

تعیین خواص مخزنی با استفاده از ضرایب لامه‌ی محاسبه شده از نمودار صوتی دوقطبی برشی در یکی از چاه‌های مخزن گازی پارس جنوبی

ساقی جلینی^۱، دانشگاه گرمسار ■ عبدالرحیم جواهریان^۱، مؤسسه‌ی ژئوفیزیک

چکیده

نیاز روز افزون به منابع انرژی و نیز ریسک زیاد سرمایه‌گذاری پروژه‌های نفت و گاز در زمینه‌ی اکتشاف، نیاز به ابداع روش‌های دقیق جهت یافتن مکان‌های مستعد تولید را افزایش داده است. یکی از این روش‌ها که از دیرباز به کار می‌رفته استفاده از خواص فیزیکی محیط به ویژه مطالعه‌ی ضرایب لامه^۲ است که از جمله ضرایب کشسان محیط است و به دلیل تشخیص خواص سنگ‌شناختی و نیز سیالات محیط اهمیت زیادی دارد. از جمله روش‌های تخمین این ضرایب می‌توان به نمودارهای صوتی دوقطبی برشی^۳ اشاره کرد. کندی حاصل از این نمودارها در کنار داده‌های نگار چگالی می‌تواند اطلاعات قابل توجهی را جهت تخمین ضرایب لامه‌ی استفاده شده و همچنین مخزن در اختیار بگذارد. در این مقاله سعی شده این روش برای تخمین ضرایب لامه و نیز مقایسه‌ی اطلاعات سنگ‌شناختی و سیال حاصل از آنها با شرایط واقعی و در نتیجه صحت‌سنجی این اطلاعات در یکی از چاه‌های مخزن پارس جنوبی به کار رود. نتایج مطالعه تا حد بسیاری با واقعیات مخزن و نیز مدل‌های پتروفیزیکی موجود (حاصل از ارزیابی نمودارهای آن) مطابقت دارد و بنابراین می‌توان استفاده از این ضرایب به عنوان نشان‌گرهای سنگ و سیال مخزن در فهرست روش‌های مناسب برای توصیف ویژگی‌های مخزن قرار داد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۲/۱۵

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۵/۲۶

واژگان کلیدی:

ضرایب کشسان، ضرایب لامه، نمودار صوتی دوقطبی برشی، سنگ شناختی، تشخیص سیال

مقدمه

ضرایب لامه از جمله خواص کشسانی هستند که برای اولین بار توسط گابریل لامه‌ی فرانسوی مطرح شدند. استفاده از این ضرایب جهت تشخیص سنگ‌شناختی و سیالات مخزن اولین بار توسط گودوی و همکاران [۱] مطرح شد. آنها ضریب اول لامه (λ) را به عنوان تراکم‌ناپذیری خالص ماده و متفاوت از ضریب بالک تعریف کردند و گفتند این ضریب تنها ضریب مرتبط با رابطه‌ی هیدرواستاتیک تنش و کرنش و انتشار موج صوتی در غیاب ضریب برشی (نماینده‌ی سختی سنگ، μ) است. روش‌های مختلفی برای تخمین این ضرایب ارائه شده که از آن جمله می‌توان به استخراج ضرایب لامه از وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای با استفاده از روش AVO^۴ (با استفاده از معادله‌ی فاتی و همکاران [۲] برای محیط همگن و همسانگرد یا معادله‌ی گلال‌زاده و همکاران [۳] برای محیط همسانگرد عرضی با محور تقارن قائم)، استفاده از داده‌های سرعت حاصل از توموگرافی بین چاهی مانند مطالعه‌ی ونگ و استوارت [۴] یا لرزه‌نگاری دورن چاهی اشاره کرد که تاکنون در بسیاری پروژه‌ها مانند پروژه‌های شرکت حفاری دریایی ODP استفاده شده است. یکی از روش‌های نسبتاً جدید تخمین ضرایب لامه استفاده از نمودارهای صوتی است. نخستین موارد استفاده از این نمودارها برای محاسبه‌ی خواص فیزیکی سنگ به سال‌های ۱۹۶۰ بازمی‌گردد. اکنون نیز در بسیاری موارد از نمودارهای کندی و چگالی جهت محاسبه‌ی ضرایب لامه و تخمین خواص مخزنی با استفاده از نمودارهای حاصل از مطالعات افراد مختلف استفاده می‌شود. از جمله‌ی این نمودارها می‌توان به نمودار تشخیص سنگ‌شناختی گودوی و همکاران [۵]، نمودارهای λp و Kp کاتاهارا [۶] و نمودارهای تکمیلی پرز و تان [۷] در تشخیص سیالات و سنگ مخازن اشاره کرد. با این وجود تخمین این ضرایب و نیز خواص مخزنی، با استفاده از نمودار صوتی

همچنان در حد یک نوآوری به‌شمار می‌آید و کمتر به‌تنهایی و بدون همراهی داده‌های لرزه‌ای استفاده شده است. اما از آنجا که نگارهای مختلف چاه همواره اطلاعات مفیدی را از محدوده‌ی مخزن در اختیار قرار می‌دهند انتظار می‌رود بتوان نتایج دقیق و نزدیک به واقعیتی در مورد این ضرایب از آنها به‌دست آورد.

در اینجا سعی شده از تخمین ضرایب لامه با استفاده از نگارهای دوقطبی برشی برای تشخیص خواص مخزنی استفاده شود؛ چراکه با توجه به تمرکز بیشتر مخازن کربناته در ناحیه‌ی آسیای میانه و جنوب‌غرب (به‌ویژه ایران)، مطالعه‌ی تغییرات ضرایب لامه در چنین مخازنی ضروری به‌نظر می‌رسد.

۱- انتشار امواج در محیط همگن و همسانگرد و تعیین ضرایب لامه

محیط همگن و همسانگرد ساده‌ترین دسته از محیط‌های کشسان هستند و به‌عنوان پایه‌ای برای استخراج مدل‌ها و روش‌های محاسباتی مختلف در تخمین ویژگی‌های محیط استفاده می‌شوند. برای توصیف حرکت امواج در چنین محیطی می‌توان از معادله‌ی ۱- بهره برد:

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \epsilon_{kl} \quad (1)$$

که σ_{ij} تنش وارد بر جسم در جهات i و j (همان محورهای X و Y و Z)، c ضریبی برای ایجاد ارتباط بین تنش و کرنش و ϵ کرنش وارده بر جسم است. با توجه به این نکته که محیط‌های همگن و همسانگرد نسبت به دو محور متعامد متقارن هستند مقدار ضریب c_{ijkl} در آنها تنها به دو کمیت λ و μ (ضرایب لامه) وابسته خواهد بود. بدین ترتیب در نهایت و با تفکیک نتایج، معادله‌ی توزیع تنش برای تنش‌های نرمال و برشی به‌ترتیب منجر به روابط ۲ و ۳ خواهد شد.

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (s.jalini90@gmail.com)

دو بخش غیرمتأثر و متأثر از ریزش تقسیم گردید. این نواحی که به ترتیب K2 و K3 نام‌گذاری شده‌اند اعماق ۲۹۱۲ تا ۲۹۶۰ و ۲۹۶۰ تا ۳۰۷۷ متری دارند. بنابراین بر اساس مدل‌سازی که نمونه‌ای از آن در بخش K3 در شکل ۱- ارائه شده چاه به‌طور کلی از کانی‌های کربناته‌ی کلسیت و دولومیت، ایلیت و رگه‌هایی از انیدریت ساخته شده و در بخش مخزنی حاوی مقادیر قابل توجهی گاز است.

در مرحله‌ی دوم، برای محاسبه‌ی ضرایب لایه از نمودارهای کندی امواج تراکمی و برشی و نمودار چگالی استفاده شد. برای این کار از دو فرض استفاده شده؛ فرض اول محیط را همگن و همسانگرد در نظر می‌گیرد که در درجه اول چندان دقیق به‌نظر نمی‌رسد اما به‌عنوان تخمینی سریع و ساده می‌تواند اطلاعات اولیه‌ی مفیدی در اختیار بگذارد. البته به‌دلیل مشکل بودن اندازه‌گیری خواص دینامیک سنگ‌ها استفاده از این فرض در صنعت نفت به نسبت رایج است. فرض دوم نیز استفاده از رابطه‌ی ۶- جهت شبیه‌سازی نمودار چگالی برای ناحیه‌ی K3 است که در دو حالت وجود گاز و آب خالص در محیط خطایی حدود ۲ درصد را نشان می‌دهد. البته این خطا که طی عملیات ریاضی واقع شده جهت محاسبه‌ی ضرایب لایه تا حد بسیار کمی افزایش می‌یابد که با توجه به در دسترس نبودن منابع اطلاعاتی دیگر روشی

$$\sigma_{ij} = \lambda \varepsilon_{kk} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

$$\sigma_{ij} = \mu \varepsilon_{ij} \quad i \neq j \quad (3)$$

طبق این روابط ضرایب کشسان (λ و μ) در چنین محیطی به دو متغیر تامسن^۵ (σ و ε) بستگی دارند. بر اساس روابط ۴ و ۵ این ضرایب به سرعت‌های امواج تراکمی (V_p) و برشی (V_s) و نیز چگالی محیط وابسته‌اند:

$$V_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho} \quad (4)$$

$$V_s = \sqrt{\mu / \lambda} \quad (5)$$

ضرایب لایه به روش‌های مختلفی قابل محاسبه هستند که به‌طور کلی می‌توان آنها را در سه دسته روش‌های مرتبط با وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای سطحی، روش‌های مرتبط با لرزه‌نگاری درون‌چاهی و استفاده از نگارهای صوتی جای داد. البته استفاده از زمین‌آمار در تعمیم داده‌های یک منطقه به نقطه‌ای خاص از آن نیز روشی رایج محسوب می‌شود. نمودارهای صوتی دوقطبی برشی که برای نخستین بار در ۱۹۹۱ توسط شرکت شلمبرژه^۶ و عرضه شدند دسته‌ای از نگارهای صوتی هستند که امکان انتشار امواج در دو جهت عمود بر هم را فراهم می‌کنند. این ابزار از دو فرستنده‌ی دوقطبی عمود بر هم و هشت گیرنده در آرایش خطی تشکیل شده که امکان تولید و اندازه‌گیری سرعت حرکت امواج تراکمی و برشی در سازندهای نرم و سخت را فراهم می‌کند. از این نگارها در ارزیابی شکاف‌ها، تخمین تخلخل و نیز تفسیر لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی حاصل از روش‌های لرزه‌نگاری درون‌چاهی یا تغییر دامنه با دورافت استفاده می‌شود. همچنین با توجه به کاهش سرعت حرکت امواج در محیط‌های حاوی گاز می‌توان از این نمودارها جهت شناسایی گاز در محیط نیز بهره برد. به‌علاوه از آنجا که سرعت حرکت امواج در محیط به خواص کشسان آن و از جمله ضرایب لایه وابسته است می‌توان از این نمودارها جهت تخمین این ضرایب نیز استفاده کرد.

۲- بررسی داده‌ها، آماده‌سازی و محاسبه‌ی ضرایب لایه

جهت به‌دست آوردن ضرایب لایه و استفاده از آن در پیش‌بینی خواص مخزنی می‌توان از رابطه‌ی آن با سرعت و چگالی استفاده کرد. در این مورد نیز برای دستیابی به مقادیر سرعت مورد نیاز و تخمین ضرایب لایه از نمودار صوتی دوقطبی برشی رانده‌شده در یکی از چاه‌های مخزن گازی پارس جنوبی استفاده شد و سپس از نتایج حاصل برای تعیین خواص مخزنی بهره گرفته شد. برای این منظور ابتدا با اطلاعات حاصل از نگارهای مختلف و توسط نرم‌افزار تفسیری ژئولاگ (Geolog) مدل اولیه‌ای از مخزن ساخته شد و سنگ‌شناختی مخزن و سیالات آن در نواحی مختلف تعیین گردید تا مرجعی واقعی برای اطمینان از صحت محاسبات بعدی به‌دست آید. برای تهیه‌ی این مدل، چاه به سه ناحیه‌ی اصلی شیل آگار با کانی عمدتاً ایلیت (ناحیه‌ی K1)، ناحیه‌ی مخزنی (K2,3) و ناحیه‌ی حاوی آب (K4) تقسیم و هر بخش به‌طور جداگانه و با عملیات multimin مدل‌سازی شد. البته به‌دلیل ریزش شدید در بخشی از ناحیه‌ی مخزنی و تأثیرپذیری زیاد نمودارهای چگالی و مقاومت ناحیه‌ی کم‌عمق از این ریزش، این بخش به



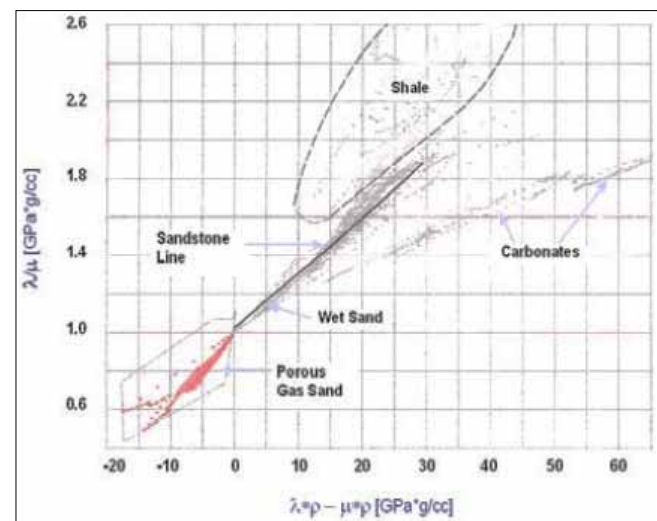
۱ | نمودارهای حاصل از روش multimin برای بخش k3. در این تصویر لایه‌هایی از کلسیت، دولومیت و انیدریت و نیز نمودارهای حاصل از مدل‌سازی جهت تخمین نوع و حجم سیال محیط ارائه شده است

مناسب محسوب می‌شود.

$$\rho_b = \rho_{mf} S_{XO} \phi + \rho_{hc} (1 - S_{XO}) \phi + \rho_m (1 - \phi) \quad (6)$$

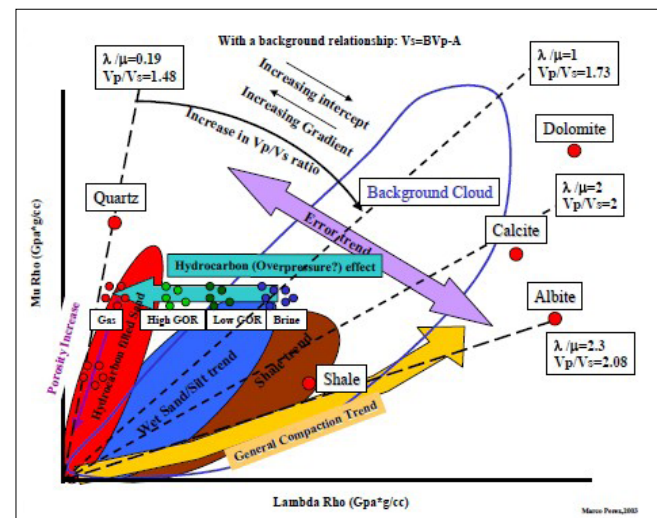
۳- به کارگیری ضرایب لامه جهت تعیین خواص مخزنی

در شیوه‌ی نموداری، از ضرایب لامه‌ی حاصل برای تشخیص نوع سنگ و سیال محیط استفاده می‌گردد. نتایج مطالعات تکمیلی پرز و تان [۷] که در قالب شکل‌های ۲ و ۳ نمایش داده می‌شود اغلب به‌عنوان نمودارهای مرجع در تشخیص سنگ‌شناختی و سیال مخزن به کار می‌روند. البته اشکال مذکور برای نمونه‌های خالص و بدون تخلخل به‌دست آمده‌اند و وجود تخلخل و



شکل ۲

تشخیص سیال و سنگ‌شناختی در سنگ‌ها با استفاده از نمودار $\lambda\mu - \rho\mu$ بر حسب λ/μ . خط رسم شده با معادله‌ی $1/\mu$ خط مرجع ماسه‌سنگ نام دارد و نوع سنگ‌های مختلف با ضرایب لامه‌ی متفاوت با استناد به آن مشخص می‌گردد. همچنین حضور سیال در محیط سبب کاهش مقدار λ می‌شود و نمودار یک نقطه تجمع خواهد داشت که این حضور را آشکار می‌کند [۷].



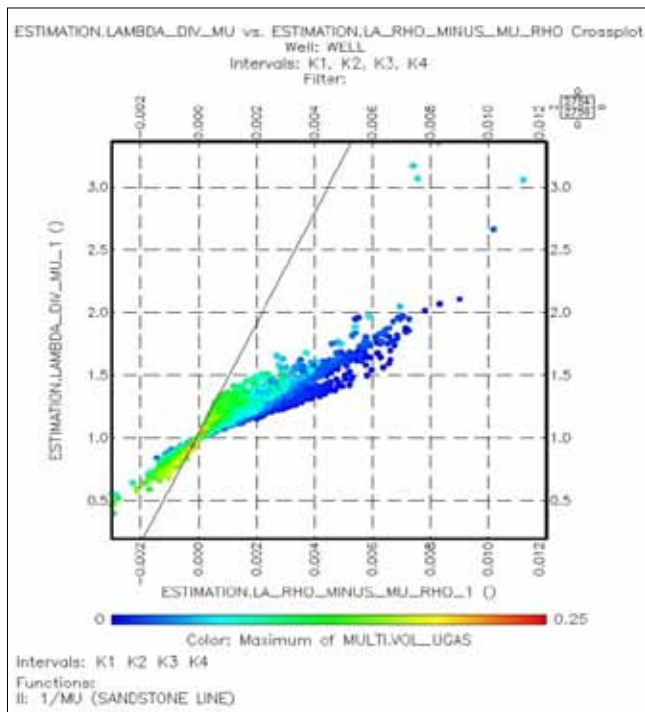
شکل ۳

تقسیم‌بندی سنگ‌ها بر اساس ضرایب لامه‌ی وزن‌دهی‌شده [۷]

سیال در محیط سبب تغییر مکان قرارگیری نقاط خواهد شد.

برای این منظور ابتدا با توجه به محل قرارگیری داده‌ها نسبت به خط مرجع ماسه‌سنگ (sand line) با معادله‌ی $1/\mu$ در شکل-۲، نوع سنگ تشخیص داده می‌شود. در این شکل داده‌ها برای نمونه‌ی متخلخل حاوی سیال (به دلیل کاهش تراکم‌ناپذیری) به سمت مبدأ نمودار جابه‌جا می‌شوند. بر این اساس و با توجه به مقادیر لامه‌ی حاصل از مرحله‌ی قبل، داده‌های مطالعاتی که در سمت راست خط مرجع قرار می‌گیرند نمایانگر وجود سنگ‌های کربناته در محیط هستند که با مدل واقعی نیز سازگاری دارد (شکل-۴). در ضمن کشیدگی زیاد نمودار به سمت مبدأ و مقادیر بسیار کم ضریب اول لامه در این ناحیه می‌تواند نشانه‌ای از حضور گاز باشد.

سپس با استفاده از شکل-۳ (نمودار LMR) نوع سنگ‌های محیط دقیق‌تر تشخیص داده می‌شود. برای این کار از رسم خطوط λ/μ و تعیین مکان قرارگیری داده‌ها نسبت به آنها استفاده می‌شود. البته باید توجه کرد که در این مورد نیز وجود تخلخل (و کاهش سختی)، نمودار را به سمت پایین و وجود سیال (کاهش تراکم‌ناپذیری)، آنها به سمت چپ جابه‌جا می‌کنند و سنگ‌ها هم کاملاً خالص نیستند. در شکل-۵ نمودار مذکور برای داده‌های حاصل از مطالعه‌ی این چاه رسم شده‌اند. در این شکل نسبت‌های λ/μ بین 0.36 تا 3.36 (خطوط اول و آخر در نمودار) تغییر می‌کنند. این بازه در نمودار ارائه شده توسط پرز و تان به ناحیه‌ی کلسیت، دولومیت و شیل اختصاص داده شده که با مدل حاصل از مخزن در لایه‌های مختلف

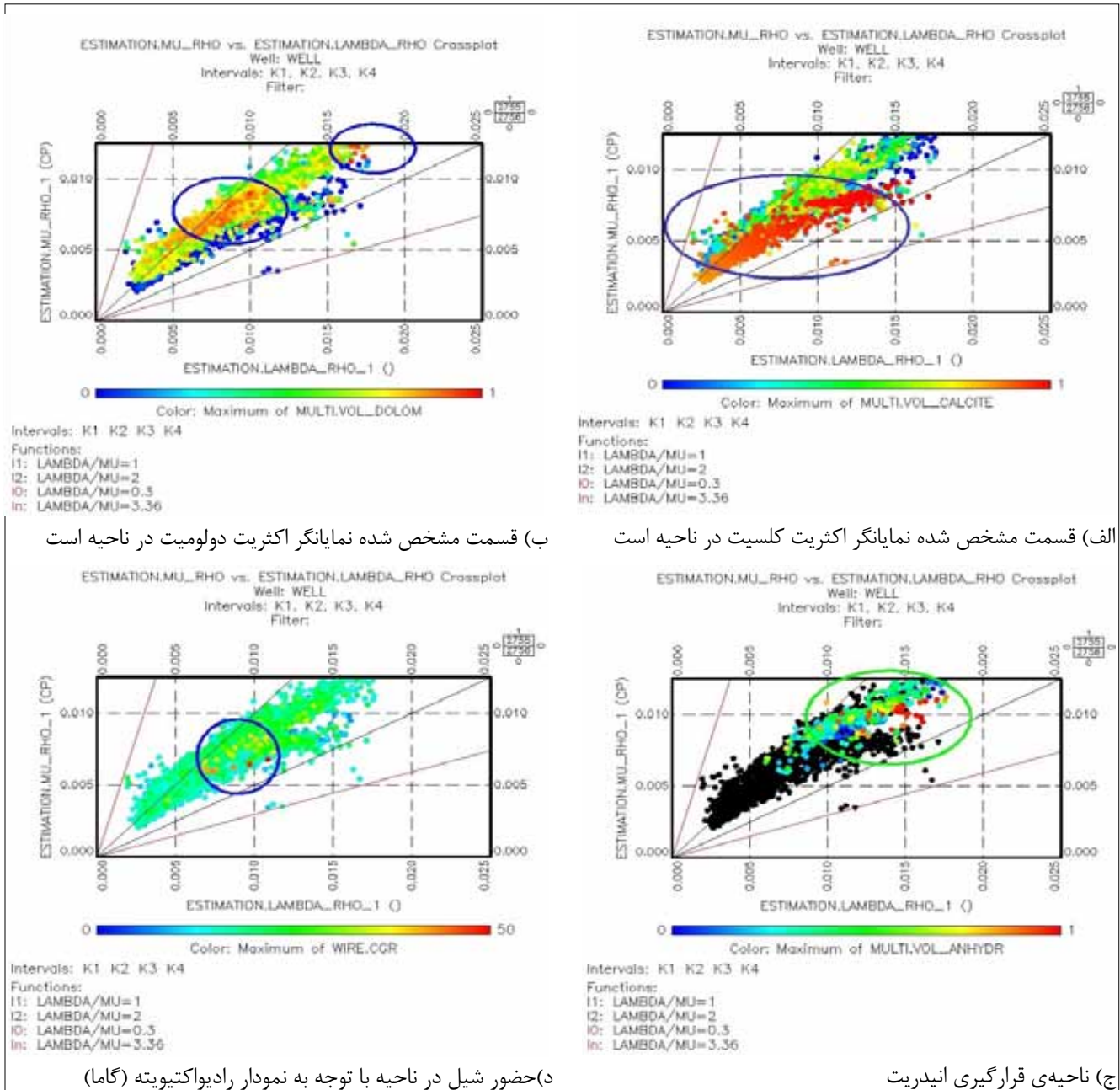


شکل ۴

تشخیص سنگ کربناته با استفاده از تغییرات نمودار λ/μ بر حسب $\lambda\mu - \rho\mu$ در تمام بخش‌های چاه گازی مخزن پارس جنوبی. در این نمودار خط رسم شده، خط ماسه‌سنگ و معادله‌ی آن $1/\mu$ است. این خط مرجعی برای تشخیص نوع سنگ و نیز حضور سیال محسوب می‌شود.

برابر ۰/۹ تا ۱/۱ به عنوان دولومیت (در نمودار اصلی و بدون در نظر گرفتن سیال و تخلخل نزدیک به $\lambda/\mu = 1/9$ در نظر گرفته می‌شوند. همچنین بخشی از داده‌های حاصل از مدل‌سازی، وجود دولومیت را در قسمت بالایی نمودار و دور از داده‌های دیگر تأیید می‌کنند که با توجه به تخلخل کم دولومیت‌های این ناحیه قابل توجه است. به علاوه مقادیری که در بالاترین نقطه‌ی نمودار قرار می‌گیرند می‌توانند به عنوان انیدریت

نیز سازگاری دارد. خطوط وسط نیز از چپ به راست مقادیر λ/μ برابر ۱ و ۲ را نشان می‌دهند. همان‌طور که به ترتیب در شکل‌های ۵-الف و ۵-ب دیده می‌شود بخشی از مقادیری که در منتهی‌الیه سمت چپ و در محدوده‌ی خطوط λ/μ برابر ۱/۵ تا ۱/۸ قرار گرفته‌اند. به عنوان کلسیت (در نمودار اصلی و بدون در نظر گرفتن سیال و تخلخل نزدیک به $\lambda/\mu = 2/1$ و مقادیر در محدوده‌ی خطوط λ/μ



نمایش محدوده‌ی قرارگیری داده‌های پارس جنوبی بر اساس نوع کانی‌ها در نمودار $\mu\mu$ برحسب $\lambda\mu$ و در تمام بخش‌های چاه گازی در مخزن پارس جنوبی است. خطوط از چپ به راست مربوط به مقادیر λ/μ برابر ۱/۵، ۱، ۲، ۳/۴، ۱ است. نواحی قرمز رنگ که حضور فراوان یک کانی را بر اساس مدل تأیید می‌کنند به دلیل وجود تخلخل و گاز در ناحیه دقیقاً در مکان مربوطه در نمودار مرجع پرز و تان [۷] قرار نمی‌گیرد.



محدوده‌ی قرارگیری تمامی سنگ‌های مدل‌سازی شده‌ی این چاه در نمودار LMR ارائه شده است.

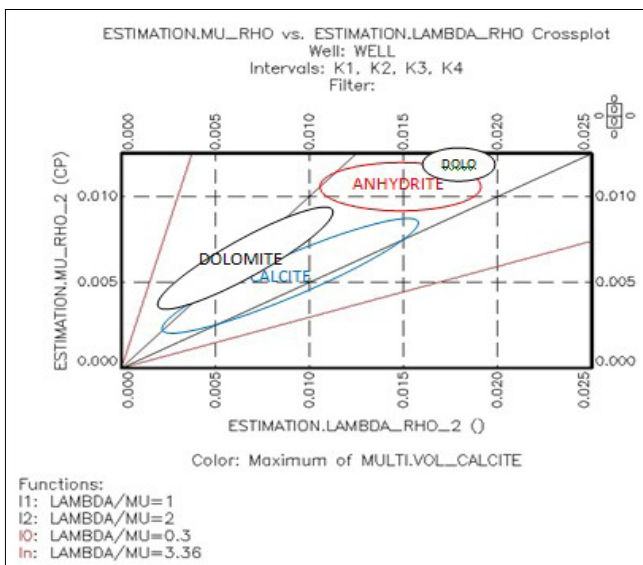
نمودار LMR همچنین در تشخیص نواحی متخلخل و انتخاب نقاط مناسب برای تولید به کار می‌رود. از آنجا که وجود تخلخل به معنای حضور سیال و در نتیجه کاهش سختی و تراکم‌ناپذیری سنگ است، مقادیری از نمودار که در نزدیکی مبدأ قرار می‌گیرند اغلب حاوی تخلخل بیشتری هستند. اعمال نتایج حاصل از نمودار تخلخل نوترون روی نمودار LMR، به صورت محور رنگی نیز این نتایج را به خوبی تأیید می‌کند (شکل ۷). البته حضور آب شور در محیط، رسیدن نمودار به مبدأ را با انحراف روبه‌رو می‌کند و انتهای داده‌ها بسیار کم به سمت راست منحرف می‌شود. رسم این مقادیر بر حسب عمق نیز می‌تواند در تشخیص نواحی متخلخل به کار رود.

رسم مقادیر $\lambda\rho$ بر حسب عمق می‌تواند در تشخیص نسبتاً دقیق اعماق حاوی گاز نیز مفید باشد. بر این اساس اعماق ۹۸۰۰-۱۰۰۰ فوتی به عنوان ناحیه‌ی حاوی گاز در نظر گرفته می‌شود (شکل ۸). البته ناحیه‌ای به ضخامت حدود ۲۰۰ فوت در این بین مقادیر $\lambda\rho$ کمتری را نشان می‌دهد که دلیل آن بازسازی نمودار چگالی در این ناحیه است (بخش K3). اما این مقادیر به اندازه‌ای کم هستند که بتوان آنها را در محدوده‌ی گازی جای داد. این نتایج با مدل‌سازی اولیه نیز مطابقت حداکثری دارد.

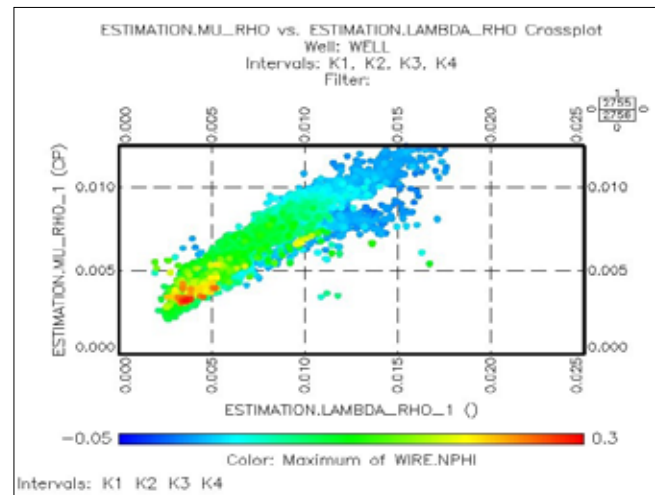
بدین ترتیب از ضرایب لامه‌ی حاصل از نمودارهای چگالی و سرعت، وضعیت سنگ‌شناختی منطقه در قالب وجود سنگ‌های کلسیت، دولومیت، انیدریت و شیل مشخص شد که با داده‌های واقعی موجود و نمودارهای سنگ‌شناختی محاسبه شده توسط نرم‌افزار مطابقت کامل

لحاظ شوند. البته جایگاه انیدریت در شکل‌های مرجع (شکل‌های ۲ و ۳) مشخص نشده؛ اما این سنگ‌ها بیشترین سختی (کم‌ترین تخلخل) و بیشترین تراکم‌ناپذیری (کم‌ترین سیال) را دارند و بنابراین در سمت راست و بالای نمودار واقع می‌شوند. با اعمال نتایج حاصل از مدل‌سازی اولیه به صورت محورهای رنگی، روی نمودارهای حاصل، این تخمین‌های اولیه به درستی تأیید می‌شوند. البته شکل‌های حاصل از محاسبه‌ی ضرایب لامه در تشخیص شیل محیط ناتوان هستند زیرا پراکندگی شیل در محیط این چاه بسیار زیاد است، امکان تشخیص محدوده‌ی دقیقی برای آن وجود نداشته و بنابراین وجود آن تنها با استفاده از مدل‌سازی اولیه آشکار می‌شود (شکل ۵-د). در شکل ۶-نمایش محدوده‌ی قرارگیری تمامی سنگ‌های مدل‌سازی شده‌ی این چاه در نمودار LMR ارائه شده است.

همچنین بخشی از داده‌های حاصل از مدل‌سازی، وجود دولومیت را در قسمت بالایی نمودار و دور از داده‌های دیگر تأیید می‌کنند که با توجه به تخلخل کم دولومیت‌های این ناحیه قابل توجه است. به علاوه مقادیر بالاترین نقطه‌ی نمودار می‌توانند به عنوان انیدریت لحاظ شوند. البته جایگاه انیدریت در شکل‌های مرجع (شکل‌های ۲ و ۳) مشخص نشده اما این سنگ‌ها بیشترین سختی (کم‌ترین تخلخل) و بیشترین تراکم‌ناپذیری (کم‌ترین سیال) را دارند و بنابراین در سمت راست و بالای نمودار واقع می‌شوند. با اعمال نتایج حاصل از مدل‌سازی اولیه به صورت محورهای رنگی، روی نمودارهای حاصل، این تخمین‌های اولیه به درستی تأیید می‌شوند. البته شکل‌های حاصل از محاسبه‌ی ضرایب لامه در تشخیص شیل محیط ناتوان هستند؛ به دلیل آنکه پراکندگی شیل در محیط این چاه بسیار زیاد است، امکان تشخیص محدوده‌ی دقیقی برای آن وجود نداشته و بنابراین وجود آن تنها با استفاده از مدل‌سازی اولیه آشکار می‌شود (شکل ۵-د). شکل ۶



شکل ۷ | نمایش اثر افزایش تخلخل بر نمودار $\mu\rho$ بر حسب $\lambda\rho$ در تمام بخش‌های چاه گازی مخزن پارس جنوبی. حضور تخلخل در ناحیه سبب کاهش مقادیر $\mu\rho$ و نیز $\lambda\rho$ به دلیل وجود سیال شده است.



شکل ۶ | نمایش محدوده قرارگیری داده‌های مربوط به کانی‌های مختلف در نمودار $\mu\rho$ بر حسب $\lambda\rho$ در تمام بخش‌های چاه گازی مخزن پارس جنوبی. خطوط از چپ به راست مربوط به مقادیر $\lambda\rho$ برابر ۰/۳، ۱، ۰/۳ و ۳/۳۶ است. حضور تخلخل و گاز در ناحیه سبب جابه‌جایی نمودار نسبت به مرجع (نمودار پرز و تان [۷]) شده است.

نتیجه‌گیری

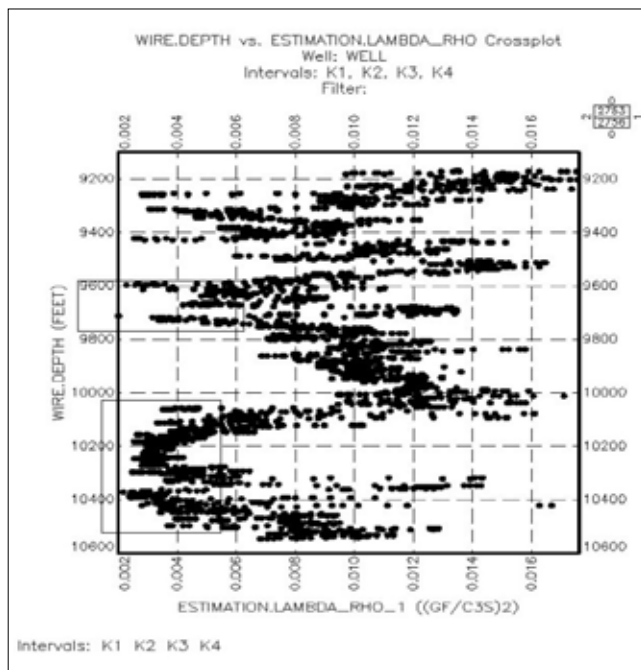
■ ضرایب لامه از جمله خواص کشسان بسیار مفید در تشخیص سنگ و سیال مخزن و در نتیجه دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر قبل از شروع تولید و سرمایه‌گذاری بیشتر محسوب می‌شوند. با این وجود کارایی آنها به صحت داده‌های موجود و کاهش خطای اندازه‌گیری بستگی دارد.

■ مطالعه روی مخزن پارس جنوبی و تحلیل و مقایسه‌ی نمودارهای λ/μ بر حسب $\lambda\rho-\mu\rho$ با نتایج واقعی نشان می‌دهد که ضرایب لامه در تشخیص نوع سنگ مخزن و نیز حضور سیال در محیط کارآمد عمل می‌کنند و بدین ترتیب امکان تشخیص لایه‌های بهره‌ده (با توجه به مقادیر $\rho\lambda$) با استفاده از آنها موجود است.

■ از نمودارهای LMR می‌توان در تشخیص نسبتاً دقیق نوع سنگ‌های ناحیه نیز استفاده کرد. از آنجا که جایگاه انیدریت در نمودارهای LMR مرسوم مشخص نشده، با توجه به نداشتن تخلخل و سیال می‌توان آنرا متعلق به مکانی در بالا و سمت راست نمودار دانست. در این مطالعه از مخزن پارس جنوبی نیز انیدریت (به دلیل عدم خلوص کامل) در چنین مکانی قرار گرفته است. سنگ‌های دولومیت، کلسیت و شیل نیز با توجه به مقادیر $\rho\mu$ آنها به راحتی قابل تشخیص هستند. نقاط متخلخل مخزن نیز جهت انجام عملیات بهره‌برداری یا توسعه‌ی مخزن از روی این نمودار به خوبی مشخص می‌گردد.

■ می‌توان با تکیه بر اطلاعات حاصل از نگارهای چاه و ضرایب لامه‌ی حاصل از آنها نوع سنگ و سیال محیط و همچنین نقاط بهره‌ده را تشخیص داده و از هزینه‌های اضافی حفاری یا توسعه‌ی میداین تا حد زیادی کاست.

دارد. وجود گاز نیز در منطقه مشخص شد که از طریق نمودارهای مقاومت و نیز داده‌های موجود از منطقه قابل تأیید است. بنابراین استفاده از ضرایب لامه به‌عنوان روشی برای تعیین خواص مخزنی مناسب و کارآمد جلوه می‌کند.



شکل ۸ | نمایش ناحیه‌های حاوی گاز با استفاده از تغییرات $\lambda\rho$ در تمامی بخش‌های چاه گازی مخزن پارس جنوبی

پانویس‌ها

1. javaherian@aut.ac.ir
2. Lamé's Parameters
3. Dipole shear sonic imager
4. Amplitude versus offset
5. Thompson
6. Schlumberger

منابع

- [1] Goodway, B., Chen, T., and Downton, J., 1997, Improved AVO fluid detection and lithology discrimination using Lamé's petrophysical parameters: Presented at 67th Annual International Meeting, SEG, 1836-.
- [2] Fatti, J. L., Smith, G.C., Val, P.J., Strauss, P.J. and Levitt, P.R., 1994, Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis, A 3-D seismic case history using the Geostack technique: Geophysics, 59, 13621376-.
- [3] Golalzadeh, A.R., Javaherian, A. and Nabi-Bidhendi, M., 2007, Estimation of Lamé's parameters from P-waves in a VTI medium: Journal of Geophysics and Engineering, 5, 3745-.
- [4] Wang, J., and Stewart, R.R., 2007, Crosswell seismic imaging of a tight-gas reservoir: SEG Technical Program Expanded Abstracts 2007: 442446-.
- [5] Goodway, B., 2001, A tutorial on AVO and Lamé constants for rock parameterization and fluid detection: CSEG recorder, June 2001, 3957-.
- [6] Katahara, K., 2001, Lamé's parameter as a pore fluid indicator: a rock-physics perspective: SEG Int'l exposition and annual meeting.
- [7] Perez, M.A., and Tonn, R., 2003, Reservoir modeling and interpretation with Lamé's parameters: A grand banks case study: EnCanan Corporation.