with non-marine bioclast, plant debris and rock-fragment	Marsh
Non-homogenous medium to fine-grained poorly sorted gray to brown gmS/(gmS/gM)/(g)S/(g)sM with intraclast and marine bioclast	Offshore-transition	Non-homogenous fine-grained poorly sorted gray to brown (g)sM with non-marine/marine bioclast, plant debris and rock-fragment	Paleo-lagoon
Non-homogenous medium to fine-grained poorly sorted gray to brown (gmS/gM)/(g)sM with intraclast and marine bioclast	Offshore	Non-homogenous fine-grained poorly sorted gray to brown (g)sM with non-marine bioclast, plant debris and rock-fragment	Wetland

۵- بحث

۵-۱- محیط‌های رسوبی

محیط‌های رسوبی به بخشی از سطح زمین اطلاق می‌شود که از نظر فیزیکوشیمیایی و زیستی از مناطق مجاور خود مجزا می‌شوند (سلی، ۱۹۹۶؛ نیکولز، ۲۰۰۹؛ ردینگ، ۲۰۱۳). متغیرهای فیزیکی (دمای آب، ژرفای آب، سرعت جریان، نور، سرعت و جهت باد)، شیمیایی (ترکیب آب، شوری، کانی‌شناسی) و زیستی (افق خاک، پوشش گیاهی و جنگلی، نحوه زندگی موجودات، نوع و فراوانی موجودات جانوری و گیاهی) در ایجاد محیط‌های رسوبی موثر هستند (نیکولز، ۲۰۰۹). در ناحیه مورد مطالعه، محیط‌های رسوبی به سه دسته خشکی (تالاب، لاگون دیرینه و مرداب)، حدواسط (کناره) و دریایی (پهنه ساحلی، منطقه حدواسط فراساحلی و ناحیه فراساحلی) طبقه‌بندی شده است. کناره

به زیر محیط‌های ناحیه پشت کناره، ناحیه جلوی کناره و پشته‌های دون سدی (دون ماسه‌ای) تقسیم شده است. در نواحی مورد مطالعه، با توجه به پوشش گیاهی، پوشش جنگلی و گسترش کشاورزی، تشخیص و تفکیک محیط‌های رسوبی از یکدیگر بسیار مشکل می‌باشد. عموماً، استفاده نادرست از مفهوم‌های ساحل^۵، کرانه ساحلی و خط کناره در پژوهش‌ها انجام می‌شود. ساحل از مناطق بالادست تا خط ساحلی^۶ (منطقه تاثیر توفان)^۷؛ کناره، منطقه‌ای از حد پایین آب^۸ (دولان و همکاران، ۱۹۸۰) یا حد بالای آب^۹ (اس پی ام، ۱۹۸۴) تا حد امواج توفانی (خط ساحلی)؛ پهنه ساحلی، از خط کناره تا قاعده موج در شرایط آرام^{۱۰} و مناطق فراساحلی (بدون در نظر گرفتن ناحیه حدواسط فراساحلی)، ناحیه ژرف‌تر از قاعده موج در شرایط آرام است (مورالس، ۲۰۲۲). لازم به ذکر است که در این پژوهش

^۸Mean low water level

^۹Mean high water level

^{۱۰}Fair weather wave base

^۵Coast

^۶Coastline

^۷Storm surge action

منظور از ساحل و خط ساحلی، تعریف بکار رفته برای کناره و خط کناره است. در ضمن، در این پژوهش، خط کناره معادل حد بالای آب در نظر گرفته شده است.

۵-۱-۱- تالاب، مرداب و لاگون دیرینه

تالاب به محیطی بین خشکی و آب اطلاق می‌گردد که از نظر شکل و اندازه، وجود آب، خاک‌های هیدریک، آب و هوا و گیاهان سازش‌یافته با شرایط محیطی قابل تقسیم بوده و به راحتی می‌توان آن را شناسایی کرد (کووان، ۱۹۹۵). مرداب (مارش)، یکی از انواع تالاب بدون پیت بوده که توسط جزرومد، آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی تغذیه شده و دارای گیاهان و درختان بدون چوب^{۱۱} است (گور، ۱۹۸۳). لاگون یا لاگون ساحلی^{۱۲}، توده‌های آب دریایی یا لب‌شور کم‌رُفا هستند که توسط جزیره سدی^{۱۳}، اسپیت^{۱۴}، ریف^{۱۵} و یا کرانه ماسه‌ای^{۱۶} از حوضه آبی (اقیانوس یا دریا) جدا شده و حداقل بوسیله یک یا چندین کانال (مجرای جزرومدی^{۱۷}) با اقیانوس یا دریای باز در ارتباط است (گوننس و ولفین، ۲۰۰۴؛ کنیش و پرل، ۲۰۱۰). بنابراین، لاگون‌های ساحلی به صورت بخشی یا کاملاً بسته هستند. لاگون‌های ساحلی عموماً در سواحل پست و کم‌ارتفاع و به موازات ساحل ایجاد می‌شوند (کنیش و پرل، ۲۰۱۰). به دلیل ارتباط محدود با اقیانوس یا دریای باز، آب لاگون عموماً شورتر از آب دریاها است (نیکولز، ۲۰۰۹). در مناطقی که میزان بارش زیاد و رواناب شیرین به صورت محلی از دشت ساحلی یا رودخانه‌های کوچک به لاگون وارد می‌شود (مشابه ناحیه مورد مطالعه)، آب دارای شوری کمی بوده و لب‌شور است. رسوبات تخریبی ریزدانه ورودی به لاگون دارای دو منشأ هستند (نیکولز، ۲۰۰۹): ۱- مواد معلق موجود در آب دریا که از سد ساحلی عبور می‌کنند. ۲- توسط جریان‌های رودخانه‌ای از دشت ساحلی مجاور منشأ می‌گیرند. ذرات با اندازه بزرگ‌تر (عمدتاً ذرات در اندازه ماسه و گراول)، هنگامی می‌توانند وارد لاگون شوند که توفان، رسوبات بخش فوقانی سد ساحلی را به صورت رسوبات شسته شده (لایه‌های با ضخامت کم ماسه‌ای-گراولی)، حرکت داده و به درون محیط لاگون انتقال دهد. در ضمن بادهایی که به سمت ساحل می‌وزند، نیز، ذرات در

اندازه ماسه را از دون‌های موجود در طول سد برداشته و به درون آب لاگون انتقال می‌دهند و رسوبات شسته‌شده را ایجاد می‌کنند (نیکولز، ۲۰۰۹). بکارگیری واژه‌های تالاب (شکل ۵) و لاگون دیرینه در مورد حوضه آبی درون خشکی ناحیه سنگاچین (در واقع ادامه بخش شمال باختری از حوضه تالاب و لاگون دیرینه بندر انزلی است) بدین علت است که در حال حاضر به دلیل پایین آمدن سطح آب دریای خزر، ارتباط محیط دریایی (ورود جریان آب از دریا به محیط فوق‌الذکر) با حوضه آبی درون خشکی قطع شده است و آب آن از جریان‌های رودخانه‌ای و بارندگی تامین می‌شود و شرایط تالابی را پیدا کرده است. اما منشأ این حوضه در گذشته، یک لاگون ساحلی بوده است که آب دریا از طریق مجرای ورودی میان سد ساحلی و یا نشت از سد، وارد لاگون شده است. همچنین آب شیرین نیز از طریق دشت ساحلی مجاور (سیستم‌های رودخانه‌ای) و بارندگی وارد محیط لاگون شده است. نتیجتاً در ابتدا (زمان گذشته) محیط لاگون و امروزه تالاب محسوب می‌شود. در حال حاضر، سه محدوده مرداب، تالاب و لاگون دیرینه در منطقه مورد مطالعه قابل تفکیک است (شکل ۱). برای مشاهده جزئیات مرتبط با محیط‌های تالاب، لاگون دیرینه و مرداب در ناحیه انزلی به بهبهانی و همکاران (۱۴۰۳) مراجعه گردد. نهشته‌های تالاب و لاگون دیرینه در ناحیه مورد مطالعه، از رخساره غالب گل ماسه‌ای با کمی گراول خاکستری-قهوه‌ای رنگ با جورشدگی ضعیف و میانگین غالب ذرات در اندازه ریزدانه تشکیل شده است (جدول ۴). اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات تالاب و لاگون دیرینه از مخلوط ذرات آواری و آلی-زیستی تشکیل شده و دارای شباهت زیادی است. این نهشته‌ها، غالباً از خرده‌سنگ، قطعات گیاهی، بایوکلاست (استراکودا، دوکفه‌ای و گاستروپودا) غیردریایی و به مقدار کم‌تر از ذرات کوارتز، میکا، پیروکسن و فلدسپار تشکیل شده است (جدول ۳) (شکل ۶). لازم به ذکر است که در رسوبات لاگون دیرینه، دوکفه‌ای و گاستروپودای دریایی نیز مشاهده شده است (شکل ۶). بخشی از محیط آبی درون خشکی (درون‌قاره‌ای) ناحیه سنگاچین که توسط گیاهان بدون چوب احاطه شده‌اند، محیط مرداب را تشکیل می‌دهند. این محیط،

¹⁵ Reef

¹⁶ Sand bank

¹⁷ Tidal inlet

¹¹ Herbaceous (non-woody)

¹² Coastal lagoon

¹³ Barrier island

¹⁴ Spit

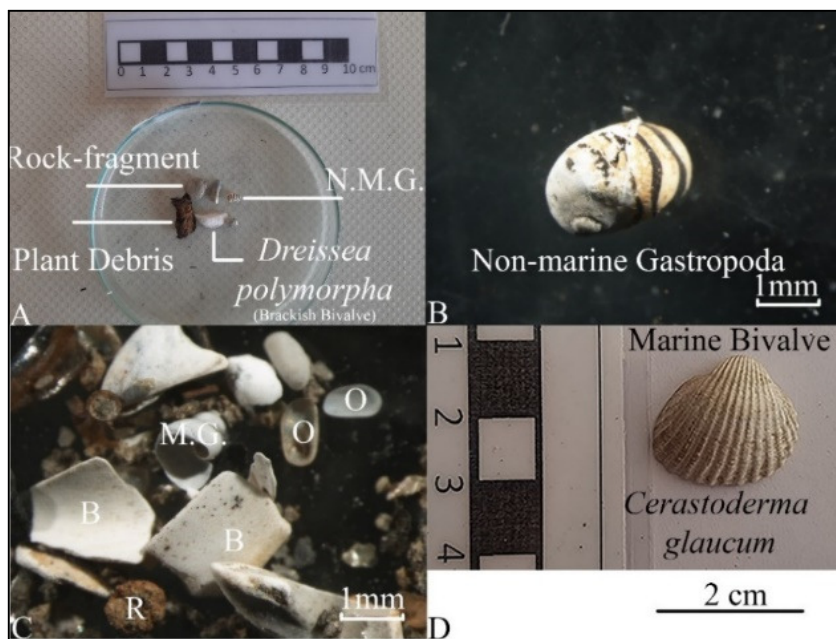
ولکانیک و پلوتونیک در این رسوبات مشاهده شده است. (شکل ۷).

دارای اجزاء و رخساره‌های رسوبی کاملاً مشابه با محیط تالاب است (جدول‌های ۳ و ۴). ذرات آواری شامل کوارتز، فلدسپار، پیروکسن و خرده‌سنگ‌های شیلی، آذرین



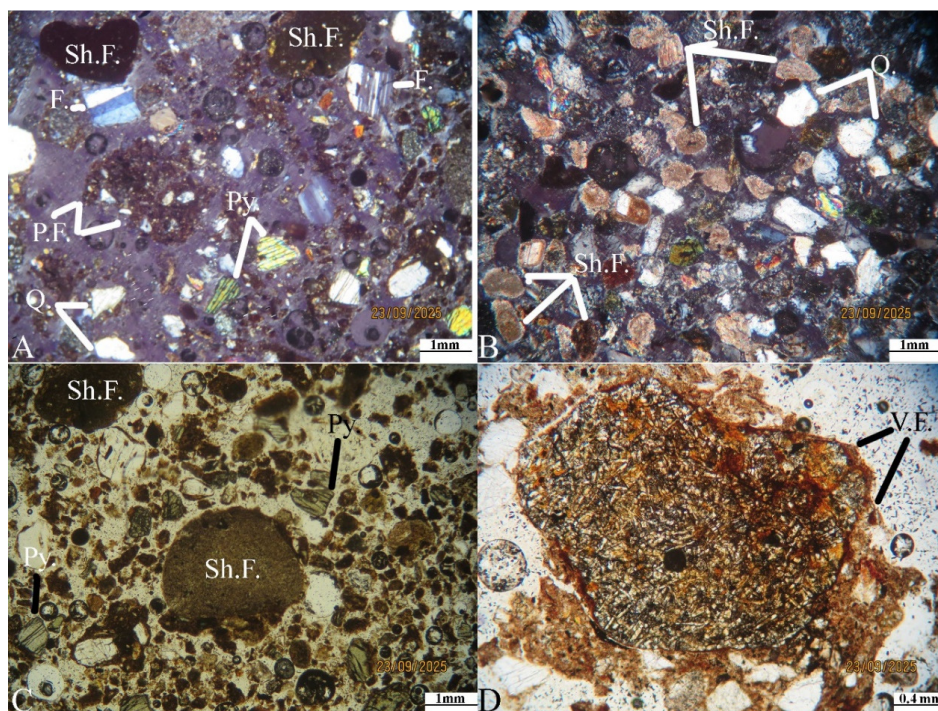
شکل ۵. محیط تالاب در ناحیه سنگاچین (نگاه به سمت جنوب).

Fig. 5. The wetland environment in Sangachin area (looking towards south).



شکل ۶. اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات تالاب (A و B) و لاگون دیرینه (C و D). A- دوکفه‌ای لب‌شور (*Dreisssea polymorpha*), قطعه گیاهی، خرده‌سنگ و گاستروپودا غیر دریایی در نمونه SA-7 (۲ میلی‌متر). B- گاستروپودا غیر دریایی در نمونه SA-7 (۱ میلی‌متر). C- خرده‌سنگ (R)، دوکفه‌ای شکسته شده (B)، استراکودا (O) و گاستروپودا دریایی در نمونه SA-70 (۵۰۰ میکرون). D- دوکفه‌ای دریایی (*Cerastoderma glaucum*) در نمونه SA-71 (۲ میلی‌متر).

Fig. 6. Constituents of the wetland (A and B) and paleo-lagoon (C and D) deposits. A- Brackish bivalve (*Dreisssea polymorpha*), plant debris, rock-fragment and non-marine gastropoda (N.M.G.) in sample SA-7 (2 mm fraction). B- Non-marine gastropoda (N.M.G.) in sample SA-7 (1 mm fraction). C- Rock-fragment (R), broken bivalve (B), ostracoda (O) and Marine gastropoda (M.G.) in sample SA-70 (500 micron fraction). D- Marine bivalve (*Cerastoderma glaucum*) in sample SA-71 (2 mm fraction).



شکل ۷. ذرات آواری تشکیل‌دهنده محیط مرداب در ناحیه سنگاچین. A- خرده سنگ شیلی (Sh.F.)، خرده سنگ آذرین پلوتونیک (P.F.)، فلدسپار (F.)، پیروکسن (Py.) و کوارتز (Q.) در نمونه SA-8 (XPL). B- خرده سنگ شیلی (Sh.F.) و کوارتز (Q.) در نمونه SA-8 (XPL). C- خرده سنگ شیلی (Sh.F.) و پیروکسن (Py.) در نمونه SA-29 (PPL). D- خرده سنگ آذرین ولکانیکی (V.F.) در نمونه SA-29 (PPL).

Fig. 7. Clastic particles of marsh environment in the Sangachin area. A- Shale fragment (Sh.F.), plutonic fragment (P.F.), feldspar (F.), pyroxene (Py.) and quartz (Q.) in sample SA-8 (XPL). B- Shale fragment (Sh.F.) and quartz (Q.) in sample SA-8 (XPL). C- Shale fragment (Sh.F.) and pyroxene (Py.) in sample SA-29 (PPL). D- Volcanic fragment in sample SA-29 (PPL).

۵-۱-۲- کناره

سواحل، مناطق حد فاصل بین خشکی و دریا هستند و محیط ساحلی می‌تواند شامل انواع مناطق مانند دشت‌های ساحلی، کرانه‌ها، منطقه کناره^۱، سد و لاگون باشد.

خطوط ساحلی به دو دسته فرسایشی و رسوبی طبقه‌بندی می‌شوند. خطوط ساحلی فرسایشی که در مناطق با شیب نسبتاً ملایم ایجاد می‌گردد. در مناطقی که بخش زیادی از انرژی موج از خط کناره (مرز واقعی بین خشکی و دریا) به سمت دریا باز می‌گردد (ساحل بازتابنده^۲)، سنگ بستر و مواد سست از ساحل دور شده و در اثر فرایندهای موج، جزرومد و جریان‌ها مجدداً پراکنده می‌شوند (نیکولز، ۲۰۰۹). در این نوع خطوط ساحلی، فرسایش صخره‌هایی که در آن‌ها سنگ بستر رخنمون پیدا می‌کند، می‌تواند سبب ایجاد سکوه‌های موج‌گسیخت^۳ از سنگ بستر گردد که که سطح کناره به صورت تقریباً افقی فرسایش یافته‌اند.

سپس عملکرد امواج، جریان‌های توفانی و جزرومدی، ذرات را به صورت بار بستری، بار معلق و یا به صورت محلول جابجا می‌کنند (نیکولز، ۲۰۰۹). این موضوع در تامین رسوب دریایی نقش داشته و در مناطق دور از دهانه رودخانه‌ها، می‌تواند منشایی برای مواد آواری در محیط‌های دریایی کم‌ژرفا باشند. در خطوط ساحلی رسوبی، شیب معمولاً نسبتاً ملایم بوده و بخش زیادی از انرژی امواج در آب‌های کم‌ژرفا تلف می‌شود (نیکولز، ۲۰۰۹). به شرط ورود رسوب، این سواحل، می‌توانند محل انباشت رسوب باشند. این نوع خط ساحلی مانند خط ساحلی دریای خزر در منطقه سنگاچین، باید دارای مواد آواری و یا خرده‌های فسیلی کافی باشد تا رسوب تجمع یابد (شکل ۸). منشأ این رسوبات یا از قلمروی دریایی بوده و یا دارای منشاهای رودخانه‌ای، بادرفت و فرسایش مستقیم خط ساحلی هستند. این رسوبات توسط امواج، جریان‌های ناشی از باد و

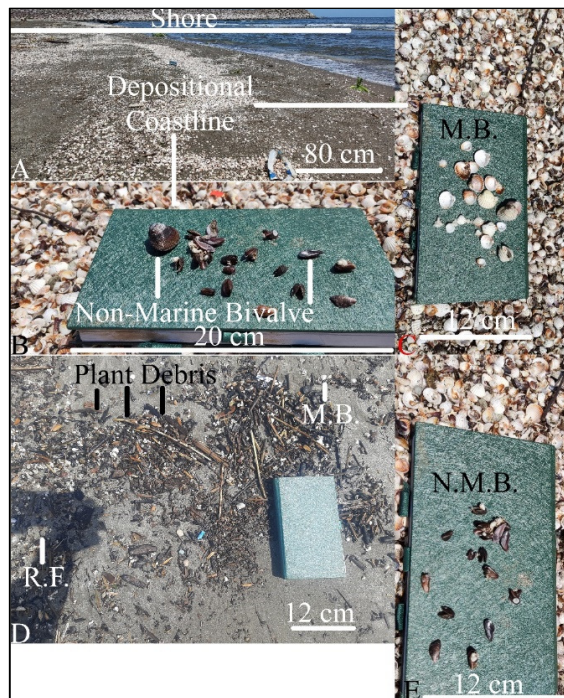
¹ Shore zone

² Reflective coast

³ Wave cut platform

مورالس، ۲۰۲۲) تا حد امواج توفانی (خط ساحلی) است. محیط رسوبی کناره به دو ناحیه جلوی کناره و پشت کناره تقسیم می‌شود (مورالس، ۲۰۲۲).

توفان که ذرات رسوبی را به موازات خط ساحلی^۱ و یا در طول دریای کم‌ژرفا حرکت می‌دهد، به محیط رسوبی آورده می‌شود. کناره، منطقه‌ای از حد پایین آب^۲ (دولان و همکاران، ۱۹۸۰) یا حد بالای آب^۳ (اس پی ام، ۱۹۸۴؛



شکل ۸. خط ساحلی رسوبی و اجزای سازنده آن با منشاهای گوناگون در ساحل دریای خزر بعد از بارندگی نسبتاً شدید (ناحیه سنگاچین). A- منطقه کناره (نگاه به سمت باختر). B- دوکفه‌ای‌های غیردریایی. C- دوکفه‌ای دریایی (M.B.). D- قطعات گیاهی، دوکفه‌ای دریایی (M.B.) و خرده‌سنگ (R.F.). E- دوکفه‌ای غیردریایی (N.M.B.). به نظر می‌رسد که دوکفه‌ای‌های غیردریایی، قطعات چوبی و خرده سنگ از طریق آورد رودخانه‌ای به محیط دریایی منتقل و سپس توسط عملکرد امواج در خط ساحلی ناحیه مورد مطالعه تجمع یافته‌اند.

Fig. 8. Depositional coastline and its constituent particles of diverse origins along the Caspian Sea coast following relatively heavy rainfall (Sangachin area). A- Shore zone (looking towards south). B- Non-marine bivalves C- Marine bivalves (M.B.). D- Plant debris, Marine bivalve and rock-fragment (R.F.). E- Non-marine bivalve (N.M.B.). It appears that non-marine bivalves, plant debris and rock-fragment were transported to the marine environment by riverine input and subsequently accumulated along the shoreline.

جابجا شده و دارای گردشگی نسبتاً خوبی (عمدتاً نیمه‌گردشده تا نیمه‌زاویه‌دار و به مقدار کم‌تر گردشده) هستند. نهشته‌های ناحیه جلوی کناره، از رخساره غالب ماسه گلی گراولی/ماسه با کمی گراول خاکستری رنگ با جورشدگی ضعیف و میانگین غالب ذرات در اندازه متوسط-ریزدانه تشکیل شده است (جدول ۴). این نهشته‌ها، غالباً از خرده‌سنگ شیلی و بایوکلاست (دوکفه‌ای دریایی و استراکودا) و به مقدار کم‌تر از قطعات گیاهی، ذرات کوارتز، فلدسپار، پیروکسن و میکا تشکیل شده است (جدول‌های ۳ و ۴) (شکل ۹).

۵-۱-۲-۱- ناحیه جلوی کناره

بخش بین حد پایین و بالای آب (دامنه رفت و برگشت امواج) را ناحیه جلوی کناره می‌گویند (مورالس، ۲۰۲۲). این بخش رو به دریای محیط کناره، دارای سطحی هموار با شیبی ملایم به سمت دریا است و امواج در آن منطقه حرکت رفت و برگشتی دارند (نیکولز، ۲۰۰۹؛ ردینگ و کالینسون، ۲۰۱۳). معمولاً ذرات رسوبی به علت سایش مداوم از نظر ترکیبی و بافتی بالغ می‌باشند و ذرات ضعیف‌تر تخریب می‌شوند (نیکولز، ۲۰۰۹). در منطقه مورد مطالعه، ذرات در اندازه ماسه و گراول بطور مداوم در این ناحیه

³ Mean high water level

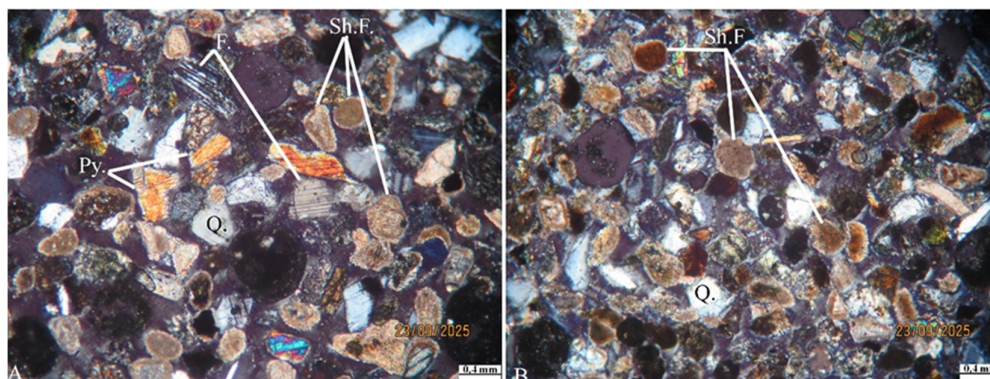
¹ Longshore drift

² Mean low water level

۵-۲-۲- ناحیه پشت کناره

بخش پشتی کناره، از حد بالای آب تا خشکی (خط ساحلی) قرار گرفته است (مورالس، ۲۰۲۲). در ناحیه پشت کناره، گیاهان می‌توانند رشد کنند و ذرات سست در اندازه ماسه نیز توسط فرایندهای بادی جابجا می‌شوند. در اثر جابجایی

رسوبات سست توسط فرایند بادی، دونه‌های بادی به صورت پشته‌های دونه کناره‌ای (ساحلی) تشکیل می‌شوند (نیکولز، ۲۰۰۹). لازم به ذکر است که در ناحیه پشت کناره، ماسه‌های بادی (دونه‌های ماسه‌ای) در برخی قسمت‌های نواحی مورد مطالعه مشاهده شده است (شکل ۱۰).



شکل ۹. ذرات آواری رسوبات ناحیه جلوی کناره. A- خرده‌سنگ شیلی (Sh.F.)، کوارتز (Q.)، فلدسپار (F.) و پیروکسن (Py.) در نمونه SA-31 (XPL). B- خرده‌سنگ شیلی (Sh.F.) و ذره کوارتز (Q.) در نمونه SA-94 (XPL).

Fig. 9. Clastic particles of foreshore area. A- Shale fragment (Sh.F.), feldspar (F.), quartz (Q.) and pyroxene in sample SA-31 (XPL). B- Shale fragment (Sh.F.) and quartz grain (Q.) in sample SA-94 (XPL).

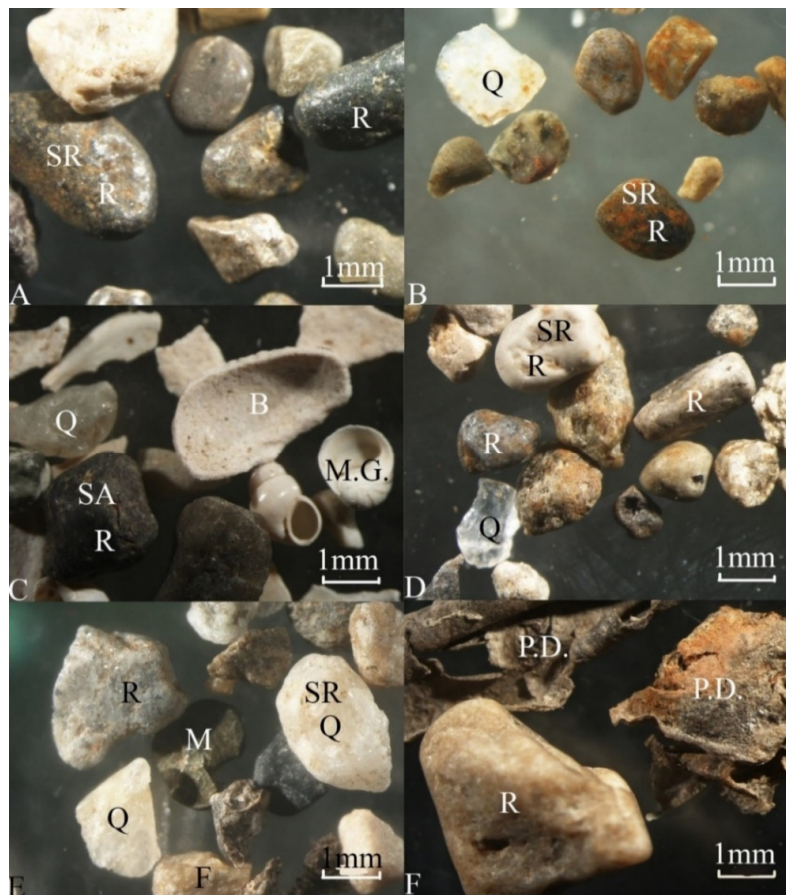


شکل ۱۰. تپه ماسه‌ای در محیط رسوبی پشت کناره (ناحیه سنگاچین).

Fig. 10. Sand dune in backshore environment (Sangachin area).

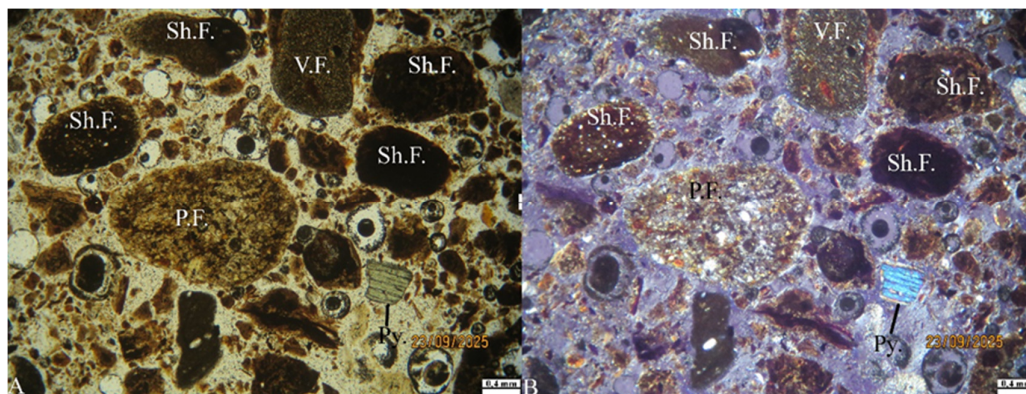
۳). نهشته‌های ناحیه پشت کناره، از رخساره غالب گراول ماسه‌ای گلی/ماسه با کمی گراول/ماسه گراولی قهوه‌ای-خاکستری رنگ با جورشدگی ضعیف و میانگین غالب ذرات در اندازه درشت-ریزدانه تشکیل شده است (جدول ۴). نهشته‌های ناحیه پشت کناره، غالباً از خرده‌سنگ (شیلی، آذرین پلوتونیک و ولکانیک) و بایوکلاست (دوکفه‌ای دریایی، گاستروپودا دریایی و استراکودا) و به مقدار کمتر از قطعات گیاهی، ذرات کوارتز، پیروکسن، میکا و فلدسپار تشکیل شده است (جدول ۳ و شکل‌های ۱۱ و ۱۲).

آن‌ها عمدتاً از ذرات در اندازه ماسه (عمدتاً ذرات در اندازه ماسه ریز با گردشدگی نسبتاً خوب (عمدتاً نیمه‌گردشده) و جورشدگی خوب؛ جدول‌های ۲ و ۴) سست در ناحیه پشت کناره مشاهده شده است. ماسه‌های بادی در ناحیه مورد مطالعه از رخساره غالب ماسه قهوه‌ای-خاکستری رنگ با جورشدگی خوب و میانگین غالب ذرات در اندازه ریزدانه تشکیل شده است (جدول ۴). این ماسه‌ها، غالباً از خرده‌سنگ و به مقدار کمتر از ذرات کوارتز، فلدسپار و دوکفه‌ای شکسته شده (کمیاب) تشکیل شده است (جدول



شکل ۱۱. اجزای تشکیل‌دهنده ناحیه پشت کناره. A- خرده‌سنگ (R) در نمونه SA-AZ-4 (۱ میلی‌متر). B- خرده‌سنگ (R) و ذره کوارتز (Q) در نمونه SA-30 (۵۰۰ میکرون). C- خرده‌سنگ (R)، ذره کوارتز (Q)، گاستروپودا دریایی (M.G.) و دوکفه‌ای (B) در نمونه SA-51 (۱ میلی‌متر). D- خرده‌سنگ (R) و ذره کوارتز (Q) در نمونه SA-73 (۵۰۰ میکرون). E- ذره کوارتز (Q)، خرده‌سنگ (R)، ذره میکا (M) و ذره فلدسپار (F) در نمونه SA-30 (۱ میلی‌متر). F- خرده‌سنگ (R) و قطعات گیاهی (P.D.) در نمونه SA-AZ-4 (۲ میلی‌متر). به ذرات آواری نیمه‌گردشده (SR) و نیمه‌زاویه‌دار (SA) توجه شود.

Fig. 11. Components of sediments in the backshore area. A- Rock-fragment (R) in sample SA-AZ-4 (1 mm fraction). B- Rock-fragment (R) and quartz (Q) in sample SA-30 (500 micron fraction). C- Rock-fragment (R), quartz (Q), marine gastropoda (M.G.) and bivalve (B) in sample SA-51 (1 mm fraction). D- Rock-fragment, quartz (Q) in sample SA-73 (500 micron fraction). E- Quartz (Q), rock-fragment (R), mica (M) and feldspar (F) in sample SA-30 (1 mm fraction). F- Rock-fragment (R) and plant debris (P.D.) in sample SA-AZ-4 (2 mm fraction). Pay attention to semi-rounded (SR) and semi-angular (SA) clastic particles.



شکل ۱۲. ذرات آواری رسوبات ناحیه پشت کناره. خرده‌سنگ شیلی (Sh.F.)، خرده‌سنگ پلوتونیک (P.F.)، خرده‌سنگ ولکانیک (V.F.) و پیروکسن (Py.) در نمونه SA-51 (XPL). A- PPL. B-XPL.

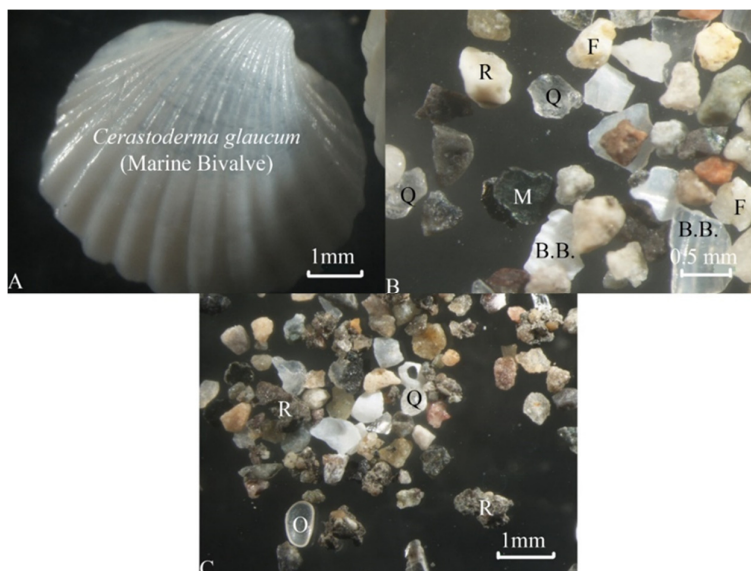
Fig. 12. Clastic particles of backshore area. A- Shale fragment (Sh.F.), plutonic fragment (P.F.), volcanic fragment (V.F.) and pyroxene (Py.) in sample SA-51 (XPL). A- PPL. B-XPL.

۵-۱-۳- محیط پهنه ساحلی

پهنه ساحلی یکی از زیرمحیط‌های قلمرو دریایی^۱ است. نزدیکی به خط کناره، ژرفای آب و گرادیان کف دریا از عوامل مهم در طبقه‌بندی محیط دریایی به شمار می‌روند (نیکولز، ۲۰۰۹). ژرفای آب این بخش معمولاً بین ۵ تا ۲۰ متر و در برخی موارد، بیش‌تر (تا ۵۰ متر؛ بر اساس طول موج امواج متغیر است) می‌باشد (نیکولز، ۲۰۰۹). گسترش و پهنای این منطقه به شیب فلات و ژرفای اثر امواج عادی بستگی داشته و از صدها متر تا کیلومترها می‌تواند ادامه یابد. با توجه به طول امواج در دریای خزر که از ۶۰ متر تجاوز نمی‌کند (میسلنکو و همکاران، ۲۰۱۸) و قاعده موج ۳۰ متری آن، بخش پهنه ساحلی در ناحیه مورد مطالعه تا

ژرفای ۳۰ متری آب تعیین شده است. لازم به ذکر است که با توجه به داده‌های طول موج استنتاج‌شده از منابع در دسترس (میسلنکو و همکاران، ۲۰۱۸)، تعیین ژرفای آب مرتبط با ژرفای اثر امواج در ناحیه مورد مطالعه، قطعی نیست و به صورت احتمالی است.

نهشته‌های پهنه ساحلی در ناحیه مورد مطالعه از رخساره غالب ماسه با کمی گراول/گل/گراولی خاکستری تا قهوه‌ای رنگ با جورشدگی ضعیف و میانگین غالب ذرات در اندازه متوسط تا ریزدانه ناهمگن تشکیل شده است. این رسوبات، غالباً از خرده‌سنگ و بایوکلاست‌های (دوکفه‌ای، استراکودا و گاستروپودا) دریایی و به مقدار کم‌تر از ذرات کوارتز، فلدسپار و میکا تشکیل شده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات پهنه ساحلی A- دوکفه‌ای دریایی (*Cerastoderma glaucum*) در نمونه SA-13 (رده ۲ میلی‌متر). B- خرده‌سنگ (R)، ذره فلدسپار (F)، ذره میکا (M)، ذره کوارتز (Q) و دوکفه‌ای شکسته‌شده (B.B.) در نمونه SA-AZ-2 (رده ۲۵۰ میکرون). C- خرده‌سنگ (R)، ذره کوارتز (Q) و استراکودا (O) در نمونه SA-AZ-5 (رده ۲۵۰ میکرون).

Fig. 13. Components of sediments in the shoreface. A- Marine bivalve (*Cerastoderma glaucum*) in sample SA-13 (2 mm fraction). B- Rock-fragment (R), feldspar (F), quartz (Q), mica (M) and broken bivalve (B.B.) in sample SA-AZ-2 (250 micron fraction). C- Rock-fragment (R), quartz (Q) and ostracoda (O) in sample SA-AZ-2 (250 micron fraction).

۵-۱-۴- محیط حدواسط فراساحلی

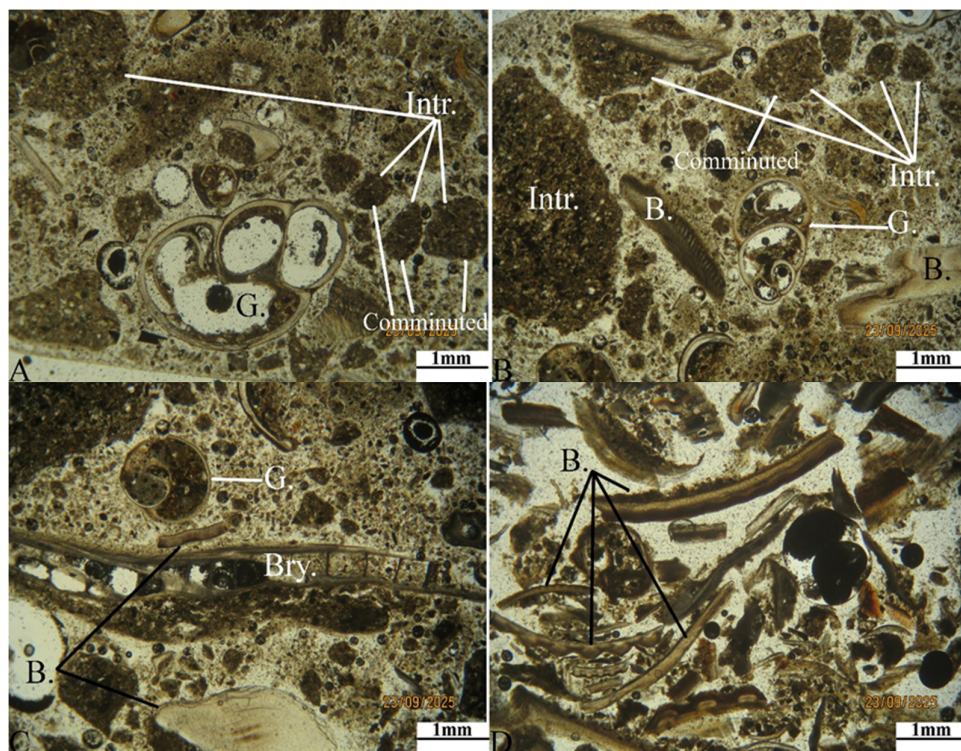
در آب‌های ژرف‌تر، فقط امواج توفانی بر بستر دریا تاثیر می‌گذارند. ژرفای تاثیر این امواج متفاوت است. در برخی مناطق ۲۰ متر گزارش شده، اما بین ۵۰ تا ۲۰۰ متر نیز تغییر می‌کند (نیکولز، ۲۰۰۹). به این بخش، منطقه حد واسط فراساحلی می‌گویند. این منطقه بین سطح اثر امواج عادی و توفانی قرار می‌گیرد.

با توجه به داده‌های طول موج بدست‌آمده از منابع در دسترس (میسلنکو و همکاران، ۲۰۱۸)، منطقه حد واسط فراساحلی در ناحیه مورد مطالعه، احتمالاً در محدوده ژرفای آب بیش از ۳۰ تا ۵۵ متر قرار می‌گیرد. نهشته‌های منطقه حد واسط فراساحلی در ناحیه سنگاچین از رخساره غالب ماسه گلی/گراولی/ماسه گلی با کمی گراول/گل/گراولی/ماسه با کمی گراول/گل/ماسه‌ای با کمی گراول

¹ Marine realm

بایوکلاست‌های (دوکفه‌ای، استراکودا، بریوزوآ و گاستروپودا) دریایی و به مقدار کمتر از خرده‌سنگ، ذرات کوارتز، فلدسپار و میکا تشکیل شده است (جدول ۳ و شکل ۱۴).

خاکستری تا قهوه‌ای رنگ با جورشدگی ضعیف و میانگین غالب ذرات در اندازه ریزدانه ناهمگن تشکیل شده است. این رسوبات، غالباً از اینتراکلاست (ذرات غیراسکلتی) و



شکل ۱۴. اجزای اسکلتی و غیراسکلتی تشکیل‌دهنده محیط حدواسط فراساحلی در ناحیه سناچین. A- گاستروپودا (G.) و اینتراکلاست (Intr.) در نمونه SA-329 (PPL). B- اینتراکلاست (Intr.)، گاستروپودا (G.)، و دوکفه‌ای (B.) در نمونه SA-130 (PPL). C- بریوزوآ (Bry.)، گاستروپودا (G.)، و دوکفه‌ای (B.) در نمونه SA-84 (PPL). D- دوکفه‌ای (B.) در نمونه SA-329 (PPL). به اینتراکلاست‌های شکسته-ساییده شده (Comminuted) توجه شود.

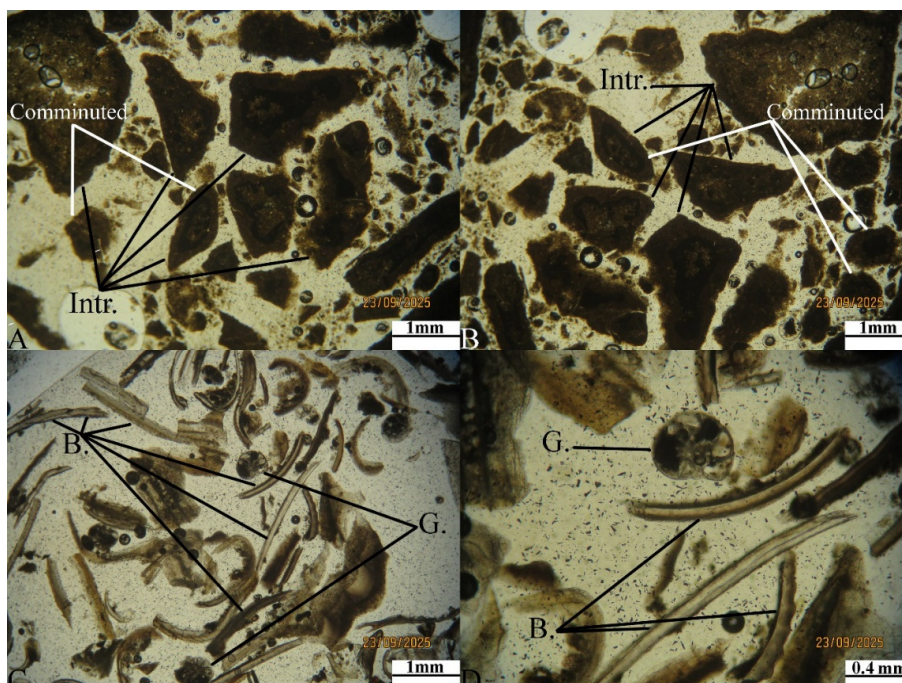
Fig. 14. Skeletal and non-skeletal components of offshore-transition environment in the Sangachin area. A- Gastropoda (G.) and intraclast (Intr.) in sample SA-329 (PPL). B- Intraclast (Intr.), gastropoda (G.), bivalve (B.) in sample SA-130 (PPL). C- Bryozoa (Bry.), gastropoda (G.) and bivalve (B.) in sample SA-84 (PPL). D- Bivalve (B.) in sample SA-329 (PPL). Pay attention to comminuted intraclasts.

ماسه‌ای با کمی گراول خاکستری تا قهوه‌ای رنگ با جورشدگی ضعیف و میانگین غالب ذرات در اندازه متوسط-ریزدانه ناهمگن تشکیل شده است. این رسوبات، غالباً از اینتراکلاست و بایوکلاست‌های (دوکفه‌ای و گاستروپودا) دریایی و به مقدار کمتر از ذرات کوارتز تشکیل شده است (شکل ۱۵). قطعه‌های شکسته-ساییده شده اینتراکلاست نشان‌دهنده تاثیر جریان‌های دریایی در انتقال (حمل و جابجایی) درون‌حوضه‌ای در محیط‌های حد واسط فراساحلی و فراساحلی می‌باشد (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).

۵-۱-۵- محیط فراساحلی

این منطقه در زیر سطح اثر امواج در شرایط توفانی قرار می‌گیرد (نیکولز، ۲۰۰۹). با توجه به داده‌های طول موج بدست‌آمده از منابع در دسترس (میسلنکو و همکاران، ۲۰۱۸) و تغییرات شدیدتر ژرفای آب (نزدیک‌تر بودن تغییرات خطوط هم‌ژرفای آب در نقشه ژرفاسنجی) ناحیه فراساحلی در ناحیه مورد مطالعه، احتمالاً در محدوده ژرفای آب بیش از ۵۵ متر قرار می‌گیرد.

نهشته‌های ناحیه فراساحلی در ناحیه مورد مطالعه از رخساره غالب گل گراولی/ماسه گلی با کمی گراول/گل



شکل ۱۵. اجزای اسکلتی و غیراسکلتی تشکیل‌دهنده ناحیه فراساحلی در ناحیه مورد مطالعه. A- اینتراکلاست (Intr.) در نمونه SA-268 (PPL). B- اینتراکلاست (Intr.) در نمونه SA-343 (PPL). C- گاستروپودا (G.) و دوکفه‌ای (B.) در نمونه SA-640 (PPL). D- دوکفه‌ای (B.) و گاستروپودا (G.) در نمونه SA-251 (PPL). به اینتراکلاست‌های شکسته-ساییده‌شده (Comminuted) توجه شود.

Fig. 15. Skeletal and non-skeletal components of offshore area in the Sangachin area. A- Intraclast (Intr.) in sample SA-268 (PPL). B- Intraclast (Intr.) in sample SA-343 (PPL). C- Gastropoda (G.) and Bivalve (B.) on sample SA-640 (PPL). D- Bivalve (B.) and Gastropoda (G.) in sample SA-251 (PPL). Pay attention to comminuted intraclasts.

غرق شدن در طول حداکثر یخبندان و پیشروی بعدی، از بین رفته‌اند (لاکر و همکاران، ۲۰۱۶).

مجموعه‌ی تشکیل‌دهنده‌ی تجمع‌ها بسته به ژرفا، دما و وضعیت گرمسیری^۷ متفاوت است. ممکن است غالباً از بریزوآ (جیمز و همکاران، ۲۰۰۴)، مرجان‌های آب سرد (فوبرت و هنریت، ۲۰۰۹)، اسفنج و یا ترکیبی از مرجان‌ها و جلبک‌های مرجانی (دامالاکان و همکاران، ۲۰۱۹) تشکیل شوند. در برخی موارد، بر اساس شواهد ژئوشیمیایی و ریخت‌شناسی، می‌توان منشأ برخی از این تجمع‌های ژرف‌تر را به نشت هیدروکربن مرتبط دانست (کانگمی و همکاران، ۲۰۱۰). با این حال، منشأ این تجمع‌ها در آب‌های کم‌ژرف‌تر که در آن‌ها موجودات فتوتروفیک (موجودات تولیدکننده مواد آلی) در سطح آن وجود دارند، کمتر مشخص است (وایولانت و همکاران، ۲۰۲۰).

تفکیک این عارضه‌ها در محدوده دریایی سنگاچین نسبت به محیط مجاورشان، توسط برجستگی‌های توپوگرافیک

۵-۱-۶- زیرمحیط تجمع‌های اسکلتی-غیر اسکلتی

در پژوهش‌های علمی انجام‌شده، هیچ اجماعی در مورد زمان‌بندی و مکانیسم تشکیل زیست‌ساختارهای اسکلتی-غیراسکلتی وجود ندارد. تجمع‌ها به تراوش هیدروکربن^۳ (ویلر و همکاران، ۲۰۰۷؛ فوبرت و هنریت، ۲۰۰۹) یا فرآیندهای خودزا^۴ که توسط سرعت زیاد جریان و تأمین مواد غذایی برانگیخته می‌شوند (ماینیس و همکاران، ۲۰۰۷؛ وایت، ۲۰۰۷؛ فوبرت و هنریت، ۲۰۰۹)، مرتبط دانسته شده‌اند. برخی از پژوهشگران (ابی و همکاران، ۲۰۱۳) تشکیل آن‌ها را به ریف‌هایی نسبت می‌دهند که در دوره‌های کوتاه‌مدت افزایش آهسته سطح دریا^۵ در طول پیشروی هولوسن^۶ و غرق شدن بعدی که رشد آن‌ها را متوقف کرد، ایجاد شده‌اند. پژوهشگران دیگر، منشأ آن‌ها را به ریف‌هایی که در طول دوره‌های پایین سطح دریا در آخرین چرخه‌های یخبندان ایجاد شده‌اند، نسبت می‌دهند که به دلیل ترکیبی از رخنمون‌یافتن (خارج شدن از آب) و

^۶ Holocene transgression

^۷ Tropic state

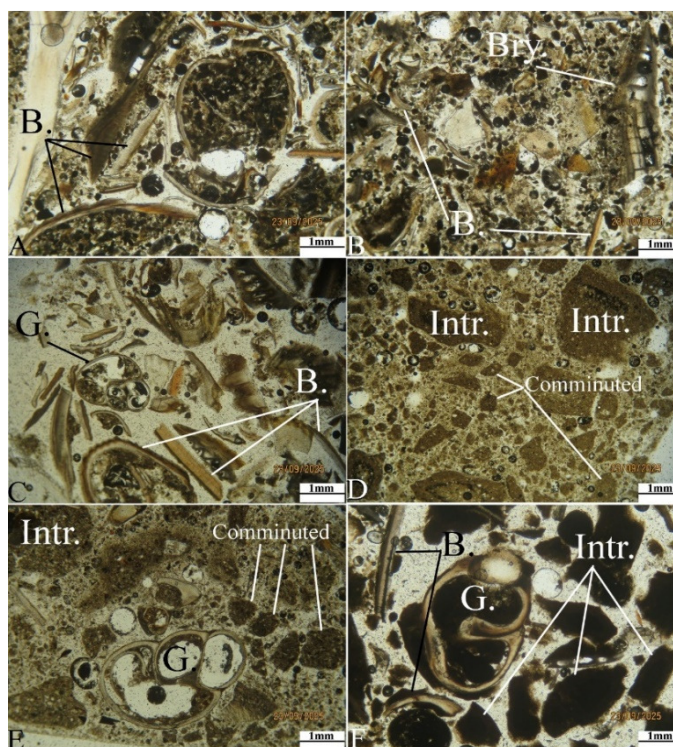
^۳ Hydrocarbon seepage

^۴ Autogenic processes

^۵ Short-lived periods of slow sea-level rise

محیط‌های حد واسط فراساحلی و فراساحلی نشان‌دهنده تاثیر جریان‌های دریایی در انتقال درون‌حوضه‌ای ذرات رسوبی می‌باشد. فراوان بودن اجزای بایوکلاستی، فقدان ذرات سیلیسی کلاستیک نظیر کوارتز، فلدسپار، میکا و غالب بودن ذرات در اندازه گراول، تاثیر جریان‌های دریایی با شدت بالا و مواد مغذی نسبتاً زیاد در ایجاد این تجمع‌ها در ناحیه مورد مطالعه محتمل است. با این حال، با توجه به داده‌های موجود، امکان تشخیص و معرفی دقیق پارامترهای موثر در تشکیل این عارضه‌ها در ناحیه مورد مطالعه فراهم نیست. در ضمن، محدوده (قطر) نمایش داده شده این تجمع‌های کربناته در شکل‌های ۱ و ۱۸ به علت انجام ندادن تصویربرداری آکوستیک^۸ و عدم استفاده از زیردریایی تحقیقاتی^۹ در ناحیه مورد مطالعه به صورت تقریبی و غیر قطعی مشخص شده است.

(تشخیص داده‌شده توسط ژرفاسنج دستی) و رخساره گراول غالب متشکل از مقادیر زیاد بایوکلاست‌های دریایی و به مقدار کم‌تر ذرات غیراسکلتی اینتراکلاست صورت گرفته است. این زیرمحیط در محیط‌های حدواسط فراساحلی و فراساحلی پهنه مورد مطالعه (ژرفای آب بیش از ۴۵ متر تا ۱۹۵ متر) مشاهده می‌شود. نهشته‌های این زیرمحیط در ناحیه مورد مطالعه از رخساره غالب گراول گلی/گراول/گراول ماسه‌ای/گراول ماسه‌ای گلی خاکستری تا قهوه‌ای رنگ با جورشدگی متوسط و میانگین غالب ذرات در اندازه بزرگ-متوسط‌دانه ناهمگن تشکیل شده است. این رسوبات، غالباً از بایوکلاست‌های (دوکفه‌ای، بریوزوآ، استراکودا و گاستروپودا) دریایی و به مقدار کم‌تر از ذرات غیراسکلتی کربنات کلسیم (اینتراکلاست) تشکیل شده است (شکل‌های ۱۶ و ۱۷). قطعه‌های شکسته-ساییده شده اینتراکلاست در تجمع‌های اسکلتی-غیراسکلتی همانند



شکل ۱۶. اجزای تشکیل‌دهنده زیرمحیط تجمع اسکلتی-غیراسکلتی در ناحیه سنگاچین. A- دوکفه‌ای (B.) در نمونه SA-331 (PPL). B- بریوزوآ (Bry.) و دوکفه‌ای (B.) در نمونه SA-609 (PPL). C- گاستروپودا (G.) و دوکفه‌ای (B.) در نمونه SA-517 (PPL). D- اینتراکلاست (Intr.) سالم و شکسته-ساییده شده (Comminuted) در نمونه SA-607 (PPL). E و F- گاستروپودا (G.) و اینتراکلاست (Intr.) در نمونه‌های SA-483 و SA-515 (PPL).

Fig. 16. Components of non-skeletal/skeletal accumulation in the Sangachin area. A- Bivalve (B.) in sample SA-331 (PPL). B- Bryozoa (Bry.) and bivalve (B.) in sample SA-609 (PPL). C- Gastropoda (G.) and Bivalve (B.) in sample SA-517 (PPL). D- Comminuted intraclast (Intr.) in sample SA-607 (PPL). E and F- Gastropoda (G.) and Intraclast (Intr.) in samples SA-483 and SA-515 (PPL).

^۹ Remotely operated vehicle (ROV)

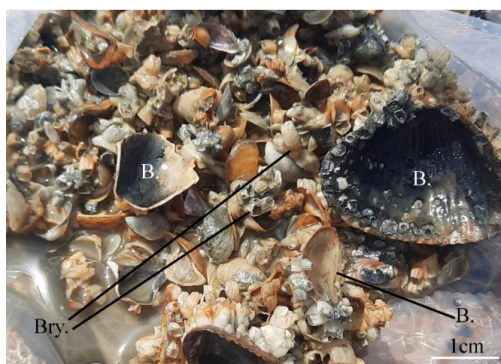
^۸ Side scan sonar

۵-۲- پراکنش ذرات در اندازه‌های گوناگون در محیط دریایی

الگوی پراکندگی ذرات (فارغ از ترکیب شیمیایی) در اندازه‌های گل (ذرات در اندازه سیلت و رس) تا گراول در محیط دریایی تابعی از پارامترهای گوناگون نظیر نحوه عملکرد جریان‌های دریایی، جریان‌های جزرومدی، شدت و دبی رودخانه‌های ورودی، مسافت طی شده ذرات رسوبی از ناحیه منشا و..... می‌باشد (مورالس، ۲۰۲۲).

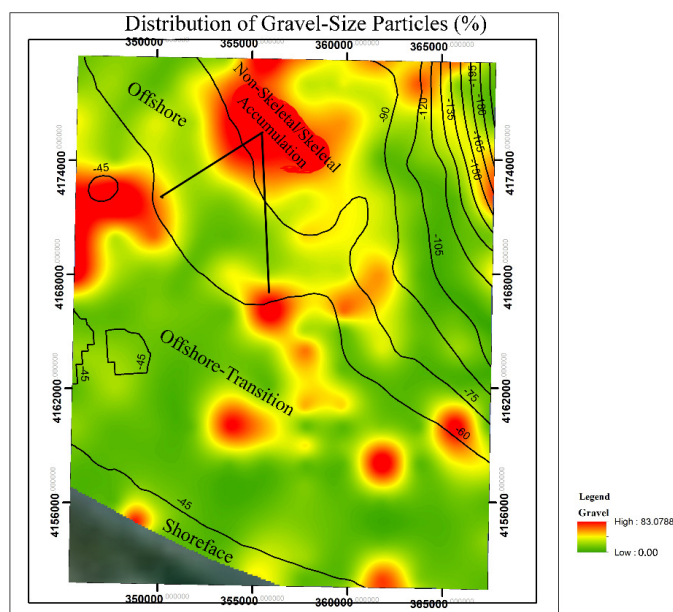
در ناحیه مورد مطالعه، با توجه به فقدان جریان‌های جزرومدی و رودخانه‌های ورودی، جریان‌های دریایی نقش بسزایی در انتقال ذرات رسوبی در اندازه‌های گوناگون در

پهنه دریایی دارند. الگوی مشخص و چشمگیری نظیر افزایش مقدار ذرات در اندازه گل با افزایش مسافت از خط کناره و افزایش ژرفای آب و یا کاهش مقدار ذرات در اندازه گراول و ماسه با افزایش ژرفای آب مشاهده نمی‌گردد. علت این موضوع احتمالاً به دو منشا (هیبریدی) بودن ذرات رسوبی (ذرات آواری انتقال‌یافته از خشکی و ذرات آلی-زیستی) و نقش جریان‌های دریایی در انتقال ذرات رسوبی در پهنه دریایی دارد. به طور کلی تجمع ذرات در اندازه گراول عمدتاً در زیرمحیط تجمع اسکلتی-غیراسکلتی در محیط‌های حدواسط فراساحلی و فراساحلی مشاهده می‌شود (شکل ۱۸).



شکل ۱۷. اجزای اسکلتی (دوکفه‌ای (B.) و بربوزوآ (Bry.)) سالم و شکسته شده تشکیل دهنده رسوبات تجمع اسکلتی-غیراسکلتی در ناحیه مورد مطالعه (نمونه SA-632). به غالب بودن بایوکلاست‌های دریایی توجه شود.

Fig. 17. Broken and unbroken skeletal components of non-skeletal/skeletal accumulation in sample SA-632. Note the predominance of marine bioclasts.

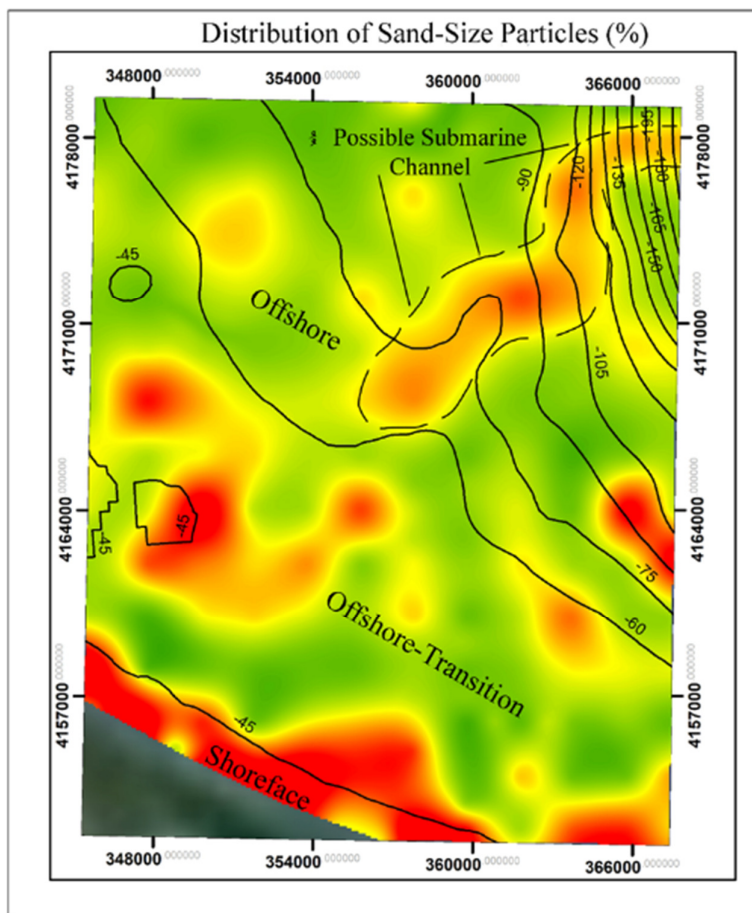


شکل ۱۸. پراکنش ذرات در اندازه گراول در محیط دریایی ناحیه مورد مطالعه. ذرات در اندازه گراول عمدتاً در زیرمحیط تجمع اسکلتی-غیراسکلتی مشاهده شده است.

Fig. 18. Distribution of gravel-size particles (%) in marine environment. Gravel-size particles have primarily been observed in the non-skeletal/skeletal accumulation.

غیراسکلتی)) پراکنده شده‌اند (شکل ۲۰). لازم به ذکر است که الگوی توزیع ذرات در اندازه ماسه همراه با نزدیک بودن خطوط هم‌ژفای آب در نواحی ژرف دریایی (محیط فراساحلی) احتمالا نشانگر وجود کانال‌های زیردریایی^۱ می‌باشد (شکل ۱۹).

ذرات در اندازه ماسه عمدتاً در ناحیه پهنه ساحلی، مناطق ابتدایی و کم‌ژرف‌تر محیط حدواسط فراساحلی و به مقدار کم‌تر در ناحیه ژرف‌تر محیط حدواسط فراساحلی و محیط فراساحلی (شکل ۱۹) و ذرات در اندازه گل غالباً در نواحی ژرف‌تر (محیط حدواسط فراساحلی و برخی بخش‌های محیط فراساحلی (به استثنای زیر محیط تجمع اسکلتی-



شکل ۱۹. پراکنش ذرات در اندازه ماسه در محیط دریایی ناحیه مورد مطالعه. ذرات در اندازه ماسه عمدتاً در محیط پهنه ساحلی و مناطق کم‌ژرف‌تر محیط حدواسط فراساحلی مشاهده شده است. در ضمن، الگوی پراکندگی این ذرات نشان‌گر کانال زیردریایی احتمالی در ناحیه فراساحلی است.

Fig. 19. Distribution of sand-size particles (%) in marine environment. Sand-size particles have primarily been observed in the shoreface and the shallow parts of offshore-transition. Furthermore, the distribution pattern of these particles indicates a possible submarine channel in the offshore area.

دریای خزر در مناطق مورد مطالعه از دو محیط سکوی قاره‌ای^۲ (پهنه ساحلی و ناحیه حد واسط فراساحلی) و شیب شیب قاره^۳ (ناحیه فراساحلی) تشکیل شده است. تراوش (نشت) گاز^۴ در رسوبات نرم زیربستر در محیط سکوی قاره‌ای مشهود است. تراوش گاز توسط قطع‌شدگی

۵-۳- بررسی لرزه‌نگاری کم‌ژرفا با قدرت تفکیک بالا

با توجه به داده‌های لرزه‌نگاری کم‌ژرفای بدست‌آمده از ناحیه مورد مطالعه، تحلیل اندکی از شرایط رسوب‌گذاری در بستر و زیربستر دریا می‌توان ارائه نمود (شکل ۲۱). از منظر ترکیب مفاهیم ریخت‌شناسی و محیط رسوبی، پهنه

^۲ Continental rise

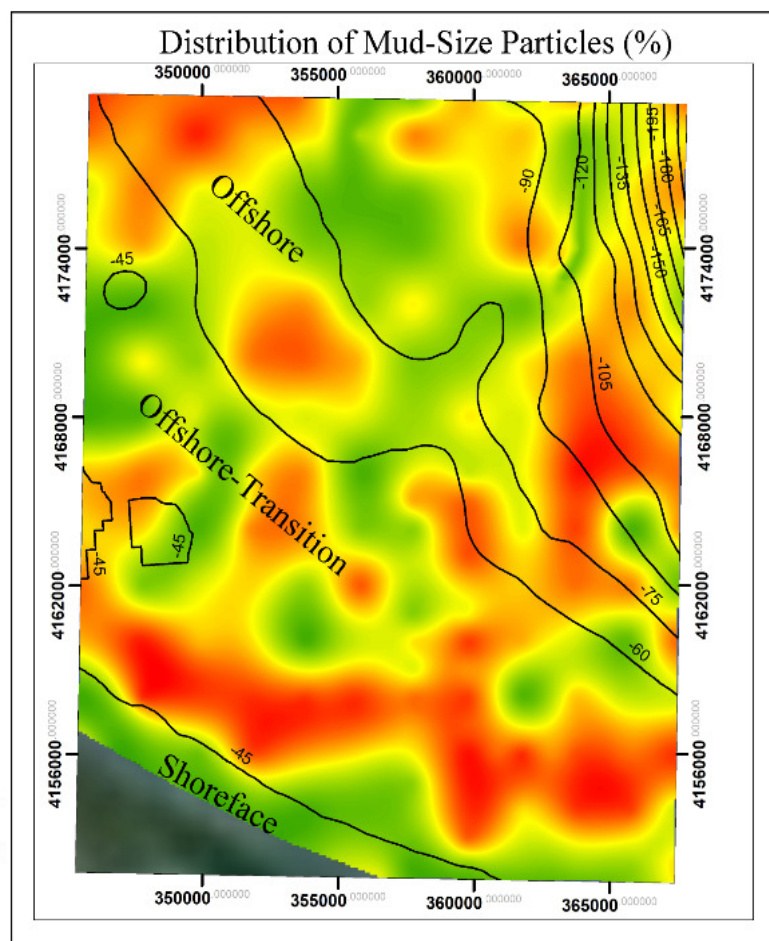
^۴ Gas seepage

^۱ Submarine channels

^۳ Continental shelf

می‌باشد (نیکولز، ۲۰۰۹). رسوبات ایجاد شده در این محیط بی‌نهایت گسترده است. الگوی داده‌های لرزه‌ای در رسوبات زیر پهنه ساحلی و حدواسط فراساحلی از نوع لایه‌ای شکل^۲ با بازتابنده‌های موازی تا نیمه‌موازی است (شکل ۲۱).

بازتابنده‌های لرزه‌ای^۱ در نیمرخ‌های لرزه‌ای مشخص شده است (شکل ۲۱). محیط دریایی سکوی قاره‌ای مکان مناسبی برای تجمع رسوبات آواری شسته‌شده از قاره‌ها و رسوب‌گذاری کربنات‌ها از بقایای موجودات ساکن در آب



شکل ۲۰. پراکنش ذرات در اندازه گل (سیلت و رس) در محیط دریایی ناحیه مورد مطالعه. ذرات در اندازه گل عمدتاً در نواحی ژرف‌تر (محیط‌های حدواسط فراساحلی و فراساحلی) مشاهده شده است.

Fig. 20. Distribution of sand-size particles (%) in marine environment. Mud-size particles have primarily been observed in the deeper parts (offshore-transition and offshore environments).

جریان‌های توده‌ای^۴ یا ریزش‌ها^۵ حرکت می‌کنند (نیکولز، ۲۰۰۹). نیمرخ لرزه‌ای ثبت‌شده در ناحیه شیب نشان‌دهنده رسوبات لغزش‌یافته^۶ (زون لغزشی با بازتابنده‌های داخلی نامنظم و آشفته^۷) ایجادشده در اثر ناپایداری بستر در ناحیه شیب می‌باشد (شکل ۲۱B).

محیط شیب قاره دارای شیبی بین ۲ تا ۱۰ درجه است، در حالی‌که سکوی قاره دارای شیبی بسیار کم در حدود ۰/۰۵۰ درجه هست (نیکولز، ۲۰۰۹). شیب‌هایی با بیش از ۱ درجه شیب دارای پایداری کم‌تری در برابر حرکت رسوبات هستند و رسوبات سست^۳ به راحتی به صورت

^۵ Slumps

^۶ Slide deposit

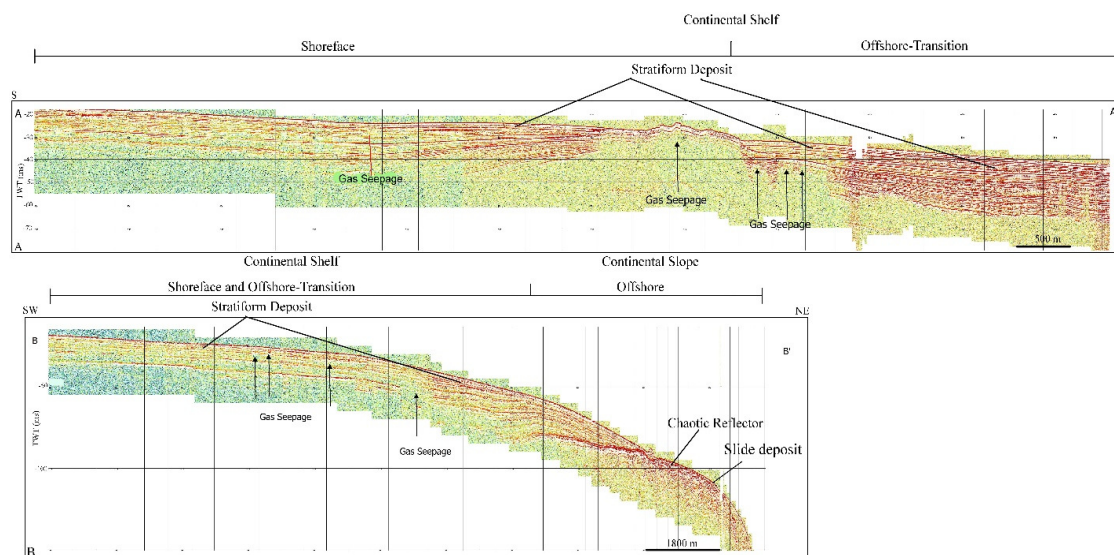
^۷ Chaotic

^۱ Seismic reflectors

^۲ Stratiform

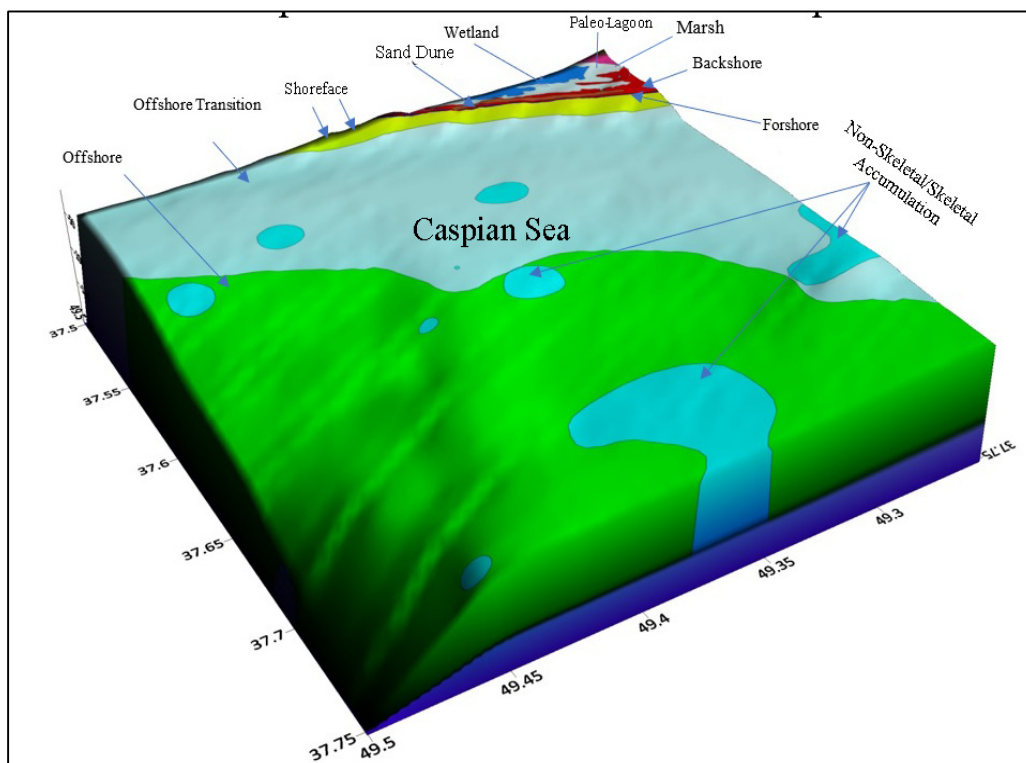
^۳ Unconsolidated

^۴ Mass flows



شکل ۲۱. نیم‌رخ لرزه‌ای از محیط سکوی قاره‌ای (A و B) و شیب قاره‌ای (B) در ناحیه مورد مطالعه. رسوبات لایه‌ای شکل در سکوی قاره و رسوبات لغزش‌یافته با بازتابنده‌های داخلی نامنظم و آشفته در شیب قاره مشاهده می‌شوند. محور عمودی، زمان رفت و برگشت امواج صوتی^۱ بر حسب میلی ثانیه است. در ضمن، موقعیت نیم‌رخ‌های لرزه‌ای در شکل ۱ نمایش داده شده است.

Fig. 21. Seismic profiles of continental shelf (A and B) and continental slope (B) in the studied area. Stratiform deposits and slide deposits with chaotic reflectors observed in continental shelf and slope, respectively. The vertical axis represents the two way travel time in milliseconds. Additionally, the locations of the seismic profiles are shown in Figure 1.



شکل ۲۲. محیط‌های رسوبی عهد حاضر در ناحیه مورد مطالعه.

Fig. 22. Recent depositional environments in the studied area.

^۱ Two way travel time (TWT)

۶- نتیجه‌گیری

مشاهدات، مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی ناحیه مورد مطالعه (ورقه ۱:۵۰۰۰۰ سنگاچین)، رسوب‌شناسی و جایگاه‌های (محیط‌های) رسوبی دریایی، حدواسط (ساحلی-کناره‌ای) و خشکی را مشخص کرده است. مشاهدات میدانی و تحلیل رخساره‌های نهشته‌های گوناگون در مناطق مورد مطالعه، نشان‌دهنده رسوب‌گذاری آن‌ها در طیف نسبتاً وسیعی از محیط‌های گوناگون شامل تالاب (عهد حاضر)/لاگون (زمان گذشته)، مرداب، کناره (بخش‌های جلو و پشت کناره)، پهنه ساحلی، حدواسط فراساحلی و فراساحلی می‌باشد (شکل ۲۲). در ضمن، زیرمحیط تجمع اسکلتی-غیراسکلتی در محیط‌های حدواسط فراساحلی و فراساحلی تشخیص داده شده است. محیط‌های تالاب، لاگون دیرینه و مرداب عمدتاً از خرده‌سنگ، قطعات گیاهی و بایوکلاست (استراکودا، دوکفه‌ای و گاستروپودا) غیردریایی؛ محیط‌های جلوی کناره، پشت کناره و پهنه ساحلی عمدتاً از خرده‌سنگ و بایوکلاست (دوکفه‌ای، گاستروپودا و استراکودا) دریایی؛ محیط‌های حدواسط فراساحلی و فراساحلی غالباً از ذرات غیراسکلتی کربنات کلسیم (اینتراکلاست) و بایوکلاست (استراکودا (منحصراً در محیط حدواسط فراساحلی)، دوکفه‌ای، بریوزوآ (منحصراً در محیط حدواسط فراساحلی) و گاستروپودا) دریایی و زیرمحیط تجمع اسکلتی-غیراسکلتی غالباً از بایوکلاست (استراکودا، دوکفه‌ای، بریوزوآ و گاستروپودا) تشکیل شده است. ذرات در اندازه گراول عمدتاً در تجمع‌های اسکلتی-غیراسکلتی (واقع در بخش‌های ژرف‌تر محیط حدواسط فراساحلی و در محیط فراساحلی)، ذرات در اندازه ماسه غالباً در پهنه ساحلی و در بخش‌های کم‌ژرفای محیط حدواسط فراساحلی و ذرات در اندازه گل (در اندازه سیلت و رس) غالباً در نواحی ژرف محیط حدواسط فراساحلی و برخی مناطق محیط فراساحلی مشاهده شده است. داده‌های لرزه‌ای در رسوبات زیر پهنه ساحلی و حدواسط فراساحلی (محیط سکوی قاره‌ای) از نوع لایه‌ای شکل با بازتابنده‌های موازی تا نیمه‌موازی و در رسوبات زیر بستر ناحیه فراساحلی (محیط شیب قاره) از بازتابنده‌های داخلی نامنظم و آشفته می‌باشد. بازتابنده‌های آشفته نشان‌دهنده زون لغزشی (رسوبات لغزش‌یافته) می‌باشد. احتمالاً جریان‌های دریایی حاوی مواد مغذی زیاد سبب تشکیل تجمع‌های اسکلتی-غیراسکلتی

۷- سپاسگزاری

نویسندگان مایل هستند که از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای تامین اعتبار لازم برای انجام پروژه (مطالعات میدانی، نمونه‌برداری، انجام دانه‌بندی، تهیه برش نازک و برداشت داده‌های لرزه‌ای) تشکر و قدردانی بعمل آورند. از آقای مهندس انسانی (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور؛ دفتر بررسی‌های زمین‌شناسی دریایی) به خاطر برداشت نیمرخ‌های لرزه‌ای سپاس‌گزاری می‌گردد.

References

- Abbey, E., Webster, J. M., Braga, J. C., Jacobsen, G. E., Thorogood, G., Thomas, A. L. (2013) Deglacial mesophotic reef demise on the Great Barrier Reef. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 392: 473-494. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.09.032>.
- Bare, A. Y., Grimshaw, K. L., Rooney, J. J., Sabater, M. G., Fenner, D., and Carroll, B. (2010) Mesophotic communities of the insular shelf at Tutuila, American Samoa. *Coral Reefs*, 29: 369-377. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0600-y>.
- Behbahani, R., Hosseinyar, Gh. R., Ebrahimi Pargou, A., Feyzi Rad, A., Parsinejad, Sh. (2024) Sedimentary components, investigation of facies and depositional environment of Bandar-Anzali area. *Applied Sedimentology*, 12: 218-248. (in Persian), <https://doi.org/10.22084/psj.2024.29499.1441>.
- Behbahani, R., Hosseinyar, Gh. R., Karimkhani, A., Mohseni, H., Atashmard, Z. (2017) The role of sedimentological and geochemical indicators in the recognition of redox conditions in the southern part of the South Caspian Basin. *Applied Sedimentology*, 5: 1-20 (in Persian), <https://doi.org/10.22084/psj.2017.13030.1134>.
- Behbahani, R., Karimkhani, A., Hosseinyar, Gh. R. (2016) Sedimentology, depositional settings and organic geochemistry in the southern part of the South Caspian Basin. *Applied Sedimentology*, 4: 50-63. (in Persian), <https://doi.org/10.22084/psj.2016.1621>.
- Bialik, Or. M., Varzi, A. G., Duran Gallego, R., Le Bas, T., Gauci, A., Savini, A., Micallef, A. (2022) Mesophotic depth biogenic accumulations (biogenic mounds) offshore the Maltese Islands, central Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 9: 803687. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.803687>.

- Cangemi, M., Di Leonardo, R., Bellanca, A., Cundy, A., Neri, R., and Angelone, M. (2010) Geochemistry and mineralogy of sediments and authigenic carbonates from the Malta Plateau, Strait of Sicily (Central Mediterranean): relationships with mud/fluid release from a mud volcano system. *Chemical Geology*, 276: 294–308.
- Corbera, G., Lo Iacono, C., Gràcia, E., Grinyó, J., Pierdomenico, M., Huvenne, V. A. I. (2019) Ecological characterisation of a Mediterranean cold-water coral reef: Cabliers Coral Mound Province (Alboran Sea, western Mediterranean). *Progress in Oceanography*, 175: 245–262, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.04.010>.
- Cowan, G. I. (1995) Wetland regions of South Africa. In: Cowan, G. I., (Ed.), *wetlands of South Africa*. Department of Environmental Affairs and tourism, Pretoria, 21-31.
- Dolan, R., Hayden, B. P., May, P., May, S. K. (1980) The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, 48: 22-29.
- Dumalagan, E. E., Cabaitan, P. C., Bridge, T. C. L., Go, K. T., Quimpo, T. J. R., Olavides, R. D. D. (2019) Spatial variability in benthic assemblage composition in shallow and upper mesophotic coral ecosystems in the Philippines. *Marine Environmental Research*, 150: 104772.
- Ebrahimi Pargou, A., and Darvishi Khatooni, J. (2022) Sedimentary geochemistry and environmental pollutants report of the Bandar-e Anzali map 1/50000. Geological Survey of Iran, 117p (in Persian).
- Folk, R. L. (1974) *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill publishing company, Texas, 182p.
- Foubert, A., Henriët, J. P. (2009) *Nature and Significance of the Recent Carbonate Mound*. Springer, Berlin, 298p.
- Gonenc, I. E., Wolfen, J. P. (2004) *Coastal lagoons: ecosystem processes and modeling for sustainable use and development*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 528p.
- Gore, A. J. P. (1983) Introduction. In: Gore, A. J. P., (Ed.), *ecosystems of the world 4A: mires: swamp, bog, fen and more, general studies*. Elsevier, Amsterdam, 1-10.
- Hebbeln, D., Bender, M., Gaide, S., Titschack, J., Vadorpe, T., Van Rooij, D. (2019) Thousands of cold-water coral mounds along the Moroccan Atlantic continental margin: Distribution and morphometry. *Marine Geology*, 411: 51–61, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2019.02.001>.
- Henriët, J. P., Hamoumi, N., Silva, A. C. Da., Foubert, A., Lauridsen, B. W., Rüggeberg, A. (2014) Carbonate mounds: From paradox to World Heritage. *Marine Geology*, 352: 89–110, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.008>.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M., Berberian, M. (2002) Active tectonics of the South Caspian Basin. *Geophysic Journal International*, 148: 214-245, <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.2002.01588.x>.
- James, N. P., Feary, D. A., Betzler, C., Bone, Y., Holbourn, A. E., Li, Q. Y. (2004) Origin of late pleistocene bryozoan reef mounds; Great Australian Bight. *Journal of Sedimentary Research*, 74: 20–48, <https://doi.org/10.1306/062303740020>.
- Kennish, M. j., Paerl, H. W. (2010) Coastal lagoons: critical habitats of environmental change. In: Kennish, M. J., Paerl, H. W., (Eds.), *Coastal lagoons: critical habitats of environmental change*. CRC Press, Taylor and Francis Group, London, New York, 1-16.
- Koriche, S. A., Singarayer, J. S., Cloke, H. L., Valdes, P. J., Wesselingh, F. P., Kroonenberg, S. B., Wickert, A. D., Yanina, T. A. (2022) What are the drivers of Caspian Sea level variation during the late Quaternary?. *Quaternary Science Reviews*, 283: 1-19, <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107457>.
- Krijgsman, W., Tesakov, A., Yanina, T., Lazarev, S., Danukalova, G., Van Baak, C. G. C. (2019) Quaternary time scales for the Pontocaspian domain: interbasinal connectivity and faunal evolution. *Earth Science Reviews*, 188: 1-40, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.10.013>.
- Lo Iacono, C., Gràcia, E., Diez, S., Bozzano, G., Moreno, X., Dañobeitia, J. (2008) Seafloor characterization and backscatter variability of the Almería Margin (Alboran Sea, SW Mediterranean) based on high-resolution acoustic data. *Marine Geology*, 250: 1–18, <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.11.004>.
- Locker, S. D., Reed, J. K., Farrington, S., Harter, S., Hine, A. C., and Dunn, S. (2016) Geology and biology of the “Sticky Grounds”, shelf-margin carbonate mounds, and mesophotic ecosystem in the eastern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*, 125: 71–87, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.06.015>.
- Miall, A. D. (2013) *Fluvial depositional systems*. Springer, Switzerland, 316p.
- Miall, A. D. (1978) Lithofacies types and vertical profile models in graded river deposits: a summary. In: Miall, A.D., (ed.), *fluvial sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geology, 5: 597-604.
- Miall, A. D. (1995) Description and interpretation of fluvial deposits: a critical perspective: discussion. *Sedimentology*, 42: 379-384.
- Miall, A. D. (2006) *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. Springer, Berlin, 582p.
- Mienis, F., de Stigter, H. C., White, M., Duineveld, G., de Haas, H., and van Weering, T. C. E. (2007) Hydrodynamic controls on cold-water coral growth and carbonate-mound development at the SW and SE Rockall Trough Margin, NE Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part I*:

- Oceanographic Research Papers 54: 1655–1674, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2007.05.013>.
- Moeeni, M. (2023) Sedimentary geochemistry and environmental pollutants report of the Juybar map 1/50000. Geological Survey of Iran, 108p (in Persian).
- Moeeni, M. (2025) Sedimentology and depositional environment report of the Astara map 1/50000. Geological Survey of Iran, 61p (in Persian).
- Morales, J. A. (2022) Coastal geology. Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment, Switzerland, 463p.
- Myslenkov, S. A., Arkhipkin, V. S., Pavlova, A. V., Dobrolyubov, S. A. (2018) Wave climate in Caspian Sea based on wave hindcast. Russian Meteorology and Hydrology, 43: 670–678, <https://doi.org/10.3103/S1068373918100060>.
- Nichols, G. (2009) Sedimentology and stratigraphy, 2nd edition, Blackwell Science, Chichester, 432p.
- Powers, M. C. (1953) A new roundness scale for sedimentary particles. Journal of Sedimentary Petrology, 23: 117–119.
- Ramos, A., Sanz, J. L., Ramil, F., Agudo, L. M., and Presas-Navarro, C. (2017) The giant cold-water coral mounds barrier off Mauritania in deep-sea ecosystems off Mauritania. In: (eds). Ramos, A., Ramil, F., Sanz, J., (Dordrecht: Springer Netherlands), 481–525.
- Reading, H. G. (2013) Introduction. In: Reading, H. G., (Ed.), sedimentary environments, processes, facies and stratigraphy. 3rd ed., Wiley-Blackwell Science, Oxford, 1–5.
- Reading, H. G., Collinson, J. B. (2013) Clastic coasts. In: Reading, H. G., (Ed.), sedimentary environments, processes, facies and stratigraphy. 3rd ed., Wiley-Blackwell Science, Oxford, 154–231.
- Riding, R. (2002) Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories. Earth Science Reviews, 58: 163–231, [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00089-7).
- Selly, R. C. (1996) Ancient sedimentary environments and their sub-surface diagnosis. 4th ed., Chapman and Hall, London, 300p.
- SPM (short protection manual) (1984) Department of the US army corps of engineers, Coastal Engineering Research Center, Washington, 1: 650p.
- Violante, C., De Lauro, M., and Esposito, E. (2020) Fine-scale seabed habitats off Capri Island, southern Italy, in Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat. In: (eds). Harris, P. T., Baker, E., (Elsevier), 439–450.
- Wheeler, A. J., Beyer, A., Freiwald, A., de Haas, H., Huvenne, V. a. I., Kozachenko, M. (2007) Morphology and environment of cold-water coral carbonate mounds on the NW European margin. International Journal of Earth Science, 96: 37–56.
- White, M. (2007) Benthic dynamics at the carbonate mound regions of the Porcupine Sea Bight continental margin. International Journal of Earth Science, 96: 1–9, <https://doi.org/10.1007/s00531-006-0099-1>.
- White, M., and Dorschel, B. (2010) The importance of the permanent thermocline to the cold-water coral carbonate mound distribution in the NE Atlantic. Earth and Planetary Science Letters, 296: 395–402.
- Wienberg, C., Titschack, J., Freiwald, A., Frank, N., Lundälv, T., Taviani, M. (2018) The giant Mauritanian cold-water coral mound province: Oxygen control on coral mound formation. Quaternary Science Reviews, 185: 135–152, <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.02.012>.
- Wood, R. (2001) Are reefs and mud mounds really so different? Sedimentary Geology, 145: 161–171.
- Yanina, T. A. (2014) The Ponto-Caspian region: environmental consequences of climatic change during the Late Pleistocene. Quaternary International, 345: 88–99, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.01.045>.