

مطالعه خصوصیات زمین شناسی مهندسی رسوبات دریایی در شمال غرب خلیج فارس

مریم فتاحی بندپی^۱، ناصر حافظی مقدس^{۲*}، محمد غفوری^۲، سید رضا موسوی حرمی^۲،
سجاد کاظم شیرودی^۳

پذیرش مقاله: ۹۹/۰۶/۲۵

دریافت مقاله: ۹۹/۰۲/۲۴

چکیده

شناخت خصوصیات زمین شناسی و مهندسی رسوبات بستر دریا در رابطه با ارزیابی پایداری سازه های دریایی در میدان های نفت و گاز، از اهمیت قابل توجهی برخوردار می باشد. در این مطالعه، خصوصیات زمین شناسی مهندسی رسوبات دریایی به طور متوسط تا عمق ۳۰ متر از بستر دریا، در سه میدان از میدان های نفت و گاز واقع در شمال غرب خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفته است. در مرحله اول بر اساس گزارش ها و اطلاعات شرکت نفت و آزمایشگاه ها و شرکت های ژئوتکنیک دریایی، اقدام به تهیه بانک اطلاعات ژئوتکنیک در محدوده مورد مطالعه گردید. سپس پارامترهای فیزیکی و مکانیکی رسوبات در سایت های مورد مطالعه نسبت به تغییرات عمقی و جانبی مورد بررسی قرار گرفت و نمودارها و نیمرخ های زمین شناسی رسم شد. نتایج نشان دادند که مشخصات فیزیکی و مکانیکی این سایت ها تحت تاثیر تاریخچه زمین شناسی خلیج فارس، فاصله از ساحل ایرانی، عمق آب و همچنین فاصله از دلتای اروند رود می باشند. بطور کلی پارامترهایی مانند اندازه ذرات، حد روانی و مقاومت رسوبات از سایت I به سمت سایت III روندی افزایشی را نشان می دهند. ضخامت افق رسوبات نرم و سست از سایت I به سایت III کاهش می یابد. با بررسی میزان کرنات مشخص شد که با فاصله از ساحل و به سمت دلتای اروند رود از میزان کرنات کاسته شده است بطوریکه کمترین مقدار آن در سایت III تعیین شد. همچنین با بررسی نمودار نوع کانیها مشخص شد که بخش اعظم رسوبات در هر سه سایت کانی ایلیت می باشد.

کلید واژه ها: خلیج فارس، زمین شناسی مهندسی دریایی، رسوبات دریایی.

m.fattahibandpey@mail.um.ac.ir

^۱ دانشجوی دکترای زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، مشهد، ایران

^۲ عضو هیات علمی گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، مشهد، ایران

^۳ گروه زمین شناسی، شرکت نفت فلات قاره، تهران

*مسئول مکاتبات nhafezi@um.ac.ir

۱. مقدمه

بررسی شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیکی بستر دریا یکی از مهمترین مسائل در طراحی و بهره برداری از سازه های دریایی است. بستر دریا به ندرت یکدست، مسطح و بدون عارضه می باشد. همچنین رسوبات دریایی به صورت جانبی و با عمق از نظر لایه بندی و ترکیب متغیر می باشند. (Dean, 2010) اطلاعات مناسب از شرایط زمین شناسی ساختگاه و مناطق اطراف آن می تواند به مهندسان زمین شناس دیدی کلی از پتانسیل خطرات زمین شناسی مهندسی در محل ساختگاه ارائه نماید و همچنین در تعیین نوع آزمایش های زمین شناسی مهندسی و تفسیر بهتر نتایج آنالیزها کمک کند (Randolph and Gourvenec, 2011; Rocker et al., 2011).

خلیج فارس به عنوان یکی از غنی ترین منابع هیدروکربن در جهان شناخته شده است (Ghazban, 2009) و جهت عملیات اکتشاف و بهره برداری از این مخازن عظیم سازه های دریایی زیادی از جمله سکوه های نفتی، دکل های جک آپ و خطوط انتقال نفت و گاز در خلیج فارس اجراء شده یا در حال اجراء می باشد. محققین مختلفی در مورد زمین شناسی خلیج فارس مطالعه نموده اند که از جمله آنها به اوانس و همکاران (Evans et al., 1973)، سیبولد و همکاران (Seibold et al., 1973)، واگنر و وندر تاگت (Wagner and Van der Togt, 1973)، پرسر و سیبولد (Purser and seibold, 1973)، می توان اشاره نمود. بخش قابل توجهی از این مطالعات به تغییرات تراز آب دریا و تغییرات خطوط ساحلی در طی پلیوستوسن و هولوسن می پردازد (Evans et al., 1969; Lambeck, 1996; Evans et al., 2002; Williams and Walkden, 2002, Sarnthein, 1972).

از نظر ژئوتکنیکی، عمده مطالعات صورت گرفته در این حوضه، توسط شرکت های نفتی در محل احداث سازه ها انجام شده و بندرت انتشار عمومی داشته است. همچنین پژوهش های پراکنده ای از خصوصیات ژئوتکنیکی رسوبات در برخی از میدان های دریایی خلیج فارس به خصوص

پارس جنوبی انجام شده است (Shiri and PashnehTala, 2005; Ebrahimian and Nazari, 2013).

علی رغم اهمیت و ضرورت انجام مطالعات زمین شناسی مهندسی در خلیج فارس تا کنون چنین مطالعاتی در این حوزه بخصوص در بخش ایرانی آن صورت نگرفته است. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی خصوصیات زمین شناسی مهندسی نهشته های جوان بستر دریا در شمالغرب خلیج فارس در محدوده سه میدان نفتی ایرانی می باشد.

۲. موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی

خلیج فارس یک دریای حاشیه ای با میانگین عمق ۳۵ متر و حداکثر عمق ۱۰۰ متر می باشد که به طور کامل روی فلات قاره قرار گرفته و سرایشی آن در دریای عمان واقع شده است (Barth and Yar Khan, 2008). طول این دریا ۹۹۰ کیلومتر و عرض آن از ۵۶ تا ۳۳۸ کیلومتر متغیر است (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۸۲) و مساحت آن در حدود ۲۴۰۰۰۰ کیلومتر مربع می باشد (Barth and Yar Khan, 2008). این حوضه در بین کشورهای ایران، عراق، کویت، عربستان، بحرین، قطر، امارات و در محدوده عرض جغرافیایی $30^{\circ} 24'$ تا 30° شمالی، و طول جغرافیایی 48° تا $30^{\circ} 56'$ شرقی واقع شده است (Lak et al., 2013).

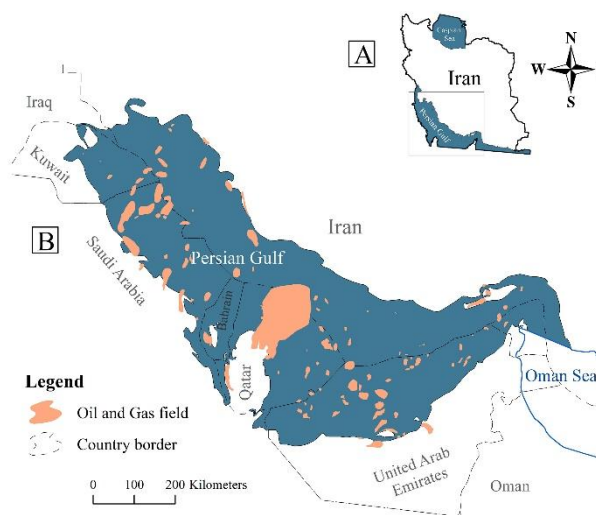
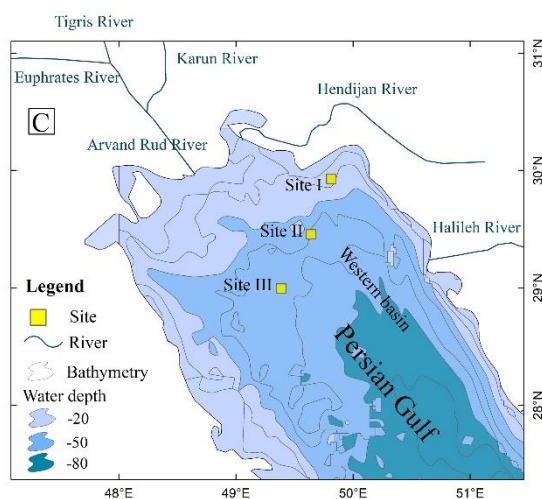
از نظر عمق بخش شمالی به دو زیر حوضه غربی و مرکزی و بخش جنوبی بر اساس تقسیمات اقیانوس شناسی به فلات کم عمق عربی (یا هومو کلاین عربی) شناخته می شود (Seibold and Volbrecht, 1969; Kassler, 1973). محدوده مورد مطالعه در حوضه غربی و شمال غرب خلیج فارس واقع شده است. از نظر ریخت شناسی خلیج فارس نا متقارن است و شیب سواحل جنوبی آن کمتر از سواحل شمالی است (Barth and Yar Khan, 2008). همین عدم تقارن باعث شده تا عمق آب در بخش ایرانی زیاد باشد در حالیکه در بخش جنوبی این دریا عمق آن کمتر است. محور طولی خلیج فارس حاصل گسترش دره رودخانه های دجله و فرات به سوی جنوب شرق در زمان خشک بودن خلیج فارس در اوائل هولوسن

مناطق با عمق بیش از ۲۰ متر در خلیج فارس انرژی متوسط تا پایینی دارند و در این مناطق گل کربناتی ریزدانه و رسوبات ماسه کربناتی تجمع یافته اند Purser and Seibold, (1973); (Alsharhan and Kendall, 2003). در شکل ۱ محدوده مطالعاتی نشان داده شده است.

محدوده مورد مطالعه در حوزه غربی خلیج فارس قرار گرفته است و شامل سه میدان نفت و گاز از بخش های کم عمق نزدیک به ساحل (سایت I) تا بخش های عمیق دریایی (سایت II و III) می شود.

است (Kassler, 1973). رودخانه های بخش ایرانی (مند، هیله، هنديجان، کارون) و عراقی (دجله و فرات) با میانگین جریان سالیانه از ۲۰۳ متر مکعب بر ثانیه (هنديجان) تا ۱۳۸۷ متر مکعب بر ثانیه (مند) به درون خلیج فارس وارد می شوند (Reynolds, 1993).

محدوده ساحلی ایران عمدتاً سنگی به همراه خورها و پهنه های ساحلی و مرتبط با رودخانه هایی است که از کوههای زاگرس سرچشمه می گیرند (Purser & Seibold, 1973) و شامل رسوبات تخریبی به همراه رسوبات کربناتی است. بیشتر



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در شمال غرب خلیج فارس

دریا می باشد. پارامترهای فیزیکی و مکانیکی مورد مطالعه شامل نوع رسوبات، درصد رطوبت، وزن واحد حجم مغروق، تخلخل، درصد کربنات، زاویه اصطکاک داخلی، مقاومت برشی و حدود آتربرگ می باشد. نتایج مطالعات زمین شناسی مهندسی در هر سایت بصورت جداگانه بررسی شده و نهایتاً تغییرات خصوصیات فیزیکی و مکانیکی رسوبات زیر بستر دریا نسبت به عمق و همچنین به صورت جانبی از مناطقی با عمق آب کم نزدیک به ساحل، به سمت مناطق با حداکثر عمق آب در محدوده مورد مطالعه، نزدیک محور طولی خلیج فارس، مورد بررسی قرار گرفته است.

۳. مواد و روشها

این پژوهش بر اساس اطلاعات و داده های شرکت ملی نفت ایران و برخی شرکت های خصوصی نفتی فعال در خلیج فارس در طی سالهای گذشته انجام شده است. در مرحله اول، اقدام به تهیه بانک اطلاعات ژئوتکنیک با استفاده از داده ها و گزارش های ژئوتکنیک میدان های نفت و گاز در شمال غرب خلیج فارس گردید. در این راستا اطلاعات حدود ۸ گمانه ساحلی و ۳۱ گمانه اکتشافی دریایی در محل و اطراف سایت ها، گردآوری شده است (جدول ۱). متوسط عمق گمانه های مورد استفاده در این پژوهش ۳۰ متر زیر بستر

جدول ۱. منبع و مشخصات اطلاعات مورد استفاده در بانک اطلاعات زمین شناسی مهندسی

Source of Data	Area	Number of boreholes	Minimum core depth (m.)	Maximum core depth (m.)	Water depth (m.)	Borehole type
Oil Companies	Offshore oil and gas fields	Site I: 10 Site II: 12 Site III: 9	30	85	3.5 - 45	PCPT/Sampling
Geotechnical labs	Shallow water depth near Iranian coastline	8	10	30	0.5 - 2	Sampling/SPT

۴. نتایج و تحلیل‌ها

خصوصیات زمین شناسی مهندسی رسوبات جوان در بستر خلیج فارس متأثر از منشا و محیط رسوبی می باشد. رسوبات عهد حاضر در بخش ایرانی خلیج فارس عمدتاً از نوع تخریبی است. بخش کمی از رسوبات جوان در محدوده مورد مطالعه، نهشته های شیمیایی می باشد که با نزدیک شدن به بخش کم عمق عربی فراوانی آنها افزایش می یابد. رودخانه های اصلی وارد به بخش غربی خلیج فارس اروند، هندیجان و هلیله می باشد که از میان آنها، رودخانه اروند که از ادغام سه رودخانه بزرگ کارون، دجله و فرات منشا می گیرد بزرگترین رودخانه وارده به خلیج فارس بوده و بیشترین آورد رسوبی را دارا می باشد. خصوصیات رسوبات در هر نقطه از خلیج فارس تابع فاصله آن از مصب رودخانه ها و نیز عمق حوضه می باشد. در ادامه این بخش خصوصیات رسوب شناسی، فیزیکی و مکانیکی رسوبات بستر خلیج فارس در سه سایت I، II و III واقع در شمال غرب منطقه، مورد مطالعه قرار گرفته است.

۴-۱. درصد ذرات و بافت رسوبات دریایی

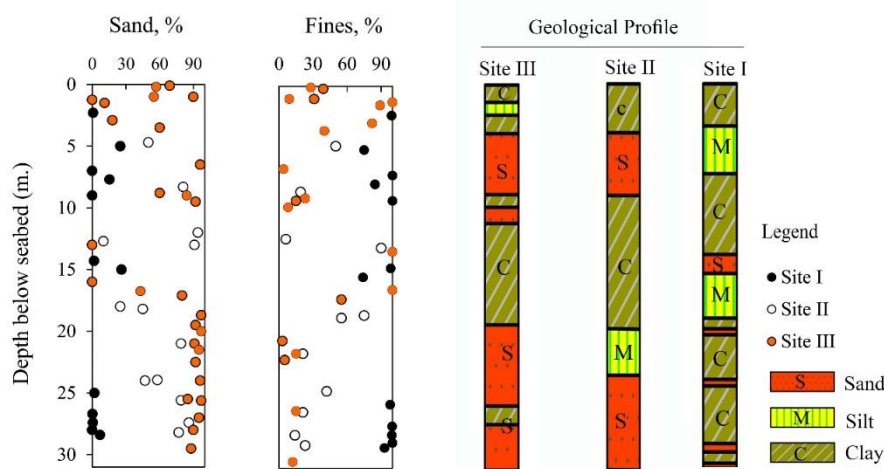
فراوانی و پراکندگی جانبی و عمقی رسوبات در دو دسته ریزدانه (سیلت و رس) و درشت دانه (ماسه) مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات اندازه و بافت غالب رسوبات در هر کدام از سایت ها نسبت به عمق و همچنین نسبت به یکدیگر در شکل ۲ و جدول ۲ ارائه شده است. نتایج ارایه شده در

شکل ۱، میانگین اطلاعات مربوط به تعداد گمانه های موجود در هر سایت می باشد. سایت I نزدیک به بندر بوطاهری و بندردیلم قرار دارد. منشا رسوبات در این بخش، رودخانه های محلی و رسوبات جابجا شده توسط جریانهای دریایی می باشد. بافت غالب رسوبات (حدود ۹۲ درصد) ریز دانه است. از سایت I بطرف سایت II و III و با دور شدن از ساحل به سمت بخش عمیق دریا، بر اندازه ذرات رسوبات و ضخامت لایه های ماسه ای افزوده می شود. در سایت II، رسوبات رسی-سیلتی با میانگین ۴۹ درصد و رسوبات ماسه ای با میانگین حدود ۵۱ درصد پروفیل زمین شناسی این بخش را تشکیل داده اند. لایه های ضخیم ماسه در عمق های ۲.۵ تا ۵ متر و ۲۲ تا ۲۸ متر مشاهده می شوند. ضخیم ترین لایه های ماسه و بیشترین درصد ذرات درشت دانه در سایت III قرار گرفته اند. در این سایت فراوانی ذرات رس و سیلت در حدود ۴۲ درصد و ذرات در اندازه ماسه در حدود ۵۸ درصد می باشد. لایه های ضخیم ماسه در عمق های ۴ تا ۱۰ متر و ۲۰ تا ۳۰ متر مشاهده می شوند. منشاء نهشته های درشت دانه در سایت II و III دلتای اروند رود می باشد بنابراین با نزدیک شدن به مصب روخانه ضخامت نهشته های درشت دانه افزایش یافته است.

جدول ۲. مقادیر میانگین پارامترهای فیزیکی رسوبات زیر بستر دریا در سایت I، II و III، تعداد داده ها، γ' : وزن واحد حجم مغروق، w: درصد رطوبت، η : تخلخل، LL: حد روانی، PL: حد خمیری، PI: شاخص خمیری، No: تعداد داده ها،

Physical Parameter	No.	Site I			Site II			Site III		
		Min	Max	Average	Min	Max	Average	Min	Max	Average
γ' (KN/m ³)	252	5.5	10	8.15	5.5	11	8.6	6	11.1	9.2
W (%)	217	23	42	35.2	16	81	40.5	18	50	25.7
η (%)	242	32.8	47.4	43.1	33.3	68.9	47.8	30.4	55.5	40.3
LL (%)	119	24	46	33	22	91	48.0	31	75	54.9
PL (%)	120	17	26	21.2	14	71	27.9	14	50	23.6
PI (%)	119	4	25	11.1	6	37	20.1	13	55	31.4
Fines (%)	46	54	100	92	14	90	49	18	50	25.7
Sand (%)	54	0	26	8	10	86	51	0	97	58
CaCO ₃ (%)	79	50	58	54.2	17	99	48	13	96.7	30.1

Fines: ریزدانه ها (سیلت و رس)، CaCO₃: محتوای کربنات.

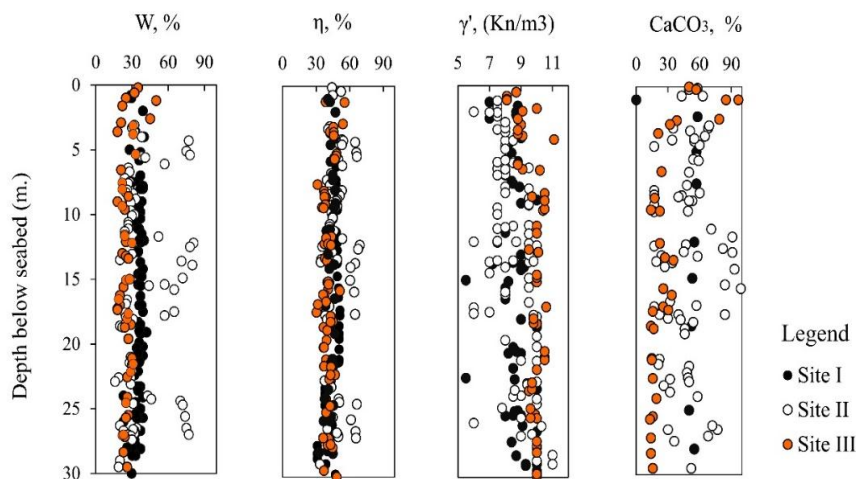


شکل ۲. درصد ذرات ریزدانه (سیلت و رس) و درشت دانه (ماسه) و نیم رخ زمین شناسی در سایت I، II و III، نیم رخ مزبور براساس میانگین همه گمانه ها ترسیم شده است.

مغروق ارائه شده است. تغییرات درصد رطوبت و تخلخل از سایت I به III افزایش و درصد محتوای کربنات کاهش می یابد. این تغییرات یکنواخت نیست و در محدود هایی از عمق تفاوت هایی را نشان می دهد. همچنین پراکندگی داده ها در سایت II بیشتر است.

۲-۴. خصوصیات فیزیکی رسوبات دریایی

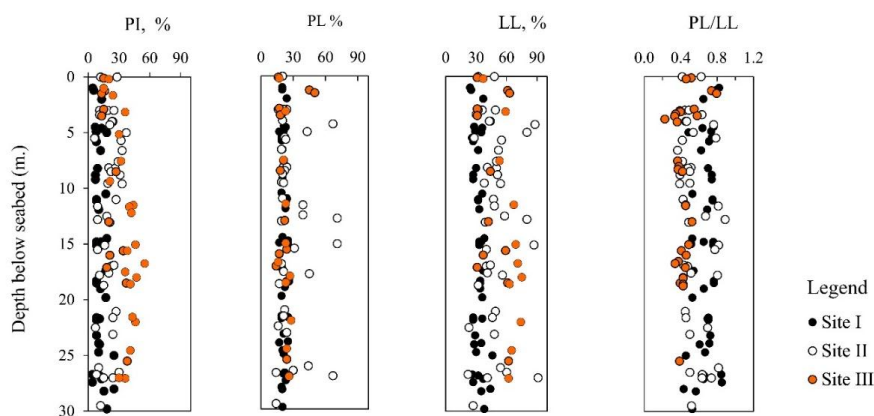
درصد رطوبت، وزن واحد حجم مغروق، تخلخل و محتوای کربنات: در شکل ۳ و جدول ۲ میانگین خصوصیات فیزیکی لایه های مختلف در سه سایت و محتوای کربنات مورد مطالعه شامل درصد رطوبت، تخلخل، وزن واحد حجم



شکل ۳. تغییرات پارامترهای درصد رطوبت (W)، تخلخل (η)، وزن واحد حجم مغروق (γ') و محتوای کربنات (CaCO_3) نسبت به عمق.

۳۰ متری مشاهده می شود در حالیکه در سایت II تغییرات آن در محدوده ۲۲ تا ۹۱ درصد و در سایت III ۳۱ تا ۷۵ درصد می باشد. بیشترین حد خمیری در سایت II مشاهده شده است. همچنین بیشترین مقدار شاخص خمیری (PI) با میانگین $31/4$ و محدوده ۱۳ تا ۵۵ درصد در سایت III و کمترین مقدار آن با میانگین $11/1$ درصد در سایت I مشخص شده است.

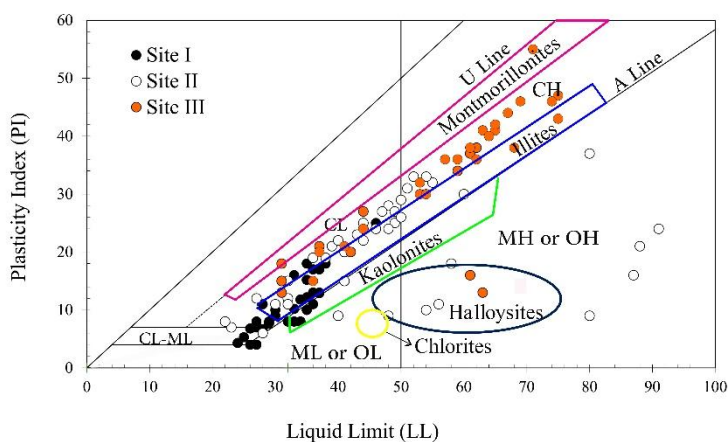
حدود آتربرگ و منشاسویات: تغییرات حدود آتربرگ (حد روانی (LL)، حد خمیری (PL)، شاخص خمیری (PI) و نسبت شاخص خمیری به حد پلاستیک (PL/LL) در عمق های مختلف در شکل ۴ و مقادیر میانگین حدود آتربرگ در هر سایت، در جدول ۲ ارائه شده است. کمترین مقدار حد روانی در سایت I و بیشترین آن در سایت II و III مشاهده شده است. سایت I با حد روانی در محدوده ۲۴ تا ۴۶ و میانگین ۳۳ درصد، به طور یکنواخت و تقریباً ثابت تا عمق



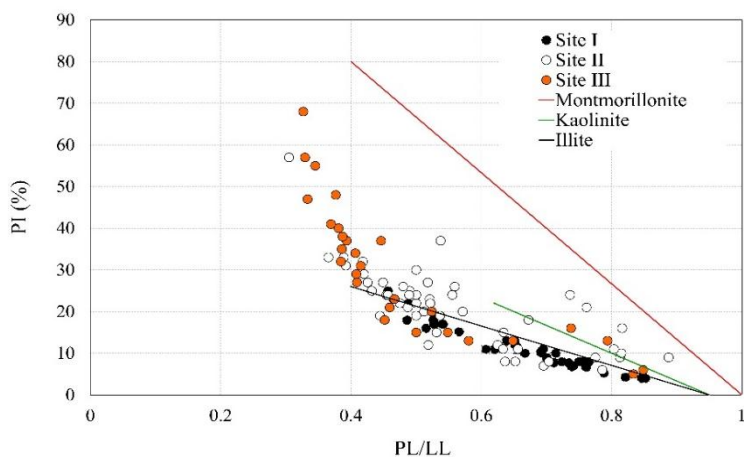
شکل ۴. تغییرات حدود آتربرگ نسبت به عمق، LL: حد روانی، PL: حد پلاستیک، PI: شاخص خمیری، PL/LL: حد پلاستیک/حد خمیری.

نسبت حد خمیری به حد روانی (PL/LL)، ارائه شده است. ملاحظه می گردد رسوبات در سایت I، سیلت و رس سیلتی (CL، ML و CL-ML) با حد روانی کمتر از ۵۰٪ می باشد. بیشترین فراوانی کانیها در این سایت، ایلیت و مقادیر کمی از کائولینیت تشخیص داده شده است. در سایت II، CL بیشترین فراوانی را دارد و بعد از آن MH (یا OH)، CH و ML رسوبات ریزدانه را تشکیل می دهند و ایلیت کانی اصلی می باشد. در سایت III رده بندی خاک از CL تا CH تغییر می کند اما همچنان ایلیت کانی اصلی می باشد.

با توجه به داده های بررسی شده، سایت I از رسوبات ریزدانه (سیلت و رس) با پلاستیسیته پایین تشکیل شده است. در سایت II و III، رسوبات ریزدانه شامل رس و سیلت در محدوده پلاستیسیته کم تا زیاد را شامل می شود. یکی از راه های تخمین نوع کانیهای رسی استفاده از پراکنندگی داده های رسوبات ریزدانه بر روی نمودار پلاستیسیته است (Holtz and Eden and Crawford, 1957). در شکل های ۵ و ۶ حد روانی (LL)، شاخص خمیری (PI) و



شکل ۵. موقعیت و خصوصیات رسوبات سایت های مورد مطالعه در نمودار هولتز و کوکس (Holtz and Kovacs, 1981)

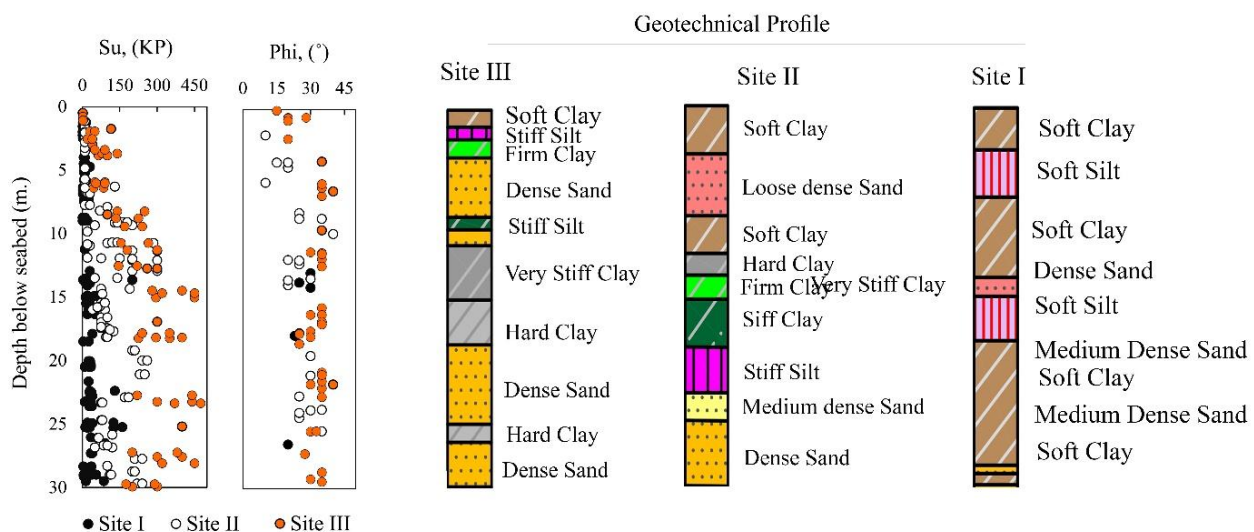


شکل ۶. نمودار مقادیر PI در برابر مقادیر PL/L. روندهای مختلف در این نمودار نشان دهنده چندین منشأ می باشند (Moradi Harsini, 2008). بخش اعظم رسوبات در هر سه سایت ایلیت می باشد. مقادیر کمی کائولینیت هم در این سایت ها مشخص شده است. مونتوریونیت در مقادیر بسیار کم در سایت III مشخص شده است. با توجه به نمودار منشأ رسوبات متنوع نیست.

۳-۴. خصوصیات مکانیکی رسوبات دریایی

تغییرات مقاومت برشی زهکشی نشده (S_u) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) و همچنین نیم رخ ژئوتکنیکی رسوبات در هر سه سایت مورد مطالعه رسم و در شکل ۷ نشان شده است. همچنین مقادیر میانگین این پارامترها در جدول ۳ ارائه شده است. با افزایش عمق و همچنین از سایت I به سمت سایت III مقدار زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت برشی زهکشی نشده افزایش می یابد. میانگین مقاومت برشی زهکشی نشده در سایت I، ۳۳ kPa، در سایت II، ۸۵ kPa و در سایت III، ۲۰۰ kPa می باشد. بررسی تغییرات میانگین زاویه اصطکاک داخلی از سایت I به سایت III به ترتیب مقادیر ۲۰، ۲۵ و ۳۳ درجه را نشان می دهد (جدول ۳).

با توجه به شکل ۷ و جدول ۳، در سایت I از بستر دریا تا انتهای گمانه (عمق ۳۰ متر)، از رسوبات رسی و سیلتی نرم تشکیل شده است. در سایت II ضخامت لایه نرم به حداکثر ۱۰ متر (با میانگین حدود ۵ متر) می رسد که بعد از آن مقاومت رسوبات افزایش می یابد و بخش اعظم نیم رخ ژئوتکنیکی در سایت II را رسوبات با مقاومت متوسط تا اعماق نزدیک به ۳۰ متر تشکیل می دهند. در سایت III، ضخامت رسوبات سطحی نرم تنها ۳ متر می باشد. از سه تا ۱۰ متر رسوبات با مقاومت متوسط تا زیاد و در اعماق بیشتر از ۱۰ متر از بستر دریا، رس های پیش تحکیم یافته و ماسه های متراکم با مقاومت بالا مشاهده می شود.



شکل ۷. تغییرات پارامترهای مکانیکی رسوبات زیر بستر دریا نسبت به عمق (S_u : مقاومت برشی زهکشی نشده، Φ : زاویه اصطکاک داخلی) و نیم رخ های ژئوتکنیکی در سه سایت I، II و III

جدول ۳. مقادیر میانگین پارامترهای مکانیکی رسوبات زیر بستر دریا در سایت I، II و III. S_u : مقاومت برشی زهکشی نشده و

Φ : زاویه اصطکاک داخلی. No: تعداد داده ها.

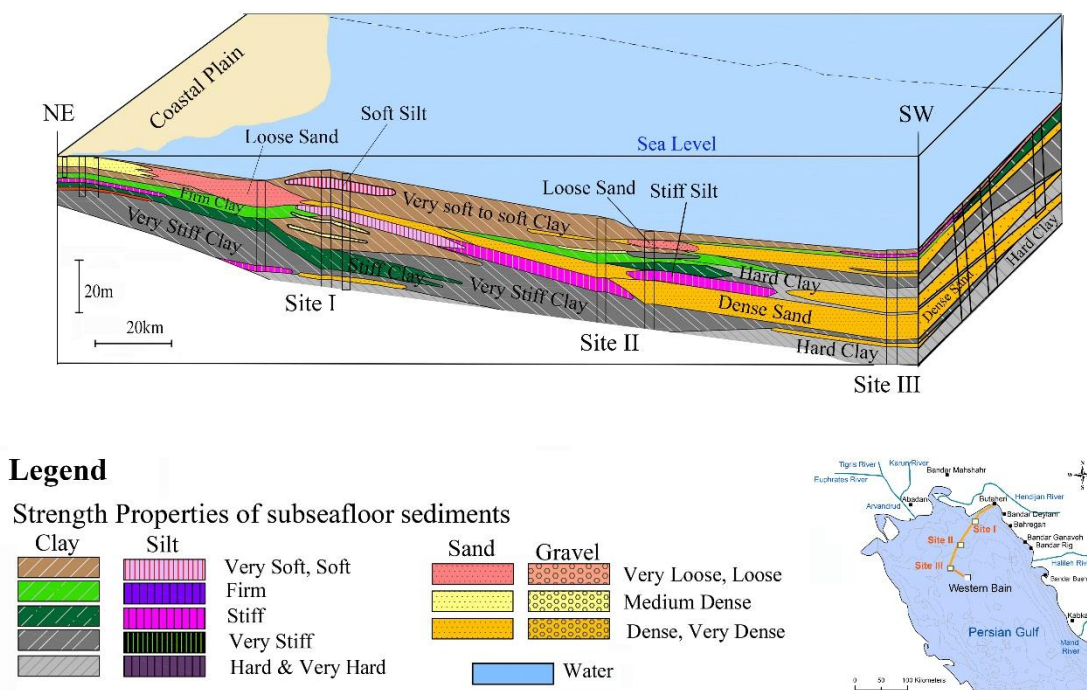
Mechanical Parameter	No.	Site I			Site II			Site III		
		Min	Max	Average	Min	Max	Average	Min	Max	Average
Su (KPa)	391	1	50	33	5	280	85	1	475	216
Phi (°)	100	5	30	20	10	35	25	15	40	33

۴-۴. مدل زمین شناسی مهندسی محدوده مورد مطالعه

در شکل ۸، مدل زمین شناسی مهندسی از محدوده مطالعاتی شامل نیم رخ رسوبات زیر بستر دریا و تغییرات مقاومت این نهشته ها با استفاده از داده های گمانه های موجود در محل و اطراف سه سایت مورد مطالعه ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از بخش های قبل، با دور شدن از ساحل (از سایت I به سمت سایت III) اندازه ذرات رسوبی و ضخامت لایه های درشت دانه ماسه ای افزایش یافته و درصد ذرات ریزدانه کاهش می یابد. درصد محتوای کربنات با دور شدن از ساحل و نزدیک شدن به دلتای رودخانه اروند رود، روندی کاهشی را نشان می دهد بطوریکه بیشترین مقدار درصد کربنات در سایت I و کمترین مقدار آن در سایت III مشاهده شده است.

ضخامت افق رسوبات نرم از سایت I به سمت سایت III کاهش می یابد. ضخامت رسوبات نرم با پلاستیسیته کم در نزدیک ساحل حدود ۳۰ متر است. با بررسی گمانه های

عمیق تر موجود در بانک اطلاعاتی تهیه شده در این پژوهش مشخص شد که از عمق ۳۰ تا ۴۰ متر در سایت I رسوبات ریزدانه رس و رس سیلتی با مقاومت متوسط و از اعماق < 40 متر رسوبات سخت رسی قرار گرفته اند. ضخامت رسوبات نرم و سست در سایت II، در حدود ۵ تا ۱۰ متر می باشد که با افزایش عمق، رسوبات ضخیم لایه سیلت و ماسه با مقاومت متوسط تا زیاد تا عمق حدود ۲۵ تا ۳۰ متر مشاهده می شوند. در عمق های بیشتر از ۳۰ متر از بستر دریا، رس های سخت با میان لایه های ماسه متراکم قرار گرفته اند. در سایت III، رسوبات نرم و سطحی (سیلت و رس) در حدود ۳ متر ضخامت دارند. بعد از این عمق تا عمق ۱۰ متر رسوبات با مقاومت متوسط تا زیاد و در اعماق بیشتر از ۱۰ متر لایه های ضخیم ماسه با تراکم بالا که تا اعماق حدود ۴۰ متر ادامه یافته مشاهده می شوند که بعد از این عمق به رس های سخت با مقاومت زیاد می رسند.



شکل ۸. مدل زمین شناسی مهندسی رسوبات دریایی در میدان های نفت و گاز در شمال غرب خلیج فارس

۵. نتیجه گیری

- از نظر کانی شناسی، بخش اعظم رسوبات در هر سه سایت ایلیت می باشد. مقادیر کمی کائولینیت و هالوسیت هم در این سایت ها مشخص شده است. مونتموریونیت در مقادیر بسیار کم در سایت III مشخص شده است.
 - تغییرات جانبی درصد کربنات از سایت I به سمت سایت III روندی کاهشی دارد. کاهش درصد کربنات در سایت III، به دلیل نزدیک شدن به دلتای اروند رود و تحت تاثیر آن می باشد. همچنین در سایت II و III با افزایش عمق رسوبات از بستر دریا، درصد کربنات کلسیم کاهش می یابد. بیشترین درصد کربنات در این دو سایت در رسوبات سطحی مشاهده شده است.
- تقدیر و تشکر**
- این پژوهش با شماره مصوبه ۱۳۹۲/۰۶/۱۵، ۳/۲۸۹۲۶ در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است. نویسندگان مقاله از امور پژوهش و فن آوری و ادارات زمین شناسی و حفاری امور فنی شرکت نفت فلات قاره که پژوهش را از نظر علمی و همچنین تامین اطلاعات مورد نیاز مورد حمایت قرار داده اند، کمال تشکر را دارند. همچنین از حمایت صندوق ریاست جمهوری (INSF) بخاطر حمایت از این پژوهش تشکر می گردد.
- تغییرات مشخصات فیزیکی و مکانیکی رسوبات زیر بستر دریا در سه میدان نفت و گاز دریایی در شمال غرب خلیج فارس (سایت I و سایت II و سایت III) مورد بررسی قرار گرفت. براساس تحلیل های انجام شده جمع بندی زیر را در مورد خصوصیات رسوبات کم عمق خلیج فارس (به ضخامت ۳۰ متر از بستر دریا) می توان بیان داشت:
 - پارامترهای مقاومتی رسوبات در سایت I کمترین و در سایت III بیشترین مقدار را نشان می دهند. حداکثر مقاومت برشی زهکشی نشده در سایت I ۵۰ KPa، در سایت II ۲۸۰ KPa و در سایت III ۴۷۵ KPa می باشد. ضخامت افق رسوبات نرم و سست در سایت I در حدود ۳۰ متر، در سایت II ۱۰ متر و در سایت III ۳ متر مشخص شده است. مقاومت رسوبات در عمق های بیشتر از موارد ذکر شده روند افزایشی دارد.
 - اندازه ذرات رسوبات، حد روانی ریزدانه ها و ضخامت لایه های ماسه ای از سایت I به سمت سایت III افزایش یافته است. بخش اعظم رسوبات در سایت I رس و رس سیلتی با میان لایه ها و عدسی های سیلت و ماسه (CL-ML, CL, ML, SC)، در سایت II رس، سیلت و ماسه (CL, CH, SM, SC) و در سایت III ماسه، رس و درصد کمتری سیلت (SM, CL, CH, MH,) می باشد.

منابع

- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۸۲. جغرافیای جزایر ایرانی خلیج فارس (قسم، لارک، هرمز و هنگام). ۶۲۷ ص.
- شرکت ملی نفت ایران، گزارش ها و اطلاعات زمین شناسی و ژئوتکنیکی میدان های نفت و گاز خلیج فارس.
- Alsharhan, A.S., Kendall, C.G.St.C., 2003. Holocene coastal carbonates evaporites of the southern Persian Gulf and their ancient analogues. *Earth Science Reviews*. 61, 191-243.
- Barth, H.-J. & Khan, N.Y. 2008. Biogeophysical setting of the Gulf. *Protecting the Gulf's marine ecosystems from pollution*. Springer, 1-21.
- Day, R. W., 2006. *Foundation Engineering Handbook: Design and Construction with the 2006 International Building Code*, McGrawHill Companies, Inc.
- Dean, E.T.R., 2010. *Offshore Geotechnical Engineering - Principles and Practice*, Thomas Telford, Reston, VA, U.S.A., 520 p.
- Ebrahimian, B. & Nazari, A., 2013. Evolutionary-based prediction of ϵ_{50} for the lateral load-displacement behavior of piles in clay. *Acta Geotechnica Slovenica*, 10, 42-57.
- Eden, W. J., and Crawford, C. B., 1957. *Geotechnical Properties of Leda Clay in the Ottawa Area*, Soil Mechanics Section, Division of Building Research, Ottawa, Canada.

- Evans, G. and Kirkham, A., 2002. The Abu Dhabi sabkha. In: Sabkha Ecosystems (Eds H.J. Barth and B.B. Boer), pp. 7–20. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Evans, G., Murray, J. W., Biggs, H. E. J., Bate, R., and Bush, P. R., 1973. The oceanography, ecology, sedimentology and geomorphology of parts of the Trucial coast barrier island complex. In: Purser, B.H., (Eds.), The Persian Gulf. Springer-Verlag, New York, p. 233-278.
- Evans, G., Schmidt, V., Bush, P. and Nelson, H., 1969. Stratigraphy and geologic history of the sabkha Abu Dhabi, Persian Gulf. *Sedimentology*, 12, 145–159.
- Ghazban, F., 2009. Petrology of sedimentary rocks. – 2nd edition. 182 pp. ; Tehran (Tehran University Press).
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., 1981. An introduction to geotechnical engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Kassler, P. 1973. The structural and geomorphic evolution of the Persian Gulf. *The Persian Gulf*. Springer, 11-32.
- Lak, R., Behbahani, R. & Chanani, N., 2013. Marine geology of the Persian Gulf. Nashrerahi.
- Lambeck, K., 1996. Shoreline reconstructions for the Persian Gulf since the last glacial maximum. *Earth and Planetary Science Letters*, 142, 43-57.
- Moradi Harsini, K., 2008. Relationship between Geological Engineering Properties of Recent Sedimentary Deposits and Sedimentary Environment in Khouzestan Plain Using Satellite Images. Ph.D. Dissertation, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran, 387 p. (in Persian with English abstract).
- Purser, B. H., Seibold, E., 1973. The principle environmental factors influencing Holocene sedimentation and diagenesis in the Persian Gulf. In: Purser BH (ed) *The Persian Gulf: Holocene carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea*. Springer, New York, pp 1–10.
- Purser, B. H., 1973. Sedimentation around Bathymetric Highs in the Southern Persian Gulf. In: *The Persian Gulf: Holocene carbonate sedimentation and digenesis in a shallow epicontinental sea*. Edited by Purser. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Randolph, M.F., Gourvenec, S., 2011. *Offshore Geotechnical Engineering*, Spon Press, UK.
- Reynolds, R. M., 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman-results from Mt. Mitchell expedition, *Mar. Pollut. Bull.*, 27, 35-59.
- Rocker, K., Thompson, D., Jung, B., Briaud, J.L., Lin, S., 2011. Handbook for marine geotechnical engineering. SP-2209-OCN. Naval Facilities Engineering command.
- Sarnthein, M., 1972. Sediments and history of the postglacial transgression in the Persian Gulf and northwest Gulf of Oman. *Marine Geology*, 12, 245-266.
- Seibold, E., Diester, L., Futterer, D., Lange, H., Muller, P., and Warner, F., 1973. Holocene sediments and sedimentary processes in the Iranian part of the Persian Gulf. In Pursur, B.H. (Eds.), *The Persian Gulf*. Springer Verlag, Berlin, New York, P. 57-80.
- Seibold, E., and Vollbrecht, K., 1969. Die Bodengestalt des Persischen Gulfs. *Meteor. Forschungsergebnisse*, Reihe C. 2, 29-56.
- Shiri, H., PashnehTala, M.H. 2005. A geotechnical data base development and applying data mining techniques to extract the common trends of offshore geotechnical properties of south pars gas field/ Persian Gulf/IR-Iran. Seventh National Marine Industries Congress, Tehran, Marine Engineering Society.
- Wagner, C.V., and Van der Togt, C., 1973. Holocene sediment types their distribution in the southern Persian Gulf. In Pursur, B.H. (Eds.), *The Persian Gulf*. Springer, New York, 471p.
- Williams, A.H. and Walkden, G.M., 2002 Late Quaternary high stand deposits of the southern Arabian Gulf: a record of sea-level and climatic change. In: *The Tectonics and Climatic Evolution of the Arabian Sea Region* (Eds P.D. Clift, D. Kroon, C. Gaedick and J. Craig). *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 195, 371–386.