

دوفصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره ۷، شماره ۴ و ۳، پاییز و زمستان ۱۴۰۰

ص ۲۷۵ تا ۲۹۰

منشأ یابی و بررسی خواص ژئوشیمیایی رسوبات آواری در جنوب غربی ایران

امیر جوکار؛ گروه زمین شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

نادر کهنسال قدیموند*؛ گروه زمین شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

داوود جهانی؛ گروه زمین شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

مهدی مشعل؛ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی مرکز اهواز

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۱

چکیده

در این تحقیق پس از مطالعات کتابخانه ای به کمک تصاویر ماهواره ای اقدام به تعیین ۲۷۶ نقطه مختلف جهت برداشت های صحرائی گردید. نمونه های جمع آوری شده پس از دانه بندی توسط دستگاه الک شیکر سازمان زمین شناسی مرکز اهواز، جهت انجام آزمایشات ژئوشیمیایی به آزمایشگاه مرکزی سازمان زمین شناسی تهران ارسال شد. یافته های به دست آمده از مطالعات دانه سنجی رسوبات نشان می دهد که اغلب دانه های مورد مطالعه دارای جورشدگی بد تا بسیار بد بوده و حاوی حدود ۷۰ درصد ذرات مساوی و بزرگتر از سیلت هستند. علاوه بر این یافته های حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی نشان می دهد که در این رسوبات CaO و SiO_2 و Al_2O_3 به عنوان فراوان ترین اکسیدها و La و Ce ، V ، Zr ، Ti نیز به عنوان فراوانترین عناصر فرعی می باشند. طبقه بندی رسوبات مورد نظر بر اساس شاخص های ژئوشیمیایی نشان می دهد که این رسوبات عمدتاً در محدوده گری وکی و شیل های آهن دار قرار دارند. قابل ذکر است که رسوبات این جلگه، دارای غنی شدگی نسبت به عناصری مانند U ، Cu ، Co ، Cd ، Bi ، As بوده که نیاز به بررسی دقیق تر دارد. نتایج حاصل از بررسی این یافته ها نشان می دهد که نهشته های جلگه خوزستان، اغلب در مدت زمان کوتاه همراه با محیطی پر انرژی ته نشست شده اند. علاوه بر این مطالعات ژئوشیمیایی صورت گرفته جهت تعیین تکتونیک دیرینه رسوبات دشت خوزستان نشان می دهد که منشأ اولیه این رسوبات دارای جایگاه زمین ساختی جزایر قوسی قاره ای و حاشیه فعال قاره ای بوده اند که این جایگاه تکتونیکی با شرایط تکتونیکی زاگرس مطابقت داشته و میتواند بیانگر منشأ اولیه این رسوبات از زون سنندج سیرجان باشد. مطالعات زیست محیطی صورت گرفته بر روی نمونه های برداشت شده نشان می دهد که این رسوبات از نظر وجود عناصری همچون U ، Cu ، Co ، Cd ، Bi ، As در وضعیت هشدار دهنده ای قرار دارند.

واژه های کلیدی: نهشته های آواری، دانه سنجی، ژئوشیمی، جایگاه تکتونیکی، دشت خوزستان.

مقدمه

مهم ترین عاملی که مقدار عناصر در رسوبات کلاستیک را کنترل می کند خاستگاه آنها است که عمدتاً به صورت مواد آواری حمل شده، و مشخصات شیمیایی خاستگاه را نشان می دهند (بوگس، ۲۰۱۸). رسوبات کلاستیک با سنگ های مادر متفاوت که تحت تأثیر هوازدگی و فرسایش و در نهایت رسوب گذاری قرار گرفته اند، بر اساس شرایط فیزیکیوشیمیایی متعدد ته نشست می شوند. به عبارتی، نهشته های آواری ته نشست یافته می توانند بیانگر وضعیت مورفوتکتونیک محیطی باشند که سازندهای تغذیه کننده آنها در آن محیط تشکیل گردیده اند. یکی از روش های شناسایی شرایط تکتونیک تشکیل سازندهای تغذیه کننده رسوبات، بررسی ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی و نادر می باشد (هو و همکاران، ۲۰۱۹). توزیع ژئوشیمیایی عناصر در رسوبات عهد حاضر، علاوه بر کمک در تعیین وضعیت مورفوتکتونیک و آب و هوای گذشته، می تواند در تعیین شاخص های آلاینده و زیست محیطی نقش به سزایی داشته باشد. ضمن این که بررسی ژئوشیمیایی رسوبات، می تواند گامی مهم در کنترل آثار نامطلوب فرایندهای آلاینده ذکر شده باشد (زرآسوندی و همکاران ۱۳۹۰). کرباسی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقی به عنوان "غلظت و منشأ $Cd, Cu, Zn, Pb, Co, Fe, Mn, Cr$ در رسوبات سطحی بستر دماغه رودخانه سفارود"، آلودگی رسوبات بستر این رودخانه در استان مازندران را بررسی و آن را آلوده به فلزات سنگین اعلام نموده و علت را فعالیت های صنعتی در حوزه این رودخانه گزارش کردند. سرتاج و همکارانش (۱۳۸۴) به بررسی روند انتشار و تجمع فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که غلظت فلزات سنگین در رسوبات نقاط داخل تالاب نسبت به جاهای دیگر کمتر است. به طور کلی با دور شدن از مصب رودخانه های ورودی، مقدار فلزات سنگین در رسوبات تالاب کاهش می یابد که در اثر عملکرد اجزای تالاب در کاهش و ترسیب فلزات سنگین در مناطق ابتدای تالاب است. محمدی (۱۳۸۹) به بررسی رسوب شناسی و ژئوشیمی رسوبی پلایای جازموریان به عنوان منبع مهم تولید رسوبات بادی در جنوب شرق ایران، رسوب شناسی و ژئوشیمی رسوبی دشت سیستان و هامونهای صابری و هلمند به عنوان منشأ مهم رسوبات بادی در شرق ایران و رسوب شناسی و ژئوشیمی رسوبات دشت ساحلی دریای عمان به عنوان منشأ مهم رسوبات در نوار ساحلی جنوب کشور پرداخت. زرآسوندی و همکاران (۱۳۹۰) ترکیب کانی شناسی و ریخت شناسی ذرات تشکیل دهنده پدیده گرد و غبار در استان خوزستان را با تکیه بر آنالیزها و تصاویر XRD مورد بررسی قرار دادند. پورمراد و همکاران (۲۰۲۱) ترکیبات ژئوشیمیایی و آلودگی های زیست محیطی رسوبات آواری را در شمال استان خوزستان با کمک مطالعات ژئوشیمیایی مورد مطالعه و بررسی قرار دادند و نشان دادند که روش های جدیدی می توان در مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات آواری پیشنهاد داد. پایش میزان آلودگی با استفاده از فلزات سنگین در رسوبات دریای مرمهره (آلگان و همکاران، ۱۹۹۹)، محاسبه و ارزیابی خطر اکولوژیک با استفاده از فلزات سنگین و شاخص ژئوشیمیایی مولر در رسوبات سطحی خلیج ازمیر در شمال شرقی دریای مرمهره صورت گرفت. آدری و همکاران (۲۰۰۴) نیز مطالعاتی بر پایه داده های ۵۰ سال فلزات سنگین در رودخانه Lot در فرانسه که به دلیل ورودی های ناشی از معادن و صنایع مختلف از قبیل تصفیه فلزات، به طور تاریخی آلوده به شمار می رفت، انجام دادند و براساس شاخص های مولر و غنی شدن، منشأ فلزات سنگین را ارزیابی کردند. براساس نتایج حاصل، رسوبات منطقه نسبت به کادمیوم آلودگی بسیار شدید و نسبت به روی آلودگی

متوسط تا شدید را نشان دادند (ادری، ۲۰۰۴). رابین وهمکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی ریسک ناشی از فلزات سنگین در آب، رسوبات، ذرات معلق و ژئوپلانکتون‌ها در قسمت جنوب شرقی اقیانوس هند پرداختند. نتایج بیانگر این بود که به طور تقریبی در تمام ایستگاه‌ها غلظت‌ها کمتر از حد مرزی سمیت بودند. تجمع فلزات در مناطق شهری کناره‌های ساحل بیشتر از سایر مناطق گزارش شد (روبینوهمکاران، ۲۰۱۰).

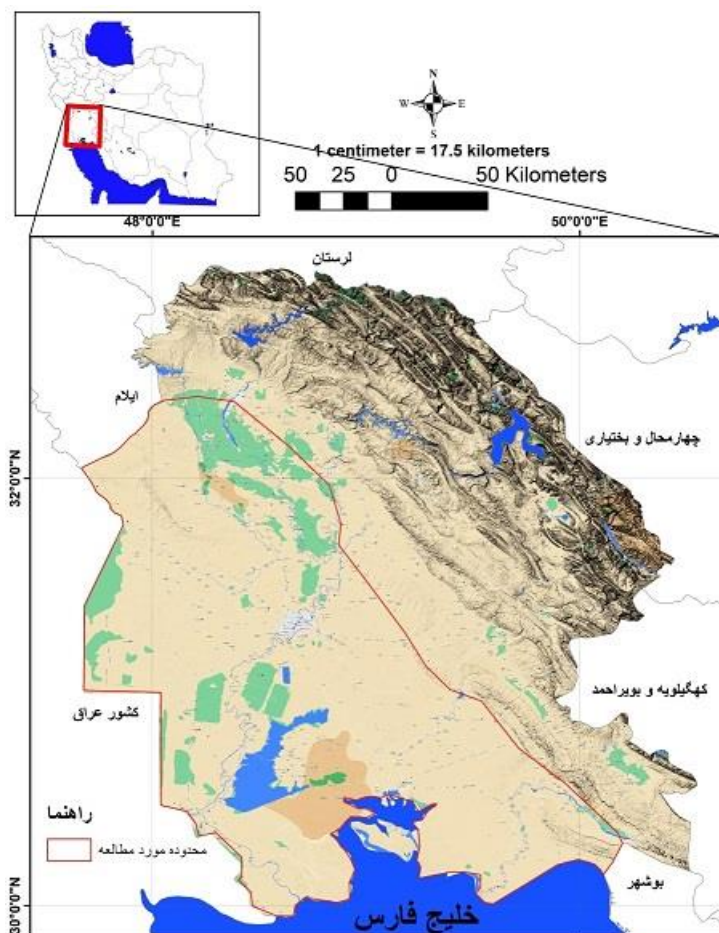
باتوجه به اهمیت موضوع و همچنین جایگاه جلگه خوزستان به عنوان یکی از بزرگترین جلگه های کشور، نگارندگان به منظور تلاش نمودند تا با مطالعات دقیق و جامع، ضمن بررسی خصوصیات رسوب شناسی، وضعیت پراکنش ژئوشیمیایی عناصر و به دنبال آن، جایگاه تکتونیکی منشأ رسوبات را نیز مشخص نمایند. ضمن اینکه در این بررسی، وضعیت غنی‌شدگی به برخی از عناصر سنگین در رسوبات نیز مورد توجه بوده است.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در مناطق هموار جلگه‌ای و آبرفتی استان خوزستان در جنوب غربی ایران واقع شده است. رشته کوه‌های زاگرس و انشعابات غربی آن که گاهی ارتفاع آن به حدود ۳۷۴۰ متر نیز می‌رسد، از شمال تا نواحی شرقی این استان کشیده شده‌اند. شیب عمومی جلگه خوزستان در جهت شمال به جنوب بوده و به دلیل هموار بودن اراضی، ملایم است. به طوری که حداکثر ارتفاعات در دشت‌های شمال استان به ۱۵۰ متر و حداقل آن در کرانه خلیج فارس به صفر می‌رسد. از لحاظ مکانی، محدوده مورد مطالعه، بخشی تا تمامی شهرستان‌های دزفول، شوش، بستان، سوسنگرد، اهواز، رامشیر، هندیجان، ماهشهر، خرمشهر و آبادان را دربرمی‌گیرد (شکل ۱).

استان خوزستان و به ویژه محدوده مورد مطالعه، به لحاظ تعدد شهرها و جمعیت زیاد، وجود تأسیسات مهم و راهبردی کشور اعم از مناطق عظیم نفتی، صنعتی، کشاورزی و بندری و همچنین بر اساس همجواری با کشور عراق، دارای جایگاه ویژه‌ای در کشور باشد. از نظر خواص رسوبی و تکتونیکی، ایران دارای چندین حوزه و زیر حوزه می‌باشد که یکی از مهمترین حوزه‌های آن زاگرس می‌باشد (شکل ۲). حوزه زاگرس به وسیله یک توالی ضخیم ۷ تا ۱۴ کیلومتری از رسوبات ته نشست شده در منطقه‌ای با طول و پهنای فوق العاده زیاد در امتداد لبه شمالی - شمال شرقی صفحه عربی مشخص می‌شود (باقری و کاظمی، ۲۰۲۰). حوزه زاگرس بخش پایدار ابرقاره گندوانا در زمان پالئوزوئیک و حاشیه غیرفعال آن در طی مزوزوئیک بوده است (علوی، ۲۰۰۷). تصادم بین صفحات ایران و عربی در زمان سنوزوئیک باعث تشکیل کمربند چین خورده - تراستی زاگرس و حوزه فورلندی همراه آن نمود (علیزاده وهمکاران، ۲۰۲۰). از نظر زمین شناسی، از شمال شرق به جنوب غرب، زاگرس شامل زاگرس مرتفع (زاگرس داخلی)، زاگرس چین خورده و دشت خوزستان می‌باشد (بربریان، ۱۹۹۵). به اعتقاد علوی (۲۰۰۷)، کمربند کوهزایی زاگرس در ایران از شمال شرق به طرف جنوب غرب از سه واحد تکتونیکی مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر، سنج - سیرجان و کمربند کمی چین خورده زاگرس تشکیل شده است. زون سنج - سیرجان در جنوب غربی کمان ماگمایی ارومیه دختر قرار دارد. مرز جنوبی این منطقه منطبق بر گسل اصلی

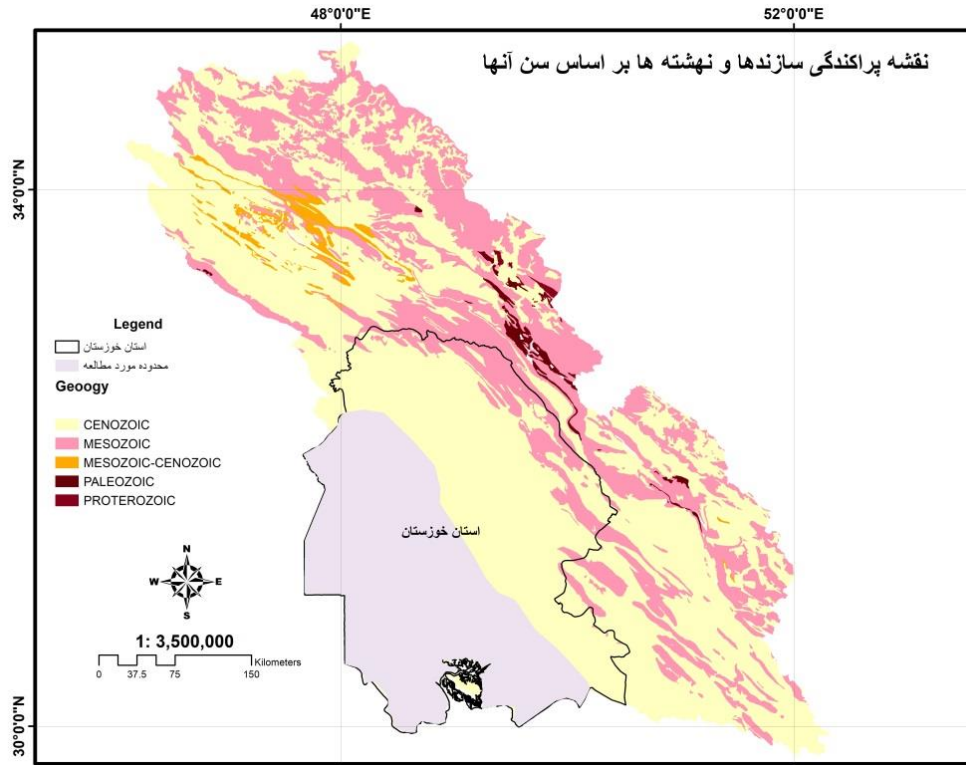
زاگرس نیست بلکه این مرز به وسیله چین‌های کمی خمیده مشخص می‌شود، جایی که در جلوی ورقه‌های تراستی واقع است و کیلومترها از گسل اصلی زاگرس فاصله دارد (علوی، ۲۰۰۷).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و محیطی محدوده مورد مطالعه

تنها ولکانوکلاستیک‌های مشاهده شده در منطقه سنندج - سیرجان که شامل عدسی‌های ساب ولکانیکی از دیابازها، لایه‌های نازک بازالتها و ریوداسیتها می‌باشند، به طور بین لایه‌ای با سنگهای سیلیسی آواری مناطق کم عمق دریا و ساحلی کربونیفر، پرمین و تریاس تحتانی قرار گرفته اند (علوی، ۲۰۰۷). توالی‌های پالئوزویک و مزوزویک در این منطقه به صورت سنگ‌های دگرگونی درجه متوسط و در پایین به صورت شیست سبز غیر دگرگونی هستند. عقیده بر این است که فاز دگرگونی در طی کرتاسه پسین اتفاق افتاده است (علوی، ۲۰۰۷). زاگرس چین‌خورده، با پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر، فرورفتگی حاشیه‌ای و کراتونی سپر عربستان را تشکیل می‌دهد (زابیه‌مکاران، ۲۰۱۹). زاگرس چین‌خورده در طی مزوزویک و سنوزویک در حال فرونشست پیوسته بوده و توالی‌های ضخیمی از رسوبات در آن انباشته شده است (آقاباتی، ۱۳۸۵). در گستره زاگرس چین‌خورده سنگ‌های

پرکامبرین تا تریاس میانی، رخساره گندوانایی را تشکیل می‌دهد که مشابه با نواحی دیگر ایران هستند ولی توالی‌های مزوزوییک و سنوزوییک آن نسبت به رسوبات همزمان در بخش‌های دیگر ایران دارای رخساره‌های سنگی و زیستی متفاوتی بوده و بیشتر معرف رخساره‌های جنوب تیس جوان می‌باشند (الیاس و همکاران، ۲۰۱۹). محدوده مطالعاتی این تحقیق که بخش جنوب غربی زاگرس چین خورده را در بر می‌گیرد، به دلیل ثابت بودن پی سنگ آن، چین خوردگی کمی پیدا کرده و به صورت منطقه فروافتاده ای در آمده است (کاراسوزن، ۲۰۱۹). بر پایه نقشه‌های زمین شناسی، مطالعات سطحی و زیرسطحی انجام شده در منطقه می‌توان با اطمینان گفت که منطقه مورد نظر بر روی رسوبات آبرفتی جوان عهد حاضر متشکل از رسوبات ریز دانه رسی و سیلتی و متوسط دانه ماسه ای قرار گرفته است (آدابی و همکاران، ۲۰۱۶). ضخامت این رسوبات از شمال به جنوب و به سمت سواحل خلیج فارس بتدریج زیاد می‌شود. از نکات قابل توجه این نهشته‌های برجای مانده در جلگه خوزستان، منشأ گرفتن آن‌ها از مجموعه سازندها و بخش‌های لیتولوژیکی واحدهای تکتونیکی زاگرس به ویژه زاگرس چین خورده است و به عبارتی، این نهشته‌ها می‌توانند اطلاعات مفیدی از تشکیلات سازنده خود به خصوص در زمینه رسوبی - تکتونیکی ارائه دهند (شکل ۲). با توجه به بررسی وضعیت پراکنش رخنمون‌ها سنگی در نقشه‌های زمین شناسی، از مهمترین زیر واحدهای لیتولوژیکی موثر بر منشأ نهشته‌های جلگه خوزستان می‌توان سازندهای آسماری، گچساران و میشان، آغاچاری، کنگلومرای بختیاری و عضو لهبری را نامبرد. قابل ذکر است که تقریباً تمامی نهشته‌های مورد مطالعه از سه حوزه آبریز کرخه، کارون جراحی و زهره منشأ گرفته که توسط رودهای اصلی و انشعابات آنها به پایین دست جابجا می‌گردند.

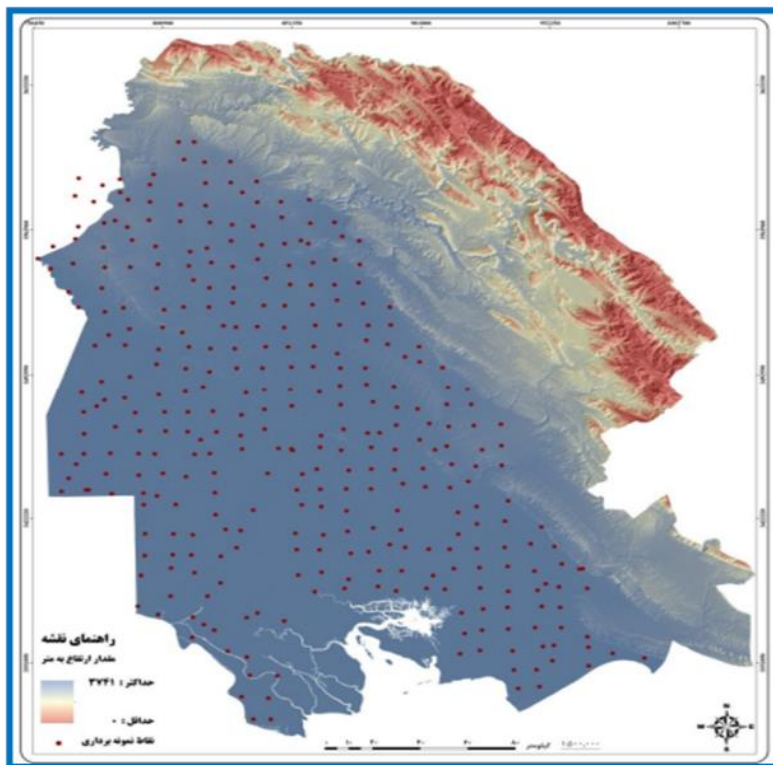


شکل ۲. وضعیت زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و پیرامون آن

روش مطالعه

به منظور بررسی وضعیت فیزیکوشیمیایی و تعیین خاستگاه نهشته‌های کواترنری جلگه خوزستان، نیاز به جمع آوری اطلاعات گوناگون صحرایی و غیر صحرایی بوده است. در این مطالعه، داده‌های آرشیوی اعم از نقشه‌ها، گزارش‌ها و مقالات مرتبط با موضوع تحقیق، داده‌های ماهواره‌ای، میدانی و آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های آرشیوی، داده‌های ارتفاعی و ماهواره‌ای پس از بررسی و تجزیه تحلیل اولیه و ابتدایی جهت برنامه‌ریزی برای برداشت و مطالعات صحرایی مورد استفاده قرار گرفت. بازدیدهای میدانی در دو مرحله صورت پذیرفته است. در مرحله اول، عوارض متعدد طبیعی و انسانی با داده‌های آرشیوی تطبیق داده شده و بر اساس آن روش و موقعیت نمونه برداری‌ها تعیین گردید. در مرحله بعدی فعالیت‌های میدانی، نمونه برداری از نقاط انتخاب شده قبلی صورت گرفته و موقعیت مکانی هر کدام با سیستم موقعیت یاب GPS ثبت شد (شکل ۳). سپس نمونه‌های موجود به آزمایشگاه منتقل و مورد مطالعات رسوب شناسی و ژئوشیمی قرار گرفته‌اند. برای بررسی دانه بندی، از دستگاه الک شیکر مرطوب بهره گرفته و همچنین درخصوص ذرات با قطر ریزتر از ۶۳ میکرون توسط دستگاه دانه بندی لیزری مدل Cilas 1064 مورد آنالیز قرار گرفتند. ضمن این که سایر پارامترهای آماری از قبیل میانه، میانگین، جورشدگی، کشیدگی و کج شدگی نیز به کمک نرم افزار Sediment Size محاسبه گردید.

جهت مطالعات ژئوشیمیایی تعداد ۲۷۶ نمونه از نمونه‌های مورد نظر مورد آنالیز قرار گرفت. در مطالعه اکسیدها و عناصر اصلی، از دستگاه XRF، کانی شناسی از دستگاه XRD^۲ مدل XRD-7000 و در مطالعه عناصر سنگین و نادر خاکی از روش پلاسما جفت‌شده القایی (ICP OES) و به وسیله دستگاه ICP-MASS که متعلق به سازمان زمین شناسی کشور می‌باشند استفاده شده است. نتایج دقیق حاصل از مطالعات صحرایی و ژئوشیمیایی، مورد مقایسه، تجزیه، تحلیل و بررسی قرار گرفته اند. در انجام این تحقیق از نرم افزارهای Sediment Size، CoreDraw، SPSS، Adobe Illustrator و Arc GIS استفاده شده است.



شکل ۳: موقعیت مکانی نقاط نمونه برداری در محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه زمین شناسی خوزستان - سازمان زمین شناسی، (۱۳۹۸)

بحث و بررسی

براساس مطالعات دانه سنجی، میزان کج شدگی در رسوبات جلگه خوزستان، در بازه خیلی ریز تا خیلی درشت قرار دارد، میانگین کج شدگی آنها ۰/۲۵ - بوده و دنباله منحنی کج شدگی به سمت رسوبات دانه درشت می‌باشد.

1X-ray fluorescence

2X-ray Diffractometer

میانگین جورشدگی نمونه ها عدد ۲ را نشان داده و جورشدگی رسوبات در محدوده بد تا بسیار بد (۳ - ۱) قرار می گیرد. همچنین میانگین کشیدگی نهشته های جلگه خوزستان ۱/۱ (کشیدگی متوسط) است. سایر اطلاعات مربوط به دانه سنجی به صورت جدول ۱ است.

جدول ۱. ویژگی های آماری ذرات رسوبی بر اساس اندازه آنها

رس	سیلت	ماسه	گراول	
۳۱.۹	۴۳.۸	۲۲.۲	۲	درصد
۱۰۰	۶۸	۲۴.۲	۲	درصد تجمعی
۴۸.۷	۶۴.۴	۹۷.۵	۱۷.۶	بیشترین
۲	۰.۵	۳.۴	۰	کمترین
۱۶۲.۸۵	۱۸۷.۸۲	۴۳۴.۲۱	۷.۰۸	واریانس
۱۲.۶۷	۱۳.۶۱	۲۰.۶۹	۲.۶۴	انحراف معیار

نتایج دانه سنجی، بیانگر تأثیر مکانیزم رسوب گذاری سریع و پراثری بوده که توسط جریانات شدید رودخانه های متعدد و با دبی بالایی از ارتفاعات زاگرس به سمت پایین دست و جلگه خوزستان حمل شده اند. از طرفی، نزدیک به ۷۰ درصد از این رسوبات، مساوی و بزرگ تر از سیلت بوده و می تواند اطلاعات لیتولوژیکی سنگ مادر را در خود داشته باشد. لذا با توجه به سرعت و حجم مواد منتقل شده از ارتفاعات به سمت جلگه و همچنین جوان بودن آنها، کمترین هوازدگی شیمیایی و نقل و انتقال مواد صورت گرفته و می تواند اطلاعات ژئوشیمیایی بسیار مفیدی از سنگ های سازنده تشکیلات بالادستی ارائه دهد. قابل ذکر است که با حرکت به قسمت های جنوبی جلگه (آبادان و ماهشهر)، رسوبات با بهتر شدن جورشدگی و مثبت شدن میزان کج شدگی و همچنین افزایش ذرات دانه ریز همراه هستند. ضمن این که در بخش جنوب غربی این جلگه نباید سهم رسوبات آواری دانه ریز وارد شده از طریق اروندرود را نادیده گرفت. آنالیز ژئوشیمیایی نهشته های جلگه خوزستان، تغییرات متعدد و معناداری در پراکنش و فراوانی اکسیدها، عناصر فرعی و همچنین عنصرهای خاکی کمیاب (REEs) نشان می دهد (جداول ۲ تا ۴). با توجه به شرایط رسوبگذاری نهشته های موجود در این جلگه، آنالیز ژئوشیمیایی می تواند اطلاعات مفیدی از شرایط جایگاه زمین ساختی سازندهای بالادستی و تغذیه کننده این رسوبات ارائه بدهد ضمن اینکه وضعیت فرآیند هوازدگی این رسوبات نیز قابل بررسی خواهد بود.

جدول ۲. ویژگی‌های آماری اکسید در محدوده مورد مطالعه

	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	CaO	SiO ₂
میانگین	8.50	5.14	0.83	4.47	1.84	0.52	30.52	21.04
درصد	0.50	0.30	0.05	0.26	0.09	0.03	1.79	1.24
بیشترین	16.34	8.90	2.62	7.79	10.90	0.91	45.75	45.88
کمترین	3.11	2.24	0.33	1.01	0.16	0.20	15.53	5.23
دامنه تغییرات	13.23	6.66	2.29	6.78	10.74	0.71	30.22	40.65
انحراف معیار	2.12	1.29	0.34	1.24	1.41	0.12	7.03	9.50

جدول ۳. ویژگی‌های آماری عناصر نادر در محدوده مورد مطالعه

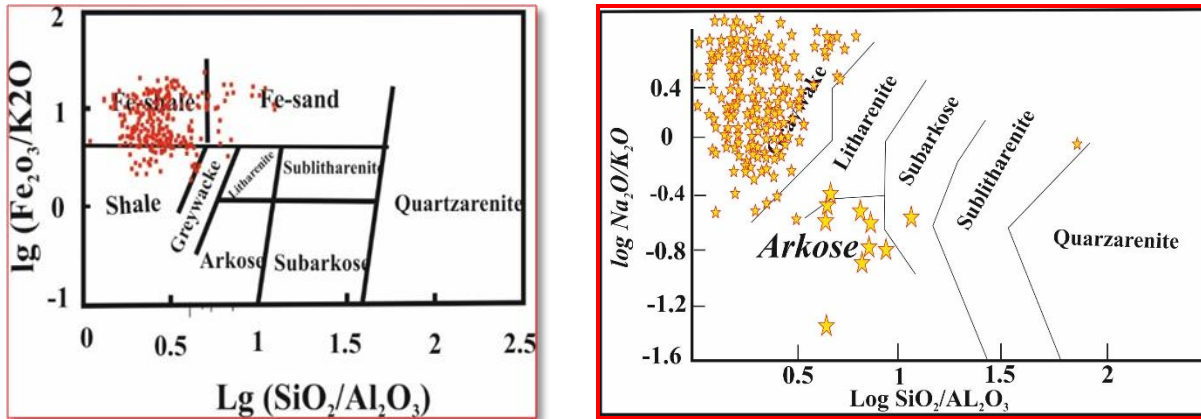
	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd	Pr	Sc	Sm	Tb	Tm	Yb
میانگین	26.91	1.88	1.08	0.58	2.19	1.30	0.41	14.91	0.16	7.71	13.00	3.71	8.04	2.38	0.36	0.18	1.07
درصد	31.34	2.19	1.26	0.68	2.55	1.51	0.48	17.36	0.19	8.98	15.14	4.32	9.36	2.77	0.42	0.21	1.25
بیشترین	62.57	4.90	4.54	1.77	5.76	2.74	1.06	36.88	0.42	17.54	31.95	8.20	17.63	5.57	0.91	0.42	2.44
کمترین	10.23	0.81	0.35	0.17	0.75	0.45	0.14	5.39	0.06	2.86	4.76	1.62	2.51	1.10	0.14	0.08	0.39
دامنه تغییرات	52.34	4.09	4.19	1.60	5.01	2.29	0.92	31.49	0.36	14.68	27.19	6.58	15.12	4.46	0.77	0.34	2.05
انحراف معیار	6.01	0.47	0.42	0.20	0.59	0.33	0.10	3.21	0.06	2.30	3.16	0.80	2.18	0.57	0.09	0.04	0.28

جدول ۴. ویژگی‌های آماری عنصرهای خاکی کمیاب (REEs) در محدوده مورد مطالعه

	Ce	Nb	Ta	Th	Ti	V	Zr
میانگین	26.91	7.71	0.24	3.53	0.25	76.90	144.17
درصد	10.36	2.97	0.09	1.36	0.10	29.61	55.51
بیشترین	62.57	17.54	1.05	8.71	0.98	124.23	273.40
کمترین	10.23	2.86	0.05	1.29	0.12	37.58	56.43
دامنه تغییرات	52.34	14.68	1	7.42	0.86	17.18	216.97
انحراف معیار	6.01	2.30	0.16	0.85	0.08	17.18	47.80

امروزه افزون بر روش‌های پتروگرافی، پژوهشگران از روش‌های ژئوشیمیایی به ویژه ترکیب عناصر اصلی نیز در رده بندی و تفکیک رسوبات بالغ و نابالغ استفاده می‌کنند (اله‌اشمی و کورکوران، ۲۰۲۰). براساس شاخص هرون (۱۹۸۸) که مبتنی بر لگاریتم (Fe_2O_3/K_2O) و (SiO_2/K_2O) بوده و همچنین شاخص پتی‌جان و

همکاران (پتیجان و همکاران، ۱۹۸۷) که بر پایه لگاریتم (Na_2O/K_2O) و (SiO_2/K_2O) ، رسوبات جلگه خوزستان، بلوغ ژئوشیمیایی را طی نکرده است و همچنان بسیاری از اطلاعات ژئوشیمیایی سازندهای سازنده خود را به همراه دارد (شکل ۴).



شکل ۴: طبقه بندی ژئوشیمیایی رسوبات بر مبنای نمودارهای (Herron (1988) و Pettijohn et al. (1987)

از طرفی آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی نهشته های آواری، علاوه بر تعیین و ارزیابی خاستگاه رسوبات، می تواند در بررسی نقش دیاژنز و هوازدگی نیز مورد استفاده قرار گیرد (اورشکینا و همکاران، ۲۰۲۰). تاریخچه هوازدگی سنگها به کمک اندیس های شیمیایی گوناگون که اغلب بر پایه نسبت اکسیدهای متحرک به اکسید غیر متحرک است، برآورد می شود. یکی از این اندیسها، اندیس شیمیایی دگرسانی (CIA) بوده که توسط نسبت و یانگ (۱۹۸۲)، پیشنهاد شده است. این اندیس با استفاده از فرمول زیر به دست می آید و اکسیدها در آن به صورت نسبت مولی بیان می شوند.

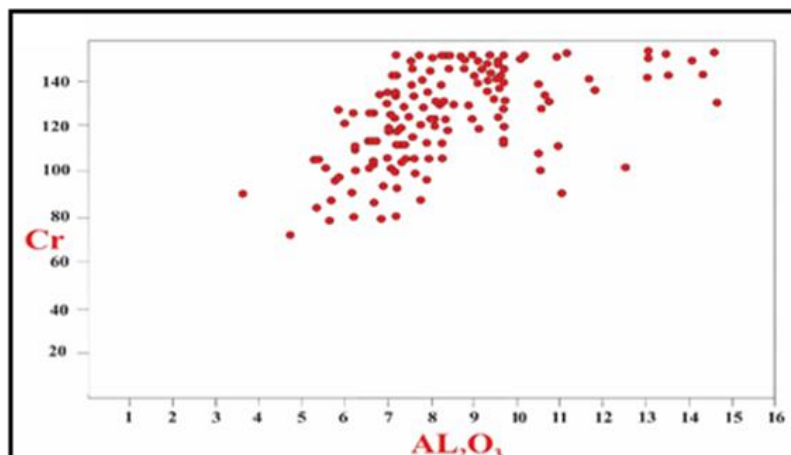
$$CIA = [AL_2O_3 / (AL_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100 \quad \text{(معادله ۱)}$$

افزایش مقدار CIA از پایین به بالا با درجه دگرسانی شیمیایی مرتبط است (اسمیرنوف، ۲۰۱۹). CIA پایین، نشان دهنده این است که دگرسانی وجود نداشته یا خیلی پایین بوده است و منعکس کننده شرایط اقلیمی سرد و خشک و یا ته نشست سریع در شرایط مرطوب است (اورشکینا و همکاران، ۲۰۲۰). این اندیس در مناطق شمالی محدوده مورد مطالعه کم بوده، در حالی که در بخش های جنوبی، افزایش قابل توجهی می یابد. در میانگین این اندیس برای نمونه های منطقه ۱۹/۹۷ می باشد.

اندیس دیگر به کار رفته در این پژوهش، اندیس ژئوشیمیایی هوازدگی CIW بوده که برای تعبیر و تفسیر هوازدگی به کار می‌رود (پولر و پودکوویروف، ۲۰۰۲). این اندیس به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CIW = [AL_2O_3 / (AL_2O_3 + Na_2O)] \times 100 \quad \text{(معادله ۲)}$$

در معادله ۲ اکسیدها باید به صورت نسبت مولکولی در نظر گرفته شوند. محدوده تغییرات این اندیس از ۵۰ برای رسوبات غیر هوازده و ۱۰۰ برای رسوبات به شدت هوازده می‌باشد. این اندیس نیز مانند اندیس CIA، در مناطق شمالی محدوده مورد مطالعه کم بوده، در حالی که در بخش‌های جنوبی، افزایش قابل توجهی می‌یابد. ویژگی‌های شاخص‌های هرون (۱۹۸۸) و پتی‌جان و همکاران (۱۹۸۷) و همچنین شاخص‌های CIA و CIW نهشته‌های جلگه خوزستان گواه این مطلب بوده که این رسوبات در شرایط گرم و مرطوب در مدت زمان کوتاه و یا گرم و خشک در مدت زمان طولانی بر جای نهاده شده‌اند. با توجه به شرایط آب و هوایی و وضعیت هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی موجود، برجای نهاده شدن اغلب رسوبات در مدت زمان کوتاه با محیطی پر انرژی قابل قبول تر می‌باشد. لذا در چنین شرایطی، وجود ویژگی‌های بافتی و فابریکی فوق‌الذکر دور از انتظار نیست. بر اساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی، CaO، SiO₂ و Al₂O₃ فراوان‌ترین و TiO₂ و K₂O کمترین اکسیدهای موجود در نهشته‌های جلگه خوزستان هستند (جدول ۲ و شکل ۲). ضمن این که عناصر Zr و V بیشترین میزان از عناصر فرعی موجود در رسوبات را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳). همچنین عناصر نادر خاکی در منطقه، دارای میانگین ۲۶/۹ ppm در Ce تا کمتر از ۱ ppm در عناصر Ho، Lu، Tb، Tm و Eu هستند (جدول ۴-۳). روند همبستگی یکسان در مقایسه اکسید آلومینیوم با عناصر فرعی اسکاندیوم (Sc)، وانادیوم (V)، توریم (Th)، کبالت (Co)، نیوبیم (Nb)، کروم (Cr) و لانتانیم (La) قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۵). یکی از دلایل وجود کانی‌های سنگین، وجود همبستگی مثبت بین این عناصر، مخصوصاً AL₂O₃ و Cr است (حیدری و راهب، ۲۰۲۰).



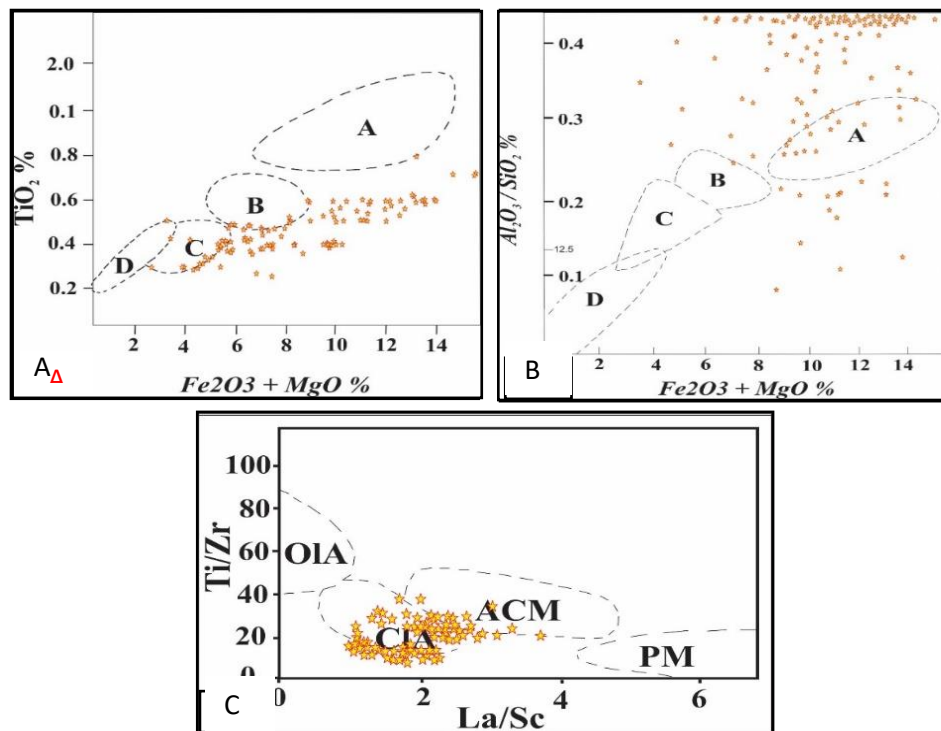
شکل ۵: ارتباط مثبت بین Al_2O_3 و Cr

تعیین جایگاه زمین ساختی رسوبات جلگه خوزستان به عنوان عصاره سازندهای بالادستی یکی از اهداف این مطالعه بوده که بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی قابل انجام است. همان طوری که می دانیم، رسوبات آواری جزایر کمانی اقیانوسی، جزایر کمانی قاره‌ای، حاشیه فعال قاره و حاشیه غیر فعال رابر پایه تغییر مقادیر عناصر اصلی می توان از یکدیگر تفکیک نمود (باهاتا، ۱۹۸۶). این نمودارها، بر پایه میزان TiO_2 در برابر Fe_2O_3+MgO نسبت Al_2O_3 / SiO_2 در مقابل Fe_2O_3+MgO و La/Sc در برابر Ti/Zr بوده و چهار محدوده زمین ساختی مشخص شده است. محدوده A که معادل OIA است مربوط به جزایر کمانی اقیانوسی^۳ است. محدوده B که معادل CIA است مربوط به جزایر کمانی قاره‌ای^۴ می‌باشد. محدوده C که معادل ACM است مربوط به حاشیه فعال قاره^۵ بوده و محدوده D که معادل PM است مربوط به حاشیه غیر فعال است. با استفاده از نمودار باهاتیا (باهاتا، ۱۹۸۶) در تعیین جایگاه زمین ساختی رسوبات مورد مطالعه، مشخص می‌شود که نمونه‌های این منطقه عمدتاً در منطقه حاشیه فعالی قاره ای قرار دارند (شکل ۶). علاوه بر نمودارهای ارائه شده به منظور تعیین جایگاه زمین ساختی نمونه‌های آواری منطقه از نمودارهای (شاندل و گورتون، ۲۰۰۲) و روزر و کورش (۱۹۸۶) که بر پایه عناصر فرعی هستند، نیز استفاده گردید. همان طور که در این نمودار ها مشاهده میگردد، جایگاه زمین ساختی حاشیه قاره‌ای فعال برای نمونه‌های منطقه مورد مطالعه مشخص شده است (شکل ۷).

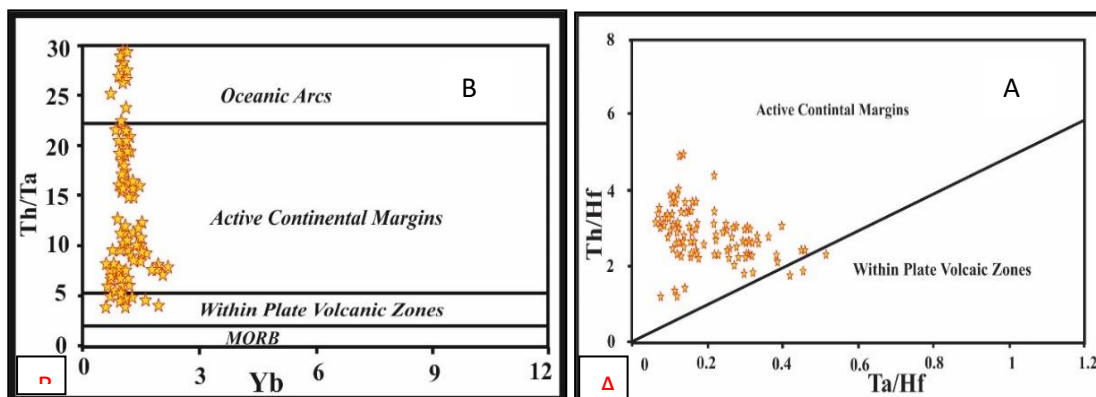
3 Oceanic Island Arc

4 Continental Island Arc

5 Active Continental Margin



شکل ۶: تعیین جایگاه زمین ساختی رسوبات بر پایه نمودارهای باهاتیا (۱۹۸۶). نمونه‌های این منطقه عمدتاً در منطقه حاشیه فعالی قاره ای قرار دارند.



شکل ۷: (A) تعیین جایگاه زمین ساختی رسوبات در منطقه بر پایه نمودارهای اسکندل و گورتن (۲۰۰۲)، راسر و کورش (۱۹۸۶). (B) بر اساس این نمودار ها جایگاه زمین‌شناختی حاشیه قاره‌ای فعال برای نمونه‌های منطقه مورد مطالعه مشخص شده است.

در نهایت، مطالعات ژئوشیمیایی، غنی‌شدگی رسوبات سطحی به عناصری مانند As، Bi، Cd، Co، Cu و U را نشان می‌دهد. این غنی‌شدگی می‌تواند ناشی از فعالیت‌های انسانی در زمینه کشاورزی و صنعتی و حتی در درگیری‌های نظامی طی سال‌های گذشته باشد. چرا که در فعالیتهای کشاورزی که انواع سموم و کودها مصرف

می شود، می تواند غلظت برخی از عناصر در خاک را افزایش دهد. در ضمن، فعالیت‌های صنعتی و به ویژه اقدامات در ارتباط با نفت نیز منجر به رها شدن برخی عناصر به داخل خاک‌ها می گردد. با توجه به موقعیت مکانی نقاط نمونه برداری شده و ویژگی های محیطی پیرامون آن ها، عوامل موثر بر غنی‌شدگی و حتی میزان انباشتگی عناصر در جلگه خوزستان قابل بررسی، اندازه‌گیری و پهنه بندی خواهد بود.

نتیجه گیری

مهم ترین نتایج حاصل شده به صورت خلاصه ارائه می‌گردد. ویژگی های بافت و فابریک ذرات و خصوصیات شاخص‌های هرون (۱۹۸۸)، پتی‌جان و همکاران (۱۹۸۷)، CIA و CIW نهشته های جلگه خوزستان، بیانگر برجای نهاده شدن اغلب آنها در مدت زمان کوتاه با محیطی پر انرژی است که این شرایط در بخش شمالی تر محدوده مورد مطالعه، مشهودتر است. نزدیک به ۷۰ درصد از نهشته ها، مساوی و بزرگتر از سیلت بوده و با توجه به شرایط رسوب‌گذاری، می‌توان اطلاعات لیتولوژیکی سازندهای تغذیه کننده را استخراج نمود. براساس مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات برجای مانده، موقعیت تکتونیکی تشکیل سازندهای تغذیه‌کننده رسوبات جلگه خوزستان، مربوط به جزایر کمانی قاره‌ای و حاشیه قاره‌ای فعال بوده که با شرایط تکوین تکتونیکی زاگرس مطابقت دارد. در داده های ژئوشیمیایی نهشته های جلگه خوزستان، غنی‌شدگی برخی عناصر نظیر Bi، As، Cd، Co، Cu و u مشهود بوده و با توجه به اثرات و شرایط زیست محیطی موجود، پیشنهاد می‌گردد این موضوع بطور جداگانه و مفصل مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

تشکر و سپاسگزاری

از کلیه‌دوستانی که در تهیه این مقاله ما را یاری نموده اند تشکر می‌نماییم. از مهندس علی اژدری و دکتر جواد درویشی از سازمان زمین شناسی مرکز اهواز که امکان دسترسی به نتایج آنالیزهای مختلف را برای ما فراهم کردند تشکر می‌کنیم. از دکتر سعید پورمراد از سازمان زمین شناسی مرکز اهواز که در تفسیر نتایج ژئوشیمیایی نقش ویژه ای داشتند نیز قدردانی می‌شود.

منابع:

- آقاباتی، ع. (۱۳۸۵) زمین شناسی ایران. سازمان زمینشناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، چاپ اول، ۷۰۸ ص.
- زرسوندی و همکاران (۱۳۹۰) ترکیب کانی شناسی و ریخت شناسی ذرات تشکیل دهنده پدیده ی گرد و غبار در استان خوزستان با تکیه بر مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۳، سال نوزدهم، XRD آنالیزها و تصاویر
- سرتاج، م. فتح الهی دهکردی، ف. فیلی زاده، ی. (۱۳۸۴) روند انتشار و تجمع فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۵۸، شماره ۳، ۶۳۴-۶۳۳
- کرباسی، ع.، ۱۳۷۹، غلظت استاندارد و منشأ $Fe, v, Cd, Ca, Cu, Zn, Ni, Mn, Pb$ در رسوبات خلیج فارس"، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۵ و ۶، ۵۶-۵.
- محمدی، ع. (۱۳۸۹) رسوب شناسی و ژئوشیمی رسوبی پالایای جازموریان. فصلنامه خشکبوم، شماره ۱، سال اول، ۱۲-۱.
- Adabi, M.H., Kakemem, U., Sadeghi, A., 2016. Sedimentary facies, depositional environment, and sequence stratigraphy of Oligocene-Miocene shallow water carbonate from the Rig Mountain, Zagros basin (SW Iran). *Carbonates and Evaporates* 31:69–85.
- Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros +⁹fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, 307, 64–95.
- Algan, A.O., Cagatay, M.N., Sarikaya, H.Z., Balkis, N., Sari, E. 1999. Pollution monitoring using marine sediment: a case study on the Istanbul Metropolitan Area. *Turkish of Engineering and Environmental Science*, 23: 39-48.
- Al-Hashim, M.H., Corcoran, P.L., 2020. Geochemistry study of Espanola Formation, Bruce Mines—Elliot Lake area, Ontario, Canada: implications for provenance, paleo-weathering, and tectonic setting. *Geoscience Journal*, online.
- Alizadeh, A., Hormozi, H., Moghadam, M., Seraj, M., 2020. DEM-derived geomorphic indices for assessment of tectonic activity at the Dara anticlinal oil structure within the Zagros fold-thrust belt, southwestern Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 13, 192-212..
- Audry, S., Schafer, J., Blanc, G., Jouanneau, JM; 2004; "Fifty- year sedimentary record of heavy metal pollution(Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France)", *Environmental Pollution* Vol.132, No. 3, pp. 413- 426.
- Bagheri Moghadam, H., Kharazian, N., 2020. Morphologic and chemotaxonomic studies of some Teucrium L. (Lamiaceae) in Zagros region, Iran. *Iran Journal of Science Technology, Transaction Science* (2020), online.
- Berberian, M., 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics* 241, p.193224.
- Bhatia, M.R., 1986. Trace element characteristics of greywakes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 92: 181-193.
- Boggs, S.J., 2018, *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*, eight Edition. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, 662-697. Bowman, B., 2019. *Principles of Alluvial Fan Morphology*, Springer Netherlands, 151 p.
- Cullers, R.L., Podkovyrov, V.N., 2002. The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the MesoproterozoicUi group, southeastern Russia. *Precambrian Research*. 117, 157–183.
- Elias, Z., Sissakian, V.K., Al-Ansari, N., 2019. Assessment of the tectonic activity in northwestern part of the Zagros Mountains, Northeastern Iraq by using geomorphic indices. *Geotechnical Geology Engineering*, 1–13.
- Heidari, A., Raheb, A., 2020. Geochemical indices of soil development in arid to sub-humid climosequence of Central Iran. *Journal of Science, India*, 17, 165–179.

- Herron, M. M., 1988, geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 58, no.5, p. 820- 829.
- Ho, Th, P., Kenji, O., Md, A, U., 2019. Geochemistry and sediment in the main stream of the Ca River basin, Vietnam: weathering process, solute-discharge relationships, and reservoir impact. *ActaGeochimica*, 38, 627–641.
- Karasozen, E., Nissen, E., Bergman, E. A., Ghods, A., 2019. Seismotectonics of the Zagros (Iran) from orogeny wide, calibrated earthquake relocations. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 124, 919– 929.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. 299, 715–717.
- Oreshkina, T.V., Aleksandrova, G.N., Lyapunov, S.M., 2020. Micropaleontological and lithochemical characteristic of the Turtas Formation, Western Siberia, *Stratigraphic Geology Correlation* 28, 311-329.
- Pourmorad, S., Harami, R., Solgi, A., Ale Ali, M (2021), Sedimentological, Geochemical and Hydrogeochemical Studies of Alluvial Fans for mineral Environment purposes, lithology and mineral resources 56, pages 89–112.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R. (1987) *Sand and Sandstone*, 2nd ed., New York, Springer-Verlag, 533 pp.
- Roser, B.P., Korsch, R.J., 1986. Provenance signatures sandstone- mudstone suites determined using discriminate function analysis of major element data. *Chemical Geology* 67, 119-139.
- Robin, R.S., Vardhan, K.V., Muduli, P.R., et al. 2010, Vertical distribution of biological characteristics and phytoplankton community structure in the shelf waters off southwest coast of India. *International Journal of Current Research*, 8, 016 – 034.
- Schandl, E.S., Gorton, M.P., 2002. Application of high field strength elements to discriminate tectonic setting in VMS environment. *Economic Geology*, 97(3), 629- 642.
- Smirnov, P.V., Konstantinov, A.O., Aleksandrova, G.N., Kuzmina, O.B., and Shurygin, B.N., 2019. New data on the lithology of coastal facies of the Turtas Formation (Upper Oligocene, Southwestern Siberia), *Earth Science*, 475, 6, 868–871.
- Zaberi, M., Grutzner, C., Navabpour, P., Ustaszewski, K., 2019. Relative timing of uplift along the Zagros Mountain Front Flexure (Kurdistan Region of Iraq): constrained by geomorphic indices and landscape evolution modeling, *Solid Earth* 10:663–682.