

## تعیین پارامترهای لامه و LMR در یکی از مخازن جنوب ایران

ملیحه سادات کاظمی<sup>\*۱</sup><sup>۱</sup> دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۳۰)

## چکیده

پارامتر  $\lambda$  و مدول بُرشی ( $\mu$ ) دو نمونه از مهم‌ترین پارامترهای نشانگر سیال و سنگ محسوب می‌شوند. پارامتر  $\lambda$  (اولین پارامتر لامه) نسبت به سیال موجود در سنگ حساسیت دارد، در صورتی که پارامتر  $\mu$  به ملاط سنگ حساس تر است. همچنین نسبت  $\lambda/\mu$  که یکی از نشانگرهای سیالی است را می‌توان در حکم شاخصی برای تعیین سنگ‌شناسی و تشخیص سیال‌ها به کار برد. برای تعیین پارامترهای کشتان نیاز به اندازه‌گیری سرعت‌های امواج تراکمی، بُرشی و چگالی است. سرعت امواج تراکمی به کمک نگاره‌های صوتی تعیین می‌شود. سرعت امواج بُرشی را می‌توان از نگاره‌های صوتی بُرشی دوقطبی (DSI) به دست آورد. در این تحقیق با استفاده از نگاره‌های صوتی بُرشی دوقطبی پارامترهای لامه و نشانگر LMR در سازندهای کنگان و دالان در یک چاه در میدان پارس جنوبی تعیین شد. مقادیر نشانگرهای  $\lambda\rho$ ،  $\mu\rho$  و  $\lambda/\mu$  در لایه K4 کمترین مقدار را در مقایسه با سه لایه دیگر دارد. همچنین با استفاده از نشانگر سیالی ( $\lambda/\mu$ ) و پارامتر حجم گاز در ناحیه مخزنی (که مؤید حضور گاز است)، میزان گاز در سازندهای کنگان و دالان مورد مقایسه قرار گرفته است. افزایش پارامتر حجم گاز در ناحیه مخزنی با کاهش مقدار نشانگر سیالی همراه است که مقایسه این دو کمیت تأیید مناسب‌تری برای حضور هیدروکربورها در ناحیه مورد بررسی است.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای لامه، LMR، نگاره DSI، نشانگر سیالی ( $\lambda/\mu$ )، سازندهای کنگان و دالان

## Determination of Lamé parameters and LMR in one of the reservoirs in South of Iran

Malihe Sadat Kazemi<sup>\*۱</sup><sup>۱</sup> Technical and Professional University, Tehran, Iran

(Received: 17 December 2011, accepted: 13 June 2012)

## Summary

Lamé parameter ( $\lambda$ ) and shear modulus ( $\mu$ ) are two most important parameters in the identification of fluids and reservoir rocks. Lamé parameter ( $\lambda$ ) is sensitive to the fluid within the rock fabric whereas  $\mu$  is sensitive to the rock matrix only. The combination of these attributes allows more accurate separation of the rock and fluid effects in the reservoir.

Wilkins et al. (1984) gave ultrasonic velocity values measured in single crystals of quartz and calcite. They reported values of about 44 GPa for the shear modulus of fused quartz, and 31 GPa for calcite. They also measured  $\lambda$  to be about 8.4 GPa for quartz and

\*Corresponding author:

mskazemi18@gmail.com

\*نگارنده رابط:

55 Gpa for calcite. Lee (2005) reports measured values of 44 GPa for the shear modulus of sand, and 38 Gpa for bulk modulus (Lee, 2009), for which the value of Lamé parameter ( $\lambda$ ) is 8.7 GPa. Helgerud et al (2009) calculated the shear modulus of gas hydrate to be 3.49 GPa (at 11°C and 1MPa). Goodway (2001) argued that the value of  $\lambda/\mu$  was a more sensitive indicator than  $\lambda$ ,  $\lambda\rho$ ,  $V_p/V_s$  and Poisson's ratio. Goodway demonstrated that how LMR (Lambda-Mu-Rho) analysis could be used to identify gas sands. The gas in the rock does not affect rigidity and it has low values of  $\lambda\rho$ . The combination of the fluid compressibility along with the mineral properties and grain shapes result in different LMR values. Using petrophysical parameters to scale the results of LMR analysis, 3D seismic volumes can be converted into lithology cubes. Neither  $\lambda$  nor  $\mu$  are powerful lithologic indicators by themselves, but used in combination can reveal a great deal about lithology. Gray and Andersen (2000) demonstrated that how LMR cross plot analysis could be used for lithology discrimination. Different lithologies can be identified by cross-plots of  $\lambda\rho$  versus  $\mu\rho$ . Perez and Tonn (2007) were analyzed to model the LMR response of various reservoir qualities and fluid fills. LMR response separates shale zones from highly porous sand zones. Shaocheng et al. (2010) analyzed the equivalent isotropic elastic data of natural rocks in order to characterize  $\lambda$  values for common types of crystalline rocks in the Earth's crust and upper mantle. In the  $\lambda$ - $\rho$  and  $\mu$ - $\lambda$  plots, the main categories of lithology can be clearly distinguished.

In this study, log analyses were used for a well from the South Pars gas field and the analysis of DSI was used to estimate shear wave velocity developed in a relationship with  $\lambda$ ,  $\mu$  and LMR. The reservoir zone of South Pars field consists of Kangan (K1 and K2) and Dalan (K3 and K4) Formations. Compressional and shear wave velocity values were determined for the estimation of Lamé parameters ( $\lambda$  and  $\mu$ ) for the reservoir zone. The crossplots  $\lambda/\mu$  were used to identify the gas. The ratio  $\lambda/\mu$  and the crossplot difference  $\lambda\rho - \mu\rho$  provide some information about the presence of the gas in Kangan and Dalan Formations. The computed average Lamé's constants,  $\lambda$  and  $\mu$  parameters in Kangan Formation in K1 are 36.19 Gpa and 31.25 Gpa and are 32.59 Gpa and 27.02 Gpa in K2, respectively. Also the average values of  $\lambda$  and  $\mu$  in K3 layer are 33.79 Gpa and 29.59 Gpa and 25.32 Gpa and 24.63 Gpa in K4, respectively.

**Keywords:** Lamé parameters, LMR, DSI,  $\lambda/\mu$  attribute, Kangan and Dalan Formations

مدول بُرشی به دست آمده تقریباً مشابه‌اند، درحالی‌که مقادیر  $\lambda$  متفاوت است. گری و آندرسن (۲۰۰۰) در مورد تفکیک سنگ‌شناختی با استفاده از مقطع عرضی LMR بررسی‌های زیادی به انجام رساندند. تحقیقات آنها روشن ساخت که  $\lambda\rho$  و  $\mu\rho$  به‌تنهایی نشانگرهای مناسبی در تفکیک سنگ‌شناختی نیستند، اما ترکیب این دو نشانگر در بررسی و تفکیک سنگ‌شناختی بسیار مهم است. پرز و تِن (۲۰۰۷) روشن ساختند که چگونه مقطع عرضی  $\lambda\rho$  و  $\mu\rho$  می‌تواند وجود ماسه‌های گازدار را مشخص کند. هلگراد و همکاران، (۲۰۰۹) مدول بُرشی را برای گازهای

۱ مقدمه

بررسی تغییرات پارامترهای لامه در زمین و در اکتشاف نفت و گاز بسیار مهم است. گسمن (۱۹۵۱) روشن ساخت که وقتی محیط‌های کشسان متخلخل و همسانگرد با سیال اشباع شده‌اند، سیال تأثیر مکانیکی روی مدول بُرشی ندارد، اما می‌تواند تأثیر واضحی روی مدول حجمی  $K$  و پارامتر لامه  $\lambda$  داشته باشد. ویلکنز و همکاران (۱۹۸۴) مقدار  $\lambda$  را برای کوارتز و کلسیت به ترتیب ۸/۴ Gpa و ۵۵Gpa به دست آوردند. آنها مقدار مدول بُرشی را برای کوارتز ۴۴ Gpa و کلسیت ۳۱ Gpa تعیین کردند. مقادیر

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}, \quad \text{در مواد جامد} \quad (1)$$

$$V_p = \sqrt{\frac{K}{\rho}}, \quad \text{در سیال‌ها} \quad (2)$$

همچنین رابطه سرعت موج بُرشی با مدول بُرشی به صورت زیر است.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}, \quad (3)$$

که  $\rho$  چگالی سنگ،  $V_p$  سرعت موج طولی و  $V_s$  سرعت موج بُرشی در سنگ است. رابطه پارامترهای کشسان  $C_{33}$  و  $C_{44}$  با پارامترهای لامه به صورت زیر است.

$$C_{33} = \lambda + 2\mu, \quad (4)$$

$$C_{44} = \mu, \quad (5)$$

همچنین رابطه مدول‌های لامه با نسبت پواسون به صورت زیر است.

$$\sigma = \lambda / 2(\lambda + \mu). \quad (6)$$

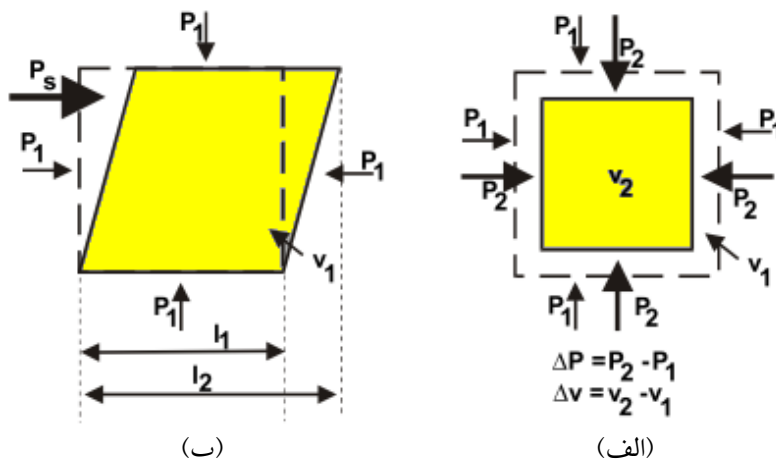
برای یک محیط همسانگرد رابطه بین تنش و کرنش با توجه به پارامترهای لامه به صورت زیر نوشته می‌شود.

هیدراته در دمای ۱۱ درجه سلسیوس برابر با ۳/۴۹ Gpa به دست آوردند. تحقیقات صورت گرفته مشخص ساخت که پارامتر  $\lambda$  نقش مؤثری در جداسازی ماسه‌های گازی از سنگ‌های کربناته و شیل‌ها دارد. همچنین تعیین این پارامتر در بررسی بازتاب لرزه‌ای از نواحی گسله‌ای پوسته مهم است (شائوچنگ و همکاران، ۲۰۱۰).

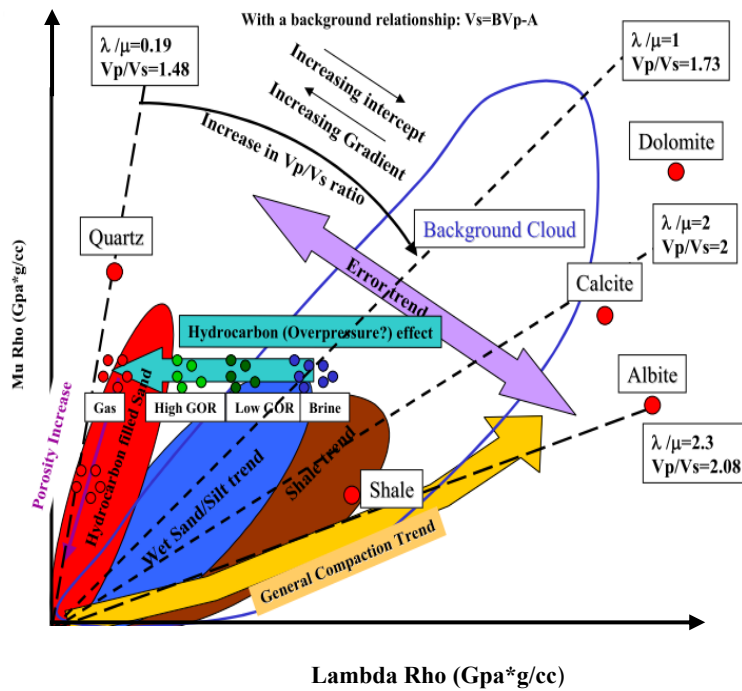
## ۲ پارامترهای لامه و LMR

مقاومت مکانیکی یک ماده با مدول‌های یانگ ( $E$ )، حجمی ( $K$ ) و بُرشی ( $\mu$ ) تعیین می‌شود. مدول بُرشی  $\mu$  نوعی مقاومت مکانیکی است که یک نمونه در برابر تنش بُرشی تحمل می‌کند (شکل ۱).

پارامتر لامه ( $\lambda$ ) و مدول بُرشی ( $\mu$ ) مهم‌ترین خواص کشسانی سنگ‌ها را مشخص می‌کنند. مدول‌های  $K$  و  $\mu$  سرعت امواج تراکمی و بُرشی را در محیط توجیه می‌کنند. سرعت موج تراکمی به خواص کشسانی سنگ (ماتریس سنگ و سیال) بستگی دارد. سرعت موج تراکمی در یک محیط با مقاومت مکانیکی آن نسبت مستقیم داشته و به‌طور معکوس متناسب با چگالی آن است (مانکو و همکاران، ۲۰۰۳).



شکل ۱. توصیف مدول‌های کشسان (الف) حجمی و (ب) بُرشی.



شکل ۲. مقطع عرضی LMR با دسته‌بندی پارامترهای لامه و چگالی (پرز و تِن، ۲۰۰۷).

اگر  $\mu$  و  $\lambda$  برابر باشند نسبت  $Vp/Vs$  برابر  $\sqrt{3}$  است. در سنگ‌هایی که مقدار  $\lambda$  کوچک‌تر از مقدار  $\mu$  است نسبت  $Vp/Vs$  کوچک‌تر از  $\sqrt{3}$  است.

تغییرات مشاهده شده در مدول برشی  $\mu$  اطلاعاتی در مورد محتوای سیال نخواهد داشت، درحالی‌که تغییرات در پارامتر  $\lambda$ ، به‌خصوص تغییرات نسبتاً زیاد این کمیت می‌تواند شامل اطلاعاتی در مورد تغییرات در محتوای سیال باشد (پریمن و همکاران، ۱۹۹۹). همچنین در فشارهای زیاد، مدول برشی با افزایش فشار افزایش می‌یابد.

از ادغام نشانگرهای AVO با زمین‌شناسی ناحیه، خواص پتروفیزیکی سنگ‌های مخزن و سیال‌های مخزن می‌توان تفسیر نهتری را ارائه نمود (گری و آندرسن، ۲۰۰۰). با رسم مقطع عرضی  $\lambda\rho$  برحسب  $\mu\rho$  نوع سنگ‌ها را می‌توان تشخیص داد (شکل ۲).

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda+2\mu & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda+2\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & 0 & \lambda+2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} \quad (V)$$

در محاسبات از دو ثابت لامه ( $\lambda$  و  $\mu$ ) استفاده می‌شود. همچنین  $\mu$  و مدول حجمی  $K$ ، دو ثابت دیگر در مسائل فیزیکی برای مدول برشی هستند.  $\mu$  تغییر در شکل با حجم و  $K$  تغییر در حجم بدون تغییر در شکل را توصیف می‌کند و ماتریس متناظر با آن به شکل زیر است:

$$\begin{bmatrix} K + \frac{4\mu}{3} & K - \frac{2\mu}{3} & K - \frac{2\mu}{3} & 0 & 0 & 0 \\ K - \frac{2\mu}{3} & K + \frac{4\mu}{3} & K - \frac{2\mu}{3} & 0 & 0 & 0 \\ K - \frac{2\mu}{3} & K - \frac{2\mu}{3} & K + \frac{4\mu}{3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{bmatrix} \quad (A)$$

تک قطبی دریافت کرد. اختلاف در زمان رسید دو گیرنده مجاور که از فاصله بین گیرنده‌ها به دست می‌آید، گندی امواج را به دست می‌دهد. برای تعیین پارامترهای لامه باید سرعت‌های امواج تراکمی، بُرشی و چگالی را تعیین نمود. در نتیجه DSI ابزار مناسبی برای تعیین پارامترهای لامه محسوب می‌شود.

#### ۴ بحث

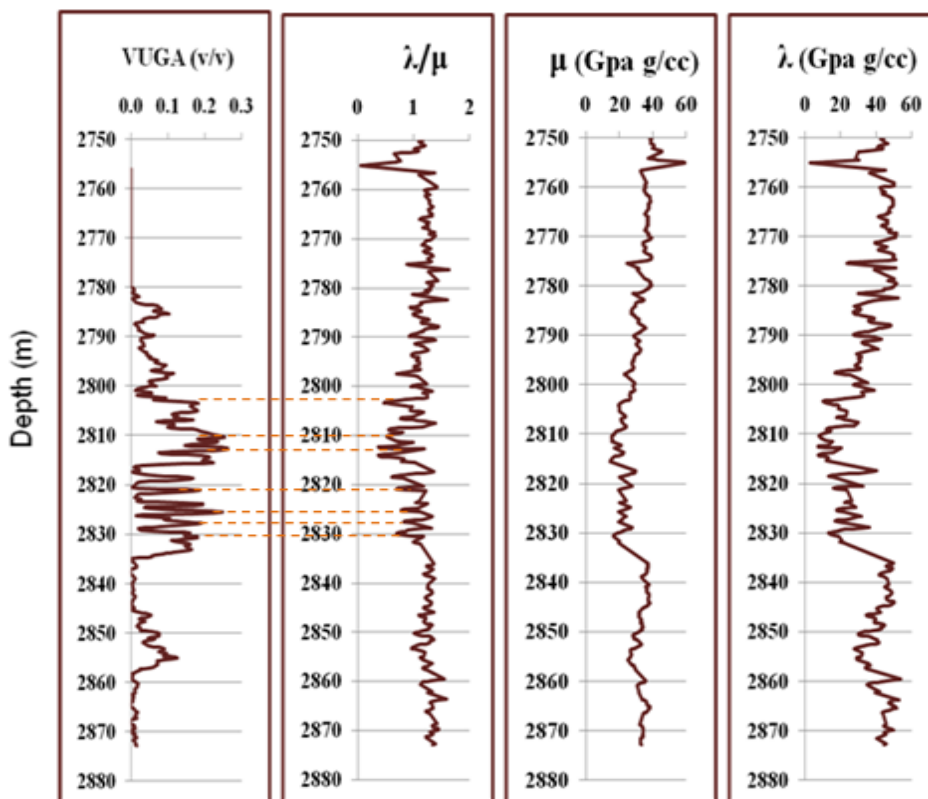
برای یک چاه اکتشافی با استفاده از سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی پارامترهای لامه در ناحیه مخزنی در میدان پارس جنوبی محاسبه شد. ناحیه مخزنی شامل سازندهای کنگان (لایه‌های K1 و K2) و دالان فوقانی (لایه‌های K3 و K4) است. همچنین نشانگرهای  $\mu\rho$  و  $\lambda/\mu$  محاسبه و مقایسه شدند. در جدول ۱ مقادیر میانگین پارامترهای  $\lambda$  و مدول بُرشی  $\mu$  و نشانگرهای  $\mu\rho$  و  $\lambda/\mu$  در سازندهای کنگان و دالان محاسبه و مقایسه شدند. میانگین پارامترهای لامه و نشانگرهای  $\mu\rho$  و  $\lambda/\mu$  در لایه K4 در مقایسه با سه لایه دیگر کوچک‌تر است. میانگین پارامترهای لامه و نشانگرهای  $\mu\rho$  و  $\lambda/\mu$  در لایه K1 در مقایسه با سه لایه دیگر بزرگ‌تر است. در شکل ۳ نمودارهای  $\lambda$ ،  $\mu$ ،  $\lambda/\mu$  و VUGA (حجم گاز در ناحیه مخزنی) برحسب عمق (در لایه K1) مقایسه شده‌اند. در شکل‌های ۳-الف و ۳-ب به ترتیب مقادیر  $\lambda$  و مدول بُرشی ( $\mu$ ) نشان داده شده‌اند. همچنین نسبت  $\lambda/\mu$  (در شکل ۳-ج) و VUGA (در شکل ۳-د) مقایسه شده‌اند. در بخش‌هایی که پارامتر VUGA افزایش می‌یابد (مؤید حضور گاز) مقدار نشانگر سیالی ( $\lambda/\mu$ ) کاهش یافته است که ممکن است مؤید حضور هیدروکربورها باشد (در هر یک از شکل‌های مربوطه با خط چین نشان داده شده‌است).

با تمایز پاسخ‌های مقاطع عرضی  $\lambda\rho$  و  $\mu\rho$  ماسه‌های گازدار در مقایسه با شیل‌ها متمایز می‌شوند. ترکیب تراکم‌پذیری سیال به همراه خواص کانی‌شناسی و شکل دانه‌ها منجر به نتایج متفاوت LMR می‌شود. با آگاهی از این خواص در سنگ‌شناسی و سیال‌ها می‌توان با درجه اطمینان بیشتری وضعیت آنها را مورد بررسی قرار داد.

#### ۳ نگاره DSI

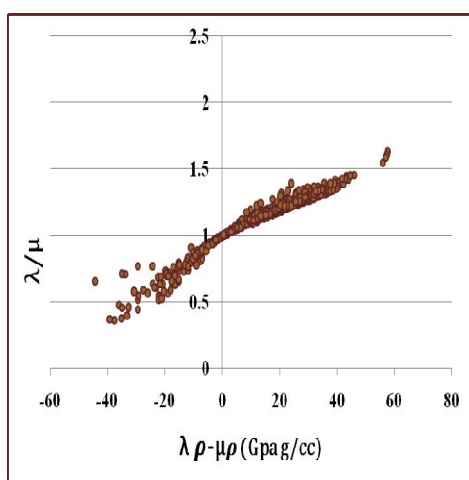
نگاره‌های چاه‌پیمایی ابزارهای مفیدی برای تعیین خصوصیات فیزیکی سازندها و لایه‌های زمین محسوب می‌شوند. دقت و قدرت تفکیک نگاره‌های چاه نسبت به داده‌های لرزه‌ای بسیار بیشتر است. اما به این علت که در نمودارهای چاه مقادیر به صورت نسبی از یک لایه اندازه‌گیری می‌شود، در تحلیل سنگ‌شناسی نیاز به داده‌های بیشتری داریم.

DSI یکی از ابزارهای نمودارگیری درون‌چاهی با قدرت تفکیک زیاد است که با استفاده از آن می‌توان گندی امواج تراکمی و بُرشی را به دست آورد. همچنین این ابزار قادر است سنگ‌شناسی، تخلخل اولیه و ثانویه، تراوایی، شکستگی‌ها و جهت ناهمسانگردی در سنگ‌ها را تعیین کند. این ابزار شامل ترکیبی از فرستنده‌های تک‌قطبی و دوقطبی است. با این ابزار امواج تراکمی و امواج از نوع پیچشی هم‌فاز، اندازه‌گیری می‌شوند. سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی در انواع سازندها با این ابزار اندازه‌گیری می‌شوند. در سازندهای سُست مد پیچشی تک‌فاز با یک بسامد کم تولید می‌شود و با سرعت موج بُرشی با بسامد کم حرکت می‌کند. موج بُرشی شکسته‌شده موازی دیواره چاه حرکت می‌کند و در امتداد دیواره چاه در فصل مشترک سازندها با سرعت  $V/s$  منتشر می‌شود و موج سر از دیواره چاه به گیرنده‌ها در حکم موج بُرشی ثبت می‌شود و می‌توان آن را با گیرنده‌های

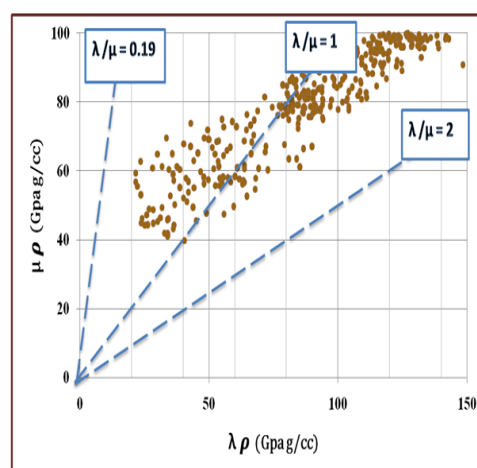


(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۳. مقایسه نمودارهای چاه برحسب عمق در لایه K1 (الف) پارامتر  $\lambda$ ، (ب) پارامتر  $\mu$ ، (ج) نسبت  $\lambda/\mu$  و (د) حجم گاز در مخزن (VUGA)، (عمق‌هایی که VUGA زیاد و نسبت  $\lambda/\mu$  کم دارند با خط‌چین مشخص شده‌است).



(ب)



(الف)

شکل ۴. نمودارهای چاه در لایه K1 (الف)  $\mu\rho$  برحسب  $\lambda\rho$  و (ب) نسبت  $\lambda/\mu$  برحسب  $\lambda\rho - \mu\rho$ .

جدول ۱. مقادیر میانگین پارامترهای لامه و نشانگرهای  $\lambda\rho$  و  $\mu\rho$  در سازندهای کنگان و دالان (دالان فوقانی).

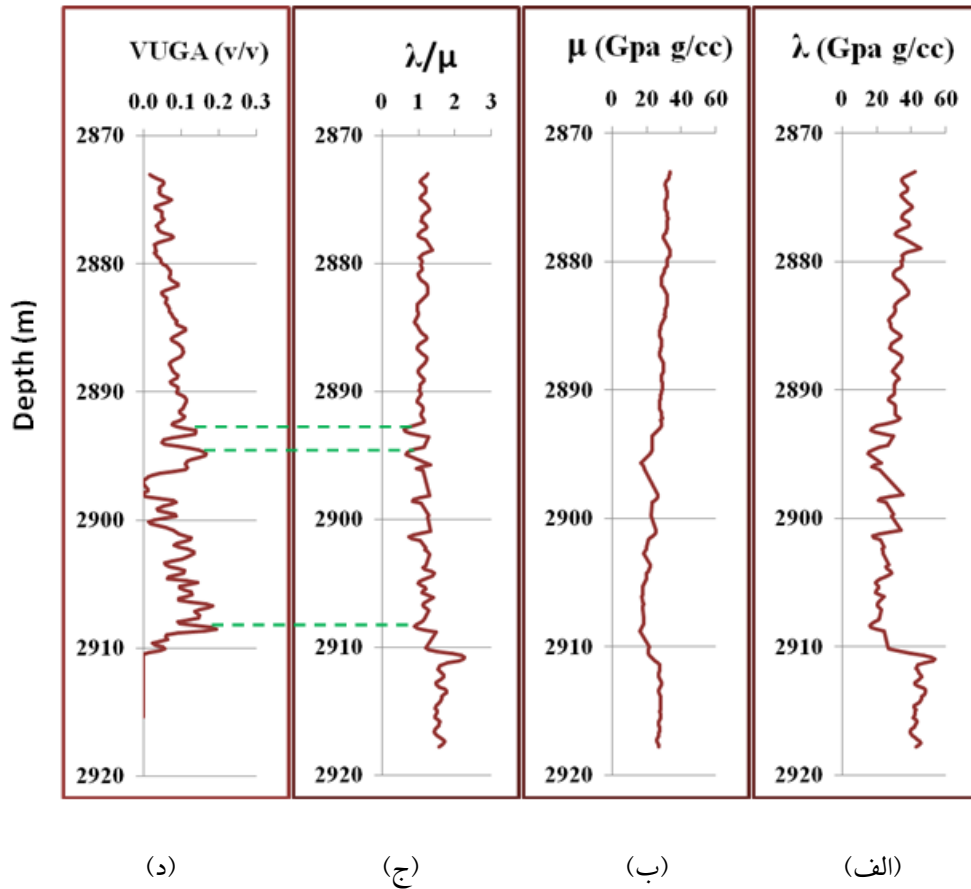
	$\lambda$ (Gpa)	$\mu$ (Gpa)	$\lambda\rho$ (Gpa g/cc)	$\mu\rho$ (Gpa g/cc)	$\lambda/\mu$
K1	36.19	31.25	103.70	89.46	1.13
K2	32.59	27.02	91.23	75.78	1.21
K3	33.79	29.59	95.77	83.97	1.14
K4	25.32	24.63	71.52	69.46	1.02

برحسب  $\mu\rho$  برای لایه K2 نشان داده شده است. در شکل ۶-ب مقطع عرضی  $\lambda\rho$ - $\mu\rho$  برحسب  $\lambda/\mu$  ارائه شده است که در مقایسه با لایه K1 مقادیر  $\lambda/\mu$  کوچکتر از یک و  $\lambda\rho$ - $\mu\rho$  کوچکتر از صفر که می تواند مؤید حضور گاز در این لایه باشد کمتر است. از مقایسه شکل ۴-ب با شکل ۶-ب مشخص شده که میزان هیدروکربور در لایه K1 بیشتر از لایه K2 است.

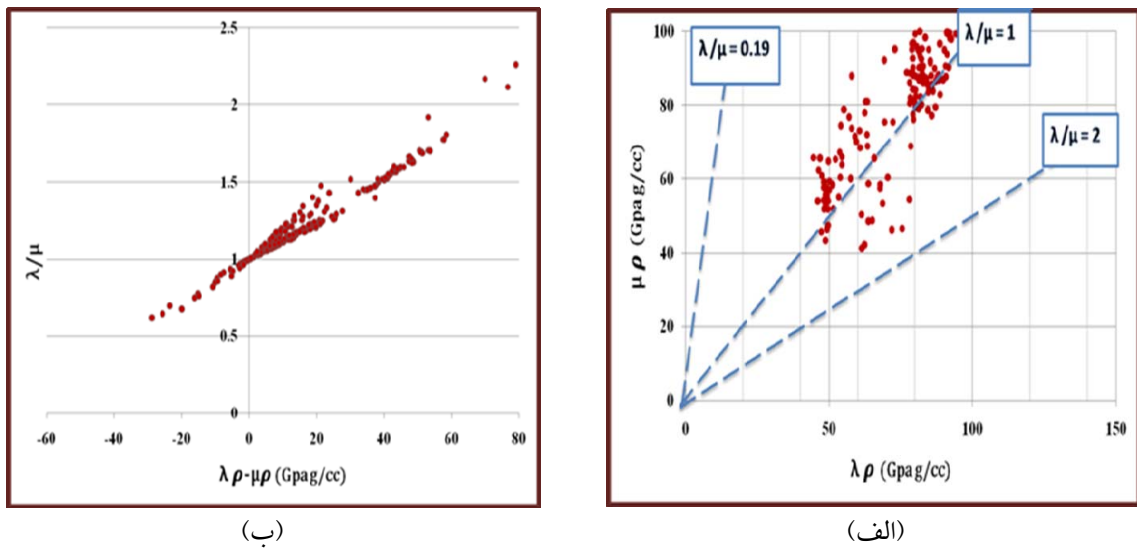
در شکل ۷ مقاطع عرضی  $\lambda$ ،  $\mu$ ،  $\lambda/\mu$  و VUGA برحسب عمق (در لایه K3) مقایسه شده اند. در شکل ۷-۱ الف پارامتر  $\lambda$  و در شکل ۷-۲ ب مدول بُرشی ( $\mu$ ) آورده شده است. در شکل ۷-۳ ج نسبت  $\lambda/\mu$  برحسب عمق با VUGA برحسب عمق (در شکل ۷-۴ د) مقایسه شده اند. در چند بخش از نمودار VUGA که افزایش نشان می دهد، نشانگر سیالی ( $\lambda/\mu$ ) کاهش یافته است (در شکل با خط چین نشان داده شده است) که می تواند مؤید حضور هیدروکربورها در این نواحی باشد. در شکل ۸-الف مقطع عرضی LMR (تغییرات  $\lambda\rho$  برحسب  $\mu\rho$ ) آورده شده است.

در شکل ۴-الف مقطع عرضی LMR (تغییرات  $\lambda\rho$  برحسب  $\mu\rho$ ) در لایه K1 نشان داده شده است. با توجه به مقادیر  $\lambda/\mu$  در ناحیه بین خطوط  $\lambda/\mu = 1$  و  $\lambda/\mu = 2$  می توان به وجود دولومیت در این لایه پی برد. همچنین مقادیر کوچک  $\lambda\rho$  نیز می تواند مؤید حضور گاز باشد. در شکل ۴-ب مقطع عرضی  $\lambda\rho$ - $\mu\rho$  برحسب  $\lambda/\mu$  نشان داده شده است. مشاهده می شود که بخش عمده ای از مقادیر  $\lambda/\mu$  کوچکتر از یک، و  $\lambda\rho$ - $\mu\rho$  کوچکتر از صفر است و می تواند مؤید حضور گاز در این لایه باشد. در شکل ۵ نمودارهای  $\lambda$ ،  $\mu$ ،  $\lambda/\mu$  و VUGA برحسب عمق برای لایه K2 نشان داده شده است. در اینجا نیز در بخش هایی که VUGA افزایش دارد مقدار  $\lambda/\mu$  کاهش یافته و می تواند مؤید حضور هیدروکربورها باشد (در شکل با خط چین نشان داده شده است). در شکل ۵-الف پارامتر  $\lambda$  و در شکل ۵-ب مدول بُرشی ( $\mu$ ) نشان داده شده اند. همچنین نسبت  $\lambda/\mu$  (در شکل ۵-ج) و VUGA (در شکل ۵-د) در لایه K2 مورد مقایسه قرار گرفته اند.

در شکل ۶-الف مقطع عرضی LMR (تغییرات  $\lambda\rho$

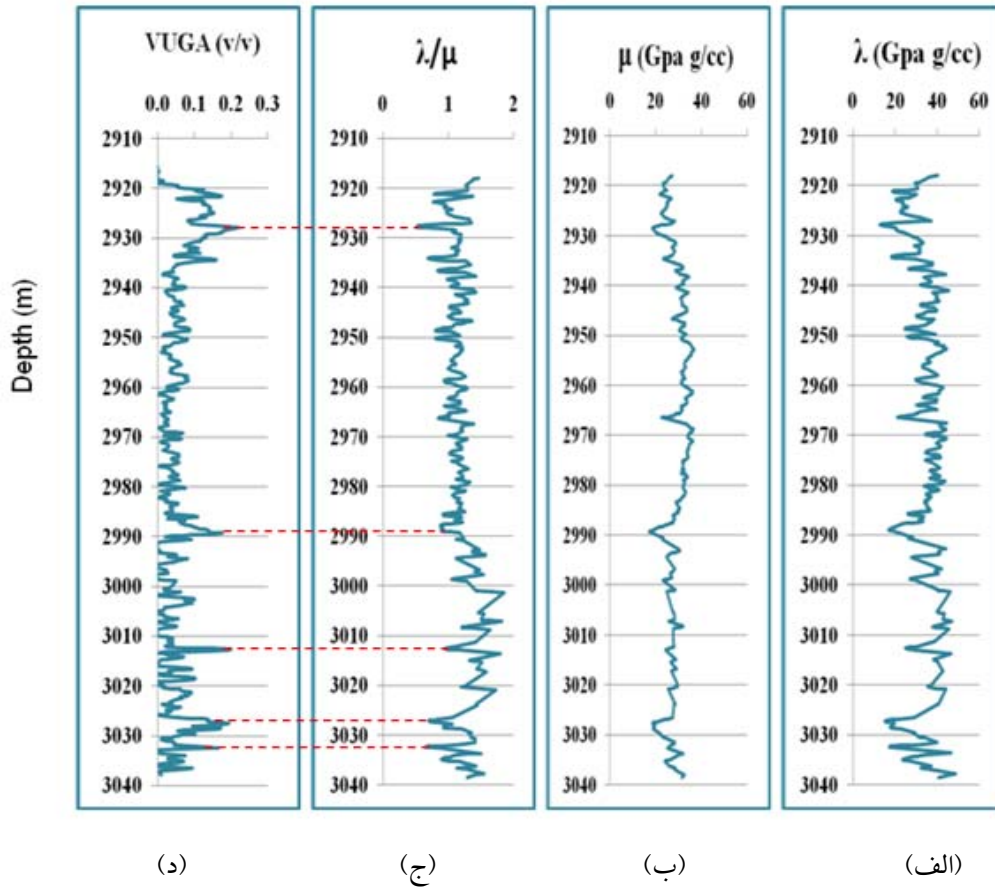


شکل ۵. مقایسه نمودارهای چاه برحسب عمق در لایه K2 (الف) پارامتر  $\lambda$ ، (ب) پارامتر  $\mu$ ، (ج) نسبت  $\lambda/\mu$  و (د) حجم گاز در مخزن (VUGA)، (عمق‌هایی که VUGA بالا و نسبت  $\lambda/\mu$  پائین دارند با خط چین مشخص شده‌است).

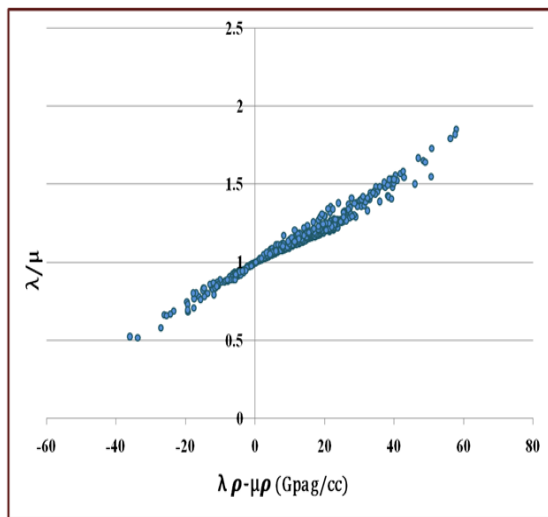


شکل ۶. نمودارهای چاه در لایه K2 (الف)  $\mu\rho$  برحسب  $\lambda\rho$  و (ب) نسبت  $\lambda/\mu$  برحسب  $\lambda\rho - \mu\rho$ .

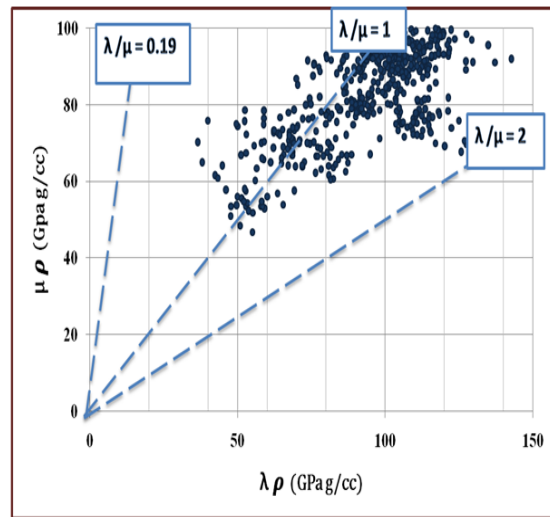




شکل ۷. مقایسه نمودارهای چاه برحسب عمق در لایه K3 (الف) پارامتر  $\lambda$ ، (ب) پارامتر  $\mu$ ، (ج) نسبت  $\lambda/\mu$  و (د) حجم گاز در مخزن (VUGA)، عمق‌هایی که VUGA بالا و نسبت  $\lambda/\mu$  پائین دارند با خط‌چین مشخص شده‌است.

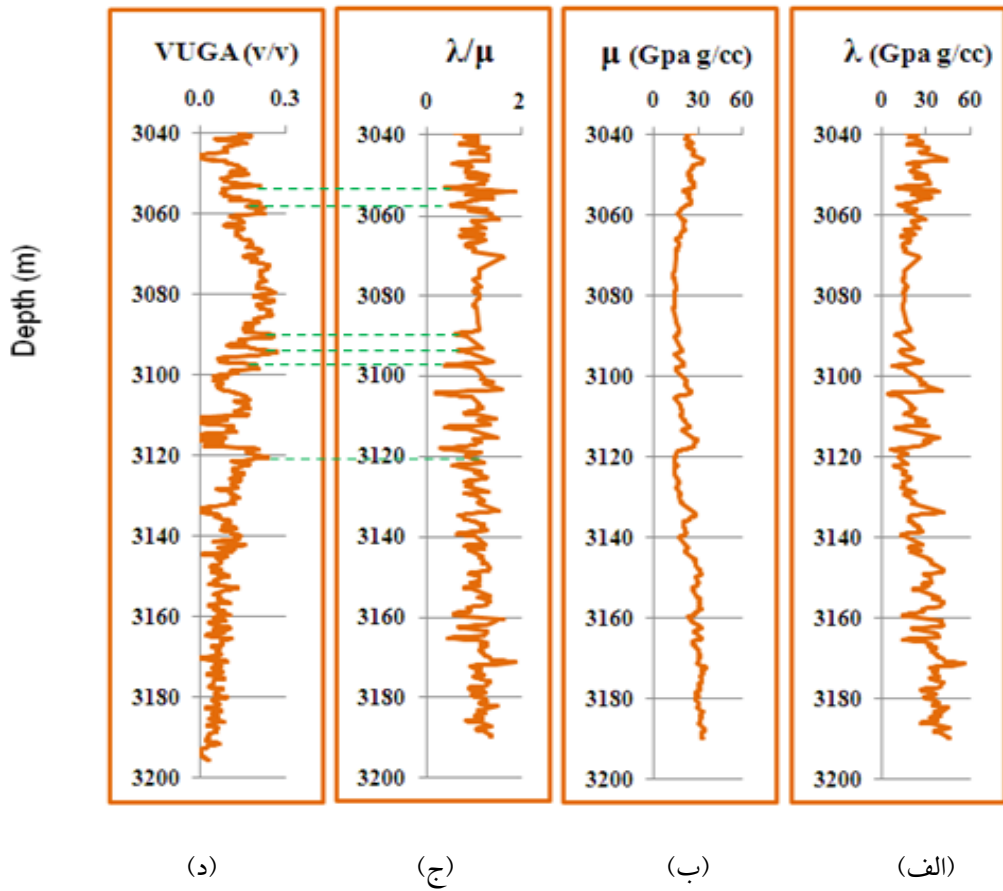


(ب)

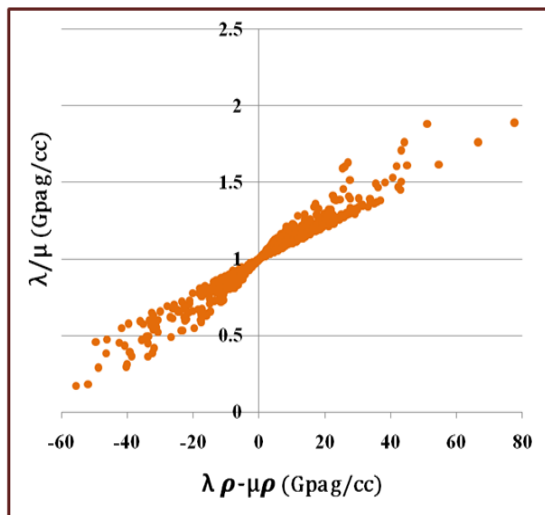


(الف)

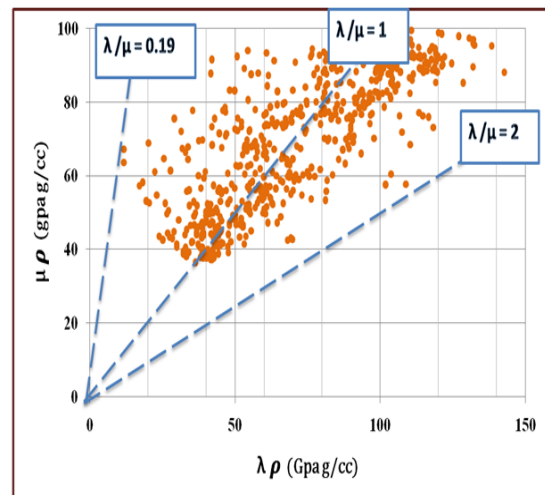
شکل ۸. نمودارهای چاه در لایه K3 (الف)  $\mu\rho$  برحسب  $\lambda\rho$  و (ب) نسبت  $\lambda/\mu$  برحسب  $\lambda\rho - \mu\rho$ .



شکل ۹. مقایسه نمودارهای چاه برحسب عمق در لایه K4 (الف) پارامتر  $\lambda$ ، (ب) پارامتر  $\mu$ ، (ج) نسبت  $\lambda/\mu$  و (د) حجم گاز در مخزن (VUGA)، (عمق‌هایی که VUGA بالا و نسبت  $\lambda/\mu$  پائین دارند با خط چین مشخص شده‌است).



(ب)



(الف)

شکل ۱۰. نمودارهای چاه در لایه K4 (الف)  $\mu \rho$  برحسب  $\lambda \rho$  و (ب) نسبت  $\lambda/\mu$  برحسب  $\lambda \rho - \mu \rho$ .

## منابع

- Berryman, J. G., Grechka, V. Y., and Berge, P. A., 1999, Analysis of Thomsen parameters for finely layered VTI media, *Geophysical Prospecting*, **47**, 959–978.
- Gassmann, F., 1951, Ueber die Elastizität poröser Medien, *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden, Gesellschaft in Zürich*, **96**, 1–23.
- Goodway, W., 2001, AVO and Lamé constants for rock parameterization and fluid detection. *Recorder*, **26**, 39–60.
- Gray, F.D., and Andersen, E.C., 2000, Case histories: Inversion for rock properties, 62th EAGE meeting, Conference and Technical Exposition.
- Helgerud, M. B., Waite, W. F., Kirby, S. H., and Nur, A., 2009, Elastic wave speeds and moduli in polycrystal-line ice Ih, sI methane hydrate, and sII methane-ethane hydrate: *Journal of Geophysical Research*, **114**.
- Lee, M. W., 2005, Well log analysis to assist the interpretation of 3-D seismic data at the Milne Point, North Slope of Alaska: U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report.
- Lee, M. W., 2009, Anisotropic velocities of gas hydrate-bearing sediments in fractured reservoirs: Scientific Investigations Report, U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey.
- Mavko, G., Mukerji, T., Dvorkin, J., 2003, *The Rock Physics Handbook*, Cambridge University Press.
- Perez, M. A., and Tonn, R., 2007, Reservoir modeling and interpretation with Lamé's parameters: A Grand Banks Case Study, EnCana Corporation, 150 9th Avenue SW, Calgary.
- Shaocheng, Ji., Sun, Sh., Wang, Q., and Marcotte, D., 2010, Lamé parameters of common rocks in the Earth's crust and upper mantle: *Journal of Geophysical Research*, **115**, B06314.
- Wilkens, R., Simmons, G., and Caruso, L., 1984, The ratio  $V_p/V_s$  as a discriminant of composition for siliceous limestones: *Geophysics*, **49**, 1850–1860.

در شکل ۸-ب مقطع عرضی  $\lambda\rho-\mu\rho$  برحسب  $\lambda/\mu$  نشان داده شده است. همچنین در شکل ۹ مقاطع عرضی  $\lambda$ ،  $\mu$ ،  $\lambda/\mu$  و VUGA برحسب عمق (در لایه K4) مورد مقایسه قرار گرفته است. در شکل ۹-الف پارامتر  $\lambda$  و در شکل ۹-ب مدول بُرشی نشان داده شده است. در شکل ۹-ج نسبت  $\lambda/\mu$  با VUGA (در شکل ۹-د) مقایسه شده است. در اینجا نیز در بخش‌هایی از نمودار VUGA که افزایش مشاهده می‌شود (تایید حضور گاز)، نشانگر کاهش  $\lambda/\mu$  است که می‌تواند حضور هیدروکربورها در این نواحی را تایید کند (ناحیه خط چین در شکل).

نمودارهای  $\lambda$ ،  $\mu$ ،  $\lambda/\mu$  و VUGA برحسب عمق (در لایه K4) در شکل ۱۰ مقایسه شده‌اند. در شکل ۱۰-الف مقطع عرضی LMR نشان داده شده است. در شکل ۱۰-ب مقطع عرضی  $\lambda\rho-\mu\rho$  برحسب  $\lambda/\mu$  بررسی شده است که بخش عمده‌ای از مقادیر  $\lambda/\mu$  کوچک‌تر از یک، نشانگر حضور گاز در این لایه است. با مقایسه شکل‌های ۸-ب با شکل ۱۰-ب مشخص می‌شود که میزان هیدروکربورها در لایه K4 بیشتر از لایه K3 است. در واقع نتایج به دست آمده از شکل‌های ۴-ب، ۶-ب، ۸-ب و ۱۰-ب نشان می‌دهد که میزان هیدروکربورها در لایه K4 بیشتر از سه لایه دیگر است.

## ۵ نتیجه گیری

۱- مقایسه نشانگر سیالی  $\lambda/\mu$  و نمودارهای حجم گاز در لایه‌های مخزنی توافق خوبی با تغییرات نشانگر سیالی در بیشتر مناطق را نشان می‌دهد.

۲- به کمک نشانگر LMR بخشی از سنگ دولومیت مشخص شده است.

۳- مقطع عرضی  $\lambda/\mu$  برحسب  $\lambda\rho-\mu\rho$  در لایه K4 نشان می‌دهد که میزان اشباع لایه K4 با هیدروکربورها به مراتب بیشتر از لایه‌های دیگر است.