

## رسوب‌شناسی و زمین‌شیمی رسوبات ساحلی خلیج پزم، جنوب خاوری ایران

محی‌الدین احراری رودی

استادیار گروه اقیانوس‌شناسی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران

نویسنده مسئول: M.Ahrari@emu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۰

نوع مقاله: پژوهشی

### چکیده

منطقه مورد مطالعه در شمال باختر شهرستان چابهار و جنوب خاوری ایران، در بخش ساحلی منشور برافزایشی مکران واقع شده است. هدف از انجام این پژوهش بررسی رسوب‌شناسی و زمین‌شیمی رسوبات ساحلی خلیج پزم به منظور بررسی غنی‌شدگی غلظت زمینه‌ای فلزات سنگین و تغییرات سطح آب دریا منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بیشینه عمق خلیج پزم ۲۰ متر می‌باشد. در این پژوهش ابتدا، مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی (شامل جمع‌آوری مجموعه نقشه‌ها، مقالات، کتاب‌ها و تحقیقات مرتبط با موضوع پژوهش) انجام شد. سپس در بازدیدهای میدانی، با استفاده از مغزه‌گیر اوگر (Euger) دو عدد مغزه رسوبی از رسوبات هولوسن در محدوده کم عمق ساحلی و زیر حد جزرومدی در خلیج پزم برداشت شد. نمونه‌برداری به روش سیستماتیک از تمام بخش‌های مغزه رسوبی به تعداد ۲۲ نمونه انجام شد که این نمونه‌ها مورد تجزیه و تحلیل رسوب‌شناسی (دانه‌بندی، تعیین تیپ رسوبی، رسم نمودارهای مختلف، شناسایی اجزای متشکله و تعیین رخساره‌های رسوبی) و زمین‌شیمی (بررسی‌های کانی‌شناسی به روش میکروسکپی، تعیین درصد فراوانی عناصر با روش تجزیه عنصری ICP-OES، تعیین درصد کربنات‌ها با دستگاه کلسی‌متر خودکار) قرار گرفتند. نتایج دانه‌بندی رسوبات نشان می‌دهد اندازه ذرات غالباً در حد رس تا سیلت و مقادیر کمتری ماسه و گراول می‌باشد که در برخی افق‌ها ذرات در اندازه ماسه و گراول مقادیر بیشتری نشان می‌دهد. ذرات گراولی عمدتاً مرتبط با خرده‌های اسکلتی بوده و میزان کربنات در رسوبات بین ۱۷ تا ۸۴ درصد متغیر است. نتایج تجزیه و تحلیل عنصری نیز حاکی از آن است که کانی‌های تخریبی تشکیل دهنده رسوبات، شامل کوارتز، فلدسپات، مسکوویت، پیروکسن، آلبیت و کانی‌های رسی کائولینیت، کلریت، و ایلیت هستند. فراوانی عناصر به‌ویژه آلومینیوم، منیزیم، منگنز، کروم، باریوم با تغییرات سطح آب دریا ارتباط معکوس و دو عنصر کلسیم و استرانسیوم که معرف رسوبات درون حوضه‌ای است، با تغییرات سطح آب دریا ارتباط مستقیم دارند. نتایج معادل‌سازی سن تقریبی توالی رسوبی نشان می‌دهد دو فاز مهم پیشروی و بالا آمدن سریع سطح آب دریا در محدوده زمانی از ۲۱۰۰ تا ۲۸۰۰ و نیز از ۴۹۰۰ تا ۵۸۰۰ سال قبل رخ داده است.

واژگان کلیدی: دریای عمان، خلیج پزم، زمین‌شیمی، چابهار، مغزه رسوبی

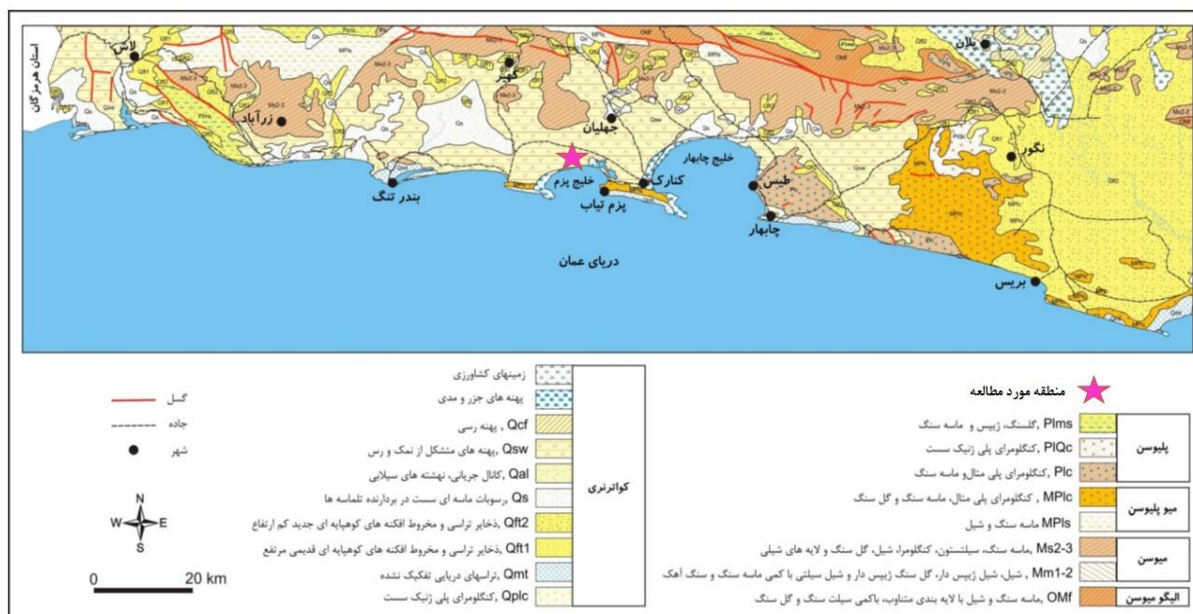
### ۱- پیشگفتار

بخش وجود مجموعه‌های افیولیتی، نهشته‌های رسوبی با رخساره فلیش و عدم برونزد سنگ‌های قدیمی‌تر از کرتاسه است (مک‌کال، ۱۹۹۷). مجموعه افیولیتی منطقه، بیشتر به صورت نوارهای باریک و کم و بیش پیوسته‌ای هستند که اغلب در امتداد گسل‌های طولی اصلی رخنمون دارند (ژاکوب و همکاران، ۱۹۷۹). از طرف دیگر، منطقه مورد مطالعه از جمله مناطقی است که به دلیل شرایط خاص اقلیمی و زمین‌شناسی از جمله نوسانات سطح آب دریا در طی زمان‌های مختلف زمین‌شناسی، فرایندهای هوازدگی و فرسایش و نیز فعالیت‌های زمین‌ساختی ناشی از فرورانش سنگ‌کره عمان و بالا آمدگی سنگ‌کره مکران، ساختارهای منحصر به فردی داشته و به طور عمده از سنگ‌های رسوبی

منطقه مورد مطالعه در بین عرض‌های جغرافیایی  $25^{\circ} 20' 34''$  N تا  $25^{\circ} 23' 20''$  N و طول‌های جغرافیایی  $60^{\circ} 10' 50''$  E تا  $60^{\circ} 20' 24''$  E در شمال خاوری بندر چابهار واقع در جنوب استان سیستان و بلوچستان و در بخش ساحلی منشور برافزایشی مکران واقع شده است (شکل ۱). از دیدگاه زمین‌شناسی این محدوده در منطقه مکران قرار دارد. منطقه مکران از لحاظ ساختاری به دو بخش بیرونی (ساحلی) و درونی تقسیم می‌شود. منطقه مورد مطالعه در بخش بیرونی قرار دارد، البته گستره‌ی منطقه‌ی زمین‌ساختاری مکران ساحلی وسیع‌تر از عرصه‌ی انتخاب شده است (شکل ۲). از ویژگی‌های عمومی این

سنگی پلیوسن و واحدهای سنگی کواترنر تشکیل شده است که تحت عنوان واحدهای نفوژن و کواترنری شناخته می‌شوند (آقنابتی، ۱۳۸۹). نهشته‌های کواترنر در مکران ساحلی، رسوبات پس از پلیوسن هستند که در ستون چینه‌شناسی روی کنگلومرای پلیوسن قرار می‌گیرند (آقنابتی، ۱۳۸۹). رسوبات آبرفتی هولوسن در سراسر منطقه ساحلی گسترش دارند. بخش مهم دیگری از رسوبات موجود در منطقه مورد مطالعه نهشته‌های رسوبی خورها در منطقه است (شکل ۱).

آواری تشکیل شده است (فرهودی و کریج، ۱۹۷۷). وضعیت زمین‌شناسی خلیج پزم به طور خلاصه نتیجه تجمع پیوسته رسوبات از زمان کرتاسه به بعد است (آقنابتی، ۱۳۸۹). واحدهای سنگی مختلف در منطقه‌ی ساحلی و خشکی‌های مشرف به دریا عبارتند از واحدهای مارنی به سن میوسن، واحدهای مارنی و ماسه‌سنگی میوسن-پلیوسن، رسوبات ماسه‌ای و سیلتی مخروط‌افکنه-ها و رسوبات حاوی صدف‌های جانوری. به طور کلی توالی چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه از چهار بخش واحدهای سنگی میوسن، واحدهای سنگی میو-پلیوسن، واحدهای



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی خلیج پزم با نمایش منطقه مورد مطالعه (خلاصه شده بر اساس نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ چاپهار و پیوشک)

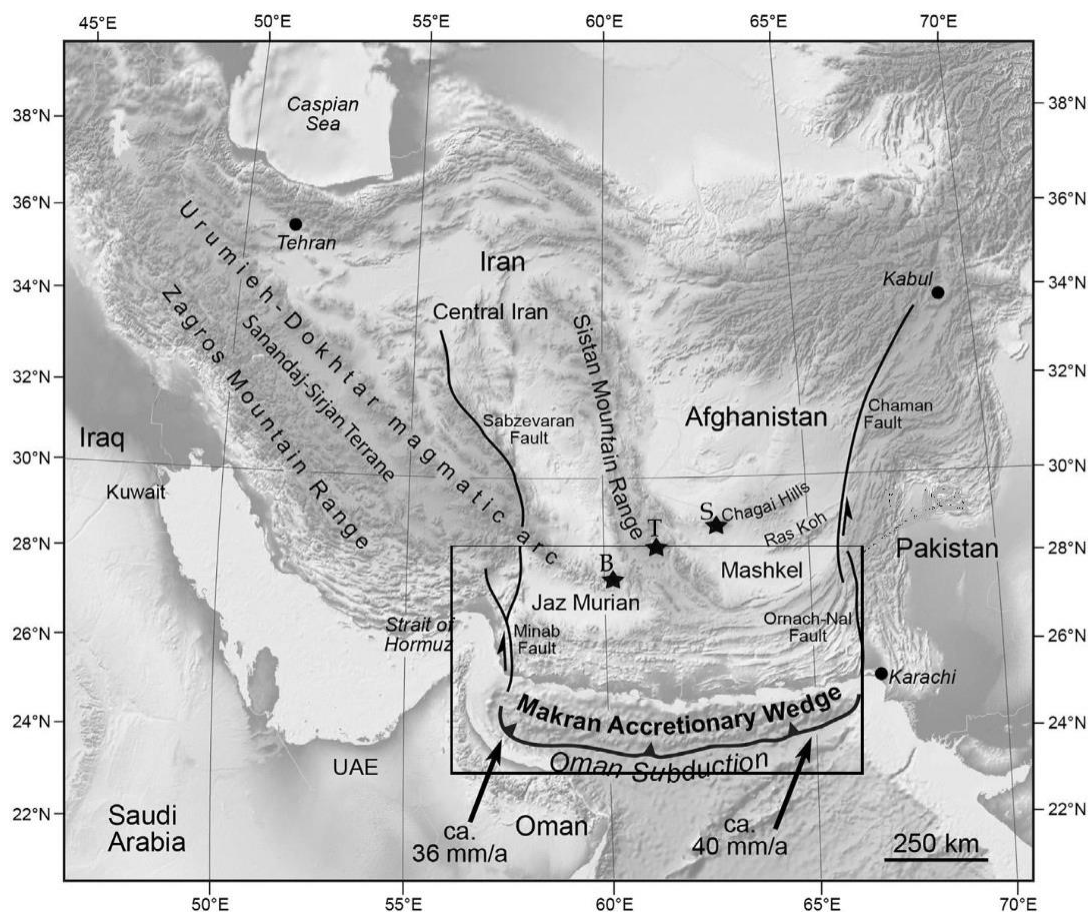
صفحه عربی به سمت شمال در حرکت است و به زیر سنگ‌کره قاره‌ای اوراسیا فرو می‌رود. نرخ حرکت دو ساحل عربی و مکران در اندازه‌گیری‌های زمین‌سنجی دقیقاً بین مسقط و عمان ۱/۹ سانتی‌متر در سال اندازه‌گیری شده است در حالی که نرخ همگرایی امروزی بین ساحل مکران در محل چاپهار و اورازیا حدود ۸ میلی‌متر در سال اندازه‌گیری شده است (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴؛ دولتی، ۲۰۱۰؛ دولتی و بورگ، ۲۰۱۳).

ریخت‌شناسی خلیج‌های سواحل مکران تحت تاثیر تکنونیک پلیو-پلیستوسن برجسته شده، گرچه فرسایش و رسوب‌گذاری‌ها این عوارض سطحی را تعدیل کرده است (کسلر، ۱۹۷۳؛ آلشهران و کندال، ۲۰۰۳؛ مروتی، ۱۳۸۴).

میزان چین‌خوردگی‌ها که در بخش‌های ساحلی شدید است (شیب ۵۰ درجه و بیشتر) که با شیب‌های کمتر به طرف دریا ادامه دارد به گونه‌ای که در دریا به ۱۰ تا ۲۰ درجه می‌رسد (آقنابتی، ۱۳۸۹). محور اصلی خلیج نیز یکی از پیامدهای زمین‌ساختی رخداد چین‌خوردگی مکران است که در زمان پلیو-پلیستوسن شکل گرفته است (آقنابتی، ۱۳۸۹). از طرفی ساختار امروزی این ناحیه نتیجه فرایندهای زمین‌ساختی عمده‌ای است که در زمان ترشیاری پسین رخ داده است. بستر و کرانه‌های خلیج پزم همچنان از نظر زمین‌ساختی فعال‌اند. پهنه مکران در واقع یک منشور برافزایشی است که در فرادیواره یک زون فرورانش کم عمق قرار دارد (شکل ۲). لیتوسفر اقیانوسی

و پهنه‌های ساحلی و در ارتباط با رودخانه‌هایی است که از کوه‌های زاگرس نشأت می‌گیرند (پورسر و سی‌بولد، ۱۹۷۳) و شامل رسوبات تخریبی به همراه رسوبات کربناته هستند (آفرین و حمزه، ۱۴۰۰). خلیج پزم با بیشینه عمق ۲۰ متر با انرژی متوسط تا ضعیف بوده و در این منطقه گل کربناته ریزدانه و رسوبات ماسه کربناته در بستر کم عمق تجمع یافته‌اند (ساکت و اعتماد شهیدی، ۲۰۱۲، هوبولت، ۱۹۵۷، پورسر و سی‌بولد، ۱۹۷۳؛ الشهران و کندال، ۲۰۰۳؛ کریمی و همکاران، ۲۰۲۰). هدف از انجام این پژوهش بررسی رسوب‌شناسی و زمین‌شیمی رسوبات ساحلی خلیج پزم به منظور شناسایی نوسانات سطح آب دریا در مقیاس محلی می‌باشد.

به عنوان مثال کاهش سطح آب دریا تا حدود ۱۲۰- متر در طی پلیوستوسن، حدود ۲۰ هزار سال قبل، باعث رخنمون یافتن این خلیج شده و رودخانه‌ها در بستر خود به حفر و گسترش کانال‌ها حوضه آبریز پرداخته‌اند (کسلر، ۱۹۷۳؛ الشهران و کندال، ۲۰۰۳؛ ویجرمارس، ۱۹۹۹). خلیج چابهار در عرض‌های پایین و در منطقه گرمسیری واقع است و توزیع رسوبات آن توسط عوامل مختلفی کنترل می‌شود که شامل: آب و هوای خشک، تأثیر موج‌های با انرژی کم و یا زیاد، راستای سواحل نسبت به بادهای شمال باختر (شمال) و وجود یا نبود جزایر سدی در بخش دور از ساحل، می‌باشند (سالاریان و همکاران، ۲۰۲۰). خطوط ساحلی ایران اغلب خطی و سنگی به همراه خورها



شکل ۲. مقدار فرورانش زون زمین‌ساختاری مکران (ورنات و همکاران، ۲۰۰۴؛ تاتار و همکاران، ۲۰۰۴؛ واکر و جکسون، ۲۰۰۲؛ واکر و همکاران، ۲۰۰۴)

## ۲- روش مطالعه

مطالعه شد. سپس با انجام بازدیدهای صحرائی، عملیات نمونه‌برداری به روش سیستماتیک و ثبت شواهد صحرائی صورت گرفت. در این مرحله دو مغزه‌ی رسوبی به ترتیب با طول‌های ۶۵۰ و ۶۴۵ سانتی‌متری (مجموعاً به طول ۱۲۹۵ سانتی‌متر) با استفاده از مغزه‌گیر دستی (Euger) از

روش‌های مطالعاتی در این پژوهش بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی، مطالعات صحرائی، مطالعات آزمایشگاه، تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری بوده است. ابتدا با مطالعه پژوهش‌های قبلی، پیشینه تحقیق جمع‌آوری و

خورهای منطقه صورت گرفت. تعداد ۲۲ نمونه از قسمت‌های مختلف مغزه‌های رسوبی به روش سیستماتیک و فواصل ۶ سانتی‌متری تهیه و در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی گردید. مشخصات نمونه‌های جمع‌آوری شده شامل منطقه برداشت نمونه، طول و عرض جغرافیایی، عمق برداشت و توصیف موقعیت برداشت هر نمونه ثبت شد. مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری در منطقه ساحلی خلیج پزم در باختر نوار ساحلی جنوب استان سیستان و بلوچستان انجام شده است (شکل ۳).

منطقه کم عمق ساحلی خلیج پزم با مختصات جغرافیایی  $N 25^{\circ} 22' 14''$  &  $E 60^{\circ} 20' 28''$  و  $N 25^{\circ} 21' 36''$  &  $E 60^{\circ} 19' 15''$  برداشت شد. برای حفظ بافت رسوبات و مطالعه ساختار رسوبی مغزه‌ها، نمونه‌ها به صورت سالم در اندازه‌های ۱۰۰ سانتی‌متری دسته‌بندی گردید. سپس ویژگی‌های فیزیکی و ظاهری رسوبات مانند رنگ، ساخت، نوع تماس و محتوای داخل رسوبات ثبت، توصیف و مورد عکسبرداری قرار گرفت. با توجه به اینکه رسوبات ساحلی مورد مطالعه متأثر از فرایندهای زمین‌ساختی و رسوبگذاری می‌باشند، نمونه‌برداری هم از بخش ساحلی و هم دهانه



شکل ۳. موقعیت مغزه‌های رسوبی برداشت شده در منطقه مورد مطالعه

و نیز عدم خرد شدن پوسته‌های صدفی نمونه به مدت ۱۵ دقیقه در همزن فراصوتی قرار داده شدند. سپس نمونه در داخل یک سری غربال مدل Analysette 30 قرار گرفته و به روش تر به مدت ۳۰ دقیقه اندازه‌های مختلف دانه‌ها از یکدیگر جدا شدند. سری غربال استفاده شده شامل تعداد شش غربال که از بالا به پایین در اندازه‌های ۲ میلی‌متر، ۱ میلی‌متر، ۵۰۰ میکرون، ۲۵۰ میکرون، ۱۲۵ میکرون و ۶۳ میکرون می‌باشند. این نمونه‌ها پس از خشک شدن در داخل آون با ترازوی دیجیتال توزین شده (تاکر، ۱۹۸۸) و برای دانه‌بندی ذرات بالای ۶۳ میکرون از سری غربال و

نمونه‌های رسوبی توسط قاشق پلاستیکی یک بار مصرف از مغزه‌ها و به ضخامت حدود ۶ سانتی‌متر جدا شدند. روش آماده‌سازی نمونه‌ها و نحوه انجام آزمایشات بر اساس دستورالعمل‌های ذکر شده توسط لوپس و مک‌کونچی (۱۹۹۴) انجام گرفت. در ادامه جهت مطالعات رسوب‌شناسی و بررسی بافتی و کانی‌شناسی نمونه‌ها، ذرات درشت‌تر از ۲۵۰ میکرون انتخاب و با استفاده از میکروسکوپ مورد مطالعه قرار گرفتند (تاکر، ۲۰۰۱). در این مرحله ۲۰۰ گرم از هر نمونه جدا شده و به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفت تا دانه‌های چسبیده از همدیگر جدا گردند. سپس برای جلوگیری از اتصال رس‌ها

مناطق کم‌عمق خلیج دارای مقادیر بیشتری (بیش از ۵۰ درصد کل رسوبات) می‌باشد (پورسر و سی‌بولد، ۱۹۷۳، داسل و همکاران، ۲۰۰۹؛ لک و همکاران، ۲۰۲۰). افزایش رسوب‌گذاری کربنات‌ها از آب دریا با رسوبات مارنی که اغلب در شمال‌باختری خلیج پزم رخنمون دارند، در ارتباط است (برور و دیرسن، ۱۹۸۵). افزایش تولید رسوبات اسکلتی در طرف باختری خلیج پزم باعث دانه درشت‌تر بودن ذرات این بخش می‌شود. همچنین سهم رسوبات غیرکربناته در گل‌های سواحل ایرانی بیشتر (معمولاً بیش از ۲۰ درصد) بوده و درحالی‌که در سمت جنوبی خلیج بین صفر تا ۱۰ درصد است (بالت زر و پورسر، ۱۹۹۰). بررسی‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که نوع رسوبات و همچنین کانی‌شناسی آن‌ها در بخش‌های مختلف خلیج پزم متفاوت است. به عنوان مثال رسوبات موجود در بخش‌های شمالی شامل کانی‌های رسی و کلسیت با منیزیم پایین، رسوبات بادی و ماسه، کربنات‌های عهد حاضر شامل الیید، پلت، گل و آراگونیت که به طور تهنشینی مستقیم تشکیل می‌شوند و رسوبات ژیبسی که به صورت اولیه و ثانویه متأثر از آب‌های زیرزمینی بر انیدریت موجود در رسوبات تبخیری منطقه تشکیل می‌شوند. جنس رسوبات بادی عمدتاً کربناته بوده و مقدار آن در ترک‌های ریز موجود در سطح رسوبات افزایش می‌یابد (صالح و همکاران، ۱۹۹۹؛ موسوی‌حرمی، ۱۳۹۳). از نظر زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی می‌توان گفت که گسل‌های سه‌گانه عادی، معکوس و مزدوج در پهنه مکران، بیانگر تغییر بنیادی در خصوصیات ویژگی‌های جغرافیای دیرینه، تاریخ رسوب‌گذاری، ریخت‌شناسی و لرزه‌خیزی این ناحیه می‌باشد (آقناباتی، ۱۳۸۹). گسل‌های مذکور با سازوکارهای متفاوت و در مقیاس‌های مختلف عمل کرده و با روندهای متقاطع و موازی واحدهای سنگی را دچار بریدگی و خردشدگی کرده‌اند. خردشدگی زمین‌ساختی باعث افزایش فرسایش‌پذیری واحدهای سنگی و تشکیل واریزه‌های مخروطی در منطقه شده است (لک و همکاران، ۲۰۲۰). پیش‌بینی می‌شود که همین عامل در آینده نیز باعث افزایش نرخ رسوب‌زایی این منطقه گردد. بدیهی است رسوبات حاصل منشأ اصلی رسوبات آواری وارده به حوضه خلیج پزم می‌باشد. ریخت‌شناسی خلیج پزم توسط زمین‌ساخت پلیو-پلیوستوسن شکل گرفته است،

برای ذرات زیر ۶۳ میکرون از دستگاه دانه‌بندی لیزری<sup>۱</sup> بر اساس اصول فیزیکی تفرق یا پراش امواج الکترومغناطیسی در تعیین توزیع اندازه ذرات استفاده شد (ایتویتسکی، ۱۹۹۱). سپس به منظور انجام مراحل تجزیه زمین‌شیمی، نمونه‌های تهیه شده، ابتدا خرد شده و تحت مطالعات کانی‌شناسی و ICP-OMS جهت تعیین غلظت عناصر اصلی و فرعی قرار گرفتند (رآئو و همکاران، ۲۰۰۰). تمامی مراحل آزمایشگاهی رسوبات در مجتمع آزمایشگاهی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور واقع در شهرستان کرج انجام گرفت. تجزیه شیمیایی نمونه‌ها توسط ICP-OMS مدل JY70 PLUS و ICP-Optical و Emission Spectrometer مدل Varian 735-ES انجام شد. تلاش زیادی صورت گرفت که تعداد ۵ نمونه تعیین سن‌سنجی زمین‌شناسی صورت گیرد که متأسفانه به علت تحریم میسر نشد، لذا تعیین سن تقریبی، به صورت معادل‌سازی سنی توالی رسوبی تحقیقات جدید و دقیق مانند تحقیقات غریب‌رضا و همکاران (۱۳۸۴) و لک و تقی‌زاده (۱۳۹۰) استفاده شد. در نهایت نتایج حاصل از مطالعات انجام شده جمع‌بندی، مقایسه و پردازش‌های کامپیوتری قرار گرفت و تفسیر، تحلیل و نتیجه‌گیری‌های لازم انجام گرفت.

### ۳- بحث

در این بخش ابتدا به بیان مهم‌ترین نتایج حاصل از پیشینه تحقیقات قبلی بیان گردیده و سپس به بحث در پژوهش حاضر پرداخته شده‌است.

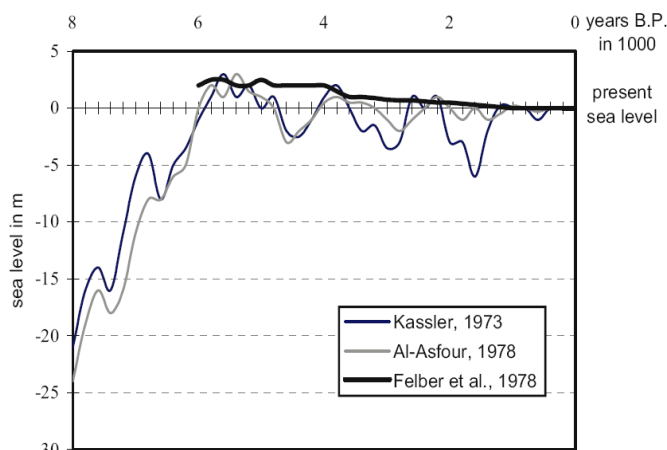
#### ۳-۱- مختصری از تاریخچه مطالعات قبلی

براساس تاریخچه پژوهش‌های قبلی، بررسی رسوبات سطحی بستر خلیج پزم در محدوده مورد مطالعه، بیانگر آن است که به جز بخش شمال باختر، در سایر مناطق رسوبات کربناته بیش از رسوبات آواری وجود دارد (لک و همکاران، ۲۰۲۰). ذرات آواری ریزدانه و معمولاً در ابعاد سیلت و رس می‌باشند. گل‌های کربناته در اندازه‌های سیلت و رس ته‌نشست نموده یا کربنات‌های بیوشیمیایی به صورت خرده‌های اسکلتی غالباً در اندازه‌های گراول وجود دارد. خلیج پزم غنی از رسوبات کربناته و اغلب غیرزیستی است (لک و همکاران، ۲۰۲۰). کربنات‌ها در

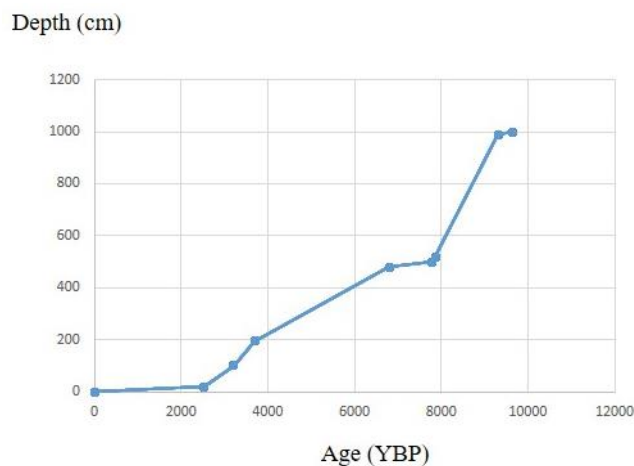
<sup>1</sup> Laser Particle Sizer

۱۹۹۹؛ دولتی، ۲۰۱۰؛ کائو و همکاران، ۲۰۲۰). بعد از LGM سطح آب دریا به سمت حوضه پیشروی کرد و در حدود ۴ الی ۶ هزار سال قبل به بیشینه آن یعنی به طور تقریبی ۱ تا ۳ متر بالاتر از سطح کنونی خود رسید (کسلر، ۱۹۷۳؛ العصفور، ۱۹۷۸؛ فلبر و همکاران، ۱۹۷۸؛ اوچویی و همکاران، ۱۹۹۶) (شکل‌های ۴ و ۵).

گرچه فرایندهای فرسایش و رسوب‌گذاری، این عوارض سطحی را تعدیل نموده است (کسلر، ۱۹۷۳). به عنوان مثال، کاهش سطح آب دریا تا حدود ۱۲۰- متری در طی پلیوستوسن و بیشینه آخرین دوره یخچالی (LGM) یعنی حدود ۱۸ تا ۲۱ هزار سال قبل، باعث شد که تمام خلیج یزم رخنمون یابد و رودخانه‌ها در دامنه‌هایشان به حفر کانال‌های خود بپردازند (کسلر، ۱۹۷۳؛ ویجزمارس،



شکل ۴. منحنی تغییرات جهانی سطح آب دریاها (برگرفته از اوچویی و دیگران، ۱۹۹۶)



شکل ۵. نمودار معادل‌سازی نتایج سن‌سنجی رسوبات منطقه مورد مطالعه (اقتباس با اندکی تغییر از لک، ۱۳۹۰)

نرم‌تان دیده شدند (شکل‌های ۶ و ۷). مغزه رسوبی شماره ۲ به طول ۶/۵ متر در موقعیت جغرافیایی طول ۶۰ درجه، ۱۹ دقیقه و ۱۵ ثانیه خاوری و عرض ۲۵ درجه، ۲۲ دقیقه و ۱۴ ثانیه شمالی قرار گرفته است. در این مغزه نیز در بخش‌های سطحی زمین کانی‌های تبخیری مثل ژپیس و هالیت، افق‌های قرمز رنگ، خرده‌های پوسته فسیلی، لامینه‌های سیاه‌رنگ و خرده‌های ریزفسیلی دیده شد (شکل‌های ۶ و ۷). از نظر رسوب‌شناسی چهار تیپ رسوبی شامل ماسه‌گلی با کمی گراول، گل‌ماسه‌ای گراولی،

### ۳-۲- رسوب‌شناسی

درازای مغزه رسوبی شماره یک پیرامون ۶۴۵ سانتی‌متر می‌باشد. این مغزه در خلیج یزم که موقعیت جغرافیایی آن با طول ۶۰ درجه، ۲۰ دقیقه و ۲۸ ثانیه خاوری و عرض ۲۵ درجه، ۲۱ دقیقه و ۳۶ ثانیه شمالی قرار گرفته است، برداشت شد. در این مغزه در بخش‌های سطحی آن رسوبات تبخیری و خرده‌های پوسته فسیلی فراوان گسترش یافته است. همچنین در بخش‌های عمقی آن لایه‌های دارای افق‌های قرمز رنگ، لامینه‌بندی و خرده‌های فسیلی به ویژه

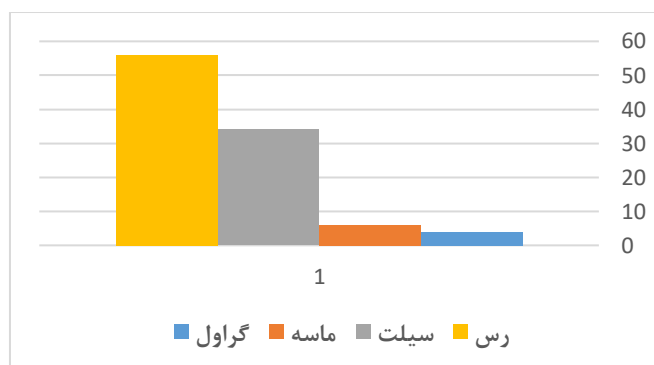
با تیپ رسوبی گل‌ماسه‌ای با کمی گراول به همراه مواد آلی و به صورت لامیناسیون و رخساره ۳ با تیپ رسوبی گل‌گراولی به رنگ قهوه‌ای تا کرم و رسوبات غیردریایی. که رخساره‌های ۱ و ۳ مربوط به بخش‌های بالای جزرومدی و رخساره ۲ مربوط به بخش بین جزرومدی می‌باشند.

بر اساس مطالعات رسوب‌شناسی صورت گرفته و بررسی اندازه رسوبات با توجه به نمودار مثلی فولک (۱۹۷۴) در رسوبات منطقه مورد مطالعه ۷ تیپ رسوبی (شامل ماسه‌گلی با کمی گراول، ماسه‌گلی با کمی گراول، گل‌ماسه‌ای با کمی گراول، گل‌ماسه‌ای با کمی گراول، گل‌ماسه‌ای گراولی، گل با کمی گراول و گل با کمی گراول) شناسایی شد که تیپ غالب رسوبات گل‌ماسه‌ای می‌باشد. البته رسوبات ساحلی عمدتاً تیپ ماسه‌ای دارند. این تیپ‌های رسوبی به دو دسته رخساره‌ای شامل رخساره‌های دسته اول (ماسه‌گلی با کمی گراول و ماسه‌گلی با کمی گراول) و رخساره‌های دسته دوم (ماسه‌گلی با کمی گراول و ماسه‌گلی با کمی گراول) تقسیم شدند. بررسی‌های دانه‌بندی رسوبات (شکل ۹) نشان‌دهنده‌ی آن است که اجزاء تخریبی رسوبات در حد ماسه، سیلت و رس هستند که از فرسایش سازندهای بالادست و حمل توسط رودخانه‌ها یا فرایندهای باد وارد حوضه رسوبی شده‌اند. عوامل محیطی مختلف نظیر عمق، درجه حرارت، درجه شوری، بستر زیست و میزان آشفستگی، پراکندگی و گسترش موجودات در محیط‌های کربناته با شناسایی ذرات اسکلتی کنترل می‌شوند (موسوی‌حرمی و خاوری، ۱۳۸۴؛ ابی، ۲۰۰۵). رسوبات منطقه مورد مطالعه با افزایش مقدار جورشدگی در رسوبات، مقدار کج‌شدگی به سمت حالت تقارن نزدیک‌تر می‌شود. تجزیه نمونه‌های رسوبی برداشت شده نشان می‌دهد که ماسه‌های ساحلی دارای جورشدگی خوب و کج‌شدگی منفی و ماسه‌های تپه‌های ماسه‌ای دارای کج‌شدگی مثبت می‌باشند که احتمالاً وجود مقادیر کمی از قطعات خرده‌های فسیلی در ماسه‌های ساحلی علت این موضوع باشد. ذرات آواری از قبیل کوارتز، فلدسپار، کربنات تخریبی و ذرات بیوشیمیایی که عمدتاً قطعات صدف‌های دوکفه‌ای هستند از دیگر اجزاء تشکیل دهنده رسوبات می‌باشند. علاوه بر اجزای اسکلتی و غیراسکلتی در مغزه‌های رسوبی در بخش‌های مختلف این مغزه‌ها مواد آلی، کانی‌های تبخیری شامل ژئپس و هالیت، قطعات چوب، لامینه‌بندی گلی و افق‌های قرمز رنگ مشاهده

گل‌ماسه‌ای با کمی گراول، و گل‌ماسه‌ای با کمی گراول تشخیص داد شد. همچنین ذرات دارای کج‌شدگی مثبت، جورشدگی خیلی بد و کشیدگی پهن تا متوسط می‌باشند و خرده‌های ریزفسیلی که پوسته آن‌ها یک لایه آهکی گرفته‌اند دیده شدند که نشانه افزایش عمق آب دریا می‌باشد (شکل ۱۱). بررسی‌های انجام شده بر روی رسوبات دو مغزه تهیه شده از بخش کم عمق ساحلی حاکی از آن است که بیش از ۵۰ درصد از رسوبات در تمام مغزه تهیه شده، دارای جنس کربناته بوده و عمدتاً شامل کلسیت با منیزیم بالا (مقدار منیزیم بیش از یک درصد)، آراگونیت و مقداری دولومیت می‌باشد. از بین کانی‌های کربناته نیز کلسیت با میانگین ۵۲ درصد و البته با محدوده تغییرات بین ۲۱ تا ۷۷ درصد در کل رسوبات، بیش‌ترین مقدار و آراگونیت بین صفر تا ۴۰ درصد و میانگین حدود ۱۸ درصد در رتبه بعدی قرار گرفته که مقدار آن از عمق ۲۳۵ سانتی متری به صفر می‌رسد که علت آن می‌تواند تأثیر پدیده‌های سنگ‌شدگی و تبدیل آراگونیت به کلسیت باشد. کوارتز و دولومیت با میانگین حدود ۱۰ درصد از لحاظ فراوانی پس از کلسیت و آراگونیت دارای اهمیت می‌باشند. پس از آن فلدسپات و کانی‌های رسی با میانگین حدود ۷ و ۵ درصد حائز اهمیت می‌باشند. مسکویت در افق‌های خاصی از جمله کانی‌های اصلی به شمار می‌رود و به نظر می‌رسد این افق‌ها شاخص دوره‌های توفانی یا سیلابی باشند. البته مسکویت‌ها در طی فرایند سنگ‌شدگی رشد یافته و لامینه‌ها را قطع می‌نمایند. این افق‌ها در اعماق ۶، ۲۰، ۷۰ و ۹۵ سانتی‌متری به خوبی دیده می‌شوند. همچنین ذرات متشکله این مغزه عمدتاً دارای کج‌شدگی مثبت، جورشدگی خیلی بد و کشیدگی پهن تا خیلی پهن می‌باشند (شکل ۸). کانی‌های رسی موجود در رسوبات شامل کائولینیت، کلریت، مونتموریونیت، ایلیت و پالیگورسکیت می‌باشد که کائولینیت کانی رسی غالب به شمار می‌رود. وجود پالیگورسکیت به دلیل وجود شوری و مقدار نسبتاً بالای یون منیزیم در آب دریا در منطقه مورد مطالعه است. همچنین مشاهدات عینی و بررسی رسوبات از لحاظ اندازه ذرات، رنگ و محتوای فسیلی منجر به تفکیک مغزه به ۳ رخساره گردید که برای هر رخساره محیط رسوبی خاصی نسبت داده شد (شکل ۸). رخساره‌های تعیین شده شامل: رخساره ۱ با تیپ رسوبی ماسه‌گلی با کمی گراول به رنگ کرم تا قهوه‌ای، رخساره ۲







شکل ۹. نمودار فراوانی ذرات گراول، ماسه، سیلت و رس در نمونه‌های مغزه‌های رسوبی

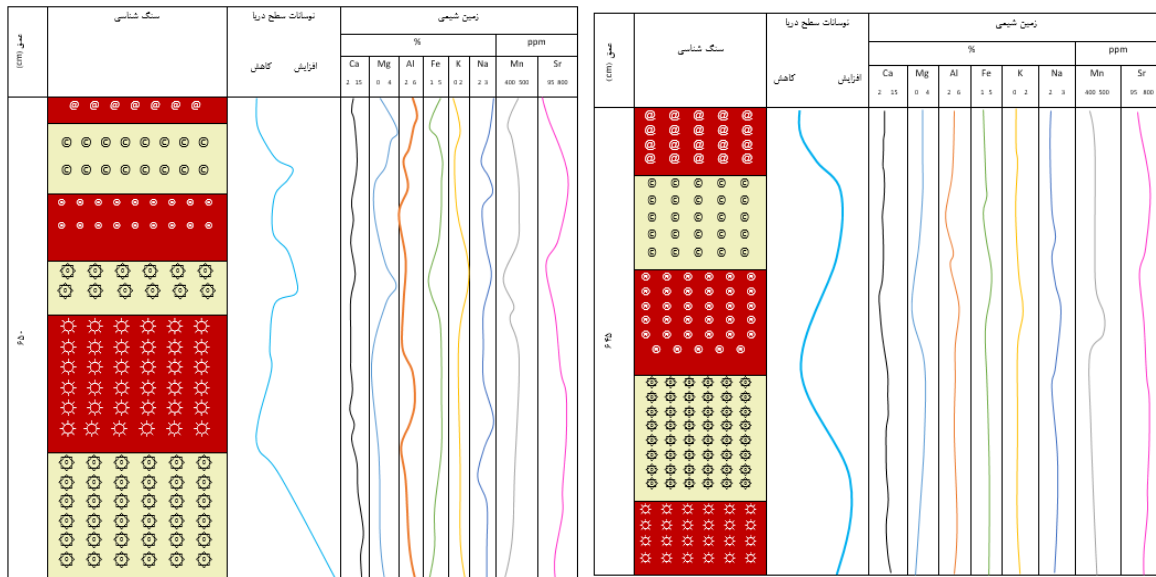
### ۳-۳- زمین‌شیمی

طبق نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شیمی تغییرات سطح نسبی آب دریا و روند تغییرات درصد وزنی عناصر اصلی مغزه‌های رسوبی (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) در اعماق مختلف مغزه‌های رسوبی نشان می‌دهد روند افزایش یا کاهش ناگهانی غلظت عناصر کلسیم، استرانسیوم و منیزیم رابطه معکوس با غلظت عناصر آهن، آلومینیوم و منگنز دارند. به این معنی که تغییر ناگهانی عناصر کلسیم و استرانسیوم احتمالاً به علت کاهش یا افزایش مقدار این عناصر به دلیل وجود یا عدم وجود پوسته‌های فسیلی و کلسیم محلول در رسوبات مارنی منطقه است. از طرفی کاهش غلظت عناصر آهن، آلومینیوم و منگنز در ارتباط با کانی‌شناسی رسوبات و وجود کانی‌های رسی است که نشان‌دهنده ورود رسوبات تخریبی و توقف رسوب‌گذاری کربناته و در نتیجه پایین رفتن سطح نسبی آب دریا ناشی از فرونشینی کف حوضه در اثر فرایندهای زمین‌ساختی و ایجاد شرایط محیط بالای جزرومدی است. همچنین افزایش مقادیر عناصر کلسیم، استرانسیوم و منیزیم به دلیل افزایش رسوبات مارنی حاوی عناصر کلسیم، منیزیم (به صورت محلول می‌باشند) و فسیل‌های دریایی و کاهش همزمان مقادیر عناصر آهن، منگنز و آلومینیوم است به علت کاهش ورود ذرات تخریبی به حوضه و افزایش رسوب‌گذاری کربناته‌ها و بالا رفتن سطح نسبی آب دریا و تسلط شرایط رسوبی محیط بین جزرومدی می‌باشند. لازم به ذکر است که افزایش مقدار سدیم به علت افزایش تبخیر و کاهش سطح آب و رسوب‌گذاری کلریدهاست. این تغییرات نشانه وجود شرایط رسوب‌گذاری دوگانه تخریبی و کربناته در محیط رسوبی است. بنابراین در این مغزه‌ها نیز تغییرات غلظت عناصر نشان‌دهنده تغییرات سطح نسبی آب دریاست که تا حدود زیادی با نمودار تغییرات رخساره‌ای نیز مطابقت دارد

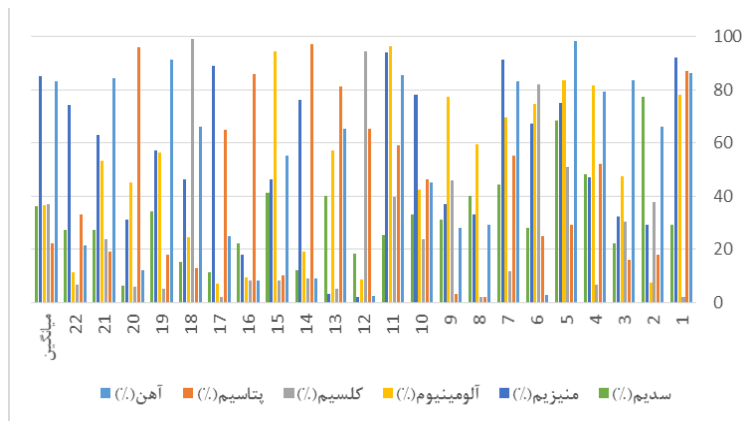
(سیجمن و لیون، ۲۰۰۳)، به گونه‌ای که نوسانات نسبی سطح آب دریا با مقدار کلسیم و استرانسیوم نسبت مستقیم و با مقادیر آهن، منگنز و آلومینیوم نسبت معکوس دارد. نتایج به دست آمده از تجزیه‌های زمین‌شیمیایی عناصر (شکل‌های ۱۱ و ۱۲ و جدول ۱) نشان می‌دهد غلظت عناصر مانند آهن، منیزیم و منگنز دارای روند مشابهی هستند که روند تغییرات آن‌ها خلاف تغییرات سطح آب دریا می‌باشد به طوریکه در محل رخساره‌های عمیق‌تر، مقادیر این عناصر کاهش می‌یابد. این در حالی است که روند تغییرات غلظت عناصر استرانسیوم و کلسیم منطبق با روند تغییرات سطح آب دریا در مقیاس محلی می‌باشد. بدیهی است که بالا آمدن سطح آب دریا سبب افزایش محدوده فلات قاره شده و با افزایش ته‌نشست کربناته‌ها همراه است و لذا درصد وزنی کلسیم که تشکیل آن غالباً به صورت بیوشیمیایی و نیز محلول در رسوبات مارنی رخنمون‌های بالا دست حوضه می‌باشد و همچنین عنصر استرانسیوم در این حالت روند افزایشی پیدا می‌کند. نتایج حاصل از محاسبه فاکتور غنی‌شدگی برای میانگین غلظت فلزات سنگین (بر اساس جدول ۱) نشان می‌دهد که متوسط غلظت زمینه‌ای فلزات هم براساس متوسط شیل جهانی هم متوسط غلظت در مقیاس پوسته‌ای جهانی در همه نمونه‌ها، عنصر نیکل با غنی‌شدگی حداقل و عنصر سرب با غنی‌شدگی متوسط است. کادمیوم تنها عنصری است که غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید ( $EF > 40$ ) دارد. بنابراین این عناصر، منشأ انسانی دارند و آلوده محسوب می‌شوند. ترتیب میانگین غلظت برای این عناصر بر اساس مقدار شیل میانگین غلظت به صورت  $Cd > Pb > Ni$  است. اما عناصر کادمیوم، نیکل و سرب بر حسب میانگین زمینه، حداقل غنی‌شدگی را دارند و دارای منشأ طبیعی هستند و آلوده محسوب نمی‌شوند. تحقیقات گراوند و همکاران

تغییرات درصد آراگونیت با استرانسیوم و تغییرات غلظت آن‌ها و رابطه بین این تغییرات نشان داده شده است.

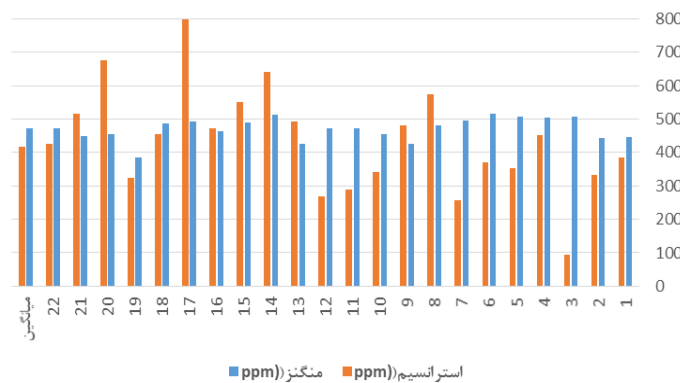
(۱۳۹۱) و مسلم‌پور و شهدادی (۲۰۱۳) نیز این موضوع را تأیید می‌کند. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ تغییرات درصد کلسیت و آراگونیت در نمونه‌های رسوبی (کانی‌شناسی) و



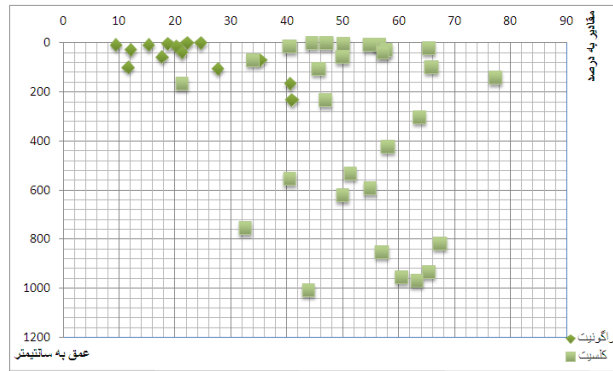
شکل ۱۰. ستون رخساره‌ای، تغییرات سطح آب دریا و تغییرات غلظت عناصر در در مغزه‌های رسوبی شماره‌های ۱ (ستون سمت راست) و ۲ (ستون سمت چپ)، رنگ قرمز نشانه محیط بین‌جزرومدی و رنگ زرد نشانه محیط بالای جزرومدی (مقیاس ۳۰:۱)



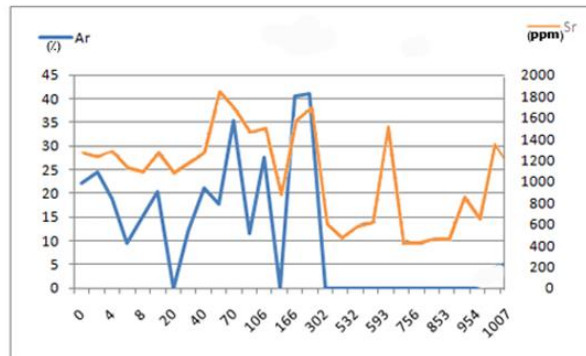
شکل ۱۱. نمودار روند تغییرات غلظت زمینه‌ای عناصر اصلی در رسوبات منطقه مورد مطالعه (محور افقی شماره نمونه‌ها و محور عمودی متوسط غلظت زمینه‌ای)



شکل ۱۲. نمودار روند تغییرات غلظت زمینه‌ای عناصر اصلی در رسوبات منطقه (محور افقی شماره نمونه‌ها و محور عمودی متوسط غلظت زمینه‌ای به ppm)



شکل ۱۳. نمودار مقایسه‌ای بین تغییرات درصد کلیت و آراگونیت رسوبات منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۴. نمودار مقایسه بین متوسط درصد آراگونیت با غلظت زمینه‌ای استرانسیوم

جدول ۱. متوسط غلظت زمینه‌ای فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه در مقایسه با متوسط‌های شیل جهانی و پوسته‌های جهانی

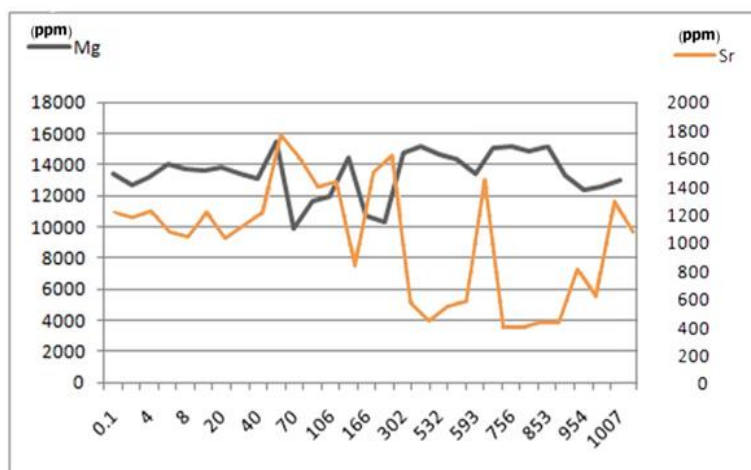
نام عنصر	مغزه شماره ۱ (ppm / %)	مغزه شماره ۲ (ppm / %)	پوسته‌های جهانی (ppm)	شیل جهانی (ppm)
آلومنیوم	۲/۷	۴/۰۷	۵۴۰۰۰	۸۰۰۰۰
پتاسیم	۰/۸	۱/۱	۴۲۰۰۰	۲۶۶۰۰۰
کلسیم	۱۱/۲	۶/۳	۲۱۰۰۰	۲۲۱۰۰
آهن	۱/۸	۲/۶	۶۵۵۰۰	۷۴۲۰۰
منیزیم	۱/۹	۳/۲	۱۳۰۰۰	۱۵۰۰۰
سدیم	۲/۲	۲/۷	۲۲۲۰۰	-
منگنز	۴۴۶	۴۴۴	۶۰۰	۸۵۰
کروم	۱۰/۶	۹۴/۲	۳۵	۹۰
نیکل	۳۵/۹	۶۱/۹	۸۰	۶۸
روی	۲۹/۲	۳۹/۷	۷۱	۹۳
مس	۱۰/۲	۱۳	۲۵	۴۵
کادمیم	۱/۰۴	۱/۶	۰/۰۹۸	۰/۱۳
کیالت	۶/۴	۱۳/۱	۷۵	۱۹
سرب	۱۱/۸	۷/۸	۲۰	۲۰

ترجیحاً در شبکه ساختمانی بسته لوزی شکل کلیت جای می‌گیرند (ویزله، ۱۹۸۳؛ موریسون و براند، ۱۹۸۷). در شکل ۱۴ در برخی نقاط عمیق‌تر با وجود بالا بودن نسبی غلظت استرانسیوم، در مطالعات کانی‌شناسی وجود

کاتیون‌هایی که بزرگ‌تر از کلسیم هستند (U, B, Na, Sr)، ترجیحاً در شبکه ساختمانی باز راست گوشه آراگونیت جای می‌گیرند (آدابی، ۱۳۸۳). برعکس کاتیون‌هایی که کوچک‌تر از کلسیم هستند (Cu, Zn, Mn, Fe, Mg, Cd)،

(حسین‌یار و همکاران، ۲۰۲۱). غلظت صفر تا بیش از ۴۰ درصدی آراگونیت در نمونه‌ها (شکل ۱۴) ممکن است به تغییرات عمق و دمای محیط تشکیل کربنات‌ها در زمان‌های مختلف در ارتباط باشد. از طرفی بین مقادیر آراگونیت و وجود استرانسیوم تا حدودی رابطه مستقیمی برقرار است. به این معنی که غلظت استرانسیوم با افزایش غلظت آراگونیت افزایش می‌یابد (رائو و آدابی، ۱۹۹۲؛ رائو و همکاران، ۲۰۰۰؛ سیجمن و لیون، ۲۰۰۳؛ برتولوتو، ۲۰۰۵؛ مرادپور و همکاران؛ ۲۰۱۹). در شکل ۱۵ تغییرات غلظت استرانسیوم و منیزیم مقایسه شده که ملاحظه می‌شود روند تغییرات آن‌ها از یک الگوی مشابهی تبعیت نمی‌کند و با هم نسبت معکوس دارند.

آراگونیت گزارش نشده است که علت آن تبدیل آراگونیت ناپایدار به کلسیت دارای منیزیم زیاد (LMC) است. دو علت برای اثبات اینکه کلسیت موجود در رسوب از نوع کلسیت با منیزیم کم نبوده و از نوع کلسیت با منیزیم زیاد (HMC) می‌باشد، وجود دارد. یکی اینکه همانطور که اشاره شد کلسیت با منیزیم پایین اغلب در آب‌های سرد و دمای کمتر از ۳ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌گردد (رائو، ۱۹۹۶؛ کرباسی و همکاران، ۲۰۲۰) و دوم اینکه غلظت منیزیم در رسوب بالای یک درصد است و این درحالی است که کلسیت با منیزیم کم کمتر از یک درصد منیزیم دارد. همچنین در اغلب نمونه‌ها غلظت استرانسیوم با افزایش غلظت منیزیم کاهش می‌یابد (شکل ۱۵) و این به دلیل افزایش غلظت کلسیت دارای منیزیم زیاد می‌باشد



شکل ۱۵. نمودار رابطه معکوس بین غلظت زمینه‌ای عناصر استرانسیوم و منیزیم

دارای بلوغ بافتی بهتری هستند و لذا همواره بین بافت و محیط رسوبی انطباق وجود دارد.

۳- شرایط محیط رسوبی منطقه مورد مطالعه، یک رژیم دو گانه رسوب‌گذاری حاکم بوده باشد به این معنی که در زمان بالآ آمدن سطح آب دریا رسوب‌گذاری کربنات‌ها نهشته شده و رسوب‌گذاری تخریبی متوقف می‌شود و در زمان پایین رفتن سطح آب دریا و ورود ذرات تخریبی به حوضه رسوبی، رسوب‌گذاری کربنات‌ها متوقف شده و رسوب‌گذاری تخریبی صورت می‌گیرد.

۴- نوسانات نسبی سطح آب دریا در خلیج پزم نشان از سه مرحله پیشروی و پسروی آب دریا دارد.

۵- مطالعات زمین‌شیمیایی داده‌های مربوط به غلظت فلزات سنگین نشان می‌دهد غلظت بیشتر این فلزات در

## نتیجه‌گیری

۱- مطالعات دانه‌بندی رسوبات حاکی از آن است که اندازه دانه‌های رسوبی محیط بالای جزرومدی در حد ماسه با جورشدگی و گردشدگی خوب و فاقد ماتریکس رسی می‌باشند که نشان از بلوغ بافتی دارد و در رسوبات محیط بین جزرومدی از ذرات ریز و درشت با جورشدگی متوسط تا بد بوده و حاوی زمینه رسی می‌باشند که بافت رسوبی نابالغ دارند.

۲- از آنجایی که میزان بلوغ بافتی رسوبات به میزان انرژی مکانیکی موجود در محیط در آخرین مراحل رسوب‌گذاری وابسته بوده و ارتباطی بسیار کمی با انرژی حمل و نقل از منشاء به محیط رسوب‌گذاری دارد، لذا در محیط‌های جزرومدی که مقدار انرژی جنبشی زیاد است، رسوبات

فرورانش مکران با پویایی مستمر، بالاآمدگی سواحل و افزایش نرخ رسوب‌گذاری را موجب می‌شود.

### منابع

آدابی، م (۱۳۸۳) ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آریز زمین، چاپ اول، ۴۴۸ ص.

آفرین، م، حمزه، م. ع (۱۴۰۰) بررسی اثرات امواج مونسون بر ویژگی‌های رسوب‌شناسی رسوبات خلیج چابهار، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۹، شماره ۱۸، ص ۵۰-۳۴

آقاباتی، ع (۱۳۸۹) زمین‌شناسی ایران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

احراری‌رودی، م.، موسوی‌حرمی، ر.، لک، ر.، معتمد، الف.، محبوبی، الف (۱۳۹۰) تفسیر محیط‌رسوبی رسوبات هولوسن منطقه خور ساحلی شور واقع در شمال‌غربی دریای عمان، اولین کنگره تخصصی رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ص ۸۵-۷۹.

بزی، ع.، بومری، م.، رضایی، ح (۱۳۹۳) ویژگی‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمیایی رسوبات ساحلی و بستر خلیج گواتر، جنوب خاوری ایران. اقیانوس‌شناسی، سال دوم، شماره ۸، ص ۱۱-۲۰.

لک، ر. و تقی‌زاده، م (۱۳۹۰) بررسی رخساره‌های رسوبی هولوسن و نرخ رسوب‌گذاری در شمال‌شرقی خلیج فارس (مطالعه موردی جنوب بندرعباس). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت زمین‌شناسی دریایی. ص ۱۲.

غریب‌رضا، م. ر.، معتمد، الف (۱۳۸۴) تکامل مکران ساحلی طی کواترنر پسین، مجله، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، ص ۸۷-۷۷.

مروتی، ح (۱۳۸۴) مبانی هیدرولیک خورهای ساحلی، انتشارات دریا، ۲۷۰ ص.

موسوی‌حرمی، ر (۱۳۹۳)، رسوب‌شناسی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ ۱۵، ۴۷۶ ص.

موسوی‌حرمی، ر.، خاوری خراسانی، پ (۱۳۸۴) تفسیر تغییر سطح دریا از نگاشت رسوبی، انتشارات واژگان خرد، ۴۲۷ ص.

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

Al- Asfour, T. A (1978) The marine terraces of the Bay of Kuwait. In: Brice. W. C. (Ed.), *The Environmental History of the near and Middle East since the Last Ice Age*, 249-260. Academic Press, Inc: London Ltd.

Baltzer, F. and Purser, B. H (1990) Modern alluvial fan and deltaic sedimentation in a foreland

رسوبات مورد مطالعه به صورت طبیعی یا کمتر از متوسط غلظت آن‌ها در مقیاس‌های پوسته‌ای و شیل جهانی است که به صورت معادله  $Cr > Zn > Ni > Pb > Cu > Cd$  هست. در بین فلزات سنگین رسوبات مورد مطالعه، فلزات کروم، نیکل و سرب به ترتیب میانگین غلظت‌های ۹۶/۹، ۵۵/۳ و ۱۱/۲ دارای بیشترین غلظت در رسوبات هستند. کروم بیشترین غلظت ۱۴۰ پی‌پی‌ام را در رسوبات ساحلی دارد. نیکل نیز روندی مشابه با کروم را نشان می‌دهد. روند مشابه کروم و نیکل نشان‌دهنده منشاء مشترک برای این دو عنصر است.

۵- چنین به نظر می‌رسد که هوازدگی و انحلال سنگ‌های بالادست پهنه مکران و انتقال آن‌ها به حوضه رسوبی توسط رودخانه‌های فصلی، عامل اصلی غنی‌شدگی فلزات سنگین کروم و نیکل در رسوبات منطقه مود مطالعه است. همچنین افزایش غلظت این فلزات در رسوبات مجاور اسکله‌های صیادی، نشان می‌دهد که نقش فعالیت‌های انسانی در افزایش غلظت این فلزات در منطقه مورد مطالعه بیشتر از تاثیر عوامل طبیعی است. از سوی دیگر سرب و روی به دلیل آنکه دارای وزن مخصوص زیادتری هستند، بیشتر در نواحی ساحلی غلظت آن‌ها افزایش می‌یابد. این شواهد نشان‌دهنده منشاء انسانزاد دارد.

۶- از نظر کانی‌شناسی، رسوبات منطقه مورد مطالعه بیشتر دارای بیش از ۵۰ درصد کانی‌های کربناته می‌باشد که بخش اصلی کربنات‌ها شامل کلسیت با منیزیم بالا و آراگونیت است.

۷- روند کلی تغییرات سطح آب دریا، حاکی از پیشروی کلی در ۸۰۰۰ سال اخیر می‌باشد. براساس ضخامت رسوبات منطقه مورد مطالعه و معادل‌سازی سن تقریبی توالی‌های رسوبی، نرخ متوسط رسوب‌گذاری در منطقه مورد مطالعه ۰/۱ میلی‌متر در سال برآورد می‌شود. بر اساس نتایج حاصل از معادل‌سازی سن‌سنجی، نسبت به منحنی تغییرات جهانی سطح آب دریاها، دو بازه زمانی یکی در ۲۱۰۰ تا ۲۸۰۰ سال قبل و دیگری در ۴۹۰۰ تا ۵۸۰۰ سال قبل، سطح آب دریا دارای دو چرخه رسوبی بوده است. در این بازه‌های زمانی نرخ افزایش تراز آب دریا و نرخ رسوب‌گذاری در منطقه مورد مطالعه بالاتر از حد متوسط بوده است. علت این موضوع اینست که چون اکثر رسوبات خلیج پزم کربناته است (با افزایش سطح آب دریا متوسط آن‌ها افزایش می‌یابد) و از طرفی وجود پهنه

- during the last five decades, *Desert*, 25 (2): 213-226.
- Karimi, A., Ahmadi, A., Partabian, A (2020) Potential soil pollution by heavy metals in Kurdistan region, western Iran: the impact of ultramafic bedrock. *Geopersia*, 10 (1): 41-52.
- Kassler, P (1973) Geomorphic evolution of the Persian Gulf. In: B.H. Pursur (Editor), *The Persian Gulf. Holocene Carbonate Sedimentation and Diagenesis in a Shallow Epicontinental Sea*. Springer, New York, 11-32.
- Lak, R., Mirzapour, B., Aleali, M., Djamali, M., Shahbazi, R (2020) Identifying the effect of climate changes of sedimentary environments and determining sedimentation rate of south wetland of Lake Urmia during late Pleistocene and Holocene, *Pollution*.
- Lewis, D. W., McConchie, D (1994) *Analytical Sedimentology*, Chapman and Hall, New York. London, 197 p.
- Moradpour, A., Zarei Sahamieh, R., Ahmadi Khalaji, A., Sarikhani, R (2019) Environmental pollution and Pattern formation of the Harsin-Sahneh ophiolitic complex (NE Kermanshah—west of Iran). *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 48(2): 193-204.
- Mcall, G. J. H (1997) The geotectonic history of the Makran and adjacent areas of southern Iran. *Earth Sciences*, 15: 517-531.
- Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoepler, M. (2004) *Elements and their compounds in the environment*, John Willey, 1170 p.
- Rao, C. P (1996) *Modern Carbonates, tropical, temperate, polar: introduction to sedimentology and geochemistry*: Arts of Tasmania, 206 p.
- Rao, S. V. R., Reddy, M. R., Prarharaj, N. K., Shyam Sunder, G (2000) Laying performance of broiler breeder chickens fed various millets or broken rice as a source of energy at a constant nutrient intake. *Tropical Animal Health and Production*, 32 (5): 329-338.
- Rao, C. P., Adabi, M. H (1992) Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia: *Marine Geology*, 103: 249-272.
- Piovano, E. L., Ariztegui, D., Moreiras, S. D (2002) Recent changes in Laguna Mar Chiquita (central Argentina): a sedimentary model for a highly variable saline lake, *Sedimentology journal*, 49: 1371-1384.
- Purser, B. H., Seibold, E (1973) The principal environmental factors influencing Holocene sedimentation and diagenesis, in *The Persian Gulf*, B. H. Purser, ed., springer-verlag, Berlin, 471p.
- Sageman, B. B., Lyons, T. W (2003) *Geochemistry of Fine-grained Sediments and Sedimentary Rocks*, *Treatise on Geochemistry*, 7: 115-158.
- tectonic setting: the lower Mesopotamian Plain and the Arabian Gulf, *Sedimentary Geology*, 16:175-197.
- Bertolotto, R. M., et al (2005) Heavy metals in coastal sediments of the Ligurian Sea off vado ligure. *Journal de Physique Archives*, 107 (1): 159-162.
- Brewer, P. G., Dyrssen, D (1985) Chemical oceanography of the Persian Gulf, in J. Crease, *Essays on oceanography; attribute to John Swallow*, edited by W. J. Gould, and P. M. Saunders, *Progress in Oceanography*, 14: 41-55.
- Cao, C. Y., Yu, B., Wang, M., Zhao, Y. Y., Wan, X., Zhao, S (2020) Immobilization of cadmium in simulated contaminated soils using thermal activated serpentine. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1-7.
- Dolati, A (2010) *Stratigraphy, Structural geology and low-temperature termochronology across the Makran accretionary wedge in Iran*, Swiss Institute of Technology Zurich, Diss ETH, 19151, 165 P.
- Dolati, A., Burg, J. P (2013) Preliminary fault analysis and paleostress evolution in the Makran Fold-and-Thrust Belt in Iran. Hosani, K. Al; Roure, F; Ellison, R. and Lokier, S. (Eds.), *Lithosphere Dynamics and Sedimentary Basins: The Arabian Plate and Analogues*, Springer Verlag, Heidelberg, 261-277
- Eby, G. N (2005) *Principles of environmental geochemistry*, Thomson, Ellis, S., Mellor, A., New York.
- Farhoudi, G., Craig, D. E (1977) Makran of Iran and Pakistan as an active arc system. *Geology*, 5(11): 664-668.
- Felber, H., HÖtzl, H., Maurin, V., Moser, H., Rauert, W., ZÖtl, J. G (1978) Sea level fluctuations during the Quaternary period. In: Al-Sayyari, S. S., ZÖtl, J. G. (Eds.), *Quaternary Period in Saudi Arabia*. Springer, New York, Ny, 50-57.
- Folk, R. L (1974) *Petrology of sedimentary Rock*: Hemphill publishing Co., Austin, Texas 182P.
- Hosseinyara, Gh., Behbahanib, R., Moussavi-Harami, R., Lak, R., Kuijperse, A (2021) Holocene sea-level changes of the Persian Gulf *Quaternary International*, 571: 26-45
- Houbolt, J. J. H. C (1957) *Surface Sediments of the Persian Gulf near the Qatar Peninsula*. Ph. D. Thesis, University of Albright, Des Haal Montana Co.
- Jacob, K. H., Quittmeyer, R. C (1979) The makran region of Pakistan and Iran trench-arc system with active plate subduction. *Geodynamics of Pakistan*, 3: 305-318
- Karbasi, A., Maaghrebi, M., Noori, R., Lak, R., Sadrinasab, M (2020) Investigation of spatiotemporal variation of drought in Iran

- Salarian, S., Asghari O., Abedi M., Alilou S. K (2020) Geostatistical-based geophysical model of electrical resistivity and chargeability data applied to image copper mineralization in the Ghalandar deposit, Iran, international journal of mining and Geo-engineering, 54(2): 153-160.
- Saleh, A., Al-Ruwaih, F., Al-Reda, A., Gunatilakat, A (1999) A reconnaissance study of a clastic coastal sabkha in Northern Kuwait, Arabian Gulf., Journal of Arid Environments, 1-19.
- Syvitski, J. P. M. (Ed) (1991) Principle Methods and Application of particle size analysis.
- Tatar, M., Hatzfeld, D. Ghafory-Ashtiany, M (2004) Tectonics of the Central Zagros (Iran) deduced from microearthquake seismicity, *Geophysical Journal International*, 156(2): 255-266.
- Tucker, M. E (1988) Techniques in Sedimentology, In: Tucker, M.E. (Ed.), Blackwells, Oxford, 174-190.
- Tucker, M. E (2001) Sedimentary Petrology: an Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks, Third dition, Blackwell Science, Oxford, 260 P.
- Uchupi, E., Swift, S. A., Ross, D. A (1996) Gas venting and late Quaternary sedimentation in the Persian (Arabian) Gulf. *Marine Geology*, 129: 237-269.
- Ungaro, F., Ragazzi, F., Cappellin, R., Giandon, P (2008) Arsenic concentration in the soils of the Brenta Plain (Northern Italy): Mapping the probability of exceeding contamination thresholds. *Journal of Geochemical Exploration*. 96: 117-131.
- Walker, R., Jackson, J. A (2002) Offset and evolution of the Gowk fault, S.E. Iran: a major intra-continental strike-slip system, *Journal of Structural Geology*, 24: 1677-1698
- Walker, R., Jackson, J., Baker, C (2004) Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran, *Geophysical Journal International*, 157(1): 265-282.
- Weijermars, R (1999) Quaternary evolution of Dawahat Zulum (Half Moon Bay) Region of Eastern Province, Saudi Arabia, *GeoArabia*, 4: 71-90.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., Chéry, J (2004) Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman , *Geophysical Journal International*, 157(1): 381-398.