

مطالعه تاثیر کانی‌های رسی بر ناهمسانگردی نفوذپذیری سنگ‌های کربناته در یکی از مخازن جنوب غرب ایران

ياسر سلیمی دلشاد *

۱- پژوهشگاه صنعت نفت

salimidelshady@ripi.ir

چکیده

نفوذپذیری عمودی سنگ مخزن در تعیین استراتژی تولید، مطالعات ازدیاد برداشت و مدیریت مخزن از اهمیت بسزایی برخوردار است. در سازندهای کربناته غالباً نفوذپذیری عمودی نسبت به نفوذپذیری افقی متفاوت می‌باشد که این ناهمسانگردی نفوذپذیری به تاریخچه رسوب‌گذاری و دیاژنز، نوع و مقدار کانی‌های رسی و تراکم‌پذیری سازند وابسته است. در این مطالعه تاثیر کانی‌های رسی بر ناهمسانگردی نفوذپذیری سنگ‌های کربناته سازند دالان با استفاده از لاگ گامای مغزه در یکی از مخازن جنوب غرب ایران بررسی شده است. بدین منظور تعداد ۲۳۳ عدد نمونه پلاگ از سنگ مخزن این سازند از سه حلقه چاه انتخاب گردید و خصوصیات پتروفیزیکی آنها شامل نفوذپذیری مطلق نسبت به هوا و تخلخل اندازه‌گیری شد. گامای طبیعی عناصر توریم و پتاسیم نمونه‌های مغزه نیز اندازه‌گیری و نمونه‌ها به سه گروه کانی‌های رسی شامل کلریت، کائولینیت و مونتموریونیت تقسیم شده و پس از مقایسه ناهمسانگردی نفوذپذیری نمونه‌های عاری از کانی رسی و نمونه‌های حاوی کانی رسی به تفکیک نوع شیل، ناهمسانگردی نفوذپذیری بصورت روابط تجربی برای هر گروه بدست آمد. نفوذپذیری عمودی پیش‌بینی شده با استفاده از این روابط در چاه دیگری از مخزن، تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی آن داشته است بررسی نمونه‌های مختلف رسی نشان می‌دهد که با افزایش تخلخل ناهمسانگردی نفوذپذیری بتدریج افزایش یافته و نمونه‌های مغزه حاوی کائولینیت دارای بیشترین و نمونه‌های حاوی مونتموریونیت دارای کمترین ناهمسانگردی می‌باشند. با رسم نفوذپذیری نمونه‌های عمودی بر حسب متوسط شعاع هیدرولیکی نمونه‌های افقی نیز رابطه نمائی برای کلیه نمونه‌ها حاصل شده است.

کلمات کلیدی: ناهمسانگردی نفوذپذیری، متوسط شعاع هیدرولیکی، گامای مغزه، کلریت، کائولینیت و مونتموریونیت

۱- مقدمه

علیرغم اینکه در واقعیت، وجود مخازن کربناته همگن استثنا می‌باشد، مهندسين مخزن در مطالعات اولیه این مخازن را همگن و یکنواخت فرض می‌کنند. مخازن کربناته ذاتاً "ناهمگن بوده و می‌توان گفت که حتی بسیار ناهمگن هستند. در یک مخزن ناهمگن مقدار نفوذپذیری در یک جهت (افقی) نسبت به جهت‌های دیگر خصوصاً در دو جهت عمودی متفاوت می‌باشد. تاثیر مستقیم تفاوت نفوذپذیری در جهت‌های متفاوت مخزن در فرایندهای تولید و ازدیاد برداشت که اختلاف چگالی سیالات نقش دارد، خود را آشکار می‌سازد. تولید در شرایط زیر نقطه حباب، تزریق تناوبی آب-گاز، مخروطی شدن آب و گاز، تزریق بخار و تحریک چاه از این جمله‌اند. ناهمسانگردی همچنین می‌تواند بر روی نرخ برداشت و تزریق، و استراتژی تکمیل چاه‌ها مخصوصاً "در چاه‌های افقی تاثیر بگذارد.

زهاف و تیاب، ۲۰۰۰ [۱] بیان کردند که در یک مخزن ناهمسانگرد مقدار نفوذپذیری در امتداد افقی و عمودی ممکن است بصورت افزایشی و یا کاهش‌ی باشد. بطوری‌که در یک مخزن ممکن است نفوذپذیری اکثر نمونه‌های افقی از نفوذپذیری نمونه‌های عمودی متفاوت باشد که به دلایل متعدد از قبیل ساختار ماتریکس سنگ یا وجود شکستگی‌های ریز در یک امتداد خاص (افقی و یا عمودی) باعث تفاوت در مقدار نفوذپذیری در جهت‌های مختلف می‌گردد. زهاف، ۱۹۹۹ [۲] و ترشتر و ابطیحی، ۲۰۰۳ [۳] ناهمسانگردی نفوذپذیری^۱ در مخزن را با رابطه (۱) تعریف کردند:

$$I_A = \frac{K_H}{K_V} \quad (1)$$

که در آن I_A ضریب ناهمسانگردی نفوذپذیری، K_H و K_V به ترتیب نفوذپذیری در جهت افقی و عمودی تعریف می‌گردد. مقادیر نفوذپذیری در جهت افقی و عمودی به روش‌های مختلف، از جمله چاه‌آزمایی، تعیین می‌گردد که صحیح‌ترین روش، اندازه‌گیری مستقیم بر روی نمونه‌های مغزه در آزمایشگاه می‌باشد. به طور معمول در آزمایشگاه از هر یک متر مغزه سه عدد نمونه افقی و برای کاهش هزینه‌ها تنها یک عدد نمونه عمودی پلاگ‌گیری شده و خواص پتروفیزیکی آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود.

در نمونه‌های ماسه‌سنگی تمیز (عاری از کانی رسی)، شکل حفرات، نحوه چیدمان دانه‌ها و اندازه دانه‌ها در تفاوت نسبی نفوذپذیری افقی و عمودی تاثیر بسزائی دارد. ترشتر و ابطیحی، ۲۰۰۳ [۳] تیاب و دونالتسون، ۱۹۹۶ [۴] رابطه بین نفوذپذیری افقی و عمودی را در نمونه‌های ماسه سنگ دوونین پائینی از سازند ایلیز، الجزایر بصورت رابطه (۲) بدست آورده‌اند.

$$k_V = 0.04 \left(\sqrt{\frac{K_H}{\phi_e}} \right) 2.48 \quad (2)$$

¹ Permeability anisotropy

که در آن K_v نفوذپذیری در جهت عمودی و $\sqrt{\frac{K_H}{\phi_e}}$ متوسط شعاع هیدرولیکی در جهت افقی می‌باشد. زهاف و تیاب، [۵]۲۰۰۲ نیز روابطی بین نفوذپذیری در جهت افقی و عمودی نمونه‌های ماسه‌سنگی به صورت تابعی از متوسط شعاع هیدرولیکی، وجود کانی رسی و تابعی از متوسط اندازه دانه‌ها ارائه نموده‌اند. با توجه به اینکه در نمونه‌های کربناته، بر خلاف نمونه‌های ماسه‌سنگی تمیز، قطر متوسط دانه‌ها محدوده وسیعی را پوشش می‌دهد، بنابراین نمی‌توان به درستی رابطه نفوذپذیری عمودی بر حسب قطر متوسط دانه‌ها نشان داد.

رس‌ها معمولاً از سیلیکات‌های آبدار آلومینیوم ساخته شده و دارای ساختمان بلورین می‌باشند. سنگ رس معمولاً مخلوطی از چند نوع کانی مانند فلدسپات، کوارتز، کربنات‌ها و میکا است. البته ممکن است تنها از یک نوع کانی ساخته شده باشد. یکی از انواع سنگ‌های ساخته شده از رس شیل‌ها می‌باشند که دارای لایه‌بندی ظریف بوده و در امتداد آنها می‌توان لایه‌های سنگ را جدا نمود. سنگ‌های رسی در محیط‌های آرام دریا رسوب می‌نمایند و هرگاه دارای مواد آلی باشند به رنگ‌های تیره دیده می‌شوند. این سنگ‌ها از نظر زمین‌شناسی نفت بسیار حائز اهمیت هستند، زیرا به عنوان سنگ منشاء نفت مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرند.

کانی‌های رسی به گروه‌های مختلفی شامل: کائولینیت، مونتورینیت، ایلیت، کلریت و کانی‌های رسی لایه مخلوطی دسته بندی می‌شوند. رضائی و همکاران، ۱۳۸۴ رس‌ها را در سنگ‌های مخازن به ۳ گونه دسته‌بندی کرده‌اند [۶]:

۱- رس‌های نواری یا برگ‌گی^۱:

در این توزیع رس‌ها به صورت لایه نازکی بین طبقات سنگ مخزن قرار دارند و تاثیری بر روی تخلخل مفید، درجه اشباع و نفوذپذیری مخزن ندارند.

۲- رس‌های پراکنده^۲:

در این نوع توزیع رس‌ها به دانه‌های اصلی سنگ چسبیده یا آنها را می‌پوشانند و ممکن است خلل و فرج را در سنگ پر کنند. نفوذپذیری به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد.

۳- رس‌های ساختاری^۳:

این رس‌ها به شکل دانه‌ها یا نقاطی در سنگ وجود دارند و نقشی همانند دیگر دانه‌های ماتریکس سنگ را دارا هستند. به این ترتیب می‌توان پذیرفت دارای مشخصاتی شبیه رس‌های نواری هستند. شکل ۱ انواع رس‌ها را نشان می‌دهد.

- 1 . Laminar Clay
- 2 . Dispersed Clay
- 3 . Structural Clay

۲- روش کار

• آماده سازی نمونه‌ها و تعیین خواص پتروفیزیکی

مراحل انجام کار شامل تهیه نمونه پلاگ، شستشو، آماده‌سازی و اندازه‌گیری تخلخل و نفوذپذیری مطلق در شرایط محیط بر روی نمونه پلاگ‌های افقی و عمودی می‌باشد. نمونه‌های منتخب به شکل استوانه‌ای (پلاگ) از نمونه‌های تمام مغزه سنگ‌های کربناته سازند دالان ۳ چاه از یک مخزن هیدروکربوری واقع در جنوب غرب ایران در دو وضعیت افقی و عمودی نسبت به موقعیت تمام مغزه در چاه تهیه شده است. در نمونه‌گیری پلاگ‌های افقی و عمودی سعی شده است تا فاصله عمقی آن‌ها در حد چند میلی‌متر بیشتر نباشد تا نمونه‌ها دارای ساختار رسوبی یکسان باشند (شکل ۲).

به‌منظور خارج ساختن مواد زائد و هیدروکربورهای داخل نمونه مغزه، آن‌ها را در دستگاه ساکسولت در تماس با حلال نفتی قرار داده و پس از حل شدن مواد هیدروکربوری در حلال فوق نمونه‌ها شستشو شدند. در این مطالعه از سیال تولوئن و متانول جهت عاری نمودن نمونه‌های پلاگ از هیدروکربور و آب سازندی استفاده شده است. سپس نمونه‌ها در آون با حفظ رطوبت در دمای 60°C به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند.

درصد تخلخل نمونه‌ها توسط دستگاه Ultraporosimeter اندازه‌گیری شده است. با انبساط دادن جرم مشخصی از گاز هلیوم به داخل یک نگهدارنده کالیبره شده و استفاده از قانون بویل، حجم دانه‌ای، چگالی دانه‌ای و حجم فضای خالی هر نمونه بدست آمده و درصد حجم فضای خالی یا تخلخل نمونه محاسبه می‌گردد.

نفوذپذیری مطلق نسبت به هوا توسط دستگاه Ultrapermeameter اندازه‌گیری شده است. در این دستگاه نمونه در داخل استوانه‌ای از جنس لاستیک مخصوص در محفظه مغزه‌نگهدار جاگذاری شده و فشار محدودکننده ۲۰۰ پام بر نمونه وارد می‌شود. اساس کار دستگاه مطابق قانون داری برای گازها (معادله ۳) می‌باشد که با اندازه‌گیری اختلاف فشار بین دو سر نمونه، نرخ جریان گاز و نیز معلوم بودن ابعاد نمونه، نفوذپذیری مطلق نمونه‌ها بر حسب میلی داری اندازه‌گیری می‌شود.

$$K_a = \frac{1000P_a\mu Q_a L}{A(P_1 - P_2)(P_1 + P_2)/2} \quad (3)$$

K_a : نفوذپذیری (mD)، μ_a : گرانیوی گاز (cp)، Q_a : نرخ جریان گاز (cc/sec)، L: طول نمونه (cm)، A: سطح مقطع نمونه (cm^2)، $P_1 - P_2$: اختلاف فشار در سر نمونه (atm)، $P_m = (P_1 + P_2)/2$: فشار میانگین در نمونه (atm)، P_a : فشار اتمسفریک

• دسته بندی کانی‌های رسی

با استفاده از دستگاه Core Gamma Logger مقدار گامای طبیعی نمونه‌های مغزه اندازه‌گیری می‌شود. پرتو رادیو اکتیو از عناصر خاص بصورت ذرات آلفا و بتا یا اشعه گاما ساطع می‌گردد. اتم‌های مواد رادیواکتیویته بصورت رندمی و با نرخ خاص کاهش جرمی دارند. طول زمان این واقعه مانند تابش کاهش یافته در هر مرحله (نیمه عمر) بوسیله تئوری کوانتم و یا در آزمایشگاه قابل محاسبه است. نیمه عمر در واقع مدت زمانی است که اتم‌های ماده رادیواکتیو به نصف تقلیل می‌یابند. پس از یک نیمه عمر مقدار تابش رادیواکتیویته نصف و پس از دو نیمه عمر به یک چهارم تقلیل می‌یابد.

در لاگ‌گیری اشعه گاما، سه اشعه اصلی پتاسیم (K^{40})، اورانیوم (U^{238}) و توریم (Th^{232}) با سه سطح انرژی متفاوت ثبت می‌گردند. سپس با حذف مقادیر گامای طبیعی زمینه و رسم مقادیر توریم بر حسب پتاسیم در منحنی استاندارد (شکل ۳) کانی‌های رسی موجود در نمونه‌های مغزه بر حسب درصد مشخص می‌شود. همانطوری که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد کانی کائولینیت^۱ در محدوده پتاسیم تا ۱/۰ درصد وزنی و محدوده توریم ۵-۲۰ ppm، کلریت^۲ دارای محدوده پتاسیم تا ۰/۳ درصد وزنی و توریم تا ۵ ppm و مونت‌موریونیت^۳ پتاسیم تا ۱/۰ درصد وزنی و مقدار توریم تا ۱۰ ppm را دارا می‌باشد. جدول شماره (۱) فراوانی کانی‌های رسی در نمونه‌های مغزه بر حسب درصد را نشان می‌دهد که بیشترین آن مربوط به کائولینیت با حدود ۸۱ درصد و کمترین مقدار فراوانی نمونه‌ها مربوط به کلریت با ۴ درصد می‌باشد.

۳- بحث

نمونه‌های مغزه مورد مطالعه در سازند دالان از نظر جنس بر اساس چگالی دانه‌ای تفکیک شده‌اند و همانطوری که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد تقریباً "نیمی از نمونه‌ها سنگ آهک با متوسط چگالی دانه‌ای ۲/۷۲ و حدود نیم دیگر نیز دولومیت با متوسط چگالی دانه‌ای ۲/۸۶ می‌باشند و تعداد اندکی نیز مابین این دو نوع سنگ قرار دارند. در بررسی مقاطع نازک نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده شد که نمونه‌های دولومیتی دارای کمتر از ۱۰ درصد انیدریت می‌باشند. نمونه‌های سنگ آهک مورد مطالعه دارای حدود ۲۰ درصد تخلخل قالبی^۴، و به ندرت دارای تخلخل‌های بین دانه‌ای^۵ و بین کریستالی^۶ هستند.

با استفاده از لاگ گامای طبیعی مغزه، مناطق عاری از شیل شناسایی و ناهمسانگردی نفوذپذیری حدود ۷۰ نمونه کربناته در این مناطق محاسبه گردید. فراوانی و توزیع ناهمسانگردی نفوذپذیری نمونه‌های عاری از کانی رسی و نمونه‌های حاوی کانی رسی به تفکیک نوع کانی رسی در شکل ۵ آمده است. البته استفاده از روش‌های مانند XRD و SEM که از منابع استنتاج نوع کانی رسی می‌باشند می‌تواند نوع کانی رسی را با دقت بالا مشخص نماید، که با توجه به محدودیت‌های موجود امکان استفاده از این آزمایشات در مطالعه حاضر وجود نداشت.

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود می‌توان گفت وجود کانی‌های رسی در نمونه‌های کربناته، تاثیر به‌سزایی در افزایش ناهمسانگردی نفوذپذیری دارد، که در این بین نقش کائولینیت بارزتر است.

همچنین در شکل ۶ ناهمسانگردی نفوذپذیری نمونه‌های شیلی مختلف بر حسب تخلخل جهت مقایسه رسم شده است. روند افزایش تدریجی ناهمسانگردی نفوذپذیری با افزایش تخلخل ملاحظه می‌گردد. همانطوری که در شکل ۶ نشان داده شده است، به‌طور کلی بیشترین ناهمسانگردی نفوذپذیری مربوط به نمونه‌های حاوی کائولینیت، و نمونه‌های حاوی مونت‌موریونیت کمترین ناهمسانگردی نفوذپذیری را دارا می‌باشند.

1 - Kaolinite

2 - Chlorite

3 - Montmorillonite

4 - Moldic porosity

5 - Inter-particle porosity

6 - Inter-crystallin porosity

نفوذپذیری نمونه‌های عمودی بر حسب متوسط شعاع هیدرولیکی نمونه‌های افقی برای تمامی نمونه‌ها در سازند دالان در مقیاس نیمه لگاریتمی رسم گردید (شکل ۷). برازش داده‌ها با خطی بصورت تابع نمائی در معادله ۴ نشان داده شده است. همانطوری که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، نمونه‌ها دارای محدوده نفوذپذیری بین ۰/۱ تا ۱۰۰۰ میلی‌داری می‌باشند. مقادیر متوسط شعاع هیدرولیکی نیز در محدوده بین ۰/۱ تا ۱۰ می‌باشد.

$$k_V = 9.58 \left(\sqrt{\frac{KH}{\phi_e}} \right) 1.87 \quad (4)$$

جهت بررسی ناهمسانگردی نفوذپذیری بر حسب نوع کانی‌های رسی، نمونه‌های مغزه به سه گروه حاوی کانی رسی کائولینیت یا کلریت و یا مونتورینیت تقسیم‌بندی شدند. در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ نفوذپذیری نمونه‌های عمودی بر حسب متوسط شعاع هیدرولیکی نمونه‌های افقی برای هر یک از سه گروه شیلی جداگانه رسم گردید و در نهایت روابط تجربی برای هر گروه بدست آمد (جدول ۲).

برای بررسی صحت روابط جدول شماره ۲، نفوذپذیری عمودی ۱۹ عدد نمونه مغزه با تخلخل متنوع در چاه دیگری از مخزن مطالعه گردید. این نمونه‌ها بر اساس نوع کانی رسی موجود در آن‌ها در دو گروه کائولینیت و مونتورینیت قرار گرفتند. همانطوری که در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود تطابق خوبی بین نفوذپذیری عمودی اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده با استفاده از فرمول‌های تجربی وجود دارد. بنابراین با استفاده از این روابط می‌توان مقدار نفوذپذیری عمودی را از طریق نفوذپذیری افقی در سازند دالان این مخزن بر اساس نوع کانی رسی که از لاگ گامای مغزه بدست آمده پیش‌بینی کرد.

۴- نتایج

- با توجه به تعداد زیاد نمونه‌های مورد مطالعه از سازند دالان مخزن مورد بررسی با محدوده تقریباً وسیع تخلخل و نفوذپذیری، می‌توان انتظار داشت پیش‌بینی نفوذپذیری عمودی در چاه‌های دیگری که نفوذپذیری عمودی آن‌ها در دسترس نیست، نتایج قابل قبولی برای استفاده در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مخزن ارائه می‌دهد.
- بدلیل محدودیت تعداد نمونه‌های عمودی نسبت به نمونه پلاگ‌های افقی می‌توان برای تعیین نفوذپذیری قائم از روابط بدست آمده از دسته‌بندی گروه‌های شیلی برای تخمین دقیق‌تر نفوذپذیری قائم استفاده کرد.
- مقایسه بین ناهمسانگردی نفوذپذیری نمونه‌های عاری از کانی رسی و نمونه‌های حاوی کانی رسی نشان می‌دهد که حضور کانی‌های رسی به خصوص کانی کائولینیت میزان ناهمسانگردی را افزایش می‌دهد.
- بررسی نمونه‌های مغزه حاوی کانی‌های رسی سازند دالان نشان می‌دهد که نمونه‌های با کانی رسی کائولینیت با ناهمسانگردی متوسط ۲/۴۱ دارای بیشترین و نمونه‌های حاوی مونتورینیت با ناهمسانگردی متوسط ۱/۵۶ دارای کمترین ناهمسانگردی نفوذپذیری می‌باشند.
- با افزایش تخلخل نمونه‌های کربناته، ناهمسانگردی نفوذپذیری به تدریج افزایش می‌یابد.

منابع:

[1] K. Zahaf, Sonatrach-CRD; D. Tiab, U. of Oklahoma SPE/AAPG Western Regional Meeting, 19-22 June 2000, Long Beach, California

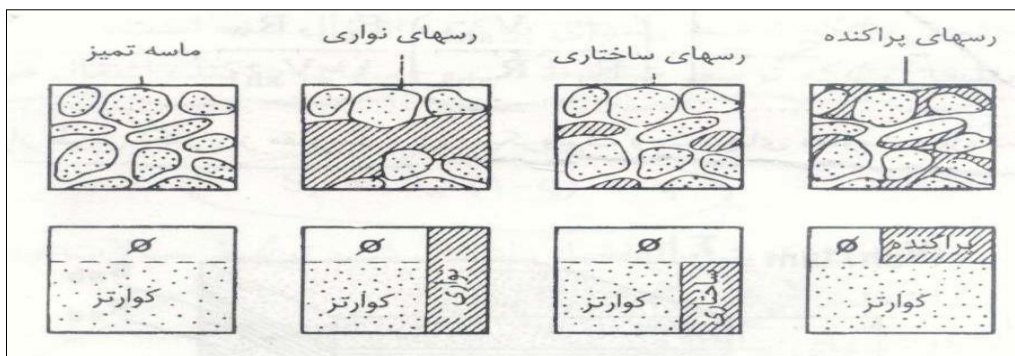
[2] Zahaf, K. (1999), "Vertical Permeability from In-Situ Horizontal permeability Measurement in Shaly Sand Reservoirs." MS Thesis, University of Oklahoma

[3] O. Torsaeter and M. Abtahi, Experimental Reservoir Engineering, Laboratory Work Book.

[4] Tiab, D., and Donaldson, E. C., (2003). Petrophysics, Theory and practice of measuring reservoir rocks and fied transport properties, Gulf Pub., Houston, TX, 706

[5] Zahaf, K. and Tiab, D. (2002), "Vertical Permeability from In Situ Horizontal Measurements in Shaly-Sand Reservoirs." JCPT, pp. 43-50

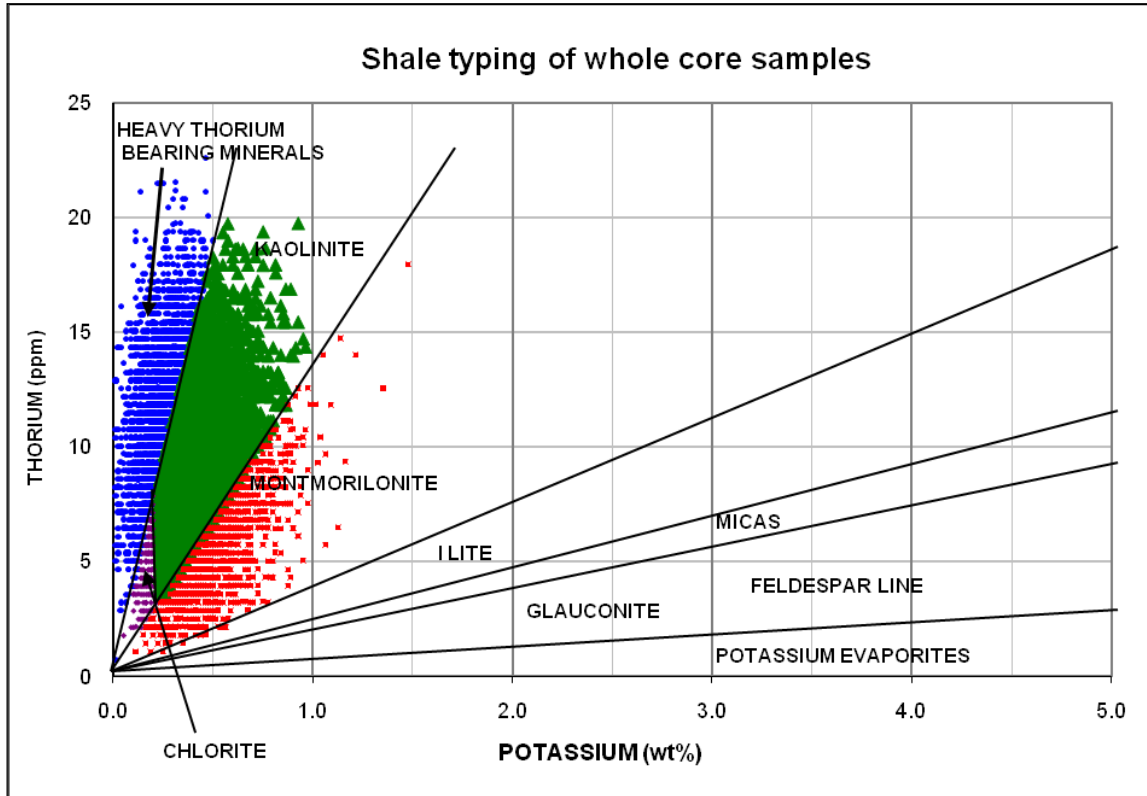
[6] کتاب زمین شناسی نفت، انتشارات علوی، رضایی و همکاران، ۱۳۸۴



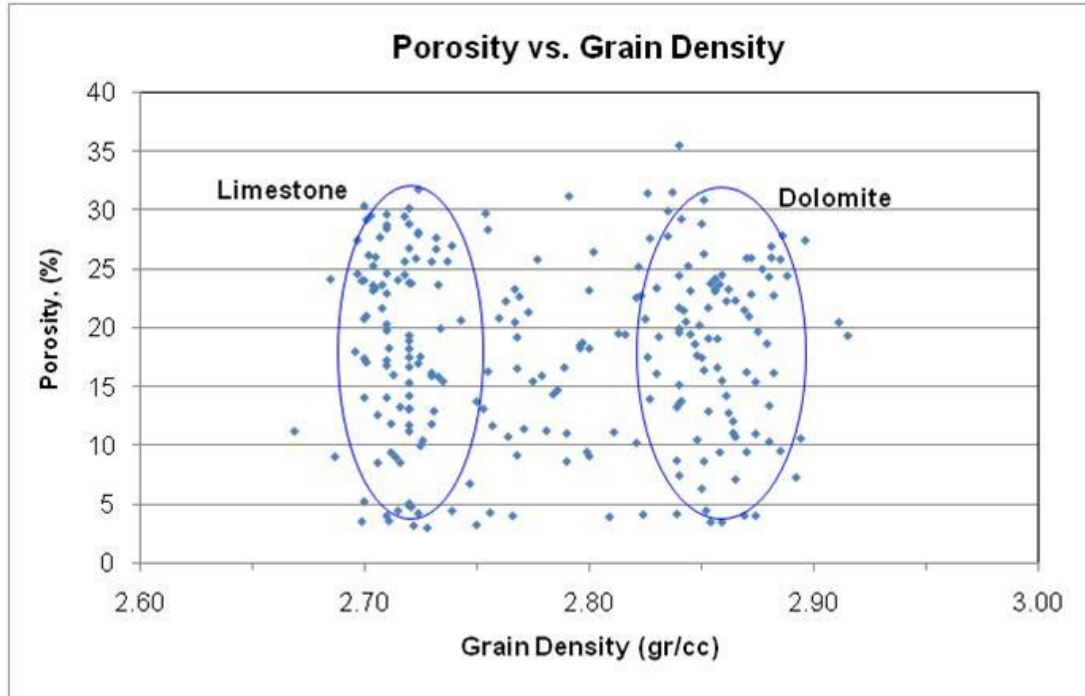
شکل ۱- شکل توزیع انواع رس‌ها و مقدار حجمی که اشغال می‌کنند (رضایی و همکاران [۶])



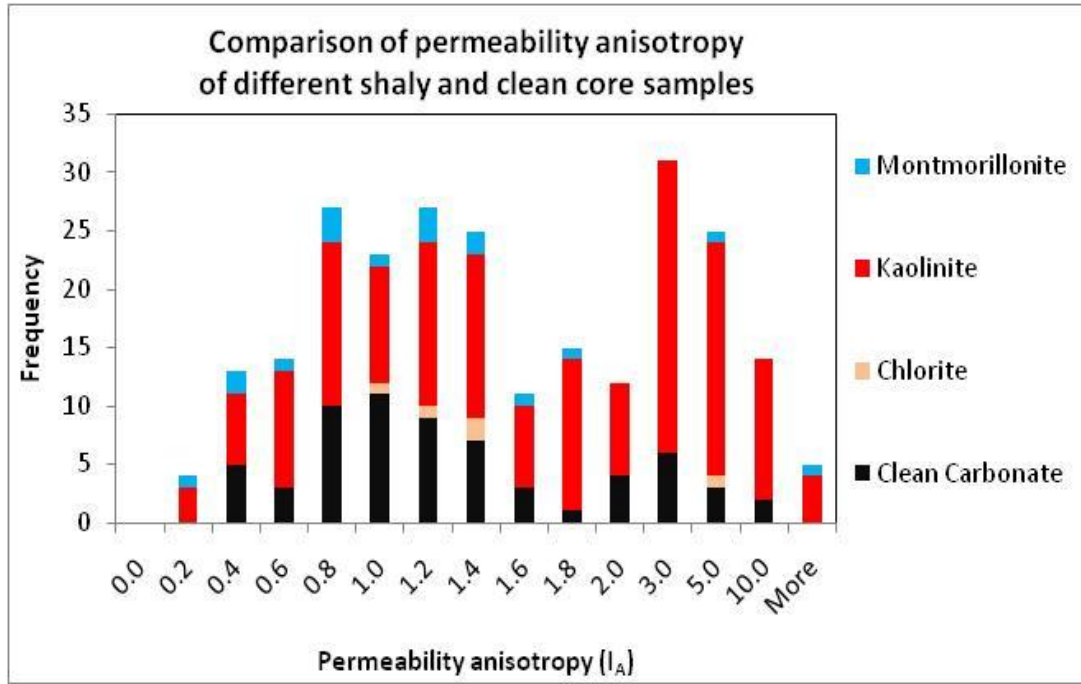
شکل ۲- موقعیت نمونه‌های افقی و عمودی به شکل پلاگ با قطر ۳/۸ سانتی متر و طول حدود ۵ سانتی متر



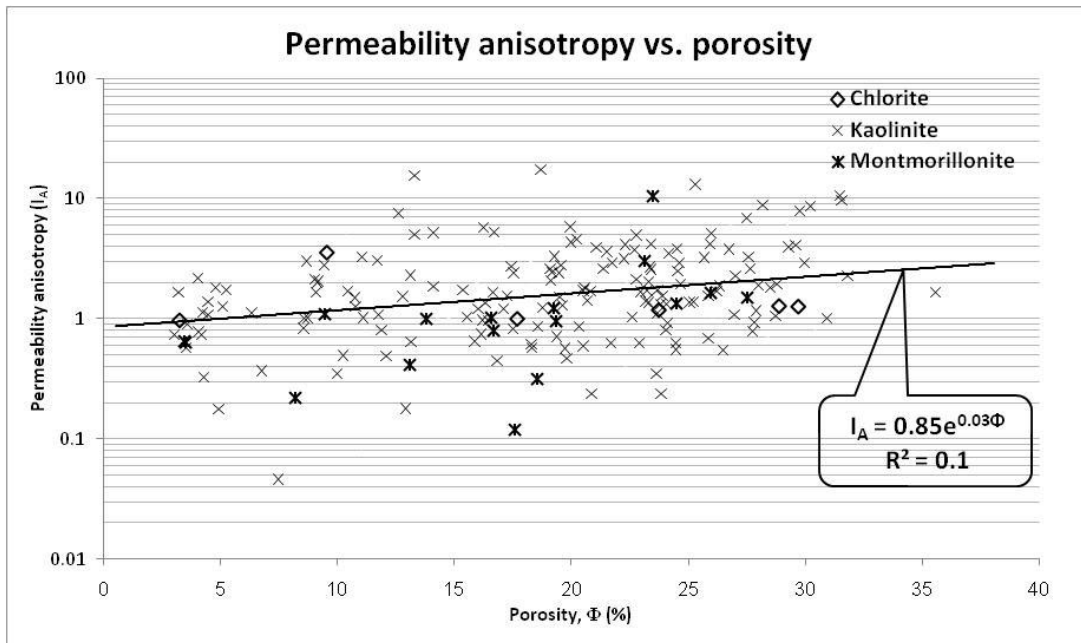
شکل ۳- مقادیر توریم بر حسب پتاسیم در منحنی استاندارد فراوانی که نشانگر توزیع کانی‌های شیلی موجود در نمونه‌های مغزه می‌باشد



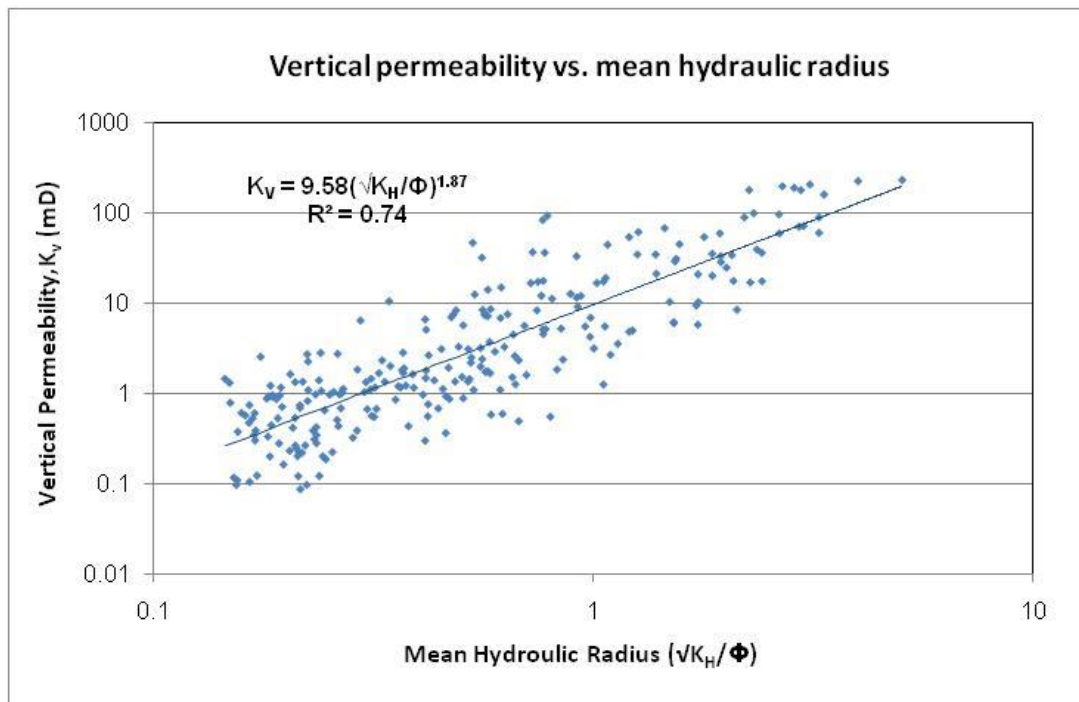
شکل ۴- تفکیک نمونه‌ها بر حسب جنس با تعیین چگالی دانه‌ای نمونه‌های مغزه، نیمی از نمونه‌ها دولومیت و نیم دیگر سنگ آهک می‌باشند



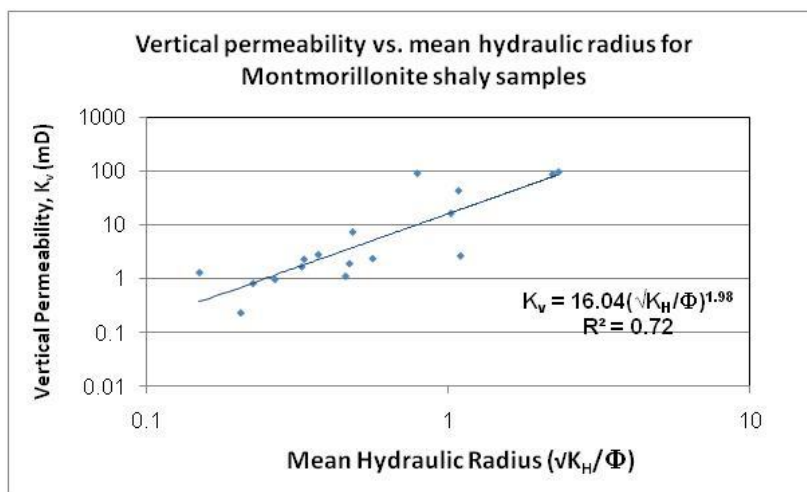
شکل ۵- مقایسه ناهمسانگردی نفوذپذیری نمونه‌های عاری از شیل و نمونه‌های شیلی به تفکیک نوع شیل



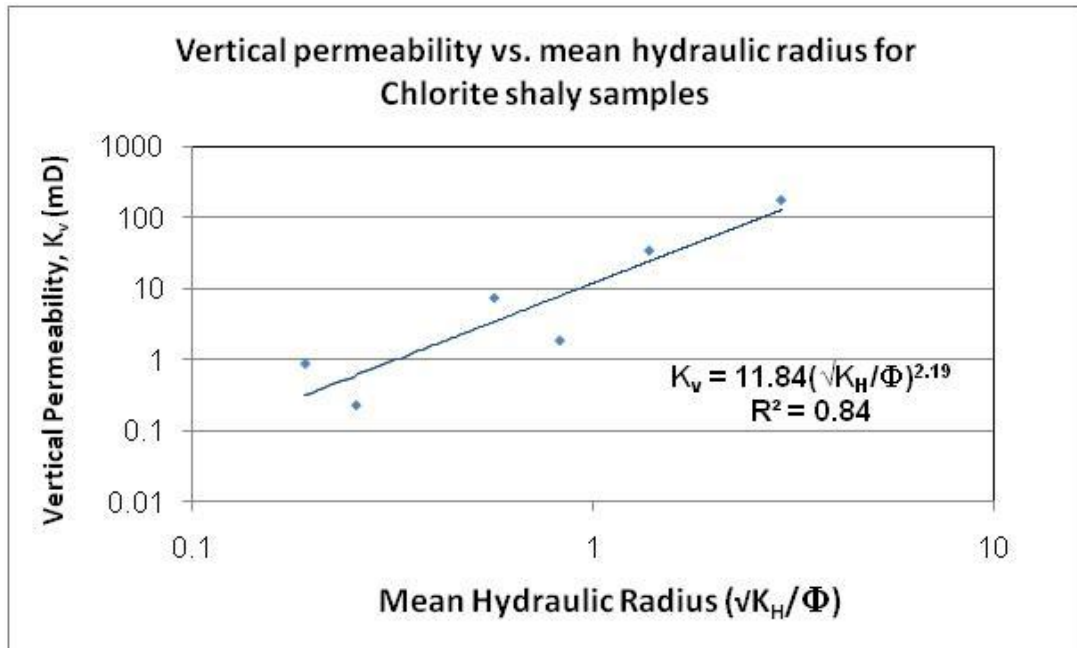
شکل ۷- ناهمسانگردی نفوذپذیری نمونه‌های شیلی مختلف، نمونه‌های حاوی کائولینیت دارای بیشترین و نمونه‌های حاوی مونت‌موریونیت دارای کمترین ناهمسانگردی می‌باشند



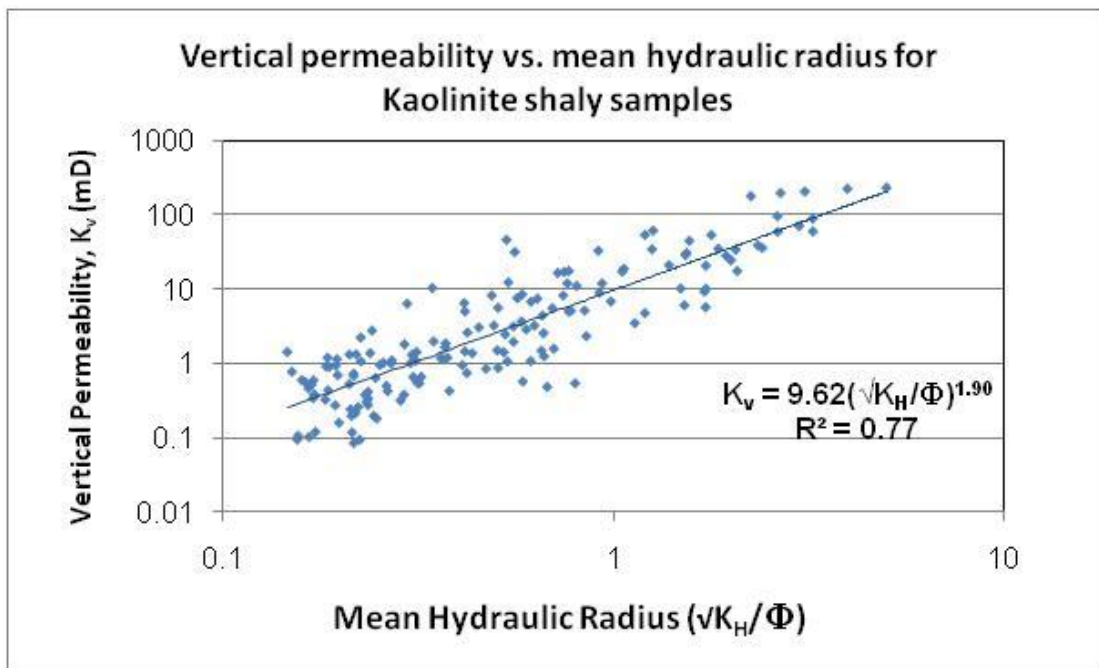
شکل ۷- نفوذپذیری عمودی نمونه‌ها بر حسب متوسط شعاع هیدرولیکی نمونه‌های افقی در تمامی نمونه‌های مغزه مورد مطالعه.



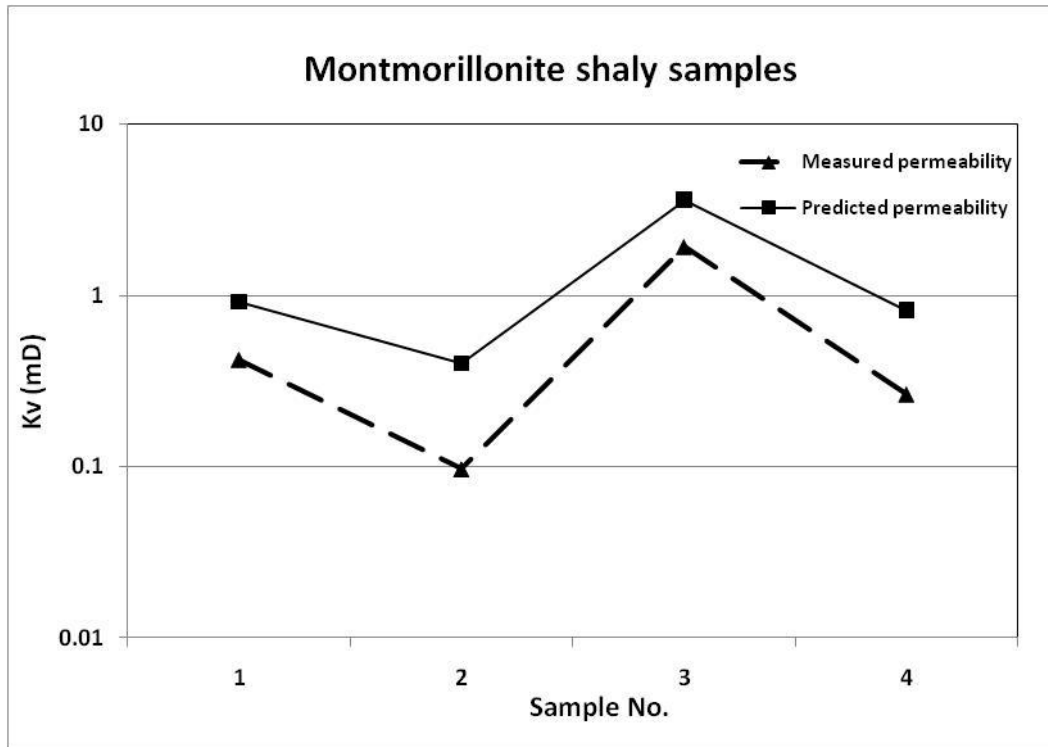
شکل ۸- نفوذپذیری عمودی بر حسب متوسط شعاع هیدرولیکی در نمونه‌های حاوی کانی مونت‌موریونیت



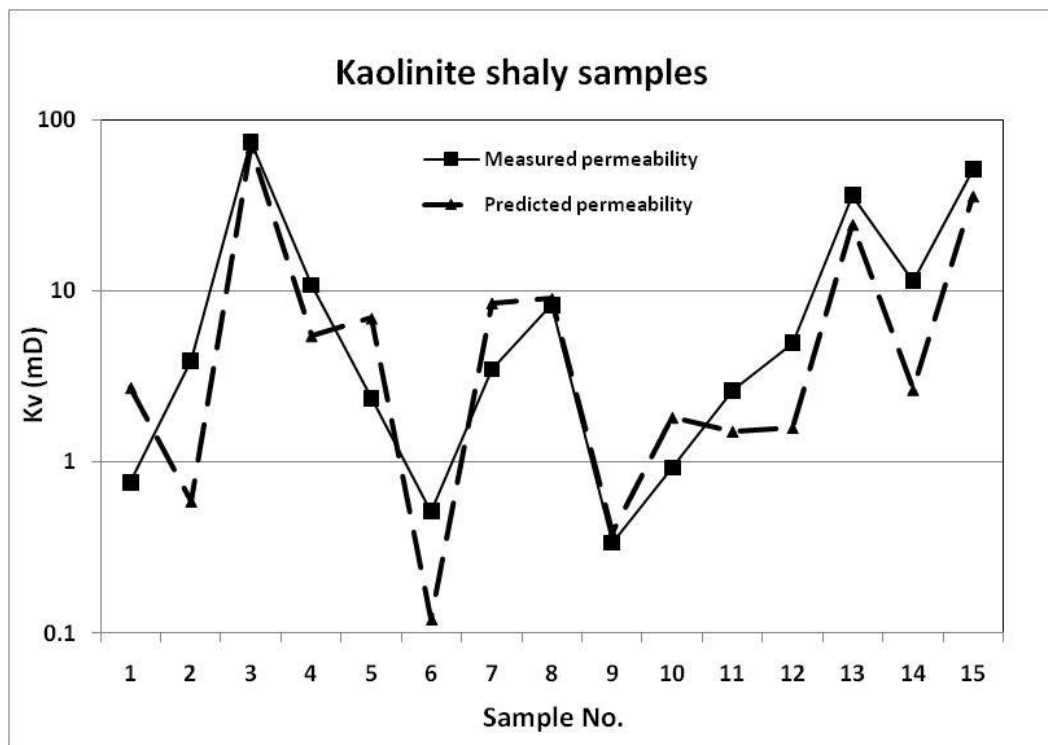
شکل ۹- نفوذپذیری عمودی بر حسب متوسط شعاع هیدرولیکی در نمونه‌های حاوی کانی کلریت



شکل ۱۰- نفوذپذیری عمودی بر حسب متوسط شعاع هیدرولیکی در نمونه‌های حاوی کانی کائولینیت



شکل ۱۱- نفوذپذیری عمودی پیش‌بینی شده بر اساس فرمول تجربی بدست آمده از نمونه‌های حاوی کائولینیت



شکل ۱۲- نفوذپذیری عمودی پیش‌بینی شده بر اساس فرمول تجربی بدست آمده از نمونه‌های حاوی مونموریونیت

جدول ۱- فراوانی عناصر شیلی در نمونه های مغزه مورد مطالعه بر حسب درصد

کانی شیلی	فراوانی (درصد)
کائولینیت	۸۱
کلریت	۴
مونتموریونیت	۱۵

جدول ۲- روابط نفوذپذیری عمودی بر حسب متوسط شعاع هیدرولیکی در نمونه های مختلف شیلی مغزه های مورد مطالعه

معادله نفوذپذیری عمودی	نوع شیل
$K_V = 9.58(\sqrt{K_H/\Phi})^{1.87} \quad R^2 = 0.74$	تمامی گروه های شیلی
$K_V = 9.62(\sqrt{K_H/\Phi})^{1.90} \quad R^2 = 0.77$	کائولینیت
$K_V = 16.04(\sqrt{K_H/\Phi})^{1.98} \quad R^2 = 0.72$	مونتموریونیت
$K_V = 11.84(\sqrt{K_H/\Phi})^{2.19} \quad R^2 = 0.84$	کلریت

The effect of shale minerals on the permeability anisotropy of carbonate reservoir rocks in the south-west of Iran

Yaser Salimi Delshad
salimidelshady@ripi.ir

Abstract:

The vertical permeability of reservoir rocks is of paramount importance in production strategies, EOR studies and reservoir management. The carbonate reservoirs are inherently heterogeneous and vertical permeability is different from horizontal permeability. This permeability anisotropy depends on deposition history and diagenesis, type and amount of shale present in the formation and compressibility of the rock.

In this study the effect of clay minerals has been investigated on the permeability anisotropy of Dalan formation in one of the South-West reservoirs of Iran using core Gamma log. For this purpose 233 core plug samples from 3 wells were selected and their petrophysical properties were measured. Natural gamma of the samples, including thorium and Potassium, was also measured by a core gamma logger and the samples were separated into 3 groups reach in Chlorite, Kaolinite and Montmorillonite clay minerals. Then vertical permeability of each group of shale-type was plotted against the mean hydraulic radius of horizontal samples and empirical equations of their permeability anisotropy were obtained. There was a good match between predicted and measured vertical permeability of some core plugs from another well in the reservoir. The studies indicated that permeability anisotropy is gradually increased with increasing porosity and the core samples containing Kaolinite have the most permeability anisotropy and the ones containing Montmorillonite have the least anisotropy.

Keywords: Permeability anisotropy, mean hydraulic radius, core gamma, kaolinite, chlorite, montmorillonite