

استفاده از روش LMR در تفکیک سیالات مخزنی و سنگ‌شناسی‌های متفاوت

در مخزن ماسه‌سنگی غار میدان ابودر در خلیج فارس

مرضیه میرزاخانیان^۱، عبدالرحیم جواهریان^۲ و مهدی اصغرزاده^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (e-mail: mirzakhanian@ut.ac.ir)

^۲عضو هیئت علمی مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران (e-mail: javaheri@ut.ac.ir)

^۳کارشناس ژئوفیزیک شرکت نفت فلات قاره (e-mail: masgharzadeh@iooc.co.ir)

(دریافت: ۸۶/۰۹/۲۶، پذیرش نهایی: ۸۷/۰۴/۰۳)

چکیده

وارون‌سازی AVO در استخراج پارامترهای لامه (μ و λ) می‌تواند در تشخیص سیالات مخزنی و سنگ‌شناسی‌های متفاوت به‌کار رود. μ_p و λ_p از جمله خصوصیات سنگ‌شناسی‌اند که می‌توان از داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش به‌دست آورد. بر اساس این روش مفسران می‌توانند LMR (λ - μ - ρ) را در حکم روش تحلیل AVO پیشرفته در تشخیص هیدروکربور و نوع سنگ‌شناسی مخزن مورد استفاده قرار دهند. در این مقاله به بررسی نتایج کاربرد روش LMR و مقایسه آن با نشانگرهای معمولی AVO (از جمله تغییرات نسبت پواسون) روی قسمتی از داده‌های سه‌بعدی مخزن ماسه‌سنگی غار میدان نفتی ابودر واقع در شمال‌غربی خلیج فارس پرداخته می‌شود. در این بررسی از داده‌های نگار یک چاه واقع در زون نفتی به منظور کالیبره کردن داده‌های واقعی استفاده شده‌است. پس از تهیه مقاطع ضرایب بازتاب موج تراکمی و موج برشی با اجرای تحلیل AVO، به کمک وارون‌سازی بر پایه مدل، مقاطع مقاومت لرزه‌ای موج تراکمی (I_p) و مقاومت لرزه‌ای موج برشی (I_s) به‌دست آمده‌است. سپس با کمک این مقاطع و روابط موجود بین آنها، مقاطع μ_p و λ_p به منظور تفکیک زون‌های هیدروکربوری و واحدهای سنگ‌شناسی متفاوت تهیه شده و مورد تفسیر قرار گرفته‌است.

کلیدواژه‌ها: وارون‌سازی AVO، پارامترهای لامه، روش LMR، ماسه‌سنگ غار

مقدمه

AVO مرسوم، به بررسی تغییرات غیرمعمول سرعت موج تراکمی (v_p) و سرعت موج برشی (v_s) به منظور تعیین تغییرات نوع سیال و همچنین خصوصیات سنگ‌شناسی می‌پردازد (گسمن، ۱۹۵۱؛ تاتام، ۱۹۸۲؛ کاستاگنا، ۱۹۹۳). روش‌های تحلیلی دیگر از اندازه‌گیری‌های لرزه‌ای به منظور تعیین نسبت پواسون (استراندر، ۱۹۸۴)، ضرایب بازتاب P و S یعنی تفاوت مقاومت لرزه‌ای (فتی و همکاران، ۱۹۹۴) یا $(v_p/v_s)^2$ (استراندر، ۱۹۸۴) استفاده می‌کند. با در نظر گرفتن شرایط مرزی (پیوستگی جابه‌جایی ذره و تنش در یک سطح بازتابنده) به کمک معادلات زوپریتس دامنه موج بازتاب و دامنه موج عبوری

بررسی تغییرات دامنه در برابر دورافت (AVO) به‌طور کلی عبارت است از استخراج نشانگرهای معمول AVO در ارتباط با تغییرات عرض از مبدأ و شیب و همچنین وارون‌سازی AVO که با استخراج خصوصیات کشسان سنگ می‌تواند در تشخیص سیالات مخزنی و سنگ‌شناسی‌های متفاوت به‌کار رود. تغییر دامنه بازتاب لرزه‌ای با فاصله فرستنده-گیرنده، بستگی به سرعت، چگالی و تغییر نسبت پواسون دارد که در حکم یک نشانگر مستقیم هیدروکربور، به‌ویژه گاز، به‌خاطر تغییر زیادی که در نسبت پواسون به‌وجود می‌آورد مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این‌رو تحلیل پتروفیزیکی و

$$I_p^2 = (V_p \rho)^2 = (\lambda + 2\mu)\rho \quad (3)$$

$$I_s^2 = (V_s \rho)^2 = \mu\rho \quad (4)$$

بر این اساس، استخراج پارامترهای λ و μ از نگارهای صوتی و چگالی، یا $\lambda\rho$ و $\mu\rho$ از داده‌های لرزه‌ای بدون دانستن چگالی و به کمک روابط زیر (گودوی و همکاران، ۱۹۹۷) صورت می‌پذیرد.

$$\lambda = V_p^2 \rho - 2V_s^2 \rho \quad \text{و} \quad \mu = V_s^2 \rho \quad (5)$$

$$\lambda\rho = I_p^2 - 2I_s^2 \quad \text{و} \quad \mu\rho = I_s^2 \quad (6)$$

نقطه شروع تحلیل AVO استفاده از تقریب‌های ساده و خطی معادله زوپریتس (۱۹۱۹) است که یکی از آنها را آکی و ریچاردز (۱۹۸۰) ارائه کردند، در این تقریب‌ها، تغییرات ضریب بازتاب در حکم تابع زاویه برخورد را بر اساس تغییرات سرعت موج تراکمی، سرعت موج برشی و چگالی در بازتابنده فرمول‌بندی می‌کند. این تقریب حتی در زوایای بیشتر از زاویه بحرانی در صورتی که تفاوت بازتاب کوچک باشد صحیح است (داونتون و اورسناخ، ۲۰۰۵). زاویه فرود بستگی به عمق و شیب بازتابنده دارد و برای تبدیل دور افت به زاویه برخورد به مدل سرعت و برآورد صحیح شیب نیاز است که به کمک ردیابی پرتو صورت می‌گیرد (مک‌گروگر، ۲۰۰۷). معادله آکی و ریچاردز با توجه به عبارات مدول و چگالی به صورت معادله (۷) تغییر می‌کند (گودوی، ۲۰۰۱).

$$R(\theta) = \frac{1}{4}(1 + \tan^2 \theta) \frac{\Delta(\lambda + 2\mu)}{(\lambda + 2\mu)} - 2 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2 \sin^2 \theta \frac{\Delta\mu}{\mu} + \frac{1}{4}(1 - \tan^2 \theta) \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad (7)$$

حاصل از برخورد موج تراکمی به یک بازتابنده تخت و در نهایت چگالی و سرعت لرزه‌ای به دست می‌آید. تبدیل اندازه‌گیری‌های سرعت به پارامترهای مدول لامه (λ) و μ ، بینش جدیدی در ارتباط با فاکتورهای کنترل کننده خصوصیات سنگ به دست می‌دهد. تعیین دقیق زون‌های مخزنی با توجه به حساسیت زیاد فاکتور تراکم ناپذیری به سیالات منفذی صورت می‌گیرد و تفکیک سنگ‌شناسی به کمک تغییرات ضریب برشی، تراکم ناپذیری و چگالی که پارامترهای سرعت‌های لرزه‌ای اند، صورت می‌گیرد (گودوی و همکاران، ۱۹۹۷).

۲ نظریه و روش کار

روش‌های استاندارد تحلیلی پیش گفته، با آنکه به ظاهر متفاوت به نظر می‌رسند، اساساً وابسته به تغییرات V_p و V_s و چگالی اند؛ اگرچه هر چند پارامترهای لامه در آنها پنهان می‌ماند. کاستاگنا و همکاران (۱۹۹۳) معتقدند که تشخیص سیالات منفذی با کمک مدول بالک (K) که در معادله سرعت موج تراکمی ($V_p^2 = (K + (4/3)\mu)/\rho$) حضور دارد امکان‌پذیر است. معادلات ۱ و ۲ ارتباط بین λ شاخص سیال منفذی و μ شاخص ماتریکس سنگ با سرعت امواج لرزه‌ای را نشان می‌دهد.

$$V_p^2 = (\lambda + 2\mu)/\rho \quad (1)$$

$$V_s^2 = \mu/\rho \quad (2)$$

از آنجا که در این معادلات، چگالی به مثابه کمیتی مستقل در استخراج مدول‌ها ظاهر می‌شود، به منظور بالا بردن دقت و کاهش تعداد مجهول، پیشنهاد می‌شود که از رابطه مدول/چگالی با سرعت‌ها یا مقاومت لرزه‌ای استفاده شود. رابطه بین مقاومت لرزه‌ای (I)، با سرعت لرزه‌ای و مدول‌ها همانند معادلات ۳ و ۴ بیان می‌شود.

می‌شود. حضور گاز روی ضریب برشی سنگ تأثیر ندارد، بنابراین پاسخ AVO قابل توجهی که حاصل تفاوت بین تراکم ناپذیری و ضریب برشی است حاصل می‌گردد. مقایسه پاسخ‌های AVO نشان می‌دهد که پاسخ AVO سنگ‌های کربناته گازدار، معمولاً نسبت به ماسه‌های گازدار اهمیت کمتری دارد (گری و آندرسون، ۲۰۰۱). چرا که بیشتر انرژی موج تراکمی از طریق ماتریکس کربناته سخت منتقل می‌شود. با این توضیح استفاده از مفاهیم تراکم‌ناپذیری و ضریب برشی در درک تفاوت پاسخ‌های AVO مشاهده شده در این دو نوع سنگ‌شناسی کاربرد دارد. در مواردی که مواد بیشتر تراکم‌ناپذیرند تا سخت یعنی $\mu > \lambda$ است، یک توزیع غیریکنواخت تنش باعث تغییر شکل دانه‌ها و کشیدگی در یک جهت می‌شود. این شکل دانه‌بندی اغلب در شیل‌های متورق دیده می‌شود. در مواردی که توزیع یکنواخت تنش وجود دارد ($\lambda = \mu$)، دانه‌ها به صورت انقافی مرتب می‌شوند. چنین رفتاری اغلب در ماسه‌ها دیده می‌شود. بنابراین نسبت λ به μ در تفکیک شیل و ماسه از یکدیگر کاربرد دارد. در شرایطی که خصوصیات سنگ‌شناسی تغییر نکند تغییر نوع سیال روی λ اثر خواهد داشت. تأثیر آب روی تراکم‌ناپذیری کمترین مقدار و گاز بیشترین مقدار است. شکل ۱ چگونگی تغییر تراکم‌پذیری با تغییر نوع سیال را نشان می‌دهد. از این رو انواع متفاوت سنگ‌شناسی در مقطع کراس پلات λ_p و μ_p قابل تفکیک است. لازم به ذکر است که این دو پارامتر را همچنین می‌توان مستقل در نظر گرفت و به طور جداگانه تفسیر کرد هر چند به صورت ترکیبی این پارامترها اطلاعات مضاعفی در مورد خصوصیات کانی‌شناسی و محتوای سیال سنگ‌ها به دست می‌دهند. این مزیت مهمی در مقایسه با روش‌های قبلی به کار رفته در تشخیص تجمع گاز است. برای نمونه در کراس پلات سرعت موج برشی به سرعت موج تراکمی، یا نسبت پواسون به سرعت موج

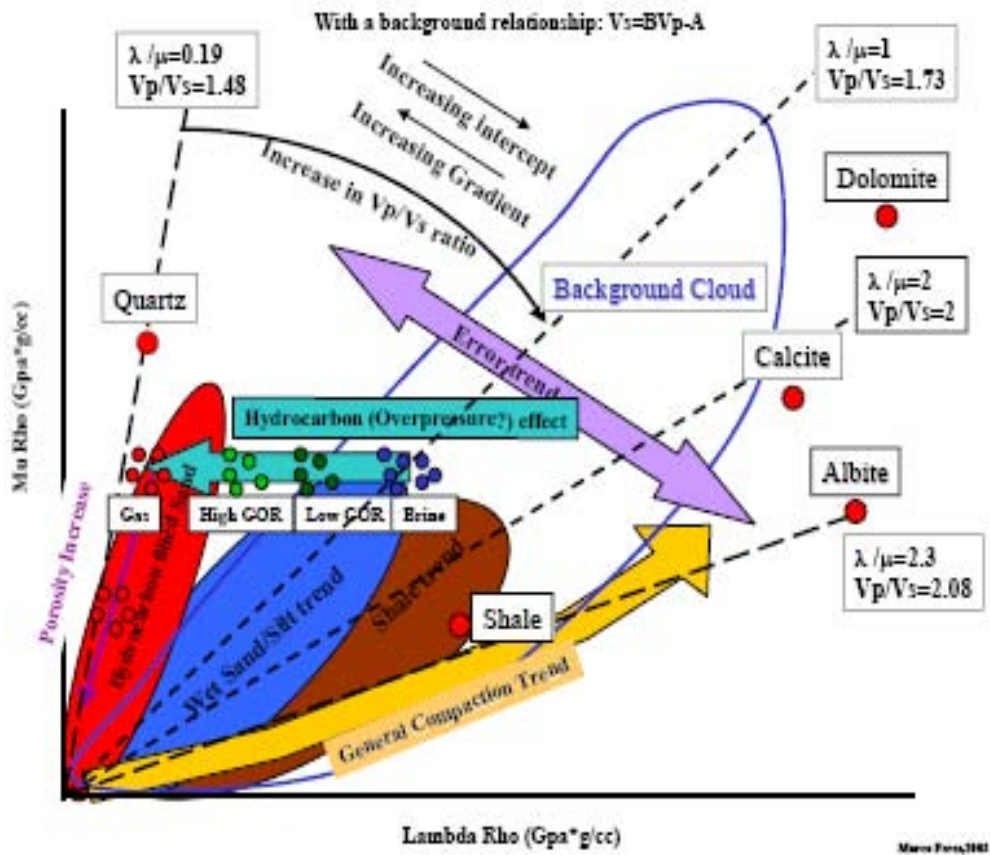
از آنجا که این معادله، تغییرات AVO را با توجه به مدول و عبارت مستقل چگالی نشان می‌دهد، شاید برای تحلیل AVO چندان کاربردی نباشد. معادله اصلاح شده برای استخراج ضرایب بازتاب موج تراکمی و موج برشی یا تفاوت مقاومت لرزه‌ای را فتی و همکاران (۱۹۹۴) ارائه کردند.

$$R(\theta) = (1 + \tan^2 \theta) \frac{\Delta I_p}{2I_p} - 8 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2 \sin^2 \theta \frac{\Delta I_s}{2I_s} - \left(\frac{1}{2} \tan^2 \theta - 2 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2 \sin^2 \theta \right) \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (8)$$

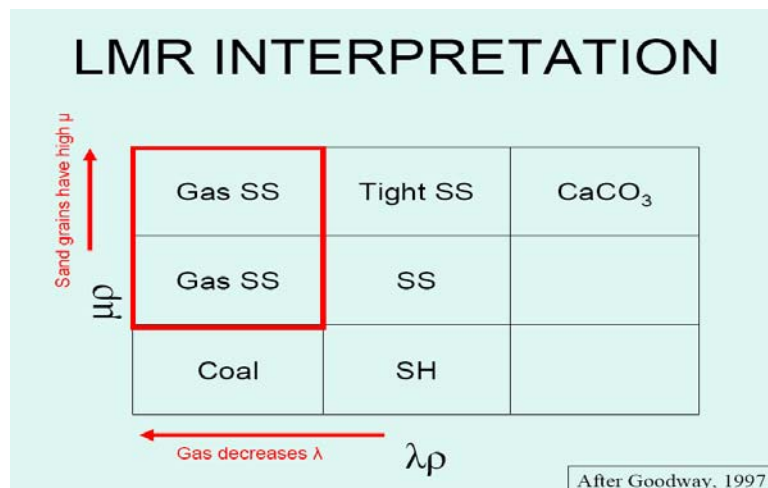
در این معادله با استفاده از روش کم‌ترین مربعات یا روش نرم L1، مقدار $R_p(0)$ و $R_s(0)$ به کمک دو جمله اول معادله با حذف جمله سوم در صورتی که V_p/V_s تقریباً برابر ۲ و زوایا کوچک باشد، محاسبه می‌شود (گودوی و همکاران، ۲۰۰۶). با دانستن مقاطع ضرایب بازتاب P و S ، مرحله بعدی به دست آوردن I_p و I_s از راه وارون‌سازی است. در نهایت با استفاده از روابط I_p و I_s با λ_p و μ_p که در معادله ۶ ذکر شد، استخراج λ_p و μ_p ممکن است.

۳ مزایای تحلیل LMR

مدول‌های لامه را می‌توان به کمک داده‌های لرزه‌ای پیش از برنبارش به دست آورد و به طور خاص λ_p و μ_p نیز از جمله پارامترهای سنگ‌شناسی قابل محاسبه‌اند. مفاهیم تراکم‌ناپذیری و ضریب برشی در درک پاسخ‌های AVO کاربردی‌اند چرا که در عین سادگی، مفاهیمی اساسی هستند. برای مثال تفاوت بین پاسخ‌های AVO شاخص در ماسه‌سنگ‌ها و کربنات‌ها در این است که سنگ‌ها و سیالات به راحتی فشرده نمی‌شوند، در حالی که در گاز فشرده‌گی به آسانی صورت نمی‌گیرد. از این رو وجود گاز در شکستگی‌ها و منافذ سنگ‌های دانه‌ای، مانند بعضی ماسه‌سنگ‌ها، باعث کاهش قابل توجه تراکم ناپذیری



شکل ۱. بررسی تغییرات سنگ‌شناسی و پتروفیزیکی با استفاده از مقطع کراس پلات $\mu\rho$ نسبت به $\lambda\rho$ (پرز و تان، ۲۰۰۳).



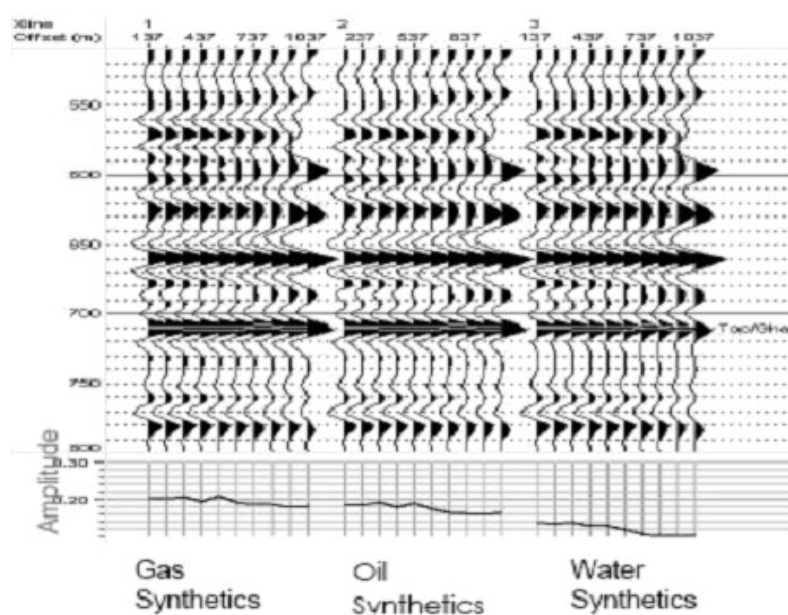
شکل ۲. کراس پلات $\mu\rho$ نسبت به $\lambda\rho$ که مرز بین سنگ‌شناسی‌های متفاوت را بصورت مرزهای عمودی نشان می‌دهد. عبارات داخل شکل بدین معنی هستند. Coal، زغال؛ GasSS، ماسه گازدار؛ SH، شیل؛ SS، ماسه‌سنگ؛ TightSS، ماسه‌سنگ سیمانی و CaCO₃، آهک (گری و آندرسون، ۲۰۰۰).

درصد تغییرات متوسط ضرایب لامه نسبت به سایر نشانگرها بیشتر است، روش LMR نسبت به سایر روش‌های تحلیل AVO از دقت و قدرت بیشتری برخوردار است. برای نمونه نسبت پواسون که متناسب با $(Vp/Vs)^2$ است رابطه نزدیکی با حساس‌ترین خصوصیت سنگ λ/μ ، $(Vp/Vs)^2 = \lambda/\mu + 2$ دارد ولی ثابت ۲ در این معادله هم مرتبه با λ/μ است از این رو تأثیر تغییرات نسبی این نسبت در خصوصیات متفاوت سنگ‌شناسی کاهش می‌یابد (گودوی، ۲۰۰۱). این روش روی قسمتی از داده‌های سه‌بعدی میدان نفتی ابوذر در خلیج فارس به کار رفت که در ادامه به بررسی آن پرداخته می‌شود.

تراکمی، هر دو پارامتر می‌بایست به‌طور همزمان تفسیر شوند. ولی در روش LMR زون‌های هدف به کمک یکی از مقاطع $\lambda\rho$ و $\mu\rho$ شناسایی می‌شوند و مقطع دیگر برای توضیح بهتر و دقیق‌تر اولیه به کار می‌رود. برای مثال زون‌هایی با $\lambda\rho$ کم، نمایانگر حضور گازاند. از آنجا که ماسه‌های گازی دارای $\mu\rho$ زیاد هستند، به کمکاطلاعات حاصل از $\mu\rho$ از حضور گاز اطمینان بیشتری حاصل می‌شود. تشخیص درجه اشباع ماسه از گاز به کمک مقدار $\lambda\rho$ ، و همچنین درجه سختی ماسه از روی مقدار $\mu\rho$ قابل تشخیص است (ژانگ و لی، ۲۰۰۵). در اینجا باید اشاره کرد که یکی از مزایای کراس‌پلات این روش آن است که مرز جدایی واحدهای سنگ‌شناسی متفاوت به‌صورت عمودی است (شکل ۲). از آنجا که



شکل ۳. مقایسه تغییرات Vs، Vp و چگالی در اثر تغییر نوع سیال در مخزن، نگار نارنجی مربوط به حالت گازدار، سرخ مربوط به حالت نفت‌دار و آبی مربوط به حالت آب‌دار است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با عبور از رأس مخزن مقدار این متغیرها کاهش می‌یابد. مقدار چگالی و سرعت موج تراکمی در حالت گازدار کمتر از دو حالت دیگر مخزن است. سرعت موج برشی تقریباً برای همه حالت‌ها برابر ولی مقدار آن در حالت گازدار اندکی بیشتر است. ناحیه مخزن به کمک دو افق (TOP Ghar و OWC) مشخص شده است.



شکل ۴. تغییرات دامنه در برابر دورافت در رأس مخزن مربوط به گروههای نقطه میانی مشترک مصنوعی با تغییر نوع سیال

۴ منطقه مورد بررسی

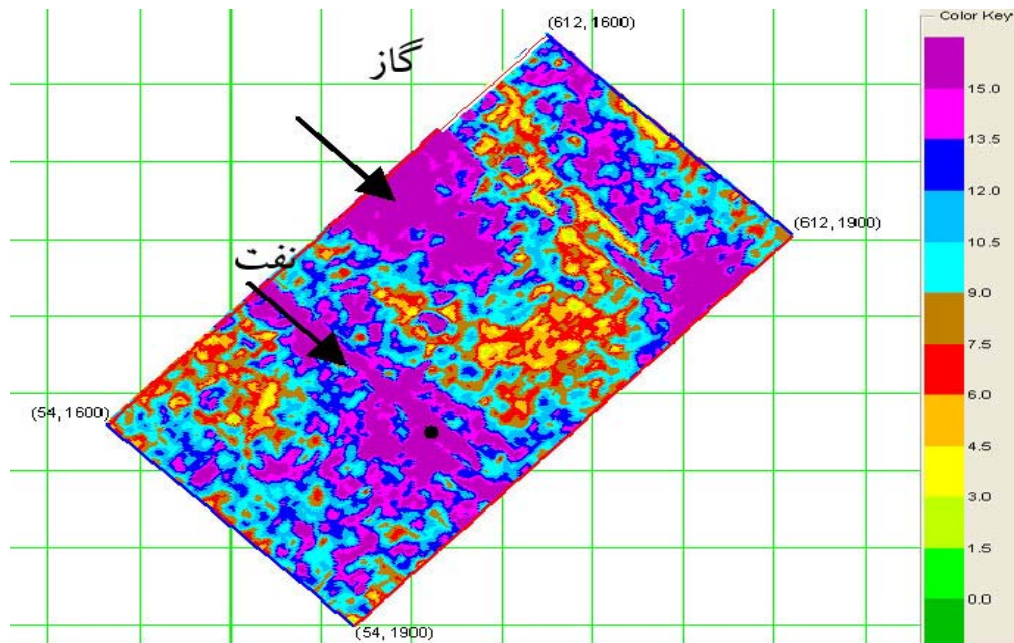
در میدان ابوذر واقع در شمال غرب خلیج فارس، هیدروکربور از سازند الیگومیوسن غار تولید می شود. عمق مخزن غار بین ۸۲۰ تا ۸۸۰ متر است. میدان تاقدیسی با روند NW-SE با ستون هیدروکربور در حدود ۶۲ متر است که ۴۴ متر آن نفت و ۱۸ متر آن متعلق به قشر گازدار است. در زیر آن لایه آبدار گسترش دارد. مخزن غار را چندین متر لایه انیدریتی متعلق به سازند آسماری بالایی پوشانده است. محیط رسوب گذاری دلتایی و رودخانه ای و مخزن نفتی غار شامل حداکثر ۱۰۰ متر ماسه سخت نشده با کیفیت خوب (تخلخل ۳۰٪ و نفوذپذیری متوسط ۲۵۰۰ میلی داری) با بین لایه های شیل و دولومیت و ماسه ها با سیمان دولومیتی و لایه های انیدریتی است. در قسمت پایین سازند لایه های کربناته متعلق به آسماری زیرین قرار دارد.

منظور کالیبره کردن داده های واقعی استفاده شده است. سرعت موج برشی در این چاه نیز اندازه گیری شده است. پس از اعمال فیلتر median و حذف تغییرات ناگهانی سرعت و چگالی به ترتیب نگارهای صوتی و چگالی، معادله گسمن (۱۹۵۱) برای پیش بینی تغییرات خواص لرزه ای مخزن (V_p و V_s و ρ) در اثر جابه جایی سیال موجود مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۳ تغییرات چگالی، سرعت موج تراکمی و سرعت موج برشی مرتبط با سیالات متفاوت (گاز، نفت و آب) نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود، با عبور از پوش سنگ به داخل مخزن برای سیالات متفاوت، هر سه پارامتر (V_p و V_s و ρ) کاهش می یابد. بنابراین می بایست یک تفاوت مقاومت لرزه ای منفی بین پوش سنگ و مخزن وجود داشته باشد. مدل سازی مستقیم به کمک معادله آکی و ریچاردز (۱۹۸۰) و موجک استخراج شده با ۱۸۰

در این تحقیق از چاهی که در زون نفتی قرار دارد به

متفاوت‌اند. با تحلیل AVO هرچند زون‌های هیدروکربوری شناسایی شد ولی تشخیص زون‌های گازدار و نفت‌دار به کمک نشانگرهای معمولی AVO از جمله عرض از مبدأ، شیب، یا ترکیب آنها و تغییر نسبت پواسون به راحتی صورت نگرفت، که نفت‌دارای گازهای محلول است و پاسخ AVO آن به گاز شباهت دارد (میرزاخانیان، ۱۳۸۶). در شکل ۵ تغییرات نسبت پواسون در افق بالایی مخزن غار نشان داده شده است که در آن تفکیک قسمت‌های نفتی و گازی، با توجه به مقدار این متغیر، مشکل است. در مرز بین زون‌های گازدار و نفت‌دار اثر تیونینگ قابل مشاهده است.

درجه چرخش فاز برای سه نوع سیال در بالای مخزن صورت گرفته‌است که در شکل ۴ مشاهده می‌شود. با توجه به این شکل می‌توان نتیجه گرفت که پاسخ AVO مربوط به بالای غار متعلق به کلاس IV، طبقه‌بندی رفتار AVO (کاستاگنا و همکاران، ۱۹۹۸) است، که با داده‌های واقعی نیز همخوانی دارد. یعنی در هر سه جانشینی، ضریب بازتاب نرمال منفی و شیب مثبت است. البته در شکل ۳ تفاوت مربوط به عرض از مبدأ و شیب ناشی از چرخش فاز موجک می‌باشد که بالای مخزن به صورت یک قله مشخص شده‌است. مدل‌سازی نشان می‌دهد زون‌های حاوی گاز، نفت و آب در این مخزن دارای مقادیر تقریباً یکسان شیب ولی مقادیر عرض از مبدأ

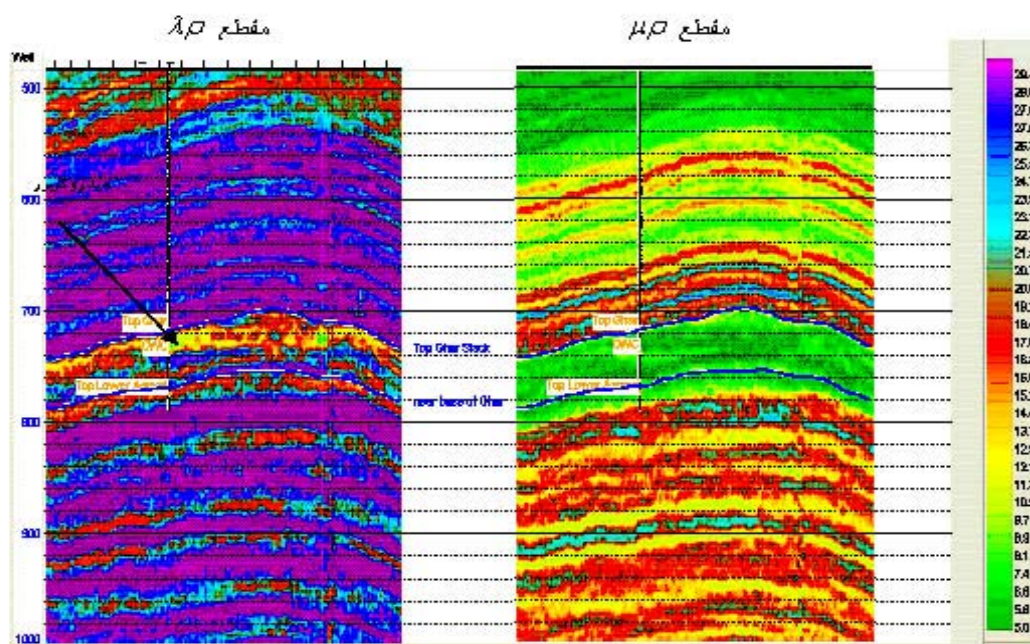


شکل ۵. تغییرات نسبت پواسون در رأس مخزن در حکم یک نشانگر AVO، مقیاس رنگی نسبت تغییرات این پارامتر را نشان می‌دهد. این نشانگر هر چند سیالات مخزنی را تفکیک می‌کند ولی تمایزی بین قسمت‌های گازدار و نفت‌دار وجود ندارد. پدیده تیونینگ در مرز بین گاز و نفت قابل مشاهده است. نقطه سیاه محل چاه منطقه نفت‌دار مورد استفاده است.

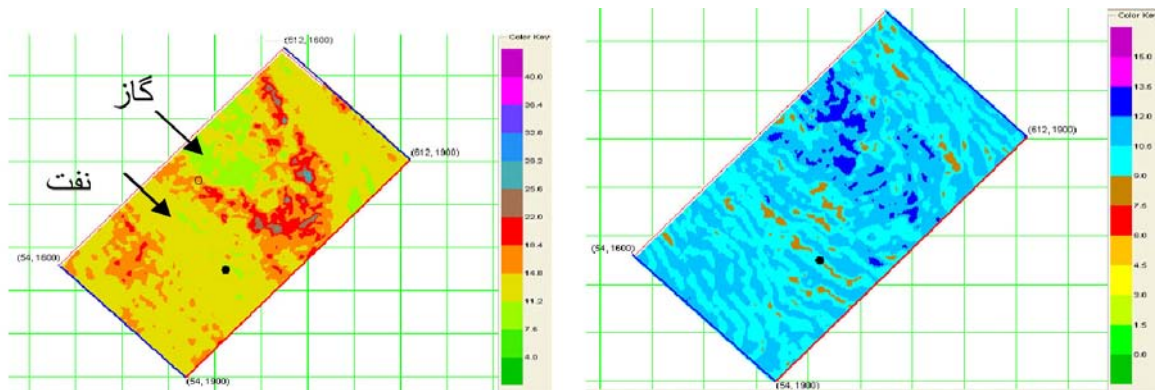
ترتیب که قسمت‌های گازی مقدار $\lambda\rho$ کمتری نسبت به قسمت‌های نفتی دارند. این نتایج، با نتایج حاصل از تفسیر چاه‌های منطقه مطابقت دارد. مقطع $\mu\rho$ در قسمت مخزن با توجه به کاهش سرعت و چگالی، در مقایسه با قسمت‌های بالایی و پایینی مقدار کمی را نشان می‌دهد. نقشه $\mu\rho$ مربوط به افق بالایی مخزن (شکل ۶) در قسمت گازدار همان‌طور که انتظار می‌رود مقدار بیشتری دارد. در ادامه با تهیه مقطع کراس‌پلات $\lambda\rho$ نسبت به $\mu\rho$ داده‌های لرزه‌ای، به بررسی تغییرات سنگ‌شناسی در مخزن پرداخته شد که نتایج آن در شکل ۷ آورده شده است. در این مقطع همان‌طور که ملاحظه می‌شود، لایه‌های شیلی قابل شناسایی و تفکیک از ماسه‌های غالب مخزن‌اند.

بعد از تهیه مقاطع ضریب بازتاب P و S از تحلیل AVO، با انجام وارون‌سازی بر پایه مدل، مقاطع I_p و I_s تولید شد. سپس با توجه به روابط موجود بین I_p و I_s با ضرایب لامه $\mu\rho$ و $\lambda\rho$ پیش‌گفته (معادله ۶)، مقاطع $\mu\rho$ و $\lambda\rho$ ساخته شد. در شکل ۵ مقاطع مورد نظر روی یکی از خطوط لرزه‌نگاری که چاه روی آن قرار دارد مشاهده می‌شود. در مقطع $\lambda\rho$ یک زون با تراکم‌ناپذیری کم مشاهده می‌شود که بنا بر آنچه بیان شد انتظار می‌رود مربوط به زون هیدروکربور باشد (میرزاخانیان، ۱۳۸۶).

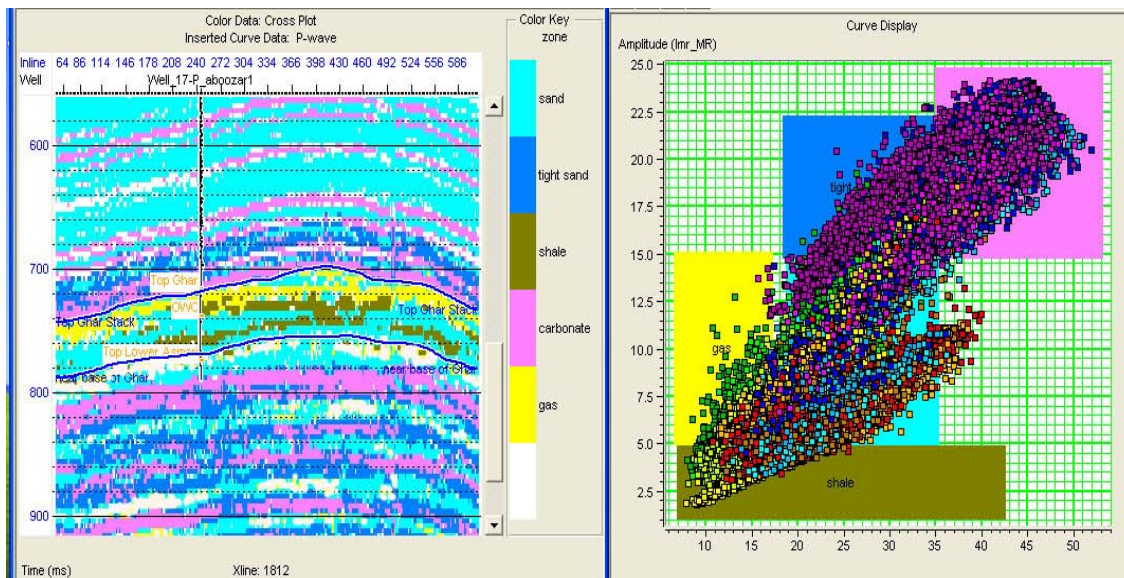
شکل ۶ تغییرات $\lambda\rho$ و $\mu\rho$ را در بالای مخزن نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود به کمک $\lambda\rho$ ، تفکیک قسمت‌های نفت‌دار و گازدار مقدور است. بدین



شکل ۶. مقاطع $\lambda\rho$ و $\mu\rho$ ، کاهش غیر معمول در مقطع $\lambda\rho$ نشان‌دهنده حضور هیدروکربور است همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقطع $\mu\rho$ در قسمت ماسه‌سنگ مخزن مقدار کمتری نسبت به لایه‌های کربناته و انیدریتی بالا و پایینی مخزن دارد. مقیاس رنگی، تغییرات پارامترهای لامه را نشان می‌دهد.



شکل ۷. نمایش تغییرات نسبی $\lambda\rho$ (سمت چپ) و $\mu\rho$ (سمت راست) روی افق بالای غار، مقیاس رنگی، تغییرات $\lambda\rho$ و $\mu\rho$ را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود به‌کمک $\lambda\rho$ قادر به جداسازی قسمت‌های گازدار و نفت‌دار هستیم، $\mu\rho$ قابلیت جداسازی ماسه‌ها با کیفیت و سختی متفاوت در روی افق بالای غار را دارا می‌باشد که با نتایج حاصل از تفسیر چاه‌های موجود در منطقه همخوانی دارد. در منطقه گازدار همان‌طور که انتظار می‌رود مقدار $\mu\rho$ بالا است. نقطه سیاه محل چاه مورد استفاده را نشان می‌دهد.



شکل ۸. تفکیک سنگ‌شناسی‌های متفاوت به کمک ترسیم پلی‌گون‌های رنگی در مقطع کراس پلات با توجه به مقایسه‌های صورت گرفته با نگاره‌های چاه مورد استفاده (سمت راست). مقطع لرزه‌ای مربوط به کراس پلات به انجام رسیده، همان‌طور که ملاحظه می‌شود، لایه‌های شیلی (سبز) به خوبی در مقطع قابل شناسایی و تفکیک از سنگ‌شناسی غالب مخزن‌اند (سمت چپ).

- Freeman and Co., New York.
- Castagna, J.P., 1993, Petrophysical Imaging using AVO: The Leading Edge, **12**, (3), 172-179.
- Castagna, J.P., Batzle, M.L. and Kan, T.K., 1993, Rock physics- The link between rock properties and AVO response: in Goodway, B., 2001, AVO and Lamé constants for rock parameterization and fluid detection: Recorder, **26**, (6) 39-60.
- Castagna, J.P., Swan, H.W. and Foster, D.J., 1998, Frame work for AVO gradient and intercept interpretation: Geophysics, **63**, 948-956.
- Downton, J. and Ursenbach, C., 2005, Linearized AVO inversion with supercritical angle: CSEG National Convention Expanded Abstracts, 32-35.
- Fatti, J.L., Smith, G.C., Vali, 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**, 1362-1376.
- Gassmann, F., 1951, Elastic wave through a packing of spheres: Geophysics, **16**, 673-685.
- Goodway, B., Varsek, J. and Abaco, Ch., 2006, Practical applications of P-wave AVO for unconventional gas resource plays; Seismic petrophysics and isotropic AVO: Recorder, April, 53-65.
- Goodway, B., 2001, AVO and Lamé constants for rock parameterization and fluid detection: Recorder, **26** (6), 39-60.
- Goodway, B., Chen, T. and Downton, J., 1997, Improved AVO fluid detection and lithology discrimination using Lamé petrophysical parameters 67th Annual International Meeting (Soc. of Expl. Geophys.), 183-186.
- Gray, D. and Andersen, E., 2001, The application of AVO and inversion to the estimation of rock properties: Recorder, **26**, (5), 36-40.
- Mc Gregor, A., 2007, A brief review of anomaly classification: Geohorizons, January, 34-37.
- Ostrander, W.J., 1984, Plane-wave reflection coefficients for gas sands at non-normal angles of incident: Geophysics, **49**, 1637-1684.
- Perez, M.A. and Tonn, R., 2003, Reservoir modeling and interpretation with Lamé's parameters; A Grand Banks case study: http://www.cspg.org/conventions/abstracts/2003abstracts_author.htm.

۵ نتیجه گیری

از آنجا که متوسط تغییرات پارامترهای لامه بیشتر از دیگر نشانگرهای تحلیل AVO است، جدا کردن این پارامترها از پاسخ بازتاب‌های لرزه‌ای، دید فیزیکی بهتری از خصوصیات سنگی به دست می‌دهد. استفاده از این روش در مخزن ماسه‌سنگی غار میدان ابوذر توانایی جداسازی مرز سیالات و تفکیک سنگ‌شناسی را داشت. لایه‌های هیدروکربوری از روی آنومالی کم مقدار $\lambda\rho$ قابل شناسایی بود و به کمک این روش، تفکیک لایه‌های نفتی و گازی از یکدیگر به نحو رضایت‌بخشی صورت گرفت. لایه‌های شیلی $\mu\rho$ کمی نسبت به ماسه‌سنگ مخزن داشتند و لایه‌های انیدریتی و آهکی از روی مقدار بیشتر $\mu\rho$ و $\lambda\rho$ قابل تشخیص بودند. کراس‌پلات این دو نشانگر همچنین در تشخیص بهتر خصوصیات سنگ‌شناسی مخزن مؤثر واقع شد. بر اساس این روش LMR توانایی تفسیر سریع‌تر و بهتر مخزن مورد نظر را نسبت به نشانگرهای معمول AVO داشته است.

تشکر و قدردانی

نگارندگان بدین وسیله مراتب قدردانی خود را از مدیر محترم طرح‌های اکتشافی شرکت نفت فلات قاره ایران که امکانات و اطلاعات لازم برای عملی ساختن این تحقیق را مهیا کردند ابراز دارند.

منابع

- میرزاخانیان، م.، ۱۳۸۶، تفکیک سیالات مخزنی و سنگ‌شناسی‌های متفاوت در مخزن ماسه‌سنگی غار در میدان نفتی ابوذر خلیج فارس با نشانگرهای AVO، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گرایش لرزه‌شناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران
- Aki, K., and Richards, P.G., 1980, Quantitative seismology: Theory and methods: W. H.

- Tatham, R.H., 1982, V_p/V_s and lithology: *Geophysics*, **47**, 336-344.
- Zhang, J. and Li, X.Y., 2005, AVO fluid discrimination with weak impedance contrast- A case study from the Ordos Basin: 67th EAGE congress and exhibition, 13-16 June.
- Zoeppritz, K., 1919, Erdbebenwellen VII B, On the reflection and penetration of seismic waves through unstable layers: *Göttinger Nachrichten*, **1**, 66-84.