نقش نشانگرهای رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی در شناسایی شرایط اکسیداسیون-احیا در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی

رضا بهبهانی[1*]، غلامرضا حسین‌یار[2]، افشین کریم‌خانی[3]، حسن محسنی[4] و زهره آتش‌مرد[5]

۱، ۲ و ۳- مدیریت زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران
۴- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان
۵- شرکت مهندسین مشاور ژئوتکنیک زمین‌کاوان جنوب، تهران

نویسنده مسئول: Rezabehbahani30@yahoo.com

دریافت: ۹۵/۱۱/۲۵ پذیرش: ۹۶/۲/۱۲

چکیده

یک روش تحلیلی شاخص (نشانگرهای ژئوشیمیایی (کربن آلی کل و میزان فلزات کمیاب حساس به شرایط اکسیداسیون-احیا) و نشان‌گرهای رسوب‌شناختی) برای شناخت شرایط اکسیداسیون-احیا در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی مورد استفاده قرار گرفته است. بر پایه بررسی‌های رسوب‌شناختی، رسوبات گل‌پشتیبان در بخش‌های دور از منشا سکوی قاره فراوان هستند، درحالی‌که تناوبی از دبریت‌ها و رسوبات پلاژیک-همی‌پلاژیک، بافت‌های مهم در شیب و بخش‌های نزدیک به منشا دشت حوضه هستند. چندین پارامتر (مانند اکسیژن محلول زیرین، کربن آلی کل، محتوی زیستی، پلت‌های مدفوعی و فلزات کمیاب) پیشنهاد می‌دهند که این رسوبات در محیط‌هایی با شرایط متفاوت اکسیداسیون-احیا نهشته شده‌اند: ۱- محیط‌های سکو و شیب قاره (رسوبات با شرایط اکسیدان) و ۲- محیط‌های دشت حوضه و حوضه‌های درون‌شیبی (رسوبات با شرایط کم اکسیژن). یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که رسوبات دشت حوضه و حوضه‌های درون‌شیبی در زون کمینه اکسیژن بر جای گذاشته شده‌اند. رسوبات کم اکسیژن دارای مقادیر بیش‌تری از فلزات کمیاب (وانادیم، روی، کروم، مس و نیکل)، کربن آلی کل، پلوئیدهای گلی و شامل مواد آلی نوع II هستند، درحالی‌که رسوبات اکسیدان مقادیر بیش‌تری از موجودات ساکن در بین رسوبات (مانند استراکودا و گاستروپودا)، پلت‌های مدفوعی و مواد آلی نوع III و مخلوط II/III را دارند. مواد آلی نوع III نشان‌دهنده آورد مواد آلی با منشا قاره‌ای (خشکی‌زی) به رسوبات سکو و شیب قاره می‌باشد. میزان حفظ‌شدگی ضعیف مواد آلی و زیست‌آشفتگی از تجمع مواد آلی در رسوبات اکسیدان پیشگیری می‌کند. این پژوهش نشان می‌دهد که میزان حفظ‌شدگی مواد آلی در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی بوسیله چندین پارامتر مانند اکسیژن محلول زیرین، نوع مواد آلی و محتوی زیستی کنترل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رسوبات کم اکسیژن، منطقه کمینه اکسیژن، مغزه‌های رسوبی، فلزات کمیاب حساس به شرایط اکسیداسیون-احیا، حوضه خزر جنوبی

مقدمه

مواد آلی در محیط‌های آبی به دو رده زایشی نابرجا[1] و برجا[2] تقسیم می‌شوند (میرز، ۲۰۰۳؛ چستر و جیکلس، ۲۰۱۲). مواد آلی نابرجا (خشکی‌زی) عمدتا بوسیله رودخانه‌ها و به صورت کم اهمیت‌تر توسط باد حمل و به محیط‌های آبی (دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها) انتقال می‌یابند (اگلینتون و رپتا، ۲۰۰۳). پژوهش در مورد کیفیت و کمیت مواد آلی در رسوبات و شناسایی زون کمینه اکسیژن[3] در محیط‌های رسوبی دریایی و دریاچه‌ای مدرن کمک شایانی به شناسایی مدل‌های رسوب‌گذاری و نحوه ایجاد رسوبات و سنگ‌های رسوبی سرشار از کربن آلی می‌کند (استین، ۱۹۹۱). فلزات کمیاب حساس به شرایط اکسیداسیون-احیا[4] (مانند وانادیم، کروم، روی و مس) به عنوان نشانگرهای شرایط اکسیداسیون-احیا در محیط‌های رسوبی جدید و دیرینه به کار گرفته می‌شوند (کالورت و پدرسن، ۱۹۹۲؛ پایلر و همکاران، ۲۰۰۲؛ آلگئو و ماینارد، ۲۰۰۴). میزان انحلال برخی فلزات کمیاب، وابسته به شرایط اکسیداسیون-احیا متغیر است. بنابراین، میزان تمرکز آن‌ها در رسوبات به عنوان یک نشان‌گر

[1] Allochthonous
[2] Autochthonous
[3] Oxygen minimum zone
[4] Redox sensitive trace metals

تعیین‌کننده سطح اکسیژن کاربرد دارد (هریس و همکاران، ۲۰۰۵).

به دلیل نوپا بودن مطلعات زمین‌شناسی دریایی در ایران توجه بسیار کمی از لحاظ بررسی‌های زمین‌شناسی دریایی از جمله بررسی نقش نشانگرهای رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی در شناسایی شرایط اکسیداسیون-احیا و شناسایی توان حفظ مواد آلی در محیط‌های آبی ایران مانند بخش جنوبی دریای خزر شده است. به همین منظور در این پژوهش سعی در شناسایی رسوبات اکسیدان تا کم اکسیژن، زون کمینه اکسیژن و بررسی نقش نشانگرهای ژئوشیمیایی (مقدار کربن آلی کل و فلزات کمیاب) و رسوب‌شناختی (مقدار فونای کفزی، مقدار پلوئیدهای گلی، پلت‌های مدفوعی و زیست‌آشفتگی) در شناسایی شرایط اکسیداسیون-احیایی بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی شده است. هم‌چنین، ارتباط بین محیط‌های رسوبی، مقادیر کربن آلی کل[5]، نوع مواد آلی، اجزای سازنده رسوبات، مقادیر فلزات کمیاب حساس به شرایط اکسیداسیون-احیا و مقادیر اکسیژن محلول زیرین[6] در کف بستر به طور خلاصه بحث می‌شود.

جایگاه زمین‌شناسی و جغرافیایی

حوضه خزر یکی از مهم‌ترین حوضه‌های تولیدکننده هیدروکربن در جهان است (دلوین و همکاران، ۱۹۹۹؛ کلانی و همکاران، ۲۰۰۸). این حوضه به سه بخش (زیرحوضه) مجزای شمالی، میانی و جنوبی تقسیم می‌شود. بالاآمدگی منگیشلاق زیرحوضه‌های شمالی و مرکزی و بالاآمدگی آپشرون زیر حوضه‌های جنوبی و مرکزی را از یکدیگر جدا می‌سازند. حوضه خزر جنوبی با میانگین ژرفای ۱۹۰ متر و بیشینه ژرفای ۱۰۲۵ متر در شمال ایران، خاور آذربایجان و باختر ترکمنستان واقع شده است (پیپ و همکاران، ۲۰۱۲؛ لروی و همکاران، ۲۰۱۳) (شکل ۱). رسوبات پرکننده حوضه خزر جنوبی عمدتا از رشته کوه‌های پیرامون آن (مانند رشته کوه البرز در شمال ایران؛ تشکیل شده از سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی و دگرگونی با سن پالئوزوئیک تا سنوزوئیک (نظری و همکاران، ۲۰۰۴) ناشی می‌شوند. ستبرای رسوبات پرکننده حوضه خزر جنوبی با سن مزوزوئیک-سنوزوئیک بیش از ۲۰ کیلومتر برآورد می‌شود (برونت و همکاران، ۲۰۰۳؛ کازانسی و گلبابازاده، ۲۰۱۳؛ عبدالله‌یف و همکاران، ۲۰۱۵).

منطقه مورد مطالعه شامل بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی در امتداد نوار ساحلی شمال ایران است (شکل ۱). نمونه‌برداری بوسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در زمستان سال ۱۳۹۰ هجری خورشیدی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر اساس مغزه‌های گرفته شده در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی انجام شده است. پانزده مغزه (در هفت نیمرخ با طول‌های ۷۳ تا ۱۶۵ سانتی‌متر) از ژرفای کم تا زیاد آب (۴۵ تا ۸۵۰ متر) در محیط‌های رسوبی گوناگون (بخش‌های دور از ساحل سکوی قاره، شیب قاره و دشت حوضه) گرفته شد. این کار با توجه به نیمرخ‌های لرزه‌ای برداشت شده توسط بهبهانی و همکاران (۱۳۹۵) بوسیله روش مغزه‌گیری وزنی (مغزه‌گیر با ۱۰۰ کیلوگرم وزنه و قطر مغزه‌های برداشت شده ۶۳ میلی‌متر) انجام گرفت (جدول ۱). عدم مغزه‌گیری از بخش‌های نزدیک به ساحل سکوی قاره به دلیل محدودیت‌های ابزاری و تکنیکی در ژرفای کم آب است. نمونه‌ها با فواصل[7] ۳ تا ۱۰ سانتی‌متری از بخش‌های زیرین، میانی و بالایی همه مغزه‌ها گرفته شده است. دویست و پنجاه و هفت نمونه (با فواصل ۳ سانتی‌متری) برای مطالعات رسوب‌شناختی (بررسی اندازه دانه‌ها، ترکیب کانی‌شناسی و شناسایی اجزای تشکیل‌دهنده)، پانزده نمونه برای مطالعات پتروگرافی و ۱۲۰ نمونه برای مطالعات ژئوشیمی آلی و غیر آلی (با فواصل ۶ تا ۱۰ سانتی‌متری) مورد بررسی قرار گرفتند. لازم به یادآوری است که مغزه‌های گرفته شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در سردخانه کشتی نگهداری شد. پس از انتقال مغزه‌ها به آزمایشگاه و برش آن‌ها به طور کامل توسط دستگاه برش مغزه، برای گردآوری نمونه‌های کم‌تر هوازده، نمونه‌ها پس از برداشت به سرعت در کیسه‌های دو جداره قرار گرفتند. به منظور انجام مطالعات رسوب‌شناسی، نمونه‌های برداشت شده توسط دستگاه

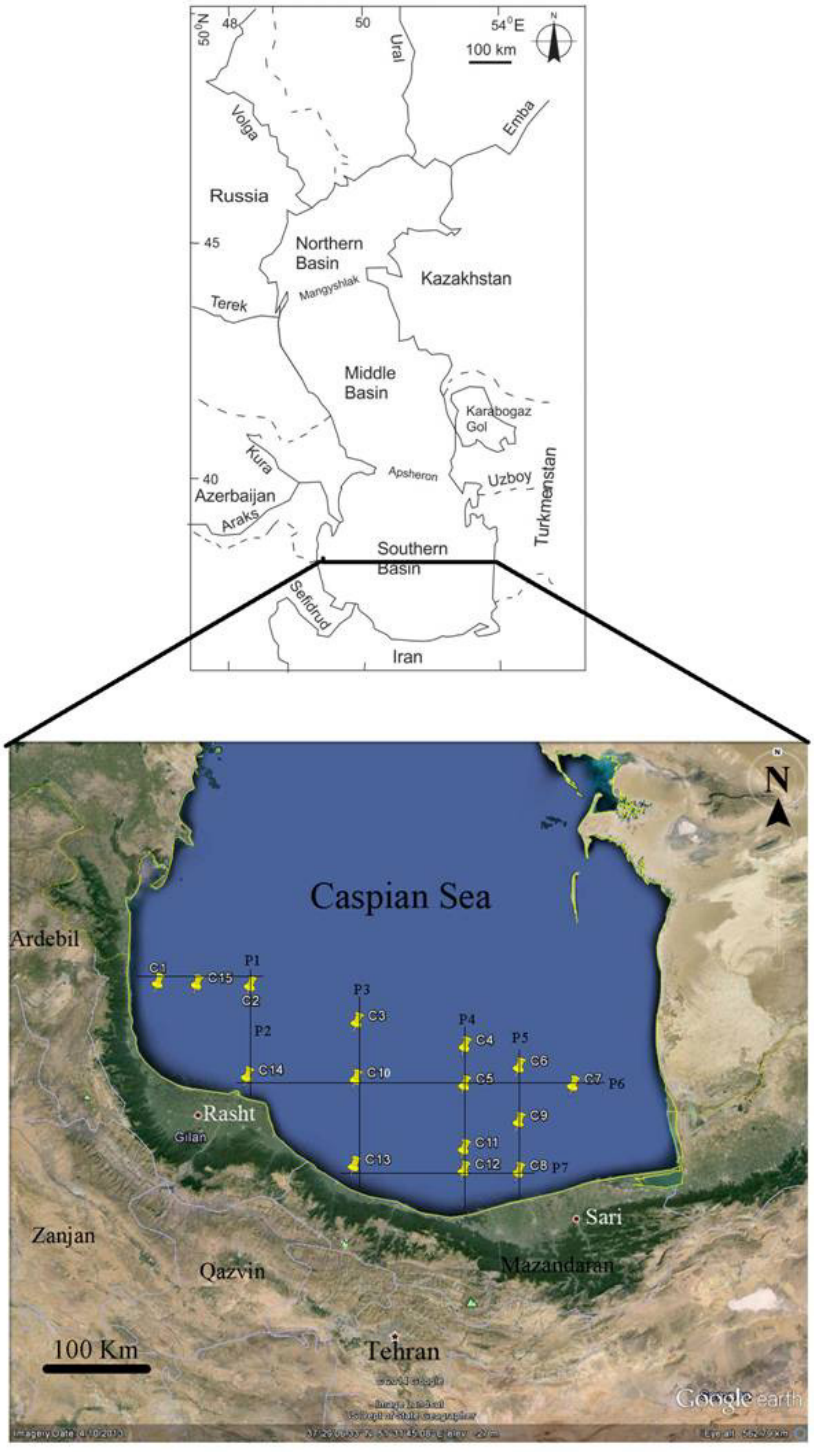
[5] Total organic carbon content
[6] Bottom dissolved oxygen levels
[7] Intervals

الک و لرزانده تر (برای دانه‌های بالای ۶۳ میکرون) مورد آنالیز قرار گرفتند. پیش از آغاز دانه‌بندی به منظور جدایش دانه‌های رسی، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه درون حمام اولتراسونیک قرار داده شد و سپس آن‌ها الک گردیدند. دانه‌بندی دانه‌های کوچک‌تر از ۶۳ میکرون توسط دستگاه دانه‌سنج لیزری[8] (مدل Analysette 21) ساخت شرکت فریتش آلمان و در آزمایشگاه رسوب‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی انجام گرفت. هم‌زمان با بارگذاری نمونه در دستگاه مقداری پیروفسفات سدیم برای جدایش دانه‌های ریز در اندازه رس از یکدیگر به آن اضافه می‌شود. نمونه‌ها یک ساعت به همان حالت باقی مانده و سپس توسط دستگاه دانه‌سنج لیزری مورد آنالیز قرار می‌گیرند. برای نام‌گذاری رسوبات از روش فولک[9] (فولک، ۱۹۷۴) استفاده شد. برای تکمیل مطالعات، در محدوده اندازه‌های ۲ میلی‌متر تا ۱۲۵ میکرون توسط میکروسکوپ الیمپوس[10] بررسی‌های مورفوسکوپی و مورفومتری انجام پذیرفت. سنجش میزان پراش پرتوی ایکس[11] برای شناسایی ترکیب کانی‌شناسی دانه‌های رسوبی به ویژه کانی‌های رسی در آزمایشگاه رسوب‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی توسط دیفراکتومتر زیمنس مدل (D5000) (ولتاژ ۴۰ کیلوولت، شدت جریان ۴۰ میلی‌آمپر و لامپ مس) انجام گرفت. در این آنالیز، چهار تیمار اشباع پتاسیم، اشباع پتاسیم بعد از گرم کردن تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، اشباع منیزیم و اشباع منیزیم پس از تیمار اتیلن گلیکول بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. برش‌های نازک[12] از رسوبات سست برای شناسایی دقیق‌تر اجزای رسوبی تهیه شد. مطالعات ژئوشیمی آلی شامل شناسایی درصد کربن آلی کل[13] و پارامترهای شاخص هیدروژن[14] و S2 می‌باشد که توسط دستگاه راک – اول تیپ II[15] در پژوهشگاه صنعت نفت انجام شد. نمونه‌های انتخاب شده برای پیرولیز راک-اول به صورت پودر شده و عبور کرده از الک ۱۲۵ میکرون از نمونه‌های کل[16]، آماده و به پژوهشگاه صنعت نفت ارسال شد. لازم به یادآوری است روش پیرولیز راک-اول برای سنجش کربن آلی رسوبات دریایی-دریاچه‌ای مدرن (نهشته‌های بدون بلوغ گرمایی و تدفین لازم) کارآیی فراوانی دارد و از سوی محققان فراوانی اشاره شده است (لوویس و همکاران، ۲۰۰۰؛ الشرحان و کندال، ۲۰۰۳؛ مارچند و همکاران، ۲۰۰۳؛ صانعی و گودرزی، ۲۰۰۶؛ پراتیما و همکاران، ۲۰۰۷؛ سیفدین و همکاران، ۲۰۰۸؛ بادین و همکاران، ۲۰۱۰). هم‌چنین برای شناسایی نوع مواد آلی از روش‌های گودارد و همکاران (۱۹۹۷) (S_2 کم‌تر از ۲ mgHc/gRock) و لانگ-فورد و بلانک والرون (۱۹۹۰) (S_2 بیش از ۲ mgHc/gRock) استفاده شد. مقادیر فلزات کمیاب (نیکل، روی، وانادیم، کروم و مس) از نمونه‌های کل بوسیله روش پلاسمای جفت-القایی[17] در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گرفت. لازم به یادآوری است که در ابتدا نمونه‌ها توسط مخلوط چهار اسید (هیدروکلریک، نیتریک، هیدروفلوریک و پرکلریک) هضم کامل شد و سپس به روش یادآوری شده واکاوی آنالیز گردید. حدهای شناسایی[18] برای فلزات وانادیم، کروم، مس و روی ۵ ppm و برای نیکل ۱۰ ppm است. در ضمن شاخص جداسازی محیط‌ها از نظر مقادیر استاندارد V/Cr (کم‌تراز ۲ برای محیط اکسیدان و بیش از ۲ برای محیط کم اکسیژن) و Ni/V (کم‌تر از ۰/۲ برای محیط بدون اکسیژن و بیش از ۰/۲ برای محیط اکسیدان) شناخته شد. هم‌چنین مقادیر اکسیژن محلول زیرین (ژرفای آب جهت اندازه‌گیری اکسیژن محلول در ۵۰ سانتی‌متری نزدیک بستر است) توسط دستگاه CTD[19] در محل مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. شاخص جداسازی محیط‌ها از نظر مقدار اکسیژن محلول، مقدار ۲/۵ میلی‌لیتر/لیتر است که مقادیر بیش از آن محیط اکسیدان و مقادیر کم‌تر از آن محیط کم اکسیژن (بین ۰/۲ تا ۲/۵ میلی‌لیتر/لیتر) در نظر گرفته می‌شود (آلگئو و ماینارد، ۲۰۰۴). هم‌چنین برای شناسایی محیط رسوبی از اطلاعات لرزه‌ای کم‌ژرفا با توان جداسازی زیاد[20] که توسط بهبهانی و همکاران (۱۳۹۵) ارائه شده است، استفاده شد. ژرفاهای آب ۲۰۰ و ۷۰۰ متر برای

[8] Laser Particle sizer
[9] Folk
[10] Olympus-SZX-16
[11] XRD
[12] Thin sections
[13] TOC
[14] HI
[15] Rock- Eval II+ TOC Moduel
[16] Bulk samples

[17] ICP-OES (735-ES-Varian)
[18] Detection limits
[19] CTD (model Idronaut; conductivity, temperature, dissolved oxygen)
[20] High resolution shallow seismic data

جداسازی محیط‌های رسوبی سکوی قاره (ژرفای آب تا ۲۰۰ متر و شیب بستر کم‌تر از ۱ درجه)، شیب قاره (ژرفای آب بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ متر و شیب بین ۲ تا ۶ درجه) و محیط دشت حوضه (ژرفای آب بیش از ۷۰۰ متر و شیب بستر کم‌تر از ۱/۵ درجه) استفاده شد (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۵). لازم به یادآوری است که مغزه‌گیری توسط سازمان زمین‌شناسی کشور با کشتی گیلان (متعلق به اداره شیلات استان گیلان) در زمستان سال ۱۳۹۰ هجری خورشیدی انجام گرفت.



شکل ۱. جایگاه جغرافیایی محدوده مورد مطالعه، نیمرخ‌های مغزه‌گیری (p) و جایگاه مغزه‌های گرفته شده (C)

جدول ۱. مختصات جغرافیایی، ژرفای آب، طول و محیط رسوبی مغزه‌های گرفته شده در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی. محیط رسوبی بر مبنای داده‌های لرزه‌ای گرفته شده بوسیله بهبهانی و همکاران (۱۳۹۵) شناسایی شده است.

شماره مغزه و نمونه‌های برداشت شده	مختصات جغرافیایی جهانی (UTM)		طول مغزه (سانتی‌متر)	ژرفای آب (متر)	محیط رسوبی
	Y	X			
۱ (نمونه‌های۱ تا ۴۰)	۴۲۲۵۹۵۳/۷۱۷	۳۳۶۴۷۶/۳۵۲	۱۶۵	۵۰	سکوی قاره
۲ (نمونه‌های ۴۱ تا ۶۳)	۴۲۲۷۲۱۹/۷۴۶	۳۶۸۶۲۸/۹۶۷	۷۳	۷۴۰	دشت حوضه
۳ (نمونه‌های ۴۲ تا ۸۷)	۴۱۵۰۸۱۰/۹۴۴	۴۱۱۶۰۸/۷۵۳	۱۵۵	۸۵۰	دشت حوضه
۴ (تمونه‌های ۸۸ تا ۱۲۹)	۴۲۲۶۶۲۹/۰۴۰	۴۱۲۴۲۰/۶۳۶	۱۲۶	۷۰۵	دشت حوضه
۵ (نمونه‌های ۱۳۰ تا ۱۷۳)	۴۰۸۰۰۸۱/۴۳۶	۵۰۰۰۰۰/۰۰۰	۱۳۰	۷۰۰	دشت حوضه
۶ (نمونه‌های ۱۷۴ تا ۲۰۹)	۴۱۵۰۳۴۱/۳۴۱	۵۰۰۰۰۰/۰۰۰	۱۱۴	۴۹۰	شیب قاره
۷ (نمونه‌های ۲۱۰ تا ۲۴۰)	۴۱۹۶۵۶۹/۰۷۹	۵۰۰۰۰۰/۰۰۰	۹۷	۲۳۶	شیب قاره
۸ (نمونه‌های ۲۴۱ تا ۲۷۴)	۴۱۵۰۴۵۸/۷۳۶	۵۴۴۱۹۵/۱۸۴	۱۰۰	۳۷۰	شیب قاره
۹ (نمونه‌های ۲۷۵ تا ۲۹۵)	۴۰۷۷۷۷۴/۷۴۴	۵۸۹۱۶۱/۵۰۱	۱۰۸	۵۷۵	شیب قاره
۱۰ (نمونه‌های ۲۹۶ تا ۳۱۶)	۴۱۴۷۱۱۲/۷۱۹	۵۸۸۴۳۰/۵۳۰	۱۵۸	۸۴۶	دشت حوضه
۱۱ (نمونه‌های ۳۱۷ تا ۳۳۳)	۴۱۷۸۵۴۸/۲۸۰	۵۸۸۰۹۵/۶۷۴	۱۲۲	۷۰۷	دشت حوضه
۱۲ (نمونه‌های ۳۳۴ تا ۳۴۸)	۴۰۷۷۴۳۳/۵۴۹	۶۳۳۷۵۹/۱۷۴	۸۰	۵۹۵	دشت حوضه
۱۳ (نمونه‌های ۳۴۹ تا ۳۶۹)	۴۱۱۸۱۱۳/۰۶۰	۶۳۳۱۱۷/۸۵۵	۱۲۴	۵۲	سکوی قاره
۱۴ (نمونه‌های ۳۷۰ تا ۳۸۲)	۴۱۶۲۴۹۳/۳۹۱	۶۳۲۴۱۱/۹۹۹	۱۲۲	۴۵	سکوی قاره
۱۵ (نمونه‌های ۳۸۳ تا ۳۹۲)	۴۱۴۸۵۲۱/۵۰۴	۶۷۶۸۶۸/۱۳۴	۱۵۳	۵۰۰	حوضه درون‌شیبی

نتایج

رسوبات و اجزای سازنده آن‌ها در مغزه‌ها

با اطلاعات بدست آمده از بهبهانی و همکاران (۱۳۹۵)، می‌توان سه محیط رسوبی سکوی قاره‌ای[1] (مغزه‌های ۱، ۱۳ و ۱۴)، شیب قاره[2] (مغزه‌های ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۲ و ۱۵) و دشت حوضه (مغزه‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰ و ۱۱) را برای بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی تصور نمود.

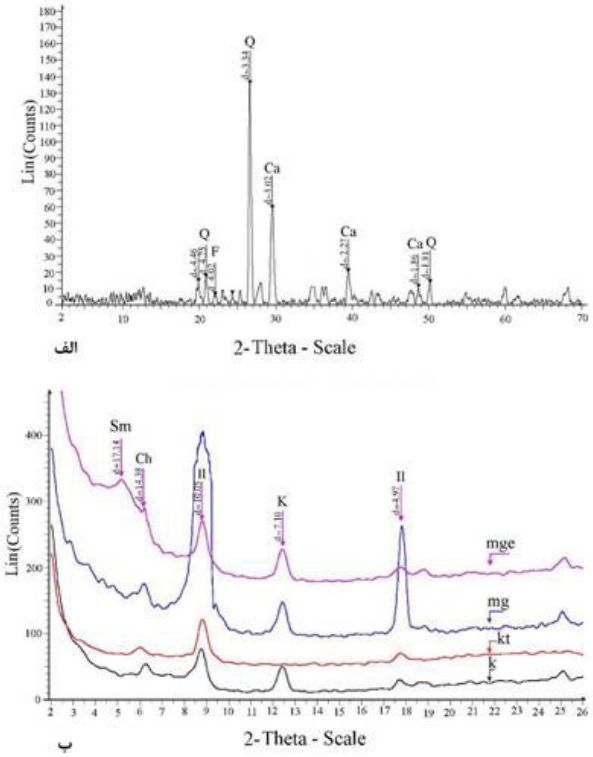
رسوبات مغزه‌های بخش دور از ساحل سکوی قاره

به دلیل محدودیت‌های تکنیکی و عدم مغزه‌گیری در مناطق نزدیک به ساحل[3] سکوی قاره، رسوبات سطحی این بخش از حوضه خزر جنوبی توسط بهبهانی و همکاران (۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی مغزه‌های گرفته شده از نواحی دور از ساحل سکوی قاره چهار نوع رسوب گل، گل با کمی گراول، گل ماسه‌ای با کمی گراول و گل گراولی در مغزه‌های ۱ و ۱۳ و سه نوع رسوب سیلت، گل و گل گراولی در مغزه ۱۴ شناسایی شده‌اند. این رسوبات گل‌پشتیبان شامل دانه‌های آواری کوارتز (شکل‌های ۲ الف و ۳ ب)، فلدسپات (شکل‌های ۲ الف و ۳ ب)، کانی‌های رسی (کائولینیت، ایلیت، کلریت و اسمکتیت) (شکل ۲ب)، خرده‌سنگ، بقایای گیاهان (شکل ۳ ج)، خرده‌های اسکلتی کفزی (مانند گاستروپودا، استراکودا و دوکفه‌ای با آثار حفر بر روی پوسته آن‌ها) (شکل‌های ۳ الف، د، ه)، دانه‌های غیراسکلتی (پلت‌های مدفوعی و پلوئیدهای گلی با اندازه کم‌تر از ۵۰۰ میکرون) و لیتوکلست‌ها (اندازه بیش از ۵۰۰ میکرون) می‌باشند. نیاز به یادآوری است که جداسازی پلت‌ها و پلوئیدها به دو گروه پلت‌های مدفوعی و پلوئیدهای گلی با استفاده از معیارهای ارائه شده توسط فلوگل (۲۰۰۴) (مانند اندازه، شکل، جورشدگی و بود یا نبود زیست‌آشفتگی) و تهیه برش نازک از آن‌ها پس از جداسازی، انتخاب و تجمیع قطعات غیراسکلتی از رسوبات بررسی شده تا حدی امکانپذیر بود. به دلیل عدم شناسایی منشا درون حوضه‌ای و یا برون حوضه‌ای قطعات بزرگ‌تر از ۵۰۰ میکرون از واژه لیتوکلست برای آن‌ها استفاده شد.

رسوبات دور از ساحل سکوی قاره در مغزه‌های ۱ و ۱۳ (رسوبات گل‌پشتیبان) شامل دو واحد است. واحد ضخیم‌تر (۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متر ستبرا) شامل لایه گلی همگن با کم‌تر از ۵ درصد دانه‌ها پراکنده در اندازه ماسه (لیتوکلست و بیوکلست) می‌باشد که عمدتا متشکل از دانه‌های کوارتز (حدود ۲۰ درصد از قطعات دیده شده در

[1] Continental Shelf
[2] Continental slope
[3] Near shore zone

به روش مورفوسکوپی)، قطعات بایوکلستی (حدود ۳۰ درصد) و پلت‌های مدفوعی (حدود ۴۵ درصد) هستند. واحد نازک‌تر (۳ تا ۵ سانتی‌متر ستبرا) از گل ماسه‌ای با کمی گراول (۳ درصد دانه‌های در اندازه گراول و ۷ درصد دانه‌ها در اندازه ماسه) که عمدتا متشکل از پوسته‌های موجودات کف‌زی (حدود ۳۰ درصد)، کوارتز (حدود ۲۳ درصد)، پلت‌های مدفوعی (حدود ۳۵ درصد)، لیتوکلست (حدود ۷ درصد) و کمی پلوئید گلی (حدود ۲ درصد) هستند. در مغزه ۱۴ (شکل ۴)، رسوبات دیده شده از ۳ واحد ستبر گلی (۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر ستبرا) که به طور عمده از دانه‌های کوارتز (حدود ۳۰ درصد)، قطعات بایوکلستی (حدود ۲۰ درصد)، بقایای گیاهان (حدود ۴۰ درصد) و لیتوکلست (۲ تا ۳ درصد)، واحد نازک گل گراولی (۳ سانتی‌متر ستبرا) به طور عمده از لیتوکلست (۸ درصد)، باقی‌مانده گیاهان (حدود ۴۰ درصد)، قطعات بایوکلستی (حدود ۲۷ درصد) و کوارتز (حدود ۲۵ درصد) و واحد سیلتی نازک (۴ سانتی‌متر ستبرا) به طور عمده از ۵ درصد لیتوکلست، ۳۸ درصد بقایای گیاهان، ۳۰ درصد قطعات بایوکلستی و ۲۶ درصد کوارتز تشکیل شده است (جدول ۲).



شکل ۲. دیاگرام سنجش پراش پرتوی ایکس از ژرفای ۳۴ تا ۳۶ سانتی‌متری مغزه ۱ در بخش باختری حوضه خزر جنوبی (بخش دور از ساحل سکوی قاره). الف- Q= کوارتز، Ca= کلسیت و F= فلدسپار. ب- Sm= اسمکتیت، Ch= کلریت، Il= ایلیت و K= کائولینیت. لازم به یادآوری است که در دیاگرام سنجش کانی‌های رسی به ترتیب (mge)، (mg)، (kt) و (k) نشان‌دهنده تیمار با مخلوط اتیلن گلیکول و کلرید منیزیم، با کلرید منیزیم، با مخلوط کلرید پتاسیم و تابش گرما تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و با کلرید پتاسیم می‌باشد.

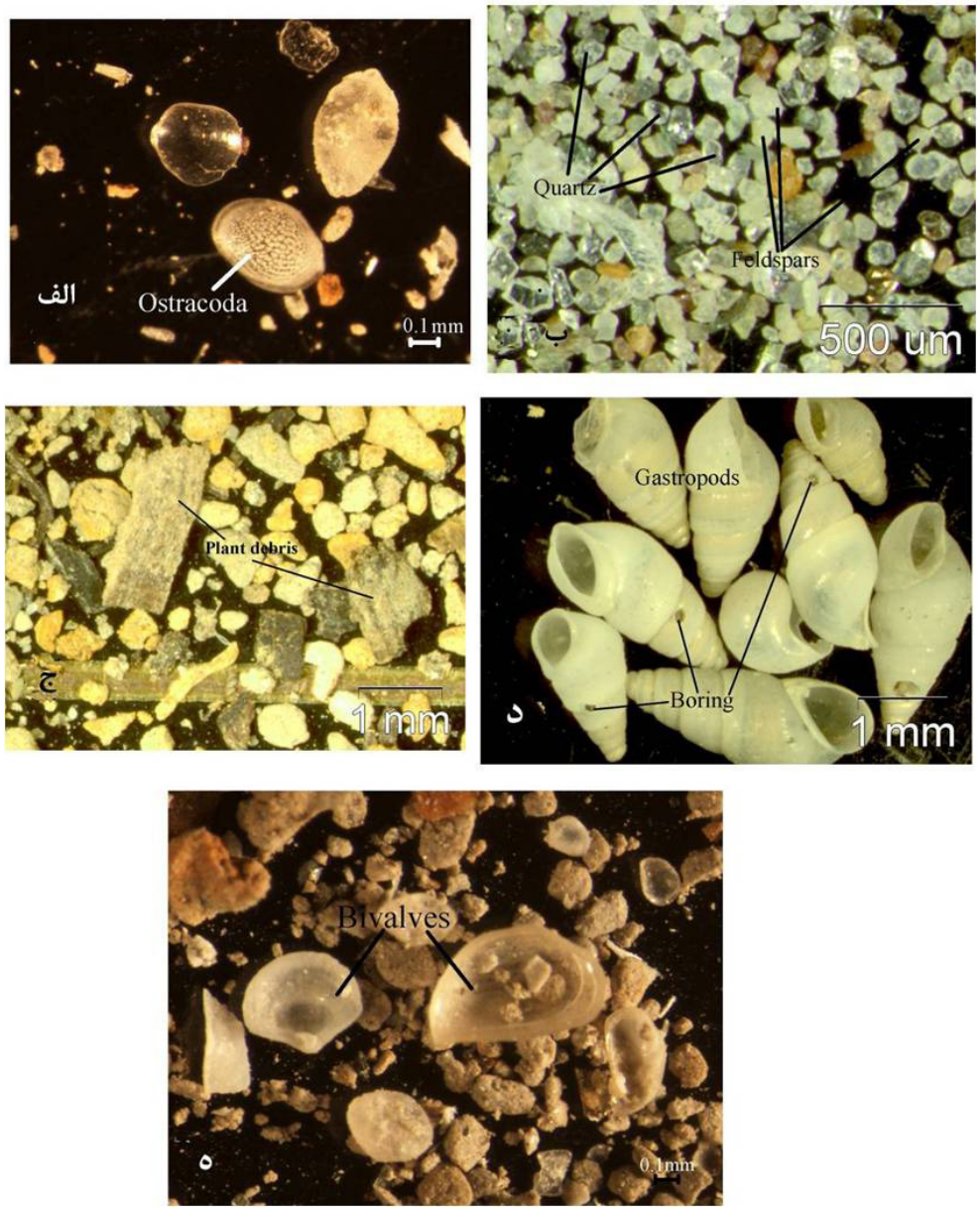
رسوبات مغزه‌های شیب قاره

نوع و حجم رسوب منتقل شده به شیب قاره بستگی به عرض سکوی قاره و فراوانی رسوبات در آن دارد (نیکلز، ۲۰۰۹). در سکوی قاره با پهنای کم، دانه‌ها در اندازه ماسه توسط جریان‌های دریایی به لبه سکوی قاره انتقال داده می‌شوند و می‌توانند در شیب قاره به عنوان رسوبات گرانشی[1] نهشته شوند (فریسر، ۱۹۸۹؛ نیکلز، ۲۰۰۹). نیمرخ‌های لرزه‌ای ثبت شده توسط بهبهانی و همکاران (۱۳۹۵)، نشان‌دهنده رسوبات لغزش‌یافته ایجاد شده در اثر ناپایداری بستر و حوضه‌های کوچک درون‌شیبی در ناحیه شیب می‌باشد. مغزه‌های گرفته شده از نواحی شیب قاره (مغزه‌های ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۲) از ۳ نوع رسوب گل (رسوبات پلاژیک و همی‌پلاژیک)، گل ماسه‌ای و گل با کمی گراول (رسوبات جریان خرده‌دار؛ دبریت[2]) تشکیل

[1] Gravity deposits

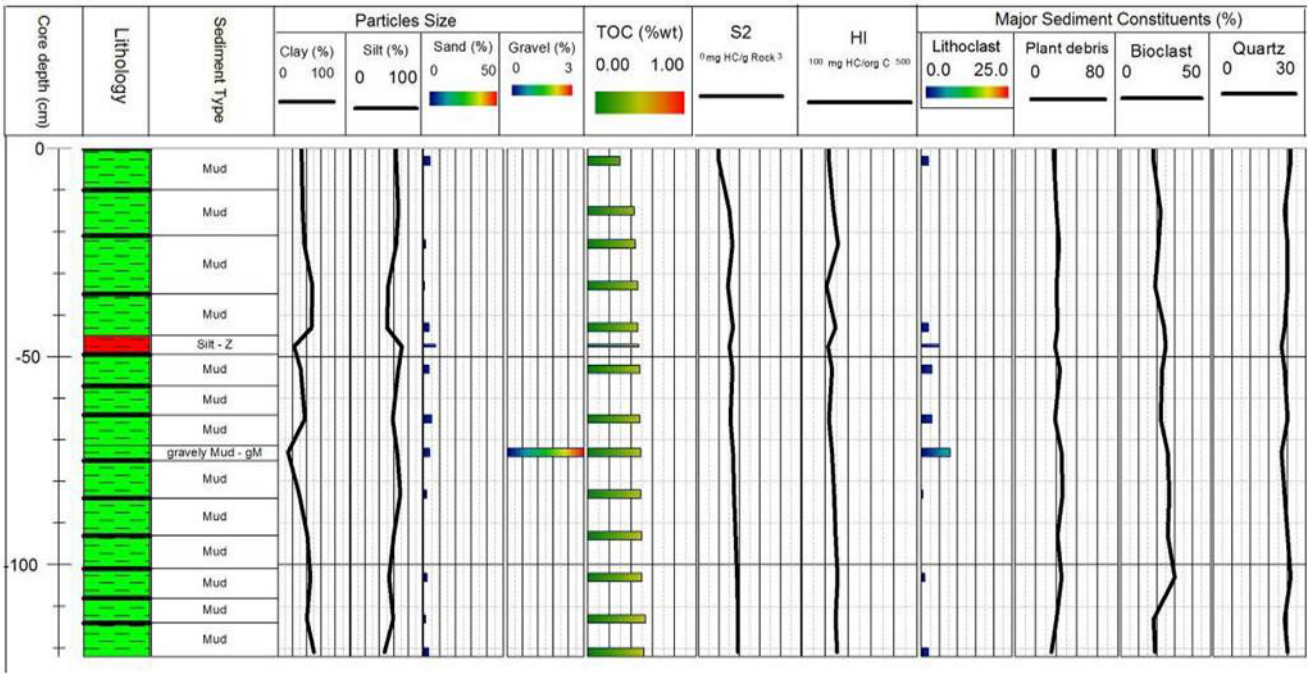
[2] Debrite

شده است (شکل ۵). نهشته‌های گلی پلاژیک و همی‌پلاژیک (۸ تا ۳۰ سانتی‌متر ستبرا) شامل دانه‌ها در اندازه سیلت و رس با کم‌تر از ۱۰ درصد دانه‌های پراکنده در اندازه ماسه (بیوکلست و لیتوکلست) هستند. این رسوبات عموما همگن هستند (به استثنای مغزه شماره ۱۵ (حوضه درون‌شیبی) که دارای لامینه‌های ریز[1] می‌باشد). این واحد گلی به طور عمده متشکل از لیتوکلست (۲ تا ۶ درصد قطعات دیده شده در روش مورفوسکوپی)، پلت مدفوعی (حدود ۲۰ درصد)، پلوئید گلی (حدود ۲۰ درصد)، قطعات بایوکلستی (حدود ۳۵ درصد) و دانه‌ها کوارتز (حدود ۱۰ درصد) است.

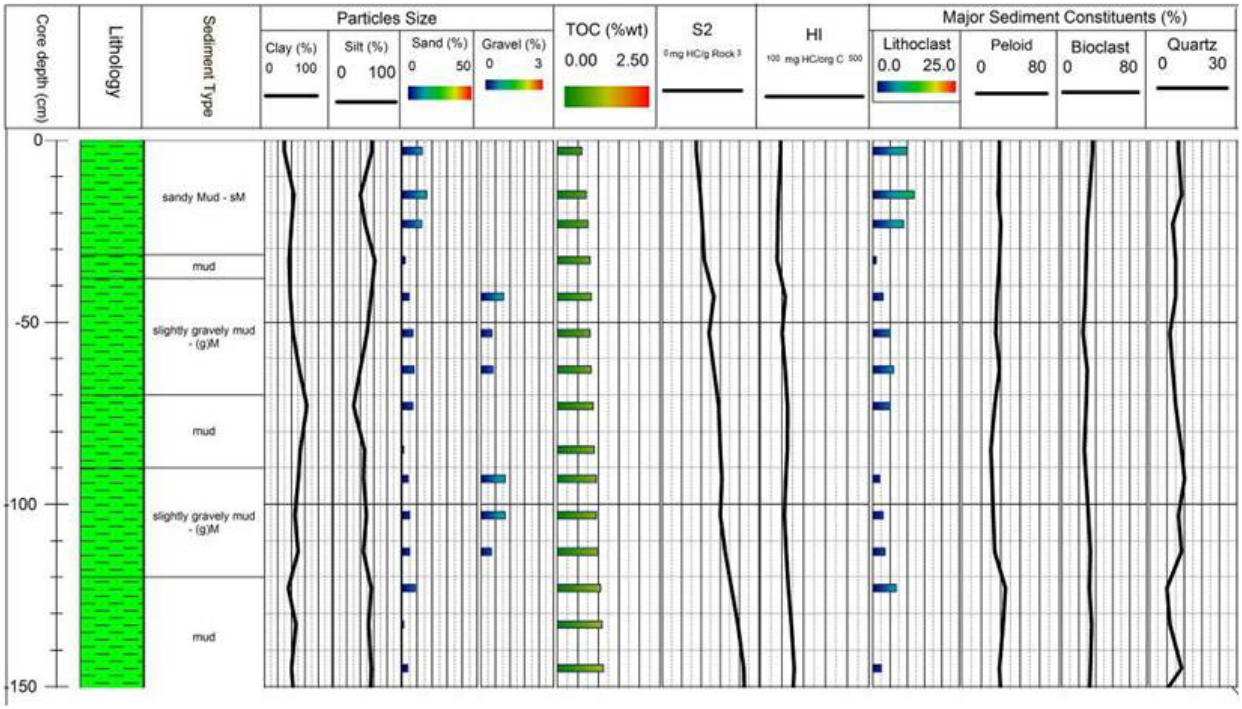


شکل ۳. اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات مغزه‌های گرفته شده در مناطق دور از ساحل سکوی قاره‌ای در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی. الف- پوسته‌های استراکودا در ژرفای ۷۲ سانتی‌متری مغزه ۱۳ در بخش میانی منطقه مورد مطالعه. ب- بلورهای کوارتز و فلدسپات در ژرفای ۱۲۰ سانتی‌متری مغزه ۱ در بخش باختری حوضه خزر جنوبی. ج- بقایای گیاهی در ژرفای ۵۴ سانتی‌متری مغزه ۱۴ در بخش باختری منطقه مورد مطالعه. د- پوسته‌های گاستروپودا با آثار حفر (زیست‌آشفتگی) در ژرفای ۲۴ سانتی‌متری مغزه ۱۳ در بخش میانی حوضه خزر جنوبی. ه- پوسته‌های دوکفه‌ای در ژرفای ۲۵ سانتی‌متری مغزه ۱ در بخش باختری منطقه مورد بررسی.

[1]. Finely lamination



شکل ۴. تغییرات انواع رسوب، اندازه دانه‌های رسوبی، اجزای عمده تشکیل‌دهنده رسوبات و تغییرات مقادیر کربن آلی کل و S_2 (با مقیاس ۰ تا ۳ mgHc/gRock) در مغزه ۱۴ با طول ۱۲۲ سانتی‌متر در بخش باختری منطقه مورد بررسی (بخش دور از ساحل سکوی قاره). این مغزه از ۳ نوع رسوب گل، گل گراولی و سیلت تشکیل شده است. با افزایش ژرفای مغزه مقادیر کربن آلی کل افزایش می‌یابد. لازم به یادآوری است که محل نمونه‌های انتخاب شده جهت مطالعات ژئوشیمی متناظر با مقادیر کربن آلی کل (TOC) است.



شکل ۵. تغییرات انواع رسوب، اندازه دانه‌های رسوبی، اجزای عمده تشکیل‌دهنده رسوبات و تغییرات مقادیر کربن آلی کل و S_2 (با مقیاس ۰ تا ۳ mgHc/gRock) در مغزه ۹ با طول ۱۵۳ سانتی‌متر در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه (شیب قاره). این مغزه از ۳ نوع رسوب گل، گل ماسه‌ای و گل با کمی گراول تشکیل شده است. با افزایش ژرفای مغزه مقادیر کربن آلی کل افزایش می‌یابد. لازم به یادآوری است که محل نمونه‌های انتخاب شده برای بررسی ژئوشیمی متناظر با مقادیر کربن آلی کل (TOC) است.

جدول ۲. درصد میانگین اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات و انواع رسوبات مغزه‌های بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی. از سکوی قاره به دشت حوضه درصد قطعات بایوکلستی و پلت‌های مدفوعی کاهش و پلوئیدهای گلی افزایش می‌یابند.

محیط‌های رسوبی	بخش دور از ساحل سکوی قاره	شیب قاره و حوضه درون‌شیبی	بخش نزدیک منشا دشت حوضه	بخش دور از منشا دشت حوضه
انواع رسوب	رسوب گل‌پشتیبان: گل، گل با کمی گراول، گل گراولی، سیلت و گل ماسه‌ای با کمی گراول	رسوبات پلاژیک/همی‌پلاژیک: گل رسوبات جریان خرده‌دار: گل ماسه‌ای و گل با کمی گراول	رسوبات پلاژیک/همی‌پلاژیک: گل و سیلت رسوبات جریان خرده‌دار: گل ماسه‌ای، گل با کمی گراول و سیلت ماسه‌ای	رسوبات پلاژیک/همی-پلاژیک: گل و سیلت
درصد میانگین قطعات بیوکلست	۲۷ درصد	۳۲ درصد در شیب قاره و ۲۷ درصد در حوضه درون‌شیبی	۲۰ درصد	۲۰ درصد
درصد میانگین دانه‌های آواری عمده	کوارتز ۲۱ درصد و بقایای گیاهان ۳۹ درصد (فقط در مغزه ۱۴)	کوارتز ۱۲ درصد	کوارتز ۱۸ درصد	کوارتز ۱۹ درصد
درصد میانگین قطعات غیر اسکلتی	پلت مدفوعی ۴۰ درصد، پلوئید گلی ۲ درصد و لیتوکلست ۵ درصد	لیتوکلست ۷ درصد، پلت مدفوعی و پلوئید گلی ۲۰ درصد در شیب قاره و در حوضه درون‌شیبی پلوئید گلی ۲۵ درصد و پلت مدفوعی ۲۰ درصد	پلت مدفوعی ۱۲ درصد، پلوئید گلی ۳۵ درصد و لیتوکلست ۷ درصد	پلت مدفوعی ۱۲ درصد، پلوئید گلی ۳۳ درصد و لیتوکلست ۲ درصد

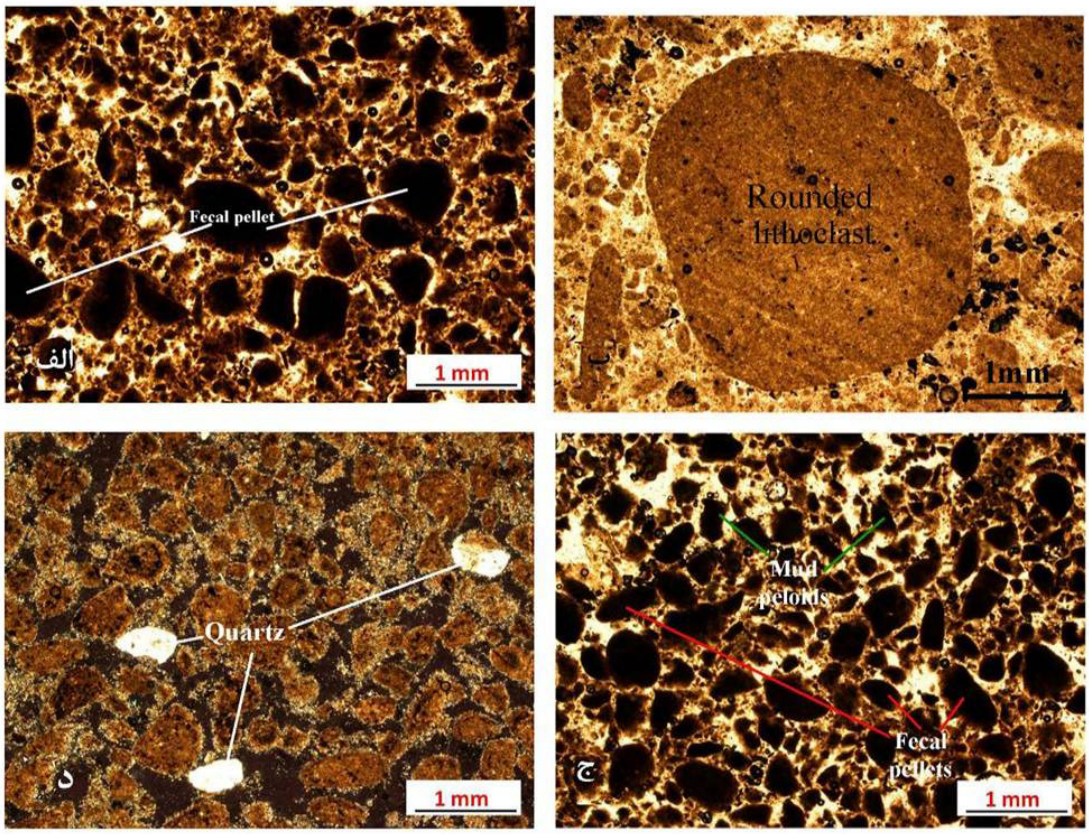
ستبرای واحد گلی پلاژیک-همی‌پلاژیک با افزایش ژرفای مغزه افزایش می‌یابد (شکل ۵). نهشته‌های دبریتی (رسوبات جریان خرده‌دار با ستبرای حدود ۳۰ سانتی‌متر) از رسوبات گل ماسه‌ای با جورشدگی بد (بیش از ۱۰ درصد دانه‌ها در اندازه ماسه) و یا از رسوبات گلی با کمی گراول بد جورشده (حدود ۱ درصد دانه‌ها در اندازه گراول) تشکیل شده است. دانه‌های در اندازه ماسه و گراول به طور عمده از لیتوکلست‌ها و بیوکلست‌ها تشکیل شده‌اند. دبریت‌های دیده شده دارای گل فراوان با قطعات پراکنده هستند که یک فابریک با گل فـراوان را ایجاد می‌کنند. این رسوبات به طور عمده از لیتوکلست‌ها (۵ تا ۱۵ درصد)، بیوکلست‌ها (۳۰ تا ۳۵ درصد)، پلوئید گلی (حدود ۲۰ درصد)، پلت مدفوعی (حدود ۲۰ درصد) و دانه‌های کوارتز (حدود ۱۰ تا ۱۴ درصد) تشکیل شده است. مغزه گرفته شده از حوضه درون‌شیبی (مغزه ۱۵) از نظر انواع رسوبات و اجزای رسوبی تشکیل‌دهنده شبیه به مغزه‌های گرفته شده از سایر نواحی شیب قاره است، در حالی‌که از نظر درصد اجزای تشکیل‌دهنده با یکدیگر کمی متفاوت هستند. میزان پلت‌های مدفوعی و قطعات بایوکلستی در حدود ۵ درصد نسبت به مغزه‌های سایر نواحی شیب قاره کاهش و به همین مقدار بر میزان پلوئیدهای گلی افزوده می‌شود. هم‌چنین میزان دانه‌های کوارتز و پلت‌های مدفوعی در رسوبات شیب قاره (میانگین دانه‌های کوارتز ۱۲ درصد و پلت مدفوعی ۲۰ درصد) نسبت به سکوی قاره (میانگین دانه‌های کوارتز ۲۱ درصد و پلت مدفوعی ۴۰ درصد) کاهـش یافته، در حالی‌که به مقدار پلوئیدهای گلی در رسوبات شیب قاره افزوده می‌شوند (جدول ۲).

رسوبات مغزه‌های دشت حوضه

انواع و اجزای سازنده رسوبات شناسایی شده در دشت حوضه شبیه به رسوبات شیب قاره است، درحالی‌که از نظر میزان اجزای سازنده با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند. بیش‌ترین اجزای رسوبات دشت حوضه شامل پلوئیدهای گلی (شکل ۶ ج)، دانه‌های کـوارتز (شکل ۶ د) و لیتوکلست‌های گردشده (۶ ب) هسـتند، در حالی‌که پلت‌های مدفوعی (شکل‌های ۶ الف و ج) و بیوکلست‌ها به مقدار کم‌تر نسبت به رسوبات شیب قاره مشـاهده شده‌اند. رسوبات نزدیک به منشا[1] دشت حوضه (مغزه‌های نزدیک به شیب قاره؛ مغزه‌های ۵، ۱۰ و ۱۱) به ۵ نوع گل، گل ماسه‌ای، گل با کمی گراول، سیلت و سیلت ماسه‌ای تقسیم می‌شوند. این رسوبات نشان‌دهنده تناوب رسوبات دبریتی (۱۰ تا ۱۲ سانتی‌متر ستبرا) و رسوب پلاژیک-همی‌پلاژیک (۵۰ تا ۵۳ سانتی‌متر ستبرا) هستند (شکل ۷). رسوبات پلاژیک-همی‌پلاژیک از دو نوع رسوب

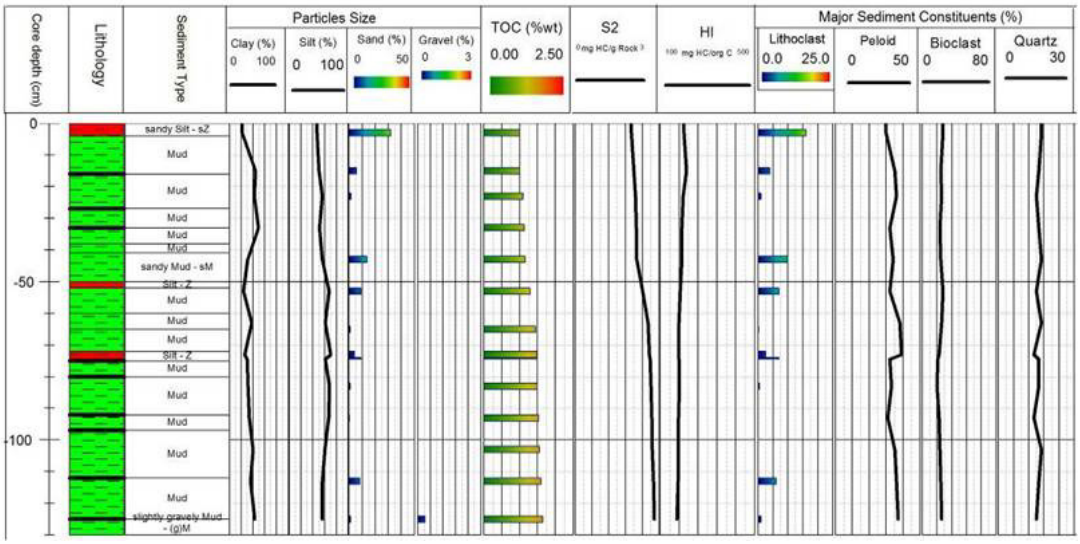
[1] Proximal deposits

گلی و سیلتی تشکیل شده است. رسوبات گلی (با ستبرای ۵۰ سانتی‌متر و متشکل از میان‌لایه‌های روشن و تیره) با کم‌تر از ۱۰ درصد دانه‌های پراکنده در اندازه ماسه (لیتوکلست و بیوکلست) به طور عمده از قطعات لیتوکلست (۰ تا ۵ درصد قطعات مشاهده شده در مورفوسکوپی)، قطعات بایوکلستی (حدود ۲۰ درصد)، پلت‌های مدفوعی (حدود ۱۳ درصد)، پلوئیدهای گلی (حدود ۳۰ درصد) و دانه‌های کوارتز (حدود ۲۰ درصد) تشکیل شده‌اند. واحد سیلتی (۲ تا ۳ سانتی‌متر ستبرا) با کم‌تر از ۵ درصد دانه‌های در اندازه ماسه (لیتوکلست و بیوکلست) به طور عمده از قطعات لیتوکلست (۲ تا ۳ درصد)، بیوکلست (حدود ۲۰ درصد)، پلت‌های مدفوعی (حدود ۱۲ درصد)، پلوئیدهای گلی (حدود ۳۶ درصد) و دانه‌های کوارتز (حدود ۱۸ درصد) تشکیل شده است. رسوبات جریان خرده‌دار (دبریت) از رسوبات گل ماسه‌ای (۱۵ درصد دانه‌ها در اندازه ماسه)، گل با کمی گراول (۱ درصد دانه‌ها در اندازه گراول) و سیلت ماسه‌ای (۳۰ درصد دانه‌ها در اندازه ماسه) تشکیل شده است. این رسوبات به طور عمده از لیتوکلست (۱۷ درصد در سیلت ماسه‌ای، ۱۰ درصد در گل ماسه‌ای و ۱ درصد در گل با کمی گراول)، بیوکلست (حدود ۲۰ درصد در انواع رسوبات)، پلت مدفوعی (حدود ۱۳ درصد در انواع رسوبات)، پلوئید گلی (حدود ۳۵ درصد در انواع رسوبات) و کوارتز (حدود ۱۵ درصد در انواع رسوبات) تشکیل شده‌اند. رسوبات دور از منشا[1] دشت حوضه (مغزه‌های ۲، ۳ و ۴) دارای تنوع رسوب کم‌تر و متشکل از رسوبات پلاژیک-همی‌پلاژیک (رسوبات گلی و سیلتی مشابه از نظر نوع و درصد اجزای سازنده با رسوبات نزدیک به منشا) هستند (جدول ۲).



شکل ۶. برش‌های نازک از اجزای سازنده رسوبات دشت حوضه در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی. الف- پلت‌های مدفوعی در ژرفای ۴ سانتی‌متری مغزه ۵ در بخش نزدیک به منشا دشت حوضه در منطقه خاوری منطقه مورد مطالعه. ب- لیتوکلست گردشده در ژرفای ۱۲۷ سانتی‌متری مغزه ۵. ج- پلوئیدهای گلی و پلت‌های مدفوعی در ژرفای ۹۵ سانتی‌متری مغزه ۳ در بخش دور از منشا دشت حوضه در منطقه میانی منطقه مورد مطالعه. د- بلورهای کوارتز در ژرفای ۵۷ سانتی‌متری مغزه ۱۱ در بخش نزدیک به منشا دشت حوضه در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه. شکل‌های الف و ب از رسوبات جریان خرده‌دار (دبریت) و شکل‌های ج و د از رسوبات پلاژیک و همی‌پلاژیک گرفته شده است.

[1]. Distal deposits



شکل ۷. تغییرات انواع رسوب، اندازه دانه‌های رسوبی، اجزای عمده تشکیل‌دهنده رسوبات و تغییرات مقادیر کربن آلی کل و S_2 (با مقیاس۰ تا ۳ mgHc/gRock) در مغزه ۵ با طول ۱۳۰ سانتی‌متر در بخش خاوری منطقه مورد مطالعه (بخش نزدیک به منشا دشت حوضه). این مغزه از ۵ نوع رسوب گل، سیلت ماسه‌ای، سیلت، گل ماسه‌ای و گل با کمی گراول تشکیل شده است. با افزایش ژرفای مغزه مقادیر کربن آلی کل و S_2 افزایش می‌یابد. لازم به یادآوری است که محل نمونه‌های انتخاب شده جهت مطالعات ژئوشیمی متناظر با مقادیر کربن آلی کل (TOC) است.

اکسیژن محلول زیرین و دمای آب در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی

تمرکز اکسیژن محلول و توزیع آن در محیط‌های آب‌زی به وسیله پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی مانند شوری، دما، pH و فرایندهای فتوسنتز و تنفس کنترل می‌شود (گوتیرز و همکاران، ۲۰۰۰). بر پایه اندازه‌گیری‌های انجام شده در این پژوهش توسط دستگاه CTD، میانگین مقدار اکسیژن محلول زیرین (۵۰ سانتی‌متری نزدیک بستر) ۷/۵ ml/l در سکوی قاره (شرایط اکسیدان[1])، ۶/۵ ml/l در شیب قاره (شرایط اکسیدان)، ۲/۳ ml/l در حوضه درون‌شیبی (شرایط کم اکسیژن[2]) و ۱/۸ ml/l در دشت حوضه (شرایط کم اکسیژن) است (جدول ۳). هم‌چنین دمای آب سطحی اندازه‌گیری شده در حوضه خزر جنوبی بین ۱۰ تا ۱۱ درجه سانتی‌گراد است. نیمرخ قائم دمای آب و میزان اکسیژن محلول در بخش مرکزی متطقه مورد بررسی (مغزه۳؛ محیط رسوبی دشت حوضه) نشان‌دهنده کاهش دمای آب از ۱۱ تا ۶ درجه سانتی‌گراد و کاهش میزان اکسیژن محلول از ۷/۹ تا ۱/۸ میلی‌لیتر/لیتر از لایه سطحی آب تا ژرفای آب بیش از ۸۰۰ متری می‌باشد (شکل ۸).

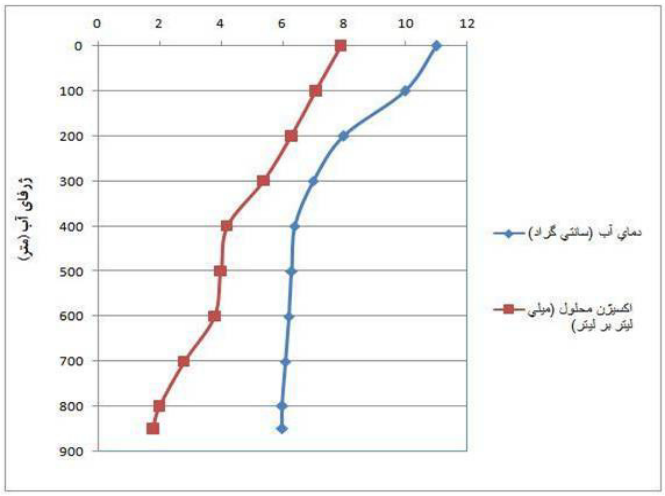
ژئوشیمی آلی

آنالیز ژئوشیمی آلی (پیرولیز راک-اول) بر روی نمونه‌های انتخاب شده (۱۲۰ نمونه) انجام شده است. مقادیر کربن آلی کل (درصد وزنی) در رسوبات سکوی قاره‌ای، شیب قاره، حوضه درون‌شیبی و دشت حوضه به ترتیب 0.3-0.65، 0.48-1، 1.05-1.35، 2.3 -1، مقادیر S_2 (mgHc/gRock) در رسوبات سکوی قاره‌ای، شیب قاره، حوضه درون‌شیبی و دشت حوضه به ترتیب 0.58-1.35، 0.65-2، 2-3.2، 1.80-4.1 و مقادیر شاخص هیدروژن (mg Hc/org C) به ترتیب 193-207، 135-200 و 190-237 بدست آمده است. با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی انجام گرفته، به نظر می‌رسد که بیشینه میزان کربن آلی کل (TOC= 2.3%wt) و بیشینه میزان S_2 (4.1 mg Hc/g Rock) متعلق به رسوبات دشت حوضه در بخش ژرف (ژرفای آب بیش از ۷۰۰ متر) حوضه خزر جنوبی می‌باشد. لازم به یادآوری است که مقادیر کربن آلی کل و S_2 در حوضه خزر جنوبی با ازدیاد ژرفای آب و طول مغزه از سکوی قاره به دشت حوضه افزایش می‌یابد (شکل‌های ۴، ۵ و ۷).

بر پایه نمودارهای شناسایی انواع مواد آلی (شکل‌های ۹ الف تا د)، مواد آلی مخلوط نوع II-III و نوع III (منشا قاره‌ای) در رسوبات سکو (۲۵ درصد نوع III و۷۵ درصد

[1] Oxic condition
[2] Dysoxic condition

مخلوط نوع II-III) و شیب قاره (۳۵ درصد نوع III و ۶۵ درصد مخلوط نوع II-III) فراوان‌تر، درحالی‌که نوع II (منشا دریایی) در رسوبات دشت حوضه (۸ درصد نوع III و ۹۲ درصد نوع II) و حوضه‌های درون‌شیبی (۱۰۰ درصد نوع II) فراوان‌تر هستند.



شکل ۸. نیمرخ قائم دمای آب (درجه سانتی‌گراد) و میزان اکسیژن محلول (میلی‌لیتر/لیتر) در فصل زمستان در محل مغزه ۳ (بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه؛ محیط رسوبی دشت حوضه) از ژرفای ۰ تا ۸۵۰ متری آب

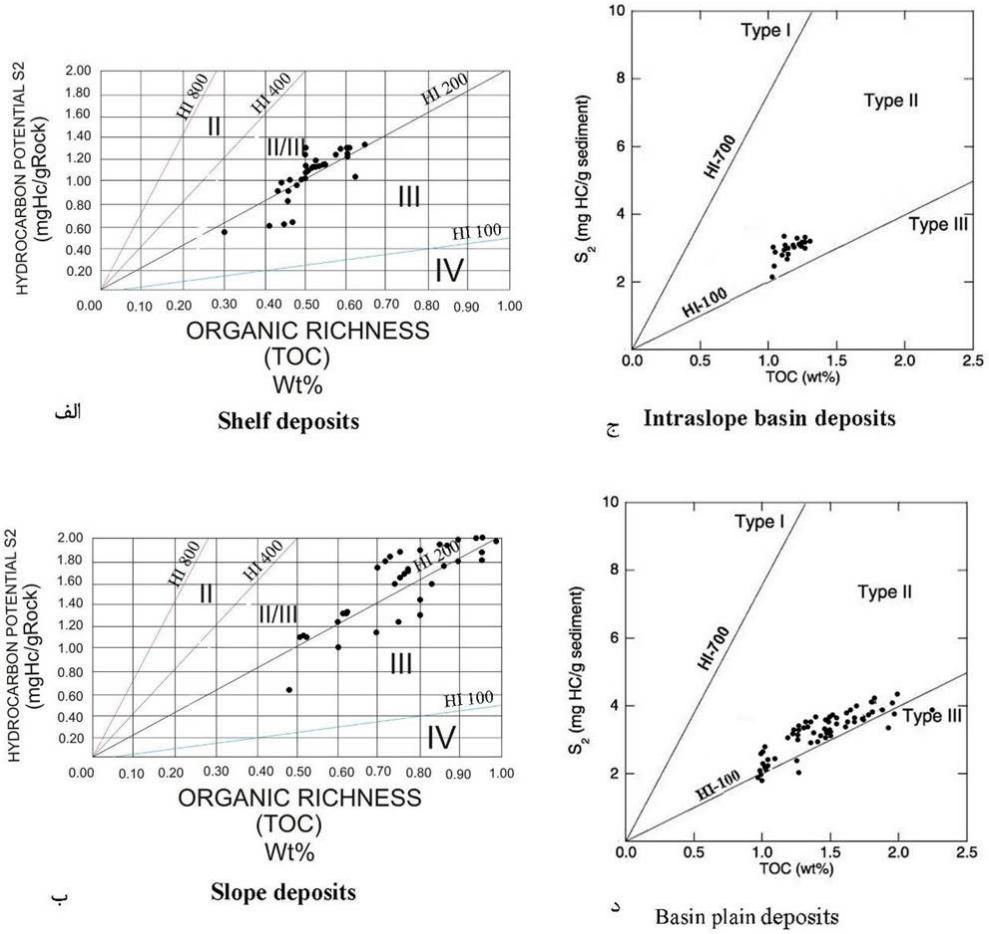
جدول ۳. محیط‌های رسوبی، مقدار میانگین فلزات کمیاب، میانگین کربن آلی کل و میزان اکسیژن محلول زیرین در منطقه مورد بررسی. از سکوی قاره به دشت حوضه مقدار فلزات کمیاب و کربن آلی کل افزایش و اکسیژن محلول زیرین کاهش می‌یابند. لازم به یادآوری است که میانگین کربن آلی کل و فلزات کمیاب از نتایج بدست آمده از تمام طول مغزه‌های گرفته شده از منطقه مورد بررسی محاسبه شده است.

محیط رسوبی	میانگین فلزات کمیاب حساس به شرایط اکسیداسیون-احیا(ppm)					میانگین کربن آلی کل (درصد وزنی)	میانگین اکسیژن محلول زیرین (میلی‌لیتر/لیتر)
	Ni	Cr	Zn	V	Cu		
سکوی قاره	۴۹	۹۳	۸۰	۱۰۲	۳۶	۰/۵۵	۷/۵
شیب قاره	۴۹	۱۰۱	۸۹	۱۲۱	۴۵	۰/۷۵	۶/۵
حوضه درون‌شیبی	۵۰	۱۱۰	۹۵	۲۴۲	۵۰	۱/۲۵	۲/۳
دشت حوضه	۵۲	۱۲۲	۱۱۹	۲۹۲	۵۶	۱/۷۰	۱/۸

ژئوشیمی غیر آلی

نشان‌گرهای ژئوشیمی غیر آلی به عنوان شاخص‌های تعیین‌کننده شرایط اکسیداسیون-احیا در طی رسوب‌گذاری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (جونز و مانینگ، ۱۹۹۴؛ حسینی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۲). دما، میزان اکسیژن محلول و مواد معلق و محلول شاخص‌هایی هستند که می‌توانند بر پراکندگی عناصر کمیاب در آب و رسوبات در محیط‌های دریایی-دریاچه‌ای موثر باشند (چستر و جیکلس، ۲۰۱۲). آنالیز ژئوشیمی غیر آلی با استفاده از روش پلاسمای جفت-القایی بر روی ۱۲۰ نمونه انتخاب شده (مشابه نمونه‌های ژئوشیمی آلی) صورت پذیرفته است. مقادیر برخی از فلزات کمیاب حساس به شرایط اکسیداسیون-احیا (مانند نیکل، کروم، روی، وانادیم و مس) در مغزه‌ها مورد سنجش قرار گرفتند (جدول ۳). میزان این فلزات کمیاب با افزایش مقدار کربن آلی کل در نمونه‌ها افزایش می‌یابد. در حالی‌که، مقدار اکسیژن محلول زیرین ارتباط منفی با مقدار کربن آلی کل و این فلزات نشان می‌دهد. بیشینه مقدار این فلزات کمیاب (نیکل-۵۹ppm، کروم-۱۳۵ppm، روی-۱۲۹ppm، وانادیم-۳۴۰ppm و مس-۶۹ppm) از رسوبات دشت حوضه ثبت شده است، در حالی‌که کمینه این فلزات (نیکل-۴۳ppm، کروم-۹۰ppm، روی-۷۵ppm، وانادیم-۹۴ppm و مس-۳۲ppm) از رسوبات سکوی قاره‌ای ثبت شده است (جدول ۳). هم‌چنین در این پژوهش از دو نسبت V/Cr و Ni/V که توسط جونز و مانینگ (۱۹۹۴) برای شناسایی شرایط اکسیداسیون-

احیای حوضه رسوبی معرفی گردیده، استفاده شده است. مقادیر میانگین نسبت Ni/V برای رسوبات سکوی قاره ۰/۴۸، شیب قاره ۰/۴، حوضه درون‌شیبی ۰/۱۹ و دشت حوضه ۰/۱۷می‌باشد. هم‌چنین مقادیر میانگین نسبت V/Cr برای رسوبات سکوی قاره۱/۱، شیب قاره۱/۲، حوضه درون‌شیبی ۲/۲ و دشت حوضه۲/۴ است.



شکل ۹. ارتباط بین کربن آلی کل و S_2 برای رسوبات مغزه‌های گرفته شده در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی. الف- سکوی قاره. ب- شیب قاره. ج- حوضه درون‌شیبی. د- دشت حوضه. نمودارهای الف و ب بوسیله (گودارد و همکاران، ۱۹۹۷) و نمودارهای ج و د بوسیله (لانگ‌فورد و بلنک-والرون، ۱۹۹۰) تعریف شده است. مقادیر کربن آلی کل در رسوبات سکو و شیب قاره کم‌تر از ۱ درصد وزنی و در رسوبات حوضه درون‌شیبی و دشت حوضه بیش از ۱ درصد وزنی است. مواد آلی در سکو و شیب قاره عمدتا انواع III و مخلوط II/III و در حوضه درون‌شیبی و دشت حوضه نوع II و به مقدار بسیار کم‌تر نوع III می‌باشند.

بحث

نرخ حفظ‌شدگی کربن آلی در محیط‌های آبی بوسیله چندین پارامتر مانند میزان اکسیژن محلول در آب، گستردگی زیست‌آشفتگی، نوع مواد آلی، نرخ رسوبگذاری، جریان‌های دریایی و میزان مواد مغذی کنترل می‌شوند (بوهاکس و همکاران، ۲۰۰۰؛ کاتز، ۲۰۰۵؛ هریس، ۲۰۰۵؛ بهبهانی و همکاران، ۲۰۱۵). در این پژوهش به بررسی مقدار اکسیژن محلول، نشان‌گرهای رسوب‌شناختی (میزان فونای کفزی (میزان زیست‌آشفتگی) و میزان پلت‌های مدفوعی) و نشان‌گرهای ژئوشیمیایی آلی و غیرآلی (میزان کربن آلی کل، نوع مواد آلی و میزان فلزات کمیاب حساس به شرایط اکسیداسیون-احیا) با توجه به مغزه‌های گرفته شده در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی تمرکز شده است. نتایج بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش نشان می‌دهد که در رسوبات مغزه‌های دشت حوضه و حوضه‌های درون‌شیبی، میزان کربن آلی کل، مواد آلی نوع II، میزان فلزات کمیاب حساس به شرایط اکسیداسیون-احیا افزایش و میزان اکسیژن محلول زیرین و موجودات آشفته‌کننده (موجودات کفزی ساکن در بین رسوبات[1]) کاهش نشان می‌دهند. در حالی‌که در رسوبات مغزه‌های

[1] Infauna benthic organisms

سکوی قاره و شیب قاره، میزان اکسیژن محلول زیرین، مواد آلی نوع III و موجودات آشفته‌کننده افزایش و میزان کربن آلی کل و میـزان فلزات کـمیاب کاهش نشـان مـی‌دهند. هم‌چنین سرعت جریان عمومی آب در حوضه خزر جنوبی از نواحی کم‌ژرفا (۰/۱ متر بر ثانیه) تا مناطق ژرف‌تر (۰/۰۵ متر بر ثانیه) کاهش می‌یابد (توزهیلکین و کوسارف، ۲۰۰۵). بنابراین کاهش سرعت جریان آب به سوی مناطق ژرف‌تر نیز می‌تواند کمک به ایجاد شرایط نسبتا راکد، تهویه ناچیز آب‌های بستر حوضه، ایجاد شرایط کم اکسیژن و حفظ و تجمع مواد آلی در مناطق ژرف دشت حوضه گردد.

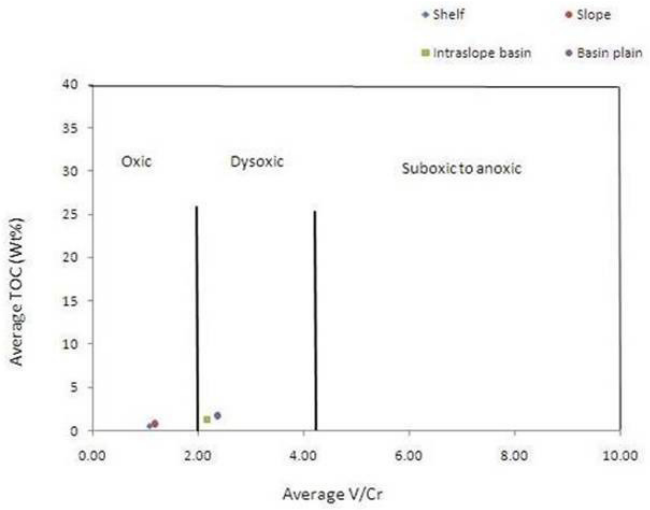
نشان‌گرهای ژئوشیمیایی

پیرولیز راک-اول رسوبات مغزه‌های مورد مطالعه نشان دهنده میزان کم مواد آلی (TOC کم‌تر از ۱ درصد وزنی) در رسوبات سکو و شیب قاره‌ای است، درحالی‌که در رسوبات دشت حوضه و حوضه‌های درون‌شیبی مقدار کربن آلی کل افزایش می‌یابد (بین ۱ تا ۲/۳ درصد وزنی). مقادیر بدست آمده کربن آلی کل در این پژوهش با نتایج بدست آمده از رسوبات سطحی بستر حوضه خزر جنوبی (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۵) شباهت بسیاری دارد. هم‌چنین زون کمینه اکسیژن (میانگین مقدار اکـسیژن محلول کم‌تر از ml/l ۲/۵) در حوضـه‌های درون‌شیبی و دشت حوضه قرار گرفته است. درحالی‌که مقدار اکسیژن محلول در سـکو و شـیب قاره افزایـش می‌یابد (میانگین مقدار آن بین ۵ تا ml/l ۷/۵). بنابراین سطح اکسیژن پایین احتمالا یکی از دلایل نرخ بالاتر حفظ مواد آلی (کربن آلی کل بیش از ۱ درصد وزنی) در حوضه‌های درون‌شیبی و دشت حوضه است. کاهش اکسیژن محلول زیرین در محیط‌های کم اکسیژن بوسیله چرخش قائم محدود ستون آب (دی‌میسون و مور،۱۹۸۰) یا مصرف زیاد اکسیژن جهت تجزیه مواد آلی تولید شده در زون نورگیر (استین، ۱۹۹۱؛ پالمیر و رویز-پاین، ۲۰۰۹)کنترل می‌گردد.

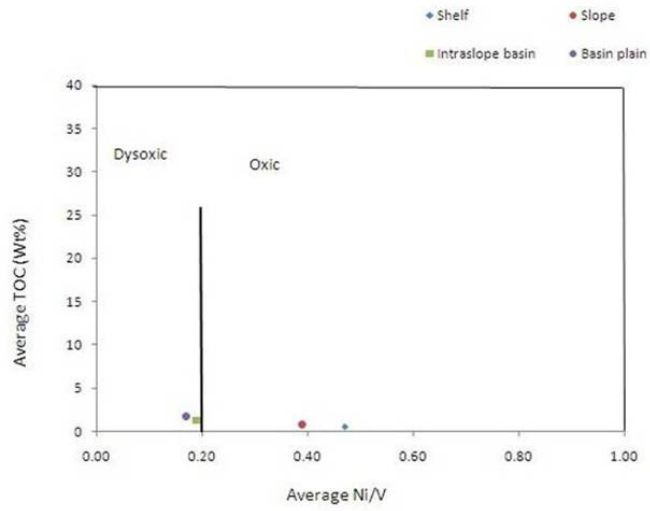
فراوانی مواد آلی نوع III و مخلوط II/III در رسوبات اکسیدان سکو و شیب قاره نشان‌دهنده ورود مواد آلی آواری (خشکی‌زی) به بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی است. هـم‌چنـین احتمال اکسـیداسـیون پـس از رسوب‌گذاری[2] مواد آلی (تبدیل مواد آلی نوع II به نوع III) را می‌توان برای این منطقه در نظر گرفت. افزایش مواد آلی نوع II در رسوبات کم اکسیژن دشت حوضه و حوضه درون‌شیبی احتمالا به دلیل دور شدن از منشا مواد آلی خشکی‌زی (قاره‌ای، ماده آلی نوع III) می‌باشد.

تجمع فلزات کمیاب در رسوبات دریایی-دریاچه‌ای بوسیله فرایندهای ژئوشیمیایی و زیستی تحت کنترل قرار می‌گیرد (میدل‌بورگ و لوین، ۲۰۰۹). بیش‌تر فلزات کمیاب تمایل به انباشت در رسوبات سرشار از مواد آلی دارند. این امر احتمالا به دلیل ماهیت مستحکم پیوند فلزات مواد آلی و افزایش ظرفیت تبادل یونی رسوبات سرشار از مواد آلی نسبت به رسوبات فقیر از مواد آلی است (چستر و جیکلس، ۲۰۱۲). فلزات کمیاب حساس به شرایط اکسیداسیون-احیا به طور محسوسی در رسوبات سرشار از مواد آلی نهشته شده در شرایط کم اکسیژن و احیایی متمرکز می‌شوند، در حالی‌که در رسوبات اکسیدان فقیر از مواد آلی دارای زیست‌آشفتگی به شدت کاهش می‌یابند (مورس و همکاران، ۱۹۹۹؛ آلگئو و ماینارد، ۲۰۰۴). مقادیر بالاتر ثبت شده این فلزات در رسوبات دشت حوضه و حوضه درون‌شیبی (به عنوان مثال مقدار میانگین فلزهای نیکل و مس به ترتیب در دشت حـوضه ۵۲ ppm و ۵۶ ppm و در حـوضه درون‌شیبی هر دو ۵۰ ppm؛ جدول ۳) نشان‌دهنده سطح پایین اکسیژن محلول زیرین و به دنبال آن حفظ‌شدگی بیش‌تر مواد آلی نسبت به رسوبات اکسیدان دارای مقادیر کم‌تر این فلزات (مقدار میانگین فلزهای نیکل و مس به ترتیب در سکوی قاره ۴۹ ppm و ۳۶ ppm و در شیب قاره ۴۹ ppm و ۴۵ ppm) نهشته شده در سکو و شیب قاره در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی است. هم‌چنین، بر پایه مقادیر میانگین کربن آلی کل (جدول ۳) و مقادیر میانگین نسبت‌های Ni/V (کم‌تر از ۰/۲ برای دشت حوضه و حوضه درون‌شیبی و بیش از ۰/۲ برای سکو و شیب قاره) و V/Cr (کم‌تر از ۲ برای سکو و شیب قاره و بیش از ۲ برای دشت حوضه و حوضه درون‌شیبی) رسوبات سکو و شیب قاره در شرایط اکسیدان و رسوبات حوضه‌های درون‌شیبی و دشت حوضه در شرایط کم اکسیژن قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰).

[2] Post-depositional oxidation



الف



ب

شکل ۱۰. ارتباط بین مقادیر میانگین کربن آلی کل و مقادیر میانگین نسبت‌های V/Cr (الف) و Ni/V (ب) در تمام طول مغزه‌های گرفته شده. مرزهای V/Cr و Ni/V توسط (جونز و ماینینگ، ۱۹۹۴) تعریف شده است. رسوبات سکو و شیب قاره در شرایط اکسیدان و رسوبات حوضه درون‌شیبی و دشت حوضه در شرایط کم اکسیژن قرار گرفته‌اند.

در جدول ۴ میزان اکسیژن محلول زیرین، دمای آب سطحی و میزان فلزات نیکل و مس در رسوبات سطحی بستر در فصل زمستان در سه زیر حوضه خزر شمالی، میانی و جنوبی با نتایج حاصل از این پژوهش مقایسه شده‌اند. در موارد مقایسه شده، از خزر شمالی به سوی خزر جنوبی میزان اکسیژن محلول زیرین کاهش، دمای آب سطحی و میزان فلزات نیکل و مس افزایش می‌یابند.

نشانگرهای رسوب‌شناختی

مطالعات اولیه بر روی رسوبات اکسیدان-احیایی بر اساس تاثیرات کاهش اکسیژن محلول زیرین بر میزان جانوران کف‌زی متمرکز بوده است که منجر به شناسایی رخساره‌های زیستی هوازی، کم اکسیژن و بی‌هوازی شده است (آلگئو و مایnارد، ۲۰۰۴). رسوبات کم اکسیژن بوسیله کاهش مجموعه‌های اسکلتی یا آثار فسیلی که منعکس‌کننده میزان کاهش اکسیژن محلول زیرین و رسوبات بی‌هوازی بوسیله نبود موجودات کف‌زی شناخته می‌شوند (ویگنال، ۱۹۹۴؛ چستر و جیکلس، ۲۰۱۲). محیط‌های رسوبی شناسایی شده در حوضه خزر جنوبی شامل محیط‌های اکسیدان و کم اکسیژن است (شکل ۱۱). مواد آلی در رسوبات کم اکسیژن حوضه‌های درون‌شیبی و دشت حوضه (مناطق کمینه اکسیژن) فراوان‌تر است. تشکیل جریان‌های خرده‌دار و لغزش یافته سبب تدفین سریع‌تر و رسوب‌گذاری مجدد[1] در

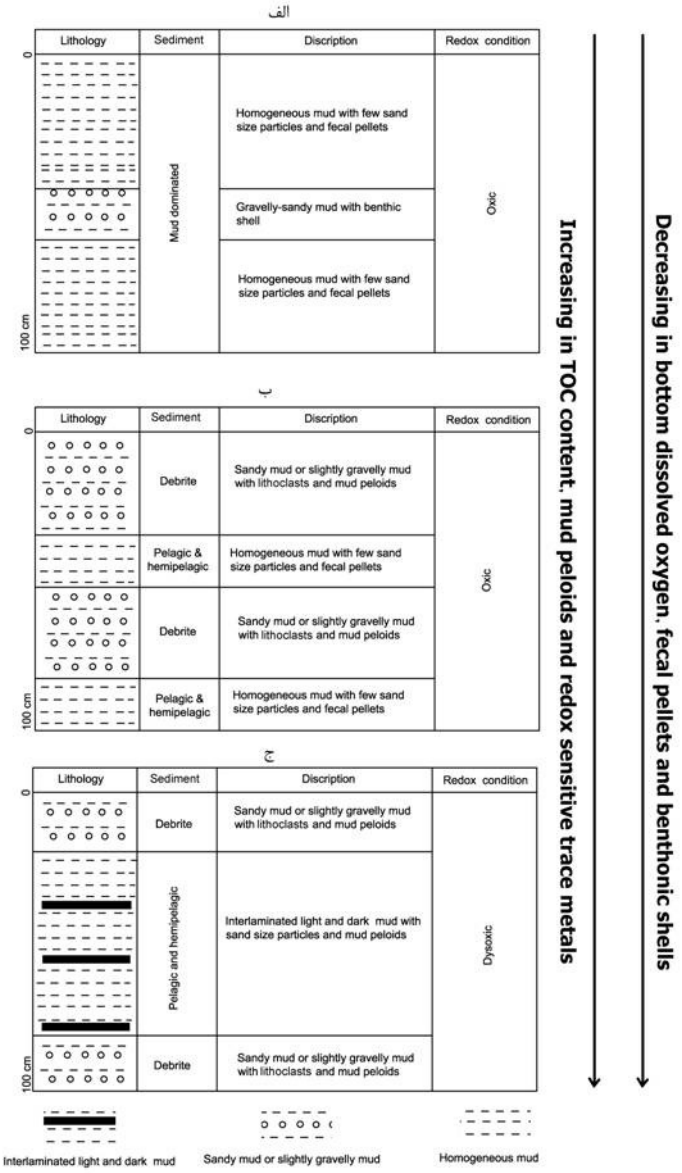
مناطق ژرف‌تر، کاهش زمان ماندگاری رسوبات در مناطق دارای اکسیژن محلول بیش‌تر (زون نورگیر و زون زیست‌آشفتگی در رسوبات سطحی) و حفظ‌شدگی بیش‌تر مواد آلی در حوضه‌های درون‌شیبی و دشت حوضه می‌گردد.

فرایند زیست‌آشفتگی[2] در رسوبات اکسیدان سکوی قاره‌ای و شیب قاره در منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است. موجودات کف‌زی ساکن در رسوبات (مانند استراکودا و گاستروپودا) مسئول زیست‌آشفتگی هستند. تاثیرات شرایط کم اکسیژن و اکسیدان بر موجودات کف‌زی توسط برخی از محققین (لوین و همکاران، ۱۹۹۱؛ دیاز و روسنبرگ، ۱۹۹۵) گزارش شده است. سطح اکسیژن پایین به طور قابل‌توجهی فراوانی موجودات کف‌زی را کاهش می‌دهد. کاهش موجودات کف‌زی سبب کاهش مصرف مواد آلی و در نتیجه افزایش مقدار آن در رسوبات می‌گردد. سطح بالای اکسیژن محلول زیرین و افزایش موجودات کف‌زی سبب زیست‌آشفتگی گسترده‌تر در رسوبات سکو و شیب قاره‌ای در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی شده است. وجود لامینه‌های ریز در رسوبات نهشته شده در زون کمینه اکسیژن نشان‌دهنده کاهش موجودات کف‌زی و زیست‌آشفتگی در این منطقه است. موجودات رسوب‌خوار ساکن در بین رسوبات عموما پلت‌های مدفوعی ایجاد می‌کنند (نیتروئر و استرن‌برگ، ۱۹۸۱). آن‌ها هم‌چنین رسوبات را همگن و ساختارهای رسوبی اولیه را از بین می‌برند (فلوگل، ۲۰۰۴). کاهش درصد پلت‌های مدفوعی در رسوبات دشت حوضه و حوضه درون‌شیبی (زون کمینه اکسیژن) نیز دلیل دیگری بر کاهش موجودات کف‌زی و زیست‌آشفتگی و به دنبال آن سبب افزایش میزان مواد آلی نسبت به رسوبات کم‌ژرفاتر سکو و شیب قاره‌ای است.

جدول ۴. مقایسه بین میزان اکسیژن محلول زیرین، دمای آب سطحی و میزان فلزات نیکل و مس در رسوبات سطحی بستر در سه زیرحوضه خزر شمالی، میانی و جنوبی و نتایج حاصل از این پژوهش. در خزر جنوبی، میزان اکسیژن محلول زیرین کاهش و میزان فلزات نیکل و مس افزایش می‌یابند.

این پژوهش	خزر جنوبی	خزر میانی	خزر شمالی	
۱/۷ تا ۱/۹ میلی‌لیتر/لیتر در ژرفای بیش از ۸۰۰ متری آب	۲/۵ تا ۳ میلی‌لیتر/لیتر در ژرفای ۶۰۰ متری آب (توزهیلکین و همکاران، ۲۰۰۵)	۵ تا ۵/۵ میلی‌لیتر/لیتر در ژرفای ۲۰۰ متری آب (توزهیلکین و همکاران، ۲۰۰۵)	۱۰ تا ۱۱ میلی‌لیتر/لیتردر ژرفای ۱۰ متری آب (توزهیلکین و همکاران، ۲۰۰۵)	**اکسیژن محلول زیرین (۵۰ سانتی‌متری تا ۱ متری نزدیک بستر) در فصل زمستان بر حسب میلی‌لیتر/لیتر**
۱۰ تا ۱۱	۱۰ (توزهیلکین و کوسارف، ۲۰۰۵)	۶ تا ۸ (توزهیلکین و کوسارف، ۲۰۰۵)	۰ تا ۲ (توزهیلکین و کوسارف، ۲۰۰۵)	**دمای آب سطحی در فصل زمستان بر حسب درجه سانتی‌گراد**
میانگین فلزات نیکل و مس به ترتیب در رسوبات سطحی ازسکوی قاره به دشت حوضه: ۴۷ تا ۵۶ ppm برای نیکل و ۳۹ تا ۶۰ ppm برای فلز مس	نیکل: ۴۳/۱ و مس: ۳۵/۷ در خلیج باکو (کورشنکو و گسیم-گل، ۲۰۰۵)		نیکل: ۲/۷۱ و مس: ۲/۸ در بخش دریایی دلتای ولگا (کورشنکو و گسیم-گل، ۲۰۰۵)	**میزان فلزات نیکل و مس در رسوبات سطحی بستر بر حسب میکروگرم/گرم**

[1] Resedimentation
[2] Bioturbation



شکل ۱۱. توالی قائم از رسوبات و شرایط اکسیداسیون-احیا در محیط‌های رسوبی گوناگون بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی. الف- بخش دور از ساحل سکوی قاره. ب- شیب قاره. ج- بخش نزدیک به منشا دشت حوضه. شرایط اکسیدان در سکو و شیب قاره و رسوبات کم اکسیژن در دشت حوضه تشکیل شده است. از سکوی قاره به دشت حوضه افزایش در مقادیر کربن آلی کل، فلزات کمیاب و پلوئیدهای گلی و کاهش در اکسیژن محلول زیرین، پلت‌های مدفوعی و موجودات کف‌زی مشاهده شده است.

نتیجه‌گیری

روش چند نشانگری برای تحلیل شرایط اکسیداسیون-احیای رسوبات (بر پایه محتوی زیستی، نوع مواد آلی، مقدار کربن آلی کل و مقدار فلزات کمیاب) مورد استفاده در این پژوهش نسبت به مطالعات تک نشانگری بر پایه مقدار فلزات کمیاب یا مقدار کرین آلی کل از درستی بیش‌تری برخوردار است.

در این پژوهش مجموعه‌ای از نشانگرهای ژئوشیمیایی، رسوب‌شناختی و دیرینه‌شناختی کمک مهمی را در شناخت شرایط اکسیداسون-احیا در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی کرده است. میزان اکسیژن محلول زیرین، میزان مواد آلی، نوع مواد آلی، میزان فلزات کمیاب حساس به شرایط اکسیداسیون-احیا و محتوی زیستی نقش مهمی را در شناسایی زون کمینه اکسیژن، میزان حفظ‌شدگی مواد آلی و پتانسیل زیست‌آشفتگی در منطقه مورد مطالعه ایفا می‌کند.

شرایط اکسیداسیون-احیا بر پایه پارامترهای گوناگونی شامل میزان مواد آلی (بیش از ۱ درصد وزنی (شرایط کم

اکسیژن) در مقابل کم‌تر از ۱ درصد وزنی (شرایط اکسیدان)، غلظت فلزات کمیاب، ایکنوفابریک (رسوبات دارای لامیناسیون در مقابل رسوبات آشفته‌شده) و میزان اکسیژن محلول (بیش از ۳ میلی‌لیتر/لیتر (شرایط اکسیدان) در مقابل کم‌تر از ۳ میلی‌لیتر/لیتر (شرایط کم اکسیژن)) شناسایی شده است.

زون احتمالی کمینه اکسیژن، در حوضه‌های درون‌شیبی و دشت حوضه (رسوبات کم اکسیژن) قرار گرفته است. این زون، سطح اکسیداسیون پایین و پتانسیل بالای حفظ‌شدگی کربن آلی را در رسوبات منعکس می‌کند. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که در رسوبات با شرایط کم اکسیژن (زون کمینه اکسیژن؛ رسوبات دشت حوضه و حوضه‌های درون‌شیبی) مواد آلی نوع II (منشا دریایی)، مقدار کربن آلی کل و مقدار فلزات کمیاب افزایش یافته، درحالی‌که محتوی کف‌زی (موجودات زیست‌آشفته‌کننده) و پلت‌های مدفوعی کاهش یافته است. هم‌چنین مواد آلی نوع III، موجودات زیست‌آشفته‌کننده و میزان اکسیژن محلول در رسوبات با شرایط اکسیدان (رسوبات سکو و شیب قاره) افزایش یافته است. این یافته‌ها، میزان حفظ‌شدگی بهتر مواد آلی در مناطق ژرف حوضه (دشت حوضه و حوضه‌های درون‌شیبی) را نشان می‌دهد. هم‌چنین در این پژوهش ورودی مواد آلی آواری (منشا قاره‌ای) و حفظ‌شدگی ضعیف آن‌ها در بخش‌های کم‌ژرفاتر (سکو و شیب قاره) حوضه شناسایی شد.

منابع

بهبهانی، ر.، کریم‌خانی، ا.، حسین‌یار، غ (۱۳۹۵) رسوب‌شناسی، محیط‌های رسوبی و ژئوشیمی آلی در بخش جنوبی حوضه خزر جنوبی، دو فصل‌نامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۷، ص۴۹-۶۵.

Abdullayev, N.A., Kadirov, F., Gulyev, I.S (2015) Subsidence history and basin-fill evolution in the South Caspian Basin from geophysical mapping, flexural backstripping, forward lithospheric modelling. In: Brunet, M. F., McCann,T., Sobel, E. R. (EDS.), Geological evolution of central Asia Basin and the Western Tien Shan Range. Geological Society, London, Special Publication 427, 1-22.

Algeo, T.J., and Maynard, B.J (2004) Trace-element behavior and redox facies in core shales of Upper Pennsylvanian Kansas-type cyclothems. Chemical Geology, v. 206, 289-318.

Al-Sharhan, A.S., Kendall, C.G. St. C (2003) Holocene coastal carbonates and evaporates of the southern Persian Gulf and their ancient analogues. Earth- Science Reviews, v. 61, 191-243.

Baudin, F., Disnar, J.R., Martine, P., Dennielou, B (2010) Distribution of the organic matter in the channel-Levees systems of the Congo mud-rich deep sea fan (West Africa): implication fordeep offshore petroleum source rocks and global carbon cycle. Marine and Petroleum Geology, v. 27, 995-1010.

Behbahani, R., Hosseinyar, G., Lak, R (2015) The controlling parameters on organic matter preservation within the bottom sediments of the northern part of the Persian Gulf. N. Jb. Geol. Palaont. Abh., v. 276, 267-283.

Bohacs, K.M., Carroll, A.R., Neal, J.E., Mankiewicz, P.J (2000) Lake basin type, source potential, and hydrocarbon character: an integrated sequence-stratigraphic-geochemical framework. In: Gierlowski-Kordesch, E.H., Kelts, K.R. (Eds.), Lake basins through space and time, Tulsa (AAPG), 3-34.

Brunet, M.F.; Korotaev, O.; Ershov, A.V.; Nikishin, A.M (2003) The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modeling. Sedimentary geology, v. 156, 119-148.

Calvert, S.E., Pedersen, T.F (1992) Organic carbon accumulation and preservation in marine sediments: how important is anoxia?. In: Whelan, J.K., Farrington, J.W. (Eds.), Organic matter productivity, accumulation, and preservation in recent and ancient sediments, New York (Columbia University Press), 231-263.

Chester, R., Jickells, T (2012) Marine geochemistry, 3rd edition. Chichester (Wiley-Blackwell), 409 p.

Delvin, W.J., Cogswell, J.M., Gaskins, G.M., Isaksen, G.H., Pitcher, D.M., Puls, D.P., Stanley, K.O., Wall, G.R.T (1999) South Caspian Basin; Young, cool, and full of promise. GSA Today, v.9, 1-9.

Demaison, G.J., Moore, G.T (1980) Anoxic environments and oil source bed genesis. AAPG Bulletin, v. 64, 1179-1209.

Diaz, R.J., Rosenberg, R (1995) Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. Oceano. Mari. Bio. Ann. Rev., v. 33, 245-303.

Eglinton, T.I., Repeta, D.J (2003) Organic matter in the contemporary ocean. In: Elderfield, H., Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), Treatise on geochemistry. Oxford (Elsevier-Pergamon), 145-180.

rich sediments: models, mechanisms, and consequences. Special Publication No. 82 SEPM, Tulsa, 7-16.

Kazanci, N., Gulbabazadeh, T (2013) Sefidrud delta and Quaternary evolution of the southern Caspian lowland,Iran. Marine Petroleum Geology, v. 44, 120-139.

Korshenko, A., Gasim Gul, A (2005) Pollution of the Caspian Sea. In: Hutzinger, O., (Eds.), the handbook of environmental chemistry, v.5, water pollution, part p, 109-142.

Langford, F.F. & Blanc-Valleron, M.M (1990) Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolizable hydrocarbons vs. total organic carbon. – American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 74, 799-804.

Leroy, S.A.G., Tudryn, A., Chalie, F., Merino, L.L., Gasse, F (2013) From the Allerd to the mid-Holocene: palynological evidence from the south basin of the Caspian Sea. Quaternary Science Reviews, v.78, 77-97.

Levin, L.A., Hugget, C., Wishner, K (1991) Control of deep sea benthic community structure by oxygen and organic matter gradients in the eastern Pacific Ocean. Journal of Marine Research, v. 49, 763-800.

Lewis, C.F.M., Mayer, L.A., Mukhopadhyay, P.K., Kruge, M.A., Coakley, J. P (2000) Multi beam sonar backscatter lineaments and anthropogenic organic components in lacustrine silty clay, evidence of shipping in western lake Ontario. International Journal of coal Geology, v. 43, 307-324.

Marchand, C., Lallier-Verges, E., Baltzer, F (2003) The composition of sedimentary organic matter in relation to the dynamic features of a mangrov Fringed coast in French Guiana. Estuarine, Coastal and shelf Science, v. 56, 119-130.

Meyers, P.A (2003) Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstruction: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. – Organic Geochemistry, v. 34: 261- 289.

Middleburg, J.J., Levin, L.A (2009) Coastal hypoxia and sediment biogeochemistry. Biogeosciencs, v. 6, 1273-1293.

Morse, J.W., Luther, G.W. I.I.I. (1999) Chemical influences on trace metal-sulfide interaction in anoxic sediments. Geochemica Cosmochemica Acta, v. 63, 3373-3378.

Nazari, H., Omrani, J., Shahidi, A., Salamati, R., Moosavi, A (2004) Geological map of Bandar-e-Anzali quandrangle. Geological Survey of Iran (GSI). Geological quadrangle map D3-5864, scale 1:100000 .

Nichols, G (2009) Sedimentology and stratigraphy, 2nd edition, Chichester, UK; Blackwell Science, 432 p.

Flugel, E (2004) Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin (Springer), 976 p.

Folk, R.L (1974) Petrology of sedimentary rocks. Texas (Hemphill publishing company) 182p.

Fraser, G. S (1989) Clastic depositional sequences-processes of evolution and principles of interpretation. Prentice Hall, New Jersey, 458 p.

Goddard, D.A., Mancini, E.A., Talukar, S.C. & Horn, M (1997) Bossier – Hanesvill shale, North Louisian Salt basin. – Lousiana State University, Baton Rouge, Louisiana, center for energy, PDF file, http:// www. Api. Ning. Com/ files, 46. Accessed 2 Jun 1997.

Gutierrez, D.,Gallardo, V. A., Mayor, S., Neira, C., Vasquez, C., Sellanes, J., Rivas, M., Soto, A., Carrasco, F., Baltzar, M (2000) Effects of dissolved oxygen and fresh organic matter on the bioturbation potential macrofauna in sublittoral sediments off Central Chile during the 1997/1998 El Nino. Marine Ecology Progress Series, v.202, 81-99.

Harris, N.B (2005) The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms and consequences- introduction. In: Harris, N.B. (Eds.), The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms, and consequences. SP. Pub. No. 82 SEPM, Tulsa, pp. 1-5.

Harris, N.B., Freeman, K.H., Pancost, R.D., Mitchell, G.D., White, T.S., Bate, R.H (2005) Patterns of organic carbon enrichment in a lacustrine source rock in relation to paleo-lake level, Congo Basin, West Africa. In: Harris, N.B. (Eds.), The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms, and consequences. SP. Pub. No. 82 SEPM, Tulsa, pp. 103-123.

Hosseininejad, S., Pedersen, P.K., Spencer, R.J., Nicolas, M.P. B (2012) Mineralogy, Geochemistry and facies description of a potential Cretaceous shale gas play in western Manitoba. In: report of activities 2012, Manitoba innovation, energy and mines, Manitoba Geological Survey, 151-159.

Jones, B., and Manning,, D.A.C (1994) Comparision of geochemical indicators used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. Chemical Geology, v. 111, 111-129.

Kalani, M., Khodabakhsh, S., Amirbehboodi, C (2008) Seismic expression and inferred depositional environments of Plio-Pleistocene sedimentary sequences in the southwestern Caspian Sea. Geo-marine Letter, v. 28, 31-41.

Katz, B.J (2005) Controlling factors on source rock development- Areview of productivity, preservation, and sedimentation rate. In: Harris, N.B. (Eds.), The deposition of organic carbon

Nittrouer, C.A., Sternberg, W (1981) The formation of sedimentary strata in an allochthonous shelf environment: the Washington continental shelf. Marine Geology, v. 42, 201-232.

Pailler, D., Bard, E., Rostek, F., Zheng, Y., Mortlock, R., Van Geen, A (2002) Burial of redox-sensitive metals and organic matter in the equatorial Indian Ocean linked to precession. Geochemica Cosmochemica Acta, v. 66, 849-865.

Paulmier, A., Ruiz-Pine, D (2009) Oxygen minimum zones (OMZs) in the modern ocean. Progressive Oceanography, v. 80, 113-128.

Piip, V.B., Rodnikov, A.G., Buvaev, N.A (2012) The deep structure of the lithosphere along the Caucasus-South Caspian Basin-Apsheron Threshold Middle-Caspian Basin-Turan plate seismic profile. Moscow University Geology Bulletin, v. 67, 125-132.

Pratima, M., Kessarkar, L., Purchandra, R (2007) Organic carbon in sediments of the southwestern margin of India: influence of productivity and Monsoon variability during the late Quaternary. Journal Geological Society of India, v. 69, 42-52.

Sanei, H., Goodarzi, F (2006) Relationship between organic matter and mercury in recent lake sediment. The physical- geochemical aspects, Applied Geochemistry, v. 21, 1900-1912.

Sifeddine, A., Gutierrez, L., Ortlieb, L., Boucher, H., Velazco, F., Field, D., Vargas, G., Boussafir, M (2008) Laminated sediments from the central Peruvian continental slope: A 500 year record of upwelling system produvtivity, terrestrial run off and redox conditions. Progress in Oceanography, v. 79, 190- 197.

Stein, R (1991) Accumulation of organic carbon in marine sediment. Berlin (Springer), 217 p.

Tuzhilkin, V.S., and Kosarev, A.N (2005) Thermohaline structure and general circulation of the Caspian Sea waters. In: Hutzinger, O., (Eds.), the handbook of environmental chemistry, v.5, water pollution, part p, 33-57.

Tuzhilkin, V.S., Katunin, D.N., Nalbandov, Y.R (2005) Natural chemistry of Caspian Sea waters. In: Hutzinger, O., (Eds.), the handbook of environmental chemistry, v.5, water pollution, part p, 83-108.

Wignall, P.B (1994) Black shales. Oxford, Clarendon Press, 127 p.