بررسی ناهمگنی و ناهمسانگردی سازند با استفاده از نمودارهای متداول و پیشرفته در یک مخزن کربناته

سعید یارمحمدی[۱]، عبدالرحیم جواهریان[۲]
[۱] *دانشجوی دکتری مهندسی نفت- اکتشاف، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،*
syarmohammadi@aut.ac.ir
[۲] *استاد بازنشسته مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و استاد دانشکده مهندسی نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران،*
javaherian@aut.ac.ir, javaheri@ut.ac.ir

چکیده

این مطالعه، کارامدی بکارگیری روش‌های مختلف ارزیابی سازند در مطالعه ناهمگنی و ناهمسانگردی یک مخزن کربناته را با استفاده از اطلاعات یک چاه نشان می‌دهد. در ابتدا، نمودارهای پتروفیزیکی متداول ارزیابی شده‌اند تا اطلاعاتی در مورد سنگ‌شناسی غالب، نوع و میزان اشباع‌شدگی سیالات و کیفیت مخزنی را تعیین نمایند. سپس جزییات زمینه سنگ با استفاده از پردازش نمودار تصویری بدست آمده است. تغییرات نوع تخلخل با ارزیابی توزیع تخلخل‌ها با بکارگیری نمودار رزونانس مغناطیسی، *Vp/Vs*و نسبت پواسون با بکارگیری اطلاعات نمودار صوتی محاسبه و مورد تحلیل قرارگرفته است تا بیانگر تغییرات خصوصیات فیزیک‌سنگ در بازه‌های مختلف مخزنی باشد. در نهایت، مطالعه ناهمسانگردی شکل امواج برای نشان دادن تغییرات ناهمسانگردی با آزیموت انجام شده است. اعمال و مقایسه این تغییرات بر روی میدان مورد مطالعه نشان داده است که چطور ناهمگنی و ناهمسانگردی می‌تواند بهم وابسته باشند و اطلاعاتی در مورد خصوصیات مخازن کربناته فراهم آورد.

واژه‌های کلیدی: ناهمگنی، ناهمسانگردی، NMR، FMI، *Vp/Vs*، نسبت پواسون

Heterogeneity and anisotropy determination using conventional and advanced logs in a carbonate reservoir

Saeed Yarmohammadi [1], Abdolrahim Javaherian[2]
[1] *PhD student, Department of Petroleum Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran.*
[2] *Retired Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, presently at the Department of Petroleum Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran*

Abstract

In the present study, different formation evaluation techniques, applied to appraisal well data, are shown to effectively improve reservoir heterogeneity/anisotropy study in a carbonate reservoir. Initially, the conventional logs are evaluated to determine primarily reservoir lithology, fluid types, saturation, and reservoir quality (porosity values). Matrix components are then investigated by processing the formation micro image log. Accurate porosity type variation is studied by the evaluation of porosity distribution received from the nuclear magnetic resonance log. *Vp/Vs* and Poisson's ratio are calculated from slowness data of dipole sonic log to represent rock physics changes in different intervals. Waveform anisotropy analysis is also used to distinguish the anisotropy changes by azimuths. Applying and comparing these techniques to a case study demonstrates how heterogeneity and anisotropy could be related to providing reservoir characterization analysis for carbonate reservoirs.

Keywords: Heterogeneity, Anisotropy, NMR, FMI, *Vp/Vs*, Poisson's ratio.

۱. مقدمه

سنگ‌های ناهمگن و ناهمسانگرد با ترکیبات مختلف تشکیل‌دهنده‌های اصلی سازندهای کربناته به شمار می‌روند (ناچنموس و رابینسون،۱۹۹۶). در مطالعات پتروفیزیکی نمودارهای متداول قابلیت شناسایی و ارزیابی سنگ‌شناسی، سیال و کیفیت عمده مخزن در بازه‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌سازد. نمودارهای تصویری در کنار نمودارهای دیگری چون نمودار پیشرفته رزونانس مغناطیسی (NMR) و نمودار انحراف‌صوتی در شناسایی تنوع تخلخل‌ها وتوزیع ناهمگنی در محیط اطراف چاه به شمار می‌روند.

بنابراین با ترکیب و مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی نمودارهای متداول و پیشرفته راه برای مطالعه ناهمگنی مخازن کربناته هموار می‌شود (یارمحمدی و همکاران، ۲۰۲۰). از طرف دیگر، پردازش دقیق نمودار صوتی دوقطبی دارای کاربردهای گسترده درارزیابی‌های ژئومکانیکی و فیزیک سنگ است. نتایج حاصل از تحلیل سرعت‌ها، نسبت‌های آنها، پارامترهای کشسانی بدست آمده از آنها و ناهمسانگردی اشکال موج در جهت‌های مختلف اطلاعات ارزشمندی ازخصوصیات مخزنی ارائه می‌دهند (عزتی و همکاران، ۱۳۹۸). هدف از مطالعه پیش‌رو اینست‌که پس از تعیین خصوصیات مخزنی (سنگ‌شناسی، سیالات و تخلخل)، خواص ناهمگنی و تغییرات خصوصیات با استفاده از نمودارهای پیشرفته مورد واکاوی قرار گیرد و ارتباط آنها با خصوصیات سرعتی و خواص کشسان سنگ‌ها در یک مخزن کربناته مشخص گردد. بدین‌منظور سه زون از یک مخزن کربناته در یک چاه از میدان پارس جنوبی مورد بررسی واقع شده است.

۲. روش تحقیق

۱.۲. ارزیابی سازند با استفاده از نمودارهای متداول

. در این مطالعه، روش احتمالی پتروفیزیک (Multimin) و بهینه‌سازی آن بر روی نمودارهای متداول اعمال شده است و حجم تخلخل، اشباع‌شدگی، و سنگ‌شناسی بر اساس پاسخ ابزارهای نمودارگیری تخمین زده شده است.

۲.۲. تنوع تخلخل با استفاده از نمودار پیشرفته رزونانس مغناطیسی

بر اساس تحقیقات، پاسخ نمودار NMR یک سیال در محیط‌های متخلخل مختلف کاملاً متفاوت است. با در نظر گرفتن سیال ثابت، پاسخ نمودار NMR در فضای خالی تعیین شده می‌تواند اطلاعات مهمی را برای مطالعه و توصیف مخزن از جمله میزان و نوع تخلخل و نفوذپذیری، وجود شکستگی‌ها و حفرات را ارائه دهد (کوت و همکاران، ۱۹۹۹). در این مطالعه تنوع تخلخل‌ها با در نظر گرفتن سیال ثابت و تغییراتی که در توزیع آرایه تخلخل ایجاد می‌کند محاسبه شده است. اندازه و نحوه توزیع آرایه‌های تخلخل، معرف تغییرات تخلخل مخزن کربناته هستند.

۳.۲. استفاده از نمودارهای تصویری (FMI) در شناسایی خصوصیات سنگی

ابزارهای تصویری معمولاً از هدایت الکتریکی دیواره چاه در استاندارد مختلف استفاده می‌شود (گایلوت و همکاران، ۲۰۰۷). در این مطالعه. داده‌های FMI به عنوان داده‌های نمودار تصویری استفاده شده است. پس از پردازش، نمودار تصویری مفسر را قادر می‌سازد تا چاه‌ها را از نظر پارامترهای ژئومکانیکی، سنگ‌شناسی، بافت و ساختار رسوبی، دیاژنز، و انواع تخلخل و توزیع ارزیابی کند.

۴.۲. تعیین رخساره‌های الکتریکی

در این مطالعه، ابتدا نمودارهای مختلف انتخاب و نحوهٔ ارتباط آنها با هم و با خصوصیات مخزنی در قسمت‌های مختلف مشخص گردیده است. سپس با استفاده از روش (Multi-resolution graph-based clustering, MRGC) که بر اساس رابطه بین ورودی‌ها بجای فواصل آنها کار می‌کند رخساره‌های الکتریکی در مخزن مورد مطالعه مشخص گردید

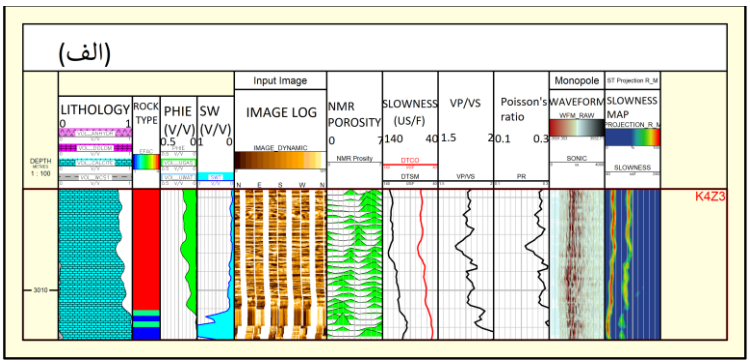
۵.۲. تعیین خصوصیات کشسانی مخزن با استفاده از نمودار دوقطبی صوتی(DSI)

آنالیز شکل امواج و بررسی تغییرات آنها در جهات مختلف توانایی تفسیر ناهمسانگردی در جهات مختلف را فراهم می‌آورد. از جمله کاربردهای دیگر ابزار DSI محاسبه‌ی پارامترهای کشسانی سنگ با استفاده از مقادیر سرعت موج برشی و سرعت موج تراکمی می‌باشد. استفاده از نمودارهای امواج صوتی برشی و تراکمی و همراهی آنها با نمودار چگالی امکان محاسبه پارامترهای کشسانی را فراهم می‌آورد (عزتی و همکاران، ۱۳۹۸). در مطالعه حاضر، با استفاده از تغییرات سرعت امواج برشی و تراکمی و نسبت آنها و با توجه به اینکه فاز سیال ثابت است ارتباط بین میزان و شکل حفرات با تغییرات سرعتی بررسی شده است. همچنین با در نظر گرفتن تغییر شکل امواج در جهات مختلف تاثیرناهمسانگردی و تغییرات آن با توجه به ناهمگنی مورد مطالعه قرار گرفته است.

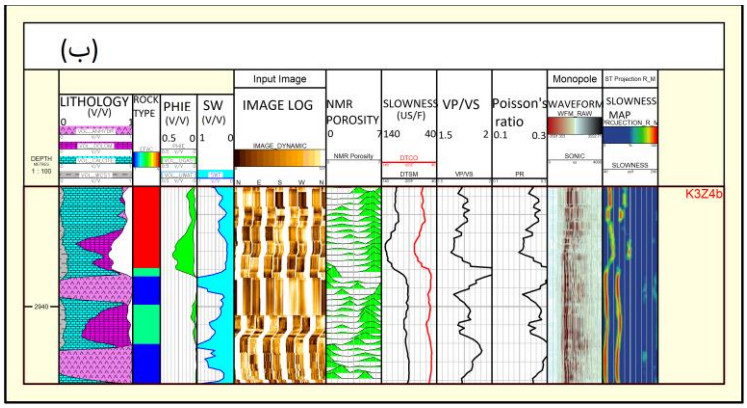
۳. بحث

در این مطالعه، سنگ‌شناسی یک سازند کربناته (حجم کانی‌های اصلی)، تخلخل و اشباع‌شدگی حاصل از ارزیابی نمودارهای متداول محاسبه شد. سپس توزیع کیفیت مخزنی در بازه‌های عمودی مختلف چاه در قالب رخساره‌های الکتریکی مختلف توزیع گردید. پس از آن با پردازش نمودار FMI، نمودار تصویری دینامیک به دست آمده به منظور تشخیص خصوصیات سنگی بازه‌های

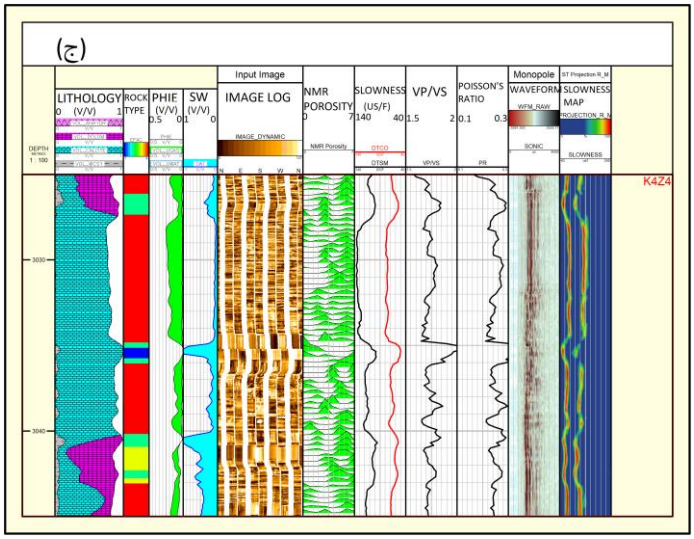
مخزنی در کنار نتایج حاصل از نمودارهای متداول قرار گرفت. علاوه بر این، تخلخل NMR که از وارونگی توزیع T2 در سیال تک فاز محاسبه شده به ۶ قسمت آرایه‌ای تقسیم شد. هر آرایه نماینده یک نوع تخلخل و تنوع توزیع آنها بیانگر ناهمگنی است.
شکل ۱-الف مربوط به زون دوم مخزنی چاه مورد مطالعه (K2) است که از سنگ‌های کربناته اهکی باندستون و انکوئید اسکلتی، اووئید وگرین‌استون در محیط‌های رسوبی جزر و مدی، کولابی ایجاد شده‌اند دارای تخلخل متنوع قالبی، حفره‌ای و بین دانه‌ای در غالب کانی‌های کلسیتی می‌باشند. با توجه به رخساره الکتریکی، کیفیت مخزنی خوب دارد و با توجه به نمودارهای NMR وFMI در فاز سیال ثابت تنوع تخلخل و ناهمگنی در این بازه مخزنی وجود دارد. از طرف دیگر وجود گاز باعث کاهش سرعت‌ها به ویژه سرعت موج تراکمی در این بازه شده است بنابراین نمودار نسبت سرعت موج P به سرعت موج S کاهش یافته است. بهم ریختگی شکل موج درجهت‌های مختلف نیز مبین ناهمسانگردی حاصل از ناهمگنی و تنش‌ها در این منطقه می‌باشد.
شکل ۱. ب که از زون سوم مخزن (K3) گرفته شده است متعلق به قسمت بالایی سازند دالان است که در محیط‌رسوبی این منطقه تبخیری‌های محیط‌های دریایی و لاگون (انیدریت) تشکیل شده است. از آنجایی که ذات تبخیری‌ها از عدم حضور تخلخل، ناهمگنی و ناهمسانگردی بخاطر وجود سنگ‌شناسی یکنواخت دلالت می‌کند تمامی نمودارها در حضور آنها تغییرات کمی را نشان می‌دهد. سرعت امواج با حضور لایه‌های انیدریت کاهش می‌یابد و با توجه به کاهش سرعت موج برشی در تبخیری‌ها Vp/Vs کاهش می‌یابد ولی شکل امواج حاکی از همسانگردی نسبی در این مناطق است.
شکل ۱. ج که مربوط به زون ۴ مخزن مورد مطالعه (K4) در پایین سازند دالان می‌باشد تغییرات حاصل از دولومیتی شدن را مد نظر قرار می‌دهد. این زون در فواصل مخزنی با کیفیت مخزنی بالا وجود دارد که توسط تغییرات رخساره دچار تنوع در سنگ‌شناسی گشته است. دولومیتی شدن بر روی خصوصیات سرعتی تاثیر مستقیم گذاشته است با وجود ثابت ماندن مقدار تخلخل با حضور دولومیت‌ها تغییرات در خصوصیات کشسانی مشاهده می‌گردد.



شکل ۱. (الف) وجود آهک خالص، کیفیت مخزنی بالا (تخلخل و گونه سنگی بالا) و هیدرو کربن گاز منجر به کاهش سرعت‌ها به ویژه سرعت موج P شده و اشکال امواج را بهم ریخته است. قسمت متراکم پایین همگن‌تر و روند سرعت‌ها و Vp/Vs و نسبت پواسون افزایشی می‌باشد.



(ب) حضور انیدریت منجر به افزایش سرعت‌ها و افزایش Vp/Vs می‌شود (در تبخیری‌ها سرعت موج برشی کاهش شدید می‌یابد). کانی تبخیری نامتخلخل است لذا ناهمگنی و ناهمسانگردی در آنها بسختی قابل تمایز است.



(ج) اثرات دولومیتی شدن باعث تغییرات در *Vp/Vs* و خصوصیات ناهمسانگردی شده است. سرعت امواج صوتی در دولومیت بیشتر از کلسیت است و با فزایش تخلخل در یک بازه مخزنی سرعت امواج و خواص کشسانی متاثر می‌شود.

٤. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که با استفاده از روش‌های تلفیقی و کیفی حاصل از ارزیابی نمودارهای متداول و پیشرفته پتروفیزیکی می‌توان تا مقدار زیادی در شناسایی و ارتباط دو شاخصه‌ی مهم ناهمگنی و ناهمسانگردی در مخازن کربناته پی‌برد.

منابع

عزتی، م.، عزیززاده، م.، ریاحی، م.، فتاح پور، و.، هنرمند، ج.، ۱۳۹۸. کاربرد نمودار DSI در ارزیابی ژئومکانیکی و پتروفیزیکی مخازن کربناته: مطالعه موردی در یکی از میادین جنوب غرب ایران. مجله پژوهش نفت، ۲۹، (۱۰۷)، ۳۷-۵۰.

Coates, G.R., Xiao, L. and Prammer, M.G., 1999. NMR logging. Principles NMR and Applications. Halliburton Energy Services Publication H02308.

Gaillot, P., Brewer, T., Pezard, P. and Yeh, E.C., 2007. Borehole imaging tools—principles and applications. Scientific Drilling, 5, 1-4.

Knochenmus, L.A. and Robinson, J.L., 1996. Descriptions of anisotropy and heterogeneity and their effect on ground-water flow and areas of contribution to public supply wells in a karst carbonate aquifer system (Vol. 2475). US Government Printing Office.

Yarmohammadi, S., Kadkhodaie, A. and Hosseinzadeh, S., 2020. An integrated approach for heterogeneity analysis of carbonate reservoirs by using image log-based porosity distributions, NMR T2 curves, velocity deviation log and petrographic studies: A case study from the South Pars gas field, Persian Gulf Basin. Journal of Petroleum Science and Engineering, 192, 1-12,107283.