

تعیین رابطه مدول‌های کشسان و حجم گاز در ناحیه مخزنی یکی از میدان‌های

گازی جنوب ایران

حمید نجارزاده^۱، ملیحه‌سادات کاظمی^{۲*} و محمدکمال قاسم‌العسکری^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف نفت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۲آستادیار، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران
^۳آستادیار، دانشگاه صنعت نفت، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۶، تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۳۱)

چکیده

هدف از این بررسی، محاسبه مدول‌های کشسان و مقایسه آنها با توجه به حضور گاز در سازندهای کنگان و دالان بالایی در یکی از میدان‌های گازی جنوب ایران است. در این تحقیق سرعت امواج تراکمی و بُرشی به ترتیب با استفاده از کندی امواج تراکمی و بُرشی حاصل از ابزار تصویرگر صوتی بُرشی دوقطبی (DSI) محاسبه شد. همچنین مقادیر داده‌های چگالی با استفاده از نمودار چگالی تعیین شد. مدول‌های کشسان (مدول حجمی، مدول برشی، مدول یانگ، پارامتر لامه) نسبت پواسون و نسبت K/μ با استفاده از روابط موجود محاسبه شد.

با استفاده از نسبت V_p/V_s و تغییرات آن در ناحیه مخزنی، درصد حجم گاز مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه نمودارهای حجم گاز و V_p/V_s مشخص شد که با افزایش حجم گاز، نسبت V_p/V_s کاهش می‌یابد. با مقایسه نمودارهای حجم گاز و مدول‌های کشسان، روند تغییرات مدول‌های کشسان نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که با افزایش حجم گاز، مدول‌های کشسان کاهش می‌یابند. همچنین نمودارهای نسبت پواسون و نسبت K/μ با نمودار حجم گاز مقایسه شد و نتیجه این مقایسه، روشن ساخت که کاهش نسبت‌های پواسون و K/μ با افزایش میزان حجم گاز همراه است. در ضمن در سنگ‌های کربناته، محدوده نسبت پواسون (۰/۱۹ تا ۰/۳) و نسبت K/μ (۱/۲۷ تا ۲/۳۳) به میزان حجم گاز وابسته است.

واژه‌های کلیدی: مدول‌های کشسان، نسبت V_p/V_s ، نمودار DSI، سازندهای کنگان و دالان

۱ مقدمه

نمودار صوتی سرعت موج تراکمی تعیین می‌شود. اما سرعت موج بُرشی را می‌توان با استفاده از روابط تجربی سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی تعیین کرد. البته بهتر است روابط بین سرعت امواج تراکمی و بُرشی در صورت امکان برای هر ناحیه، با توجه به شرایط خاص آن ناحیه به دست آید. با استفاده از ابزار DSI می‌توان سرعت‌های

برای محاسبه پارامترهای کشسان مانند مدول حجمی، مدول یانگ، مدول بُرشی و پارامتر لامه به سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی و چگالی (پارامترهای ضروری برای ارزیابی ژئومکانیکی) نیاز است (گودوی و همکاران، ۱۹۹۷). اغلب با استفاده از داده‌های لرزه‌ای یا

شناسایی لایه‌های اشباع با گاز دارد. آدام و همکاران (۲۰۰۶) مشاهده کردند که مدول بُرشی سنگ به‌خصوص در بسامدهای لرزه‌ای به اشباع آب شور حساس است. آنها دریافتند که برای کرناته‌های اشباع با آب شور و وابستگی کم به اختلاف فشار (منافذ گرد یا حفره‌ای)، مدول حجمی با معادله گشمن در بسامدهای لرزه‌ای به-خوبی پیش بینی می‌شود، درحالی‌که برای کرناته‌های تحت تأثیر فشار زیاد (منافذ سازگار و شکاف‌های ریز) نظریه گشمن با مشاهدات مطابقت ندارد.

با این حال آدام و همکاران (۲۰۰۶) نمونه‌های کرناته را در بسامدهای فراصوتی مورد آزمایش قرار دادند و نقش پراکندگی مدول‌های حجمی و بُرشی را مشاهده کردند. آنها روشن ساختند که در برخی نمونه‌ها مدول‌های حجمی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با معادله گشمن در بسامد فراصوتی در مقایسه با بسامدهای لرزه‌ای توافق بهتری دارند. این مطابقت مدول حجمی، زمانی آشکار می‌شود که کرناته‌ها با آب شور اشباع شده باشند. آدام و همکاران (۲۰۰۶) پراکندگی مدول بُرشی را نیز مورد بررسی قرار دادند. آنها تغییر کوچک مدول بُرشی سنگ را از حالت خشک به حالت اشباع با آب شور در بسامدهای فراصوتی بررسی کردند و مشخص ساختند که این مدول همیشه بیشتر از مدول بُرشی به‌دست آمده از بسامدهای لرزه‌ای است. هاپکرافت و همکاران (۲۰۱۰) مقادیر ناهمسانگردی مدول یانگ، نسبت پواسون و کمیت‌های دیگر کشسان را به‌طور کامل برای طراحی یا تجزیه و تحلیل ساختارهای سیلیکون توصیف کردند.

در این تحقیق با استفاده از داده‌های نمودار صوتی بُرشی دوقطبی در مجاورت یک چاه در یکی از میدان‌های جنوب ایران، رابطه بین هریک از مدول‌های لانه، مدول حجمی و مدول یانگ با نمودار حجم گاز مورد بررسی قرار گرفت.

امواج تراکمی و بُرشی را با دقت نسبتاً زیاد تعیین کرد. کاظمی (۱۳۹۳) با استفاده از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی (DSI)، رابطه همبستگی بین سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی در سازندهای کنگان و دالان در میدان پارس جنوبی را برآورد کرد. گشمن (۱۹۵۱) روابطی را عرضه کرد که مدول‌های حجمی و بُرشی سنگ را به تخلخل، اشباع شاره‌ها و سنگ‌شناسی مرتبط می‌ساخت. برای سنگ‌های همسانگرد، با توجه به نظریه گشمن براساس میزان اشباع، مدول حجمی تغییر خواهد کرد درحالی‌که مدول بُرشی بدون تغییر باقی می‌ماند. مدول حجمی (K) شاخصی برای تراکم‌پذیری شاره و سنگ است. وجود آب در فضای منفذی مدول کشسان را افزایش می‌دهد. میزان افزایش مدول حجمی خیلی بیشتر از مدول بُرشی است. همچنین نسبت پواسون با افزایش اشباع آب افزایش می‌یابد (کاریسون و کوالینی، ۲۰۰۲). نسبت پواسون یک ویژگی مکانیکی مهم است و می‌تواند برای پیش‌بینی رفتار ژئومکانیکی در حین حفاری چاه‌ها و فرایندهای بازیافت مورد استفاده قرار گیرد. نسبت پواسون دینامیکی (محاسبه شده از نمودارهای DSI) ممکن است به‌طور قابل توجهی با نسبت پواسون استاتیکی (محاسبه شده از داده‌های مغزه) تفاوت داشته باشد (فجر و هولت، ۱۹۹۴؛ فجر و همکاران، ۱۹۹۲). دباق و همکاران (۲۰۱۱) روشن ساختند که مدول حجمی یک ویژگی قوی برای شناسایی شاره است. اگر سنگ ناهمسانگرد باشد، مدول بُرشی در کرناته‌ها ۵ تا ۲۰ درصد از حالت خشک به حالت اشباع با آب یا آب شور افزایش می‌یابد (آدام و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین در سنگ‌های ناهمسانگرد، V_p و V_s هر دو به تغییرات شاره حساس هستند. با افزایش درجه اشباع گاز به علت کاهش چگالی و جذب مولکولی گاز و متراکم شدن گاز آزاد در منافذ V_s افزایش می‌یابد (هامادا، ۲۰۰۴). کاهش قابل توجه مقادیر V_p/V_s برای سنگ‌های اشباع با آب و گاز نشان می‌دهد که نسبت سرعت نقش مهمی برای

۲ روش تحقیق

۱-۲ مدول‌های کشسان

سرعت امواج تراکمی و بُرشی به ماتریکس سنگ، تخلخل، کانی‌ها، چگونگی تماس دانه‌ها با یکدیگر و نوع شاره‌ها بستگی دارد. در محیط کشسان و همسانگرد سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی با استفاده از روابط زیر به مدول‌های کشسان مربوط می‌شوند:

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

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}. \quad (2)$$

پارامترهای مکانیک سنگ مانند نسبت پواسون، مدول یانگ، مدول حجمی و مدول بُرشی را می‌توان با استفاده از داده‌های سرعت امواج تراکمی و بُرشی و چگالی محاسبه کرد.

در نسبت پواسون برای محاسبه فشار شروع شکستگی و فشار بسته شدن شکستگی و همچنین برآورد شکستگی‌های هیدرولیکی با نسبت پواسون از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$v = 0.5 \left(\frac{V_p^2}{V_s^2} - 2 \right) / \left(\frac{V_p^2}{V_s^2} - 1 \right). \quad (3)$$

نسبت پواسون در نمونه‌های اشباع بزرگ‌تر از نمونه‌های خشک است. همچنین نسبت سرعت موج تراکمی به سرعت موج بُرشی با رابطه (۴) تعیین می‌شود:

$$\frac{V_p}{V_s} = [(\lambda + 2\mu)/\mu]^{0.5} = \left[\left(K + \frac{4}{3}\mu \right) / \mu \right]^{0.5} = [(1-v)/(0.5-v)]^{0.5}. \quad (4)$$

مدول حجمی یک سنگ همسانگرد به منزله نسبت تنش هیدرواستاتیک به کرنش بُرشی تعریف می‌شود. مقادیر مدول حجمی را می‌توان با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی یا تجزیه و تحلیل نمودارهای چاه‌پیمایی محاسبه کرد. رابطه (۵) مدول حجمی سنگ با سرعت تراکمی، سرعت بُرشی و چگالی است:

$$K\rho = V \left(\frac{2}{p} - \frac{4}{3} \frac{2}{s} \right) \quad (5)$$

اگر ρ ، V_p و V_s از تجزیه و تحلیل نمودارها به دست آمده باشند، مدول حجمی محاسبه شده K_{sat} (مدول حجمی در جای سنگ با شاره پُرکننده منافذ) است، اما اگر ρ ، V_p و V_s از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی یک نمونه مغزه خشک تعیین شوند، مدول حجمی محاسبه شده K_{dry} (مدول حجمی سنگ خشک) خواهد بود.

مدول بُرشی (μ) به منزله نسبت تنش بُرشی به کرنش بُرشی تعریف و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu = \rho V_s^2. \quad (6)$$

مدول حجمی به نوع شاره بسیار حساس است، در صورتی که مدول بُرشی به نوع شاره بسیار حساس نیست. این یک فرض اساسی برای کاربرد معادله گشمن است. وقتی گاز در فضای منفذی سنگ مخزن جایگزین آب می‌شود، چگالی سنگ کاهش می‌یابد، درحالی که تغییر قابل توجهی در مدول بُرشی ایجاد نمی‌شود. جایگزینی مایعات (با مدول حجمی زیاد یا تراکم‌پذیری کم) با گاز (تراکم‌پذیری زیاد یا مدول حجمی کم) سهم شاره منفذی بر مدول حجمی کلی سازند و سرعت موج تراکمی را کاهش می‌دهد. زمانی که آب با گاز جایگزین

(۱۰)

$$\lambda = \frac{vE}{(1+v)(1-2v)}$$

۲-۲ کاربرد ابزار تصویرگر صوتی بُرشی دوقطبی

(DSI) در میدان مورد بررسی

ابزار DSI برای به دست آوردن زمان‌های کندی امواج تراکمی و بُرشی مورد استفاده قرار گرفت. زمان گذر موج تراکمی نیز هنگام آشکارسازی اولین حرکت موج به دست می‌آید. علاوه بر این ابزار دارای دو فرستنده دوقطبی عمود برهم است، که برای ثبت امواج بُرشی استفاده می‌شود. فرستنده دوقطبی می‌تواند اندازه‌گیری زمان گذر امواج بُرشی را در مقایسه با فرستنده‌های تک‌قطبی بهتر ثبت کند.

عمق نفوذ امواج صوتی با فاصله بین گیرنده‌ها و فرستنده‌ها تغییر می‌کند. به علاوه این ابزار در سازندهای تراوا خصوصیات ناحیه آغشته به گل حفاری را اندازه‌گیری می‌کند.

میدان مورد بررسی شامل دوسوم نفت منابع شناخته شده و تقریباً یک‌سوم منابع گاز دنیا است. این مسئله به علت فراهم بودن همه شرایط مناسب برای تشکیل یک مخزن نفتی است. بررسی‌های صورت گرفته منجر به تفکیک سازندهای کنگان-دالان به چهار لایه K1، K2، K3 و K4 شده است (جدول ۱).

۳ بحث و بررسی

سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی از داده‌های زمان سیر امواج تراکمی و بُرشی تعیین می‌شوند. سرعت موج بُرشی از روابط بین سرعت‌های V_p و V_s برای یک ناحیه، با توجه به شرایط خاص آن ناحیه محاسبه می‌شود. با استفاده از ابزار DSI می‌توان سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی را با دقت نسبتاً زیادی تعیین کرد.

می‌شود سرعت موج بُرشی اندکی افزایش می‌یابد. بنابراین اگر در فضای منفذی گاز جایگزین آب شود، V_p/V_s کاهش می‌یابد (به علت کاهش V_p و افزایش V_s). با افزایش درجه اشباع گاز نسبت V_p/V_s کاهش می‌یابد. نسبت V_p/V_s در مقایسه با سرعت موج بُرشی و سرعت موج تراکمی حساسیت بیشتری به نوع شاره دارد. همچنین وجود گاز در فضای منفذی مدول‌های کشسان را کاهش خواهد داد. میزان کاهش مدول حجمی خیلی بیشتر از مدول بُرشی است. به علاوه نسبت پواسون نیز با افزایش درجه اشباع گاز کاهش خواهد یافت.

مدول یانگ (مدول کششی یا مدول کشسان) مقدار مقاومت یک جسم یا محیط کشسان است و کمیتی برای توصیف اجسام و محیط سنگی در محدوده‌ای از تنش است که قانون هوک معتبر است. مدول یانگ با استفاده از سرعت‌های موج تراکمی و بُرشی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۷)

$$E = \rho V_s^2 \frac{(3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2}$$

اگر جسم تحت تاثیر نیروهای تراکمی یا کششی قرار گیرد، مدول یانگ از تغییر طول جسم تعیین می‌شود. این مدول اساساً اندازه مقاومت سنگ است. مدول یانگ را می‌توان با استفاده از مدول حجمی و مدول بُرشی تعریف کرد:

$$E = 3k(1 - 2\mu) \quad (۸)$$

همچنین پارامتر لامه با استفاده از سرعت‌های موج تراکمی، موج بُرشی و چگالی با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda = \rho(V_p^2 - 2V_s^2) \quad (۹)$$

این پارامتر با مدول یانگ و نسبت پواسون رابطه دارد:

جدول ۱. بررسی سنگ‌شناسی براساس نمودار عرضی نوترون-چگالی.

نام سازند	لایه	فاصله عمقی (m)	سنگ‌شناسی
کنگان	K1	۲۸۳۶-۲۹۴۸	انیدریت، دولومیت تا دولومیت آهکی
	K2	۲۹۴۸-۲۹۵۴	سنگ آهک دولومیتی
		۲۹۵۴-۲۹۸۳	سنگ آهک
		۲۹۸۳-۲۹۹۳	سنگ آهک دولومیتی
دالان	K3	۲۹۹۳-۳۱۱۴	انیدریت، دولومیت تا دولومیت آهکی
	K4	۳۱۱۴-۳۱۲۷	سنگ آهک دولومیتی
		۳۱۲۷-۳۱۴۲/۸	سنگ آهک
		۳۱۴۲/۸-۳۱۶۹/۸	سنگ آهک تا سنگ آهکی دولومیتی
		۳۱۶۹/۸-۳۱۹۴/۵	سنگ آهک تا سنگ آهکی دولومیتی
		۳۱۹۴/۵-۳۲۰۰/۸	سنگ آهک
		۳۲۰۰/۸-۳۲۱۲/۵	سنگ آهک تا دولومیت آهکی

جدول ۲. مقادیر مدول‌های کشسان برای سازندهای کنگان و دالان.

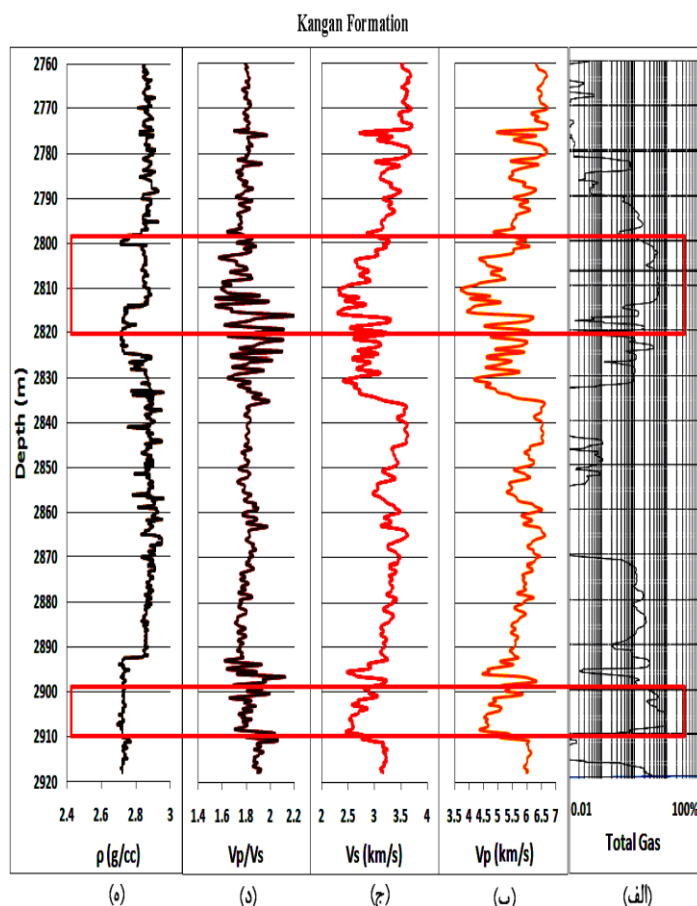
سازند	مقدار	μ	λ	K	E	θ
		(GPa)	(GPa)	(GPa)	(GPa)	-
کنگان	کمینه	۱۴/۴۳	۷/۵۵	۱۸/۷	۱۶/۷۳	۰/۱۳
	بیشینه	۳۹/۳۶	۶۰/۶۲	۸۱/۶۸	۵۶/۶۵	۰/۳۷
	میانگین	۲۸/۵۷	۳۶/۱۳	۵۵/۱۸	۴۰/۴	۰/۲۷
دالان	کمینه	۱۳/۱۷	۴/۲۸	۱۹/۵	۱۷/۰۶	۰/۰۷
	بیشینه	۳۶/۹۳	۵۹/۳۱	۷۹	۵۲	۰/۳۶
	میانگین	۲۵/۴۳	۳۱/۲	۴۸/۱۵	۳۵/۴۲	۰/۳۷

در این تحقیق نسبت V_p/V_s در میدان گازی مورد بررسی در محدوده مخزنی در سازندهای کنگان و دالان محاسبه شده است. همچنین داده‌های چگالی از نمودار چگالی در این محدوده به دست آمده است. با استفاده از سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی و چگالی، مدول‌های کشسان محاسبه و مقایسه شدند. در این تحقیق میانگین مدول‌های بُرشی و حجمی در سازند کنگان به ترتیب ۲۸/۵۷ و ۵۵/۱۸ گیگاپاسکال و در سازند دالان به ترتیب ۲۵/۴۳ و ۴۸/۱۵ گیگاپاسکال تعیین شده است. همچنین میانگین مدول یانگ در سازند کنگان ۴۰/۴ و در سازند دالان ۳۵/۴۲ گیگاپاسکال به دست آمده است. مقادیر مدول‌های کشسان برای سازندهای کنگان و دالان بالایی در جدول ۲ آورده شده است.

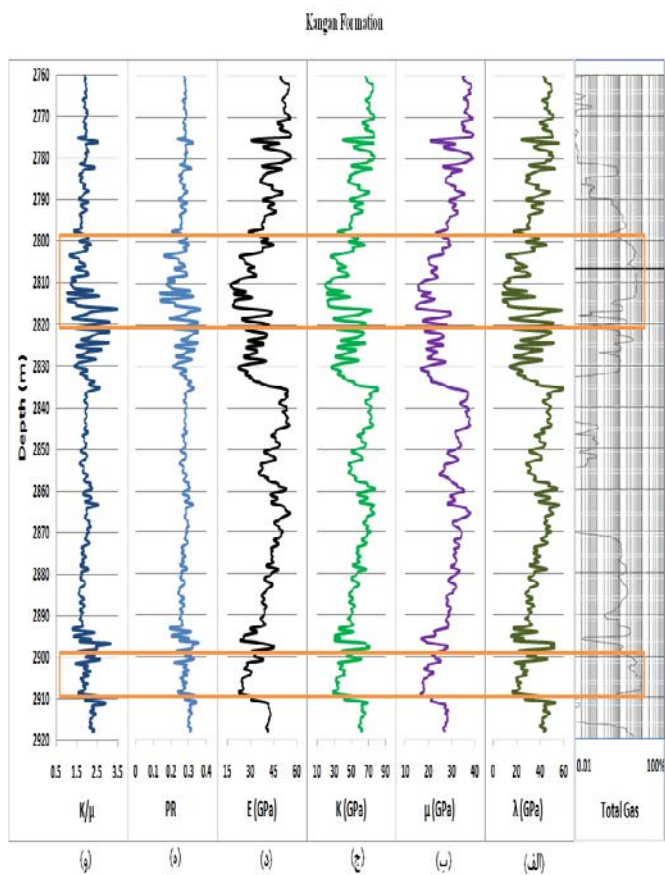
در این تحقیق نسبت V_p/V_s در میدان گازی مورد بررسی در محدوده مخزنی در سازندهای کنگان و دالان محاسبه شده است. همچنین داده‌های چگالی از نمودار چگالی در این محدوده به دست آمده است. با استفاده از سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی و چگالی، مدول‌های کشسان محاسبه و مقایسه شدند. در این تحقیق میانگین مدول‌های بُرشی و حجمی در سازند کنگان به ترتیب

مدول حجمی، مدول یانگ، نسبت پواسون و نسبت K/μ برحسب عمق برای سازند کنگان نشان داده شده است. در این شکل، محدوده‌های عمقی ۲۸۰۰ تا ۲۸۲۰ متری و ۲۹۰۰ تا ۲۹۰۸ متری در نمودار حجم گاز زیاد را نشان می‌دهند. در این نواحی عمقی مقادیر مدول‌های کشسان کاهش یافته‌اند.

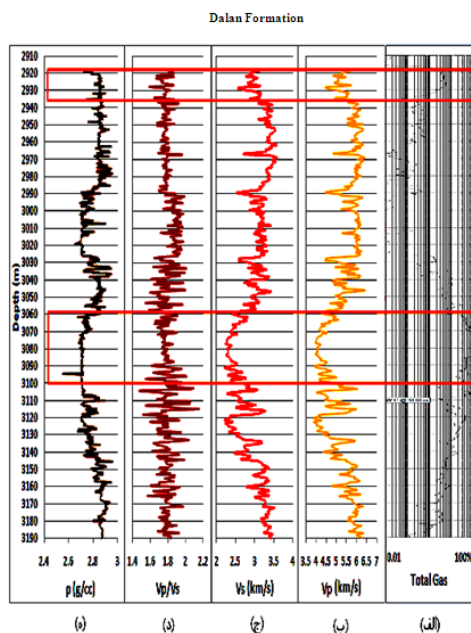
در شکل ۱ نمودارهای V_p ، V_s ، V_p/V_s ، چگالی و حجم گاز کل برحسب عمق برای سازند کنگان نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل (داخل کادر) مشخص شده است، محدوده‌های عمقی ۲۸۰۰ تا ۲۸۲۰ متری و ۲۹۰۰ تا ۲۹۰۸ متری میزان زیاد گاز به همراه کاهش سرعت‌های امواج P و S و چگالی را نشان می‌دهند. در شکل ۲ نمودار مدول‌های کشسان λ ، μ ،



شکل ۱. نمودارهای چاه برحسب عمق در سازند کنگان (الف) گاز کل، (ب) V_p ، (ج) V_s ، (د) V_p/V_s و (ه) چگالی.



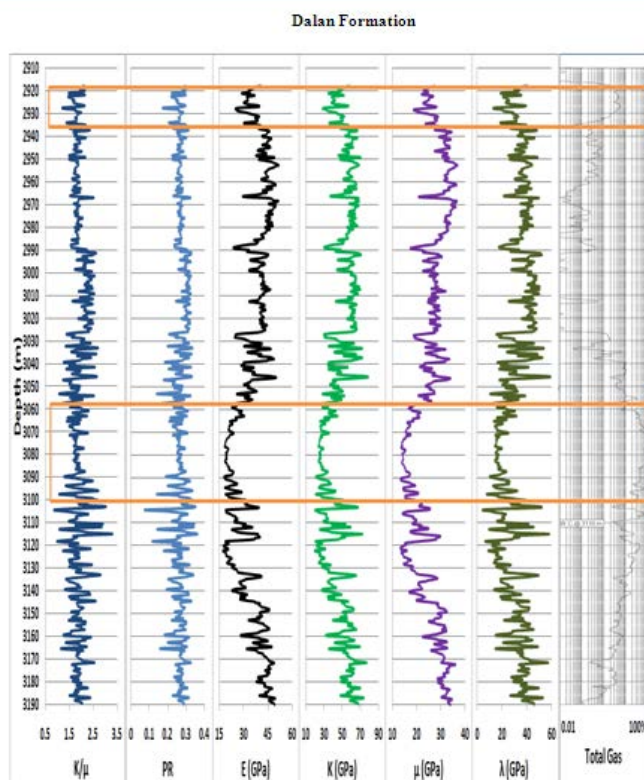
شکل ۲. نمودارهای مدول کشسان برحسب عمق در سازند کنگان (الف) λ ، (ب) μ ، (ج) K ، (د) E ، (ه) PR و (و) K/μ



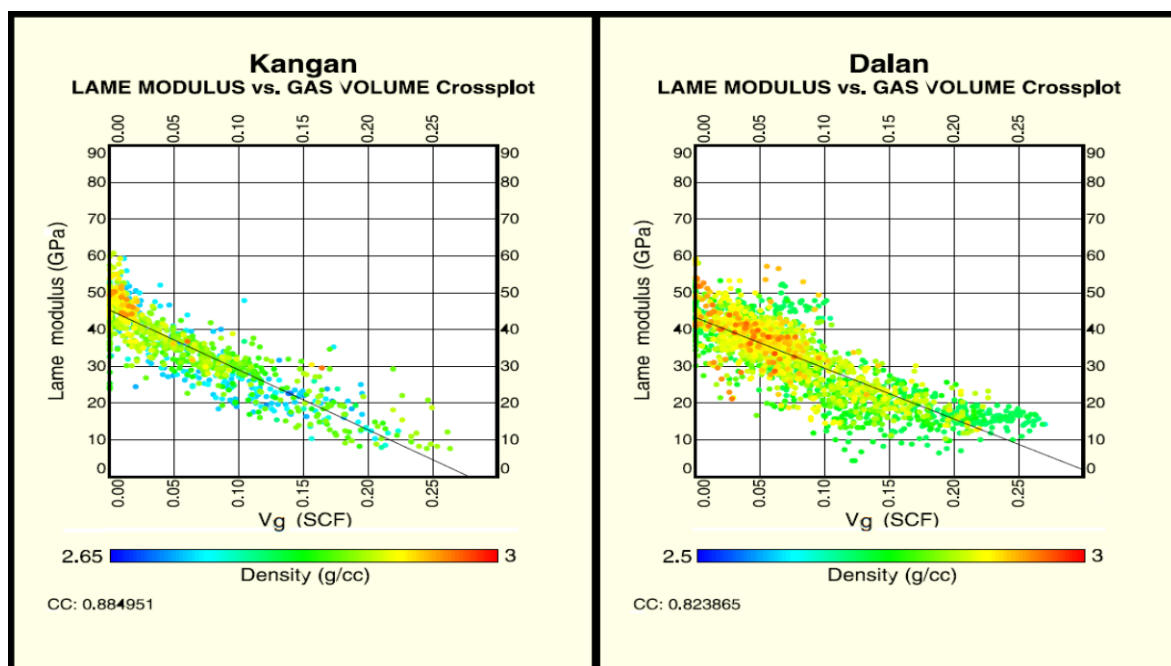
شکل ۳. نمودارهای چاه در سازند دالان بالایی (الف) گاز کل، (ب) V_p ، (ج) V_s ، (د) V_p/V_s و (ه) چگالی

در این تحقیق رابطه بین مدول‌های کشسان و حجم گاز با استفاده از نمودارها در سازندهای کنگان و دالان بالایی مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۵ رابطه بین مدول لامه - حجم گاز و چگالی آمده است. با توجه به شکل با افزایش حجم گاز مدول لامه کاهش می‌یابد. در شکل ۶ نیز کاهش مقادیر مدول بُرشی با افزایش حجم گاز همراه است. با توجه به شکل‌های ۷ و ۸ مدول‌های حجمی و یانگ نیز با افزایش حجم گاز کاهش می‌یابند. از مقایسه شکل‌های ۵ تا ۸ نتیجه می‌شود که مدول بُرشی و مدول حجمی به ترتیب کمترین و بیشترین همبستگی را با حجم گاز دارند.

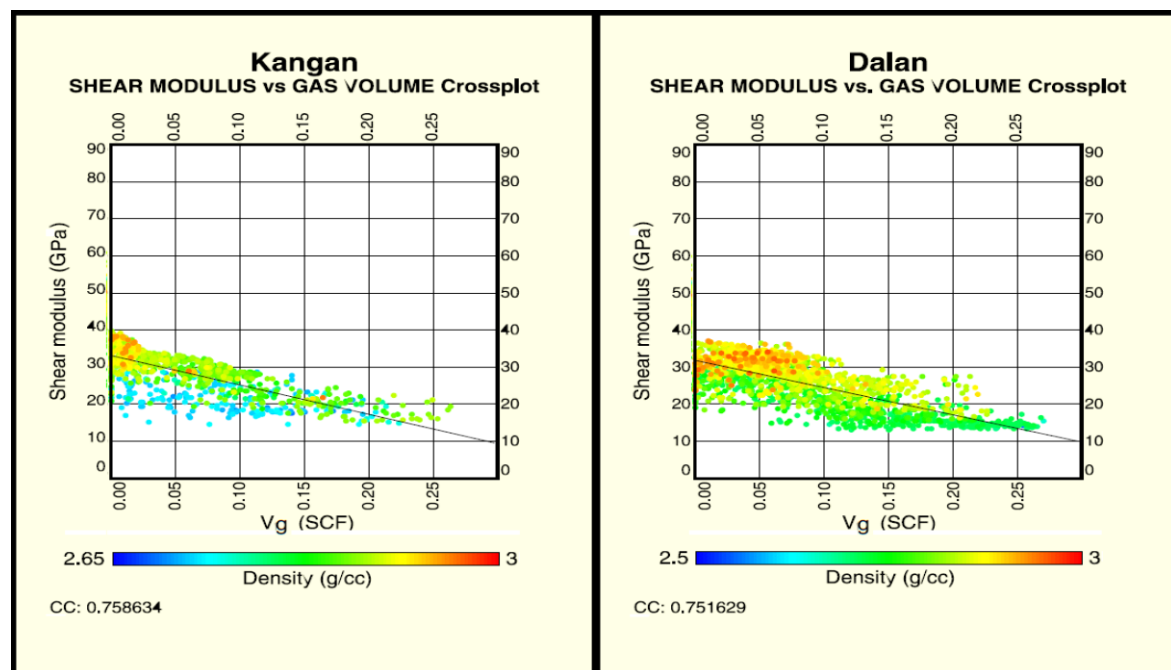
برای سازند دالان، نمودارهای V_p/V_s ، V_s ، V_p ، چگالی و درصد گاز برحسب عمق در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل (داخل کادر) مشخص شده است، در محدوده‌های عمقی ۲۹۲۰ تا ۲۹۳۵ و ۳۰۶۰ تا ۳۱۰۰ متری میزان گاز زیاد است. این نواحی کاهش سرعت امواج P و S و چگالی را به‌وضوح نشان می‌دهند. در شکل ۴ نمودار مدول‌های کشسان λ ، μ ، مدول حجمی، مدول یانگ، نسبت پواسون و نسبت K/μ برحسب عمق برای سازند دالان نشان داده شده است. در این شکل، در اعماق ۲۹۲۰ تا ۲۹۳۵ و ۳۰۶۰ تا ۳۱۰۰ متری (که در کادر مشخص شده)، میزان زیاد گاز مشهود است. همچنین این نواحی کاهش مدول‌های کشسان را نشان می‌دهند.



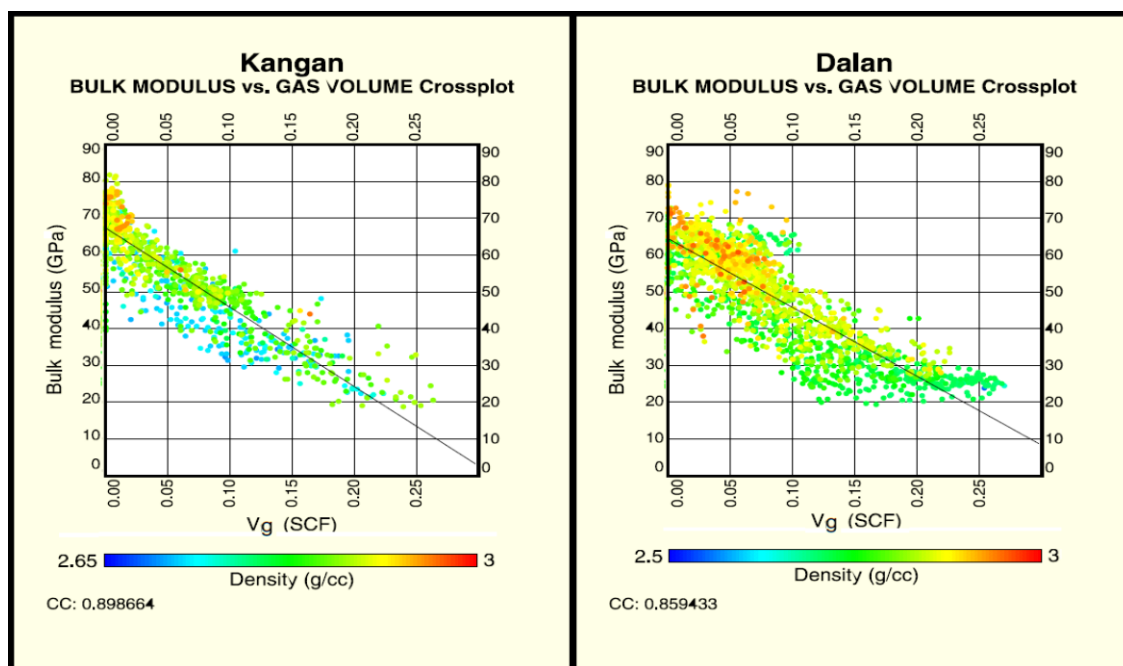
شکل ۴. نمودارهای مدول کشسان در سازند دالان بالایی (الف) λ ، (ب) μ ، (ج) K ، (د) E ، (ه) PR و (و) K/μ .



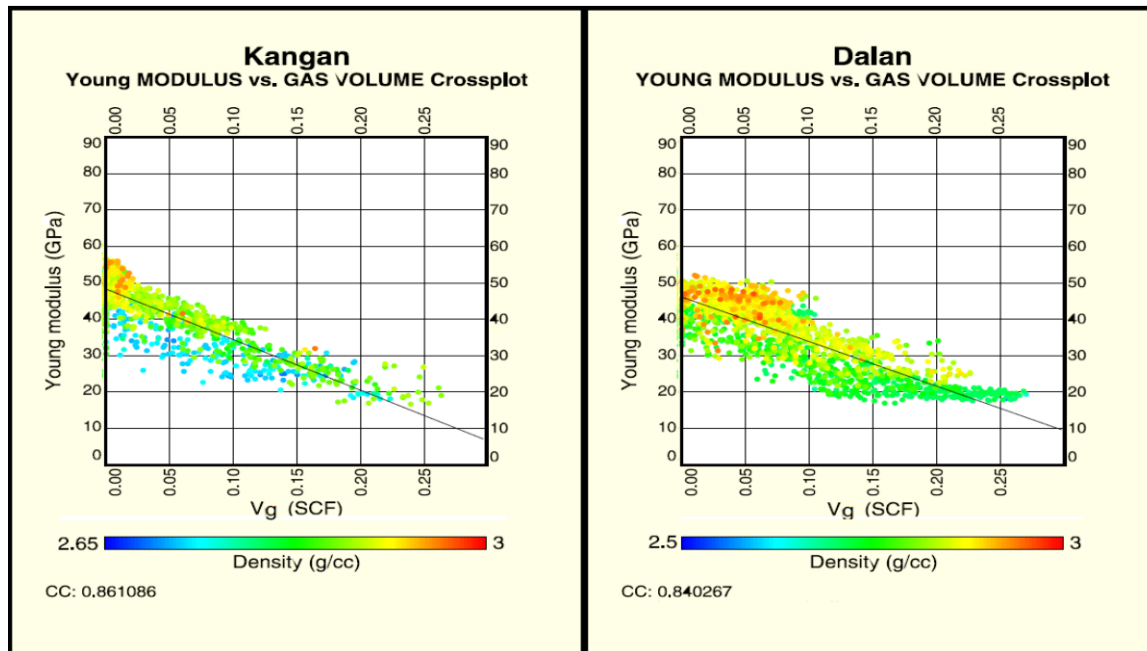
شکل ۵. نمودارهای مدول لامه-حجم گاز و چگالی برای سازندهای کنگان و دالان بالایی در میدان مورد بررسی.



شکل ۶. نمودارهای مدول برشی-حجم گاز و چگالی برای سازندهای کنگان و دالان بالایی در میدان مورد بررسی.



شکل ۷. نمودارهای مدول حجمی- حجم گاز و چگالی برای سازندهای کنگان و دالان بالایی در میدان مورد بررسی.



شکل ۸. نمودارهای مدول یانگ- حجم گاز و چگالی برای سازندهای کنگان و دالان بالایی در میدان مورد بررسی.

کاظمی، م. س.، ۱۳۹۳، برآورد رابطه همبستگی V_p-V_s و تعیین مدول‌های کشسان در سازندهای کنگان و دالان در میدان پارس جنوبی: مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۸، ۷۱-۸۱.

Adam, L., Batzle, M., and Brevik, I., 2006, Gassmann fluid substitution and shear modulus variability in carbonates at laboratory seismic and ultrasonic frequencies: *Geophysics*, **71**, 173-183.

Carcione, J. M., and Cavallini, F., 2002, Poisson's ratio at high pore pressure: *Geophysical Prospecting*, **50**, 97-106.

Dabagh, H., Hazim and Alkhafaf, S., 2011, Comparison of $K\rho$ and $\lambda\rho$ in clastic rocks, A test on two wells with different reservoir-quality stacked sands from West Africa: *The Leading Edge*, **30**, 986-994.

Fjaer, E., Horsrud, P., Raaen, A. M., and Risnes, R., 1992, *Petroleum Related Rock Mechanics*: Elsevier Science Publishers B. V.

Fjaer, E., and Holt, R. M., 1994, Rock acoustics and rock mechanics, Their link in petroleum engineering: *The Leading Edge*, **13**, 255-258.

Gassmann, F., 1951, Uber die Elastizitat poroser Medien: *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zurich*, **96**, 1-23.

Goodway, B., Chen, T., and Downton, J., 1997, Improved AVO fluid detection and lithology discrimination using Lamé petrophysical parameters: 67th Ann. Internat. Mtg: SEG, 183-186.

Hamada, G. M., 2004, Reservoir fluids identification using V_p/V_s ratio: *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, **59**, No. 6, 649-654.

Hopcroft, M. A., Nix, W. D., and Kenny, T. W., 2010, What is the Young's modulus of silicon: *J. Microelectromechanical Systems*, **19**, 229 – 238.

۳ نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده به طور خلاصه عبارت‌انداز:

۱- در سنگ‌های کربناته نسبت V_p/V_s در محدوده $1/6$ تا 2 می‌تواند مؤید میزان بالای اشباع گاز باشد.

۲- مدول‌های کشسان در ناحیه گازی با استفاده از داده‌های DSI که توان تفکیک زیادی نسبت به روش لرزه‌ای دارند محاسبه شده‌اند و به همین علت نتایج به دست آمده با نمودارهای دیگر قابل توصیف‌اند.

۳- در بررسی‌های صورت گرفته با افزایش میزان حجم گاز، مدول‌های کشسان کاهش می‌یابند و این روند با نمودارهای دیگر قابل مقایسه است.

۴- مقادیر مدول بُرشی در محدوده $13/5$ GPa تا 22 GPa و مقادیر مدول حجمی بین 21 GPa تا 45 GPa نشانگر در صد اشباع زیاد گاز است. همچنین مقادیر پارامتر لاه در محدوده 10 GPa تا 32 GPa و مقادیر مدول یانگ در محدوده $17/8$ GPa تا $30/6$ GPa می‌تواند مؤید درجه اشباع زیاد گاز باشد که با میزان حجم گاز تعیین شده نمودارها تطابق خوبی را نشان می‌دهد.

۵- مقادیر کم نسبت پواسون ($0/19$ تا $0/3$) و نسبت K/μ ($1/27$ تا $2/33$) به میزان حجم گاز نیز وابسته است. این وابستگی با بررسی نمودارهای دیگر کاملاً مشخص شد.

۶- در ناحیه گازی مورد بررسی کاهش مدول حجمی به مراتب بیشتر از مدول بُرشی است و این به علت تاثیر تراکم‌پذیری مدول حجمی در افق‌های مخزنی است.

منابع