

محاسبه سرعت امواج تراکمی و برشی در رسوبات سطحی

نواحی شمالی خلیج فارس

افشین ممسنی آراسته* و رامه جلیلیان

گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، info@am-arasteh.com

(* عهده‌دار مکاتبات)

تاریخ دریافت: ۹۰/۱/۶؛ تاریخ دریافت اصلاح شده: ۹۰/۶/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۵؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/۶/۳۰

هکیده

آگاهی از نحوه انتقال امواج صوتی در رسوبات دریا می‌تواند در مطالعات مربوط به آکوستیک زیر آبی و مطالعات ژئوفیزیکی خصوصاً در مدل‌سازی انتشار امواج زمین لرزه‌ای به محققین شاخه مربوطه و به‌ویژه اقیانوس‌شناسان کمک بسیاری نماید. در این پژوهش، سرعت امواج صوتی برشی و تراکمی در رسوبات سطحی نواحی شمالی، محاسبه شد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های به‌دست آمده در گشت تحقیقاتی (Regional Organization for the Protection of Marine Environment, ROPME) در زمینه‌ی پارامترهای فیزیکی آب دریا و پردازش با استفاده از مدل (Geoacoustic) هامیلتون، سرعت امواج برشی و تراکمی در رسوبات سطحی نواحی شمالی خلیج فارس محاسبه شد. رسوبات این نواحی غالباً گلی و ماسه‌های ریزدانه هستند. نتایج نشان داد که با کاهش دما، سرعت امواج صوتی تراکمی و برشی افزایش یافته و بالعکس. که این مسئله، برخلاف ایجاد تغییرات در آب دریا است. همچنین چگالی آب منفذی رسوبات، با سرعت امواج تراکمی و برشی رابطه مستقیم داشته و در نواحی با چگالی کمینه، سرعت نیز کمینه خواهد بود و بالعکس.

واژه‌های کلیدی: خلیج فارس، امواج برشی، امواج تراکمی، مدل ژئوآکوستیک هامیلتون، رسوبات دریا.

۱- مقدمه

یکی از دلایل مهم بررسی ویژگی‌های صوتی رسوبات، اهمیت ویژه آن‌ها در ارائه‌ی مدل‌های ژئوآکوستیکی (Geoacoustic) است. مدل‌های ژئوآکوستیکی بستر دریا، اطلاعات مناسبی در رابطه با ویژگی‌های صوتی رسوبات داده و برای مطالعه‌ی انتشار صوت در آن‌ها قابل استفاده می‌باشند. به‌کار روند. در این مقاله، اثر پارامترهای فیزیکی آب دریا نظیر دما، شوری و چگالی بر تغییر ویژگی‌های صوتی رسوبات نواحی شمالی خلیج فارس، بررسی و میزان تغییرات سرعت صوت برشی و تراکمی محاسبه شد.

جهت بررسی تغییر سرعت صوت در بستر نواحی شمالی خلیج فارس، از مدل ژئو آکوستیکی هامیلتون (Hamilton 1980) استفاده شد. مطالعات و تحقیقات بسیاری توسط دانشمندان و پژوهشگران بر روی ویژگی‌های صوتی رسوبات دریا انجام شده است. نتایج این مطالعات که حاصل اندازه‌گیری‌های میدانی، ارائه مدل‌های ریاضی، ارائه مدل‌های عددی، طراحی و ساخت مدل‌های فیزیکی و روش‌های دیگر است به درک و پیش‌بینی تغییرات ویژگی‌های صوتی رسوبات

ریزدانه نظیر گل و گل ماسه‌ای در برگرفته است (تصویر ۱). رسوبات درشت دانه نظیر ماسه و ماسه گلی، کمربندهای باریکی را در ناحیه غربی خلیج فارس در قسمت ساحلی بحرین، قطر و امارات متحده عربی و بخش‌های متصل به جزایر و اطراف آن‌ها را تشکیل داده است. در بخش ایرانی خلیج فارس، رسوبات غالب از نوع آواری (تخریبی) می‌باشند که علت آن وجود رشته کوه‌های زاگرس است. در حالی که رسوبات غالب در بخش غربی خلیج فارس، کربناته هستند. رابطه مقدار کربنات‌ها با اندازه ذرات، به گونه‌ای است که با افزایش میانگین قطر ذرات، میزان کربنات‌ها افزایش می‌یابد و برعکس.

۳- مواد و روش‌ها

در این مطالعه، اطلاعات جمع‌آوری شده پارامترهای فیزیکی آب‌های نواحی شمالی خلیج فارس در گشت دریایی راپمی (Regional Organization for the Protection of the Marine Environment, ROPME 2001)، نظیر دما، شوری و چگالی مورد ارزیابی و برای چند ایستگاه منتخب دسته‌بندی شد (جدول ۱). در این جدول، مقادیر X و Y به ترتیب طول و عرض از مبداء هستند. موقعیت این ایستگاه‌ها در تصویر ۲ نشان داده شده است. در ادامه، داده‌ها توسط نرم افزار آرک جی‌آی اس (Geographic Information System suite, Arc GIS) پردازش شده و منحنی‌های هم مقدار برای آن‌ها رسم شد (تصاویر ۳ الی ۵). به دلیل آنکه حداکثر عمق در منطقه مورد مطالعه حدود ۹۰ متر است و با توجه به اینکه تأثیر فشار هیدرواستاتیک در آب‌های کم عمق بسیار ناچیز و قابل صرف نظر است، لذا اثر فشار در بررسی‌ها، مورد توجه قرار نگرفت. در خصوص تغییرات دمایی آب‌های مجاور رسوبی (تصویر ۳)، بیشترین دما مربوط به شمال غربی خلیج (۳۴°C) است. دما به سمت جنوب شرقی تا حدود جزیره کیش کاهش (۲۱°C) و مقدار آن تا نزدیکی تنگه هرمز افزایش می‌یابد (۳۱°C).

بجز افت شوری در نزدیکی تنگه هرمز، خطوط هم شوری، تغییرات قابل توجهی را در مقدار شوری نشان نمی‌دهند (تصویر ۴). بجز در نزدیکی تنگه هرمز که با یک افت شوری مواجه می‌شویم که به علت مجاورت آب‌های خلیج فارس با آب‌های کم‌شورتر دریای عمان است. مجموعاً تغییرات شوری در آب‌های مجاور رسوبات خلیج فارس بین ۳۷/۵ تا ۴۲/۱۲ جزء در هزار می‌باشد. بطور کلی چگالی تابعی از دما، شوری و فشار است. از آنجایی که از تأثیرات فشار صرف نظر شده و اصولاً چون چگالی آب‌های سطحی بیشتر تابع شوری و چگالی آب‌های عمقی بیشتر تابع دما است، بنابراین می‌توان گفت در منطقه مورد مطالعه، چگالی آب‌های مجاور رسوبی تابعی از دما است.

دریا کمک به سزایی می‌نماید. نتایج برخی از این تحقیقات نظیر تحقیقات بیوت (Biot 1962)، هرماند (Hermand 1999)، هلند (Holland 2002)، اسنوک (Snoek 2005)، نتایج به دست آمده توسط مدل هامیلتون (Hamilton 1980) را تأیید نموده است. بنابراین می‌توان مدل ژئوآکوستیک هامیلتون (Hamilton 1980) را برای مطالعه‌ی ویژگی‌های صوتی رسوبات نواحی دریایی مختلف نظیر خلیج فارس به کار برد. یکی از مهم‌ترین دلایلی که در حال حاضر در تحقیقات اقیانوس‌شناسی صوتی، ما را بر آن می‌دارد که از مدل‌های عددی مختلف استفاده نماییم، کمبود و در بسیاری از موارد، فقدان اطلاعات است. خوشبختانه در سال‌های اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه داده‌برداری اقیانوسی در کشور انجام شده است که می‌تواند برای ارزیابی تحقیقات قبلی استفاده شوند. مقایسه نتایج مدل‌های تئوری و تجربی انجام شده در سال‌های مختلف با نتایج حاصل از مدل ژئوآکوستیکی هامیلتون (Hamilton 1980)، انطباق بسیار نزدیکی را نشان داد. بعنوان مثال، سرعت صوت در نوعی از رسوبات با استفاده از مدل هلند (Hamilton 1980)، ۱۶۹۰-۱۶۸۰ متر بر ثانیه محاسبه شد. سرعت صوت اندازه‌گیری شده توسط هرماند (Hermand 1999) در دریای مدیترانه ۱۶۷۰ متر بر ثانیه محاسبه شد. همچنین در مدل بیوت (Biot 1962) که الگوی بسیاری از مدل‌های کنونی است، سرعت صوت در محدوده فرکانسی ۱ مگاهرتز (1 MHz) در رسوبات گلی (لای-رس) حدود ۱۶۷۹ و در ماسه‌ریز حدود ۱۶۷۰ متر بر ثانیه محاسبه شده است. هامیلتون (Hamilton 1972) تضعیف امواج تراکمی را مطالعه و نسبت سرعت موج‌های تراکمی و برشی را به دست آورد. محققانی نظیر لیونگ و همکاران (Leong et al. 2009)، سرعت امواج تراکمی و برشی را در خاک اندازه‌گیری نمودند. واجوا و همکاران (Wadhwa et al. 2010) با توجه به سرعت امواج تراکمی، برای تخمین سرعت امواج برشی صخره‌ها، رابطه‌ای تجربی ارائه نمودند. نتایج حاصل از مطالعات انتشار امواج برشی زمین لرزه با مدل ژئوآکوستیکی هامیلتون انطباق دارد. سینگ و دیویس (Singh & Davis 2011) نیز انتشار امواج برشی حاصل از زمین لرزه را بررسی نمودند. در این پژوهش، با توجه به موارد مذکور، جهت محاسبات ژئوآکوستیکی رسوبات نواحی شمالی خلیج فارس از مدل هامیلتون استفاده شد.

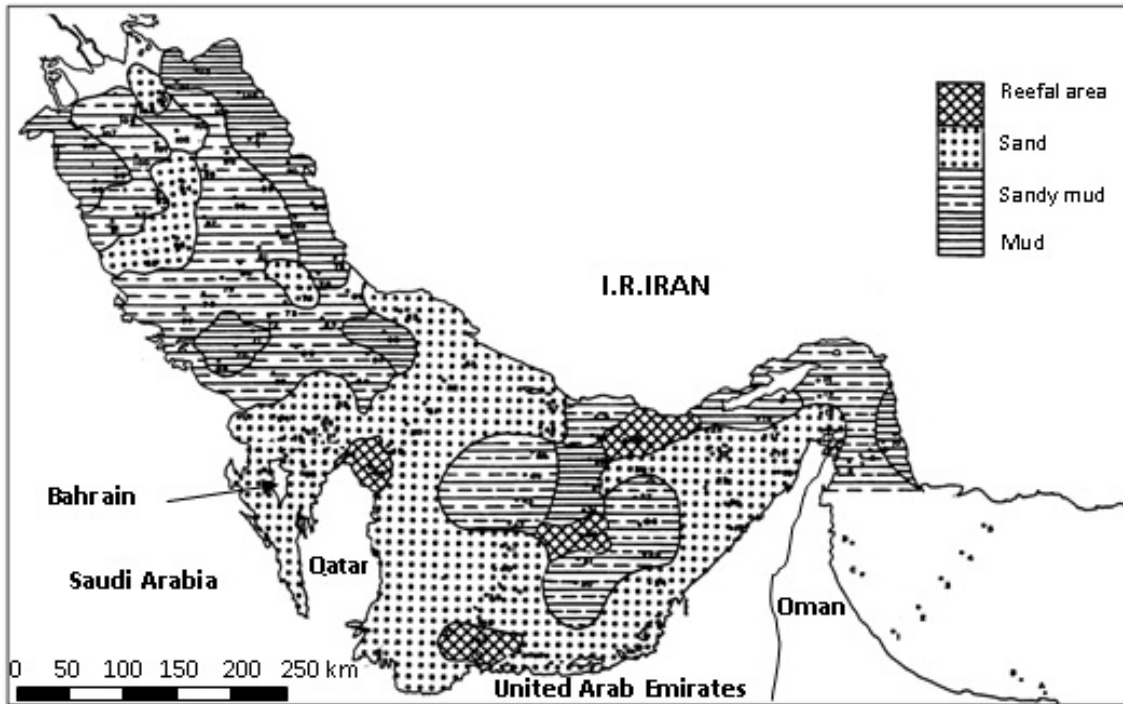
۴- رسوبات بستر خلیج فارس

خلیج فارس، دریای حاشیه‌ای نیمه بسته‌ای است که به‌طور کامل روی فلات قاره قرار دارد. بر اساس مطالعات انجام شده توسط القدبان و همکاران (AL-Ghadban et al. 1996)، بیشتر منطقه را رسوبات

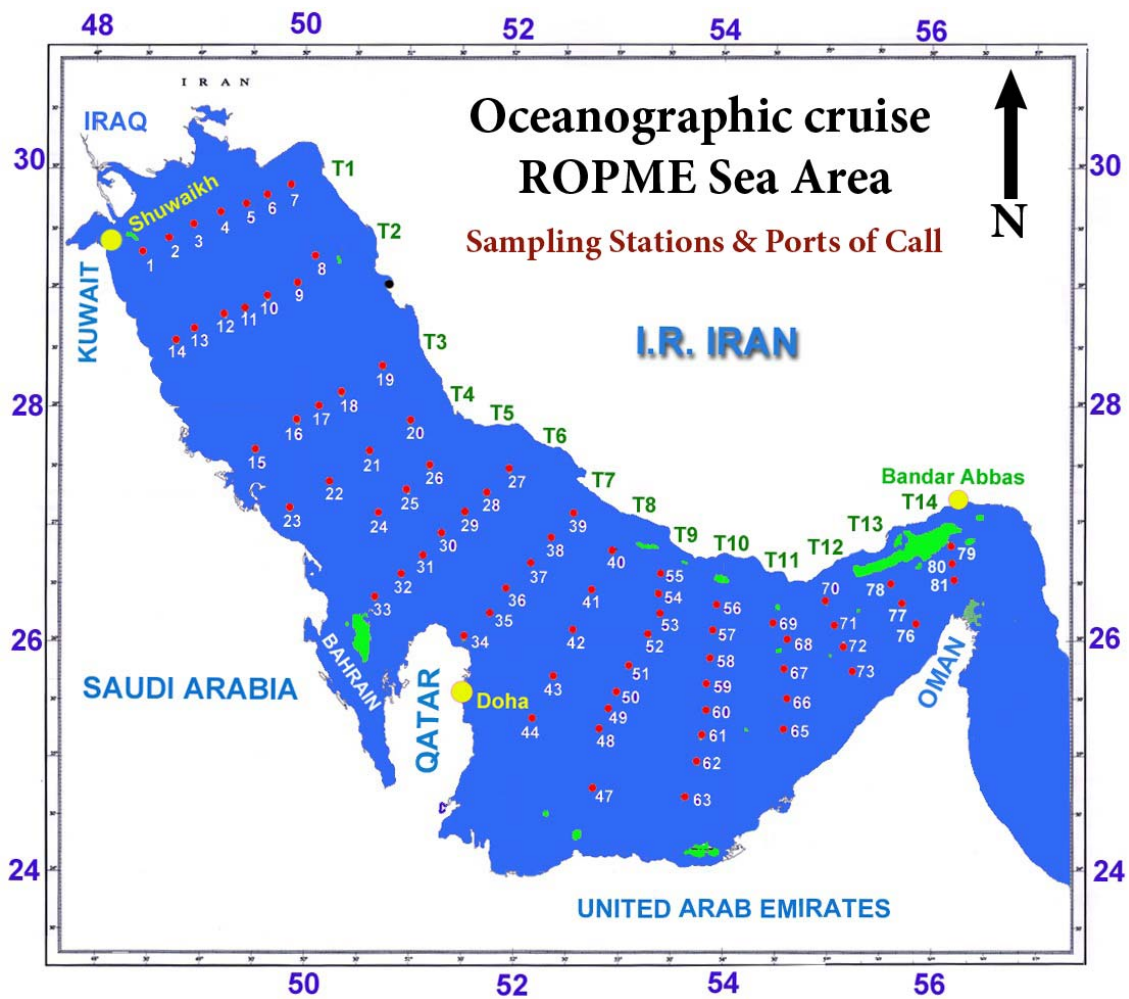
کمترین چگالی آب‌های مجاور رسوبات در نواحی شمال غربی یافته و به 1029 kg/m^3 رسیده است (تصویر ۵). در نهایت دما در خلیج فارس 1023 kg/m^3 است و تا نزدیکی جزیره کیش افزایش نزدیکی تنگه هرمز کاهش یافته و به 1023 kg/m^3 تقلیل می‌یابد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی آب‌های مجاور رسوبات در نواحی شمالی خلیج فارس. X و Y به ترتیب طول و عرض از مبدا هستند.

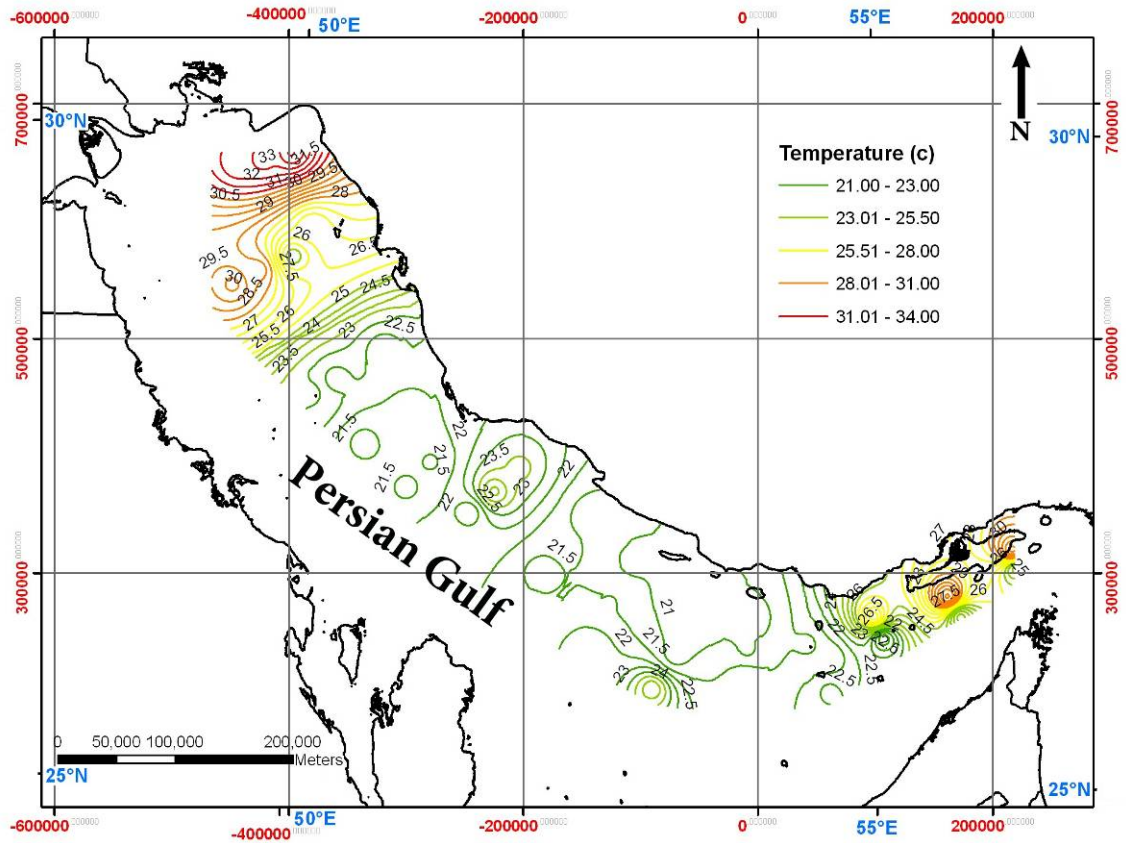
Station No.	Lat.	Lon.	X	Y	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (ppt)	$\rho(\text{kg/m}^3)$
80	26.69218	56.18962	218883.723	302882.531	68.34	24.4	39.72	1027.39
79	26.84882	56.1732	216882.504	320276.6788	43.15	31.14	37.48	1023.37
78	26.49855	55.61078	161351.993	280283.1399	38.69	31.07	37.88	1023.68
77	26.33448	55.72283	172875.583	262193.0474	65.13	23.32	39.97	1027.89
71	26.1762	55.067	107242.122	243689.2479	78.85	21.19	40.45	1028.94
70	26.35133	54.9817	98485.5483	263113.155	42.72	27.73	39.75	1026.25
69	26.14017	54.4183	42048.6751	239214.1615	71.2	21.4	40.44	1028.84
68	26.03168	54.60283	60675.1737	227216.3736	84.65	21.5	40.39	1028.83
67	25.77905	54.6028	60833.2423	199056.5982	63.02	22.59	40.22	1028.29
59	25.64648	53.84608	-15576.2144	184111.2038	58.07	24.07	40.4	1027.97
58	25.87052	53.87947	-12172.9399	209086.2649	75.38	21.95	40.51	1028.75
57	26.10248	53.90643	-9430.345	234935.9951	83.21	20.92	40.5	1029.07
56	26.32988	53.93338	-6703.0112	260266.4854	87.74	20.55	40.52	1029.21
55	26.59865	53.40153	-59910.4528	290362.1576	86.72	20.53	40.41	1029.13
54	26.4305	53.36697	-63482.4868	271660.8346	86.52	20.67	40.45	1029.11
53	26.24892	53.38537	-61756.0186	251426.2903	79.9	20.63	40.43	1029.08
52	26.06307	53.303	-70166.7519	230772.1751	74.83	20.71	40.41	1029.03
51	25.79667	53.103	-90548.6312	201232.4982	57.96	24.36	40.58	1028.02
42	26.10947	52.5837	-142487.815	236669.455	61.9	22.48	40.75	1028.72
41	26.45633	52.74078	-126224.362	275102.1706	81.57	21.52	40.766	1029.10
40	26.78153	52.9385	-106043.14	311083.0055	89.3	20.83	40.3	1028.97
39	27.11252	52.57148	-142199.694	348338.3802	78.8	21.14	40.26	1028.80
38	26.89657	52.36127	-163495.705	324622.4667	73.42	21.57	40.37	1028.75
37	26.67938	52.15173	-184821.357	300802.9031	66.38	21.28	40.85	1029.16
30	26.92957	51.3116	-268097.278	330447.5234	68.49	22.28	40.84	1028.88
29	27.1284	51.52587	-246214.885	352035.8157	74.41	21.71	40.91	1029.13
28	27.29132	51.73503	-225014.112	369680.767	43.7	24.62	40.43	1027.75
27	27.47553	51.95012	-203251.778	389720.012	55.42	23.66	40.14	1027.88
26	27.5053	51.18418	-279085.569	394784.7288	73.86	21.43	40.78	1029.10
25	27.30587	50.9851	-299446.637	373168.2926	66.5	21.38	40.83	1029.12
21	27.64095	50.60917	-335569.801	411536.2905	59.15	21.29	40.68	1029.00
20	27.89278	50.98998	-297094.655	438361.3686	64.87	21.84	40.73	1028.90
19	28.3491	50.7432	-319874.268	489744.2992	57.03	22.27	40.56	1028.62
18	28.11762	50.33243	-361097.513	465381.9687	58.62	22.31	40.43	1028.51
17	28.00927	50.14173	-380305.646	454027.0217	56.85	23.1	40.26	1028.15
11	28.81528	49.41532	-447962.247	546305.3129	45.57	30.13	41.12	1026.47
10	28.93288	49.63525	-425944.85	558429.2625	47.48	29.27	41.02	1026.70
9	29.05092	49.932	-396495.383	570354.3733	49.72	25.2	39.95	1027.24
8	29.2813	50.0918	-379978.482	595303.1006	42.55	26.53	39.65	1026.56
7	29.84825	49.87915	-398179.086	658914.2767	13.51	34.05	39.77	1023.91
6	29.78275	49.63493	-422063.82	652610.8104	18.03	33.25	40.36	1024.67
5	29.75588	49.42915	-442077.658	650480.2756	13.89	32.99	40.41	1024.78
4	29.65068	49.18632	-466080.599	639876.0907	13.27	32.92	40.67	1025.00



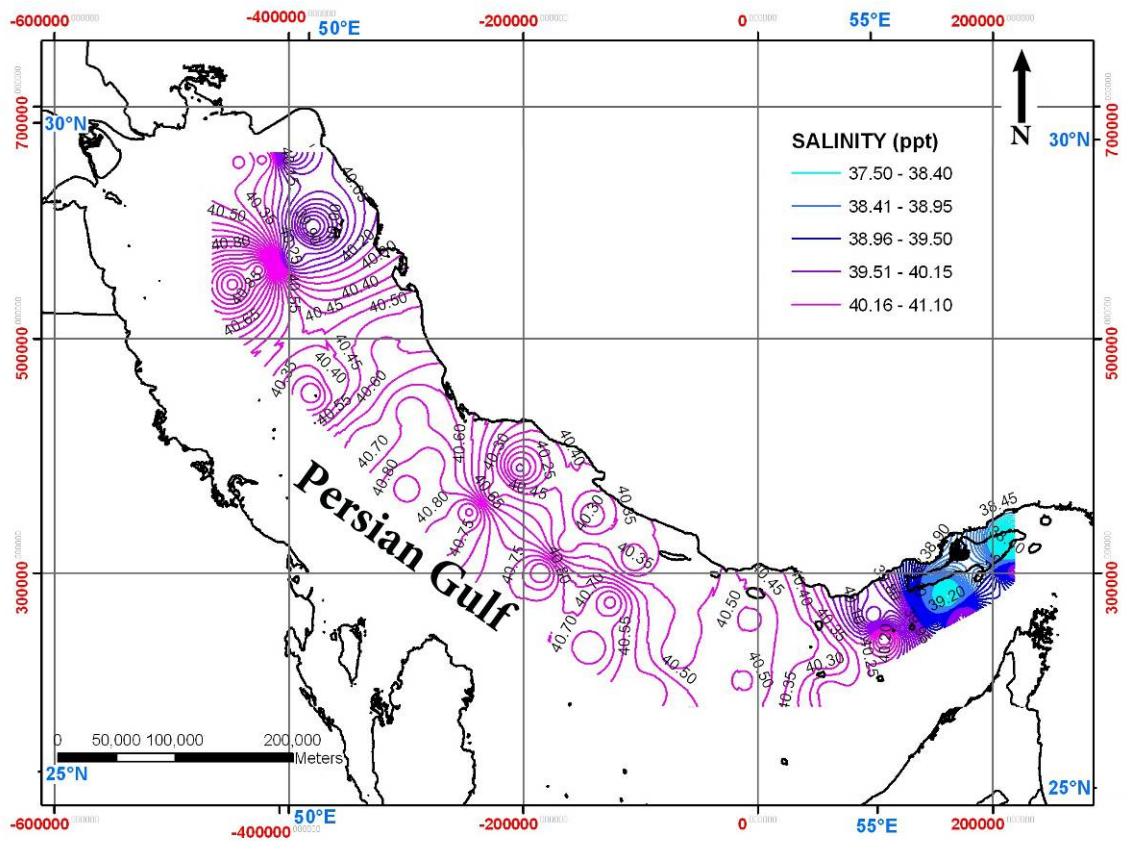
تصویر ۱- توزیع رسوبات سطحی در خلیج فارس (AL-Ghadban et al. 1996)



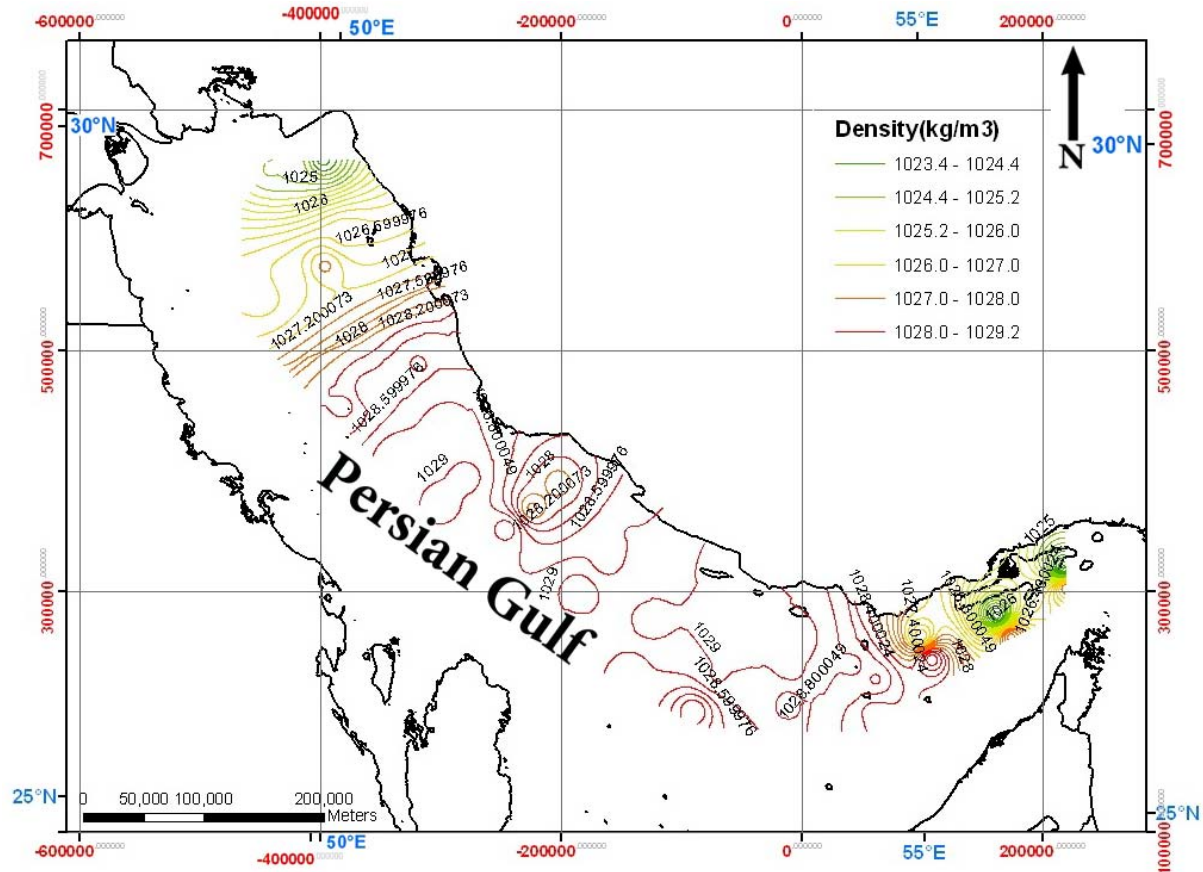
تصویر ۲- موقعیت ایستگاه‌های داده‌برداری در گشت تحقیقاتی راپمی (ROPME 2001)



تصویر ۳- تغییرات دما در آب‌های مجاور رسوبات نواحی شمالی خلیج فارس



تصویر ۴- تغییرات شوری در آب‌های مجاور رسوبات نواحی شمالی خلیج فارس



تصویر ۵- تغییرات چگالی درآب‌های مجاور رسوبات نواحی شمالی خلیج فارس

امواج برشی بر مبنای تغییر سرعت امواج تراکمی، متفاوت است. با محاسبه مقدار سرعت امواج تراکمی در نقاط مختلف رسوبات سطحی نواحی شمالی خلیج فارس، می‌توان مقدار سرعت امواج برشی را به دست آورد (رابطه ۲).

با توجه به جدول ۲، برای سرعت امواج تراکمی در محدوده $1/512 \text{ km/s}$ تا $1/555 \text{ km/s}$ رابطه ۲ و برای سرعت امواج تراکمی در محدوده $1/555 \text{ km/s}$ تا $1/650 \text{ km/s}$ رابطه ۳ را خواهیم داشت:

$$V_s = 3.884V_p - 5.757 \quad (2)$$

$$V_s = 1.137V_p - 1.485 \quad (3)$$

برای سرعت امواج تراکمی در محدوده $1/650 \text{ km/s}$ تا $2/150 \text{ km/s}$ رابطه ۴ و برای سرعت امواج تراکمی بیش از $2/150 \text{ km/s}$ رابطه ۵ را خواهیم داشت:

$$V_s = 0.901 - 1.136V_p + 0.47V_p^2 \quad (4)$$

$$V_s = 0.78V_p - 0.962 \quad (5)$$

در این روابط V_s سرعت امواج برشی و V_p سرعت امواج تراکمی است. سرعت امواج تراکمی در ایستگاه‌های انتخاب شده در بخش شمالی خلیج فارس از رابطه ۱ محاسبه شد. سپس با توجه به مقادیر اندازه گیری شده و بر اساس روابط ۲ تا ۵، سرعت امواج برشی

با استفاده از مدل ژئوآکوستیکی هامیلتون (Hamilton 1980)، می‌توان سرعت امواج تراکمی را برحسب کیلومتر بر ثانیه برای انواع رسوبات، به صورت تابعی از عمق بر حسب کیلومتر به دست آورد (رابطه ۱):

$$V_p = 1.528 + 1.25D - 0.45D^2 + 0.0568D^3 \quad (1)$$

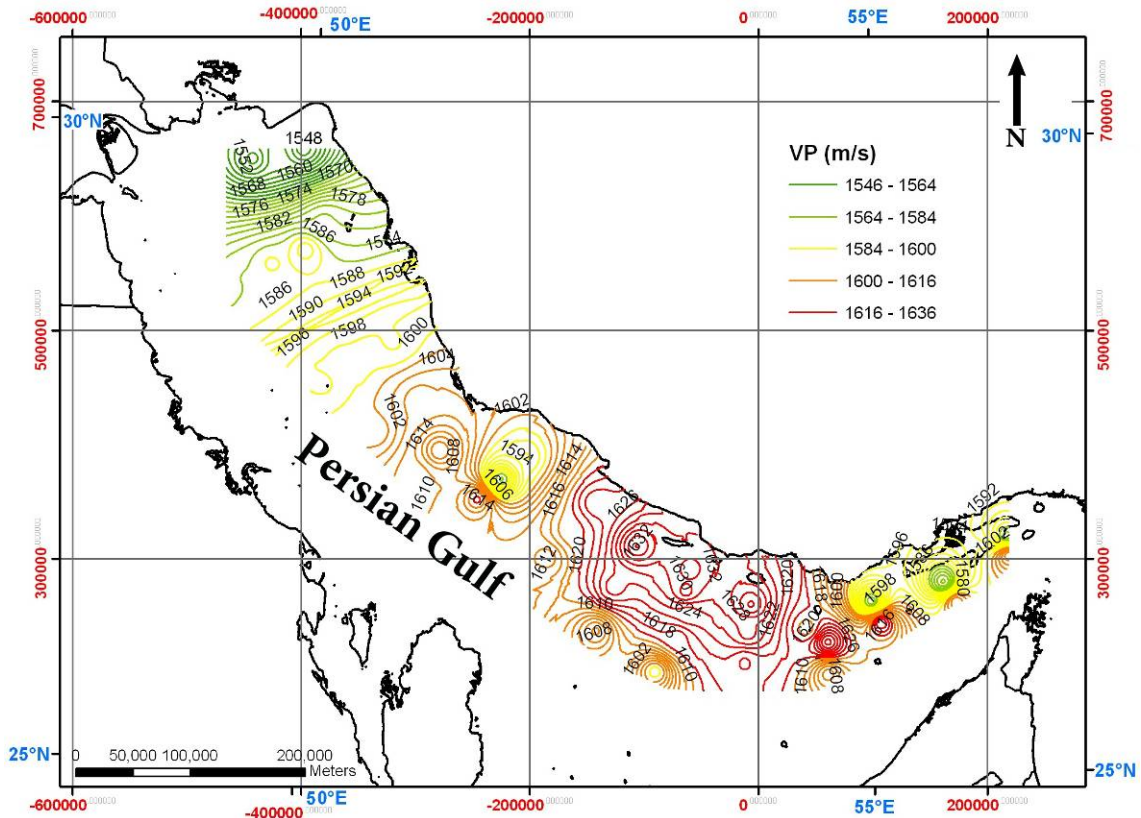
سرعت امواج تراکمی به طبیعت مواد بستر، ویژگی‌های فیزیکی و ساختار زمین‌شناسی منطقه بستگی دارد. بستر خلیج فارس شامل لایه‌های متوالی رسوبی است که بر روی توده‌ی سخت زیر آن قرار دارد. در فصل مشترک این لایه‌ها، سرعت صوت و چگالی ناپیوستگی دارند. بنابراین علاوه بر سرعت امواج صوتی تراکمی، باید ویژگی‌های سرعت برشی مواد را نیز در این ناحیه در نظر گرفت. در برخی از مدل‌های ریاضی بر هم کنش صوت با بستر دریا، برآورد تضعیف امواج برشی نیز مورد نیاز است.

در خصوص محاسبه‌ی سرعت امواج برشی در رسوبات دریایی، تحقیقات اندکی صورت گرفته است و غالباً از تضعیف این امواج به‌جز در مباحثی مثل مکانیک خاک و مهندسی سازه صرف‌نظر می‌شود. سرعت امواج صوتی برشی را می‌توان با استفاده از مدل هامیلتون، برحسب سرعت امواج صوتی تراکمی به دست آورد. محاسبه سرعت

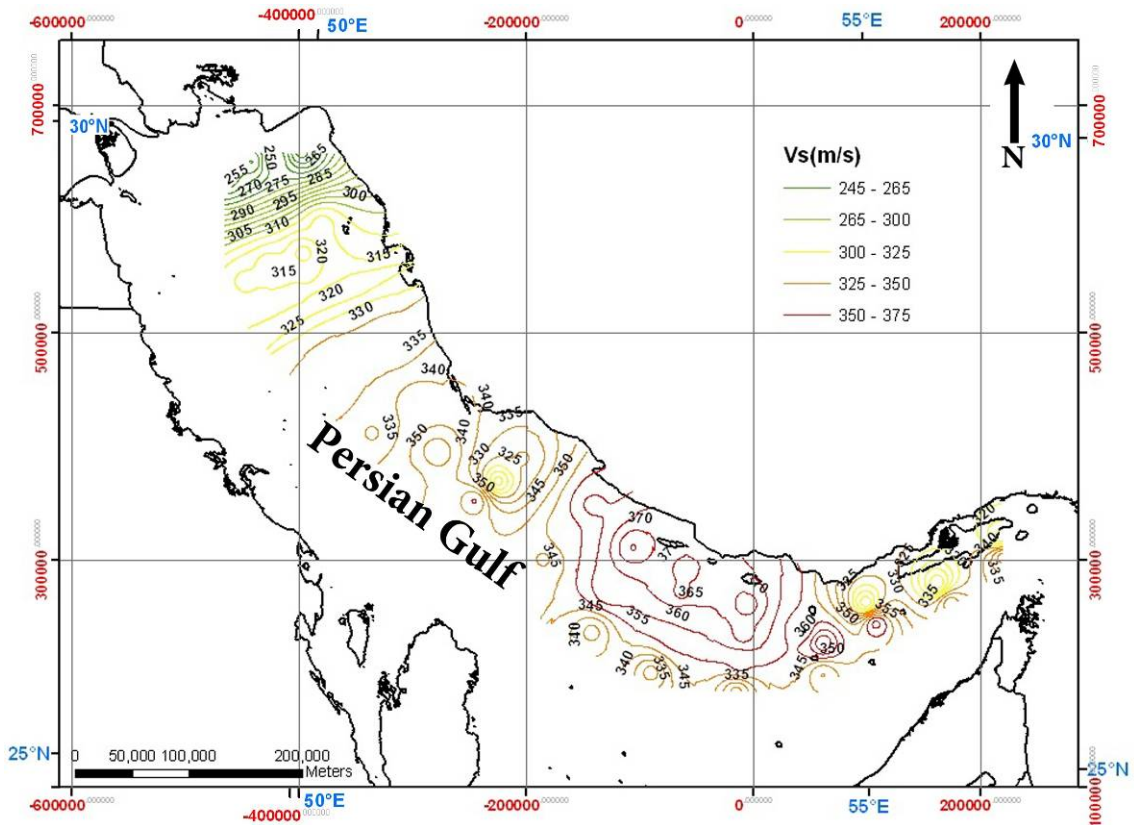
تخمین زده شد (جدول ۲). در این جدول، مقادیر X و Y به ترتیب جی‌آی‌اس (Arc GIS) و سورفر (Surfer)، نحوه‌ی تغییرات سرعت طول و عرض از مبداء هستند. در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار آرک در منطقه مورد مطالعه ارزیابی شد (تصاویر ۶ و ۷).

جدول ۲- سرعت امواج تراکمی و برشی در رسوبات نواحی شمالی خلیج فارس. X و Y به ترتیب طول و عرض از مبداء هستند.

Station No.	X	Y	Lat.	Lon.	Depth (m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)
80	218883.7	302882.5	26.69218	56.18962	68.34	1611.341	347.0953
79	216882.5	320276.7	26.84882	56.1732	43.15	1581.104	312.7155
78	161352	280283.1	26.49855	55.61078	38.69	1575.692	306.562
77	172875.6	262193	26.33448	55.72283	65.13	1607.519	342.7495
71	107242.1	243689.2	26.1762	55.067	78.85	1623.793	361.2521
70	98485.55	263113.2	26.35133	54.9817	42.72	1580.583	312.1231
69	42048.68	239214.2	26.14017	54.4183	71.2	1614.739	350.9585
68	60675.17	227216.4	26.03168	54.60283	84.65	1630.622	369.0177
67	60833.24	199056.6	25.77905	54.6028	63.02	1605.002	339.8873
59	-15576.2	184111.2	25.64648	53.84608	58.07	1599.081	333.1553
58	-12172.9	209086.3	25.87052	53.87947	75.38	1619.692	356.5902
57	-9430.35	234936	26.10248	53.90643	83.21	1628.929	367.0928
56	-6703.01	260266.5	26.32988	53.93338	87.74	1634.249	373.1413
55	-59910.5	290362.2	26.59865	53.40153	86.72	1633.053	371.7811
54	-63482.5	271660.8	26.4305	53.36697	86.52	1632.818	371.5143
53	-61756	251426.3	26.24892	53.38537	79.9	1625.031	362.6604
52	-70166.8	230772.2	26.06307	53.303	74.83	1619.042	355.8502
51	-90548.6	201232.5	25.79667	53.103	57.96	1598.949	333.0054
42	-142488	236669.5	26.10947	52.5837	61.9	1603.664	338.3662
41	-126224	275102.2	26.45633	52.74078	81.57	1626.999	364.8981
40	-106043	311083	26.78153	52.9385	89.3	1636.077	375.2195
39	-142200	348338.4	27.11252	52.57148	78.8	1623.734	361.185
38	-163496	324622.5	26.89657	52.36127	73.42	1617.372	353.9517
37	-184821	300802.9	26.67938	52.15173	66.38	1609.009	344.443
30	-268097	330447.5	26.92957	51.3116	68.49	1611.52	347.2981
29	-246215	352035.8	27.1284	51.52587	74.41	1618.544	355.2849
28	-225014	369680.8	27.29132	51.73503	43.7	1581.77	313.4729
27	-203252	389720	27.47553	51.95012	55.42	1595.903	329.5412
26	-279086	394784.7	27.5053	51.18418	73.86	1617.893	354.5443
25	-299447	373168.3	27.30587	50.9851	66.5	1609.152	344.6055
21	-335570	411536.3	27.64095	50.60917	59.15	1600.375	334.6262
20	-297095	438361.4	27.89278	50.98998	64.87	1607.209	342.397
19	-319874	489744.3	28.3491	50.7432	57.03	1597.834	331.7378
18	-361098	465382	28.11762	50.33243	58.62	1599.74	333.9045
17	-380306	454027	28.00927	50.14173	56.85	1597.619	331.4923
11	-447962	546305.3	28.81528	49.41532	45.57	1584.033	316.046
10	-425945	558429.3	28.93288	49.63525	47.48	1586.342	318.6704
9	-396495	570354.4	29.05092	49.932	49.72	1589.045	321.7436
8	-379978	595303.1	29.2813	50.0918	42.55	1580.377	311.8888
7	-398179	658914.3	29.84825	49.87915	13.51	1544.806	243.0246
6	-422064	652610.8	29.78275	49.63493	18.03	1550.392	264.7208
5	-442078	650480.3	29.75588	49.42915	13.89	1545.276	244.8513
4	-466081	639876.1	29.65068	49.18632	13.27	1544.508	241.8706



تصوير ۶- تغييرات سرعت امواج تراكمي در رسوبات سطحي نواحى شمالي خليج فارس



تصوير ۷- تغييرات سرعت امواج صوتي برشي در رسوبات سطحي نواحى شمالي خليج فارس

۴- نتایج

با توجه به شواهد موجود و با مقایسه تصاویر ۳ و ۵، تنها تغییرات دمایی آب سبب تغییر در سرعت امواج تراکمی و برشی خواهد شد. مقایسه تصاویر ۲، ۶ و ۷، نشان دهنده ی آن است که دما با سرعت امواج تراکمی و برشی رابطه عکس دارد. بنابراین با کاهش دما، سرعت امواج صوتی تراکمی و برشی افزایش یافته و بالعکس که این مسئله، خلاف ایجاد تغییرات در آب دریا است. بنابراین چگالی آب منفذی رسوبات، با سرعت امواج تراکمی و برشی رابطه مستقیم خواهد داشت، یعنی در نواحی با چگالی کمینه، سرعت نیز کمینه خواهد بود و بالعکس.

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق که بر مبنای مدل ژئوآکوستیک هامیلتون انجام شده است و با توجه به مطالعه منحنی‌های تغییرات دما، شوری و چگالی در آب‌های مجاور رسوبات نواحی شمالی خلیج فارس، مشاهده شد که اثر تغییر شوری در این نواحی بر روند تغییر سرعت امواج تراکمی و برشی در رسوبات، بسیار ناچیز و قابل صرف نظر است. همچنین بر خلاف روند تغییر سرعت صوت در آب که با تغییر دما نسبت مستقیم دارد، تغییر سرعت امواج برشی و تراکمی در رسوبات این نواحی با تغییر دما، رابطه عکس دارد. همچنین تغییر سرعت امواج برشی و تراکمی در رسوبات این نواحی با تغییر چگالی آب منفذی رسوبات، رابطه مستقیم دارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل تحقیق و مطالعه در گروه فیزیک دریای دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال می‌باشد که با هزینه شخصی و کمک دانشگاه انجام شده است. از اعضای کمیته تخصصی گروه فیزیک دریا و سازمان زمین‌شناسی کشور به‌خاطر همکاری در ارائه اطلاعات سپاسگزاری می‌گردد.

مراجع

- AL-Ghadban, A. N., AL-Dousari, A. M., AL-Kadi, A., Behbehani, M. & Caceres, 1998, "Mineralogy, genesis and sources of surficial sediments in ROPME sea area", In: Otsuki, A., Abdulraheem, M. Y. & Reynolds, R. M. (eds.), "Offshore environment of the ROPME sea area after the War-Related Oil Spill", Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo: 65-88.
- Biot, M. A., 1962, "Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media", *Journal of Applied Physics*, Vol. 33 (4): 1482-1498.
- Hamilton, E. L., 1972, "Compressional-wave attenuation in marine sediments", *Geophysics*, Vol. 37 (4): 620-646.

با توجه به مطالب بالا، رسوبات بخش ایرانی خلیج فارس عمدتاً از ماسه، گل، گل ماسه‌ای و رسوبات مرجانی تشکیل شده‌اند (تصویر ۱). بیش از ۵۰ درصد رسوبات این منطقه را ذرات ریزدانه (کوچکتر از ۶۳ میکرون) تشکیل داده‌اند. رسوبات ماسه‌ای، بخش کوچکی از بستر نواحی شمالی خلیج فارس را پوشانده‌اند که از نظر دانه‌بندی، ماسه‌ریز و یا بسیارریز می‌باشند. رسوبات در ورودی رودخانه‌ها از نوع گلی و گل ماسه‌ای می‌باشند. رسوبات در سواحل جزیره لاوان، بیشتر از نوع ماسه‌ای ریز و کمی گل ماسه‌ای هستند. در سواحل جزیره کیش، رسوبات بیشتر از نوع مرجانی و گل ماسه‌ای و در سواحل جزیره قشم، از نوع گلی و گل ماسه‌ای می‌باشند.

از ویژگی‌های فیزیکی مهم رسوبات می‌توان به تخلخل و اندازه ذرات اشاره نمود. با کاهش اندازه ذرات، میزان تخلخل نیز افزایش خواهد یافت. در ماسه‌های درشت و متوسط، به صورت تدریجی است اما در ماسه‌های ریز تا لای-رس، این تغییرات کاملاً مشخص است. تخلخل، برابر است با نسبت حجم منافذ به حجم کل توده رسوبی، بنابراین تخلخل بالا به معنی افزایش منافذ توده رسوبی می‌باشد، که این منافذ و فضاهای خالی را آب دریا پر نموده است. بنابراین سرعت امواج صوتی تراکمی در رسوبات با تخلخل بالا (لای-رس)، کمتر از رسوبات با تخلخل کم (ماسه) است. به عبارت دقیق‌تر می‌توان گفت که در آب‌های فلات قاره (خلیج فارس)، با افزایش تخلخل، سرعت صوت کاهش خواهد یافت (تصویر ۶ و ۷). در بسترهای رسوبی گلی و گلی-ماسه‌ای (ورودی رودخانه‌ها) که تخلخل بالا (حدود ۸۰ درصد) دارند، سرعت امواج صوتی برشی و تراکمی کمینه است. با نزدیک شدن به نواحی دارای رسوبات ماسه‌ای ریز که تخلخل کمی دارند (حدود ۴۶ درصد)، سرعت افزایش خواهد یافت. مثلاً در سواحل جزیره لاوان که دارای رسوبات ماسه‌ای ریزدانه است، سرعت صوت بیشینه است. با نزدیک شدن به تنگه هرمز و در سواحل جزایر کیش و قشم، نوع رسوبات، گلی-ماسه‌ای (با تخلخل ۶۶ درصد) و گلی است. تخلخل و چگالی حجمی رسوبات با یکدیگر نسبت عکس دارند، بنابراین با افزایش چگالی، سرعت صوت رسوبی افزایش خواهد یافت. همچنین با افزایش اندازه ذرات رسوبی، تخلخل کاهش و چگالی و سرعت افزایش خواهند یافت. می‌یابند.

تصاویر ۲، ۳ و ۴ به ترتیب نشان دهنده تغییرات دما، شوری و چگالی در آب‌های مجاور رسوبات می‌باشند. با توجه به این که فضای خالی رسوبات را آب‌های عمقی پر می‌کنند، بنابراین دما، شوری و چگالی آب منفذی رسوبات با دما، شوری و چگالی آب‌های مجاور برابر خواهند بود.

- Hamilton, E.L., 1979**, "Vp/Vs and Poisson's ratio in marine sediments and rocks", *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 66 (4): 1093-1101.
- Hamilton, E. L., 1980**, "Geoacoustic modelling of the seafloor", *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 68 (5): 1313-1340.
- Hermand, J. P., 1999**, "Broad-band geoacoustic inversion in shallow water from waveguide impulse response measurements on a single hydrophone: theory and experimental results", *IEEE Journal of Oceanographic Engineering*, Vol. 24: 41-66.
- Holland, C. W., 2002**, "Geoacoustic inversion for fine grained sediments", *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 111 (4): 1560-1564.
- Leong, E. C., Cahyadi, J. & Rahardjo, H., 2009**, "Measuring shear and compression wave velocities of soil using bender-extender elements", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 46 (7): 792-812.
- Oceanographic cruise data, 2001**, *ROPME sea area, Report*.
- Singh, P. & Davis, T., 2011**, "Advantages of shear wave seismic in morrow sandstone detection", *International Journal of Geophysics*, Vol. 2011 (2001), Article ID 958483, 16 pages.
- Snoek, M., 2005**, "A sound approach to soft sediments resolution", *Marine Geophysical Researches*, Vol. 26 (2-4): 275-286.
- Wadhwa, R. S., Ghosh, N. & Subba Rao, Ch., 2010**, "Empirical relation for estimating shear wave velocity from compressional wave velocity of rocks", *Journal Indian Geophysical Union*, Vol. 14 (1): 21-30.