

مدل سازی فیزیک سنگ در بخش ماسه سنگی مخزن آسماری (مطالعه موردی در میدان نفتی منصوره)

هادی سردار^{(۱)*}، حسین معماریان^(۲)، فرهاد اسدیان^(۳)، سعید میرزائی^(۴) و سید محمد زمانزاده^(۵)

۱. کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف نفت، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی

۲. استاد دانشکده مهندسی معدن، دانشکده فنی دانشگاه تهران

۳. مربی پژوهش، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی

۴. دانشیار پژوهش، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی

۵. استادیار پژوهش پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۱۹

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۲۴

چکیده

امروزه روش های ژئوفیزیکی، بخصوص روش های شناخت رفتار الاستیکی سنگها، پیشرفت های زیادی نموده و به شدت مورد توجه شرکت های نفتی قرار گرفته است تا به این وسیله بتوانند ریسک عملیات حفاری را کاهش دهند. در حال حاضر روابط توسعه یافته فیزیک سنگ، به عنوان روشی مناسب برای دسترسی به این رفتارها شناخته شده است. اولین مرحله از شناخت رفتار الاستیک، تعیین مدل فیزیک سنگ است. هدف این مقاله، استفاده از داده های چاه پیمایی و مطالعات فیزیک سنگ در بخش ماسه سنگی مخزن آسماری به منظور تایید و اثبات مدل هایی جهت ایجاد ارتباط بین پارامترهای الاستیک و خصوصیات مخزنی است. مطالعه حاضر نشان داده است که مدل کریف برای پیش بینی سرعت موج برشی از سرعت موج تراکمی و مدل نیور-ورکین برای تعیین نحوه توزیع تخلخل، بهترین تطابق را با داده های مورد نظر نشان می دهند. همچنین امپدانس پواسون، مناسب ترین پارامتر الاستیک جهت تعیین نحوه توزیع سنگ شناسی و سیال درون منفذی است.

واژه های کلیدی: فیزیک سنگ، سازند آسماری، پارامترهای الاستیک، معادله گاسمان، مدل کریف، مدل

نیور-ورکین، امپدانس پواسون.

مقدمه

فیزیک سنگ جهت تعیین سنگ شناسی، تخلخل و نحوه توزیع سیال در بخش ماسه سنگی مخزن آسماری در میدان منصوره با استفاده از اطلاعات چاه پیمایی است. تاکنون روابط فیزیک سنگ متعددی ارائه شده که هر کدام برای مخزنی خاص و غالباً در شرایط آزمایشگاهی بوده است. در این مطالعه سعی شده تا میزان سازگاری هر کدام از این روابط با شرایط مربوط به بخش ماسه سنگی مخزن آسماری میدان منصوره بررسی گردیده و سازگارترین آنها انتخاب گردد.

میدان نفتی منصوره در ناحیه فروافتادگی دزفول شمالی و در حدود ۶۰ کیلومتری جنوب اهواز قرار گرفته است. این میدان از سمت شمال غرب به میدان اهواز، از سمت غرب در مجاورت میدان آب تیمور و از شمال شرق در مجاورت میدان شادگان قرار دارد. طول میدان در سطح تماس آب - نفت حدود ۳۹ کیلومتر و عرض آن حدود ۳/۵ کیلومتر است. امتداد این میدان مانند بسیاری از میادین ناحیه زاگرس در جهت شمال غربی- جنوب شرقی است (شکل ۱).

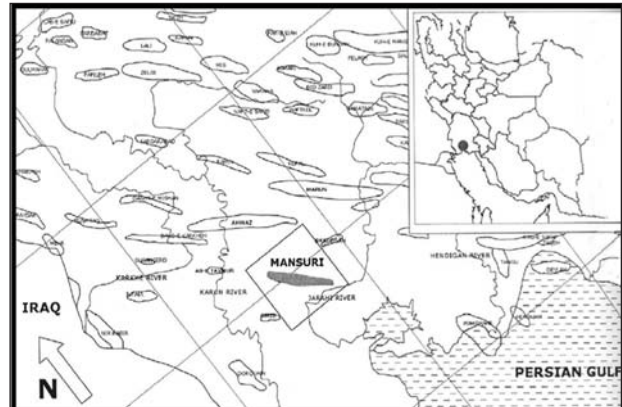
ژئوفیزیک مخزن مفهومی کاملاً جدید است. در گذشته، نقش ژئوفیزیک عمدتاً محدود به اکتشاف ساختارهای هیدروکربوری بوده و کمتر از آن در مطالعات توسعه مخزن استفاده می شده است. استفاده از مطالعات ژئوفیزیک مخزن، بخصوص لرزه نگاری منجر به کاهش قابل توجه ریسک در عملیات حفاری می گردد. یکی از سوالات اساسی که برای یک متخصص ژئوفیزیک مخزن وجود دارد این است که: آیا روشهای ژئوفیزیکی موجود قادر به تمایز بین مدل های مختلف مخزنی ارائه شده هستند؟

جواب این سوال نه تنها در مدل ژئوفیزیکی نهفته است، بلکه نیاز به مدل سازی فیزیک سنگ مخزن و سازندهای مجاور دارد. وجود چاه و داده های مربوط به آن و نیز نمونه های مغزه، ابزارهای دیگری برای حل این مسئله می باشند. با ترکیب مناسب این دو دسته از داده ها می توان به اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با نحوه توزیع تخلخل، سنگ شناسی و سیال درون منفذی مخزن، دست یافت.

هدف از این مقاله، بررسی امکان سنجی استفاده از مطالعات

*نویسنده مرتبط

زون ها در زیر سطح آب و نفت قرار داشته و نفت ده نمی باشند. علیرغم اینکه سازند آسماری در بسیاری از میداین جنوب غرب ایران به عنوان یک سازند کربناته شناخته شده است، نتیج حاصل از بررسی های پتروفیزیکی نشان می دهند که زون اصلی تولید کننده هیدروکربور در سازند آسماری میدان منصوری، ماسه سنگی است. این زون ماسه سنگی در واقع ادامه عضو ماسه سنگی میدان اهواز است (EDCO Kish International Company Report, 2006). شکل ۲ داده های خام و تفسیر شده پتروفیزیکی بخش مخزنی در چاه ۴۷ از میدان منصوری را نشان می دهد.

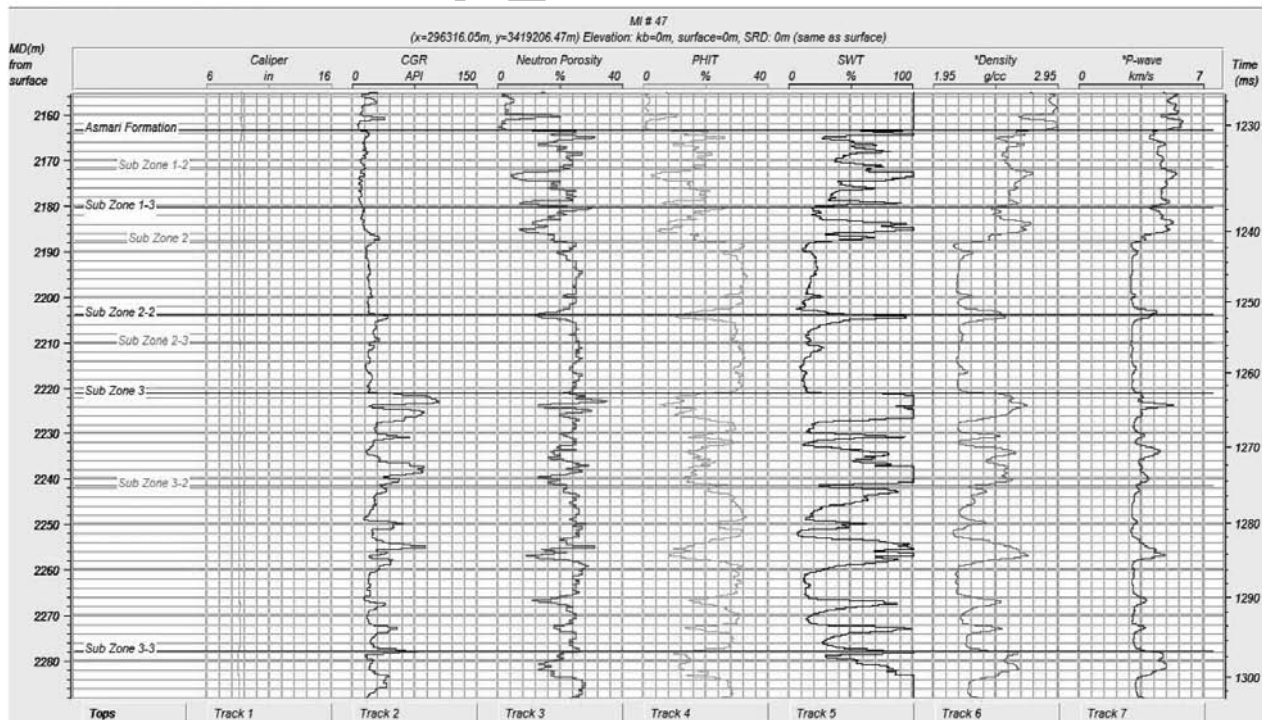


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی میدان منصوری در بین میداین جنوب غرب ایران (EDCO Kish International Company Report, 2006).

برآورد سرعت موج برشی

وجود اطلاعات مربوط به سرعت موج برشی (V_s) در مطالعات فیزیک سنگ ضروری است. در ایده آل ترین حالت، سرعت موج برشی را می توان با استفاده از آزمایشات اولتراسونیک بر روی مغزه ها و در شرایط کنترل شده اندازه گیری نمود (Castagna et al., 1985). راه دیگر برای اندازه گیری سرعت موج برشی، استفاده از نگار دو قطبی است. هر کدام از این روشها دارای مزایا و معایب مختص به خود می باشند. آنچه امروزه به عنوان یکی از مرسوم ترین روش ها برای بدست آوردن سرعت موج برشی مطرح است، استفاده از مدل های فیزیک سنگ موجود برای محاسبه این کمیت است (Mavko et al., 1998). تاکنون مدل های فیزیک سنگ متعددی برای محاسبه سرعت موج برشی از سرعت موج تراکمی توسط متخصصین فیزیک سنگ ارائه شده است. هر کدام از این روابط برای شرایطی خاص از نظر سنگ شناسی و اشباع ارائه گردیده است (شکل ۳).

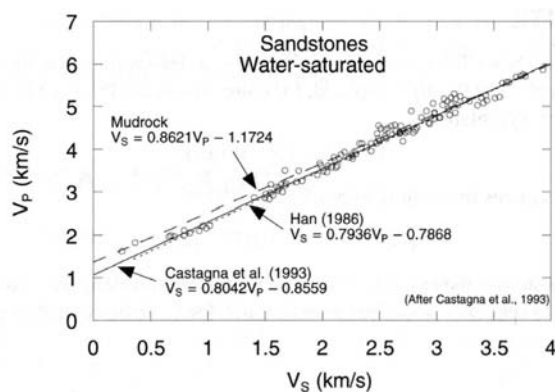
بر اساس اطلاعات سنگ شناسی و تخلخل، سازند آسماری در میدان منصوری به ۸ زون و ۱۹ زیر زون تقسیم بندی شده است. این تقسیم بندی بر اساس داده های مربوط به نگارهای گاما، نوترون و چگالی و تخلخل بدست آمده از آنالیز پتروفیزیکی، صورت گرفته است (EDCO Kish International Company Report, 2006). زون ۱ عمدتاً کربناته (آهکی و دولومیتی)، زونهای ۲، ۳، ۴ و ۵ عمدتاً ماسه سنگی (بخش ماسه سنگی اهواز)، زون ۶ مخلوطی از سنگ آهک، دولومیت و شیل و زون ۷ مخلوطی از سنگ آهک، دولومیت، ماسه و شیل و زون ۸ آهکی و شیلی است. زون های ۱، ۲ و ۳ بر روی سطح جدایش آب و نفت قرار داشته و بخش های نفت ده را تشکیل می دهند (EDCO Kish International Company Report, 2006). مابقی



شکل ۲- داده های خام اولیه و تفسیر شده پتروفیزیکی در چاه ۴۷ میدان منصوری (سردار، ۱۳۸۷).

جدول ۲- مدل‌های فیزیک سنگ مورد استفاده برای محاسبه سرعت موج برشی از سرعت موج تراکمی در چاه ۶۰ میدان منصوری (سرعت بر حسب Km/S) (سردار، ۱۳۸۷).

| نام مدل | رابطه | فرضیات مدل |
|------------------------|------------------------------|----------------------|
| گل‌سنگ کاستاگنا (۱۹۸۵) | $V_s = 0.8621V_p - 1.1724$ | ماسه سنگ اشباع از آب |
| کاستاگنا (۱۹۹۳) | $V_s = 0.8042V_p - 0.8559$ | ماسه سنگ اشباع از آب |
| هان (۱۹۸۶) | $V_s = 0.7936V_p - 0.7868$ | ماسه سنگ اشباع از آب |
| کریف (۱۹۹۰) | $V_s^2 = 0.452V_p^2 - 1.743$ | ماسه سنگ اشباع از آب |
| کریف (۱۹۹۰) | $V_s^2 = 0.492V_p^2 - 2.407$ | ماسه سنگ شیلی |



شکل ۳- مدل‌های فیزیک سنگ ارائه شده برای محاسبه سرعت موج برشی از سرعت موج تراکمی در ماسه سنگ اشباع از آب (Mavko et al., 1998).

علاوه بر مدل‌های ارائه شده، کریف نیز با توجه به نوع سنگ، سیال موجود در فضای خالی و محتوای ریس رابطه ۱ را ارائه نموده است (Mavko et al., 1998):

$$V_s^2 = \frac{1}{a} V_p^2 - \frac{b}{a} \quad (1)$$

مقادیر ثابت $1/a$ و $-b/a$ را می‌توان با توجه به جدول ۱ و بسته به نوع سنگ تعیین نمود.

جدول ۱- مقادیر ثابت در مدل فیزیک سنگ کریف (Mavko et al., 1998).

| سنگ شناسی / اشباع | $1/a$ | $-b/a$ |
|-------------------|-------|--------|
| ماسه سنگ مرطوب | ۰/۴۵۲ | -۱/۷۴۳ |
| ماسه سنگ گازدار | ۰/۴۳۸ | -۰/۳۹۵ |
| ماسه سنگ شیلی | ۰/۴۹۲ | -۲/۴۰۷ |
| سنگ آهک | ۰/۳۴۸ | -۰/۹۵۹ |

بعد از محاسبه خطای پیش بینی با استفاده از میانگین قدر مطلق اختلاف بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر پیش بینی شده سرعت موج برشی، چنین مشخص شده است که مدل کریف مربوط به ماسه سنگهای مرطوب دارای کمترین خطا بوده و لذا مناسب‌ترین مدل جهت پیش بینی سرعت موج برشی با استفاده از سرعت موج تراکمی در بخش ماسه سنگی مخزن آسماری است. این مدل به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$V_s^2 = 0.452 V_p^2 - 1.743 \quad (2)$$

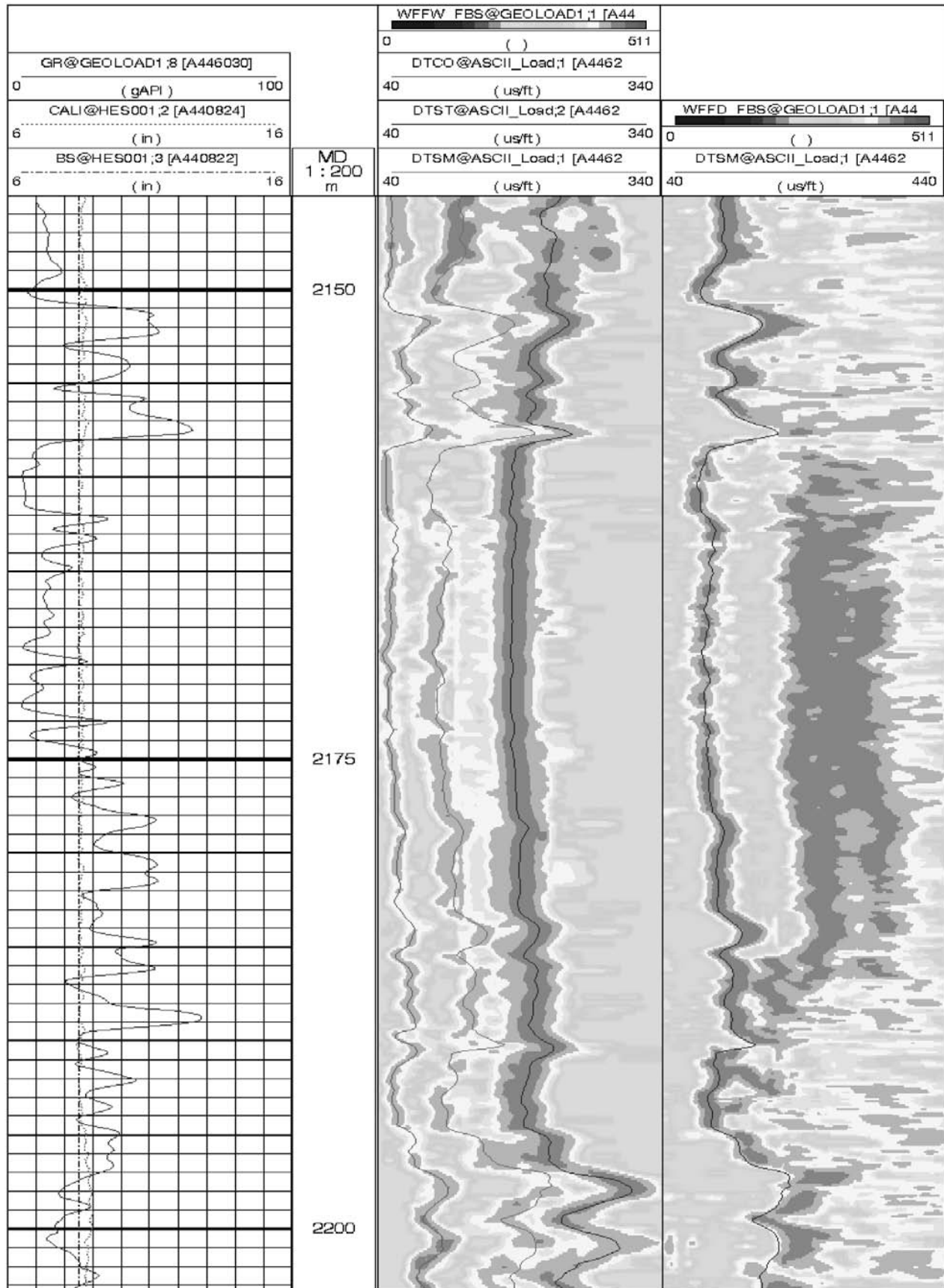
مقادیر V_p و V_s بر حسب km/s می‌باشند.

نکته مهم در اینجا این است که تمامی مدل‌های سرعت، برای شرایط اشباع از سیال متعارف (در اینجا ۱۰۰٪ اشباع از آب) تعریف شده است (Avseth et al., 2005). بنابراین، ابتدا محدوده عمقی مورد نظر به صورت تئوری با سیال متعارف جایگزین و نگار سرعت موج تراکمی برای شرایط جدید محاسبه شده است. سپس با قرار دادن مقادیر بدست آمده در مدل، سرعت موج برشی بدست آمد. نگار محاسبه شده برای سرعت موج برشی پس از جایگزین کردن سیال با رنگ آبی در شکل ۶ نشان داده شده است.

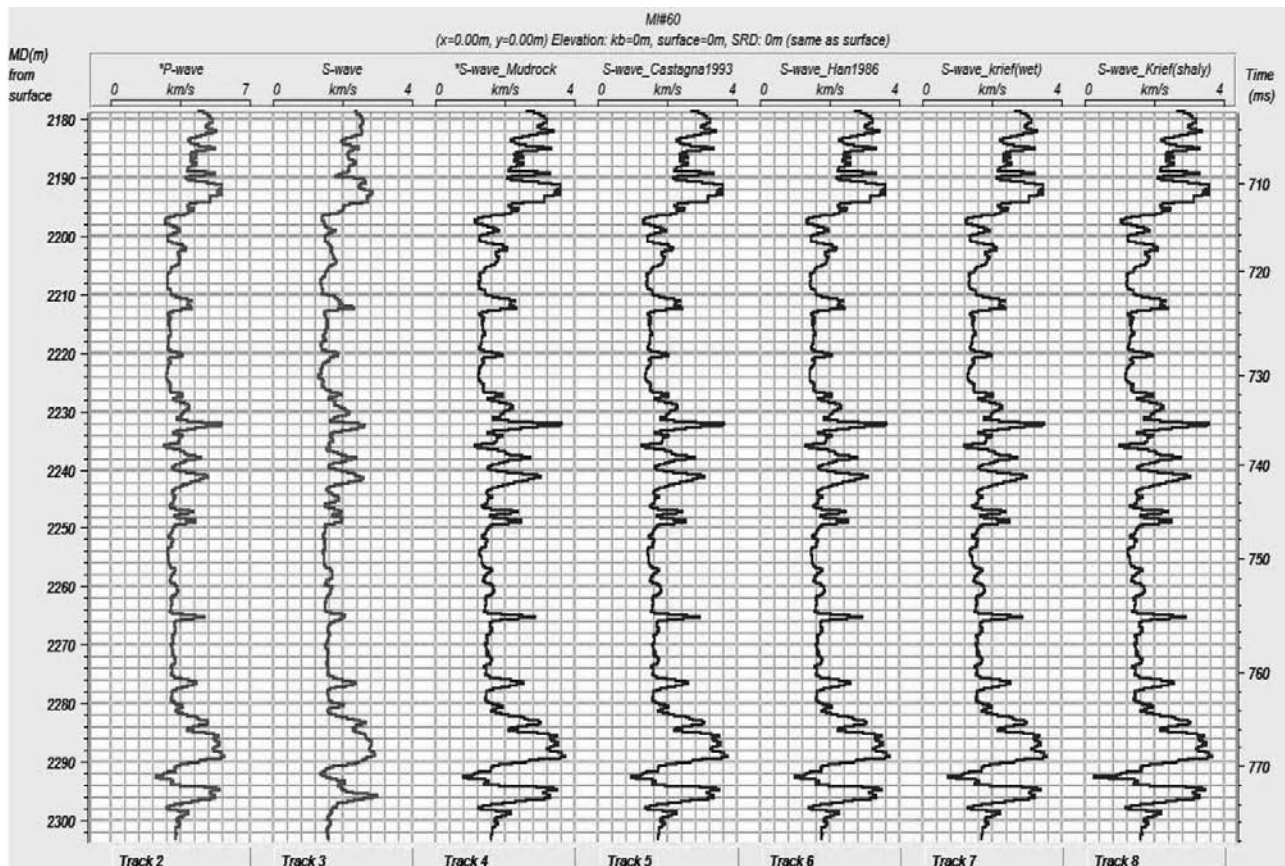
جایگزین کردن سیال یکی از مهمترین بخش‌های مطالعات فیزیک سنگ بوده و اساس آن معادله گاسمان، که بیانگر تغییرات مدول حجمی سنگ هانسبت به تغییر سیال درون منفذی (رابطه ۳) واصل عدم وابستگی مدول موج برشی به سیالات درون منفذی (رابطه ۴) است، می‌باشد (Han and Batzle, 2004).

به منظور تعیین سرعت موج برشی با استفاده از سرعت موج تراکمی، بایستی حتماً آزمایشات اولتراسونیک بر روی مغزه‌های مربوط به عمق مورد بررسی صورت گیرد تا صحت مدل انتخاب شده تایید گردد. ولی در این مطالعه، به دلیل نبود امکان انجام این آزمایشات، از نگار دوقطبی اندازه گیری شده در چاه ۶۰ میدان منصوری به منظور تایید یکی از این مدل‌های اشاره شده است. شکل ۴ بخشی از نگار دو قطبی اندازه گیری شده در چاه ۶۰ را نشان می‌دهد.

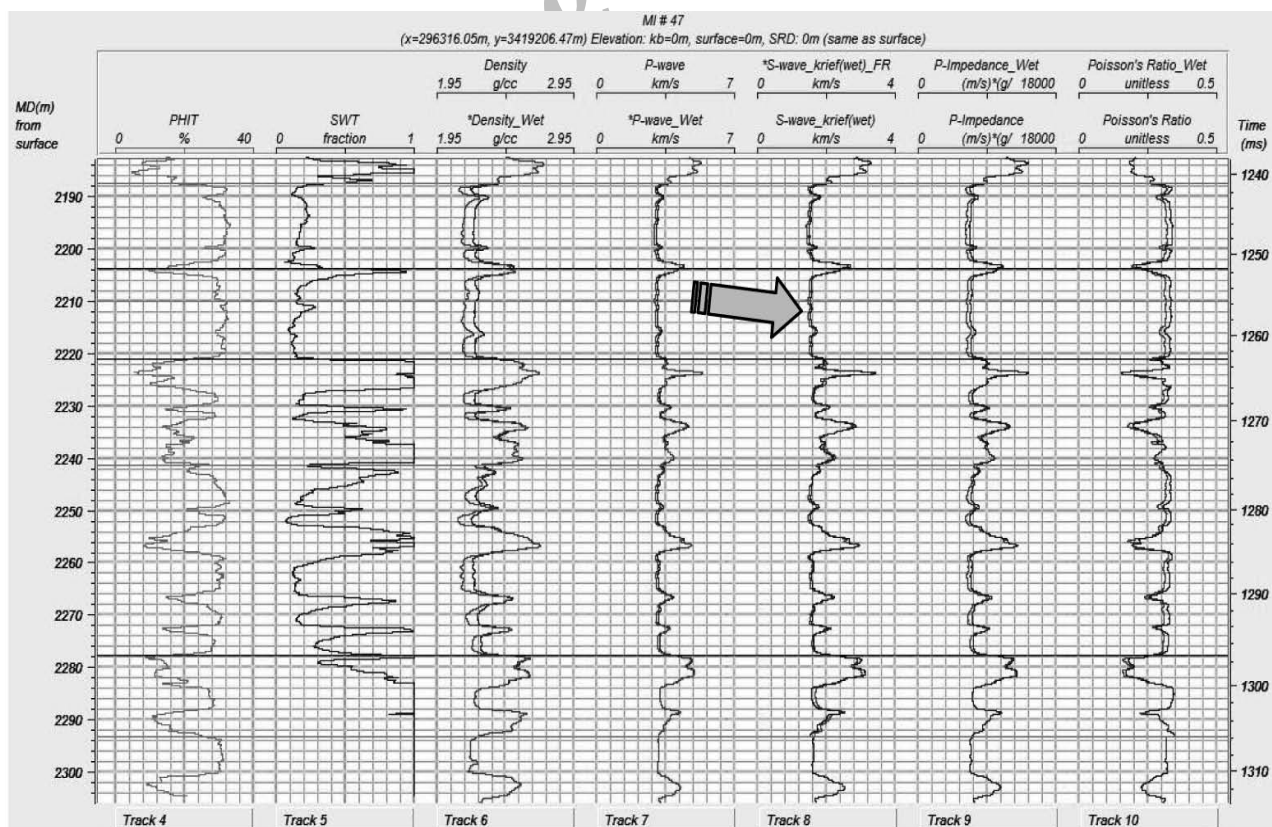
شکل ۵ نگارهای سرعت موج برشی محاسبه شده با انواع مدل‌های موجود (جدول ۲) در چاه ۶۰ را نشان می‌دهد.



شکل ۴- بخشی از نگار دوقطبی چاه ۶۰ میدان منصوری (EDCO Kish International Company Report, 2006).



شکل ۵- مقادیر پیش بینی شده برای سرعت موج برشی در چاه ۶۰ میدان منصوری با استفاده از مدل های مختلف در زون ماسه سنگی.



شکل ۶- پارامترهای الاستیک محاسبه شده بخش ماسه سنگی مخزن آسماری در چاه ۴۷ میدان منصوری.

با سیال متعارف جایگزین شود. جایگزین کردن سیال مخزن با سیال متعارف باعث می شود که بیشتر بر روی تاثیر تخلخل بر امیدانس موج تراکمی متمرکز شده و تغییرات امیدانس ناشی از تغییر در نوع سیال حذف گردد. بعد از حذف اثر سیال، مقادیر امیدانس موج تراکمی و تخلخل جهت استخراج مدل فیزیک سنگ ترسیم می گردند.

تاکنون روابط فیزیک سنگ متعددی برای محاسبه تخلخل کل از امیدانس موج تراکمی توسط متخصصین فیزیک سنگ ارائه شده است. در این میان مدل ارائه شده توسط نیور-ورکین (Mavko et al, 1998)، بیشترین تطابق را با داده های مربوط به بخش ماسه سنگی مخزن آسماری نشان می دهد (شکل ۷).

حال با توجه به مدل نیور-ورکین و ۱۵٪ میزان رس محاسبه شده در بخش ماسه سنگی مخزن آسماری، می توان ارتباط بین امیدانس موج تراکمی و تخلخل کل را با رابطه زیر بیان نمود:

$$I_p = 27/384 \Phi^{1.2} - 33/983 \Phi + 14/661 \quad (5)$$

در این رابطه I_p مقادیر امیدانس موج تراکمی و Φ تخلخل کل است.

به منظور اطمینان از صحت مدل استخراج شده بین مقادیر امیدانس موج تراکمی و تخلخل کل، نگارهای مربوط به مقادیر امیدانس موج تراکمی پیش بینی شده و محاسبه شده ترسیم شده اند (شکل ۸).

تعیین لیتولوژی و نحوه توزیع سیال

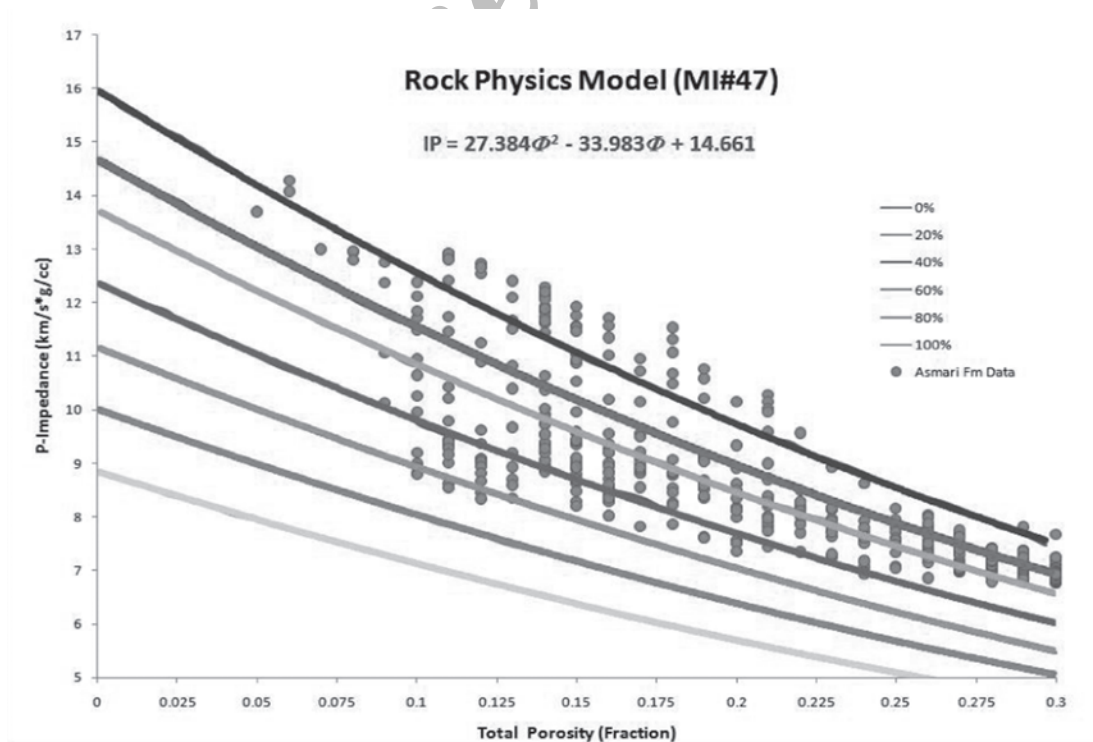
$$K_{Sat} = K_{dry} + \frac{\left(1 - \frac{K_{dry}}{K_m}\right)^2}{\frac{\phi}{K_{dry}} + \frac{1 - \phi}{K_m} - \frac{K_{dry}}{K_m^2}} \quad (3)$$

در این رابطه K_{sat} مدول حجمی سنگ اشباع از سیال، K_{dry} مدول حجمی سنگ خشک، K_{fl} مدول حجمی سیال درون منفذی، K_m مدول حجمی کانی و تخلخل است. یکی از فرضیات اساسی در معادله گاسمان، یکسان بودن مدول موج برشی در حالت اشباع و خشک است (Han & Batzle, 2004)، لذا:

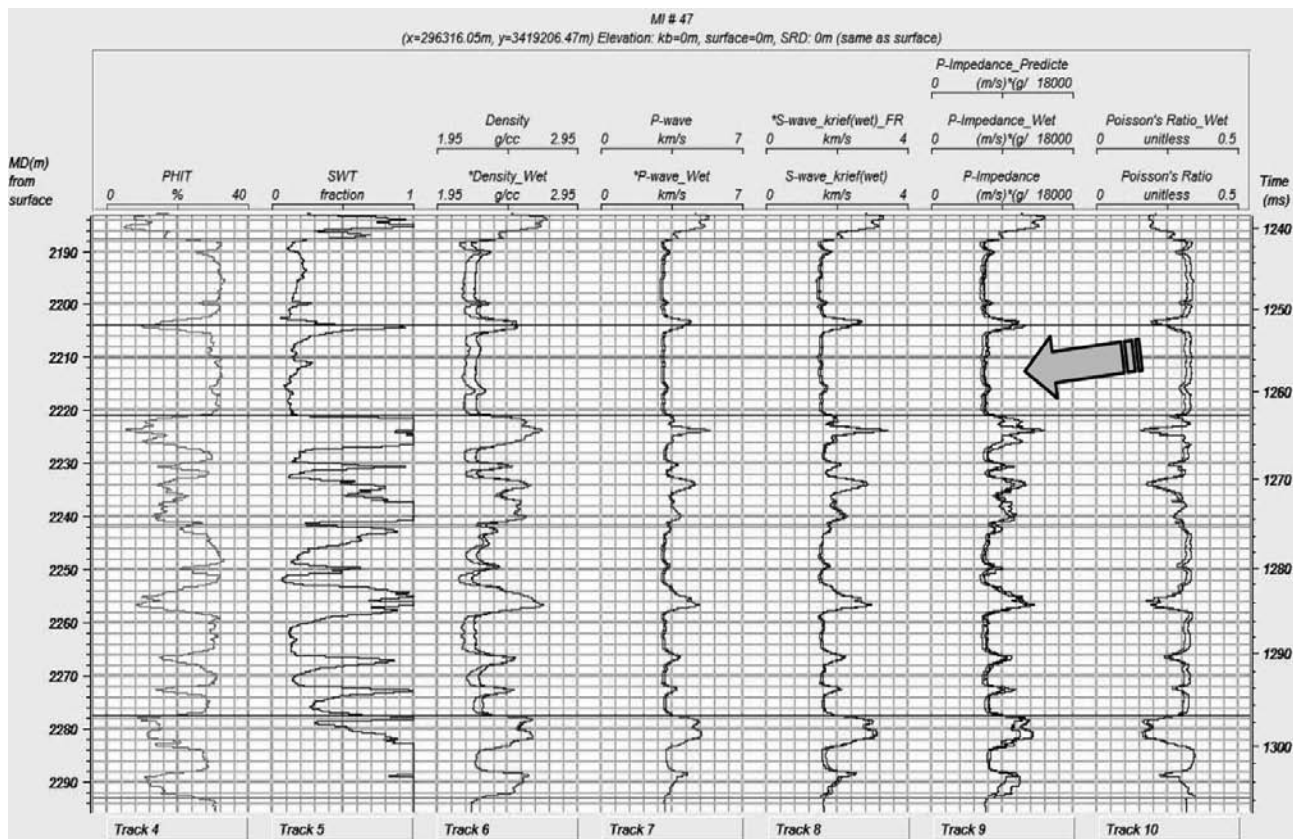
$$\mu_{sat} = \mu_{dry} \quad (4)$$

تعیین نحوه توزیع تخلخل

از جمله مباحث مهم در مطالعات فیزیک سنگ، بررسی و ارائه مدل مناسب جهت ایجاد ارتباط بین پارامتر الاستیک استخراج شده از نگار و نحوه توزیع تخلخل است. در بین پارامترهای الاستیک، امیدانس موج تراکمی مناسب ترین پارامتر جهت دسترسی به نحوه توزیع تخلخل در مخزن است. به منظور دستیابی به یک مدل مناسب برای ایجاد ارتباط بین تخلخل و امیدانس موج تراکمی، ابتدا بایستی تمام محدوده عمقی تحت مطالعه، یعنی بخش ماسه سنگی مخزن آسماری، بصورت تئوری



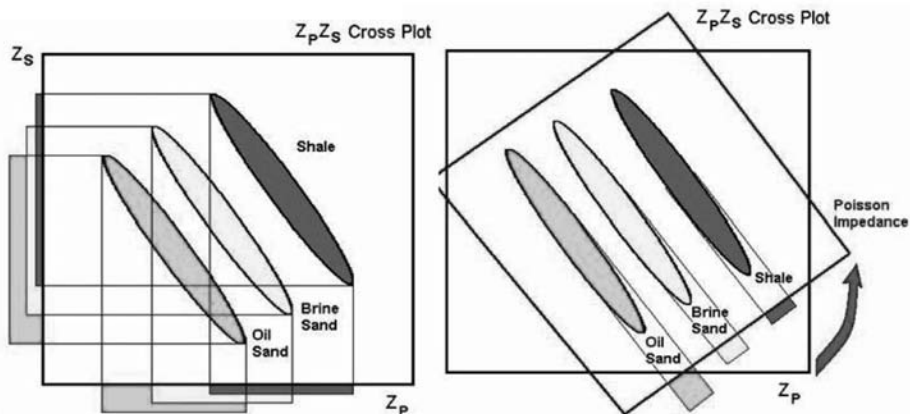
شکل ۷. مدل فیزیک سنگ نیور-ورکین برای ماسه سنگهای شیلی به همراه داده های مربوط به بخش ماسه سنگی مخزن آسماری. منحنی ها نشان دهنده محتوی رس هستند و از صفر تا ۱۰۰٪ متغیر می باشند.



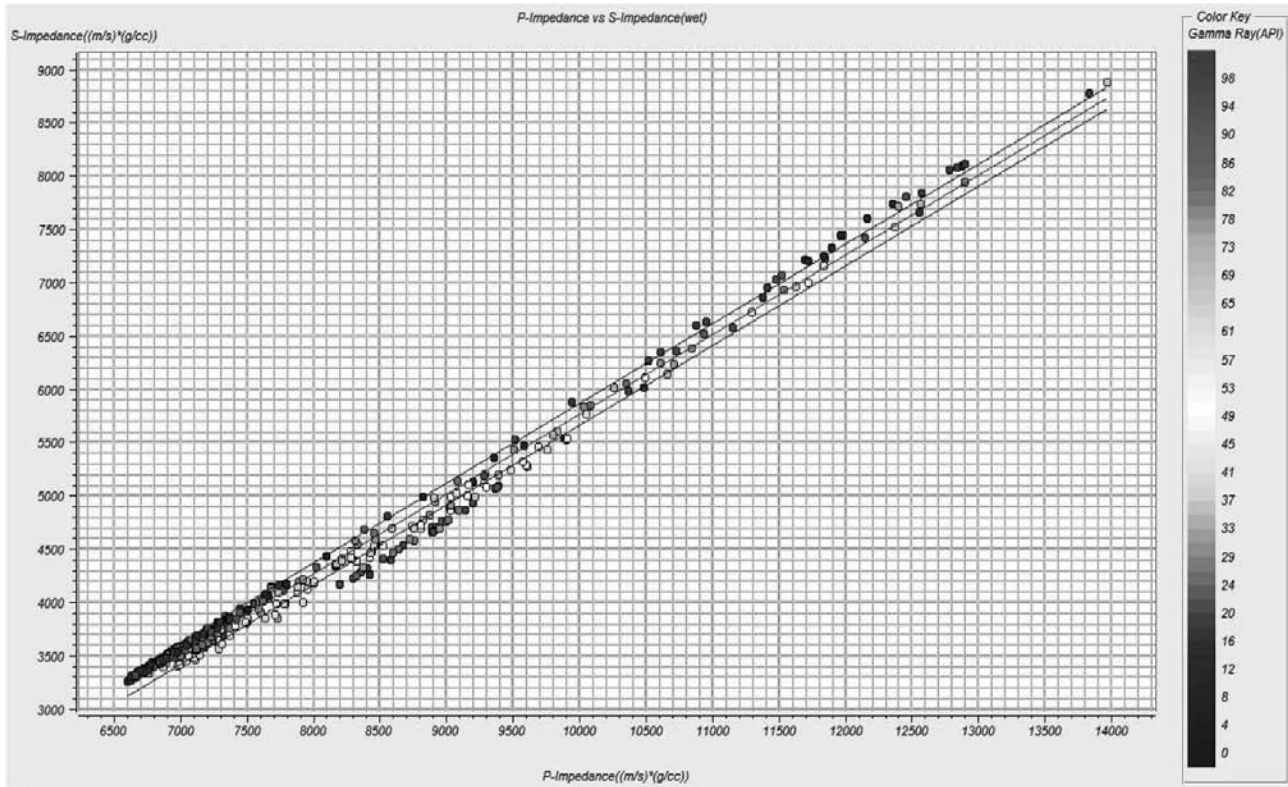
شکل ۸- تطابق خوب بین مقادیر محاسبه شده (منحنی آبی رنگ) و مقادیر پیش بینی شده (منحنی سیاه رنگ) امپدانس موج تراکمی بخش ماسه سنگی مخزن آسماری در میدان منصوری.

در صورت دسترسی به اطلاعات موج تراکمی و برشی در داده‌های چاه، می‌توان پارامترهایی نظیر امپدانس موج تراکمی (AI)، امپدانس موج برشی (SI) و چگالی را بدست آورد. یواکنبوش نشان داد که با چرخش محورهای AI و SI به اندازه یک زاویه بهینه، می‌توان تفکیک بهتری برای سنگ شناسی و نحوه توزیع سیال ارائه داد. این مسئله در شکل ۹ به صورت شماتیک نشان داده شده است. ارتباط بین AI و SI و زاویه بهینه منجر به محاسبه پارامتر

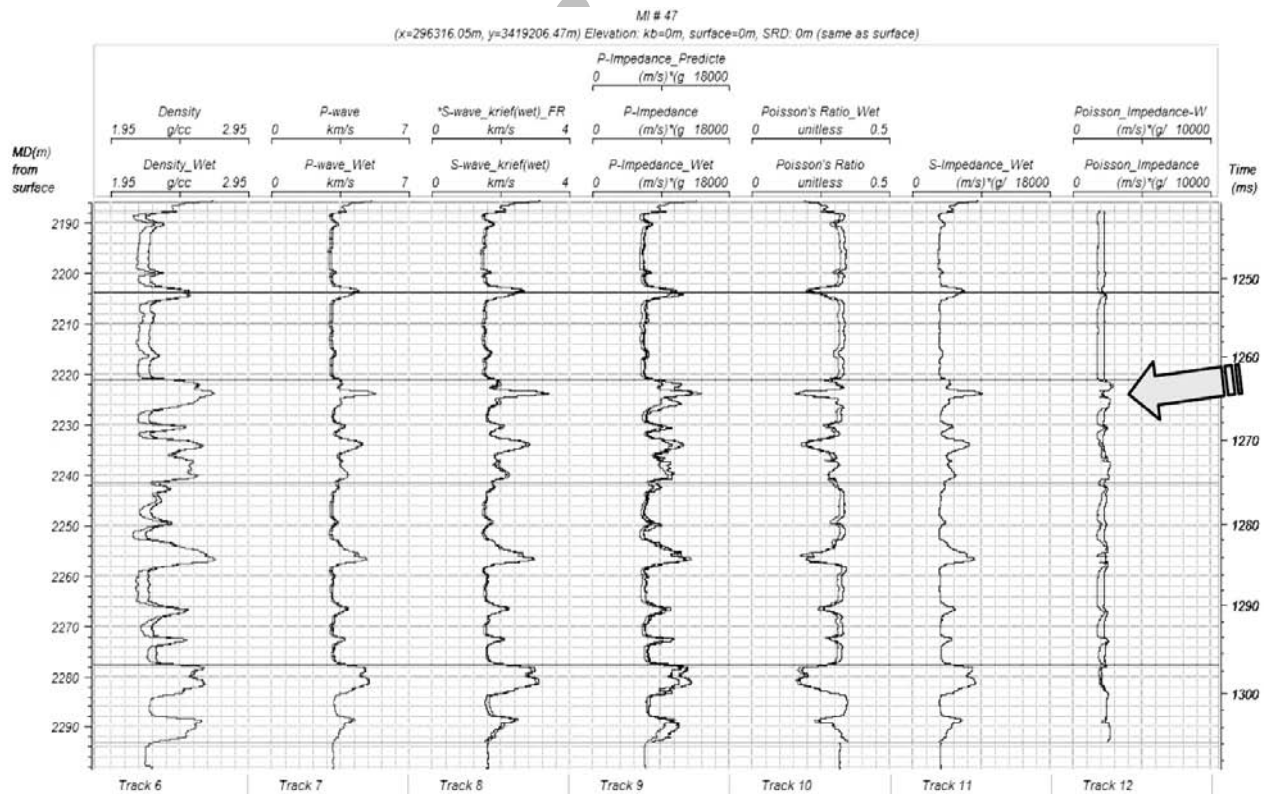
پیشرفت‌های اخیر صورت گرفته در ابزارهای مورد استفاده جهت برداشت داده‌های چاه پیمایی، دسترسی به اطلاعات مربوط به سرعت موج برشی را امکان پذیر نموده است. استفاده از اختلاف در ماهیت رفتار موج تراکمی و موج برشی در سنگ شناسی و سیالات مختلف، دقت در تفکیک سنگ شناسی و همچنین بررسی نحوه توزیع سیال را افزایش می‌دهد (Avseth et al., 2005). یواکنبوش یک پارامتر الاستیک با نام امپدانس پواسون را معرفی نموده است (Quakenbush et al., 2006).



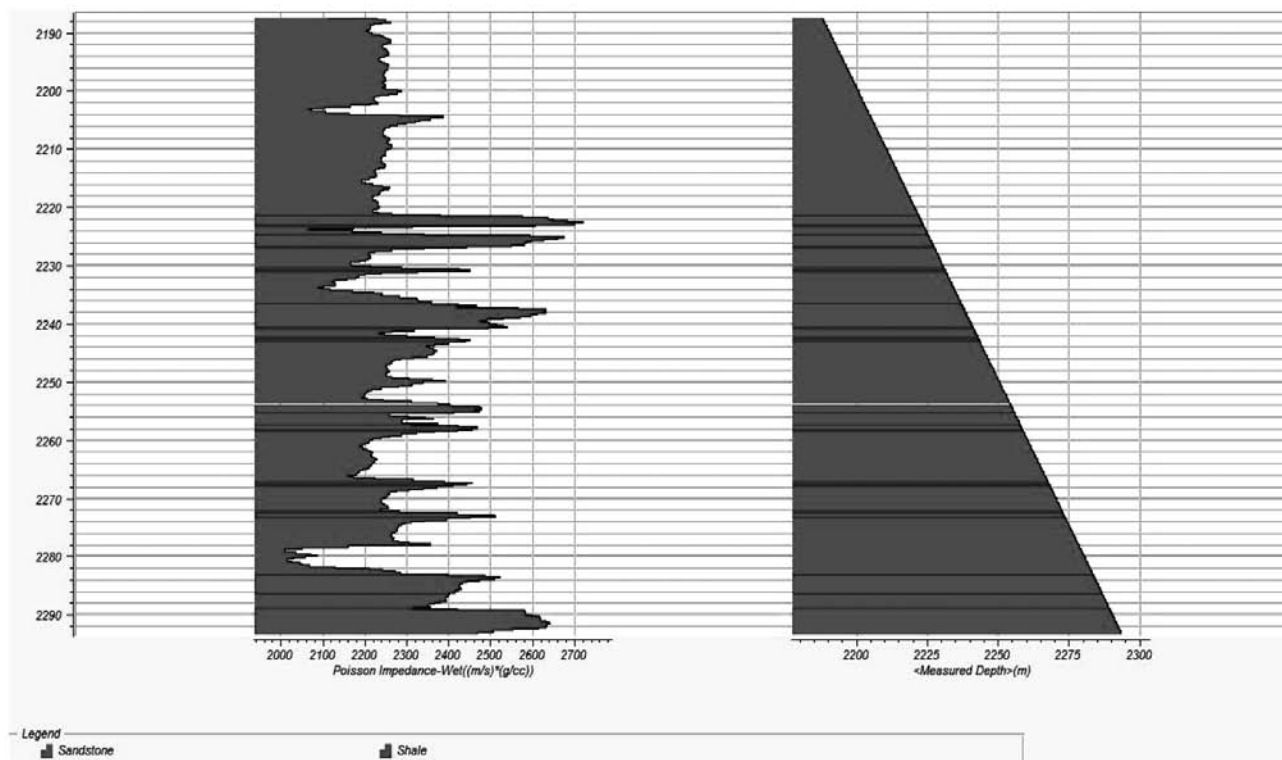
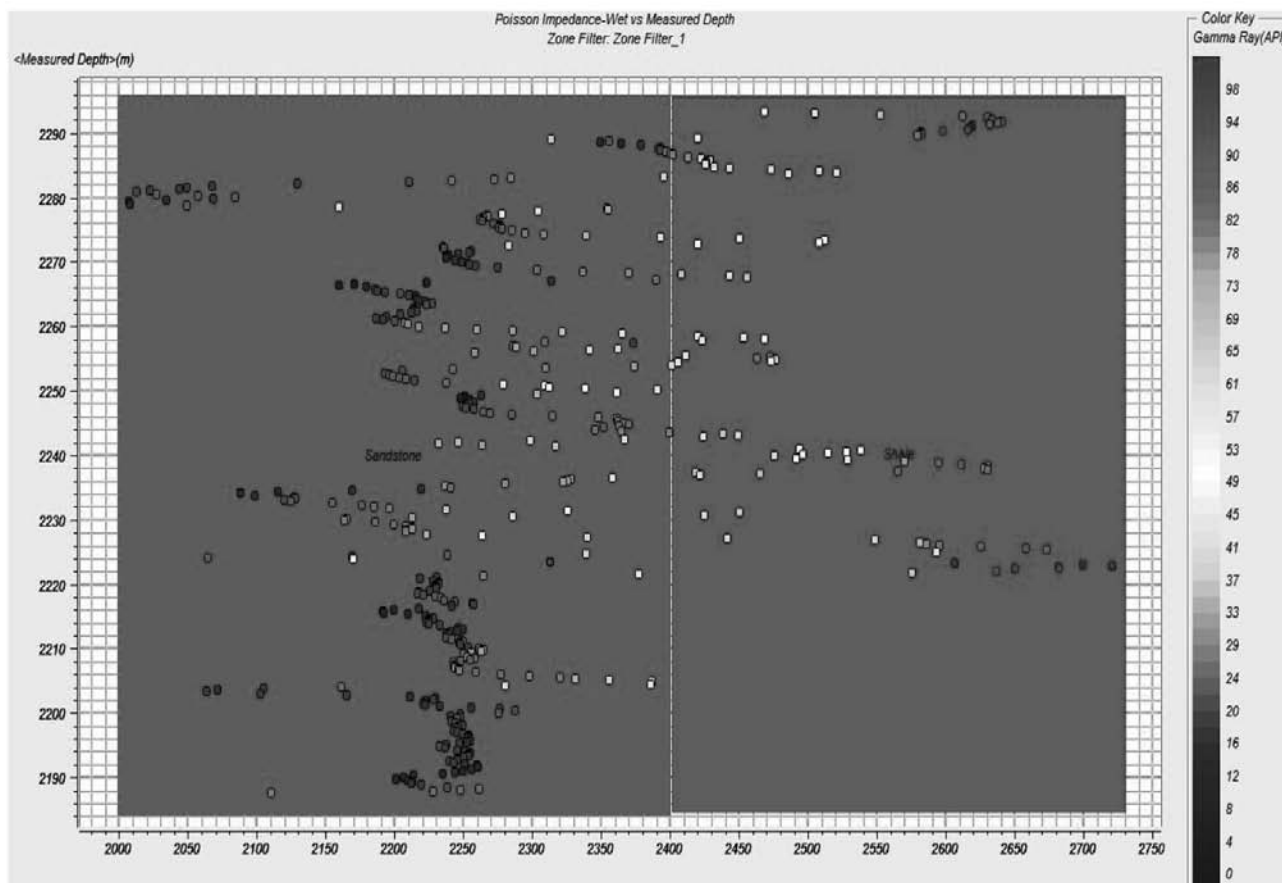
شکل ۹- چرخش محورهای Z_p و Z_s به اندازه زاویه بهینه به منظور تفکیک بهتر بین سنگ شناسی و نحوه توزیع سیال (Quakenbush et al., 2006).



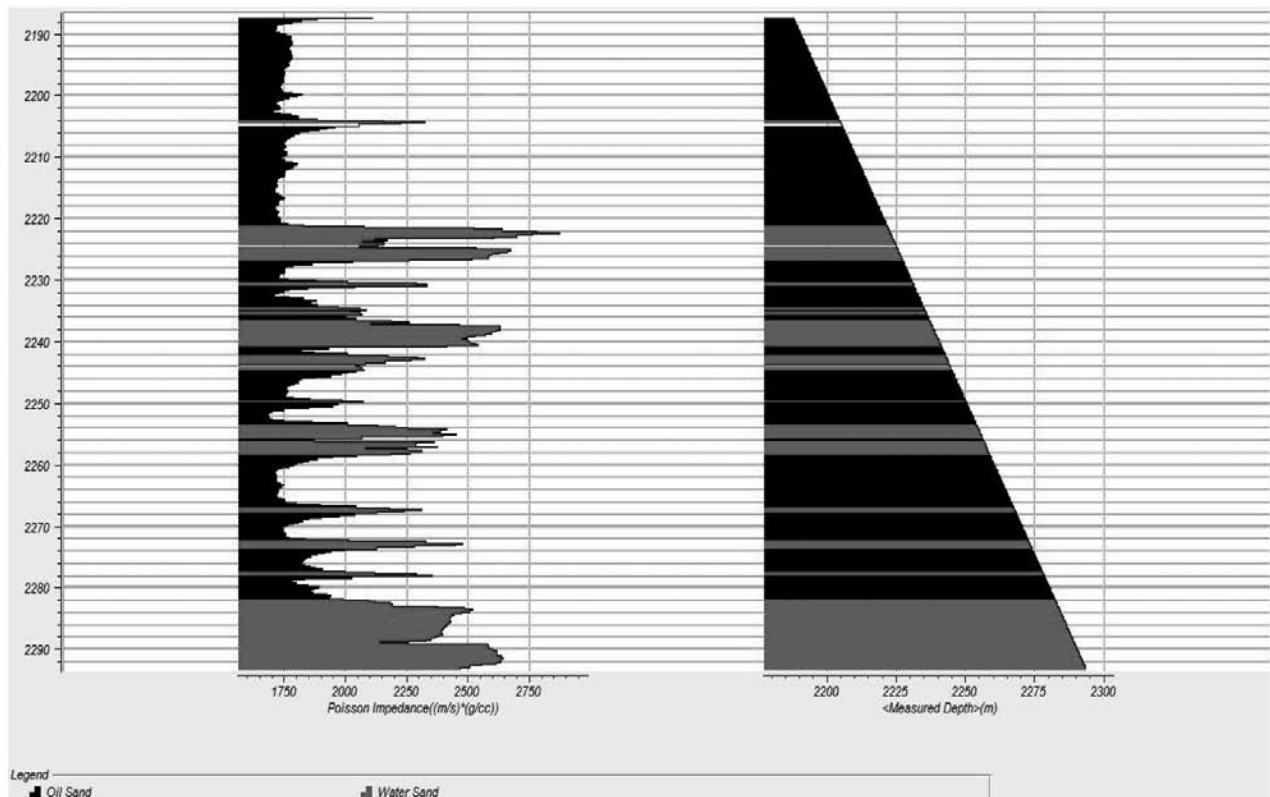
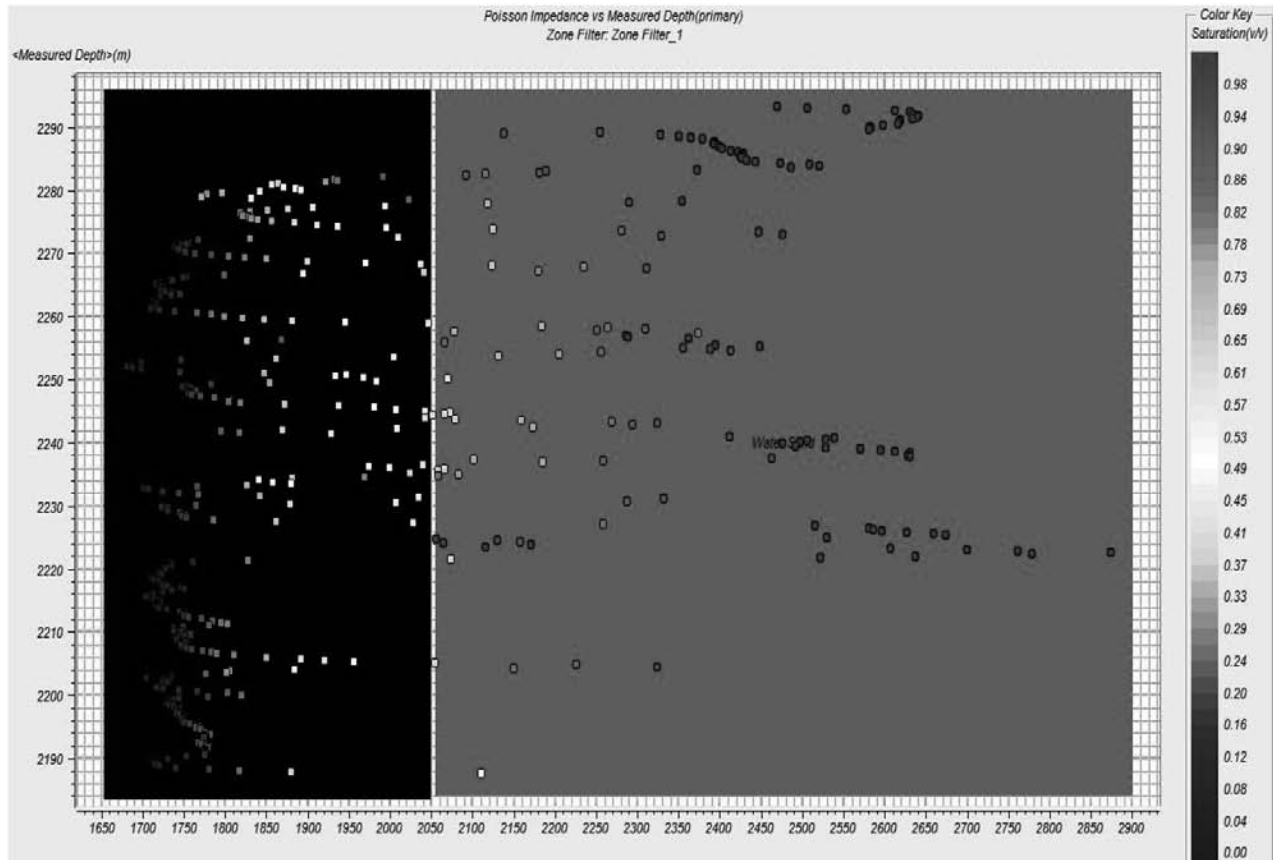
شکل ۱۰- مقادیر SI و AI در شرایط ۱۰٪ اشباع آب. شیب خط برازش شده بر داده ها برابر ۰/۷۴۸۷۰۹ است.



شکل ۱۱- مقادیر محاسبه شده برای امپدانس پواسون در شرایط اشباع از سیال متعارف (منحنی خاکستری رنگ) و شریط برجا (منحنی مشکی رنگ).



شکل ۱۲- تفکیک سنگ شناسی با استفاده از تغییرات امپدانس پواسون برای بخش ماسه سنگی مخزن آسماری. رنگ مشکی مربوط به شیل و رنگ خاکستری مربوط به ماسه سنگ است.



شکل ۱۳- تفکیک نحوه توزیع سیال با استفاده از تغییرات امپدانس پواسون برای بخش ماسه سنگی مخزن آسماری. رنگ خاکستری مربوط به بخش آبدار و رنگ مشکی مربوط به بخش هیدروکربوردار است.

جدید امپدانس پواسون می شود. این رابطه عبارتست از:

$$AI - cSI = PI \quad (6)$$

در رابطه ۶، AI امپدانس موج تراکمی، SI امپدانس موج برشی و PI امپدانس پواسون هستند. پارامتر C میزان چرخش محورها را بهینه می کند.

مقدار C را می توان در اغلب موارد برابر ۱/۴۱ در نظر گرفت، اما برای محاسبه دقیق تر این پارامتر بایستی مقادیر AI و SI در شرایط اشباع ۱۰۰٪ با آب محاسبه و مقدار عکس شیب خط برازش شده بر داده ها محاسبه گردد. شکل ۱۰ مقادیر AI و SI در شرایط اشباع آب ۱۰۰٪ برای بخش ماسه سنگی مخزن آسماری را نشان می دهد. شیب خط برازش شده بر داده ها برابر ۰/۷۴۸۷۰۹ بوده، لذا مقدار C برای داده های مورد بررسی برابر ۱/۳۳۶ است.

حال با توجه به رابطه ۶ می توان مقادیر امپدانس پواسون را برای بخش ماسه سنگی مخزن آسماری محاسبه نمود (شکل ۱۱).

بررسی تغییرات امپدانس پواسون با افزایش عمق برای شرایط اشباع از سیال متعارف (در این شرایط اثر سیالات مختلف حذف می شود) در بخش ماسه سنگی مخزن آسماری نشان می دهد که مقادیر امپدانس پواسون در شیل بیشتر از مقادیر امپدانس پواسون در ماسه سنگها است. لذا می توان به راحتی داده های مربوط به شیل را از ماسه تفکیک نمود (شکل ۱۲).

همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، کیفیت مخزنی زون ۲ به دلیل محتوای رس کمتر، بهتر از زون ۳ می باشد. این مسئله توسط آنالیز پتروفیزیکی نیز تایید شده است (EDCO Kish International Company Report, 2006) همچنین با بررسی تغییرات امپدانس پواسون با افزایش عمق برای شرایط برجدار بخش ماسه سنگی مخزن آسماری، می توان بخش های آبدار را از بخش های هیدروکربوردار مخزن تفکیک نمود (شکل ۱۳). وجود بخش های آبدار کمتر در زون ۲ نیز دلیل دیگری بر بالاتر بودن کیفیت مخزنی این زون نسبت به زون ۳ می باشد.

نتیجه گیری

با توجه به مطالعه فیزیک سنگ صورت گرفته در بخش ماسه سنگی مخزن آسماری میدان منصوری، مدل کریف به عنوان مناسب ترین مدل جهت پیش بینی سرعت موج برشی از سرعت موج تراکمی انتخاب گردیده است.

همچنین با توجه به حساسیت پارامتر الاستیک امپدانس موج تراکمی به تغییرات تخلخل، نحوه ارتباط این دو پارامتر بررسی شده و مدل فیزیک سنگ نیور-ورکین به عنوان مناسب ترین مدل جهت محاسبه تخلخل کل از امپدانس موج تراکمی انتخاب شده است.

در نهایت به بررسی امکان سنجی استفاده از پارامتر الاستیک امپدانس پواسون در تفکیک سنگ شناسی و نحوه توزیع سیال پرداخته شد. بررسی ها نشان داده است که این پارامتر، تفکیک قابل قبولی را برای این دو خصوصیت مخزنی ارائه می نماید.

منابع

- سردار، هادی، سرشت نمایی مخزن آسماری در یکی از میداین جنوب غرب ایران با استفاده از مدل سازی فیزیک سنگ و نشانگر لرزه ای. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، مهر ۱۳۸۷.

- Avseth, P., Mukerji, T., and Mavko, G., 2005, Quantitative Seismic Interpretation, Cambridge university press, P.359.

- Castagna, J.P., Batzle, M.L., and Wood, R.L., 1985, Relationship between compressional wave and shear wave velocities in clastic silicate rock, Geophysics, Vol.50, PP 575-581.

- EDCO Kish International Company, 2006, Geological Studies Report for Mansuri Oil Field development in Asmari Formation.

- Han, D., and Batzle, M., 2004, Gassmann equation and fluid saturation effects on seismic velocity, Geophysics, Vol. 69, no.2.

- Mahbaz, B., 2008, Determination of rock physics model for Fahliyan formation in two oil wells of south west of Iran, Cartagna oil and gas international conference.

- Mavko, G., Mukerji, T., and Dvorkin, J., 1998, The Rock Physics Handbook, Cambridge University Press, ISBN 0521- 62068- 6.

- Quakenbush, M., Shang B., and Tottle, C., 2006, Poisson Impedance. The Leading Edge, Vol. 25, P.128-138.