

## تکامل بخش ایرانی دلتای اروند طی هولوسن با استفاده از شواهد رسوب‌شناسی

مریم رحمتی\*؛ مربی ژئومورفولوژی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
مجتبی یمانی؛ استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
راضیه لک؛ دانشیار رسوب‌شناسی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
سیاوش شایان؛ دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
منوچهر فرج‌زاده؛ استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
کونین وود بریج؛ دانشجوی پسادکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه هال یورکشایر، انگلیس  
جواد درویشی؛ دانشجوی دکتر ژئومورفولوژی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۳

### چکیده

دلتا از پویاترین لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی است که به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر فرایندهای دریا و خشکی قرار دارد. دلتای اروند، به دلیل شیب بسیار کم در پیش‌کرانه، طی آخرین دوره کواترنری تا حال حاضر، تحت تأثیر تغییرات ائوستاتیکی آب خلیج فارس و رسوب‌گذاری رودخانه، تحولات زیادی را تجربه کرده که از دیدگاه بنیادی ژئومورفولوژی تاکنون به آن پرداخته نشده است. دستیابی به نحوه تغییر و تکامل دلتای اروند مهم‌ترین هدف این پژوهش است. داده‌های حاصل از نتایج ژئوشیمی (ICP و XRD)، دانه‌بندی و تعیین سن رسوبات هفت مغزه برداشت‌شده مهم‌ترین ابزارهای پژوهش است. نتایج بازسازی دیرینه محیط‌های رسوبی و فرایندهای شکل‌زای دلتا در ارتباط با تغییرات تراز آب خلیج فارس، سه محیط رسوب‌گذاری رودخانه‌ای، تالابی و جزر و مدی را شناسایی کرد. آنالیزهای ژئوشیمی نسبت به دانه‌بندی در این دلتا به مراتب بهتر توانسته به تحلیلی منطقی‌تر از شرایط محیط‌های رسوب‌گذاری گذشته کمک کند. آنالیز ایزوتوپ  $C^{14}$  و  $O^{18}$  به همراه سایر مطالعات پیشین نشان داده است دلتای اروند در اثر تداخل فرایندهای فعال رودخانه‌ای (۲۳۰۰۰PB) با پیشروی و پسروی‌های مکرر آب دریا (از ۹۰۰۰ سال پیش) شکل گرفته است.

**کلیدواژه‌ها:** ائوستاتیک، دلتای اروند، رسوب‌گذاری رودخانه‌ای، ژئومورفولوژی ساحلی، کواترنری (هولوسن).

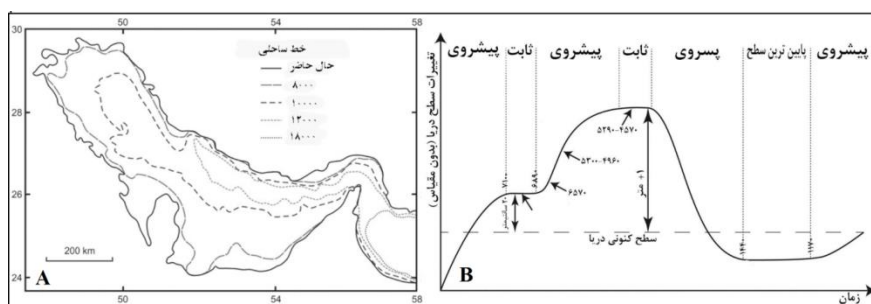
### مقدمه

تغییرات استاتیکی؛ در کنار تغییرات اقلیمی، مهم‌ترین خطوط کلی تحولات و پیامدهای ژئومورفولوژیکی دوره کواترنری به‌شمار می‌رود. از یک طرف، تغییرات استاتیکی باعث جابه‌جاشدن متناوب نوار ساحلی، به‌ویژه در ساحل و فلات قاره

کنونی شده است؛ از طرف دیگر، بالا و پایین رفتن مداوم سطح اساس عمومی، آثار عمیقی بر رودخانه‌های منتهی به دریا گذاشته است که امروزه بقایا و شواهد آن را به صورت اشکال چند دوره‌ای می‌توان دید (جداری عیوضی، ۱۳۹۳).

یکی از بهترین مکان‌ها برای مطالعه کواترنری (هولوسن) از نظر شرایط محیطی، لایه‌های رسوبی محیط‌های دلتایی است. در واقع، دلتاها نقطه عطف فرایندهایی با منشأ خشکی و دریاست که در مقابل تغییرات فرایندهای تکتونیکی، ژئومورفولوژیکی، فرایندهای هیدرودینامیکی دریا و سامانه‌های آب‌وهوا به شدت حساس است (ساکال و همکاران، ۲۰۱۸: ۹۴۷).

ضرورت مطالعه دلتاها با توجه به اینکه بالغ بر ۵۰۰ میلیون نفر از مردم دنیا بر گستره این لندفرم ساکن‌اند، دو چندان می‌شود (هیگینز، ۲۰۱۶). بالا و پایین رفتن تراز خلیج فارس و جابه‌جاشدن خط ساحلی طی هولوسن در قاعده دلتاهایی با شیب کمتر، همچون دلتای اروند، با گستره بیشتری بروز پیدا کرده است (هیوارت و بیتمن، ۲۰۰۷؛ بوگمنز و همکاران، ۲۰۱۷؛ شهبازی، ۱۳۹۴). در طول آخرین عصر اوج یخبندان آبین ۲۶/۵ و ۱۹ هزار سال پیش (کلارک و همکاران، ۲۰۰۹)، سطح آب دریا ۱۲۰ تا ۱۳۰ متر پایین‌تر از سطح آب دریا در حال حاضر بوده است (کلارک و همکاران، ۲۰۰۹؛ هنبس و همکاران، ۲۰۰۹). طی این دوره، کف خلیج فارس عرصه تاخت‌وتاز فرایند بادی در قالب تپه ماسه‌های فراوان بوده است (سارنتین و والگر، ۱۹۷۳). با پایان دوره LGM، بین ۲۰ و ۱۹ هزار سال پیش (یوکویاما و همکاران، ۲۰۰۰؛ کلارک و همکاران، ۲۰۰۹)، فاز آب شیرین به سرعت باعث بالآمدن سطح آب دریا تا ارتفاع ۱۰ متر شد (کلارک و همکاران، ۲۰۰۹؛ هنبس و همکاران، ۲۰۰۹) و به دنبال آن سطح آب دریا با روندی آرام‌تر افزایش یافت. آب دریا در حدود ۱۴ و ۱۲/۵ هزار سال پیش نخست، وارد تنگه هرمز و مناطق مرکزی و شمالی (به ترتیب) شد (شکل ۱).



شکل ۱. (A) تغییر موقعیت خط ساحلی در بخش‌های مختلف خلیج فارس (لامبک، ۱۹۹۶)؛ (B) روند نسبی تغییرات سطح آب خلیج فارس طی کواترنری (لوکی‌یر و همکاران، ۲۰۱۵)

درخصوص تأثیر تغییرات تراز آب خلیج فارس در ارتباط با تکامل دلتای اروند طی هولوسن، مطالعات کمی صورت گرفته است. بیشتر منابع علمی جلگه بین‌النهرین واقع در بخش عراق را از طریق اسناد تاریخی و مطالعات سطحی بررسی شده است. تاریخچه این مطالعات را هیوارت و بیتمن (۲۰۰۷) شرح داده‌اند: نخست، بک (۱۸۳۵) براساس اسناد تاریخی ادعا کرد که گسترش دلتاها و شکل‌گیری جلگه بین‌النهرین از جایی در حدود ۶۴۰ کیلومتری شمال غربی خلیج فارس، ۱۰۰ کیلومتری شمال بغداد تا منطقه سامرا و از زمان توفان بزرگ آغاز شده است؛ اینسورث (۱۸۳۸)، در گزارش اکتشافی زمین‌شناسی جنوب بین‌النهرین، ۱۲۰ کیلومتری شمال ساحل کنونی خلیج فارس را برای این فرایند و در همین بازه زمانی پیشنهاد داد؛ دی‌مورگان (۱۹۰۰)، بر اساس اسناد تاریخی، نقشه‌ای تهیه کرد و خط ساحلی خلیج فارس را در ۲۷۰۰ سال پیش بین بصره و عماره در جنوب تالاب هور الهویزه رسم کرد که تقریباً ۲۰۰ کیلومتری شمال موقعیت فعلی است. این سه منبع مربوط به قرن ۱۹ باور به پیشروی دریا و متعاقب آن پسروی ناشی از گسترش دلتای رودخانه‌های مهم منطقه دارند.

هیوارت و بیتمن (۲۰۰۷) در ادامه مطالعه تاریخی خود به لیز و فالکون (۱۹۵۲) اشاره می‌کنند که این‌گونه

1. polycyclic
2. Last Glacial Maximum (LGM)

پیشروی‌های دریایی گسترده را رد کردند و پیشنهاد دادند که در زمان پیشروی‌های محدود دریایی، سیستمی تعادلی بین فروافتادگی تکتونیک و رسوب‌گذاری برقرار بوده است. هیوارت و بیتمن (۲۰۰۷) می‌افزایند، سناریوی تکتونیک مورد نظر لیز و فالکون (۱۹۵۲) را در دهه ۷۰ میلادی ایوانز (۱۹۶۶ و ۱۹۷۹)، ایوانز و همکاران (۱۹۶۹)، پارسر (۱۹۷۳)، لارسن (۱۹۷۵) و لارسن و ایوانز (۱۹۷۸)، مک‌فادین و ویتافنزی (۱۹۷۸) به‌شدت به چالش کشیدند. مطالعات بعدی نیز نشان داد که تغییرات تراز آب دریا در هولوسن بیشتر در تقابل با گسترش دلتاهای منطقه قابل بحث است تا شرایط تکتونیک (آرزوس کا، ۱۹۸۰؛ الزامل، ۱۹۸۳؛ پارسر و همکاران، ۱۹۸۲؛ العضوی، ۱۹۸۶؛ سانلویل، ۱۹۸۹، ۱۹۹۶، ۲۰۰۳؛ بالتزر و پارسر، ۱۹۹۰؛ عقراوی، ۱۹۹۳، ۱۹۹۷، ۲۰۰۱؛ عقراوی و ایوانز، ۱۹۹۴؛ لامبک، ۱۹۹۶). این محققان تأکید داشتند که بین ۸۰۰۰ تا ۶۰۰۰ سال پیش، دریا تا ناصریه و عماره عراق پیشروی داشته و در این زمان تراز آب دریا ۱ تا ۲ متر بالاتر از تراز کنونی بوده است و سرانجام بین ۶۵۰۰ تا ۳۰۰۰ سال پیش تراز آب دریا به تدریج به وضعیت کنونی رسیده است.

شهبازی (۱۳۹۴) و بوگمنز و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی جامع تحولات رسوبی کواترنری تالاب شادگان (جنوب دشت خوزستان) را با استفاده از ۴۴ مغزه مطالعه کردند. نتایج بازسازی محیط‌های رسوبی و جغرافیای دیرینه نشان داد مناطق جنوبی دشت خوزستان در اثر تداخل فرایندهای فعال رسوب‌گذاری رودخانه‌ای و پیشروی و پسروی‌های مکرر آب دریا در طول هولوسن شکل گرفته است. در این بین، بخشی از جنوب محدوده مطالعاتی که با بخش شمالی دلتای اروند مشترک است تا ۱۰,۰۰۰ سال قبل دشتی سیلابی بوده که در آن نخستین علایم پیشروی آب دریا در ۹۲۵۰ سال قبل مشاهده شده است. در حدود ۷۰۰۰ سال قبل، پیشروی بزرگ دریا صورت گرفت. در ۳۲۵۰ سال قبل که دما سردتر شد، به تدریج عقب‌نشینی ساحل رخ داد که در نتیجه آن شکل‌گیری محیطی مرطوب و خارج از آب در نوار بالای جزر و مدی به شکل پهنه‌های گلی گسترده متأثر از جریان‌های رودخانه‌ای بالادست، شوره‌زارهای ساحلی و آبگیرهای بینابینی را شکل داد.

همچنین، در زمینه تأثیر دخالت انسان بر تغییر چشم‌اندازهای طبیعی دشت خوزستان، مطالعاتی همچون نقش انسان در تغییر مسیر رودخانه کرخه (هیوارت و همکاران، ۲۰۱۲) و کارون (والسترا و همکاران، ۲۰۱۰) صورت پذیرفته است.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذرات رسوبی - مانند اندازه ذرات، بافت، ویژگی‌های عنصری و کانی‌شناسی رسوبات - تحت تأثیر مستقیم و غیرمستقیم تغییرات محیطی، به‌ویژه تغییرات اقلیمی و ائوستاتیکی است. در واقع، ذرات رسوبی خصوصیات خود را از محیط‌های گذشته به ارث برده است. بنابراین، تحلیل وقایع ژئومورفولوژیکی با استفاده از شواهد محیط‌های رسوبی اطلاعات مفیدی از منشأ، شرایط حمل و ته‌نشین شدن رسوبات و شرایط آب‌وهوایی زمان ته‌نشین شدن در اختیار قرار می‌دهد.

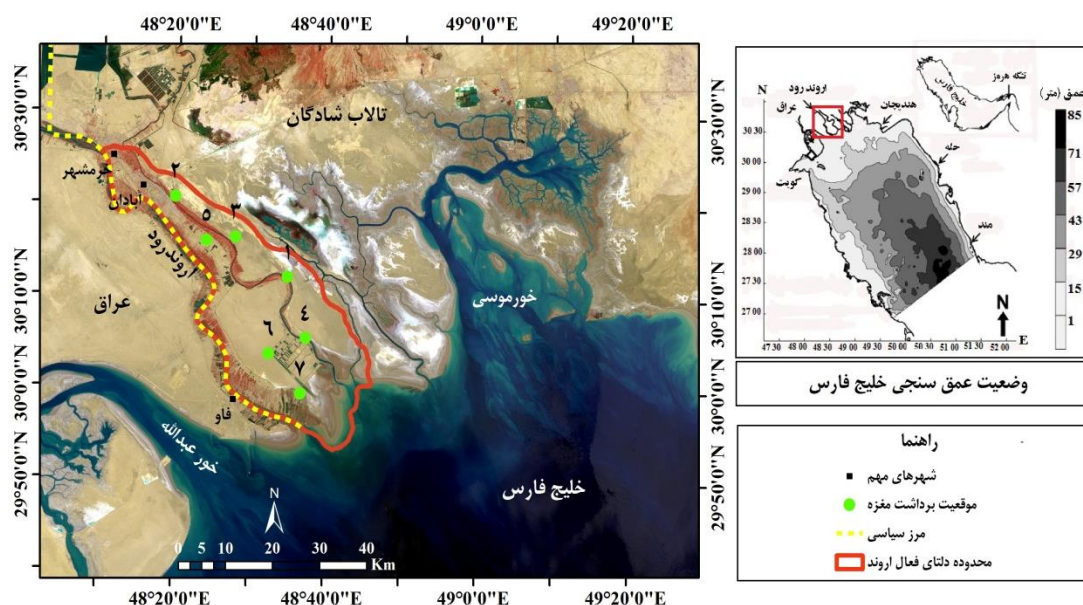
با توجه به پیشینه پژوهش، باید اظهار داشت دلتای اروند بزرگ‌ترین (زمردیان، ۱۳۹۲: ۱۲۷) و کم‌شیب‌ترین دلتای موجود در بخش شمالی خلیج فارس طی آخرین دوره کواترنری تحت تأثیر تغییرات ائوستاتیکی آب خلیج فارس تحولات زیادی را از گذشته تا حال تجربه کرده و از دیدگاه بنیادی ژئومورفولوژی تاکنون به آن پرداخته نشده است. این تغییرات در سال‌های اخیر با گسترش کاربری‌های انسانی پیرامون آبراهه اصلی دلتای اروند و تبدیل شدن اروند به منطقه آزاد تجاری - صنعتی، همچنین تأثیر گرمایش جهانی، به‌سرعت در حال افزایش است؛ لذا، بررسی عکس‌العمل خطوط ساحلی در مقابل این رویکرد لازم است. بازسازی تغییرات ژئومورفولوژیکی دلتا از طریق توالی سکانس‌های رسوبی طی هولوسن مهم‌ترین هدف این پژوهش است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، بخش ایرانی دلتای اروند واقع در شمال غرب خلیج فارس و منتهی‌الیه جنوب غرب استان خوزستان است (شکل ۲). مختصات جغرافیایی دلتای اروند  $29^{\circ} 59' 81''$  عرض شمالی و  $48^{\circ} 11' 89''$  طول شرقی است.

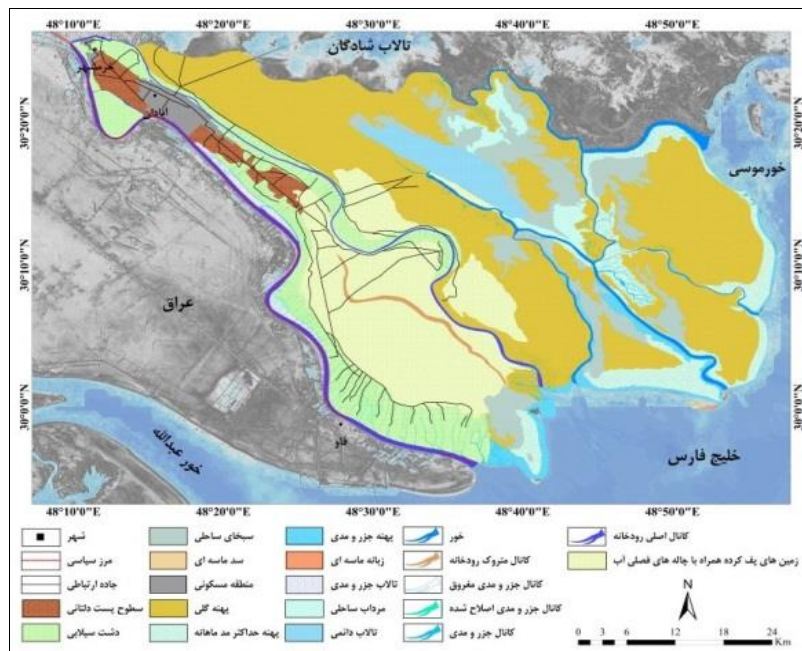
وسعت منطقه معادل  $1255/95 \text{ km}^2$ ، انتهایی ترین بخش حوضه کارون بزرگ است. این دلتا از شمال و شرق به دشت سیلابی رود کارون و تالاب شادگان، از غرب به کشور عراق و از جنوب به خلیج فارس محدود می شود. ارتفاع این مثلث در حدود  $74 \text{ km}$  و قاعده آن (دلتای فعال) در انتهایی ترین قسمت، حدود  $13 \text{ km}$  است. رودخانه کارون به همراه دو رودخانه دجله و فرات با به وجود آوردن رودخانه اروند، سازنده دلتای کمائی شکل بین النهرین یا همان دلتای اروند محسوب می شود. میانگین دبی سالانه رودخانه اروند حدود  $240 \text{ m}^3/\text{s}$  برآورد شده است (الوسیری و پوکوانیچ، ۲۰۱۷: ۲۷۴). بر این اساس، بیشترین میزان تخلیه جریان آب اروند به خلیج فارس در فصل بهار و کمترین میزان تخلیه آن در فصل پاییز اتفاق می افتد. این دلتا جزء دلتاهای جزر و مد غالب با تأثیر کم امواج است (گالویی، ۱۹۷۵). همچنین، دلتای اروند از نظر فرایند انتقال و رسوب گذاری در دسته دلتاهای سازنده قرار می گیرد. از نظر تکتونیک، در زون فرونشست زاگرس قرار دارد که شکل گیری آن در ارتباط با تصادم دو صفحه تکتونیک عربی و آسیایی در اواخر میوسن است (وودبریج و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۱۶؛ اورنگ و همکاران، ۲۰۱۸: ۹۰). بر اساس طبقه بندی دومارتن اصلاح شده (خلیلی، ۱۳۷۰)، منطقه در اقلیم فراهشک قرار گرفته است. بر اساس داده های آماری ایستگاه سینوپتیک آبادان (۱۹۵۱-۲۰۱۷)، میانگین دما و بارش سالانه طی ۶۶ سال اخیر، به ترتیب معادل  $27^\circ \text{C}$  و  $138 \text{ mm}$  است (سازمان هواشناسی کشور). از نظر رسوب شناسی، بخش ایرانی دلتای اروند به جزء در رأس دلتا که متوسط دانه است، از رسوبات دانه ریز تشکیل شده است. به طور میانگین، سیلت با  $65\%$ ، دارای بیشترین اندازه ذرات رسوبی است. پس از آن، رس با  $23\%$ ، ماسه با  $10\%$  و در آخر گراول با  $2\%$  در رده های بعدی قرار دارد (جودکی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۸۸).



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی و عمق سنجی دلتای اروند (الوسیری و پوکوانیچ، ۲۰۱۷: ۲۷۱) به همراه پراکنده گی مغزه های برداشت شده

### روش شناسی

به منظور رسیدن به هدف پژوهش از ابزارهای میدانی - آزمایشگاهی و داده های اسنادی - رقومی به شرح زیر استفاده شد: کتب، مقالات، پایان نامه ها، گزارش و طرح های پژوهشی صورت گرفته توسط نهادها و سازمان ها، به همراه مصاحبه شفاهی با مسئولان و افراد مطلع محلی و متخصص در شناخت کلی موضوع و منطقه مورد مطالعه. نقشه ژئومورفولوژی منطقه به منظور شناخت وضعیت مورفولوژیکی حال حاضر و انتخاب نقاط مغزه برداری، براساس عکس های هوایی (۱۹۵۵)، نقشه های توپوگرافی (آبادان و اهواز)، نقشه زمین شناسی (آبادان، ماهشهر، خورموسی و منصوری)، تصاویر ماهواره ندست (۲۰۱۶-۱۹۷۳) و IRS (P5) مربوط به سال ۲۰۱۱ تهیه و استفاده شد.



شکل ۳. نقشه ژئومورفولوژی دلتای اروند

### عملیات مغزه‌گیری و تفسیر محیط‌های رسوبی

عملیات حفاری با استفاده از مغزه‌گیر دستی انجام شد. مغزه‌گیری با استفاده از سرمته خاک‌شناسی تا رسیدن به مناطق مرطوب متأثر از آب زیرزمینی (بین ۲۰ cm تا ۳ m) انجام شد. پس از آن، با استفاده از سرمته اسکانه‌ای ادامه یافت. شکل ۴ نمایی از بخشی از عملیات مغزه‌گیری و نمونه صدف موجود در مغزه‌ها را نشان می‌دهد. بدین ترتیب، هفت مغزه (از رأس تا قاعده دلتا) در مجموع حدود ۵۶ متر حفاری شد (جدول ۱).

تفسیر مغزه‌ها، بر اساس نوع ساخت رسوب، مواد آلی و نوع آن، علایم اکسایش و احیا، نوع کانی‌های تبخیری، عمق برخورد با آب زیرزمینی و در نهایت هر نوع ویژگی خاص استفاده‌شده در تفسیر رخساره و تشخیص محیط رسوبی آن صورت گرفت. سپس، از هر یک از رخساره‌های تشریح‌شده یک نمونه برای ارسال به آزمایشگاه برداشت شد (شکل ۴).

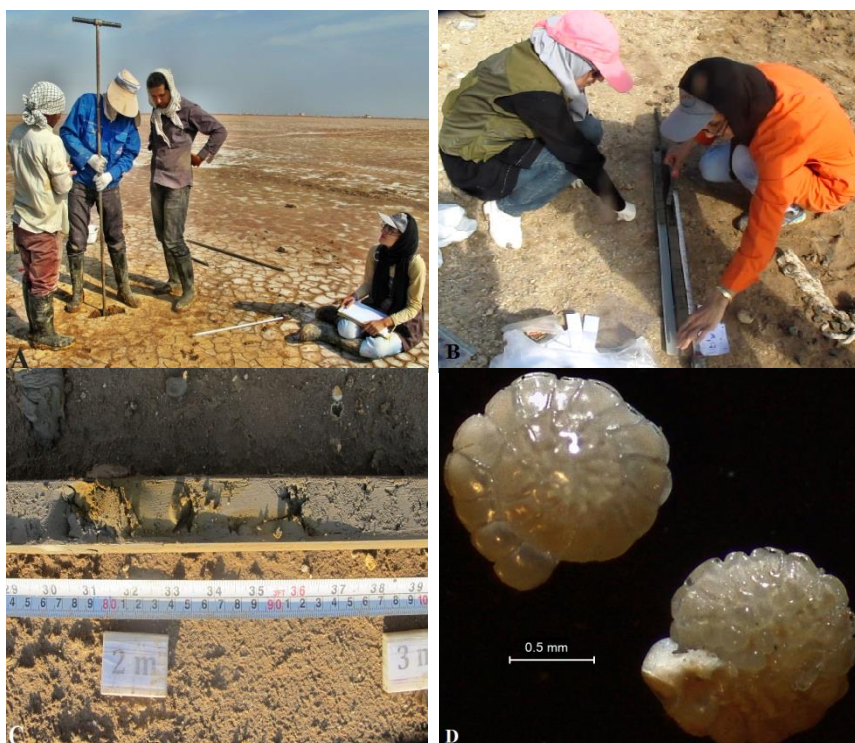
### روش آزمایشگاهی

عملیات آزمایشگاهی شامل دانه‌بندی رسوبات (بالا و زیر ۶۳ میکرون)، آزمایش ژئوشیمی شامل تعیین عنصری (ICP-OES)، کانی‌شناسی (XRD) و تعیین سن رادیوکربن (ایزوتوپ  $C^{14}$  و  $O^{18}$ ) است.

### آزمایش دانه‌بندی

به‌منظور تشخیص اندازه ذرات رسوبی، تعداد ۴۷ نمونه رسوب برداشت‌شده از مغزه‌ها با استفاده از الک شیکر مرطوب در فراکسیون‌های ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰ میکرون و ۱ و ۲ میلی‌متر دانه‌بندی شد. به‌منظور بررسی میزان سیلت و رس در رسوبات زیر ۶۳ میکرون، از دستگاه دانه‌بندی لیزری مدل Analiysette A23 استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده در نرم‌افزار Sediment size تجزیه و تحلیل آماری شد و پارامترهای آماری مانند جورشدگی، کج‌شدگی، کشیدگی و تیپ رسوبات (براساس طبقه‌بندی فولک، ۱۹۷۶) مشخص شد.

1. handy ouger
2. pedology
3. gauge



شکل ۴. (A) مغزه‌گیری در نقاط نرم رسوبی، (B) برداشت کامل مغزه در محفظه مخصوص، (C) علایم اکسایش به صورت لکه‌های قهوه‌ای، (D) تصویر SEM از صدف *Compressiuscula* به منظور آنالیز ایزوتوپ  $C^{14}$  و  $O^{18}$

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و عمق هر یک از مغزه‌های رسوبی برداشت‌شده در دلتای اروند

کد نمونه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عمق مغزه (cm)
MR-1	30° 12' 16" N	48° 34' 43" E	-1060
MR-2	30° 20' 51" N	48° 19' 42" E	-679
MR-3	30° 16' 36" N	48° 27' 43" E	-665
MR-4	30° 05' 38" N	48° 37' 14" E	-880
MR-5	30° 16' 10" N	48° 23' 56" E	-916
MR-6	30° 03' 52" N	48° 32' 24" E	-720
MR-7	29° 59' 33" N	48° 36' 41" E	-975

### آزمایش ژئوشیمی و کانی‌شناسی رسوبات

ترکیب عنصری ۴۷ نمونه پودر شده به روش پلاسمای جفت‌شده القایی<sup>۱</sup> با استفاده از دستگاه ICP-OES مدل Varian 735-ES انجام شد. همچنین، کانی‌شناسی برای ۴۷ نمونه با استفاده از پراش پرتو ایکس (XRD) در دستگاه D4 EQUINOX 1000 انجام و پراش گراف‌های تهیه‌شده تحلیل شد. آزمایش‌های فوق در آزمایشگاه‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد.

### آنالیز تعیین سن رادیوکربن

سه نمونه صدف به منظور آنالیز ایزوتوپ  $C^{14}$  و ایزوتوپ  $O^{18}$  با استفاده از روش شتاب‌دهنده طیف‌سنج جرمی<sup>۲</sup> در آزمایشگاه Beta Analytic Radiocarbon Dating ایالت فلوریدای آمریکا استفاده شد. کالیبره کردن با استفاده از نرم‌افزار CALIB 7.1 و مقدار Delta R: +180 years صورت پذیرفت.

در نهایت، به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل بهتر نتایج حاصل از تشخیص محیط‌های رسوبی، آنالیزهای ژئوشیمی،

1. Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectroscopy  
 2. X-ray diffraction  
 3. Accelerator Mass Spectrometry (AMS)

کانی‌شناسی و دانه‌بندی و ارتباط آن با یکدیگر، همچنین ارتباط آن با نوسانات تراز دریا و ستون چینه‌شناسی هر یک از مغزه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Log plot 7 ترسیم شد.

### یافته‌های پژوهش

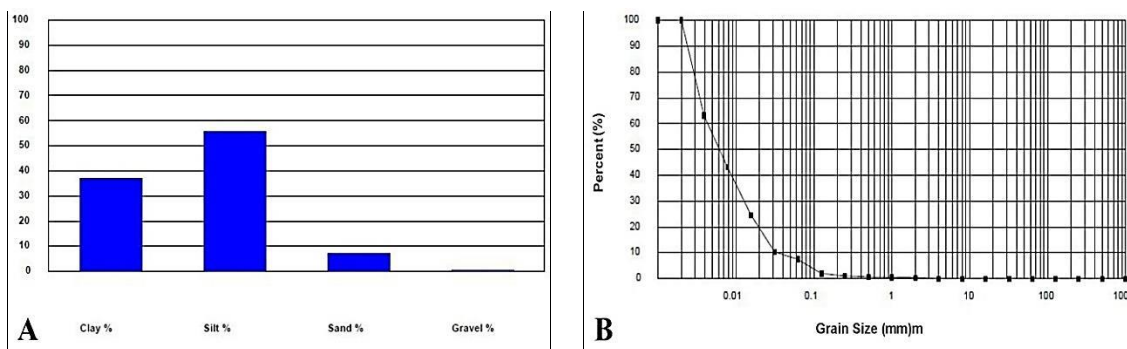
نخست، تفکیک محیط‌های رسوبی با استفاده از تفسیر ویژگی‌های ماکروسکوپی مغزه‌ها، به‌صورت اولیه صورت پذیرفت تا در مراحل بعدی با تلفیق نتایج حاصل از آنالیزهای دانه‌بندی، تعیین عنصری و کانی‌شناسی تفکیک محیط‌ها تکمیل شود. رخصاره‌های رسوبی منعکس‌کننده شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط‌های رسوبی است. در مغزه‌های مورد مطالعه، سه واحد رسوبی بر اساس رنگ، بافت، محتوای ماکروفسیل، بقایای پوشش گیاهی، بلورهای ژیپس و موقعیت چینه‌شناسی شناسایی شد. بدین ترتیب، رسوبات متعلق به این چند واحد محیط‌های رسوبی رودخانه‌ای، تالاب لب شور-آب شیرین و جزر و مدی تفسیر شد.

### دانه‌بندی رسوبات

تعیین اندازه ذرات رسوبی از جمله شاخص‌هایی است که شرایط محیط رسوب‌گذاری و انرژی جریان را نشان می‌دهد. پارامترهای آماری از جمله جورشدگی، کج‌شدگی (نامتقارن بودن منحنی توزیع ذرات)، کشیدگی (نوک تیزی منحنی توزیع ذرات) و میانگین اندازه ذرات نسبت به تغییرات انرژی جریان حساس و تحت تأثیر فاکتورهای فرسایش، حمل‌ونقل و سرعت ته‌نشست کنترل می‌شود. پس از انجام آنالیز دانه‌بندی نمونه‌ها مشخص شد بافت غالب رسوبات ریزدانه است که به‌صورت سیلت ماسه‌ای خود را نشان داده است. ذرات گراول در نمونه‌ها یا اصلاً وجود ندارد یا به مقدار ناچیز یافت می‌شود. نکته‌ای که در بررسی دانه‌بندی نمونه‌ها اهمیت دارد، اضافه‌شدن رسوبات با منشأ بیوشیمیایی (بیولوژیکی)، به‌خصوص پوسته‌های صدف در مغزه‌هاست که بر نتایج دانه‌بندی تأثیرگذار است (رحمتی، ۱۳۹۶: ۱۲۰).

به‌طور کلی، روند تغییرات عمقی اندازه ذرات دانه‌درشت‌تر شده است. این روند تغییرات از دانه ریز به درشت (ماسه) در مغزه MR.7 به دلیل موقعیت جغرافیایی مغزه در قاعده دلتا نمود بیشتری دارد. این تغییرات نشان‌دهنده افزایش نسبی انرژی محیط ته‌نشینی رسوبات جزر و مدی در عمق بیشتر نسبت به ته‌نشینی رسوبات رودخانه‌ای در اعماق نزدیک به سطح است. جورشدگی نمونه‌های رسوبی فاکتوری است که نشان می‌دهد اندازه ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات چه مقدار به یکدیگر نزدیک است. بررسی نتایج جورشدگی گویای جورشدگی ضعیف ۳۶ نمونه رسوبی از بین ۴۷ نمونه است. این ناهمگونی در اندازه ذرات بیشتر در نمونه مغزه‌های MR.2 و MR.7 خود را نشان داده است. می‌توان گفت تأثیر فرایندهای مختلف در این منطقه به‌طور هم‌زمان اعم از فرایندهای کشندی، رودخانه‌ای (دجله، فرات و کارون) و گاه ته‌نشینی رسوبات بادی بر اثر توفان‌های گرد و خاک جنوب عراق و کویت و نظایر آن علت ناهمگونی رسوبات در نمونه‌های رسوبی این منطقه است.

از روی شاخص چولگی می‌توان انرژی محیط رسوبی و نیز فرایندهای حمل‌کننده رسوبات را مشخص کرد. برای مثال، رسوبات با چولگی منفی نشان‌دهنده محیطی پرانرژی همراه با اندازه ذرات دانه درشت است. بررسی در شاخص کج‌شدگی (چولگی) نمونه‌ها نشان داد اکثر نمونه‌ها (۳۳ نمونه) چولگی مثبت همراه با ذرات دانه دارد که با غالب بودن بافت اکثر نمونه‌ها (سیلت رسی) همخوان است. این امر نشان‌دهنده وجود محیطی کم‌انرژی حین پیشروی آب دریا به‌صورت تدریجی و هم‌زمان با آن در زمان رسوب‌گذاری در سطح دلتاست. مطالعه شاخص کشیدگی نمونه‌ها که همچون شاخص جورشدگی در تعبیر و تفسیر محیط‌های رسوبی و فرایندهای حمل‌ونقل و رسوب‌گذاری کاربرد دارد، روند خاصی از تغییرات را در این دلتا نشان نداد. نتایج آنالیز دانه‌بندی نمونه 660-670 MR6. به‌صورت موردی در شکل ۵ نمایش داده شده است.



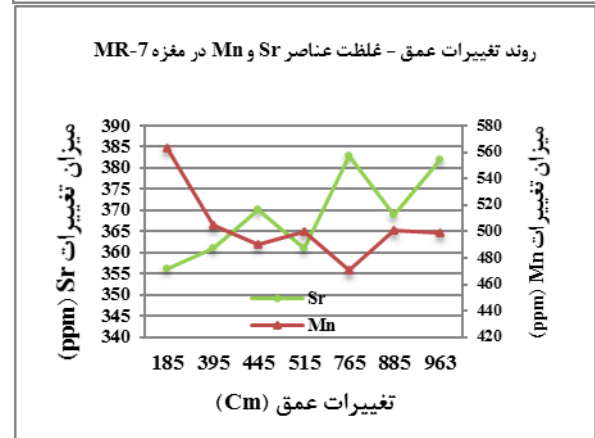
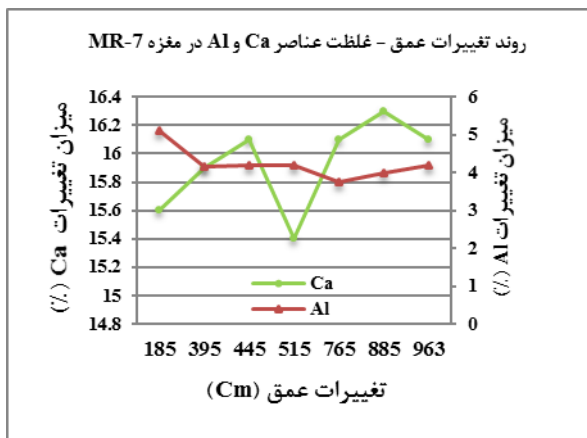
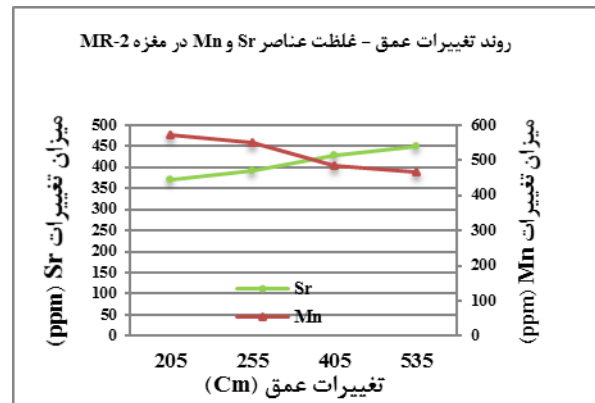
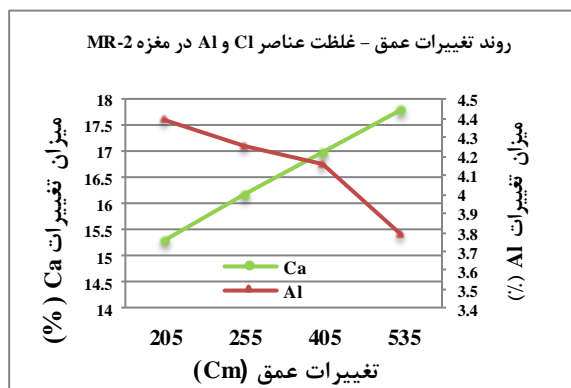
شکل ۵. نمودار دانه‌بندی (A) و منحنی هیستوگرام (B) نمونه MR6. 660-670 که بیانگر فراوانی ذرات ریزدانه و تپ رسوبی گل با کمی گراول است.

### آنالیز کانی‌شناسی و تعیین عنصری رسوبات

به‌منظور تعیین دقیق‌تر محیط‌های رسوب‌گذاری (قاره‌ای و درون حوضه‌ای) و ارتباط محیط‌های رسوبی با پیشروی و پسروی دریا از نتایج داده‌های XRD و ICP استفاده شد. استفاده از ژئوشیمی رسوبات در تعیین شرایط دیرینه محیط اهمیت ویژه‌ای دارد. توزیع عناصر اصلی و فرعی در رسوبات به ترکیب کانی‌شناسی، دما، ترکیب سیالات، شرایط اکسایش و احیا بستگی دارد (آدابی، ۱۳۸۴).

مطالعات نشان می‌دهد ترکیب و میزان عناصر به شرایط محیطی حساس است. برای مثال، تمرکز عنصر استرانسیم ارتباط مستقیمی با شوری آب دارد، به‌طوری که با مشاهده در مغزه‌های دلتای اروند این میزان با غلبه رسوبات محیط جزر و مدی افزایش می‌یابد. افزایش غلظت عنصری همچون کروم، آهن، آلومینیم، منگنز و سیلیسیم شاخص افزایش میزان رسوبات آواری وارده به حوضه رسوبی تفسیر می‌شود. آلومینیم از جمله عناصری است که در برابر فرایندهای هوازدگی مقاومت بالایی دارد. بنابراین، شاخص مناسبی برای تعیین تغییرات انرژی حمل‌ونقل است. در بین عناصر بالا، سیلیسیم و آهن اندیکاتورهای خوبی برای منشأ رسوبات آواری نیست، چرا که از منابع دیگری نیز تأمین می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴۲). مقادیر بیشتر عناصر با منشأ قاره‌ای یا آواری - مانند آلومینیم، کروم، منگنز و باریم - با روند تغییرات سطح آب دریا رابطه‌ای معکوس دارد، به‌گونه‌ای که در اعماق بیشتر مغزه‌ها، مقادیر این عناصر کاهش می‌یابد. آلومینیم، کروم، منگنز و باریم شاخص رسوبات آواری و کلسیم و استرانسیم شاخص رسوبات با منشأ درون حوضه‌ای و بیوشیمیایی است. بنابراین، روند تغییرات عناصر کلسیم و استرانسیم منطبق با روند تغییرات سطح آب دریاست (لک و تقی‌زاده، ۱۳۹۳: ۱۸۶). بدیهی است که بالا آمدن سطح آب دریا سبب افزایش محدوده فلات قاره شده و با افزایش ته‌نشست کربنات‌ها همراه است.

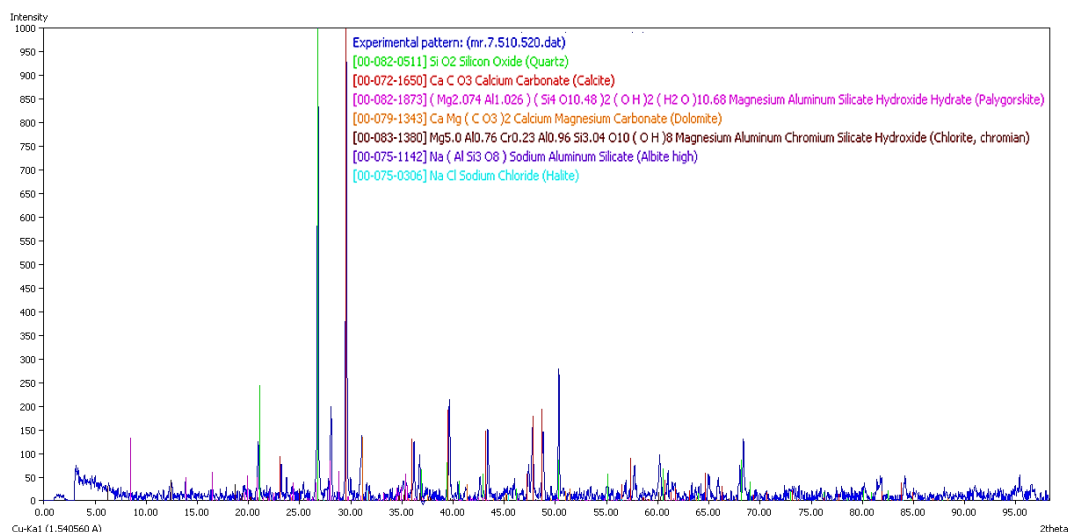
نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه شیمیایی عناصر به روش ICP، در محیط نرم‌افزار اکسل پردازش شد. نمودار چند عنصر مهم آن در نمونه مغزه‌های MR.2 و MR.7 که از نظر پراکنش جغرافیایی به ترتیب در رأس و قاعده دلتا قرار دارد، در شکل ۶ ارائه شده است. نتایج آنالیز عنصری ۴۷ نمونه رسوبی، ۲۱ عنصر موجود در نمونه‌ها را شناسایی کرد. از میان هم‌بستگی بین این عناصر، چهار عنصر به‌مراتب بهتر توانسته است تغییرات تراز دریا و ارتباط آن با پیشرفتگی خشکی را در این دلتا نشان دهد. این چهار عنصر عبارت است از آلومینیم، کلسیم، استرانسیم و منگنز. با مطالعه روند تغییرات مقادیر کلسیم که تشکیل آن بیشتر به‌صورت بیوشیمیایی است، همچنین استرانسیم، در بیشتر مغزه‌ها این افزایش غلظت در اعماق بیشتر، به‌ویژه در مغزه‌های MR.2، MR.5 و MR.7 مشهود است و به‌خوبی از نسبت میان این چهار عنصر در مغزه‌ها می‌توان پی‌برد تا چه عمقی پیشرفتگی دریا و خشکی را در گذشته این دلتا شاهد بوده‌ایم.



شکل ۶. مقایسه روند تغییرات برخی عناصر قاره‌ای (آبرفتی) و درون حوضه‌ای (دریایی) در مغزه‌های گرفته‌شده از رأس و قاعده دلتای اروند

با استفاده از نتایج آزمایش کانی‌شناسی با روش پراش اشعه ایکس ۴۷ نمونه رسوبی بر اساس فراوانی کانی در سه دسته سیلیکاتی، کربناتی و تبخیری طبقه‌بندی شد. نتایج کانی‌شناسی نشان داد با وجود اینکه ترکیب رسوب‌شناسی در توالی مغزه‌ها به صورت هیبرید و مخلوطی از رسوبات تخریبی و کربناتی است، آنچه مسلم است در همه نمونه‌ها میزان کربنات کلسیم به صورت کلسیت، دولومیت و آراگونیت بیش از ۵۰٪ مقدار کل رسوب است. به‌طور کلی، از مهم‌ترین دلایل کربناته‌بودن ترکیب غالب کانی‌شناسی مغزه‌ها عبور رودخانه‌های مهم سرزیرشده به دلتای اروند، به‌ویژه کارون از سازندهای کربناتی در ارتفاعات زاگرس و موقعیت جغرافیایی خلیج فارس در اقلیم نیمه‌حاره است. بدیهی است که این ترکیب کربناته در عرض‌های پایین‌تر سواحل خلیج فارس بیشتر آراگونیتی است. به‌سوی عرض‌های بالاتر از مقدار آراگونیت کاسته و بر میزان کلسیت افزوده می‌شود (لک و تقی‌زاده، ۱۳۹۳: ۱۸۶). بر این اساس، بیشترین فراوانی کانی‌ها را در گروه کربناته کلسیت و دولومیت، در گروه تخریبی کوارتز و در گروه تبخیری هالیت به‌خود اختصاص داده است. در مقابل، کمترین میزان کانی در نمونه‌ها مربوط به کانی پیریت و کانی رسی کائولینیت است. شکل ۷ نمونه‌ای از نتایج کانی‌شناسی (XRD) براساس پراش گراف نمونه MR.7 510-520 را نشان می‌دهد.

به‌منظور دستیابی به زمان غالب‌شدن هر یک از فرایندهای مؤثر رسوب‌گذاری (دریایی-رودخانه‌ای) بر تکامل دلتای اروند و بازسازی شرایط اقلیمی گذشته، سه نمونه صدف برای آنالیز ایزوتوپ  $C^{14}$  و ایزوتوپ  $O^{18}$  انتخاب شد. نتایج حاصل از این آنالیز در جدول ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۷. نمونه‌ای از نتایج کانی‌شناسی (XRD) بر اساس پراش گراف نمونه رسوبی MR.7 510-520

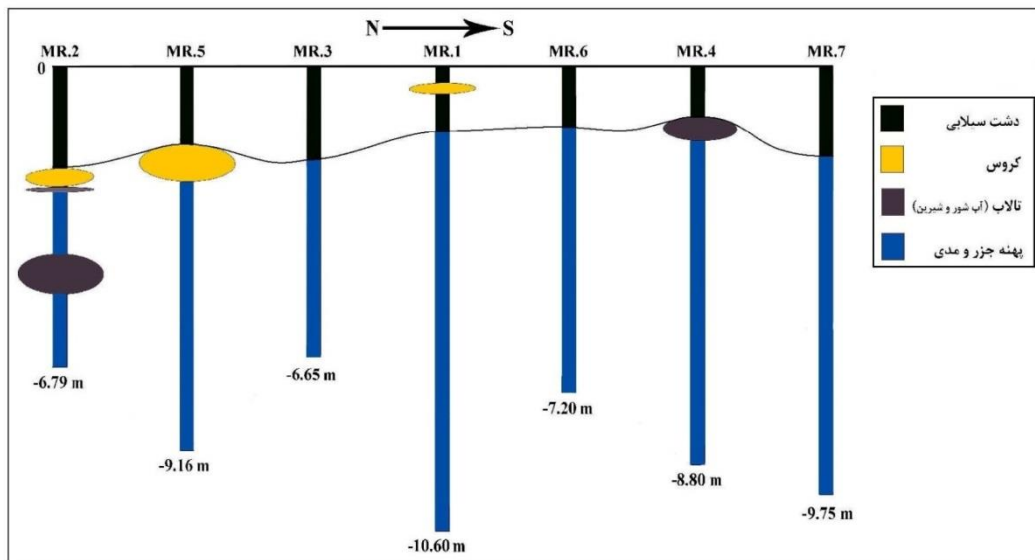
جدول ۲. نتایج آنالیز ایزوتوپ کربن و اکسیژن نمونه رسوبی برداشت‌شده در دلتای اروند

کد نمونه	عمق نمونه زیر سطح (m)	نوع نمونه	سن نمونه (سال)	$\sigma C^{13}$	$\sigma O^{18}$	سن کالیبره شده با دامنه 2σ
M.R.7	-۳/۹۵	صدف	۲۹۶۰±۳۰BP	-۰/۳	-۰/۳۶	۲۴۰۵-۲۶۶۰BP
M.R.7	-۵/۴۵	صدف	۳۰۰۰±۳۰BP	-۱/۱	-۱/۱۵	۲۴۷۰-۲۶۹۰BP
M.R.7	-۷/۶۵	صدف	۲۸۸۰±۳۰BP	+۰/۸	-۲/۷۵	۲۳۲۵-۲۴۷۰BP

بررسی نتایج سن‌سنجی پس از کالیبره کردن و نمودار ژرفا- سن نمونه‌ها در مغزه MR.7 (جنوبی‌ترین مغزه در قاعده دلتا) نشان می‌دهد میانگین نرخ رسوب‌گذاری دلتا در حدود ۲۵۰۰ سال پیش رقمی معادل ۲/۲۹ mm/yr بوده است، به طوری که نرخ رسوب‌گذاری در دلتای اروند در عمق ۳/۹۵ m معادل ۱/۵۶ mm/yr، در عمق ۵/۴۵ m معادل ۲/۱۲ mm/yr و در عمق ۷/۶۵ m با نرخ رسوب‌گذاری بیشتر معادل ۳/۱۹ mm/yr به پایین رفتن تدریجی سطح آب خلیج فارس واکنش نشان داده است. این تغییرات بر اساس نتایج ایزوتوپ  $O^{18}$  همراه با روند افزایش دما از حدود ۲۳۰۰ تا ۲۵۰۰ سال پیش بوده است که تا حال حاضر نیز ادامه دارد.

محیط‌های رسوبی بر اساس نتایج حاصل از تفسیر ماکروسکوپی و نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی تعیین شد. شکل ۸ مقاطع رسوبی هفت مغزه در راستای شمالی- جنوبی را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده روند تغییر محیط‌های رسوب‌گذاری و فرسایش از رأس تا قاعده دلتای اروند است. در این مقاطع، سه محیط موجود آبرفتی (رودخانه‌ای)، تالابی و جزر و مدی پس‌زمینه تغییرات در مقاطع شناسایی شد تا با مشاهده آن به روند عمومی تغییر فرایندهای رسوب‌گذاری و فرسایش در منطقه پی ببریم. همچنین، روی ستون‌های رسوبی علاوه بر محیط و فرایندهای رسوبی ذکر شده، محل گسترش آن‌ها و الگوی تغییرات از رأس تا قاعده دلتا قابل استخراج است. بر این اساس، توالی سکانس‌های رسوبی از سطح به عمق از نوع قاره‌ای به دریایی است، به طوری که در عمق ۲/۵ الی ۳/۵ متری (به صورت میانگین) محیط رودخانه‌ای تبدیل به محیط جزر و مدی می‌شود.

در نهایت، مجموع داده‌های ثبت‌شده در عملیات میدانی که منجر به تشریح مغزه‌ها شد، به همراه نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی (ژئوشیمی، دانه‌بندی و تعیین سن) در ترسیم ستون‌های رسوبی به کار برده شد که در شکل ۹ به صورت نمونه نتایج آنالیزهای انجام‌شده مغزه MR.7 ارائه شده است.



شکل ۸. نمایی از راستای شمالی - جنوبی تغییرات محیط‌های رسوبی در دلتای اروند

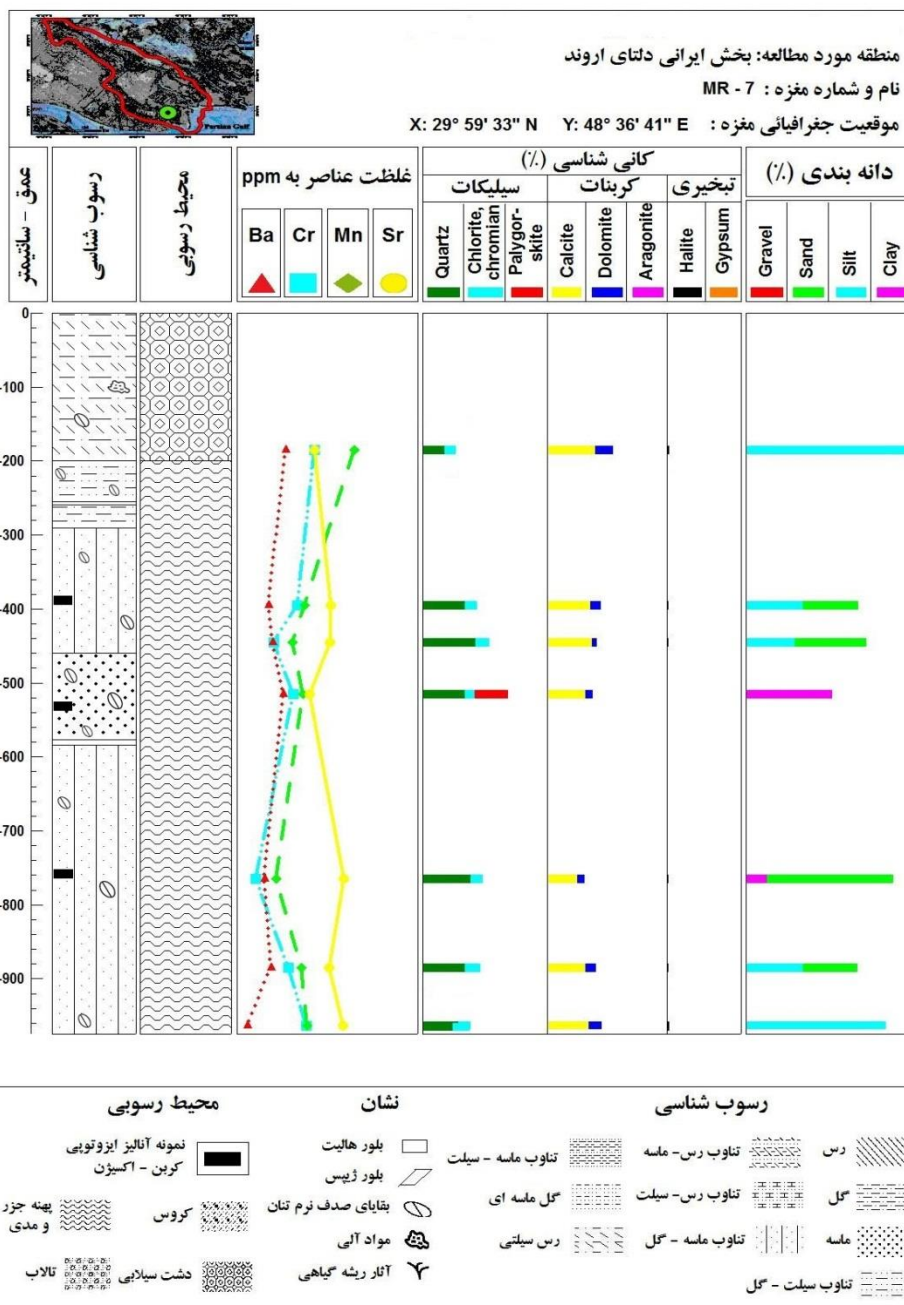
طبق مطالعات پیشین (شهبازی، ۱۳۹۴)، سن عقب‌نشینی ساحل در جنوب پهنه‌های گلی حال حاضر ۳۲۵۰ سال پیش بوده است که شواهد رسوبی این پسروری در تمامی مغزه‌های برداشت‌شده به‌خوبی نمایش داده شده است. وقوع این رخداد به شکل‌گیری محیط مرطوب نسبتاً کم‌انرژی جزر و مدی همراه با گسترش کانال‌های جزر و مدی منجر شده است. در این زمان، جنوب دشت خوزستان در قالب لاگون تحت تأثیر حرکات رفت و برگشتی جریان‌های جزر و مدی بوده است. پیشروی دریا باعث شده است مصب رودخانه‌های منتهی به اروند، از جمله کارون، هر کدام در قالب خلیج‌های دهانه‌ای جداگانه وارد دریا شود (شکل ۱۰). به تدریج که سرعت پیشروی آب دریا تا ۶۰۰۰-۷۰۰۰ سال پیش کاهش یافته است (شهبازی، ۱۳۹۴)، رودخانه اروند در بالادست به سمت دریا پیشروی کرده و عرصه فعالیت آن گسترده‌تر شده است. تقابل بین رودخانه و دریا حدود ۲۵۰۰ سال پیش خشکی را به نفع رودخانه پیش می‌برد. در واقع، رودخانه اروند حدود ۲۳۰۰ سال پیش که هوا سردتر از حال حاضر بوده است (۲/۷۵- درجه) در واکنش به افت سطح دریا تلاش کرده است خود را به نیمرخ تعادلی و رسیدن به سطح اساس پایین‌تر نزدیک کند. تهنشینی رسوبات با نرخ  $3/19 \text{ mm/yr}$  شاهدی از این تلاش است. با تداوم پایین رفتن سرعت آب دریا نسبت به دوره قبل، سرعت واکنش فرایند رودخانه‌ای (ته‌نشینی نسبت به حفر) نیز کمتر شده و با نرخ رسوب‌گذاری کمتر از دوره قبل، یعنی  $2/12 \text{ mm}$ ، فرایند دلتاسازی ادامه یافته است. شواهد رسوبی روند پیشروی دلتا در قالب رسوبات رودخانه‌ای در تمامی مغزه‌های گرفته شده ظاهر شده است (شکل ۱۰).

حین پسروری دریا در مکان‌هایی که با فروفتگی توپوگرافیکی همراه بوده است، آب شور دریا به دام افتاده و آبگیر و تالاب‌های آب شور تشکیل شده است. هم‌زمان با تشکیل این تالاب‌ها، بر اثر سیلاب‌های رودخانه اروند (کارون) از بالادست آب شیرین رودخانه‌ای نیز وارد آن می‌شده است. شواهد رسوبی تالاب‌های شور- شیرین در مغزه‌های MR.2 و MR.4 نزدیک به بستر فعلی به‌منشیر مشاهده شده است. همچنین، در بالادست منطقه، بر اثر طغیان رودخانه‌ای اروند و شکسته‌شدن خاکریزهای طبیعی، رسوبات ماسه‌ای در قالب کروس تهنشین شده است. علایم رسوبی این پدیده در مغزه‌های MR.2، MR.5 و MR.1 وجود دارد.

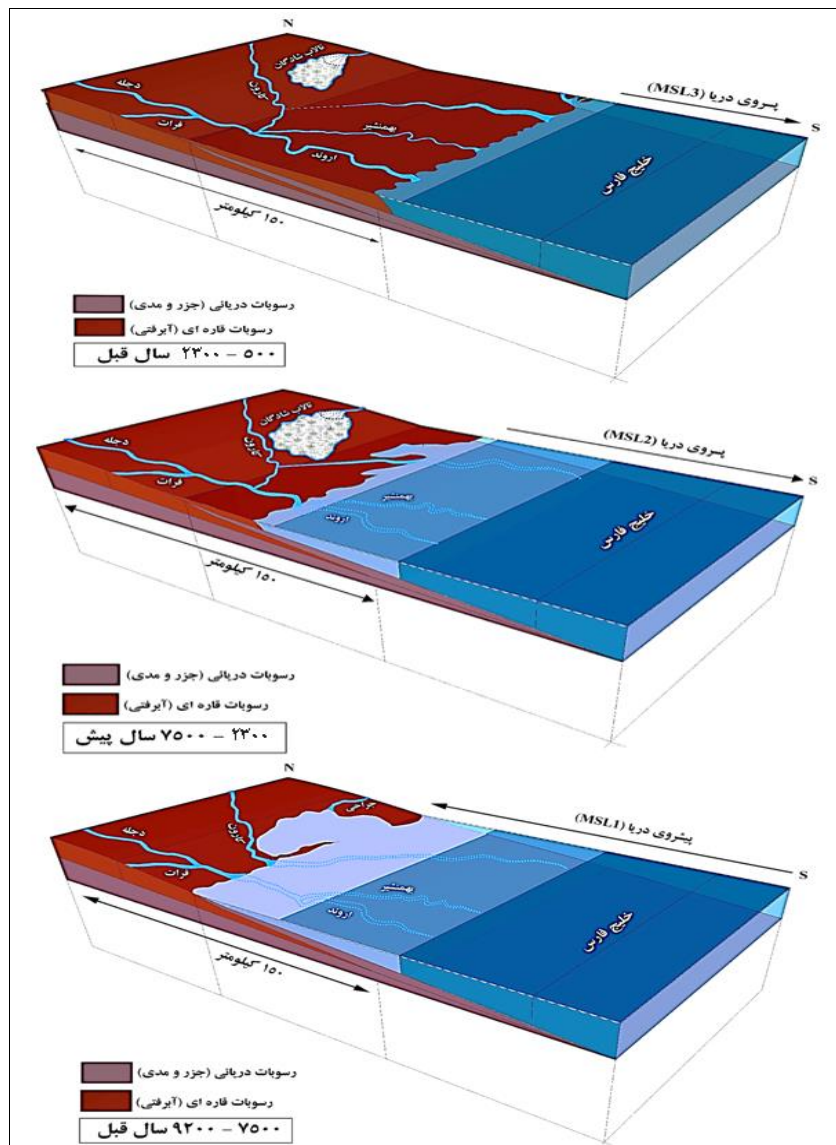
## بحث و نتیجه‌گیری

رسوبات برداشت‌شده از هفت مغزه در دلتای اروند (بخش ایرانی) با استفاده از شواهد رسوب‌شناسی علاوه‌بر اینکه ویژگی محیط‌های رسوبی را در زمان نهشته‌شدن رسوبات آشکار می‌کند، نشان‌دهنده نوسانات و پیشروی و پسروری سطح آب

دریا نیز است. مطالعه شاخص‌های فیزیکی رسوبات همچون دانه‌بندی که تنها اندازه ذرات را در نظر می‌گیرد، در این دلنا تحلیلی جامع از فرایندهای رسوب‌گذاری به دست نمی‌دهد و استفاده از آن به دلیل اضافه شدن قابل ملاحظه رسوبات با منشأ بیوشیمیایی (بیولوژیکی)، به خصوص پوسته‌های صدف در مغزه‌ها، با محدودیت جدی همراه است.



شکل ۹. نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی (دانه‌بندی، XRD و ICP) و تفسیر ماکروسکوپی محیط‌های رسوبی مغزه MR.7 در دلتای اروند



شکل ۱۰. نمایی از نحوه برهم‌کنش هم‌زمان فرایندهای رسوب‌گذاری رودخانه‌ای (آبرفتی) و نوسانات سطح دریا در دلتای اروند طی هولوسن

در مقابل، انجام آنالیزهای ژئوشیمی (آنالیز عنصری و کانی‌شناسی) به‌مراتب بهتر به تحلیل منطقی‌تر شرایط محیط‌های رسوب‌گذاری گذشته در منطقه کمک می‌کند. قابلیت بالاتر ترکیب شیمیایی رسوبات در تعیین و شناسایی محیط و فرایندهای رسوب‌گذاری با نتایج تحقیق شهبازی (۱۳۹۴) و شهبازی و همکاران (۱۳۹۶) در تالاب شادگان نیز مطابقت دارد. تلفیق نتایج داده‌های آنالیز دانه‌بندی و ژئوشیمی رسوبات با داده‌های سن‌سنجی امکان تفسیر وقایع منجر به تکامل دلتا از گذشته تا حال حاضر را فراهم می‌کند. بر این اساس، برهم‌کنش هم‌زمان فرایندهای رسوب‌گذاری رودخانه‌ای (آبرفتی) و نوسانات سطح دریا در هولوسن به شکل‌گیری دلتای اروند منجر شده است که با نتایج حاصل از پژوهش محققانی همچون پارسر (۱۹۷۳)، سانلوپل (۲۰۰۲)، عقراوی (۲۰۰۱)، لامبک (۱۹۹۶)، بیتمن و همکاران (۲۰۰۴)، بوگمنز و همکاران (۲۰۱۶، ۲۰۱۷) و شهبازی (۱۳۹۴) تطابق دارد. نوسانات تراز خلیج فارس در این منطقه سبب شده است تا رودخانه‌ها و آبراهه‌های منطقه از گذشته تا حال حاضر همواره در تلاش برای تنظیم سطح اساس خود باشد.

## سپاسگزاری

مساعدهت‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در بازدیدهای میدانی و آزمایشگاه رسوب‌شناسی این سازمان موجب امتنان است. نویسندگان مقاله همچنین مراتب تشکر خویش را از حمایت‌های علمی و مالی بسیار ارزنده دکتر Daniel Parsons استاد رسوب‌شناسی دانشگاه هال انگلیس ابراز می‌کنند.

## منابع

- آدابی، م.ح. (۱۳۸۴). ژئوشیمی رسوبی. انتشارات آرین زمین، چاپ دوم، تهران، ۴۵۴ ص.
- جداری عیوضی، ج. (۱۳۹۳). ژئومورفولوژی ایران، چاپ سیزدهم، دانشگاه پیام نور، ۱۰۶ ص.
- جودکی، م.؛ عبیب، ا.؛ آزدری، ع.؛ درویشی، ج. و یوسفی، م. (۱۳۹۴). بررسی محیط‌های رسوبی کواترنری در استان خوزستان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره پرونده ۷۹۳۱، ۲۵۷ ص.
- خلیلی، ع. (۱۳۷۰). شناخت اقلیمی ایران، وزارت نیرو (مهندسی مشاور جاماب). تقسیمات آب و هوا، جلد ۴، ۲۹۵ ص.
- رحمتی، م. (۱۳۹۶). تبیین تغییرات ژئومورفولوژیکی دلتاها طی هولوسن (بخش ایرانی دلتای اروند). رساله دکتری جغرافیای طبیعی، اساتید راهنما: مجتبی یمانی و راضیه لک، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۹۱ ص.
- زمریدیان، م.ج. (۱۳۹۲). ژئومورفولوژی ایران (فرایندهای اقلیمی و دینامیک‌های بیرونی). جلد دوم، دانشگاه فردوسی، مشهد، ۲۶۸ ص.
- شهبازی، ر. (۱۳۹۴). مطالعه تحولات رسوبی دوره کواترنری به‌منظور تعیین الگوی طبیعی بیابان‌زایی در پلایا-تالاب شادگان. رساله دکتری منابع طبیعی، اساتید راهنما: سادات فیض‌نیا و راضیه لک، دانشگاه تهران، ۲۰۸ ص.
- شهبازی، ر.؛ فیض‌نیا، س.؛ لک، ر. و احمدی، ح. (۱۳۹۶). طبقه‌بندی رسوبات سطحی جنوب جلگه خوزستان بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و تعیین تأثیرگذارترین متغیرها در تغییرپذیری آن‌ها. مرتع و آبخیزداری، ۷۰(۳): ۶۹۵-۷۰۹.
- لک، ر. و تقی‌زاده، م. (۱۳۹۳). بررسی رخساره‌های رسوبی هولوسن و تعیین نرخ رسوب‌گذاری در شمال خاور خلیج‌فارس (مطالعه موردی: جنوب بندرعباس). علوم زمین، ۲۴(۹۴): ۱۸۳-۱۹۲.
- Adabi, M.H. (2005). Sedimentary geochemistry. Arian Zamin Pub, 2nd Ed., Tehran, 454 pp. [in Persian]
- Aqrabi, A.A.M. (2001). Stratigraphic signatures of climatic change during the Holocene evolution of the Tigris-Euphrates delta, lower Mesopotamia. *Global and Planetary Change*, 28: 267-283.
- Alosairi, Y. and Pokavanich, T. (2017). Seasonal circulation assessments of the Northern Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 116 (1-2): 270-290.
- Baeteman, C.; Dupin, L. and Heyvaert, V. (2004/2005). Geoenvironmental investigation (In: Gasche H (ed.) *The Persian Gulf Shorelines and the Karkheh, Karun, and Jarrahi Rivers: A Geo-Archaeological Approach*). *Akkadica* 125(2): 155-215; 126(1): 1-12.
- Bogemans, F.; Boudin, M.; Janssens, R. and Baeteman, C. (2017). New data on the sedimentary processes and timing of the initial inundation of Lower Khuzestan (SW Iran) by the Persian Gulf. *The Holocene*, 27: 613-620.
- Bogemans, F.; Janssens, R. and Baeteman, C. (2016). Depositional evolution of the Lower Khuzestan plain (SW Iran) since the end of the Late Pleistocene. *Quaternary Science Reviews*, 171:154-165.
- Chen, H.Y.; Clark, A.H. and Kyser, T.K. (2010). The Marcona magnetite deposit, Ica, Central-South Peru: A product of hydrous, iron oxide-rich melt? *Economic Geology*, 105: 1441-1456.
- Clark, P.U.; Dyke, A.S.; Shakun, J.D.; Carlson, A.E.; Clark, J.; Wohlfarth, B.; Mitrovica, J.X.; Hostetler, S.W. and McCabe, A.M. (2009). The last glacial maximum. *Science*, 325(5941): 710-714.
- Folk, R. (1974). A review of Grain-size parameters. *Sedimentology*, 6: 73-93.
- Galloway, W.E. (1975). Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems, deltas: Models for exploration: 87-98.
- Hanebuth, T.J.J.; Stategger, K. and Bojanowski, A. (2009). Termination of the Last Glacial Maximum sea-level lowstand: the Sunda-Shelf data revisited. *Global and Planetary Change*, 66 (1-2): 76-84.
- Heyvaert, V.M.A. and Baeteman, C. (2007). Holocene sedimentary evolution and Palaeocoastlines of the lower Khuzestan Plain (Southwest Iran). *Marine Geology*, 242 (1-3): 83-108.
- Heyvaert, V.M.A.; Walstra, J.; Verkinderen, P.; Weerts, J.T. and Ooghe, J.T. (2012). The role of human interference on the channel shifting of the Karkheh River in the Lower Khuzestan plain (Mesopotamia, SW Iran). *Quaternary International*, 251: 52-63.
- Higgins, S.A. (2016). Review: advances in delta-subsidence research using satellite methods. *Hydrogeology Journal*, 24(3): 587-600.
- Jedariyevazi, J. (2014). *Geomorphology of Iran*. Payam e noor Publications, 14th Ed, 106 pp. [in Persian]
- Joudaki, M.; Abyat, A.; Ajdari, A.; Darvishi, J. and Yousofi, M. (2015). Investigation of Quaternary sedimentary environments in Khuzestan province. *Geological Survey of Iran*, No. 7931, 257 pp. [in Persian]
- Khalili, A. (1991). Climatic recognition of Iran, Ministry of Energy (JAMAB Consulting Engineers), Climate Divisions, Vol. 4, 295 pp. [in Persian]
- Lak, R. and Taghizadeh, M. (2015). Determination of sedimentation rate and verification of Holocene sediments in northeastern part of the Persian Gulf: A case study in Southern Bandar Abbas. 24(94): 183-192. [in Persian]
- Lambeck, K. (1996). Shoreline reconstructions for the Persian Gulf since the last glacial maximum. *Earth and Planetary Science Letters*, 142 (1-2): 43-57.
- Lokier, S.W.; Bateman, M.D.; Larkinc, N.R.; Rye, P. and Stewart, J.R. (2015). Late Quaternary sea-level changes of the Persian Gulf. *Quaternary Research*, 84: 69-81.

- Orang, K.; Motamedi, H.; Azadikhah, A. and Royatvand, M. (2018). Structural framework and tectono-stratigraphic evolution of the eastern Persian Gulf, offshore Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 91: 89-107.
- Purser, B.H. (1973). *The Persian Gulf Holocene Carbonate Sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental Sea*. Springer-Verlag, New York. Heidelberg. Berlin, 469 pp.
- Rahmati, M. (2017). Explanation of geomorphological changes deltas during the Holocene (Case Study: Iranian part of Arvand delta). Ph.D Thesis of Physical Geograpy, Supervisors: Mojtaba Yamani and Raziye Lak, T.M.U University, 191 pp. [in Persian]
- Sanlaville, P. (2002). The deltaic complex of the lower Mesopotamian plain and its evolution through millennia. In: Nicholson, E., Clark, P. (Eds.), *The Iraqi Marshlands*. Politico's Publishing, London: 133-150.
- Sarnthein, M. and Walger, E. (1973). Classification of Modern Marl Sediments in the Persian Gulf by factor analysis. In: Purser B.H. (eds) *The Persian Gulf*, Springer, Berlin, Heidelberg: 81-97.
- Shahbazi, R. (2016). Study of Quaternary sedimentary changes for recognition of natural patterns of desertification in Shadegan marshes and sabkhas. Ph.D Thesis of Natural Resources, Supervisors: Sadat Feiznia and Raziye Lak, Tehran University, 208 pp. [in Persian]
- Shahbazi, R.; Feiznia, S.; Lak, R. and Ahmadi, H. (2017). Classification of surface sediments in Lower Khuzestan plain based on physical and chemical characteristics and determine the most effective variables on their variability. *The Journal of Range and Watershed Management*, 70 (3): 695-709. [in Persian]
- Suckall, N.; Tompkins, E.L.; Nicholls, R.J.; Kebede, A.S.; Lázár, A.N.; Hutton, C.; Vincent, K.; Alland, A.; Chapman, A.; Rahman, R.; Ghosh, T. and Mensah, A. (2018). A framework for identifying and selecting long term adaptation policy directions for deltas. *Science of the Total Environment*, 633: 946-957.
- Walstra, J.; Heyvaert, V.M.A. and Verkinderen, P. (2010). Assessing human impact on the Jarrahi fan development using satellite images: a case-study from Lower Khuzestan (SW Iran). *Geodinamica Acta*, 23 (5-6): 267-285.
- Woodbridge, K.P.; Parsons, D.R.; Heyvaert, V.M.A.; Walstra, J. and Frostick, L.E. (2016). Characteristics of direct human impacts on the rivers Karun and Dez in lowland south-west Iran and their interactions with earth surface movements. *Quaternary International*, 392: 315-334.
- Yokoyama, Y.; Lambeck, K.; De Deckker, P.; Johnston, P. and Fifield, L.K. (2000). Timing of the Last Glacial Maximum from observed sea-level minima. *Nature*, 406: 713-716.
- Zomorrodian, M.J. (2013). *Geomorphology of Iran (Climatic Processes & Exogen Dynamic)*. Vol. 2, Ferdowsi University Press, 268 pp. [in Persian]