

توصیف مخازن و واحدهای جریان

مترجم: خیراله اصغری
نفت و گاز پارس

مقدمه

برای ارزیابی سطوح تماس سیالات، حرکت سیال و میزان تولید از یک مخزن، آگاهی از تخلخل و تراوایی آن مخزن ضروری است. برای دست‌یابی به اطلاعات مخزن سه روش سائیزمیک (Seismic)، مغزه و تفسیر لاگ (نمودارهای چاه‌پیمایی) به‌کار می‌رود که از نظر دقت، محدوده مورد پوشش و

اما بیشترین محدوده پوششی هستند در صورتی که داده‌های لاگ که اطلاعات زیادی در مورد تخلخل، مقاومت و خواص مغناطیسی سازندهای زیرزمینی می‌دهند، دارای دقت و محدوده پوششی متوسط هستند. داده‌های مغزه دارای بالاترین دقت و کمترین محدوده پوششی اند، اما بیشترین مشخصات سنگ‌ها نیز از این روش قابل بازیابی است.

تکنیک‌های مختلف تعریف خواص مخزن، از پارامترهای مهم برای دست‌یابی به قابلیت انباشتی مخزن و خواص سیال آن، همچنین مبنایی برای توسعه مدل شبیه‌سازی مخزن هستند. کاربرد این تکنیک‌ها برای تعریف مشخصات مخزن - خصوصاً در مخازن کربناته که دارای هتروژنی زیادی هستند - از اهمیت زیادی برخوردارند. در ادامه مهم‌ترین تکنیک‌های توصیف مخزن مورد بررسی قرار می‌گیرند.

تابع J (J-Function)

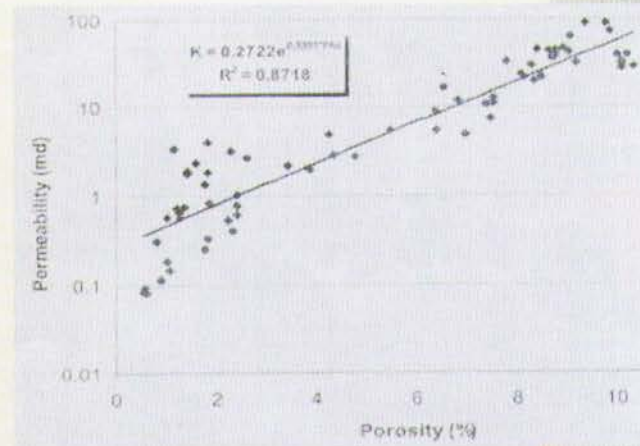
با استفاده از ارزیابی منحنی‌های مویینگی، تابع J به صورت گسترده‌ای برای توصیف فضای متخلخل به‌کار می‌رود. تابع J به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$J_{sw} = \frac{P_c}{\delta_{o-w} \cos \theta} \sqrt{\frac{K}{\phi}} \quad (1)$$

با داشتن اطلاعات فشار مویینگی، می‌توان اطلاعات زیادی را در مورد ساختار متخلخل به دست آورد. به هر حال، کاربرد تابع J (بسته به دقت ابزار اندازه‌گیری، جمع‌آوری داده‌ها و تفسیر روی داده‌ها) با

تخلخل و تراوایی سنگ مخزن، دو پارامتر مهم برای ارزیابی سازند و توصیف مخزن هستند که با داشتن این پارامترها و با آگاهی از دیگر

پارامترها می‌توان نحوه حرکت سیال در محیط متخلخل را نیز تشخیص داد. اهمیت توصیف مخزن و آگاهی از خواص آن که مقدمه‌ای برای توسعه مخزن به‌شمار می‌رود، برکسی پوشیده نیست.



شکل شماره ۱ - تطابق تراوایی - تخلخل

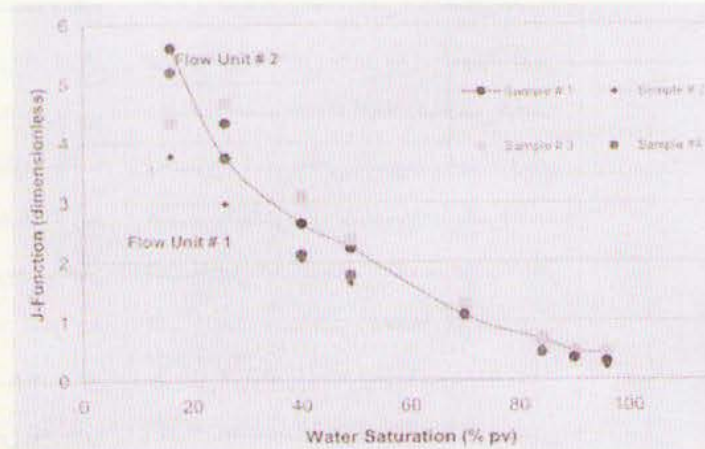
تعداد پارامترهای مورد اندازه‌گیری با هم متفاوتند. بنابراین نیاز به Scale UP و بالابردن درجه اعتماد این داده‌ها، ضروری به نظر می‌رسد. به عنوان مثال داده‌های لرزه‌نگاری دارای کمترین دقت (چندین متر)،

محدودیت‌هایی روبه‌رو است.

تطابق تخلخل - تراوایی

با توجه به تعریف تخلخل مفید و تراوایی، ارتباط تخلخل تراوایی، ابزاری مهم برای تفسیر خواص پتروفیزیکی و توصیف مخزن است. بسیاری از محققان ثابت نمودند که تراوایی سنگ عمدتاً به تخلخل مفید سنگ وابسته است. به همین دلیل، تراوایی یک سنگ به‌طور عمده به اندازه، شکل دانه، جورشدگی، نحوه تراکم و درجه سیمان‌شدگی آن بستگی دارد. این تکنیک ابزاری مناسب برای تطابق و پیش‌بینی تراوایی در زون‌های حاوی نفت، آب و ناحیه انتقالی است.

تاکنون تلاش‌های بسیاری برای پیش‌بینی میزان تراوایی، با استفاده از داده‌های



شکل شماره ۲ - تابع J برای تعیین واحدهای جریان

تخلخل صورت گرفته است، چند رابطه نیز جهت بررسی ارتباط بین تخلخل و تراوایی به دست آمده اما فقدان یک رابطه مشخص بین داده‌های پیش‌بینی شده کاملاً مشهود است. دلیل این عدم همخوانی، ماهیت پارامترهای مورد مقایسه است چرا که

تخلخل، براساس تعریف، یک پارامتر حجمی است، در حالی که تراوایی نه تنها به سهم حجمی از فضای خالی، بلکه به نحوه ارتباط فضاهای خالی و ژئومتری آن نیز بستگی دارد. بنابراین ارتباط تخلخل - تراوایی تابعی از ژئومتری فضای خالی است. محققان بسیاری در تلاش برای مدل کردن تخلخل با اشکال ژئومتری برآمدند. معروف‌ترین و کاربردی‌ترین رابطه تخلخل - تراوایی، رابطه Kozeny-Carman است که برای دولوله موئینه موازی تعریف شد.

$$K = \frac{1}{2\tau^2 S_{vgr}^2} \frac{\phi^3}{(1-\phi)^2} \quad (2)$$

K: تراوایی، Q: تخلخل، τ :

ضریب پیچایی و S_{vgr} : سطح ویژه دانه در واحد حجم دانه است و فاکتور ۲ برای این

فرض که

فضاهای خالی

سیلندری مقطع

دایره‌ای دارند

وارد رابطه

شده است.

در مواردی که از

روابط تجربی

تخلخل -

تراوایی

استفاده می‌شود، موارد زیر باید در نظر

گرفته شوند:

- اکثر این روابط برای مخازن

ماسه‌سنگی به دست آمده‌اند.

- این روابط با استفاده از داده‌های

میدان‌های مشخص و محدودی به دست

آمده‌اند.

- این روابط با فرض وجود آب

کاهش نیافتنی حاصل شده‌اند.

تکنیک RQI

بعضی از محققان مانند

"Paterson" (۱۹۸۳), "Walsh & Brace" (۱۹۸۴)

"Amaeful et al." (۱۹۹۳): برای اینکه بتوانند

اشکال گوناگون فضاهای خالی (F_s) را در

رابطه ملحوظ دارند، تغییراتی را در آن

به وجود آوردند که معروف‌ترین آنها رابطه

"Amaeful" به صورت زیر است:

$$K = \frac{1}{F_s \tau^2 S_{vgr}^2} \frac{\phi^3}{(1-\phi)^2} \quad (3)$$

رابطه (۲) و (۳) به‌طور نسبی برای پیش‌بینی

تراوایی با استفاده از داده‌های تخلخل کارایی

دارند. از آنجا که اغلب فضاهای خالی

به صورت سیلندر مدور نیستند، کاربرد

رابطه (۲) محدود می‌شود و با توجه به اینکه

اطلاعات در مورد τ , S_{vgr} و F_s (بیانگر

شکل ژئومتری فضای خالی) به آسانی

در دسترس نیست، کاربرد رابطه (۳) نیز با

مشکل همراه است. "Amaeful" بعد از یک

سری تصحیحات، رابطه (۳) را به صورت

زیر تعریف نمود:

$$\log RQI = \log FZI + \log \epsilon \quad (4)$$

که ϵ نسبت فضای خالی نام دارد و از

رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$\epsilon = \frac{\phi}{1-\phi} \quad (5)$$

شماره ۱۳ - مرداد ماه ۱۳۸۵

شاخص زون جریانی از رابطه (۶)

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s \tau} S_{vgr}} \quad (۶)$$

و RQI شاخص کیفیت مخزن از رابطه (۷) به دست می آید.

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{K}{\phi}} \quad (۷)$$

این رابطه بیانگر ارتباط بین حجم فضای خالی و گسترش ژئومتری آن (RQI) است. RQI، پارامتری مهم برای تطابق خواص سنگی گوناگون است. در رابطه (۴) تمام پارامترهای F_s ، τ و S_{vgr} (که پیدا کردن مقادیر آنها مشکل است) به صورت گروهی تحت پارامتر FZI تعریف شده اند. FZI را

به صورت زیر نیز تعریف می گردد:

$$FZI = \frac{RQI}{Q_z} \quad (۸)$$

$$Q_z = \frac{\phi}{1-\phi} \quad (۹)$$

که Q_z نسبت حجم فضای خالی به حجم دانه است. سنگ های دارای مقادیر FZI نزدیک به هم و متعلق به یک واحد هیدرولیکی اند، به این مفهوم که خواص سیال این سنگ ها شبیه به هم است.

واحد جریانی (Flow Unit)

واحد هیدرولیکی یا واحد جریانی، یک زون پیوسته است که باحجمی از مخزن که دارای خواص لایه بندی و پارامترهای سنگی یکسان هستند و حرکت سیال را تحت تأثیر قرار می دهند،

تعریف

می گردد. در هر

واحد جریانی،

اندازه دهانه

حفره ها و توزیع

حفره ها یکسان

است. توزیع

واحدهای

جریانی به نحوه

پراکندگی

رخساره ها بستگی دارد. اما مرز واحدهای جریانی لزوماً به مرزهای رخساره محدود نیست.

"Amaeful et.al" در سال ۱۹۹۴ واحد جریانی را به صورت حجمی از سنگ مخزن که خواص زمین شناسی و پتروفیزیکی آن

حرکت سیال را تحت تأثیر قرار می دهند و به صورت درونی سازگار باهم اما خواص آن کاملاً متفاوت از حجم باقیمانده سنگ باشد، تعریف کرده اند.

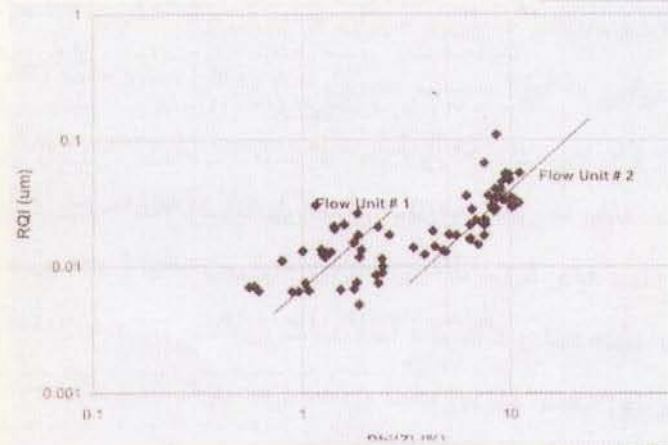
با فرض ثابت بودن ضریب پیچاپیچی و ضریب شکل می توان از RQI برای تشخیص بین زون های هیدرولیکی مشابه استفاده نمود. RQI یک شاخص میکروسکوپی فضای خالی است که بهره دهی مخزن را کنترل می کند.

با ترسیم RQI در مقابل Q_z (نسبت حجم فضای خالی به حجم دانه) در یک پلات log-log می توان واحدهای جریانی با هیدرولیکی را تعریف نمود.

زون بندی واحدهای هیدرولیکی

بعد از نرمالایز نمودن داده های مغزه بر اساس شاخص تغییرات میکروسکوپی دهانه حفره ها که RQI (شاخص کیفیت مخزن) نامیده می شود، واحدهای هیدرولیکی زون بندی می گردند. شاخص کیفیت مخزن توسط دو پارامتر ظرفیت انباشتی (تخلخل) و ظرفیت جریانی (تراوایی) کنترل می شود.

"Amaeful et.al" در سال ۱۹۹۴ برای تطبیق شاخص های میکروسکوپی فضاهای خالی با پارامترهای ماکروسکوپی مخزن، RQI را معرفی نمودند. با استفاده از رابطه دارسی، معادله جریان poiseuille و رابطه kozeny که فاکتور شکل ۲ و ضریب پیچاپیچی فرض شده است، شاخص RQI را می توان



شکل شماره ۳ - کاربرد شاخص کیفیت مخزن در تعیین واحدهای جریانی

می توان با استفاده از داده های آزمایشگاهی و از طریق رابطه زیر نیز به دست آورد.

$$FZI = \frac{0.314}{\varepsilon} \sqrt{\frac{K}{\phi}} \quad (۷)$$

علاوه بر آن (شاخص جریانی زون)

به صورت زیر تعریف نمود.

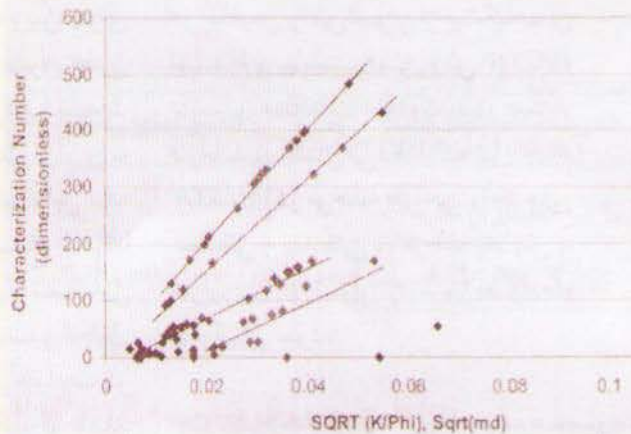
$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{K}{\phi_e}} \quad (10)$$

مفهوم واحدهای هیدرولیکی
بر این واقعیت استوار
است که ارتباط بین تخلخل و

تراوایی در بخش هایی از مخزن با
خواص حرکتی یکسان قابل بررسی است.
تشخیص واحدهای جریان و آگاهی از
FZI برای دستیابی به ارتباط بین تخلخل و
تراوایی از اهمیت بسزایی برخوردار است
که به صورت زیر بیان می شود:

$$K = 1014(FZI)^2 Q_z^2 \phi \quad (11)$$

تکنیک جدید توصیف مخزن Characterization Number(CN)



شکل شماره ۴ - کاربرد CN در تعیین واحدهای جریانی

سنگ، سیال (کشش سطحی و تراوایی و
ترشوندگی) و شرایط دینامیکی (سرعت
جریان آب و نفت) را در نظر می گیرد، تحت
نام عدد مشخصه (CN) به کار می رود.

$$CN = 1.0067 \left(\frac{\rho_o \delta_{o-w}}{\mu^2 \cos \theta} \right) \left(\frac{K_{ro}}{K_{rw}} \right) \sqrt{\frac{K}{\phi}}$$

در رابطه بالا واحد ویسکوزیته سانتی پوز،
کشش سطحی نیوتن سانتی متر و واحد
دانسیته کیلوگرم / متر مکعب است. K_{rw} و
 K_{ro} تراوایی نسبی آب و نفت در نقطه تلاقی
منحنی های تراوایی هستند. K_{rw} برای
مخزن آب دوست کمتر از ۳۰ درصد و برای
مخزن نفت دوست بیشتر از ۵۰ درصد است.
بنابراین اشباع آب مناسب برای انتخاب K_{ro}
از روی منحنی در مخازن آب دوست، کمتر
از ۳۰ درصد و برای مخازن نفت دوست
۵۰ درصد است.

نتیجه گیری

اهمیت توصیف
مخزن، به دلیل
توانایی آن در
تشخیص
پارامترهای
اساسی
زمین شناسی و

پتروفیزیکی موثر در حرکت سیال در
زون های هیدروکربوری، به عنوان یک
پارامتر موثر در توسعه مخازن برکسی پوشیده
نیست. تکنیک تطابق تخلخل - تراوایی
دارای دقت مناسبی است اما برای تشخیص
واحدهای جریانی (شکل شماره ۱) ابزاری

مناسب نیست. تابع λ نیز برای تطابق
پارامترهای مختلف سیستم های سنگ و
سیال به کار می رود. اما به دلیل وجود پارامتر
فشار موینگی در تابع λ که محدود به ناحیه
انتقالی و مقادیر کم فشار موینگی است، با
استفاده از تابع λ قادر به تفکیک واحدهای
جریانی (شکل شماره ۲) نخواهیم بود.

اگرچه کارایی RQI برای توصیف مخزن
ثابت شده است، اما به علت هتروژنی مخازن
کریناته، کاربرد RQI برای تشخیص
واحدهای جریانی با خطا همراه است. در
تکنیک CN سه پارامتر عمده و مهم دانسیته
سیالات مخزن (آب و نفت) تراوایی نفت و
آب و تغییر در شرایط دینامیکی جریان به
رابطه RQI اضافه شده است. به دلیل تغییر
شرایط فشاری و دمایی در مخزن، تغییر در
خواص سیال (دانسیته، ویسکوزیته و کشش
سطحی) می تواند به عنوان عاملی مهم در
تفکیک واحدهای جریانی با دقت بیشتری
صورت گیرد.

باتوجه به نتایج به دست آمده از کاربرد عدد
مشخصه در مخازن کریناته حوزه
خلیج فارس، می توان نتیجه گیری کرد که
مهمترین پارامتر در ساخت مدل های
عملکرد مخزن، یافتن رابطه بین تراوایی و
دیگر پارامترهای پتروفیزیکی مخزن است. ■

1) Shedin A. et.al, 2002, A new approach of
reservoir description of carbonate
reservoirs , SPE 74344.
2) Manika prasad , 2002 , velocity -
Permeability Relations within Hydraulic
units , Geophysics , vo 168 , no.1