اقیانوس‌شناسی/ سال اول/ شماره ۱/ بهار ۱۳۸۹/ ۱۱/۵۵-۴۵

# شاخصهای رسوبشناختی و ژئوشیمیایی رسوبات خلیج گرگان

حمید لاهیجانی[1*] ، امید حایری اردکانی[2]، آرش شریفی[3]، عبدالمجید نادری بنی[1]

*۱ـ موسسه ملی اقیانوس‌شناسی، گروه علوم غیرزیستی دریا*

*۲ـ دانشجوی دکتری، دانشگاه وینزدور، کانادا*

*۳ـ دانشجوی دکتری، دانشگاه کالیفرنیا ارواین، ایالات متحده آمریکا*

© نشریه علمی ـ پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۸۹، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

## چکیده

برای مطالعه ویژگی‌های رسوبی و ژئوشیمیایی ساحل و بستر خلیج گرگان، واقع در گوشه جنوب‌شرقی دریای خزر در شمال ایران، ۳۵ نمونه رسوب سطحی برداشته شد و بر روی آنها آزمایش‌های پایه رسوب‌شناسی، کانی‌شناسی کیفی به کمک XRD و سنجش فلزات سنگین با کمک XRF انجام شد. مطالعات نشان می‌دهد که رسوبات از نظر دانه‌بندی در محدودهٔ ماسه تا رس قرار می‌گیرند، به‌گونه‌ای که هر چه به‌سوی دهانهٔ خلیج گرگان نزدیک می‌شویم، درصد ماسه در رسوبات افزایش می‌یابد. مقدار متوسط کربنات کلسیم ۳۵٪ و مواد آلی ۳۰٪ است. میزان مادهٔ آلی در خلیج گرگان به‌سوی دریای خزر کاهش می‌یابد، در حالی که مقدار کربنات کلسیم افزایش می‌یابد. کانی‌شناسی رسوبات نشان می‌دهد که علاوه بر متشکله‌های آواری از جنس سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی و خرده‌های رسوبی برجا، مجموعه‌ای از کانی‌های رسی (بطور عمده کلریت) از دیگر اجزای متشکلهٔ رسوبات سطحی هستند. تمرکز فلزات سنگین (سرب، روی، کرم، نیکل، مس، وانادیم، باریم و زیرکنیم) در رسوبات سطحی برای عناصر مختلف در محدودهٔ ۵۹۸ـ۲ ppm قرار می‌گیرد. محاسبهٔ شاخص تجمع زمینی عناصر (Igeo) برای رسوبات سطحی خلیج گرگان در مقایسه با نمونه‌های برداشت شده از رسوبات ژرفای ۲۵ سانتیمتری همان حوضه نشان‌دهنده تمرکز پایین فلزات سنگین در رسوبات خلیج گرگان و غیرآلوده بودن این رسوبات است. مقایسه رسوبات خلیج گرگان با بخش‌های دیگر ساحل ایران در خزر که تخریبی، و سواحل ترکمنستان که کربناته است، بیانگر ویژگی‌های رسوبی حد وسط (حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد مواد کربناته و آلی و بقیه مواد تخریبی) این منطقه است.

کلمات کلیدی: *دریای خزر، خلیج گرگان، رسوب‌شناسی، ژئوشیمی، شاخص تجمع زمینی، فلزات سنگین*

## ۱. مقدمه

مرداب‌ها و خلیج‌های حاشیهٔ خزر که تحت سه فرایند اصلی انتقال طولی رسوب ساحلی، افزایش تراز آب خزر و ساختارهای تاقدیس ـ ناودیس شکل گرفته‌اند (Leontiev et al., 1977)، محیط گذر از خشکی به دریا محسوب می‌شوند. این محیط‌ها که توسط زبانه‌های ماسه‌ای یا عوارض ساختاری به‌صورت نیمه بسته درآمده‌اند، محیطی نسبتاً کم انرژی برای رسوبگذاری فراهم می‌نمایند (Leeder, 1988). از اینرو ضمن تأثیر از محیط دریایی، از حوضهٔ آبریز و سواحل پیرامونی نیز تأثیر می‌پذیرد.

اگرچه خلیج گرگان در گوشهٔ جنوب‌شرق دریای خزر، در ناحیه‌ای با سوابق تاریخی طولانی قرار گرفته است (رواسانی،

* تلفن: ۹۸۲۱۶۶۹۴۴۸۷۰+ ؛ دورنگار: ۹۸۲۱۶۶۹۴۴۸۷۰+

پست الکترونیکی: lahijani@inco.ac.ir

۱۳۷۲) ولی با وجود این سوابق، نخستین مطالعات زمین‌شناختی آن نیمهٔ سدهٔ بیستم منتشر شد (Zenkovich, 1957 و معتمد، ۱۳۴۸).

زینکویچ (۱۹۵۷) ضمن بررسی ریخت شناسی سواحل جنوب خاوری دریای خزر در ایران، با مقایسه نمونه‌های رسوبی جزیره آشوراده، ناحیه حسین قلی و زبانه ماسه‌ای شمالی‌تر آن به این نتیجه رسید که منشأ رسوبات سواحل جنوبی کاملاً مجزا از منشأ رسوبات بخش شمالی این ناحیه است. لئونتیف (۱۹۷۷) با جمع‌بندی منابع منتشر شده معتقد است که رسوبات ماسه‌ای و قلوه‌سنگی سواحل تجمعی ایران، از مرز آذربایجان تا ترکمنستان، از دامنه‌های البرز سرچشمه می‌گیرند.

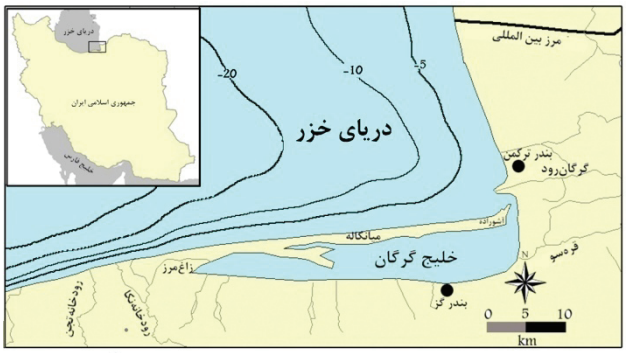
در پژوهش مشترکی که بین مرکز ملی اقیانوس‌شناسی ایران و دفتر برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد[1] با عنوان برنامه TSS-1 در سال ۱۹۹۸ به انجام رسید، رسوب شناسی این خلیج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دانه‌بندی رسوبات خلیج گرگان از نوع سیلت و سیلت ماسه‌دار است و از نظر کانی‌شناسی این رسوبات حاوی ایلیت، کوارتز، کلسیت، فلدسپات، هماتیت، دولومیت و آراگونیت است (INCO, 1998). نسبت کانی‌های سنگین به سبک در این منطقه با افزایش عمق کاهش یافته و بیشترین تمرکز آن در حوالی میانکاله، در بخش میانی خلیج است (لاهیجانی، ۱۳۸۰).

مطالعه آلاینده‌ها در منطقه نکا و بندرترکمن نشان داده است که آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه‌ای و منطقه فلات قاره خزر بیشتر از خط ساحلی است که این پدیده ناشی از تخلیه مواد آلاینده شهری و صنعتی در رودها و پسماندهای گل حفاری در فلات قاره است (بذرافشان و همکاران، ۱۳۷۷).

فعالیت‌های انسانی در چند دههٔ اخیر چه در حوضهٔ آبریز و چه در خلیج گرگان افزایش یافته است (Lahijani, 1997). شناخت رسوبات سطحی و مطالعه وضعیت کنونی آن از نظر نوع رسوبات و پراکندگی آنها می‌تواند مبنای مناسبی برای بررسی‌های بعدی باشد. از این‌رو، هدف از پژوهش حاضر ارایه تصویری از ویژگی‌های رسوبی و ژئوشیمیایی رسوبات بستر خلیج گرگان و عوامل مؤثر بر آن است.

### ۲ـ۱ ویژگی‌های حوضهٔ خلیج گرگان

خلیج گرگان حوضهٔ نیمه‌بسته‌ای است که در منتهی‌الیه جنوب خاوری دریای خزر واقع است (شکل ۱). طول خلیج گرگان ۶۰ کیلومتر و عرض آن ۱۲ کیلومتر و بیشینهٔ ژرفای آن در تراز ۲۸- متری سطح آب دریای خزر ۴ متر است. این حوضه توسط بار ماسه‌ای میانکاله از دریای خزر جدا می‌شود. اکنون اتصال آبی خلیج گرگان با دریای خزر از طریق دهانه‌ای در حد فاصل آشوراده با سرزمین اصلی و همچنین کانال خوزینی، که میانکاله را قطع می‌کند، برقرار است (شکل ۱). این ارتباط به‌گونه‌ای نیست که خلیج گرگان انرژی امواج دریای خزر را دریافت کند، بنابراین خلیج گرگان از این نظر بیشتر متأثر از فرایندهای داخل حوضه است. رودخانه‌هایی که خلیج گرگان را تحت تأثیر قرار می‌دهند، عبارتند از: گرگان‌رود، قره سو و باغو که در این میان گرگانرود از نزدیک دهانهٔ خلیج گرگان وارد دریا می‌شود (شکل ۱).




شکل ۱ـ نقشه موقعیت جغرافیایی خلیج گرگان و مناطق مهم پیرامون آن

شبه‌جزیره میانکاله منطقه حفاظت شده زیست محیطی است و فعالیت‌های انسانی در اطراف آن بیشتر به بنادر ترکمن و گز مربوط می‌شود که فعالیت آنها در مقایسه با دیگر بندرهای ایرانی حاشیه خزر قابل توجه نیست. کرانه‌های خلیج گرگان کم‌شیب و اغلب باتلاقی هستند و تراکم جمعیتی از باختر به خاور آن کاهش می‌یابد (آمارنامه استان مازندران، ۱۳۷۵).

حوضه آبریز خلیج گرگان یکی از زیرحوضه‌های دریای خزر محسوب می‌شود که به‌طور عمده در استان گلستان و بخش کمی از آن در استان‌های مازندران و خراسان واقع است (افشین، ۱۳۷۳). مساحت کل این حوضه آبریز حدود ۱۵۰۰۰ کیلومتر مربع است که بیشتر آن را مناطق کوهستانی و بقیه را کوهپایه‌ها و دشت‌های ساحلی تشکیل می‌دهند. در این حوضه آبریز دو رودخانه گرگان‌رود و قره‌سو زهکش اصلی به حساب می‌آیند. گرگان‌رود در بخش خاوری و میانی و قره سو در بخش جنوب باختری این حوضه واقع است (شکل ۱). مجموع دبی آب رودخانه‌های حوضه آبریز خلیج گرگان حدود ۰/۵ کیلومتر

[1] UNEP

مکعب و مجموع دبی رسوب آنها ۳/۵ میلیون تن در سال است (افشین، ۱۳۷۳).

در ناحیه خلیج گرگان از باختر به سوی خاور، آب و هوای ناحیه از حالت مرطوب به بیابانی می‌گراید. میزان بارش نیز از باختر به خاور به شدت کاهش می‌یابد. در باختر خلیج گرگان پوشش گیاهی نواحی مرطوب دیده می‌شود، در حالی که در بخش خاوری گیاهان مناطق بیابانی و گیاهان نمک دوست گسترش دارند.

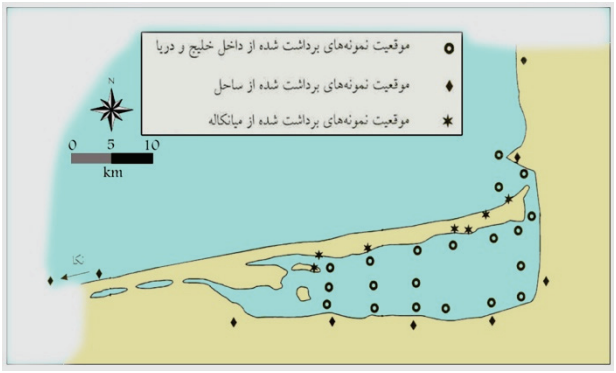
جهت باد غالب در زمستان در ناحیه گرگان‌رود شمال خاوری و شمالی؛ در بهار باختری و شمال باختری؛ در تابستان باختری و در پاییز در محدودهٔ شمال باختری تا شمال خاوری است (Terziev, 1992).

به‌علت نیمه‌محصور بودن خلیج گرگان، امواج دریای خزر مستقیماً نمی‌تواند وارد خلیج شوند. شیب ساحل دریای خزر در گسترهٔ شمالی خلیج گرگان (شمال جزیره میانکاله) کم است (شکل ۱) و به همین دلیل رژیم موج آرامی بر منطقه حاکم است. قرارگیری خلیج گرگان در منتهی‌الیه جنوب خاوری دریای خزر باعث شده است که رژیم جریان در آن ویژگی خاصی پیدا کند. اگرچه تاکنون رژیم جریان در خود خلیج گرگان مطالعه نشده است، اما در ناحیه شمالی آن با ورود دو جریان باختری ـ خاوری از ساحل جنوبی و جریان شمالی ـ جنوبی از ساحل خاوری، بار رسوبی و تجمع آلاینده‌های حمل شده توسط این دو جریان در ناحیه شبه‌جزیره میانکاله و شمال آن را سبب می‌شود (Lahijani, 1997). این جریان از نوع جریان ناشی از موج[1] است. با توجه به قرارگیری خطوط ساحلی منطقه نسبت به جبهه ورودی امواج، به‌نظر می‌رسد بادهای شمال غربی علت اصلی وجود همزمان این دو جریان هستند. ریخت‌شناسی ساحلی (وجود شبه‌جزیره میانکاله و جزایر کوچک) و کانی‌شناسی رسوبات، دلیل دیگری بر وجود چنین رژیم جریان ساحلی[2] محسوب می‌شوند (Lahijani, 1997).

## ۲. روش کار

به منظور بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناختی خلیج گرگان، ناحیهٔ ساحلی که به نحوی خلیج گرگان از آن تأثیر می‌پذیرد، از دهانهٔ رودخانه نکا تا نزدیک مرز ایران و ترکمنستان و همچنین ساحل شبه‌جزیره میانکاله مورد مطالعه میدانی قرار گرفت (شکل ۲). تعداد ۱۵ نمونه رسوب از برونزدهای ساحلی و ۲۰ نمونه رسوب سطحی از بستر خلیج گرگان (در مجموع تعداد ۳۵ نمونه رسوب) برداشت شد (شکل ۲). تعدادی از نمونه‌ها به روش دانه‌بندی خشک و بقیه به روش دانه‌بندی تَر تفکیک شدند (Carver, 1977). مقدار کربنات کلسیم و مقدار ماده آلی نیز مورد سنجش قرار گرفت (Lewis and Mc Conchi, 1994). از چهار نمونهٔ رسوب مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شد و مورد مطالعه قرار گرفت. بخش ماسه‌ای رسوبات نیز توسط بینوکولر بررسی کانی‌شناسی شد.

میزان عناصر فلزی موجود در رسوبات به روش XRF و با دقت 1ppm و با کمک دستگاه زیمنس مدل SRS-303 تعیین شد. برای سنجش کانی‌های رسی به روش XRD، از دستگاه زیمنس مدل D-500 استفاده گردید.




شکل ۲ـ شبکهٔ نمونه‌برداری در حوضهٔ خلیج گرگان

## ۳. نتایج و بحث

### ۱.۳ *اندازه ذرات*

رسوبات گستره ساحلی از نظر دانه‌بندی به‌طور عمده در محدوده رسوبات ماسه‌ای و گلی قرار می‌گیرند. رسوبات ضلع خاوری خلیج گرگان به سوی شمال، گلی است و تنها در دهانه رودخانه گرگان رسوبات ماسه‌ای تجمع موضعی دارند. در ضلع جنوبی خلیج گرگان از خاور به باختر دانه‌بندی رسوبات از محدوده گلی به ماسه‌ای تغییر می‌کند. رسوبات کرانه شبه جزیره میانکاله نیز به‌طور عمده ماسه‌ای هستند (شکل ۳).

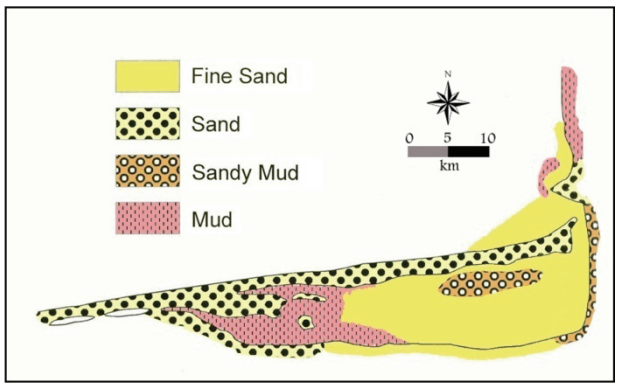
[1] Wave induced currents
[2] Coastal Currents

جدول ۱ـ موقعیت نمونه‌های برداشت شده، (طول و عرض جغرافیایی)، نوع رسوبات، میزان کربنات کلسیم و مواد آلی

| Sample Identification No. | Latitude | Longitude | Organic Matter Content (%) | Calcium Carbonate (%) | Sediment Type |
|---|---|---|---|---|---|
| GG1 | 36-47-22 | 53-56-39 | 41.67 | 26.78 | - |
| GG2 | 36-48-21 | 54-00-04 | 48.65 | 35.71 | gS |
| GG3 | 36-51-17 | 54-02-05 | 37.19 | 51.78 | (g)S |
| GG4 | 36-53-45 | 53-59-35 | 23.80 | 24.56 | - |
| GG5 | 36-53-25 | 53-55-55 | 52.38 | 13.39 | (g)S |
| GG6 | 36-52-44 | 53-51-56 | - | 46.78 | - |
| GG7 | 36-52-00 | 53-48-00 | 18 | 31 | mG |
| GG8 | 36-51-45 | 53-44-10 | 11 | 29 | (g)S |
| GG9 | 36-51-34 | 53-40-05 | - | - | - |
| GG10 | 36-50-57 | 53-40-17 | 38 | 33 | gM |
| GG11 | 36-47-56 | 53-39-20 | 17 | 51 | gmS |
| GG12 | 36-48-00 | 53-43-26 | 16 | 41 | gM |
| GG13 | 36-49-04 | 53-43-28 | - | - | - |
| GG14 | 36-49-00 | 53-47-20 | - | - | - |
| GG15 | 36-47-29 | 53-47-23 | 16 | 49 | - |
| GG16 | 36-47-28 | 53-51-33 | 30 | 38 | gmS |
| GG17 | 36-55-31 | 54-01-25 | 25 | 37 | (g)mS |
| GG18 | 36-57-11 | 54-01-01 | 10 | 37 | (g)S |
| GG19 | 36-58-28 | 53-59-36 | 21 | 16 | sM |
| GG20 | 36-56-17 | 53-57-54 | 4 | 38 | S |
| GC1 | 36-58-30 | 53-59-20 | 12.94 | 5.16 | (g)S |
| GC2 | 36-49-50 | 54-02-30 | 15.40 | 28.50 | - |
| GC3 | 36-47-10 | 53-56-42 | - | - | S |
| GC4 | 36-47-10 | 53-48-00 | - | - | sG |
| GC5 | 36-47-26 | 53-40-57 | 58.90 | 71.15 | gS |
| GC6 | 36-47-17 | 53-32-50 | 40.19 | - | - |
| GC7 | 36-50-50 | 53-18-20 | - | - | S |
| GC8 | 37-09-03 | 54-00-18 | 0 | 39 | M |
| GM1 | 36-53-15 | 53-52-21 | 24.63 | 33.48 | gS |
| GM2 | 36-53-30 | 53-52-35 | - | - | - |
| GM3 | 36-51-45 | 53-44-10 | 2 | 46 | gS |
| GM4 | 36-51-35 | 53-40-08 | 18 | 36 | (g)S |
| GM5 | 36-50-33 | 53-41-05 | 0.02 | 46 | S |
| GM6 | 36-54-38 | 53-57-02 | 10 | 40 | gS |
| GM7 | 36-55-01 | 54-00-08 | 25 | 37 | (g)S |
| CN | 36-49-59 | 53-12-59 | 3 | 36 | S |

| | |
|---|---|
| M | Mud |
| sM | Sandy mud |
| (g)M | Slightly gravelly mud |
| (g)sM | Slightly gravelly sandy mud |
| gM | Gravelly mud |
| S | Sand |
| mS | Muddy sand |
| (g)S | Slightly gravelly sand |
| (g)mS | Slightly gravelly muddy sand |
| gmS | Gravelly muddy sand |
| gS | Gravelly sand |
| G | Gravel |
| mG | Muddy gravel |
| msG | Muddy sandy gravel |
| sG | Sandy gravel |

رسوبات بستر خلیج گرگان به‌طور عمده در محدوده رسوبات ماسه‌ای و گلی قرار دارند (جدول ۱). دانه‌بندی رسوبات از باختر به خاور از گلی به ماسه‌ای تغییر می‌یابد. در دهانه خلیج گرگان و داخل دریا، بالاتر از شبه‌جزیره میانکاله نیز رسوبات ماسه‌ای هستند. اما در دهانه رودخانه گرگان به علت فرآوری رسوبات ریزدانه، رسوبات بستر در محدوده گلی قرار می‌گیرند. در مجموع در بیشتر بخش‌های خلیج گرگان رسوبات گلی به مقدار قابل ملاحظه‌ای وجود دارند. آن بخش از رسوبات که در محدوده گراول قرار می‌گیرند، به طور عمده مربوط به صدف جانوران است که از نظر هیدرولیکی اهمیتی ندارد (جدول ۱). البته در برخی موارد، رسوبات به ویژه رسوبات ساحلی اندکی سیمانی شده‌اند که در موقع الک کردن در محدوده گراول قرار می‌گیرند. بخشی از گراول‌های موجود، مربوط به دانه‌بندی خشک است که ذرات ریز پس از خشک‌شدن به صورت گلوله‌های گلی درآمدند. در مجموع به جز یک مورد از نمونه‌های ساحلی (GC4) در بقیه موارد گراول واقعی مشاهده نشده است. گراول‌های موجود در

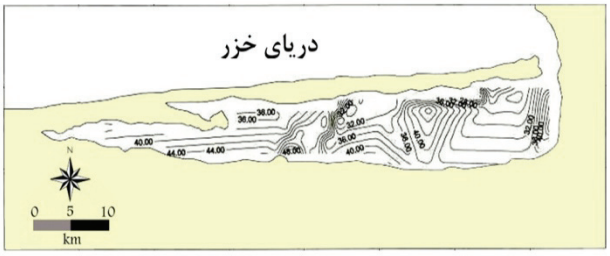



شکل ۳ـ پراکندگی رسوبات در حوضهٔ خلیج گرگان از نظر دانه‌بندی

نمونه یاد شده مربوط به ساحل گلوگاه است که در حین ساخت تفریحگاه به آنجا حمل شده‌اند و خاستگاه طبیعی ندارند.

### ۲.۳ *جنس رسوبات*

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که میانگین مقدار کربنات کلسیم در رسوبات میانکاله حدود ۴۰٪، در رسوبات ساحلی ۳۴٪ و در رسوبات بستر خلیج گرگان ۳۶٪ است (شکل ۴؛ جدول ۱). در مناطقی که میزان پوسته‌های آهکی جانوران عهد حاضر بیشتر است، میزان کربنات کلسیم نیز تمرکز بالاتری را نشان می‌دهد (جنوب باختری خلیج گرگان). بخش عمدهٔ رسوبات کربناته از فرسایش حوضهٔ آبریز خلیج گرگان تأمین می‌شوند، به‌طوری که در برخی موارد به‌صورت خرده‌سنگ‌های کربناته قابل تشخیص است. رسوبات کربناته تقریباً در همه بخش‌های دریای خزر نهشته می‌شوند. میزان کربنات کلسیم در رسوبات بخش باختری خزر به مراتب از میزان آن در بخش‌های خاوری و شمالی کمتر است. کربنات کلسیم در رسوبات بخش‌های خاوری و شمالی خزر به ۸۰-۷۰٪ نیز می‌رسد (Kholodov and Lisitsina, 1989).

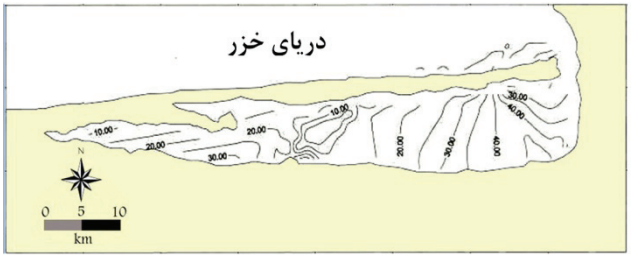



شکل ۴ـ توزیع کربنات کلسیم در خلیج گرگان

آزمایش‌های انجام شده بر روی رسوبات نشان می‌دهند که در حوضه خلیج گرگان میانگین میزان ماده آلی در رسوبات ساحلی و همچنین شبه‌جزیره میانکاله کمتر از مقدار آن در رسوبات سطحی خلیج گرگان است (جدول ۱؛ شکل ۵). میانگین مقدار ماده آلی در رسوبات ساحلی، ۲۷٪ وزن نمونه است که در ضلع خاوری خلیج گرگان و همچنین به سوی آغاز میانکاله در زاغمرز از مقدار آن کاسته می‌شود. میانگین میزان مواد آلی در رسوبات ساحلی میانکاله ۱۸٪ و در رسوبات سطحی بستر خلیج گرگان ۲۹٪ است. کمترین مقدار ماده آلی مربوط به بخش دریایی است که به ۴٪ در رسوبات بالای شبه‌جزیره میانکاله می‌رسد. رودخانه‌های کوچک جنوب و خاور خلیج گرگان به‌طور عمده به صورت زهکش زمین‌های کشاورزی عمل می‌کنند که مصرف بالای کودهای شیمیایی در این زمین‌ها سبب افزایش مواد مغذی و افزایش رشد گیاهان می‌گردد. از این‌رو میزان مواد آلی در خلیج گرگان از طریق ورودی رودخانه‌ها، رشد گیاهان در سواحل باتلاقی خلیج و نیز رشد فیتوپلانکتون‌ها در محیط آبی خلیج افزایش می‌یابد (Haeri Ardakani et al., 2000).

از سوی دیگر، سامانهٔ نیمه بستهٔ خلیج گرگان و دانه‌بندی ریز رسوبات، سبب کاهش سرعت تجزیه نسبت به دریای خزر می‌شود. بنابراین فرایندهایی که در بالا اشاره شد سبب افزایش درصد مواد آلی از دهانهٔ خلیج گرگان به سوی باختر می‌گردد. این در حالی است که در بخش دریایی میزان مواد آلی موجود در رسوبات سطحی همانند دیگر بخش‌های خزر جنوبی است. آن بخش از مواد آلی که در رسوب‌گذاری روی بستر دریای خزر شرکت می‌کنند به‌طور عمده از فرآورده‌های فیتوپلانکتون و فیتوبنتوس هستند، و بخشی از مواد آلی نیز از طریق رودخانه‌ها وارد دریای خزر می‌گردد (Vorapaerv, 1986). سالانه تنها سه و نیم درصد (وزن خشک) از مواد آلی موجود در آب دریای خزر روی بستر رسوب می‌کند و بقیه مواد عمدتاً تجزیه می‌شوند. در حالی‌که میزان مواد آلی از ساحل دریا به طرف نواحی عمیق آن افزایش می‌یابد (Vorapaerv, 1986) اما این روند لزوماً در مناطق مردابی و سواحل باتلاقی نظیر خلیج گرگان رعایت نمی‌شود.

کرانه‌های دریای خزر به‌طور عمده دارای آب و هوای خشک و نیمه بیابانی است، از این رو فرایندهای فرسایش فیزیکی از اهمیت اهمیت بیشتری برخوردار است. ذرات فرسایش یافته از سنگ‌های حوضه پیرامونی بیشتر در اندازه‌های در حد ماسه و سیلیت (در برخی مناطق قلوه‌سنگ) وارد دریا می‌شوند.




شکل ۵ـ توزیع مواد آلی در خلیج گرگان

جریان آب و باد مهمترین عامل انتقال این رسوبات هستند. حوضه آبریز برخی رودخانه‌های بزرگ حوضه خزر مانند ولگا

و اورال در محیط آب و هوایی مرطوب واقع هستند، از این‌رو علاوه بر فرسایش فیزیکی، فرسایش شیمیایی نیز اهمیت به سزایی دارد که در نتیجه رسوبات سیلیتی ـ رسی از این طریق وارد گستره دریا می‌گردد (Svitoch and Yanina, 1997). مطالعه کانی‌های رسی رسوبات کواترنری پایانی و هولوسن دریای خزر نشان می‌دهد که هیدروسیلیکات‌های آلومینیوم بیشترین فراوانی را دارند (Terziev, 1992). کانی‌های مونتموریلونیت، کلریت و کائولینیت و ترکیبات مخلوط چند لایه‌ای به مقدار کمتر اما حضوری مداوم دارند. افزایش قابل توجه هیدروسیلیکات‌های آلومینیوم نسبت به دیگر کانی‌ها مربوط به آورد رسوب رودخانه‌ای است که حوضهٔ آبریز آنها در آب و هوای مرطوب قرار دارد. بررسی کانی‌های رسی نشان می‌دهد که کلریت و مسکویت مهمترین کانی‌های این گروه هستند. نبود این کانی‌ها در نمونه‌های دریایی و حضور آنها در نمونه دهانهٔ رودخانه‌های گرگان‌رود و قره‌سو نشان می‌دهد که کانی‌های رسی به طور عمده از حوضه آبریز جنوب خلیج گرگان فرآوری می‌شوند.

در ذرات ماسه‌ای که با بینوکولر مطالعه شد، به طور عمده کانی‌های سنگین، کوارتز، لیتیک‌های آهکی، آذرین و دگرگونی، صدف و خرده‌های آن و خرده‌های گیاهی تشخیص داده شده است. به این ترتیب رسوبات بستر خلیج گرگان به‌طور عمده متشکل از کربنات کلسیم، مواد آلی، کانی‌های رسی و خرده‌های سنگی آذرین، دگرگونی و کانی‌های سیلیکاته دیگر است. اگرچه بخش عمدهٔ این رسوبات حاصل فرسایش حوضهٔ آبریز و انتقال به این حوضه است. اما بخش عمدهٔ مواد آلی و بخش کمی از کربنات کلسیم حاصل فعالیت‌های داخل حوضه است.

### ۳.۳ *ژئوشیمی فلزات سنگین*

مطالعات گسترده‌ای در مورد ترکیب شیمیایی رسوبات سطحی دریای خزر انجام شده است .(Kholodov and Lisitsina, 1989) این مطالعات نشان می‌دهند که عناصر را بر حسب توزیع آنها در رسوبات سطحی می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

عناصر گروه اول (Cr, Zr)؛ بیشتر در ذرات تخریبی سیلتی دیده می‌شوند. به نظر می‌رسد که توزیع این دو عنصر بستگی به دانه‌بندی کانی‌های حاوی آنها دارد. زیرکینیم در کانی زیرکن و کرم به‌طور عمده در پیکونیت و نیز کانی‌های حاوی کرم تمرکز می‌یابد.

عناصر گروه دوم (Fe، Mn، Mo، Ga، Ni، Co، Cu و تا حدی Pb)؛ بیشتر در رسوبات رسی تمرکز می‌یابند. افزایش غلظت این عناصر ممکن است نه به یک کانی خاص بلکه به کانی‌های متعددی نسبت داده شود. در مجموع، این عناصر در آب‌های دریای خزر به صورت ذرات ریز معلق وجود دارند که جذب کانی‌های رسی شده یا به صورت ترکیبات آلی ـ فلزی رسوب می‌نمایند.

توزیع عناصر گروه سوم (Ti, V, Ge)؛ در رسوبات رفتار دوگانه آنها بین گروه اول و دوم را نشان می‌دهد. تمرکز این عناصر هم در رسوبات سیلتی و هم در رسوبات رسی دیده می‌شود. رفتار ژئوشیمیایی مشابه این عناصر احتمالاً بستگی به کانی‌های حاوی آنها دارد. وانادیوم و تیتانیوم به‌طور عمده در کانی‌های تیتان‌دار چون اسفن، روتیل، ایلمنیت، منیتیت، تیتانومنتیت، گارنت، پیروکسن و گاه در توپاز دیده می‌شود (Kholodov and Lisitsina, 1989). بزرگترین منبع ورود این عناصر به دریای خزر، از طریق رودخانه‌ها است که به صورت مواد تخریبی یا محلول وارد دریای خزر می‌شوند. مقایسه شکل‌های ۳ و ۶ نشان می‌دهد که عناصری چون Zr, Cr, V با ذرات سیلتی و تا حدی ماسه‌ای همبستگی دارند، در حالی که دیگر عناصر همیشه با ذرات رسی همراه هستند.

بررسی تغییرات مقادیر عناصر کمیاب در رسوبات خلیج گرگان (شکل ۶) نشان می‌دهد که بخشی از این تغییر به نوع رسوب وابسته است. تمرکز برخی عناصر با افزایش میزان گل در رسوبات، افزایش می‌یابد. این حالت به ویژه برای روی، وانادیم و مس صادق است (شکل ۶). اما بر عکس در مورد زیرکنیم، با افزایش اندازهٔ ذرات، غلظت این عنصر افزایش می‌یابد که احتمالاً به خاطر وجود آن در کانی زیرکن است که معمولاً در حد ماسه ریز در رسوبات ظاهر می‌شود. عناصری چون باریم و استرونسیم با افزایش درصد کربنات در رسوبات افزایش می‌یابند. این دو عنصر بیشتر امکان جانشینی با کلسیم را دارا هستند، از طرفی افزایش استرونسیم در رسوبات بیانگر وجود آراگونیت بیوژنیک است (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۴). در مورد عناصر دیگر روند واضحی از غلظت عناصر با میزان ذرات ریزدانه یا طرفی افزایش استرونسیم در رسوبات بیانگر وجود آراگونیت بیوژنیک می‌باشد (رحیم‌پور بناب، ۱۳۸۴). در مورد عناصر دیگر روند واضحی از غلظت

جدول ۲ـ شاخص تجمع زمینی برای برخی عناصر فلزی رسوبات بستر خلیج گرگان؛ در اینجا مقادیر GC و GG به عنوان $C_n$؛ و مقادیر DG به عنوان $B_n$ در نظر گرفته شده‌اند.

شاخص تجمع زمینی: $Igeo = Log_2 (C_n/(1.5B_n))$

| | Ba | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | Sr | V | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GC2 | 0.147386 | 0.36257 | -0.55639 | -1.51457 | -1.31288 | -2.16993 | -3.45824 | -0.68199 | -0.34792 |
| GG2 | -0.10349 | -1.07039 | -1.73697 | -1.58496 | -0.50553 | -1.88042 | -1.39935 | -1.41895 | -1 |
| GG3 | 0.055756 | -1.07039 | -0.98089 | -1.44746 | -0.12306 | -0.94753 | -2.52994 | -1.01968 | -0.40742 |
| GG4 | -0.52183 | -2.07039 | -1.37084 | -1.81943 | -0.43024 | -0.81629 | -2.11203 | -1.57328 | -0.848 |
| GG8 | -1.32039 | -2.39232 | -1.80255 | -3.90689 | -0.53152 | -2.01792 | -2.1753 | -2.44001 | -1.69188 |
| GG9 | -1.10019 | -1.80735 | -1.52838 | -3.09954 | -0.78932 | -2.5325 | -1.69528 | -2.03562 | -1.33342 |
| GG10 | -0.99234 | -2.39232 | -2.27462 | -1.81943 | -0.99533 | -1.63941 | -1.36002 | -1.91277 | -1.1193 |
| GG11 | 0.34902 | -4.39232 | -4.05889 | -3.90689 | -1.66903 | -2.01792 | -0.83872 | -2.72012 | -2.33342 |
| GG12 | -1.32039 | -2.07039 | -2.76939 | -4.90689 | -1.22542 | -2.16993 | -1.13195 | -2.57328 | -1.58496 |
| GG13 | -1.02949 | -2.07039 | -2.05889 | -2.09954 | -0.92057 | -1.33985 | -1.36821 | -1.91277 | -1.27684 |
| GG17 | -0.99234 | -2.07039 | -1.61411 | -3.09954 | -0.58496 | -1.5325 | -2.38162 | -1.94251 | -1.33342 |
| GG19 | -0.51743 | -1.39232 | -1.05889 | -2 | -0.12306 | -1.01792 | -3.36513 | -1.37773 | -0.63743 |
| GG20 | -1.29755 | -1.80735 | -0.96203 | -3.90689 | 0.009045 | -1.16993 | -2.62734 | -1.97289 | -1.61973 |

عناصر بـا میزان ذرات ریزدانه یا درشت‌دانه، کربنات کلسیم و مواد آلی دیده نمی‌شود (شکل ۶ و جدول ۲). مقایسهٔ غلظت عناصر در رسوبات خلیج گرگان با رسوبات بستر خزر جنوبی نشان می‌دهد که مقادیر کرم، وانادیم و مس در خزر جنوبی بسیار بیشتر از مقادیر آن در خلیج گرگان است.

تأثیرپذیری جانداران از آلودگی، بستگی به مقادیر عناصر در دسترس برای آنان دارد. از این‌رو باید جانداران و عناصر در دسترس آنها در حوضهٔ خلیج گرگان نیز مورد پژوهش قرار گیرد.

روش‌های مختلفی برای ارزیابی زیست محیطی رسوبات وجود دارد که به سه دستهٔ عمدهٔ شیمیایی، زیستی و زیست ـ شیمیایی تقسیم می‌شوند (Muller, 1979).

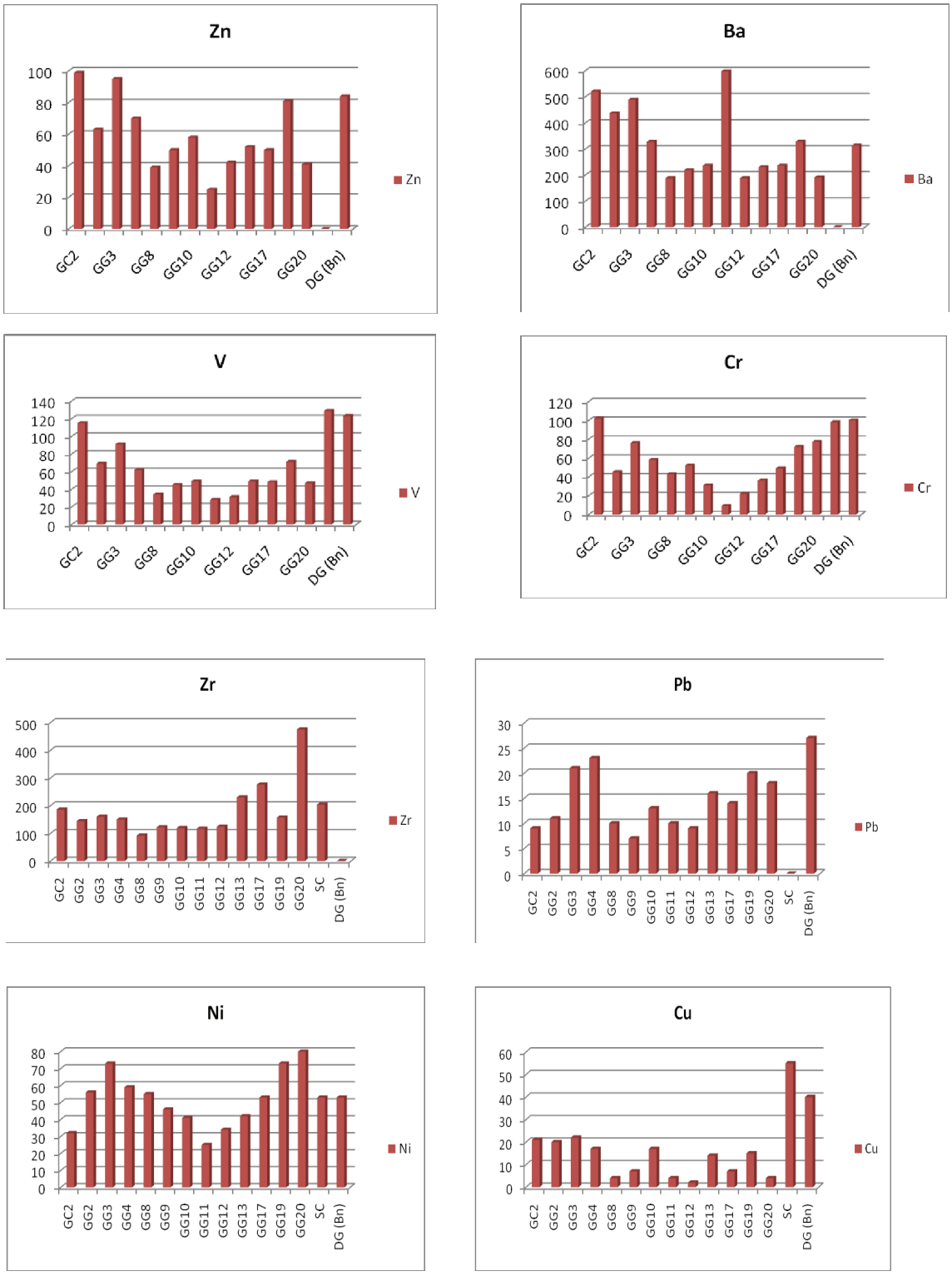
یکی از رایج‌ترین روش‌های ارزیابی آلودگی رسوبـات عهد حاضر استفاده از روش شیمیایی و مقایسهٔ آن با رسوبات قدیم‌تر همان ناحیه است.[1] در این رویکرد نسبت لگاریتـم غلظت عناصـر فلزی در رسوبـات ریزدانهٔ عهد حاضـر به غلظت همان عناصر در رسوبات قدیم‌تر سنجیده می‌شود. مقداری که به‌دست می‌آید به عنوان شاخص تجمع زمینی[2] شناخته می‌شود. در واقع این شاخص بیانگر تمرکز مواد شیمیایی بر اساس وضعیت زمین‌شناختی است. اگر مقادیر اندیس نزدیک به صفر باشد، بیانگر غیرآلوده بودن و اگر مقادیر آن ۵ یا بیشتر باشد، بیانگر آلودگی بسیار شدید است:

$$Igeo = \log_z C_n / 1.5\, B_n \qquad (۱)$$

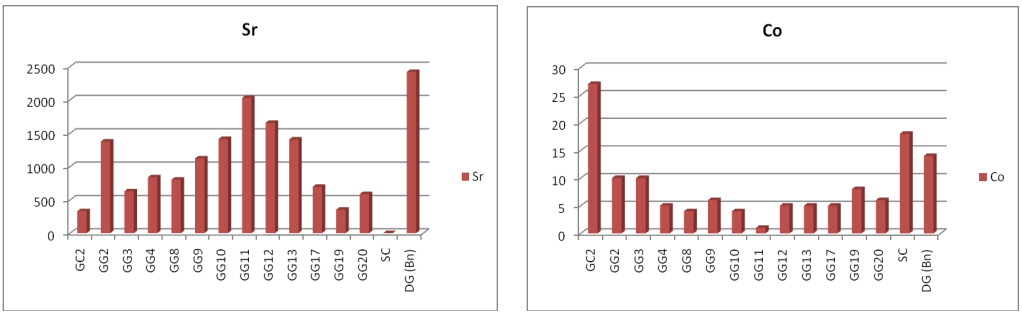
[1] Background approach
[2] Index of Geoaccumulation

برای ارزیابی آلودگی زمینه در رسوبات خلیج گرگان مقادیر عناصر در رسوبات بستر با مقادیر آنها در رسوبات عمیق‌تر (۲۵ cm) مقایسه شد. در این رابطه از اندیس تجمع زمینی استفاده شد (جدول ۲).

مقادیر اندیس تجمع زمینی حاکی از آن است که رسوبات سطحی خلیج گرگان غیرآلوده است. مقادیر منفی و نزدیک به صفر اندیس زمینه نشان می‌دهد که در رسوبات عمیق‌تر خلیج گرگان تمرکز عناصر مورد بحث باید بیشتر باشد. با توجه به اینکه اثر فعالیت‌های انسانی بر محیط در زمان نهشته شدن رسوبات عمیق ناچیز بوده است لذا می‌توان گفت عوامل طبیعی سبب تمرکز این عناصر شده‌اند. احتمالاً اقلیم تقریباً مرطوب که در گذشتهٔ نه چندان دور در شمال‌شرق ایران و جنوب آسیای میانه حاکم بوده، می‌توانسته سبب فرسایش بیشتر و تمرکز بیشتر عناصر گردد. ترکیب رسوبات بستر خزر متأثر از منشأ آنها است. رسوبات با منشأ رودخانه‌ای، شیمیایی، زیستی و گل‌فشانها در بستر خزر حضور دارند (Kholodov and Lisitsina, 1989; Lebedev et al., 1973; Klenova et al., 1956). در چند دههٔ اخیر فعالیت‌های انسانی نیز بر روی ترکیب شیمیایی رسوبات بستر اثرگذار شده‌اند (لاهیجانی، ۱۳۸۰؛ De Mora et al., 2004). مطالعه ژئوشیمی رسوبات سطحی خزر حاکی است که در مورد برخی عناصر همبستگی خوبی بین فراوانی عنصر با دانه‌بندی و کانی‌شنـــاسی وجود دارد (Kholodov and Lisitsina, 1989). در واقع منشـأ تخریبی رسوبات سهم اصلی در توزیع عناصـر به




شکل ۶ـ توزیع عناصر فلزی در رسوبات سطحی خلیج گرگان (نمونه‌های GC و GG)، در رسوبات زیر بستر (ژرفای ۲۵ سانتیمتری DG) و حوضهٔ جنوبی خزر (SC)




شکل ۶ (ادامه)ـ توزیع عناصر فلزی در رسوبات سطحی خلیج گرگان (نمونه‌های GC و GG)، در رسوبات زیر بستر (ژرفای ۲۵ سانتیمتری DG) و حوضهٔ جنوبی خزر (SC)

ویژه فلزات سنگین در بستر دارد و آنومالی تمرکز عناصر به‌طور عمده وابسته به گل‌فشان‌ها و نفوذ آب زیرزمینی از بستر است (Glazovski et al., 1976; Brusilovskii and Turuchkina, 1976). توزیع عناصر فلزی در رسوبات نواحی نیمه عمیق پیرامون خزر حاکی است که در مواردی (مانند باریم) غلظت آنها بیشتر از مقدار زمینه است که بیانگر ورود آنها از طریق فعالیت‌های انسانی است، گر چه بخش عمدهٔ آنها از رسوبات تخریبی حوضهٔ آبریز تأمین می‌شود (لاهیجانی، ۱۳۸۱؛ De Mora et al., 2004).

مقایسهٔ ترکیب فلزی رسوبات سطحی با رسوبات عمقی همان ناحیه از نظر ترکیب شیمیایی می‌تواند بیانگر زمینهٔ ژئوشیمیایی منطقه باشد (Buccolieri et al., 2006; Karageorgis et al., 2006; Adams et al., 1992; Muller, 1979). ترکیب شیمیایی رسوبات غیرسطحی، به ویژه مغزه‌هایی با سن بیش از ۵۰ سال نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی آلاینده در خلیج گرگان عملاً ناچیز بود و می‌تواند بیانگر اثر فعالیت‌های طبیعی حوضه در ترکیب شیمیایی رسوبات باشد. مقایسه ترکیب شیمیایی رسوبات سطحی با رسوبات قدیمی‌تر برای خلیج گرگان نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی رسوبات متأثر از آورد رسوبی به ناحیه از طریق حوضهٔ آبریز است.

## ۴. نتیجه‌گیری

ساحل خلیج گرگان به طور عمده گلی و پوشیده از گیاهان باتلاقی است. در داخل خلیج گرگان از باختر به خاور اندازهٔ رسوبات از گلی به ماسه‌ای تغییر می‌کند. ترکیب مواد متشکله رسوبات در خلیج گرگان به طور عمده مواد کربناته (۳۶٪)، مواد آلی (۲۹٪)، کانی‌های رسی، کوارتز، فلدسپات و گروهی از کانی‌های سنگین هستند. بررسی کانی‌های رسی نشان می‌دهد که کلریت و مسکویت مهمترین کانی‌های این گروه در خلیج گرگان هستند. ذرات رسوبی تخریبی بیشتر از خرده‌های سنگی آهکی، آذرین و دگرگونی، کانی‌های کوارتز، فلدسپات، مسکویت، آمفیبول، هورنبلند، تورمالین، بیوتیت، مسکویت تشکیل شده است. خرده‌سنگ‌های عهد حاضر از جمله دیگر مواد متشکلهٔ رسوبات است که به همراه خرده‌های صدف کف‌زیان عهد حاضر، مجموعهٔ رسوبی بستر را می‌سازند.

مقایسهٔ رسوبات این ناحیه (با میزان کربنات متوسط) با رسوبات دیگر بخش‌های ساحل ایران در خزر (با کربنات بسیار پایین) و رسوبات سواحل جنوبی ترکمنستان (با حداقل ۹۰٪ کربنات) نشان می‌دهد که رسوبات حوضهٔ خلیج گرگان با ترکیب حد واسط از دو ناحیهٔ البرز و کپه‌داغ سرچشمه می‌گیرند.

فرایندهای رسوبی حاکم بر این ناحیه نیز بیانگر وضعیت حدواسط است به‌طوری که در مقایسه با دیگر بخش‌های ساحل ایران که فرایندهای تخریبی غالب است، و سواحل ترکمنستان که فرایندهای رسوبی کربناته- تبخیری غالب است، در ناحیهٔ خلیج گرگان مجموعه‌ای از رسوبات تخریبی با برخی آثار رسوبی برجا و سیمانی شدن عهد حاضر و تشکیل خرده‌های سنگی همراه است.

مطالعهٔ فلزات سنگین در رسوبات سطحی خلیج گرگان و مقایسهٔ آن با رسوبات عمیق‌تر همان منطقه (ژرفای ۲۵ سانتیمتری) نشان می‌دهد که غنی‌شدگی رسوبات گذشته از فلزات سنگین بیشتر است. بنابراین اگرچه فعالیت‌های انسانی در جنوب خلیج گرگان گسترش دارد، اما میزان صنعتی شدن چندان قوی نیست و هنوز اثرات عوامل انسانی بر آلودگی رسوبات در مورد فلزات سنگین درخور اهمیت نیست. البته با توجه به مسیر جریان طولی ساحلی در بالاتر از میانکاله، انتقال آلاینده‌ها از دیگر نقاط به این ناحیه کاملاً امکان‌پذیر است.

## منابع


آمارنامه استان مازندران: ۱۳۷۵. سازمان برنامه و بودجه. چاپ ۱۳۷۶. ۸۰۲ صفحه.

افشین، ی: ۱۳۷۳. رودخانه‌های ایران جلد دوم. وزارت نیرو. جاماب. ۲۵۱ صفحه.

بذرافشان، ع.؛ حاجی‌پورفرد، ح.؛ امین‌نژاد، ب: ۱۳۷۷. بررسی اثرات زیست محیطی ناشی از اکتشاف و حفاری در آب‌های ساحلی و فلات قاره دریای خزر در منطقه نکاء و بندر ترکمن. مجموعه مقالات همایش دریا انسان توسعه. مرکز ملی اقیانوس‌شناسی ـ بابلسر.

دهقانی، م: ۱۳۴۸. تاریخچه دریای خزر. پروت ملل، دوره ۵. شماره ۵۴. صفحات ۲۵– ۲۴.

رحیم‌پور بناب، ح: ۱۳۸۴. سنگ‌شناسی کربناته، ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران. تهران. ۴۸۷صفحه.

رواسانی، ش: ۱۳۷۲. جامعه شرق بزرگ. تهران. نشر شمع.

لاهیجانی، ح: ۱۳۸۰. سهم کشورها در آلایش و پالایش دریای خزر. وزارت نیرو. تماب. ۱۰۵ص.

معتمد، ا: ۱۳۴۸. ارتباط طول سهم‌ها و دانه‌بندی رسوب در ساحل جنوبی دریای خزر: پدیده‌های ساحلی. نشریهٔ دانشکده علوم. شماره ۳. ص ۱۱–۷.

Adams, W.J.; Kimerle, R.A.; and Barnett, J.W: 1992. Sediment quality and aquatic life assessment. Environmental Science and Technology. 26(1):865-1875.

Brusilovskii, S.A.; and Turchkina, N.M: 1974. Microelemnts in ground water and in sediments at the west coast of middle Caspian. In: Leontiev, O.K. and Maev. E.G. (EDs.). Comprehensive Investigation of the Caspian Sea, Vol. 4. Moscow State University Publication, Moscow. 126-134.

Buccolieri, A.; Buccolieri, G.; Cardellicchio, N.; Dell'Atti, A.; Di Leo, A.; and Macib, A: 2006. Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). Marine Chemistry. 99: 227-235.

Carver, R.E: 1971. Procedures in Sedimentary Petrology, Wiley Interscience. 562 p.

De Mora, S.; Sheikholeslami, M.R.; Wyse, E.; Azemard, S.; and Cassi, R: 2004. An assessment of metal contamination in coastal sediments of the Caspian Sea. Marine Pollution Bulletin. 48:61-77.

Haeri Ardakani, O.; Sharifi, A.; Ghazban, F.; Jahangirir, M: 2000. Geochemical investigation of recenct sediment in the Gorgan Bay. International Conf. of Young Scientists on the Future of the Caspian Sea. 4-6 Sep. 2000. Astrakhan. Russia.

INCO: 1998. TSS-1 Technical Report. Iranian National Center for Oceanography. IR Iran, 15 p.

Karageorgis, A.; Anagnostou, Ch.; Sioulas, A.; Chronis, G.; and Papathanassiou, E: 1998. Sediment geochemistry and mineralogy in Milos Bay. SW Kyklades. Aegean Sea. Greece. Journal of Marine Systems. 16: 269-281.

Kholodov, V.N.; and Lisitsina N.A: 1989. The Caspian Sea; Sedimentology. Moscow. Nauka. 180 p.

Klenova, M.V.; Solovev, V.F.; Aleksina, I.A.; Vikhrenko, N.M.; Kulakova, L.S.; Maev, E.G.; Rikhter, V.G.; and Skornyakava, NS: 1962. Geological structure of the Caspian bottom. USSR Academy of Sciences, Moscow.

Lahijani, H: 1997. Riverine sediment and stability of the Iranian coast of the Caspian Sea. Russian Academy of Sciences. SCC. Caspy. 120 p.

Lebedev, L.I.; Maev, E.G.; Bordovskii, O.K.; Kulakova, L.S: 1973. The Caspian sediments. Nauka. Moscow (in Russian).

Leedev, M.R.; 1998. Sedimentology, processes and product. UNWIN HYMAN. 344p.

Leontiev, O.K: 1977. Geomorphology of the Iranian coast of the Caspian Sea, Russian Academy of Sciences.

Lewis, D.W.; and Mc Conchie, D: 1994. Analytical sedimentology. Chapman & Hau. 197 p.

Muller, G: 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins- Veränderungen seitt. in Sediments and Toxic Substances Eds. Calmano and Forstner. 1996. Springer.

Leningrad. 360 p.

Voropaev, G.V: 1986. The Caspian Sea. hydrology and hydrochemistry. Mscow. Nauka. 262 p.

Zenkovich, V.P: 1957. Structure of the south-east coast of the Caspian Sea, USSR Academy of Sciences, Oceanographic Comission Works. 2:4-11.

pp. 1-35.

Svitoch, A.A.; Yanina, T.A: 1997. Quaternary deposits of the Caspian Sea Coasts. Mascow Lukoil. 268 p.

Terziev, S.F: 1992. Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas. Vol. 6. the Caspian Sea. No 1. Hydrometeorologycal Conditions, Gidrometeoizdat.