



# میدان نفتی ابودر (اردشیر) در شمال غرب خلیج فارس

## مطالعه رفتار AVO مخزن ماسه سنگی غار،

### قسمت اول

### چکیده

میدان نفتی ابودر در شمال غرب خلیج فارس و در ۴۵ کیلومتری شرق جزیره خارک واقع شده است. این میدان در اواخر دهه ۵۰ میلادی کشف شد و در سال ۱۹۷۶ میلادی تولید آن آغاز شد. افق اصلی تولیدکننده نفت در این میدان، مخزن ماسه سنگی غار با سن اولیگومیوسن است که به صورت طاقدیس با امتداد شمال غرب، جنوب شرق، با شیب تقریبی ۱/۵-درجه، بین عمق تقریبی ۸۸۰-۸۲۰ متر واقع شده است. ارتفاع ستون هیدرو کربن ۶۲ متر، شامل ۴۴ متر نفت و ۱۸ متر کلاهک گازی می باشد که بر روی یک سفره آبی با گسترش ناحیه ای قابل ملاحظه قرار گرفته و ساختار زمین شناسی این مخزن ناشی از برهم نهی چین خوردگی شمال غرب، جنوب شرق کوهزایی زاگرس در اواخر دوره ترشیاری و چین خوردگی های قدیمی تر با روند شمالی- جنوبی در منطقه است. ماسه سنگ غار حاصل فرسایش چندباره سنگ های سپر عربی و تجمع این محصولات در محیط های نسبتاً پرانرژی نزدیک ساحل دریا می باشد. این ماسه سنگ معادل ممبر ماسه سنگی اهواز در سازند آسماری است.

هدف از این مطالعه، ابتدا بررسی رفتار منحنی های AVO مخزن ماسه ای غار و قرار دادن این ماسه سنگ در یکی از گروه های چهار گانه طبقه بندی AVO مخازن گازی است. این بررسی با استفاده از لاگ های سونیک، دانسیته، سرعت موج برشی (موجود در یکی از چاه ها) اطلاعات موجود زمین شناسی و لیتولوژی و همچنین اطلاعات PVT مخزن ابودر صورت پذیرفت و به خوبی رفتار کلاسیک نوع چهارم از طبقه بندی Rutherford & Williams را آشکار ساخت. مرحله بعدی، مطالعه و کشف بهترین اتریبوت های AVO در جهت جداسازی مرز سیالات مختلف موجود در مخزن، با توجه به رفتارهای مشاهده شده از قسمت اول این مطالعه خواهد بود (Forward Modeling). سرانجام نتایج این بررسی ها بر داده های لرزه ای اعمال و در عمل مورد آزمایش قرار خواهند گرفت (AVO Analysis). با توجه به در دسترس نبودن داده های لرزه ای مناسب برای انجام تحلیل AVO (AVO Analysis) که به صورت Pre-Stack Time Migrated CDP, Gathers در این مقاله تنها قسمت مدل سازی (AVO Modeling) مخزن ابودر مورد توجه قرار می گیرد.

پس از مدل سازی مستقیم مخزن و بررسی انواع مختلف اتریبوت های AVO، سرانجام اتریبوت Scaled Poisson's Ratio Changes به عنوان بهترین گزینه برای به نقشه در آوردن مرز سیالات مخزنی انتخاب شد.



نقاط بازتابنده به محل واقعی آنها در زیرزمین، باعث کاهش حجم مخازن طاق‌دیس‌ی شد. در حالی که برآوردهای اولیه که تنها مبتنی بر داده‌های انباشته (Stack) شده خام بودند، مقدار بیشتری برای حجم مخزن پیشگویی کرده بود.

سرانجام چشمان تیزبین و جستجوگر مفسرین داده‌های لرزه‌ای به حقیقتی پی‌برد که نطفه پیدایش شاخه AVO بود. این مفسرین به مرور زمان دریافته بودند که تجمعات اقتصادی در مخازن گازی همواره به همراه افزایش دامنه افق بازتابنده موج لرزه‌ای نسبت به محیط اطراف اتفاق می‌افتد، به همین دلیل آن را نقطه روشن نامیدند (Bright Spot). بعدها از این دو خصوصیت نیز به عنوان نشانگرهای مستقیم هیدروکربن یاد کردند.

اما آیا دلیل علمی برای این گونه رفتار مخازن گازی وجود داشت؟ پاسخ را باید در مقاله‌ای جستجو کرد که سال‌ها قبل (۱۹۱۹ میلادی) توسط Zoeppritz ارائه شده بود. او در این مقاله ضمن ارائه فرمولی، دامنه موج‌های بازتابنده و گذر نموده را برحسب زاویه موج‌های فرودی و عبوری از بازتابنده، سرعت موج‌های برشی و تراکمی و همچنین چگالی دوحیط به دست آورده بود. این نتیجه مدت‌ها از نظرها پنهان مانده تا این که سرانجام در سال ۱۹۵۵ میلادی، Koefoed با اشاره به تغییرات منحنی AVO ناشی از تغییرات نسبت پواسون، نتیجه گرفت که لیتولوژی را می‌توان از روی داده‌های لرزه‌ای استخراج نمود. اما این مقاله در سال ۱۹۸۲ پس از تایید شدن به وسیله داده‌های سر میدان (Field) و حفر چاه‌های موفقیت‌آمیز اکتشافی، محرکی شد تا همگان به فکر استفاده و توسعه این روش جدید بیفتند.

امروزه بررسی نحوه تغییر ضرایب بازتاب امواج لرزه‌ای برحسب تغییر دورافتادگی بین گیرنده و فرستنده این امواج صوتی، (Amplitude Versus Offset) AVO نه تنها نقش بسیار ارزنده‌ای در ردیابی مقدماتی منابع هیدروکربن ایفانموده، بلکه با به خدمت گرفتن داده‌هایی مانند اطلاعات حاصل از چاه‌نگاری و گاهی اطلاعات مخزنی PVT، گام را فراتر نهاده، در به نقشه‌درآوردن مرز بین سیالات مختلف مخزنی، تعیین انواع مختلف لیتولوژی موجود در مخزن، تعیین روند عمومی شکستگی‌های موجود در سنگ مخزن و بالاخره در نقطه اوج خود در جداسازی اثرات ناشی از تولید بر تغییرات اشباع آب و فشار مخزن، به نحو تحسین برانگیزی توانایی‌های خود را نشان داده است. مورد اخیر که عموماً از آن به عنوان 5-D Seismic یا Time Lapse Seismic یاد می‌شود به زیبایی اثرات AVO ناشی از تولید مخزن را به عنوان بعد پنجم وارد دنیای لرزه‌نگاری نموده و باب جدیدی از تحقیق و مطالعه را بازمی‌نماید.

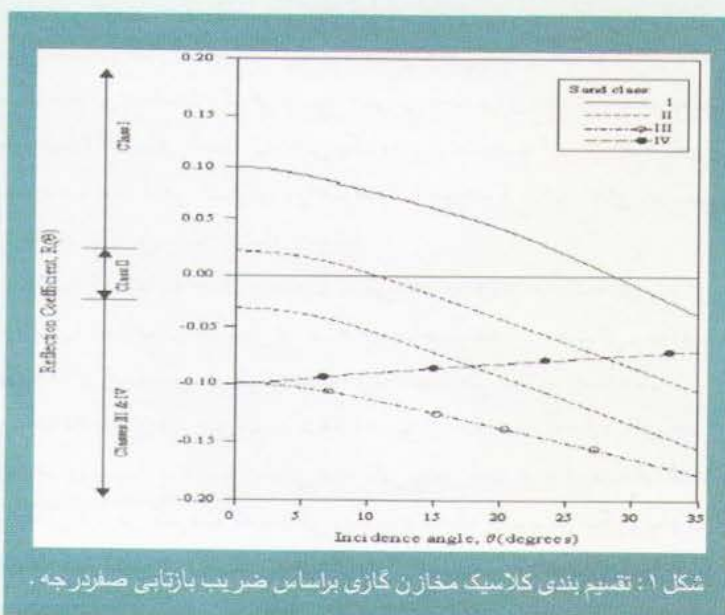
در اکتشافات مقدماتی نفت و گاز هنگامی که تنها داده‌های دوبعدی لرزه‌ای موجود است، راهی جز تمرکز بر ساختارهای شناخته شده نفتگیر همانند طاق‌دیس‌ها وجود ندارد. در واقع به همین دلیل است که بیشتر منابع کشف شده نفت و گاز، در این ساختارهای زمین‌شناسی قرار می‌گیرند. هنگامی که شواهد زمین‌شناسی منطقه دلیل بر وجود نفت سازهای کافی و در دسترس داشته باشند، آنگاه حفاری یک چاه اکتشافی به منظور دستیابی به نفت بسیار اغوا کننده خواهد بود. اما آیا وجود یک مخزن هر چند بزرگ به همراه سنگ‌های منشأ تولید کننده نفت دلیل کافی برای پرداخت هزینه یک چاه اکتشافی در منطقه خواهد بود؟ اینجاست که نشانگرهای مستقیم هیدروکربن، DHI ها (Direct Hydrocarbon Indicators)، یعنی سطوح تماس افقی سیالات مخزنی قابل مشاهده بر روی خط لرزه‌ای (Flat Spots)، نقاط روشن (Bright Spots)، نقاط تاریک (Dim Spots) و غیره ممکن است از مقدار خطرپذیری چنین سرمایه‌گذاری بکاهد. در مورد اول یعنی دیدن سطح تماس گاز با نفت یا آب و یا سطح تماس نفت با آب در داخل یک سنگ مخزنی به اندازه کافی وسیع، مدرکی قاطع برای حفر هر چه سریع‌تر یک چاه اکتشافی است که حتی یک مدیریت سخت‌گیر در اختصاص بودجه و با آگاهی کم از لرزه‌ها هم مجاب خواهد کرد. این اتفاق خجسته آرزوی هر ژئوفیزیکست اکتشافی است!

آنچه که تا به حال به عنوان تفسیر (Interpretation) داده‌های لرزه‌ای انجام می‌شده (عمدتاً مشتمل بر استخراج ساختار مخازن احتمالی و یا تهیه نقشه‌های امیدانس صوتی (Inversion))، تنها حرکت بر جاده سراسر ریسک داده‌های لرزه‌ای بوده که تا همین اواخر تنها راه‌چاره برای حفر چاه‌های بسیار پرهزینه خشکی و دریایی بوده است. در واقع سرمایه شما در محلی قرار می‌گرفت که بستگی زیادی به سلیقه یک پردازشگر و یا یک تفسیرگر لرزه‌ای داشت. به عنوان مثال عمل کوچ داده‌های لرزه‌ای، (Migration) که بعدها به سکانس عملیات پردازش اضافه شد با مهاجرت

۲۹  
شماره ۲۳ - تیر ۱۳۸۴

نمایش می‌دهد. ماسه سنگ کلاسیک نوع اول با میزان فشردگی بالای ذرات تشکیل دهنده آن، دارای امپدانس صوتی بالاتر نسبت به افق پوشاننده خود می‌باشد، در حالی که در نوع کلاسیک دوم این اختلاف ناچیز است. ماسه سنگ کلاسیک نوع سوم که میزان فشردگی ذرات آن کم می‌باشد، دارای امپدانس صوتی پایین‌تر از افق پوشاننده خود بوده و به وجود آورنده نقاط روشن در مقاطع لرزه‌ای است. تفاوت کلاسیک نوع چهارم با نوع سوم در کاهش ضریب بازتابی به ازای افزایش زاویه فرود است. از بررسی شکل این منحنی‌ها و توجه به این موضوع اساسی که منحنی AVO مربوط به آب (در شکل نشان داده نشده است) در تمامی چهار حالت کلاسیک همواره از نظر جبری دارای مقادیر بیشتری نسبت به منحنی هیدروکربن می‌باشد. می‌توان به راحتی نتیجه گرفت که مخازن کلاسیک نوع اول به وجود آورنده نقاط تاریک، مخازن کلاسیک نوع دوم به وجود آورنده نقاط با تغییر علامت لرزه‌ای و مخازن کلاسیک نوع سوم و چهارم عامل تولید نقاط روشن خواهند بود. هر اندازه فاصله عمودی دو منحنی از یکدیگر بیشتر باشد، آثار مشاهده شده بر روی مقطع انباشته لرزه‌ای قوی‌تر خواهد بود. اگرچه در ابتدا این طبقه‌بندی مخازن هیدروکربنی بر اساس AVO برای مخازن گازی صورت پذیرفت، ولی با شدت کمتر در ارایه پدیده‌های فوق، برای مخازن نفتی هم قابل تعمیم خواهد بود. شاهد این مدعا، همانا قرار گرفتن منحنی AVO مخزن حاوی نفت در میان منحنی‌های مخزن گاز و مخزن حاوی آب است.

پس از تخمین منحنی‌های AVO برای سه حالت مختلف یک مخزن حاوی گاز، نفت و آب می‌توان تصمیم گرفت که آیا تباین بین این سه منحنی به اندازه‌ای زیاد است که به کمک آن بتوان این سه بخش مخزنی را از هم جدا کرد یا نه؟ در این قسمت شیب منحنی‌ها (Gradients) و عرض از مبدا آنها (Intercepts) به عنوان دو اتریوت مفید برای به نقشه در آوردن محل سیالات مختلف مخزنی به کار گرفته می‌شوند.



مشکل معادله Zoeppritz پیچیدگی بسیار آن بود که شاید برای سال‌ها بهترین دلیل برای عدم مراجعه به آن بود. به هر شکل با تجربه موفق Ostrander در سال ۱۹۸۲ و آگاهی عموم از توانایی‌های این روش جدید، خیلی زود ساده‌سازی‌های بسیار دیگری بر معادله Zoeppritz انجام گرفت که باعث درک بهتر از رفتارهای دامنه با تغییر دورافتادگی و پیدایش روش‌های جدید اکتشافی بر اساس منحنی‌های AVO شد.

از جمله این ساده‌سازی‌های معادله Zoeppritz می‌توان از Bortfeld 1961, Shuey 1985 و Aki & Richard 1980 نام برد. این ساده‌سازی‌ها تا زوایای فرود نزدیک به ۳۰ درجه که معادل دورافتادگی برابر با عمق (Offset=Depth) می‌باشد، به خوبی معادله Zoeppritz را تخمین می‌زنند.

چه دلیل علمی برای وجود نقاط روشن (یا تاریک) یا تغییر علامت دامنه موج بازتابی در روی مقاطع انباشته (Stack) شده وجود دارد؟

در این فرایند با قرار دادن مقادیر متوسط از داده‌های چاه‌نگاری یک مخزن، شامل چگالی و سرعت موج‌های برشی و تراکمی در دو محیط فوقانی و زیرین بازتابنده در داخل یکی از ساده‌سازی‌های معادله Zoeppritz و تغییر

زاویه فرود موج، منحنی‌های AVO را برای مخزن حاوی هیدروکربن و همچنین مخزن حاوی آب به دست آوریم. Rutherford & Williams 1989 مخازن گازی را از نظر رفتار منحنی‌های AVO به سه دسته کلاسیک نوع اول تا سوم تقسیم کردند. بعدها 1995 Ross & Kinman و Castagna 1997 نوع چهارم کلاسیک را به تقسیم بندی قبلی اضافه نمودند. شکل ۱ نمودار این تقسیم بندی را که بر اساس ضریب بازتابی به ازای زاویه فرود صفر است

۳۰  
شماره ۲۳ - تیر ۱۳۸۴

## کاربرد معادله Gassmann در مطالعه AVO

Gassmann در سال ۱۹۵۱ معادله‌ای را برای پیش‌بینی تغییرات خواص لرزه‌ای مخزن ( $V_p, V_s, \rho$ ) در اثر جابه‌جایی سیال موجود، بر اساس خواص بافتی سنگ مخزنی ارائه کرد:

$$K = K_{dry} + \frac{\left(1 - \frac{K_{dry}}{K_m}\right)^2}{\frac{\phi}{K_f} + \frac{1-\phi}{K_m} - \frac{K_{dry}}{K_m^2}} \quad \text{معادله ۱}$$

در معادله ۱ بالک مادولوس یک سنگ مخزنی اشباع شده از سیالی با بالک مادولوس  $K_f$  می‌باشد.  $K_{dry}$  بالک مادولوس اسکلت سنگ است (حالت خشک سنگ).  $K_m$  برآیند بالک مادولوس کانی‌های سازنده اسکلت سنگ مخزنی و  $\phi$  تخلخل سنگ مخزنی است.

از آنجا که مادول برشی سنگ بستگی به سیال موجود در مخزن ندارد،

داریم:

$$\mu = \mu_{dry} \quad \text{معادله ۲}$$

مقادیر  $K_{dry}, \mu_{dry}$  را می‌توان به دوروش به دست آورد. روش اول که در آزمایشگاه انجام می‌شود، استفاده از نمونه‌های مغزه در حالت خشک برای یافتن سرعت‌های  $V_p, V_s$  و سپس کاربرد معادله سرعت موج‌های برشی و تراکمی است.

$$K_{dry} = \rho_{dry} \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right) \quad \text{معادله ۳}$$

$$\mu_{dry} = \rho_{dry} V_s^2 \quad \text{معادله ۴}$$

$\rho_{dry}$  در این معادله چگالی خشک سنگ مخزنی است که از معادله ۵ به دست می‌آید. در این معادله،  $\rho_m$  چگالی ماتریکس است که از چگالی اجزای تشکیل دهنده اسکلت سنگ و به نسبت حجمی آنها محاسبه می‌شود.

$$\rho_{dry} = (1 - \phi) \rho_m \quad \text{معادله ۵}$$

در روش دوم، محاسبه معکوس که در این بررسی به کار رفته است، با قرائت مقادیر  $V_p, V_s, \rho$  از لاگ‌های موجود و با فرض داشتن اطلاعاتی از خواص فاز سیال، تخلخل، ترکیب کانی سنگ مخزنی و اشباع سیال، مقادیر  $K$  و  $\mu$  از فرمول‌های سرعت محاسبه و در معادله Gassmann قرار می‌گیرند. سپس معادله برای به دست آوردن  $K_{dry}$  حل می‌شود. در این حالت فرض بر این است که خصوصیات سنگ مخزنی در تمام منطقه و در تمام طول لاگ مخزنی ثابت بوده است.  $K_{dry}$  از معادله زیر به دست می‌آید:

$$K_{dry} = \frac{K \left( \frac{\phi K_m}{K_f} + 1 - \phi \right) - K_m}{\frac{\phi K_m}{K_f} + \frac{K}{K_m} - 1 - \phi} \quad \text{معادله ۶}$$

مقادیر متوسط مربوط به مادول برشی و بالک مادولوس ماتریکس سنگ،  $K_m, \mu_m$  را می‌توان با استفاده از معادلات ۷، ۸ و ۹ یعنی معادلات Voigt-Reuss-Hill (1952) محاسبه کرد.

$$M = \frac{1}{2} (M_v + M_r) \quad \text{معادله ۷}$$

$M$  می‌تواند هر یک از مادول‌های برشی یا بالک باشد که به صورت زیر برای مقادیر متوسط Voigt یا Reuss به دست می‌آیند:

$$\frac{1}{M_r} = \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{M_i} \quad \text{معادله ۸}$$

$$M_v = \sum_{i=1}^n c_i M_i \quad \text{معادله ۹}$$

در معادلات ۸ و ۹،  $c_i, M_i$  مادول‌ها و درصد‌های حجمی اجزای تشکیل دهنده ماتریکس سنگ هستند.

مادول بالک مخلوطی از چند سیال،  $K_f$  را می‌توان از فرمول Wood محاسبه کرد:

$$\frac{1}{K_f} = \frac{S_w}{K_w} + \frac{S_o}{K_o} + \frac{S_g}{K_g} \quad \text{معادله ۱۰}$$

در معادله ۱۰،  $K_w, K_o, K_g$  به ترتیب مقادیر بالک مادولوس مربوط به آب، نفت و گاز هستند که به نسبت اشباع وارد محاسبه می‌شوند.

برای به دست آوردن چگالی مخزن از فرمول‌های زیر استفاده می‌کنیم:

$$\rho = (1 - \phi) \rho_m + \phi \rho_f \quad \text{معادله ۱۱}$$

$$\rho_f = S_w \rho_w + S_o \rho_o + S_g \rho_g \quad \text{معادله ۱۲}$$

مقادیر  $\rho_m, \rho_o, \rho_g, \rho_w$  به ترتیب چگالی آب، گاز، نفت و ماتریکس سنگ مخزن می‌باشند.

شماره ۲۳ - تیر ۱۳۸۴