

# ژئوشیمی آلی رسوبات خورموسی و نواحی دریایی مجاور آن، شمال باختر خلیج فارس

رضا بهبانی<sup>۱</sup>، راضیه لک<sup>۲</sup>، نادر چنانی<sup>۳</sup> و غلامرضا حسین یار<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، اهواز، ایران

<sup>۴</sup> دانشجوی دکترا، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۲/۲۰

## چکیده

به منظور بررسی ژئوشیمی آلی رسوبات بستر در محدوده خور موسی و نواحی دریایی مجاور آن، ۶۱ نمونه رسوب سطحی برداشت شد. بر پایه تحلیل دانه‌بندی صورت گرفته از این رسوبات، ۴ نوع اصلی رسوب شامل: گل، گل ماسه‌ای، ماسه گلی و ماسه گلی با کمی گراول شناسایی شدند. رسوبات یادشده از ذرات آواری (کوارتز، فلدسپار، خرده سنگ، قطعات خرده سنگی کربناتی و کانی‌های رسی) و شیمیایی-بیوشیمیایی (پوسته دوکفه‌ای، گاستروپود، روزن‌بران، استراکود و بریوزوآ) تشکیل شده‌اند. بر پایه مطالعات ژئوشیمی آلی، مقدار کربن آلی کل از ۰/۱۱ تا ۰/۷۰ درصد وزنی متغیر است که در رسوبات گلی در بیشتر نمونه‌های مطالعه شده، افزایش می‌یابد. کروژن‌های مطالعه شده (بر پایه نمودار S<sub>v</sub>/TOC)، نشان‌دهنده فراوانی کروژن‌های نوع III (۳۳ درصد) و مخلوط III-II (۵۵ درصد) است. همچنین نمودار شاخص هیدروژن در برابر T<sub>max</sub>، نتایج یسکانی به دست می‌دهد. کروژن‌های مطالعه‌شده، نشان‌دهنده متأثر بودن بیشتر منطقه از ورود مواد آلی قاره‌ای (رودخانه‌ای، نوع III) نسبت به مواد آلی دریایی (نوع II) است.

**کلیدواژه‌ها:** ژئوشیمی آلی، خلیج فارس، خور موسی، کروژن، مواد آلی قاره‌ای، کربن آلی کل.

\*نویسنده مسئول: رضا بهبانی

E-mail: rezabehbahani30@yahoo.com

## ۱- پیش‌گفتار

خورموسی در پایانه شمال باختری حوضه رسوبی خلیج فارس، پهناترین و طولانی‌ترین پیشروی دریا به درون خشکی در همه محدوده سواحل کشور در حال حاضر به‌شمار می‌آید. مناطق شمال باختری خلیج فارس شامل مجموعه پیچیده‌ای از محیط‌های دریایی، حدواسط و گاه خشکی است که رسوب‌گذاری در آن متأثر از فرایندهای رودخانه‌ای، بادی، کنشیدی و زیست‌شناختی است (Kampf & Sadrinasab, 2006). خورموسی یکی از مهم‌ترین مناطق کنشیدی در همه محدوده خلیج فارس به‌شمار می‌رود. به گونه‌ای که بیشترین دامنه نوسان جزر و مد را در همه محدوده خلیج فارس دارد و ارتفاع جزر و مد در آن حتی به ۵ تا ۶ متر می‌رسد و فرایند اصلی کنترل‌کننده رسوب‌گذاری در آن است (Höpner, 1999; Heyvaert & Baeteman, 2007). به همین دلیل خورموسی اکوسیستم بی‌همتایی دارد که سبب ایجاد محیطی مناسب برای زندگی انواع جانداران دریایی وابسته به محیط‌های کنشیدی گشته است. در مناطق شمال باختری خلیج فارس، خورها و رودخانه‌های بسیاری هستند که رودخانه‌ها در انتقال رسوبات و مواد آلی خشکی‌های مجاور به دریا نقش بسیار مهمی دارند.

در این مطالعه سعی شده است که با بررسی متغیرهای پیرولیز راک-اول در رسوبات بستر خلیج فارس در ناحیه خورموسی و نواحی دریایی پیرامون آن به نوع کروژن‌های تشکیل شده و پراکندگی مواد آلی پرداخته شود. از آنجا که ویژگی‌های رسوب‌شناختی ذرات رسوبی بستر نقش مهمی در جذب و پراکنش ماده آلی دارند، به طور مختصر به بررسی وضعیت رسوب‌شناسی آنها نیز پرداخته شده است. گفتنی است که استفاده از روش پیرولیز راک-اول برای بررسی ژئوشیمی آلی رسوبات دریایی (نهشته‌های بدون رسیدگی حرارتی و تدفین لازم) توسط برخی از پژوهشگران گزارش شده است (Paropkari et al., 1993; Tyson, 1995; Waseda et al., 1995; Meyers, 1997; Meyers & Verges, 1999; Wagner & Dupont, 1999; Lewis et al., 2000; Al-Sharhan & Kendall, 2003; Marchand et al., 2003; Sanei & Goodarzi, 2006; Pratima et al., 2007; Sifeddine et al., 2008; Baudin et al., 2010).

## ۲- موقعیت جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه در شمال باختری خلیج فارس و کناره جنوبی استان خوزستان حد فاصل دلتای اروندرود در باختر، رودخانه زهره در خاور و بندر امام خمینی و خورموسی در شمال قرار گرفته است. این ناحیه در میان عرض‌های جغرافیایی ۲۹° ۴۲' تا ۳۰° ۳۰' ۳۶' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۸° ۳۳' تا ۴۹° ۳۳' خاوری قرار دارد و مساحت آن در حدود ۳۵۰۰ کیلومتر مربع است. دسترسی به این منطقه از راه‌های زمینی استان خوزستان و راه‌های آبی شمال خلیج فارس امکان‌پذیر است (شکل ۱). نمونه‌برداری برای انجام این پروژه طی گشت دریایی سال ۱۳۸۷ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت گرفته است.

## ۳- عناصر اقلیمی

با توجه به قرار داشتن خلیج فارس در کمربند نیمه‌گرمسیری فشار بالا، آب‌وهوای حاکم بر این ناحیه از نوع شرایط آب‌وهوای بیابانی و نیمه‌بیابانی است که با خشکی بالا و گرمای زیاد تابستان مشخص می‌شود (Barth & YarKhan, 2008). خورموسی نیز از این قاعده مستثنی نیست و به شدت تحت تأثیر آب‌وهوای مناطق مجاور خلیج فارس است که بررسی داده‌های آب‌وهوایی ایستگاه‌های آبادان و بندر ماهشهر گویای این حقیقت است (چنانی و لک، ۱۳۸۸). با در نظر گرفتن این موضوع، نرخ سالانه تبخیر در خلیج فارس در حدود ۱/۵ متر از واحد سطح گزارش شده است (Brewer & Dyrssen, 1985; Ahmad & Sultan, 1991) که در مقایسه با میزان بارندگی و همچنین آب ورودی از رودخانه‌ها در حدود ۰/۱۵ متر در سال بیشتر است (Johns et al., 2003). به همین دلیل و با توجه به ارتباط به نسبت محدود آب این دریا با دریای عمان، آب خلیج فارس شورتر از آب دریای عمان و اقیانوس هند است (Hunter, 1982; Meshal & Hassan, 1986; Reynolds, 2002; Swift & Bower, 2003). شوری بیشتر آب خلیج فارس نسبت به اقیانوس هند، موجب پیدایش جریان آبی پاد ساعتگرد از اقیانوس هند به خلیج فارس می‌شود (Hunter, 1982; Johns et al., 2003) ولی از آنجا که بخش‌های شمال باختری خلیج فارس به علت وجود دلتای اروندرود و دیگر رودخانه‌های ایرانی و همچنین با توجه به

(اوسن میانی - پسین) تشکیل شده است. تشکیل رشته کوه‌های زاگرس کمی بعد است و به نئوژن و پلیستوسن برمی‌گردد (Konyukhov & Maleki, 2006). در گذشته تشکیل خورموسی را به یک فرونشست محلی نسبت می‌دادند (Lees & Falcon, 1952) و تشکیل آن را بسیار جوان در نظر می‌گرفتند، ولی امروزه تشکیل این ناحیه را به تغییرات سطح آب دریا در کوتاه‌تر نسبت می‌دهند (Heyvaert & Baeteman, 2007). به دلیل حضور پوشش‌های آبرفتی جوان کوتاه‌تر، دانسته‌های زمین‌شناختی در ارتباط با این ناحیه بسیار کم و محدود به نتایج حاصل از حفاری‌های نفتی و مطالعات ژئوفیزیکی مناطق کناری آن است.

#### ۶- مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۶۱ نمونه سطحی (ژرفای نمونه برداری ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متر) از بستر خلیج فارس برای مطالعات رسوب‌شناسی (بررسی اندازه ذرات، ترکیب کانی‌شناسی، کلسی‌متری و شناسایی اجزای سازنده) و ژئوشیمی آلی (۲۴ نمونه از مجموع نمونه‌های برداشت‌شده) با فواصل ۸ کیلومتری در نیم‌رخ‌های عمود بر ساحل در محدوده‌ای با گسترش ۳۵۰۰ کیلومتر مربع توسط نمونه‌گیر فکی برداشت شد. گفتنی است که به منظور گردآوری نمونه‌های کمتر هوازده، نمونه‌ها پس از برداشت به سرعت در کیسه‌های دو جداره به آزمایشگاه منتقل شده است. همچنین به منظور انجام مطالعات رسوب‌شناسی، نمونه‌های برداشت‌شده توسط دستگاه الک و شیکر مرطوب (برای ذرات بالای ۶۳ میکرون) مورد تجزیه قرار گرفته‌اند. دانه‌بندی ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون توسط دستگاه دانه‌سنج لیزری (Laser Particle sizer) مدل (Analysette 21) ساخت شرکت فریتش (Fritsch) آلمان و در آزمایشگاه رسوب‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی انجام شد. برای نام‌گذاری رسوبات از نمودار Folk (1974) استفاده شده است. به منظور تکمیل مطالعات، در محدوده اندازه‌های ۲ میلی‌متر تا ۱۲۵ میکرون توسط میکروسکوپ الیمپوس (Olympus-SZX-16) بررسی‌های مورفوسکوپی و مورفومتری انجام پذیرفته است. کلسی‌متری رسوبات توسط دستگاه کلسی‌متر اتوماتیک (Auto Calcimeter) و سنجش میزان پراش پرتو ایکس (XRD) برای شناسایی ترکیب کانی‌شناسی ذرات رسوبی به‌ویژه کانی‌های رسی در آزمایشگاه رسوب‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی انجام شده است. مطالعات ژئوشیمی آلی شامل تعیین درصد کربن آلی کل (TOC) و متغیرهای شاخص هیدروژن (HI)، شاخص تولید (PI)،  $S_1$ ،  $S_2$  و  $T_{max}$  است که توسط دستگاه راک - اول تیپ II (Rock-Eval II+ TOC Moduel) موجود در پژوهشگاه صنعت نفت انجام شده است. برای تعیین نوع کروژن نمونه‌های مطالعه شده از نمودارهای  $S_2/T_{max}$  (Goddard et al., 1997) و  $HI/T_{max}$  استفاده شده است.

#### ۷- بررسی اندازه ذرات، ترکیب کانی‌شناسی و شناسایی اجزای سازنده

خلیج فارس نمونه‌ای از دریا‌های حاشیه قاره‌ای عهد حاضر است که رسوبات کربناتی به مقدار زیادی در سواحل جنوبی آن ته‌نشست می‌شود (Heyvaert & Baeteman, 2007). از سوی دیگر در مناطق شمالی آن وجود دلتای بزرگ اروندرود، وزش بادهای شدید و همچنین تأثیر فراوان این ناحیه از خشکی‌های مجاور سبب شده است که میزان کانی‌های کربناتی در این بخش نسبت به بخش جنوبی آن کمتر باشد (Heyvaert & Baeteman, 2007; Ghazban, 2009). اگرچه تأثیر عوامل دیگر همچون جزر و مد و همچنین رسوب‌گذاری مستقیم اجزای شیمیایی و بیوشیمیایی در تشکیل رسوبات بسستر این ناحیه نباید نادیده گرفت (چنانسی و لک، ۱۳۸۸). به‌طور کلی از آنجا که رسوب‌گذاری در محدوده مورد مطالعه حاصل برهم کنش فرایندهای حمل و نقل مواد و رسوب‌گذاری ذرات بیرون از حوضه و درون حوضه است، اجزای در دسته آواری و شیمیایی - بیوشیمیایی تقسیم شده‌اند. ذرات آواری در مناطق شمالی خلیج فارس بیشتر شامل کوارتز، قطعات خرده‌سنگی کربناتی، فلدسپار،

عدم تأثیرپذیری از اقیانوس شوری کمتری دارند، چرخش آب در این ناحیه بیشتر در نتیجه وزش باد ایجاد می‌شود (Johns et al., 2003; Swift & Bower, 2003). همچنین از منابع کم‌اهمیت‌تر جریان در این نواحی جریان ناشی از آب‌های سطحی رودخانه اروندرود است.

وجود چنین شرایط خاصی سبب شده است که خلیج فارس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بی‌همتایی داشته و تنها برای زیست برخی از موجودات زنده مساعد باشد. این شرایط همچنین سبب شده است که ویژگی‌های رسوب‌شناختی این ناحیه نیز در نوع خود بی‌همتا باشد که اهمیت مطالعه در این ناحیه را آشکار می‌سازد.

#### ۴- مواد مغذی در منطقه مورد مطالعه

توان تولید مواد مغذی دریایی محدوده خلیج فارس، به‌جز دهانه رودخانه‌ها، بیشتر با پهنه‌های گلی‌کشنندی در ارتباط است و از آنجا که خورموسی یکی از مهم‌ترین مناطق میان‌کشنندی در خلیج فارس است، می‌تواند در بررسی رسوب‌شناسی این منطقه بسیار مهم باشد (Höpner, 1999).

مقایسه محیط شیمیایی آب خلیج فارس با دیگر دریاها نشان‌دهنده مقادیر کمتر مواد مغذی در ستون آب خلیج فارس است. با این وجود توان تولید مواد مغذی ستون آبی این دریا از دریای سرخ بیشتر ولی از دریای عرب کمتر است (Sheppard et al., 1992). شواهد موجود نشان می‌دهد که خلیج فارس دچار فقر مواد مغذی (به‌ویژه فقر ازت) است که نشانه آشکار آن افزایش انبوه تولید در پیرامون دهانه رودخانه‌ها و خروجی پساب‌هاست (فاطمی و عبایی، ۱۳۸۲؛ Sheppard et al., 1992). از سوی دیگر با کاهش میزان اکسیژن در خلال فصل تابستان که حرارت به بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، ظرفیت نگهداری مقادیر بالای مواد مغذی کاهش می‌یابد (فاطمی و عبایی، ۱۳۸۲). در ضمن به دلیل الگوی چرخش آب دریا در نواحی ژرف، آب این نواحی اکسیژن بیشتری دارد و محتوای مواد مغذی آب دریا در این نواحی کم است و به‌جز ناحیه آمیختگی آب دریا که در تنگه هرمز دیده می‌شود، فراوانی مواد مغذی در آب دریا دیده نمی‌شود (فاطمی و عبایی، ۱۳۸۲). گفتنی است که با افزایش فاصله از تنگه هرمز افزون بر افزایش شوری، میزان مواد مغذی نیز کاهش می‌یابد (Barth & Yar Khan, 2008). مواد مغذی در آب‌های خلیج فارس بیشتر به‌وسیله انتقال جریان آب دریای عمان و رودخانه‌های ورودی از سواحل ایرانی (به‌ویژه در بخش شمالی خلیج فارس) که در آنها تولید مواد مغذی بالاتر است، وارد می‌شود (Ghazban, 2009). به‌طور کلی بخش‌های شمال باختر خلیج فارس (مناطق دریایی مورد مطالعه) الیگوتروپیک (آب‌های فقیر از مواد مغذی با تولید اولیه پایین) است. در حالی که مناطق خاوری آن، به‌نسبت تولید اولیه بیشتری دارند (Ghazban, 2009). همچنین اروندرود غنی از اکسیژن محلول، مواد مغذی، اجزای آلی، فسفات و ذرات معلق است (Al-Yamani, 2008).

#### ۵- موقعیت زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه مورد مطالعه

موقعیت زمین‌شناسی خلیج فارس به‌طور خلاصه نتیجه تجمع پیوسته رسوبات از زمان پالئوزویک به بعد است (Stampfli et al., 1991). از سوی دیگر ساختار امروزی این ناحیه نتیجه فرایندهای زمین‌ساختی عمده‌ای است که در زمان تریاری پسین رخ داده است (Ziegler, 2001). بخش شمال باختری خلیج فارس شامل خورموسی و همچنین نواحی قاره‌ای و دریایی کنار آن را می‌توان بخشی از نواحی جنوبی فروافتادگی بین‌النهرین در نظر گرفت، بنابراین بررسی زمین‌شناسی این ناحیه می‌تواند مفید باشد. بر پایه منابع موجود فروافتادگی بین‌النهرین بخشی از حوضه رسوبی خلیج فارس است که در بخش بیرونی حاشیه غیر فعال صفحه عربی ایجاد شده است (Konyukhov & Maleki, 2006). این ناحیه یک حوضه رسوب‌گذاری برخوردار ناشی از برخورد صفحه عربستان با صفحه اوراسیاست که در پالئوژن

اشاره کرد. اگر چه پراکنش بافت رسوبات به علت بالا بودن نرخ جزر و مد در مناطق مورد بحث و کم بودن ژرفا به شدت دست‌خوش تغییرات بعدی می‌شود (Höpner, 1999; Al-Ghadban & El-Sammak, 2005). ولی نتایج نشان‌دهنده آن است که رسوبات گلی (رسوبات در اندازه سیلت و رس) در دهانه رودخانه‌های اروندرود و بهمینشیر، بخش‌هایی از مناطق شمالی و میانی محدوده مورد مطالعه و دهانه خورهای موجود در ناحیه حضور دارند (شکل ۶). ذرات ماسه‌ای و گراولی در این بخش از خلیج فارس فراوانی کمتر و در نتیجه پراکنش به نسبت محدودتری نسبت به گل دارند. این ذرات در برخی از مناطق میانی و شمالی حوضه که شامل مناطق با ژرفا کم و انرژی بالا هستند یافت می‌شوند (شکل ۶) و همان‌گونه که اشاره شد این بسترها بیشتر از پوسته موجودات تشکیل شده‌اند. به نظر می‌رسد که به دلیل ژرفای کم این مناطق (حدود ۰/۵ تا ۲ متر) نسبت به نواحی مجاور (در برخی نقاط ژرفا به ۵۰ متر نیز می‌رسد) و عملکرد امواج سطحی ناشی از بادها و جریان‌های کشندی سبب شسته شدن ذرات ریزدانه و تجمع ذرات دانه‌درشت‌تر در این مناطق می‌شود. نکته دارای اهمیت آن که رودخانه اروندرود که در بخش باختری محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است، در مسیر خود تا پیش از شهر بغداد ۹۰ درصد بار رسوبی خود را ته نشین می‌کند و تنها ۱۰ درصد از حجم رسوبات آن وارد خلیج فارس می‌شود (Milliman & Meade, 1983; Al-Bakri & El-Sayed, 1991). این رسوبات بسیار دانه‌ریز هستند و به‌صورت بار معلق در دهانه رودخانه و مناطق مجاور آن پراکنده می‌شوند. در نتیجه مناطق کنار این رودخانه مواد معلق زیاد و بستر دانه‌ریز دارد. گفتنی است که الگوی پادساعت‌گرد چرخش آب در خلیج فارس (Kampf & Sadrinassab, 2006) و همچنین وزش باد چیره شمال در این نواحی سبب می‌شود که رسوبات آورده شده توسط اروندرود بیشتر به سمت جنوب متمایل شوند (Ghazban, 2009). از سوی دیگر در خاور محدوده مورد مطالعه رودخانه زهره قرار دارد که از ارتفاعات زاگرس سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسافت کوتاهی وارد خلیج فارس می‌شود. با توجه به محیطی که این رودخانه در آن جریان دارد، بیشتر رسوبات حمل‌شده توسط آن کربناتی (قطعات خرده‌سنگی کربناتی) است. با توجه به طبیعت ذرات کربناتی، در این ناحیه کانی‌های رسی به صورت فاز معلق بسیار کمتر از نواحی مجاور رودخانه اروندرود حضور دارند و در نتیجه بستر بیشتر از ذرات درشت‌تر (نسبت به مناطق مجاور رودخانه اروندرود) تشکیل شده است (شکل‌های ۷ و ۸).

بر پایه مطالعات کربنات‌سنجی انجام‌شده، میزان کربنات کلسیم در ناحیه مورد مطالعه کمینه ۵۳ درصد، بیشینه ۸۴ درصد و با میانگین ۶۸/۵ درصد است. بر پایه نتایج به دست آمده، بیشترین مقدار کربنات کلسیم در نواحی دریایی کنار رودخانه زهره، مرکز و جنوب خاوری محدوده مورد مطالعه دیده شده است. به نظر می‌رسد که بیشتر ذرات در اندازه ماسه (فارغ از فراوانی یا عدم فراوانی آنها در نمونه‌های مطالعه شده) ترکیب کربنات کلسیم دارند و بر پایه مشاهدات مورفوسکوپی از پوسته موجودات تشکیل شده‌اند (شکل ۴). به نظر می‌رسد که ارتباط مثبتی میان مقادیر کربنات کلسیم و اندازه ذرات وجود دارد (درصد کربنات کلسیم با افزایش ذرات در اندازه ماسه افزایش می‌یابد) (شکل ۹).

#### ۸- مطالعات ژئوشیمیایی

مناطق غنی از مواد آلی بیشتر در حواشی قاره‌ها مانند خلیج‌های دهانه‌ای، لاگون‌های سطحی، ریف و فلات قاره قرار دارند (Harris, 2005). این نکته بیانگر آن است که مناطق تولید و انباشت مواد آلی به هم نزدیک هستند. وجود مواد غذایی کافی مانند فسفات و نیترات از شرایط ضروری برای شکوفایی فیتوپلانکتون‌ها برای آغاز زنجیره تولید ماده آلی است (Suess et al., 1987; Harris, 2005). در مطالعات زمین‌شناسی دریایی تعیین محتوای ماده آلی و مقدار کربن آلی کل (TOC) می‌تواند

خرده‌سنگ، میکا، مقادیر کمی ژئیس، هالیت، دولومیت و کانی‌های سنگین و احتمالاً کانی‌های رسی (کلریت، ایلیت، کائولینیت و پالی‌گورسکیت) هستند (شکل‌های ۲ و ۳). وجود کانی‌های رسی می‌تواند ارتباط نزدیکی با فرایندهای دیاژنزی که در رسوبات رخ می‌دهد، داشته باشد (Albadran & Hassen, 2003). بر پایه مطالعات (Albadran 2000) کلریت فراوان‌ترین کانی رسی در محدوده مورد مطالعه است. بر پایه مطالعه نتایج تجزیه سنجش میزان پراش پرتو ایکس، کلریت و ایلیت در مناطق دریایی مجاور اروندرود بیشترین فراوانی را دارد ولی در مناطق خاوری حوضه از اهمیت آن به نسبت کاسته می‌شود. با توجه به فراوانی این کانی‌ها در نمونه‌های مجاور اروندرود، می‌توان برخاستگاه آن را آواری و ناشی از هوازدگی سنگ‌های آذرین آلکالی و سنگ‌های دگرگونی شمال عراق دانست (Albadran, 2000). کانی کائولینیت تقریباً در همه نمونه‌های مورد مطالعه حاضر است و روند خاصی را نشان نمی‌دهد. تنها نکته قابل ذکر این است که در مناطق شمالی خورموسی از جمله بندر امام خمینی فراوانی این کانی کاهش شاخصی را نشان می‌دهد. چیره بودن کائولینیت در برخی نواحی مجاور خورموسی مانند سبخاهای فرا کشندی عراق توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (Al-Mussawy & Basi, 1992; Aqrawi, 1993). در مورد کانی پالی‌گورسکیت در ناحیه یادشده اتفاق نظر وجود ندارد. برخی آن را دارای برخاستگاه تخریبی می‌دانند که توسط باد شمال از صحراهای عربستان و سومالی به منطقه آورده شده است (Kolla et al., 1981) و برخی نیز برخاستگاه آن را ایتژن می‌دانند (Aqrawi, 1993; Albadran & Hassen, 2003). در مجموع می‌توان گفت که مناطق شمال باختری خلیج فارس شامل مجموعه‌ای از کانی‌های رسی هستند که از راه‌های مختلف تشکیل و به منطقه مورد نظر حمل شده‌اند. اجزای آواری (به جز کانی‌های رسی) با توجه به جنس، مقاومت در برابر فرسایش و همچنین دوری و نزدیکی به برخاستگاه در اندازه‌های مختلف از ماسه تا رس دیده می‌شوند. اگرچه به دلیل نقش اصلی رودخانه‌های موجود در شمال باختر خلیج فارس، بیشتر بستر این ناحیه از ذرات ریز در اندازه سیلت و رس تشکیل شده است، ولی به دلیل توپوگرافی ملایم و محیط مساعد برای موجودات تولید کننده کربنات، عموماً رسوبات بستر خلیج فارس غنی از موجودات کفزی دریایی است که ذرات در اندازه ماسه و گراول تشکیل می‌دهند (Sheppard et al., 1992). در نتیجه با آنکه ذرات شیمیایی و بیوشیمیایی بستر در این بخش از خلیج فارس، در مقایسه با کل خلیج فارس کمتر و محدود است، ولی از این میان می‌توان به قطعات پوسته دو کفه‌ای، گاستروپود، روزن‌بران، استراکود، پرووزوها و غیره اشاره کرد (شکل ۴). این ذرات عمدتاً ذرات دانه درشت بستر در اندازه گراول تا ماسه ریز را به خود اختصاص داده‌اند.

بنا بر مطالعات صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه پراکنده‌گی اندازه ذرات بسیار گسترده است. نتایج بررسی‌های رسوب‌شناسی نشان‌دهنده وجود ۴ نوع رسوب اصلی بر پایه تقسیم بندی Folk (1974) شامل گل (M)، گل ماسه‌ای (sM)، ماسه گلی (mS) و ماسه گلی با کمی گراول (g)mS است که در مجموع بیش از ۸۵ درصد از کل اجزای بستر را تشکیل داده‌اند. در این بین ۳۸ درصد از رسوبات برداشت شده از نوع گلی و ۳۱ درصد گل ماسه‌ای هستند. این دو نوع رسوب در مجموع دو سوم از کل رسوبات بستر را تشکیل داده‌اند. همچنین انواع رسوب گل ماسه‌ای با کمی گراول (g)mS، ماسه گلی گراولی (gmS)، ماسه (S)، گل گراولی (gM) و گل با کمی گراول (g)M نیز در این نمونه‌ها به مقدار کمتر دیده شده است (شکل ۵). بر پایه مطالعات صورت گرفته، تقریباً همه نمونه‌های رسوبی، جورشدگی بد (۱ تا ۲ فی) و جورشدگی بسیار بد (۲ تا ۴ فی) دارند. اگر چه در چند نمونه نیز جورشدگی متوسط (۰/۷۱ تا ۱ فی) دیده می‌شود. از عواملی که سبب جورشدگی بد و چند منشأیی بودن ذرات می‌شوند، می‌توان به رسوبات آورده شده از راه رودخانه‌های اروندرود و زهره، تشکیل ذرات در درون حوضه به روش زیستی، رسوبات معلق موجود در حوضه و رسوبات بادی

II-III و ۱۳ درصد نمونه‌ها در محدوده مخلوط کروژن‌های نوع II-III قرار گرفته‌اند. همان‌گونه که دیده می‌شود، نتایج به‌دست آمده از دو نمودار یادشده به هم نزدیک هستند. کروژن‌های نوع III و مخلوط II-III نشان‌دهنده افزایش در ورودی مواد آلی خشکی در طی رسوب‌گذاری در آن رسوبات است. گفتنی است رسوباتی که TOC کمی دارند، دارای کروژن‌های اکسید شده هستند (Johns, 1987; Hunt, 1995). همچنین اکسایش پس از رسوب‌گذاری مواد آلی می‌تواند سبب تبدیل مواد آلی غنی از هیدروژن (کروژن نوع I یا II) به کروژن نوع III شود (Patience et al., 1996; Meyers, 1997). پس باید احتمال اکسایش بخشی از مواد آلی (تبدیل کروژن نوع II به نوع III) در رسوبات خلیج فارس را در نظر گرفت. از سوی دیگر در بخش شمال باختر خلیج فارس مواد آلی خشکی‌زاد (کروژن نوع III) که توسط آب‌های قاره‌ای (رودخانه‌ها) وارد این حوضه رسوبی می‌شوند توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (Talling, 1980; Saad, 1982; Abayachi & Al-Saad, 1988; Hyland et al., 2000). همچنین میزان کربن آلی گزارش شده رودخانه اروندرود میان ۰/۱۴ تا ۰/۹۶ درصد وزنی است (Abayachi & Douabul, 1986) که در مقایسه با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش (۰/۱۱ تا ۰/۷۰ درصد وزنی) همخوانی قابل قبولی دارد و احتمالاً نشانگر آن است که بخش قابل توجهی از مواد آلی مناطق دریایی مجاور آن به وسیله اروندرود تأمین می‌شود. در نتیجه دیدن کروژن نوع III (مواد آلی خشکی‌زاد) در آنها دور از ذهن نیست. در ضمن مواد آلی در خورها، دریاچه‌ها و محیط‌های دریایی نزدیک به ساحل منشأ چند گانه (آبی، باکتریایی و خشکی) دارد (Meyers, 2003; Castaneda, 2011). ولی به هر حال با توجه به نتایج به‌دست آمده از دو نمودار بالا، نسبت مواد آلی با منشأ خشکی (کروژن نوع III) در این نمونه‌ها بیشتر است. گفتنی است که در بیشتر موارد درصد کربن آلی کل با افزایش درصد ذرات در اندازه سیلت و رس در نمونه‌های مطالعه‌شده، افزایش می‌یابد (شکل‌های ۱۰ و ۱۳). این موضوع نشان‌دهنده آن است که تا حد زیادی شرایط برای حفظ ماده آلی در نمونه‌های گلی نسبت به نمونه‌های ماسه‌ای مناسب‌تر بوده است. فراوانی بیشتر بار معلق نسبت به بار بستر تأییدی بر حفظ شدن نسبی ماده آلی در این رسوبات است (Wells, 2004). با مقایسه کروژن‌های موجود، در نواحی دریایی کنار اروندرود و رودخانه زهره کروژن‌های نوع III و مخلوط II-III، در نواحی دریایی کنار رودخانه بهم‌نشیر کروژن‌های نوع III و مخلوط II-III، در مناطق مرکزی خورموسی مخلوط کروژن‌های II و III، در جنوب باختری نواحی دریایی (دور از رودخانه اروندرود) کروژن نوع III، در نواحی دریایی جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه (دور از رودخانه زهره) کروژن نوع II، در خورهای کوچک‌تر مناطق شمالی خورموسی (خورقنقه و خوردورق) کروژن‌های نوع III، مخلوط II-III و مخلوط III-II و در خورهای کوچک‌تر مناطق باختری منطقه مورد مطالعه (خور سلج) کروژن‌های مخلوط نوع II-III دیده می‌شود.

#### ۱۰- محدودیت‌های بررسی ژئوشیمی آلی در منطقه مورد مطالعه

عوامل مؤثر در متغیرهای به‌دست آمده از پیرولیز نمونه‌های مورد مطالعه شامل اثر ماتریکس- کانی، اکسیدشدگی ماده آلی و رسوبات دارای کربنات‌هاست. در رسوباتی با میزان کم ماده آلی ( $TOC < 1\%$ ) که نسبت ماده آلی به معدنی کم است، اثر ماتریکس- کانی بیشتر خواهد بود و سبب کاهش مقدار شاخص هیدروژن و S2 از مقادیر واقعی آنها می‌شود (Peters, 1986; Hunt, 1995). همچنین مواد آلی در طی حمل و نقل، رسوب‌گذاری، دیاژنز و حتی در مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه اکسید می‌شوند. اکسایش مواد آلی سبب کاهش در مقادیر کربن آلی کل (TOC)، C/N، شاخص هیدروژن (HI)، S2 و S1 از مقادیر واقعی و تغییر کروژن می‌شود که باید این مورد را نیز در تفسیر نتایج در نظر گرفت (Patience et al., 1996). در این پژوهش برای تعیین و جدایش کروژن‌ها از

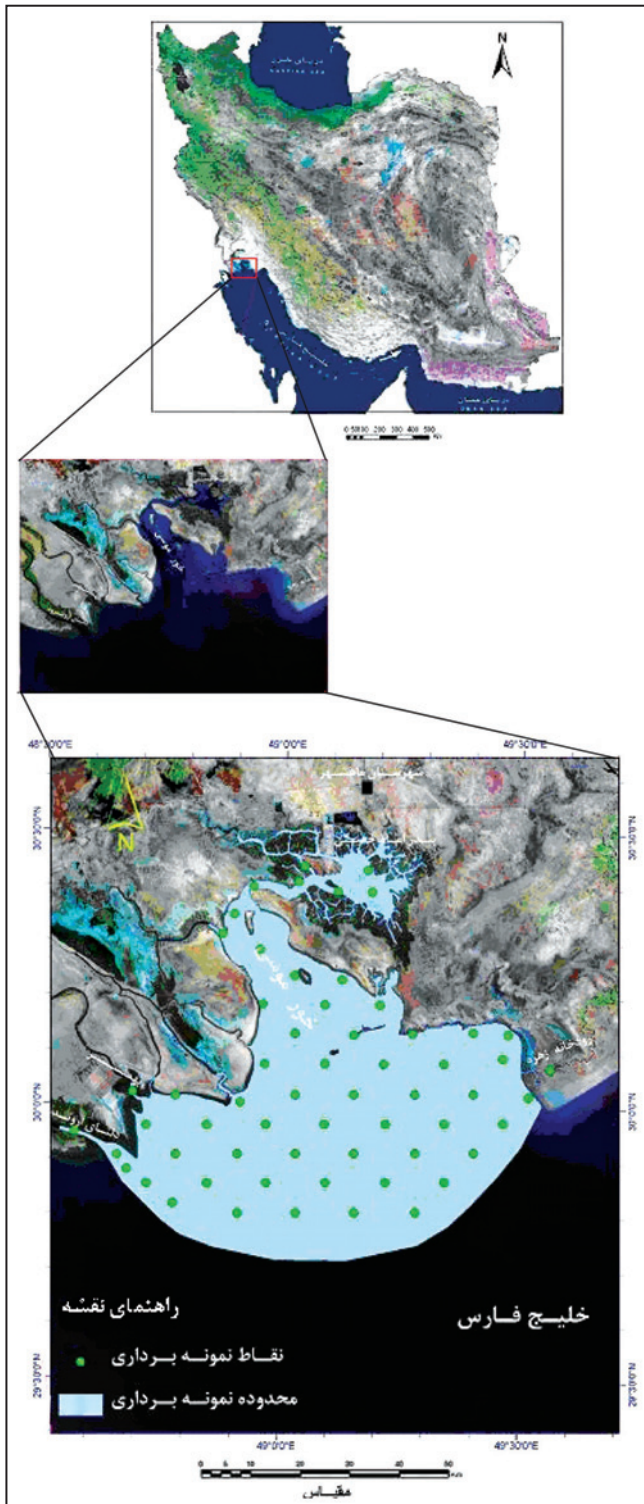
اطلاعات مفیدی در ارتباط با میزان تولید اولیه در دریاها، تجزیه بعدی آنها در طی رسوب‌گذاری و همچنین الگوی پراکندگی اجزای آلی در منطقه ارائه دهد (Meyers, 2003). همچنین اجزای آلی توانایی جذب عناصر سنگین را در محیط دارند و می‌توانند سبب بالا رفتن غلظت این عناصر در رسوبات شود (Valdes et al., 2005). به همین منظور و برای بررسی اجزای آلی رسوبات منطقه مورد مطالعه، ۲۴ نمونه از همه محدوده مورد نظر برای تعیین میزان ماده آلی انتخاب شده است.

نمونه‌های مطالعه‌شده بر پایه مقادیر کربن آلی کل ( $0.11-0.70 \text{ Wt}\%$ ) در محدوده سنگ منشأ فقیر (کمتر از ۰/۵ درصد وزنی) تا سنگ منشأ متوسط (۰/۵ تا ۱ درصد وزنی)، میزان S2 (۰.26-1.66 mg Hc/g Rock) در محدوده سنگ منشأ فقیر (کمتر از 2.5 mg Hc/g Rock)، مقادیر S1 (0.14-2.01 mg Hc/g Rock) در محدوده سنگ منشأ فقیر (کمتر از 0.5 mg Hc/g Rock) تا سنگ منشأ بسیار خوب (بیش از 2 mg Hc/g Rock)، مقادیر شاخص هیدروژن ( $120-550 \text{ mgHc org C}$ ) در محدوده گاززایی تا نفت‌زایی (بیش از 300 mg Hc/org C) و میزان  $T_{max}$  در محدوده ۳۷۰ تا ۴۲۸ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته‌اند (جدول ۱). با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی انجام شده، به نظر می‌رسد که بیشترین میزان کربن آلی کل ( $TOC = 0.70\% \text{ wt}$ ) مربوط به نمونه Ch-7 (گل)، بیشترین میزان S1 (2.01 mg Hc/g Rock) مربوط به نمونه Ch-31 (ماسه گلی گراولی)، بیشترین میزان S2 (2.00 mg Hc/g Rock) مربوط به نمونه Ch-7، بیشترین میزان شاخص هیدروژن 550 (mg Hc/org C) مربوط به نمونه Ch-44 (گل ماسه‌ای)، بیشترین میزان PI (0.54) مربوط به نمونه Ch-31 و بیشترین میزان  $T_{max}$  ( $428^\circ \text{C}$ ) مربوط به نمونه Ch-31 است (جدول ۱).

#### ۹- بحث

گرچه پیرولیز راک-اول برای ارزیابی پتانسیل سنگ منشأ هیدروکربن برای سنگ‌های کهن که کمترین دیاژنز آلی را تحمل کرده باشند، کاربرد دارد. ولی می‌توان با استفاده از آن به بررسی شواهد حفظ و تولید مواد آلی و پتانسیل هیدروکربن‌زایی در رسوبات مدرن پرداخت. گفتنی است که در رسوب‌گذاری رسوبات دارای مواد آلی ۳ متغیر میزان کم اکسیژن آزاد، نرخ بالای تولید مواد آلی و نرخ رسوب‌گذاری نقش بنیادین دارند (Harris, 2005). نبود یا وجود این متغیرها در هنگام نهشته شدن رسوبات و سپس در صورت وجود این عوامل، بودن یا نبودن شرایطی مانند تدفین و بلوغ حرارتی مناسب سبب به‌وجود آمدن سنگ‌های منشأ یا غیر منشأ هیدروکربن می‌شود. نتایج پیرولیز راک-اول نشان می‌دهد که بیشتر رسوبات این منطقه به دلیل پایین بودن میزان ماده آلی (به دلیل نرخ کم تولید و یا پایین بودن نرخ حفظ‌شدگی ماده آلی در اثر تمرکز بالای اکسیژن محلول در آب) و دیگر متغیرهای راک-اول حتی با رسیدگی حرارتی مناسب، پتانسیل لازم برای هیدروکربن‌زایی را در آینده ندارند (به‌جز نمونه‌های 31، 13، 7-Ch). همچنین نتایج به‌دست آمده نشان از میزان انطباق بالاتر ماده آلی و بسترهای گلی نسبت به بسترهای ماسه‌ای دارد (شکل ۱۰). اگرچه در برخی از نمونه‌های ماسه‌ای {مانند نمونه Ch-31 (ماسه گلی گراولی) با  $TOC = 0.48\% \text{ wt}$ } نیز مقدار ماده آلی بالاست که می‌تواند به دلیل تولید کربن آلی توسط موجودات زنده و گواهی بر زیستی بودن (بیوژنیک) بستر در این ناحیه باشد. در این پژوهش برای تعیین و جدایش کروژن‌ها از نمودارهای HI/  $T_{max}$  و  $S_2/TOC$  استفاده شده است. در نمودار  $S_2/TOC$ ، نمونه‌های مطالعه‌شده ۱۲ درصد کروژن نوع II، ۵۵ درصد مخلوط کروژن‌های نوع II-III و ۳۳ درصد نوع III دارند (شکل ۱۱). در نمودار شاخص هیدروژن در برابر  $T_{max}$  (شکل ۱۲)، نمونه‌های مطالعه‌شده بیشتر در برگیرنده مخلوطی از کروژن‌های نوع II-III و نوع III هستند. البته گفتنی است که ۳۴ درصد از نمونه‌های مطالعه‌شده در محدوده کروژن نوع III، ۹ درصد در محدوده نوع II، ۴۴ درصد در محدوده مخلوط کروژن‌های نوع





شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و شبکه نمونه برداری

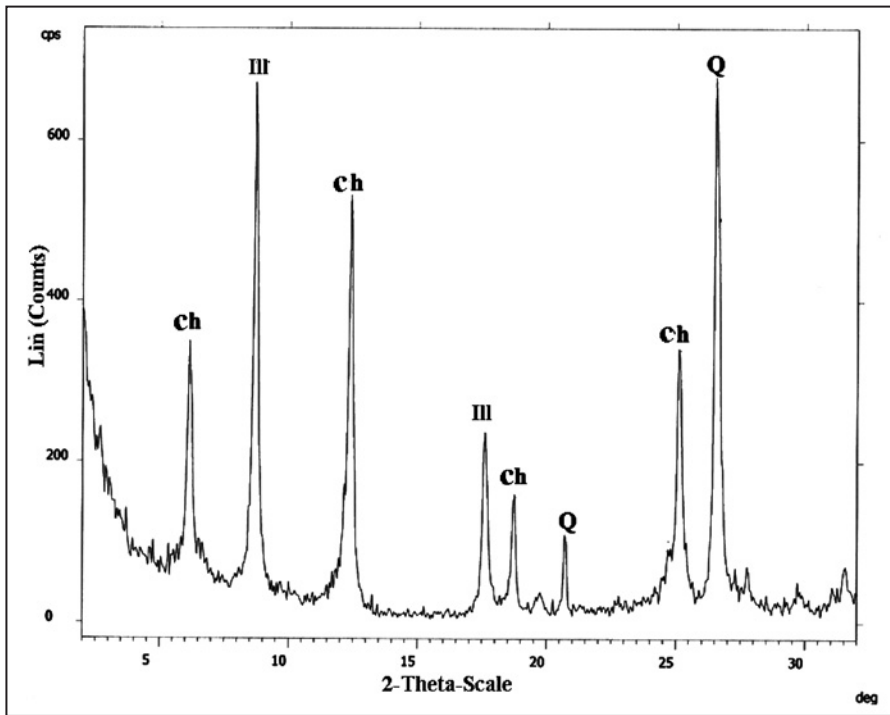
نمودارهای  $S_2/TOC$  و  $HI/T_{max}$  استفاده شده است. اندیس  $T_{max}$  به دلیل مناسب بودن مقدار  $S_2$  ( $>0.2 \text{ mg Hc/g Rock}$ ) در نمونه های مطالعه شده معتبر است. استفاده از نمودار  $S_2/TOC$  در مورد نمونه هایی که  $TOC$  کمتر از ۱ درصد وزنی دارند، مشکل است. گفتنی است که در این پژوهش با استفاده از نمودار  $S_2/TOC$  که توسط Goddard et al. (1997) ارائه شده، مشکل استفاده از این نمودار تا حدی کاهش یافته است. همچنین بهتر است که در تفسیر متغیرهای پیرولیزی رسوبات کربناتی با کربن آلی کمتر از ۱ درصد، از اندیس های شاخص اکسیژن (OI) و  $S_3$  استفاده نشود (Katz, 1983; Waples, 1985; Peters, 1986). به همین دلیل است که از نمودار  $HI/OI$  برای تعیین نوع کروژن استفاده نشده است. در ضمن روش پیرولیز راک-اول برای بررسی ژئوشیمی آلی رسوباتی که دچار تدفین و رسیدگی حرارتی شده اند، مناسب تر است و برای نهشته های بدون رسیدگی حرارتی لازم (رسوبات جوان خلیج فارس) بهتر است برای بررسی های دقیق تر افزون بر آن از تجزیه و تحلیل های دیگری مانند تعیین نسبت اتمی  $H/C$  و  $O/C$  و محاسبه مقدار  $C/N$  استفاده شود.

### ۱۱- نتیجه گیری

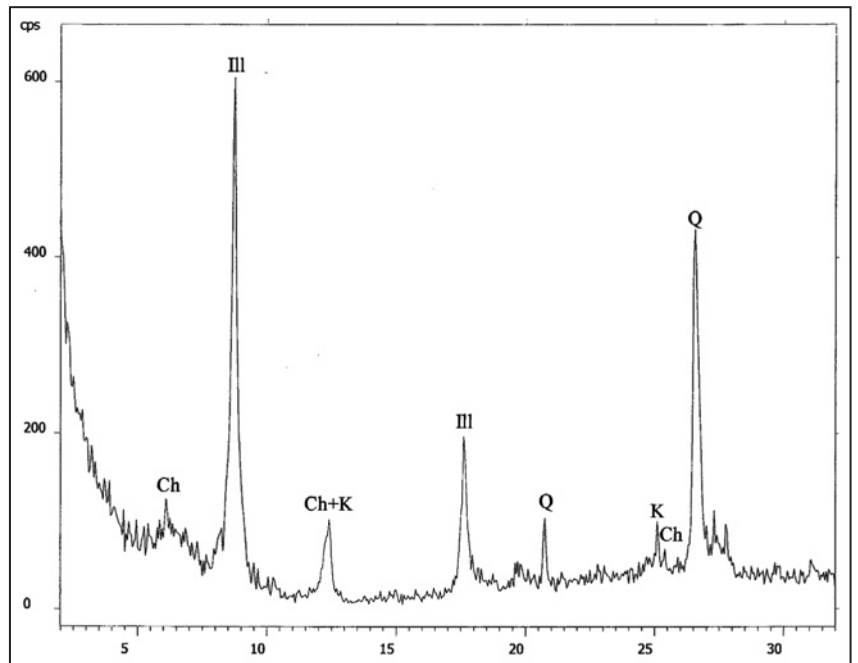
رسوبات بستر به طور چیره از ۴ نوع اصلی رسوب (گل، گل ماسه ای، ماسه گلی و ماسه گلی با کمی گراول) تشکیل شده است. این رسوبات متشکل از ذرات آواری (کوارتز، فلدسپار، خرده سنگ، میکا، قطعات خرده سنگی کربناتی و کانی های رسی) و ذرات شیمیایی - بیوشیمیایی (قطعات پوسته دو کفه ای، گاستروپود، روزن بران، بریوزوا و استراکود) است. بر پایه مطالعات کربنات سنجی انجام شده، بیشترین مقدار کربنات کلسیم در نواحی دریایی کنار رودخانه زهره، مرکز و جنوب خاوری محدوده مورد مطالعه دیده شده است. بررسی محتوای آلی نمونه های مطالعه شده، نشان دهنده انطباق میزان بالای ماده آلی و بسترهای گلی است. این موضوع نشان می دهد که تا حد زیادی شرایط برای حفظ ماده آلی در نمونه های گلی نسبت به نمونه های ماسه ای مناسب تر بوده است. بر پایه نمودار  $S_2/TOC$ ، نمونه های مطالعه شده ۱۲ درصد کروژن نوع II، ۵۵ درصد مخلوط کروژن های نوع II-III و ۳۳ درصد نوع III دارند. همچنین در نمودار شاخص هیدروژن در برابر  $T_{max}$ ، نمونه های مطالعه شده بیشتر در برگرنده مخلوطی از کروژن های نوع III-II و نوع III هستند. با بررسی کروژن های مطالعه شده، فراوانی کروژن های نوع III و مخلوط II-III نشان دهنده افزایش در ورودی مواد آلی قاره ای (رودخانه ای) در طی رسوبگذاری در منطقه مورد مطالعه است.

### سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از نتایج حاصل از طرح بررسی زمین شناسی دریایی رسوبات بستر خلیج فارس توسط مدیریت زمین شناسی دریایی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور است. از جناب مهندس سعدالدین مدیر پیشین بخش زمین شناسی دریایی به خاطر پشتیبانی و حمایت شان از این پژوهش، از آقای محمود پور برای همکاری در نمونه برداری و همچنین از آقایان مهندس معین پور و کسائی (واحد ژئوشیمی پژوهشگاه صنعت نفت) برای انجام پیرولیز راک - اول و راهنمایی های ارزنده شان سپاسگزاری می شود.



شکل ۲- نمودار XRD رسوبات گلی نواحی دریایی مجاور رودخانه اروندرود (نمونه CH-4). Q= کوارتز، Ch= کلریت، Ill= ایلیت

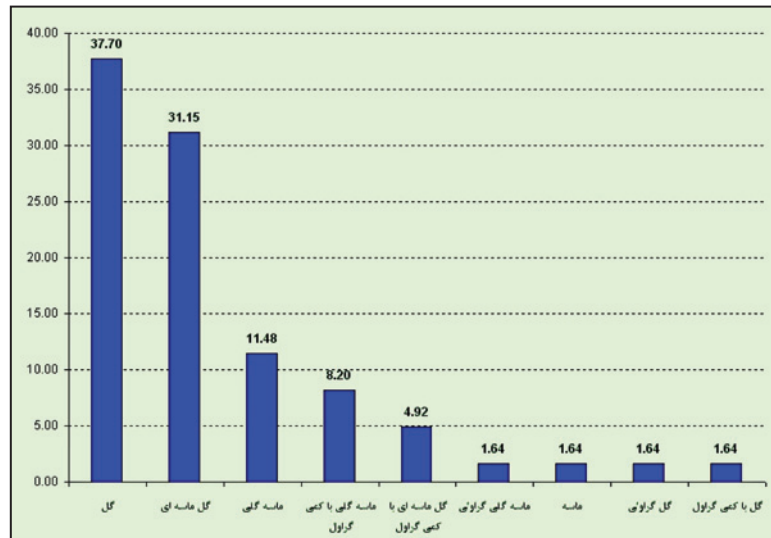


شکل ۳- نمودار XRD رسوبات گلی بخش میانی خورموسی (نمونه CH-52). Q = کوارتز = Ch+K = کلریت + کانولینیت Ill = ایلیت = Ch = کلریت K = کانولینیت

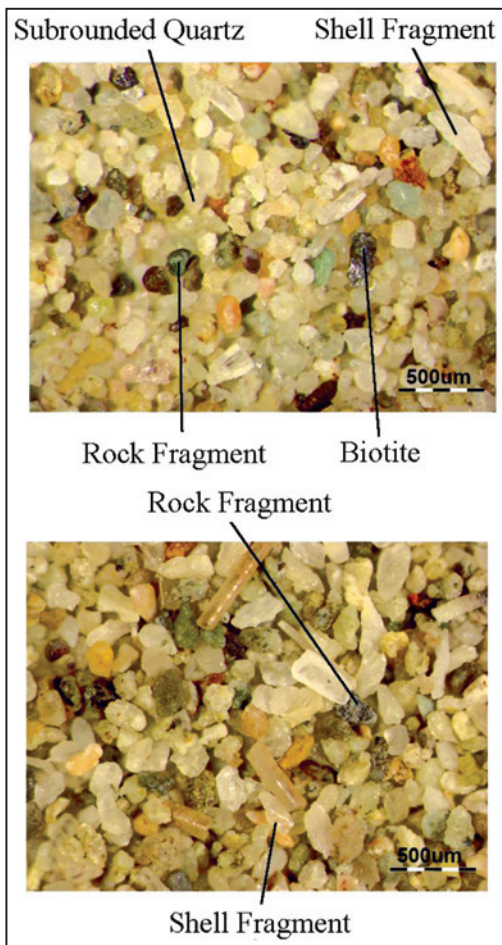


شکل ۴- اجزای دیده شده در نمونه ماسه‌ای در نواحی دریایی بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه (نمونه CH-31). (تصویری از (a) بریوزوآ؛ (b) پوسته روزن‌بران و (c) خرده‌سنگ و بلور کوارتز.

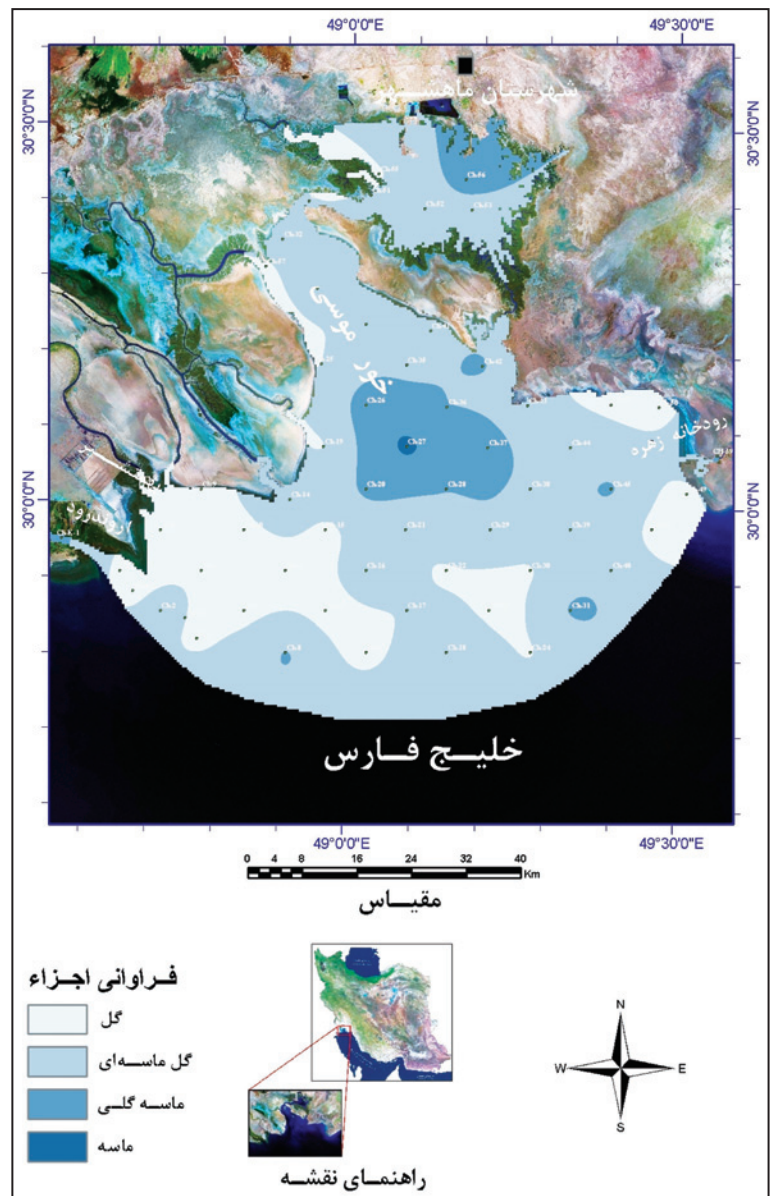




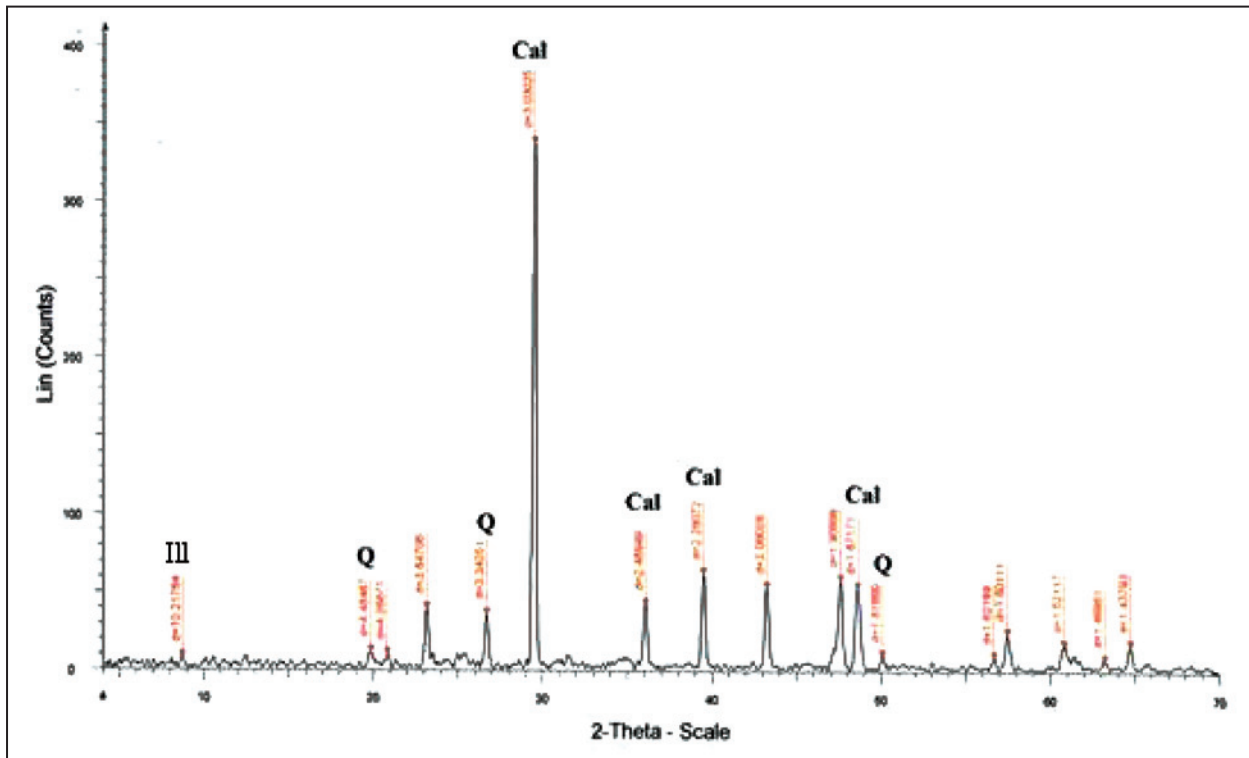
شکل ۵- تعیین فراوانی انواع رسوبات در محدوده مورد مطالعه.



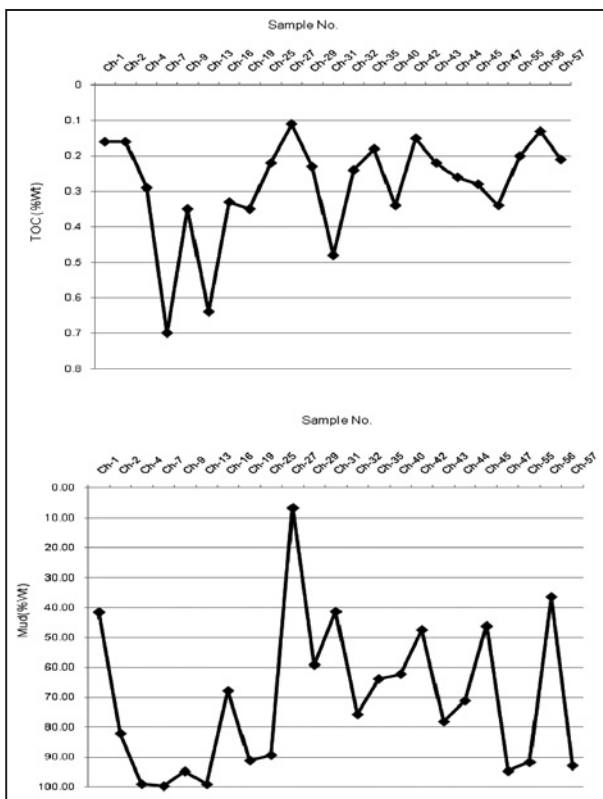
شکل ۷- اجزای دیده شده در نمونه ماسه گلی در نواحی دریایی مجاور رودخانه زهره (نمونه CH-45).



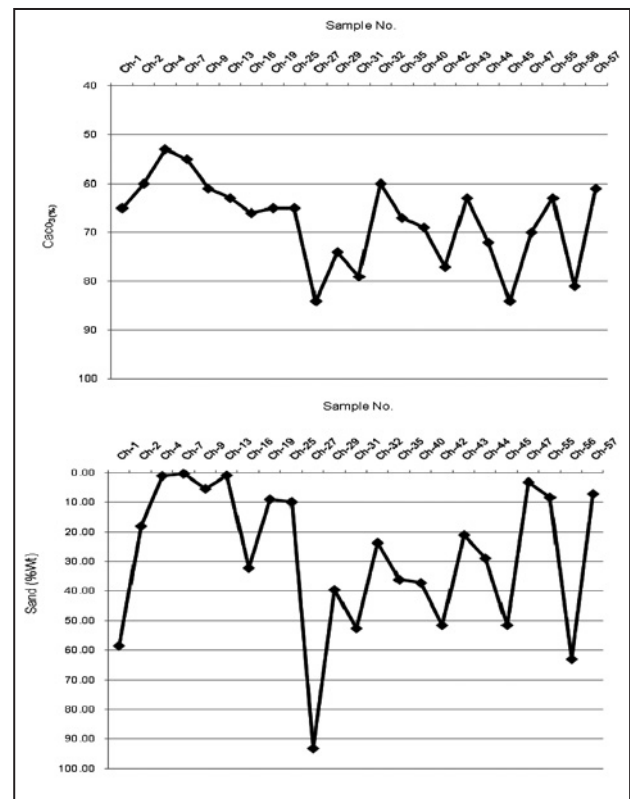
شکل ۶- الگوی پراکنده گی رسوبات اصلی سازنده بستر در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۸- نمودار XRD رسوبات ماسه گلی نواحی دریایی کنار رودخانه زهره (نمونه CH- 46). Q= کوآرتز؛ Cal= کلسیت؛ Ill= ایلیت

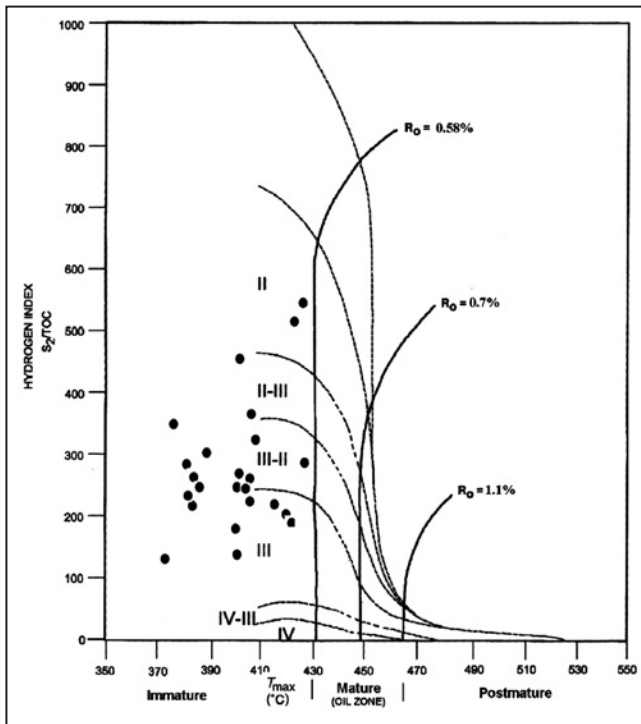


شکل ۱۰- انطباق فراوانی ذرات در اندازه سیلت و رس (ذرات گلی) و مقادیر کربن آلی کل (TOC) در نمونه‌های مطالعه شده. در بیشتر موارد درصد کربن آلی کل با افزایش ذرات گلی افزایش می‌یابد (به جز برخی نمونه‌های ماسه‌ای مانند Ch-31).

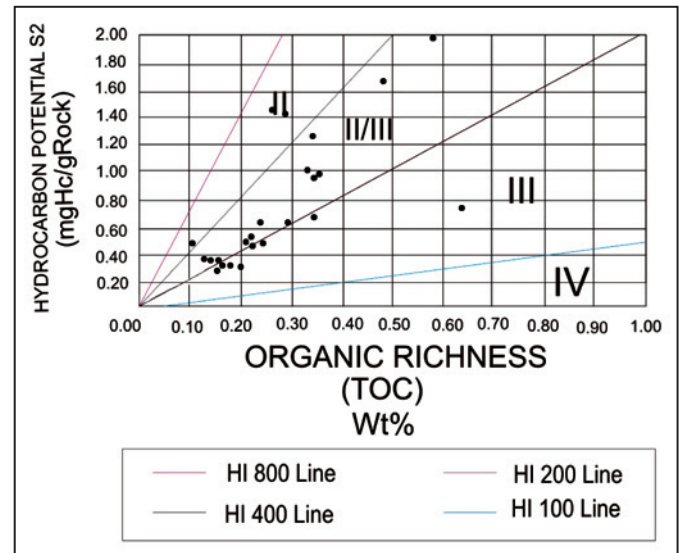


شکل ۹- انطباق فراوانی ذرات در اندازه ماسه با مقادیر کربنات کلسیم در نمونه‌های مطالعه شده. در بیشتر موارد درصد کربنات کلسیم با افزایش ذرات در اندازه ماسه در نمونه‌های مطالعه شده افزایش می‌یابد.

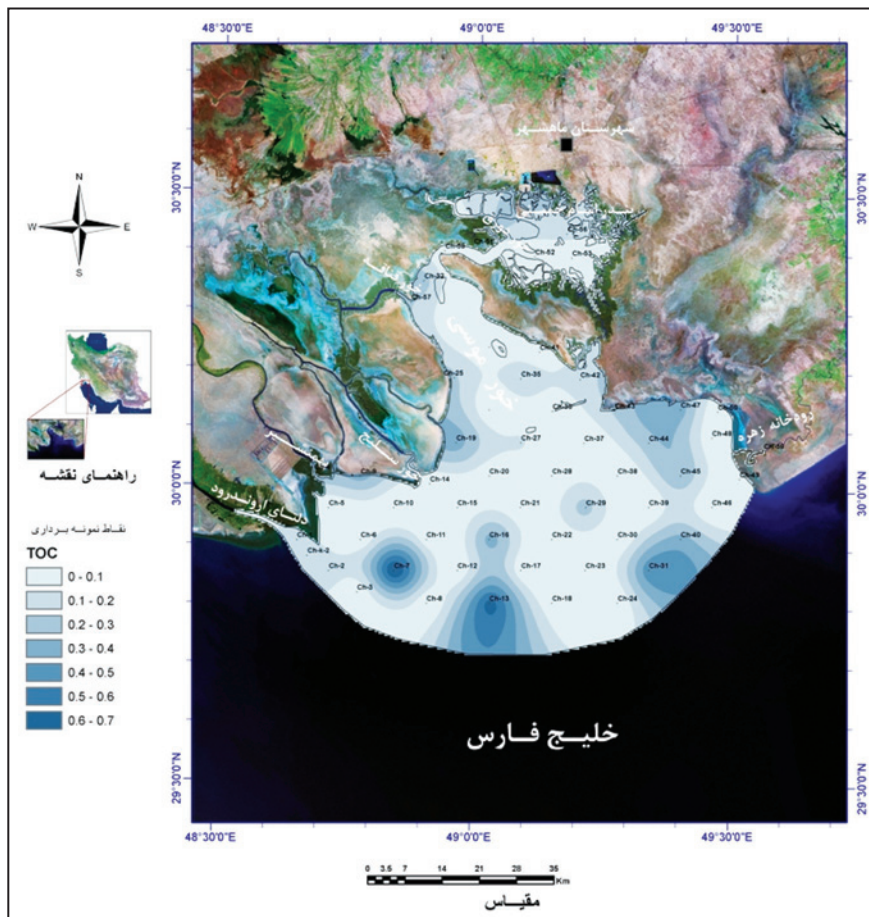




شکل ۱۲- نمودار HI در برابر  $T_{max}$  نمونه‌های مطالعه شده.



شکل ۱۱- نمودار  $S_2/TOC$  نمونه‌های مطالعه شده.



شکل ۱۳- پراکنندگی ماده آلی (بر پایه درصد وزنی TOC) در سطح محدوده مورد مطالعه.

جدول ۱- نتایج پیرولیز راک- اول نمونه‌های مطالعه شده.

Sample No.	Sediment type	S <sub>1</sub> (mgHc/gRock)	S <sub>2</sub> (mgHc/gRock)	TOC (wt%)	S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub>	HI (mgHc/orgC)	PI (S <sub>1</sub> /S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> )	Tmax (c°)
CH-1	mS	0.16	0.37	0.16	0.53	230	0.30	394
CH-2	sM	0.14	0.26	0.16	0.40	162	0.35	394
CH-4	M	0.21	0.63	0.29	0.84	217	0.25	418
CH-7	M	0.58	2.00	0.70	3.23	285	0.17	380
CH-9	M	0.38	0.95	0.35	1.33	271	0.28	400
CH-11	M	0.17	0.35	0.16	0.52	218	0.32	400
CH-13	M	0.67	0.77	0.64	1.44	120	0.46	375
CH-16	sM	0.40	1.06	0.33	1.46	321	0.27	405
CH-19	M	0.32	0.97	0.35	1.29	277	0.24	393
CH-25	sM	0.22	0.46	0.22	0.68	209	0.32	385
CH-27	S	0.23	0.50	0.11	0.73	454	0.31	393
CH-29	(g)sM	0.20	0.65	0.23	0.85	282	0.23	385
CH-31	gmS	2.01	1.66	0.48	3.67	345	0.54	428
CH-32	sM	0.22	0.42	0.24	0.64	175	0.34	370
CH-35	sM	0.15	0.36	0.18	0.51	200	0.29	423
CH-40	sM	0.36	1.25	0.34	1.61	367	0.22	405
CH-42	(g)mS	0.21	0.38	0.15	0.59	253	0.35	380
CH-43	sM	0.23	0.52	0.22	0.75	236	0.30	400
CH-44	sM	0.41	1.43	0.26	1.84	550	0.22	425
CH-45	(g)mS	0.24	1.42	0.28	1.66	505	0.14	420
CH-47	(g)M	0.26	0.67	0.34	0.93	197	0.28	423
CH-55	M	0.19	0.31	0.20	0.50	155	0.38	400
CH-56	mS	0.21	0.39	0.13	0.60	300	0.35	385
CH-57	M	0.22	0.49	0.21	0.71	233	0.31	380

## کتابکاری

چنانی، ن. و لک، ر.، ۱۳۸۸- گزارش بررسی زمین‌شناسی دریایی خلیج فارس، فاز I: رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی نواحی شمال باختری خلیج فارس، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت زمین‌شناسی دریایی، ۱۲۴ ص.

فاطمی، م. ر. و عبایی، م. س.، ۱۳۸۲- وضعیت محیط زیست خلیج فارس (محدوده دریایی رامپی)، دفتر محیط زیست دریایی سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ۲۶۳ ص.

## References

- Abayachi, J. & Al-Saad, H. T., 1988- Trace elements in fish from the Arabian Gulf and the Shatt Al-Arab River, Iraq, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 40, p. 226-232.
- Abayachi, J. K. & Douabul, A. A. Z., 1986- The Shatt Al-Arab River: A nutrient salt and organic matter source to the Persian Gulf, *Hydrobiologia*, v. 166, p. 217-224.
- Ahmad, F. & Sultan, S. A. R., 1991- Annual mean surface heat fluxes in the Persian Gulf and the net heat transport through the Strait of Hormuz, *Atmos. Ocean.*, v. 29, p. 54-61.
- Al Mussawy, S. N. & Basi, M. A., 1992- Clay mineral of suspended matter and surficial sediments of Khor Al Zubair estuary, NW Persian Gulf, *Estuarine, Coastal and shelf Science*. v. 36, p.1-11.
- Al -Yamani, F. Y., 2008- Importance of the freshwater influx from the Shatt-Al-Arab River on the Gulf marine environment, In: Abuzinada, A. H., Barth, H. J., Krupp, F., Böer, B. & Al -Abdessaalam, T. Z. (Eds.), *Protecting the Gulf's marine ecosystems from pollution*, Birkhäuser, Switzerland, 285 p.

- Albadran, B. & Hassen, W. F., 2003- Clay mineral distribution of supratidal region, South of Iraq, *Jour. Marine Mesopotamica*, v. 18, p. 25-33.
- Albadran, B. N. A., 2000- Clay mineral distribution in selected locations along the Tigris and Shatt Al Arab rivers. *South Iraq, Jour. Marine Mesopotamica*, v. 15, p. 439-452.
- Al-Bakri, D. & El-Sayed, M., 1991- Mineralogy and provenance of the clastic deposit of the modern intertidal environment of the northern Persian Gulf, *Marine Geology*, v. 97, p. 121-135.
- Al-Ghadban, A. N. & El -Sammak, A., 2005- Sources, distribution and composition of the suspended sediments, Kuwait Bay, Northern Persian Gulf, *Jour of Arid Environments*, v. 60, p. 647-661.
- 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, p. 191-243.
- Aqrawi, A. A. M., 1993- Palygorskite in the recent fluvio-lacustrine and deltaic sediment of southern Mesopotamia, *Jour. Clay Minerals*, v.28, p. 153-159.
- Barth, H. J. & Yar Khan, N., 2008- Biogeophysical setting of the Gulf, In: Abuzinada, A. H., Barth, H. J., Krupp, F., Böer, B. & Al -Abdessalaam, T. Z. (Eds.), *Protecting the Gulf's marine ecosystems from pollution*, Birkhäuser, Switzerland, 285 p.
- 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 for deep offshore petroleum source rocks and global carbon cycle, *Marine and Petroleum Geology*, v. 27, p. 995-1010.
- Brewer, P. G. & Dyrssen, D., 1985- Chemical oceanography of the Persian Gulf, *Prog. Oceanog.* v. 14, p. 41-55.
- Castaneda, I. S., Werne, J. P., Johnson, T. C. & Powers, L. A., 2011- Organic geochemical records from Lake Malawi (East Africa) of the last 700 years, part II: Biomarker evidence for recent changes in primary productivity, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 303, p. 140-154.
- Folk, R. L., 1974- *Petrology of sedimentary rocks*, Hemphill publishing company Austin, Texas. 184p.
- Ghazban, F., 2009- *Petroleum geology of the Persian Gulf*, Tehran University press, 707p.
- Goddard, D. A., Mancini, E. A., Talukar, S. C. & Horn, M., 1997- Bossier – Hanesvill shale, North Louisiana salt basin: Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, center for energy, pdf file, www. api. ning. Com/ files, 46.
- Harris, N. B., 2005- The deposition of organic carbon- rich sediments: models, mechanisms and consequences, *SEPM Special Publication*, v. 82, 282 p.
- Heyvaert, V. M. A. & Baeteman, C., 2007- Holocene sedimentary evolution and palaeocoastlines of the Lower Khuzestan plain (southwest Iran), *Marine Geology*, v. 242, p. 83-108.
- Höpner, T., 1999- Intertidal treasure Khowr -e Mussa – unraised, *Wadden Sea Newsletter, Germany*, v. 1, p. 3-6.
- Hunt, J. M., 1995- *Petroleum geochemistry and geology*, Freeman, New York, 743 p.
- Hunter, J. R., 1982- The Physical Oceanography of the Persian Gulf: A review and theoretical interpretation of previous observations, Paper presented at First Gulf Conference on Environment and Pollution, Kuwait, p. 1-23.
- Hyland, J., Karakassis, I., Magni, P., Petrov, A. & Shine, J., 2000- Summary Report: Results of initial planning meeting of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) Benthic Indicator Group, 70p.
- Johns, W. E. F., Yao, D. B., Olson, S. A., Josey, J. P., Grist, B. & Smeed, D. A., 2003- Observations of Seasonal Exchange through the Straits of Hormuz and the Inferred Heat and Freshwater Budgets of the Persian Gulf., *J. Geophys. Res.*, v. 108, p. 3391-3409.
- Jones, R. W., 1987- Organic facies, In: Brooks, J. & Welte, D. (Eds.), *Advances in petroleum geochemistry: London*, Academic Press, v. 2, p. 1-90.
- Kampf, J. & Sadrinasab, M., 2006- The circulation of the Persian Gulf: a numerical study, *Ocean Sci.*, v. 2, p. 27-41.
- Katz, B. J., 1983- Limitations of Rock-Eval pyrolysis for typing organic matter, *Organic Geochemistry*, v. 4, p. 195-199.
- Kolla, V., Kostecki, J. A., Robinson, F., Biscaye, P. E. & Ray, P. K., 1981- Distributions and origins of clay minerals and quartz in surface sediments of the Arabian Sea, *Jour. Sediment. Petrol.* V. 51, p. 563-569.
- Konyukhov, A. I. & Maleki, B., 2006- The Persian Gulf Basin: Geological History, Sedimentary Formations, and Petroleum Potential, *Lithology and Mineral Resources*, v. 41, p. 344-361.
- Lees, G. M. & Falcon, N. L., 1952- The geographical history of the Mesopotamian plains, *Geogr. Jour.*, v. 118, p. 24-39.
- 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, p. 307-324.
- Marchand, C., Lallier-Verges, E. & Baltzer, F., 2003- The composition of sedimentary organic matter in relation to the dynamic features of a mangrove Fringed coast in French Guiana, *Estuarine, Coastal and shelf Science*, v. 56, p. 119-130.
- Meshal, A. H. & Hassan, H. M., 1986- Evaporation from the coastal waters of the central part of the Gulf, Persian Gulf, *Sci. Res.*, v. 4, p. 649-655.



- Meyers, p. & Verges, E. L., 1999- Lacustrine sedimentary organic matter records of Late Quaternary paleoclimates, *Journal of Paleolimnology*, v.21, p. 345-372.
- Meyers, P. A., 1997- Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes, *Organic Geochemistry*, v.27, p. 213-250.
- Meyers, P. A., 2003- Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstruction: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes, *Organic Geochemistry*, v. 34, p.261- 289.
- Milliman, J. D. & Meade, R. H., 1983- World - wide delivery of river sediment to the Oceans, *Geology*, v. 91, p. 1-21.
- Paropkari, A., Prakash, C. & Mascarenhas, A., 1993- New evidence for enhanced preservation of organic carbon in content with oxygen minimum zone on the Western continental slope of India, *Marin geology*, v. 111, p. 7-13.
- Patience, A. J., Lallier-Verges, E., Alberic, P., Desprairies, A. & Tribouvillard, N., 1996- Relationships between organo-mineral and early diagenesis in the Lacustrine environment: A study of surficial sediments from the Lac du Bouchet (France), *Quaternary Science Reviews*, v. 15, p. 213-221.
- Peters, K. E., 1986- Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis, *AAPG Bulletin*, v.70, p. 318-329.
- 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, p. 42-52.
- Reynolds, R. M., 2002- Oceanography, In: Khan et al., (Eds.), *The Gulf Ecosystem: Health and Sustainability*, Backhuys Publishers, Leiden, p. 53-64.
- Saad, M. A. H., 1982- Distribution of nutrient salts in the lower reaches of the Tigris and Euphrates, Iraq, *Water Supply and Management*, v. 6, p. 443-453.
- Sanei, H. & Goodarzi, F., 2006- Relationship between organic matter and mercury in recent lake sediment. The physical- geochemical aspects, *Applied Geochemistry*, v. 21, p.1900-1912.
- Sheppard, C., Price, A. & Roberts, C., 1992- Marine ecology of the Arabian region, *Academic Press*, London, 360p.
- Sifeddine, A., Gutierrez, L., Ortlieb, L., Boucher, H., Velasco, F., Field, D., Vargas, G. & Boussafir, M., 2008- Laminated sediments from the central Peruvian continental slope: A 500 year record of upwelling system productivity, terrestrial run off and redox conditions, *Progress in Oceanography*, v. 79, p. 190- 197.
- Stampfli, G., Marcoux, J. & Baud, A., 1991- Tethyan Margins in Space and Time, *Paleogeogr. Paleoclimat. Palaeoecol.*, v. 87, p. 373-409.
- Suess, E., Kulm, L. D. & Killingley, J. S., 1987- Coastal upwelling and a history of organic- rich mudstone deposition off Peru. In: Brooks, J. & Fleet, A. J. (Eds.), *Marine Petroleum source rocks*, *Geol. Soc. London, Spec. Pub.*, v. 26, p. 181- 197.
- Swift, S. A. & Bower, A. S., 2003- Formation and circulation of dense water in the Persian Gulf, *Jour. Geophys. Res.*, v. 108, p. 1-21.
- Talling, J. F., 1980- Water characteristics. In: Rzoska, J. (Eds.), *Euphrates and Tigris: Mesopotamian Ecology and Destiny*, *Monographiae Biologicae*, v. 38, p. 63-86.
- Tyson, R. V., 1995- *Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies*, Chapman & Hall, London, 615p.
- Valdes, J., Vargas, G., Sifeddin, A., Ortlieb, L. & Guinez, M., 2005- Distribution and enrichment pollution of heavy metals in Mejillones Bay, Northern Chile: Geochemical and statistical approach, *Marin pollution Bulletin*, v. 50, p. 1558-1568.
- Wagner, T. & Dupont, L. M., 1999- Terrestrial organic matter in marine sediments: Analytical approaches and Eolian-marine records in the central Equatorial Atlantic. In: Fischer, G., and Wefer, G., (Eds.), *Use of proxies in paleoceanography*, Springer, Berlin, p.547-574.
- Waples, D. W., 1985- *Geochemistry in petroleum exploration*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland/ Boston- U.S.A, 232p.
- Waseda, A., Didyk-Borys, M. & Kajiwara, Y., 1995- Carbon isotope compositions of organic matter from the Chile continental margin, In: Lewis, S. D., Behrmann, J. H., Musgrave, R. J. & Cande, S. C. (Eds.), *Proceedings of the ocean drilling program*, *Scientific Results*, v. 141, p. 299-305.
- Wells, D., 2004- Total organic carbon in Maryland coastal Bays sediments: status of a regulator of chemical and biological processes, In: Wazniak, C. E. & Hall, M. R., (Eds.), *Marylands coastal Bays: Ecosystem Health Assessment*, Maryland Department of Natural Resources, *Tide water Ecosystem Assessment*, Annapolis, 380p.
- Ziegler, M., 2001- Late Permian to Holocene Paleofacies Evolution of the Arabian Plate and Its Hydrocarbon Occurrences, *Geo Arabia*, v. 6, p. 1-54.

# Organic Geochemistry of Khowr-e-Mussa's Sediments and its Adjacent Marine Areas, Northwest of the Persian Gulf

R. Behbahani <sup>1\*</sup>, R. Lak <sup>2</sup>, N. Chanani <sup>3</sup> & G. Hosseinyar <sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>3</sup> M. Sc., National Iranian South Oil Company, Ahvaz, Iran

<sup>4</sup> Ph.D. Student, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2011 May 03

Accepted: 2012 May 09

## Abstract

In order to study of organic geochemistry of bed sediments in Khowr-e-Mussa and its adjacent marine areas, 61 surface sediment samples were collected. Based on granulometric analysis of the sediments, 4 major sedimentary types comprising mud, sandy mud, muddy sand, and slightly gravelly muddy sand were determined. The bed sediments are mainly composed of terrigenous (quartz, feldspar, rock fragments, carbonate lithics and clay minerals) and chemical – biochemical (bivalve, gastropod, foraminifera, ostracod and bryozoa) particles. Based on the organic geochemistry studies, the total organic carbon (TOC) varies from 0.11 to 0.70 %wt, which increases in the muddy sediments. The studied kerogens (based on  $S_2/TOC$  diagram) indicate that the kerogen types III (%33) and mixture of III-II (%55) are the most abundant. In addition, the hydrogen index versus  $T_{max}$  diagram, revealed the similar results. The studied kerogens indicated that this part of the Persian Gulf affected by the transportation of terrestrial (fluvial, III type) rather than the marine organic matter (II type).

**Keywords:** Organic Geochemistry, Persian Gulf, Khowr-e-Mussa, Kerogen, Terrestrial Organic Matter, Total Organic Carbon.

For Persian Version see pages 55 to 66

\*Corresponding author: R. Behbahani: E-mail: rezabehbahani30@yahoo.com